Зохион байгуулагч

ЦАХИМ ХӨГЖИЛ, ХАРИЛЦАА ХОЛБООНЫ ЯАМ
ХАРИЛЦАА ХОЛБООНЫ ЗОХИЦУУЛАХ ХОРОО
ММТК МОНГОЛЫН МЭДЭЭЛЭЛ ТЕХНОЛОГИЙН КОНСЕРЦИУМ
КИБЕР ХАЛДЛАГА, ЗӨРЧИЛТЭЙ ТЭМЦЭХ НИЙТИЙН ТӨВ

Хамтран зохион байгуулагч

Оролцогч байгууллагууд

Хамрах хүрээ

1. Хиймэл оюун ухаан
2. Электрон систем, дохио боловсруулалт
3. Кибер аюулгүй байдал
4. Тооцоолол, мэдээллийн технологийн хэрэглээ
5. Холбоо, сүлжээ
6. Дижитал конвержинс

МОНГОЛЫН МЭДЭЭЛЛИЙН ТЕХНОЛОГИ-2024

Монгол улс, Улаанбаатар хот
2024 оны 05 сарын 23-ны өдөр

©Copyright 2024, ММТ

Энэхүү эмхэтгэлийг хуулбарлах, олшруулах, хэвлэхийг
“Зохиогчийн эрхийн тухай хууль”-аар хориглоно.

www.mmt.edu.mn

Хавтасны дизайн: Т.Амартүвшин
Хэвлэлийн эх бэлтгэсэн: Т.Амартүвшин
Редактор: Б.Зоригтбаатар /доктор (Ph.D), профессор/

“ШУТИС Хэвлэлийн газар”-т хэвлэв.



МЭНДЧИЛГЭЭ

“Монголын Мэдээллийн Технологи-2024” эрдэм шинжилгээний хуралд хүрэлцэн ирсэн эрхэм хүндэт багш, эрдэмтэн судлаачид болон зочид, төлөөлөгчид та бүхний энэ өдрийн амрыг айлтган мэндчилье.

Монголын Мэдээллийн Технологийн Консорциум олон улсын жишгээр салбарын эрдэмтэд, судлаачдын эрдэм шинжилгээний нэгдсэн хурал, мэргэжлийн сэтгүүлтэй болохоор анхлан санаачилж байсан “Монголын Мэдээллийн Технологи” эрдэм шинжилгээний хурлыг 11 дэх жилээ Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургуулийн Мэдээлэл, Холбооны Технологийн Сургууль зохион байгуулж байна. Хурлыг хамтран зохион байгуулалцаж буй Монголын Мэдээллийн Технологийн Консорциум болон МУИС-д талархал илэрхийлье.

Аж үйлдвэрийн нэгдүгээр хувьсгалаар хүмүүс төмөр зам, уурын машин, хоёр дахь аж үйлдвэрийн хувьсгалаар цахилгаан, үйлдвэрийн дамжлагын ачаар масс үйлдвэрлэл, гурав дахь аж үйлдвэрийн хувьсгалаар бий болсон тоон технологийн хөгжил, дэвшил нь өнөөгийн бидний амьдарч буй нийгмийг цогцлоосон билээ. Тэгвэл аж үйлдвэрийн дөрөв дэх хувьсгал эхэлснийг батлах олон технологи, ололтууд бидний амьдралд аль хэдийн хүч түрэн орж иржээ. Энэхүү хувьсгалын хөтлөгч цөм технологийн нэг болох хиймэл оюуны салбар нь хувь хүн, нийгэм, улс төр болон бизнесийн салбарт хүчтэй нөлөөлж олон ажлын байрт хүнийг орлох хандлагатай байна.

Мэдээллийн технологи салбарын эрчимтэй хөгжил, технологийн хувьсгалын үед ээлжит Монголын Мэдээллийн Технологи-2024 хурлаа “КИБЕР АЮУЛГҮЙ БАЙДАЛ” сэдвээр зохиож илтгэл хэлэлцүүлж буйгаараа онцлог юм.

Энэ удаагийн хурлаар “Хиймэл оюун ухаан”, “Кибер аюулгүй байдал”, “Холбоо, сүлжээ”, “Электрон систем, дохио боловсруулалт”, “Тооцоолол, Мэдээллийн технологийн хэрэглээ” салбар хуралдаанаар эрдэм шинжилгээний өгүүллүүд хэлэлцүүлэхээс гадна “Дижитал конвержинс” сэдвээр салбар хуралдаан зохион байгуулж байгаа нь шинэлэг юм. Хурлаар салбарын эрдэмтэн, профессор, багш, суралцагсад өөрсдийн судалгааны үр дүн, туршлагаа солилцож цаашид үр өгөөжтэй хамтран ажиллана гэдэгт найдаж байна.

Хурлын нийт оролцогчдодоо эрдэм, судалгааных нь өндөр амжилт хүсье.

Хүндэтгэсэн,

ШУТИС-МХТС-ийн захирал Н.ЧУЛУУНБАНДИ



ӨМНӨТГӨЛ

Цас, зудтай хүндхэн өвлийн араас Монгол нутагт хавар ирлээ. Хавар бүр манай мэдээллийн технологийн судлаачид маань уламжлалт “Монголын Мэдээллийн Технологи” эрдэм шинжилгээний хуралдаа оролцон хийж бүтээсэн эрдэм судлалын ажлын үр дүнгээ нийтийн хүртээл болгож, цаашдын хамтын ажиллагааны үндэс суурийг бэхжүүлдэг билээ.

Энэ жилийн “ММТ–2024” хурлыг ШУТИС-ийн Мэдээлэл, Холбооны Технологийн Сургууль зохион байгуулж байна. Хурлын голлох сэдэв нь “Кибер аюулгүй байдал”. Энэ сэдвийг сонгосон нь санамсаргүй хэрэг биш ээ. Үүлэн тооцоолол, Юмсын интернэт, Хиймэл оюун гээд дэвшилтэт технологиуд цахим шилжилтээр дамжин бидний амьдралд уламд гүнзгий нэвтрэхийн хирээр технологид суурилсан халдлагын хэмжээ, хортой үр дагавар улам нэмэгдэж, үндэстэн дамнасан шинжийг олж байгаа нь хүн төрөлхтний хамтын хүчин чармайлтыг үгүйлэх боллоо. Энэ асуудал өөрөө шинжлэх ухааны судлагдахуун бөгөөд судлаачдын анхаарлыг ихээр татаж байна. Монголын мэдээлэл технологийн консорциумаас уламжлал болгон зохион байгуулдаг эрдэм шинжилгээний энэхүү хурлаар өмнөх жилүүдийн уламжлалт сэдвүүдээс гадна Кибер аюулгүй байдлын талаар хийгдсэн нэлээд бүтээлийг бид тунгаан хэлэлцэх болно.

Хурлын бэлтгэл ажилд МХТС-ийн хамт олон Х.Загарзүсэм, А.Одгэрэл нарын ахалсан зохион байгуулалтын болон хөтөлбөрийн хороодтой хамтран хичээн зүтгэснийг цохион тэмдэглэмээр байна. Хуралд нийт 50 гаруй бүтээл ирснийг урьдчилан шүүн тунгааж, 30 өгүүллийг аман, 19 өгүүллийг ханын үзүүлэн хэлбэрээр хэлэлцэхээр болсон. Ирсэн өгүүллийн дотор цөөнгүй бүтээл англи хэл дээр бичигдсэн байна. Цаашдаа энэ жишгээрээ англи, монгол хосолсон байдлаар илтгэл хэлэлцүүлдэг гадаад, дотоодын судлаачид оролцсон томоохон эрдэм шинжилгээний хурал болж өргөжих нь дамжиггүй юм.

Энэ жилийн хурлын онцлог болгож хэдэн зүйлийг тэмдэглэе. Нэгд, хурлаар хэлэлцэгдэж буй бүтээлүүдээс өндөр үнэлэгдсэн өгүүллүүдийг олон улсад бүртгэлтэй мэргэжлийн сэтгүүл болох “ICT Focus” (https://www.ictfocus.org) -д нийтлүүлэх боломж олгоно; Хоёрт, энэ удаагийн хуралд бүтээлээ ирүүлсэн судлаачид хурлын хэлэлцүүлэг – санал, дүгнэлтийг тусгаад бүтээлээ энэ зун манай оронд Улаанбаатар хотноо 8 дугаар сарын 20–23-нд зохион байгуулагдах олон улсын “ICEF–2024” (https://icef2024.org) эрдэм шинжилгээний хуралд хэлэлцүүлэх боломжтой; Гуравт, Монголын их, дээд сургуулийн оюутнууд “ICEF–2024” хурлын нэг хэсэг болох олон улсын оюутны бүтээлийн “Глобал Капстон Дизайн” уралдаанд оролцож болно. Энэ арга хэмжээг Солонгос улсын Олон улсын Хамтын ажиллагааны Байгууллага – КОЙКА дэмжин оролцохыг дуулгахад таатай байна.

Энэхүү эрдэм шинжилгээний хуралд хэлэлцэгдэх эрдэм шинжилгээний өгүүллүүдийг эмхэтгэн та бүхний гар дээр өргөн барьж байна. ММТ–2024-д бүтээлээ ирүүлсэн нийт судлаачдаа Мэдээллийн Технологийн Консорциумын нэрийн өмнөөс болон хувиасаа чин сэтгэлийн талархал илэрхийлж, цаашдын эрдэм судлалын ажилд нь амжилт хүсье.

Хүндэтгэсэн,

Профессор А.ЭРДЭНЭБААТАР
Монголын Мэдээллийн Технологийн Консорциумын гүйцэтгэх захирал

Хурал зохион байгуулах комисс

Хурлын дарга

Н.Чулуунбанди /ШУТИС, МХТС-ийн захирал/

Орлогч дарга

А.Эрдэнэбаатар / ШУТИС, МХТС-ийн зөвлөх профессор/
Б.Ганбат /МУИС, МТЭС-ийн захирал/

Хөтөлбөрийн хорооны орлогч дарга

Х.Загарзүсэм /ШУТИС, МХТС-ийн эрдэмтэн нарийн бичгийн дарга/
Д.Болормаа /СЭЗИС, Ахисан түвшний профессор/

Хөтөлбөрийн хорооны гишүүд

А.Алтангэрэл /ШУТИС, МХТС, Мэдээллийн технологийн салбарын эрхлэгч/
Д.Баттулга /МУИС, МТЭС, Электроник, холбооны инженерчлэлийн тэнхимийн эрхлэгч
Б.Баянмөнх /Эрүүл мэндийн мэдээллийн технологийн нийгэмлэгийн тэргүүн/
З.Буянхишиг /ШУТИС, МХТС, Холбооны салбарын эрхлэгч/
П.Жаргалбат /АШУҮИС, ФМЗ-ийн тэнхимийн эрхлэгч/
Ким Ён Ми /Хүрээ МХТДС, Багшийн хөгжлийн төвийн дарга/
Р.Мижиддорж /МУБИС, МБУС, Мэдээлэл зүйн тэнхимийн профессор
Б.Мөнхбаяр /ШУТИС, МХТС, Мэдээллийн сүлжээ, аюулгүй байдлын салбарын эрхлэгч
Ч.Мөнхнасан /ШУТИС, МХТС, Ахисан түвшний салбарын эрхлэгч/
Н.Оюун-Эрдэнэ /МУИС, МТЭС, Мэдээлэл, компьютерийн ухааны тэнхимийн профессор/
Б.Сувдаа /МУИС, МТЭС, Мэдээлэл, компьютерийн ухааны тэнхимийн дэд профессор/
Д.Уганбаатар /ШУА, Математик, тоон технологийн хүрээлэнгийн захирал/
А.Хүдэр /ШУТИС, МХТС, Компьютерийн ухааны салбарын эрхлэгч/
Д.Цэдэвсүрэн /МУБИС, МБУС, Мэдээлэл зүйн тэнхимийн профессор/
Шин Гуан Чол /Хүрээ МХТДС, Компьютерийн ухааны тэнхимийн эрхлэгч/
Э.Шүрэнцэцэг /МУИС, МТЭС, Электроник, холбооны инженерчлэлийн тэнхимийн ахлах багш/

Зохион байгуулах хороо

А.Одгэрэл /ШУТИС, МХТС, Электроникийн салбарын эрхлэгч/
Б.Зоригтбаатар /ШУТИС, МХТС, ЭС-ын профессор/
Т.Амартүвшин /ШУТИС, МХТС, ЭС-ын багш/
М.Сэлэнгэ /ШУТИС, МХТС, эрдэм шинжилгээний ажилтан/
Г.Уртнасан /ШУТИС, МХТС, ЭС-ын дэд профессор/
Ц.Тэнгис /ШУТИС, МХТС, ЭС-ын дэд профессор/
Б.ДоржШУТИС, /МХТС, ЭС-ын дэд профессор/
Ч.Батчулуун /ШУТИС, МХТС, ЭС-ын ахлах багш/
Б.Луубаатар /ШУТИС, МХТС, ЭС-ын ахлах багш/
Ц.Сугир /ШУТИС, МХТС, ЭС-ын ахлах багш/
М.Өлзий-Орших /ШУТИС, МХТС, ЭС-ын ахлах багш/
Б.Бат-Эрдэнэ /ШУТИС, МХТС, ЭС-ын багш/
А.Мөнхбат /ШУТИС, МХТС, ХС-ын багш/
А.Сундий /ШУТИС, МХТС, ЭС-ын сургалтын мастер/
Г.Уганчимэг ШУТИС, МХТС, ЭС-ын сургалтын мастер/

“ММТ-2024” Эрдэм шинжилгээний хурлын хөтөлбөр

Цаг	Хөтөлбөр	Байршил
08:30-09:00	Бүртгэл	ШУТИС, VIII байр 12-р давхар
НЭЭЛТИЙН ҮЙЛ АЖИЛЛАГАА		
09:00-09:05	Доктор, дэд профессор Н.Чулуунбанди /ШУТИС, МХТС-ийн захирал/	Олон улсын ЭШХ-ын танхимд
09:05-09:10	Доктор, профессор А.Эрдэнэбаатар /ММТ консорциумын гүйцэтгэх захирал/	
09:10-09:15	Ч.Золбаяр /Кибер аюулгүй байдлын зөвлөлийн ажлын албаны дарга/	
09:15-09:20	ММТ-2024 хөтөлбөр танилцуулах, дурсгалын зураг авахуулах	

Хурлын дарга: Н.Чулуунбанди /ШУТИС, МХТС-ийн захирал/

ҮНДСЭН ХУРАЛДААН		
09:20-09:40	Урилгын илтгэл-1 Г.Гантуяа “*Монгол улсын кибер аюулгүй байдлын тогтолцоо, хууль эрх зүй, бодлого зохицуулалтын орчин*” /Кибер халдлага, зөрчилтэй тэмцэх нийтийн төв, УТУГ-ын Кибер халдлагаас урьдчилан сэргийлэх газрын дарга/	Олон улсын ЭШХ-ын танхимд
09:40-10:00	Урилгын илтгэл-2 Б.Мөнхбаяр “*Кибер аюулгүй байдлын чиг хандлага”* /ШУТИС-ийн МСАБ-ын салбарын эрхлэгч/	
10:00-10:10	ICT FOCUS эрдэм шинжилгээний сэтгүүлийн нээлт	
10:10-10:30	Урилгын илтгэл-3 Nam-Young Kim “*Wireless Biosensor and IoT Technology*” /Kwangwoon University, Electronic Engineering Department, RFIC Lab/	
10:30-10:40	Урилгын илтгэл-4 Jeong Won Kang “*ICEF-2024 танилцуулга*” /Korea National University of Transportation/	
ЗАВСАРЛАГА		
10:50-11:20	Цайны завсарлага	ШУТИС, VIII байр 12-р давхар

САЛБАР ХУРАЛДААН			
11:20-13:00	**Салбар хуралдаан-1** Хиймэл оюун ухаан *Олон улсын ЭШХ-ын танхимд*	**Салбар хуралдаан-2** Электрон систем, дохио боловсруулалт *804 тоот танхим*	ШУТИС, VIII байр
	Салбар хуралдаан-3 Кибер аюулгүй байдал *805 тоот танхим*	**Салбар хуралдаан-4** Тооцоолол, мэдээллийн технологийн хэрэглээ *801 тоот танхим*	
ЗАВСАРЛАГА			
13:00-14:00	Үдийн хоол		ШУТИС, Номын сан, Meal Plus

<table>
<tr><th colspan="4">ҮЗҮҮЛЭН ИЛТГЭЛ</th></tr>
<tr><td>14:00-15:00</td><td colspan="2">Үзүүлэн илтгэл</td><td>ШУТИС, VIII байр
12 давхарт</td></tr>
<tr><th colspan="4">ЗАВСАРЛАГА</th></tr>
<tr><td>15:00-15:30</td><td colspan="2">Цайны завсарлага</td><td>ШУТИС, VIII байр
12-р давхар</td></tr>
<tr><th colspan="4">САЛБАР ХУРАЛДААН</th></tr>
<tr><td rowspan="2">15:30-17:00</td><td>Салбар хуралдаан-5
Холбоо, сүлжээ
801 тоот танхим</td><td>Салбар хуралдаан-6
Дижитал конвержинс
804 тоот танхим</td><td rowspan="2">ШУТИС, VIII байр</td></tr>
<tr><td colspan="2">Хамтын ажиллагааны хэлэлцүүлэг
Олон улсын ЭШХ-ын танхимд</td></tr>
</table>

ҮНДСЭН ХУРАЛДААН *ШУТИС VIII байр, олон улсын ЭШХ-ын танхимд* **Хурлын дарга:** Н.Чулуунбанди /ШУТИС-ийн дэд профессор/		
1.	“Монгол улсын кибер аюулгүй байдлын тогтолцоо, хууль эрх зүй, бодлого зохицуулалтын орчин” *Г.Гантуяа*	2
2.	“Кибер аюулгүй байдлын чиг хандлага” *Б.Мөнхбаяр*	3
3.	“Wireless Biosensor and IoT Technology” *Nam-Young Kim*	4
4.	“ICEF-2024 танилцуулга” *Jeong Won Kang*	5
САЛБАР ХУРАЛДААН-1: ХИЙМЭЛ ОЮУН УХААН *ШУТИС VIII байр, олон улсын ЭШХ-ын танхимд* **Хурлын дарга:** Д.Золзаяа /ШУТИС-ийн дэд профессор/		
1.	“Бодит хугацаанд өнгөт зургаас гүний зураглалыг гаргах нь” *Г.Онон, Х.Оюундолгор*	8
2.	“Хүний бодлыг гүн сургалтын аргаар таних загварын судалгаа” *Ц.Тэнгис, Л.Үүрцайх, Б.Мөнхбаяр, А.Батмөнх*	14
3.	“Машин сургалтаар андройд мобайл системийн хөнөөлт программыг илрүүлэх нь” *Г.Базарсүрэн, Б.Өсөхбаяр*	20
4.	“Detection and counting of grazing cattle from aerial image using CNN” *Bat-Orgil Battogtokh and Hugejiletu Nasanurt*	24
5.	“Гүн сургалтын алгоритм ашиглан алтны үнийн богино хугацааны таамаглал боловсруулах” *С.Дашзэвэг, М.Золжаргал*	30
6.	“Дуу хоолой таних систем” *Э.Адъяабат, С.Билэгдэмбэрэл, М.Баярпүрэв*	36
САЛБАР ХУРАЛДААН-2: ЭЛЕКТРОН СИСТЕМ, ДОХИО БОЛОВСРУУЛАЛТ *ШУТИС VIII байр, 804 тоот танхимд* **Хурлын дарга:** М.Баярпүрэв /МУИС-ийн дэд профессор/		
1.	“Нисэх онгоцны загварын өндрийн тэнцвэржилтийн симуляц” *Ч.Бат-Оргил, Б.Луубаатар*	42
2.	“Давхар урвуу дүүжингийн тэнцвэржүүлэх удирдлага” *О.Энхцэцэг, Б.Луубаатар*	47
3.	“Хоёр шатлалт CMOS үйлдлийн өсгүүрийн 90 нм технологи ашигласан дизайн болон хэрэгжүүлэлт” *Б.Алтанцооож, М.Бүрэнзаяа*	51
4.	“Газрын зураглалыг тохируулах замаар GPS-гүй орчинд байршил тодорхойлох систем” *Ц.Тэнгис, Б.Дорж, Т.Амартүвшин, Г.Бат-Эрдэнэ, Ч.Батчулуун, Х.Тэмүүлэн*	56
5.	“Ярианы хөмрөг дэх бичвэр дуудлагын шинжилгээ” *О.Билгүүн, Ч.Алтангэрэл*	62
САЛБАР ХУРАЛДААН-3: КИБЕР АЮУЛГҮЙ БАЙДАЛ *ШУТИС VIII байр, 805 тоот танхимд* **Хурлын дарга:** Я.Дашдорж /ШУТИС-ийн дэд профессор/		
1.	“Хорт URL-ийг илрүүлэх нь” *Н.Даваадорж, Б.Мөнхбаяр*	68
2.	“Боловсролын салбар дахь кибер аюулгүй байдлын чиг хандлага” *Э.Мөнхцэцэг*	74

3.	“Аюулгүй программ хангамж хөгжүүлэлтийн үйл явцын судалгаа” *Э.Алтанцацрал, Ц.Энхтөр, Я.Дашдорж, Л.Одончимэг*	79
4.	“Байгууллагын сүлжээний эрсдэлийг үнэлэх” *Б.Мянганбаяр, Я.Дашдорж, Ц.Энхтөр, Л.Одончимэг*	85
САЛБАР ХУРАЛДААН-4: ТООЦООЛОЛ, МЭДЭЭЛЛИЙН ТЕХНОЛОГИЙН ХЭРЭГЛЭЭ *ШУТИС VIII байр, 801 тоот танхимд* **Хурлын дарга:** Р.Мижиддорж /МУБИС-ийн профессор/		
1.	“Блокчэйнд суурилсан олон нийтийн санхүүжилтийн платформ хөгжүүлэх нь” *Б.Гүндсамбуу, Ж.Бауржан, Н.Хашцэрэн*	92
2.	“Агаарын бохирдол дахь цаг агаарын нөлөөллийг эконометрикийн аргаар тооцоолох” *Г.Ганчимэг, Э.Жаргал,Ч.Мөнхнасан*	98
3.	“Ажлын байр санал болгох систем” *Н.Гэрэлчулуун, М.Золжаргал, Б.Наранбат*	102
4.	“Трансформер загвар ашиглан Монгол хэл дээрх баримт бичигт шинжилгээ хийх” *Д.Цэцүүхэй, Б.Анхбаяр, Б.Сувдаа*	106
5.	“Цэгэн үүлний гадаргуугаас хэсэгчилсэн шуугианыг арилгах” *Г.Дашням, Г.Уганбаяр, Э.Шүрэнцэцэг*	110
САЛБАР ХУРАЛДААН-5: ХОЛБОО, СҮЛЖЭЭ *ШУТИС VIII байр, 801 тоот танхимд* **Хурлын дарга:** З.Буянхишиг /ШУТИС-ийн дэд профессор/		
1.	“Үүрэн болон Wi-Fi холимог сүлжээнд DRL аргад суурилсан суваг хуваарилалтын судалгаа” Р. *Баярмаа, Казухино Киношита, Б.Отгонбаяр*	116
2.	“Дата төвд программаар тодорхойлогддог сүлжээ нэвтрүүлэх нь” *Г.Хуягбаатар, Г.Базарсүрэн, Б.Өсөхбаяр, Х.Золзаяа, Д.Баттулга*	122
3.	“VoIP хэрэглэгчдийн траффикийн математик загварчлал ба симуляцийн харьцуулсан судалгаа” *Я.Дашдорж, Х.Уянгаа, Ц.Энхтөр, Л.Одончимэг*	128
4.	“Estimation of Rain Attenuation at C, Ku and Ka Bands for Satellite Links in Mongolia” *Otgonbaatar Yura, Buyankhishig Zundui, Ganbold Shagdar*	132
5.	“Монгол улсын мэдээлэл холбооны сүлжээний үр ашгийн өнөө ба ирээдүйн өсөлтийн таамаглал” Б.*Пүрэвцэрэн, Г.Мөнхтулга, Л.Эрдэнэбаяр, П.Уганбаяр*	138
САЛБАР ХУРАЛДААН-6: ДИЖИТАЛ КОНВЕРЖИНС *ШУТИС VIII байр, 804 тоот танхимд* **Хурлын дарга:** Д.Болормаа /СЭЗИС-ийн профессор/		
1.	“LiveData A Worldwide Data Mesh for Stratified Data” *Simone Bocca, Amarsanaa Ganbold and Tsolmon Zundui*	146
2.	“Ахмад настнуудын дундах хавсарсан өвчлөл: Априори алгоритм” *О.Уганбаяр, Л.Пүрэвдолгор, Л.Ажнай, Ж.Мөнхцэцэг, Ц.Жавзмаа, Ч.Баасандорж*	153
3.	“Машин сургалтын алгоритм ашиглан уйланхайт бэтэг өвчний үе шатыг тодорхойлох нь” *Т.Тэгшээ, Б.Долгорсүрэн*	158
4.	“Олон сувгийн камертай нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийг буудайн тариаланд ашиглах нь” *Т.Мандухай, С.Баттуяа, Б.Одгэрэл*	164
5.	“Өсвөр насны сурагчдын хандлага төлөвшилд мэдээллийн технологийн хэрэглээний үзүүлэх нөлөө” *Г.Уртнасан, П.Гантөгс*	171

	ҮЗҮҮЛЭН ИЛТГЭЛ *ШУТИС VIII БАЙР, 12 ДАВХАРТ*	
1.	“Автомат ус түгээх системүүдийн харьцуулсан судалгаа” *Ч.Нарантунгалаг, А.Одгэрэл*	178
2.	“Нано хиймэл дагуулын системийн аюулгүй байдлын зарим асуудлууд” *Э.Эрдэнэтуяа, С.Батдалай*	182
3.	“Дуу хоолойгоор удирддаг робот гарын хөгжүүлэлт” *А.Одгэрэл*	187
4.	“Ардиунод суурилсан төхөөрөмж загварчлах нь: МХТС-ийн дотоод орчны агаарын чанарыг үнэлэх судалгааны үр дүн” *Т.Номин-Эрдэнэ, Л.Одончимэг*	192
5.	“Иммерсив VR-Virtual Reality цахим лаборатори хөгжүүлэлт” *Б.Батшагай, Ч.Ану-Ужин*	198
6.	“Уламжлалт болон машин сургалтын аргуудад суурилсан цаг агаарын таамаглал” *Ч.Мөнхнасан, Г.Ганчимэг, З.Нарантуяа*	203
7.	“Non-Concave Network Utility Maximization Problem with a Bounded Transmission Rate Norm” *Bazarragchaa Barsbold, Dovdon Batsuuri and Dorjkhuu Enkhtaivan*	210
8.	“Виртуал портабле программуудын харьцуулсан судалгаа” *Ч.Тэмүүжин, Г.Ганчимэг*	215
9.	“Цахим худалдааны веб сайтаас зургаар хайлт хийх аргачлал” *С.Оч-Эрдэнэ, Г.Ганчимэг*	219
10.	“Development of fast response non-contact sensor based on humidity and their applications” *Enkhzaya Ganbold, Eun Seong Kim and Nam Young Kim*	224
11.	“Монгол улсын үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг машин сургалтын арга ашиглан таамаглах нь” Ж.Отгончимэг, Б.Наранчимэг	229
12.	*“*5G сүлжээ нэвтрүүлэх асуудлын судалгаа, зарим үр дүн” *Л.Эрдэнэбаяр, Г.Эрдэнэбат, Б.Отгонбаяр*	235
13.	“Монгол улсын сагсан бөмбөгийн дээд лигийн шидэлтийн оновчийг машин сургалтын арга ашиглан таамаглах нь” *Я.Сайнсанаа, Б.Наранчимэг*	241
14.	“Кибер аюулгүй байдлын зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөө” *Э.Даваахүү, Б.Мөнхбаяр*	246
15.	“Өнгөт зураг боловсруулах аргачлалаар хадны бичвэрийг сэргээн сайжруулах” *Г.Ганчимэг, Ц.Дэлгэрсайхан*	252
16.	“Чөлөөт орон зайн оптик холбооны сүлжээнд ашиглагдах хугацааны хуваарилалт бүхий орбитал өнцгийн моментум солих модуляци” *А.Мөнхбаяр, О.Ням-Эрдэнэ*	257
17.	“Гүн сургалтын арга ашиглан илтгэгчээс хамааралгүй дуу хоолой хувиргах систем” *Э.Адъяабат, Т.Отгонбаатар, М.Номин-Эрдэнэ, Д.Сумъяаханд*	260
18.	“Mongolian Cyrillic handwritten text recognition from image, dataset and benchmark” *Orgil Jargalsaikhan and Battsetseg Erdenebat*	264
19.	“Хэлний загварын тусламжтай бичвэрийн алдаа засах” *Б.Сайнбаяр, Б.Тунгалагтамир, Д.Уганбаатар, Ж.Оргил*	268

Үндсэн хуралдаан



Урилгын илтгэл

ҮНДСЭН ХУРАЛДААН *ШУТИС VIII байр, олон улсын ЭШХ-ын танхимд* **Хурлын дарга:** Н.Чулуунбанди /ШУТИС-ийн дэд профессор/		
1.	“Монгол улсын кибер аюулгүй байдлын тогтолцоо, хууль эрх зүй, бодлого зохицуулалтын орчин” *Г.Гантуяа*	2
2.	“Кибер аюулгүй байдлын чиг хандлага” *Б.Мөнхбаяр*	3
3.	“Wireless Biosensor and IoT Technology” *Nam-Young Kim*	4
4.	“ICEF-2024 танилцуулга” *Jeong Won Kang*	5



Монгол улсын кибер аюулгүй байдлын тогтолцоо, хууль эрх зүй, бодлого зохицуулалтын орчин

Г. Гантуяа
Кибер халдлага, зөрчилтэй тэмцэх нийтийн төв,
УТУГ-ын Кибер халдлагаас урьдчилан сэргийлэх газрын дарга

Хураангуй

Кибер аюулгүй байдлын өнөөгийн нөхцөл байдал, Монгол Улсын кибер аюулгүй байдлын тогтолцоо, хууль эрх зүй, бодлого зохицуулалтын орчин, тулгамдаж буй асуудал, шийдвэрлэх арга замын талаар илтгэл хэлэлцүүлнэ.

Товч намтар

МУИС-ийн Бизнесийн удирдлагын бакалавр, ШУТИС-ийн МХТС-ийн Холбооны менежментийн магистр, Солонгос улсын Пусаны Үндэсний Их Сургуулийн Олон улсын МХХТ-ийн бодлогын магистр зэрэгтэй. 2008 оноос хойш Юнивишн, Скайтел, Мобиком корпораци ХХК зэрэг Монголын мэдээллийн технологийн тэргүүлэгч компаниудад 15 жил ажилласан туршлагатай. Кибер аюулгүй байдлын зөвлөлийн ажлын албанд 2023 оны 10 дугаар сараас, КХЗТНТөвд 2024 оны 01 дүгээр сараас эхлэн ажиллаж байна.



Кибер аюулгүй байдлын чиг хандлага

Б.Мөнхбаяр
ШУТИС, Мэдээлэл, Холбооны Технологийн Сургуулийн
Мэдээллийн сүлжээ, аюулгүй байдлын салбарын эрхлэгч

Хураангуй

Кибер аюулгүй байдлын хурдацтай хөгжиж буй орчинд нарийн төвөгтэй аюул заналхийлэл олширч байгаа нь илрүүлэх, урьдчилан сэргийлэх шинэлэг арга барилыг шаарддаг. Хиймэл оюун ухаан, гүн сургалт, машин сургалтын алгоритмууд нь уламжлалт кибер аюулгүй байдлын арга хэмжээг нэмэгдүүлэх хүчирхэг хэрэгсэл болсноор аюулыг идэвхтэй бууруулах, хамгаалалтын механизмыг сайжруулах боломжийг олгодог. Энэхүү хураангуй нь кибер аюулгүй байдал ирээдүйн чиг хандлагыг ойлгох, урьдчилан харж бэлэн байх шаардлагатай асуудал юм. Аюулгүй байдлыг хангахын тулд аргачлалуудын үүрэг ролуудийг судлах, өргөн хүрээний аюулыг илрүүлэх, урьдчилан сэргийлэх чадавхид анхаарлаа хандууллаа. Мэдэгдэж буй хортой программын гарын үсгийг тодорхойлохоос эхлээд гажуудлыг илрүүлэх замаар өмнө нь үл үзэгдэх аюул заналыг илрүүлэх хүртэл гүн сургалт, машин сургалтын алгоритмууд кибер аюулын эсрэг олон талын аргачлалыг санал болгодог. Нэмж дурдахад гүн сургалт, машин сургалтын арга техникүүд нь сүлжээний траффик, хэрэглэгчийн зан төлөв зэрэг бүтэцгүй өгөгдлийн төрлүүдэд дүн шинжилгээ хийх боломжийг олгож байна.

Товч намтар

Б.Мөнхбаяр нь ШУТИС-ийн Компьютерын Техник, Менежментийн Сургуулийн (КтМС) техникийн ухааны чиглэлээр бакалавр болон магистрын зэрэг хамгаалсан. 2017 онд БНСУ-ын засгийн газрын тэтгэлгээр Korea University сургуулийн Компьютерын Шинжлэх Ухаан, Инженерийн тэнхимд хорт кодын шинжилгээ, илрүүлэлт, хамгаалалт чиглэлээр доктор (Ph.D)-ын зэрэг хамгаалсан. 2017 оны 9 сарын 10-ны өдрөөс Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургуулийн Мэдээллийн Сүлжээ, Аюулгүй Байдлын салбарт ахлах багшаар томилогдон ажиллаж эхлэсэн. 2022 оны 2 сараас эхлэн Мэдээллийн сүлжээ, аюулгүй байдлын салбарын эрхлэгчээр ажиллаж байна. Тэрээр Malware analysis (Dynamic and Static), Network Security, Computer network system, Software Vulnerability Detection, Exploit, exploit writing, Botnet and DDoS attack, System Security, IoT Security, Cryptograph чиглэлээр судалгааны ажил хийдэг бөгөөд олон улсад бүтээлүүд хэвлүүлсэн.

Үндсэн хуралдаан



Wireless Biosensor and IoT Technology

Nam-Young Kim
Kwangwoon их сургуулийн Ахисан түвшний сургуулийн захирал

Хураангуй

Recently, advancement in state-of-art biosensors for IoT application as an optimized combination of biological and electronics materials, integrating biomaterials, such as nanoparticles and 2D materials (graphene, graphene oxide, carbon nanotubes, etc.), is emerging as a breakthrough for wireless world. However, to achieve desired sensing performance, sincere efforts are always made to explore better electronics and signal transduction, fabrication of opto-electro-magnetic thin films. Such interfacing needs more attention specially to fill be gap which may bridge sensing units for better outcomes. The radio frequency (RF) and capacitive biosensors, which are designed for the detection of numerous bio-molecules, based on the integration and miniaturization of passive and/or active devices and circuits to facilitate biosensing applications within the changes in capacitive mechanism. Such smart biosensors are projected as the future of biological devices capable of implementing advanced micro-fabrication technology at point-of-care (POC) applications of IoT applications.

Товч намтар

Нам-Ён Ким Ажу Их сургуулийн эмнэлзүйн эм зүйч мэргэжлээр магистр зэрэг хамгаалсан. Buffalo дахь Нью-Йоркийн Улсын Их Сургуульд (SUNY) электрон инженерийн чиглэлээр болон Midwest их сургуулийг теологийн чиглэлээр докторын зэрэг тус тус хамгаалсан. Тэрээр 1994 онд Буффало дахь SUNY-ийн CEEM, SUNY-д эрдэм шинжилгээний ажилтан, 1995 онд Kwangwoon их сургуулийн Электрон инженерийн тэнхимд профессороор ажилд орсон. RFIC төвийн үүсгэн байгуулагчийн хувьд RF ба био-холбоотой судалгааны Fusion технологийн төвийн захирлаар ажиллаж байсан. Тэрээр 295 сэтгүүл, 405 хурлын илтгэл, 33 ном хэвлүүлж, 245 патент бүртгүүлжээ. Түүний одоогийн судалгааны чиглэл бол RF-ийн хагас дамжуулагч төхөөрөмж, RFIC болон MMIC, RF био мэдрэгч, хорт хавдрын эмчилгээнд RF-ийн хэрэглээ юм. (2023 оны 11-р сарын 6-ны https://ieeexplore.ieee.org/document/10308790-д хэвлэгдсэн баримт бичигт үндэслэв).



Wireless Biosensor and IoT Technology

Jeong Won Kang
Солонгосын Үндэсний Тээврийн Их Сургуулийн профессор

Хураангуй

The International Conference on Electrical Facilities and information technologies 2024 (ICEF2024) is an annual event aimed to providing an international platform for experts in electrical facilities and information technologies to share information and address issues in multifaceted fields.

On behalf of the ICEF2024 Organizing Committee, it is my pleasure to welcome you to our signature event for this year, the 3rd ICEF2024, to be held in Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia, from August 20 to 23, 2024.

The ICEF2024 invites prospective authors to share ideas and join discussions on emerging challenges and key questions in the development of safe, reliable, sustainable and intelligent electrical facilities and information technologies. We welcome the potential authors from various fields. Conference topics include, but are not limited to:

1. Future Electric Facility Planning and Operations
2: Smart Electric Facility
3: Information Communication Technology
4: Intelligent Transportation Technology
5: Material Science and Technology

Many thanks to the members of KIEE Electrical Facilities Society, the ICEF2024 Organizing Committee members, and sponsoring organizations for providing their generous financial support. A special thanks to the University of Science and Technology (MUST) in Ulaanbaatar, Mongolia, for the local support and their interest and commitment in hosting ICEF2024

Товч намтар

Жонг-Вон Кан 1995 онд БНСУ-ын Сөүл хотын Чун-Анг их сургуульд цахилгаан, электроникийн инженер мэргэжлээр бакалавр, 1997 онд магистр, 2002 онд докторын зэрэг тус тус хамгаалсан. Тэрээр 2002-2005 онд Чун-Анг их сургуульд, 2006-2007 онд АНУ-ын Калифорнийн их сургуульд зочин профессороор ажилласан. 2007-2016 онуудад БНСУ-ын LG Siltron компанид судлаач, Үндэсний тээврийн их сургуульд профессор, АНУ-ын Калифорнийн их сургуулийн Irvine дахь салбарт зочин судлаачаар мөн ажиллаж байв. Жонг-Вон Кан нь 2015 оноос хойш нано хоолой, графен, наноэлекромеханик төхөөрөмжийн судалгааны ажлуудыг голлон хийж байна. Мөн, түүний судалгааны чиглэлд эрчим хүчний системийн төлөв байдлын тооцоо, машин сургалтын арга дээр тулгуурласан дүрсийн боловсруулалт орно. Түүний сүүлийн 5 жилд хэвлүүлсэн өгүүллүүд нь нийт 4207 ишлэл хийгдсэнээс 2024 онд бичсэн 10 өгүүллийг 52 ишлэл хийгээд байна. (https://scholar.google.com/-ийн мэдээллийг үндэслэв)

Салбар хуралдаан-1



Хиймэл оюун ухаан

САЛБАР ХУРАЛДААН-1: ХИЙМЭЛ ОЮУН УХААН *ШУТИС VIII БАЙР, ОЛОН УЛСЫН ЭШХ-ЫН ТАНХИМД* **ХУРЛЫН ДАРГА:** Д.ЗОЛЗАЯА /ШУТИС-ИЙН ДЭД ПРОФЕССОР/		
1.	“Бодит хугацаанд өнгөт зургаас гүний зураглалыг гаргах нь” *Г.Онон, Х.Оюундолгор*	8
2.	“Хүний бодлыг гүн сургалтын аргаар таних загварын судалгаа” *Ц.Тэнгис, Л.Үүрцайх, Б.Мөнхбаяр, А.Батмөнх*	14
3.	“Машин сургалтаар андройд мобайл системийн хөнөөлт программыг илрүүлэх нь” *Г.Базарсүрэн, Б.Өсөхбаяр*	20
4.	“Detection and counting of grazing cattle from aerial image using CNN” *Bat-Orgil Battogtokh and Hugejiletu Nasanurt*	24
5.	“Гүн сургалтын алгоритм ашиглан алтны үнийн богино хугацааны таамаглал боловсруулах” *С.Дашзэвэг, М.Золжаргал*	30
6.	“Дуу хоолой таних систем” *Э.Адъяабат, С.Билэгдэмбэрэл, М.Баярпүрэв*	36

Бодит хугацаанд өнгөт зурагнаас гүний зураглалыг гаргах нь

Гантөмөрийн Онон
Мэдээллийн технологи, электроникийн сургууль
Монгол улсын их сургууль
Улаанбаатар, Монгол
20m1num0040@stud.num.edu.nm

Хорлоогийн Оюундолгор
Мэдээллийн технологи, электроникийн сургууль
Монгол улсын их сургууль
Улаанбаатар, Монгол
okhorloo@num.edu.mn

Хураангуй— Бодит орчинд байгаа зүйлс ажиглагчаас хэр хол эсвэл хэр ойр байгаа байршлыг тодорхойлоход гүний мэдээлэл чухал үүрэгтэй байдаг. Харин өнөөгийн өндөр нарийвчлалтай гүний зураг гарган авах аргачлалууд нь ярвигтай, нүсэр бүтэцтэй загвар дээр суурилдаг. Энэхүү судалгааны ажлаар бид энгийн вэб камераар авсан 2-хэмжээст өнгөт зурагнаас богино хугацаанд хэрхэн алдаа багатай гүний зураглалыг гарган авах аргачлалыг танилцуулна. Бид гүний хэмжилтийг хүчин чадал бага төхөөрөмж дээр ажилладаг байх зорилгын хүрээнд машин сургалтын Шилжүүлэн сургах аргыг ашиглан NYUv2 өгөгдлийн багц дээр сургалтыг хийв. Туршилт явуулах төхөөрөмжөөр мобайл төхөөрөмжийг сонгон авсан бөгөөд Шилжүүлэн сургах аргачлалаар гүний мэдээллийг бодит хугацаанд алдаа багатай тооцон гаргах боломжтой болохыг туршилтын үр дүнгээр харуулав.

Түлхүүр үг— гүн сургалт, гүний зураглал (depth map), гүний тооцоо (depth estimation) холболт алгасах арга (skip connection), шилжүүлэн сургах арга (transfer learning)

I. Удиртгал

Хүний харааны систем юмсын хоорондын зайг төвөггүй тогтоож, биднээс юмс аль нь хол, аль нь ойр байгааг хялбархан хэлж чаддаг. Компьютерт хүний ойлгодогтой адил нарийвчлалтайгаар юмсын зай, гүнийг тооцоолохын тулд төрөл бүрийн гүний мэдрэгчтэй тоног төхөөрөмжүүд болох LiDAR эсвэл Microsoft Kinect гэх мэт төхөөрөмжүүдийг ашигладаг. Гэвч эдгээр төхөөрөмжүүдийн өөрийн өртөг нь өндөр тул хэрэглээнд сайн нэвтэрч чадаагүй байна. Тиймээс хямд зардлаар энэхүү чадварыг компьютерт хэрхэн бий болгох вэ гэдэг асуудал компьютерийн ухааны салбарт чухлаар тавигддаг бөгөөд сүүлийн жилүүдэд гүн сургалтын (deep learning) аргад суурилсан гүний өгөгдлийг тооцоолох (depth data estimation), гүний зураглалыг гаргах (depth map) төрөл бүрийн алгоритмуудыг өргөнөөр ашиглах болсон. Гүний өгөгдөл, гүний зураглалыг тооцоолон гаргадаг болсноор өөрөө явагч робот төхөөрөмжээс эхлээд виртуал бодит байдал (virtual reality-VR) болон аугментэд реалити (augmented reality-AR)-д суурилсан хэрэглээний программуудад шинэ боломж, шинэ хувьслыг авчирсан. Цаашилбал, stable diffusion төрлийн зураг бүтээдэг моделиуд гүний зураглалыг ашиглан илүү тогтвортой зураг бүтээх чадамжтай болсон.

Гүний өгөгдөл боловсруулахад гарсан сүүлийн үеийн дэвшлийн үр дүнд тооцооллын нарийвчлал, тогтвортой байдал эрс сайжирсан хэдий ч шийдвэрлэх шаардлагатай тулгамдсан сорилтууд байсаар байна. Тухайлбал хүчин чадал багатай төхөөрөмжийн хувьд бодит хугацаанд гүний өгөгдлийг тооцоолоход хүндрэлтэй байсаар байна. Тиймээс бид энэхүү судалгааны өгүүллээр энгийн вэб камераар авсан өнгөт зурагнаас гүний зураглалыг гарган авах аргачлалыг танилцуулан турших зорилго дэвшүүлсэн. Бидний сонгон авсан гүн сургалтын Шилжүүлэн сургах арга нь чадал багатай төхөөрөмжийн хувьд гүний тооцооллыг алдаа багатай боловсруулах давуу талтай. Бид загвараа NYUv2 өгөгдлийн багц дээр сургаж, туршилтыг мобайл төхөөрөмжийн хувьд гүйцэтгэнэ.

Манай судалгааны ажлын зорилго нь гүний тооцооллын боловсруулалтыг бага хүчин чадалтай төхөөрөмж дээр алдаа багатайгаар бодит хугацаанд хийх явдал юм. Ингэснээр хүмүүсийн өдөр тутамдаа хэрэглэдэг мобайл төхөөрөмж буюу ухаалаг гар утасны энгийн камераар авсан зурагнаас гүний өгөгдлийг бодит хугацаанд тооцоолох боломжтой болох бөгөөд энэ нь AR, VR болон өөрөө явагч робот төхөөрөмжтэй ажиллах аппликейшнүүдийг хөгжүүлэхэд чухал дэмжлэг болно.

Энэхүү судалгааны ажил нь дараах бүтэцтэй. Судалгааны ажлын II хэсэгт сэдэвтэй холбоотой судалгааны ажлуудыг тоймлон, III хэсэгт судалгааны ажлын үндсэн аргачлал болох гүн сургалтын Шилжүүлэн сургах арга, судалгаанд ашигласан өгөгдлийн багцын тухай, IV хэсэгт туршилтын үр дүнг танилцуулж эцэст нь энэхүү ажлыг дүгнэнэ.

II. Холбоотой ажлууд

AR, VR-д суурилсан аппликейшнүүд болон өөрөө явагч робот төхөөрөмжийг удирдахад биетийн 3-хэмжээст загварыг сэргээн байгуулах шаардлага их гардаг. Практикт лазер болон IR буюу инфра улаан гэрлийн мэдрэгч бүхий төхөөрөмжийг ашиглан олон тооны өндөр чанартай өгөгдөл цуглуулж дараа нь нэг координатын системд бүртгэн нэгтгэх замаар геометр дүрслэлийг байгуулдаг. Үүнээс гадна сүүлийн жилүүдэд биетийн 3-хэмжээст геометр дүрслэлийг сэргээн байгуулахдаа CNN (буюу convolutional neural network)-д тулгуурласан нэг юмуу хоёр ороллтой өнгөт зураг буюу RGB зургуудаас гүнийг тооцоолох замаар сэргээн байгуулах аргыг түгээмэл ашиглах болсон .

Нэг ороллтой буюу нэг зураг ашиглан гүний өгөгдлийг тооцох CNN аргачлалуудын хувьд ([1], [2], [3]) нарийвчлал сайтай, өндөр чанартай үр дүн өгдөг боловч DenseNet169 [4] зэрэг хүнд архитектур дээр суурилсан байдаг нь бодит хугацаанд ажиллахад хүндрэл учруулдаг. Бидний гол зорилго бол бага хэмжээний архитектур ашиглан хүчин чадал багатай төхөөрөмж дээр алдагдал багатайгаар өндөр хурдаар дүрс гарган авах явдал юм.

Жонсон нарын судлаачид [5] хөнгөн архитектур ашиглах нь боловсруулах хурдыг мэдэгдэхүйц бууруулж,

ирмэг таних ажилд илүү тохиромжтой болохыг тогтоосон. Диана нарын судлаачид [2] цөөн параметртай MobileNetv3 ашиглан бодит хугацаанд гүний тооцоолол хийх аргыг танилцуулсан. Бид параметрийн тоог хэт бууруулахгүйгээр хурдан ажиллах чадвартай загвар олохыг зорьсон.

Нөгөөтэйгүүр олон талаас буюу өөр өөр өнцгөөр авсан зургуудаас гүний өгөгдлийг тооцоолох судалгааны ажлууд нэлээд их хийгдсэн байдаг [6]. Эдгээр судалгаанд өөр өөр өнцгөөс авсан зургуудыг харьцуулах болон дараалсан фрэймүүдийг мөшгөх замаар тооцох аргачлалуудыг санал болгодог. Гарсиа нарын судлаачид [7] орчноосоо аль болох их өгөгдөл цуглуулах нь төхөөрөмж дээр хэт ачаалал өгөхгүйгээр боловсруулах аргачлалыг боловсруулж, нэг өнцгийн хязгаарлагдмал байдлаас гарах оролдлого хийсэн байдаг. Энэхүү ажлаар бид нэг өнцгөөр авсан зургийн хувьд тооцооллыг сайжруулахаар зорьсон. Нэг өнцгийн тооцооллыг сайжруулах нь олон өнцгийн тооцоололд мөн тус болно гэж үзсэн. Мөн хязгаарлагдмал орчинд (жишээ нь зөвхөн нэг камертай төхөөрөмж ашиглаж байгаа тохиолдолд) нэг өнцгийн тооцоолол давуу талтай байх болно.

Их өгөгдлийн багц дээр өмнө нь сургагдсан моделийг өөр зорилгод тохируулан сургах аргачлалыг шилжүүлэн сургах гэж нэрлэдэг. Шилжүүлэн сургах аргачлалууд нь судалгааны явцыг хурдасгах болон илүү нарийн үр дүн гаргахад чухал хувь нэмэр оруулсан байдаг. Үүнтэй адилаар өмнө нь их хэмжээний өгөгдлийн багц дээр зураг ангилах зорилгоор сургагдсан энкодерт тухайлбал, холболт алгасах аргыг ашигласан тохиолдолд зургийн нарийвчлалыг хадгалахад эерэг нөлөө үзүүлдэг байна [8].

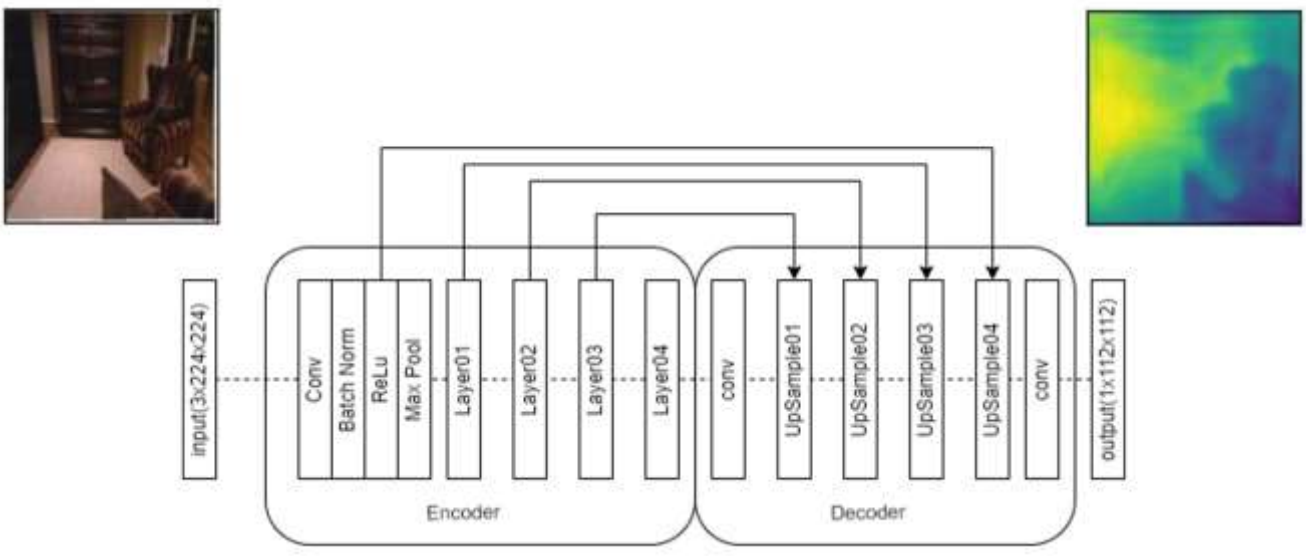
Сүүлийн үед энкодер-декодер (encoder-decoder) бүтэц нь зургийг сегментлэх, зургийн өнгийг сэргээх, нягтралыг нэмэгдүүлэх зэрэг дүрс боловсруулах ажлуудад ашиглагдах болсон. Энэхүү аргачлал нь гүнийг тооцоолох олон ажилд амжилттай ашиглагдсан [9]. Бид энэхүү судалгааны ажлаар энгийн энкодер-декодер бүтцийг Холболт алгасах аргатай хослуулан ашиглана (Зур. 1).

III. Аргачлал

Судалгааны энэхүү хэсэгт өнгөт зурагнаас хэрхэн гүний зураг гарган авсан аргачлал, архитектур бүтэц болон тэдгээрийг сонгосон шалтгааныг танилцуулна.

A. Архитектур

Өнгөт зургийг хувиргах гүний сургалтын архитектур нь энкодер болон дэкодер гэсэн 2 хэсгээс бүрдэнэ. Энкодер нь зургийн өгөгдлийг онцлогийн вектор болгоно. Хувиргагдсан векторыг декодер нэгтгэн гүний зургийг үүсгэнэ. Энкодерийн хувьд өмнө нь ImageNet өгөгдлийн багц [10] дээр сургагдсан Resnet50 [11] архитектур бүхий модель ашигласан. Resnet төрлийн архитектур нь Алзубайди нарын [12] хийсэн харьцуулалтаар зураг ялгах шалгуурын хувьд бусад архитектуртай харьцуулахад алдаа гаргах магадлал хамгийн бага байсан учраас энэ архитектурыг хамгийн зөв шийдэл гэж таамагласан. Өмнө сургагдсан моделийг ашигласнаар сургалтыг илүү хурдан хугацаанд явуулах боломжтой болсон. Декодерийн хувьд 4 давхар UpSample-аас бүрдэх ба тус бүр нь 2 давхар биллинар өргөтгөлийн (billinear upsample) давхаргаас бүрдсэн. Энкодерийн давхаргуудад зургийн дийлэнх нарийвчлал алдагддаг ба үүнээс сэргийлэхийн тулд холболт алгасах аргачлалыг ашигласан. Энэ аргачлал нь өмнөх давхаргуудад гарсан өгөгдлийг хадгалж дараагийн давхаргад нэмэх замаар сургалтыг илүү үр дүнтэй явуулахад тус болдог.



Зур. 1. Санал болгож буй гүний сургалтын ерөнхий архитектур. Зүүн талд энкодерийн бүтэц харин баруун талд декодерийн бүтцийг харуулав. Энкодероос декодер рүү чиглэсэн шугамаар Холболт алгасалтын замыг тэмдэглэв.

B. Алдааны функц (loss function)

Алдааны функц нь гүн сургалтын моделиос гарсан таамаг зураг (y) болон жинхэнэ зурагтай (y') харьцуулан хоорондын ялгааг тоон хэмжээгээр тодорхойлдог. Алдааны функцийг хэрхэн сонгохоос сургалтын үр дүн хамаардаг тул алдааны функц нь сургалтад чухал нөлөө үзүүлдэг. Олон боломжийг судалж үзсэний үр дүнд гүний зураглал гарган авах [1] судалгаанд ашиглагдсан функцийг алдааны функцээр сонгон ашигласан.

Жинхэнэ зураг болон гарган авсан зураг хоорондын ялгааг L үсгээр илэрхийлбэл:

$$L(y, y') = \lambda L_{depth}(y, y') + L_{ssim}(y, y') \quad (1)$$

Энд L_{depth} функц дараах байдлаар тодорхойлогдсон.

$$L_{depth}(y, y') = \frac{1}{n}\sum |y_p - y'_p| \quad (2)$$

L_{ssim} нь Structural Similarity (SSIM) буюу хоёр зургийн бүтцийн ойролцоо байдлын хэмжээсийн урвуу функцээр тодорхойлогддог. Өөрөөр хэлбэл,

$$L_{ssim}(y, y') = \frac{1-ssim(y,y')}{2} \quad (3)$$

Энд параметр λ -ийн утга 0.1 байхад хамгийн тохиромжтой болохыг олж тогтоосон.

C. Өгөгдлийн багц (Dataset)

1) NYUv2 өгөгдлийн багц

NYUv2 өгөгдлийн багц (Силберман нарын ажилд [13]) нь өнгөт камер болон Microsoft Kinect зэрэг төхөөрөмжөөр авсан сургалтад ашиглагдах 45,000 ширхэг зураг, моделийг тестлэх, хэмжихэд зориулагдсан 654 зурган дараалуудаас бүрдсэн багц юм. Зургийн хэмжээ нь 640 × 480 ба бидний гүний модель зургийг 224 × 224 хувирган оролтоор авч 112 ×112 гүний зургийг үүсгэнэ.

2) Өгөгдлийн баяжуулалт (Data augmentation)

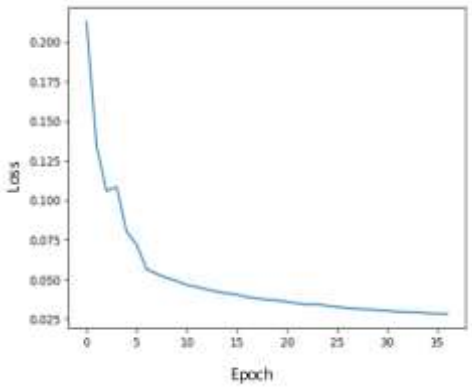
Сургалтын эцсийн бүтээгдэхүүн бодит орчны таашгүй хүчин зүйлд бэлэн байх ёстой. Тиймээс өгөгдлийн багц доторх зургуудад дараах өөрчлөлтүүдийг оруулж өгсөн.

- Санамсаргүй өнцөг (random rotation): Зургийг санамсаргүй өнцгөөр эргүүлнэ. Камерын өнцгийн өөрчлөлтөд тогтвортой ажиллах чадвартай байх шаардлагатай.
- Санамсаргүй тодрол (random brightness): Бодит орчинд янз бүрийн гэрэлтүүлэгтэй орчинд ажиллаж сургахад үр нөлөөтэй.
- Санамсаргүй эргүүлэг (random flip): зургийг толин тусгалаар эргүүлнэ. Энэ нь өгөгдлийн хэмжээг хоёр дахин нэмэгдүүлэх ба санамсаргүй эргүүлэлттэй хосолсноор илүү олон хувилбар үүснэ.

IV. Туршилтын үр дүн

A. Сургалтын үйл явц

Дээрх аргачлалыг Pytorch ашиглан NVIDIA GTR 2060 super 8GB санах ой бүхий график картан дээр сурган бэлтгэв. Сургалтыг 45,000 зурган дээр 40 (epoch) удаагийн давтамжтай 45 цагийн турш сургасан. Хэт тохируулгаас (overfitting) сэргийлэх үүднээс санамсаргүй эргүүлэг (random flip), санамсаргүй өнцгөөр (random rotation) зургуудыг хувиргасан. Энэ баяжуулалт нь давталт бүрт хийгдэнэ. Өөрөөр хэлбэл, сургалтын явцад яг нэг ижил зураг давтагдахгүй гэсэн үг. Сургалтад ADAM optimizer ашиглагдсан бөгөөд сургалтын давтамжийг (learning rate) 1e-4 байхаар тааруулсан (Зур. 2).



Зур. 2. Сургалтын явцын алдааны хэмжээний бууралт.

B. Хэмжилт

Бид аргачлалынхаа чанарыг дараах зургаан хэмжээсээр тогтоов. Алхасим нарын судлаачдын [1] ашигласан загварыг өөрсдийн загвартай харьцуулан тус бүрийг ижил орчинд 40 удаагийн давтамжтай сургасны дараах үр дүн дээр хэмжилт хийв. Эдгээр хэмжилтүүдээр моделоос гарган авсан үр дүнг бодит гүний зурагтай харьцуулж, улмаар гарч буй зөрүүг тоон хэмжээгээр илэрхийлэх зорилготой. Хэмжилтийн утгуудыг дараах томъёогоор тодорхойлов.

- Дундаж харьцангуй алдаа (*rel*): $\frac{1}{n}\sum_p^n \frac{|y_p - y'_p|}{y}$
- Дундаж квадрат алдаа (*rms*): $\sqrt{\frac{1}{n}\sum_p^n (y_p - y'_p)^2}$
- Дундаж алдаа (*log*10): $\frac{1}{n}\sum |\log_{10}(y_p) - \log_{10}(y'_p)|$
- Делта нарийвчлал (*delta accuracy*): $\max\left(\frac{y'_p}{y_p}, \frac{y_p}{y'_p}\right) = \delta < 1.25$

Үүнд y_p нь анхны гүний зураг y-гийн пиксель, y'_p нь гарч ирсэн гүний зураг y'-гийн пикселийг, n-ээр пикселийн нийт тоог тус бүр илэрхийлнэ. Хэмжилтийг гүйцэтгэхдээ NVIDIA GTR 2060 GPU Intel(R) Core (TM) i7-8700 CPU ашигласан. δ1 хэмжилт нь үр дүнгийн нарийвчлал бөгөөд хэмжилтийн утга их байх тусмаа сайн. GPU (fps), CPU (fps) утгууд нь нэг секундэд хэдэн фрейм (frame) зураг боловсруулж буйг илтгэх тоо бөгөөд утга нь их байх тусмаа сайн. Харин *rel*, *rms*, *log*10 утгууд нь гаргасан алдааны хэмжээг илэрхийлэх тул бага байх тусам чанартай үр дүн өгч байна гэж үзэж болно.



Зур. 3. Сургагдсан моделийг бодит хугацаанд дүрсэлсэн байдал. Зүүн талд өнгөт камерын дүрс, харин баруун талд ирсэн дүрсийн гүний өгөгдлөөс хамааруулж 3-хэмжээст орчинд цэгэн өгөгдлөөр харуулсан байдал.

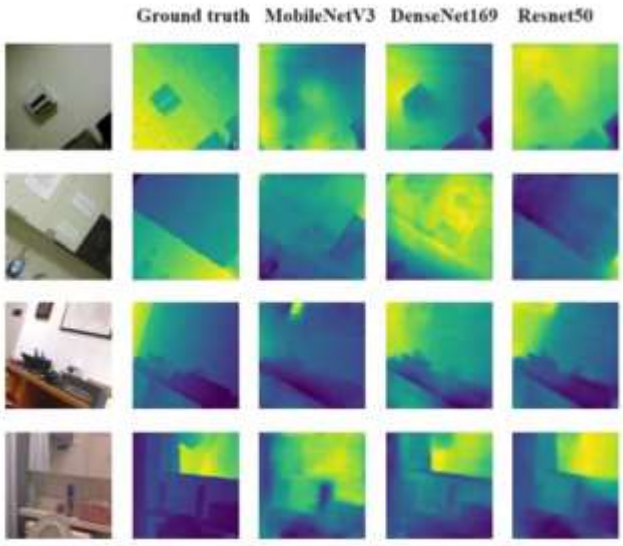
Доорх үзүүлэлтээс харахад архитектурын тогтолцоог хялбарчлахад чанарт сөргөөр нөлөөлөхгүй байгааг харуулж байна. Манай загвар илүү олон параметр ашигладаг боловч (14 саятай харьцуулахад хамаагүй олон буюу 25 сая) өмнөх загварын хэрэгцээгүй холболт тооцооллыг халж хаясnaар 2 дахин илүү хурдтай ажиллах боломжтой болсон.

ХҮСНЭГТ I. АРГАЧЛАЛУУДЫГ ХАРЬЦУУЛСАН ҮР ДҮН

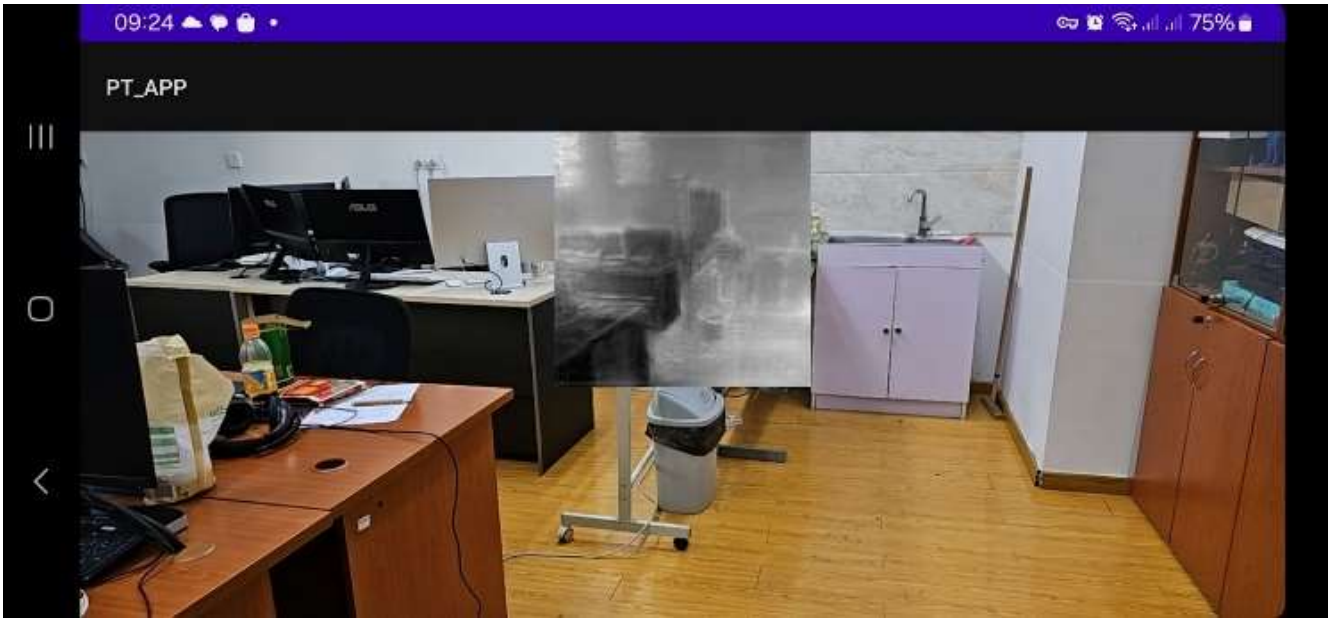
	***δ*1^**	***Rel***	***rms***	***log*10**	**GPU (fps)**	**CPU (fps)**
Densnet169 + Decoder (Алхасим нарын судлаачдынхаар [1])	53.28%	0.31	3.15	0.12	12.15	3.703
Resnet50 + Decoder (манай аргаар)	54.80%	0.2	1.35	0.11	25.01	7.14
MobileNetV3 + Decoder	44.2%	0.31	1.40	0.13	50	25

MobileNetV3-ийн гүйцэтгэлийн хурд өндөр байгаа нь найдвар төрүүлж байгаа боловч зургийн нарийвчлал хангалтгүй хэмжээнд байгаа нь цаашид илүү сайжруулах шаардлага байгааг харуулж байна. Зураг 4-т архитектуруудын үр дүнгийн харьцуулалтын харуулав.

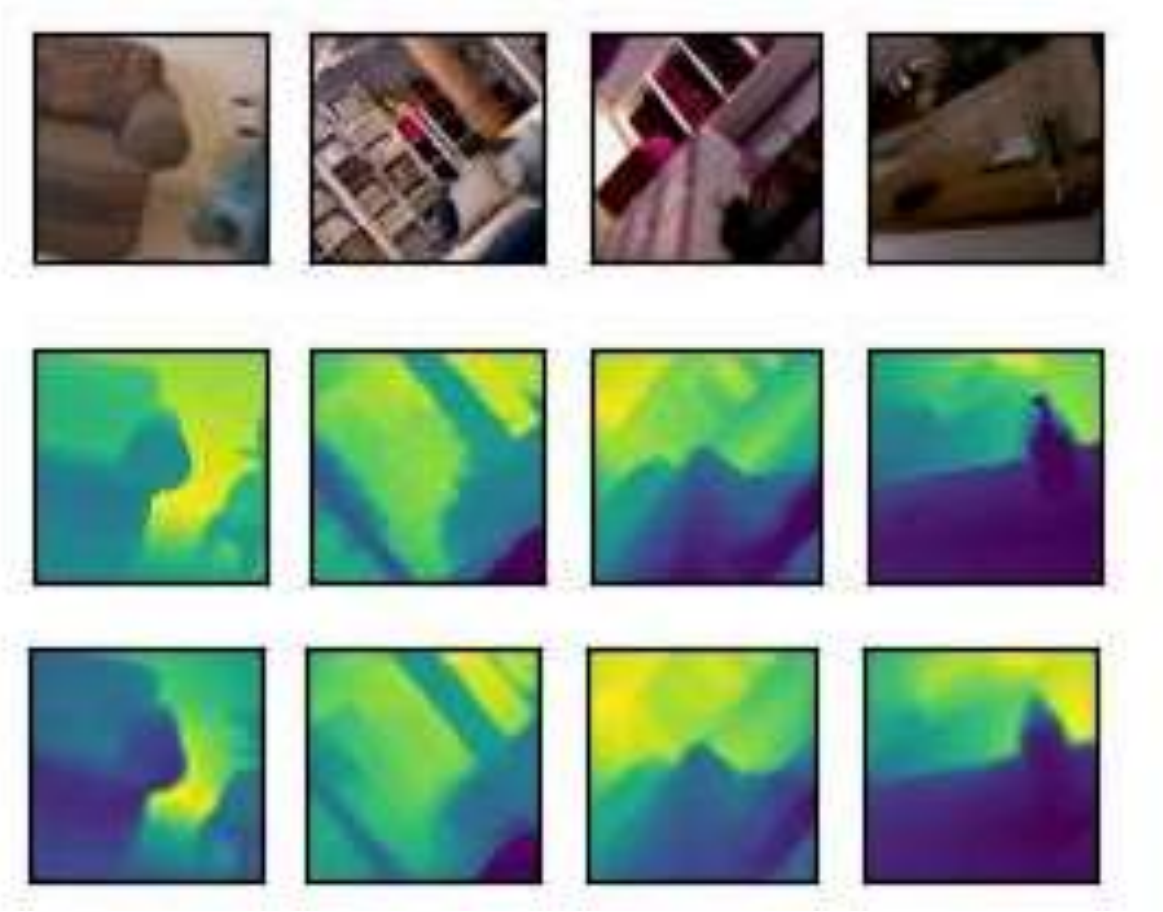
Сургагдсан моделийг бодит хугацаанд дүрсэлсэн байдлыг Зур. 3-т харуулсан бол Зур. 5 болон Зур. 6-д мобайл төхөөрөмж дээр ажиллуулсан туршилт болон өгөгдлийн багц болон бидний туршилтаар гарган авсан үр дүнгүүдийг тус тус харуулав.



Зур. 4. Аргачлалуудын үр дүнгийн харьцуулалт. 2-р баганад жинхэнэ гүний дүрс, 3-р багана MobileNetV3, 4-р багана DenseNet169, 5-р багана Resnet50



Зур. 5. Мобайл төхөөрөмж (Samsung Galaxy A72 8GB RAM) дээр ажиллуулсан туршилт. Зургийн дунд голын хэсэгт гүний мэдээллийг тооцоолсон үр дүнг харуулав. Обьект ажиглагчийн байрлалд ойр байх тусам харлах бөгөөд цайрах тусам объект хол байгааг илтгэнэ.



Зур 6. Өгөгдлийн багц болон эцсийн үр дүнг харьцуулсан байдал. 2-р мөрөнд бодит зураг (ground truth) 3-р мөрөнд судалгааны үр дүнг тус тус дүрслэн харуулав.

V. Дүгнэлт

Энэхүү судалгаагаар бид энгийн видео камераар авсан өнгөт зурагнаас гүний зураглал гарган авах үр дүнтэй аргачлалыг танилцууллаа. Туршилтад NYUv2 өгөгдлийн багцыг ашиглан гүн сургалтын Шилжүүлэн сургах аргын тусламжтай гүний зураглалыг үүсгэсэн. Туршилтын үр дүнгээс гүний зураглалыг тооцоолох манай сонгосон арга тооцооллыг алдаа багатай тооцоолох боломжтойн дээр хүчин чадал багатай төхөөрөмжийн хувьд бодит хугацаанд ажиллуулан ашиглах боломжтой болохыг харуулсан. Цаашдын судалгаанд гадна орчны зургууд дээр ажиллуулах чадварыг нэмэгдүүлэхийн тулд өөр бусад өгөгдлийн багцуудыг мөн туршиж үзэх шаардлагатай.

References

[1] Alhashim, I. and Wonka, P., 2018. High quality monocular depth estimation via transfer learning. arXiv preprint arXiv:1812.11941.

[2] Wofk, D., Ma, F., Yang, T.J., Karaman, S. and Sze, V., 2019, May. Fastdepth: Fast monocular depth estimation on embedded systems. In 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (pp. 6101-6108). IEEE.

[3] Smith, J., & Doe, A. (2023). "Adaptive Algorithms for Optimized Depth Map Resolution in Real-Time Applications." Journal of Computational Vision and Robotics, 35(4), 112-127.

[4] Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L. and Weinberger, K.Q., 2017. Densely connected convolutional networks. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 4700-4708).

[5] Johnson, R., & Lee, Y. (2023). "Towards Lightweight Neural Network Architectures for Edge Computing: A Comparative Study." International Journal of Smart Computing, 7(2), 201-216.

[6] Huang, P.H., Matzen, K., Kopf, J., Ahuja, N. and Huang, J.B., 2018. Deepmvs: Learning multi-view stereopsis. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 2821-2830).

[7] Garcia-Rodriguez, A., Martinez-del-Rincon, J., & Lopez-Granado, O. (2022). "Sparse Convolutional Neural Networks for Real-Time Depth Map Prediction." Journal of Real-Time Image Processing, 19(5), 1237-1251.

[8] Huang, X., Liu, S., & Zhang, W. (2022). "Cross-Modal Transfer Learning for Enhanced Depth Estimation in Low-Light Conditions." Sensors and Imaging, 23(3), 88-104.

[9] Godard, C., Mac Aodha, O. and Brostow, G.J., 2017. Unsupervised monocular depth estimation with left-right consistency. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 270-279).

[10] Russakovsky, O., Deng, J., Su, H., Krause, J., Satheesh, S., Ma, S., Huang, Z., Karpathy, A., Khosla, A., Bernstein, M. and Berg, A.C., 2015. Imagenet large scale visual recognition challenge. International journal of computer vision, 115, pp.211-252.

[11] He, K., Zhang, X., Ren, S. and Sun, J., 2016. Deep residual learning for image recognition. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 770-778).

[12] Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A.J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O., Santamaría, J., Fadhel, M.A., Al-Amidie, M. and Farhan, L., 2021. Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. Journal of big Data, 8, pp.1-74.

[13] Silberman, N., Hoiem, D., Kohli, P. and Fergus, R., 2012. Indoor segmentation and support inference from rgbd images. In Computer Vision–ECCV 2012: 12th European Conference on Computer Vision, Florence, Italy, October 7-13, 2012, Proceedings, Part V 12 (pp. 746-760). Springer Berlin Heidelberg.

Хүний бодлыг гүн сургалтын аргаар таних загварын судалгаа

Цэрэндондогийн Тэнгис
Электроникийн салбар
ШУТИС, МХТС
Улаанбаатар, Монгол
tengis@must.edu.mn

Лувсансамбуугийн Үүрцайх
Электроникийн салбар
ШУТИС, МХТС
Улаанбаатар, Монгол
uurtsaikh@must.edu.mn

Амарын Батмөнх
Электроникийн салбар
ШУТИС, МХТС
Улаанбаатар, Монгол
abatmunkh@must.edu.mn

Бат-Эрдэнийн Мөнхбаяр
Мэдээллийн Сүлжээ, Аюулгүй Байдлын салбар
ШУТИС, МХТС
Улаанбаатар, Монгол
munkhbayar.b@must.edu.mn

***Хураангуй* – Тархины EEG дохиог уншиж тайлах олон төрлийн судалгааны ажлууд хийгдсээр байна. Судалгаанд оролцож буй субьектуудын тархины дохио болон бодлыг ангилж таних нарийвчлал нь тухайн оролцогч тархины дохиогоо хэрхэн зөв дахин үүсгэхээс ихээхэн хамаардаг байна. Манай судалгааны гол цөм нь "Хараанаас хамааран үүссэн тархины дохио, бодол буюу төсөөлөл нь хүн бүрийн хувьд төсөөтэй байдаг уу?" гэсэн асуултын хариулт юм. Дээрх асуултанд хариулахын тулд 122 хүний хараанаас үүссэн тархины дохиог цуглуулж гүн сургалтын загвар үүсгэн эдгээрийг ангилах замаар тухайн бодлууд хэр төсөөтэй байна вэ гэдгийг судаллаа. Тус өгүүллээр дэлгэц дээрх дүрс (хайрцаг)-ийг 4 чиглэлд удирдахаар зориулсан Тархи-Компьютерын Интерфейс (BCI) бүхий гүн сургалтын загварыг хэрхэн хэрэгжүүлж, таван өөр бодлыг 91.%±2% нарийвчлалтай ангилах загварыг хэрхэн үүсгэсэн үр дүнг танилцуулж байна.**

Түлхүүр үгс – EEG, ICA, тархины дохио, удирдлага, BCI, хиймэл оюун, машин сургалт

I. Оршил

Сүүлийн жилүүдэд судлаачид тархины дохиог хэмжихэд зориулагдсан инвазив бус шинж чанартай электроэнцефалографи (EEG) технологид анхаарлаа хандуулж байна [1]. Энэ технологи нь тархины бичлэг хийхэд хялбар, нарийвчлал өндөр, тоног төхөөрөмжийн хувьд хямд байдаг [2, 3]. Тархины долгион нь 0.5-аас 100 мкВ хүртэлх далайцтай цахилгаан соронзон дохио бөгөөд давтамжийн үндсэн таван зурваст хуваагдана [2, 4-6]. Тархи-Компьютерийн Интерфейс (ТКИ буюу BCI) технологид тархины үйл ажиллагааг тайлахын тулд EEG дохиог ашигладаг бөгөөд энэ дохиог төхөөрөмж эсвэл програм хангамжийг удирдах зориулалттай команд болгон хөрвүүлдэг. BCI нь роботын технологи, харилцаа холбоо, тоглоомын салбар, эрүүл мэнд, боловсрол болон цэрэг зэвсэглэл зэрэг янз бүрийн салбарт ашиглагдаж, шинэ боломжуудыг авч ирж байна [7, 8]. Энэ чиглэлээр EEG-д суурилсан роботын удирдлага [9-14], тэргэнцэрийн удирдлага [5, 15], гэрийн автоматжуулалт [6, 16, 17], хиймэл гар [18] зэрэг олон судалгаа хийгдсэн байна. Инвазив бус аргаар олж авсан BCI дохио нь үндсэн өгөгдлийн хажуугаар нэмэлт шуугиануудыг агуулж байдаг ба энэ нь бичсэн дохионы нарийвчлалыг бууруулж байдаг. Нэмэлт шуугиануудад дараах зүйлсүүд ордог. Үүнд: нүд анивчих, нүдний хөдөлгөөн, нүүрний булчийн хөдөлгөөн, толгойн хөдөлгөөн, биеийн хөдөлгөөн, зүрхний цохилт, цахилгааны шугамын шуугиан болон бусад гадны төхөөрөмжийн цахилгааны соронзон шуугиан, төхөөрөмжийн өөрийн шуугиан зэрэг орно.

Хэрэглэгчийн хувьд BCI програмыг хэрэглэж хэвшихэд урт хугацаа шаарддаг. Үүнд тэднийг сургах, системийг ашиглахын тулд тархины дохиог удирдаж сурахад туслах зэрэг орно [19]. Үүнээс улбаалан зарим тохиолдолд хэрэглэгчдэд эдгээр системийг ашиглахад хүндрэлтэй байж магадгүй юм.

Аудио эсвэл тодорхой тархины эмгэгтэй холбоотой тархины хэв шинжийг тодорхойлох нь харьцангуй хялбар байдаг [2]. Гэсэн хэдий ч хараанаас үүсэх дохионоос тархинд юу болж байгааг ойлгох нь илүү хэцүү байдаг [2, 8, 19]. Хараанаас үүдэлтэй тархины үйл ажиллагааны EEG-д суурилсан бодлуудыг ангилах, нарийвчлалыг сайжруулах ажил, тодорхой үйл ажиллагааны явцад бодлуудыг тайлах судалгаа, ялангуяа BCI болон EEG-тэй холбоотой судалгаанууд үргэлжилсээр байна. Олон тооны судалгаанууд нь EEG-ээс хэмжсэн бодлыг ангилахад анхаарч байгаа бөгөөд, үүнд P300 онцгой хэв шинжийг илрүүлэх, тодорхойлох, таних зэрэг аргууд багтсан болно [3, 11, 18, 20].

Хугацаа, давтамжийн мужийн параметрүүд, долгионы хувиргалт, спектрийн тооцоолол, статистик хэмжигдэхүүнийг багтаасан олон янзын шинж чанаруудыг одоо байгаа судалгаанд идэвхтэй ашиглаж байна [3, 8, 10, 21-23]. Судалгаанаас үзэхэд BCI системд EEG-д суурилсан хэрэглээнд зориулсан ангилагч чухал үүрэг гүйцэтгэдэг ба үүнд, шугаман дискриминант анализ (LDA), квадрат дискриминант анализ (QDA), хиймэл нейрон сүлжээ (ANN), тулгуур вектор машин (SVM), KNN, шийдвэрийн мод зэрэг орно.

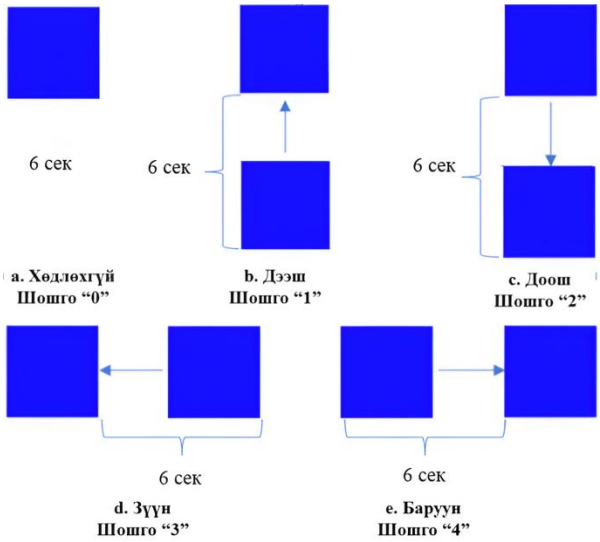
Гүн сургалтын олон загваруудыг нэвтрүүлсээр байгаа [2-4, 8, 12, 13] ба EEG өгөгдлийг ашиглан тархины үйл ажиллагааны хэв таних, ангилахад чиглэж байна. Гүн сургалт нь өөр өөр оролтыг ангилахын тулд FCNN, RNN, CNN зэрэг нейрон сүлжээг ашигладаг. Бидний судалгааны ажилтай ижил төсөөтэй судалгааг дараах судалгааны ажлуудаас харж болно [4, 8, 19, 23]. Олон судалгаанд [4-8, 9-13, 16, 23] оролцогчдын тоо цөөн бөгөөд цуглуулсан мэдээллийг голчлон тэдгээр оролцогчдод тусгайлан тохирсон системийг бий болгон ашигласан байна.

Бидний өмнөх судалгаа [7, 10] -нд бэлтгэгдсэн бодлуудаар үүсгэсэн ангиллын загварын нарийвчлал 97% хүрч байсан бөгөөд бэлтгээгүй хүн бидний загварыг ашиглан бодлыг ангилахыг оролдох үед асуудал үүсэж байна. Энэхүү судалгаагаар дараах зүйлсээр хувь нэмэр оруулж байна. Үүнд, 122 хүний 14 суваг бүхий 128 Гц дискретчилэлийн давтамжтай тархины бичлэгийг ашигласан EEG мэдээллийн багцыг боловсруулав. EEG дохиог бичих явцад толгойн хөдөлгөөн, нүдний хөдөлгөөн, нүд анивчих, нүүрний жижиг булчингийн хөдөлгөөн, биеийн хөдөлгөөн зэрэг зүйлсийг зөвшөөрсөн болно. Үүнээс гадна 122 хүний хараанаас хамааран үүссэн 5 төрлийн бодлыг 91% нарийвчлалтай ангилах гүн сургалтын загварыг үүсгэсэн болно.

II. EEG МЭДЭЭЛЭЛ ЦУГЛУУЛАХ БОЛОН УРЬДЧИЛАН БОЛОВСРУУЛАХ АЛХМУУД

Туршилтыг Emotiv EpocX-ийн 14 сувагтай толгойн өмсгөл ашиглан хийсэн. Өгөгдлийг секундэд 128 дискретчлэлийн алхмаар 16 битийн нарийвчлалтай бичсэн. Бодлуудыг өндөр нарийвчлалтай ангилахын тулд бодлын шинж чанарыг задлахын өмнө түүхий EEG дохиог урьдчилан боловсруулах шаардлага гарна. Шаардлагагүй мэдээллийг агуулсан сувгуудын нөлөөг арилгаснаар онцлог шинжүүдийн чанарыг нэмэгдүүлэх боломжтой байна. Энэхүү судалгаагаар электродуудыг (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4, болон нэмэлт 2 CMS/DRL, P3/P4 электродууд) 10-20 стандарт байршлын дагуу хуйханд байрлуулна. Энэ судалгаанд бид ямар ч сувгийг устгаагүй болно. EEG хэв шинжийг таних нарийвчлалыг сайжруулахын тулд илүү нарийвчлалтай хугацааны мужийг ашиглах шаардлагатай байдаг. Манай тохиолдолд бид бодлын нэг үеийг 6 секундийн хугацааны мужид авсан ба 6 секундийн хугацаанд 128 Гц давтамжтай бичсэн нэг бодлын хэмжээ нь (14 x 768) бөгөөд энд 14 суваг, 768 дээжээс бүрдэж байна.

Энэхүү туршилтад нийт 122 сайн дурынхан оролцсон бөгөөд манай судалгаанд 18-54 насны 34 эмэгтэй, 88 эрэгтэй хамрагдав. Бүх сайн дурынхан боловсролын төрөл бүрийн түвшинд байсан. Энэхүү судалгаанд хамрагдсан зарим оролцогчид харааны болон сонсголын бэрхшээлтэй байсан. Тархины дохионы хэмжилтийг эхлүүлэхийн өмнө асуулга авч, сэтгэлзүйн байдлыг 1-10 оноогоор үнэлэв. Энэхүү үнэлгээг цаашдын судалгаандаа бид хэрэглэх бөгөөд оролцогчийн сэтгэлзүйн байдал туршилтанд хэрхэн нөлөөлж болохыг тооцоход хэрэглэнэ. Оролцогчид толгой, нүүрний булчин, нүдний хөдөлгөөн, анивчих, ам, гар, биеийн бага зэрэг хөдөлгөөнийг зөвшөөрсөн. Энэхүү хэмжилтээр оролцогч дэлгэцийн өмнө сууж дэлгэцийн голд байрласан дөрвөлжин дүрс (хайрцаг) -ийг бодлоороо 4 зүг (дээш, доош, баруун, зүүн)-т хөдөлгөж удирдах болон огт хөдөлгөөнгүй байлгах гэсэн 5 төрлийн өгөгдлийг бичиж авсан. Хайрцгийг хөдөлгөөнгүй байлгах бодлыг бичихдээ дэлгэц дээрх цэнхэр хайрцгийг харж 6 секундийн турш энэ хайрцгийг хөдөлгөхгүй гэж бодно. Хайрцгийг хөдөлгөөнгүй байлгах бодлын шошго нь “0” байна. Хайрцгийг дээш хөдөлгөх бодлыг бичихдээ дэлгэц дээрх цэнхэр хайрцаг 6 секундийн турш аажим дээш хөдөлнө энэ үед оролцогч хайрцгийг дээш хөдөлгөж байна гэж бодно. Хайрцгийг дээш өргөх бодлын шошго нь “1” байна. Үүнтэй адилаар хайрцаг доош хөдлөх үед доош хөдөлгөх бодлын шошго нь “2”, зүүн тийш шошго нь “3”, баруун тийш бодлын шошго нь “4” тус тус байна. Нэг оролцогчоос бодол бүрээс 15 бичлэг хийсэн болно. Зураг 1-т дэлгэц дээр гарч буй хайрцгийн хөдөлгөөнийг үзүүлэв.



Зураг 1. Дэлгэц дээр гарч буй хайрцгийн хөдөлгөөн

Ийм байдлаар 122 субъектээс мэдээлэл цуглуулсан бөгөөд үр дүнд нь хайрцгийн хөдөлгөөнийг удирдах тус бүр 6 секунд үргэлжилсэн 5 бодлыг бичиж авсан. Цуглуулсан бодлын төрөл, хэмжээг доорх Хүснэгт 1-д үзүүлэв.

Хүснэгт I. Цуглуулсан өгөгдөл

Бодлын төрөл	Шошго	Тоо
Хайрцгийг хөдөлгөхгүй	0	1830
Хайрцгийг дээш хөдөлгөх	1	1830
Хайрцгийг доош хөдөлгөх	2	1830
Хайрцгийг зүүн хөдөлгөх	3	1830
Хайрцгийг баруу хөдөлгөх	4	1830
НИЙТ		**9150**

EEG дохионы шуугиан гэж тархинаас гаралтай бус дохионуудыг хэлэх бөгөөд тархины үйл ажиллагааг ойлгоход хүндрэл учруулдаг юм. EEG дахь шуугиан нь дотоод болон гадны байж болно. Жишээ нь, нүдний хөдөлгөөн, булчингийн үйл ажиллагаа г. м. хүний хөдөлгөөнөөс гардаг дохио юм. Гадны шуугиан нь 220В шугамын шуугиан, электродын шилжилт г. м. дохиог хэлнэ. Эдгээр шуугианууд ыг арилгах янз бүрийн арга замыг олон судалгаанд [3, 10, 21] санал болгосон байдаг. Статистикийн арга болгон ашигладаг Үл хамаарах Бүрэлдэхүүний шинжилгээ (ICA - Independent Component Analysis) нь EEG дохиог урьдчилан боловсруулахад шуугианыг арилгах арга болгон хэрэглэж байна [3, 5]. Үүнээс гадна Үндсэн Бүрэлдэхүүний шинжилгээ нь (PCA- Principal Component Analysis) ач холбогдол багатай хэсгүүдийг цөөрүүлэх замаар шуугианыг багасгаснаар өгөгдлийг хялбарчлахад тусалдаг аргуудыг өргөнөөр хэрэглэж байна [3, 16, 23].

Энэхүү судалгаанд урьдчилсан боловсруулалтыг дараах алхмуудаар гүйцэтгэсэн болно.

Нэгдүгээрт, EEG өгөгдлийн бүх электродуудад нийтлэг суурь утгыг тогтоохын тулд дундаж тулгуур утгыг ашигласан. Энэ нь нийтлэг шуугианыг багасгахад тусалдаг бөгөөд цаашдын дүн шинжилгээ хийхэд байнгын тулгуур цэг болдог. Энд *Xi(t)* нь *t* үед *i*-р электродын бичигдсэн хүчдэлийг илэрхийлнэ. Дундаж тулгуур утгыг хэрэглэсний дараа электрод бүрийн хүчдэлийг тухайн үеийн бүх электродын дундаж хүчдэлийн дагуу тохируулна. Энэ тохируулгыг дараах байдлаар илэрхийлж болно:

$$X_{avg}(t) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i(t) \quad (1)$$

Энд, $X_{avg}(t)$ нь t хугацааны дундаж тулгуур утгыг хэрэглэсний дараах хүчдэл, N нь нийт электродын тоо юм.

Хоёрдугаарт, EEG дохиог зурвас нэвтрүүлэх шүүр ашиглан хугацааны мужид шүүсэн. EEG дохиог 4-40 Гц давтамжийн мужид шүүх нь үндсэндээ янз бүрийн төрлийн шуугианыг шүүж, сонирхсон мэдрэлийн үйл ажиллагааг хадгалахад чиглэнэ. Энд, энэ давтамжийн мужид шүүж багасгаж, арилгах боломжтой шуугианы нийтлэг төрлүүд нь:

- Цахилгаан шугамын хөндлөнгийн оролцоо (50/60 Гц): Цахилгааны шугам болон цахилгаан тоног төхөөрөмжийн цахилгааны шуугиан нь EEG дохиог бохирдуулдаг. Цахилгаан сүлжээнээс гаралтай 50/60 Гц давтамжийн бүрэлдэхүүн хэсэг нь EEG дохионы шуугианы нийтлэг эх үүсвэр юм.
- Булчингийн нөлөө (EMG): Электромиографийн (EMG) нөлөө гэж нэрлэгддэг булчингийн цахилгаан үйл ажиллагаа нь EEG бичлэгт, ялангуяа хөдөлгөөн эсвэл булчин чангарах үед гарч ирдэг.
- Нүдний хөдөлгөөний нөлөө (EOG): Нүдний хөдөлгөөн, анивчих нь EEG бичлэгийг бохирдуулах цахилгаан дохио үүсгэдэг. Электрокулографийн (EOG) нөлөө гэж нэрлэгддэг нүдний хөдөлгөөний эдгээр шуугиан нь ихэвчлэн доод давтамжийн мужид тохиолддог.
- Хүрээлэн буй орчны шуугиан: Ойролцоох төхөөрөмжийн цахилгаан, соронзон нөлөөлөл, хүрээлэн буй орчны цахилгаан үйл ажиллагаа зэрэг янз бүрийн эх үүсвэрүүд нь EEG бичлэгт шуугиан үүсгэдэг.
- Электродтой холбоотой шуугиан: Электрод нь хуйханд сул холболт үүсгэх эсвэл электродын хөдөлгөөн нь EEG бичлэгт өндөр давтамжийн шуугиан эсвэл үе үе тасалдал үүсгэдэг.

Гуравдугаарт, бид бодол бүрийн дунджийг тооцоолсон. Бодол бүр 6 секундийн үргэлжилсэн тархины дохионы бичлэгээс бүрдэх ба үүнийг “эпок” гэнэ. Дундаж хэмжигдэхүүнийг хугацааны хэмжигдэхүүнээр үүсгэнэ. Бодлын дунджийг бүх бодлуудын харгалзах элементүүдийг нэгтгэж, нийт бодлын тоонд хуваах замаар тооцно. Энд бид 5 төрлийн бодлын тус тусын дунджийг тооцоолно.

$$A_{t,ch} = \frac{\sum_{i=1}^{N} E_{i,t,ch}}{N} \quad (2)$$

Энд E_i нь эпок, i нь эпокийн индекс, t нь хугацааны индекс, ch нь сувгийн индекс юм. $A_{t,ch}$ нь эпок үеүдийн дундаж дахь t үеийн утга ба ch нь сувгийн индексийг илэрхийлнэ. N нь нийт эпокийн тоо юм. Энэ тооцооллын дараа бид хайрцаг хөдөлгөхгүй $A_{_no}$, хайрцгийг дээш хөдөлгөх $A_{_up}$, хайрцгийг доош хөдөлгөх $A_{_down}$, хайрцгийг зүүн хөдөлгөх $A_{_left}$, хайрцгийг баруун хөдөлгөх $A_{_right}$, таван бодлын дунджийг олж авна.

Дөрөвдүгээрт, тодорхой бодол бүрээс дундаж бодлыг хасна (3-7).

$$E_{no,i} = E_{no,i} - A_{_up} - A_{_down} - A_{_left} - A_{_right} \quad (3)$$

$$E_{up,i} = E_{up,i} - A_{_no} - A_{_down} - A_{_left} - A_{_right} \quad (4)$$

$$E_{down,i} = E_{down,i} - A_{_up} - A_{_no} - A_{_left} - A_{_right} \quad (5)$$

$$E_{left,i} = E_{left,i} - A_{_up} - A_{_down} - A_{no} - A_{_right} \quad (6)$$

$$E_{right,i} = E_{right,i} - A_{_up} - A_{_down} - A_{_left} - A_{_no} \quad (7)$$

Эцэст нь, орон зайн мужийн шүүлтүүр, ICA-г бодол тус бүрт ашигласан. ICA шинжилгээ нь 4 бие даасан бүрэлдэхүүн хэсгийг тодорхойлох зорилготой юм. ICA тохиолдолд 1-ээс 14 хүртэлх тооны бие даасан бүрэлдэхүүнийг тодорхойлох боломжтой боловч туршилтаар 4 бүрэлдэхүүнийг сонгох нь оновчтой байна гэж үзлээ. Энд нүдний дээш, доош болон баруун, зүүн хөдөлгөөнүүд орно. Бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн тоо нь хэрэглэгчийн тодорхойлох параметр юм. Бид бүх сувгаас хорт нөлөө эсвэл шуугиан гэж үзсэн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг хассан.

ICA шинжилгээг дараах байдлаар илэрхийлж болно:

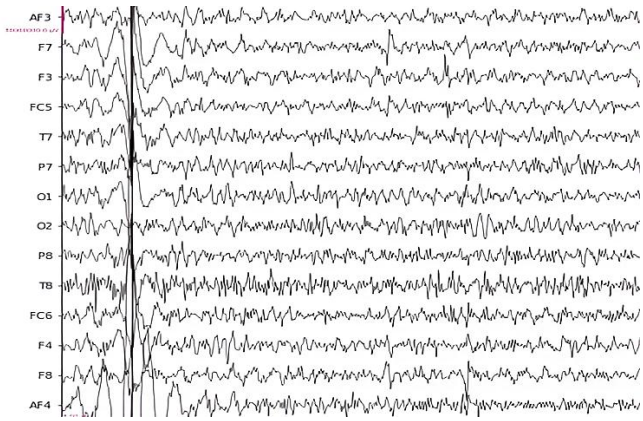
$$X = AS \quad (8)$$

Энд X нь EEG өгөгдлийг илэрхийлэх $m \times n$ матриц бөгөөд m нь сувгийн тоо, n нь хугацааны утгуудын тоо юм. A нь $m \times m$ холих матриц, S нь бие даасан бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг илэрхийлэх $m \times n$ матриц юм. Тэгшитгэл (8) нь анхны өгөгдөл X нь S бие даасан бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн холимгоос бүрддэг бол A нь эдгээр бүрэлдэхүүн хэсгүүд хэрхэн холилдсоныг харуулна. ICA шинжилгээг хийсний дараа, дараагийн алхам нь нөлөө эсвэл шуугианы бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг тодорхойлох, хасах явдал юм. Цэвэрлэсэн EEG-ийн өгөгдлийг дараах байдлаар гарган авч болно:

$$X_{clean} = X - AS_{exclude} \quad (9)$$

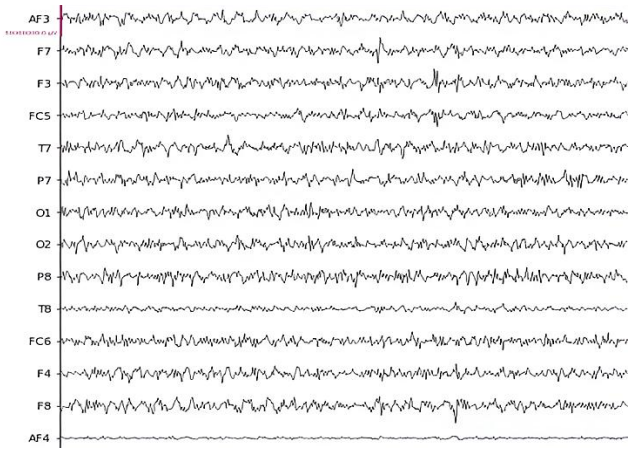
Энд $S_{exclude}$ нь $m \times p$ хэмжээс бүхий хасагдсан бие даасан бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг агуулсан матриц бөгөөд m нь сувгийн тоо, p нь хасагдсан бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн тоо юм. Энэ нь тодорхойлогдсон нөлөө эсвэл шуугианы бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг ICA аргыг ашиглан анхны EEG өгөгдлөөс устгах бөгөөд үүгээр урьдчилсан боловсруулалтыг шат дуусна.

Зураг 2-т тархины бичлэгийн түүхий өгөгдлийг харуулав. Уг дохионы эхний хэсэгт нүдний анивчилт үүссэн болохыг харж болно. Энэхүү анивчилт бүх сувагт бичигдэж бидний хувьд шуугиан болж байна.



Зураг 2. Түүхий тархины бичлэг, нүд анивчсан үед

Нүдний анивчилтаас үүссэн шуугианыг ICA хэрэглэн шүүсэн үр дүнг Зураг 3-т харуулав.



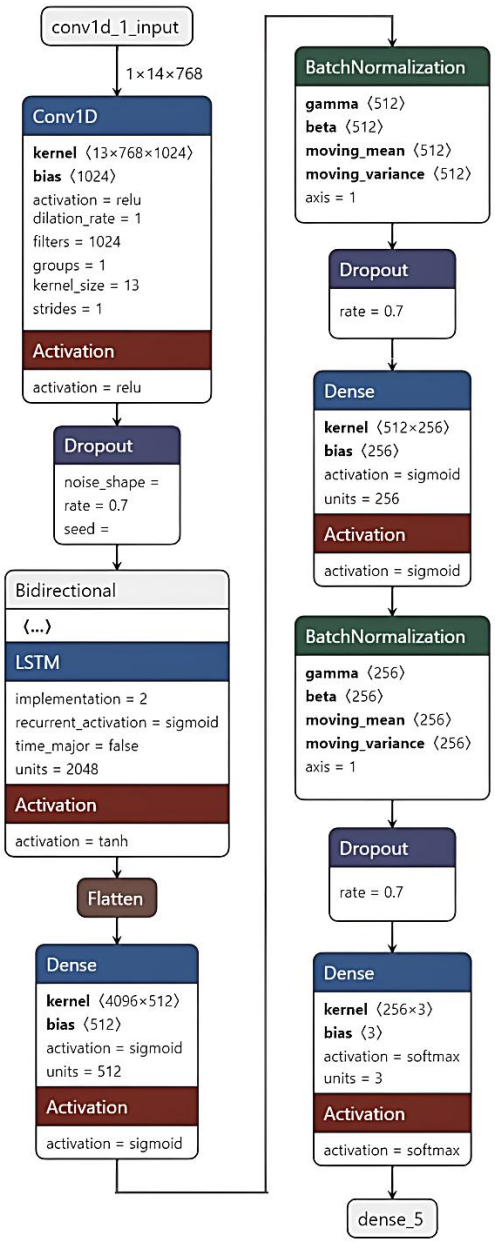
Зураг 3. Нүд анивчилтыг шүүсэн үеийн дохио

III. Санал болгож буй загвар ба үр дүн

Машины сургалт, хиймэл оюун хурдацтай хөгжихийн хэрээр EEG-д дүн шинжилгээ хийх, тооцоолох нь ихээхэн сайжирсаар байна. Энэ нь тархины үйл ажиллагааг ойлгох, хэв шинжийг таних чадварыг ихээхэн сайжруулсан болно. CNN нь EEG өгөгдлийн хугацааны хувьд статик мэдээллийг авдаг бол нэг чиглэлтэй RNN нь өнгөрсөнд анхаарлаа төвлөрүүлж, ирээдүйн динамик мэдээллийг орхигдуулдаг. Объектыг ангилахад тархины цахилгаан идэвхжилт нь одоогийн хариу үйлдэлтэй өнгөрсөн болон ирээдүйн үйл ажиллагаатай нь динамикаар холбогддог. LSTM нь өнгөрсөн эсвэл ирээдүйгээс үл хамааран EEG дараалал дахь холболтыг барьж, одоогийн төлөвтэй холбоход ашиглагддаг.

Урьдчилсан боловсруулалтын дараа тархины бүх бичлэгүүдийг нэгтгэж, дараа нь бичлэгүүдийн дарааллыг санамсаргүйгээр өөрчилсөн. Бичлэгүүдийн дарааллыг санамсаргүй болгох нь гүн сургалтын загварыг өгөгдлийн дарааллаас хамаарсан гажуудлаас сэргийлэх юм. Загвар нь сургалтын явцад янз бүрийн жишээтэй тулгарах замаар илүү сайжирч энэ нь бодлын ерөнхий хэв шинжийг таньж сурдаг.

Манай өгөгдлийн багцыг сургалт, баталгаажуулалт, туршилтын багц болгон хуваасан бөгөөд эдгээр тус бүрийг 80%, 10%, 10% гэсэн харьцаатай хуваарилав. Бид гиперпараметрийг өөрчлөх замаар янз бүрийн загваруудыг туршиж үзлээ. Зураг 4-т бидний боловсруулсан загварыг харуулж байна. Гүн сургалтын загварыг Python программ хангамжаар хэрэгжүүлсэн болно.



Зураг 4. Санал болгож буй гүн сургалтын загвар

Загварын эхний давхаргад өгөгдлийн дарааллаар локал хэв шинжийг сурахын тулд 1D CNN ашигласан. Энэ давхарга нь 1024 шүүлтүүртэй бөгөөд тус бүр нь дараалсан 13 онцлогийг гаргана. ReLU идэвхжүүлэх функцийг загварт шугаман бус байдлыг нэвтрүүлэхийн тулд ашиглав.

Conv1D давхаргын дараа загварт 0.7-ийн харьцаатай Dropout давхарга нэмэгдэнэ. Энэ нь загварыг илүү бат бөх болгоход түлхэц өгч, тодорхой нейронуудад хэт их найдахаас сэргийлж, шинэ, үл үзэгдэх өгөгдлийг нэгтгэн дүгнэх чадварыг сайжруулдаг.

Загварын Dropout давхаргын дараа хоёр чиглэлтэй LSTM давхаргыг ашигласан. Энэ давхарга нь хоёр чиглэлтэй боловсруулалтыг хийдэг бөгөөд 2048

нэгжийг багтаасан. Нэмэлтээр, 0.1-ийн торгууль бүхий L2 тохируулгыг хэрэглэж, хэт том жинг саармагжуулж, загвар нь хэт тохирох (overfitting)-д тэсвэрлэх чадварыг сайжруулна. Хоёр чиглэлтэй шинж чанар нь LSTM-д түр зуурын хамаарлыг урагш болон хойшоо аль алинд нь олж авах боломжийг олгодог бөгөөд дараалалд суурилсан даалгавруудыг үр дүнтэй болгоход хувь нэмэр оруулдаг.

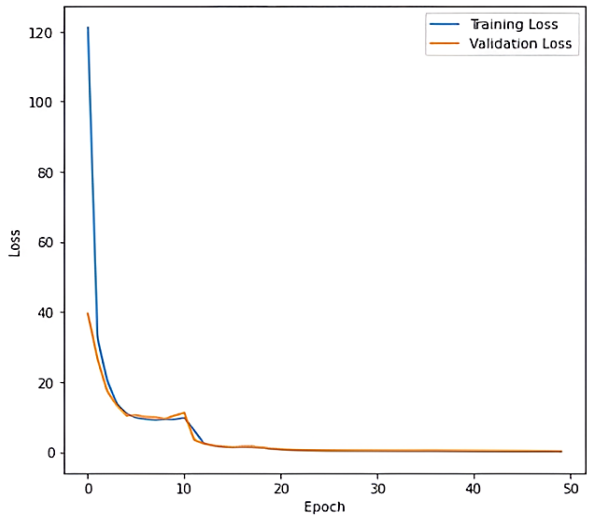
Хоёр чиглэлт LSTM давхаргын дараа Flatten давхаргыг загварт оруулсан болно. Энэ давхарга нь олон хэмжээст хоёр чиглэлтэй LSTM-ийн гаралтыг нэг хэмжээст массив болгон хувиргадаг. Үүний зорилго нь LSTM-ийн олж авсан түр зуурын шинж чанаруудыг задлах замаар дараагийн нягт давхаргуудын өгөгдлийг бэлтгэх явдал юм.

Flatten давхаргын дараа манай загвар нь Dense давхаргыг агуулж, үүнийг дагаад Batch нормчлол болон Dropout давхаргыг агуулна. Эхний Dense давхарга нь 512 нейронтой, сигмойд идэвхжүүлэх функцтэй ба Dropout нь 0.7-ийн харьцаатай байна. Хоёр дахь Dense давхарга нь 256 нейронтой, сигмойд идэвхжүүлэх функцтэй ба Dropout нь 0.7-ийн харьцаатай байна. Энэхүү дараалсан хослол нь онцлог шинж чанарыг судлах, ерөнхийд нь нэгтгэх, хэт тохирохоос урьдчилан сэргийлэх зорилготой юм.

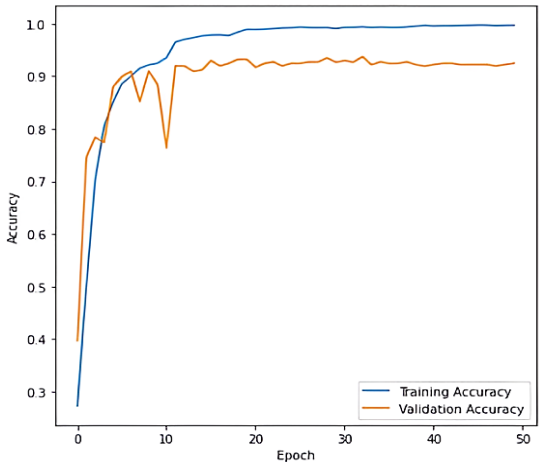
Загварын эцсийн давхарга нь 3 нэгж бүхий Dense давхарга бөгөөд гаралтын ангиллыг илэрхийлнэ. Энэ нь softmax идэвхжүүлэх функцийг ашигладаг бөгөөд загвар нь гурван ангиллын магадлалын тархалтыг гаргана.

Нейрон сүлжээний загварыг сургах ажлын хүрээнд "оновчлол" ба "алдаа" болох хоёр чухал бүрэлдэхүүнийг тодорхойлох нь чухал байдаг. Бид стохастик градиентийн (SGD) хувилбар болох Adam optimizer-ийг ашиглав. Адам нь AdaGrad болон RMSProp-ийн давуу талуудыг өөртөө шингээсэн бөгөөд уламжлалт SGD-тэй харьцуулахад илүү хурдан, үр дүнтэй сургалтын хурдыг динамикаар тохируулдаг. Бид 'categorical_crossentropy'-г олон ангиллын хувьд алдааны функц болгон ашигласан. Энэ функц нь бодит болон таамагласан гаралтын хоорондох кросс-энтропийн алдагдлыг тооцоолдог. Бид 32 багцын хэмжээтэй 50 эпок явуулсан.

Зураг. 5-д сургалт, баталгаажуулалтын алдааг харуулсан бол Зураг 6-д нь нарийвчлалыг харуулж байна.

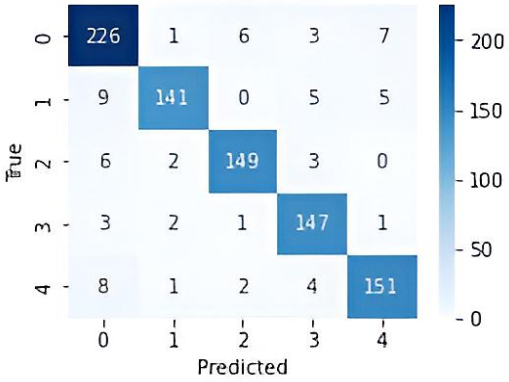


Зураг 5. Сургалт, баталгаажуулалтын алдаа



Зураг 6. Сургалт, баталгаажуулалтын нарийвчлал

Зураг 7-д ангиллын загварын гүйцэтгэлийг харуулсан болно.



Зураг 7. Төөрөгдлийн матриц

Ангиллын тайланг Хүснэгт 2-д үзүүлэв.

Хүснэгт 2. Ангиллын тайлан

Шошго	Precision	Recall	F1-score	Support
0	0.88	0.93	0.90	470
1	0.93	0.91	0.92	319
2	0.92	0.89	0.90	324
3	0.91	0.91	0.91	326
4	0.95	0.93	0.94	326
Нарийвчлал			0.91	1765
Дундаж нар.	0.92	0.91	0.92	1765
Жинэлсэн нар	0.91	0.91	0.91	1765

IV. Дүгнэлт

Энэхүү өгүүллээр, дэлгэц дээрх дүрсийг бодлоор удирдан хөдөлгөх, эдгээр бодлыг ангилах зориулалт бүхий гүн сургалтын загварыг туршсан үр дүнг танилцууллаа. Туршилтын орчинтой танил бус, сайн дурын 122 хүний EEG мэдээллийг цуглуулж энэхүү мэдээллийг ангилан боловсруулах туршилтыг уг загвар дээр хийж туршив.

Судалгаанаас харахад, хүний хараанаас үүссэн мэдээлэл болон хийсвэрээр бодсон тархины дохио харилцан төсөөтэй ба EEG-д суурилсан ангиллыг хийх боломжтой болохыг харж болно. EEG дохионы шуугиан, нөлөөлөлтэй холбоотой асуудлуудаас үл хамааран манай загвар 91% ±2% ангиллын нарийвчлалд хүрч чадлаа. Энэ үр дүн нь BCI технологид суурилсан EEG-ийг объектын удирдлага г.м. хүртээмжтэй, хэрэглэгчдэд ээлтэй хэрэглээнд ашиглах боломжтойг харуулж байна.

Энэхүү судалгааны үр дүнд төрөл бүрийн бүлгийн хүмүүсийн шошготой бичлэг бүхий EEG өгөгдлийн санг боловсруулав. Мөн BCI хэрэглээнд зориулсан гүн сургалтын архитектурыг хэрэгжүүлсэн болно. Урьдчилсан боловсруулалтыг хийгээгүй үед бодлыг 60% ангилж байсан бол дундаж тулгуур утга, зурвас нэвтрүүлэх шүүлтүүр, ICA гэсэн урьдчилсан боловсруулалтын үе шатуудыг хэрэглэснээр EEG дохионы чанар сайжирч, ангиллын нарийвчлал өсөх чухал үүрэгтэй болохыг батлав.

Цаашид бидний үүсгэсэн мэдээллийн санд тулгуурлан гадны нөлөөг арилгах, шинж чанарыг задлах г.м EEG өгөгдөлтэй холбоотой тодорхой асуудлуудыг шийдвэрлэхийн тулд нэмэлт урьдчилсан боловсруулалтын математик - арга зүйг гүнзгий судлах боломжтой болно. Түүнчлэн, санал болгож буй загварыг бодит байдалд судлах нь илүү өргөн хүрээнд нэвтрүүлж хэрэгжүүлэх практик чухал ач холбогдолтой юм.

Эцэст нь дүгнэхэд, манай судалгаа нь BCI системд суурилсан EEG-ийн хүртээмж, ашиглалтыг сайжруулахад хувь нэмэр оруулж, хүн-компьютерийн харилцаа, туслах технологи болон бусад салбарт олон төрлийн хэрэглээний үүд хаалгыг нээж өгч байна гэж үзлээ.

Манай EEG мэдээллийн багцыг GitHub.com /https://github.com/munkh0724/EEG-Datasets / дээрх холбоосоос татаж авах боломжтой.

Талархал

Санхүүгийн дэмжлэг үзүүлсэн Монгол Улсын Засгийн газар, Боловсрол, шинжлэх ухааны яам, Монголын шинжлэх ухаан, технологийн санд чин сэтгэлийн талархалаа илэрхийлье.

Ном зүй

[1] P. Lahane, J. Jagtap, A. Inamdar, N. Karne and R. Dev, “A review of recent trends in EEG based Brain-Computer Interface,” 2019 International Conference on Computational Intelligence in Data Science (ICCIDS), Chennai, India, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCIDS.2019.8862054.

[2] A.Fares, Sh. Zhong, & J.Jiang, “EEG-based image classification via a region-level stacked bi-directional deep learning framework,” BMC Med Inform Decis Mak 19 (Suppl 6), 268 (2019). https://doi.org/10.1186/s12911-019-0967-9

[3] W. Zhang, C. Tan, F. Sun, H. Wu, B. Zhang, “A Review of EEG-Based Brain-Computer Interface Systems Design,” Brain Science Advances. 2018;4(2):156-167. doi:10.26599/BSA.2018.9050010.

[4] J.Katona, A. Kovari, “EEG-based Computer Control Interface for Brain-Machine Interaction”, nternational Journal of Online Engineering. 2015 Dec 1;11(6).

[5] A. T. Azar, V.E. Balas, T. Olariu, “Classification of EEG-based brain–computer interfaces”. Advanced Intelligent Computational Technologies and Decision Support Systems 2024, 97-106.

[6] F. Lotte, L. Bougrain, M. Clerc, “Electroencephalography (EEG)-based brain-computer interfaces”. Wiley encyclopedia of electrical and electronics engineering, 2015, 44.

[7] T. Tengis, L. Uurtsaikh, B. Munkhbayar, A. Batmunkh, “Making Thoughts Real-a Machine Learning Approach for Brain-Computer Interface Systems”, International journal of internet, broadcasting and communication: IJIBC. 2023;15(2):124-32.

[8] C. Spampinato, S. Palazzo, I. Kavasidis, D. Giordano, N. Souly, M. Shah, “Deep learning human mind for automated visual classification”. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2017 (pp. 6809-6817).

[9] A. Mishra, N. Raj, G. Bajwa, “EEG-based image feature extraction for visual classification using deep learning”. In International Conference on Intelligent Data Science Technologies and Applications (IDSTA) 2022 (pp. 181-188). IEEE.

[10] Bi, L., Fan, X. A., & Liu, Y. “EEG-based brain-controlled mobile robots: a survey”. IEEE transactions on human-machine systems, 2013, 43(2), 161-176.

[11] T. Chakraborti, A. Sengupta, D. Banerjee, A. Konar, S. Bhattacharyya, A. Khasnobish, R. Janarthanan, “Implementation of EEG based control of remote robotic systems”. In 2011 International Conference on Recent Trends in Information Systems (pp. 203-208). IEEE.

[12] P. P Roy, P. Kumar, V. Chang, “A hybrid classifier combination for home automation using EEG signals”, Neural Computing and Applications, 2020, 32, 16135-16147.

[13] C. Ieracitano, N. Mammone, A. Hussain, F. C. Morabito, “A novel explainable machine learning approach for EEG-based brain-computer interface systems”. Neural Computing and Applications, 2022, 34(14), 11347-11360.

[14] Y. Chae, J. Jeong, .S .Jo, “Toward brain-actuated humanoid robots: asynchronous direct control using an EEG-based BCI” IEEE Transactions on Robotics, 2012, 28(5), 1131-1144.

[15] C. T. Lin, F. C. Lin, S. A. Chen, S. W. Lu, T. C. Chen, L. W.Ko, “EEG-based brain-computer interface for smart living environmental auto-adjustment”. Journal of Medical and Biological Engineering, 2010, 30(4), 237-245.

[16] F. Lotte, L. Bougrain, A. Cichocki, M. Clerc, M. Congedo, A. Rakotomamonjy, F. Yger, “A review of classification algorithms for EEG-based brain–computer interfaces: a 10 year update”, Journal of neural engineering, 2018, 15(3), 031005.

[17] J. Meng, S.Zhang, A. Bekyo, J. Olsoe, B. Baxter, B. He, “Noninvasive electroencephalogram based control of a robotic arm for reach and grasp tasks”. Scientific Reports, 2016, 6(1), 38565.

[18] C. Guger, G.Edlinger, W. Harkam, I. Niedermayer, G. Pfurtscheller, “How many people are able to operate an EEG-based brain-computer interface (BCI)?”, IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering, 2003, 11(2), 145-147.

[19] A. Al‐Canaan, H. Chakib, M. Uzair, S.U. Toor, A. Al‐Khatib, M. Sultan, M. “BCI‐control and monitoring system for smart home automation using wavelet classifiers”. IET Signal Processing, 2022, 16(2), 141-156.

[20] D. Huang, K. Qian, Y. Fei, W. Jia, X. Chen, O.Bai, “Electroencephalography (EEG)-based brain–computer interface (BCI): A 2-D virtual wheelchair control based on event-related desynchronization/synchronization and state control”. IEEE transactions on Neural Systems and Rehabilitation engineering, 2012, 20(3), 379-388.

[21] M. Kim, M.K. Kim, M. Hwang, H.Y. Kim, J. Cho, S.P. Kim, “Online home appliance control using EEG-Based brain–computer interfaces”. Electronics, 2019, 8(10), 1101.

[22] T. B. Nasir, M. A. Lalin, K. Niaz,M.R. Karim, “Design and implementation of eeg based home appliance control system”. In 2021 International Conference on Information and Communication Technology for Sustainable Development (ICICT4SD) (pp. 445-449). IEEE.

[23] C. Vidaurre, N. Krämer, B. Blankertz, A. Schlögl, “Time domain parameters as a feature for EEG-based brain–computer interfaces”, Neural Networks, 2009, 22(9), 1313-1319.

Машин сургалтаар андройд мобайл системийн хөнөөлт програмыг илрүүлэх нь

Базарсүрэн Гантөгс
Мэдээллийн технологи,
электроникийн сургууль, МУИС
Улаанбаатар, Монгол Улс
20m1num0513@stud.num.edu.mn

Өсөхбаяр Балдангомбо
Мэдээллийн технологи,
электроникийн сургууль, МУИС
Улаанбаатар, Монгол Улс
usukhbayar@num.edu.mn

Хураангуй— Энэхүү судалгааны ажилд бид андройд мобайл системийн хортой программыг статик техникээр шинжилж, онцлог шинжүүдийг тодорхойлон авч сан үүсгэн онцлог шинжүүдийн дэд олонлогийг өгөгдөл олборлох алгоритмаар сонгож машин сургалтын алгоритмуудыг хамгийн үр дүнтэй сургаж чадах онцлог шинжүүдийн дэд олонлогуудыг үүсгэн сургах замаар хортой программ илрүүлэх системийг боловсруулсан. Бид өгөгдөл олборлох болон машин сургалтын алгоритмуудад суурилсан өндөр илрүүлэлтэй системийн судалгааг хийж гүйцэтгэсэн.

Түлхүүр үг— Keywords—андройд, мобайл малвэйр, хортой код, машин сургалт, онцлог шинж олборлолт

I. ТАНИЛЦУУЛГА

Statcounter Global stats [1] байгууллагаас гаргасан “Ухаалаг утасны үйлдлийн системийн зах зээлийн эзлэх хувь, 2024 оны 2-р сард” мэдээлснээр Android үйлдлийн систем зах зээлийн 71.43%, iOS үйлдлийн системд 27.84%, Windows үйлдлийн системд 0.02%-ийг эзэлж байна. Андройд үйлдлийн системтэй гар утас зах зээлд хамгийн түгээмэл тархацтай тул түүнийг дагаад Android төхөөрөмжүүдэд чиглэсэн хортой программууд хэмжээ, боловсронгуй байдлын хувьд хурдацтай өсөн нэмэгдэж байна [2]. 2023 оны гуравдугаар улиралд [3] Касперскийн лабораторийн мэргэжилтнүүд 5,704,599 гар утасны хортой программ илрүүлсэн бөгөөд шинээр тархсан хортой программуудыг өмнөх улирлынхтай харьцуулахад трожан (24.66%) болон адвэйр (63.66%) төрлийн хортой программуудын тархац өссөн үзүүлэлттэй байна. Мобайл төхөөрөмжүүдэд зориулсан хортой программын нөлөө нь төхөөрөмжөөс эрхийн мэдээллийг хулгайлах, хэрэглэгчийн үйл ажиллагаа, байршлыг шалгах, харилцагчид руу хүсээгүй SMS, MMS илгээх замаар хэрэглэгчээс хэт их төлбөр төлөх, хэрэглэгчийн төхөөрөмжөөс DoS төрлийн халдлага хийх мөн төхөөрөмжийн санах ой, батарей, сторэйж зэрэг нөөцүүдийг [4] хэт ачаалах зэргээр аюул занал учруулж байна.

Хортой программын шинжилгээг ерөнхийд нь статик болон динамик шинжилгээ гэж хуваадаг [5]. Статик шинжилгээнд [6] программыг ажиллуулахгүйгээр программын файл, код, бүтцийг шалгадаг бол динамик шинжилгээнд тухайн программ нь бодит эсвэл виртуал орчинд ажиллуулах замаар шалгадаг. Тиймээс динамик шинжилгээний арга нь программыг ажиллуулах, хянахад бүрэн хяналттай, аюулгүй орчин бүрдүүлсэн байхыг шаардана [7].

Гэсэн хэдий ч, хамгийн түгээмэл антивирусын программуудын үндсэн техник нь сигнатюрт суурилсан байдаг ба энэ аргад суурилсан программууд шинээр гарч ирсэн буюу "Зэро дэй аттак" хортой программуудыг илрүүлдэггүй.

Сүүлийн үед машины сургалтад суурилсан zero day хортой кодуудыг илрүүлэх боломжтой системүүдийн судалгаа хийгдэж байна [8, 9, 10]. Дрэбин [11] судалгааны ажилд мобайл системийн эрхийн зөвшөөрөл (permissions), API функцүүд, IP хаягийг онцлог шинжээр сонгож, Суппорт Вектор Машин (SVM) алгоритмыг сургахад ашиглан хортой программ илрүүлэх боломжтойг тодорхойлсон. Дройдмат [12]-д судлаачид эрхийн зөвшөөрөл, KNN (KNearest neighbor) өгөгдөл олборлолтыг ашиглан хортой программ илрүүлж болохыг мөн тодорхойлсон. Харин DoridAPIMiner [13] ажилд олон тооны онцлог шинжүүдийг ашиглах үед зарим онцлог шинжүүд нь тухайн программыг тодорхойлоход хамааралгүй эсвэл шаардлагагүй байдаг тул машин сургалтын алгоритмуудыг төөрөгдүүлэх, хэт их сургах, ерөнхий байдлыг багасгаж, загварын ажиллах хугацааг нэмэгдүүлэх зэрэг сул талтай болохыг илрүүлсэн. Иймээс машин сургалтын системд ашиглах онцлог шинжүүдийн багцыг сонгохдоо алгоритмуудаар урьдчилан боловсруулалт хийдэг [14].

Энэхүү судалгааны ажилд бид андройд программын статик шинжилгээнд тулгуурлан тохирох онцлог шинжүүдийн багцыг сонгох, хамааралгүй эсвэл илүүдлийг багасгахтай холбоотой асуудлыг шийдвэрлэхдээ хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг машин сургалтын таван алгоритм дээр туршилт хийсэн. Бидний ажил онцлог сонгох алгоритмуудаар сонгосон онцлог шинжүүдийн багц бүхий хэд хэдэн загварыг үнэлж, хамгийн сайн илрүүлэлтийн үр дүнг өгч буй системийн загварыг боловсруулсан.

II. ХӨНӨӨЛТ ПРОГРАМЫГ ИЛРҮҮЛЭХ НЬ

Энэ хэсэгт бид андройд системийн хортой программ илрүүлэх системийн бүтцийг тайлбарлана. Энэ систем нь машин сургалтын алгоритмыг ашиглан шинэ хортой программыг (үл мэдэгдэх хортой) хоёртын файлуудыг үнэн зөв илрүүлэх зорилготой юм. Бидний хортой программ илрүүлэх систем гурван үндсэн модулиас бүрдэнэ: (1) F-Miner, (2) онцлог сонгох эсвэл багасгах, (3) ангилагч:

Модуль 1: Энэ нь андройд программын AndroidManifest.xml болон classes.dex файлуудыг APK форматаар задлан, Зөвшөөрлийн болон API-ийн бүх өгөгдлийг тодорхойлон авч мэдээллийн санд хадгалдаг.

Модуль 2: Бүх түүхий өгөгдлийг онцлог сонгох алгоритмаар эрэмбэлэх замаар сонгож, CSV файлд хадгална.

Модуль 3: Онцлогуудыг урьдчилан боловсруулсны дагуу өгөгдлийн багц дахь программ бүрийг харгалзах функцийн вектор болгон хувиргаж, дараа нь эдгээр шошготой онцлогийн векторуудаас ангиллын үр дүнг тодорхойлохын тулд машин сургалтын алгоритм ашиглана.

A. Өгөгдлийн сан

Бид туршилт хийхийн тулд 5,801 хортой, 11,951 цэвэр программ агуулсан сан үүсгэж ашигласан.

Андройд системийн 5,801 хортой программыг тодорхой эх сурвалжуудаас авч цуглуулсан. Эхлээд Drebin [12] сангийн хортой программуудыг авсан бөгөөд үүнд 179 өөр төрлийн программын бүлгээс 5560 хортой программын дээж багтсан. Мөн VirusTotal онлайн системээс сүүлийн үед шинээр илрүүлсэн хортой программуудыг нэмж татан авч сан үүсгэсэн [15].

Хоргүй программын санг Google Play болон Android Market-аас төрөл бүрийн программуудыг татан авч хортой код агуулаагүй болохыг шалгахын тулд Python дээр VirusTotal Public API дээр суурилсан APK2Database.py нэртэй программыг хэрэгжүүлж VirusTotal-аар дээжийг шинжилсэн. VirusTotal нь программын файлыг 60 гаруй төрлийн антивирусны эсрэг программаар зэрэг шалгадаг үнэгүй онлайн үйлчилгээ юм.

Эцэст Android программуудын талаарх бүх мэдээллийг өгөгдлийн сангийн apk_list хүснэгтэд хадгалдаг. Өгөгдлийн сан нь apk_list, apk_perms, apk_apis гэсэн гурван үндсэн хүснэгттэй. Программын бүх мэдээллийг нэр, хэш, төрөл, ангилал, өгөгдлийн багц агуулсан apk_list хүснэгтэд хадгалдана. Жишээлбэл, apk_list хүснэгтийн a_type баганад программ нь хор хөнөөлтэй эсвэл хортой эсэх талаарх мэдээллийг агуулн Хүснэгтийн a_category баганад хортой программ хангамжийн тохиолдолд Backdoor эсвэл Trojan эсэх, эсвэл хор хөнөөлгүй тохиолдолд Аялал жуулчлал эсвэл Санхүүгийн программ гэх мэт программын бүлийн мэдээллийг агуулна (Зураг 1).

id_apk	a_hash	a_type	a_name	a_category	a_dataset
1	090b5be26bcc4df6186124c2b47831eb96761fcf61282d63e13fa235a20c7539	malware	Plankton	[illegible]	Drebin
2	bedf51a5732d94c173bcd8ed918333954f5a78307c2a2f064b97b43278330f54	malware	DroidKungFu	[illegible]	Drebin
3	149bde78b32be3c4c25379dd6c3310ce08eaf58804067a9870cfe7b4f51e62fe	malware	Plankton	[illegible]	Drebin
4	dd11c105ec8bb3c851f5955fa53eebb91b7dc46bef4d919ee4b099e825c56325	malware	GinMaster	[illegible]	Drebin
5	6832234c4eae7a57be4f68271b7eecb056c4cd8352c67d2273d67620118871d	malware	FakeDoc	[illegible]	Drebin
6	f39f20ec060481bd89cfbd44654077fcd6404d87a128668557033 4bd430e2f18	malware	GinMaster	[illegible]	Drebin
7	eb1bcca87ab55bd0fe0cf1ec27753fddcd35b6030633da559eee42977279b8db	malware	FakeInstaller	[illegible]	Drebin
8	5010f34461e309ea1bc5539bb24fccc320576ce6d677a29604f5568c0a5e6315	malware	Opfake	[illegible]	Drebin
9	f1c8b34879b04dc94f0a13d33c1e1272bdf9141e56e19da62c1a1b27af128604	malware	FakeInstaller	[illegible]	Drebin
10	4e355df8f0843afc4a7bfc294ee4b1db9e9b896269c754c2d57dcb647dcd3efb	malware	Opfake	[illegible]	Drebin
11	ecf9c8520e13054bcc1b1a18cc335810f7eb97bdbe75fc204ad050228f805216	malware	BaseBridge	[illegible]	Drebin
12	255eae7859b0855b15de30e5405a2714837ac556c238bc009ac74c5bfa69714a	malware	Nisev	[illegible]	Drebin
13	54f2a636e000c55bb725d7e552a22117837c1676fb4b96decd135ae10e6f7049	malware	BaseBridge	[illegible]	Drebin
14	73b2fd2dfb5860f0701b16002832987d5edcfe059df454d30548aa4fa45bebe6	malware	Opfake	[illegible]	Drebin
15	1035296bb576144475b684a9f703fc0220e8c0107a9e7e87c4bf76f72496b6c4	malware	FakeInstaller	[illegible]	Drebin
16	a022c24d8295dee70c0f090e432806397117 0c33f7bf313b4debbc51d1a2b127	malware	Adrd	[illegible]	Drebin

Зураг 1. Өгөгдлийн сангийн apk_list хүснэгт.

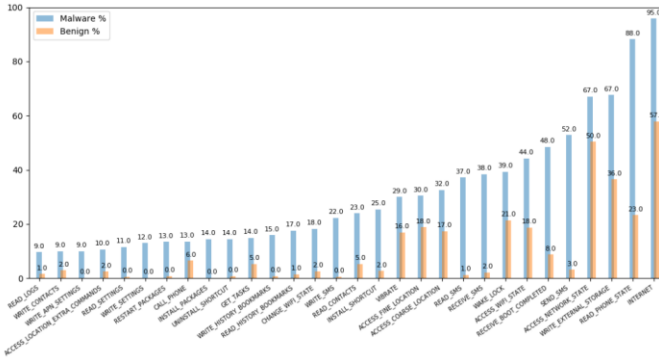
B. Онцлог шинж сонгох болон олборлох

Android программууд APK буюу ZIP файлын формат ашигладаг. Бид энэ ажилд зөвшөөрөл болон API функцүүд гэсэн хоёр төрлийн онцлогийг сонгож ашигласан. Учир нь зөвшөөрөл нь программын макро үйлдлийг илэрхийлдэг бол API функцүүд нь программын талаарх баялаг семантик мэдээллийг агуулж, тухайн программын үйлдлийг илэрхийлэх эсвэл түүний үйл ажиллагааны талаар мэдээллийг өгч чадна.

APK файлаас эдгээр хоёр төрлийн функцийг задлахын тулд бид андройд урвуу инженерчлэлийн модулиуд [16, 17, 18]-ийн дээр суурилсан pytyhon программыг хөгжүүлсэн. Энэ программ зөвшөөрлийн функцийг ялгах болон API функцийг ялгаж санд хадгалдаг хоёр тусдаа модультай.

Бид мэдээллийн санд цугласан мэдээлэлд үндэслэн хийсэн дүн шинжилгээгээр андройд хэвийн программ ихэвчлэн 12-оос дээш зөвшөөрөл шаарддаг бол хортой программ дунджаар 6 зөвшөөрөл шаарддаг байна. Бид энэ судалгаанд андройд программууд түгээмэл хүсдэг зөвшөөрлийг мөн авч үзсэн. Зураг 2-т хортой программуудын түгээмэл хүссэн эхний 30 зөвшөөрлийг харуулав.

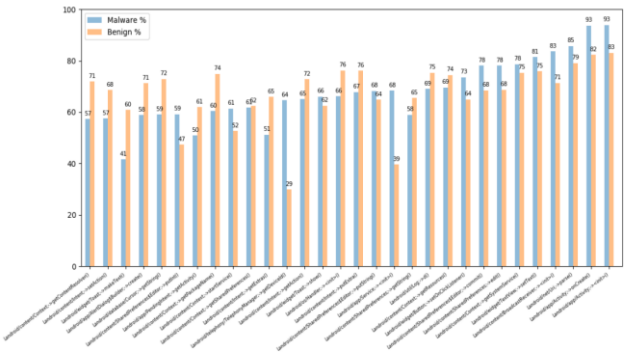
Аюултай ангиллын зөвшөөрөл хүссэн Хортой программууд ихэвчлэн хэрэглэгчийн хувийн мэдээлэлтэй холбоотой өгөгдөлд хандахад шаардлагатай зөвшөөрөл болон хэрэглэгчийн файлд хандахад шаардлагатай зөвшөөрөл шаарддаг эсвэл бусад программын үйл ажиллагаанд нөлөөлж болзошгүй үйл ажиллагаанд шаардлагатай зөвшөөрөл ашиглах нь түгээм байна. Жишээ нь, READ_PHONE_STATE зөвшөөрөл нь хэрэглэгчийн утасны дугаар, үүрэн холбооны дуудлагын төлөв гэх мэт мэдээллийг авах боломжийг программд олгодог. CALL_PHONE нь программыг дурын төлбөртэй дугаар оруулаад дуудлага хийх боломжийг олгодог. SEND_SMS болон READ_SMS гэх мэт SMS-тээ холбоотой зөвшөөрөл нь програмд хэрэглэгчид ирж буй SMS мессежийг хүлээн авч унших мөн илгээх боломжийг олгоно.



Зураг 2. Андройд програмуудын түгээмэл хүссэн эхний 30 зөвшөөрөл

Андройд систем 287 бүлд хуваасан мянга мянган API функцтэй. Бидний судалгаанд түгээмэл дуудагддаг 675 API функцийн онцлог шинжүүдийг авч үзсэн.

Бид хортой программ болон хэвийн программуудын дуудаж ашигладаг API функцүүдийн давтамжийг тодорхойлсон. Хортой программууд дунджаар 678 API функц дуудаг бол хэвийн программ 1940 буюу хортой программуудаас илүү давтамжтай функцтэй ажилладаг болохыг Зураг 3-т харуулав.



Зураг 3. Андройд API функцын давтамж

Судлаачид машин сургалтын алгоритмуудыг сургахад ашиглах онцлогуудыг сонгохын тулд өгөгдөл олборлох аргуудаар урьдчилан боловсруулах замаар зарим хамааралгүй эсвэл илүүдэлтэй онцлог шинжүүдийг ялгах үр дүнтэй байдаг болохыг тодорхойлсон [14]. Хэдийгээр зарим алгоритмууд өөрсдөө онцлог шинжүүдийг зохих ёсоор сонгож, хамааралгүй эсвэл илүүдлийг ялгах чадвартай боловч ихэнх сурах алгоритмын гүйцэтгэлийг онцлогуудад урьдчилан боловсруулалт хийснээр сайжруулж болно. Тиймээс бид энэ ажилд Information Gain, Bi-Normal Separation, Chi-squared, ReleafF болон Principal Component Analysis гэсэн аргуудыг ашигласан.

III. ТУРШИЛТ, ҮР ДҮН

Бид туршилтыг сан үүсгэн 5,801 хортой, 11,951 хэвийн програм агуулсан мэдээллийн сан үүсгэж Windows 10 үйлдлийн системтэй, Intel Core i7 CPU @ 3.50 GHz, 16GB RAM-тай компьютер дээр хийж гүйцэтгэсэн. Мөн бид машин сургалтын алгоритмуудыг Python програмчлалын хэлний модулиуд дээр хэрэгжүүлж туршсан.

Бид туршилтаа өгөгдлийн багцыг санамсаргүй байдлаар 10 жижиг дэд бүлэгт хуваан туршилт баталгаажуулалт явуулдаг процессыг ашигласан [14]. Бид системийг үнэлэхийн тулд доорх хэд хэдэн хэмжигдэхүүнийг ашигласан:

True Positive Rate (TPR): Хөнөөлт програмыг нь хөнөөлтэй гэж зөв тодорхойлсон. Үүнийг илрүүлэлтийн хувь (DR) гэж мөн нэрлэдэг:

$$TPR=\frac{TP}{(TP+FN)} \quad (1)$$

False Positive Rate (FPR): энгийн програмыг хөнөөлт програм гэж буруу ангилсан:

$$FPR=\frac{FP}{(TN+FP)} \quad (2)$$

Precision: бүх зөв ангилагдсан програмын тоо.

$$Precision=\frac{TP}{(TP+FP)} \quad (3)$$

Overall accuracy (OA): программуудын илрүүлэлтийн харьцааг харуулна:

$$OA = \frac{(TP+TN)}{(TP+TN+FP+FN)} \quad (4)$$

Ангилагчдын DR-ийг бид авч үзсэн ба энэ нь хортой гэж тэмдэглэсэн нийт программуудын илрүүлэлтийг илэрхийлдэг. Мөн FPR-ийг авч үзэх буруу илрүүлэлтийг илэрхийлнэ. OA нь системийн илрүүлэлтийн үр ашгийг үнэлэхэд хэрэглэх ба TPR болон FPR-ийг харгалзан тооцдог.

A. Үр дүн

Андройдын хортой программыг илрүүлэх системийн үндсэн үр дүнг шинжлэхдээ онцлог шинж сонгох алгоритмуудаар эрэмбэлэн дэд олонлогуудыг сонгож гүйцэтгэхдээ судлаачид түгээмэл хэрэглэдэг Naïve Bayes (NB), Support Vector Machine (SVM), J48, RandomForest (RF) гэх мэт дөрвөн машин сургалтын алгоритмууд ашиглан үр дүнг Хүснэгт 1-д харуулав.

Хүснэгт 1. Нэгтгэсэн туршилтын үр дүн

		NB				SVM			
		OA	TPR	FPR	Precision	OA	TPR	FPR	Precision
IG	450	71.5	59	6.8	93.7	90.4	96.7	20.3	89.1
BNS	450	70.2	56.3	5.9	94.2	92.1	98	18	90.4
Chi	450	71.5	59	6.8	93.7	93.2	98	14.7	91.9
Rf	450	71.6	59	6.8	93.7	93.9	98	13	92.8
IG	550	71.5	59	5.8	93.7	90.3	96.7	20.6	89
BNS	550	71.1	58.1	6.4	94	92.4	97.9	16.8	90.9
Chi	550	71.5	59	6.8	93.7	93.2	98	14.9	91.9
Rf	550	71.6	59	6.8	93.7	93.I	98	15.1	91.8
IG	650	71.5	59	6.8	93.7	90.3	96.7	20.6	88.9
BNS	650	71.5	58.7	6.5	94	92.8	97.9	15.7	91.5
Chi	650	71.5	59	6.8	93.7	92.9	97.9	15.6	91.5
Rf	650	71.6	59	6.8	93.7	92.9	98	15.7	91.5
PCA	226	50.7	28.6	11.2	81.4	85.5	97.2	34.4	82.9
ALL	825	71.5	59	6.8	93.7	90.3	96.7	20.6	88.9
		J48				RF			
		OA	TPR	FPR	Precision	OA	TPR	FPR	Precision
IG	450	94.4	97.2	10.3	94.2	96	98.9	8.8	95.1
BNS	450	93.9	97.1	11.5	93.6	95.4	98.7	10	94.4
Chi	450	94.4	97.2	10.3	94.2	95.9	98.8	8.9	95
Rf	450	94.4	97.1	I 0.1	94.3	95.9	98.8	8.8	95.1
IG	550	94.4	97.2	10.3	94.2	95.9	98.8	8.8	95
BNS	550	94.2	97	10.4	94.1	95.8	98.9	9.3	94.8
Chi	550	94.4	97.2	10.3	94.2	96	98.8	8.8	95.1
Rf	550	94.4	97.1	I 0.1	94.3	95.9	98.8	8.9	95
IG	650	94.3	97.1	10.2	94.2	95.9	98.8	8.9	95
BNS	650	94.4	97	9.9	94.4	95.9	98.8	8.9	95
Chi	650	94.3	97.1	10.2	94.2	95.9	98.8	9	95
Rf	650	94.4	97.1	I 0.1	94.3	96	98.9	8.8	95
PCA	226	93.5	95.9	10.5	94	95.5	99.1	10.4	94.2
ALL	825	91.4	92.2	10.2	94.3	91.1	92.8	8.9	93

Хүснэгт 1-д үзүүлснээр туршилтыг эрэмбийн эхний 450, 550, 650, "БҮХ" (825), PCA (226) гэсэн онцлог шинжүүдийн өөр өөр дэд олонлогуудаар машин сургалтын алгоритмуудыг сургаж гүйцэтгэсэн. Үүний үр дүнд хамгийн өндөр нарийвчлалыг (OA) RandomForest алгоритм үзүүлж 96% байгааг харж болно. Туршилтаас

RandomForest алгоритмын IG (600) дэд олонлогийн хувьд өгсөн TPR 99.1% байгаа бол хамгийн муу үр дүнг IG (550) дэд олонлогийн хувьд Naïve Bayes 5.8% -тай үр дүнг үзүүлсэн байна.

IV. ДҮГНЭЛТ

Бид энэ ажилд өгөгдөл олборлох болон машин сургалтын алгоритмаар андройдын хортой програм илрүүлэх системийн туршилт үр дүнг танилцуулсан.

Андройдын хортой програмыг илрүүлэх зөвшөөрөл болон API функцийн онцлог шинжүүдийг олборлож туршилтыг хийж гүйцэтгэсэн. Үр дүнгээс харахад RandomForest алгоритмд суурилсан туршилт хамгийн өндөр илрүүлтийг үзүүлсэн.

Гэхдээ туршилтын үр дүнгээс харахад зөвхөн зөвшөөрлийн онцлог шинжүүдээр хортой програмуудыг үр дүнтэй илрүүлж болох нь харагдаж байна.

Цаашид бид судалгааг үргэлжлүүлэн FPR-г бууруулах замаар илрүүлэлтийг нэмэгдүүлэхээр төлөвлөж байна. Мөн бид нууцлагдсан хортой програмын эсрэг систем үр дүнтэй эсэхийг тодорхойлох туршилт хийж гүйцэтгэнэ.

НОМ ЗҮЙ

[1] Statcounter Global stats, 2024 Q1, Accessed Jan. 2024, https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide)//

[2] Y. Zhou and X. Jiang, “Dissecting android malware: Characterization and evolution,” in IEEE Symposium on Security and Privacy, SP 2012, 21-23 May 2012, San Francisco, California, USA, pp. 95–109..

[3] IT threat evolution Q3 2023, accessed Jan.2024 https://securelist.com/it-threat-evolution-q3-2023-mobile-statistics/111224/

[4] D. Maiorca, Mercaldo, F., Giacinto, G., Visaggio, A., and Martinelli, F., “R-PackDroid: API Package-Based Characterization and Detection of Mobile Ransomware”, in ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2017), pp. 1718-1723, 2017.

[5] Michael Sikorski and Andrew Honig, Practical Malware Analysis, No Starch Press, 2012

[6] Eldad Eilam. Reversing: Secrets of Reverse Engineering. Wiley Publishing Inc., 2005.

[7] Dunham, K., Hartman, S., Quintans, M., Morales, J. A., Strazzere,T., Android Malware and Analysis. CRC Press, (2014).

[8] Nikola Milosevic, Ali Dehghantanha, Kim-Kwang Raymond Choo, Machine learning aided Android malware classification, Computers & Electrical Engineering, Volume 61, 2017, pp. 266-274.

[9] Fauzia Idrees, Muttukrishnan Rajarajan, Mauro Conti, Thomas M. Chen, Yogachandran Rahulamathavan, PIndroid: A novel Android malware detection system using ensemble learning methods, Computers & Security, Volume 68, 2017, pp. 36-46.

[10] L. Ma, Y. Yang, X. Wang and J. He, "Ultra-Lightweight Malware Detection of Android Using 2-Level Machine Learning," 2016 3rd International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), Beijing, 2016, pp. 729-733.

[11] Daniel Arp, Michael Spreitzenbarth, Malte Huebner, Hugo Gascon, and Konrad Rieck "Drebin: Efficient and Explainable Detection of Android Malware in Your Pocket", 21th Annual Network and Distributed System Security Symposium (NDSS), February 2014

[12] Dong-Jie Wu, Ching-Hao Mao, Te-En Wei, Hahn-Ming Lee, and Kuo-Ping Wu. Droidmat: Android malware detection through manifest and api calls tracing. In Seventh Asia Joint Conference on Information Security (Asia JCIS), pages 62–69. IEEE, 2012.

[13] Yousra Aafer, Wenliang Du, and Heng Yin. DroidAPIMiner:Mining API-level features for robust malware detection in android, pages 86–103, Springer, 2013.

[14] I.H. Witten, E. Frank, Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, 2nd ed. Morgan Kaufmann, 2005.

[15] Free Online Virus, Malware and URL Scanner: https://www.virustotal.com/

[16] A. Desnos and G. Gueguen, “Android: From reversing to decompilation,” Proc. of Black Hat Abu Dhabi, 2011.

[17] Androguard [Online]. Available: https://github.com/androguard/androguard

[18] Baksmali. [Online]. Available: https://github.com/JesusFreke/smali

Detection and counting of grazing cattle from aerial images using CNN

Bat-Orgil Battogtokh
Information system management department
University of finance and economics
Ulaanbaatar, Mongolia
bat-orgil.b@ufe.edu.mn

Hugejiletu Nasanurt
Information system management department
University of finance and economics
Ulaanbaatar, Mongolia
hugejiletu.n@ufe.edu.mn

Abstract*—The objective of this study was to utilize deep neural networks to identify and quantify the cattle population in Mongolia from drone's vision. Traditionally, this task would be laborious and time-consuming. In this research, we verify the accuracy of cutting-edge Object Detection Algorithm for detecting and counting grazing cattle from aerial image taken in Mongolia. we created Mongolian characteristic cattle aerial image datasets for the first time. based on the datasets, we trained models and predict the presence of cattle in the remaining dataset. Specifically, we implemented the latest iteration of the You Only Look Once (YOLOv8) architecture to detect cattle in different terrain of winter and spring seasons and assessed their performance using metrics such as mean average precision (mAP), precision, recall, and F1 score. The results demonstrate that the trained models achieved a mean average precision of up to 98% with an IoU threshold of 0.5, indicating their effectiveness in cattle detection in the context of Mongolia.

***Keywords*—YOLOv8, Deep learning, Drone, Object detection**

I. INTRODUCTION

According to the preliminary result of the annual livestock census, by the end of 2023, Mongolia has 64.7 million head of livestock, of which 5.47 million cattle. In the traditional setting, cattle farming typically occurs in a natural environment in mongolia, where challenges like accidental drownings in rivers ,snowbound or landslides can lead to significant losses and pose serious threats to cattle management. Consequently, monitoring cattle in Mongolia, including their behaviors and health, has emerged as a critical research area. The rapid advancements in deep learning, particularly convolutional neural network (CNN) methods, offer promising techniques for animal detection and classification.

According to the paper 'Livestock detection in African rangelands: Potential of high-resolution remote sensing data(Ian A. Ocholla et al., 2024)', spanning the years 1980 to 2023 across all continents, the majority (71.4%) of studies were published after 2019, indicating a recent surge in interest in livestock detection. Additionally, more than two-thirds (69.2%) of the publications used drones for detection and counting, followed by manned aircraft, satellites, and camera traps. The rapid rise of drones can be attributed to recent advancements in electronic communication and embedded technologies, making them more affordable and accessible.

Figure 1 shows the Coverage of livestock detection and counting studies reviewed at country level. [9]

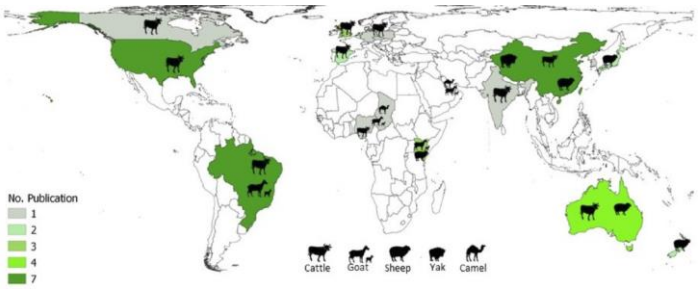


Figure 1. Coverage of livestock detection and counting studies reviewed at country level [9]

Our research aims to leverage a cutting-edge object detection framework, specifically the YOLOv8 algorithm, to accurately detect and count grazing cattle in Mongolian grasslands using aerial images captured by drones.

1.1 Animal remote monitoring

Advancements in information technology for remote monitoring have revolutionized the way farmers gather crucial data on animal behavior, leading to improved meat quality, enhanced production efficiency, and better animal health and welfare [8]. Wearable technologies like RFID, Accelerometer Sensors, GPS Collars, and Smart Ear Tags are already in use, enabling farmers to monitor factors such as behavior patterns, movement, body temperature, heart rate, and other physiological indicators. These technologies play a crucial role in preventing illnesses and deaths among animals, thereby minimizing production losses [8].

Motion-activated cameras, also known as camera traps, offer a cost-effective method for recording animals' presence, locations, and activities [8]. These technologies collectively contribute to a more efficient and sustainable approach to animal monitoring and management in agricultural settings.

A notable limitation of current ground-based monitoring methods like smart ear tags, camera traps, and Infrared Thermal Imaging is their constraint within large geographic areas and complex terrains, making it challenging to identify and track animals effectively. The integration of drones with machine learning algorithms presents a solution to enhance livestock management. Drones offer several advantages over traditional methods:

1) They can navigate low-altitude and ultra-low-altitude flight paths.
2) They can capture high-resolution images regardless of weather conditions.
3) They can swiftly acquire images over extensive regions and rugged terrains that are otherwise inaccessible.

However, accurately and reliably counting animals in drone-captured imagery also remains a crucial yet challenging task in intelligent livestock management. Therefore, our research focuses on algorithms for animal detection and counting, specifically targeted on automatically assessing cattle populations in images captured by drones. This work aims to showcase the potential of drone vision and object detection techniques in improving livestock management practices

1.2 animal detection and counting using drone

The Convolutional Neural Network (CNN) has emerged as a practical and efficient technique for detection and counting tasks in image recognition, owing to its processing speed and accuracy. In recent years, deep convolutional neural networks like Faster R-CNN [2], Mask R-CNN [4], and YOLO [3] have demonstrated significant potential in object detection and classification across vast datasets, showcasing higher accuracy, precision, and faster processing speeds.

While these results have been impressive, diverse and challenging scenarios in livestock monitoring pose additional hurdles, such as visual clutter (e.g., vegetation), strong lighting contrasts and shadows (from farm structures), low target resolution and high animal densities (e.g., tightly packed herds or feedlots). Therefore, a comprehensive assessment of cattle counting algorithms is necessary across various livestock farming settings in mongolia.

Deep learning object detection algorithms are typically based on convolutional neural networks (CNNs). CNNs are well-suited for image processing tasks due to their ability to automatically learn hierarchical features from raw pixel data. Deep learning object detection algorithms are a class of methods used to identify and localize objects within an image or video. there are two categories of deep learning algorithms : Two-Stage Detectors and One-Stage Detectors.

Two-Stage Detectors first propose regions of interest (RoIs) in the image using methods like selective search or region proposal networks (RPNs). Then, they classify these RoIs and refine their bounding boxes. Examples include R-CNN (Region-based Convolutional Neural Networks), Faster R-CNN, and Mask R-CNN. One-Stage Detectors directly predict bounding boxes and class probabilities without a separate region proposal step. Examples include YOLO (You Only Look Once) and SSD (Single Shot Multibox Detector) [5].

R-CNN and its variants like Faster R-CNN are two-stage object detection frameworks that excel in accuracy and detailed object localization but may be slower and more computationally demanding. YOLO, on the other hand, is a single-stage algorithm that prioritizes real-time performance, making it suitable for applications requiring fast and efficient object detection, such as drone-based monitoring or video analysis.

A recent family of object detection techniques (e.g., CNN) demonstrated higher precision for livestock monitoring in pasture and open space environments using Drone-based data.

The paper [6] demonstrates the use of the Faster R-CNN for counting cattle in feedlots employing aerial images, obtaining an average precision of 89.7%.

In the paper [7], based on YOLOv2 for counting cattle, detection performance was improved by the input resolution optimization, and obtained a precision of 95.7%.

In the paper [8] ,The method Mask R-CNN used for feature extraction and trained in the images captured by drone and the proposed system can accurately classify the livestock with an accuracy of 96%,

Among the approaches discussed in the literature, YOLO stands out as particularly promising for cattle monitoring in real-time drone scenario. The latest iteration, YOLOv8, has notably enhanced in speed, accuracy and efficienc, making it a suitable benchmark for our study.

II. OBJECT DETECTION TECHNIQUES

This task is accomplished through object detection, where systems identify and categorize objects of interest by enclosing them in bounding boxes. Object detection typically involves two or three steps: localization (drawing bounding boxes), feature extraction for each region, and recognition (identifying object classes). In our study, we focused on a single class—cattle. Aside from detecting the presence of animals, effectively tracking and monitoring their behaviors also necessitates localizing them within images

Modern object detectors typically consist of two main components: the backbone and the head of the detector. The backbone, which acts as the feature extractor network, is a vital element of every Convolutional Neural Network (CNN). It processes input images and generates a feature map that serves as the foundation for the rest of the network. The choice of backbone (e.g., VGG, ResNet, DenseNet, MobileNet) depends on the platform the detector operates on (CPU or GPU).

There are two primary approaches for developing the head of the detector: a two-stage approach based on region proposal algorithms, and a one-stage approach based on regression or classification using unified networks for real-time processing. Our focus in this research was on the one-stage approach. This decision was influenced by two primary factors.

The decision was driven by two key factors. The first factor is speed. One-stage detectors are known for their faster processing compared to two-stage detectors. They achieve this by handling object detection and classification tasks in a single pass through the network. This speed advantage is particularly advantageous for real-time applications, aligning with the requirements of our project. Additionally, simplicity played a crucial role in our decision-making process. One-stage detectors are inherently simpler and demand less computational power compared to two-stage detectors. Given our constraints on resources during this research, opting for a one-stage detector was a more practical and efficient solution.

The YOLO algorithm, introduced in 2015, quickly gained popularity due to its simplicity, speed, and efficiency. It is a one-stage approach that demands fewer computational resources and memory while achieving high detection speeds. This makes it ideal for deployment on drones for real-time object detection.

In our study, we utilized the pre-trained YOLOv8 model and further trained it using images with dimensions of 640 x 640. The learning rate was initialized at 0.001 with a decay rate of 0.0005, and the momentum was set to 0.937. These parameters were chosen to optimize the training process and improve the accuracy of the YOLOv8 model for our specific task of cattle detection in drone-captured images.

III. MATERIALS AND METHODS

3.1 Datasets preparation and preprocessing

The challenge of effectively detecting and counting cattle using machine vision stems from the limited availability of suitable publicly accessible datasets. To address this, we employed a drone to gather representative image datasets across extensive pastures. The datasets utilized in our research were collected from the Ulaanbaatar and surrounding areas in Mongolian region during the winter and spring seasons. Examples of cattle in winter are depicted in Fig. 2 and Fig. 3 for spring.

many flight activities were conducted using the Potensic drone, which features an integrated Sony camera as shown in Fig. 4. This camera is equipped with a 1/2.3-inch CMOS image sensor capable of flexible lateral and vertical rotation. It captures 4K videos and 12-megapixel photos with stabilization. Considering factors such as pixel resolution, photo capture delay, and operational convenience, we opted to use videos to obtain datasets of cattle in diverse scenes. The videos were recorded at 30 frames per second and saved in MOV format.

The cattle datasets were captured at altitudes ranging from 15 to 35 meters with varying angles of inclination over the pastures. Our winter datasets consist of a total of 100 images, with 70 images allocated for training and 30 images for testing. and spring datasets with 138 training images, 17 testing images and 18 images for validation. For accurate labeling of ground truth data regarding cattle appearance, we utilized the widely known image annotation tool called Roboflow.



Figure 2. Cattle in winter from drone



Figure 3. Cattle in spring from drone



Figure 4. POTENSIC drone

3.2 The algorithm for detection and counting cattle

Ultralytics YOLOv8 is indeed the latest version of the highly acclaimed real-time object detection and image segmentation model. Leveraging cutting-edge advancements in deep learning and computer vision, YOLOv8 delivers exceptional performance in terms of both speed and accuracy. Its streamlined design makes it versatile, allowing for seamless deployment across various applications and adaptability to different hardware platforms, ranging from edge devices to cloud APIs.

YOLOv8 incorporates several key features that contribute to its high performance.

1) Mosaic Data Augmentation: This technique combines four images into one during training, enhancing model robustness and generalization
2) Anchor-Free Detection: YOLOv8 adopts anchor-free detection, which eliminates the need for predefined anchor boxes, resulting in more accurate bounding box predictions.
3) C2f Module: The C2f module enhances feature extraction by combining convolutional layers with feature fusion, leading to improved object detection.
4) Decoupled Head: YOLOv8 features a decoupled head design, separating the classification and localization tasks, which can improve model efficiency and accuracy.
5) Loss: The model uses a modified loss function to optimize training and improve object detection performance.

These features collectively contribute to YOLOv8's state-of-the-art capabilities in real-time object detection and image segmentation.

3.3 The implementation details

The YOLOv8 implementation was configured in a Python environment with a MS COCO pre-trained model. After preparing the collected data for training, we proceeded to train the YOLOv8 model using these prepared data before conducting tests and evaluations.

The YOLOv8 implementation has been executed on a 64-bit version of Windows 11 laptop with Intel core i7-13620U CPU@2.4 GHz with 16 GB RAM and an additional nvidia RTX4050 GPU with 6 GB RAM.

To evaluate the performance of the proposed method in this paper, precision, average precision (AP), and recall are employed as the performance evaluation metrics. Precision refers to the proportion of true positive prediction in all the positive prediction (Equation 1); recall refers to the proportion of true positive prediction in all of the positives (Equation 2). The precision-recall curve measures the performance of the model based on how large the area enclosed by the curve at different IOU thresholds. Average precision is expressed in Equation (3). IOU, which stands for Intersection Over Union is defined as the area of intersection of predicted bounding box and the ground-truth bounding box over the area of their union as expressed in Equation (4).

$$P = \frac{\text{True Positive}}{\text{True Positive+False Positive}} \quad (1)$$

$$R = \frac{\text{True Positive}}{\text{True Positive+False Negative}} \quad (2)$$

$$AP = \sum_{n=1}^{N} [R(n) - R(n-1)].\max P(n) \quad (3)$$

where N is the calculated number of PR points.

$$IOU = \frac{A \cap B}{A \cup B} \times 100 \quad (4)$$

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The pre-trained model of Ultralytics YOLOv8 is based on the Microsoft COCO [1] dataset, which primarily consists of ground photos. However, this pre-trained model is not suitable for detecting and counting objects in aerial images. We first evaluated the COCO-based pre-trained model from Ultralytics and obtained predictions for birds from aerial images of cattle. Fig. 6. shows the predictions on the aerial image, we can observe additional shadows detected and failures in cattle detection, in addition to the bird detection in Fig. 5.

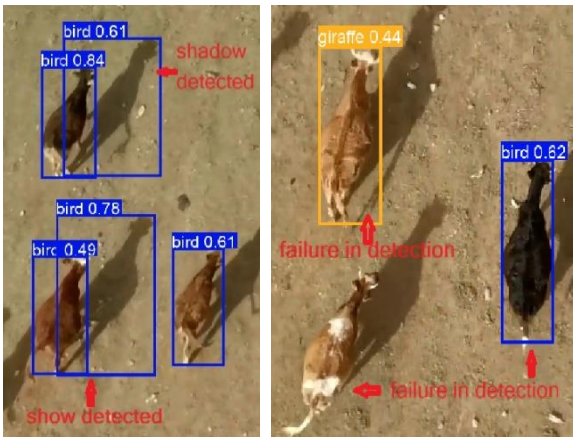


Figure 5. Examples of shadow detection and failure detection

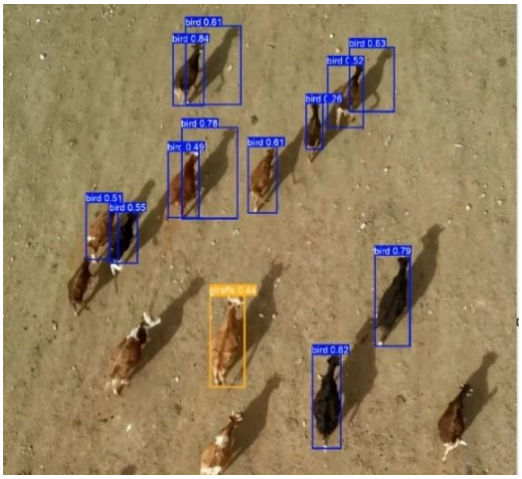


Figure 6. Prediction from pre-trained MS COCO dataset model

We trained our cattle detection model using own labeled dataset, and the predictions indicate a very high accuracy score. Fig.7. shows that all cattle have been detected in this image with high confidence score, and there are no false positives (shadow detections).

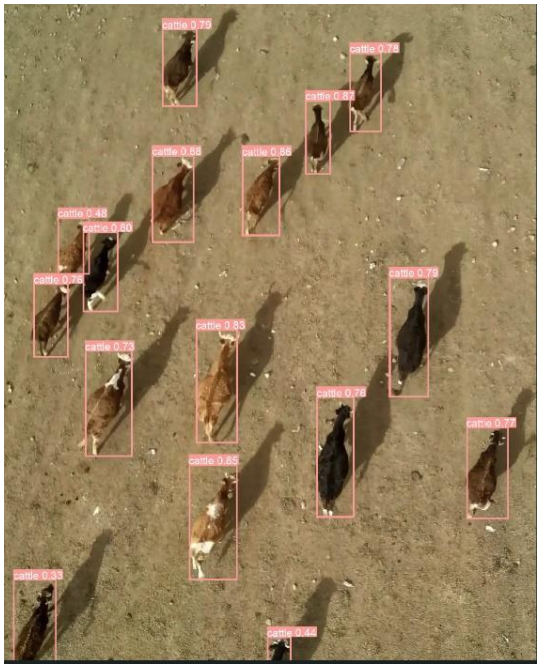


Figure 7. Prediction from own trained model with high confidence score

We also evaluated the trained model using metrics such as mean average precision (mAP), precision, recall, and F1 score. Below is a detailed discussion of our findings.

1) Precision-Confidence Curve

Precision is measure of quality. The Precision-Confidence Curve illustrates the relationship between precision and varying confidence thresholds. It provides insight into how precision fluctuates with adjustments in the confidence level used to classify a prediction as positive. Ideally, we want high precision across all confidence levels, but in practice, precision tends to rise with increasing confidence thresholds.

Fig.8. shows the Precision-Confidence Curve for trained model. This plot indicates that the model maintains high accuracy from a relatively low confidence threshold (0.2), and the precision generally improves as the confidence threshold increases. The precision reaches its highest value of 1.00 at a confidence level of 0.740, suggesting very few false positives at this threshold.

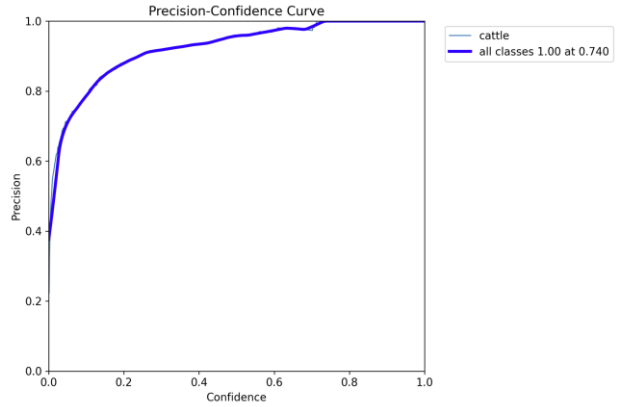


Figure 8. precision-Confidence

2) Recall-Confidence Curve

Recall is measure of quantity. The Recall-Confidence Curve plots how recall varies with changes in confidence thresholds. Often, increasing the confidence threshold results in a decline in recall because a stricter threshold may reduce the number of positive predictions, causing the model to miss some true positives.

Fig.9. shows the Recall-Confidence Curve for trained model. The model exhibits consistently high recall rates at a confidence level of 0.7.

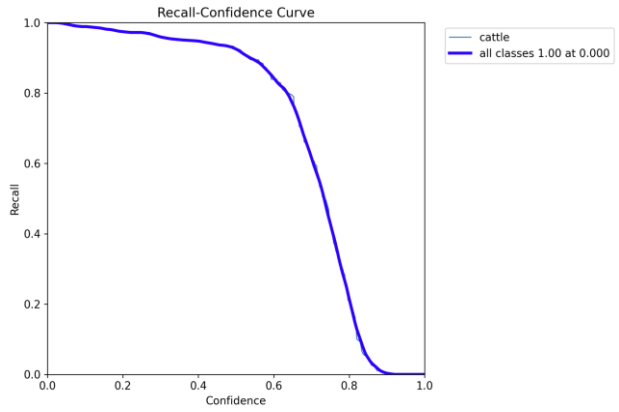


Figure 9. Recall-Confidence

3) Precision-Recall Curve

The Precision-Recall Curve Illustrates the trade-off between precision and recall for different thresholds. A model that reaches closer to the top-right corner is better.

Fig.10. shows the Recall-Confidence Curve for trained model. "All classes 0.980 mAP@0.5" indicates the model's mean Average Precision (mAP) is 98% across all classes at an lntersection over Union (loU) threshold of 0.5. It can be observed that the Precision-Recall Curve shows high precision and high recall, indicating that the model makes accurate positive predictions while minimizing false negatives.

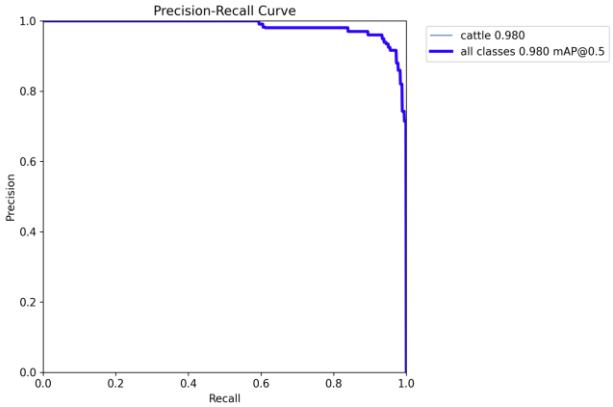


Figure 10. Precision-Recall Curve

4) F1 Confidence Curve

The F1 score is a measure of a model's accuracy that considers both precision and recall. lt is the harmonic mean of precision and recall. The F1 Confidence Curve plots the F1 score against different confidence thresholds. A higher F1 score indicates better performance, and the confidence threshold at which the F1 score is maximized is often considered the optimal threshold for making predictions.

Fig.11. shows the F1-Confidence Curve for trained model. The model achieves a high F1 score of 0.94 at a confidence level of 0.477.

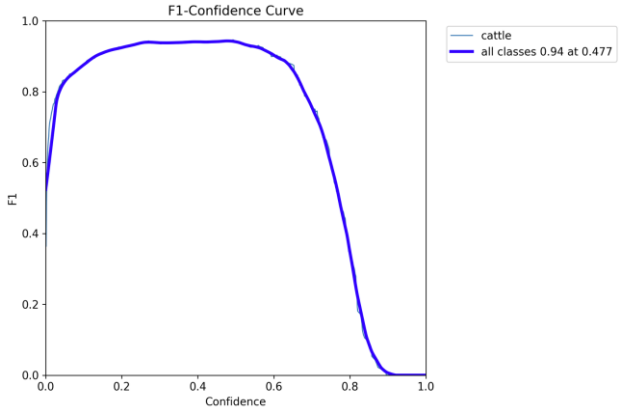


Figure 11. F1-Confidence Curve

V. CONCLUSION

Our trained model achieved high performance metrics, demonstrating the correctness of our research methods and directions and it will be a long-term ongoing research project.

In Mongolia, climate changes are significant throughout the four seasons, each with its own unique background color: snow-white winter, golden autumn, and green summer. The diverse terrain of Mongolia also has its own characteristics. cattle live in areas with hills, alpine forests, and rolling grasslands. For now, we have only taken winter and spring season images and labeled the datasets. Over the next few months, we will collect a wide range of images of diverse cattle populations in different seasons in Mongolia using drone. Based on these images, we will create fully characterized aerial image datasets of Mongolian cattle and train a high-accuracy detection and counting model suitable for diverse terrain and all seasons throughout Mongolia.

REFERENCES

[1] Lin, T. Y.; Maire, M.; Belongie, S.; Hays, J.; Perona,P.; Ramanan, D.; Doll′ ar, P.; Zitnick, C. L. Microsoft COCO: Common objects in context. In: Computer Vision−ECCV 2014. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 8693. Fleet, D.; Pajdla, T.; Schiele, B.; Tuytelaars, T. Eds. Springer Cham, 740–755, 2014.

[2] Ren, S.; He, K.; Girshick, R.; Sun, J. Faster RCNN:Towards real-time object detection with region proposal networks. In: Proceedings of the International Conference on Neural Information Processing Systems, 91–99, 2015.

[3] Redmon, J.; Divvala, S.; Girshick, R.; Farhadi, A. You only look once: Unified, real-time object detection. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 779–788, 2016.

[4] He, K.; Gkioxari, G.; Dollar, P.; Girshick, R. Mask R-CNN. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2961–2969, 2017

[5] Liu, W.; Anguelov, D.; Erhan, D.; Szegedy, C.; Reed,S.; Fu, C.-Y.; Berg, A. C. SSD: Single shot multibox detector. In: Computer Vision—ECCV 2016. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9905. Leibe, B.; Matas,J.; Sebe, N.; Welling, M. Eds. Springer Cham, 21–37, 2016

[6] Jo˜ao Vitor de Andrade Porto, F´abio Prestes Cesar Rezende, Gilberto Astolfi, Automatic counting of cattle with Faster R-CNN on UAV images.

[7] Wen Shao, Rei Kawakami, Ryota Yoshihashi, Cattle detection and counting in UAV images based on convolutional neural networks.

[8] Beibei Xu , Wensheng Wang , Greg Falzon , Paul Kwan, Livestock classification and counting in quadcopter aerial images using Mask R-CNN.

[9] Ian A. Ocholla, Petri Pellikka, Faith N. Karanja, Ilja Vuorinne,Victor Odipo, Janne Heiskanen, Livestock Detection in African Rangelands: Potential of High-Resolution Remote Sensing Dat

ГҮН СУРГАЛТЫН АЛГОРИТМ АШИГЛАН АЛТНЫ ҮНИЙН БОГИНО ХУГАЦААНЫ ТААМАГЛАЛ БОЛОВСРУУЛАХ

С.Дашзэвэг
Мэдээлэл компьютерийн ухааны
Тэнхим, МУИС-МТЭС
dashkaecon@gmail.com

М.Золжаргал
Мэдээлэл компьютерийн ухааны
Тэнхим, МУИС-МТЭС
zoljargal@num.edu.mn

***Хураангуй*— Энэхүү судалгааны ажлаар гүн сургалтын арга ашиглан нэг унц алтны үнэ НьюЙоркийн арилжааны мөчлөг эхэлснээс хойш эхний 4 цагт өсөх, буурах, тогтмол төлөвт байх гэсэн гурван ангиллаар таамаглал дэвшүүлэх туршилт хийлээ. Сүүлийн 8 жилийн хугацааны нийт 2.8 сая минутын алтны үнийн тоон өгөгдлөөс онцлогуудыг ялган 1694 өдрийн мэдээллийг сургалтын өгөгдлөөр түүвэрлэн авсан. Загварын нууц давхаргын нейроны тоог бууруулахад загварын сургалтын болон баталгаажуулах түүврийн алдааны утгуудын зөрүү 0.02-оор буурч, загварын үнэлгээ сайжирсан. Судлаачийн үүсгэсэн алтны үнийн 3 ангиллыг 60 хувийн магадлалтай зөв таамагласан байна. Цаашид үнийн таамаглал дэвшүүлэх загварыг боловсронгуй болгосноор санхүүгийн эрсдэл, ашигт ажиллагаа зэрэг өргөн хэрэглээнд нэвтрүүлэх боломжтой юм.**

Түлхүүр үгс—Гүн сургалт, Үнийн таамаглал, Арилжаа
JEL Ангилал – E37, C52, C69

I. УДИРТГАЛ

Үнэт цаасны зах зээлийн оролцогчдийг хөрөнгө оруулагчид(investor) болон арилжаачид(trader) гэж хоёр ангилж болно. Хөрөнгө оруулагчид нь 3 сар, 1 жил, 10 жил гэх мэт хугацаанд өгөөж өгөх хувьцаа, бонд, үүсмэл санхүүгийн хэрэгслийг худалдаж авдаг бол арилжаачид нь 1 цаг, 1 өдөр, 1 долоо хоног гэх мэт хэт богино хугацаанд үнийн өөрчлөлтөөс ашиг олох зорилгоор авах, зарах байдлаар арилжаа хийдэг.

Интернет, ухаалаг төхөөрөмжүүдийг хэрэглээ нэмэгдэх тусам хөрөнгийн бирж рүү захиалга өгөх үе шатыг хялбарчилсан цахим арилжааны платформууд бий болж арилжаачдын тоо, арилжааны хэмжээ, дүн нэмэгдсэн. “Монголын хөрөнгийн бирж” ТӨХК дээр явагдаж буй хувьцааны арилжаа 2013-2018 онд жилд дунджаар 61 тэрбум төгрөг байсан бол 2019-2023 оны хооронд жилд дунджаар 222 тэрбум төгрөг болж 3.6 дахин өссөн байна.

Өдрийн арилжаачид(day traders)[1]-ын хувьд тухайн санхүүгийн хэрэгслийн үнийн талаар таамаглал дэвшүүлэхдээ суурь шинжилгээ буюу эдийн засгийн нөхцөл байдлын талаар үнэлгээ хийхээс илүүтэй техник шинжилгээнд тулгуурладаг. Техник шинжилгээ нь өнгөрсөн үеийн түүхэн үнийн статистик болон графикийн хэлбэрүүд (chart pattern) ашиглан зах зээлийн хандлагыг тодорхойлохыг зорьдог.

Үнийн графикийн хэлбэрийн шинжилгээ нь аливаа үнэ өсөх эсвэл буурахаасаа өмнө ямар нэгэн онцгой хэлбэр дүрс, эсвэл статистик шинж чанар үүсгэдэг гэсэн онол дээр тулгуурладаг. Тухайлбал Доу онолд гурван удаа дээд ханшаа эвдсэн бол тренд эргэх нөхцөл бүрддэг гэх мэт. Тиймээс дуу, зураг танилтад ашигладаг гүн сургалтын арга техникийг үнийн таамаглал дэвшүүлэхэд ашиглах боломжтой байж болох юм.

Эдийн засагчид, хөрөнгө оруулалтын шинжээчид үнийн таамаглал боловсруулахдаа эконометриксийн сонгодог загварууд (ARIMA, GARCH, VAR, SVAR) ашигладаг. Харин tensorflow, keras зэрэг гүн сургалтын алгоритмын бэлэн сан бий болсноор судлаачид үнийн таамаглал боловсруулах цогц асуудлыг гүн сургалтын загварууд (ANN, DNN, CNN, KNN, LSTM) ашиглан шийдэхээр идэвхтэй оролдож байна.

Тиймээс энэхүү судалгааны ажлаар өдрийн арилжаа хийдэг хүмүүст зориулан гүн сургалтын DNN (Deep neural network) алгоритм ашиглан Нью-Йоркийн хөрөнгийн биржийн арилжааны эхний 4 цагт 1 унц алтны үнэ өсөх, буурах, тогтмол байх гэсэн гурван төлөвийн аль нь байж болох тухай таамаглалыг Ази болон Европын арилжааны үед гарсан үнийн хөдөлгөөний шинж чанарт тулгуурлан таамаглах боломжтой эсэхийг тодорхойлно.

II. СУДЛАГДСАН БАЙДАЛ

Matloob(2020) нар машин сургалтын загвар ашиглан үнэ таамагласан судалгааны ажлуудын түүвэр цуглуулж нийт 512 судалгааны ажил хамруулж, үүнээс тухайн ажлын хэвлэгдсэн сэтгүүл, хэлэлцсэн хурал, тухайн судалгаанаас бусад судалдааны ажилд ишлэл авсан тоо зэрэг үзүүлэлтүүдээс хамааран 88 судалгааны ажлыг сонгон авч, ямар загвар ашигласан, үр дүн хэрхэн гарсан талаар харьцуулсан судалгаа хийсэн. Эдгээр 88 судалгааны ажлын 18 нь CNN, 38 нь LSTM, 9 нь DNN, 5 RNN, 8 нь Reinforcement learning аргуудыг ашигласан байх бөгөөд судалгааны ажлуудад таамаглалын үр дүнг хэмжихэд ашигласан RMSE, MAPE, MAE, MSE, accuracy, өгөөж гэх үзүүлэлтүүдийг харьцуулахад Reinforcement learning аргыг ашигласан судалгааны ажил

[1] Худалдаж авсан позицоо тухайн өдөр эсвэл хэдэн цаг, минутын хугацаанд барьж бага хэмжээгээр олон давтамжтай ашиг олохыг хэлнэ.

илүү үр дүнтэй байсан, мөн сүүлийн үед LSTM загварыг судалгааны ажлуудад илүү их хэрэглэсэн байна.

Zhong(2019) нар хебрид гүн сургалтын загварт S&P500[2] индексийн ханш болон эдийн засгийн бусад 60 үзүүлэлт ашиглан тус индексийн тухайн өдрийн хаалтын ханшийн таамаглал дэвшүүлсэн. DNN загварын нейроны тоог 10-аас 1000 болгон нэмэгдүүлэн үнэлэх туршилт хийхэд загварын нейроны тоо тодорхой цэгт хүрэхэд загварын алдаа буцаад өсч, загварын таамаглах чадвар муудсан байна. Мөн загварын өгөгдөлд PCA (principle component analysis) хувиргалт хийж загварыг үнэлэхэд хувиргалт хийгээгүй өгөгдөл ашигласан загвараас бага зэрэг сайжирсан байна.

Wataru(2019) нар Thompson reuters агентлагийн 2003-2013 оны мэдээллийн сангийн нийт 375 мянган нийтлэлийг гүн сургалтын загвар ашиглан эерэг, сөрөг утгатай мэдээлэл аль нь болохыг ялган авч, тухайн мэдээлэл нийтлэгдснээс хойш 1 цагийн дараа DJIA(Dow Jones Industrial Average[3]) индекс хэрхэн өөрчлөгдөж болох тухай LSTM загвар ашиглан тооцоолсон. Тус судалгаанд сургалтын түүврийг хуваахдаа шаталсан хэлбэр(heirarchical)-ээр хуваах нь санамсаргүй хуваасnаас илүү үр дүнтэй байсан байна.

Sai Krishna (2019) нар DJIA болон DJIA дээр нэмэлтээр газрын тос, алтны үнээс бүрдсэн хоёр тусдаа загварын өгөгдөл үүсгэн DJI индексийн тухай өдрийн хаалтын ханшийн талаар SVM(support vector machine) болон LSTM(long short term memory) гүн сургалтын загварууд ашиглан таамаглал дэвшүүлсэн. SVM, LSTM загваруудыг тус тусад нь дээрх хоёр үндсэн өгөгдлийн хувьд үнэлсэн мөн үнийн хөдлөх дунжаар өргөтгөсөн өгөгдлөөр үнэлэхэд үндсэн өгөгдөл ашигласан LSTM загварын таамаглалын алдаа илүү сайн байсан байна. Тиймээс цаашид энэ төрлийн судалгааны ажлын чанарыг сайжруулахад тоо шинж чанарыг ялган авах талаар зөвлөсөн байна.

Yoojeong(2018) нар Samsung Electronics Co., Ltd-ын хувьцааны үнийн нээлт, дээд, доод, хаалт, арилжсан хэмжээ зэрэг 5 үзүүлэлт ашиглан тус хувьцааны үнийн талаар 10 төрлийн үнийн хөдөлгөөний аль нь байж болох талаарх DNN загвар үнэлэхэд загварын accuracy 0.007 хувь байсан бол үнийн техник шинжилгээний индикаторууд (MA, MACD, VMA)[4]-ийг ашиглан тус хувьцааны үнээс нийт 715 өөр төрлийн шинж чанар буюу индикатор тооцож үнэлгээ хийхэд accuracy 23.6 хувь болж сайжирсан бол 10 төрлийн үнийн хөдөлгөөний таамаглалаа 2 төрөл болгож өөрчлөхөд accuracy ойролцоо буюу 69.9 хувь гарсан байна. Уг судалгааны ажилд тухайлбал MA индикаторыг 5, 10, 20, 60, 120 өдрийн хөдлөх дунджаар тооцож, зах зээлийн хандлагын олон цагийн хамаарлыг загварт тусгах оролдлого хийсэн нь онцлог болсон байна.

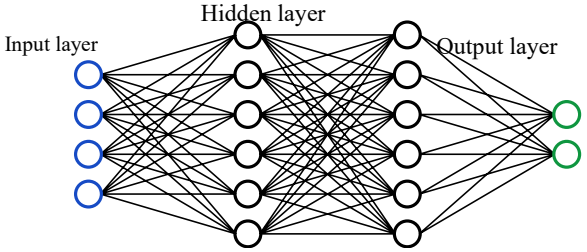
Aurea Grane(2009) нар санхүүгийн зах зээл дээрх огцом хэлбэлзлийг түүврээс илрүүлэх асуудлыг хөрөнгийн зах зээлийн таамаглал дэвшүүлэхэд хөндөж түүврээс monte-carlo ашиглан өгөгдлийг цэвэрлэсэн ба GARCH загвар ашигласан.

Arman Khadjeh(2014) нар санхүүгийн зах зээлд нийтлэгдсэн мэдээний гол текстэд илүүц үг хэтэрхий их ордог учир зөвхөн гарчиг хэсгээс тухай мэдээлэл эерэг, сөрөг мэдээ болох тухай natural language processing ашиглан тоо өгөгдөл болгон гүн сургалтын K-nn болон SVM загварт оруулан валютын ханшийн хослолын талаар таамаглал дэвшүүлэхэд K-nn загварын accuracy 58.33 хувь гарсан бол SVM загварт 83.33 хувьтай үнэлэгдсэн.

Javen(2023) нар машин сургалтын арга ашиглан үнэ таамагласан судалгааны ажлуудын түүвэр судалгааг цуглуулан шинжилэхэд ийм төрлийн судалгааны ирээдүйн чиг хандлага NLP болон Reinforcement learning аргуудад илүү тулгуурлан хөгжихийг дурдсан байна. Тухайлбал загварын үнэлгээнд ашиглагдаагүй/бүртгэгдээгүй тоо мэдээлэл буюу зах зээлд шинээр бий болсон өгөгдлийг тухайн загвар өндөр магадлалтай зөв таамаглал боловсруулж байвал сайн загвар боллоо гэж үздэг(model generalization). Сүүлийн үед хийгдсэн ихэнх судалгааны ажлууд нь судлаачдын тухайн түүврээс үүсгэсэн загварын гаралт өгөгдөлд тулгуурлан таамаглал боловсруулж байгаа тул загварын generalization тийм ч сайн биш байна. Тиймээс машин сургалтын загвар өөрөө загварын гаралт өгөгдлийн ангилал(classification) хийх чадамжтай загварыг боловсруулах нь илүү ач холбогдолтой болж байна.

III. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Нейроны сүлжээний загвар нь хүний тархины бүтцээс санаа авч зохион бүтээсэн өөр хоорондоо холбоотой сүлжээний орой(nodes) буюу нейронуудын нэгдэл юм. Нейроны сүлжээний загвар нь оролтын давхарга (input layer), нууц давхарга (hidden layer), гаралтын давхарга (output layer) гэсэн үндсэн гурван давхаргатай.



Зураг 1: Нейроны сүлжээны загвар

[2] The Standart and Poor's 500 – Америкийн хөрөнгийн биржийн Топ 500 компанийн индекс.

3 Америкийн ТОП 30 компанийн индекс.

4 Moving average, moving average convergence/divergence indicator, volume moving average

Тус загвар нь h_i болон h_{i+1} хувьсагчдын хоорондох шугаман бус байдлыг нууц давхаргад байрлах нейронуудын тусламжтайгаар загварчлахыг оролддог. Нууц давхаргын нейрон бүр өөрийн гэсэн параметрүүд (нейроны жин болон гажилт)-тэй байдаг.

$$h_{i+1} = \delta(Wh_i + b)$$

Үүнд: δ - идэвхижүүлэх функц (activation function), *w* - нейроны жин(weights), *b* – гажилт(biases)

Хэрэв ганц нууц давхаргатай бол нэг давхаргат нейроны сүлжээ, хоёр ба түүнээс дээш нууц давхаргатай бол олон давхаргат нейроны сүлжээ буюу гүн нейрон сүлжээ/гүн сургалт (deep neural network/deep learning) гэж ангилдаг.

Нейрон сүлжээний бодлогын нөхцөл:

Загварын оролтын өгөгдөл *u* болон таамаглахаар зорьж буй өгөгдөл τ -ын $\{u^n, \tau^n\}_{n=1}^N$ олонлогийн хувьд нейрон сүлжээний загварын функц *y=f(u)* нь дараах байдлаар эрэмбэлэгдэнэ.

$$h_1 = \delta_1(w_1 u + b_1)$$
$$h_2 = \delta_2(w_2 h_1 + b_2)$$
$$\vdots$$
$$y = \delta_L(w_L h_{L-1} + b_L)$$

Энд: L – давхаргын тоо,

Алдааны функц ашиглан загварын нейроны параметрүүдийн оновчтой утгыг тодорхойлох:

Алдааны функц $\varepsilon(y^n, \tau^n)$ нь загварын анхны үнэлгээгээр тодорхойлогдсон $y^n = f(u^n)$ утга болон таамаглахаар зорьж буй өгөгдөл τ^n -ын хоорондох зөрүүгээр тодорхойлогддог. Загварын нийт параметр $\theta=\{w_1, \dots, w_L, b_1, \dots, b_L\}$ -ын утгуудыг

$$\min = \left[J = \sum_{n=1}^{N} \varepsilon(y^n, \tau^n) \right]$$

алдааны функц хамгийн бага байхаар оновчлол хийдэг. Функцийн оновчтой параметрыг тодорхойлохдоо градентын арга ашиглана.

Гүн сургалтын үнэлгээнд хоёр төрлийн идэвхжүүлэх функц байдаг. 1) нууц давхаргын идэвхжүүлэх функц 2) гаралт давхаргын идэвхжүүлэх функц. Энгийнээр тайлбарлавал тухайн нэг нейроны параметр буюу *output = weight*input+bias* утга нь 1 бол дараагийн давхарга руу утгыг дамжуулна, 0 бол тухайн нейрон идэвхгүй буюу ажиллагаагүй болно.

Нууц давхаргын идэвхжүүлэх функцүүд: Sigmoid эсвэл Relu(Rectified Linear Units) функцуудын аль нэгийг түгээмэл ашигладаг.

Сигмойд идэвхижүүлэх функц: $y = \frac{1}{1+e^{-x}}$

Relu идэвхижүүлэх функц: $y = \begin{cases} x & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases}$

Гаралт давхаргын идэвхжүүлэх функц: Softmax функц нь гаралт матрицад гарч ирсэн утгуудыг Euler-ын тоо(2.71)-ын зэрэгт дэвшүүлэн, нормчлох замаар загварын гаралт утгын аль нэгийг үнэн гэдгийг илүү сайн тодорхойлж өгдөг.

Үнийн хөдөлгөөн таамаглах асуудал

Өгөгдлийн онцлог шинж болох тухайн өдрийн арилжаалсан хэмжээ, үнийн дээд, доод утга, өмнөх өдөр, долоо хоног, саруудад үнэ ямар байсан гэх мэт шинж чанарыг агуулсан $[x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+m}]$ мэдээллийг ашиглан $\hat{y}_{i+m+1}$ утгыг таамаглана. Загварын гаралт утга $\hat{y}_i$ -ын харьцуулах утга нь $[y_i, y_{i+1}, \dots, y_{i+m}]$ олонлогийн 0,1 гэсэн бинари матриц байна.

$$L = \sum_{i=1}^{i} (Loss(\hat{y}_{i+m+1}, y_{i+m+1})$$

Загварын үнэлэгдсэн утга болон харьцуулах утгын зөрүүг хамгийн бага байлгахаар загварын параметрүүдийг тооцоолно.

Өгөгдөл боловсруулах аргачлал

Судалгааны ажлаар НьюЙоркын арилжааны эхний 4 цагт үнийн хөдөлгөөнийг ямар байж болохыг таамаглахаар зорьж байгаа. Тиймээс арга зүй боловсруулахад хоёр төрлийн асуулт гарна: (1) үнийн хөдөлгөөн гэж юуг хэлэх вэ? (2) хөдөлгөөнийг хэрхэн, ямар техник ашиглан таамаглах вэ?.

Үнийн хөдөлгөөн ба загварын гаралтын өгөгдөл сонгох нь

Ази тивд хамгийн түрүүнд даваа гаригийн өглөө Токио хотын хөрөнгийн бирж нээгдэж түүний дараа Хонгконг, Сингапур, Дели, Москва, Лондон, НьюЙорк зэрэг томоохон хотуудын биржүүд цагийн бүсээс хамааран нээгдсэнээр ажлын 5 хоног, 24 цаг тасралтгүй арилжаа явагдаж байдаг.

НьюЙорк дэх арилжааны эхний 4 цагт гарах үнийн хөдөлгөөн гэдэг нь уг бирж нээгдэх үнэ ба түүнээс 4 цагийн дараах үнийн зөрүүгээр тодорхойлогдоно. Улаанбаатар хотын цагаар 20:00:00 болон шөнийн 00:00:00 цагийн хоорон дах үнийн зөрүү, арилжааны платформ (metatrader5)-ын 16:00:00 ба 20:00:00 цагийн зөрүү байна. (Wataru, Irena, 2019) нар нь үнийн хөдөлгөөнийг хоёр өөр цагийн хоорондох үнийн харьцаагаар шууд авах нь үр дүнтэй биш бөгөөд тоон ямар утгаас дээш хөдөлгөөнийг өссөн эсвэл буурсан гэж үзэх тухай дурдсан байдаг. Тиймээс үнийн хөдөлгөөнд тоон утгын хязгаар(price change threshold) тавьж өгнө.

Хоёр хугацааны үнийн харьцааны нийт хугацаан цувааны Q80%-аас дээш бол үнэ өссөн буюу эерэг хөдөлгөөн гарсан хэрэв Q20%-аас бага бол буурсан буюу сөрөг хөдөлгөөн гарсан. Харин Q33-Q66 хооронд бол үнэ тогтмол буюу онц ач холбогдолтой хөдөлгөөн гараагүй гэж үзье.

$$y_i = \frac{P_{a,i}}{P_{b,i}} = \begin{cases} 1 \; or \; positive \; up \; if \; s_i > Q80 \\ 2 \; or \; negative \; down \; if \; s_i < Q20 \\ 0 \; or \; neural \; if \; otherwise \end{cases}$$

Техник шинжилгээний индекатор ба загварын оролтын өгөгдөл

Үнэт цаасны арилжаа хийдэг хүмүүсийн хувьд зах зээлийн талаар таамаглал дэвшүүлэхдээ 1) суурь шинжилгээ, 2) техник шинжилгээ ашигладаг. Гүн сургалтын загварт үнийн талаарх техник шинжилгээний индикатор үзүүлэлтүүдийг загварын оролтын өгөгдлөөр ашиглана.

Хөдлөх дундаж(moving average): Хөдлөх дундаж нь дундаж тооцож буй хугацаанд тухайн хувьсагч дунджаар ямар байсан талаар мэдээлэл өгдөг. Ихэвчлэн зах зээлийн хандлага тодорхойлоход ашигладаг.

$$PMA = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Closeprice_{t-n}^{s}$$

$$\text{VMA} = = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Volume_{t-n}^{s}$$

Энд: PMA – үнийн хөдлөх дундаж, VMA – арилжсан тоо хэмжээ, n – хөдлөх дундаж тооцох хугацааны хоцрогдол, s – тухайн үнэт цаасны төрөл

Дээрх үзүүлэлтүүдийг минут, өдөр, 7 хоног, сар гэсэн хугацааны хувьд тус бүрийн PMA, VMA (5, 13, 23, 63, 126, 256) гэсэн хоцролтойгоор тооцно.

Хандлага тодорхойлох: Хөдлөх дунджийн тухайн өдрийн өсөлт, мөн тодорхой хугацааны нийлбэр утгыг тодорхойлно. Энэ нь урт хугацааны хандлага өөрчлөгдөж байгаа эсэх мэдээлэл өгнө.

$Gradk_t^s = \frac{MAk_t^s - MA_{t-1}^s}{MAk_{t-1}^s}$;

$SumGk_t^s = \sum_{k=0}^{39} Gradk_t^s (k = 60{,}120)$

Арилжааны идэвх тодорхойлох: VMA-ын өсөлт нь арилжааны идэвх сайжирч эсвэл муудаж байгаа эсэхэд мэдээлэл өгнө.

$$VGradk_t^s = \frac{VMA_t^s - VMA_{t-1}^s}{VMA_{t-1}^s}$$

Алтан огтлолцол (Golden cross): Үнийн чиг хандлагын эргэлтийн цэг болсон тухай мэдээлэл өгнө.

$$ArrGk = \begin{cases} True\ if\ (MA5_{t-1}^s < MA10_t^{10})\ and\ (MA5_t^s < MA10_{t-1}^{10}) \\ False\ otherwise \end{cases}$$

Үнийн хөдөлгөөний эрчим тодорхойлох: Тухайн өдрийн эсвэл 7 хоног, Сард хамгийн доод эсвэл дээд үнээ хэдэн удаа эвдсэн тухай мэдээлэл. Техник шинжилгээнд Dow-ын онолыг ихэвчлэн ашигладаг бөгөөд lower low эсвэл higher high нь хэдэн удаа тодорхойлогдох нь чухал байдаг.

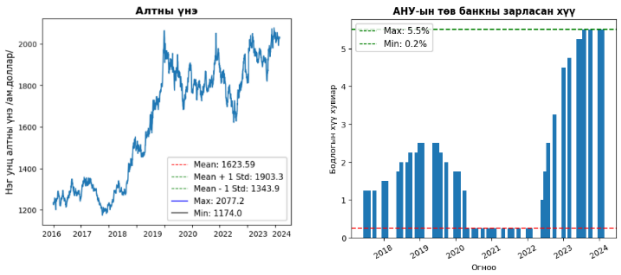
$$counter = \begin{cases} count\ if\ low_t < threshold\ and\ low_t < low_{t-1} \\ count\ if\ high_t > threshold\ and\ high_t > high_{t-1} \end{cases}$$

IV. ЭМПИРИК ШИНЖИЛГЭЭ

Судалгааны ажлын гол тоон өгөгдлийн түүврээр 2016.01.11-ны өдрийн 01:00:00 цаг, минутаас 2024.02.29-ны өдрийн 11:41:00 цаг, минут хүртэл нийт 2,882,154 минутын нэг унц (27 гр) алтны ам.доллар илэрхийлсэн үнийг metatrader5 арилжааны платформоос авсан болно. Туслах өгөгдлөөр санхүүгийн зах зээлийн хандлагыг тодорхойлоход чухал нөлөө үзүүлдэг АНУ-ын Холбооны нөөцөөс зарладаг мөнгөний бодлогын хүү, мөн тус улсын Статистикийн хорооноос зарладаг хэрэглээний үнийн индекс(ХҮИ)-ийг сонгон авсан. Дээрх түүвэрт өгөгдлийн шинжилгээ хийж загварт ашиглах боломжит тоон өгөгдлийг гарган авсан.

Загварын оролтын өгөгдлийн дискревтив статистик

Алтны үнэ 2023 оны эцэст өмнөх оны мөн үеэс 13.1 хувиар өсч 2063 ам.долларт хүрсэн бөгөөд сүүлийн 4 жилд 1620-оос 2100 долларын хооронд арилжаалагдсан байна. АНУ-ын төв банкны мөнгөний бодлогын хорооноос 2022 оны 1 сарын 26-ны өдөр хэрэглээний үнийн өсөлтийг бууруулах зоригоор бодлогын хүүг 0.25 хувиар өсгөж бодлогын хүүгээ 0.5 хувь болгох шийдвэр гаргасан бөгөөд энэ нь сүүлийн 16 удаагийн хурлаар 0.25 хувьд тогтмол барьж байсан мөнгөний бодлогод эрс өөрчлөлт гарч, зах зээлд маш их савалгаа бий болгосон томоохон шийдвэр байсан. Түүнээс хойш нийт 16 удаагийн мөнгөний бодлогын хорооны хурлаас 11 удаад нь бодлогын хүүг өсгөх шийдвэр гаргаж 2024 оны 1 сарын 31-ны байдлаар 5.5 хувьд хүрсэн байна.

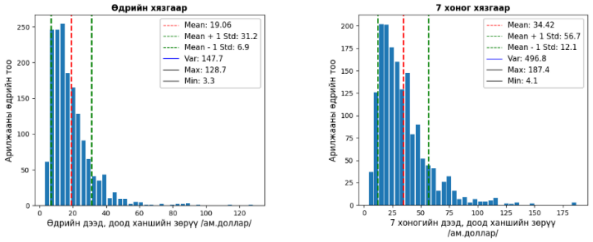


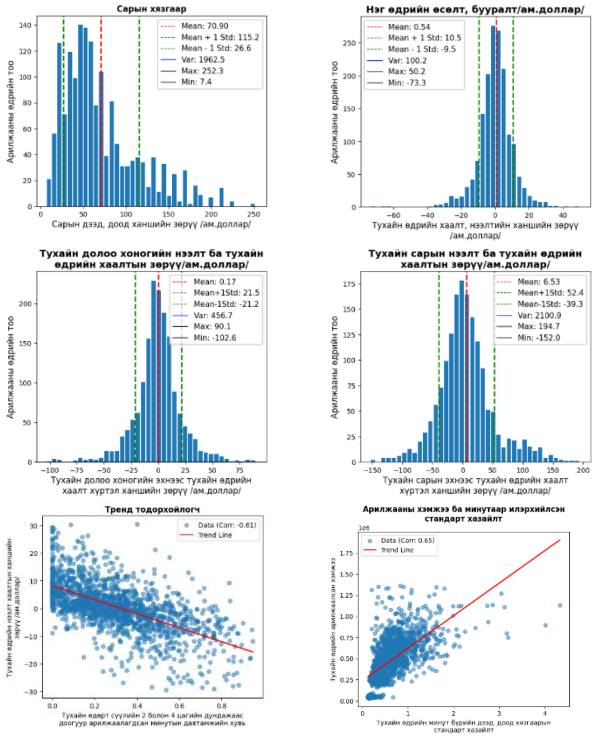
Зураг 2: Алтны үнэ ба бодлогын хүү

Харин АНУ-ын хэрэглээний үнийн жилийн өсөлт 2021 оны 4 сараас эхлэн 3 хувьд хүрч эхэлсэн бөгөөд 2021 оны төгсгөлд 5.42 хувьд хүрсэн байна. Энэ нь бодлогын хүүг өсгөх суурь нөхцөл болсон.

Алтны үнэ сүүлийн 8 жилийн хугацаанд Азийн зах зээл дээр дээд, доод үнийн зөрүү өдөрт хамгийн ихдээ 127 доллар, 7 хоногт 187 доллар, Сард 252 доллар хүртэл савалгаа үзүүлсэн байна. Харин хаалт болон нээлтийн үнийн зөрүү буюу өсөлтийн түвшин өдөрт хамгийн ихдээ 50 доллар өсөж, 73 доллароор унасан, 7 хоногийн хугацаанд хамгийн ихдээ 90 долараар өсөж, 102 доллароор унасан харин нэг сарын хугацаанд хамгийн ихдээ 194 доллароор өсөж, 152 доллароор унаж байсан байна.

Зураг 3: Ерөнхий дискревтив статистик, график



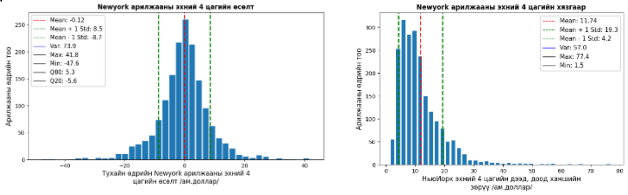


Дээрх графикаас алтны үнэ өдөрт дунджаар 19 доллар, 7 хоногт дунджаар 34 доллар, сард дунджаар 70 долларын хөдөлгөөн үзүүлдэг байна.

Загварын гаралтын өгөгдөл

НьюЙоркийн арилжааны эхний 4 цагт Алтны дээд болон доод үнэ дунджаар 11 долларын зөрүүтэй, хамгийн ихдээ 77 доллар хөдөлгөөн гарч байсан байна. Харин яг 4 цагийн дараах хөдөлгөөн хамгийн ихдээ 41 доллар өссөн, хамгийн ихдээ 47 доллароор буурсан байна. Загварын оролтын өгөгдөлд нийт 1689 өгөгдөл орох бөгөөд үүнээс өссөн нийт 330, буурсан 326, хэвийн 976 өдөр бүртгэгдсэн байна.

Зураг 4: ИьюЙоркийн арилжааны эхний 4 цагийн статистик



Загварын үнэлгээ

Анхны өгөгдлөөс тухайн өдөрт хамаарах минутуудаас бүрдсэн хугацаан цувааны онцлог шинж чанарыг тооцоолон өдрийн өгөгдөл рүү шилжүүлэхэд нийт 2102 өдрийн боломжит өгөгдөл үүссэн. Өдрийн өгөгдлийг ашиглан дахин өдөр, 7 хоног, сарын шинж чанаруудыг ялган авахад нийт 318 төрлийн шинж чанарыг агуулсан 1689 өдрийн өгөгдөл үүссэн.

Гүн сургалтад ашиглах оновчтой шинж чанаруудыг сонгохдоо:

1. Оролтын өгөгдөл хоорондын colinearity хамаарал байгаа эсэхийг шалгаж корреляци 0.9 дээш утгуудтай шинж чанарууд хассан;
2. Оролтын өгөгдөл дотор валиарцгүй буюу тогтмол өгөгдөл орсон эсэхийг шалгаж, вариац 0.1 доош байвал гэсэн хязгаар тавьж хэрэггүй шинж чанаруудыг хассан;

Дээрх алхмуудыг хийсний дараа нийт 318 төрлийн шинж чанараар 23 онцлог шинж чанар загварын оролтын өгөгдлөөр сонгогдсон.

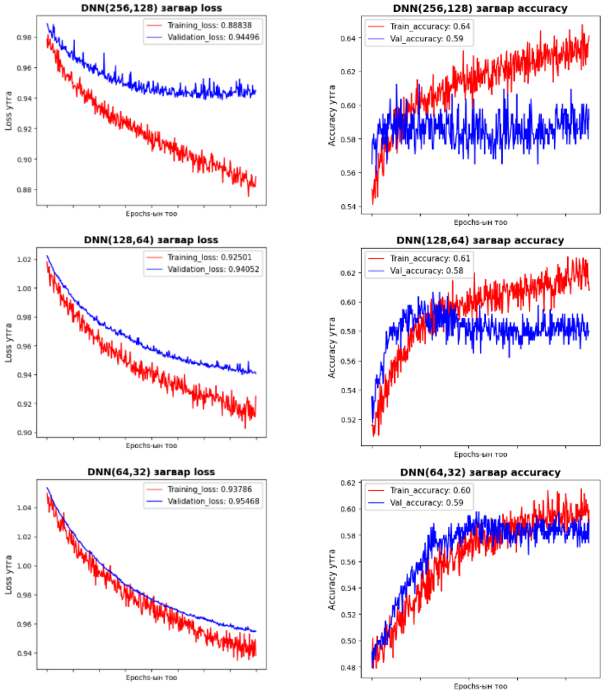
Гүн сургалтын (Sequential neural network) загвар үнэлэхдээ загварын хебрид параметрүүдийг доорх байдлаар сонгов. Үүнд: Нууц давхаргад Relu идэвхжүүлэх функц, гаралтын давхаргад Softmax идэвхжүүлэх функц, Adam optimizaer (learning_rate=0.0001), loss=Categorical_crossentropy, kernel_regularizer = L2(0.01), нууц давхарга бүрд Dropout =0.2. batch_size=16, epochs=500.

Хүснэгт 1: Загварыын үнэлэгдсэн утгууд

	Нууц давхарга	Accuracy		Loss		
		Train	Val	Train	Val	зөрүү
Загвар I	(256; 128)	64%	59%	0.88	0.94	0.06
Загвар II	(128; 64)	61%	58%	0.92	0.94	0.02
Загвар III	(64; 32)	60%	59%	0.93	0.95	0.02

Загварын нууц давхаргад байрлах нейроны тоог өөрчлөх нь загварын Accuracy-д нөлөөлөхгүй боловч загварын Loss-д нөлөөтэй байна. DNN(64,32) загварын сургалтын болон баталгаажуулах түүврийн алдааны утга бусад DNN(256,128), DNN(128,64) загваруудтай харьцуулахад илүү сайжирч, 0.02-оор зөрүү багассан байна.

Зураг 5: DNN загваруудын алдааны утга болон Accuracy



DNN(64,32) загварын оролтын өгөгдөлд үнэ дээшээ өссөн утгын 41 хувийг зөв таамагласан, бол 47 хувьд үнэ буурна, 12 хувьд нь үнэд өөрчлөлт орохгүй гэж таамагласан бол үнэ буурах оролтын өгөгдлийн 79

хувийг буурна гэж зөв таамагласан, 7 хувийг өснө, 14 хувийг хэвэндээ байна гэж таамагласан. Үнэ хэвэндээ байх оролтын өгөгдлийн 45 хувийг зөв таамагласан бол 8 хувийг өснө, 47 хувийг буурна гэж таамагласан байна.

Эндээс харахад үнэ буурах хөдөлгөөнийг маш сайн таамагласан боловч үнэ өсөх, хэвэндээ байх хөдөлгөөнийг муу таамагласан байна.

V. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар өдрийн арилжаачдад зориулан гүн сургалтын DNN арга ашиглан нэг унц алтны үнэ НьюЙоркийн арилжааны мөчлөг эхэлснээс хойш эхний 4 цагт өсөх, буурах, тогтмол төлөвт байх гэсэн 3 ангиллаар таамаглал дэвшүүлэх боломжтой эсэхийг судлалаа. DNN загварт нийт 2,882,154 минутын өгөгдлөөс тухай өдрийн минутын хугацаан цуваанаас 23 шинж чанаруудыг ялган авч нийт 1694 өдрийн тоог оролтын өгөгдлөөр үүсгэсэн.

DNN загварын нууц давхарга дах нейроны тоог (256,128)-аас (64,32) болгож бууруулахад загварын сургалтын болон баталгаажуулах түүврийн алдааны утга 0.02-оор буурч, загварын үнэлгээ сайжирсан. DNN(64,32) загвар судлаачийн үүсгэсэн өсөх, буурах, хэвэндээ байх гэсэн 3 ангиллыг 60 хувийн магадлалтай зөв таамагласан байна. Оролтын өгөгдөлд үнэ буурах хөдөлгөөнийг илүү сайн таамагласан боловч үнэ өсөх, хэвэндээ байх хөдөлгөөнийг оролтын өгөгдлөөс 53-59 хувийн зөрүүтэй таамагласан байна.

Энэ туршилтыг цаашид гүн сургалтын загварын оролтын өгөгдлийн хэмжээг ихэсгэх, бусад эдийн засгийн ач холбогдолтой өндөр давтамжтай тоо мэдээллээр өргөтгөх, LLM ашиглан зах зээлийн зах төлөв тодорхойлсон өгөгдөлөөр өргөтгөх, мөн таамаглаж чадахгүй байгаа үлдсэн 40 хувь өгөгдлийн шинж чанар онцлогийг судалхаар зорьж байгаа болно.

Цаашид үнийн таамаглал дэвшүүлэх загварыг боловсронгуй болгосноор санхүүгийн эрсдэл, ашигт ажиллагаа зэрэг өргөн хэрэглээнд нэвтрүүлэх боломжтой юм.

НОМ ЗҮЙ

1. *“Introduction to Machine Learning with python, 2017.*
2. *Arnuz Jentzen “Mathematical Introduction to Deep Learning Methods, Implementations and Theory”, (2023).*
3. *Krugman, Obstfeld and Melits. International economics: Theory and policy, 10th edition.*
4. *Nitin Indurkhya and Fred J.Damerau. Hand book of Natural language processing, second edition.*
5. *Jiawei, Jiangtao “An integrated framework of deep learning and knowledge graph for prediction of stock price trend: An application in Chinese stock” (2019)*
6. *Zexin Hu, Yiqi Zhao, Matloob Kushi, “A survey of forex and stock price prediction using deep learning” (2020).*
7. *Wataru Souma, Irena Vodenska, Hideaki Aoyama. “Enhanced news sentiment analysis using deep learning methods”. Journal of Computational Social Science (2019).*
8. *Xiao Zhong, Daivd Enke. “Predicting the daily return direction of the stock market using hybrid machine learning. Springer open”(2019).*
9. *Sai Krishna, John McCrae. “A Comparative Study of SVM and LSTM Deep learning Algorithms for Stock market prediction” (2019).*
10. *Yoojeong song, Jae Won Lee, Jongwoo Lee, “A stsudy on novel filtering and relationship between input-features and target-vectors in a deep learning model for stock price prediction”(2018).*
11. *Arman Khadjeh, Saeed Aghabozorgi, Teh Ying Wah. “Text mining of news-headlines for forex market prediction: Multi-layer dimension reduction algorithm with semantics and sentiment” (2014).*
12. *Grane Aurea, Velga Helena. “Wavelet-based detection of outliers in volatility models. Statistics and Econometrics”(2009).*
13. *Javen Qinfeng Shi, болон бусад, “Stock market prediction via Deep learning techniques: Survey” (2023)*
14. *Victor Chang “An innovative neural network approach for stock market prediction” 2018.*
15. *Frank c.park “Deep learning networks for stock market analysis and prediction: Methodology, Data Representation, and Case Studies”, (2017).*
16. *Lina Ni, Yujie Li, “Forecasting of forex time series data based on deep learning” 2018.*

Дуу хоолой таних систем

Энхжаргал Адъяабат
ЭХИТ, МТЭС
МУИС
Улаанбаатар, Монгол
adiyabat.e@num.edu.mn

Содномнамжил Билэгдэмбэрэл
ЭХИТ, МТЭС
МУИС
Улаанбаатар, Монгол
20B1NUM1089@stud.num.edu.mn

Монгол Баярпүрэв
ЭХИТ, МТЭС
МУИС
Улаанбаатар, Монгол
bayarpurev@num.edu.mn

***Хураангуй*—Энэхүү судалгааны ажлаар бид тоо таних системийн хэрэгжүүлэлтийг хиймэл оюун ухаан ашиглан хийж гүйцэтгэсэн. Уг систем нь 1-ээс 10 хүртэлх тоог таних систем ба эхний шатанд цуглуулсан датаг 8kHz-ийн давтамжтайгаар түүвэрлэлт хийж 'MFCC'-ийн тусламжтайгаар дохионы давтамжийн коэффициентуудыг авч хадгалж авсан. Дараа нь бэлтгэсэн дата файлуудыг машин сургалтын аргыг ашиглан модельдоо таниулж өгсөн. 'SVM', 'KNN' моделиудыг ашиглан сургаж харьцуулалтыг хийсэн.**

***Түлхүүр үг*—Шинж чанарыг задлах, Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC), моделийг сургах, Support Vector Machine (SVM), K-nearest neighbour (KNN), Support Vector Classification (SVC), дата.**

I. Удиртгал

Яриа таних систем нь машинд хүний яриаг ойлгуулах техникийг хөгжүүлэх зорилготой. Ярианы технологи нь дуу хоолойг таних систем(Speech Recognition), ярианы дохиог синтез хийх систем(Speech Synthesis) гэсэн үндсэн 2 хэсэгт хуваагддаг. Яриа таних систем нь хүний яриаг дата мэдээлэлд хөрвүүлэн сургасан машинд оруулан анализ хийх процессыг гүйцэтгэнэ. [2] Яриа таних систем нь автомат хариулагч боловсруулах, дуу хоолойгоор бичих, төрөлх хэл ойлгох ба орчуулах зэрэг олон хүний амьдралыг хөнгөлсөн систем юм. [1], [2] KNN алгоритм нь урьдчилсан онцлогийг тодорхойлж, өөр өөр төрлийн датаг ялган тусгаарлаж, онцлог задлах шинжилгээ хийн өгөгдсөн дататай харьцуулалт хийн ялгадаг. [5] Шинэ датаг сургасан дататай ижил төстэй байдлыг тооцож, шинэ датаг хамгийн төстэй ангилалд оруулдаг. SVM нь MFCC-г ашиглан датаг өөр өөр ангилалд хуваан хамгийн сайн гипер хавтгайг(hyperplane) олох замаар ажилладаг. [4] SVM нь нэг ангиллын датаг нөгөө ангиллын дататй хамгийн том зөрүүтэй тусгаарладаг гипер хавтгайг олохыг ороллдог. SVM алгоритм нь бага датаны хувьд хамгийн өндөр таних нарийвчлалтай ажилладаг. Яриа таних системийн хэрэгжүүлэлт нь цөөн тооны хэл дээр хөгжүүлэлт хийгдсэн тул төрөлх хэл дээрээ яриа таних системийн хөгжүүлэлт хийх нь өргөн цар хүрээтэй ажил юм. [1] Энэхүү ажлаар 1-10 хүртэлх тоог таних систем болон ашиглагдсан моделиудын харьцуулалтыг хийсэн болно.

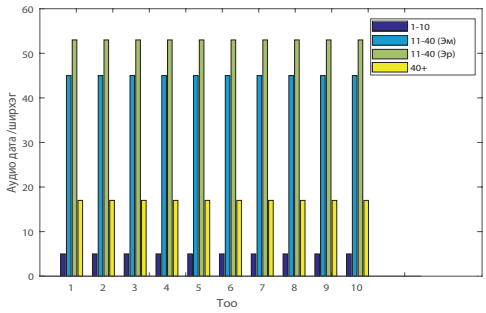
II. 1-ээс 10 хүртэлх тоо таних систем

Яриаг микрофоноор хураан авч цахилгаан дохионд хувиргадаг. [1] Систем нь дараах ерөнхий процессын үр дүнд бий болно. Үүнд аудио файл цуглуулах болон урьдчилан боловсруулах (Data collecting and Pre-processing), шинж чанарыг задлах, моделийг сургах, моделийг турших орно. [1], [2], [3]

III. Аудио файл цуглуулах болон боловсруулах

A. Цуглуулах

Уг системд тохирсон нэгээс арав хүртэлх тоог хураан авч цуглуулна. Бүх насны, бүх үндэстний гишүүдээс цуглуулах нь чухал ба энгийн орчинд бичиж авсан аудио файлыг цуглуулна. Уг датанууд нь олон янзын шуугиан агуулсан байна. [3] Цуглуулсан аудио файлыг нэгэн ижил үргэлжлэх хугацаатайгаар тасалж бэлтгэх ба тухайн хүний хэллэгийн хурд, өнгөнөөс хамаарч нэг аудио файлд нэг тоо бүрэн орсон байхаар бэлтгэнэ. Аудио датаны нас, хүйсийн харьцааг доорх Зураг 1-т харуулав.



Зураг 1. Цуглуулсан датаны нас, хүйсийн давтамж

Тоо тус бүрт 120-н ширхэг аудио файл цуглуулсан ба нийт 1200 файлаас бүрдсэн болно. Файл тус бүр нэгээс арвын хооронд аль нэг тоог хэлсэн 0.85 секундынх байна.

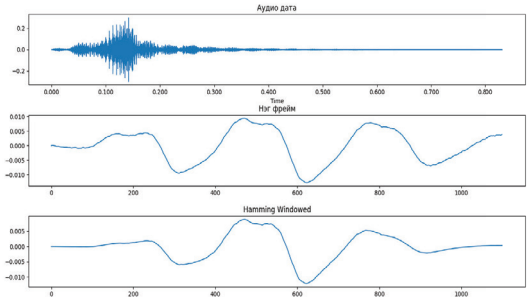
B. Боловсруулах

1) Аналог-тоон хувиргалт: Дуу нь механик долгион учраас аналог юм. Гэсэн хэдий ч компьютерт аудио хадгалах, машин сургалтын системд ашиглахын тулд үүнийг дижитал дохио болгон хувиргах шаардлагатай. Энэхүү хөрвүүлэлт нь ADC (Аналог-тоон хувиргагч) ашигладаг бөгөөд тохирох түүвэрлэлтийн давтамжийн утгыг өгдөг. [2]

2) Pre-emphasis: Ярианы дохио нь энергийн дохионы ангилалд хамаардаг бөгөөд ихэвчлэн бага давтамжтай их энергитэй байдаг. Pre-emphasis нь өндөр давтамжийг нам давтамжид шилжүүлэх замаар энергийг нөхөх зорилготой юм. Энэхүү спектрийн тэгшитгэл нь дохионы дохио шуугианы харьцааг сайжруулж, дуу чимээ ихтэй орчинд ярианы дохиог шинжлэхэд хялбар болгодог. Pre-emphasis нь дохионы өндөр давтамжийг ялган, спектрийн хэлбэрийг нөхдөг ердийн урьдчилан боловсруулах хэрэгсэл юм. [2]

3) Фреймчлэл (framing): Ярианы дохиог фрейм бүр нь дохионы хэсгийг агуулсан хэд хэдэн фрейм болгон хуваах үйл явц юм. Дохионы хугацааны домэйнд хурдан өөрчлөгддөг тул фреймд хуваадаг. Фреймчлэлийн үр дүнд ярианы дохионы шинж чанарууд нь жижиг фреймд тийм ч их өөрчлөгддөггүй байна. Фрейм нь ярианы дохиог хэсэгчлэн авч үзэх боломжийг олгодог бөгөөд энэ нь Фурье хувиргалт хийхэд тусалдаг. [2]

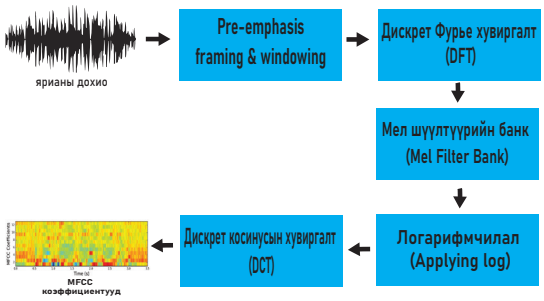
4) Windowing: Ярианы дохион дахь түр зуурын динамикийг авахын тулд MFCC тооцоололд ихэвчлэн windowing ашигладаг. Window нь зэргэлдээх фрейм хоорондын жигд шилжилтийг хангаж, дохионы тасалдалгүйгээр давхцах боломжийг олгодог. [2] Цуглуулсан датанаас нэгийг сонгон авч фреймчлэл, цонхлол(windowing) процессыг хийж зураг 2-т үзүүлэв.



Зураг 2. Аудио файл боловсруулалт

IV. Шинж чанарыг задлах (Feature extraction)

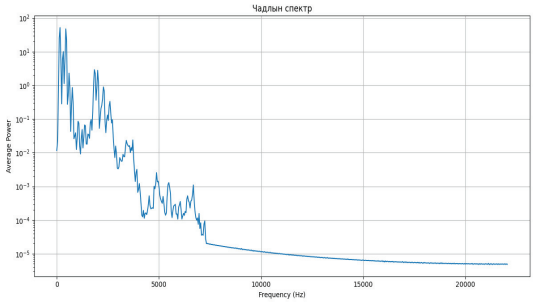
Шинж чанарыг задаргаа нь тогтвортой, өөр хоорондоо акустик хамааралтай шинж чанаруудын багцыг олоход ашигладаг. Долгионы хэлбэрээс статистикийн хэрэгцээт мэдээллийг гаргаж авахын тулд дохиог задлах аргууд нь сегмент бүрийн мэдээллийг хязгаарлагдмал тооны параметр, утганд нэгтгэх чадвартай байх ёстой. [2] Linear predictive Cepstral coefficients (LPCC), Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) болон PLP нь шинж чанарын задаргаанд өргөн хэрэглэгддэг аргууд юм. [1] Уг системд ашигласан MFCC нь давтамжийн зурвасын логарифмчилалын байршлаас шалтгаалан яриа танихад өргөн хэрэглэгддэг. Энэ нь бусад аргуудтай харьцуулахад хүний сонсголтой илүү төстэй ажиллагаат арга юм. Давтамжийг Мел масштаб руу хөрвүүлснээр MFCC нь хүний мэдрэх давтамжтай ижил ойлголтыг авч үздэг. Коэффициентын үр дүн нь ярианы дохио, хүч, өндөр, дууны өнгөний хэлбэр гэх мэт онцлогуудыг харуулдаг. [2] MFCC-ийн эхний гурван алхам нь аналогийг тоон руу хөрвүүлэх, цонхлох болон фреймчлэх шатыг дээр дурдсан. MFCCs үүсгэх процессын схемийг зураг 3-т үзүүлэв.



Зураг 3. MFCC ашиглан онцлог задлах дараалын блок диаграмм [2]

A. Дискрет Фурье хувиргалт (DFT)

Давтамжийн домэйн дээр ярианы дохионд анализ хийх нь бусад домэйнтэй харьцуулахад хамаагүй хялбар байдаг тул хугацааны домэйноос аудио дохиог давтамжийн домэйн болгон хувиргадаг. Давтамжийн домэйн дээрээс ярианы дохионд дүн шинжилгээ хийх нь дохионы хамгийн хэрэгцээт утгыг түүвэрлэхэд тусалдаг. DFT хувиргалтыг хийснээр фрейм бүрд чадлын спектрийг бодох боломжтой. [2] Зураг 3-ын дохионы бүх фреймээс DFT авсан чадлын спектрийг зураг 4-т үзүүлэв.



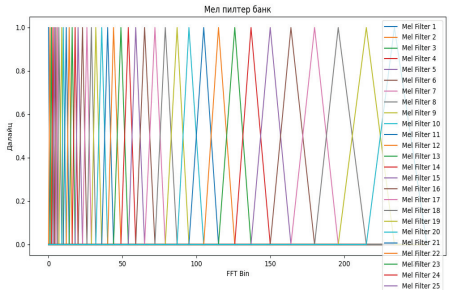
Зураг 4. Дискрет Фурье хувиргалсан чадлын спектр

B. Мел шүүлтүүрийн банк (Mel Filter Bank)

Хүмүүс зөвхөн бага давтамжийн мужид дуу авиаг ялгадаг. Харин машинууд давтамжаас үл хамааран бүх дууг нэгэн зэрэг шийддэг. Тиймээс машинуудыг хүнтэй адилаар ажиллуулахын тулд хүний чихний сонсголыг дуурайлгах, улмаар загварын гүйцэтгэлийг сайжруулах зорилготой Мел шүүлтүүрийн банкийг ашигладаг. [2]Хувиргалтын томьёо: $melf = 2595 \cdot \log\left(1 + \frac{f}{700}\right)$ MFCC 40-н коэффициент үүсгэх мел шүүлтүүрийг зураг 5-т үзүүлэв.

C. Логарифмчилал (Applying log)

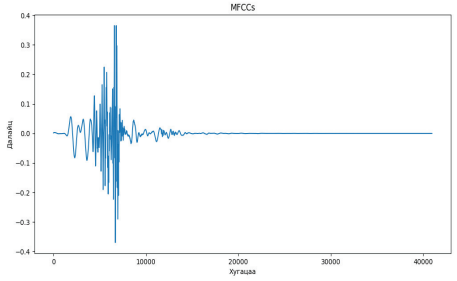
Логарифмын функц нь хүний чихний үйл ажиллагааг дуурайлган дуурайхад шаардагдах бага утгатай оролтод өндөр градиент үүсгэх ижил төстэй шинж чанартай тул мел шүүлтүүрийн банкны гаралтад хэрэглэгддэг. Мел шүүлтүүрийн банкнууд болон логарифмын функцийг ашигласны дараа бидэнд спектрограмм үлддэг.



Зураг 5. Мел шүүлтүүр

D. *Дискрет косинусын хувиргалт (DCT)*

Үүссэн спектрограммтай холбоотой асуудал нь шүүлтүүрийн банкны коэффициентууд хоорондоо ихээхэн хамааралтай байсан тул засах шалтгаан болж байна. Үүний үр дүнд DCT нь Мел спектрийг хугацааны мужид хөрвүүлэхэд ашиглагддаг бөгөөд коэффициентуудын жагсаалтыг MFCCs (Mel Frequency Cepstral Coefficients) гэж нэрлэдэг. [2]



Зураг 6. Mel Frequency Cepstral Coefficient

V. Моделийг сургах

Бэлтгэсэн датаг training ба testing хэсгүүдэд хуваана. Training set-ээр моделийг бэлтгэх ба testing set-ээр үнэлнэ. Датаг training болон testing хэсэгт хуваасны дараагаар уг датагаар моделийг бэлтгэж өгнө. Training ба testing датаг 70, 30-н хувийн харьцаагаар хуваан сургаж өгсөн болно.

A. *Support Vector Machine алгоритм*

Алдаар багасгах зарчимд суурилсан машин сургалтын арга бол SVM (Support Vector Machine) юм. Ерөнхий хэв маягийг таних, ялгах чиглэлээр олон тооны хэрэглээтэй. SVM нь шийдвэрлэлтийн функцийг (decision function) тодорхойлохын тулд SVM дээр суурилсан шугаман загварыг бүтээдэг. Хэрэв сургалтын дата нь шугаман салгах боломжтой бол SVM нь өгөгдлийг алдаагүй тусгаарлах оновчтой гипер хавтгайг олдог. [4] SVM оролтын датаг шугаман бус зураглалаар илүү өндөр хэмжээст функцийн орон зайд буулгадаг. SVM нь оновчтой гипер хавтгайг тодорхойлдог арга бөгөөд датаг ангилахад хамгийн хэцүү загвар юм. [4] Гипер хавтгайн ангиллыг үүсгэхэд харгалзах decision-функцийг тодорхойлбол:

$$f(x) = (\mathbf{w} \cdot \mathbf{x} + b) \tag{1}$$

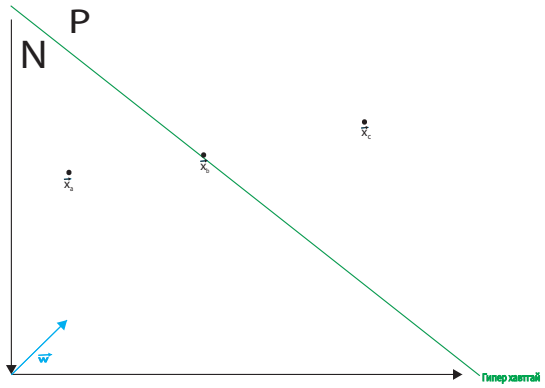
Энд $\mathbf{w}$ нь жингийн вектор (weight vector), $\mathbf{x}$ нь онцлог вектор (feature vector), b нь treshhold утга болно. [6]

$$f(x) = \begin{cases} \text{p}, & \text{if } f(x) > c \\ \text{n}, & \text{if } f(x) < c \\ \text{hyperplane}, & \text{if } f(x) = c \end{cases} \tag{2}$$

Энд c нь w векторын эхлэлээс гипер хавтгай хүрэх зай байна.
Эндээс хувиргалт хийвэл:

$$f(x) = (\mathbf{w} \cdot \mathbf{x} - c) \tag{3}$$

$$f(x) = \begin{cases} \text{p}, & \text{if } f(x) > 0 \\ \text{n}, & \text{if } f(x) < 0 \\ \text{hyperplane}, & \text{if } f(x) = 0 \end{cases} \tag{4}$$



Зураг 7. SVM decision function

B. *K Nearest Neighbor*

Одоогийн ярианы дохиог хэрэглэгчээс авч, функцуудыг задалж, дараа нь excel хуудсанд хадгална. KNN алгоритмыг ашигласнаар шинэ датаны шинж чанаруудын утгыг хадгалагдсан датаны утгатай харьцуулдаг. [5]
positions (i,j) = data1(i,j) - test1(i,j)
Дээрх тэгшитгэл нь хадгалагдсан датаны хамгийн ойр утгыг харуулсан баганыг буцаана. Буцах утгуудаас тушаал гарч ирнэ. Үүнийг алгоритмд зориулсан сургалтын багц гэж үзэж болно, гэхдээ тодорхой сургалтын алхам хийх шаардлагагүй. k-NN алгоритмын дутагдал нь өгөгдлийн ойр ойрхон бүтцэд мэдрэмтгий байдаг. [6]

C. *Моделийг туршиж*

Сургаж бэлэн болсон программыг энгийн, дуу чимээт нөхцөлд шалган туршиж, гүйцэтгэлийг үнэлнэ. KNN, SVM алгоритмаар сургасан ижил датанаас үүссэн хоёр машины ялгаанд үндэслэн дараагийн сайжруулалтад бэлтгэнэ. [4]

VI. Үр дүн

Урьдчилан бэлтгэсэн тоо тус бүр 52 болон 120 ширхэг файлаар сургасан үр дүнг хэвлэв.

Хүснэгт I
Classifier Accuracies for Each Digit (KNN)

	KNN-50н дата	**KNN-120н дата**
Digit 1	50.00%	56.25%
Digit 2	37.50%	45.71%
Digit 3	40.00%	71.88%
Digit 4	33.33%	44.74%
Digit 5	16.67%	46.88%
Digit 6	45.45%	33.33%
Digit 7	30.77%	26.92%
Digit 8	6.67%	30.56%
Digit 9	61.11%	58.97%
Digit 10	6.25%	17.95%
Overall	32.68%	43.45%

Хүснэгт II
Classifier Accuracies for Each Digit (SVM)

	SVM-50н дата	**SVM-120н дата**
Digit 1	71.43%	61.90%
Digit 2	62.50%	85.71%
Digit 3	65.00%	75.00%
Digit 4	75.00%	73.68%
Digit 5	50.00%	65.62%
Digit 6	72.73%	55.56%
Digit 7	61.54%	73.08%
Digit 8	66.67%	61.11%
Digit 9	72.22%	74.36%
Digit 10	50.00%	69.23%
Overall	64.05%	70.24%

50, 120н датаны үр дүнд SVM моделийн үр дүн нь KNN моделийн үр дүнээс харьцангуй өндөр байгаа тул SVM модельд тулгуурлан системийг хөгжүүлэх нь үр дүнтэй гэж үзэж байна.

VII. Дүгнэлт

Бид энэхүү судалгааны хүрээнд SVM, KNN машин сургалтын алгоритмуудыг хэрэглэн тоо таних системийн хэрэгжүүлэлтийг хийж гүйцэтгэсэн. Энгийн орчинд аудио файлын(wav өргөтгөлтэй) датасет бэлдсэн, бэлдсэн датасет дээрээ тулгуурлан MFCC аргыг ашиглан онцлог давтамжийн коеффициентуудыг хадгалан авч SVM, KNN моделиуддаа сургаж өгсөн. Үр дүнгээс харахад SVM модель нь бага хэмжээний дата өгөгдөлд илүү үр дүнтэй ажиллаж байна. Цаашид танилтын нарийвчлалыг ихэсгэхийн тулд илүү олон аудио файлыг цуглуулах шаардлагатай. Мөн цаашид SVM-ийн classification polynomial SVC, Radial SVC дээр сургаж, үр дүнгүүдийг харьцуулж, анализ хийхийг зорьж байна.

Ашигласан ном

[1] Ashok Kumar, Vikas Mittal, "Speech Recognition: A Complete Perspective", International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), Volume-7 Issue-6C, April 2019

[2] Sneha Basak, Himanshi Agrawal, Shreya Jena, Shilpa Gite, Mrinal Bachute, Biswajeet Pradhan and Mazen Assiri, "Challenges and Limitations in Speech Recognition Technology: A Critical Review of Speech Signal Processing Algorithms, Tools and Systems", Computer Modeling in Engineering , Sciences, 30 June 2022

[3] Madhuri Gupta, Dr. Megha Mishra, "SPEECH RECOGNITION TECHNIQUES AND METHODS: A SURVEY", 2018 IJCRT, Volume 6, 1 February 2018

[4] R. Thiruvengatanadhan, "Speech Recognition using SVM", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 05 Issue: 09, Sep 2018

[5] Dr. B. Vijayakumari, A.Johnson, S.Pitchai Arasu, K. Sadeesh Kumar, C.Vairamuthu, "VOICE RECOGNITION USING K-NN CLASSIFIER", International Journal of Advanced Research Trends in Engineering and Technology (IJARTET), Vol. 3, 14, March 2016

[6] Bernhard Sch¨olkopf, Alexander J. Smola, "Support Vector Machines and Kernel Algorithms", March 20, 2002

Салбар хуралдаан-2



Электрон систем, дохио боловсруулалт

САЛБАР ХУРАЛДААН-2: ЭЛЕКТРОН СИСТЕМ, ДОХИО БОЛОВСРУУЛАЛТ *ШУТИС VIII байр, 804 тоот танхимд* **Хурлын дарга:** М.Баярпүрэв /МУИС-ийн дэд профессор/		
1.	“Нисэх онгоцны загварын өндрийн тэнцвэржилтийн симуляц” *Ч.Бат-Оргил, Б.Луубаатар*	42
2.	“Давхар урвуу дүүжингийн тэнцвэржүүлэх удирдлага” *О.Энхцэцэг, Б.Луубаатар*	47
3.	“Хоёр шатлалт CMOS үйлдлийн өсгүүрийн 90 нм технологи ашигласан дизайн болон хэрэгжүүлэлт” *Б.Алтанцооож, М.Бүрэнзаяа*	51
4.	“Газрын зураглалыг тохируулах замаар GPS-гүй орчинд байршил тодорхойлох систем” *Ц.Тэнгис, Б.Доржж, Т.Амартүвшин, Г.Бат-Эрдэнэ, Ч.Батчулуун, Х.Тэмүүлэн*	56
5.	“Ярианы хөмрөг дэх бичвэр дуудлагын шинжилгээ” *О.Билгүүн, Ч.Алтангэрэл*	62

Нисэх онгоцны загварын өндрийн тэнцвэржилтийн симуляц

Ч.Бат-Оргил
Электроникийн салбар
МХТС, ШУТИС
Улаанбаатар, Монгол улс
ninoshd1133@gmail.com

Б.Луубаатар
Электроникийн салбар
МХТС, ШУТИС
Улаанбаатар, Монгол улс
luubaatar@must.edu.mn

***Хураангуй* — Нисэх салбарын хөгжилд нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмж (ННТ) өөрийн байр суурийг нэгэнт эзлээд байна. ННТ нь бүтэц болон зарчмын хувьд онгоцтой ижил хэдий ч түүний удирдлага автомат байх шаардлагатай болдог. Тийсээс энэ ажлын хүрээнд нисэх онгоцны тэнцвэржилтийг хангах автомат удирдлагын загварыг гаргах зорилго тавьсан. Онгоцны төлөвийн орны загварыг гаргаж, тэнцвэржилтийн Linear Quadratic Regulator (LQR) аргыг ашиглан тэнцвэржилтийн загварыг хэрэгжүүлж, симуляц хийж туршсан. Симуляцаар удирдлагын оролтод өгөгдсөн зорилтод өндрөөс онгоцны нислэгийн өндөр өөрчлөгдөхөд буцааж авчрах үйлдлийг зохимжтой эрчмээр хэрэгжүүлэх зорилго тавьсан. Үүнийг хэрэгжүүлэхийн тулд гэдрэг холбооны K коэффициентийг олохдоо тохирох Q, R матрицуудыг туршилтаар олохыг хичээсэн бөгөөд боломжит үр дүнд хүрсэн.**

Түлхүүр үг—Онгоцны удирдлага, аеродинамик хүч ба моментууд, LQR удирдлага

I. УДИРТГАЛ

Нисэхийн салбар хүчтэй хөгжсөөр байгаа одоо цагт нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжүүд (ННТ), тэдгээрийн хэрэглээ нийгмийн хэрэгцээнд өөрийн байр суурийг нэгэнт олсон байна. Үүний нэг жишээ нь орчин цагийн дайныг ННТ-гүйгээр төсөөлөх аргагүй болсон.

ННТ-ийн цэргийн салбарын хэрэглээнд газраас нисгэгч операторын тусламжтай агаарт орон зайн тандалт, судалгаа хийх, ачаа зөөвөрлөх, агаараас цохилт өгөх зэрэг олон төрлийн үүрэг гүйцэтгэдэг болсон байна.

ННТ-ийн автомат хөөрөлт, буулт болон тогтвортой нислэгийг удирдах автомат нислэгийг удирдах төхөөрөмжийн нэг гол алгоритм нь тэнцвэржилт хангах удирдлагын хэсэг юм.

Удирдлагын хэсгийг ихэвчлэн өндөр, хурд, хажуугийн өнцөг зэргийн удирдлыгууд тусдаа байхаар зохион байгуулдаг. Өндрийн тогтворжилтыг удирдах нь нэн тэргүүнд хийгдэх ажил юм.

Онгоцны өндрийг PID-д суурилсан өндрийн удирдлагаар удирдах боломжтой. Мэдрэгчээс хэмжсэн өндрийн утга болон өөрийн өндрийн утгын зөрүүний дагуу алдааны дохио үүсдэг. Энэ алдааны дохионы дагуу өндрийн удирдлагын гадаргууд хазайх дохио үүсдэг [7].

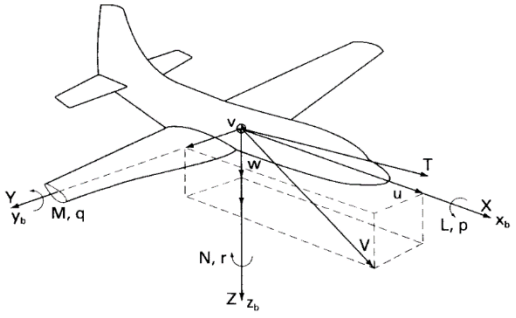
Altitude HOLD автопилот - Нэрнээс нь харахад гол зорилго нь өндрийн утгыг дагаж, CAS хянагч руу өнцгийн утгын оролтыг өгөх явдал юм. Өндөрийг баригч автопилот нь пропорциональ-интегратив (PI) төрлийн удирдлага юм [3].

Динамик агшилтын аргад (*Dynamic Contraction Method*) суурилсан удирдлагыг ашиглах нь шугаман бус загварыг тодорхойлсон төлөв байдал, эвдрэл, функцүүдийн талаар бүрэн мэдээлэл байхгүйгээр загварын утгуудыг хянах боломжтой болгодог [9].

Бид энэ судалгааны ажлын 2-р бүлэгт онгоцны хүч, өнцөг болон моментуудын математик загварыг гаргаж жижиг шуугианы онолыг ашиглан шугамчилсан уртааш хөдөлгөөний тэгшитгэлийг гаргаж авна. 3-р бүлэгт өндрийн тогтворжилтод хэрэгтэй гэсэн тэгшитгэлүүдийг ашиглаж төлөвийн орны LQR арга дээр суурилсан өндрийн тогтворжилтын удирдлагыг загварчилна. Ингэхдээ Boeing-747 онгоцны аеродинамик параметрүүдийг ашиглан төлөвийн тэгшитгэлийн тоон утгуудыг тооцолон гаргана. 4-р бүлэгт симуляцийн туршилтын үр дүнгүүдэд суурилсан K утгууд, тогтворжилтын хугацаа болон уруудах үеийн хурднуудыг харьцуулсан үр дүнд дүгнэлт гаргана.

II. МАТЕМАТИК ЗАГВАР

A. Хөдөлгөөний тэгшитгэл



Зураг 1. Онгоцны их биеийн тэнхлэгийн систем [1].

Хүснэгт 1. Их биеийн тэнхлэгийн системийн параметрүүд

	Roll тэнхлэг (x_b)	**Pitch тэнхлэг (y_b)**	**Yaw тэнхлэг (z_b)**
Өнцөг хурдууд	p	q	r
Шугаман хурдууд	u	v	w
Аеродинамик хүчнүүд	X	Y	Z
Аеродинамик моментууд	L	M	N
Тэнхлэг тус бүрийн инерцийн момент	I_x	I_y	I_z
Инерцийн үр дүн	I_{yz}	I_{xz}	I_{xy}

Онгоцны динамик шинж чанарыг ойлгох, үнэлэх зорилгоор хөдөлгөөний тэгшитгэлд тулгуурласан онгоцны загварыг гаргасан.

Онгоцонд үйлчилж буй аэродинамик хүчнүүд, онгоцны загварын параметрүүдийг оролцуулсан хөдөлгөөний тэгшитгэлээс Эйлерийн өнцөг хурд нь онгоцны параметрүүд болон одоогийн төлөвөөс хамаарсэн тэгшитгэл гарган авах нь төлөвийн орны загварт хөтлөх болно. Системийн симуляцийг олж авахын тулд Ньютоны хөдөлгөөний хуулиар математик загвар гаргах шаардлагатай. Шугаман бус хүчний тэгшитгэл нь дараах байдлаар илэрхийлдэнэ.

$$m(\dot{u} + qw - rv) = F_x - mgsin\theta \quad (1)$$
$$m(\dot{v} + rv - pw) = F_y + mgcos\theta sin\emptyset \quad (2)$$
$$m(\dot{w} + pw - qu) = F_z + mgcos\theta cos\emptyset \quad (3)$$

Энд онгоцны масс m (кг), X, Y, Z байрлал, тэнхлэгийн хурд U, V, W (м/с), тэнхлэгийн хурдатгал $\dot{U}$, $\dot{V}$, $\dot{W}$ (м/с^2), өнцгийн хурд p, q, r (рад/с). Өнцгийн хурдыг (7-9)-т харагдах байдлаар тодорхойлж болно, roll момент L, pitch момент M, yaw момент M.

Онгоцонд үйлчилж буй хүч ба моментийн бүрэлдэхүүн хэсгүүд нь аэродинамик, таталцал, түлхэлтийн нөлөөллөөс бүрдэнэ. Их биеийн тэнхлэгийн системийг зөв байрлуулан тулд xz хавтгай нь онгоцны тэгш хэмийн хавтгай гэж таамаглан инерцийн үр дүнгүүд болох $I_{yz} = I_{xy} = 0$ болгож болно. Энэ таамаглалаар моментийн тэгшитгэлийг Томьёо -(4-6)-д харуулснаар бичиж болно [1].

$$L = I_x\dot{p} - I_{xz}\dot{r} + qr(I_z + I_y) - I_{xz}pq \quad (4)$$
$$M = I_y\dot{q} + rq(I_x + I_z) + I_{xz}(p^2 + r^2) \quad (5)$$
$$N = -I_{xz}\dot{p} + I_z\dot{r} + pq(I_y - I_x) + I_{xz}qr \quad (6)$$

$$p = \dot{\phi} - \dot{\Psi}S_\theta \quad (7)$$
$$q = \dot{\theta}C_\phi + \dot{\Psi}C_\theta S_\phi \quad (8)$$
$$q = \dot{\Psi}C_\theta C_\phi - \dot{\theta}S_\phi \quad (9)$$

Томьёо (7)-(9)-ийг үргэлжлүүлэн бодсоноор Эйлер өнцгийн уламжлалууд (10)-(12) гарч ирнэ.

$$\dot{\theta} = qC_\phi - rS_\phi \quad (10)$$
$$\dot{\phi} = p + qS_\phi T_\theta + rC_\phi T_\theta \quad (11)$$
$$\dot{\Psi} = (qS_\phi + rC_\phi)sec\theta \quad (12)$$

Б. Жижиг шуугианы онол (Small disturbance theory)

Онгоцны аеродинамик шинж чанар нь нислэгийн нөхцөл байдлаас хамааран ихээхэн өөрчлөлт үзүүлдэг тул тэдгээр үзэгдлийг ойролцоо утгаар математик, физикийн аргаар дүрслэн хүлээн зөвшөөрөх нөхцөлөөр тодорхойлно. Зорилго нь физик дүрслэлд нийцсэн хамгийн энгийн ойролцоо дүрслэлийг олж авахад оршино. Сонгосон нислэгийн нөхцөлийг шугаман байдлаар тодорхойлох замаар аеродинамик шинж чанарыг ойртуулж болно гэсэн үг юм. Гэвч онгоцны тогтворжилтыг тодорхой хэмжээгээр бууруулдаг [5].

Нислэгийн нөхцөлийг тэгш хэмтэй, түлхэлтийн хүчийг тогтмол гэж үзнэ. Ингэснээр зарим тооцоолоход бэрх утгуудыг эмхэтгэж болдог.

Уртааш хөдөлгөөний богино хугацааны ойролцооллын хөдөлгөөний тэгшитгэлд онгоцны сүүл хэсэгт байрлах хөндлөн тогтворжуулагчийн удирдлагын гадаргууг (δ_e) нэмж оруулсаныг Томьёо (13) -т харуулав.

$$\begin{bmatrix}\dot{\alpha}\\ \dot{q}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_\alpha/U_0 & 1 \\ M_\alpha + M_{\dot{\alpha}}Z_\alpha/U_0 & M_q + M_{\dot{\alpha}}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\alpha\\ q\end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{\delta_e}/U_0 \\ M_{\delta_e} + M_{\dot{\alpha}}Z_{\delta_e}/U_0\end{bmatrix}[\delta_e] \quad (13)$$

III. ӨНДРИЙН ТОГТВОРЖИЛТЫН УДИРДЛАГА

А. Уртааш хөдөлгөөний төлөвийн орны загвар

Төлөвийн гэдрэг холбооны аргыг ашиглан нисэх онгоцны өндрийг тогторжуулагч автопилотыг загварчилж болно. Ингэхдээ онгоцны хурд, хажуугийн хөдөлгөөнийг бусад удирдлагын тусламжтай тогтмол удирдаж байгаагаар хүлээн зөвшөөрнө.

Онгоцны өндрийг (h) онгоцны өгсөх өнцөг (θ) болон давших өнгийн (α) хоорондын кинематик хамааралаар илэхийлнэ.

$$\dot{h} = u_0(\theta - \alpha) \quad (14)$$

Уртааш хөдөлгөөний богино хугацааны тэгшитгэлд босоо хурдны тэгшитгэлийг нэмснээр 4-р эрэмбийн системийг гаргаж авна.

Уртааш хөдөлгөөний төлөвийн хувсагьчид болон удирдлагын оролтыг Томьёо (15)-д үзүүлэв [1].

$$x = \begin{bmatrix}\alpha\\ q\\ \theta\\ h\end{bmatrix},\ u = \delta_e \quad (15)$$

Дээр дурдсан 4-р эрэмбийн тэгшитгэлийн A болон B матрицыг Томьёо (16)-д үзүүлэв.

$$A = \begin{bmatrix} Z_\alpha/u_0 & 1 & 0 & 0 \\ M_\alpha + M_{\dot{\alpha}}Z_\alpha/u_0 & M_q + M_{\dot{\alpha}} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -u_0 & 0 & u_0 & 0\end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} Z_{\delta_e}/u_0 \\ M_{\delta_e} \\ 0 \\ 0\end{bmatrix} \quad (16)$$

Энэ загварт BOEING-747 онгоцны параметрүүдийг орлуулж тэнцвэржилтийн алгоритмыг туршиж үзсэн. BOEING-747 онгоцны параметрүүдийг Хүснэгт 2-т харуулав.

Хүснэгт 2. BOEING-747 нисэх онгоцны аеродинамик параметрүүдын тоон утгууд.

Параметр	Утга	Нэгж	Тайлбар
m	250,000	Kg	Масс
S	510	m^2	Далавчны талбай
$\bar{c}$	8.3	m	Дундаж аеродинамик корд
I_{yy}	$41.35x10^6$	$Kg*m^2$	Pitch тэнхлэгийн инерци
ε_T	0.044	rad	Түлхэх хүчний налуу өнцөг
C_{L0}	1.71		
$C_{L\alpha}$	5.67	1/rad	Өргөлтийн давших өнцгийн дериватив
$C_{L\delta_e}$	0.36	1/rad	Өргөлтийн өөрчлөлтийн дериватив
$C_{L\dot{\alpha}}$	6.7	s/rad	Өргөлтийн давших өнцгийн хурдны дериватив
C_{Lq}	5.65	s/rad	Өргөлтийн pitch өнцгийн хурдны дериватив
C_{D_0}	0.263		
$C_{D\alpha}$	1.13	1/rad	Чирэлтийн давших өнцгийн дериватив
$C_{D\delta_e}$	0	1/rad	Чирэлтийн өөрчлөлтийн дериватив
$C_{D\dot{\alpha}}$	0	s/rad	Чирэлтийн давших өнцгийн хурдны дериватив
C_{Dq}	0	s/rad	Чирэлтийн pitch өнцгийн хурдны дериватив
C_{M0}	-0.093		
$C_{M\alpha}$	-1.45	1/rad	Моментийн давших өнцгийн дериватив
$C_{M\delta_e}$	-1.40	1/rad	Моментийн өөрчлөлтийн дериватив
$C_{M\dot{\alpha}}$	-3.3	s/rad	Моментийн давших өнцгийн хурдны дериватив
C_{Mq}	-21.4	s/rad	Моментийн pitch өнцгийн хурдны дериватив
T_0	382.572	kN	
$\frac{\partial T}{\partial \delta_1}$	7801.63	kN/rad	Түлхэлтийн хөдөлгүүрийн тохируулгын өөрчлөлтийн дериватив

Тогтвортой байдлын уламжлалууд буюу (16)-(22)-р Томьёонуудад аеродинамикийн параметрүүдийн тоон утгуудыг оруулан бодож Томьёо (13)-т орлуулан гаргасан тоон утгуудыг Томьёо (23)-д үзүүлэв.

$$Z_\alpha = \frac{C_{Z_\alpha} QS}{m} = \frac{-(C_{L_\alpha} + C_{D_0})QS}{m} \quad (16)$$

$$M_\alpha = \frac{C_{M_\alpha} QS\bar{c}}{I_y} \quad (17)$$

$$M_{\dot{\alpha}} = \frac{C_{M_{\dot{\alpha}}} (\frac{\bar{c}}{2U_0}) QS\bar{c}}{I_y} \quad (18)$$

$$M_q = \frac{C_{M_q} (\frac{\bar{c}}{2U_0}) QS\bar{c}}{I_y} \quad (19)$$

$$Z_{\delta_e} = \frac{C_{Z_{\delta_e}} QS\bar{c}}{m} \quad (20)$$

$$M_{\delta_e} = \frac{C_{M_{\delta_e}} QS\bar{c}}{I_y} \quad (21)$$

$$Q = \frac{\rho U^2}{2} \quad (22)$$

Boeing-747 нисэх онгоцны хурд $u_0 = 250$ м/с , агаарын нягт ρ 1.225 кг/м^3, нисэх онгоцны масс 250*10^3 кг гэж үзвэл:

$$A = \begin{bmatrix} -1.853 & 1 & 0 & 0 \\ -5.28 & -1.615 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -250 & 0 & 250 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0.112 \\ -5.49 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

Б. Шугаман квадрат тохируулгын арга (LQR)

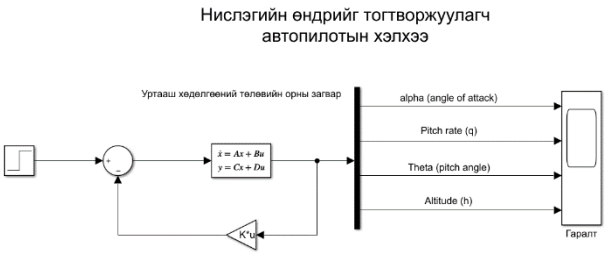
Орчин үеийн удирдлагын арга болох Шугаман Квадрат Тохируулга (Linear Quadratic Regulator, LQR) –ын арга нь системийн параметрүүдээс үнэлгээний функцийн утгыг хамгийн бага байлгах өсгөлтийн K матрицыг тооцоолох явдал юм [7]. K өсөлтийн матрицыг тооцоолоход ашигладаг Q ба R матрицууд нь системийн гүйцэтгэлийг тодорхойлдог. Хэрэглэгчийн тодорхойлсон Q ба R жингийн матрицыг Брайсоны дүрмийн аргаар тооцоолж болно [14]. Q матрицын элементүүдийг төлөвийн хувьсагч бүрийн алдааны хамгийн их утгаас хамаарахаар сонгосон бол R матрицын элементүүдийг удирдлагын оролт бүрийн хамгийн их утгаас хамаарахаар сонгосон. Энэхүү судалгаанд Q болон R матрицуудыг Matlab програмын K=lqr(A,B,Q,R); командын тусламжтайгаар тооцоолов. Энэхүү команд нь Рикатти тэгшитгэлээр дамжуулан үнэлгээний функцийн утгыг хамгийн бага байлгах K-ийн утгуудыг бодож гаргадаг.

Өмнөх хэсэгт загварчилсан төлөвийн орноор илэрхийлэгдсэн загварт зориулагдсан гэдрэг холбооны K коэффициент:

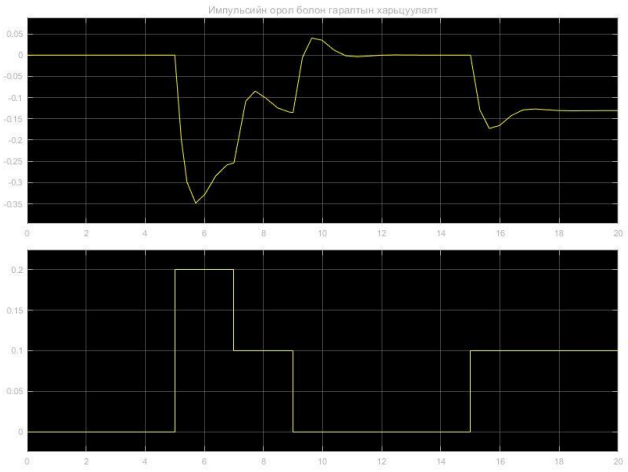
$$K = [58.1562 \quad -1.6810 \quad -77.6114 \quad -1.0000]$$

IV. СИМУЛЯЦЫН ҮР ДҮН

Нисэх онгоцны өндрийг тогтворжуулагч удирдлагын загварын хэлхээг Зураг 2 – т харуулав.



Зураг 2. Нислэгийн өндрийг тогтворжуулагч удирдлагын системийн хэлхээ.



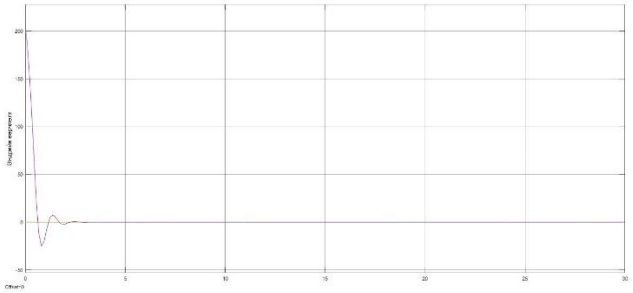
Зураг 3. Зураг 2 дээрх удирдлагын загварын системийн импульсын оролтод үзүүлж буй хариу.

Хүснэгт 3. LQR удирдлагын туршилтын үгүүд.

Q [Diagonal]	**R**	**K**	**Тогтвор жилт (сек)**	**Өндрийн өөрчлөлтийн хамгийн огцом хэсгийн хурд (м/сек)**
$[1\ 1\ 1\ 1]^T$	1	58.1562 -1.6810 -77.6114 -1.0000	2.5	376.93
$[1\ 1\ 1\ 0.1]^T$	10^3	1.7695 -0.4227 -2.9977 -0.0100	4.4	143.84
$[1\ 1\ 1\ 0.1]^T$	10^4	0.8593 -0.2438 -1.4305 -0.0032	7.8	82.96
$[1\ 1\ 1\ 0.1]^T$	10^5	0.4434 -0.1381 -0.7226 -0.0010	13.1	47.83
$[1\ 1\ 1\ 0.1]^T$	$8*10^4$	0.4719 -0.1460 -0.7704 -0.0011	12.3	51.67
$[1\ 1\ 1\ 0.1]^T$	$5.6*10^4$	0.5216 -0.1595 -0.8542 -0.0013	11.2	65.12
$[100\ 1\ 1\ 0.1]^T$	$5.6*10^4$	0.5214 -0.1596 -0.8543 -0.0013	11.4	51.12
$[100\ 1000\ 10000\ 0.05]^T$	$5.6*10^4$	0.4839 -0.1907 -0.8463 -0.0009	10.3	36
$[100\ 500\ 10000\ 0.05]^T$	$5.6*10^4$	0.4800 -0.1820 -0.8441 -0.0009	9.9	37.02
$[100\ 500\ 10000\ 0.008]^T$	$5.6*10^4$	0.3434 -0.1457 -0.6136 -0.0004	24	16.13
$[1000\ 500\ 10000\ 0.05]^T$	$5.6*10^4$	0.3769 -0.2220 -0.6235 -0.0004	28.4	21.23
$[1000\ 500\ 8000\ 0.05]^T$	$5.6*10^4$	0.3665 -0.2142 -0.5912 -0.0004	22.1	16.5
$[1000\ 3000\ 8000\ 0.05]^T$	$5.6*10^4$	0.3510 -0.1816 -0.5869 -0.0004	23.5	24.4
$[1000\ 30000\ 11000\ 0.05]^T$	$5.6*10^4$	0.4973 -0.5378 -0.6784 -0.0004	26.8	21.4
$[1000\ 50000\ 11000\ 0.05]^T$	$5.6*10^4$	0.5495 -0.7258 -0.7022 -0.0004	26.2	20.7

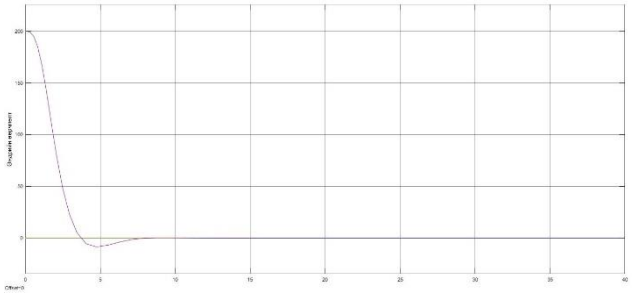
Хүснэгт 3-т харуулж буй туршилтын үгүүд нь Зураг 2-т үзүүлсэн удирдлагын загвар дээр хийсэн туршилтуудын үр дүнд гарсан үгүүд юм.

Тушилтын симуляцын явцад Зураг 2-т харуулсан удирдлагын загварын K тогтмолыг Q болон R үгүүдыг өөрчлөх замаар тогтоож өндрийн өөрчлөлтийн анхны үгыг 200 метр болгож хэрхэн байх ёстой өндөрт буцаж тогтворжиж байгааг ажиглан хамгийн тохиромжтой K үгүүдыг олох зорилго тавьсан. Туршилтын үр дүнгүүдээс түүвэрлэн Зураг 5-7-д үзүүлэв.



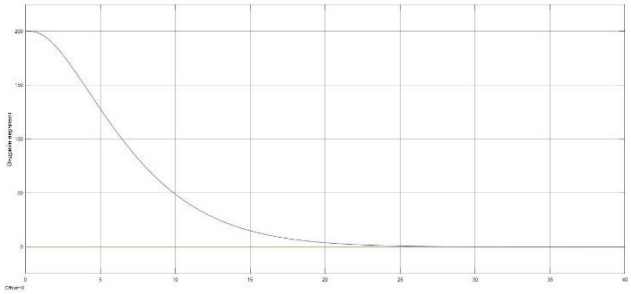
Зураг 4. Q = [1,1,1,1], R = 1 байх үеийн системийн хариу.

Энэ графикаас харвал тогтворжилтын хугацаа хэт богино бөгөөд өндрийн өөрчлөлтийн хурдны хувьд бодит байдлаас давсан хурдан байгаа нь ажиглагдаж байна.



Зураг 5. Q = [1,1,1,0.1], R = 56000 байх үеийн системийн хариу.

Энэ графикаас харвал тогтворжилтын хугацаа болон өндрийн өөрчлөлтийн хурдны хувьд ахиц гарсан тогтворжилтын хувьд хангалтгүй байгаа нь ажиглагдаж байна.



Зураг 6. Q = [1000,50000,11000,0.05], R = 56000 байх үеийн системийн хариу.

Энэ графикаас харвал тогтворжилтын хугацаа болон өндрийн өөрчлөлтийн хурдны хувьд бодит байдалтай тохирсон тогтворжилтын хувьд хэвийн байгаа нь ажиглагдаж байна.

V. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаар нисэх онгоцны уртааш хөдөлгөөний богино хугацааны математик загварыг гарган авч MATLAB/SIMULINK программыг ашиглан аналитик симуляци хийж үзэв. Нисэх онгоцны хурд болон хажуугийн хөдөлгөөнийг бусад автопилотын удирдлагын системээр удирдагдаж байгаа гэж үзэн өндрийн тогтворжилтын удирдлагыг LQR аргыг ашиглан хийх боломжтой гэдгийг харууллаа.

Boeing-747 нисэх онгоцны хувьд өгсөх уруудах үеийн хурд нь 20.32 м/с байдаг бөгөөд түүнтэй ижил үр дүнд хүрэхийн тулд тохиромжтой K тогтмолуудыг олох зорилготой симуляцын туршилтуудыг хийж гүйцэтгэлээ.

Хамгийн сайн үр дүн үзүүлсэн утгуудын графикийг Зураг 6-д үзүүлсэн бөгөөд ойролцоогоор 26 секундэд анхны өндрийн байрлалд ирж байгааг харж болно. Мөн уруудах хурд нь 20.7 м/с байсан нь бодит нислэгийн үеийн мэдээлэлтэй ойролцоо байгаа нь бидний загварчилсан удирдлагын үр дүнг сайн гаргаж байгаа юм. Тогтворжилтын хувьд аажуу байдал харагдаж байгаа тул бодит байдалд зорчигч нарын тав тухтай байдлыг алдагдуулахгүйгээр уруудаж байгаагаар төсөөлж болно.

Цаашид хажуугийн хөдөлгөөний тэгшитгэлийг ашиглан хурдны удирдлагын системийг загварчлах боломжтой. Төлөвийн орны удирдлагын загвар ашиглан хурд, өндөр болон хазайлтын өнцгүүдийн удирдлагыг загварчилж Flight Gear, X-Plane зэрэг програмуудыг Matlab програмтай холбож эдгээр нислэгийн симуляцын ажлын талбарт нэмэлтээр салхи, шуугиан гэх мэт бусад оролтын өгөгдөхүүнүүдийг нэмж оруулан бодит нислэгтэй ойролцоо үр дүнд хүрж болохуйц туршилтуудыг хийх боломжтой.

Энэхүү судалгааны ажлын үр дүн нь нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжүүдийн удирдлагын системийн судалгаанд хэрэглэгдэх суурь ажил болсон гэж үзэж байна.

НОМ ЗҮЙ

[1] Nelson R.C., Flight Stability And Automatic Control, McGraw-Hill, 1998

[2] Mclean D., Automatic Flight Control Systems, Prentice-Hall, 1990

[3] Willian Rigon Silva, Andre Luis da Silva - Modelling, Simulation and Control of a Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Modelling, Simulation and Control of Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicle (UAV) 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering December 3-8, 2017, Curitiba, PR, Brazil

[4] B. L. Stevens, F. L. Lewis - Aircraft Control and Simulation, 2rd ed. Wiley-Interscience, New York, 2003

[5] Michael V. Cook - Flight Dynamics Principles A Linear Systems Approach to Aircraft Stability and Control Third edition 2013 ISBN 978-0-08-098242-7

[6] https://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=AircraftPitch&section=SystemModeling

[7] Yasemin ÇANTAŞ, Autopilot development and simulation for unmanned aerial vehicles (İnsansiz hava araçlari için otopilot geliştirme ve simülasyonu), 2021

[8] Xudong Wang , Yuanjun Sang and Guangrui Zhou, Combining Stable Inversion and H∞ Synthesis for Trajectory Tracking and Disturbance Rejection Control of Civil Aircraft Autolanding, School of Aeronautics and Astronautics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China, 2020

[9] M. J. Bachuta, R. Czyba, W. Janusz, and V. D. Yurkevich - UAV glider control system based on dynamic contraction method, Proc. of 17th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR). Miedzyzdroje (Poland), August 27-30, 2012, pp.114-118.

[10] P Lathasree, Shaik Ismail, Abhay A Pashilkar - Design of Nonlinear Flight Controller for Fighter Aircraft, Third International Conference on Advances in Control and Optimization of Dynamical Systems March 13-15, 2014. Kanpur, India.

[11] Matheus Hentschke, Edison P. de Freitas - Design and Implementation of a Control and Navigation System for a Small Unmanned Aerial Vehicle, IFAC (International Federation of Automatic Control) Hosting by Elsevier Ltd, 2016.

[12] Emre KIYAK - Flight control system design with state feedback, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* **25** (1-2) 409 - 425 (2009).

[13] Ramesh Hun, Anshul Tiwari, and Nandan Kumar Sinha - Design and Simulation of Autopilot Control System for Stratospheric Airship, IFAC-PapersOnLine 49-1 (2016) 712–717, *Chennai-36, INDIA*

[14] Bryson, A. E.; and Y. C. Ho. Applied Optimal Control. Washington, D.C.: Hemisphere, 1975

Давхар урвуу дүүжингийн тэнцвэржүүлэх удирдлага

О.Энхцэцэг
Мэдээллийн технологийн тэнхим
АБДС, УБХИС
Улаанбаатар, Монгол
Enkhtsetseg057@gmail.com

Б.Луубаатар
Электроникийн тэнхим
МХТС, ШУТИС
Улаанбаатар, Монгол
luubaatar@must.edu.mn

Хураангуй - Энэхүү өгүүлэлд Лагранжийн механикт тулгуурлан давхар урвуу дүүжингийн төлөвийн орны загварыг гарган, түүнийг төлөвийн орны гэдрэг холбооны удирдлагын LQR болон LQG аргуудыг ашиглан босоо чиглэлд тогтворжуулсан симуляцийн үр дүнгийн талаар өгүүлнэ. Давхар урвуу дүүжинг тогтворжуулах нь олон үетэй байгууламжийн төгсгөлийн цэгийг удирдах, пуужингийн нислэгийг загварчлах, хоёр хөлтэй алхдаг робот, хоёр дугуйтай сэгвэй төхөөрөмж зэргийн удирдлагын суурь болдог. LQR удирдлага ашиглан төлөвийн гэдрэг холбооны коэффициент *K*-г тодорхойлохдоо үнэлгээний функцыг хамгийн бага байлгах *Q, R* матрицуудыг хэд хэдэн хувилбараар туршсан. LQG удирдлагын хувьд системийг тогтворжуулахад гажуудал үүсгэх шуугиануудыг багасгаж, төлөвийн хувьсагчдын бүх утгыг хэмжин авахын тулд Калманы шүүр ашиглан системийг тогворжуулсан.

Түлхүүр үгс – Давхар урвуу дүүжингийн загвар, LQR удирдлага, LQG удирдлага, Калманы шүүр

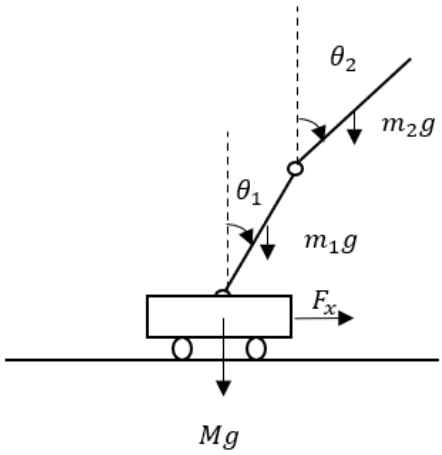
I. УДИРТГАЛ

Механик системийг тэнцвэрийн байрлал руу хөтлөх, улмаар тэнцвэрийг удирдах нь удирдлагатай системийн хүнд даалгаврууд нэг юм. Давхар урвуу дүүжин гэдэг нь хэвтээ тэнхлэгийн дагуу хөдлөх тэргэнцэрт хөдөлгүүргүй эргэх гол дээр бэхлэгдсэн давхар дүүжинг хэлнэ. Уг механик систем нь шугаман бус тогтворгүй системийн сонгодог загвар бөгөөд түүнийг тогтворжуулахын тулд төлөвийн оронд тулгуурласан удирдлагын аргууд, хиймэл оюун, PID удирдлага зэргийг өргөн ашигласан байдаг[1-4]. Хэвтээ тэнхлэгийн дагуу хөдлөх тэргэнцэрт бэхэлсэн давхар урвуу дүүжинг тогтворжуулах [5-7], дрон дээр байрлуулсан урвуу дүүжин [8], тойргоор эргэх тэргэнцэрт суурилуулсан давхар урвуу дүүжинг тогтворжуулах [9-12] зэрэг олон ажлуудыг дурьдаж болно. Бидний хувьд давхар дүүжинтэй системийг LQR болон LQG аргуудаар тогтворжуулж, симуляц хийн харьцуулахыг зорьсон. Эдгээр аргууд нь хамгийн өргөн хэрэглэгддэг бөгөөд параметрийн өөрчлөлтөд харьцангуй тэсвэртэй юм.

Бид давхар урвуу дүүжингийн математик загварыг гаргаж, түүнийг LQR болон LQG удирдлагын аргуудаар тогтворжуулж, симуляцийн орчинд удирдлагын арга тус бүрт тохирох параметрийг өөрсдийн туршилтаас сонгосон.

II. МАТЕМАТИК ЗАГВАР

Сонгодог механикийн хуулиудад тулгуурлан давхар дүүжингийн загвар гаргах нь төвөгтэй учраас Лагранжийн механик ашигласан. Дүүжингүүдийг массын хувьд жигд хуваарьлагдсан тэгш хэмтэй гэж тооцсон тул инерцийн моментийн нөлөөг бага гэж үзсэн. Давхар урвуу дүүжингийн загварыг Зураг 1-т үзүүлэв. Энэ нь хэвтээ тэнхлэгийн дагуу хөдлөх M масстай тэргэнцэр, түүнд эргэх холбоосоор бэхлэгдсэн m_1 масстай, L_1 урттай доод дүүжин буюу саваа, доод дүүжинд бэхлэгдсэн m_2 масстай, L_2 урттай дээд дүүжин зэргээс бүрдэнэ. Уг системийн хөдөлгөөний чөлөөний зэрэг нь гурав хэдий ч гаралтыг тэргэнцрийн шилжилт, хурд, саваа тус бүрийн босоо тэнхлэгтэй үүсгэх өнцөг, өнцөг хурд зэргийг сонговол ($x\ \dot{x}\ \theta_1\ \theta_2\ \dot{\theta}_1\ \dot{\theta}_2$) төлөвийн хувьсагчдын тоо зургаа болох тул систем нь зургаадугаар эрэмбийн систем тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ.



Зураг 1. Давхар урвуу дүүжингийн загвар

Лагранжийн механикт тулгуурлан давхар урвуу дүүжинг загварчлахдаа системийн ерөнхий кинетик энерги, ерөнхий потенциал энергийн ялгаврыг олдог. Үүнээс Лагранжийн тэгшитгэлийг гарган авч, зарим хэсгийг хялбарчилж, саваануудын босоо тэнхлэгтэй үүсгэх өнцгийг маш бага гэж үзээд шугамчилж, төлөвийн орны ерөнхий хэлбэрт оруулна [13].

Бид давхар урвуу дүүжингийн өгөгдлийг $M = 0.01$кг, $m_1 = 0.05$кг , $L_1 = 0.2$м , $m_2 = 0.05$кг , $L_2 = 0.2$м гэж өгсөн. Үүнээс системийн төлөвийн орны илэрхийллийн тэгшитгэлийг (1) -д харуулав.

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -39.71 & 4.412 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 383.8 & -92.65 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -277.9 & 180.9 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 41.18 \\ -264.7 \\ 88.24 \end{bmatrix} F_x \quad (1)$$

Төлөвийн орны тэгшитгэлийг гарган авсны дараа системийг удирдах боломжтой эсэхийг дараах байдлаар шалгасан. A нь системийн матриц, B нь системийн оролтын матриц болно.

$$co = rank(ctrb(A, B)) \quad (2)$$

Матрицын ранк нь зургаа буюу бүрэн байсан. Энэ нь системийг удирдах боломжтой гэсэн үг.

Мөн систем тогтворжих боломжтой эсэхийг шалгахын тулд системийн матриц A – ийн тодорхойлогчийг бодоход 0 гарсан. Иймээс системд тэнцвэрийн цэгүүд байгаа гэж үзэж болно.

III. УДИРДЛАГЫН СИСТЕМ

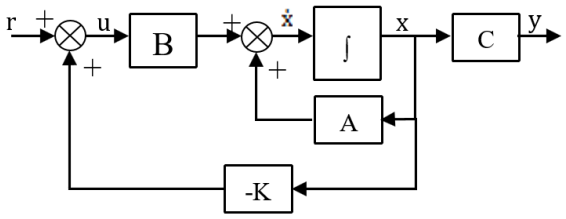
Давхар урвуу дүүжингийн удирдлагын системийг төлөвийн орны гэдрэг холбооны удирдлагын LQR болон LQG аргуудыг ашиглан хэрэгжүүлсэн.

A. LQR аргаар системийг тогтворжуулах

LQR удирдлагыг хэрэглэхэд системийг хугацааны оронд нэгдүгээр эрэмбийн дифференциал тэгшитгэлүүдээр илэрхийлдэг.

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases} \quad (3)$$

LQR аргаар системийг тогтворжуулах үеийн төлөвийн гэдрэг холбоотой системийн ерөнхий хэлбэрийг Зураг 2-т үзүүлэв.



Зураг 2.Төлөвийн гэдрэг холбоотой системийн блок диаграм

Эндээс харвал төлөвийн гэдрэг холбооны коэффициент K -ийн утгыг тодорхойлох нь гол асуудал юм. LQR аргын хувьд төлөвийн хувьсагч болон оролтын хувьсагчуудын алинд илүү ач холбогдол өгөхийг тохируулах боломжтой үнэлгээний функцыг ашигладаг.

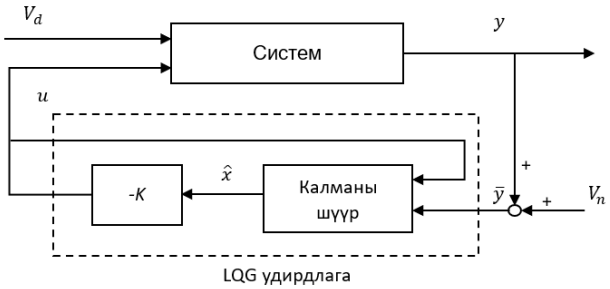
$$J = \int_0^\infty [x^T Q x + u^T R u]\, dt$$
$$Q = Q^T \geq 0, R = R^T > 0 \quad (4)$$

Үнэлгээний функц J – ийг бага байлгахын тулд төлөвийн хувьсагч нь хурдтайгаар тэнцвэрийн цэг рүүгээ дөхөх шаардлагатай. Иймд үнэлгээний функцын Q, R матрицуудыг оновчтой сонгох нь чухал. Тус матрицуудын тэгээс ялгаатай элементүүд нь системийн төлөвийн орны хувьсагч тус бүрт болон оролтын хувьсагчид харгалзана. Үүний дараагаар Matlab програмын lqr() функцийг ашиглан K коэффициентийг гаргаж авсан.

$$K = lqr(A, B, Q, R) \quad (5)$$

B. LQG аргаар системийг тогтворжуулах

LQG арга нь төлөвийн гэдрэг холбооны удирдлагын коэффициент K-ийг Калманы шүүртэй хамт ашигладаг. Зураг 3-т LQG удирдлагын ерөнхий хэлбэрийг харуулав.



Зураг 3. LQG удирдлагын схем

Бодит байдалд гажуудуулагчдаас хамаарч төлөвийн орны хувьсагчдын бүх утгыг хэмжиж чаддаггүй. Үүнийг шийдвэрлэхийн тулд системийн загварыг ашиглан төлөвийн хувьсагчдыг сэргээх зорилгоор Калманы шүүр ашигладаг. Системийн төлөвийн тэгшитгэлд гажуудуулагч шуугианыг тооцсон загвар нь дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + V_d \\ y = Cx + V_n \end{cases} \quad (6)$$

V_d - системийн шуугиан

V_n - хэмжилтийн шуугиан

Харин Калманы шүүрийн гэдрэг холбооны коэффициентийг (7)-г ашиглан тооцно.

$$\dot{\hat{x}} = (A - K_f)\hat{x} + Bu + K_f y \quad (7)$$

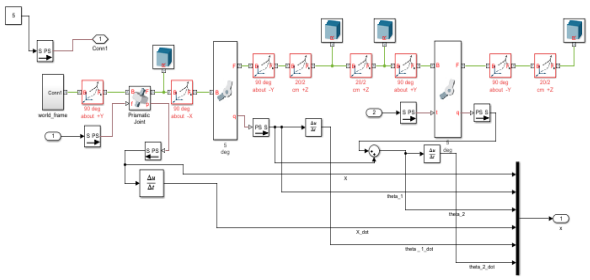
K_f – Калманы шүүрийн коэффициент

Калманы шүүрийн коэффициентийг тодорхойлхдоо Matlab програмыг ашиглан 2 аргаар тооцоолж болно. 2 аргын үр дүнд ижил хариу гарна.

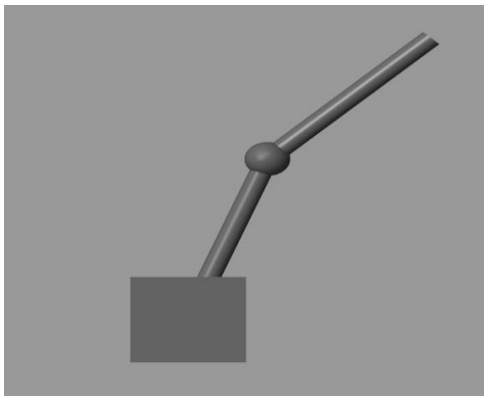
$$K_f = lqe(A, V_d, C, V_d, V_n) \quad (8.a)$$
$$K_f = (lqr(A', C', V_d, V_n))' \quad (8.b)$$

IV. СИМУЛЯЦИЙН ҮР ДҮН

Симуляцийг Matlab-ийн Simmechanics tool-ийг ашиглан гурван хэмжээст виртуал механик орчинд LQR болон LQG аргуудыг ашиглан хийсэн. Ингэхдээ төлөвийн орны матриц, K коэффициент, Калманы шүүрийн коэффициент зэргийг .m файл үүсгэн бодуулж, давхар урвуу дүүжингийн симуляцидаа ашигласан. Зураг 4-т давхар урвуу дүүжингийн загвар, Зураг 5-д Simmechanics дээрх доод дүүжинг 20^0, дээд дүүжинг 25^0 өнцгөөр хазайлгасан туршилтын орчинг дүрслэв.



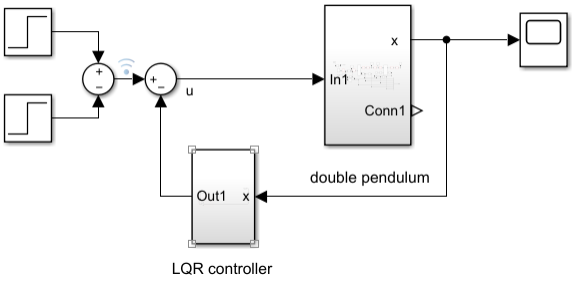
Зураг 4. Давхар урвуу дүүжингийн загвар



Зураг 5. Simmechanics дээр хийсэн симуляцийн орчин

A. LQR удирдлагын симуляцийн туршилт

Энэхүү удирдлагын үед Q, R матрицуудын ялгаатай утгын сонголтод ялгаатай шилжилтын процессыг харуулж байсан. LQR удирдлагын симуляцийн загварыг Зураг 6-д харуулав.



Зураг 6. LQR удирдлагын симуляцийн загвар

Иймд бид төлөвийн орны хувьсагчдаас тэргэнцрийн шилжилт, доод болон дээд дүүжингийн шилжилтэд ач холбогдол өгч, үнэлгээний функцийн матрицуудын утгыг өөрчлөн хэд хэдэн туршилт хийсэн. Туршилтад доод дүүжинг 15^0, дээд дүүжинг 10^0 өнцгөөр хазайлгасан болно.

Бидний хийсэн туршилтаас харахад доод болон дээд дүүжингийн өнцгийн шилжилтэд ач холбогдол өгөх нь хамгийн тохиромжтой хувилбар байсан. Учир нь системийн хөдлөх хэсгүүд хамгийн хурдан эсвэл ижил хугацаанд тогтворжиж байсан. Мөн тэргэнцрийн шилжилтэд ач холбогдол өгөхөд тогтворжих хугацаа их ч, R матрицийн утгууд өөрчлөгдөхөд систем тогтворжсон хэвээр байсан. Харин тэргэнцрийн шилжилт, дүүжингүүдийн өнцөг шилжилт гэсэд төлөвийн орны гурван хувьсагчид ач холбогдол өгөхөд систем илүү хурдан тогтворжсон ч, эмзэг болж байгаа нь ажиглагдсан. Дүүжингүүдийн өнцөг, шилжилтэд ач холбогдол өгч, R матрицийн утгыг хэд хэдэн янзаар өөрчилсөн туршилтын үр дүнг доорх хүснэгтэд дүрслэв. Үүнд Q матриц нь диагональ матриц байна.

Хүснэгт 1. Дүүжингүүдэд ач холбогдол өгсөн туршилтын үр дүн

Д/д	Q	R	Тогтворжих хугацаа (с)		
			x	θ_1	θ_2
1	diag([1 10 10 1 1 1])	1	4.5	1.8	1.8
2		10	5	1.8	1.8
3		100	5.2	2	2
4		1000	8.2	3	3

Хүснэгт 1-ээс харахад Q = diag([1 10 10 1 1 1]), R = 1 үед систем хамгийн богино хугацаанд тогтворжсон тул бидний хийсэн туршилтуудаас хамгийн тохиромжтой үнэлгээний функцын матрицууд гэж үзэж төлөвийн гэдрэг холбооны коэффициент нь
K = [1 – 24.41 34.44 1.79 0.11 3.06] болсон.

Тэгвэл дээрх үнэлгээний функцын матрицуудыг ашигласан давхар урвуу дүүжингийн систем нь хамгийн ихдээ хэдэн хэмийн өнцгийн хазайлтыг тогтворжуулахыг хүснэгт 2-т харуулав.

Хүснэгт 2. Систем тогтворжуулах хамгийн их хазайлтын хэмжээ

Д/д	Доод саваа (градус)	Дээд саваа (градус)	Тогтворжих хугацаа (с)		
			x	θ_1	θ_2
1	0	51	5.5	4.2	4.2
2	31	0	5	4.5	4.1
3	10	41	6	2.8	2.8
4	26	15	5	4	4

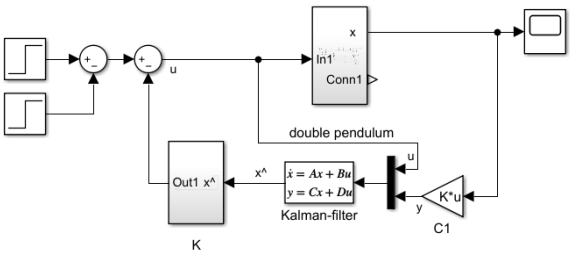
Хүснэгт 2-оос харахад доод дүүжингийн байрлал дээд дүүжингийн байрлалд чухал нөлөө үзүүлдэг нь харагдаж байна.

B. LQG удирдлагын симуляцийн туршилт

LQG удирдлагын хувьд Калманы шүүрийн коэффициентийг оновчтой тодорхойлох нь чухал байдаг. LQG удирдлагын симуляцийн загварыг Зураг 7-д харуулав.

Бидний хувьд систем тогтворжиход төвөгтэй байдал үүсгэдэг шуугиануудын хэмжээг өөрчлөх үед шилжилтийн процессийг харуулах симуляцийн туршилт хийсэн. Туршилтад доод дүүжинг 5^0, дээд

дүүжинг 5^0 өнцгөөр тус тус хазайлгав. Мөн төлөвийн гэдрэг холбооны коэффициент K = [1 – 24.41 34.44 1.79 0.11 3.06]-г ашигласан. Туршилтын үр дүнг хүснэгт 3-т үзүүлэв.

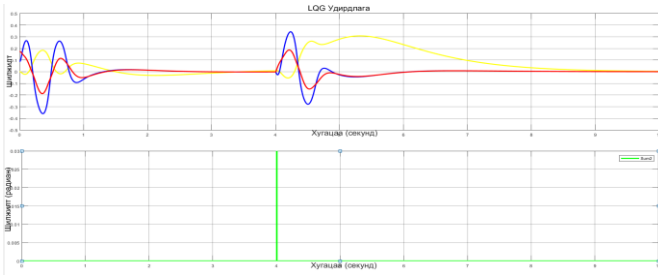


Зураг 7 . LQG удирдлагын симуляцийн загвар

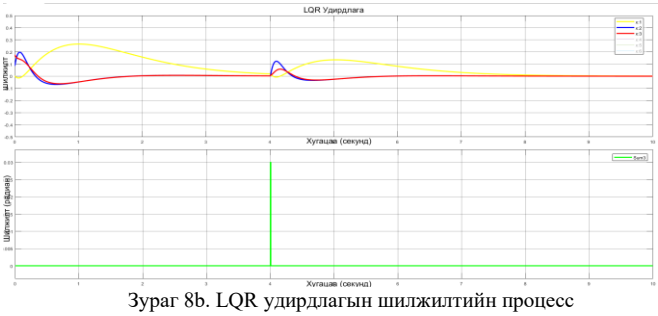
Хүснэгт 3. Шуугианы хэмжээг өөрчилсөн үеийн үр дүн

Д/д	V_d	V_n	Тогтворжих хугацаа (с)		
			x	θ_1	θ_2
1	0.0001	0.0001	8.5	5.2	5.2
2	0.001	0.001	8.6	5.4	5.4
3	0.01	0.01	10.9	10.5	10.5
4	0.1	0.1	11.9	10.8	10.8
5	1	1	8.5	5.5	5.5
6	10	10	8.7	5.5	5.5
7	100	100	10.1	5.7	5.7
8	1000	1000	10.4	6	6

Дээрх хүснэгтээс шуугианы хэмжээ нэмэгдэх нь системийн тогтворжилтод сөргөөр нөлөөлж, тогтворжих хугацааг уртасгаж байгаа нь харагдаж байна.



Зураг 8a. LQG удирдлагын шилжилтийн процесс



Зураг 8b. LQR удирдлагын шилжилтийн процесс

Дараа нь систем тогтворжих явцад 4 дэх секундэд дээд дүүжинг 1.17^0 хэмээр хазайлгах үеийн системийн шилжилтийн процессийг LQR болон LQG удирдлага ашиглан харьцуулсан шилжилтийн графикийг Зураг-8a,b-д харуулав.

Зураг-8b-аас харахад LQR удирдлага хурдан тогтворжиж байгаа хэдий ч ямар ч шуугиан байхгүйгээр симуляци хийгдсэн. Харин LQG удирдлагын хувьд систем гажуудуулагч шуугиануудаас үл хамаарч тогтворжуулж байна.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаар тэргэнцэртэй давхар урвуу дүүжингийн тэнцвэржилтэд LQR болон LQG аргуудыг хэрэгжүүлж, симуляцийн орчинд тогтворжуулсан үр дүнг үзүүлсэн. Системийн параметрүүдээс хамаарч LQR удирдлагын Q, R матрицууд, LQG удирдлагын V_d, V_n матрицуудын тохирсон хэмжээг тогтоох чухал болох нь туршилтуудаас ажиглагдсан. Мөн LQG удирдлагын давуу талыг харуулахын тулд LQR удирдлагад нэмэлтээр шуугиан өгч симуяцийн орчинг үүсгэх шаардлагатай байсан.

Бид цаашид төлөвийн орны гэдрэг холбооны удирдлагын MPC болон хиймэл оюун ухаан ашиглан тохирох алгоритмыг хэрэгжүүлнэ.

НОМ ЗҮЙ

[1] Ahmed Nor Kasruddin Bin Nasir. Modeling and controller design for an inverted pendulum system. 2007.
[2] Fredrik Gustafsson. “Controlof inverted double pendulum using reinforcement learning”. 2016.
[3] Z.Yi Z.Peisi. “Double inverted pendulum based on LQG optimal control” 2016.
[4] H.Nurhadi A.Adhim. “Design of sliding – PID control system for diuble pendulum on Moving cart”. 2016.
[5] A.I.Sazhin G.V. Sablina I.V. Stazhilov. Synthesis of Double Inverted Pendulum on the Cart System on the Sliding Modes Method Basis. 21 may 2015.
[6] Z.Neusser M.Valasek. “Control of the double pendulum on a cart using the natural motion”. 2013.
[7] Lagaros Moysis. “Balancing a double inverted pendulum using optimal control and Laguerre functions”. 2016.
[8] Raffaello D'Andrea Markus Hehn. A Flying Inverted Pendulum. 09 may 2011.
[9] Maamar Bettayeb Ibrahim Mustafa Mehedi Ubaid M AI-Saggaf Rachid Mansouri3.Stabilization of a double inverted rotary pendulum through fractional order integral control scheme. 2019.
[10] P.Morasso T.Nomura Y.Suzuki J.Zenzeri. “ Stabilization of a cart inverted pendulum: improving the intermittent feedback strategy to match the limits of human performance”. in(2019).
[11] Y.Y.Lim C.L.Hoo Y.M.E.Wong. “Stabilising an inverted pendulum with PID Controller”. inMATEC Web of Conferences (Vol. 152, p. 02009): (2018).
[12] G.Belascuen N.Aguilar. “Design, modeling and control of a reaction wheel balanced inverted pendulum”. inIEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)(pp.1-9): (2018).
[13] Б.Луубаатар, А.Баянмөнх , “Дан болон давхар урвуу дүүжингийн тэнцвэржилт” ММТ 2017 ЭШХ эмхэтгэл

Хоёр шатлалт CMOS үйлдлийн өсгүүрийн 90нм технологи ашигласан дизайн болон хэрэгжүүлэлт

Батсүхийн Алтанцоож
Электроник холбооны инженерчлэлийн тэнхим
Монгол улсын их сургууль
Улаанбаатар, Монгол
altantsooj.b@num.edu.mn

Махбалын Бүрэнзаяа
Электроник холбооны инженерчлэлийн тэнхим
Монгол улсын их сургууль
Улаанбаатар, Монгол
bvrnee1009@gmail.com

Хураангуй— Үйлдлийн өсгөгч нь хамгийн зайлшгүй шаардлагатай электрон төхөөрөмж гэж тооцогддог. Энэхүү өгүүлэл нь хоёр шатлалт CMOS үйлдлийн өсгөгч (ҮӨ) зохион бүтээх, ҮӨ дизайны шинж чанарт янз бүрийн параметрүүдийн нөлөөллийг шинжилсэн бөгөөд ҮӨ -ийн өсгөлтийн дизайн дээр голчлон анхаарсан. Үүнийг гол зүйл болгон хадгалахын тулд ҮӨ -ийн өсгөлт(gain), фазын маржин(phase margin), өөрчлөлтийн хурд(slew rate), чадлын зарцуулалт(power dissipation) болон бусад үзүүлэлтүүдийг авч үздэг. Энэхүү ажил нь 1.5V тэжээлийн хүчдэлд ажилладаг хоёр үе шатлалт CMOS үйлдлийн өсгөгчийн дизайн, хэрэгжилтийг танилцуулж байгаа бөгөөд Симуляцийн процессыг 90нм технологи бүхий Cadence Virtuoso ашиглан гүйцэтгэсэн. Гаргасан дизайны параметрүүд нь фазын маржин-55.4°, өсгөлт-76,16дБ, чадлын зарцуулалт 0,19 мВт байна.

Түлхүүр үг—Cadence, Gain, gain bandwidth, CMRR

I. Удиртгал

Үйлдлийн өсгөгч нь аналог ба холимог дохионы интеграл хэлхээний гол бүрэлдэхүүн хэсэг бөгөөд дохионы хэлбэржүүлэлтээс эхлээд шүүлтүүр, өсгөгч хүртэл янз бүрийн хэрэглээнд ашигладаг. Хагас дамжуулагч технологийн тасралтгүй хувьсал өөрчлөлтийг дагаад өндөр хүчин чадалтай, бага чадлын зарцуулалттай, бага талбайтай үйлдлийн өсгөгчийн эрэлт хэрэгцээ улам бүр нэмэгдсээр байна. Тиймээс хагас дамжуулагчийн дэвшилтэт процессуудыг ашиглан үр ашигтай үйлдлийн өсгөгчийн архитектурыг хөгжүүлэх нь аналог хэлхээний дизайны салбарын ихээхэн анхаарал хандуулж буй талбар юм[1].

Энэхүү өгүүлэлд 90 нм технологийг ашиглан хоёр шатлалт CMOS үйлдлийн өсгөгчийн(ҮӨ) дизайн, хэрэгжилтийг танилцуулж байна. 90нм технологийн сонголт нь гүйцэтгэл, чадлын зарцуулалт, талбайн үр ашгийг тэнцвэржүүлж, орчин үеийн интеграл хэлхээний загварт гайхалтай сонголт болж өгдөг. Санал болгож буй үйлдлийн өсгөгчийн архитектур нь CMOS технологийн давуу талыг ашиглан өндөр өсгөлт, өргөн зурвасын өргөн, бага чадлын зарцуулалт, олон аналог болон холимог дохионы хэрэглээнд чухал шинж чанаруудыг бий болгодог [2].

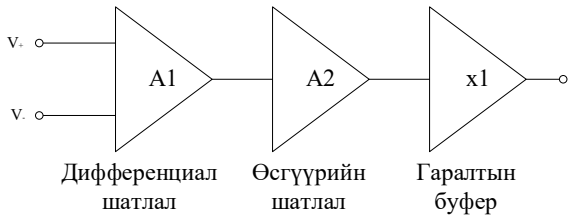
Хоёр шатлалт хэлхээ нь тогтвортой байдал, зурвасын өргөнийг хангахын зэрэгцээ их хэмжээний өсгөлт хийх чадвартай учраас үйлдлийн өсгөгчийн дизайны өргөн тархсан архитектур юм. Нарийвчлалтай дизайны арга зүй, оновчлолын техникээр дамжуулан бидний зорилго бол өндөр өсгөлтийн зурвасын өргөнтэй(GBW) хэлхээ, оролтын бага офсет хүчдэл, сайжруулсан өөрчлөлтийн хурд(slew rate), зэрэг өндөр гүйцэтгэлийн хэмжүүр бүхий үйлдлийн өсгөгчийг хэрэгжүүлэх явдал юм[3].

Энэхүү өгүүллийн бүтэц нь дараах хэсгүүдээс бүрдсэн: II хэсэгт хоёр шатлалт CMOS үйлдлийн өсгөгчтэй холбоотой онолын үндэслэл болон дизайны шаардлагатай хэсгүүдийг тоймлон харуулав. Мөн сонгож авсан үйлдлийн өсгөгчийн архитектурыг тайлбарласан болно. Дараа нь III хэсэгт сонгосон дизайны транзисторын хэмжээ болон хэлхээний үе дүнг баталгаажуулахын тулд симуляцийн үр дүн болон гүйцэтгэлийн шинжилгээг танилцуулна. Эцэст нь IV хэсэгт дүгнэлт хийж, гол үр дүнг онцолж, цаашдын судалгаа хийх боломжит арга замыг санал болгож байна.

II. Хоёр шатлалт үйлдлийн өсгүүрийн дизайн

Хоёр шатлалт үйлдлийн өсгөгчийн архитектурыг 1-р зурагт үзүүлсэн блок диаграммаас харж болох бөгөөд эндээс дараах зүйлийг ажиглаж болно.

1) Үйлдлийн өсгөгчийн эхний шат нь дифференциал өсгөгчөөс бүрдэнэ. Дифференциал өсгөгч нь vin+ ба vin- гэсэн хоёр өөр хүчдэлийн ороллтой бөгөөд энэ нь хоёр оролтын хүчдэлийн ялгааг өсгөдөг. Энэ шатны өсгөлт хангалтгүй учир өсгөлтийн шатлал шаардлагатай.
2) Хоёр дахь шат нь өсгөлт ихтэй байх шаардлагатай тул ерөнхий сурвалжтай өсгүүрийн үе шатыг агуулдаг [4].
3) Эцэст нь гаралтын буферийн үе шат байна. Хэрэв үйлдлийн өсгөгчийн ачаалал нь багтаамжийн ачаалал бол гаралтын буферийн үе шатыг орхиж болно гэдгийг тэмдэглэх нь зүйтэй.



Зураг 1. Хоёр шатлалт үйлдлийн өсгүүрийн блок диаграм

M1 ба M2 гэсэн хоёр MOSFET нь ханалтын мужид байгаа бөгөөд дифференциал оролтын хэлхээ болно. M3 ба M4 нь мөн ханалтын мужид ажилладаг бөгөөд гүйдлийн толь болж M1 ба M2 гэсэн дифференциал оролтын ачаалал болно. Биас хүчдэлийг M5 MOSFET-ийн гейтэд өгөх бөгөөд энэ нь оролтын хэлхээний гүйдлийг хангадаг. Үндсэн үйлдлийн өсгөгч нь өндөр давтамжтай үед тогтворгүй болж болзошгүй. Энэ

асуудлыг конденсаторын тусламжтайгаар янз бүрийн компенсацлах техникийг ашиглах замаар шийдэж болно. Заримдаа резистор ба конденсатор хоёулаа үйлдлийн өсгөгчийн шатуудын хооронд байдаг[5]. Миллерийн конденсаторын компенсац, өөрийгөө сэргээх(self-recovery) гэх мэт олон компенсацлах аргууд байдаг [6].

A. Дифференциал оролтын шат

Энэ үе шат нь M1, M2, M3, M4 гэсэн дөрвөн MOSFET-ээс бүрдэнэ. M1 ба M2-ийн гейтүүд нь эргүүлдэг болон үл эргүүлдэг терминалууд юм. Эхний шатны(дифференциал шат) өсгөлтийн дагуу дифференциал оролтын дохиог өсгөнө. Энэ шатны өсгөлт нь M2-ийн дамжууллыг(g_m) M2-ийн дрэйний гаралтын эсэргүүцлээр үржүүлснээс хамаарна. Гурван давуу талуудын улмаас Гүйдлийн толин(CM) ачааллыг энд ашигласан. Юуны өмнө CM ачааллын гаралтын эсэргүүцэл өндөр байна. Хоёрдугаарт, CM хэлхээг ашиглан дифференциал оролтыг нэг төгсгөлтэй гаралтын хөрвүүлэлт хийж болох ба эцэст нь CMRR-ийг сайжруулахад тусалдаг. CM ачаалал нь M3 ба M4-ээс бүрдэнэ.

B. Хоёр дахь шат (Гаралт)

Энэ үе шатны бодит зорилго нь зөвхөн нэмэлт өсгөлтийг сайжруулах төдийгүй өсгөгчийн гаралтын хүчдэлийн хэлбэлзлийг сайжруулах явдал юм. Хоёр дахь шат, M6 ба M7 транзистороос бүрдэх ерөнхий сурвалжтай өсгүүрийн(CS) хэлхээ нь M2-ийн дрэйний зангилаанаас гаралтыг хүлээн авдаг. Эхний шатны гаралт нь M6 ба M7-ээр өсгөгдөнө. Дахин хэлэхэд, эхний үе шаттай адил идэвхтэй транзистор M7 нь M6 транзисторын ачаалал шиг ажилладаг. Энэ үе шатны өсгөлт нь M6 ба M7 MOSFET-ийн гаралтын эсэргүүцлийг M6-ийн Gm(дамжуулал)-аар үржүүлсэнтэй тэнцүү гэж тооцож болно.

C. Миллерийн компенсац

Миллерийн компенсац нь өсгөгчийн давтамжийн хариу үйлчлэлийг тогтворжуулах, фазын хязгаарыг сайжруулах зорилгоор үйлдлийн өсгөгчийн загварт түгээмэл хэрэглэгддэг арга юм. Энэ нь дамжууллын функцэд туйл-тэг хос үүсгэхийн тулд өсгөгчийн гаралт ба оролтын терминалуудын хооронд конденсаторыг нэвтрүүлэх явдал юм[7].

Компенсац хийгээгүй өсгүүрийн өсгөлтийг дараах томьёогоор олно.

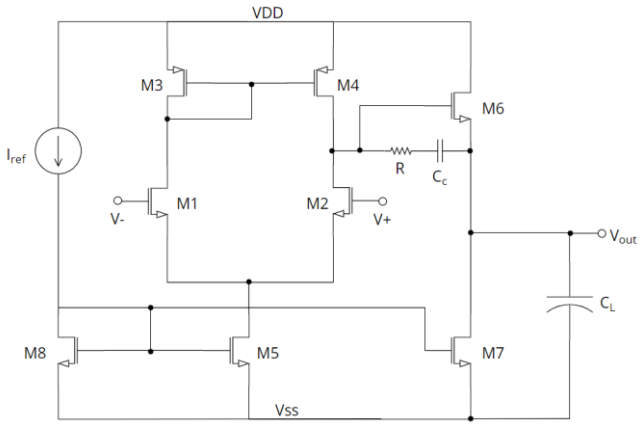
$$H(s) = A_{OL} \cdot \frac{1}{1+s\cdot\frac{C_L}{C_i}} \qquad (1)$$

Энд A_{OL} – задгай хэлхээний өсгөлт, C_L – ачааллын багтаамж, C_i – оролтын багтаамж

Гаралт ба оролтын терминалуудын хооронд компенсацын конденсатор C_c-ийг нэмснээр дамжууллын функц нь дараах байдалтай болно.

$$H(s) = A_{OL} \cdot \frac{1}{1+s\cdot\frac{C_L}{C_i}+s\cdot C_c} \qquad (2)$$

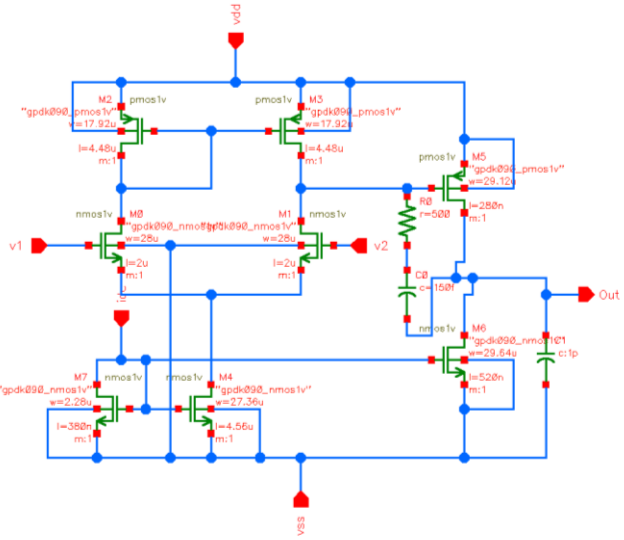
Компенсацын конденсатор C_c-ийг нэмэх нь давамгайлсан туйлтай харьцуулахад бага давтамжтай туйлыг бий болгож, улмаар фазын хязгаарыг нэмэгдүүлж, тогтвортой байдлыг хангана.



Зураг 2. Сонгосон хоёр шатлалт өсгүүрийн хэлхээ

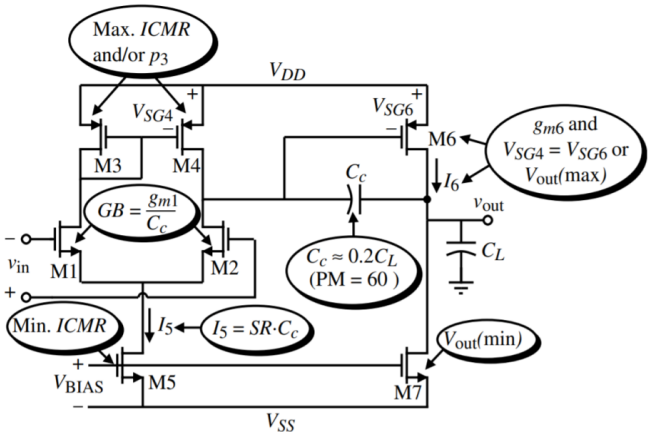
III. Туршилтын үр дүн

Загварын бүх үзүүлэлтүүд хангагдсан эсэхийг шалгахын тулд бид Зураг 2-д үзүүлсэн хэлхээг угсарсан. Уг хэлхээг 90 нм технологи ашиглан загварчилсан. Бүх үр дүнг Cadence хэрэглүүрүүдийг ашиглан загварчилсан. Доорх зурагт Cadence Virtuoso программ дээрх хэлхээг харуулж байна.



Зураг 3. Virtuoso програм дээрх Хоёр шатлалт үйлдлийн өсгүүрийн хэлхээ

CMOS үйлдлийн өсгөгчийн хоёр үе шатыг зохиох, оновчтой болгох тооцооллуудыг хийсэн. Онолын тооцооллоор олсон транзисторын хэмжээний утгыг ашиглаж эхний үр дүнг гаргасан. Үүний дараа Зураг4-т үзүүлсэнчлэн транзисторуудын хэмжээ параметрүүдэд хэрхэн нөлөөлж байгаад үндэслэн транзисторуудын хэмжээг нь өөрчлөн хүссэн үр дүндээ хүрэх туршилтуудыг хийсэн. Хүснэгт 1-т үзүүлсэн MOSFET-ийн W болон L хэмжээ нь бидний хийсэн хоёр шатлалт CMOS үйлдлийн өсгүүрийн үйлдлийн өсгүүрийн бодит хэмжээнүүд болно.



Зураг 4. Тодорхойлолтын дагуу MOSFET сонголт[8]

ХҮСНЭГТ I. Транзисторуудын хэмжээ

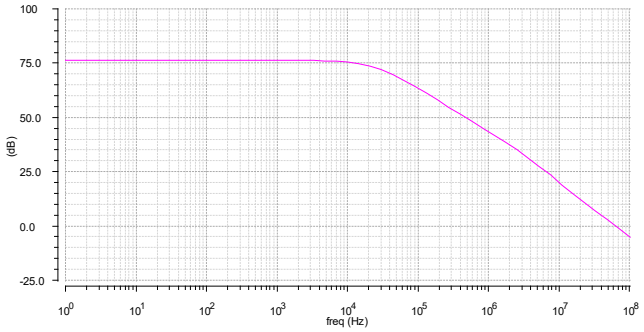
Транзисторын дугаар	W	L
M1	28u	2u
M2	28u	2u
M3	17.92u	4.48u
M4	17.92u	4.48u
M5	27.36u	4.56u
M6	29.12u	200n
M7	29.64u	520n
M8	2.28u	380n

A. DC анализ

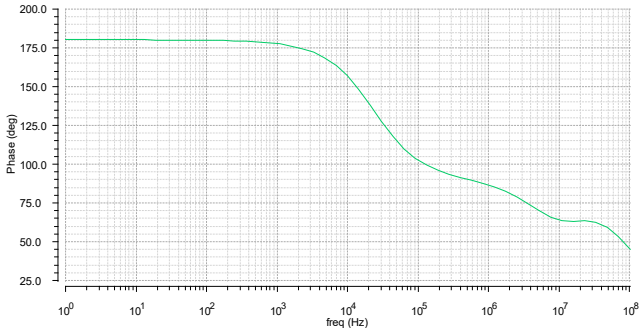
DC анализ хийснээр хэлхээний чадлын зарцуулалтыг тооцоолсон. Мөн транзистор тус бүрийн ажиллагааны горим болон дамжууллуудыг хэмжсэн. Хоёр шатлалт өсгүүрийн нийт статик чадал зарцуулалт нь 0.1935мВт байсан.

B. AC анализ

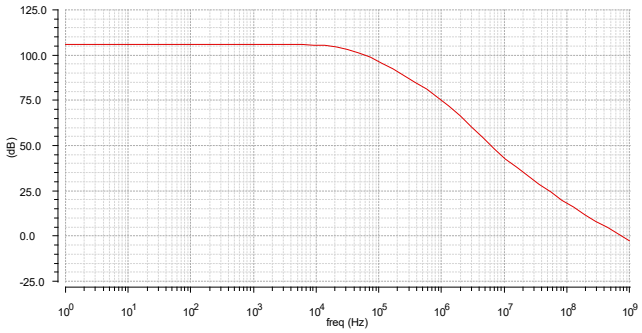
Энд эхлэх давтамжийг 10Гц, зогсох давтамжийг 1ГГц сонгон симуляц хийснээр хэлхээний өсгөлт, GBW, CMRR болон фазын хязгаарыг тодорхойлсон. Хувьсах гүйдлийн шинжилгээ хийхийн тулд синусоид дохиог CMOS үйлдлийн өсгөгчийн хоёр оролтын аль алинд нь өгсөн. Симуляцийн үр дүнгүүдийг Зураг 5-7д үзүүлэв.



Зураг 5. Хоёр шатлалт өсгүүрийн өсгөлт(GBW)



Зураг 6. Хоёр шатлалт өсгүүрийн фазын өөрчлөлт (PM)

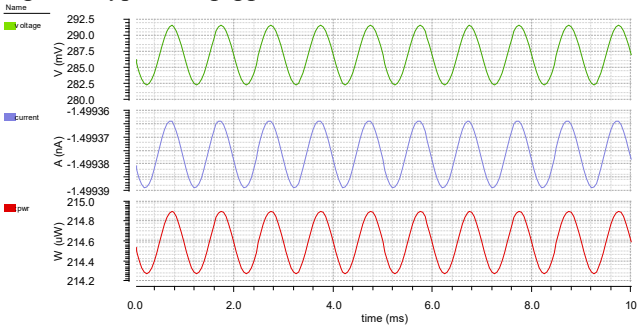


Зураг 7. CMRR

C. Шилжилтийн анализ(transient analysis)

Энэхүү анализ нь үйлдлийн өсгөгчийн хугацааны хоцрогдол болон өөрчлөлтийн хурдыг тодорхойлоход тусална. Энд мөн тогтворжих хугацааг тодорхойлсон. Импульсийн өргөнийг 100 мкс, импульсийн хугацааг 200мкс, өсөлтийн хугацаа(rise time) 100нс гэж тохируулсан. Симуляцийн үр дүнд хугацааны хоцрогдол нь 27.839нс, өөрчлөлтийн хурд(slew-rate) нь 63.77В/мкс болон тогтворжих хугацаа(settling-time) нь 143нс байсан.

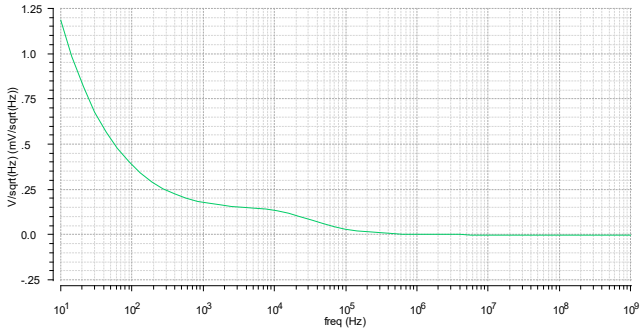
Мөн үл эргүүлэх оролтод 1 мкВ далайцтай дохио өгч туршихад динамик чадлын дундаж нь 0.214мВт байсан. Үүнийг Зураг 8-д үзүүлэв.



Зураг 8. Динамик чадал

D. Шуугианы анализ

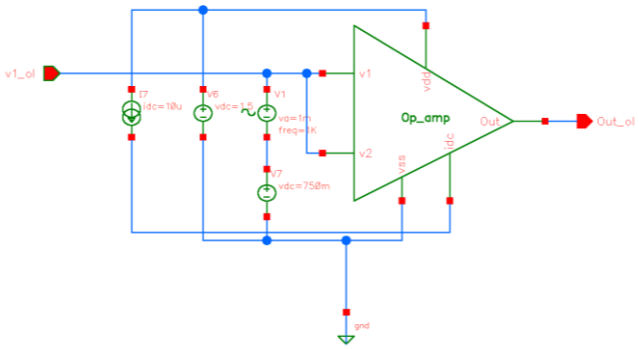
Энэ анализ нь тухайн төхөөрөмж шуугианд хэр мэдрэг байгааг тодорхойлно. Энэ анализын үед давтамжийн хязгаарыг 10Гц-ээс 1ГГц байхаар тохируулсан. Симуляцийн үр дүнд шуугианы хэмжээ 1.18 байсан бөгөөд график үр дүнг Зураг 9-д үзүүлэв.



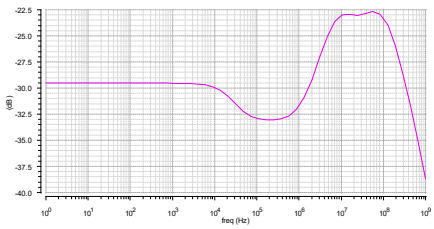
Зураг 9. Шуугианы анализ

E. Ерөнхий ороллтой хэлхээний анализ

Үйлдлийн өсгөгчийн эргүүлдэг болон үл эргүүлдэг оролтуудыг холбож симуляц хийсэн. Симуляц хийсэн хэлхээг Зураг 10-д болон симуляцийн үр дүнг Зураг 11-д үзүүлэв.



Зураг 10. Ерөнхий ороллтой өсгөгчийн хэлхээ

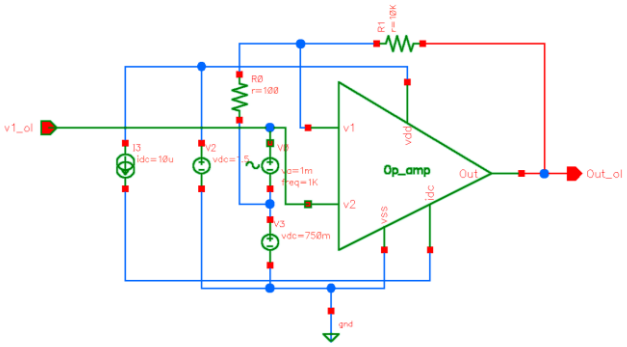


Зураг 11. Ерөнхий ороллтой хэлхээний өсгөлт

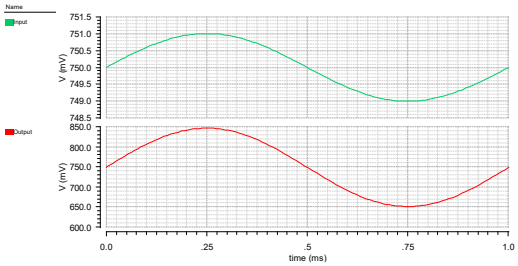
ХҮСНЭГТ II. Гүйцэтгэлийн харьцуулалт

Параметр	[9]	[1]	[10]	This work
Year	2017	2019	2022	2024
Process (nm)	90	90	90	90
V_{DD} (V)	+/-1.8	1.5	1.2	1.5
-3dB (kHz)	-	10	-	**23.45**
GBW (MHz)	-	3300	32.74	66.58
Phase margin (deg)	56	66.3	65	55.4
Gain margin (dB)	84	73.3	72.4	76.16
CMRR (dB)	-	103	-	**105.7**
Delay (ns)	-	50	-	**27.8**
Slew Rate (V/μs)	-	34.7	18.36	**63.77**
Settling Time (ns)	-	40	-	143
Power (mW)	0.38	0.21	0.139	**0.19**
ICMR (V)	-	0.38-1.4	0.1 -1	0.39-1.75
Output Swing (V)	-	0.027-0.73	-	0.033-0.81
C, Load (pF)	20	1	2	1

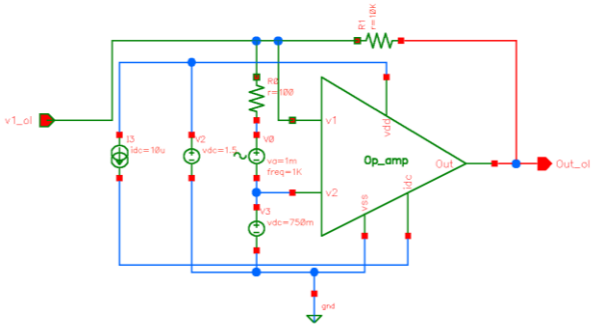
Үйлдлийн өсгүүрийг эрүүлдэг болон үл эргүүлдэг өсгөгч байдлаар симуляц хийсэн хэлхээ болон үр дүнг Зураг 12-15 дээр үзүүлэв.



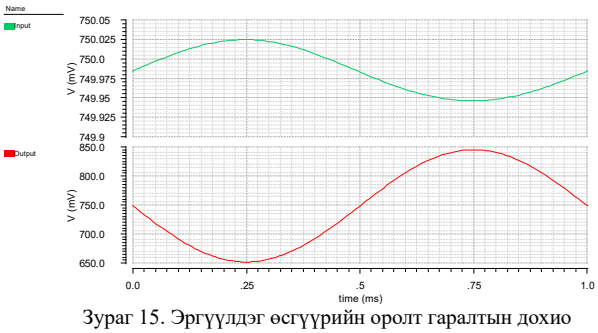
Зураг 12. Үл эргүүлдэг өсгүүрийн хэлхээ



Зураг 13. Үл эргүүлдэг өсгүүрийн ороллт гаралтын дохио



Зураг 14. Эргүүлдэг өсгүүрийн хэлхээ



Зураг 15. Эргүүлдэг өсгүүрийн ороллт гаралтын дохио

IV. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаар Хоёр шатлалт CMOS үйлдлийн өсгүүрийн дизайн болон хэрэгжүүлэлтийг Cadence программ дээр 90нм технологи ашиглан гүйцэтгэлээ. Симуляцийн үр дүнд өсгөгчийн зурвасын өргөн, CMRR, хугацааны хоцрогдол, өөрчлөлтийн

хурд(slew rate) болон чадлын зарцуулалт гэсэн үзүүлэлтүүдийг сайжруулж чадлаа.

Цаашид транзисторын хэмжээг өөрчлөх аргыг машин сургалт ашигласнаар гүйцэтгэлийн үзүүлэлтүүдийг улам сайжруулах боломжтой гэж үзэж байна.

Номзүй

[1] Amana Yadav, “Design of Two-Stage CMOS Op-Amp and Analyze the Effect of Scaling”, International Journal of Engineering Research and Applications ,Vol. 2, Issue 5, pp.647-654, 2012.

[2] D. Nageshwarrao, K.Suresh Kumar, Y.Rajasree Rao,G.Jyothi, “Implementation and simulation of CMOS two stage operational amplifier”,International Journal of Advances in Engineering & Technology, Vol. 5,pp.162-167, Jan. 2013

[3] Philip E. Allen, Douglas R. Holberg, “CMOS Analog Circuit Design”, second edition,pp.243-341,2002.

[4] J. Mahattanaku, “Design procedure for two-stage CMOS operational amplifiers employing current buffer,” IEEE Transactions on Circuits and Systems—II: Express Briefs, vol. 52,pp.766-770, Nov. 2005

[5] Allen P. E. and D. Holberg, “CMOS analog circuit design,” 2nd ed., New York: Oxford University Press, USA. 2011

[6] S. Aqeel, P. K. Deva, C. M. Babu, and R. Ganesh, “Design of High Gain Two stage Op-Amp using 90nm Technology,” International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), ISSN: 2278-018, vol. 3 Issue 5, May – 2014

[7] Razavi, Behzad. "Design of Analog CMOS Integrated Circuits." McGraw-Hill Education, 2021.

[8] S. Banik, T. Mahmud, M. M. H. Rasel and M. Hasanuzzaman, "A high-performance low-power two-stage OPAMP realized in 90nm CMOS process for biomedical application," 2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), Dhaka, Bangladesh, 2020, pp. 827-830, doi: 10.1109/TENSYMP50017.2020.9230957.

[9] C. L. Kavyashree, M. Hemambika, K. Dharani, A. V. Naik and Sunil MP, "Design and implementation of two stage CMOS operational amplifier using 90nm technology," IEEE International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), Coimbatore, pp. 1-4, 2017

[10] N. Uddin, P. Saha, M. S. Ullah Bhuyan, M. S. Iqbal and Q. D. Hossain, "Design and Analysis of Robust Two Stage Op-Amp using 90 nm CMOS Technology for Biomedical Applications," 2022 International Conference on Recent Progresses in Science, Engineering and Technology (ICRPSET), Rajshahi, Bangladesh, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICRPSET57982.2022.10188535

Газрын зураглалыг тохируулах замаар GPS-гүй орчинд байршил тодорхойлох систем

Цэрэндондогийн Тэнгис
Электроникийн салбар
ШУТИС, МХТС
Улаанбаатар, Монгол
tengis@must.edu.mn

Бямбаагийн Дорж
Электроникийн салбар
ШУТИС, МХТС
Улаанбаатар, Монгол
dorj@must.edu.mn

Тогоочийн Амартүвшин
Электроникийн салбар
ШУТИС, МХТС
Улаанбаатар, Монгол
amartuvshin@must.edu.mn

Чулуунбаатарын Батчулуун
Электроникийн салбар
ШУТИС, МХТС
Улаанбаатар, Монгол
ch.batchuluun@must.edu.mn

Готовын Бат-Эрдэнэ
Электроникийн салбар
АШУҮИС
Улаанбаатар, Монгол
baterdene.g@mnums.edu.mn

Хоролсүрэнгийн Тэмүүлэн
Электроникийн салбар
Таван орд ХХК, Оюутолгой
Улаанбаатар, Монгол
temuulen997@gmail.com

Хураангуй **– Энэхүү өгүүллээр GPS-ийн дохио нэвтрэх боломжгүй дотоод орчинд явж буй хүний байршил, хөдөлгөөний замчлалыг дан ганц инерцийн мэдрүүрт тулгуурлан тодорхойлох электрон системийн загварыг танилцуулж байна. Бидний санал болгож буй байршил тодорхойлох шинэ аргачлал нь машин сургалтын BiLSTM (Bidirectional LSTM) загвар болон орчны газрын зурагт тохируулах алгоритмд үндэслэсэн. Өнгөрсөн болон ирээдүйн үеийн мэдээлэл дээр суурилан дараалсан өгөгдлийг боловсруулахад зориулагдсан BiLSTM загварыг хэрэглэн хүний гишгэлт хийсэн эсэхийг 98% нарийвчлалтай тодорхойлж чадсан болно. Иймхүү, гишгэлтийг зөв таньж чадсана нь тухайн хүний тодорхой объектын хаанаас хаашаа явж байгаа замчлалын зургийг зөв гаргах боломжийг бүрдүүлсэн. Бид, зурагт тохируулах алгоритмыг ашиглан инерцэт мэдрүүрийн тооллын эхийн шилжилтээс үүссэн хуримтлагдсан алдааг багасгаснаар газрын зураг дээрх хүний байршлыг 2% алдаатай тодорхойлж байна. Энэхүү систем нь гүний уурхайд ажилладаг уурхайчдын байршлыг тодорхойлох боломжтой нэгэн шинэ арга болсон онцлогтой.**

Түлхүүр үгс - IMU, машин сургалт мэдрүүр, гишгэлт, BiLSTM загвар, явган хүний траектор

I. Оршил

GPS-гүй орчинд аливаа зүйлсийн байрлалыг тодорхойлоод, түүний замчлалын зураглалыг гаргах хэрэгцээ шаардлага их байдаг. Тухайлбал, 2006 онд АНУ-ийн нэгэн уурхайд осол гарч уурхайчин ба удирдлага хоорондын шууд харилцаа холбоо хангалтгүй байснаас ослын улмаас 19 уурхайчин эндсэн тул “Уурхайн сайжруулалт, онцгой байдлын үед авах арга хэмжээний тухай хууль” MINER (Mine Improvement and New Emergency Response Act)-ийг гаргажээ. Тухайн үед пэйжирийг харилцаа холбоонд ашигладаг байсан ч үүргээ гүйцэтгэж чадаагүй юм [1]. Иймд радио холбоог сайжруулах, уурхайчдын байрлалыг нарийн тодорхойлоход зориулсан систем шаардлагатай болж уг чиглэлээр олон судалгааны ажлууд хийгдсээр байгаа нь дараах 3 технологит суурилдаг. Үүнд:

1. RFID (radio frequency identification) тагууд бүхий Wi-Fi сүлжээ. Энд хүн бүрд RF шошго байх ба түүнийг тодорхой хаягтай байршлуудад суурилуулсан, хоорондоо утасгүй сүлжээ үүсгэсэн уншигчаар уншина.
2. Дунд давтамжийн холбооны хэрэгсэл (node-based electronic tracking)-ийн дохиог дамжуулагч (conductor) цэгүүд бүхий MF бридж систем. Энэ нь нэг буюу хэд хэдэн зангилааны хооронд дамжих радио дохионы шинжилгээнд тулгуурлана.
3. Инерцэт навигацийн систем. Энд хүний алхалтын хурдатгал болон бусад параметрүүдийг ашиглан мэдэгдэж буй эхлэл цэгээс хэр хол хөдөлснийг тодорхойлоно.

RFID тагийг ашигласнаар энд дурдаж буй технологиудтай харьцуулахад өртөг хямд, бат бөх, найдвартай ч утсан дамжуулалтад тулгуурладаг тул сүлжээний цар хүрээг ихээхэн хязгаарладаг [2]. Мөн уншигчаас хэр хол зайд байгааг нарийн тодорхойлох боломжгүй, байршлыг нарийн тодорхойлохын тулд уншигчуудыг ойрхон зайд байрлуулах шаардлагатай болдог дутагдалтай юм.

Харин дунд давтамжийн холбооны хэрэгсэлд суурилсан технологийн хувьд уурхайчин бүрд утасны дугаартай төстэй дугаар бүхий холбооны төхөөрөмж байх бөгөөд уг төхөөрөмж ойр орчмын зангилаанд ямар хугацаанд дохиогоо дамжуулж буй хугацааны зөрүүг тооцоолдог онцлогтой. Энэхүү арга нь RFID системүүдтэй харьцуулахад илүү сайн хянах боломжийг олгодог ч холбооны төхөөрөмжийн байршлыг тооцоолох нарийн алгоритм шаарддаг, байршлын нарийвчлал нь ямар ч үед радио дохионы хамрах хүрээ, зангилааны тооноос ихээхэн хамаарна. Оролтын хэмжээ, гулзайлт, өндрийн өөрчлөлт, саад бэрхшээл нь байршлын нарийвчлалд нөлөөлдөг тул уурхайн ослын үед нэг буюу хэд хэдэн зангилаа идэвхгүй болсон тохиолдолд нөхцөл байдал улам хүндэрч болзошгүй юм.

Иймд, GPS-ийн дохио нэвтрэх боломжгүй дотоод орчинд хүний байршлыг тодорхойлох зорилготой явган хүний навигацийн систем (PNS- pedestrian navigation system)-ийг хөгжүүлэх зорилгоор хийсэн судалгааны ажлуудын ихэнх нь инерцэт мэдрэгч MEMS (micro-electro-mechanical system) дээр суурилсан байдаг [3-8]. MEMS мэдрэгч нь хямд өртөгтэй боловч түүний координатын системийн шилжилтээс шалтгаалан удаан хугацааны хэмжилтийн явцад алдаа хуримтлагдан үр дүнд нөлөөлдөг нь асуудал үүсгэдэг юм [9, 10]. Энэхүү алдааг дарахын тулд Тэг-хурд илрүүлэгч (Zero Velocity Update – ZUPT) алгоритмыг ашигладаг. ZUPT-ийг зөв ажиллуулахын тулд тэг-хурдны интервалыг зөв илрүүлэх шаардлагатай. Түүнээс гадна мэдрэгч элементийн дохио маш их шуугиантай тул байршлыг зөв

тодорхойлоход Калманы шүүрийг хэрэглэх нь үр дүнтэй гэж үздэг [11]. Hongxiang Xu нар мэдрэгч элементүүдийг хэд хэдэн кластер болгон бүлэглэж тэдгээрийн хоорондох хамаарлыг тооцоолон байрлалыг тодорхойлоод 3-хэмжээст замчлалыг гаргах сайжруулсан UKF (Unscented Kalman filter) алгоритмыг санал болгосон [12].

Эдгээрээс гадна аж үйлдвэрийн IV хувьсал, юмсын интернэт (IoT)-ийн эринд ухаалаг төхөөрөмжүүдийг ашиглан аливаа зүйлсийн байршлын тодорхойлоход машин сургалтыг ашиглаж байна. Alwin Poulose нар ультра-өргөн зурвасын дохионы боловсруулалтад машин сургалтын LSTM загвар ашигласнаар байршлыг урьдчилан таамаглах нь илүү үр дүнтэй гэжээ 7 см-ийн алдаатайгаар байршлыг таамаглаж чадсан байдаг.

Xiaochun Tian нар хүний алхалтыг зөв тодорхойлох зориулалттай “Тэг хурдыг илрүүлэгч” болон SPWVD-RMFI (smoothed pseudo Wigner–Ville distribution to remove multiple frequencies intelligently) арга дээр суурилсан шинэ алгоримтыг санал болгосон [13]. Энэхүү шинэ алгоритм SPWVD-RMFI аргаар явган хүний алхалтын давтамжийн хоорондох функцын хамаарлыг тогтоох замаар бодит цаг хугацаанд алхалтын интервал ZVI (Zero Velocity Interval)-ийг илрүүлэх хамгийн оновчтой босгыг тооцоолсон ба явган хүний гутлын ар талд суурилуулсан нэг ширхэг IMU мэдрэгч бүхий төхөөрөмжийн тусламжтайгаар 100 алхалт/мин хурдаар хийсэн алхалтыг алдаагүй тодорхойлжээ.

Дараагийн асуудал бол мэдрэгчийн өгөгдлөөс бодит шилжилтийг тооцоолж гаргахаас гадна бодит байршил, замчлалыг план зураг дээр харуулах (MM – Map Matching) явдал юм. Үүнд ихэвчлэн Монте-Карлогийн дараалал (Sequential Monte Carlo -SMC) болон математик аргуудыг ашигладаг [14]. Shin нар хөдөлгөөний шугаман хурд дээр тулгуурласан MM алгортмыг ашиглан бүсэнд зүүсэн MEMS-д суурилсан PDR (Pedestrian Dead Reckoning) системийн өгөгдлөөс явган хүний замчлалыг 3D виртуал орчинд дүрслэх алгоритмыг санал болгосон ч зөвхөн коридороор явсан хөдөлгөөнийг 98.8% таньж зураглал үүсгэж чадсан [15]. Харин C. Ascher нар цээж болон гутлын өлмий дээр бэхэлсэн хос IMU системийн өгөгдөл дээр Гауссын тархалт болон A* алгоритм [16]-ыг ашиглан булан тойрох гэх мэт өнцөг үүсгэн алхсан хөдөлгөөнийг зураглалыг 25 см-ийн нарийвчлалтайгаар гаргажээ [17]. Мөн Ming M нар хүний алхаж эсвэл гүйж буй хүний навигацийг үүсгэх зорилгоор IMU (Inertial measurement unit) бүхий төхөөрөмжийг 27 настай 2 залуугийн гутлын дотор талд өгсийгөөрөө гишгэж байхаар байрлуулаад гишгэлт хийсэнг зөв таамаглахын тулд SHOE (stance hypothesis optimal detection) алгоритмыг хэрэгжүүлсэн, 3-хэмжээст зураглалыг 21-39%-ийн алдаатай үүсгэсэн ч энгийн алхалтыг л нарийвчлал сайтай таньжээ [18]. Энд хэрэглэсэн алгоритм дээр SVM (Support Vector Machine) ангиллыг нэмж хэрэгжүүлснээр Brandon Wagstaff нар wireless 4 ширхэг IMU MIMU22BTP(X) модулийг гутлын өлмий дээр бэхлээд 5 төрлийн хөдөлгөөний замчлалыг 90% зөв гаргасан [19]. Эдгээр судалгааны ажлуудын үр дүнг Хүснэгт 1-д эмхэтгэн харуулав.

ХҮСНЭГТ I. IMU АШИГЛАСАН ХӨДӨЛГӨӨН ТАНИЛТЫН АЖЛУУДААС

	Хэрэглэсэн төхөөрөмж, түүний үзүүлэлт	**Суурилсан арга, алгоритм**	**Хэмжилтийн төрөл**	**Үр дүн (%)**
[13]	3d-гироскод, 3d-акселлометр 3d-магнитометр	ZUPT, SPWVD-RMFI	80 алхам/мин	98
			100 алхам/мин	100
			120 алхам/мин	94
[17]	MPU9250, даралтын FSR406	ZUPT, SHOE	алхалт	74-79
			гүйлт	61-75
[15]	MEMS дээр суурилсан PDR систем	DR дээр суурилсан MM	Коридорт 54 – 586 алхам	98.8
[14]	Хос IMU систем	Гауссын тархалт A* алгоритм	Булан тойрох гэх мэт өнцөг үүсгэсэн 200 м-ийн алхалт	clearance 25 см
[19]	Inertial Elements MIMU22BTP(X) Wirelss 4-IMU array	ZUPT, SHOE, SVM ангилал	Алхах, гүйх, бөхийх, шатаар өгсөх	90%

Эдгээр судалгааны ажлуудын үр дүнд дүн шинжилгээ хийснээр бид GPS-ийн дохио хүлээн авах боломжгүй дотоод орчинд явган хүний замчлалыг тодорхойлохдоо MEMS бүхий мэдрэгч системийг үүсгэсэн. Систем нь дараах шаардлагыг хангаж байхад анхаарлаа. Үүнд:

- Хүн дунджаар 0.94 – 1.36 Гц-ээр алхаж, 1.31 – 2.92 Гц-ээр шатаар явдаг [20, 21] тул төхөөрөмж нь шаардлагатай хэмжилтийг хийдэг байх
- Утасгүй дамжуулалтаар бодит хугацааны хэмжилтийн утгыг илгээх чадвартай байх
- Овор хэмжээ жижиг, ямар хүний гуталд бэхлэх боломжтой, хөдөлгөөнд саад болохгүй байх
- Батарейг цэнэглэх боломжтой байх

Иймд, 3-тэнхлэгийн шугаман хурдатгалыг $\pm(2 \div 16)\,g$, хазайлтыг $\pm(250 \div 2000°/\text{сек})$ мэдрэмжээр хэмжих мэдрүүр бүхий InvenSense компанийн MPU6050 модулиар 250 Гц давтамжтайгаар хэмжилт хийсэн. Мөн гишгэлтийг мэдрэх буюу өөрсдийн хийж буй дохионы боловсруулалтыг зөв эсэхийг хянах зориулалттайгаар механик товчлуурыг ашигласан. Хэмжилтийн утгыг ESP32-S3-Zero хөгжүүлэлтийн мини модулиар дамжуулан Wi-Fi технологиор хүлээн авч дараагийн боловсруулалтыг хийв. Дээрх шаардлагуудыг хангасан $41 \times 24 \times 19$ мм овор хэмжээтэй, мэдрэгч элемент бүхий төхөөрөмжийг бүтээсэн (Зураг 1).



Зураг 1. Мэдрүүр бүхий төхөөрөмжийг хөлд бэхэлсэн байдал.

II. Өгөгдөл цуглуулалт ба гүн сургалт

Сүүлийн жилүүдэд IMU-ийн өгөгдлийн боловсруулалтад машин сургалтын аргыг хэрэглэн хүний үйл ажиллагаа тухайлбал, идэвхтэй хөдөлгөөнийг таних судалгаанууд ихээр хийсээр байна [20-22]. Эдгээрийн дотор бидний судалгааны ажилтай төсөөтэй хүний алхалтын төрлүүдийг таних ажлууд ч бий. Уг туршилт, судалгаануудад машин сургалтын CNN, LSTM, GRU болон гүн сургалтын холимог аргуудыг хэрэглэн 80-98% нарийвчлалтайгаар тодорхойлсон байна [23-28].

Бид энэхүү судалгааны ажлаараа түүхий IMU-ийн өгөгдлөөс гишгэлт хийсэн эсэхийг таамаглах загварыг гүн сургалтын арга болох LSTM (Long short-term memory)-ийг BiLSTM-тэй харьцуулан боловсруулалтыг хийсэн. Судалгаандаа эрүүл 4-оролцогч (30 -53 насны, 1.69 ± 0.08 м өндөртэй, 62.1 ± 9.8 кг жинтэй, 3 эрэгтэй, 1 эмэгтэй)-ийн алхмын өгөгдлийг цуглуулсан. Алхалтын хурд, гутлын улны материал, гадаргуу тус бүрдээ өөр ба доод мөчний хүнд гэмтэл авсан хүмүүс оролцоогүй болно.

Бид, эхлээд микроконтроллер дээр инерцийн мэдрүүрийн тохиргоог хийсэн. Энд, давталтын тоог N=1000 байхаар аваад инерцийн мэдрүүрийн оффсет $a_{x_offset}, a_{y_offset}, a_{z_offset}$, g_{x_offset} , g_{y_offset} , g_{z_offset} утгуудыг тооцоолсон болно.

$$a_{x_offset} = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} a_{xj} \quad (1)$$

Харин, a_{z_offset} утгыг (2) тэгшитгэлээр тооцоолсон:

$$a_{z_offset} = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} a_{xj} - 2048 \quad (2)$$

Эндээс:

$$a_x = a_{xj} - a_{_x_{offset}} \quad (3)$$

Хэдийгээр, тохиргоо хийсэн ч бага хэмжээний шуугиан байсан тул (4) тэгшитгэлээр шүүсэн.

$$\text{Хэрэв } (-50 < a_x < 50): \ a_x = 0 \quad (4)$$

Энэхүү шүүсэн өгөгдлийг ашиглан гишгэлт хийсэнг ялгадаг өгөгдлийн сан үүсгэсэн.

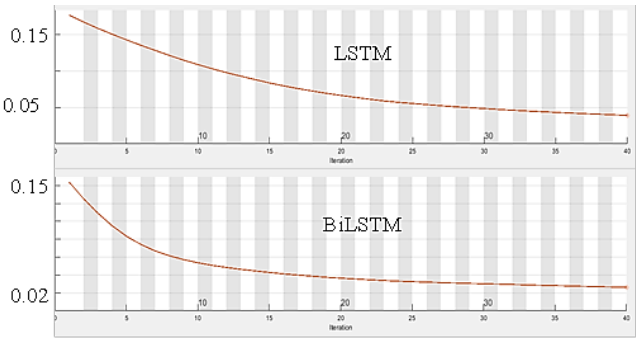
Өгөгдлийг 250 Гц дискретчиллийн алхамтайгаар бичсэн. Хэрэв, хүн хөлөө газарт гишгэсэн тохиолдолд гутлын уланд байрлуулсан товч дарагдаж үүнийг бид гишгэлт хийсэн төлөв гэж тодорхойлоод, “1” утгаар шошголсон. Харин, хөл газраас хөндийрсөн тохиолдолд шошго “0” болно. Машин сургалтад хэрэглэсэн өгөгдлийн хэмжээ ойролцоогоор 12 минутын бичлэгээс бүрдэнэ.

LSTM загвар нь замхрах градиент асуудлыг шийдвэрлэх замаар дараалсан өгөгдлийг боловсруулахад зориулагдсан давтагдах нейрон RNN сүлжээний архитектурын нэг төрөл юм. Энэ нь дараалсан өгөгдлийн урт хугацааны хамаарлыг олж авахад онцгой үр дүнтэй байдаг. BiLSTM нь оролтын дарааллыг урагш болон хойд чиглэлд боловсруулах замаар LSTM-ийг өргөтгөдөг. Энэ нь LSTM хоёр давхаргаас бүрдэх ба нэг нь оролтын дарааллыг цаг хугацааны хувьд урагш (өнгөрсөнг), нөгөө нь хойшоо (ирээдүйг) боловсруулдаг. Оролтын дарааллыг илүү баялаг дүрслэхийн тулд хоёр чиглэлийн гаралтыг ямар нэгэн байдлаар нэгтгэдэг. BiLSTM нь өнгөрсөн болон ирээдүйн нөхцөл байдлаас хамаарлыг олж авах боломжтой нь хоёр талын мэдээлэл чухал үүрэг гүйцэтгэдэг ажлыг илүү сайн гүйцэтгэхэд хүргэдэг. Сургалтад хэрэглэсэн загварыг Хүснэгт 2-т үзүүлэв.

ХҮСНЭГТ II. LSTM СУРГАЛТЫН ЗАГВАР

Model: “Sequentail”	**Model: “Sequentail”**
LSTM - (None, 256)	BiLSTM - (None, 256)
Dense - (None, 128)	Dense - (None, 128)
Dense - (None, 1)	Dense - (None, 1)

Өгөгдлийг бид сургалтын 90%, тестийн 10% гэсэн хоёр хэсэгт хуваан сургахдаа дараах гиперпараметруудтай байхаар тохируулсан. Энд оновчлолын аргад 'adam', алдааны функцид 'binary_crossentropy ашигласан ба batch_size=64 нийт epochs=40 явуулж сургасан. Сургалтын алдааны бууралтыг Зураг 2-т үзүүлэв.



Зураг 2. LSTM боон BiLSTM загваруудын үр дүнгийн харьцуулалт.

Дээрх 2 загвараас харахад BiLSTM загвар нь энгийн LSTM загвараас 1-2% илүү нарийвчлалыг үзүүлж байсан ба бид гишгэлтийг 98.7% нарийвчлалттайгаар таамаглаж байна (Хүснэгт 3).

ХҮСНЭГТ III. СУРГАЛТЫН ҮР ДҮН

Ангиллын тайлан			
Параметрүүд	***Precision***	***Recall***	***F1-scope***
0	0.98	0.99	0.99
1	0.99	0.98	0.99
Нарийвчлал			0.99
Макро дундаж	0.99	0.99	0.99
Жинлэсэн дундаж	0.99	0.99	0.99

Бид 2 секундийн алхалтын өгөгдлийг LSTM загварт оруулан таамагласан. Таамаглалын үр дүнг Зураг 3-т үзүүлэв. Зарим тохиолдолд, гадаргуу дээр гишгэлт хийгээгүй байсан ч “гишгэсэн”, эсрэгээр гишгэсэн байхад “гишгээгүй” гэж таамаглаж байгааг зургаас харж болно. Зурагт хөлийн бодит үйлдлийг цэнхэр өнгөөр, таамагласныг улбар шар өнгөөр үзүүлэв. Энгийн LSTM загвар нь илүү их шуугиантай таамаглаж байгааг эндээс харж болно.

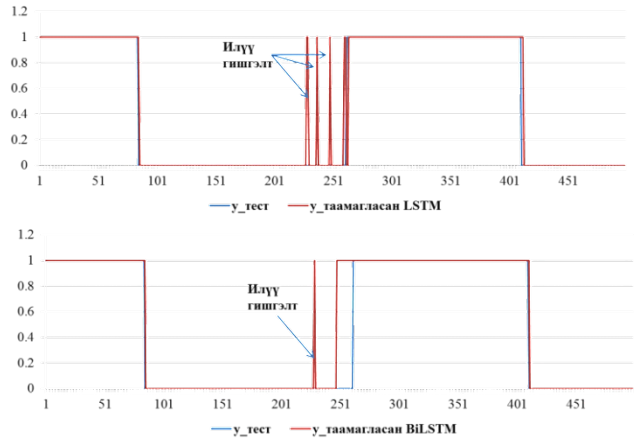
Энэ шуугианыг бид нам давтамжийг нэвтрүүлэх шүүрээр шүүсэн болно. Шуугианыг шүүрээр

нэвтрүүлсний дараах үр дүнг Зураг 4-т графикаар үзүүлэв.

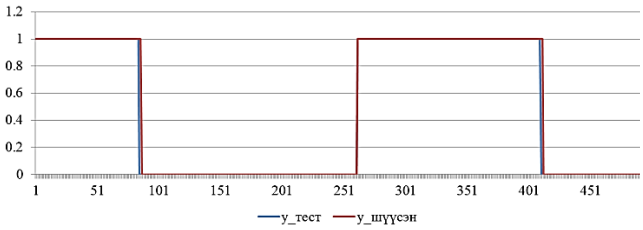
$$y_{filter}[n] = (1-\alpha)y_{filter}[n-1] + \alpha y_{pred}[n] \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{1}{1+\frac{2\pi f_c}{f_s}} \quad (6)$$

Энд: f_c – тайрах давтамж, f_s – дискретчиллийн давтамж



Зураг 3. Таамаглалын үр дүн.

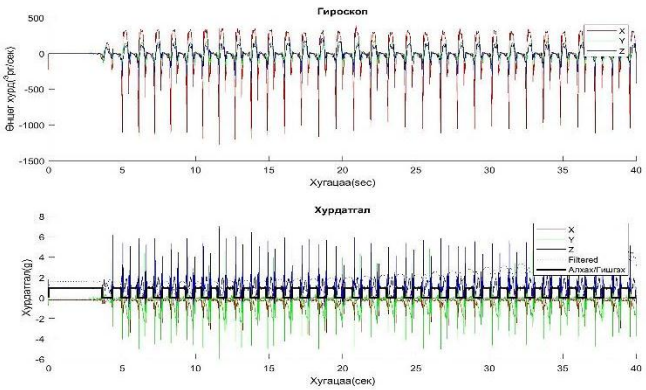


Зураг 4. Нам давтамжийн шүүрийн үр дүн.

Энэхүү гишгэлтийг тодорхойлсон өгөгдлийг бид дараагийн шат болох байршил тодорхойлох хэсэгт дамжуулна.

III. Газрын зургийг тохируулах аргачлал

Өмнөх бүлэгт гишгэлтийг амжилттай тодорхойлж чадсан учраас алхах үед хурдатгалаас хурд тооцож харин гишгэж байх үед хурдыг автоматаар тэглэж болно. Энэ нь доргилтоос үүссэн хурдатгалын нөлөөлийг дарж өгнө.



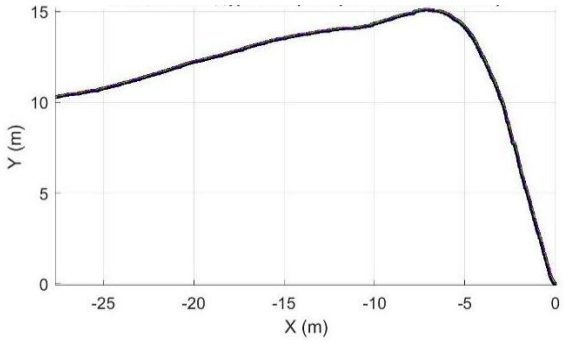
Зураг 5. IMU мэдрэгчийн алхах үеийн өгөгдөл.

Хурдатгалын чичиргээг тодорхой хэмжээнд дарж чадсан тул хурдны тооцоолол харьцангуй бага алдаатай гарч байна. Үүнээс дахин интеграл авах замаар байршлаа тодорхойлох боломжтой.

$$acc_z = acc_z - 9{,}81\text{м/с2} \quad (7)$$

$$v_{t+1} = v_t + acc_t * dt \quad (8)$$

$$x_{t+1} = x_t + v_t * dt \quad (9)$$



Зураг 6. МХТСургуулийн коридороор алхах үеийн траектор.

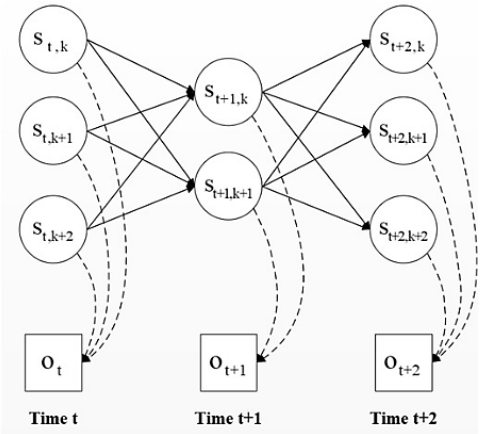
IMU мэдрэгчээс хурд, байршлыг амжилттай тодорхойлж чадсан боловч гироскопоос эргэлт өнцгийг тооцоолоход нэлээд хүндрэлтэй бөгөөд drift буюу өнцгийн гулсалт их үүсдэг. Энэ нь яг хэдэн градусын өнцгөөр эргэсэн эргэж байгааг тооцоход хүндрэл учруулдаг. Тиймээс дотоод орчинд байршлыг зөв тооцоолоход Map matching буюу газрын зурагт тохируулах аргыг ашиглан энэ алдааг засварлах боломжтой. Map matching арга нь Hidden Markov Model тулгуурлан ажилдаг. Ерөнхийдөө Hidden Markov Model нь хоёр таамаглалын процесс байна.

Марковын таамаглал: Тодорхой төлөвийн магадлал нь зөвхөн өмнөх төлөвөөс хамаарна.

$$p(s_t|s_1, o_1, \dots s_{t-1}, o_{t-1}) = p(s_t|s_{t-1}) \quad (10)$$

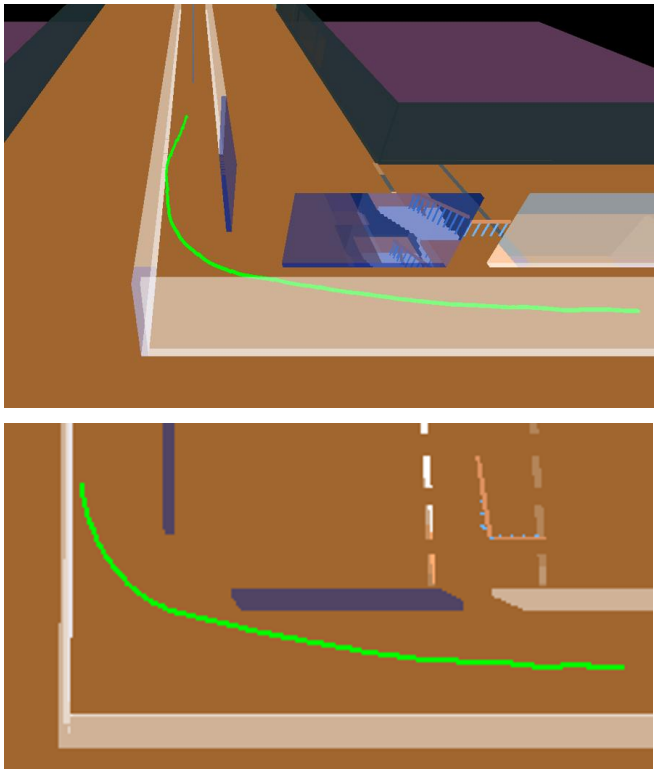
Бие даасан таамаглал: Ажиглалтын магадлал нь зөвхөн ажиглалт хийсэн төлөвөөс хамаарах бөгөөд бусад төлөв эсвэл бусад ажиглалтаас хамаарахгүй.

$$p(o_t|s_1, o_1, \dots s_{t-1}, o_{t-1}) = p(o_t|s_t) \quad (11)$$



Зураг 7. HMM ийн төлөвийн диаграмм.

Хэдийгээр Map Matching арга ашиглаж хүний хөдөлгөөний траекторыг засварлаж чадсан ч HMM ашигласан энэ аргын хувьд алдаа хуримтлагдах магадлалтай байна.



Зураг 8. Map matching арга ашиглан газрын зураг дээр хөдөлгөөний траекторыг буулгасан байдал.

IV. Дүгнэлт

Энэхүү өгүүллээр хөл дээр суурилуулсан IMU болон LSTM загварт суурилан алхмыг тодорхойлох замаар газрын зурагт тохируулах алгоритм ашиглан хүний байрлалыг тодорхойлох системийг танилцуулж байна. Эхний ээлжид өөр өөр хурдтай алхаж буй хүний гишгэлт хийснийг өндөр нарийвчлалтай тодорхойлж чадсан. Инерцийн мэдрэгч дээр суурилсан явган хүний навигацийн систем нь шилжилт хөдөлгөөнд өртдөг. Газрын зураг нь хүний траекторыг газрын зурагтай тааруулах замаар энэ мэдрүүрээс үүссэн хазайлт, шилжилтийг арилгах юм. Энэ нь хэрэглэгчийн замыг өгөгдсөн 3D төлөвлөгөөтэй сайжруулахад зайлшгүй шаардлагатай. Гүний уурхай, барилга гэх мэт 3D орчинд газрын зураг тааруулах алгоритмыг ашигласнаар энэхүү 3D газрын зурагт хэрэглэгчийн замыг тааруулж чадаж байна. Туршилтын үр дүнгээс харахад IMU мэдрэгч болон Map Matching аргын хоршлоор хүний хөдөлгөөний траекторыг хангалттай сайн тооцоолж байна. Гэвч алдаа хуримтлагдах сул талтай байгаа тул цаашид Waypoint-ийг системд нэмж оруулах шаардлага үүсэж байна.

Талархал

Санхүүгийн дэмжлэг үзүүлсэн Оюу Толгой ХХК, Монголын Улсын Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургуульд чин сэтгэлээсээ талархаж байгаагаа илэрхийлье.

Ном зүй

[1] CDC-NIOSH-Mining, “Tutorial on Wireless Communications and Electronic Tracking Par2”, 2022.

[2] C.L.Zhang, Y.H.Fu, F.M.Deng, B.Q.Wei and X. Wu, Electronics, (2018).

[3] Zhang, R.; Hoflinger, F.; Reindl, L. Inertial sensor based indoor localization and monitoring system for emergency responders. IEEE Sens. J. 2013, 13, 838–848.

[4] Bird, J.; Arden, D. Indoor navigation with foot-mounted strapdown inertial navigation and magnetic sensors [Emerging Opportunities for Localization and Tracking]. IEEE Wirel. Commun. 2011, 18, 28–35.

[5] Gu, Y.; Song, Q.; Li, Y.; Ma, M.; Zhou, Z. An anchor-based pedestrian navigation approach using only inertial sensors. Sensors 2016, 16, 334. [PubMed].

[6] Skog, I.; Nilsson, J.O.; Handel, P. Pedestrian tracking using an IMU array. In Proceedings of the IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies, Bangalore, India, 6–7 January 2014; pp. 1–4.

[7] Gu, Y.; Song, Q.; Li, Y.; Ma, M. Foot-mounted pedestrian navigation based on particle filter with an adaptive weight updating strategy. J. Navigat. 2015, 68, 23–38.

[8] Nilsson, J.O.; Gupta, A.; Händel, P. Foot-mounted inertial navigation made easy. In Proceedings of the IEEE International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Busan, Korea, 27–30 October 2014; pp. 24–29.

[9] Norrdine, A.; Kasmi, Z.; Blankenbach, J. Step detection for zupt-aided inertial pedestrian navigation system using foot-mounted permanent magnet. IEEE Sens. J. 2016, 16, 6766–6773.

[10] Nilsson, J.O.; Skog, I.; Händel, P. A note on the limitations of ZUPTs and the implications on sensor error modeling. In Proceeding of the IEEE International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Sydney, Australia, 13–15 November 2012; pp. 1–4.

[11] Y. C. Yang, J. Z. Li, L. Zhan, Computer Measurement and Control, 22:2 (2014)

[12] Hongxiang Xu, Xingzhen Bai, Lujie Zhou and Peng Liu, “Three-dimensional personnel safety positioning based on improved UKF under complex coal mine environment”, E3S Web of Conferences 303, 01054 2021, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130301054.

[13] Xiaochun Tian, Jiabin Chen, Yongqiang Han, Jianyu Shang and Nan Li, “A Novel Zero Velocity Interval Detection Algorithm for Self-Contained Pedestrian Navigation System with Inertial Sensors”, MDPI Sensors 2016, 16, 1578; doi:10.3390/s16101578.

[14] C. Ascher, C.Kessler, R.Weis and G.F.Trommer, “Multi-Floor Map Matching in Indoor Environments for Mobile Platforms”, 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 15th November 2012.

[15] Shin, Seung Hyuck; Park, Chan Gook; Choi, Sangon. "New Map Matching Algorithm Using Virtual Track for Pedestrian Dead Reckoning". ETRI Journal, vol. 32, no. 6, pp. 891-900.

[16] J. Giesbrecht. "Global Path Planning for Unmanned Ground Vehicles". Defence Research and Development Canada, 2004.

[17] Ming M,QianSong, Yang Gu,Yanghuan Li and Zhimin Zhou, “An Adaptive Zero Velocity Detection Algorithm Based on Multi-Sensor Fusion for a Pedestrian Navigation System”, MDPI/Sensors 2018, 18, 3261; doi:10.3390/s18103261.

[18] Alwin Poulose and Dong Seog Han, “UWB Indoor Localization Using Deep Learning LSTM Networks”, MDPI- Applied Sciences online journal, Oct, 2020. https://doi.org/10.3390/app10186290

[19] Brandon Wagstaff, Valentin Peretroukhin, and Jonathan Kellyь “Improving Foot-Mounted Inertial Navigation Through Real-Time Motion Classification”, 2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 18–21 September 2017, Sapporo, Japan

[20] Bruinsma J, Carloni R. Imu-based deep neural networks: Prediction of locomotor and transition intentions of an osseointegrated transfemoral amputee. IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering. 2021 Jun 7;29:1079-88.

[21] Kim K, Cho YK. Effective inertial sensor quantity and locations on a body for deep learning-based worker's motion recognition. Automation in Construction. 2020 May 1;113:103126.

[22] Mutegeki R, Han DS. A CNN-LSTM approach to human activity recognition. In2020 international conference on artificial intelligence in information and communication (ICAIIC) 2020 Feb 19 (pp. 362-366). IEEE.

[23] Lin PH, Shih CL, Wong DP, Chou PH. Gait Parameters Analysis Based on Leg-and-shoe-mounted IMU and Deep Learning. In2021 International Symposium on VLSI Design, Automation and Test (VLSI-DAT) 2021 Apr 19 (pp. 1-4). IEEE.

[24] Lu H, Schomaker LR, Carloni R. IMU-based deep neural networks for locomotor intention prediction. In2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2020 Oct 24 (pp. 4134-4139). IEEE.

[25] Ribeiro PM, Matos AC, Santos PH, Cardoso JS. Machine learning improvements to human motion tracking with imus. Sensors. 2020 Nov 9;20(21):6383.

[26] Su B, Gutierrez-Farewik EM. Gait trajectory and gait phase prediction based on an LSTM network. Sensors. 2020 Dec 12;20(24):7127.

[27] Sarshar M, Polturi S, Schega L. Gait phase estimation by using LSTM in IMU-based gait analysis—Proof of concept. Sensors. 2021 Aug 26;21(17):5749.

[28] Sung J, Han S, Park H, Cho HM, Hwang S, Park JW, Youn I. Prediction of lower extremity multi-joint angles during overground walking by using a single IMU with a low frequency based on an LSTM recurrent neural network. Sensors. 2021 Dec 22;22(1):53.

[29] Map-Matching Using Hidden Markov Model and Path Choice Preferences under Sparse Trajectory Zhengang Xiong 1,2,*,Bin Li 1 andDongmei Liu 1,3 Journals Sustainability Volume 13 Issue 22

[30] Map - Matching Using Hidden Markov Model and Path Choice Preferences under Sparse Trajectory Zhengang Xiong 1,2,*, Bin Li 1 and Dongmei Liu 1,3 Journal MDPI

[31] Effect Evaluation of Spatial Characteristics on Map Matching-Based Indoor Positioning Shuaiwei Luo 1,2, Fuqiang Gu 3, Fan Xu 1 and Jianga Shang 1,4,* MDPI Sensors 2020, 20, 6698; doi:10.3390/s20226698

[32] Multi-Floor Map Matching in Indoor Environments for Mobile Platforms C. Ascher, C.Kessler, R.Weis, G.F.Trommer 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 13_15th November 2012

Ярианы хөмрөг дэх бичвэр дуудлагын шинжилгээ

Очирбатын Билгүүн
Мэдээлэл, компьютерийн ухааны тэнхим
Монгол улсын их сургууль
Улаанбаатар, Монгол
bilguun@bilguun.dev

Чагнаагийн Алтангэрэл
Мэдээлэл, компьютерийн ухааны тэнхим
Монгол улсын их сургууль
Улаанбаатар, Монгол улс
altangerel@num.edu.mn

***Abstract*—Энэхүү судалгааны ажлаар ярианы хөмрөг дэх ижил бичлэгтэй ялгаатай дуудлагын тохиолдлууд, гийгүүлэгчээр төгссөн үгийн ард эгшиг хэлэгдэж байгаа эсэх, балархай эгшгүүд гээгдсэн ч дуудагдаж байгаа эсэх зэргийг бичвэрийг дуудлагатай зэрэгцүүлэн кирилл бичвэр, түүнд харгалзах дуудлагын тохиолдлуудыг ялган шинжлэхийг зорилоо. Судалгаанд ашигласан хөмрөг нь бичвэрийг ярианд хөрвүүлэх зорилгоор үүсгэсэн 25 мянган өгүүлбэртэй, 60.28 цагийн студийн бичлэг, түүнд харгалзах бичвэр бүхий сан юм.**

***Keywords*—бичвэрээс дуудлагад хөрвүүлэх, яриа боловсруулалт, авиа зэрэгцүүлэлт**

I. Танилцуулга

Яриа боловсруулах технологид бичвэрийг дуудлагад хөрвүүлэх нь чухал үүрэгтэй хэсэг бөгөөд кирилл бичвэрийн хувьд энэ нь ихээхэн асуудал үүсгэдэг. Учир нь зөв бичих зүйн дүрмийн хувьд кирилл бичвэрийг задлан шинжлэхэд олон төрлийн хоёрдмол утгууд гардаг, бас олон янзын дүрмийн бус тохиолдлууд байдаг. Мөн бичгийн хэл нь ярианы хэлтэй бүрэн нийцэлтэй байдаггүй. Жишээлбэл, “зургаа” гэсэн үгийг авч үзэхэд “6” тоо болон “зураг + аа” гэж хоёр ялгаатай утга илэрхийлэхээс гадна дуудлагын хувьд ч аль утгаа илэрхийлж байгаагаас хамаарч өөрөөр дуудагддаг. Өмнө нь кирилл бичвэрийг дуудлагад хөрвүүлэх судалгааны ажил [1] хийгдэж байсан ч ижил бичлэгтэй, дуудлага өөр үгсийг ялгахтай холбоотой ажил төдийлөн хийгдээгүй байна. Иймээс энэ ажлаар ярианы бодит бичлэг дээрх бичвэрийг дуудлагад нь харгалзуулан зэрэгцүүлж, бичвэрийн олон янзын дуудлагыг шинжлэхийг зорилоо.

II. Хөмрөг

Энэ хэсэгт судалгаанд хэрэглэсэн хэлний нөөц (ярианы сан, дуудлагын толь гэх мэт) болон боловсруулах хэрэгслийн талаар танилцуулна.

A. Ярианы сан

Бичвэрийг ярианд хөрвүүлэх зорилгоор үүсгэсэн 25 мянган өгүүлбэртэй, 24 килогерц давтамжтай, моно сувгаар студид бичсэн эмэгтэй яригчийн ярианы сан ашиглалаа. Ярианы сангийн нийт урт 60.28 цаг бөгөөд хамгийн богино нь 1.2 секунд, урт нь 31.8 секунд.

B. Бичвэр болон дуудлагын толь

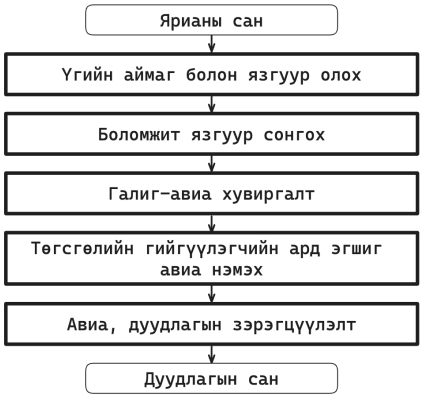
Ярианы сангийн 25 мянган өгүүлбэр ялгаатай 39,186, нийт 333,623 үгээс бүрдсэн бөгөөд хамгийн богино өгүүлбэр нь 1, хамгийн урт нь 36, дунджаар 13 үгтэй. Бичвэрийг боловсруулсны дараа галиг-авиа хөрвүүлэх (g2p) [1] хэрэгслийн тусламжтайгаар хөрвүүлэг хийж, үг, дуудлага харгалзуулсан нийт 73,676 хосооос бүрдсэн дуудлагын толь үүсгэсэн.

C. Авиан зэрэгцүүлэлтийн MFA хэрэгсэл

Ярианы дуудлагыг ярианы бичлэгтэй авианы түвшинд зэрэгцүүлэлт хийх хэрэгслээр Montreal Forced Aligner [2] ашигласан. Энэ нь акустик загвар үүсгэх замаар бидний үүсгэсэн дуудлагын толиноос тохирох авиа болон бичвэртэй харгалзуулж өгнө.

III. Туршилт хэрэгжүүлэлт

Ярианы санд агуулагдаж буй үгсийн боломжит бүх дуудлагыг гаргаж, дуудлагын сан үүсгэхийн тулд үг болгоны дуудагдаж болох тохиолдол бүрийг агуулсан дуудлагын толь үүсгэх хэрэгтэй болсон. Үгийн ялгаатай дуудагдах боломжтой тохиолдлуудыг ижил бичлэгтэй өөр дуудлагатай үгийг олох, язгуураас гээгдсэн балархай эгшгийн дуудлагыг нэмэх, гийгүүлэгчээр төгссөн бол үгийн төгсгөлд эгшиг авиа нэмэх гэсэн үндсэн гурван аргаар дуудлагын толь үүсгэж, түүнийгээ MFA ашиглан дуудлага болон бодит авиа хоёрыг харгалзуулсан дуудлагын сан үүсгэсэн.



Зураг 1. Ярианы сангаас дуудлагын сан үүсгэж, шинжлэх ерөнхий дараалал

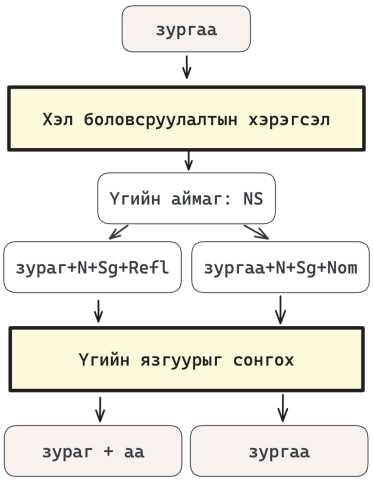
A. Ижил бичлэгтэй үгсийг ялгах

Ижил бичлэгтэй боловч өөр дуудлагатай үгсийг тухайн үгийн үндсийг олсноор ялгах боломжтой. Үүний тулд тухайн үгийн боломжит бүх язгуурыг олж, тэдгээрээс бичвэрийн санд орсон байх боломжтой, тохирох язгууруудыг сонгоно.

Үгийн язгуур болон үгийн аймгийг олохдоо хэл боловсруулалтын хэрэгслийг [3, 4] ашигласан бөгөөд нэг үгэнд хэд хэдэн язгуур олдсон тохиолдолд дараах шалгуурын дагуу тохирох язгуурыг сонгон авсан:

1. Язгуур нь үндсэн үгтэй нэг аймагт харьяалагдаж байх;
2. Үгийн аймаг тохирсон язгуур олдоогүй бол хамгийн их давтамжтай[5] хэрэглэгддэг язгуурыг нь сонгох;
3. Өмнөх хоёр шаардлагыг хангаж чадаагүй бол хамгийн урт язгууртай нь харгалзуулж авна.

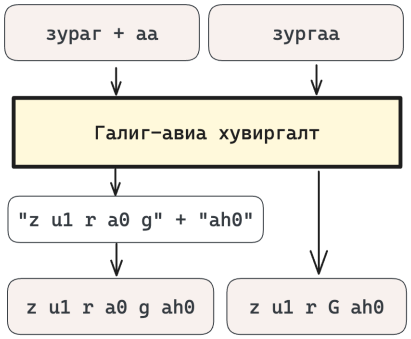
Олон язгууртай байх эсвэл язгуураас балархай эгшиг нь гээгдсэн үгсийг нэмсний дараа манай үгийн сан нийт 39,441 буюу 254 үг хоёр ба түүнээс олон боломжит хувилбартай болж, анхны үгийн сангаас 255 үгээр нэмэгдсэн.



Зураг 2. Ижил бичлэгтэй үгийн боломжит язгууруудыг олох

B. Дуудлагын толь үүсгэх

Галиг-авиа хөрвүүлэгчийн тусламжтай үгийн сангийн бүх үгийг авианы тэмдэглэгээнд хөрвүүлсэн. Харин ижил бичлэгтэй үгсийг ялган тэмдэглэхийн тулд “язгуур + дагавар” гэж салган, тус бүрийн дуудлагыг үүсгэж, хооронд нь залгасан.



Зураг 3. Ижил бичлэгтэй үгсийн дуудлага

Мөн язгууртай нь тулгаж үзэхэд үгийн язгуураас балархай эгшиг нь гээгдсэн үгсийг “язгуур + дагавар” гэсэн байдлаар нэмэлт хувилбар болгон нэмсэн. Үүний үр дүнд нийт 42,413 ялгаатай үг, дуудлагын хосоос бүрдсэн дуудлагын толь үүссэн.

C. Гийгүүлэгчээр төгссөн үгийн ард эгшиг дуудлага нэмэх

Кирилл бичигт зарим гийгүүлэгчээр төгссөн үгийн төгсгөлд эгшиг авиа дуудагдах боломжтой гэж таамаглал дэвшүүлсэн. Эдгээр үгсийг олохын тулд үгийн сангийн бүх гийгүүлэгчээр төгссөн үгийн дуудлагын төгсгөлд эгшиг авиаг нэмж тэмдэглэсэн хувилбар оруулж өгсөн.

а	э	и	о	у	ө	ү
a2	e2	i2	o2	u2	ou2	uo2

Хүснэгт 1. Гийгүүлэгчээр төгссөн үгийн төгсгөлд нэмсэн эгшиг авиан тэмдэглэгээ

Тэмгдэглэгээний хувьд 7 үндсэн эгшгийн дуудлагын тэмдэглэгээг өргөтгөн “2” дугаараар тэмдэглэн хэрэглэсэн ба үгийн эхний үеийн эгшиг буюу “1” дугаартай эгшиг авиан тэмдэглэгээнд захирагдан сонгоно.

Үг	**Дуудлага**
баримталдаг	b a1 R i0 m t a0 l d a0 g
	b a1 R i0 m t a0 l d a0 g a2
үйлдэж	uoy1 l d e0 w
	uoy1 l d e0 w uo2

Хүснэгт 2. Гийгүүлэгчээр төгссөн үгийн жишээ дуудлагууд

Нийт 31,263 гийгүүлэгчээр төгссөн дуудлага бүрийн төгсгөлд эгшиг нэмсэн хувилбар үүсгэн дуудлагын толинд нэмсэн.

Үүгээр дуудлагын толийн боловсруулалт дууссан ба толины үзүүлэлтийг доор үзүүлэв:

Нийт үг, дуудлагын хослол: 73,676

- Ялгаатай үг: 39,186
- Ялгаатай дуудлага: 73,368

Дуудлагын хувилбарууд:

- 1 дуудлагатай үг: 9,502
- 2 дуудлагатай үг: 27,290
- 4 дуудлагатай үг: 2,386
- 6 дуудлагатай үг: 7
- 8 дуудлагатай үг: 1

Нийт үг дуудлагын хослолын тоо нь ялгаатай дуудлагын тооноос зөрүүтэй байгаа нь өөр өөр бичлэгтэй үг ижил дуудлагын дараалалтай хослосонтой холбоотой. Жишээ нь ярианы сангийн бичвэрт “зэргийн”, “зэрэгийн” гэсэн хоёр үг байхад “z e1 r e0 g ih0 ng”, “z e1 r e0 g ih0 ng e2” гэсэн яг адил дуудлагууд харгалзана.

D. MFA ашиглан боломжит бүх дуудлагаас ярианы санд харгалзах дуудлагуудыг олох

Бэлтгэсэн дуудлагын толь болон, ярианы сангаас MFA хэрэгслийг ашиглан акустик загвар сургаж, түүгээр дуудлага, авиан зэрэгцүүлэлт хийгдсэн textgrid файлуудыг гарган авсан. Нийт 25,791 өгүүлбэрээс 20,433 нь амжилттай зэрэгцүүлэлт хийгдсэн.

IV. Үр дүн ба шинжилгээ

A. Тоон үзүүлэлт

MFA хэрэгслийн тусламжтай зэрэгцүүлэлт хийсний үр дүнд үүсгэсэн дуудлагын толиноос ярианы санд хэрэглэгдэж буй дуудлагуудыг ялган авсан.

MFA хийсний дараах дуудлагын толины үзүүлэлт:

Нийт үг, дуудлагын хослол: 41,783

- Ялгаатай үг: 33,757
- Ялгаатай дуудлага: 41,704

Дуудлагын хувилбарууд:

- 1 дуудлагатай үг: 25,893
- 2 дуудлагатай үг: 7,735
- 3 дуудлагатай үг: 96
- 4 дуудлагатай үг: 33

Гийгүүлэгчээр төгссөн үгийн хойно эгшиг авиа нэмсэн: 16,004

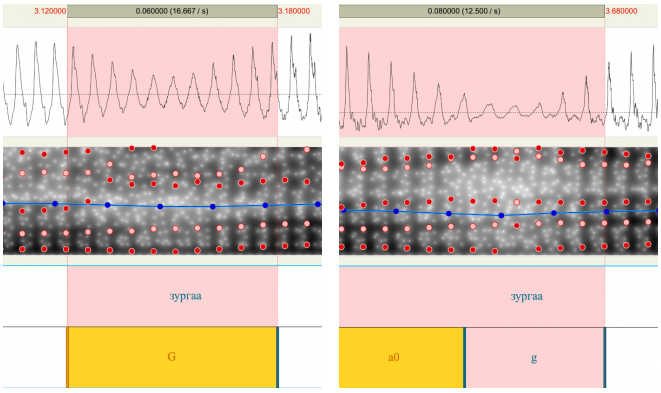
B. Ижил бичиглэлтэй, дуудлага өөр үг

Хэд хэдэн язгууртай үг дуудлагын толинд 255 байснаас MFA хийсний дараа 9 үг хоёр өөр дуудлагатайгаа харгалзан үлдсэн ба тэдгээрээс жишээ болгож хүснэгт 3-т үзүүлэв.

Бичлэг	**Дуудлагын хувилбар 1**	**Дуудлагын хувилбар 2**
аргаа	`a1 r G ah0`	`a1 r a0 g ah0`
багууд	`b a1 G uh0 d`	`b a1 g uh0 d`
зургаа	`z u1 r G ah0`	`z u1 r a0 g ah0`
цагаа	`c a1 G ah0`	`c a1 g ah0`

Хүснэгт 3. Нэг бичиглэлтэй олон дуудлагатай үгсийн жишээ

Ялгаатай дуудлагууд ихэвчлэн “g” болон “G” авиагаар ялгарсан байна. Жишээ болгон “зургаа” үгийн авиаг зураг 4-т үзүүллээ.



(а) (б)

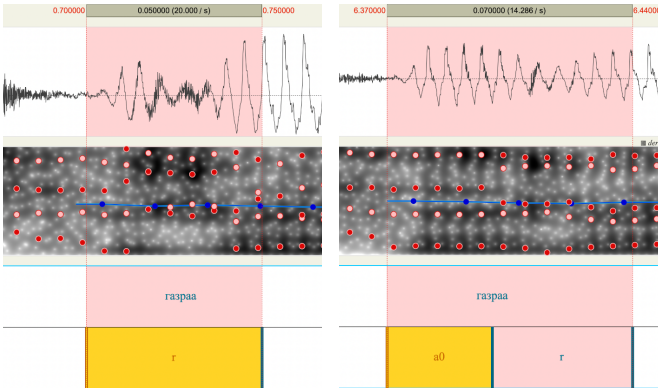
Зураг 4. “*Зургаа*” үгийн ялгаатай дуудлагын харьцуулалт; (а) тооны нэр; (б) “зураг” + хамаатуулах нөхцөл

“Зургаа” үгийн дуудлага тус бүрийн жишээ өгүүлбэр:

- `z u1 r G ah0` (тоо) - энэхүү үзэсгэлэнгээс өндөр гэгээний тавин **зургаа** гаруй дүрийг үзэж сонирхох боломжийг олгож байгаа юм.
- `z u1 r a0 g ah0` (зураг) - тухайлбал металл хавтан дээр лаак нэлэнхүйд нь түрхэж дээр нь нарийхан зүүгээр **зургаа** зурна.

C. Балархай эгшиг нь гээгдсэн боловч дуудагдаж буй үг

Дуудлагын толь бэлтгэх явцад язгууряас балархай эгшиг нь гээгдсэн болон ямар нэг байдлаар хувирсан үг 3,070 байснаас 2,656 нь MFA зэрэгцүүлэлтийн үр дүнд үлдэж (зарим ижил бичиглэлтэй үгтэй давхардсан тоогоор), 220 нь балархай эгшиг нь гээгдсэн болон гээгдээгүй аль аль хувилбартайгаа үлдсэн.



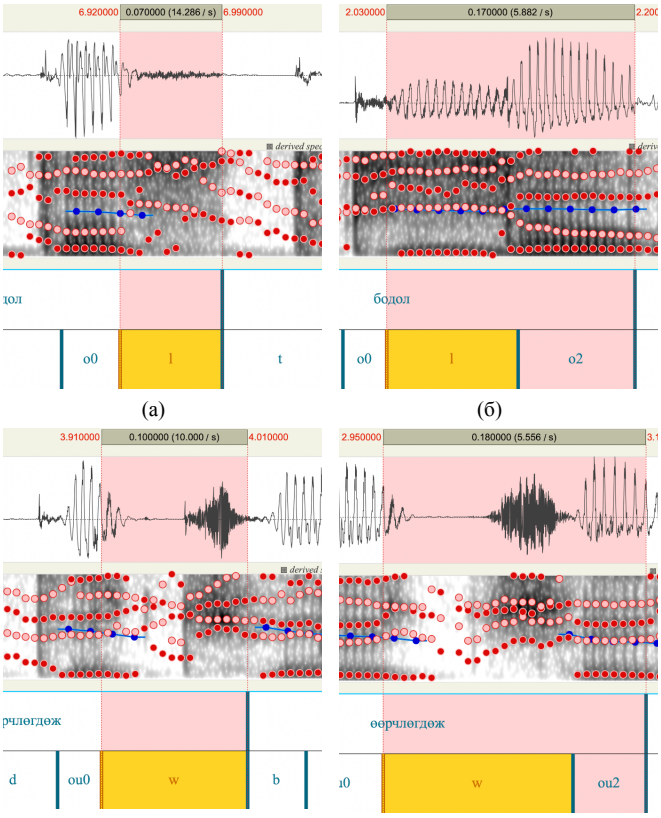
(а) (б)

Зураг 5. “*Газраа*” үгийн балархай эгшгийн дуудлагын харьцуулалт; (а) балархай эгшиг дуудагдаагүй; (б) балархай эгшиг дуудагдсан

D. Гийгүүлэгчээр төгссөн үгийн дуудлага эгшигээр төгсөх

Дуудлагын толинд 31,263 гийгүүлэгчээр төгссөн үг байснаас 8,109 нь зөвхөн эгшиг нэмсэн дуудлага, 7,811 нь эгшиг нэмсэн болон гийгүүлэгчээр төгссөн аль аль дуудлага, үлдсэн нь дан гийгүүлэгчээр төгссөн хувилбараа авч үлдсэн байна.

Зураг 6-д зарим үгийн хойноо эгшиг дуудагдсан болон дуудагдаагүй жишээг харуулав. Тэдгээрт харгалзах өгүүлбэрийг бүрэн эхээр нь хүснэгт 4-т мөн оруулаа.



(а) (б)

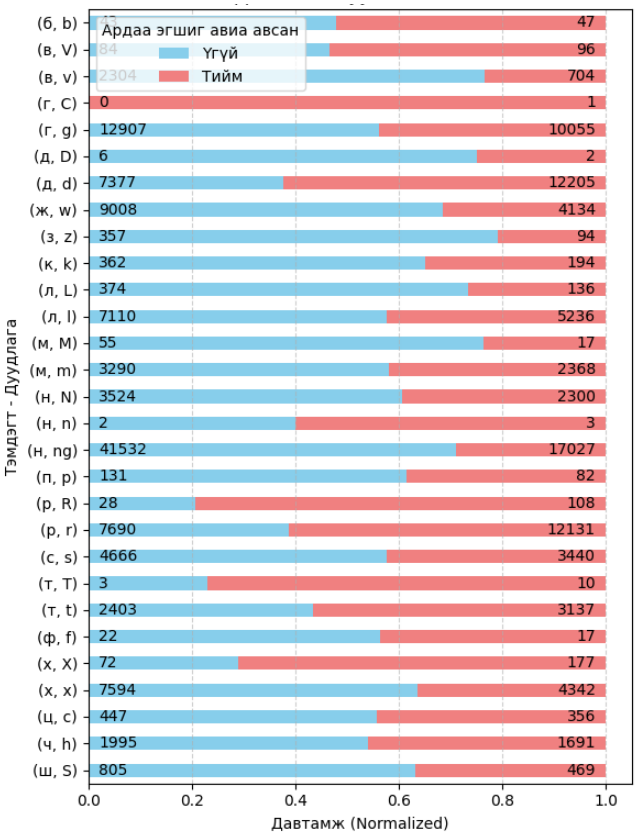
(в) (г)

Зураг 6. *“Бодол” болон “өөрчлөгдөж”* үгийн төгсгөлийн авиан харьцуулалт; (а), (в) төгсгөлийн гийгүүлэгчийн ард эгшиг дуудагдаагүй; (б), (г) төгсгөлийн гийгүүлэгчийн ард эгшиг дуудагдсан

Жишээ	Өгүүлбэр
(а)	хаашаа ч явсан хамаагүй мэт санагдаад юу боловч салхины өөд жаахан яваад үзэх юм биш үү гэсэн бодол төрж тийш нь тэмээгээ зүглүүлбэл дуртай гэгч нь эргэв
(б)	харин хүмүүсийн үзэл бодол өөрчлөгдөж чадсан болов уу гэж бодож байлаа
(в)	цаг хугацааны явцад миний энэ үзэн ядалт бас өөрчлөгдөж байсан юм
(г)	харин хүмүүсийн үзэл бодол өөрчлөгдөж чадсан болов уу гэж бодож байлаа

Хүснэгт 4. Зураг 5-д үзүүлсэн жишээ үгийг агуулсан өгүүлбэрүүд

Нийт гийгүүлэгчээр төгссөн үгсийн ардаа эгшиг дуудагдсан тохиолдол ихэвчлэн дараагийн үгийг хэлэхээс өмнө зай авсан эсвэл өгүүлбэрийг төгсгөж байгаа үед гарч байна. Зураг 7-д эгшиг дуудагдсан болон дуудаагдаагүй төгссөн үгийн давтамжийг харьцуулсан бөгөөд нийт гийгүүлэгчээр төгссөн үгийн давтамжийн ойролцоогоор 46% нь төгсгөлдөө эгшигтэй дуудагдсан.



Зураг 7. *Гийгүүлэгчийн дуудлагын давтамж, тэдгээрийн ард эгшиг авиа дуудагдсан давтамжийн харьцуулалт*

V. Дүгнэлт

Ярианы сангийн 25 мянган өгүүлбэр дээр ижил бичлэгтэй үг ялгах, балархай эгшгийг үлдээх, гийгүүлэгчээр төгссөн үгийн ард эгшиг дуудлага нэмэх гэсэн гурван төрлийн аргаар боломжит дуудлагын хувилбарыг нэмэгдүүлэн, дуудлагын толь үүсгэж, MFA ашиглан зэрэгцүүлэлт хийж туршлаа. Туршилтын үр дүнд хоёр болон түүнээс дээш ялгаатай дуудлагатай үг нийт үгийн сангийн 23.3%-ийг эзэлж, үг болон дуудлагын хослолын хэмжээ 23.7%-иар нэмэгдсэн.

Дуудлагын хувилбарын тоо ийнхүү нэмэгдэж байгаа нь бичлэгийн хувьд ижил боловч утгын хувьд ялгаатай, өмнө, хойно орж буй үг болон авианаас хамаарч дуудлага өөрчлөгдөж байгааг харж болно. Тиймээс бичвэрийг дуудлагад хөрвүүлэхэд дан ганц тэмдэгтээс дуудлагын тэмдэглэгээ рүү хөрвүүлэхээс гадна тухайн үгийг хүрээлж буй үг, авианы мэдээллийг мөн авч үзэх хэрэгтэй нь харагдаж байна.

Цаашид энэхүү дуудлагын толийг илүү өргөн хөмрөг дээр турших, бичигдээгүй боловч дуудагдаж буй эгшиг авиаг бусад эгшигтэй харьцуулж шинжлэх, дээр дурьдсан үгийн хүрээллийн мэдээллийг агуулсан бичвэрийг дуудлагад хөрвүүлэх хэрэгсэл хөгжүүлэхийг зорьж байна.

Эшлэл

1. Ч. Алтангэрэл, Ж. Пүрэв, Кирилл Монгол бичвэрийн дуудлагын хөрвүүлэг, Монголын Мэдээллийн Технологи Хүрлын эмхэтгэл, 2018, 19-22
2. McAuliffe, M., Socolof, M., Mihuc, S., Wagner, M., Sonderegger, M. (2017) Montreal Forced Aligner: Trainable Text-Speech Alignment Using Kaldi. Proc. Interspeech 2017, 498-502, doi: 10.21437/Interspeech.2017-1386
3. Zoljargal Munkhjargal, Altangerel Chagnaa, Purev Jaimai, Morphological Transducer for Mongolian, N.T. Nguyen et al. (Eds.): ICCCI 2016, Part II, LNAI 9876, pp. 546–554, 201
4. Хэл боловсруулалтын хэрэгсэл, http://172.104.34.197/nlp-web-demo/
5. Ч.Алтангэрэл, М.Энхжаргал: Электрон бичвэрт суурилсан монгол хэлний үгийн болон үсгийн давтамжийн судалгаа, Хүрэл тогоот-2012, pp. 52-58. (2012)

Салбар хуралдаан-3

Кибер аюулгүй байдал

САЛБАР ХУРАЛДААН-3: КИБЕР АЮУЛГҮЙ БАЙДАЛ *ШУТИС VIII байр, 805 тоот танхимд* **Хурлын дарга:** Я.Дашдорж /ШУТИС-ийн дэд профессор/		
1.	“Хорт URL-ийг илрүүлэх нь” *Н.Даваадорж, Б.Мөнхбаяр*	68
2.	“Боловсролын салбар дахь кибер аюулгүй байдлын чиг хандлага” *Э.Мөнхцэцэг*	74
3.	“Аюулгүй программ хангамж хөгжүүлэлтийн үйл явцын судалгаа” *Э.Алтанцацрал, Ц.Энхтөр, Я.Дашдорж, Л.Одончимэг*	79
4.	“Байгууллагын сүлжээний эрсдэлийг үнэлэх” *Б.Мянганбаяр, Я.Дашдорж, Ц.Энхтөр, Л.Одончимэг*	85

Хорт URL-ийг илрүүлэх нь

Н.Даваадорж
Монгол Улс, Улаанбаатар хот, ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль, Мэдээллийн Сүлжээ Аюулгүй Байдлын Салбар
davaadorjn3@gmail.com

Б.Мөнхбаяр (Ph.D)
Монгол Улс, Улаанбаатар хот, ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль, Мэдээллийн Сүлжээ Аюулгүй Байдлын Салбар
munkhbayar.b@must.edu.mn

***Хураангуй*—Энэхүү судалгааны ажилд хорт URL -г илрүүлэх зорилтыг шийдвэрлэхийн тулд supervised машин сургалтын загварыг ашигласан. Энэ систем нь URL -г хортой, хоргүй гэсэн хоёр ангилалд ангилахдаа Binary Classification ерөнхий аргыг хэрэглэсэн ба үүнд Logistic Regression, SVM, KNN, Decision Tree, Random Forest аргууд багтсан. URL -г шинж чанаруудаар нь задлахдаа lexical, domain-based, content-based гэсэн 3 бүлгийн 36 шинж чанараар задалж, машин сургалтандаа ашигласан. URL -г зөв таниж байгаа эсэхийг үнэлэхдээ нийт хортой, хоргүй URL -ийнхээ 70% -ийг машин сургалт, 30% -ийг туршилтандаа ашиглахад Random Forest алгоритмын үр дүн буюу accuracy 99.70% -тай илрүүлсэн.**

Keywords—Хорт URL, Machine Learning, Random Forest

I. Удиртгал

Бидний өдөр тутмын амьдралд интернэтийн хэрэглээ өсөхийн хэрээр хортой холбоос (URL)-тай холбоотой халдлагууд дагаад ихсэж байна. Хорт URL нь фишинг халдлага, нийгмийн инженерчлэл, залилан гэх мэт кибер аюул заналхийллийн эхлэл болдог. Цахим гэмт хэрэгтнүүд зорилтот хэрэглэгчдийг мэхлэх цаашлаад хор хөнөөл учруулах арга техникийг тасралтгүй боловсруулж, халдлагын арга барилаа улам бүр боловсронгуй нарийн болгож байгаа тул түүнийг үнэн зөв илрүүлэх механизмыг хөгжүүлэх нь зайлшгүй чухал юм.

Энэхүү судалгааны ажлаар хорт URL-ийг машин сургалтын арга ашиглан илрүүлэх боломжийг танилцуулж байна. URL нь интернэтийн чухал бүрэлдэхүүн хэсэг бөгөөд халдагчид хэрэглэгчдийг хууран мэхлэхийн тулд түүний хэв маяг, бүтцийг нь жинхэнэ URL -тэй төстэй болгож үр дүнд нь тэднийг хортой вэбсайт руу чиглүүлж, эсвэл хүсээгүй ямар нэгэн үйлдлүүдийг хийхэд хүргэдэг. Машин сургалт нь шинж чанарт үндэслэн хэв маягийг таньж, ялгах чадвартай тул хорт URL -ийг тодорхойлох сайн арга юм.

II. Сэдэл болон зорилго

Тогтмол өргөжиж буй дижитал эрин үед интернэт бидний өдөр тутмын салшгүй хэрэглээ болсон билээ. 2023 оны 7 дугаар сарын судалгаагаар интернэт хэрэглэгчдийн тоо 5.18 тэрбумд хүрсэн ба энэ нь дэлхийн нийт хүн амын 64.6% юм. Бидний хуруугаа хөдөлгөөд л олж чадах мэдээллийн хэмжээ нэмэгдэхийн хэрээр түүнийг дагасан аюул занал ч мөн төдий чинээгээр өсөж байна. Энэхүү аюул гэсэн энэ өргөн цар хүрээтэй ойлголт дунд хамгийн өргөн цар хүрээтэй, хамгийн түгээмэл сэдэв бол “Хорт URL (Uniform Resource Locator)” юм.

Уг аюул нь ихэвчлэн нийгмийн инженерчлэл (social engineeirng) болон фишинг (phishing) халдлагаар дамжуулан хувь хүн эсвэл бүлэг хүмүүсийн хувийн мэдээлэл болон дансны мэдээлэл зэргийг хууль бус байдлаар олж авч, ашиглахыг зорьдог.

Монгол Улсад интернэт хэрэглэгчдийн тоо 2012 онд 695 мянга байсан бол уг тоо 2017 онд 3.5 сая, 2018 онд 4.1 сая, 2019 онд 5.4 сая болж 2012 онтой харьцуулахад 7.8 дахин нэмэгдсэн, фэйсбүүк хэрэглэгчдийн тоогоор Ази тивд 1 дүгээрт /2.2 сая хэрэглэгч/, дэлхийд 10 дугаар байрт жагсах болсон ба цахим хэрэглээний хамрах хүрээ, хэрэглээ хурдацтай өсч байгаа нь Үндэсний статистикийн хорооны мэдээллээс харагдаж байна. [12]

[12] судалгааны ажилд манай улсад үйлдэгдсэн цахим гэмт хэргийн тоо 2018 онд 659, 2019 онд 737, 2020 онд 1795, 2021 оны эхний хагас жилд 1949 хүрсэн гэдгийг дурьдсан. Тэгвэл энэ тоо 2023 оны эхний 2-р улирлын байдлаар 3,618-т хүрээд байгаа юм. [13]

Үүнээс харахад олон улс төдийгүй манай орны хувьд ч мөн ялгаагүй интернэтийн хэрэглээ, түүнийг дагасан цахим аюул заналын тоо зэрэг нь анхаарч үзэхүйц хэмжээнд хүрээд байна.

Хортой холбоос (URL)-р дамжиж үйлдэгдэж буй халдлагууд улам бүр боловсронгуй болсноор түүнийг илрүүлэх чадамжтай байсан арга техникүүд одоогийн байдлаар бүрэн гүйцэт, үнэн зөв ажиллахад хүндрэлтэй болоод буй юм. Үүний нэг жишээ нь хар жагсаалт (Blacklisting) арга бөгөөд энэхүү арга нь бүхий л мэдэгдэж буй хортой холбоос (URL)-г өгөгдлийн санд хадгалан уг өгөгдлийн сангаас тухайн холбоос (URL)-г шүүх байдлаар хортой эсвэл хоргүй гэж ялгадаг байсан. Гэсэн хэдий ч энэхүү арга нь өгөгдлийн санд байхгүй буюу ангилал нь мэдэгдэхгүй байгаа холбоос (URL)-г хортой эсвэл хоргүй гэж ялгах боломжгүй. Тиймээс өдөр ирэх тусам нэмэгдэж, хувьсан өөрчлөгдөж буй хортой холбоос (URL)-г үнэн зөв, баталгаатай байдлаар илрүүлэх шинэ үеийн арга техникийг хөгжүүлэх шаардлагатай байгаа юм.

Үүнээс гадна хорт URL-г илрүүлэхдээ Монгол улсад хамаарагдах домэйн, холбоос (URL) зэргийг авч үзэх нь чухал бөгөөд учир нь энэ чиглэлээр хийгдсэн судалгааны ажлуудыг үзэхэд машин сургалтын өгөгдлийн багц (Dataset)-д Монгол холбоос (URL) байхгүй байгаа юм.

Мөн Кибер гэмт хэрэгтэй холбоотой мэргэжлийн болон сайн дурын, магистр, докторын зэрэг бүхий судлаачдын судалгааны ажлууд олон улсад ихээхэн хийгдэж эхэлсэн бол манай улсын хувьд харьцангуй бага байна. [12]

Тиймээс энэхүү асуудлуудад шийдэл боловсруулахын тулд бидний зүгээс хортой холбоос (URL)-р дамжигдан үйлдэгдэж буй халдлагыг үнэн зөв илрүүлэх, хүн бүхэн ашиглах боломж бүхий веб хуудас хийхийг зорьж ажилласан. Мөн энэхүү хортой холбоос (URL) илрүүлэх веб хуудсыг “extension” байдлаар ашиглах боломжийг бүрдүүлсэн ба энэ нь хэрэглэгч тухайн зочилж буй веб хуудсын холбоосыг ганцхан товч дараад л хортой эсвэл хоргүй гэдгийг ялгах боломжтой гэсэн үг юм.

Ингэхдээ өгөгдлийн багц (Dataset)-д Монгол холбоос (URL)-г тодорхой тоогоор нэмэгдүүлэх, шинж чанараар задлах үйлдлүүдийг (Feature Extraction) олшруулах, оновчтой машин сургалтын алгоритмуудыг ашиглах зэргийг зорьж ажилласан.

III. Өмнө судлагдсан ажлууд

Энэ хэсэгт хорт URL буюу холбоосыг илрүүлэх болон ангилах асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд хийгдсэн судалгааны ажлуудыг авч үзэх болно.

A. Signature-based malicious URL detection

Хиймэл оюун ухаан, машин сургалт зэргийн тухай ойлголт өнөөдрийнхтэй харьцуулахад бага байсан үед гарын үсэгт суурилсан аргыг ашиглан хорт URL -г илрүүлэх тохиолдол элбэг байсан. Одоогоос 10 гаруй жилийн өмнө хийгдсэн [1] болон [2] судалгааны ажлуудаас харвал эдгээр ажлууд нь ихэвчлэн мэдэгдэж буй хорт URL холбоосуудыг ашигласан байна.

Тодруулбал шалгахаар оруулсан URL холбоос нь өгөгдлийн санд хадгалагдаж буй хортой холбоостой тохирч байвал уг холбоосыг хортой гэж үзэж анхааруулга гарч ирнэ. Бусад тохиолдолд шалгахаар оруулсан URL холбоосыг хортой гэж үзэхгүй. Энэхүү аргын хамгийн том сул тал нь өгөгдлийн санд хадгалагдаагүй буюу жагсаалт дотор байхгүй шинэ хортой холбоос (URL)-г илрүүлж чадахгүй явдал юм.

B. Machine learning-based malicious URL detection

Машин сургалтад тулгуурлан хорт URL холбоосуудыг илрүүлэх нь хамгийн үр дүнтэй гэж үзэж байгаа бөгөөд учир нь өмнөх signature based арга шиг жагсаалтад байхгүй шинэ URL холбоосыг ч алдалгүй илрүүлэх боломжтой юм. Энэ тухай хийсэн Aldwairi болон Alsalman [4] судалгаанд хорт URL холбоосыг 87% precision нарийвчлалтай илрүүлж байсан бөгөөд ингэхдээ lexical-based, content-based, network-based зэрэг feature extraction аргуудыг ашигласан. Өгөгдлийн багцын хувьд аюулгүй URL холбоосуудыг Alexa [5], хорт URL холбоосуудыг PhishTank [6] сайтуудаас тус тус авсан.

Мөн Xuan болон багийн гишүүдтэйгээ хийсэн судалгааны ажилд [3] машин сургалтын алгоритмуудыг ашиглан хорт URL холбоосыг илрүүлсэн бөгөөд нийт ашигласан алгоритмууд дотроос Random Forest алгоритм нь хамгийн өндөр хувьтай буюу 96.28% accuracy нарийвчлалтай илрүүлж байсан бөгөөд Suan болон багийн гишүүдтэйгээ хийсэн судалгааны ажил [7] нь энэ accuracy хувийг 97.36% хүртэл өсгөж чадсан. Тэдний ашигласан өгөгдлийн багцын хувьд ялгаатай байсан бөгөөд University of California Irvine Machine Learning Repository (UCI–ML) [8] ашигласан.

Yu [9] судалгааны ажилд deep belief network (DBN) болон support vector machine (SVM) гэсэн машин сургалтын алгоритмуудыг ашигласан бөгөөд өгөгдлийн багцаа Phishtank[6] -аас цуглуулсан. Үр дүнд нь DBN-SVM модел нь 99.96% accuracy маш нарийн үзүүлэлттэйгээр хорт URL холбоосыг илрүүлсэн.

Sahingoz [10] судалгааны ажилд машин сургалтын олон алгоритмуудыг ашиглан туршилт хийсэн ба онцлог нь тэдгээрийг хооронд нь хослуулан hybrid feature төрлийн аргыг ашигласан. Ингэснээр дан ганц алгоритмаар бус олон аргыг нэгтгэн турших нь илүү амжилттай ажиллаж болох юм гэдгийг харуулсан. Үр дүнд нь Random Forest алгоритмыг NLP feature -тээ хослуулсан туршилт нь 97.98% буюу хамгийн өндөр хувьтайгаар хорт URL -г илрүүлсэн ба туршилтдаа хоргүй 36400, хортой 37175 холбоос (URL) тус тус ашигласан байна.

Өмнө судлагдсан ажлуудаас үзэхэд “Random Forest” алгоритм оновчлолын хувь (Accuracy) хамгийн өндөр байна.

IV. Машин сургалтын аргууд ба алгоритм сонголт

Бидний судалгааны ажлын үр дүнд хаяглагдсан өгөгдлийн багц /labeled dataset/ ашиглан шинэ /unknown/ холбоосыг хортой эсвэл хоргүй гэж ангилах боломжтой вэб хэрэгсэл хийхийг зорьж буй бөгөөд гаралтын үр дүн нь зөвхөн “хортой” эсвэл “хоргүй” гэсэн байдалтай байна. Машин сургалтын модел нь ашиглах өгөгдлийн багцаасаа хамаараад

- Supervised
- Unsupervised
- Semi-supervised
- Reinforcement

гэж ангилагдах ба бидний хийж буй судалгааны ажилд “supervised machine learning” модел нийцэх юм. Учир нь “supervised machine learning” модел нь хаяглагдсан өгөгдлийн багц /labeled dataset/ ашиглан моделоо сургаж, дараа нь уг үр дүнгээ ашиглан шинэ /unknown/ өгөгдөл дээр тооцоолол хийж гаралтыг урьдчилан таамагладаг. Supervised machine learning дотор classification болон regression гэсэн үндсэн 2 арга байх бөгөөд ангилах /classification/ аргын хувьд хувьсагчийн төрөл нь дискрет хэлбэртэй байх бөгөөд энэ төрлийн аргыг аливаа ялгаатай зүйлсийг ангилахад ашигладаг. Харин регресс/regression/ аргын хувьд хувьсагчийн төрөл үргэлжилсэн /continuous/ хэлбэртэй байх бөгөөд энэ төрлийн аргыг ашиглан өмнөх онуудын цаг агаарын өгөгдлөөс улбаалан ирээдүйн цаг агаарыг тооцоолох, зах зээлийн чиг хандлага дээр тулгуурлан орон сууцны үнийг таамаглах зэргээр ашиглаж болно. Бидний хийж буй судалгааны ажлын хүрээнд холбоос /URL/-г “хортой” эсвэл “хоргүй” гэж ангилах тул “classification” арга илүү тохиромжтой.

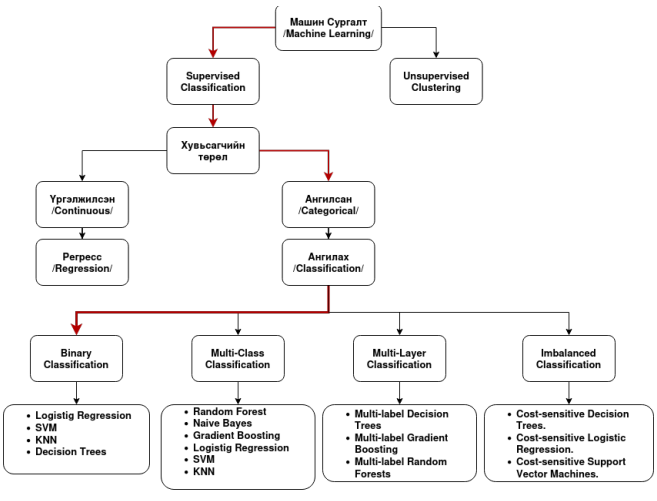


Fig. 1. Машин сургалтын төрлүүд ба алгоритмууд

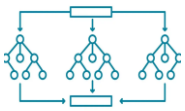
Classification арга нь дотроо мөн дараах байдлаар 4 хуваагдана.

- Binary Classification

- Multi-Class Classification
- Multi-Label Classification
- Imbalanced Classification

Binary Classification аргын хувьд оролтын өгөгдлийг эсрэгцүүлсэн 2 төрөлд ангилах зорилготой. Жишээлбэл үнэн-худал, 1-0, хортой-хоргүй гэх мэт. Үлдсэн аргуудын хувьд хоёроос олон төрлийн оролтын өгөгдлөөс үр дүнг таамаглах зорилготой. Тиймээс энэхүү Binary Classification арга нь бидний судалгааны ажилд тохиромжтой юм.

TABLE I. МАШИН СУРГАЛТЫН АЛГОРИТМУУД

Машин сургалтын арга	**Тайлбар**	**Зурган төлөөлөл**
Support Vector Machine (SVM)	SVM нь нэг ангилалын өгөгдлийг нөгөө ангилалын өгөгдлөөс тусгаарлах шугаман замаар өгөгдлийг ангилдаг.	
Decision Tree	Decision Tree нь хариу үйлдлийг урьдчилан таамаглах боломжийг олгодог бөгөөд урьдчилан таамаглахийн тул утгын олон салаа мөчир гаргадаг. Салаа бүрийн тоо утгыг сургалтын явцад тодорхойлно.	
Random Forest	Random forest нь нэг үр дүнд хүрэхийн тулд олон Decision Tree гаралтыг нэгтгэдэг түгээмэл хэрэглэгддэг машин сургалтын алгоритм юм. Ашиглахад хялбар, уян хатан байдал нь ангилал болон регрессийн асуудлыг хоёуланг нь зохицуулдаг.	
k-Nearest Neighbor (KNN)	KNN бол өгөгдлийн багц дахь хамгийн ойрын хөршүүдийн төлөв дээр үндэслэж объектуудыг ангилдаг загва юм. Мөн бие биеийнхээ ойролцоох объектуудыг ижил төстэй гэж үздэг ба хамгийн ойрын хөршийг олохын тулд косинус, Чебышев зэрэг зайны хэмжүүрүүдийг ашигладаг.	

V. ХОРТ URL-Г МАШИН СУРГАЛТЫН АРГА АШИГЛАН ИЛРҮҮЛЭХ

A. Өгөгдлийн багц /Dataset/

Шаардлагатай өгөгдлийн багцыг бүрдүүлэхийн тулд бид kaggle хуудас дээрх өгөгдлийн багцыг ашигласан. Энэхүү өгөгдлийн багц нь [3] судалгааны ажилд дурдагдсан байдлаар буюу хортой холбоос /URL/-г Phishtank хуудаснаас, хоргүй холбоос /URL/-г Alexa хуудаснаас тус тус цуглуулсан, давтагдахгүй байдлаар 450176 ширхэг өгөгдлийг агуулсан. Үүний 77% буюу **346636** нь хоргүй холбоос /URL/, 23% буюу **103540** нь хортой холбоос /URL/ юм. Бидний олж харсан асуудал болон сэдлийн хүрээнд энэхүү өгөгдлийн багцыг Монгол холбоос /URL/-оор баяжуулахын тулд https://subdomainfinder.c99.nl/ онлайн хэрэгслийг ашиглан бүх .gov.mn болон .edu.mn дэд домэйн бүхий холбоос /URL/-уудыг цуглуулж, өгөгдлийн багцад нэмж өгсөн. Бид шинээр цуглуулсан Монгол холбоос /URL/-уудаа Virustotal хэрэгслээр шалган хоргүй гэж ангилсан бөгөөд үр дүнд нь бид нийт өгөгдлийн багцад **2,420** ширхэг Монгол холбоос /URL/-ыг нэмж оруулж өгсөн.

- **Phishtank** нь phishing халдлагаас хамгаалах зорилго бүхий онлайн платформ бөгөөд мэдэгдэж байгаа phishing сайтыг өгөгдлийн санд байнга нэмэх боломжтой нь байгууллага мэргэжилтнүүдэд уг аюулаас хамгаалах боломжийг нэмэгдүүлдэг.
- **Alexa** нь Амазоны эзэмшдэг вэб сайт бөгөөд энэ нь зочдын тоо, хуудасны үзсэн байдал гэх мэт янз бүрийн хүчин зүйл дээр үндэслэн вэбсайтын ачаалал, нэр хүндийг тогтоож, эрэмбэлдэг систем юм. Энэ эрэмбэ, үнэлгээг ашиглан аюулгүй вэб сайтуудын URL -ийг цуглуулах боломжтой.
- **Kaggle** нь мэдээллийн шинжлэх ухаан, машин сургалтад өргөн хэрэглэгддэг алдартай онлайн платформ ба судалгаа, дүн шинжилгээ, машин сургалтын төслүүдэд ашиглаж болох өргөн хүрээний, олон төрлийн өгөгдлийн багцыг санал болгодог.
- **Virustotal** нь хортой программ хангамж, вэб сайтуудыг илрүүлэхийн тулд сэжигтэй файл болон URL -д дүн шинжилгээ хийдэг онлайн үйлчилгээ юм.

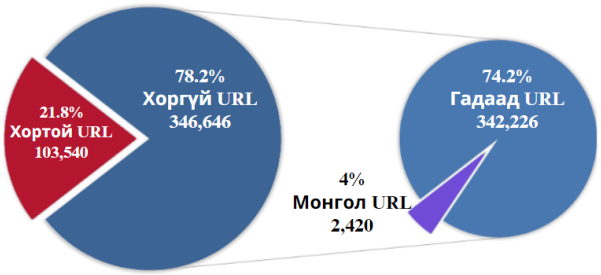


Fig. 2. Өгөгдлийн багцын задаргаа

B. Шинж чанараар задлах /Feature Extraction/

Бидний хийж буй судалгааны ажилд холбоос /URL/-г хортой эсвэл хоргүй гэдгийг ямар шинж чанарууд дээр нь үндэслэн таних вэ гэдэг чухал ойлголт. [11] судалгааны ажилд уг голлох шинж чанаруудыг бүлэглэн авч үзсэн бөгөөд үүний адилаар бид хортой холбоос /URL/-г таних шинж чанаруудыг дараах байдлаар 3 бүлэг болгон ангилж, бүлэг тус бүрт шинэ шинж чанарууд нэмэхийг мөн зорьж ажилласан.

Уг зүйд суурилсан шинж чанарууд /Lexical based features/: Энэ бүлэгт холбоос /URL/-ын урт, домайн нэрийн урт, замын урт /path length/, тусгай тэмдэгтүүд агуулж байгаа эсэх гэх мэт холбоос /URL/-ын үг зүйд суурилсан буюу харагдах байдал талын шинж чанарууд орно.

Домайнд суурилсан шинж чанарууд /Domain based feature extraction/: Энэ бүлэгт тухайн холбоос /URL/-ын домайнд суурилсан шинж чанарууд буюу домайн нэрийн бичлэг /DNS record/, домайн нэрийн насжилт, домайн нэрийн статус гэх мэт шинж чанарууд багтана.

Контендэд суурилсан шинж чанарууд /Content based feature extraction/: Энэ бүлэгт тухайн холбоос /URL/-ын контент буюу агуулгад суурилсан шинж чанарууд багтана. Жишээлбэл өөр хуудас руу дахин чиглүүлж байгаа эсэх, жава скриптын код ашиглан хулганы баруун товчыг идэвхгүй болгосон эсэх гэх мэт. Энэхүү бүлгийн шинж чанарууд тухайн холбоос /URL/ дээрх вэб кодыг бүрэн ачаалсаны дараа шинж чанаруудыг гаргаж авах тул бусад шинж чанаруудтай харьцуулахад бага зэргийн хүндрэлтэй.

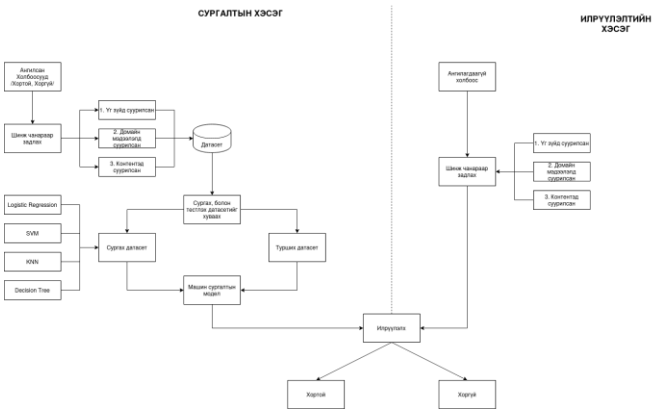
Доорх зураг бүлэг тус бүрт бидний зүгээс шинээр нэмсэн шинж чанаруудаа “*” тэмдэглэгээгээр тэмдэглэв.

Fig. 3. Холбоос /URL/-уудыг задлах шинж чанарууд

C. Аргачлал

Бидний хийсэн судалгааны ажил нь сургалтын хэсэг болон илрүүлэлтийн хэсэг гэсэн үндсэн 2 хэсгээс бүрдэнэ. Сургалтын хэсэгт бид Монгол холбоос /URL/-уудаар өргөтгөсөн өгөгдлийн багц /Dataset/ оруулж, нэмж тодорхойлсон 3 бүлэг бүхий 36 шинж чанаруудаар холбоос /URL/ бүрийг задалж /Feature Extraction/, эцсийн өгөгдлийн багцаа үүсгэнэ. Улмаар сонгосон машин сургалтын алгоритмууд ашиглан моделоо сургаж, илрүүлэлтийн хувийг шалгана. Ингэхдээ сургах болон шалгах өгөгдлийн багцын харьцаа 70% болон 30% байхаар хуваана.

Илрүүлэлтийн хэсэгт шинэ холбоос /unknown URL/ оролт болгон авч, түүнийг тодорхойлсон 3 бүлэг бүхий шинж чанаруудаар задалж, дараа нь сургаж бэлтгэсэн моделийг ашиглан хортой эсвэл хоргүй гэж ангилна.



№	Group-н шинж чанар	Шинж чанар	Төрөл	Тайлбар
1	Lexical	URL_length	Тоон утга	Холбоосын уртыг тоолох
2		Hostname_length	Тоон утга	Хостын нэрийн уртыг тоолох
3		Path_length	Тоон утга	Замын уртыг тоолох
4		fd_lengths	Тоон утга	First domain-ы уртыг тоолох
5		tld_length	Тоон утга	Top level domain-ы уртыг тоолох
6		count '-'	Тоон утга	Домайны дундуур зураасыг тоолох
7		count '@'	Тоон утга	"@" тэмдэгтийг тоолох
8		count "?'	Тоон утга	Тухайн домайн ашиглаж буй parameter-г тоолох
9		count '%'	Тоон утга	URL Encoding хийж байгааг шалгах (%20 зай авах encoding)
10		count '.'	Тоон утга	Цэгийг тоолж Sub Domain-г тодорхойлох
11		count','	Тоон утга	Таслалыг тоолох.
12		count'#'	Тоон утга	"#" тэмдэгтийг тоолох.
13		count'&'	Тоон утга	"&" тэмдэгтийг тоолох.
14		count'http'	Тоон утга	"http" тоолж хамгаалагдсан байдлыг шалгах
15		count'https'	Тоон утга	"https" тоолох хамгаалагдсан байдлыг шалгах
16		count'digits'	Тоон утга	Зөвхөн цифрыг тоолох
17		count'www'	Тоон утга	"www" тоолох
18		count'letters'	Тоон утга	Зөвхөн үсэг тоолох
19		count'dir'	Тоон утга	Хавтас тоолох
20		short_url	Логик	Хураангуйлсан url шалгах
21		use_of_ip	Логик	IP ашигласан эсэхийг шалгах
22		*Has keyword 'client'	Логик	"client" түлхүүр үг байгаа эсэх
23		*Has keyword 'admin'	Логик	"admin" түлхүүр үг байгаа эсэх
24		*Has keyword 'server'	Логик	"server" түлхүүр үг байгаа эсэх
25		*Has keyword 'login'	Логик	"login" түлхүүр үг байгаа эсэх
26		*Shannon entropy	Тоон утга	Үг зүй дээр тулгуурласан хортой байх магадлал
27	Domain-based	DNS Record	Логик	DNS бичлэг
28		Website traffic	Логик	Вебийг ачааллуулж байгаа эсэх
29		Age of domain	Тоон утга	WHOIS database, домайны насжилт
30		End period of domain	Логик	Домайн нэрийн хугацаа дуусаж эсэхийг шалгах
31		*Status of domain	Тоон утга	Whois дээрх домайны статусын мөрийг тоолох
32	Content-based	Iframe redirection	Логик	HTML Iframe bar ашиглаж харагдахгүй болгосон эсэх
33		Status Bar Customization	Логик	Худал веб харуулж байгаа эсэх
34		Disabled rigth click	Логик	JS rigth click button-г идэвхигүй болгосон эсэх
35		Website forwarding	Логик	Өөр веб хуудас руу шилжиж байгаа эсэх
36		*Count	Тоон утга	Redirect хийж байгаа домайныг тоолох

Fig. 4. Холбоос /URL/-уудыг задлах шинж чанарууд

VI. ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН

Үр дүнг тооцоолохдоо доорх хүчин зүйлсийг тусгаж үзнэ.

- TP хортой холбоос /URL/-г зөв тодорхойлсон тоо
- TN хоргүй холбоос /URL/-г зөв тодорхойлсон тоо
- FP хоргүй холбоос /URL/-г буруу тодорхойлсон тоо
- FN хортой холбоос /URL/-г буруу тодорхойлсон тоо

TABLE II. ТӨӨРӨГДЛИЙН МАТРИЦ /CONFUSION MATRIX/

	Таамагласан хорт URL	***Таамагласан хоргүй URL***
Бодит хорт URL	TP	FN
Бодит хоргүй URL	FP	TN

Ерөнхий нарийвчлал /Accuracy/ нь программын зөв ажилласан хувь юм.

$$\text{Ерөнхий нарийвчлал} = \frac{TP+TN}{TP+FN+FP+FN} x100\% \text{ (1)}$$

Precision нь эерэг утгуудын хувьд хортой холбоос /URL/-г зөв тодорхойлсон хувь юм.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} x100\% \text{ (2)}$$

Recall нь үнэн зөв утгуудын хувьд хортой холбоос /URL/-г зөв тодорхойлсон хувь юм.

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} x100\% \text{ (3)}$$

F1 score нь Precision болон Recall утгуудын гармоник дундаж юм. F1 score нь их байх тусам тухайн алгоритм сайн гэсэн үг.

$$F1Score = \frac{2xPrecisionxRecall}{PrecisionxRecall} x100\% \text{ (4)}$$

FPR - False Positive Rating нь худал дохиоллын түвшин юм.

$$FPR = \frac{FP}{FP+TN} x100\% \text{ (5)}$$

Өгөгдлийн багц /Dataset/ дахь холбоос /URL/-уудыг шинж чанараар задалж, машин сургалтын моделоо сургаж бэлдсэний дараа ялгаатай алгоритмууд дээр туршилт хийж үр дүнг гаргасан бөгөөд доорх хүснэгтүүдэд үр дүнг харуулав.

Бид эхний байдлаар 4,670 ширхэг өгөгдлийн багц (Dataset) дээр холбоос (URL)-н 21 шинж чанарыг задлан туршилтуудаа явуулсан бөгөөд машин сургалтын моделоо нийт өгөгдлийн багцын 30% дээр сургаж, 70% дээр шалгаж үзсэн. Үр дүнд нь Random Forest алгоритмын оновчлолын хувь (Accuracy) 89.79% -тай гарсан.

TABLE III. МОДЕЛИЙГ 30:70 ХАРЬЦААТАЙ СУРГАЖ ШАЛГАСАН ҮР ДҮН

Сургах болон шалгах харьцаа	***Машин сургалиын алгоритм***	***Зөв ажилласан хувь /Accuracy/***	***Өгөгдлийн багц /Dataset/ хэмжээ***
Сургах 30%, Шалгах 70%	Logistic Regression	77.5%	4,670 ширхэг
	Decision Tree	86.74%	4,670 ширхэг
	Random Forest	**89.79%**	4,670 ширхэг

Дээрх хүснэгтэд URL-г 21 шинж чанараар задлаж, машин сургалтын моделийг нийт 4,670 өгөгдлийн багцын 30 хувьд сургаж, 70 хувь дээр шалгасан үр дүнг харуулав.

Үүний дараа нийт өгөгдлийн багцын 70% дээр моделоо сургаж, 30% дээр шалгаж үзсэн бөгөөд үр дүнд

нь бүх алгоритмын оновчлолын хувь (Accuarcy) нэмэгдсэн бөгөөд энэ үед Random Forest алгоритм 89.85% ажилласан бөгөөд 30:70 харьцаатай сургаж шалгасантай харьцуулахад оновчлолын хувь (Accuracy) 0.06%-иар өссөн.

TABLE IV. МОДЕЛИЙГ 70:30 ХАРЬЦААТАЙ СУРГАЖ ШАЛГАСАН ҮР ДҮН

Сургах болон шалгах харьцаа	*Машин сургалиын алгоритм*	*Зөв ажилласан хувь /Accuracy/*	*Өгөгдлийн багц /Dataset/ хэмжээ*
Сургах **70%,** Шалгах **30%**	Logistic Regression	77.65%	4,670 ширхэг
	Decision Tree	88.37%	4,670 ширхэг
	Random Forest	**89.85%**	4,670 ширхэг

Дээрх хүснэгтэд URL-г 21 шинж чанараар задлаж, машин сургалтын моделийг нийт 4,670 өгөгдлийн багцын 70 хувьд сургаж, 30 хувь дээр шалгасан үр дүнг харуулав.

Нийт 21 шинж чанар дээр үндэслэн туршилтуудаа явуулсаны дараа үүн дээр 3 шинэ шинж чанар нэмж туршив. Үр дүнд нь 21 шинж чанар дээр үндэслэн ажилласан оновчлолын хувь бүх алгоритм дээр тодорхой хувиар өссөн бөгөөд энэ үед Random Forest алгоритмын оновчлолын хувь (Accuracy) 90.67% болж өмнөх 21 шинж чанар дээрх оновчлолын хувиас 0.82%-иар өссөн.

TABLE V. 3 ШИНЖ ЧАНАР НЭМСНИЙ ДАРААХ ҮР ДҮН

Сургах болон шалгах харьцаа	*Машин сургалиын алгоритм*	*Зөв ажилласан хувь /Accuracy/*	*Өгөгдлийн багц /Dataset/ хэмжээ*
Сургах **70%,** Шалгах **30%**	Logistic Regression	80.24%	4,670 ширхэг
	Decision Tree	89.23%	4,670 ширхэг
	Random Forest	**90.67%**	4,670 ширхэг

*Дээрх хүснэгтэд URL-г **24** шинж чанараар задлаж, машин сургалтын моделийг нийт 4,670 өгөгдлийн багцын 70 хувьд сургаж, 30 хувь дээр шалгасан үр дүнг харуулав.*

Дээрх үр дүнгүүдийг гаргаж авсаны дараа бид цуглуулсан нийт өгөгдлийн сан буюу гадаад болон Монгол холбоос (URL)-с бүрдэх 450,176 ширхэг өгөгдлийн багц дээр ажиллуулж дараах үр дүнг үзүүлэв.

Үүнд нийт холбоос (URL)-н 36 шинж чанар дээр тулгуурлан, хамгийн өндөр оновчлолын хувь үзүүлэх боломжтой, тохирох машин сургалтын алгоритмуудыг ашиглан 450176 ширхэг өгөгдлийн багцын 70% -ийг сургаж, 30% дээр шалгасан.

Үр дүнд Random Forest алгоритм хамгийн өндөр оновчлолын хувь (Accuracy) буюу 99.70% -тай ажилласан ба SVM (Support Vector Machine) алгоритм 99.61% оновчлолын хувь (Accuracy)-тай сайн ажилласан.

TABLE VI. ЭЦСИЙН ҮР ДҮН

Сургах болон шалгах харьцаа	*Машин сургалиын алгоритм*	*Зөв ажилласан хувь /Accuracy/*	*Precision*	*Recall*	*Өгөгдлийн багц /Dataset/ хэмжээ*
Сургах **70%,** Шалгах **30%**	Logistic Regression	99.59%	99.88%	98.58%	450,176 ширхэг
	SVM	99.61%	99.87%	99.61%	
	KNN	95.61%	97.14%	95.61%	
	Decision Tree	99.58%	99.67%	99.58%	
	Random Forest	**99.70%**	96.44%	99.70%	

*Дээрх хүснэгтэд URL-г **36** шинж чанараар задлаж, машин сургалтын моделийг нийт **450,176** өгөгдлийн багцын 30 хувьд сургаж, 70 хувь дээр шалгасан үр дүнг харуулав.*

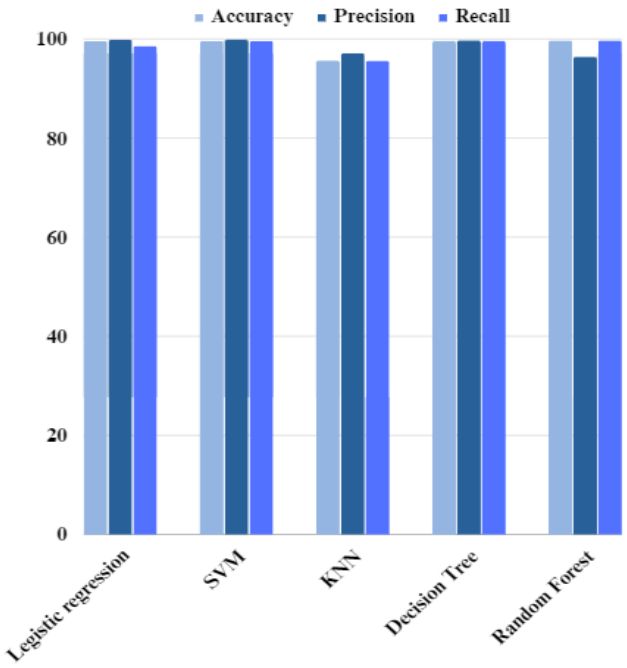


Fig. 5. Илрүүлэлтийн хувь график байдлаар

Улмаар бид гаргасан үр дүн дээрээ тулгуурлан, хэрэглэхэд хялбар, өнгө үзэмж сайтай веб хуудсанд суурилсан хортой холбоос /URL/-г илрүүлэх хэрэгсэл хөгжүүлсэн бөгөөд ерөнхий харагдах байдал, ажиллагааг зурагт харуулав.

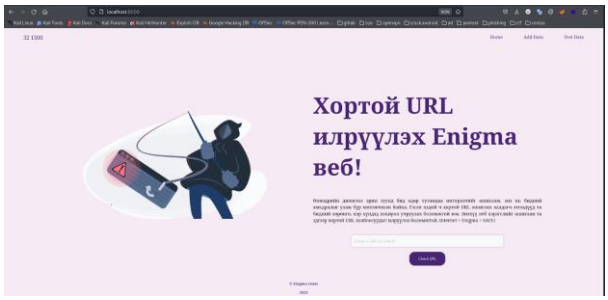


Fig. 6. Хорт URL илрүүлэх Enigma веб

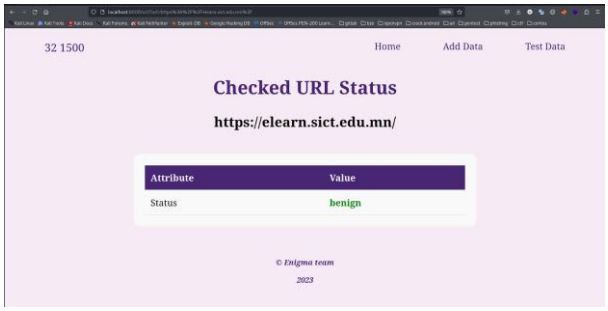


Fig. 7. Хорт URL илрүүлэх Enigma веб (*шинэ URL илрүүлсэн байдал*)

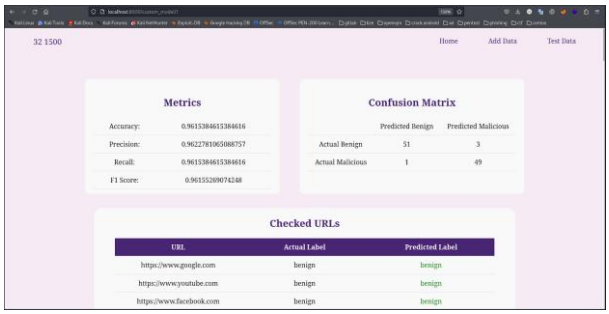


Fig. 8. Хорт URL илрүүлэх Enigma веб (*илрүүлэлтийн хувийг дүрсэлж харуулсан байдал*

VII. Дүгнэлт

Энэхүү судалгааны ажилд машин сургалтын арга ашиглан хортой холбоос /URL/ илрүүлэх ажлыг хийж гүйцэтгэсэн бөгөөд, өгөгдлийн багц /dataset/, мөн шинж чанарууд нь ерөнхий нарийвчлал /accuracy/-д шууд нөлөөлж байсан. Цаашид уг ажлыг веб хуудсанд суурилсан холбоос /URL/-н хортой байх магадлалыг график байдлаар харуулах байдлаар илүү нарийн хөгжүүлэх боломжтой. Мөн контентод суурилсан бүлгийн шинж чанаруудыг нэмж хөгжүүлэн ашиглаж, улмаар орж ирсэн URL холбоосыг задалж тухайн веб хуудас ямар төрлийн веб хуудас болохыг тодорхойлох, нийт шинж чанар машин сургалтын алгоритмын үндсэн ажиллагааг ашиглан аливаа веб сервисийн лог бүртгэлийг хортой эсвэл хоргүй гэж ангилах, спам и-мэйлийг ангилах зэрэг байдлаар хөгжүүлэх бүрэн боломжтой.

Ном зүй

[1] *S. Sheng, B. Wardman, G. Warner, L. F. Cranor, J. Hong, and C. Zhang, "An empirical analysis of phishing blacklists," in Proceedings of Sixth Conference on Email and Anti-Spam (CEAS), 2009.*

[2] *C. Seifert, I. Welch, and P. Komisarczuk, "Identification of malicious web pages with static heuristics," in Telecommunication Networks and* Applications Conference, 2008. ATNAC 2008. Australasian. IEEE, 2008, pp. 91–96.

[3] *C. Do Xuan, H. D. Nguyen, and T. V. Nikolaevich, ''Malicious URL detection based on machine learning,'' Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl., vol. 11, no. 1, pp. 148–153, 2020, doi: 10.14569/ijacsa.2020.0110119*

[4] *M. Aldwairi and R. Alsalman, ''MALURLS: A lightweight malicious website classification based on URL features,'' J. Emerg. Technol. Web Intell., vol. 4, no. 2, pp. 128–133, May 2012, doi: 10.4304/JETWI.4.2.128-133.*

[5] Alexa | Web Information Company's Website. Accessed: Oct. 18, 2021.[Online]. Available: https://www.alexa.com

[6] PhishTank—Join the Fight Against Phishing. Accessed: Jan. 1, 2022.[Online]. Available: https://www.phishtank.com

[7] *A. Subasi, E. Molah, F. Almkallawi, and T. J. Chaudhery, ''Intelligent phishing website detection using random forest classifier,'' in Proc. Int. Conf. Electr. Comput. Technol. Appl. (ICECTA), Jun. 2018, pp. 1–5, doi:*

[8] *M. Rami, M. Lee, and T. Fadi. (2015). UCI Machine Learning Repository: Phishing Websites Data Set. [Online]. Available: https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/phishing+websites*

[9] *X. Yu, ''Phishing websites detection based on hybrid model of deep belief network and support vector machine,'' IOP Conf. Earth Environ.Sci., vol. 602, no. 1, Nov. 2020, Art. no. 012001, doi: 10.1088/1755-1315/602/1/012001.*

[10] Sahingoz, Ozgur Koray, et al. "Machine learning based phishing detection from URLs." *Expert Systems with Applications* 117 (2019): 345-357.

[11] D. Sahoo, C. Liu, S.C.H. Hoi, "Malicious URL Detection using Machine Learning: A Survey". CoRR, abs/1701.07179, 2017 Japan, p. 301, 1982].

[12] *Lkhagva, Odonchimeg. (2022). КИБЕР ГЭМТ ХЭРГИЙГ МАШИН СУРГАЛТЫН АРГААР ТААМАГЛАН ИЛРҮҮЛЭХ НЬ.*

[13] *https://ikon.mn/n/2y8j*

Боловсролын салбар дахь кибер аюулгүй байдлын чиг хандлага

1st Э.Мөнхцэцэг
Мэдээлэл технологийн тэнхимийн ахлах багш
АБДС, УБХИС
Улаанбаатар, Монгол
emuugiimm@gmail.com

2nd Б.Мөнхжаргал
Аюулгүй байдал судлалын докторант
УБХИС
Улаанбаатар, Монгол
mediaip76@gmail.com

Хураангуй: Боловсролын салбарын кибер аюулгүй байдал нь бусад салбараас ялгаатай нь мэдээллийн технологийн дэд бүтцэд зарчмын зөрүүтэй хандах ёстой. Учир нь боловсролын мэдээллийн сүлжээнд голчлон хүүхэд залуучууд ханддаг. Тэд кибер аюул заналхийлэл болон учруулах аюулыг нарийн сайн мэддэггүй, эрсдэлийг бууруулахад шаардлагатай алхмууд болон засч залруулах арга хэмжээнд ихэнхдээ идэвхгүй байдаг. Тиймээс сургалтын байгууллагын мэдээллийн технологийн стратеги илүү бат бөх байх ёстой бөгөөд энэ нь боловсролын салбарын нийт багш, ажилчид мэдээллийн технологийн мэргэжилтнүүд цаг зав гаргаж кибер аюулгүй байдлын мэдлэг мэдээллийг түгээх шаардлагатай юм. Энэхүү судалгаа нь дээрх асуудлын хүрээнд олон улсад болон тонгол улсын нөхцөл байдлыг судалж, салбарын кибер аюулгүй байдлын орчны хөгжлийн загвар боловсруулах төлөвлөгөөг гаргах зорилготой юм. Нөхцал байдлыг судалж мэдсэнээр учирч болох эрсдэлийг бууруулах ач холбогдолтой.

Түлхүүр үгс: Кибер аюулгүй байдал, Боловсролын салбар, чиг хандлага

I. УДИРТГАЛ

Өнөө үед кибер аюулгүй байдал нь бүх салбарт чухал ач холбогдолтой болжээ. Тэр дундаа боловсролын салбар дахь кибер аюулгүй байдал сүүлийн жилүүдэд илүү анхаарал татаж байна. Боловсролын салбар нь үнэ цэнэтэй өгөгдлийг агуулж байдаг ба кибер эрсдлийн талаарх ойлголт дутмаг, өргөн тархсан эмзэг өгөгдлийн улмаас кибер халдлагын гол бай болж байгаа нь олон улсын судалгаагаар нотлогдож байна. Жил бүрийн судалгаагаар боловсролын салбар луу халдсан халдлагын тоо ихсэж байгаа нь түгшүүр төрүүлж байна. 2022 оны 5 сарын судалгааны тайлангаас үзэхэд кибер халдлагын тоо өмнөх оныхоос 44% иар өссөн дүн гарчээ.[1] 2023 оны 4-р сард Microsoft-ын Global Threat Activity Tracker судалгаагаар дэлхий даяар 90 сая орчим халдлага гарсанаас 80% нь боловсролын байгууллагуудад гарсан кибер халдлага байжээ.[2]

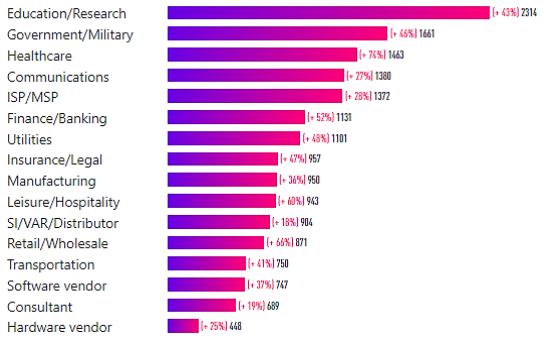
Ковид19 цар тахлын үеэс эхлэн боловсролын салбарын цахим хэрэглээ эрс нэмэгдсэн. Сургалтын үйл ажиллагаа тэр чигээрээ цахим технологи дээр суурилан явагдсан нь асар их мэдээлэл цахим хэлбэрээр хадгалагдаж, дамжих болсон. Энэ нь ковидын дараа ч хэвээр үргэлжилж, боловсролын цахим хэрэглээ нь бидний амьдралын салшгүй нэг хэв маяг болжээ. Энэ нь нийгэмд олон сайхан боломжийг бий болгож байгаа ч кибер халдлага үйлдэгчдэд эмзэг мэдээлэлд халдах үүд хаалгыг нээх нөхцлийг ч мөн олгож байна. Тиймээс энэ салбарын кибер аюулгүй байдлыг судалж, нөхцөл байдалд дүн шинжилгээ хийх хэрэгтэй юм.

II. ӨНӨӨГИЙН БОЛОВСРОЛЫН САЛБАР ДАХЬ КИБЕР АЮУЛГҮЙ БАЙДАЛ

Дэлхий дахинд кибер халдлагад өртөхгүй салбар гэж байхгүй болсон. Үүнийг дагаад халдлагын тоо эрчимтэй өссөөр байна. Боловсролын салбарыг чиглэсэн ransomware халдлага 2020 онд 19%-иар өссөн үзүүлэлттэй байна.[3] Энэ нь 2021 оны эхний хагас гэхэд 26% иар нэмэгдсэн байна.[4] Эдгээр ransomware халдлагын дундаж зардал 450 мянган ам доллар байв. Судалгаанд хамрагдсан коллежийн гуравны хоёр нь цахим шуудангийн аюулгүй байдлын үндсэн арга хэмжээг аваагүй бөгөөд тэдний 86% нь ботнет халдлагад өртсөн байжээ.[5]

2021 онд Их Британи улсын Үндэсний Кибер Аюулгүй байдлын Төвөөс гаргасан тайланд (NCSC) боловсролын салбарыг чиглэсэн ransomware халдлага дэлхий нийтээр тархаж байгаа бөгөөд жил бүр эрчимтэй нэмэгдэж байна тиймээс халдлагын эсрэг хариу арга хэмжээг нэмэгдүүлэх хэрэгтэй гэж дурьдсан байна.[6]

Check Point software технологийн компаниас гаргасан 2023 оны кибер аюулгүй байдлын тайланд дурдсанаар судалгаанд цуглуулсан мэдээлэлд бүх салбарын эсрэг халдлагууд тасралтгүй нэмэгдэж байгаа бөгөөд хамгийн их зорилтот салбар нь боловсрол, судалгааны байгууллагууд байна. Долоо хоногт дунджаар нэг байгууллага руу 2314 халдлага үйлдэж байгаа нь 2022 оныг 2021 онтой харьцуулахад 40 гаруй хувиар өссөн байна.[7]



Зураг1. 2022 оны салбарын кибер аюулгүй байдлын долоо хоногийн дундаж үзүүлэлт

Кибер аюулгүй байдлын судалгааны байгууллагуудаас гаргасан тайлан мэдээнд халдлагад өртөж байгаа салбарын үзүүлэлт их ойролцоо байгаа нь дэлхий дахинд боловсролын салбар луу анхаарал хандуулах болсныг илтгэж байна. Герман улсад анх үүсгэн байгуулагдсан дэлхийн томоохон судалгааны байгууллага болох Statista-с гаргасан тайланг доорх зургаас харж болно.

Characteristic	Jul 2020 - Jun 2021	Jul 2021 - Jun 2022	Jul 2022 - Jun 2023
Education	3%	14%	16%
Government	48%	10%	12%
Think tanks and NGOs	31%	17%	11%
IT	2%	22%	11%
Communications	-	2%	6%
Finance	-	5%	5%
Transportation	-	2%	5%
Defense industry	-	-	4%
Energy	1%	-	3%
Manufacturing infrastructure	2%	-	2%
Intergovernmental organizations	3%	2%	-
Media	1%	4%	-
Health	1%	2%	-
Other critical infrastructure	-	-	5%

Зураг2. Statista-с гаргасан 2020-2023 оны хагас хүртэлх кибер халдлагад өртсөн салбарын үзүүлэлт

III. НӨЛӨӨЛӨХ ХҮЧИН ЗҮЙЛС

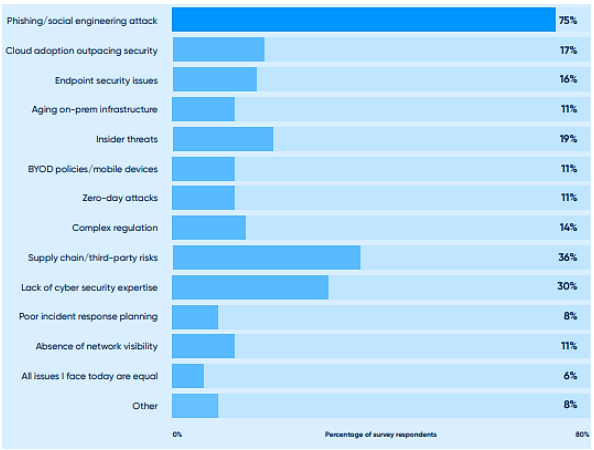
Кибер аюулгүй байдалд нөлөөлөх нийтлэг хүчин зүйлс нь боловсролын салбарт мөн ижил байдаг. Гэхдээ бусад салбараас ялгаатай нь эцсийн хэрэглэгчийн ихэнх хувийг мэдээллийг нарийн боловсруулах, аюулыг урьдчилан тооцох чадвар султай оюутан, сурагчид байдаг байна. Нөлөөлөх хүчин зүйлсд улс төрийн шинжтэй асуудлууд гол нөлөөг үзүүлж байна. Жишээ нь: Орос-Украйн, Хамас-Израилын дайнаас үүдэлтэй халдлага дайралтууд[8], зарим улсуудын сонгуулийн үйл ажиллагаан дахь кибер халдлагууд[9] /2024 онд 60 гаруй улсад чөлөөт сонгууль болно/ мөн цар тахлаас үүдэлтэй нийгмийн сүлжээнд тархсан халдлага зэрэг орж байна. 2020 оны эхээр Ковид-19 дэгдэлт гарснаас хойш боловсролын салбар тэр чигээрээ алсаас ажиллаж суралцах болсон. Энэ байгууллагуудын сүлжээ урьд өмнө байгаагүйгээр их тархсан юм. Халдлага үйлдэгчид энэ цаг мөчөөс эрчимтэй хөдөлж эхэлсэн нь дэлхий нийтээр боловсролын салбарын кибер аюулгүй байдал алдагдах гол нөлөөлөх хүчин зүйл болсон байна.

Нийтлэг хүчин зүйлийг диаграм1-д харуулсан байна. Кибер аюулгүй байдлын эсрэг гол хүчин зүйлс бол хортой программ хангамж ба түүнийг хэрэгжүүлэх хэлбэрээс хамааралд илрэх үйл явц нь өөр өөр байдаг. Доорх нийтлэг нөлөөлөх хүчин зүйлсээс хамааралд боловсролын мэдээллийн систем, вэб хуудас, цахим шууданд хортой программ суугдаж өгөгдөл мэдээллийг хуулбарлах, устгах, өөрчлөх, цааш нь дамжуулах, буруугаар ашиглах зэрэг үйлдлүүдийг хийж байдаг. Эдгээрээс гадна физик төхөөрөмжийн ажиллагааг өөрчлөх/бот болгох/, системийг доголдуулах бүр таслан зогсоох хүртэл үйлдлийг гүйцэтгэдэг.



Диаграм1. Кибер аюулгүй байдалд нөлөөлөх хүчин зүйлс

Кибер аюулгүй байдлын эсрэг хортой программ хангамжийн үзүүлэлтээс харахад Phishing болон Ransomware халдлага өссөн байна. Тэгэхээр боловсролын салбарт ажиллаж байгаа багш ажилчид болон оюутан, сурагчид энэ төрлийн халдлагаас өөрсдийгөө хамгаалах энгийн арга техникийг эзэмших нь чухал юм.



Зураг3. 2022 оны хагасын байдлаар кибер халдлагын үзүүлэлт

Боловсролын салбарт Ransomware халдлагын тархалтын үзүүлэлт:

- 2020-2021 онд 1681 дээд боловсролын байгууллага 84 удаагийн ransomware халдлагад өртжээ.[10]
- 2021 онд их, дээд сургуулиудын 66 хувьд нь цахим шуудангийн аюулгүй байдлын үндсэн тохиргоо байхгүй байна.[11]
- 2021 онд дээд боловсролын кибер аюулгүй байдлын тайланд дүн шинжилгээ хийсэн их сургуулиудын 38 хувь нь хамгаалалтгүй эсвэл нээлттэй мэдээллийн сангийн портуудтай байжээ.[12]
- Ransomware халдлага нь өнгөрсөн онд бусад салбараас илүү боловсролын салбарыг онилсон бөгөөд судалгаанд хамрагдсан дэлхийн дээд боловсролын байгууллагуудын 79 хувь нь өртсөн гэж мэдэгджээ.[13]
- Ransomware халдлагын талаар мэдээлсэн дээд түвшний байгууллагуудын 59 хувь нь "маш их" бизнес, орлогоо алдсан гэж мэдэгджээ. Ойролцоогоор дөрөвний нэг буюу 28 хувь нь бага хэмжээний алдагдал хүлээсэн байна.[14]
- Бага боловсролын нөхөн сэргээх дундаж зардал 2023 онд 750 мянган доллар байсан.[15]
- Боловсролын салбарт 2023 онд мэдээллийн алдагдлын дундаж зардал 3.65 сая доллар болжээ.[16]

IV. УРЬДЧИЛАН СЭРГИЙЛЭХ ХАРИУ АРГА ХЭМЖЭЭ



Диаграм2. Кибер халдлагаас урьдчилан сэргийлэх аргууд

Олон улсад кибер аюулгүй байдлыг хангах олон төрлийн бодлого, хөтөлбөр, санаачлага гарсан байдаг. Заримаас нь дурдвал:

Энэтхэг улсын засгийн газраас санаачилсан хөтөлбөр

- Боловсролын Үндэсний Бодлого (NEP) 2020: NEP 2020 нь кибер аюулгүй байдлын боловсролын ач холбогдлыг онцолж, кибер аюулгүй байдлын үзэл баримтлалыг сургуулийн сургалтын хөтөлбөрт нэгтгэхийг дэмждэг.[17]
- Кибер аюулгүй байдал, эрүүл ахуйн мэдлэг олгох сүлжээ (CSHAN): CSHAN нь оюутнууд, багш нар, эцэг эхчүүдийн дунд семинар, сургалтын хөтөлбөр, онлайн эх сурвалжуудаар дамжуулан кибер аюулгүй байдлын талаарх мэдлэгийг дээшлүүлэх зорилготой засгийн газрын санаачилга юм.[18]
- Кибер Суракшит Бхаратын эрхэм зорилго: Кибер Суракшит Бхарат номлол нь Энэтхэгийн кибер аюулгүй байдлын чадавхийг сайжруулах, тэр дундаа боловсролын салбарт тусгайлан чиглэсэн арга хэмжээ авах зорилготой юм.[19]

Европын холбооны улсуудад хэрэгждэг дүрэм, журам

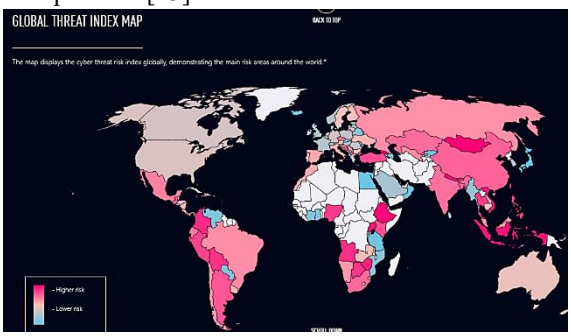
- ЕХ-ны Мэдээллийн Хамгаалалтын Ерөнхий Дүрэм (GDPR)-ийг нэвтрүүлсэн нь кибер аюулгүй байдал, мэдээллийн хамгаалалтын ач холбогдлыг нэмэгдүүлсэн. Кибер гэмт хэрэгтнүүд системд нэвтрэх, эвдэх, хүмүүсийг залилан мэйлийг нээх, хортой файлуудыг татаж авах, залилан мэхэлсэн вэбсайт руу зочлохын тулд нийгмийн инженерийн заль мэх ашигладаг. Нөлөөлөл нь гамшигт хүргэж болох ч ажилтнууд болон оюутнуудын мэдлэгийг дээшлүүлэх сургалтаар дамжуулан эрсдлийг эрс бууруулж болно.[20]
- Засгийн газар ханган нийлүүлэлтийн сүлжээнийхээ дагуу кибер аюулгүй байдлын эрсдлийн түвшинг бууруулахаар ажиллаж байгаа бөгөөд засгийн газрын гэрээнд хамрагдах хүсэлтэй байгууллагууд, тэр дундаа судалгааны тэтгэлэгт хамрагдах хүсэлтэй их дээд сургуулиуд Cyber Essentials Plus гэрчилгээ авах боломжтой юм. Энэ нь үнэгүй юм.[21]

АНУ-ын зарим технологийн компаниас гаргасан хөтөлбөр

- Intel IT-аас мэдээллийн аюулгүй байдалыг хангах үүднээс “Хүүхдэд зориулсан онлайн аюулгүй байдал”-ын хөтөлбөрийг бий болгосон. Энэхүү хөтөлбөр нь таваас дээш 18 насны сурагчдад тохирсон танилцуулга, эцэг эхийн мэдээлэл, асуулт хариултын тусламжтайгаар хүүхэд залуучуудыг кибер эрсдлийн талаар суралцахад нь дэмжих зорилготой. Ингэснээр кибер халдлагын үр нөлөөг бууруулах ач холбогдолтой юм.[22]

V. МОНГОЛ УЛСЫН БОЛОВСРОЛЫН САЛБАР ДАХЬ КИБЕР АЮУЛГҮЙ БАЙДАЛ

Орос Украйн хоёр улсын дайнаас үүдэлтэй кибер дайн утгаараа явагдаж байгааг бид бүгд олон эх сурвалжаас үзэж, харж, сонсож байна. Тэр ч утгаараа манай улс кибер дайны дунд орших мөргөлдөөний цэг байх магадлал их байна. Манай улсыг кибер аюулгүй байдлын өндөр эрсдэлтэй гэж харуулсан нь хоёр том гүрний дунд мөн Орос-Украйны дайны нөлөөнд кибер халдлагад өртөх магадлалтай гэж үзсэн байна Энд зорилтот халдлага үйлдэгчдээс гадна зүгээр сонирхогчид ихээр байна.[23]



Зураг4. Дэлхийн улсуудын кибер аюулд өртөх эрсдэлийн зэрэглэл

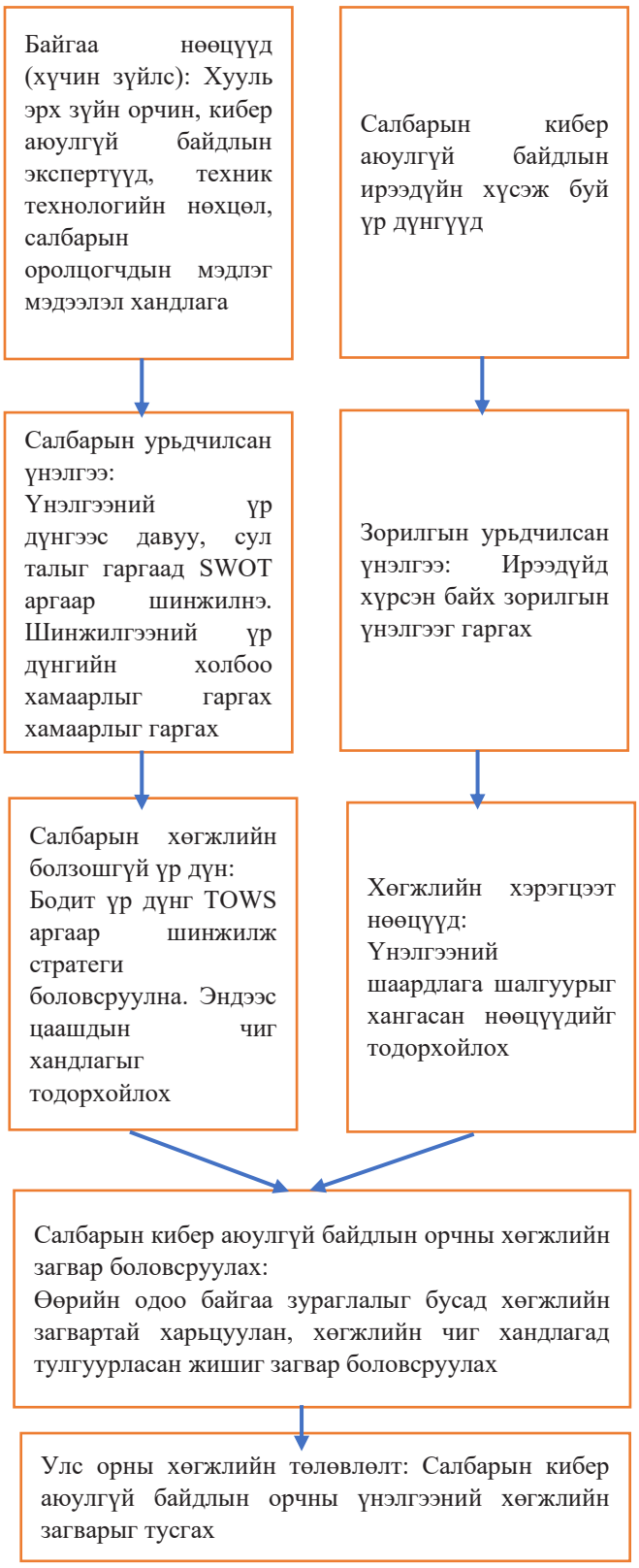
Олон улсын кибер аюулгүй байдлын судалгааны байгууллагууд улс орнуудыг жил бүр тодорхой нөхцөлөөр байр эзлүүлдэг. Манай улс үзүүлэлтийг дараах хүснэгтэнд үзүүлэв.

Хүснэгт1. Монгол улсын кибер аюулгүй байдлын индекс

№	Нэр	2017	2018	2020	2021	2022	2023
1	Олон улсын цахилгаан холбооны байгууллагын “КАБ-ын индекс”-ээр	104	85	120			
2	НҮБ-ийн Цахим засаглалын хөгжлийн индексээр				92	74	
3	Европын холбооны кибер аюулгүй байдлын индексээр				26		
4	NCSI үндэсний кибер аюулгүй байдлын индексээр						137

Манай улсын хувьд кибер аюулгүй байдлын хуулийг 2021 оны 12 сард баталсан байдаг. Тэр ч утгаараа кибер аюулгүй байдлыг хангуулах, нийгэмд мэдээллэх төрийн болон төрийн бус олон байгууллага бий болсон. Боловсролын салбарын кибер аюулгүй байдлыг хангах арга хэмжээг шат шатандаа авч хэрэгжүүлж байна. Цахим хөгжил харилцаа холбооны яамнаас Кибер аюулгүй байдлын хүний нөөцийг хөгжүүлэх техникийн хамтын ажиллагааны төслийг Япон Улсын ОУ-ын хамтын ажиллагааны байгууллага ЖАЙКА-ийн дэмжлэгтэй хэрэгжүүлж байна. Энэ төслийн хүрээнд их дээд сургуулийн багш нар, төрийн албан хаагч нар хамрагдаад явж байна. Мөн “Цахимд хэвшье” уриатай цахим хөгжлийн өдөрлөг арга хэмжээ Хангайн бүсийн эхний аймаг Баянхонгор аймгаас эхлэн зохион явагдаж байна. Баянхонгор аймгийн ЕБС-ийн багш, сурагчдад Харилцаа холбооны зохицуулах хороо, оролцогч байгууллагуудын төлөөлөл цахим орчин дахь хүүхэд хамгааллын чиглэлээр хэрэгжүүлж байгаа арга хэмжээ, технологийн боломж, “Хүүхэд хамгааллын тухай хууль” /шинэчилсэн найруулга/-д орсон цахим орчин дахь хүүхдийн эрхийг хамгаалахтай холбоотой зохицуулалт, мэргэжил сонголт, суралцах чадварын талаар сургалт зохион байгуулж, зөвлөгөө, мэдээлэл өгөв.[24]

Мэдээллийн аюулгүй байдлын аудит, зөвлөгөө, сургалт, үйлчилгээ үзүүлэх эрхээ авсан 18 байгууллага үйл ажиллагаа явуулж байна. Энэ нь манай улсын цахим хөгжилд чухал ач холбогдолтой байна. Гэсэн хэдий ч кибер аюулгүй байдлын нэгдсэн тоо баримттай тайлан мэдээ бага байна. Тэр тусмаа боловсролын салбарын тайлан мэдээ байхгүй байгаа нь энэ салбарын кибер аюулгүй байдлыг судлах ажил бага хийгдэг гэж харагдаж байна. Боловсролын салбарын кибер аюулгүй байдлын орчны хөгжлийн загвар боловсруулах төлөвлөлтийг системийн стратегийн үнэлгээ ба төлөвлөлтийн уялдаг хангах арга дээр тулгуурлан боловсруулаа



Диаграм3. Боловсролын салбарын кибер аюулгүй байдлын орчны хөгжлийн загвар боловсруулах төлөвлөлт

ДҮГНЭЛТ

Боловсролын байгууллагууд суралцагчдын хувийн мэдээлэл, эцэг эхийн мэдээлэл, сурлагын бүртгэл, эрүүл мэндийн тодорхой мэдээлэл, гэрийн хаяг, утасны дугаар, санхүүгийн мэдээлэл зэрэг их хэмжээний мэдээллийг цуглуулж, хадгалж байдаг. Энэ мэдээлэл нь кибер гэмт хэрэгтнүүдийн гол зорилт болж байгаа бөгөөд тэд үүнийг хувийн мэдээллийг хулгайлах, залилан мэхлэх, тэр байтугай шантаажлах зэрэгт ашиглаж байна. Боловсролын салбар луу хандах халдлагын тоо жил бүр өсөн нэмэгдэж байгаа нь энэ салбарын кибер аюулгүй байдал ямар чухал болохыг харуулж байна. Тиймээс энэ эмзэг мэдээллийг хамгаалах асуудал нь ганцхан салбарын асуудал биш гэдгийг хүн бүр ойлгох хэрэгтэй. АНУ, Канад, Их Британи, Герман, Энэтхэг, Хятад, Хонг Конг, Өмнөд солонгос гэх мэт дэлхийн олон улс, хотуудад байх судалгааны байгууллагууд боловсролын салбар дахь кибер аюулгүй байдлын талаарх судалгаа, тайлан мэдээг жил бүр гаргаж байгаа нь бусад улс орнуудад урьдчилан сэргийлэх, хариу арга хэмжээ авах, дэлхийн чиг хандлагыг мэдэх зэрэг чухал ач холбогдолтой юм. Судалгааны үр дүнд энэ салбарын кибер аюулгүй байдлын өнөөгийн нөхцөл байдлыг тодорхойлж, салбарын кибер аюулгүй байдлын орчны хөгжлийн загвар боловсруулах төлөвлөлтийг гаргав. Манай улсын хувьд салбарын нэгдсэн тайлан мэдээ байхгүй байгаа нь эмзэг өгөгдлийг алдах, урьдчилан сэргийлэх, эрсдлийг бууруулах хариу арга хэмжээг авч чадахгүй байх нөхцөлийг бүрдүүлж байна.

ЭШЛЭЛ АВСАН ЭХ СУРВАЛЖ

[1] BlueVoyant-ийн Дээд боловсролын кибер аюулгүй байдал 2022 тайлан
[2] Microsoft-ын Global Threat Activity Tracker 2023 судалгааны тайлан
[3-5] BlueVoyant-ийн Дээд боловсролын кибер аюулгүй байдал 2021 тайлан
[6] NCSC Cyber Threat Report , 2023
[7] Check Point Security report , 2023
[8] Center for Strategic and International Studies (CSIS), 2023
[9] The International Institute for Democracy and Electoral Assistance (InternationalIDEA), 2019
[10] Emsisoft , 2021
[11-12] BlueVoyant , 2021
[13-15] Софос , 2023
[16] IBM , 2023
[17-19] Indiatoday.in , 2024
[20-21] Itgovernance.co.uk, 2023
[22] Intel , 2023
[23] Check Point-ийн 2022 оны дунд сарын тайлан, ху29
[24] Цахим хөгжил, харилцаа холбооны яам, 2024

Аюулгүй программ хангамж хөгжүүлэлтийн үйл явцын судалгаа

1st Алтанцацрал Эрдэнэбат
Программ хөгжүүлэлтийн хэлтэс
Говь ХК
Улаанбаатар, Монгол
altantsatsral.e@gmail.com

2nd Энхтөр Цогбаатар
Мэдээллийн сүлжээ, аюулгүй байдлын салбар
ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
enkhtur@must.edu.mn

3rd Дашдорж Ямхин
Мэдээллийн сүлжээ, аюулгүй байдлын салбар
ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
dashdorj@must.edu.mn

4th Одончимэг Лхагва
Мэдээллийн сүлжээ, аюулгүй байдлын салбар
ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
odno@must.edu.mn

Хураангуй— Кибер гэмт хэрэг эрчимтэй тархаж байгаа өнөө үед олон байгууллага, салбарууд программ хангамж, мэдээллийн технологийн үйлчилгээнээс ихээхэн хамааралтай болсоор байна. Аюулгүй байдлын эрсдлийн талаарх мэдлэг улам бүр дэлгэрч, тэдгээрийг шийдвэрлэх арга хэрэгсэл олдоцтой байгаа хэдий ч олон тооны байгууллагууд, ялангуяа дунд эсвэл жижиг хэмжээний байгууллагууд аюулгүй байдлын арга хэмжээг үйлчилгээндээ нэвтрүүлэхэд бэрхшээлүүдтэй тулгардаг. Энэ нь юуны түрүүнд ихэнх хөгжүүлэгчид болон мэдээллийн технологийн төслийн менежерүүдийн аюулгүй байдлын дутмаг ур чадвар, мөн аюулгүй байдлын хангамжийн өндөр зардалтай холбоотой юм. Энэ судалгааны ажлаараа агуулах удирдлагын системийн хөгжүүлэлтийн үе шат бүрт аюулгүй байдлыг хэрхэн ханган ажиллах талаар туршсан билээ. Программ хөгжүүлэлтийн төлөвлөлтйин үе шатанд аюулгүй байдлын шаардлагыг тодорхойлж, дизайны үе шатанд дизайны хяналт хийж, туршилтийн үе шатанд кодын хяналт, нэгжийн тестийг хийж туршилтийн үр дүнг оруулсан болно. Цаашид байрлуулалтын үе шатны аюулгүй байдлыг хангахдаа аюулгүй байдлын тохиргоо болон тохиргооны тоймыг бэлтгэн ажиллана. Засвар үйлчилгээ, дэмжлэгийн үе шатны аюулгүй байдлыг хангахдаа алдааг засах, байнгын шинэчлэл хийн дэмжлэг үзүүлж ажиллахаар төлөвлөж байна. Агуулах удирлагын систем нь туршилтын үе шатандаа явж байгаа бөгөөд тэр шат хүртэлх аюулгүй байдлын туршилтыг хийсэн болно.

Түлхүүр үгс—Secure, Development, Life, Cycle, Программ, Амьдралын мөчлөг

I. УДИРТГАЛ

Сүүлийн жилүүдэд томоохон компаниуд болон төрийн байгууллагуудад үе үе нөлөөлж [1] буй аюулгүй байдлын зөрчлийн тоо нэмэгдэж байгаа нь мэдээллийн аюулгүй байдал улам бүр чухал болж байгааг харуулж байна. Эдгээр тохиолдлууд нь ихэвчлэн өгөгдөл эвдэгдэх, үйлчилгээ доголдох зэрэг ноцтой үр дагаварт хүргэдэг. Ихэнх тохиолдолд кибер халдлагууд халдсан мэдээллийн системүүдийнхээ хөгжүүлэлтийн явцад зохих ёсоор тодорхойлогдоогүй, шийдэгдээгүй сул талуудыг ашигладаг. Аюулгүй хөгжүүлэлтийн аюулгүй байдлын удирдамж, практик байгаа хэдий ч аюулгүй байдлын шаардлагуудыг турших, хангах асуудал нь нээлттэй хэвээр байна. Энэ нь Agile болон DevOps загварууд дээр суурилсан орчин үеийн хөгжүүлэлтийн аргачлалын хүрээнд зах зээлд гарах хугацааг багасгахын тулд давтагдах процессууд болон өндөр түвшний интеграцчилал, автоматжуулалтад тулгуурладаг. Өнөө үед хэд хэдэн нөхцөл байдалд өргөн хэрэглэгдэж байгаа программ хөгжүүлэлтийн эдгээр арга барилууд нь хөгжүүлэлтийн мөчлөгийн явцад аюулгүй байдлын практикийг анхлан тусгаагүй байдаг. Ихэнхдээ бол аюулгүй байдлын туршилтын үйл ажиллагаа нь зөвхөн хөгж
үүлэлтийн төгсгөлд багтдаг бөгөөд энэ нь аюулгүй байдлын болзошгүй асуудлуудыг хамрах цаг хугацаанд нь тодорхойлохтой холбоотой тодорхой асуудлуудад хүргэдэг. Энэ асуудлыг арилгахын тулд DevOps-ийг ашигладаг олон компаниуд арга барилаа өөрчилж эхэлсэн. Тэд аюулгүй байдлын багуудыг хөгжүүлэлтийн амьдралын мөчлөгт шууд оролцуулж, SecDevOps загварыг хүлээн зөвшөөрөх болсон. Энэхүү загвар нь DevOps ажлын урсгалын бүх үе шатанд аюулгүй байдлын үйл ажиллагааг багтааж, аюул заналхийллийн загварчлал, аюулгүй кодчилол, динамик аюулгүй байдлын тест, эмзэг байдлын сканнер, аюулгүй байдлын хяналт гэх мэт аюулгүй байдлын шилдэг туршлагуудыг нэвтрүүлэх замаар SecDevOps загварыг хөгжүүлж, хөгжүүлэлтийн амьдралын мөчлөгт оруулсан болно. Аюулгүй байдлын инженерийн практикийг DevOps ажлын урсгалд нэгтгэх нь өндөр түвшний автоматжуулалтыг шаарддаг. Харамсалтай нь дизайн боловсруулах явцад зохион бүтээсэн шинжилгээний үйл ажиллагаа нь ихэвчлэн мэргэжилтэн хүнээс томоохон туршлага шаарддаг. Үүний нэгэн адил, аюулгүй байдлын үнэлгээ, туршилтыг боловсруулах үе шат болон эцсийн нэвтрүүлэлтийн дараа аль алинд нь үр дүнтэй гүйцэтгэхийн тулд аюулгүй байдлын гүн гүнзгий ур

чадвар шаарддаг. Өнөөдөр зах зээл дээр байгаа олон тооны хөгжүүлэлт, туршилтын хэрэгслийн аюулгүй байдлын автоматжуулалт мэдэгдэхүйц түвшинд хүрч болох ч боломжит технологийн шийдлүүд нь ихэвчлэн өргөн хүрээний, дэвшилтэт технологийн ур чадварыг шаарддаг бөгөөд үүнийг эзэмшдэг чадвартай хүмүүс жижиг дунд үйлдвэрүүдэд ховор байдаг. Өргөн хэрэглээний программ хангамжийг ялангуяа байгууллагын хэмжээнд хөгжүүлэхдээ уг программ нь хэрэглэгчдэд ээлтэй, ойлгомжтой байхаас гадна системийг бүхэлд нь сүйтгэж болзошгүй хакер халдлагаас урьдчилан сэргийлэх хангалттай аюулгүй байдлыг хангах нь нэн чухал юм. Ийм учраас хөгжүүлэлтийн явцад дурдсан болзошгүй эрсдлүүдийг бууруулахын тулд программ хангамжийн системийн хэрэгжилтийг хийх явцад аюулгүй байдлын тухай бодох нь маш чухал юм. Энэ эрин зуунд программ хангамжид халдсан халдлага ихсэж байгаа нь харамсалтай бөгөөд энэ нь Software Development Life Cycle (SDLC) үед программ хангамжийн аюулгүй байдлыг чухалчлахаас илүүтэйгээр программ хангамжийн аюулгүй байдлыг SDLC-ийн дараа нь бодож үздэг хөгжүүлэгчдийн сэтгэлгээтэй холбоотой юм. Эцсийн мөчид бодох зүйл биш харин хөгжүүлэлтийн явцад аюулгүй байдлыг сайтар төлөвлөж чадвал энэ асуудлаас амархан зайлсхийх боломжтой байдаг. Программ хангамжийн хөгжүүлэлтийн үе бүр нь программ хангамжинд тулгарч болох тодорхой эмзэг байдлаас аль болох сэргийлсэн байх ёстой. Аюулгүй программуудын өмнө дурдсан шалтгаанаас гадна аюулгүй байдлын халдлага нэмэгдэхэд нөлөөлж буй өөр нэг хүчин зүйл бол интернэт, утасгүй сүлжээ, Internet Of Things (IoT) зэрэг дэвшлүүд юм. Эдгээр технологиуд нь амьдралыг илүү тохь тухтай болгож байгаа боловч өгөгдөл дамжуулах аюулгүй байдал, мэдээллийн найдвартай байдал, физик болон кибер халдлагад өртөмтгий байдлын талаар санаа зовнилыг нэмэгдүүлсэн. Тухайлбал, өгөгдлийн эвдрэл, сүлжээ болон роутерын халдлагууд нэмэгдсэн байна. Тиймээс, программ хангамжийг хөгжүүлэх үйл явцын бүх үе шатанд хамгаалалтын функцуудыг хэрэгжүүлэх, түүнчлэн хамгаалалтын бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг тогтмол засварлаж, шинэчлэх нь чухал юм.

II. СУДЛАГДСАН БАЙДАЛ

Аюулгүй программ хангамж хөгжүүлэлтийн талаарх энэхүү судалгаанд судлаачид хөгжүүлэгчид болон холбогдох оролцогч талуудад тохирох аюулгүй программ хангамжийг бүтээх тохиромжтой үйл явцыг авч үзэв. Программ хангамжид суурилсан төхөөрөмжүүдийн тоо нэмэгдэж, интернэтийн байнгын холболт шаарддаг үүлэн үйлчилгээнүүд хувьсаж байгаатай улбаалан хөгжүүлэгчдэд зориулсан аюулгүй программ хангамж бүтээх нь программ хангамжийн инженерүүдийн хувьд улам л чухал даалгавар болоод байна. Эдгээр сорилтыг шийдвэрлэхийн тулд хэрэглээний программ хангамжийн аюулгүй байдал, хакеруудын болзошгүй халдлагыг эсэргүүцэх найдвартай программ хангамж хөгжүүлэх шаардлагатай. Дараагийн хэсэгт энэ зорилгыг биелүүлэхийн тулд SDLC-ийг авч үзэх болно.

A. Secure Development Life Cycle

Secure Development Life Cycle (SDL) нь программ хангамж, систем хөгжүүлдэг олон байгууллагад ашиглагддаг стандарт Software Development Life Cycle (SDLC) (Зураг 1)-д аюулгүй байдлын асуудлуудыг нэгтгэх арга юм. Олон хөгжүүлэгчид SDL-ийн журмыг дагаж мөрдөж, тэдгээрийг Agile [2], Scrum, Waterfall болон бусад олон загварт ашигладаг. Спираль загвар, программын хурдацтай хөгжүүлэлт, динамик системийг хөгжүүлэх арга зүй, туршилтанд суурилсан хөгжүүлэлт болон бусад хэд хэдэн хөгжүүлэлтийн загварууд байдаг [3]. Эдгээр загварууд нь 1) төлөвлөлт, 2) шинжилгээ , 3) дизайн , 4) хэрэгжүүлэлт, 5) туршилт 6) засвар үйлчилгээ, ашиглалтын хугацаа дуусах зэрэг үндсэн үе шатуудын хувьд ижил төстэй байдаг.



Зураг 1. Программ хөгжүүлэлтийн амьдралын мөчлөг

Хөгжүүлэгчид ихэвчлэн аюулгүй байдлын ихэнх арга хэмжээг тестийн үе шатанд явуулдаг бөгөөд тэд программ хангамжийг бодит орчинд нь үнэлж, системийн алдаа, эмзэг хэсгүүдийг тодорхойлдог [4]. Аюулгүй байдлын үүднээс анхны дизайнаар зохион бүтээгээгүй программ хангамжийн аюулгүй байдлыг үнэлж байгаа тул аюулгүй байдлын хувьд эрүүл бус тооцогддог. Энэ арга нь хэрэгжүүлэлтийн хугацааг хойшлуулж, үүний оронд тест хийх болон аюулгүй байдлыг сайжруулахад цаг хугацаа болон хүн хүчний нөөцийг зарцуулагдахад хүргэдэг. Энэ нь аюулгүй байдлыг SDLC үндсэн ойлголт болгон оруулахын ач холбогдлыг онцолж, Secure SDLC-ийг компаниуд өргөнөөр нэвтрүүлэхэд хүргэж байна. Secure SDLC нь хөгжүүлэлтийн үйл явцын боломжит үе шат бүрд аюулгүй байдалтай холбоотой шинж чанаруудыг анхаарч үздэг процесс юм. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд хөгжүүлэлтийн амьдралын мөчлөг нь SDLC-ын үе шат бүрд аюулгүй байдлыг хэрэгжүүлэх бодлого, удирдамжийг тодорхой тусгаагүй байна. Энэ нөхцөл байдал нь системд урьдчилан тооцоолоогүй аюул, эмзэг байдлыг үүсгэж болзошгүй [6]. Энэ байдлаас үндэслэн SDLC нь үл мэдэгдэх аюул, эмзэг байдлын эрсдлийг бууруулахын тулд SDL-ийг нэвтрүүлэх хэрэгтэй. SDL нь системийг хөгжүүлэх үйл явцын үе шат бүрд аюулгүй байдлын арга хэмжээг хэрэгжүүлэх санааг дэмждэг [7]. Олон програмистууд хэрэглэгчийн тавьсан шаардлагыг биелүүлэхийн тулд зөвхөн программын код бичихэд анхаарлаа төвлөрүүлдэг бөгөөд халдагчид ашиглаж болзошгүй аюулгүй байдлын эрсдэл, эмзэг байдлыг

харгалзан авч үздэггүй [8]. Мэдээллийг задруулах, өгөгдлийг өөрчлөх, программыг ажиллагаагүй болгох зэрэг хортой үйлдлүүдийг SDLC [9] -д аюулгүй байдлын арга хэмжээг оруулснаар мэдэгдэхүйц бууруулж болно.
Судалгааны баримтаас үзэхэд [10] SDLC-ийн үе шат бүр нь функциональ байдлыг хангаж, чанарыг баталгаажуулж, аюулгүй байдлын хэмжүүрийг багтаасан байх ёстой. Программ хангамж хөгжүүлэгчийн зорилго нь бүх функцийг хамгийн богино хугацаанд хангах явдал боловч аюулгүй байдлын сул талуудын үр дагаврыг арилгахын тулд илүү их цаг хугацаа, хүчин чармайлт, нөөцийг зарцуулдаг. Аюулгүй программ хангамжийг бий болгохын тулд аюулгүй байдлын арга хэмжээг SDLC оруулах нь чухал юм. Эцсийн дүндээ энэ нь өндөр чанартай, аюулгүй программ хангамжийг бий болгодог.
Эрсдлийн удирдлага нь шинжилгээний үе шатанд шаардлагатай аюулгүй байдлын чухал арга хэмжээ юм. Үүнд программ хангамжийн функцтэй холбоотой аюулыг тодорхойлох, үнэлэх, бууруулах орно. Статик шинжилгээ нь системийн кодыг зөв кодлох конвенцид нийцүүлж, салбарын стандартад нийцэж байгаа эсэхийг баталгаажуулахад чухал үүрэг гүйцэтгэдэг [8]. Bill Pugh болон David Hovemeyer нарын FindBugs нь JAVA программчлалын хэл дээр статик шинжилгээ хийхэд ашигладаг алдартай программ юм. Статик шинжилгээний дараах өөр нэг үе шат бол аюулгүй байдлын туршилт, кодыг шалгах явдал юм. Аюулгүй кодын хяналт нь код хяналт, баталгаажуулалт, өгөгдөл баталгаажуулалт, алдаатай ажиллах, бүртгэл хөтлөх, шифрлэлт гэсэн үндсэн бүрэлдэхүүн хэсэгт анхаардаг [11].

Шинжилгээний үе шатанд илэрсэн аюул занал, эмзэг байдлыг арилгахын тулд аюулгүй байдлын янз бүрийн механизмуудыг хэрэгжүүлэх буюу сайжруулах боломжтой юм [12]. Аюулгүй байдлын механизмд жишээлбэл, шифрлэлтийн схем [13] болон протоколууд, баталгаажуулалтын аргууд [14], түүнчлэн хэрэглэгчийн бодлого, зохицуулалт багтаж болно. [15]-ын дагуу хүн хэрэглэгч нь системийн эмзэг байдлын үндсэн шалтгаан юм. Хэрэглэгчийн аюулгүй байдлын бодлогыг хэрэгжүүлэх нь хэрэглэгчийн зан төлвийг зохицуулах, хянахаас гадна тодорхой үйлдлийн эрхийн хяналтыг тодорхойлох боломжтой [16].

B. Программ хангамжийн аюулгүй байдлын сул талууд

Бүх шатанд хөгжүүлэгчид программ хангамжийн хөгжүүлэлтийн аюулгүй байдлын сул талыг тодорхойлох мэдлэгтэй байх ёстой. Төрөл бүрийн судалгааны бичвэрт, ялангуяа Набил Мохаммад [4] программ хангамжийн аюулгүй байдалтай холбоотой олон нэр томьёог тодорхойлсон бөгөөд энэ нь сэдвийг илүү сайн ойлгоход тусалдаг. Нэр томъёоны нэг нь "Asset" бөгөөд энэ нь компанид чухал ач холбогдолтой, аюулгүй байлгах ёстой объект эсвэл эд зүйлсийг хэлдэг. Asset нь аюул заналхийлэл, халдлагын гол зорилго, сэдэл гэж тооцогддог бөгөөд хэрэв тэдгээр нь ил болбол мэдээллийн алдагдал, хулгай зэрэг ноцтой үр дагаварт хүргэж болзошгүй юм [17].
Программ хангамжийн эмзэг байдал нь программ хангамжийг өөрөө гэмтээж болзошгүй хамгаалалтын систем дэх хэрэгжилтийн алдааг хэлнэ. Энэ нь дизайны алдаа эсвэл систем дотроос олж болох цоорхой юм. Программ хангамжийн сул талуудыг үндсэн хоёр төрөлд ангилдаг: программ хангамжийн дизайны алдаанаас үүдэлтэй дизайны түвшний эмзэг байдал, код дотроос олдсон алдаанаас үүдэлтэй хэрэгжилтийн түвшний эмзэг байдал. Гэсэн хэдий ч энэ нь халдагч цоорхойг олсон боловч Asset нь эвдээгүй байгаа системд аюул заналхийлж байна гэж үзэж болно. Эмзэг байдалтай холбоотой өөр нэг сул тал бол аюулгүй программ хангамжийн согог юм. Энэ нь юуны түрүүнд программ хангамжийн аюулгүй байдлын дизайны алдаатай холбоотой байж болно. Гэсэн хэдий ч, эмзэг байдлаас ялгаатай нь энэ дутагдлыг засаж залруулах боломжгүй бөгөөд үүнийг бүрмөсөн шинэчилж, эхнээс нь солих шаардлагатай. Согогийг аль болох эрт илрүүлэх хэрэгтэй бөгөөд ингэснээр сайжруулалт хийх үед эдгээр асуудлыг шийдэж, шийдвэрлэх боломжтой болно [18].

C. Аюулгүй кодчиллын практикт тулгарч буй асуудлууд

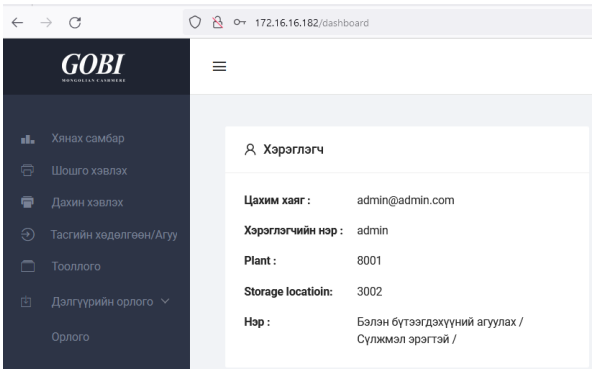
SDLC-н хөгжүүлэлтийн үе шатанд, ялангуяа дизайны үе шатанд программ хангамжийн хөгжүүлэлтийг үргэлжлүүлэхийн өмнө программ хангамжийн хөгжүүлэлтийн дотоод ажиллагааг найдвартай эсэхийг шалгаж, бэлтгэх нь маш чухал юм. Аюулгүй байдлын асуудлыг дизайны үе шатанд анхлан авч үзээгүй [7] олон тохиолдол байдаг бөгөөд үүний үр дүнд аюулгүй байдлын асуудал үүсдэг. Заримдаа, аюулгүй байдлын асуудлыг аль хэдийн авч үзсэн боловч хангалттай нухацтай авч үзээгүй орхигддог. Аюулгүй кодчилолд муу практик бий болоход хэд хэдэн гол хүчин зүйл нөлөөлж болно.
Аюулгүй байдлын муу практикт нөлөөлж буй нийтлэг хүчин зүйл бол хөгжүүлэгчдийн багуудын нийтлэг дутуу харилцаа юм. Ажлын байран дээр, салбараас үл хамааран, программ хангамжийг хэрхэн хөгжүүлэх талаар багийнхан өөр өөр үзэл бодолтой байдаг тул үл ойлголцол үүсч болно. Түүгээр ч зогсохгүй, алсын зайнаас ажиллах нь нийтлэг болж байгаа дэлхийн өнөөгийн нөхцөл байдлыг харгалзан үзэхэд виртуал орчинд багаар ажиллахаас биечлэн ажиллах нь илүү тохиромжтой сонголт [19] гэж олон хүн үзэж байна. Энэ тал дээр үр дүнтэй харилцаа холбоо маш чухал бөгөөд хөгжүүлэгчид болон оролцогч талууд ижил ойлголттой байх нь чухал юм.

Программ хангамжийн тест дутмаг байдал нь бас нэгэн асуудал бол юм. Энэ асуудал нь Secure SDLC-ийн хүрээнд ихээхэн хэмжээний нөөц зарцуулдаг хөгжүүлэлтийн буруу хуваарьтай холбоотой байж болох юм. Программ хангамжийн туршилт дутмаг байгаа нь программ хангамжийг суулгасан тэр өдрөө халдлагад өртөх эрсдлийг нэмэгдүүлдэг. Энэ нь программ нэвтрүүлэлтийн хугацаа богино, алдааны эмзэг байдлыг арилгах, засахад шаардагдах хүн хүчний дутуутай холбоотой байж магадгүй. Харин тест хийж байгаа нөхцөлд, цагийг үр ашигтай зарцуулах, эцсийн хугацаандаа амжуулан биелүүлэхийн тулд зөвхөн ганцаараа биш, хамтран ажилчидтайгаа хамт программ хангамжийн тестийг хянах нь зөв шийдэл юм.

III. ТУРШИЛТ БУЮУ ХЭРЭГЖҮҮЛЭЛТ

Энэхүү судалгаанд программ хангамжийн аюулгүй байдлыг программ хөгжүүлэлтийн амьдралын мөчлөгийн үе бүрт хангаж ажиллах нь чухал талаар

судалсан билээ. Судалгааны хүрээнд Говь ХК Агуулах удирдлагын системийн программ хангамжийг нэвтрүүлэхдээ хөгжүүлэлтийн үе шат бүрт аюулгүй байдлыг хангах туршилт хийсэн болно. Зураг 2т агуулах удирдлагын системийн интерфейсийг харуулав.



Зураг 2. Агуулах удирдлагын системийн интерфейс

A. Шинжилгээний үе шат

Энэ үе шатанд программ хөгжүүлэх шаардлагыг оролцогч талаас цуглуулдаг. Энэ үе шатанд шаардлага цуглуулахдаа аюулгүй байдлын шаардлагуудыг анхаарч үзэх хэрэгтэй. Энэ үе шатны аюулгүй байдлыг хангахын тулд дараах үйл явц хийгдэнэ.

- Функциональ шаардлагыг зөв тодорхойлох
- Эрсдлийн үнэлгээ хийх

Дээрх 2 үйл явцын дагуу RFID агуулах удирдлагын системийн хувьд дараах аюулгүй байдлын шаардлагуудыг тодорхойлсон. Үүнд:

- Сервис тус бүр өгөгдлийн бүрэн бүтэн байдлыг ханган заавал байх утгуудыг тодорхойлсон. Хүснэгт 1-т харуулав.

1-р хүснэгт. Өгөгдлийн бүрэн бүтэн байдлыг тодорхойлох

Өгөгдлийн бүрэн бүтэн байдлыг тодорхойлох					
Өгөгдөл	*Шошго хэвлэх*	*Агуулахын хөдөлгөөн*	*Орлого*	*Зарлага*	*Тооллого*
Баркод	√	√	√	√	
Дагалдахын дугаар	√	√	√	√	√
Материал дугаар	√	√	√	√	√
Үнэ	√				
Бүтээгдэхүүний нэр	√				
Хэмжээ	√				
Тоо ширхэг		√	√	√	√
Плант		√	√	√	√
Үндсэн байршил		√	√	√	√
Харьцсан байршил		√	√	√	
Харилцагчийн дугаар			√	√	

- Сервис тус бүр хандах эрхийн хязгаарлалтыг хийж өгсөн. Хүснэгт 2-т харуулав.

2-р хүснэгт. Эрхийн тохиргоог тодорхойлох

Эрхийн тохиргоо				
Сервис	*Баркод ажилтан*	*Агуулахын нярав*	*Нягтлан*	*Дэлгүүрийн менежер*
Шошго хэвлэх	√			
Агуулахын хөдөлгөөн		√		√
Орлого				√
Зарлага		√		
Тооллого			√	

B. Дизайны үе шат

Загварын үе шатанд төлөвлөлтийн үе шатанд эцэслэн боловсруулсан функциональ болон аюулгүй байдлын шаардлагыг ашигладаг. Энэ үе шат нь функциональ болон аюулгүй байдлын шаардлагыг харгалзан программ хангамжийн бүтэц, дизайныг тодорхойлдог. Энэ үе шатны аюулгүй байдлыг хангахын тулд дараах үйл явц хийгдэнэ.

- Дизайны хяналт

RFID агуулах удирдлагын системийн хувьд дизайны үе шатанд дизайны хяналтыг хийсэн. RFID системийн үйл ажиллагааны зураглалыг гаргасан ба оролцогч талуудаар баталгаажуулсан.

- Аюулгүй байдлыг загварчлал

Аюулгүй байдлын загварчлалын гол давуу тал нь код бичихээс өмнө дизайны алдаа дутагдлыг арилгах боломжтой.

C. Хэрэгжүүлэлтийн үе шат

Хэрэгжүүлэх үе шатанд программ хангамжийн үйл ажиллагааны болон аюулгүй байдлын шаардлагуудын бодит хэрэгжилт явагддаг. Энэ үе шатанд аюулгүй кодчиллын хяналтыг хийх шаардлагатай. Энэ үе шатны аюулгүй байдлыг хангахын тулд дараах үйл явц хийгдэнэ.

- Аюулгүй кодчилол

Аюулгүй кодчиллын стандартууд нь программ хангамжийг бүтээх явцад хөгжүүлэгчидийн кодчилол, арга техник, шийдвэрийг зохицуулдаг.

- Статик хэрэглээний аюулгүй байдлын тест

SSDLC-д автоматжуулсан хэрэгслийг ашиглах нь цаг хугацаа, хүчин чармайлтыг хэмнэх болно. SAST бол нэг жишээ бөгөөд үүнийг хэрэгжүүлэлтийн үед хэрэгжүүлж болно.

D. Туршилтын үе шат

Энэ үе шатанд туршилт хийх нь программ хангамжийн эмзэг байдлыг тодорхойлох, аюулгүй байдлын механизмыг үр дүнтэй болгоход тусалдаг. Туршилтын давталтуудыг системд мэдэгдэж буй сул тал байхгүй гэдгийг батлахын тулд хийдэг. Энэ үе шатны аюулгүй байдлыг хангахын тулд дараах үйл явц хийгдэнэ.

- Кодын дахин хяналт

- Нэгжийн тест / Гарын авлага /

Энэ үе шатанд нэгжийн тестийг туршсан ба 3-р хүснэгтэд тест скриптийг харуулав. Мөн хэрэглэгчийн гарын авлагыг бүрэн хийж гүйцэтгэсэн.

3-р хүснэгт. Нэгжийн тестийн скрипт

Нэгжийн тестийн скрипт		
Процесс	*Оролтын өгөгдөл*	*Гаралтын өгөгдөл*
Агуулахын үлдэгдэл	Plant:8021/8001 Material:KM010005-0057S0000-008D Plant: 8001 Storage location: 3002 Movement type: 701 Quantity: 20 Unit: pcs Batch: 10001677II	"Material document: 4900001382
Тооллого	A01 Goods Reciept, A07 Goods Issue R10 Other Material code: KM020994-1481S0000-005A KW020992-0147S0000-006C Plant: 8001/8021 Storage location: 3002, 3001 Batch number: 10000742, 10000812 Posting movement type: 701 GR phys.inv.: whse 702 GI phys.inv.: whse Quantity: 3 Unit: PCS	"Material document: 4900001368 4900001369 FI document: 4900000323 4900000324"
Шошго хэвлэх	PrdOrder: 20000070 Quantity: 870	Printed Qunatity: 2
Агуулахын хөдөлгөөн	Material code: MM810758-0075S0148-003D Plant:8015 Storage location:2001 Batch number: 0010001713 Movement type: 301 Transfer posting plant: 8015 Storage location: 2001 Destnition plant: 8001 Storage location: 3302 Quantity: 1 Batch number: 0010001713	Material posted document: 4900001171

Е. Байршуулалтын үе шат

Аюулгүй программ хангамжийг хөгжүүлэх амьдралын мөчлөгийн хувьд байршуулах үе шат нь маш чухал юм. Энэ нь бүтээгдэхүүнийг бодит орчинд байрлуулж, ашиглах үе шат юм. Энэ нь дизайн болон хөгжүүлэлтийн үе шатанд тодорхойлсон аюулгүй байдлын бүх хяналтыг туршсан үе шат юм. Энэ үе шатны аюулгүй байдлыг хангахын тулд дараах үйл явц хийгдэнэ.

- Аюулгүй байдлын үнэлгээ
- Тохиргооны тойм

F. Засвар үйлчилгээ, дэмжлэгийн үе шат

Засварын үе шатанд аюулгүй байдлыг нэн тэргүүнд тавих нь чухал юм. Энэ нь сул талуудыг засахын тулд программ хангамжийг тогтмол засварлах, аюулгүй байдлын асуудлуудыг хянах, программ хангамжийг цаг хугацааны явцад аюулгүй байлгахын тулд аюулгүй байдлын байнгын хяналт шалгалтыг хийх зэрэг багтана. Энэ үе шатны аюулгүй байдлыг хангахын тулд дараах үйл явц хийгдэнэ.

- Алдааг засах, шинэчлэл хийх
- Хэрэглэгчийн санал хүсэлтийг хүлээн авах
- Өөрчлөлтөнд дасан зохицох
- Алдааны бүртгэл хөтлөх

Байршуулалтын үе шатанд хэрэглэгчдэд дэмжлэг үзүүлэх, алдааны бүртгэл хөтлөх нь алдааг илрүүлэх, согогийн зассанаар программ хэвийн ажиллах боломжийг олгох юм. Алдааны бүртгэл хөтөлсөн байдлыг 4-р хүснэгтэнд харуулав.

4-р хүснэгт. Алдааны бүртгэл

№	**Гарсан асуудал**	**Огноо**	**Шийдвэрлэсэн эсэх**
1	Гараас 25 гэж өгөхөөр 18 эсвэл 5 хэвлэж байгаа.	3.2.2024	Тийм
2	Өнгө болон хэмжээний мэдээлэл нь 0000 гэж орж ирж байгаа.	3.2.2024	Тийм
3	RFID дутуу уншаад байна.	3.2.2024	Тийм
4	Үлдэгдэл хүрэхгүй байна гэсэн алдаа SAP-с өгж байгаа.	3.2.2024	Тийм
5	SAP дээр 4002 гэсэн агуулах үүсээгүй байна гэсэн алдаа заасан.	3.3.2024	Тийм
6	Агуулах хоорондын хөдөлгөөн хийхэд алдаа зааж байгаа.	3.7.2024	Тийм
7	Зарлага гаргахад алдаа зааж байгаа.	3.11.2024	Тийм

RFID агуулах удирдлагын систем нь туршилтын үе шатандаа явж байгаа бөгөөд 2024/04/30-нд дуусгах төлөвлөгөөтэй ажиллаж байна. Тиймээс программ хөгжүүлэлтийн дараа дараагийн үе шатуудад аюулгүй байдлын шалгалтуудыг үргэлжлүүлэн хийж гүйцэтгэх болно.

IV. АЮУЛГҮЙ БАЙДЛЫН АСУУДЛУУДЫГ ШИЙДВЭРЛЭХЭД САНАЛ БОЛГОЖ БУЙ АРГА

Судалгаанд үндэслэн хөгжүүлэгчдэд аюулгүй программ хангамжийг хөгжүүлэхэд гарсан дутагдлыг арилгах шийдлийг санал болгож байна. Гол шийдэл нь энэ чиглэлээр сургалт, боловсролыг нэмэгдүүлэх замаар аюулгүй байдлын талаарх хөгжүүлэгчдийн мэдлэгийг нэмэгдүүлэх явдал юм. Тодорхойлсон асуудлууд нь хөгжүүлэгчид аюулгүй байдлын мэдлэг бага, аюулгүй байдлын ач холбогдлын талаар ойлголтгүй байдагтай холбоотой. Энэ чиглэлээр боловсрол эзэмшүүлснээр хөгжүүлэгчид аюулгүй кодчилолын талаар илүү сайн ойлголттой болж, аюулгүй байдлын эрсдлийг бууруулахын тулд програмчлалын аргуудыг хэрэгжүүлж чадах юм. Санал болгож буй өөр нэг шийдэл бол хөгжүүлэгчдийг бэлэн, үр дүнтэй найдвартай хэрэгсэл ашиглахыг дэмжих явдал юм. Зарим хөгжүүлэгчид аюулгүй байдлын эрсдлийг бууруулахын тулд өөрсдийн хэрэгслийг бий болгож болох ч, хэрэв тэдний бүтээсэн хэрэгсэл халдагчид нэвтрэхэд амархан байх юм бол энэ нь цаг хугацаа, хүчин чармайлт дэмий үрсэн хэрэг болно. Тиймээс хөгжүүлэгчид аюулгүй байдлын үр дүнтэй арга хэмжээнүүдийг хангахад батлагдсан туршлага бүхий нээлттэй фреймворк ашиглахыг зөвлөж байна. Систем эсвэл вэб программынхаа аюулгүй байдлыг нэн тэргүүнд тавихыг зорьж буй байгууллагууд хөгжүүлэгчид хөгжүүлэлтийн бүх үе шатанд аюулгүй байдлын шалгалтыг багтаасан байх ёстой. Нэмж дурдахад,

хэрэгжүүлсний дараа ч аюулгүй байдлын бүртгэл хөтлөх нь администраторууд болон модераторууд болзошгүй алдаа дутагдлыг цаг алдалгүй илрүүлж, болзошгүй хор хөнөөлийг багасгахын тулд халдлагыг эрт илрүүлэх боломжийг олгодог.

V. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны үр дүнд агуулах удирдлагын системийн программ хангамжийг хөгжүүлэх явцдаа программ хөгжүүлэлтийн амьдралын мөчлөгт аюулгүй байдлыг хангах нь яагаад чухал болох талаар дурдсан. Тестийн үе шатанд аюулгүй байдлыг илрүүлж, засах нь хүн хүч их зарцуулах, хэрэгжүүлэлтийн хугацааг хойшлуулах эрсдэлтэй. Тиймээс хамгийн зөв арга бол программ хөгжүүлэлтийн амьдралын мөчлөгийн үе шат бүрт аюулгүй байдлыг хангаж ажиллах явдал юм. Харамсалтай нь, программ хангамж хөгжүүлэгчдийн өмнөх туршлагаас харахад программ хангамжийн хэрэглээний аюулгүй байдлыг хангахад төдийлөн анхаарал хандуулдаггүй, ихэнхдээ программ хангамжийг ажиллуулахад анхаарч, аюулгүй байдлын арга хэмжээ бага авдаг. Энэ чиг хандлага өнөөг хүртэл үргэлжилсээр байна. Урьдчилан сэргийлэх нь нөлөөллийг бууруулахаас илүү үр ашигтай ба аюулгүй байдлын арга хэмжээг хэрэгжүүлэх зардал нь халдлагыг бууруулахтай холбоотой зардлаас хамаагүй бага гэдгийг судалгаанд онцлон авч үзсэн. SDLC ба SDL бүрийг иж бүрэн шалгаж, оролцогч талуудад программ хангамжийг хөгжүүлэх үйл явцын аюулгүй байдлын талаар чухал ойлголтыг өгөх болно. Санал болгож буй шийдэл нь программ хөгжүүлэлтийн амьдралын мөчлөг бүрт аюулгүй байдлыг хангах, аюулгүй байдлын сканнердах хэрэгслийг ашиглах, оролцогч талуудад ойр ойрхон сургалт явуулах, аюулгүй байдлын динамик орчинд дасан зохицохын тулд программ хангамжийг тогтмол сайжруулах явдал юм.

ТАЛАРХАЛ

This research was supported by KOICA(Korea International Cooperation Agency) through the "Capacity Building Project for the School of Information and Communication Technology at Mongolian University of Science and Technology in Mongolia" (Contract No. P2019-00124)

НОМ ЗҮЙ

[1]. Agrawal, P., Rawat, N., 2019. Devops, a new approach to cloud development testing. In: 2019 International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT), vol.1, pp.1–2. https://www .csis .org /programs /strategic -technologies -program /significant -cyber -incidents

[2]. "What is Software Development?", Agile Alliance, 2020. [Online].

[3]. Saeed, S., Jhanjhi, N.Z., Naqvi, M., and Humayun, M. (2019). ‘Analysis of Software Development Methodologies’, in International Journal of Computing and Digital Systems, vol 08, issue 05, pp. 445-460, http://dx.doi.org/10.12785/ijcds/080502

[4]. N. M. Mohammed, M. Niazi, M. Alshayeb, and S. Mahmood.. Exploring software security approaches in software development lifecycle: A systematic mapping study. Computer Standards & Interfaces, vol. 50, pp.107-115, 2017.

[5]. N. S. A. Kari, A. Albuolayan, T. Saba, and A. Rehman, "The practice of secure software development in SDLC," An investigation through existing model and a case, 2016.

[6]. R. Dasoriya, SIGNIFICANCE OF SOFTWARE DEVELOPMENT MODELS, 2017.

[7]. H. Assal, and S. Chiasson, “Security in the software development lifecycle.” In Fourteenth Symposium on Usable Privacy and Security ({SOUPS} 2018) pp. 281-296, 2018.

[8]. R. K. Gundla, "Secure Software Development Lifecycle," 2018.

[9]. N. Shevchenko, "Threat Modeling: 12 Available Methods," 3 December 2018. [Online]. Available: https://insights.sei.cmu.edu/sei_blog/2018/12/threat-modeling-12-available-methods.html.

[10]. J. de. V. Mohino, J. B. Higuera , J. R. B. Higuera and J. A. S. Montalvo, "The Application of a New Secure Software Development Life Cycle (S-SDLC) with Agile Methodologies," 2019.

[11]. S. Team, "Secure code review," 12 November 2020. [Online]. Available: https://www.mitre.org/publications/systems-engineering-guide/enterprise-engineering/systems-engineeringfor-mission-assurance/secure-code-review#.

[12]. G. Maria, "Everything you need to know about security assessments to safeguard your data," 6 April 2018. [Online]. Available: Everything you need to know about security assessments to safeguard your data.

[13]. Diro, A., Reda, H., Chilamkurti, N., Mahmood, A., Zaman, N., and Nam, Y. (2020). ‘Lightweight Authenticated-Encryption Scheme for Internet of Things Based on Publish-Subscribe Communication’, in IEEE Access, vol. 8, pp. 60539-60551, 2020, http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2983117.

[14]. Almulhim, M., Islam, N., and Zaman, N. (2019). ‘A Lightweight and Secure Authentication Scheme for IoT Based E-Health Applications’, International Journal of Computer Science and Network Security, 19(1), 107-120.

[15]. P. Anand, "Everything you need to know about security assessments to safeguard your data," 2016.

[16]. O. Cassetto, "The 8 Elements of an Information Security Policy," 12 November 2020.

[17]. “10 Common Software Security Weaknesses”. Kiuwan, 2019. [Online]. Available:

[18]. Z. Shen, and S. Chen, “A Survey of Automatic Software Vulnerability Detection, Program Repair, and Defect Prediction Techniques”, Security and Communication Networks, vol.2020, 2020.

[19]. A. Felstead and G. Henseke, “Assessing The Growth of Remote Working and Its Consequences For Effort, Well-Being and Work- Life Balance”, New Technology, Work and Employment 32:3, 2017.

Байгууллагын Сүлжээний Эрсдэлийг Үнэлэх

1st Б.Мянганбаяр
Худалдаа Хөгжлийн Банк
Кибер Аюулгүй Байдлын Хэлтэс
ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Улаанбаатар, Монгол улс
myanganbayar.mr@gmail.com

2nd Я.Дашдорж
Ахисан Түвшний Компьютерын Сүлжээ ба Аюулгүй Байдлын Лаборатор
ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Улаанбаатар, Монгол улс
dashdorj@must.edu.mn

3rd Ц.Энхтөр
Ахисан Түвшний Компьютерын Сүлжээ ба Аюулгүй Байдлын Лаборатор
ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Улаанбаатар, Монгол улс
enkhtur@must.edu.mn

4th Л.Одончимэг
Ахисан Түвшний Компьютерын Сүлжээ ба Аюулгүй Байдлын Лаборатор
ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Улаанбаатар, Монгол улс
odnoo@must.edu.mn

***Хураангуй*—Мэдээллийн аюулгүй байдлыг хангах үндэс суурь нь эрсдэлийн үнэлгээ, эрсдэлийн удирдлага юм[1]. Байгууллагууд мэдээллийн дутмаг байдал болон хяналт дутуу байдлаас шалтгаалан эрсдэлд өртөмтгий байдаг. Технологийн өөрчлөлт шинэчлэлт нь өдөр тутам хурдацтай хөгжиж байдаг ба үүнтэй уялдаатай байгууллагууд цаг үетэй хөл нийлүүлэн алхах шаардлага тулгарч, нөхцөл байдлуудыг бүрэн тодорхойлж сүлжээний аюулгүй байдлын эрсдэлээ үнэлэх нь тогтмол хийгдэх чухал ажил юм. Сүлжээний аюулгүй байдлын эрсдэлийн үнэлгээг хийхдээ нэн чухал мэдээллийн дэд бүтэц дээр ашиглагддаг загварыг ашиглах нь зүйтэй. Энэ нь нийтлэг эрсдэлийн үнэлгээний загваруудаас ялгаатай нь эрсдэл болон магадлалын нөлөөллийг тооцоолохдоо илүү олон хүчин зүйлсийг хамруулсан байдаг. Сүлжээний аюулгүй байдлын эрсдэлд өртөх хувилбарууд ыг байгууллагууд өөрсдөө нэмж тодорхойлж болох ба миний хувьд нийт 36 хүчин зүйлийн хувилбарыг эрэл хайгуул хийсэн. Энэхүү судалгааны ажилд тулгуурлан дурын аж ахуй нэгжүүд нь сүлжээний аюулгүй байдлын шинэлэг мэдлэг авах, өөрийн байгууллагын сүлжээний аюулгүй байдлын эрсдэлийн зэрэглэлийг нарийн үнэлж учирч болзошгүй эрсдэлийн түвшнийг бууруулах, үйл ажиллагааг сайжруулах төлөвлөгөөтэй болох боломжтой.**

Түлхүүр үг—CII, сүлжээ, эрсдэл, үнэлэх, шийдэл, 5x5 matrix, магадлал, нөлөөлөл

I. Удиртгал

Сүлжээний аюулгүй байдлын бодлого нь сүлжээ болон өгөгдөлд зөвшөөрөлгүй нэвтрэх, буруугаар ашиглах, хулгайлахаас хамгаалахын тулд байх байгууллагын дагаж мөрдөх ёстой стандарт юм[2].

Сүлжээний аюулгүй байдлын шаардлагууд нь байгууллагын төрөл, хэмжээ, шинж чанар болон холбогдох мэдээллийн эрсдэлийн зэрэглэлээс хамаарч өөр өөр байж болно.

Байгууллага нь мэдээллийн аюулгүй байдлын аюулд өртсөний дараа эсрэг арга хэмжээ авах нь эдийн засгийн хувьд сөргөөр нөлөөлдөг. Харин учирч болох эрсдэлийг урьдчилан тооцоолж, үнэлж эсрэг арга хэмжээ авснаар мөнгөн зардлыг багасгахаас гадна байгууллагын тасралтгүй үйл ажиллагаа явуулахад чухал ач холбогдолтой.

II. Мэдээллийн аюулгүй байдал

Мэдээлэл болон мэдээллийн системд зөвшөөрөлгүй хандах, мэдээллийг ашиглах, ил болгох, өөрчлөх, хуулах, устгах, мэдээллийн системийн үйл ажиллагааг тасалдуулах, гаднаас хяналт хийхээс хамгаалах үйл ажиллагааг мэдээллийн аюулгүй байдал гэнэ[3].

“Мэдээллийн нууцлагдсан, бүрэн бүтэн болон хүртээмжтэй байдлыг хангасан байдлыг (MNS ISO /IEC 27001)-д тусгасан байдаг”.

A. Мэдээллийн аюулгүй байдлын асуудлууд

- Цахим аюул
- Хүний алдаа
- Дотоод аюул
- Хуучин системүүд
- Нарийн төвөгтэй байдал
- Мобайл болон IoT төхөөрөмжүүд
- Гуравдагч талын системтэй нэгтгэх
- Өгөгдлийн нууцлал
- *Даяаршил*

B. МАБ-ыг хангах үндэс суурь нь эрсдэлийн үнэлгээ, эрсдэлийн удирдлага

- Эрсдэл - нь аюул, эмзэг байдлын хослолоос үүсдэг.
- Аюул - МАБ-ыг ямар нэг байдлаар зөрчиж болох үйлдэл, боломжуудыг хэлнэ.
- *Эрсдэлийн удирдлага нь - Эрсдэлийн үнэлгээ хийж, түүний дагуу эрсдэлийг бууруулах цогц арга хэмжээ авахыг хэлнэ.*

C. Мэдээллийн аюулгүй байдлыг доорх 4 түвшинд ангилдаг.

- Эрх зүйн түвшин: МАБ-ын талаар хууль, эрх зүйн актууд, үндэсний хэмжээний стандарт.
- Захиргаа удирдлагын түвшин: Байгууллагын МАБ-ын үзэл баримтлал (стратеги), бодлого (тактик), хөтөлбөр, хяналт.
- Дэгийн түвшин: байгууллагад хэрэгжүүлсэн МАБ-ын дэг, журам, үйл ажиллагааны арга барил.
- *Программ-техникийн түвшин: Мэдээллийн болон сүлжээ, системийн аюулгүй байдлыг хангах зориулалттай төрөл бүрийн тоног төхөөрөмж, программ хангамжууд.*

D. Байгууллагын мэдээллийн системийн аюулгүй байдлыг хангах арга аргачлал

- Баталгаажуулалт
- Хандалтын удирдлага
- Шифрлэлт
- Нууц үгийн хамгаалалт
- Нөөцлөлт
- Физик хамгаалалт
- Сүлжээний хамгаалалт
- Дотоод үйл ажиллагааны журам

III. Байгууллагын Сүлжээний Эрсдэлийг Үнэлэх

A. Эрсдэлийг үнэлэхэд тулгардаг асуудлууд

- Эрсдэлийн мэдээлэл дутмаг байдал
- Өнгөрсөн тохиолдлуудад үндэслэн эрсдэлийн магадлалыг тодорхойлох
- Хамааралгүй хяналтын арга ашиглах

B. Зорилго, шалгагч болон хамрах хүрээ

1) СІІ эрсдэлийн үнэлгээний загвар ашиглан байгууллагын сүлжээний эрсдэлийг үнэлэх[4]

2) Шалгагч болон хамрах хүрээ

a) Оролцогч талууд: (Эзэн, МАБ-ын ажилтан,

Энэхүү шинжилгээний хүрээнд зөвхөн эрсдэлийг тодорхойлох, үнэлэх, хязгаарлах зорилготой. Эрсдэлд хяналт тавих, тайлагнах гэх мэт чиглэлүүд нь илүү өргөн хүрээтэй байдаг.

C. Эрсдэлийн нөхцөл, байгууллага

Эрсдэлийн нөхцөл байдлыг бий болгох нь эрсдэлийн үнэлгээ хийх чухал, урьдчилсан нөхцөл болдог. Энэ алхам нь эрсдэлийн үнэлгээнд оролцож буй дотоод болон гадаад оролцогч талуудтай байхыг шаарддаг.

1) Эрсдэлийг тодорхойлох

Эрсдэл нь доорх утгуудаар тодорхойлогдоно:

- Эд хөрөнгийн эмзэг байдалд нөлөөлөх аюул заналын магадлал
- Аюул заналхийллийн нөлөөлөл

Эрсдэл = Функц(Магадлал, Нөлөөлөл)

Эрсдэлт хүчин зүйлсийн жагсаалт:

- Аюул заналхийлэл
- Эмзэг байдал
- Магадлал (эрсдэл тохиолдох)
- Нөлөөлөл (хохирлын хэмжээ)

2) Эрсдэлд тэсвэртэй байдлыг тодорхойлох

Эрсдэлд тэсвэртэй байдал нь доорх зүйлсийг илэрхийлдэг.

- Тодорхой төрлийн эрсдэлийг хязгаарлах, хэрэгжүүлэх
- Хүлээн зөвшөөрөгдөх эрсдэлийн хязгаар ба босго

Доорх хүснэгт нь байгууллагын эрсдэлд тэсвэртэй байдлыг харуулна.

ХҮСНЭГТ I. Эрсдэлд Тэсвэртэй Байдал

Эрсдэлийн түвшин	Эрсдэлд тэсвэртэй байдлын тайлбар
Маш их	Хүлээн зөвшөөрөх боломжгүй бөгөөд маш хүчтэй нөлөөллийг бий болгоно.
Их	Хүлээн зөвшөөрөх боломжгүй. Эрсдэлийн түвшнийг бууруулахад чиглэсэн арга хэмжээг 1 сарын дотор хэрэгжүүлнэ.
Дунд ба их	Эрсдэлийн түвшнийг хүлээн зөвшөөрөх боломжгүй. Эрсдэлийг бууруулахад чиглэсэн арга хэмжээг 3-6 сарын хугацаанд боловсруулж хэрэгжүүлнэ.
дунд	Эрсдэлийн түвшнийг зөвшөөрч болно. Нөхцөл байдалд гарсан аливаа өөрчлөлтийг илрүүлж, зохих ёсоор арга хэмжээ авна.
Маш бага	Эрсдэлийн түвшнийг хүлээн зөвшөөрч болно. Эрсдэлийг үе үе хянах.

3) Үүрэг, хариуцлагыг тодорхойлох

- Байгууллагын удирдлага:
- Хөрөнгийн эзэн:
- Эрсдэлийн үнэлгээний үйл ажиллагаанд оролцох, хяналт тавих, шийдвэр гаргах баг
- Дэд бүтцийн үйл ажиллагааг дэмжих инженер эсвэл баг
- Цахим аюулгүй байдлын дэд бүтэц(Байгууллагын үйл ажиллагааг дэмжих системүүд)

D. Эрсдэлийн үнэлгээ хийх

Эрсдэлийн үнэлгээний гол алхмууд нь эрсдэлийг тодорхойлон шинжилгээ хийж, үнэлэх явдал юм.

Эрсдэлийн үнэлгээ хийх үйл явц:



Зураг. 1. Эрсдэлийн үнэлгээ хийх процесс

1) Алхам I. Эрсдэлийг тодорхойлох

a) Хөрөнгийг тодорхойлох:

Бүх физик болон логик хөрөнгийн бүртгэлийг тодорхойлж бүрдүүлэх хэрэгтэй.

Эд хөрөнгийг тодорхойлохдоо доорх мэдээллийг харах нь зүйтэй

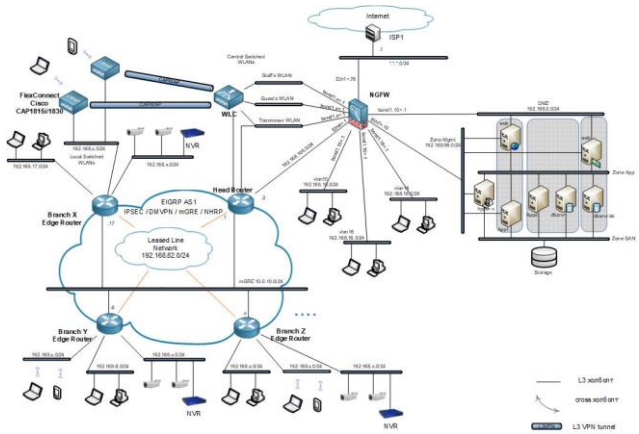
Хамгийн үнэтэй хөрөнгө: Эдгээр хөрөнгө нь байгууллагын ерөнхий зорилгод хүрэхэд чухал ач холбогдолтой, ихэвчлэн халдагчид идэвхтэй ашиглахыг эрэлхийлдэг зүйл юм.

Чухал хөрөнгө: Эдгээр хөрөнгө нь халдагчид хяналтаа авахыг хүсдэг нөөц юм. Мөн хамгийн үнэтэй хөрөнгөд хүрэхээсээ өмнө сүлжээний сегментүүдийг давах хөшүүрэг болдог.

Сүлжээний архитектурын диаграммыг үүсгэхийн тулд хөрөнгийн нэгдсэн жагсаалтыг ашиглаж хоорондын уялдаа холбоо, харилцааны замыг нарийн дүрслэн харуулах хэрэгтэй.

ХҮСНЭГТ II. Жишээ Хөрөнгийн Бүртгэл

№	Хөрөнгө	Тоо
1	Cisco 2960 Branch Switch	8
2	NGFW	1



Зураг. 2. Сүлжээний ерөнхий диаграм

b) Аюул заналхийллийн загварчлал

Хөрөнгийн тооллогын жагсаалт болон сүлжээний архитектурын диаграммын тусламжтайгаар аюул заналхийлж болзошгүй үйл явдлуудад гүнзгий дүн шинжилгээ хийхийн тулд хөрөнгө тус бүрийн эмзэг байдлыг илрүүлэх хэрэгтэй.

Аюулын загварчлал нь дараах алхмуудыг агуулна.

- Хамрах хүрээг тодорхойлох – энэ нь аюул заналын урьдчилсан нөхцөл болно.
- Аюулыг таних – халдагчид өмч хөрөнгийг эвдэж болзошгүй тохиолдлуудыг тодорхойлох
- Халдлагын загвар – Хөрөнгө тус бүртэй холбоотой аюул заналхийллийн үйл явдлуудыг тодорхойлсны дараа, Байгууллага эдгээр халдлагыг боломжит дараалалд холбох ёстой. Мөн системийг хамгаалах, хэрэгжилтийг эрэмбэлэх шаардлагатай.

ХҮСНЭГТ III. Эд Хөрөнгийн Аюул Занал

№	Хөрөнгө	Аюул занал
1	Cisco 2960 Switch 8ш	- MAC Flooding - ARP Spoofing/Poisoning - VLAN Hopping - STP Manipulation - DoS - Port Security Bypass

c) Эрсдэлийн хувилбаруудыг бий болгох

Энэ даалгавар нь бодитой, харьцуулах боломжтой “юу буруу болж болох вэ” гэдэг хувилбаруудыг бий болгох зорилготой.

Эрсдэлийн хувилбарт доорх зүйлсийг тусгасан байх шаардлагатай.

- Хөрөнгө: *a)* хэсэгт тодорхойлсон объект
- Аюул занал: *b)* хэсэгт тодорхойлсон халдлагууд
- Эмзэг байдал: сүүлийн үед илэрсэн байж болох эмзэг байдлууд
- Үр дагавар: Аюул заналын үр дүн

Жишээ: Аюул занал | Эмзэг байдал | Хөрөнгө | Үр дагавар

Эрсдэлийн хувилбарууд:[8][9]

1. Дотоод сүлжээний Switch төхөөрөмжид зөвшөөрөлгүй этгээд нэвтэрснийг илрүүлэх ARP Watch шийдэл байхгүй улмаас халдлагад өртөх.
2. Endpoint Security эмзэг байдал
3. DHCP Server Security тохируулга
4. ZTNA шийдэл
5. Wireless Security тохируулга
6. NTP сервер шийдэл
7. SIEM сервер шийдэл
8. DNS аюулгүй байдлын шийдэл
9. Хүчирхэг крипто алгоритм
10. Microsegmentation хязгаарлалт
11. NAC хэрэгжүүлэлт
12. Сүлжээ хоорондын тусгаарлалт
13. Authentication сервер шийдэл
14. PAM сервер шийдэл
15. High Availability суурилуулалт
16. Network redundancy хэрэгжүүлэлт
17. VPN ашиглалт
18. Routing Protocol аюулгүй байдал

19. NGFW шийдэл
20. Implicit Deny Rule хэрэгжүүлэлт
21. Proxy сервер шийдэл
22. SD-WAN хэрэгжүүлэлт
23. Data Center Security суурилуулалт
24. Network Management Zone ашиглалт
25. NCM сервер шийдэл
26. SNMP сервер шийдэл
27. Net Flow сервер шийдэл
28. NPM системийн шийдэл
29. Metasploit Framework ашиглалт
30. DDoS хамгаалалтын шийдэл
31. IPS шийдэл
32. WAF шийдэл
33. ES (Email Security) шийдэл
34. Network Programmability хэрэгжүүлэлт
35. SOAR хэрэгжүүлэлт
36. Disaster Recovery суурилуулалт

2) Алхам II. Эрсдэлийг шинжлэх

Эрсдэлийн шинжилгээ гэдэг нь эрсдэлийн хувилбар бүрийг бүрдүүлдэг элементүүдэд дүн шинжилгээ хийх явдал юм.

- Эрсдэлийн хувилбар гарах магадлал
- Эрсдэлийн нөхцөл байдал үүссэнээс үүсэх нөлөөлөл

a) Магадлалыг тодорхойлох

Үйл явдлын өнгөрсөн эсвэл ирээдүйн тохиолдлуудыг хэмжүүр болгон ашигладаг уламжлалтай. Эрсдэлийн магадлалыг хэмжихдээ(жишээ нь, үйл явдал жилд нэг удаа тохиолдох эсвэл өнгөрсөн жилд нэг удаа тохиолдсон). Гэвч өмнө нь эвдэгдэж байгаагүй систем нь эвдрэлд өртөхгүй гэсэн үг биш юм.

Цахим аюулгүй байдлын эрсдэлийг тодорхойлох нэг аргын магадлал нь дараах хүчин зүйлсийг харгалзан үзнэ.

- Илрүүлэх чадвар – Халдагч нь ямар эд хөрөнгийн сул талыг олж илрүүлэх вэ? Энэ нь эмзэг байдлын талаарх мэдээлэл, боломжоос хамаарна.
- Ашиглах чадвар – Халдагч этгээд хөрөнгийн эмзэг байдлыг хэр амархан ашиглах вэ? Энэ нь хандах хэрэгслийн нарийн төвөгтэй байдал, түүнчлэн шаардлагатай техникийн ур чадвараас хамаарна.
- Дахин давтах чадвар – Халдагч нь довтолгоог хэр амархан давтаж чадах вэ? Энэ нь ашиглалтын тохируулгын нарийн төвөгтэй байдал болон халдлага хийхэд шаардлагатай орчны нөхцөлөөс хамаарна.

Эрсдэлийн түвшнийг 1-5 хүртэлх оноогоор үнэлж өгнөөр ялгана.



Зураг. 3. Үнэлгээний зураг

Сүлжээний аюулгүй байдлын эрсдэлийн магадлалыг тодорхойлох үнэлгээний хүснэгт:

I. Магадлалын гурван хүчин зүйлд 1-5 хүртэлх оноог тус бүрд өгнө.
II. Оноог дундажлаад хамгийн ойрын бүхэл тоо хүртэл дугуйлна.
III. Эцсийн оноо нь эрсдэлийн хувилбарын магадлал байх болно. 5 нь их магадлалтай ба 1 нь ховор байх.

Жишээ: Дотоод сүлжээнд зөвшөөрөлгүй төхөөрөмж нэвтрэх магадлал

ХҮСНЭГТ IV. Магадлалыг Тодорхойлох Загвар

Магадлалын үнэлгээ	Илрүүлэх чадвар	Ашиглах чадвар	Дахин давтах чадвар
Байнга тохиолдох(5)		+	
Их тохоилдох(4)			
Ихэвчлэн тохиолдох(3)			
Хааяа тохиолдох(2)	+		+
Бараг тохиолдохгүй(1)			

Илрүүлэх чадвар = 2, Ашиглах чадвар 5, Дахин давтах чадвар = 2

Магадлалын үнэлгээг тодорхойлохдоо дээрх 3 хүчин зүйлсийн дунджаар бодно.

$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$ (1) (2+5+2)/3 = 3 $\bar{X} = 3$

САБ-ын судлагдсан 36 шийдлийн эрсдэлийн үнэлгээг X байгууллага дээр хийж 4 ба түүнээс дээш эрсдэлтэй шийдлүүдийг тодорхойлсон байдал.

ХҮСНЭГТ V. Магадлалыг Тодорхойлсон Үр Дүн

№	Хувилбарууд	P
13	Authentication сервер шийдэл	4
15	High Availability суурилуулалт	4
21	Proxy сервер шийдэл	4
31	IPS шийдэл	4
36	Disaster Recovery суурилуулалт	5

b) Нөлөөллийг тодорхойлох

Ерөнхийдөө эрсдэлийн тохиолдлын илрэл нь нууцлал, бүрэн бүтэн байдлыг алдагдуулж болзошгүй юм.

Халдлагад өртсөн хөрөнгө нь доорх 3 түвшинд нөлөө үзүүлж болно.

- Үндэсний: Үндэсний хэмжээнд энэ нөлөөг үндэсний аюулгүй байдлын хохирол гэж үзэж болно
- Зохион байгуулалтын: Байгууллагын түвшинд нөлөөлөх, системийг тасалдуулах гэж үзэх.
- Хувь хүн: Хувь хүний түвшинд хүний хохирол, гэмтэл гэж үзэж болно.

Эрсдэлийн нөлөөллийг тодорхойлох үнэлгээний хүснэгт:

- Байгууллагууд нөлөөллийн зэрэглэл бүрийн тодорхойлогчдыг хянаж, тохируулна.

- Байгууллагын нөхцөлтэй холбоотой: байгууллагын зорилгод холбоно.
- Хоёрдмол утгагүй: Тоологдох утгатай тоо ашиглана.
- Олон талт хэтийн төлөв: 3 түвшин тус бүрээс үзүүлэх нөлөөллийн дэд ангиллыг тодорхойлно.

Жишээ: ARP Watch Дотоод сүлжээнд зөвшөөрөлгүй төхөөрөмж нэвтрэхэд үүсэх нөлөөлөл

ХҮСНЭГТ VI. Нөлөөллийн Үнэлгээний Загвар

Нөлөөллийн үнэлгээ	Нууцлал	Бүрэн бүтэн байдал	Хүртээмжтэй байдал
Маш хүнд(5)			
Хүнд(4)			
Дунд зэрэг(3)			
Бага(2)	+		
Өчүүхэн(1)		+	+

Эрсдэлийн хувилбар бүрийг нууцлал, бүрэн бүтэн байдал, хүртээмжтэй байдлын өөр өөр түвшинд үнэлж болно. Хамгийн их нөлөөллийн үнэлгээг эцсийн оноо болгон авна. 2

САБ-ын судлагдсан 36 эрсдэлийн хамгийн өндөр нөлөөллийн хувилбарууд Х байгууллагад

ХҮСНЭГТ VII. Нөлөөллийг Тодорхойлсон Үр Дүн

№	Хувилбарууд	үн.
13	Authentication сервер шийдэл	3
15	High Availability суурилуулалт	3
21	Proxy сервер шийдэл	3
31	IPS шийдэл	3
36	Disaster Recovery суурилуулалт	4

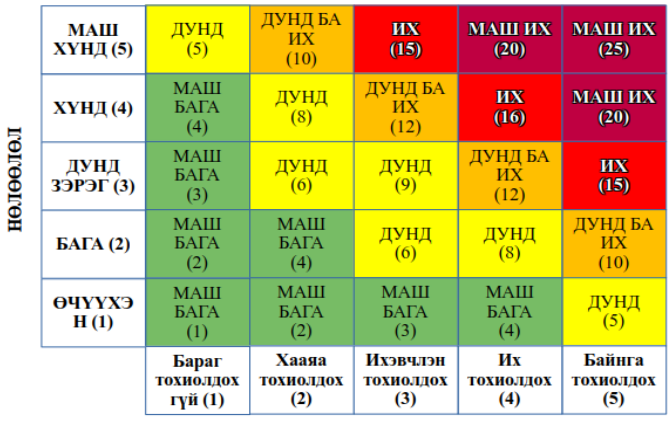
3) Алхам II. Эрсдэлийн үнэлгээ

Эрсдэлийн үнэлгээ нь эрсдэлийн түвшний ач холбогдлыг тодорхойлох, ойлгох явдал юм.

- Эрсдэлийг тодорхойлж эрэмбэлэх
- Баримт бичгийн эрсдэл

Эрсдэл гэдэг нь тухайн хөрөнгийн боломжит эмзэг байдлыг ашиглан аюул заналхийлсэн үйл явдлын магадлал ба түүнээс үүдэлтэй нөлөөллийн функц юм.

Үүнийг диаграмм хэлбэрээр хийж болно.



Зураг. 3. Эрсдэлийн түвшнийг тодорхойлох 5x5 матриц

Эрсдэлийн түвшин нь Эрсдэлийн шинжилгээний үе шатнаас (*2)*-р хэсэг) тодорхойлсон “Магадлал” ба “Нөлөөллийн” үржвэр болох эрсдэлийн хувилбар бүрийн эрсдэлийн түвшнийг тодорхойлох 5x5 матриц юм.

Гаргасан эрсдэлийн түвшин тус бүрийг байгууллагаас тодорхойлсон эрсдэлд тэсвэртэй байдлын түвшинтэй харьцуулна. Эрсдэлийн түвшин зөвшөөрөгдөхүйц түвшнээс дээш эрсдэлтэй хувилбаруудыг эрсдэлийн түвшин зөвшөөрөгдөх түвшинд хүртэл буурах хүртэл арга хэмжээ авах жагсаалтад эрэмбэлэх ёстой. Арга хэмжээ авах эрсдэлийг эрэмбэлэхдээ хүлээгдэж буй хугацааг мөн тогтоох хэрэгтэй.

Магадлал * Нөлөөлөл = Эрсдэл

ХҮСНЭГТ VIII. Эрсдэлийг Тодорхойлсон Үр Дүн

Хувилбар	Магадлал	Нөлөөлөл	Эрсдэл
13	4	3	12
15	4	3	12
21	4	3	12
31	4	3	12
36	5	4	20

а) Эрсдэлийн бичиг баримт

Эрсдэлийн бүртгэл нь тодорхойлсон эрсдэлийн түвшнийг багтаасан бүх эрсдэлийн хувилбаруудын бүртгэл юм. Эрсдэлийн бүртгэл нь байгууллагын удирдлагад эрсдэлийн талаар мэдээлэлтэй, шийдвэр гаргахдаа тухайн байгууллагын цахим аюулгүй байдлын эрсдэлийн талаарх хамгийн сүүлийн үеийн дүр зурагтай байхын тулд тогтмол хянаж, шинэчилж байх амьд баримт бичиг юм.

Энэ нь дараах зүйлсийг агуулсан байх ёстой.

- Эрсдэлийн хувилбар
- Тодорхойлох огноо
- Одоо байгаа арга хэмжээ
- Одоогийн эрсдэл
- Явцын байдал
- Үлдэгдэл эрсдэл
- Эрсдэл эзэмшигч
- Хариу арга хэмжээ авах төлөвлөгөө

Е. Эрсдэлд хариу арга хэмжээ авах

Тодорхойлсон эрсдэлүүдийг үнэлсний дараагийн алхам нь эрсдэлийг байгууллагын эрсдэлийн тэсвэрлэх түвшинд байлгах дараагийн арга хэмжээг тодорхойлох явдал юм.

1) Эрсдэлд хариу арга хэмжээ авах төрлүүд

Үүнд 4 төрөл байна.

- Зөвшөөрөх - Эрсдэлийг хүлээн зөвшөөрөх гэдэг нь эрсдэлийг бууруулахын тулд цаашид ямар нэгэн арга хэмжээ авахгүйгээр байгаагаар нь хүлээхийг хэлнэ.
- Зайлсхийх - Эрсдэлээс зайлсхийх гэдэг нь тухайн байгууллагыг тодорхой эрсдэлд оруулж буй үйлдэл/үйл ажиллагааг зогсоохыг хэлнэ.
- Дамжуулах - Эрсдэл шилжүүлэх гэдэг нь эрсдэлийн тодорхой хэсгийг бусад талууд эсвэл байгууллагуудтай хуваалцахыг хэлнэ.

- Бууруулах - Эрсдэлийг бууруулах гэдэг нь эрсдэлийн түвшнийг бууруулах арга хэмжээ авахыг хэлнэ.

Эрсдэлд хариу арга хэмжээ авах аль ч хувилбараас үл хамааран байгууллагын дээд удирдлага (зохих эрх мэдэл, хариуцлагын түвшинтэй) сонгосон эрсдэлийн хариу арга хэмжээг албан ёсоор баталж, үлдэгдэл эрсдэлийг хүлээн зөвшөөрөх ухамсартай шийдвэр гаргах ёстой.

2) Эрсдэлд тохирсон хариу арга хэмжээ авах

Байгууллагууд эрсдэлийг бууруулах замаар шийдвэрлэх хувилбар сонгохдоо тэдний хэрэгжүүлж буй аюулгүй байдлын хяналтууд нь тэдний шийдвэрлэх гэж буй эрсдэлд нийцэж байгаа эсэхийг баталгаажуулах хэрэгтэй.

ХҮСНЭГТ IX. Эрсдэлд Тэсвэртэй Байдлын Үр Дүн

Эрсдэлд хариу арга хэмжээ авах	Арга хэмжээ авах шийдлүүд
- Хүлээн **зөвшөөрөх боломжгүй** бөгөөд маш хүчтэй нөлөөллийг бий болгоно. Холбогдох үйл ажиллагааг нэн даруй зогсоох шаардлагатай.	• Disaster Recovery суурилуулалт
- Эрсдэлийн түвшнийг хүлээн **зөвшөөрөх боломжгүй**. Эрсдэлийг бууруулахад чиглэсэн арга хэмжээг 3-6 сарын хугацаанд боловсруулж хэрэгжүүлнэ.	• Endpoint Security • HA суурилуулалт • NGFW шийдэл • Proxy сервер • IPS шийдэл

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаараа байгууллагын МАБ-ыг САБ-ын хамгаалалтын технологийн хувилбаруудын хүрээнд хамгаалах болон үнэлэх аргачлалыг Х байгууллагын өгөгдөл дээр тайлбарлахыг зорьсон. Үүнээс үзэхэд тухайн байгууллагад нэн даруй гүйцэтгэх шаардлагатай гамшгийн үеийн нөхөн сэргээх шийдэл болон 3 аас 6 сарын хугацаанд шийдвэрлэвэл зохих 5ш төрлийн шийдлийн эрсдэлүүд байна.

Нэмж хэлэхэд технологийн бүхий л шийдлүүд өндөр өртөгтэй байдаг, гэвч мэдлэг болон инженерүүдийн нөөц дээр тулгуурлан нээлттэй эхийн технологиудыг ашиглан мэдээллийн аюулгүй байдлын эрсдэлийг бууруулах боломжууд өргөн бий.

ТАЛАРХАЛ

This research was supported by KOICA(Korea International Cooperation Agency) through the "Capacity Building Project for the School of Information and Communication Technology at Mongolian University of Science and Technology in Mongolia" (Contract No. P2019-00124)

НОМ ЗҮЙ

[1] N. Mohamed Hamdi. "Computer and network security risk management," in Dr. Jerry Kovacich,, 2005.

[2] J. Micheal Howard. "Network Security Basics," in IEEE Security and Privacy Magazine, 2005.

[3] "MNS ISO/IEC 27001," in estandard.gov.mn, 2023.

[4] CSA. "Cybersecurity Risk Assessment for CII," in csa.gov.sg, 2021.

[5] "Guide for Conducting Risk Assessments," in NIST, 2011.

[6] Y. Matthew H. Henry. "A Comprehensive Network Security Risk Model for ProcessControl Networks," in Risk Analysis, vol. 29, 2009.

[7] “Managing Information Security Risk: Organization, Mission, and Information System ViewControl Networks," in NIST, 2011.

[8] Shailja Pandey. "Modern network security and challenges," in technology, vol. 3, 2011.

[9] Eric D. Knapp. "Industrial Network Security," in Syngress, vol. 3, 2023.

Салбар хуралдаан-4



Тооцоолол, мэдээллийн технологийн хэрэглээ

САЛБАР ХУРАЛДААН-4: ТООЦООЛОЛ, МЭДЭЭЛЛИЙН ТЕХНОЛОГИЙН ХЭРЭГЛЭЭ
ШУТИС VIII БАЙР, 801 ТООТ ТАНХИМД

ХУРЛЫН ДАРГА: Р.Мижиддорж /МУБИС-ийн профессор/

1.	“Блокчэйнд суурилсан олон нийтийн санхүүжилтийн платформ хөгжүүлэх нь” *Б.Гүндсамбуу, Ж.Бауржан, Н.Хашцэрэн*	92
2.	“Агаарын бохирдол дахь цаг агаарын нөлөөллийг эконометрикийн аргаар тооцоолох” *Г.Ганчимэг, Э.Жаргал,Ч.Мөнхнасан*	98
3.	“Ажлын байр санал болгох систем” *Н.Гэрэлчулуун, М.Золжаргал, Б.Наранбат*	102
4.	“Трансформер загвар ашиглан Монгол хэл дээрх баримт бичигт шинжилгээ хийх” *Д.Цэцүүхэй, Б.Анхбаяр, Б.Сувдаа*	106
5.	“Цэгэн үүлний гадаргуугаас хэсэгчилсэн шуугианыг арилгах” *Г.Дашням, Г.Уганбаяр, Э.Шүрэнцэцэг*	110

Блокчэйнд суурилсан олон нийтийн санхүүжилтийн платформ хөгжүүлэх нь

1st Б.Гүндсамбуу
Компьютерын ухааны салбар
МХТС, ШУТИС
Улаанбаатар, Монгол
gundsambuu@must.edu.mn

2nd Ж.Бауржан
Компьютерын ухааны салбар
МХТС, ШУТИС
Улаанбаатар, Монгол
baurjanjalgaskhan@gmail.com

3rd Н.Хашцэрэн
Компьютерын ухааны салбар
МХТС, ШУТИС
Улаанбаатар, Монгол
hashka2021@gmail.com

***Хураангуй*—Орчин үед эдийн засгийн хөгжлийг хурдасгах, мэдлэгийг баялаг болгох гол түлхүүр нь инновацад суурилсан хөгжил болж байна. Хурдтай хөгжиж буй санхүү болон технологийн энэ цаг үед блокчэйн технологи нь энэхүү салбарыг өөрчлөх томоохон хүчин зүйлүүдийн нэг юм. Хувь хүн, албан байгууллага нь санхүүжилт төвлөрүүлэхийн тулд олон нийтэд хувьцаа гаргах, хандив босгох, банкнаас зээл гаргах аргуудыг ашиглаж байна. Блокчэйн технологийг ашигласнаар олон нийтийн санхүүжилтийн платформууд нь аюулгүй байдал, ил тод байдал, итгэлцэл зэрэг уламжлалт олон нийтийн санхүүжилтийн загвартай холбоотой хэд хэдэн сорилтыг шийдэж чадна. Блокчэйнд суурилсан олон нийтийн санхүүжилтийн платформууд нь бүх гүйлгээ, шимтгэлийг бүртгэдэг найдвартай, хувиршгүй тэмдэглэлийг санал болгож, санхүүжилтийн үйл явцын бүрэн бүтэн байдлыг хангадаг. Энэхүү өгүүлэлд программ хангамжийн санхүүжилтийн найдвартай байдлыг блокчэйн технологи ашиглан шийдвэрлэх зорилготой төслийн хүрээнд хийсэн судалгааны ажлыг танилцуулсан болно.**

Түлхүүр үг—Ухаалаг гэрээ, Блокчэйн, Этэриум, Солидити

I. Удиртгал

Өнөө үед бизнесийн байгууллага болон хувь хүмүүс өөрсдийн санхүүжилт, хөрөнгө оруулалтын асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд олон нийтийн санхүүжилтийг сонгож байна.

Хөрөнгө босгох нь хөрөнгө оруулагч, зуучлагч, дундын байгууллага, түр зуурын бэлэн мөнгө хадгалах банкны данс гэх мэт олон талуудын хоорондын итгэлцлийг агуулдаг ярвигтай процесс юм [1]. Хөрөнгө босгох үйл явцын бүх оролцогчдын итгэлцлийг нэмэгдүүлэх нь санхүүгийн салбарын гол шалгуур байсаар ирсэн. Итгэлцэл бол санхүүжилт хүсэгчдийн хувьд хөрөнгө оруулагчдаас татах хамгийн чухал зүйл юм.

Ашгийн бус хандивын санхүүжилт нь Монгол улсад фейсбүүк эсвэл олны танил хүмүүсээр дамжин өөрсдийн хувийн дансанд хуримтлуулан явагдаж байна. Гэвч энэ нь хандив хэзээ дууссан, хэдэн хувьтай цугларч байгаа, үнэхээр тусламж хүссэн хүнд хүрч чадаж байгаа нь эргэлзээтэй.

Блокчэйн технологи нь олон нийтийн санхүүжилтийн итгэлцлийг нэмэгдүүлээд зогсохгүй санхүүжилтийг ил тод байлгах, хөрөнгө оруулалтыг найдвартай бүртгэх олон боломжуудыг бидэнд авчирна. Үүнээс үүдэж олон нийтийн санхүүжилтийн процесст дүн шинжилгээ хийсний дүнд блокчэйн технологийн шийдлийг ашиглаж оролцож байгаа талуудын итгэлцлийг нэмж нийгэмд үр өгөөжтэй инновац бүхий платформ хөгжүүлж болно.

Энэ зорилгод хүрэхийн тулд дараах зорилтуудыг дэвшүүлж байна. Үүнд:

- Блокчэйн технологи түүний бүтэц онцлогийг судлах;
- Ухаалаг гэрээ технологийг судлах;
- Олон нийтийн санхүүжилтийн процессын талаар судлах;
- Блокчэйн технологийг ашигласан олон нийтийн санхүүжилтийн системийг бүтээн хөгжүүлэх;
- Хөгжүүлсэн систем дээр шинжилгээ, дүгнэлт хийх;

II. Судалгаа

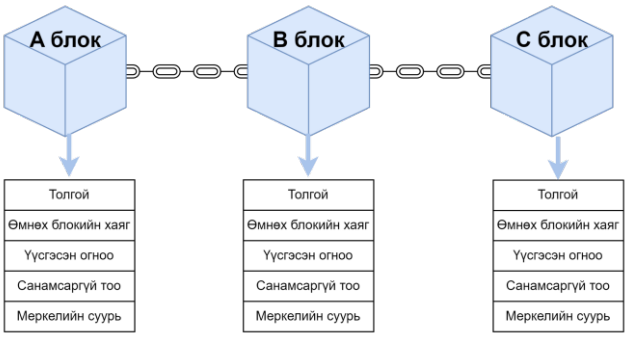
A. Блокчэйн технологи

Блокчэйн гэдэг нь мэдээллийн гинжин хэлхээ юм. Блокчэйнд тогтсон хэмжээтэй блок үүсгэж, үүн дотроо мэдээллийг хадгалах ба эхний блок дүүрэхэд дараагийн шинэ блок үүсдэг [2] (1-р зураг). Эдгээр блок нь хэш функцээр кодлогдох ба блокийг цаг хугацааны дагуу жагсааж, блок тус бүр яг өөрийн өмнөх блокийн мэдээллийг дотроо хадгалах байдлаар гинжин бүтцийг үүсгэнэ.

Блокчэйний нэг блокийн бүтцийг дор тайлбарлая. Үүнд:

- Толгой (Header) - Блокчэйн дэх тодорхой нэг блокийг тодорхойлно.
- Өмнөх блокийн хаяг (Previous block hash) - Гинжин хэлхээний өмнөх блокийн хаягийг хадгална.
- Үүсгэсэн огноо (Timestamp) - Блок үүсгэсэн хугацааг заана.
- Санамсаргүй тоон утга;
- Меркелийн суурь (Merkle root) - Энэ нь өгөгдлийн бүтцийн янз бүрийн блок өгөгдлүүд бөгөөд хэрэглэгчийн гүйлгээг блокт оруулах боломжтой эсэхийг шалгахад ашиглагдана.

Блокчэйн технологийн хамгийн чухал, онцлох давуу тал нь төвлөрсөн бус тархсан бүтэцтэй бөгөөд сүлжээнд байгаа бүх компьютер блокчэйний халдашгүй чанарыг үргэлж баталгаажуулж байдаг. Хэн нэгэн, эсвэл аль нэг компани үүн доторх өгөгдөл, түүний бүрэн бүтэн байдлыг удирдах боломжгүй байдагт байгаа юм.



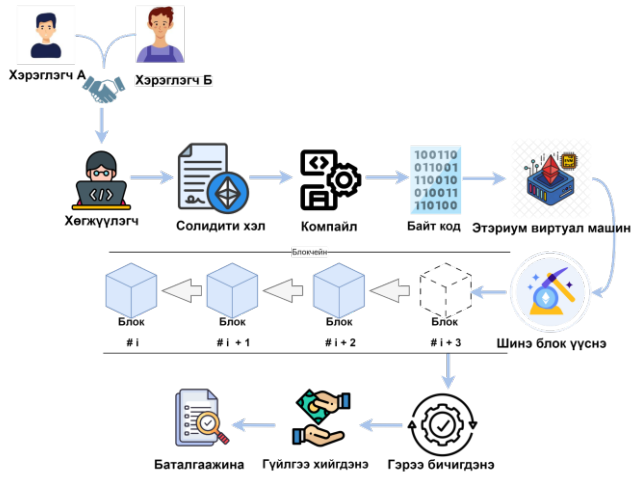
Зураг. 1. Блокчэйн бүтэц [3]

Блокчэйний бүх зангилаа ижил мэдээллийг агуулж байдаг болохоор “А” зангилаан дахь өгөгдөл эвдэрч гэмтвэл блокчэйний хэсэг болж чадахгүй, учир нь В блок нь А блокийн өмнөх хаягийг агуулсан байдагт оршино. Блокчэйн технологийн давуу талуудыг дурдъя. Үүнд:

- Тархмал - Блокчэйн нь уламжлалт төвлөрсөн системээс ялгаатай нь төвлөрсөн бус компьютерын (зангилаа) сүлжээнд ажилладаг. Эдгээр зангилаа нь гүйлгээг баталгаажуулах, бүртгэхийн тулд хамтран ажиллаж, төв байгууллага эсвэл зуучлагчийн хэрэгцээг арилгадаг.
- Хувиршгүй чадамж - Блокчэйнд гүйлгээ нэмсэн тохиолдолд өнөөгийн технологийн хүчин чадлаар өөрчлөх, устгах боломжгүй, маш төвөгтэй байдаг.
- Ил тод байдал -Блокчэйн дээрх бүх гүйлгээ нь сүлжээнд оролцогчдод харагдана. Энэхүү ил тод байдал нь итгэлцэл, хариуцлагыг нэмэгдүүлдэг.

B. Ухаалаг гэрээ

Ухаалаг гэрээ (Smart Contract) гэдэг нь гуравдагч этгээд буюу зуучлагчийн оролцоогүйгээр хэн нэгэнтэй гэрээ хийх боломжийг олгодог.



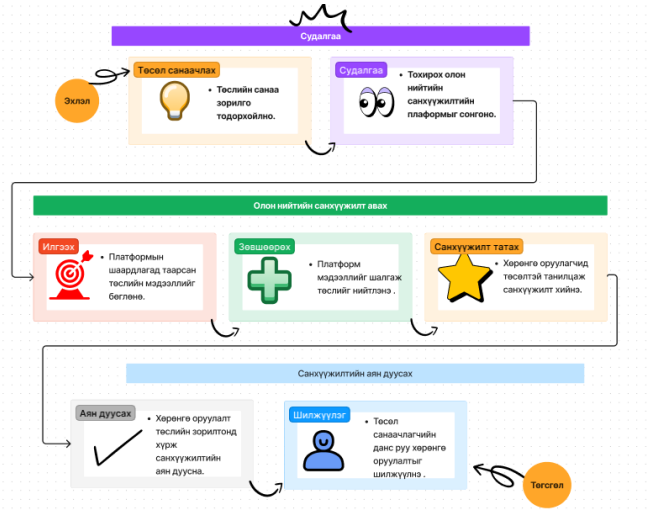
Зураг. 2. Ухаалаг гэрээний систем

Ухаалаг гэрээг тодорхой үйлдлийг хэд хэдэн болзол хангагдсан тохиолдолд гүйцэтгэх боломжтойгоор кодлосон байдаг [4].

2-р зураг харуулсны дагуу ухаалаг гэрээ нь нэг талаас хэрэглэгч А болон Б нар хөгжүүлэгчийн программын хэлээр бичсэн ухаалаг гэрээг ашиглана. Гэрээ нь компайл хийгдэж, байт кодод хөрвүүлэгдэн этэриумын виртуал машинд хадгалагдаж, шинэ этэриум (ethereum) блокчэйн сүлжээнд үүснэ. Амжилттай ажилласнаар гэрээ автоматаар бичигдэж гүйлгээ амжилттай хийгдэнэ.

C. Олон нийтийн санхүүжилт

Олон нийтийн санхүүжилт гэдэг нь санхүүгийн платформыг ашиглаж бизнесийн үйл ажиллагаа, зээл, хандив, бусад санхүүгийн хэрэгцээнд зориулж санхүүжилтийг олон хөрөнгө оруулагчаас татан төвлөрүүлэх, хөрөнгө босгох үйл явц юм.



Зураг. 3. Олон нийтийн санхүүжилтийн процесс

Олон нийтийн санхүүжилтэд (3-р зураг) төсөл санаачлагч өөрсдийн санаа, бизнесийн шийдэл, хөрөнгө оруулалтын зорилтуудыг тодорхойлж тохирсон платформыг сонгож хөрөнгө оруулагчдад төслийг танилцуулна. Хөрөнгө оруулагчид төсөлтэй танилцаж бизнесийн боломж үр өгөөжийг судалж санхүүжилт өгөх эсэхээ шийддэг.

Төслийн хөрөнгө оруулалтын хугацаа дуусах эсвэл хөрөнгө оруулалтын зорилтод хэмжээнд хүрэхэд аян дуусаж платформ нь төсөл санаачлагчийн данс руу хөрөнгө оруулалтыг шилжүүлнэ.

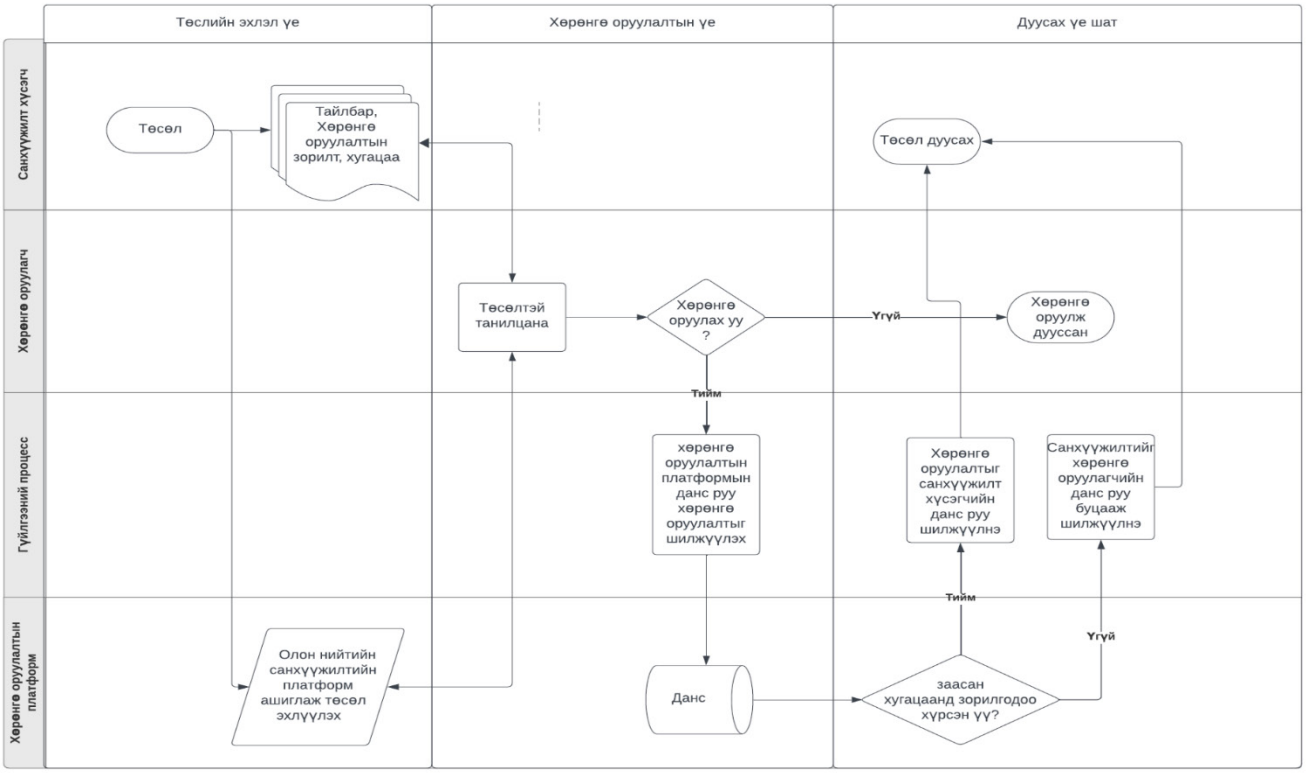
Олон нийтийн санхүүжилтийн үйл явцад гурван давамгайлсан загвар байдаг [5]. Үүнд:

1) Бүгд эсвэл юу ч биш загвар (All-or-Nothing model)

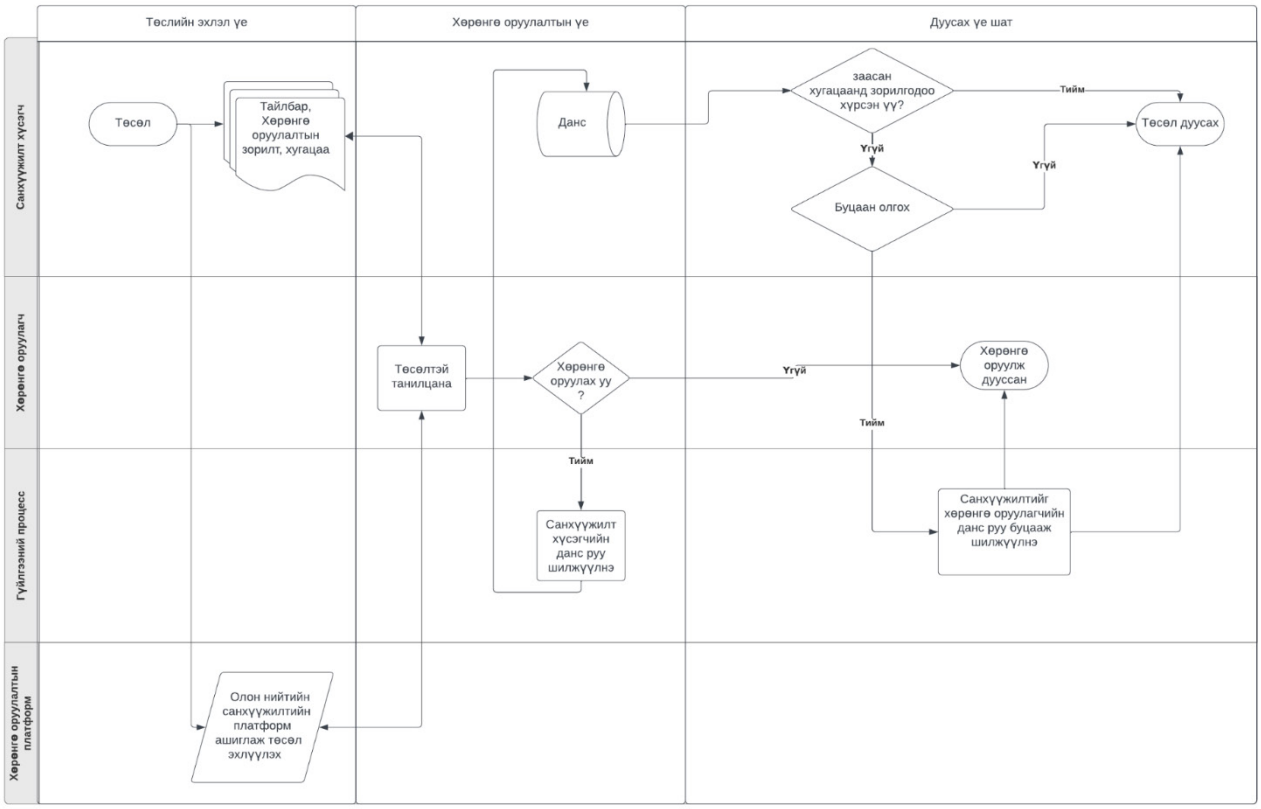
Энэ схем (4-р зураг) нь заасан хугацаанд хөрөнгө оруулалтын хэмжээнд хүрээгүй бол хөрөнгө оруулалтыг буцаан олгодог.

2) Бүгдийг нь ав загвар (Keep-It-All model)

Бүгд эсвэл юу ч биш схемтэй төстэй ч зорилтот санхүүжилтэд хүрээгүй ч төсөл санаачлагч цугларсан хөрөнгө оруулалтыг авах боломжтой (5-р зураг) юм.



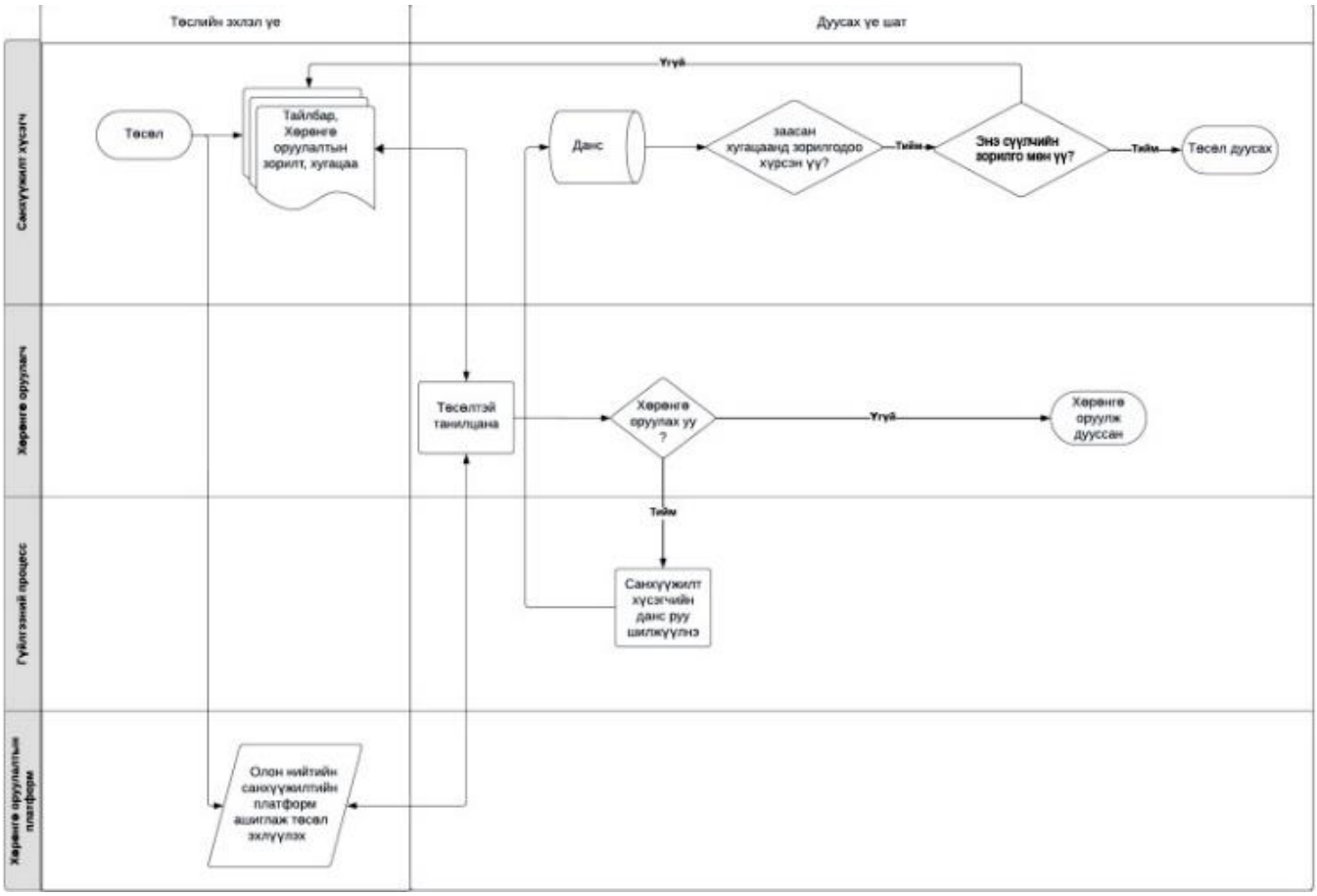
Зураг. 4. Бүгд эсвэл юу ч биш загварын процессын схем [5]



Зураг. 5. Бүгдийг нь ав загварын процессын схем

3) Уртасгах боломжтой загвар (Stretched Goals model)

Энэ схем (6-р зураг) нь заасан хугацаанд санхүүжилт хүрээгүй тохиолдолд төслийн хугацааг уртасгах боломжтой схем юм.



Зураг. 6. Уртасгах боломжтой загварын процессын схем

D. Блокчэйн технологи ашигласан олон нийтийн платформ

Энэхүү олон нийтийн санхүүжилтийн загварын процессын схемүүдэд шинжилгээ хийхэд блокчэйн, ухаалаг гэрээ зэрэг технологиудыг ашиглан банк, дундын зуучлагчид мөн хөрөнгө оруулалт татах процессыг илүү автоматжуулах боломжтой.

Блокчэйн болон ухаалаг гэрээг олон нийтийн санхүүжилтэд ашигласнаар дараах давуу талууд үүсэх боломжтой гэж үзэж байна. Үүнд:

1) Дундын зуучлагчдыг багасгах

Энэхүү санхүүжилтийн хэлбэрт банк эсвэл бусад финтек компаниуд зуучлагч болж байна. Блокчэйний өөрийн онцлог болох хувиршгүй, гүйлгээг засах боломжгүй гэх мэт технологийн чадамжууд нь олон нийтийн санхүүжилтэд ашиглахад нэн тохиромжтой.

2) Олон нийтийн санхүүжилтийн процессыг илүү хялбарчлах

Бүгд эсвэл юу ч биш загварын онцлог нь тодорхой заасан хугацаанд хөрөнгө оруулалт цуглараагүй тохиолдолд хөрөнгө оруулагчийн данс руу буцаан орох процессыг ухаалаг гэрээг хөгжүүлэн автоматжуулах боломжтой.

3) Дэлхийн хаанаас ч санхүүжилт болон хандив илгээхэд саад тулгарахгүй

Хэрэв та хэн нэгэн эсвэл албан байгууллага руу мөнгө шилжүүлэх тохиолдол гарахад олон улсын карт ашиглан шилжүүлэг хийдэг.

Гэвч энэ процесс нь банкны ажиллах өдөр шилжүүлгийн хугацаа гэх мэт олон төвөгтэй асуудалтай тулгардаг. Харин хүлээн авах этэриум сүлжээний санхүүжилт болон хандив авах дансны хаяг руу криптовалют шилжүүлэх боломжтой.

III. Технологийн шийдэл

A. Front-End: ReactJs

Программ хангамжийн салбарт хамгийн өргөнөөр ашиглагдаж байгаа React.js сан ашиглана. React нь лего блоктой адилхан дахин ашиглах боломжтой бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг бий болгосноор программыг илүү хурдан хөгжүүлэх боломжийг олгодог [6]. Ингэхдээ React.js нь Javascript -ийн хурд, үр ашгийг DOM удирдах илүү үр дүнтэй аргатай хослуулж, веб хуудсыг илүү хурдан боловсруулах боломжийг олгодог.

B. Back-End: Firebase

Firebase нь Google-ийн гар утасны болон веб программ хөгжүүлэх цогц платформ бөгөөд бодит цагийн өгөгдлийн сан, нэвтрэлт танилт, үүлэн функц, хостинг гэх мэт функцүүдийг санал болгож, программын хөгжүүлэлт, удирдлагыг хялбаршуулж, сайжруулах боломжийг олгодог.

C. Blockchain: Etherium

Солидити (Solidity) хэл нь блокчэйн дээр ухаалаг гэрээ байгуулах, дизайн хийхэд зориулж этэриум сүлжээнд тусгайлан бүтээсэн объект хандалтат программчлалын хэл юм. Энэхүү хэлийг ашиглан олон нийтийн санхүүжилтийн шийдлийг ухаалаг гэрээнд тусган хөгжүүлэх юм.

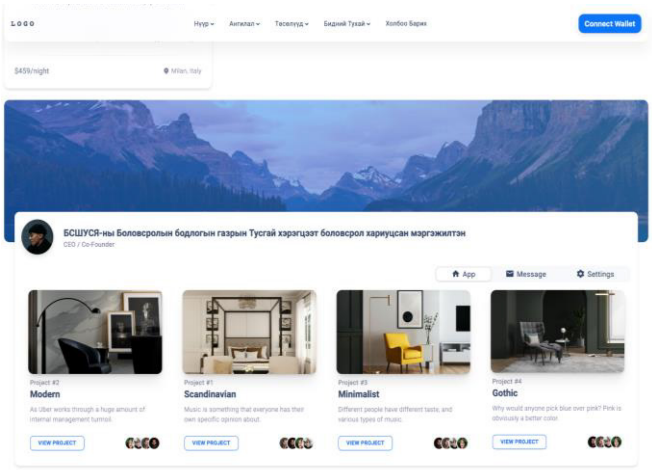
D. Цахим хэтэвч: MetaMask

Метамаск нь Firefox, Google Chrome, Brave эсвэл Edge хөтчүүд эсвэл гар утасны Android эсвэл IOS төхөөрөмжүүдэд зориулсан нэмэлт хэрэгсэл болох криптовалютын этэриум сүлжээнд ажилдаг цахим хэтэвч юм.

IV. Хөгжүүлэлтийн үр дүн

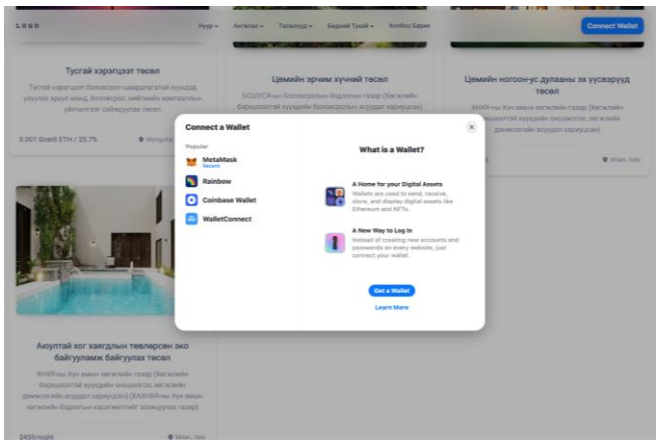
Хэрэглэгч нь (7-р зураг) тухайн платформд хандахад төслийн тухай нүүр хуудас харагдана. Нүүр хуудсанд төслүүдийн ангилал, төслүүд, бидний тухай, холбоо барих мөн цахим хэтэвчтэй холбогдох хэсгүүд нь толгой хэсэгт харагдана.

Бие хэсэгт амжилттай байгаа төслүүд, шинэ төслүүд нь төсөл харах товчтойгоор өөрсдийн мэдээллийг харуулна.



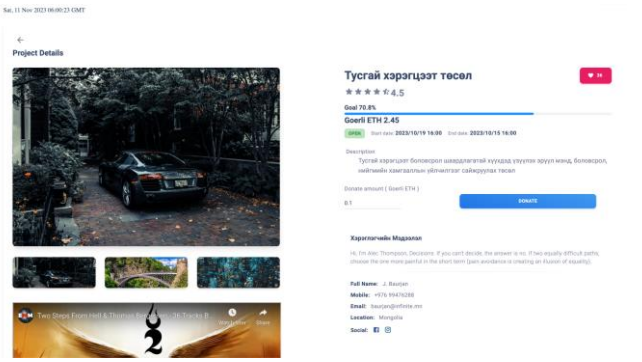
Зураг. 7. Платформын нүүр хэсэг

Цахим хэтэвчинд дарж (8-р зураг) холбогдох боломжтой цахим хэтэвчний мэдээлэл харагдана. Өөрийн цахим хэтэвчийг холбосноор хөрөнгө оруулах боломжтой болно.



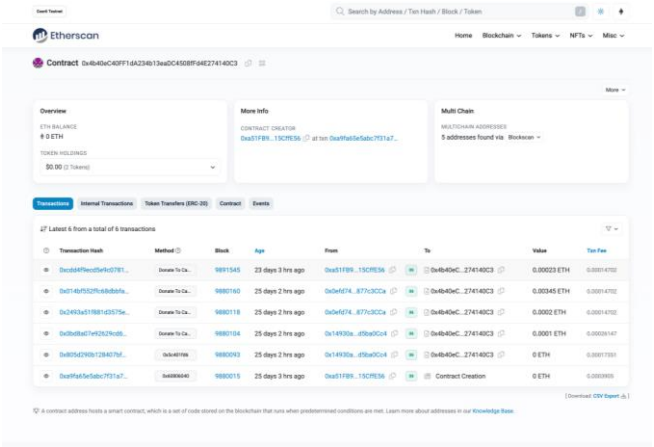
Зураг. 8. Цахим хэтэвчинд дарахад харагдах байдал

Төсөл харах товчинд даран (9-р зураг) төслийн дэлгэрэнгүй мэдээлэл бүхий хуудас харагдана. Энэхүү дэлгэцэнд хөрөнгө татан төвлөрүүлэх аяны санхүүжилт хэдэн хувьтай явж байгаа, төслийн зураг, бичлэг хүлээн авагчийн мэдээлэл харагдана.



Зураг. 9. Үүсгэсэн төслийн дэлгэрэнгүй мэдээллийн харагдах байдал

Төслийн (10-р зураг) Etherscan цахим хуудас (вебсайт) ашиглан этэриум сүлжээнд гүйлгээний ил тод байдлыг шалгах боломжтой.



Зураг. 10. Этэриум гүйлгээний харагдах байдал

V. Дүгнэлт

1. Блокчэйнд суурилсан олон нийтийн санхүүжилтийн платформ нь олон нийтийн санхүүжилтийн ердийн аргуудаас ялгаатай нь хөрөнгө босгоход шинэ бөгөөд инновац бүхий боломжуудыг бидэнд авчирч байна.
2. Эдгээр платформууд нь блокчэйн технологийн өөрчлөгдөшгүй, аюулгүй шинж чанаруудыг ухаалаг гэрээ, цахим хэтэвч зэрэг хэрэгслүүдийн хамт ашигласнаар илүү найдвартай гүйлгээ, залилан мэхлэх магадлалыг бууруулж, төслүүдийг дэлхийн хаанаас ч хөрөнгө оруулах боломжтой болгодог.
3. Бизнесийн оролцогч талуудын итгэлцлийг нэмэгдүүлээд зогсохгүй хөрөнгө оруулалтын процессыг илүү хялбарчилна.
4. Энэ нь олон нийтийн санхүүжилтийг өөрчлөөд зогсохгүй финтек, санхүүгийн салбаруудыг дараачийн түвшинд хүргэх зам болж мэднэ. Гэвч энэ шинэлэг ололт амжилт нь одоогийн бизнесийн байгууллага болон энгийн иргэд ашиглахад хугацаа шаардлагатай байна.

Ашигласан материал

[1] “БЛОКЧЭЙН ТЕХНОЛОГИ БА КРИПТОВАЛЮТЫН СУДАЛГАА,” *Мөнгө, санхүү, баялаг*, vol. 4. pp. 80–101, Jan. 2018

[2] Satoshi Nakomoto. “What is a blockchain”. inReview of Scientific Instruments: (2018)

[3] GeeksforGeeks, “Blockchain structure,” Sanchhaya Education Private Limited, https://www.geeksforgeeks.org/blockchain-structure/ (accessed Feb. 5, 2024).

[4] Christopher D. Clack, Vikram A. Bakshi, and Lee Braine, (2017, March 15). *Smart contract templates: Foundations, design landscape and Research Directions*. arXiv.org. https://arxiv.org/abs/1608.00771

[5] Todor Branzov and Nelly Maneva, (PDF) crowdfunding business models and their use in software product development, https://www.researchgate.net/publication/269698095_Crowdfunding_Business_Models_and_Their_Use_in_Software_Product_Development (accessed Feb. 5, 2024).

[6] “React – a JavaScript library for building user interfaces,” – A JavaScript library for building user interfaces, https://mn.legacy.reactjs.org/ (accessed Feb. 6, 2024).

Агаарын Бохирдол Дахь Цаг Агаарын Нөлөөллийг Эконометрикийн Аргаар Тооцоолох

Г.Ганчимэг
МХТ-ийн Ахисан түвшний салбар
МХТС, ШУТИС
ganaa@must.edu.mn

Э.Жаргал
ЭХМТ-ийн салбар
ДаТС, ШУТИС
jargal@stda.edu.mn

Ч.Мөнхнасан
МХТ-ийн Ахисан түвшний салбар
МХТС, ШУТИС
mnasan@must.edu.mn

***Хураангуй*— Агаарын бохирдол нь дэлхийн олон улсын тулгамдсан асуудлуудын нэг юм. Энэхүү судалгааны ажилд өгөгдлийн шинжилгээний эконометрикийн аргаар цаг агаарын хүчин зүйлсийн агаарын бохирдолд үзүүлэх нөлөөллийг тооцоолж үр дүнг харуулахыг зорьсон. Улаанбаатар хотын сүүлийн 3 жилийн агаарын чанар болон цаг агаарын мэдээний өгөгдлийг ашиглаж корреляцийн шинжилгээгээр цаг хугацааны цувааны их өгөгдлийн хамаарлыг олж, панел загварыг ашиглан хамгийн бага квадратын аргаар туршилтын үр дүнг үнэлсэн. Судалгааны үр дүнд агаарыг бохирдуулагч бодисын хэмжээ цаг агаарын хүчин зүйлсээс хамааралтай буюу агаарын бохирдолд байршил болон салхины хурд хамгийн их нөлөөтэй гэж гарсан.**

***Түлхүүр үг*—Өгөгдөл, шинжилгээ, агаар, бохирдол, эконометрик**

I. Удиртгал

Агаарын бохирдол нь хүрээлэн буй орчноос хүний эрүүл мэндэд нөлөөлж буй хамгийн том эрсдэл юм. Ялангуяа энэ нь маш олон төрлийн эх үүсвэрээс үүсдэг бөгөөд маш өргөн тархсан тул дэлхий дахины тулгамдсан асуудал болдог [1]. Агаарын бохирдолд өртөх эрсдэл нь газарзүйн байрлалаас ихээхэн хамаарч байна. Африк, Ази болон Ойрхи Дорнодын хүмүүс дэлхийн бусад хэсэгт амьдардаг хүмүүсээс илүү өндөр хэмжээний бохирдолтой агаараар амьсгалж байна [2]. Нөгөө талаас агаарын бохирдол нь дэлхийн хэмжээнд тулгамдаж буй асуудал хэдий ч хөгжиж буй орнуудад амьдарч буй хүмүүс, ялангуяа эмэгтэйчүүд, хүүхдүүд болон хамгийн эмзэг бүлгийнхэнд ихээр нөлөөлж байна. Амьсгалах бүртээ бид уушиг, зүрх, тархийг гэмтээж, эрүүл мэндийн олон асуудал үүсгэж болох жижиг хэсгүүдийг сорж авдаг. Эдгээр тоосонцороос тортог, хөрсний тоос, сульфат зэрэг юу ч байж болох хамгийн аюултай нь PM2.5 гэж товчилсон 2.5 микрон ба түүнээс бага диаметртэй нарийн ширхэгтэй тоосонцор юм [1-2].

Монгол улсын нутаг дэвсгэр нь гадаад тэнгисээс алслагдсан, Евразийн эх газрын төв хэсэгт бүх талаараа өндөр уулсаар хүрээлэгдсэн, далайн түвшнээс дунджаар нэг хагас километрын өндөрт өргөгдсөн байдаг тул эх газрын эрс тэс уур амьсгалтай. Монгол орны жилийн өвлийн дундаж температур -10°...-30°C (14°...22°F) [3]. Иймд Монгол орны ихэнх нутгаар өвөлдөө түүхий түлш түлдэг. Түүнчлэн Монгол улсын нийт хүн амын бараг тал хувь нь оршин суудаг Улаанбаатар хот нь дэлхийн хамгийн агаарын бохирдол ихтэй нийслэл хотуудын нэгд ордог [4].

Түүнчлэн манай улсын хувьд агаарын бохирдолд хүний үйл ажиллагааны нөлөөллийн талаар судалгааг эрчимтэй явуулж, засгийн газраас агаарын бохирдлыг бууруулах талаар шат дараатай арга хэмжээ авч байгаа боловч нийслэл хотын агаар дахь PM10, PM2.5 тоосонцорууд, SO2 хүхрийн давхар исэл, CO нүүрстөрөгчийн дутуу ислийн хэмжээ орчны бохирдол Дэлхийн Эрүүл Мэндийн Байгууллага (ДЭМБ) болон Монгол Улсад мөрддөг агаарын чанарын стандартаас илүү хэвээр байна [5]. 2024 оны 2-р сарын 20-ны байдлаар Улаанбаатар хот утааны бохирдол ихтэй дэлхийн 122 хотоос 8 дугаар байр, 2024 оны 4 сарын 20 өдрийн байдлаар 40 дүгээр байрт тус тус жагссан байна [6]. Гэхдээ өвлийн улиралд 12 сараас 1 сарын хооронд агаарын чанар маш муу бараг эхний гурван байрт Улаанбаатар хот жагсаж байсан тохиолдлууд гарч байсан.



Зураг 1. Улаанбаатар хотын агаарын бохирдол [6]

Манай улсын агаарын бохирдлын гол эх үүсвэр нь гэр хорооллын айл өрхүүдийн яндангийн утаа болон аж ахуйн нэгжүүдийн халаалтын зуухны яндангийн утаа 80 орчим хувь эзэлдэг бол тээврийн хэрэгслийн яндангийн утаа 10 хувь, дулааны цахилгаан станцын яндангийн утаа 6 хувь эзэлдэг байна. Улаанбаатар хотын нийт хүн амын 60 гаруй хувь гэр хороололд амьдарч байна [5]. Жилийн хамгийн хүйтэн сарууд болох 12 сард PM2.5 бохирдлын өдрийн дундаж шоо метрт 687 микрограм хүрч байгаа нь ДЭМБ-ын зөвлөж буй аюулгүй төвшнөөс 27 дахин их байна [4, 7].

Олон улсын цаг агаарын хүчин зүйлс агаарын бохирдолд хэрхэн нөлөөлж байгаа талаар хийгдсэн судалгаануудаас салхины хурд, агаарын чийгшил агаарын бохирдолд, ялангуяа тоосонцорын хэмжээнд нөлөөлж байна [8], агаарын бохирдлыг үр дүнтэй хянахын тулд урт хугацааны өдөр тутмын буюу бодит цагийн мэдээлэлд үндэслэн агаарын бохирдол, цаг уурын нөхцөл байдлын хоорондын хамаарлыг илрүүлэх нь цаашид зайлшгүй шаардлагатай байна [9] гэсэн дүгнэлтүүд гарсан байна. Агаарын чанарыг тодорхойлох уламжлалт аргууд нь

математик, статистикийн аргуудыг ашигладаг [10]. Эдгээр аргууд нь хэд хэдэн сул талуудтай ба машин сургалт, их өгөгдөл түүнийг боловсруулах арга техникүүдийг ашиглах нь илүү нарийвчилсан тооцоолол хийх боломжийг олгоно [11]. Мөн агаарын бохирдлыг бууруулах бусад арга замуудыг судалж тодорхойлоход компьютерын ухаан, их өгөгдлийн боловсруулалтыг ашиглах зайлшгүй шаардлагатай юм. Иймээс Улаанбаатар хотын агаарын бохирдолд цаг агаарын хүчин зүйлсийн нөлөөлөх нөлөөлөл ямар хэмжээтэй байгааг өгөгдлийн шинжилгээний эконометрикийн аргаар тооцоолсон. Тус судалгаанд 2021 оны 1 сарын 1-ээс 2024 оны 1 сарын 1 хүртэлх Улаанбаатар хотын цаг агаарын бохирдлын хэмжилтийн боловсруулаагүй утгуудыг ЦУОШГ-аас авсан ба мөн *http://agaar.mn/index* хаягаас гараар түүвэрлэн авсан дата дээр туршилтуудыг хийсэн.

II. Судалгааны хэсэг

БНХАУ, Африк, БНЭ улсуудад хийгдсэн ижил төстэй судалгаанууд хийгдсэн байгаагийн Дели хот болон Баруун Африкд хийсэн судалгаа нь цаг агаарын хүчин зүйлүүдээс агаарын чийгшил болон температурыг сонгон авч хамаарлыг тодорхойлсон бол цаг агаарын хувьд манай оронтой илүү төстэй БНХАУ-д хийгдсэн судалгаа нь салхины хурд, агаарын температур, агаарын даралт, хурт тундас, агаарын чийгшил гэсэн 5 хүчин зүйлийн агаарын бохирдолд үзүүлэх нөлөөллийг тооцоолсон байна.

Эдгээр судалгаанууд нь тооцооллоо хийхдээ корреляцийн болон регрессийн шинжилгээг ашигласан байна.

Иймээс бид өгөгдлийн ухааны тоон шинжилгээ, статистикийн ухааны эконометрикийн шинжилгээний гол аргын нэг болох сонгодог шугаман регрессийн шинжилгээг, корреляцийн шинжилгээнд тулгуурлан Stata программын өгөгдлийн шинжилгээний хэрэгслийг ашиглан агаарын бохирдолд нөлөөлөх цаг агаарын хүчин зүйлийн нөлөөллийг тооцон гаргав. Тухайн шинжилгээгээр гарсан үр дүнг илүү нягтлан баталгаажуулахын тулд панел загварыг боловсруулан хамгийн бага квадратын аргыг ашигласан. Шинжилгээний үр дүнгийн дүрслэлийг Polymersearch цахим флатформын хэрэгслүүдийг ашиглан харуулав.

A. Судалгаанд ашигласан материал

Улаанбаатар хотод нийт 21 цэгт 10 минут тутамд агаараас дээж авч агаарын чанарын индексийг цаг тутамд тодорхойлдог боловч судалгаанд ашиглахаар сонгон авсан 2 цэгээс бусад цэгүүдийн өгөгдөл тасалдал ихтэй, бүрэн бус байсан. Бохир их өгөгдөлд шинжилгээ хийвэл буруу үр дүн гарч болзошгүй тул [12], өгөгдлийг урьдчилан бэлтгэх аргуудын дагуу цэвэрлэж, нэгтгэн багасгасан. Энэхүү судалгаанд 2021.01.01-2023.12.31 хүртэлх нийт 1095 өдрийн Хайлааст, Богд хааны музей орчмын агаарын бохирдлын дээж авах цэгийн агаарын чанарын мэдээ *(NO2-азотын давхар исэл, PM10-тоосонцор, CO-нүүрстөрөгчийн дутуу исэл, SO2-хүхрийн давхар исэл)*, болон Улаанбаатар хот орчмын цаг агаарын мэдээг *(температур, хур тунадас, салхины чиглэл, салхины хурд, үүлэрхэг, агаарын чийгшил)* ашиглав.

B. Судалгааны аргачлал

Агаарын чанарын мэдээ цаг тутамд гардаг бол цаг агаарын мэдээ өдөр тутамд гардаг тул шинжилгээг хийхийн тулд 24 цагийн агаарын чанарын мэдээг дундажлан өдөр бүрийн үзүүлэлтүүдийг гаргасан. Корреляц болон автокорреляцийн шинжилгээ нь цаг хугацааны цувааны тоон өгөгдлийн хувьсагчдын хоорондын хамаарлыг хэмжих хамгийн тохиромжтой өгөгдлийн шинжилгээний хэрэгсэл юм [13-14].

Агаарын бохирдолд нөлөөлөх хүчин зүйлсийг дараах үзүүлэлтүүдээр гаргав. *Үүнд:*

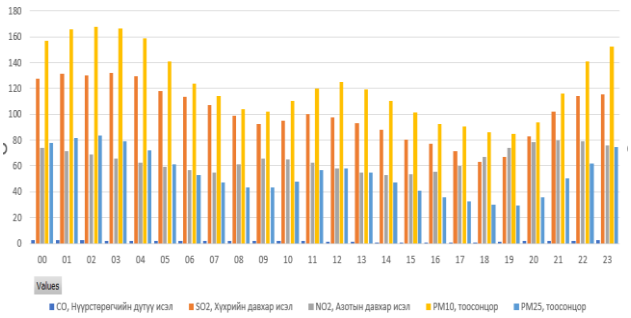
- *Байршил*
- *Температур*
- *Хур тунадас*
- *Салхины хурд*
- *Салхины чиглэл*
- *Үүлэрхэг*
- *Агаарын чийгшил*

Хүснэгт 1.Шинжилгээнд ашигласан хувьсагчид

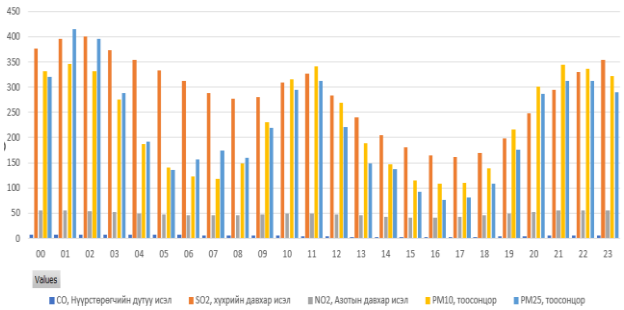
№	Хувьсагчид	Нэр
1	CO	Нүүрстөрөгчийн дутуу исэл
2	NO2	Азотын давхар исэл
3	PM10	Тоосонцор
4	SO2	Хүхрийн давхар исэл
5	Loc	Байршил (1=Хайлааст, 0=Богдын музей)*
6	TEM	Температур
7	PRE	Хур тунадас
8	WS	Салхины хурд
9	WD	Салхины чиглэл
10	CF	Үүлэрхэг
11	RH	Агаарын чийгшил

III. Судалгааны ажлын үр дүн

Улаанбаатар хотын сүүлийн 3 жилийн агаарын бохирдлын хэмжээг харьцуулж үзэхэд 1 дүгээр сард агаарын бохирдол хамгийн их бөгөөд гэр хорооллолд байшин хорооллоос 1.2-2.3 дахин их бохирдолтой байсан. Өвлийн улиралд тоосонцорын хэмжээ байршлаас хамаарахгүйгээр маш өндөр байна. 1-ээс 4 дүгээр зургуудад судалгаанд ашигласан байршлуудын агаарын чанарын индексийг сар болон цагаар үзүүлсэн.

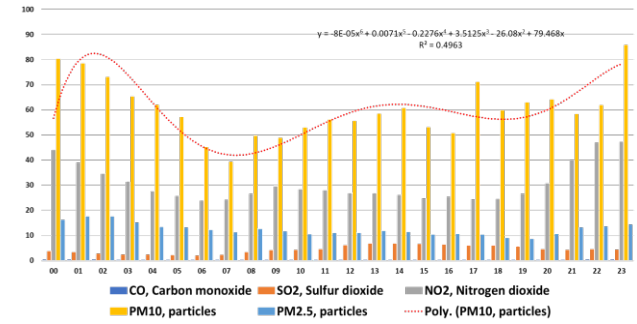


Зураг 1. Богд хааны музей орчмын агаарын чанарын индекс, 1 дүгээр сард, цагаар

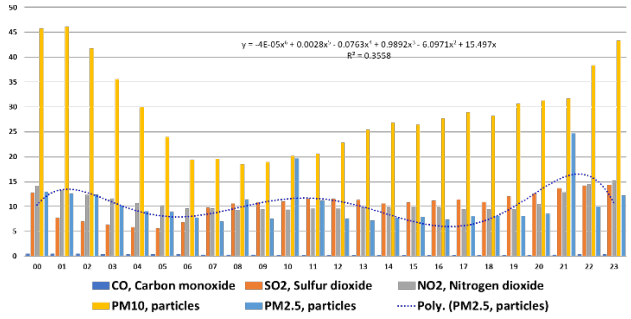


Зураг 2. Хайлааст орчмын агаарын чанарын индекс, 1 дүгээр сард, цагаар

Жилийн хамгийн бага агаарын бохирдолтой 6 ба 7 дугаар саруудад байршлаас шалтгаалан байшин хороололд PM2.5, PM10 тоосжилтын хэмжээ гэр хорооллоос илүү өндөр байна.



Зураг 3. Богд хааны музей орчмын агаарын чанарын индекс, 6 дугаар сард, цагаар



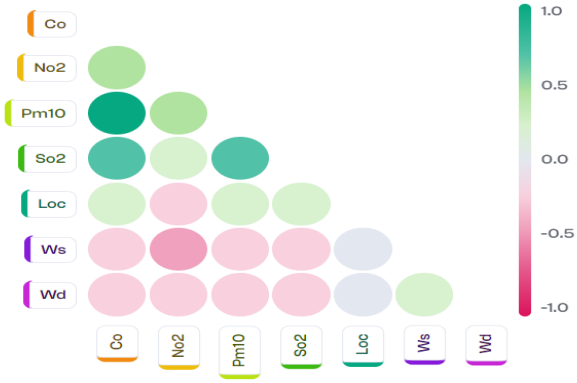
Зураг 4. Хайлааст орчмын агаарын чанарын индекс, 6 дугаар сард, цагаар

Харин улирлаас шалтгаалахгүйгээр гэр хороололд хүхрийн давхар ислийн хэмжээ өндөр, байшин хороололд азотын давхар исэл өндөр байна. Хоногийн 24 цагийн хувьд байршил болон улирлаас хамаарахгүйгээр 15-18 цагийн хооронд агаар хамгийн бохирдол хамгийн багатай байна. Агаарын бохирдлыг тодорхойлох хувьсагчдын хоорондын хамаарлыг корреляцийн шинжилгээгээр олж 2 дугаар хүснэгтэд үзүүлсэн.

Хүснэгт 2. Агаарын бохирдлыг тодорхойлох хувьсагчид хоорондын хамаарал

	CO	NO2	PM10	SO2
loc	0.489	-0.27	0.354	0.305
TEM	-0.545	-0.671	-0.518	-0.472
PRE	-0.169	-0.237	-0.2	-0.112
WS	-0.432	-0.59	-0.439	-0.352
WD	-0.368	-0.468	0.397	-0.306
CF	-0.43	-0.566	-0.47	-0.319
RH	0.099	0.087	-0.0007	0.099

2 дугаар хүснэгтээс харахад Хайлаастад CO-нүүрстөрөгчийн дутуу исэл, PM10-тоосонцор, SO2-хүхрийн давхар исэл нь байршилтай дунд зэргийн хамааралтай бол Богд хааны музей орчимд NO2-азотын давхар исэл нь байршлын хувьд сул хамааралтай байна.



Зураг 5. Агаарын бохирдлыг тодорхойлох хувьсагчид хоорондын хамаарал

NO2-азотын давхар исэл, PM10-тоосонцор, CO-нүүрстөрөгчийн дутуу исэл, SO2-хүхрийн давхар исэл нь агаарын температур болон салхины хурд болон чиглэл, үүлэрхэг байдалтай дунд зэргийн урвуу хамааралтай бол агаарын чийгшил болон хур тунадастай сул хамааралтай байна. Иймд хамаарлыг тодорхойлох аргыг дахин тодорхойлсон. Хувьсагчдын хоорондын хамаарлыг тодорхойлохдоо нэгтгэсэн панел загварыг ашиглан хамгийн бага квадратын аргаар бодоход дараах үр дүн гарсан. *Үүнд*:

$$CO = 18.287 + 1.628 \cdot Loc - 0.045 \cdot TEM + 0.012 \cdot PRE - 0.095 \cdot WS - 0.005 \cdot WD - 0.068 \cdot CF - 0.007 \cdot RH \quad (1)$$

$$NO2 = 69.280 - 8.125 \cdot Loc - 0.480 \cdot TEM + 0.124 \cdot PRE - 1.584 \cdot WS - 0.049 \cdot WD - 0.714 \cdot CF - 0.137 \cdot RH \quad (2)$$

$$PM10 = 206.802 + 48.522 \cdot Loc - 1.727 \cdot TEM + 0.434 \cdot PRE - 4.736 \cdot WS - 0.230 \cdot WD - 3.066 \cdot CF - 0.777 \cdot RH \quad (3)$$

$$SO2 = 140.560 + 51.077 \cdot Loc - 0.249 \cdot TEM + 1.264 \cdot PRE - 4.419 \cdot WS - 0.230 \cdot WD - 0.388 \cdot CF - 0.448 \cdot RH \quad (4)$$

Хүснэгт 3. Хамгийн бага квадратын аргаар бодсон хувьсагчдын хоорондын хамаарал

Хувьсагчид	CO	NO2	PM10	SO2
loc	1.628	-8.125	48.522	51.077
TEM	-0.045	-0.480	-1.727	-0.249
PRE	0.012*	0.124*	0.434*	1.264
WS	-0.095	-1.584	-4.736	-4.419
WD	-0.005	-0.049	-0.230	-0.195
CF	-0.068	-0.714	-3.066	-0.388*
RH	-0.007	-0.137	-0.777	-0.448
Тогтмол параметр	18.287	69.280	206.802	140.560

Ажиглалтын тоо	2190	2190	2190	2189
R^2	0.605	0.673	0.510	0.353

*Эх: * 95 хувийн ач холбогдолын түвшингээр үнэлэхэд итгэлгүй гарсан.*

Туршилтын үр дүнгээс 4 регрессийн загвар ач холбогдолтой гарсан ба агаарыг бохирдуулагч бодисын хэмжээ цаг агаарын нөхцөл байдлаас хамаарч байгаа нь харагдаж байна. Хур тунадасны хэмжээний үзүүлэх нөлөө бараг байхгүй байна. Хамгийн их нөлөө үзүүлж байгаа нь байршил болон салхины чиглэл болох нь харагдаж байна.

Түүнчлэн агаарын бохирдолтой холбоотой хувьсагчдыг цаг агаар, замын хөдөлгөөн, агаарын бохирдуулагч зэрэг бусад хүчин зүйлсийг давхар тооцож үзэх хэрэгтэй. Мөн өөрөө ашигладаг автомашин, скутеруудын тоо эрс нэмэгдэж, замын хөдөлгөөний агаарын бохирдол нь нийт агаарын бохирдлын гол бүрэлдэхүүн хэсэг болж байгааг судалгаагаар тогтоожээ [15]. Автомашинаас ялгарах хийн CO, NOx, SO2 нь PM2.5 үзүүлэлтийн чухал эх үүсвэр юм [16]. Иймд манай орны хувьд дулааны улиралд өөрөө ашиглах тээврийн хэрэгслийн тоо нэмэгдсэн нь дулааны улиралд PM2.5 тоосонцорын агууламж нэмэгдэх нэг шалтгаан гэж үзэж байна [17-20]. Мөн агаарын түвшинг урьдчилан таамаглахын тулд өдрийн дундаж хөдөлгөөн (AADT), замын хэсэг бүрийн нүүрстөрөгчийн дутуу ислийн ялгарал болон бусад хувьсагчдыг нэгтгэж хамтад нь тооцож үзэх чухал юм [21].

Дүгнэлт

Манай улсад тулгараад байгаа хамгийн гол асуудлуудын нэг бол агаарын бохирдлыг бууруулах замаар хот суурин газарт амьдрах таатай нөхцөлийг бүрдүүлэх явдал болоод байна. Дэлхийн хүн амын 92 гаруй хувь нь агаарын чанарын түвшин хэвийн хэмжээнээс давсан газарт амьдардаг [1]. Иймээс агаарын бохирдолд нөлөөлөх хүчин зүйлс болон бохирдлыг бууруулах бүх төрлийн арга замуудыг судлах шаардлагатай байна.

Энэхүү судалгааны ажлаар Улаанбаатар хотын хувьд цаг агаарын хүчин зүйлс агаарын бохирдолд хэрхэн нөлөөлж байгааг судалсан. Их өгөгдөлд хийсэн шинжилгээний туршилтын үр дүнд дараах дүгнэлтүүдийг гаргасан. *Үүнд:*

- Агаарын бохирдолд хамгийн их нөлөөлж байгаа цаг агаарын хүчин зүйлс нь байршил болон салхины чиглэл байна.
- Агаарын тоосжилт PM10 тоосонцорын хэмжээ зуны улиралд ч өндөр байна.
- Цаашид их өгөгдлийн цэвэрлэгээний аргуудыг ашиглан түүхий өгөгдлийн чанарыг сайжруулах

Их хэмжээний өгөгдөлд чухал хэрэгцээт утгууд нуугдаж байдаг ба тэдгээр нь зөвхөн маш анхааралтай хийсэн олборлолт, шинжилгээний үр дүнд гарч ирэх боломжтой байдаг тул бид үргэлжлүүлэн өгөгдлийн олборлолт, шинжилгээг нарийвчлан хийж, автозамын түгжрэлийн мэдээтэй утааны бохирдлын мэдээг харьцуулан судлахыг зорьсон ба дараагийн судалгааны ажлын үр дүнгээр танилцуулна.

Ном зүй

[1] Gabriele Battista, Roberto De Lieto Vollaro. “Correlation between air pollution and weather data in urban areas: Assessment of the city of Rome (Italy) as spatially and temporally independent regarding pollutants” Atmospheric Environment, Vol 165, September 2017, pages 240-247

[2] World Health Organization. (2016). Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease.

[3] http://w.tsag-agaar.gov.mn/atmosphere

[4] https://www.nogoonhutuch.mn/a/179

[5] “Improving air quality in Ulaanbaatar”. ADB Briefs, No 229, November 2022.

[6] https://www.iqair.com/world-air-quality-ranking

[7] https://audit.mn/archive/wp-content/uploads/2018/10/tsewer-agaar-san.pdf

[8] https://aqicn.org/city/ulaanbaatar

[9] “Influence of Temperature and Relative Humidity on PM2.5 Concentration over Delhi”, MAPAN-journal of Metrology Society of Indiia, 38(3), September 2023, page 759-769

[10] Yansui Liu, Yang Zhou, Jiaxin Lu. “Exploring the relationship between air pollution and meteorological conditions in China under environmental governance”, Scientific Reports (2020) 10:14518.

[11] Gaganjot Kaur, Jerry Gao, Sen Chiao, Shengqiang Lu, Gang Xie. “Air Quality Prediction: Big data and Machine Learning Approaches”, 5th International Conference on Sustainable Environment and Agriculture, Vol 1, October 2017

[12] Fakhitah Ridzuan, Wan Mohd Nazmee Wan Zainon. “A Review on Data Cleansing Methods for Big Data”, Procedia Computer Science 161(2019), page 731-738.

[13] Obuks.A.E, Olakekan.S.O, Majeed.O, Oyegoke.T.B, Nwabueze.E, Adegboyega.S, Olumide.A. “Modelling and Forecasting Temporal PM2.5 Concentration Using Ensemble Machine Learning Methods”, Buildings 2022, 12(1), 46.

[14] K Saritha, Sajimon Abraham. “Prediction with partitioning: Big data analytics using regression techniques”, 2017 International Conference on Network&Advances in Computational Technologies(NetACT), October 2017, ISBN:978-1-5090-6590-5.

[15] 38. Dong M., Yang D., Kuang Y., He D., Erdal S., Kenski D. PM2.5 concentration prediction using hidden semi-Markov model-based times series data mining. Expert Syst. Appl. 2009; 36:9046–9055. doi: 10.1016/j.eswa.2008.12.017.

[16] 39. Pan L., Yao E., Yang Y. Impact analysis of traffic-related air pollution based on real-time traffic and basic meteorological information. J. Environ. Manag. 2016; 183:510–520. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.09.010.

[17] 40. Xu B., Luo L., Lin B. A dynamic analysis of air pollution emissions in China: Evidence from nonparametric additive regression models. Ecol. Indic. 2016; 63:346–358. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.11.012.

[18] 41. Du L., Wei C., Cai S. Economic development and carbon dioxide emissions in China: Provincial panel data analysis. China Econ. Rev. 2012; 23:371–384. doi: 10.1016/j.chieco.2012.02.004.

[19] 42. Dhyani R., Sharma N., Maity A.K. Prediction of PM2.5 along urban highway corridor under mixed traffic conditions using CALINE4 model. J. Environ. Manag. 2017; 198:24–32. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.04.041.

[20] 43. Kwiecień J., Szopińska K. Mapping Carbon Monoxide Pollution of Residential Areas in a Polish City. Remote Sens. 2020; 12:2885. doi: 10.3390/rs12182885.

[21] 44. Walsh M.P. PM2.5: Global progress in controlling the motor vehicle contribution. Front. Environ. Sci. Eng. 2014; 8:1–17. doi: 10.1007/s11783-014-0634-4.

Ажлын Байр Санал Болгох Систем

Ноостын Гэрэлчулуун, Мөнхжаргалын Золжаргал*, Баянмөнхийн Наранбат
МКУТ, МТЭС, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс
n.chogii@gmail.com, zoljargal@num.edu.mn, naranbat@num.edu.mn

***Хураангуй*— Судалгааны ажлаар ажил олгогч болон ажил горилогчийн мэдээллийг ажлын зар болон анкетаас задлаж тухайн ажил олгогчид тохирох ажил горилогчийг олж санал болгох, нөгөө талаас ажил горилогчид хамгийн тохирох ажлын байрыг санал болгож чадах загварыг машин сургалт болон хайлтын алгоритмуудыг ашиглан бий болгох зорилго тавин ажиллалаа.**

Түлхүүр үг—Машин сургалт, санал болгох систем

I. Удиртгал

Инхэнхи ажил олгогчид хүн хөлслөх, хайх үйл ажиллагаагаа илүү хялбар, зардал багатайгаар шийдвэрлэхийн тулд онлайн платформуудыг ашиглан ажлын байрны зарууддаа байршуулах шийдлүүдийг ашиглаж байна. Эдгээр платформуудыг ашигласанаар ажил горилогчид өөрт таарсан ажлын байрыг цаг хугацаа алдалгүй хурдан шуурхай олох боломжтой болсон байна. Хэдийгээр ийм төрлийн платформууд их байгаа хэдий ч ажил горилогч болон ажил олгогчдыг хооронд нь зөв холбох, хэдэн мянган ажил горилогч болон ажлын зар дотроос өөрт тохирохыг хайж олох нь төвөгтэй байдал үүсгэж байна.

Санал болгох систем нь ямар нэг бүтээгдэхүүн үйлчилгээг сонгоход тусалдаг систем юм. Өөрөөр хэлбэл хэрэглэгчдийн сонголтыг урдны худалдан авалтын түүх эсвэл худалдан авалтын зан төлөв дээр үндэслэн ойлгож, түүн дээрээ суурьлан дараагийн худалдан авалтын бүтээгдэхүүнийг автоматаар санал болгодог системийг хэлнэ. Уг системийн давуу талуудыг энтертейнмент үйлдвэрлэлд маш ихээр ашиглаж ирсэн. Явандаа уг сисмтемийг онлайн худалдаа, онлайн мэдээ, ажилтан сонгон шалгаруулалт зэрэгт ашиглаж эхэлсэн. Жишээлбэл: Netflix-ийн хэрэглэгчдийн 20% нь хайлтаар буюу өөрийн сонирхсон зүйлийг хайж, олж үздэг. Харин 80% хувь нь санал болгох системээр гарч ирсэн видео үздэг гэсэн мэдээллийг нийтэлсэн байдаг.

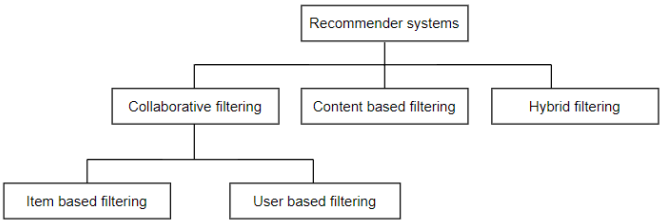
Санал болгох системийг арга нь хамтарсан болон агуулгад суурилсан гэж хоёр ангилагддаг ба машин сургалтын сонгодог аргачлал, алгоритмуудаар хэрэгжүүлдэг. Харин ямар алгоритм сонгох нь өгөгдлийн онцлог, хэмжээ болон эдийн засгийн үр ашгаас хамаардаг. Уг судалгааны ажлаар ажлын зар, ажил горилогчийн үзсэн түүхэн өгөгдөл, түүний хэмжээнд үндэслэн PCA аргыг ашигласан.

Бид гүн сургалтын аргыг ашиглах оролдлого хийсэн ч одоо байгаа бодит системийн өгөгдөл уг аргад тийм ч хангалттай хэмжээний биш байна.

II. Санал болгох систем

Уламжлалт санал болгох системд ашиглагддаг үндсэн гурван арга байдаг. Энэ нь Content based recommendation system (CBF) [1, 2], collaborative filtering-based recommendation (CF) [1], hybrid filtering [3] технологиуд юм.

Content-based filtering арга нь хэрэглэгчийн тухай мэдээлэлд суурилдаг бөгөөд үүн дээрээ үндэслэн ижил төстэй агуулагыг хүмүүсд санал болгодог. Collaborative filtering арга нь ижил төстэй хэрэглэгчид ижил төстэй сонирхолтой байх магадлалтай тул нэг хэрэглэгчийн түүхийг нөгөө хэрэглэгчид санал болгодог [5, 6].



Зураг 1. Санал болгох системийн ангилал

Collaborative filtering нь хоёр ангилагддаг: Item-based болон User based гэсэн төрлүүд байна. Item-based арга нь хэрэглэгчтэй холбоотой худалдан авалт, сонирхсон зүйлүүд болон бусад зүйлүүдийн ижил байдлыг тооцоолон бодож, санал болгдог. User based арга нь хэрэглэгчид дээр суурилах ба хэрэглэгчдийн ижил төстэй байдлыг тооцоолдог.

Hybrid арга нь олон санал болгох алгоритмүүдийг илүү сайн үр дүн үзүүлэхийн тулд ашигласан байдаг [7,3].

III. Асуудал (Problem Statement)

Монголд зуучлагч системүүдээс ажил горилогч түлхүүр үг, ажлын нэр эсвэл компаний нэрээр хайж өөрт хэрэгтэй ажлын зарыг хардаг. Тэдгээрээс worki, nito.one ситемүүд нь санал болгох алгоритм арга техникүүдийг ашигладаг гэж танилцуулсан байдаг.

Ажил горилогч уг системд өөрийн профайлыг үүсгэж сонирхсон ажлын байр луу өөрийн дэлгэрэнгүй танилцуулгаа (CV) илгээдэг байсан уламжлалт аргыг өөрчлөх хэрэгцээ байна. Тухайн хүний ажлын туршлага, чадвар, сонирхол мөн төгссөн сургууль зэрэг мэдээллийг задлаж улмаар вектор луу хөрвүүлэн, ажлын байртай дүйцүүлэх замаар хайлтын болон машин сургалтын арга техникүүдийг ашиглан автомараар санал болгох үйл явцыг шийдвэрлэхээр зорилоо. Нөгөө талаас ажил олгогчид тухайн зарласан ажлын байранд хамгийн

тохиромжтой горилогчийг санал болгох хэрэгцээ шаардлага их байдаг. Үүний тулд дараах хоёр бүлэг асуудлыг шийдвэрлэх шаардлагатай:

1. Ажил горилогч болон ажлын байр хоёрын хамаарлыг илтгэсэн оноо тооцоолох:
   - Ажилтны өөрийнхөө тухай бичсэн бичвэрээс мэдээлэл задлах: ажлын салбар (industry), зан төлөв (behavior), ур чадвар (skill), туршлага (experience);
   - Ажил олгогчийн ажлын байрны шаардлага бичсэн бичвэрээс мэдээлэл задлах: ур чадвар (skill), туршлага (experience);
   - Ур чадваруудыг ангилах, бүтэцлэх, холбоо хамаарлыг тогтоох;
   - Cold start problem: Системд түүхгүй хэрэглэгчид юу санал болгох?
2. Ажил горилогч хоорондын төсөөтэй байдлыг илтгэсэн оноо тооцоолох;
3. Ажлын зар хоорондын төсөөтэй байдлыг илэрхийлэх оноо тооцоолох;
4. Системийн шаардлага:
   - 40 мянган ажил горилогч, 10 мянган ажлын байр тус бүр оноо тооцож тухай бүрд хурдтай хайлт хийж үзүүлэх (40k * 10k бодолт).

Олон ажлын байраас өөрт тохирох ажлын байрыг шүүлтүүрээр хэрэглэгч хайж олох шаардлага байдаг. Тухайлбал цалингийн дээд доод хэмжээ, ажиллах цагийн хуваарь зэргийг өгөгдлийн сангийн асуулгаар хялбар хайж хэрэглэгчид үзүүлнэ. Ингэж хайлт хийсний үр дүнд гарч ирэх олон үр дүнг тухайн хэрэглэгчид хамгийн тохирохоор нь эрэмбэлж харуулах нь энэ ажлын үндсэн зорилго юм. Уг шаардлагыг хангахын тулд бид шүүлтүүр болон машин сургалт хосолсон загвар боловсруулах хэрэгтэй болсон.

Ажил горилогчид тохирох ажлын байрыг санал болгосны үр дүнд уг ажилын байр яг тохиромжтой байсан эсэхийг хэмжих нь тун ярвигтай асуудал юм. Тиймээс бид энэ ажлаар ажил горилогчийн ажлын байрын зарыг үзэх хувь (click rate) нэмэгдсэн эсэхийг гол хэмжүүрээ болгоно.

IV. Өгөгдөл Боловсруулалт

Шүүлтүүр болон машин сургалтад суурилсан санал болгох систем бүтээхийн тулд ажлын байрны онцлогуудыг дараах байдлаар ангилж шүүлтүүрээр гарч ирсэн үр дүнг машин сургалтын моделийн үр дүнгийн ямар нэг оноогоор эрэмбэлж харуулна.

- Шүүлтүүрт ашиглах онцлог: Ажлын цаг, хөдөө ажиллах боломж, цалингийн хэмжээ, ажилд орох огноо, мэргэжлийн сертификат.
- Машин сургалтад ашиглах онцлог: Ур чадвар, боловсрол, туршлага.

Ажил горилогч болон ажлын байрны зарыг хооронд хэр тохирох вэ гэдгийг тооцоолохын тулд нь харьцуулж болохуйц нэг вектор оргторгуйд буулгах шаардлагатай тулгарсан. Өөрөөр хэлбэл ажлын байрны зар нь ажил горилогчийн анкет дээрх мэдээллээс ялгаатай юм. Уг хоёр ялгаатай өгөгдлийг харьцуулахын тулд нэг вектор хэмжигдэхүүнд буулгана.

Тиймээс бид онцлогийн инженерчлэл хийхдээ ажил горилогчийн мэдээллийг тогтмол урттай вектор луу хөрвүүлсэн. Үүнд ойролцоогоор ~150 орчим ур чадварын нэршлийг ангилж 125 ур чадвар гаргасан. Жишээлбэл “java jee, java spring boot expert” гэсэн хоёр ур чадварыг “java web expert” гэдэг нэг ангилал руу хөрвүүлнэ. Уг ур чадваруудыг one-hot-vector энкодингоор 50 урттай вектор болгосон. Мөн ажлын байрны ангилал (29 ангилал), боловсролын түвшин (6 түвшин) on-hot-vector энкод хийсэн.

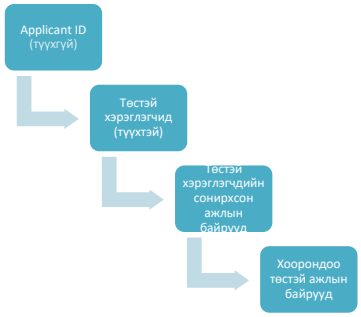
Нийт мэргэжлийн 423 сонголт байгаа ба үүнийг 1-423 хүртэл дугаараар кодлон, эдгээр сонголтоос гадна гараар бичиж оруулсан мэргэжлийг ‘Бусад’ ангилалд хамруулан 500 гэсэн дугаараар дүрсэлсэн.

Ажлын байрны мэдээллийг мөн тогтмол урттай вектор луу хөрвү¯үлсэн ба ойролцоогоор ~160 ур чадварыг ангилж 50 урттай one-hot-vector энкод хийсэн.

Эцсийн дүнд ажил олгогчийг илтгэх хүссэн цалин, мэргэжил, сонирхож буй ажлын байрны ангилал, ур чадвараас бүрдсэн 170 урттай вектор гарган авсан.

V. Аргачлал

Cold-start-problem-ийг шийдэх сонгодог аргыг Зураг 2-т үзүүлэв.



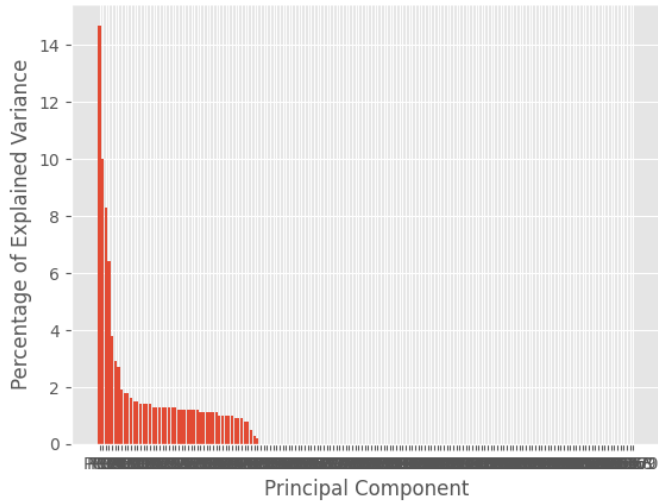
Зураг 2. Cold-start-problem шийдвэрлэх дараалал

Түүхтэй болон түүхгүй хэрэглэгч, ажлын байрыг векорт огторгуйд үр дүнтэй буулгахын тулд энкод хийсэн 170 урттай векторыг PCA аргаар хэмжээсийг багасгасан.

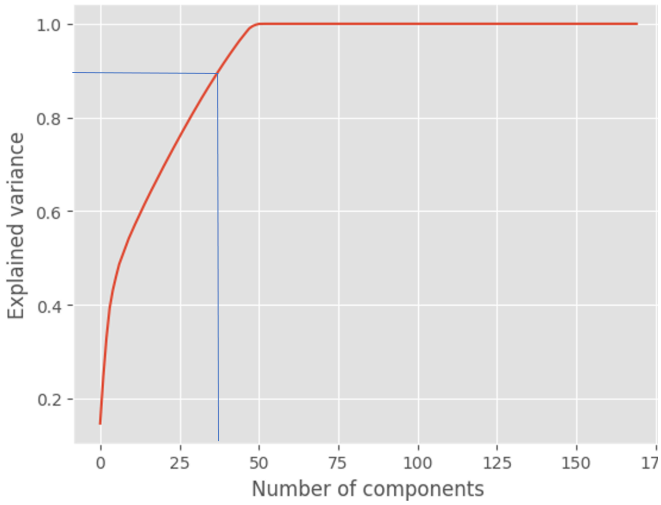
PCA ашиглан тухайн хүний үзэлт, ажлын байр хоорондын төсөөтэй байдлыг хамгийн сайн тайлбарлаж чадах утгуудыг эх векторооос ялган авсан (Зураг 3) ба хамгийн тохиомжтой компонентийн тоог тухайн компонентийн тайлбарлах чадамж болон вариацаас хамааруулж хамгийн тохиромжтойг 39 гэж үзсэн (Зураг 4).

Ажлын байр болон CV мэдээллийг векторт хөрвүүлээд нэг тус бүрчлэн хамаарлын оноог тооцох нь компьютерт

ачаалал их шаардах, бодит цагийн горимд харьцуулалт хийх боломжгүй учир эдгээр векторуудыг бүгдийг вектор өгөгдлийн санд (elastic search) хадгалж индексжүүлсэн.

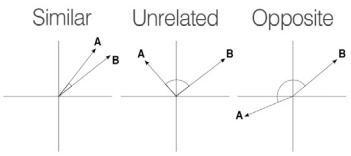


Зураг 3. Компонентийн тоо болон тайлбарлалтын хувь



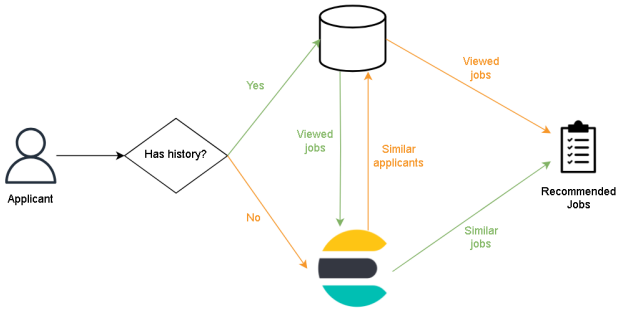
Зураг 4. Компонентийн тоо болон вариац

Ажлын байр эсвэл CV хоорондын хамаарлыг хэмжихдээ нэг огторгуй дахь векторуудын өнцөг (cosine similarity), вектор үржвэр (dot product) хоёр аргаар тооцоолсон.



Вектор өгөгдлийн сангаас тухайн ажлын байрд хамгийн ойрхон хамаарал бүхий ажлын байр эсвэл хүнийг хайхдаа тухайн ажлын байрыг векторт хөрвүүлээд хамаарал тооцох (cosine, dot product) аргыг зааж өгснөөр маш хурдтай хайлт хийх, хамгийн ойролцоо үр дүнгүүдийг эрэмблэх боломжтой байдаг.

Cold start problem-ын шийдэхдээ ажил олгогчийн CV мэдээллээр нь төстэй хэрэглэгчдийг олон, тэдний үзэж байсан болон apply хийж байсан ажлуудыг санал болгоно. Энд apply хийж байсан ажлууд нь илүү өндөр жинтэй байх буюу илүү дээгүүр гарч ирнэ (Зураг 5).



Зураг 5. Ажлын байр санал болгох схем

Харин тухайн ажил горилогч өмнө нь ажил үзэж байсан түүхтэй бол уг үзэж байсан ажлуудтай ижил ажлуудыг олж хамгийн ойролцоо оноогоор нь эрэмбэлж харуулна (Зураг 5).

VI. Хэрэгжүүлэлт, үр дүн

Системийг хэрэгжүүлэхдээ python программчлалын хэлийн машин сургалтын сангууд болон Elasticsearch вектор өгөгдлийн санг ашигласан.

Туршилтын өгөгдлийн хувьд worki.mn системийн бодит өгөгдөл дээр хийсэн ба 1,762 ажил горилогч, үүнээс ямар нэг түүхтэй горилогч 459 байв. 3,109 ажлын байрын зар, нийт ажлын байрыг үзсэн тоо 14,124. Дунджаар нэг горилогч 4 ажил үзсэн өгөгдөл дээр туршилт хийлээ.

Хоорондын хамаарлыг тооцоол cosine, dot product арыг харьцуулхад үр дүн яг ижил ч хурдны хувьд ялгаа гаргаж байсан. Cosine аргын хувьд гүйцэтгэлийн хугацаа 338 милл секунд, overhead 205 милл секунд. Харин вектор үржвэр гүйцэтгэлийн хугацаа 198 милл секунд, overhead 205 милл секунд байна.

Бид санал болгох системийг хэр үнэн зөв ажиллаж байгааг батлахын тулд дээрх өгөгдлөөс 440 ажил горилогчийн мэдээлэл буюу 1,800 орчим үзэлтийг туршилтын өгөгдөл болгосон.

Уг ажил горилогчдод автоматаар санал болгоход эхний 10 санал болгож буй ажлын байран дотор зөв санал болгосон ажлын байрны accuracy 68.45% байна. Эхний 20 дотор 72.65%, эхний 100 дотор ~85% байна.

VII. Дүгнэлт

Бид ажил горилогч болон ажил олгогчийг хооронд нь холбох зорилгоор ажил горилогчийн анкет, ажлын байрны зарын онцлогийг нэг вектор хэмжээст илэрхийлэн төсөөтэй байдлаар нь санал болгох системийг хөгжүүлж амжилттай хэрэгжүүллээ.

Системийн ачааллыг үр дүнтэй байлгаж хурдтай санал болгохын тулд векторуудыг вектор өгөгдлийн санд хадгалж вектор үржвэрийн аргаар тухай бүр хамгийн өндөр оноотой ажлын байруудыг эрэмбэлэн харуулас системийг хэрэгжүүлсэн.

Туршилтын үр дүнд санал болгож буй эхний хэдэн ажлын байраас хамаарч зөв санал болгосон хувь 68-85% байна. Энэ нь одоогийн бидний сургалтын өгөгдлийн хэмжээ болон бодит системийн хувьд хангалттай үр дүн гэж дүгнэж байна.

Цаашид бодит системийн ажлын байрны тоо, ажил горилогч, үзэллтийн тоо ихсэж гүн сургалтын аргад хангалттай болсон үед уг аргаар сайжруулах ажил хийнэ.

Заалт

[1] Zhou W Z, Cao D, Xu Y F, Liu B 2020 Review of Recommendation System Research Journal of Hebei University of Science and Technology 41(01) pp 76-87

[2] Pazzani M J and Billsus 2007 Content-based recommendation systems The Adaptive Web Springer pp 325-341

[3] Yu L J Research on personalized music recommendation algorithm based on deep learning Microcomputer

[4] Lops P, De Gemmis M, Semeraro G 2011 Content-based recommender systems: State of the art and trends Recommender Systems Handbook Springer pp 73-105

[5] Sarwar B M, Karypis G, Konstan J A, Riedl J 2001 Item-based collaborative filtering recommendation algorithms pp 285-295

[6] Schafer, JB, Frankowski, D., Herlocker, J., Sen, S 2007 Collaborative filtering recommender systems The Adaptive Web Springer pp 291-324

[7] Y. LeCun, Y. Bengio, and Hinton G 2015 Deep learning Nature vol 521 pp 7553, 436–444

[8] Goodfellow I, Bengio Y, Courville A 2016 Deep learning MIT press

[9] Schmidhuber J 2015 Deep learning in neural networks: An overview Neural Networks 61 pp 85-117

[10] He X, Liao L, Zhang H, Nie L, Hu X, Chua T S 2017 Neural collaborative filtering. In: Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web International World Wide Web Conferences Steering Committee pp 173-182

Трансформер загвар ашиглан Монгол хэл дээрх баримт бичигт шинжилгээ хийх

Д.Цэцүүхэй*, Б.Анхбаяр*, Б.Сувдаа*
*Мэдээлэл, компьютерын ухааны тэнхим
Монгол Улсын Их Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
tsetsuukhei@gmail.com, aprog@gmail.com, suvdaa@num.edu.mn

***Хураангуй*—Баримт бичгийн бүтцэд шинжилгээ хийж, доторх бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг нь зөв ангилснаар баримт бичгийг цахимжуулж, компьютерын тусламжтайгаар түүнээс мэдээлэл хайх, эх хэл боловсруулалтад ашиглах, гар ажиллагааны ажлыг автоматжуулах гэх мэт олон талт хэрэглэхүүнтэй. Хэдийгээр хэрэглээ, шаардлага өндөр байдаг ч бэлэн боловсруулсан өгөгдөл болон технологийн хязгаарлалтаас болж Монгол хэл дээрх баримт бичгийн шинжилгээний загварууд одоогоор бидний судалснаар ховор байна. Энэхүү судалгааны ажлаар трансформер архитектуртай, долоон хэл дээр урьдчилан сургасан LayoutXLM [1] загварыг нэмж сургах аргаар Монгол хэл дээрх баримт бичгийн шинжилгээний загварыг хийхийг зорив. Уг моделийг нэмж сургахдаа Монгол хэл дээрх "толгой хэсэг", "асуулт", "хариулт", "бусад" гэх дөрвөн төрлийн токеноос бүрдсэн, ойролцоогоор 2000 гаруй асуулт хариултай, нийт 30 гаруй баримт бичвэрийн өгөгдлийг ангилж, бэлдэж, боловсруулсан бөгөөд уг өгөгдлөө ашиглан баримт бичгийн токен ангиллын 81 хувийн оновчтой модель сургав.**

Түлхүүр үг—документ шинжилгээ, өгөгдөлд тэмдэглэгээ хийх, токен ангилал, гүн сургалт, гар бичмэл таних

I. Удиртгал

Аливаа улс үндэстний хувьд архивын баримт бичиг, түүхэн баримт зэрэг нь нэлээд чухал ач холбогдолтой юм. Тиймээс олон улсад компьютерын харааны судалгаа хөгжихийн хэрээр энэхүү баримт бичгийн дүрсэд шинжилгээ хийх нь мөн л чухал судалгааны хэсэг болсоор байна. Сканнердсан баримт бичгийн дүрсээс лэйаут(layout) буюу бүтцийн ангилал хийх нь хамгийн эхний алхам юм. Үүнийг машин сургалт голлон хэрэглэгдэх үед олон улсад дүрс боловсруулалтын аргаар урьдчилсан боловсруулалт, онцлог шинж задлах алхмууд хийгдэж, ангилан танихад машин сургалтын аргууд [2] давамгайлж байсан бол өнөө үед гүн сургалтын аргууд хөгжин дээрх үндсэн алхмуудыг их хэмжээний өгөгдөл ашиглан илүү автомат хэлбэрээр гүйцэтгэж байна [3], [4]. Тэгвэл монгол улсад архивын болон түүхэн баримт их байдаг ч олон улстай харьцуулахад баримт бичгийн бүтцийн шинжилгээ төдийлөн хөгжөөгүй эхлэл шатанд байна. Бидний өмнөх зарим судалгаа баримт бичгийн дүрсээс гар аргаар текст, зураг, хүснэгт гэх мэт бүтцийг тодорхойлон, машин сургалтын аргаар ангилахыг оролдож байсан бол энэ удаагийн ажлаар гүн сургалтын аргыг, тэр дундаа олон улсын хэмжээнд өрсөлдөхүйц үр дүнтэй аргыг монгол хэл дээрх хэвлэмэл болон гар бичмэл холимог хэлбэрийн дүрсээс ангилан шинжлэхэд зорьж буйгаараа онцлог юм.

II. Судлагдсан байдал

2017 оноос хойш трансформер загвар [5] хурдацтай хөгжиж эх хэл боловсруулалтын (NLP) салбарт нэвтэрч олон судалгаа, хөгжүүлэлтийн ажлыг эхлүүлсэн ч хэл баримт бичиг боловсруулалт нь хэл болон дүрс боловсруулалтын дундын салбар учраас баримт бичгийн бүтэц, орон зайн шинжилгээ гэх мэт дүрс боловсруулалтын аргуудыг хамт ашиглах шаардлагатай. Сүүлийн жилүүдэд LayoutLMv3 [6], LayoutMask [7] гэх мэт ихээхэн хэмжээний өгөгдөл дээр сургасан трансформер загварууд баримт бичиг боловсруулалтын салбарт амжилттай хэрэгжсэн. Трансформер загварын хэлний том моделиудыг сургахад асар их хэмжээний өгөгдөл, өндөр хүчин чадлын тооцооллын төхөөрөмжүүд хэрэг болдог бөгөөд Монгол хэл нь интернет орчинд нөөц багатай хэл тул Монгол хэл дээр том модель сургах нь одоогоор ихээхэн асуудалтай байна. Тиймээс аль хэдийн их хэмжээний өгөгдөл дээр сургасан суурь моделийг ашиглан Монгол хэлний өгөгдлөөр нэмж сургах нь Монгол хэл дээрх хэл боловсруулалтын моделиудын чадварыг сайжруулах, нөөцийн хязгаарлалтыг даван туулах үр дүнтэй арга юм.

III. Өгөгдөл бэлдэх

Энэхүү судалгаанд сканнердсан 1000 гаруй баримт бичиг авч, жил төстэй формат болон агуулгынх нь хүрээнд нийт 9 төрөлд ангилсан. Үүнээсээ хоёр ангиллыг нь сургалтын өгөгдлөөр сонгон авч, баримт бичгийн лэйаут шинжилгээнд хамгийн түгээмэл ашиглагддаг FUNSD [8] болон CoRD [9] датасетийн стандартын дагуу формат хийж өгөгдөл бэлдэв.

A. Өгөгдлийн тэмдэглэгээ

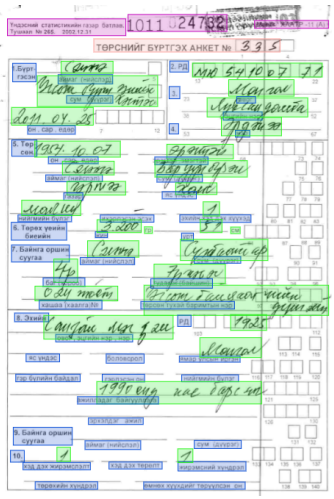
Сургалтын өгөгдөл бэлдэхдээ баримт бичиг дээрх текстийг 4 токенд хуваасан.

1) **Толгой хэсэг** - Баримт бичиг, ялангуяа маягтуудад гарчиг эсвэл тухайн баримт бичгийн агуулгыг тодорхойлох толгой хэсэг байдаг.
2) **Асуулт** - Ихэнх маягт нь асуулт, хариултын хэсэгтэй байдаг ба бидний сонгож авсан төрсний бүртгэлийн маягтууд асуулт ихтэй байсан. Асуултын токеныг боловсруулснаар тухайн асуултын хариултын талбараас холбогдох мэдээллийг гаргаж авах боломжтой болно.
3) **Хариулт** - Хариултууд нь гаргаж авах эсвэл дүн шинжилгээ хийх шаардлагатай мэдээллийг агуулсан байдаг тул баримт бичгийн шинжилгээний даалгаврууд хамгийн үнэ цэнтэй хэсэг юм.
4) **Бусад** - Дүн шинжилгээнд төдийлөн чухал биш, нэмэлт мэдээллийг агуулсан хэсгийг тэмдэглэнэ.

Уг судалгаанд зориулж нарийвчлал сайтай датасет бүтээхийн тулд дүрс, текст, аудио, видео зэрэг олон төрлийн өгөгдөл дэмждэг нээлттэй эхийн Label Studio-г ашигласан.

Тэмдэглэгээ хийх үйл явц

1) Linux үйлдлийн систем дээр Label Studio-г 8080 порт дээр асааж, сканнердсан баримт бичгүүдээ пайтон серверийн 8081 порт дээр байршуулав.
2) OCR тохиргоотой шинэ прожект үүсгэж 4 төрлийн токен тэмдэглэгээгээ тохируулсан.
3) Текстийн хүрээг (bounding box) зурж, тэмдэглэгээг нь сонгож, тухайн хүрээнд хамрагдах текстийг гар аргаар оруулсан.
4) Тэмдэглэгээ хийж дууссаны дараа JSON-minified хэлбэрээр өгөгдлөө экспорт хийв. JSON-maxified хэлбэр нь өгөгдлийн тэмдэглэгээнд шаардлагагүй нэмэлт мэдээллийг агуулж байсан тул JSON-minified форматыг сонгов.
5) $box = [x_{left}, y_{top}, width, height]$ форматыг нь $box = [x_{left}, y_{top}, x_{right}, y_{bottom}]$ формат руу шилжүүлж, бусад хэрэгцээтэй өөрчлөлтүүдийг оруулсан.



Зураг 1. Тэмдэглэгээ хийсэн баримт бичиг

B. Өгөгдлийн бүтэц


```
{
    "file_name": "img464.png",
    "height": 1669,
    "width": 1185,
    "annotations": [
      {
        "box": [
          31.63, 10.03, 81.38, 12.55
        ],
        "text": "\u0422\u04e8\u0420\u0421\u041d
            \u0418\u0419\u0413 \u0411\u04ae\
            u0420\u0422\u0413\u042d\u0425 \
            u0410\u041d\u041a\u0415\u0422 \
            u2116335",
        "label": "Header"
      },
      {
        "box": [
          22.91, 14.29, 36.76, 16.6
        ],
        "text": "\u0421\u044d\u043b\u044d\u043d
            \u0433\u044d",
        "label": "Answer"
      },
      {
        "box": [
          51.94, 14.25, 56.93, 16.34
        ],
        "text": "2. \u0420\u0414",
        "label": "Question"
      },
    ]
  },
```


Хүснэгт I
Өгөгдлийн тоо, хэмжээ

	Толгой	Асуулт	Хариулт	Бусад	Нийт
Сургалт	24	1236	731	98	2089
Тест	6	304	155	27	492

Хоёр өөр форматтай төрсний бүртгэлийн 30 гаруй баримт бичигт тэмдэглэгээ хийж, 2500 гаруй токентой өгөгдөл бэлдэв. Нэг баримт бичигт тэмдэглэгээ хийхэд ойролцоогоор 30 минут орчим хугацааг зарцуулсан.

IV. Загвар

LayoutXLM моделийн архитектур нь LayoutLMv2 [10] моделийн архитектуртай ижил бөгөөд текст, дүрс гэх мэт олон төрлийн өгөгдлийг зохицуулах зориулалттай (multi-modal) трансформер архитектуртай. Уг олон төрлийн өгөгдөлд текст, лэйаут, дүрс гурав багтах бөгөөд эдгээр гурван өгөгдөл нь оролтоор орж тус бүрдээ өөрсдийн эмбэдинг давхаргаар дамжин, токеноор задарч векторооор илэрхийлэгдэнэ.

Текст эмбэдинг давхарга

LayoutXLM нь олон хэлийг дэмжих тул LayoutLMv2 шиг Wordpiece [11] алгоритмын токен зааглуур ашиглалгүй, Byte Pair Encoding (BPE) [12] алгоритмын XLM-Roberta [13] токен зааглуур ашиглаж оролтоор орсон текстийн цуваат $s_i \in [A], [B]$ сегментүүдэд хуваана. Дараа нь текстийн сегментийн эхлэлд [CLS] токен,

төгсгөлд нь [SEP] токенийг залгаж, бүх сегментийг ижил урттай болгохын сегмент бүрд [PAD] токенийг максимум цувааны урт болох L урттай болтол нь нэмнэ.

Визуал эмбэдинг давхарга

Сканнердсан зургийг тогтмол урттай цуваа болгон хувиргадаг CNN-д суурилсан ResNeXt-FPN [14] [15] архитектуртай визуал энкодерын гаралтын функцийг ашигладаг.

Оролтоор орж ирсэн баримт бичгийг I хэмээн тэмдэглэе. I баримт бичгийг 224 × 224 хэмжээтэй болгож визуал энкодер луу оруулна. Үүний дараа онцлогийн матрицийг W урттай H өндөртэй болтол нь average pooling хийж гарч ирсэн матрицийг нэг хэмжээст W x H урттай визуал эмбэдинг цуваа болгоно. Үүнийг VisTokEmb(I) гэж нэрлэдэг. Үүн дээр нэг хэмжээст байршлын эмбэдинг болон сегментийн эмбэдинг хоёрыг нэмбэл визуал эмбэдинг давхарга үүснэ.

Лэйаут эмбэдинг давхарга

Текстийн хүрээний координатуудаас лэйаутын орон зайн байршлын мэдээллийг салгаж авах үе. Текстийн хүрээний координатыг x тэнхлэгийн дагуу, y тэнхлэгийн дагуу гэсэн хоёр эмбэдинг давхаргаар дүрсэлнэ.

$$l_i = \text{Concat}\left(\text{PosEmb2D}_x(x_{\min}, x_{\max}, \text{width}), \text{PosEmb2D}_y(y_{\min}, y_{\max}, \text{height})\right)$$

Орон зайн мэдрэгчтэй, өөртөө анхаарал хандуулах механизм

Энкодер нь $v_0, ..., v_{WH-1}$ визуал эмбэдинг болон $t_0, ..., t_{L-1}$ текст эмбэдинг хоёрыг нэг цуваа болгон нэгтгэж, энкодерын i-р давхаргын оролтыг гарган авахын тулд лэйаут эмбэдинг нэмдэг. 2017 оны трансформер загвараас ялгаатай нь уг загвар баримт бичгийн лэйаутыг илүү сайн танихын тулд орон зайн анхаарлын механизмыг ашигласан.

V. Туршилт

LayoutXLM моделийг машин сургалтын фрэймворк болох Pytorch 2.2.2 болон Detectron2 сан, Pillow сан ашиглан пайтон хэл дээр хэрэгжүүлэв. Мөн моделийн архитектурт оролцдог pytesseract, sentencepiece, fastai гэх мэт сангуудыг нэмэлтээр суулгав.

A. Өгөгдөл урьдчилан боловсруулах

1) Баримт бичиг бүрийн урт, өргөн харилцан ялгаатай тул bounding box-ын координатыг 0-ээс 1000 хүртэл нормальчилсан.
2) Баримт бичиг бүрийг BGR форматаар уншиж, модельдоо тааруулан 224x224 хэмжээтэй болгосон
3) Текстийг олон хэлний xlm-roberta-base токен зааглуур ашиглан input_id болгон хувиргасан

B. Сургалт

Энэхүү модель нь орж ирсэн өгөгдлөөс токен ангилал хийх тул Трансформер сангийн AutoModelForTokenClassification классыг голчлон ашиглана. Түүнчлэн, баримт бичгийн шинжилгээний моделийг сургахад анхаарах тал нь оролтын гурван төрлийн өгөгдлүүдийг нэгтгэх юм. Үүний тулд DataCollatorForKeyValueExtraction класс ашиглан текст болон зургийн оролтыг токеноор зааглаж, ижил урттай болгож, нэг форматад оруулж, тенсор болгон хувиргасан.

Сургалтад Huggingface-ын Трансформер сангийн Trainer классыг ашигласан. Уг класс нь моделийг сургах, үнэлэх, өгөгдөл багцлах, сургалтын нарийвчлалыг сайжруулахад тохиромжтой интерфэйстэй.

Моделио нэмж сургахдаа тооцоолол, технологийн хүчин чадлыг харгалзан үзэж batch size буюу сургалтын нэг алхам хийхэд ашиглах өгөгдлийн хэмжээг 1-ээр сонгож авав. Хэдийгээр batch size-г байж болох хамгийн бага утга руу буулгасан ч 12 баримт бичгээс илүү өгөгдлийг ашиглах боломжгүй байсан. Мөн сургалтын өгөгдлийн оролтын цувааны максимум уртыг 512-оор сонгож авч, 42 seed дээр моделийг сургав.

VI. Үр дүн

Токеныг хэр оновчтой ангилж байгааг шалгахын тулд машин сургалтын аргад оновчлол буюу accuracy-г тооцоолдог. баримт бичиг шинжилгээний токен ангиллын моделийн үнэлгээний хэмжүүрийг seqeval санг ашиглан тооцоолов. Seqeval нь нэрлэсэн нэгж таниур (NER) болон part-of-speech (POS) tagging зэрэг цуваанд шошго оруулах ажлыг үнэлэхэд зориулагдсан Пайтон сан юм. Энэхүүс сан нь цуваа өгөгдлийн шошгоны нарийвчлал (precision), recall, F1 оноо, оновчлол (accuracy) тооцоолох функцтэй.

Хүснэгт II
Моделийн үр дүн

	Precision	Recall	F1	Accuracy
Үр дүн	80.9	82.6	81.8	81.3

Бидний ашигласан суурь моделийг өөр хэл дээр нэмж сургасан үр дүнг мөн танилцуулав. Эдгээр дөрвөн хэл дээрх F1 онооны дундаж нь 78.6%-тай байгаа бол биднийх 81.8%-тай үнэлэгджээ. Онооны зөрүүтэй байдал нь баримт бичгийн ижил төстэй байдал бол өгөгдлийн тоо хэмжээнээс хамаардаг.

Хүснэгт III
Моделийн бусад хэл дээрх F1 оноо

	Япон	Испани	Франц	Итали
LayoutXLM	79.2	75.5	79.0	80.8

```
label_to_ner_tag = {
    0: "B-QUESTION",
    1: "B-ANSWER",
    2: "B-HEADER",
    3: "O"
}
```

Seqeval нь NER ашиглан моделийн таамагласан токеныг зөв шошготой нь харьцуулан дүгнэлт хийдэг тул BIO тэмдэглэгээний схемийг ашиглав.

- B-: нэгжийн эхлэл хэсгийг тэмдэглэнэ (before)
- I-: нэгжийн доторх хэсгийг тэмдэглэнэ (inside)
- O: нэгжийн гадуурх хэсгийг тэмдэглэнэ (outside)

Дээрх пайтон dict-ийн дагуу хэрвээ модель 1 гэсэн токеныг таамагласан бол seqeval-аар харьцуулахдаа "B-ANSWER"хэмээн хувиргасан болно.

VII. Дүгнэлт

Энэ ажлаараа баримт бичиг шинжилгээнд зориулж өгөгдөл бэлтгэж, хамгийн сүүлийн үеийн технологийг ашиглан баримт бичиг шинжилгээний токен ангиллын модель сургав. Бидний сургасан модель нь төрсний бүртгэлийн маягт дээр хангалттай сайн ажиллаж байгааг харуулж байна. Хэдийгээр их хэмжээний өгөгдөл дээр нэмж сургаагүй, технологийн хязгаарлалт байсан ч олон хэлний баримт бичиг шинжилгээний бусад загвартай харьцуулбал үзүүлэлт сайн гэж дүгнэж байна. Монгол хэл дээрх өгөгдлийг баримт бичиг шинжилгээний аргад нийцүүлэн бэлдэж, түүнийгээ трансформер загвар ашиглан нэмж сургаж байгаа нь энэ ажлын нэг онцлог, шинэлэг тал юм. Цаашид загварыг сайжруулахын тулд өндөр хүчин чадалтай тооцооллын хэрэгслүүр ашиглаж, өгөгдлийн чанарыг улам чанаржуулах шаардлагатай гэж үзэж байна.

Ашигласан ном

[1] Y. Xu, T. Lv, L. Cui, G. Wang, Y. Lu, D. Florencio, C. Zhang, and F. Wei, "Layoutxlm: Multimodal pre-training for multilingual visually-rich document understanding," 2021.

[2] L. Quirós, "Multi-task handwritten document layout analysis," 2018.

[3] X. Zhong, J. Tang, and A. J. Yepes, "Publaynet: Largest dataset ever for document layout analysis," in *2019 International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, 2019.

[4] C. Da, C. Luo, Q. Zheng, and C. Yao, "Vision grid transformer for document layout analysis," in *2023 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2023.

[5] A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, L. Kaiser, and I. Polosukhin, "Attention is all you need," 2023.

[6] Y. Huang, T. Lv, L. Cui, Y. Lu, and F. Wei, "Layoutlmv3: Pre-training for document ai with unified text and image masking," 2022.

[7] Y. Tu, Y. Guo, H. Chen, and J. Tang, "Layoutmask: Enhance text-layout interaction in multi-modal pre-training for document understanding," 2023.

[8] J.-P. T. Guillaume Jaume, Hazim Kemal Ekenel, "Funsd: A dataset for form understanding in noisy scanned documents," in *Accepted to ICDAR-OST*, 2019.

[9] S. Park, S. Shin, B. Lee, J. Lee, J. Surh, M. Seo, and H. Lee, "{CORD}: A consolidated receipt dataset for post-{ocr} parsing," in *Workshop on Document Intelligence at NeurIPS 2019*, 2019. [Online]. Available: https://openreview.net/forum?id=SJl3z659UH

[10] Y. Xu, Y. Xu, T. Lv, L. Cui, F. Wei, G. Wang, Y. Lu, D. Florencio, C. Zhang, W. Che, M. Zhang, and L. Zhou, "Layoutlmv2: Multi-modal pre-training for visually-rich document understanding," 2022.

[11] Y. Wu, M. Schuster, Z. Chen, Q. V. Le, M. Norouzi, W. Macherey, M. Krikun, Y. Cao, Q. Gao, K. Macherey, J. Klingner, A. Shah, M. Johnson, X. Liu, Łukasz Kaiser, S. Gouws, Y. Kato, T. Kudo, H. Kazawa, K. Stevens, G. Kurian, N. Patil, W. Wang, C. Young, J. Smith, J. Riesa, A. Rudnick, O. Vinyals, G. Corrado, M. Hughes, and J. Dean, "Google's neural machine translation system: Bridging the gap between human and machine translation," 2016.

[12] R. Sennrich, B. Haddow, and A. Birch, "Neural machine translation of rare words with subword units," 2016.

[13] A. Conneau, K. Khandelwal, N. Goyal, V. Chaudhary, G. Wenzek, F. Guzmán, E. Grave, M. Ott, L. Zettlemoyer, and V. Stoyanov, "Unsupervised cross-lingual representation learning at scale," 2020.

[14] S. Xie, R. Girshick, P. Dollár, Z. Tu, and K. He, "Aggregated residual transformations for deep neural networks," in *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 5987–5995.

[15] T.-Y. Lin, P. Dollar, R. Girshick, K. He, B. Hariharan, and S. Belongie, "Feature pyramid networks for object detection," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, July 2017.

Цэгэн Үүлний Гадаргуугаас Хэсэгчилсэн Шуугианыг Арилгах

Галбадрахын Дашням
Электроник холбооны, инженерчлэлийн тэнхим
МТЭС, МУИС
Улаанбаатар хот, Монгол улс
dashnyam.galbadrakh@gmail.com

Ганболдын Уганбаяр
Мэдээлэл компьютерын ухааны тэнхим
МТЭС, МУИС
Улаанбаатар хот, Монгол улс
uuganbayar.g@num.edu.mn

Эрдэнэбаярын Шүрэнцэцэг
Электроник холбооны, инженерчлэлийн тэнхим
МТЭС, МУИС
Улаанбаатар хот, Монгол улс
shurentsetseg.e@num.edu.mn

Хураангуй— Энэхүү судалгаагаар бид К-мийнс кластерингд (K-Means Clustering) суурилсан шуугианыг ялгах алгоритмыг танилцуулж байна. Энэ арга нь түүхий өгөгдөл дээр шууд боловсруулалт хийх ба гадаргуун цэгүүдийг шуугиантай болон шуугиангүйгээр ялгаж зөвхөн шуугиантай гадаргуун цэгүүдийн шуугианыг арилгадгаараа бусад аргаас давуу талтай юм. Бидний арга нь гадаргуун цэг бүрийн хөрш цэгийн тоон өөрчлөлт дээр К-мийнс кластеринг хийж шуугиантай гадаргууг ялгах юм. Энэхүү судалгаанд дөрвөн чиглэлд хэмжилт хийн сканерддаг төхөөрөмжөөр үүсгэгдсэн чулуун зэвсгийн цэгэн үүлний хэсэгчилсэн шуугианыг арилгасан ба үр дүнг үзүүлэв.

Түлхүүр үгс— гурван хэмжээст биет, цэгэн үүлний боловсруулалт, шуугианыг гадаргуугаас ялгах, К-мийнс кластеринг алгоритм

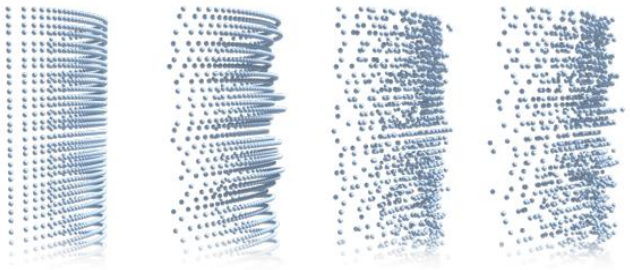
I. Оршил

Сканердсан технологиос үүдэн гурван хэмжээст биетийн гадаргуун цэгэн өгөгдөл болох цэгэн үүлэн дээр хэсэгчилсэн шуугиан үүсдэг. Энэ хэсэгчилсэн шуугиан нь нормал шулуун татах, онцлог цэгийг ялгах, онцлог шинжийг тооцоолох зэрэг цэгэн үүлний суурь боловсруулалтад нөлөөлдөг. Үүний дүнд цэгэн үүлний суурь боловсруулалтад тулгуурлан хийгддэг цаашдын алхмуудад мөн сөргөөр нөлөөлдөг. Жишээлбэл цэгэн үүлнээс гурван хэмжээст биетийн гадаргууг сэргээн байгуулах, биетийг таних, бүртгэх зэрэг хэрэглээнд нарийвчлалыг бууруулдаг. Иймээс шуугианыг арилгах зайлшгүй шаардлага тулгардаг. Өнөөг хүртэл шуугианыг арилгах олон арга танилцуулагдсан хэдий ч тэдгээр арга нь биетийн нийт гадаргуун шуугианыг арилгах тул хэсэгчилсэн шуугиантай тохиолдолд оновчгүй байдаг. Учир нь чухал мэдээлэл агуулж буй шуугиангүй гадаргуун цэгүүдийг хөндөж өгөгдлийн чанарыг алдуулдаг.

Лазер сканнер төхөөрөмжөөс болон фотограмметрын аргаар олборлосон түүхий цэгэн үүл нь шуугиантай байх ба энэ нь нийтлэг үзэгдэл юм. Шуугиан нь биетийн гадаргууг бүхэлд нь эсвэл хэсэгчилсэн байдлаар хамарсан байх ба үүссэн хэлбэрээрээ олон янз байдаг. Зураг 1-д Velodyne HDL-64E сканерын үүсгэсэн шуугианыг үзүүлэв [1].

II. Судлагдсан байдал

Wan нар [2] налуу шүүлтүүрийн алгоритмыг дэвшүүлж шуугианыг сайн арилгаж чадсан. Bian ба Tong [8] нар цэгэн үүлнээс онцлог цэгүүдийг ялгасан ба хоёр онцлог шинжийн жинлэсэн функц дээр тулгуурлан шуугианыг арилгасан. Гэвч энэ арга нь жигд биш шуугианыг боловсруулахад тохиромжгүй байсан. Эдгээр аргууд нь шуугиантай өгөгдлөөс онцлог шинжийг ялгаж, улмаар ялгасан онцлог шинж дээр шинжилгээ хийн шуугианыг арилгаснаар нарийвчлалыг бууруулсан.



a) Шуугиангүй гадаргуу
b) Зайн хэвийлттэй
c) Цацарган шуугиантай
d) b ба c холимог шуугиантай

Зураг 1. Зурагт шуугианы гурван төрлийн жишээг үзүүлэв [1]: зайн хэвийлттэй шуугиан (db), цацарган шуугиан (rn) ба холимог шуугиан. Зайн хэвийлтэй шуугиан нь сканерын шугамын гүнд алдаа нэмдэг бол цацарган шуугиан нь цэг бүрийн гүнд алдаа нэмдэг. Холимог шуугиан нь дээрх хоёр шуугианыг давхар агуулдаг.

Энэхүү судалгааны ажлаар бид К-мийнс кластеринг ашиглан шуугиантай гадаргууг ялгах шинэ алгоритмыг танилцуулж байна. Энэ аргын гол зорилго нь гадаргуун цэгүүдийг шуугиантай болон шуугиангүйгээр ялгаж улмаар зөвхөн шуугиантай гадаргуун цэгүүдийн шуугианыг арилгах юм.

Lu нар [3] цэгэн үүлнээс анхдагч мешийн (Mesh) загварыг тооцоолж, дараа нь мешийн холболтоор дамжуулан онцлог шинж чанарыг илрүүлсэн. Эцэст нь онцлог шинжийн ирмэг дээр тулгуурлан цэгийг давталттайгаар шилжүүлж шуугианыг арилгасан. Энэ арга нь тооцооллын хувьд төвөгтэй.

Yujuan нар [4] чулууны гадаргуугийн цэгэн үүлнээс шуугианыг ялгасан ба тус судалгааны ажлын зорилго нь бидний энэхүү судалгааны ажлын зорилготой төстэй билээ. [4] эрдэм шинжилгээний бүтээлд 3D сканераар чулууны гадаргуугийн цэгэн үүлийг олборлосон ба гадаргуу дээр жигд биш шуугиан үүссэн байна. Өгүүлэлд шуугианыг арилгах шүүлтүүрийн аргыг танилцуулжээ. Эхлээд цэг бүрийн хувьд хөрш цэгүүдийн зайг хэмжсэн ба дараа нь үүн дээр жинлэсэн PCA (Principal Component Analysis) ашигласан. Үүнээс гарсан ковариац онцлог шинжийн матрицаас хувийн векторыг тооцоолсон ба хамгийн бага хувийн векторыг нормал вектор болгон ашигласан. Үүний дараа тооцоолсон хувийн утга болон хувийн векторуудыг нэгтгэн гадаргын өөрчлөлтийн факторыг тооцоолсон. Эцэст нь хэмжсэн факторын утга дундаж факторын утгаас бага бол шуугиангүй ба хэрэв их бол шуугиантай гадаргуу гэж үнэлсэн. Энэ арга нь

тооцоолол ихтэй тул их хэмжээний өгөгдлийг боловсруулахад цаг их зарцуулна. Мөн хөрш цэгүүдийн зайн дээр анализ хийж шуугианыг арилгах нь дутагдалтай. Учир нь хөрш цэгүүдийн зай нь сканердсан технологийн нарийвчлалаас ихээхэн хамаардаг тул энэ арга нь тогтворгүй юм.

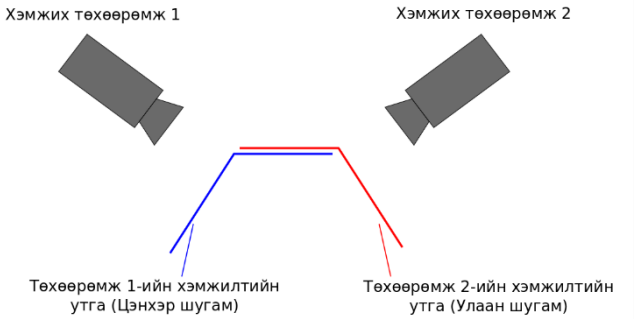


Зураг 2. Дөрвөн чиглэлд зэрэг хэмждэг сканер төхөөрөмж [5]

III. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

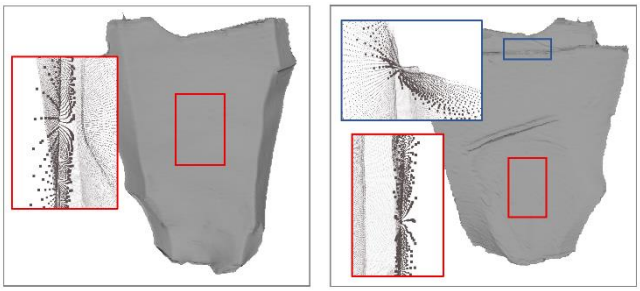
A. Дөрвөн чиглэлд зэрэг хэмждэг сканер төхөөрөмж

Энэхүү судалгаанд Японы Жомонгийн үеийн ялтсан зэвсгийн гурван хэмжээст өгөгдлийг ашиглав. Гурван хэмжээст өгөгдлийг дөрвөн чиглэлд зэрэг хэмждэг сканер төхөөрөмжөөр олборлож авсан. Тус төхөөрөмж нь дөрвөн ширхэг сканераар ялтсан зэвсгийг сканердах ба дараа нь сканер тус бүрийн хэмжсэн өгөгдлийг нийлүүлэх алгоритмаар оруулан нэгтгэж ялтсан зэвсгийн цэгэн өгөгдлийг үүсгэдэг. Энэ цэгэн өгөгдлийг цэгэн үүл гэж нэрлэнэ. Дөрвөн чиглэлд зэрэг хэмждэг сканер төхөөрөмжийг Зураг 2-т үзүүлэв.



Зураг 3. Шуугиан үүсэх шалтгаан: Зурагт үзүүлсэн хоёр чиглэлийн хэмжилтийн хүрээнд ялтсан зэвсгийн давхардсан гадаргууд хэмжилтийн шуугиан үүсдэг.

Энэ төхөөрөмж нь олон жижиг биетийг нэг дор хурдан сканердах давуу талтай хэдий ч цэгэн үүлний зарим гадаргууг бүрэн нийлүүлээгүйн улмаас шуугиан үүсгэдэг. Энэ төрлийн шуугианыг хэсэгчилсэн шуугиан гэнэ. Хэсэгчилсэн шуугиан нь гурван хэмжээст биетийн бүх хэсэгт биш, зарим гадаргуу нь шуугиантай буюу цэгэн өгөгдөл давхардсан байхыг хэлнэ. Ялтсан зэвсгийн хэсэгчилсэн шуугиантай гадаргууг Зураг 4-д үзүүлэв. Зураг 4-өөс харахад ялтсан зэвсгийн нүүр ба ар талын хавтгай гадаргуунууд, өөрөөр хэлбэл ялтсан зэвсгийн гадаргуугийн ихэнх талбайнууд шуугиантай байна.



Зураг 4. Ялтсан зэвсгийн гадаргуугийн хэсэгчилсэн шуугиан. Шуугиантай гадаргууг улаан, шуугиангүй гадаргууг цэнхрээр хүрээлж үзүүлэв.

B. Хөрш цэгийн нягтшил

Ялтсан зэвсгийн цэгэн үүлний зарим хэсэг нь дан цэгтэй гадаргуу буюу шуугиангүй гадаргуу, харин зарим хэсэг нь давхардсан цэгтэй гадаргуу буюу шуугиантай гадаргуугаас тогтсон байна. Тиймээс дан болон давхардсан гадаргууг ялгахын тулд цэг бүрийн хөрш цэгийн нягтшилыг судалсан.

Энэ судалгаанд цэгэн үүлний боловсруулалт хийхэд PCL- Point Cloud Library санг ашиглав. PCL санд хөрш цэгийг хоёр янзын аргаар илрүүлдэг. Нэгдүгээрт шууд тоогоор хөрш цэгийг хайх арга. Энэ нь илрүүлэх хөрш цэгийн тоог тодорхой тавьж өгөх ба зай хамаарахгүй тодорхойлсон тооны хөрш цэгүүдийг илрүүлнэ. Хоёрдугаарт зайгаар хөрш цэгийг хайх арга. Энэ нь хөрш цэгийг илрүүлэх бөмбөрцгийн радиусыг тодорхой тавьж өгөх ба цэгийн тоо хамаарахгүй тухайн бөмбөрцөгт байх хөрш цэгүүдийг илрүүлнэ. Энэ судалгаанд хоёрдугаар аргын хэрэглэж хөрш цэгийг илрүүлэв.

Хөрш цэгийг илрүүлэх бөмбөрцгийн радиусыг оновчтой сонгох нь чухал. Гэвч радиус нь сканердах технологийн нарийвчлалаас хамаарч өөрчлөгдөх шаардлагатай. Иймд сканердах технологийн нарийвчлалд тогтвортой байхын тулд энэ судалгааны ажилд цэгүүдийн хоорондох дундаж зай болон хэмжээсний утгыг ашиглав [7]. Дундаж зай /average distance/ $\bar{d}$ -ийг томьёог (1)-д үзүүлэв.

$$\bar{d} = \frac{1}{n+1}\sum_{i=0}^{n} |\boldsymbol{p}_i - \boldsymbol{q}| \qquad (1)$$

Энд $\boldsymbol{q}$ нь $\boldsymbol{p}_i$ цэгийн хамгийн ойрын хөрш цэг ба $|\boldsymbol{p}_i - \boldsymbol{q}|$ хоёр цэгийн хоорондох зай. $\boldsymbol{p}_i$ нь хэмжсэн цэг, i (i = 0, ..., n) нь $\boldsymbol{p}_i$ цэгийн индекс бөгөөд n + 1 оролтын цэгийн тоо. Томьёо (2) -д хөрш цэгийг илрүүлэх радиус r -ийг тодорхойлов.

$$r = a \cdot \bar{d} \qquad (2)$$

Энд a нь хэмжээсний утга /scale value/. Энэхүү судалгаанд a -гийг эмпирик байдлаар тодорхойлсон.

Хөрш цэгийн нягтшил гэдэг нь илрүүлсэн хөрш цэгийн тоо хэмжээг хэлнэ. Хөрш цэгийн нягтшилыг судлах нь энэ судалгааны ажлын гол давуу тал юм. Энэ судалгааны ажилд хөрш цэгийн нягтшилыг хэмжсэн аргыг Алгоритм 1-д үзүүлэв.

АЛГОРИТМ 1: Хөрш цэгийн нягтшилын зөрүү

Input: *Input points:* $\boldsymbol{p}_i \quad (i = 0, \dots, n)$

Output: *difference of neighbor point sizes :* D_j^i

find average distance $\bar{d}$

set max radius scale value a

for *all* $\boldsymbol{p}_i$ ***do***

$N_{prev} \leftarrow 0$

for *j=1* to a ***do***

$N_{curr} \leftarrow$ *point neighbor size;*

$D_j^i \leftarrow N_{curr} - N_{prev}$

$N_{prev} \leftarrow N_{curr}$

end for

end for

C. *K-мийнс кластеринг*

K-мийнс кластеринг нь “энэ бол машин, энэ бол ширээ, энэ бол сандал” гэсэн зааварчилгаагүйгээр, өгөгдлийн бүтэц ба тархалтаар нь ангилдаг онцлогтой. K-мийнс кластеринг нь дараах алхмын дагуу ажиллана.

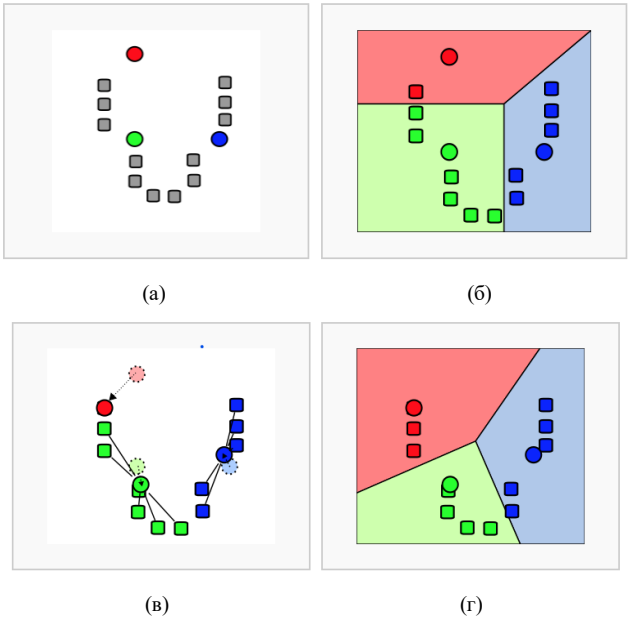
Алхам 1: Кластерингийн тоог тогтооно. Кластерингийн тоотой тэнцүү төв цэгийг санамсаргүй байршуулна.

Алхам 2: Өгөгдлийн цэгүүдийг хамгийн ойр байгаа төв цэгийн бүлэгт ангилна.

Алхам 3: Төв цэгүүд нь өөрт харьяалагдаж буй цэгүүдийнхээ дундаж рүү шилжинэ.

Алхам 4: Төв цэгүүд дундаж руу шилжихээ болих, эсвэл давталтын тоо заасан дээд утгад хүрэх хүртэл 2 ба 3-р алхмыг давтана.

K-мийнс кластерингийн алхмуудыг Зураг 5-д үзүүлэв.



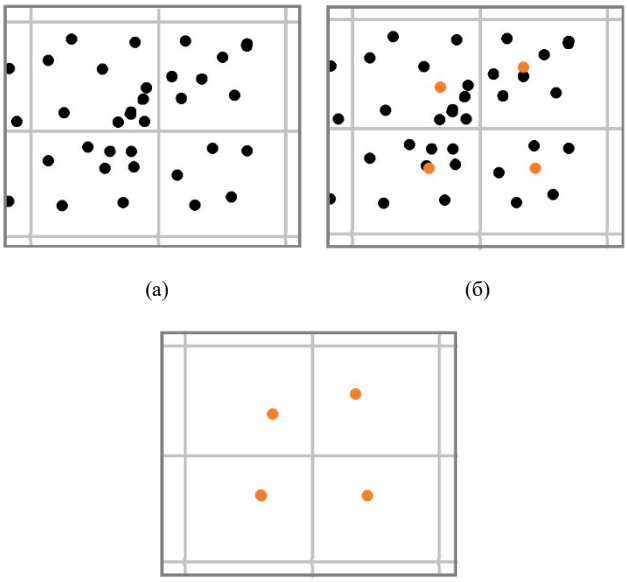
(а) (б)

(в) (г)

Зураг 5. K-мийнс кластерингийн ажиллах зарчим [6]. (а) төв цэгийг оноох, (б) ангилах, (в) төв цэг шилжих, (г) давтах.

D. *VoxelGrid шүүлтүүр*

VoxelGrid буюу багасгах түүвэрлэлт (Downsampling) нь цэгэн үүлний хэмжээг багасгах болон гадаргуугийн шуугианыг шүүх зориулалттай шүүлтүүрийн арга юм. Өөрөөр хэлбэл цэгэн үүлний хэмжээг багасгаснаар цэгийн тоо буурна. Энэ арга нь цэгэн үүлийг жижиг шоо хэсгүүд болох вокселд хуваах, воксел бүрд багтсан цэгүүдийг дундажлах замаар вокселийн төвд вокселийн бүх цэгүүдийг төлөөлөх шинэ цэг үүсгэдэг. Ийм замаар цэгэн үүлний хэмжээг багасгах төдийгүй багахан шуугианыг шүүдэг.



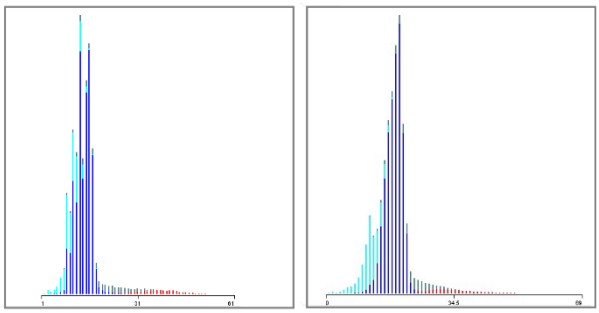
(а) (б)

(в)

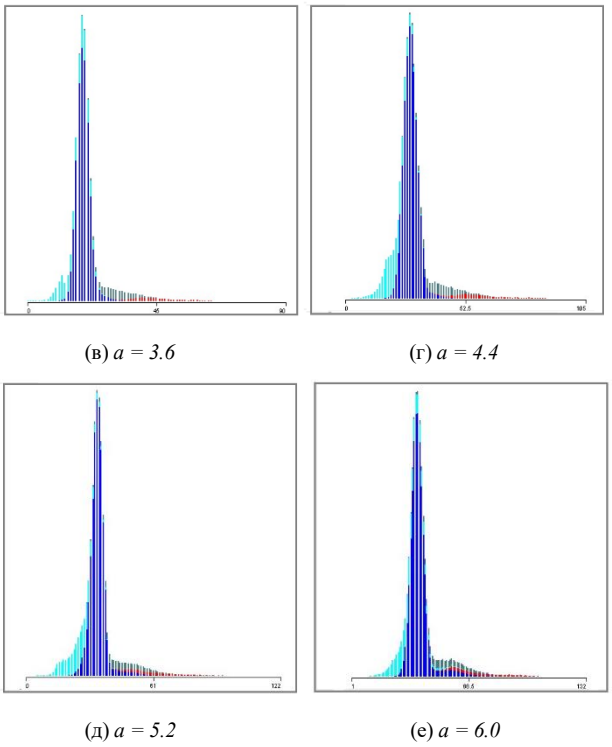
Зураг 6. VoxelGrid шүүлтүүрийн ажиллах зарчим . (а) өгөгдлийг шоо хэсэгт хуваана, (б) воксел бүрийн төвд вокселийн цэгүүдийг төлөөлөх шинэ цэг үүсгэнэ, (в) үндсэн цэгүүдийг арилгасны дараах үр дүн.

IV. Үр дүн

Зураг 4-т үзүүлсэн ялтсан зэвсгийн хөрш цэгийн нягтшилын зөрүүг K-мийнс алгоритм ашиглан 4 кластерт ангилав (Зураг 7).



(а) $a = 2.0$ (б) $a = 2.8$

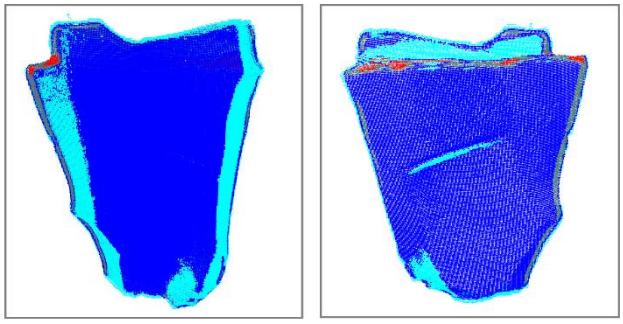


(в) $a = 3.6$ (г) $a = 4.4$

(д) $a = 5.2$ (е) $a = 6.0$

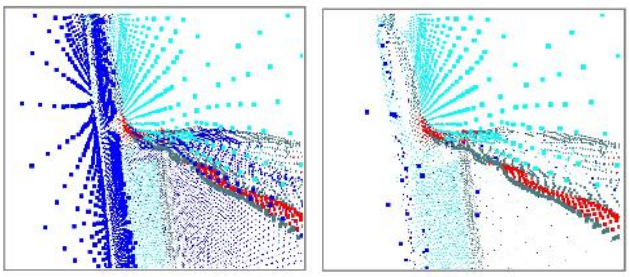
Зураг 7. Радиусын хэмжээс a тус бүрийн гистограмм. Хэвтээ тэнхлэгийн дагуу өөрчлөлтийн утга, босоо тэнхлэгийн дагуу цэгийн тоо, мөн кластер тус бүрийг өнгөөр ялгаж үзүүлэв.

Анхны өгөгдлөө Зураг 7-д үзүүлсэн кластераар ялгаж Зураг 8-д харууллаа.



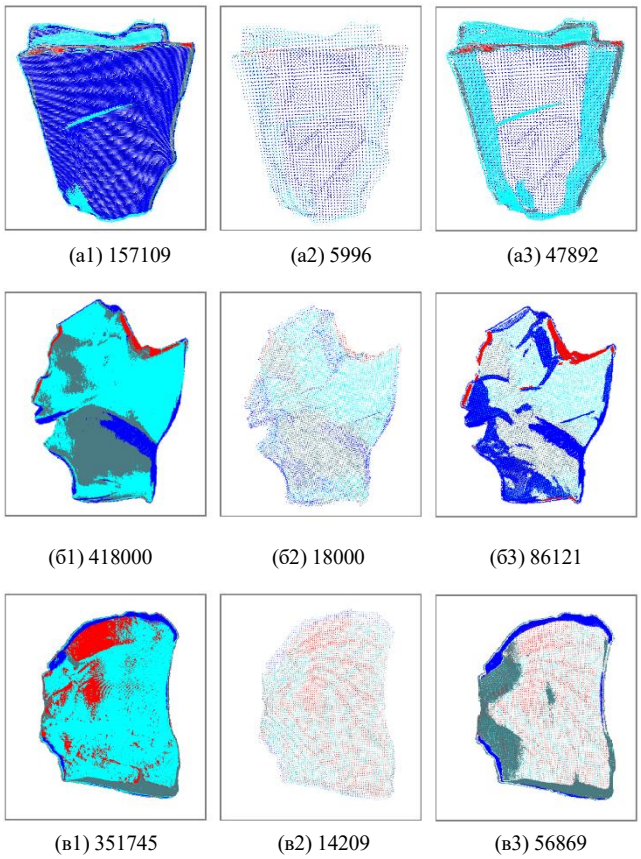
Зураг 8. Анхны өгөгдлийн гадаргууг хөрш цэгийн нягтшилын зөрүүгээр нь ялгаж дүрслэв.

Зураг 4 болон Зураг 8-аас үзвэл тод цэнхэр өнгөөр дүрслэгдсэн кластер нь шуугиантай гадаргууг тодотгожээ. Тиймээс зөвхөн энэ гадаргуу дээр шүүлтүүр хийх юм.



(а) (б)

Зураг 9. (а) Үндсэн өгөгдөл, (б) зөвхөн шуугиантай гадаргууг шүүлтүүрээр шүүсэн үр дүн.



(а1) 157109 (а2) 5996 (а3) 47892

(б1) 418000 (б2) 18000 (б3) 86121

(в1) 351745 (в2) 14209 (в3) 56869

Зураг 10. Үр дүнгийн цэгийн тоон харьцуулалт. 1-р багана анхны өгөгдөл, 2-р багана бүх гадаргуу дээр шүүлтүүр хийсэн, 3-р багана зөвхөн шуугиантай гадаргуу дээр шүүлтүүр хийсний дараах үр дүн болон цэгийн тоог харуулж байна.

V. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд гурван хэмжээст өгөгдлийн гадаргуу дахь хэсэгчилсэн шуугианыг арилгалаа. Өгөгдлийн шуугиантай болон шуугиангүй гадаргууг ялгаснаар ирмэгийн цэг буюу чухал мэдээлэл агуулдаг цэгүүдийг хадгалж үлджээ.

Хөрш цэгийн нягтшилын зөрүү нь нь бүхэл тоон утгатай, мөн хэмжигдэхүүнгүй учраас цэг хоорондын зайн утгаар гадаргуугийн шуугианыг ялгадаг аргуудаас оновчтой ангилж байна.

АШИГЛАСАН НОМ

[1] Rakotosaona, M.J., La Barbera, V., Guerrero, P., Mitra, N.J. and Ovsjanikov, M., "Pointcleannet: Learning to denoise and remove outliers from dense point clouds." *Computer graphics forum*. Vol. 39. No. 1. 2020.

[2] Wan, P., Zhang, W., Skidmore, A. K., Qi, J., Jin, X., Yan, G., & Wang, T. "A simple terrain relief index for tuning slope-related parameters of LiDAR ground filtering algorithms." *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing* 143 (2018): 181-190.

[3] Lu, Xuequan, Zhigang Deng, and Wenzhi Chen. "A robust scheme for feature-preserving mesh denoising." *IEEE transactions on visualization and computer graphics* 22.3 (2015): 1181-1194.

[4] Ren, Y., Li, T., Xu, J., Hong, W., Zheng, Y., & Fu, B. "Overall filtering algorithm for multiscale noise removal from point cloud data." *IEEE Access* 9 (2021): 110723-110734.

[5] Altantsetseg, E., Muraki, Y., Chiba, F., & Konno, K. "3d surface reconstruction of stone tools by using four-directional measurement machine." *International Journal of Virtual Reality* 10.1 (2011): 37-43.

[6] Cheon E., Lee S. R., Lee D. H. Hazard Assessment Based on the Combination of DAN3D and Machine Learning Method for Planning Closed-Type Barriers against Debris-Flow //Water. – 2020. – Т. 12. – №. 1. – С. 170.

[7] Altantsetseg, E., Muraki, Y., Matsuyama, K., and Konno, K. "Feature line extraction from unorganized noisy point clouds using truncated fourier series." *The Visual Computer* vol. 29, no. 6, pp. 617–626, 2013.

[8] Bian, Z., & Tong, R. (2011). “Feature-preserving mesh denoising based on vertices classification”. *Computer Aided Geometric Design*, *28*(1), 50-64.



Салбар хуралдаан-5

Холбоо сүлжээ

САЛБАР ХУРАЛДААН-5: ХОЛБОО, СҮЛЖЭЭ *ШУТИС VIII байр, 801 тоот танхимд* **Хурлын дарга:** З.Буянхишиг /ШУТИС-ийн дэд профессор/		
1.	“Үүрэн болон Wi-Fi холимог сүлжээнд DRL аргад суурилсан суваг хуваарилалтын судалгаа” Р. *Баярмаа, Казухино Киношита, Б.Отгонбаяр*	116
2.	“Дата төвд программаар тодорхойлогддог сүлжээ нэвтрүүлэх нь” *Г.Хуягбаатар, Г.Базарсүрэн, Б.Өсөхбаяр, Х.Золзаяа, Д.Баттулга*	122
3.	“VoIP хэрэглэгчдийн траффикийн математик загварчлал ба симуляцийн харьцуулсан судалгаа” *Я.Дашдорж, Х.Уянгаа, Ц.Энхтөр, Л.Одончимэг*	128
4.	“Estimation of Rain Attenuation at C, Ku and Ka Bands for Satellite Links in Mongolia” *Otgonbaatar Yura, Buyankhishig Zundui, Ganbold Shagdar*	132
5.	“Монгол улсын мэдээлэл холбооны сүлжээний үр ашгийн өнөө ба ирээдүйн өсөлтийн таамаглал” Б.*Пүрэвцэрэн, Г.Мөнхтулга, Л.Эрдэнэбаяр, П.Уганбаяр*	138

Үүрэн болон Wi-Fi холимог сүлжээнд DRL аргад суурилсан суваг хуваарилалтын судалгаа

Баярмаа Рагчаа
Холбооны салбар
Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль, ШУТИС,
Улаанбаатар, Монгол улс
bayarmaa@must.edu.mn

Казухико Киношита
Ухаалаг систем ба мэдээллийн технологийн салбар
Токушима Их Сургууль
Токушима, Япон улс
kazuhiko@is.tokushima-u.ac

Отгонбаяр Батаа
Холбооны салбар
Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль, ШУТИС,
Улаанбаатар, Монгол улс
otgonbayar_b@must.edu.mn

***Хураангуй*—Хөдөлгөөнт системд ачааллын хэмжээ жилээс жилд өсөн нэмэгдэхийн хэрээр утасгүй сүлжэээнд спектрийн нөөц улам бүр хүрэлцээгүй болж байна. Үүний улмаас утасгүй сүлжээний багтаамж нь их хэмжээний ачааллыг хангаж чадахгүйд хүрнэ. Үүнийг шийдэхийн тулд үүрэн системийг лицензгүй зурваст ашиглах нь ирээдүйтэй, үр ашигтай шийдлийн нэг болно. Энэ тохиолдолд үүрэн систем нь Wi-Fi болон бусад лизензгүй зурваст ажилладаг системүүдтэй зэрэгцэж ажиллах болно. Уг судалгааны ажлаараа DRL-д суурилсан аргаар Wi-Fi AP болон үүрэн eNB хооронд суваг хуваарилалтын оновчлолыг хийхийг зорьсон. Үүнийг хэрэгжүүлэхийн тулд AP болон eNB шигүү суурьлуулсан утасгүй холимог сүлжээнд нөөц хуваарилалтыг хэрэгжүүлэх эмуляторыг хөгжүүлж DDQN загварыг сургасан. Бидний санал болгож байгаа алгоритм санамсаргүй аргатай харьцуулахад дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг 20.1%-32.8%-иар сайжруулсан. Бид сургасан агентын гүйцэтгэлийн үр ашгийг үнэлэхийн тулд хэрэглэгчийн ирэх хурд янз бүр үед суваг хуваарилалт хийж дундаж нэвтрүүлэх чадамжаар нь үнэлэлт хийсэн.**

Keywords—5G, LTE eNB, лицензгүй зурвас, спектрийн нөөц, DQN, LBT, CSAT, ABS

I. УДИРТГАЛ

Хөдөлгөөнт холбооны ачаалалын жилийн өсөлт нь 2020-2030 онд 55%, мөн дэлхийн нийтийн хэмжээнд сарын ачаалал нь 2025 онд 543EB, 2030 онд 4394EB болох [1] судалгаа гарсан. Эдгээр судалгаанаас авч үзэхэд утасгүй сүлжээний багтаамж нь хөдөлгөөнт холбооны ачааллын энэ их хэмжээний өсөлтийг хангаж чадахгүй нь харагдаж байна. Энэ асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд LTE (Long Term Evolution), 5G гэх мэт үүрэн системийг лицензгүй зурваст өргөтгөн ажиллуулах нь спектр ашиглалтын хувьд үр ашигтай бөгөөд ирээдүйтэй шийдэл болно [2], [3]. 5G, NR-U (New Radio Unlicensed) системийн хувьд 1-100ГГц-ийн аль ч давтамжийн зурваст ажиллах [4] боломжтой ба эхний шатанд 5ГГц-ийн зурвас дээр судалгаа хийгдэнэ. Мөн LAA (License Assisted Access) болон NR-U эхний ээлжинд 5ГГц-ийн лицензгүй зурваст зэрэгцэж ажиллах болно. Энэ давтамж дээр 500МГц хүртлэх спектрийн нөөцийг лицензгүй зурваст ажилладаг төхөөрөмжүүдийн хувьд ашиглах боломжтой [6], [7]. Хэдийгээр 5G системийг нэвтрүүлэхдээ давтамжийн цар 2 буюу FR2-ийг ашиглахаар төлөвлөсөн боловч бид судалгааны ажлаараа FR1 буюу 6ГГц-с дооших давтамжийн царыг эхний ээлжинд авч үзсэн.

Ялгаатай технологиуд ижил давтамж дээр ямар нэг зохицуулалтгүйгээр ажиллахад их хэмжээний интерференц үүсгэж, хэрэглэгчийн дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг бууруулна. LTE болон Wi-Fi технологиуд зэрэгцэж ажиллах тохиолдолд спектр хуваарилах үүрэгтэй CSAT (Carrier Sensing Adaptive Transmission) [3], [4], LBT (Listen Before Talk) [9], болон ABS (Almost Blank Subframe) зэрэг технологиуд байдаг. Ерөнхийдөө, эдгээр нь LTE болон Wi-Fi системүүд дамжуулал хийхийн өмнө тухайн суваг чөлөөтэй байгаа эсэхийг шалгах байдлаар спектрийг хуваах ашиглах зориулалттай технологиуд юм. Олон тооны судалгааны ажлуудад LTE болон Wi-Fi системүүд утасгүй сүлжээнд зэрэгцэж ажиллах боломжийг уламжлалт аргаар хийсэн. Уламжлалт аргын хувьд радио системийн нөөц хуваарилалтыг оновчлоход нилээд олон төрлийн хязгаарлагдамал байдал үүсч зарим орчин үеийн системд хэрэгжүүлэхэд үр ашиггүй болдог. Иймээс машин сургалтанд суурилсан, ялангуяа DRL (Deep Reinforcement Learning) арга нь сүлжээний статистикийн бүрэн мэдээлэлгүй ч удирдлагыг ухаалагаар хэрэгжүүлэх боломжтой юм [10]. Машин сургалтын гурван үндсэн арга байдгаас бид суваг хуваарилалтыг оновчлоход DRL аргыг сонгосон. Учир нь энэ судалгааны ажлын хувьд нэвтрүүлэх чадамж болон суваг хуваарилалт гэсэн хоёр тодорхойгүй, сайжруулах шаардлагатай парамтертэй. Үүнийг DRL аргаар хэрэгжүүлэхийн тулд суваг хуваарилалтыг үйлдэл (action), дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг шагнал (reward) болгож авсан. Бидний хэрэгжүүлсэн машин сургалтанд суурилсан аргын хувьд дундаж нэвтрүүлэх чадамж нь уламжлалт аргуудтай харьцуулахад сайжирсан.

Энэ судалгааны ажлаар утасгүй холимог сүлжээнд шигүү суурьлуулсан Wi-Fi AP болон LTE eNB (eNodeBs)-д DRL-д суурилсан аргаар сувгийг оновчтой хуваарилж өгсөнөөр дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг сайжруулах зорилт тавьсан. Үүнийг хэрэгжүүлэхдээ DQN агентыг сургахын тулд тэгш өнцөгт талбайд Wi-Fi AP (Access Points) болон LTE eNB шигүү суурилуулсан байхаар эмулятор хөгжүүлсэн [5]. Сургасан загвар хамгийн их шагнал (reward) авсан буюу өндөр нэвтрүүлэх чадамжтай болсон үед сувгийг оновчтой хуваарилалт боломжтой болно. Энэ нь тасралтгүй өсөн нэмэгдэж байгаа утасгүй сүлжээний ачаалалд тохируулан спектрийн нөөцийг үр ашигтай хуваарилах боломжийг бүрдүүлнэ.

II. СУДЛАГДСАН БАЙДАЛ

A. Нөөц хуваарилалтын аргууд

Үүрэн холбооны 4G LTE, 5G системүүдийг лицензгүй зурваст шилжүүлэн ашиглах үед уг зурваст хамгийн түгээмэл Wi-Fi (IEEE 802.11a.b.g.n гэх мэт) системтэй спектрийн нөөц хуваарилалт, суваг эзлэлтийн хамгийн их

хугацаа, эзлэгдсэн зурвасын өргөний хамгийн бага хэмжээ, бусад системтэй шудрага зэрэгцэж ажиллах зэргийг судласан [11]. Үүрэн болон Wi-Fi системүүд нь MAC (Medium Access Control) протоколын ялгаатай байдлаас болж ямар нэг зохицуулалтгүй ажиллахад хүндрэлтэй. Үүрэн систем нь OFDMA, харин Wi-Fi систем CSMA/CA (Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance) хандалтын аргыг хэрэглэдэг. Эдгээр суурь ялгаатай аргаас шалтгаалан LTE систем Wi-Fi-д илүү интерференц үзүүлдэг [9]. Энэ асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд LBT, CSAT, ABS зэрэг нөөц хуваарилалтын аргуудыг үүрэн болон Wi-Fi хосолсон системүүдэд ашигладаг [13].

B. Үүрэн болон Wi-Fi хосолсон системд уламжлалт аргаар нөөц хуваарилалт хийх.

Зарим судалгааны ажлуудад [5],[8],[12],[14] үүрэн болон Wi-Fi холимог системүүдэд нөөц хуваарилахтай холбоотой асуудлуудыг тал бүрээс нь судалсан. Технологи хоорондын нөөц хуваарилалтын загварчлалыг системийн хувьд ялгаатай давхарга тус бүр дээр техникийн болон техникийн бус талаас нь судалсан [9]. Үүрэн холбоо, Wi-Fi болон радар зэрэг системийн нөөц хуваариалалтыг 5ГГц-ийн зурваст хийх боломжийн талаар [6] авч үзсэн. [8] дээр үүрэн болон Wi-Fi системүүдэд нөөц хуваарилахтай холбоотой асуудлуудыг, тухайлбал, лицензгүй зурваст зөөгчийг нэгтгэх, MAC протоколын харьцуулалт, зэрэгцээ сувгийн интерференц зэрэг асуудлуудыг судалсан. Генетик алгоритмд суурилсан аргаар [13] LTE/Wi-Fi холимог системд, дундаж нэвтрүүлэх чадамж болон шударга зэрэгцэж ажиллах нөхцлийг сайжруулахын тулд суваг хуваарилалт болон хандалтын системийг сонгох судалгаа хийсэн.

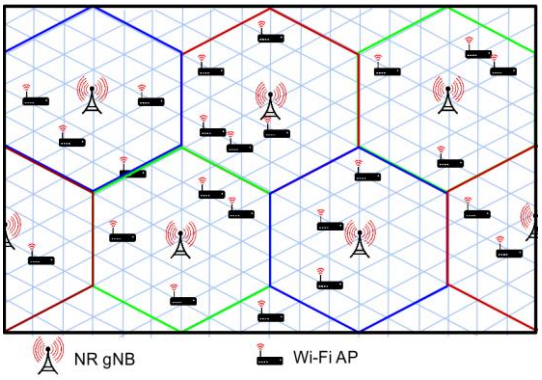
C. Үүрэн болон Wi-Fi хосолсон системд машин сургалтанд суурилсан аргаар нөөц хуваарилалт хийх.

Уламжлалт аргаар үүрэн болон Wi-Fi системийн хооронд нөөц хуваарилах талаар маш олон судалгааны ажлууд хийгдсэн. Сүүлийн үед машин болон гүн сургалтанд суурилсан аргыг холбооны системийн хувьд, жишээлбэл, спектр сонголт, хуваарилалт, хандалт зэрэг асуудлыг оновчлох зорилгоор ашигласан [10],[11],[17], [18]. Ялангуяа [16] дээр утасгүй LAN (Local Area Network) сүлжээний хувьд DRL-д суурилсан аргаар сувгийн оновчтой хуваарилалт хийх судалгаа хийсэн. Мөн түүнчлэн [19] mLTE-U ийн тохиргоог оновчтой сонгох аргыг CNN (Convolutional Neural Network)-д суурилсан аргаар гүйцэтгэсэн. Хэдийгээр маш олон судалгааны ажил үүрэн болон Wi-Fi холимог системд уламжлалт, машин болон гүн сургалтанд суурилсан аргаар хийгдсэн боловч шигүү суурилуулсан холимог сүлжээнд суваг хуваариалт хийх талаар тусгаагүй. Мөн түүнчлэн шигүү суурилуулсан холимог сүлжээнд машин сургалт хийх болон бусад моделтой харьцуулалт хийхэд зориулсан өгөгдлийн сан байхгүй.

III. САНАЛ БОЛГОЖ БУЙ АРГА

A. Системийн загварчлал

Зураг 1-д үзүүлсэнээр олон гурвалжин дүрсээс бүрдсэн тэгш өнцөгт хэлбэртэй талбайг [5] [13] DRL -д суурилсан сургалт явуулах орчин гэж авч үзсэн.



Зураг 1. Холимог системийн ерөнхий бүтэц (орчин)

Жижиг талбай бүр нэг болон түүнээс дээш тооны AP-ийн бүрхэлтэнд хамрагдана. LTE eNB болон Wi-Fi AP-ийн бүрхэлтийн талбай адилхан зөв зургаан талт хэлбэртэй, нийт 54 гурвалжин дүрсээс (хөх, улаан, ногоон өнгөөр дүрсэлсэн) бүрдэнэ. Үүнд хоёр төрлийн хэрэглэгч (зөвхөн Wi-Fi болон Wi-Fi-LTE холимог) авч үзсэн. Холимог сүлжээний хэрэглэгч нь Wi-Fi болон LTE системд нэвтрүүлэх болон хүлээн авах боломжтой бол Wi-Fi хэрэглэгч нь зөвхөн Wi-Fi сүлжээнд ашиглагдана. Хэрэглэгч бүрийн жижиг талбайд ирэх хурд нь пауссоны ирэх λ хурдтай байна. Хэрэглэгчдийн холболтын үргэлжлэх хугацаа экспоненциал хуулийн дагуу дунджаар 300сек-ийн хугацаатай. Үүрэн систем LAA болон Wi-Fi систем 5ГГц-ийн лицензгүй зурваст ажиллахаар, спектр хуваарилалтын схемээр LBT-г ашигласан. Нэвтрүүлэх чадамжийг олон тооны eNB, AP ижил давтамж дээр ажиллаж байгаа үед сувгийг LBT технологийн дагуу хуваан эзэмшиж буй тохиолдолд тооцоолсон. LBT технологийг Марковын сүлжээний алгоритмын дагуу загварчлагдсан бөгөөд (1), (2) томъёогоор тооцоолно.

$$S_W = \frac{P_s^W \overline{E(P_W)}}{(1-P_b)\delta + P_s^W \overline{T_s^W} + P_s^L \overline{T_s^L} + P_c^W \overline{T_c^W} + P_c^L \overline{T_c^L} + P_c^{WL} \max(\overline{T_c^W}, \overline{T_c^L})} \quad (1)$$

$$S_L = \frac{P_s^L \overline{E(P_L)}}{(1-P_b)\delta + P_s^W \overline{T_s^W} + P_s^L \overline{T_s^L} + P_c^W \overline{T_c^W} + P_c^L \overline{T_c^L} + P_c^{WL} \max(\overline{T_c^W}, \overline{T_c^L})} \quad (2)$$

S_W – Wi-Fi AP-ууд ижил суваг хуваан эзэмшиж байгаа үед системийн нэвтрүүлэх чадамж

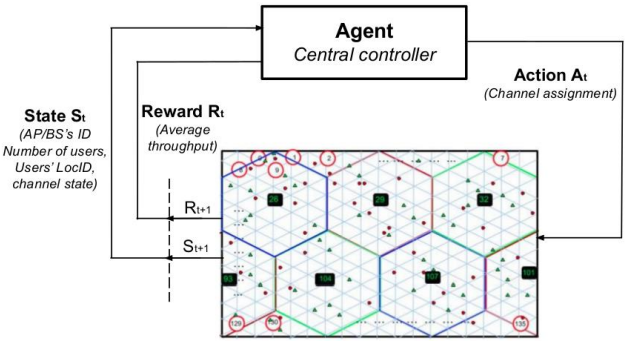
$$S_{W'} = \frac{P_S^W \overline{E(P_W)}}{(1-P_b)\delta + P_S^W \overline{T_S^W} + P_C^W \overline{T_C^W}} \quad (3)$$

Үүнд: W, L нь Wi-Fi болон LTE гэсэн үг. $E(P_W)$, $E(P_L)$ - багцын дундаж хэмжээ, P_S^L , P_S^W -амжилттай дамжих магадлал, P_C^L , P_C^W , P_C^{WL} -мөргөлдөөн үүсэх магадлал, T_S^L , T_S^W -амжилттай дамжууллын үе дэх суваг эзлэгдэх дундаж хугацаа, T_C^L , T_C^W -мөргөлдөөний улмаас суваг завгүй байх дундаж хугацаа, P_b -суваг завгүй байх магадлал, δ - хугацааны завсар.

B. DRL аргад суурилсан суваг хуваарилалтын бүтэц

Энэ хэсэгт DRL аргад суурилсан, лицензгүй зурваст холимог сүлжээн дэх суваг хуваарилалтын үр ашигтай аргыг санал болгож байна. Үүний тулд DRL аргаар агент буюу холимог сүлжээний төв удирдлагын суваг хуваарилалтыг оновчтой болгож хэрэглэгчийн дундаж нэвтрүүлэх чадамж болон нөөц ашиглалтыг сайжруулах зорилготой. DRL аргаар моделийг сургахын тулд холимог сүлжээнд шигүү суурилуулсан eNB болон AP байхаар эмулятор хөгжүүлж сургалтын орчин болгож ашигласан.

Холимог сүлжээнд суваг хуваарилалтыг хэрэгжүүлэхдээ AP болон eNB-г нэгдсэн зохицуулалтаар удирдахаар агентыг загварчилсан. Энд хэрэглэгчийн ирэх хурд, байршил, сувгийн өөрчлөлтийн мэдээлэл зэргээс шалтгаалан орчны төлвийн мэдээлэл эпиcодын турш байнга өөрчлөгдөнө. Тиймээс бусад уламжлалт аргатай харьцуулахад нэвтрүүлэх чадамжийг сайжруулахын тулд оновчтой суваг хуваарилалт хийхээр DRL аргыг ашигласан. Товчхондоо сувгийн оновчтой хуваарилалт нь хэрэглэгчийн дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг сайжруулах ба интерференцийг бууруулж багтаамжийг сайжруулна. Бидний хэрэгжүүлэх аргын хувьд загварчилсан DDQN (Double Deep Q Networks) агентыг сургахын тулд орчны бүх төлвийн мэдээлэлд харгалзах сувгийн өөрчлөлтийн мэдээллийг агент суралцана. Ингэснээр агент богино хугацаанд суралцаж байгаа орчны AP болон eNB-д оновчтой суваг хуваарилалт хийх чадвартай болно. DRL аргыг хэрэгжүүлэхийн тулд эхлээд загварчилсан суваг хуваарилалтын өгөгдлийг MDP (Markov Decision Process) рүү хөрвүүлэх шаардлагатай [10]. Ерөнхийдөө MDP нь орчноос агентад өгөх оноог буюу шагналыг хамгийн их болгох дүрмийг тодорхойлно. Тиймээс зураг 2-д үзүүлсэнээр хэрэгжүүлэх орчинд суваг хуваарилалтын асуудлыг MDP шинж чанартайгаар S төлөв, A үйлдэл, шилжилтийн магадлал $p(S_{t+1}|S_t, A_t)$, шагналын функц $R_t(S_t, A_t)$ байдлаар илэрхийлнэ.



Зураг 2. Агент болон орчны харилцан үйлчлэл

Энд агент нь нэгдсэн шийдэл гаргах үүрэгтэй “action-value” функцтэй байна. “Action-value” функц нь тухайн төлөвт (S_t) тодорхой үйлдэл (A_t) хийсний дараа боломжит системийн загварчлалын симуляторыг жава програм дээр хэрэгжүүлэсэн ба DDQN агентыг сургахад уг симуляторaас дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг шагнал R болгож авна.

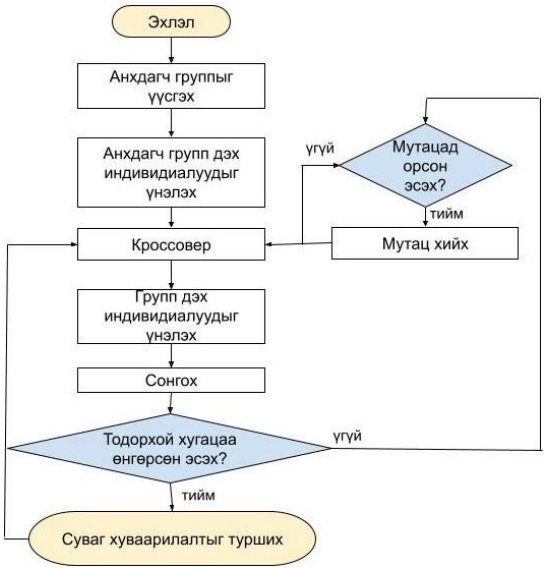
ХҮСНЭГТ 1. ОРОЛТОНД АШИГЛАХ ТӨЛВИЙН МЭДЭЭЛЭЛ

AP ID	AP/NB байршил	Холбогдсон хэрэглэгчид	Багтаамж [Мбит/сек]	Хамгийн их багтаамж [Мбит/сек]	Хэрэглэгчийн байршил	Хуваарилагдсан суваг	Хэр-н нэвтрүүлэх чадамж [Мбит/сек]
1	95	6	4.33	40	114	2	6.75
2	38	0	11	40	85	1	4.33
3	25	5	13.5	75	24	0	3.45
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
107	55	2	2.5	75	26	3	7.24

Холимог системийн S төлвийн мэдээллийг симуляторoос хүснэгт 1-т үзүүлсэнээр гаргаж авна. Энэ мэдээллийг DDQN агентийг сургах зорилгоор оролтын өгөгдөл болгож ашиглана. Энэ тохиолдолд оролтын өгөгдөл дискрет байх ба AP/BS-ийн индекс, AP/BS-д холбогдсон хэрэглэгчдийн тоо, тэдгээрийн байршлын мэдээлэл болон хуваарилагдсан суваг гэсэн дөрвөн элементээс бүрдэнэ. Оролтын өгөгдлийг DDQN -д өгөхөөс өмнө урьдчилан боловсруулна.

C. DDQN агентыг сургах

Утасгүй холимог сүлжээнд суваг хуваарилалтыг оновчтойгоор хэрэгжүүлэхийн тулд DDQN-нд суурилсан нэг агенттай DRL схемийг авч үзсэн. Үйлдэл A мэдээлэл нь дискрет, боломжит сувгийн нэгдэл байдлаар $A_t \in A = \{0,1,2,3\}$ байна. Эдгээр A-аас оновчтой сувгийн хуваарилалтыг Epsilon Greedy алгоритмын дагуу, $\varepsilon = 1$ үед санамсаргүй, $\varepsilon = 0$ үед суралцсан дээрээ үндэслэсэн суваг хуваарилалтыг AP болон eNB бүрт хийнэ. Бидний санал болгож буй DRL-д суурилсан суваг хуваарилалтын арга нь агент болон орчин гэсэн хоёр үндсэн хэсгээс тогтоно. Орчин болон агент нь локал сервер, клиент байдлаар ажиллах ба эдгээрийн хооронд төлөв, үйлдэл, шагналын мэдээллийг зорьсон загвараа сургахын тулд дамжуулна. Загвараа сургах алгоритмыг зураг 3-т үзүүлэв.



Зураг 3. DDQN-р суваг хуваарилалт хийх алгоритм

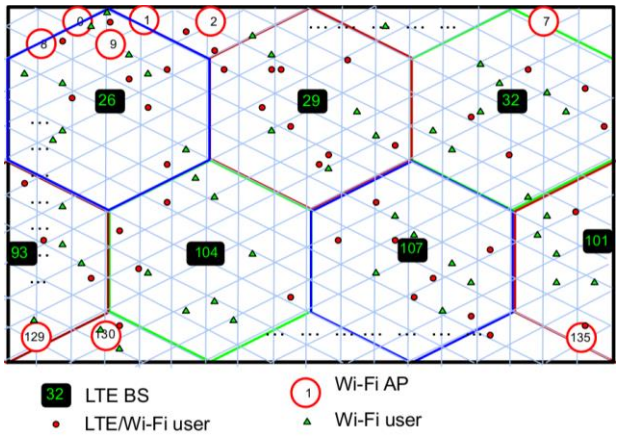
Алгоритмын дагуу эхлээд бүлэг үүсгэж тодорхой нөхцөлийг шалган шаардлага хангасан бүлгүүдэд суваг хуваарилалтыг хэрэгжүүлэх боломжтой эмуляторыг хөгжүүлсэн. Энд шагналын “R” функцийг холимог сүлжээнд сувгийн хуваарилалтыг оновчлоход зориулж загварчлагдсан. Үүнийг холимог сүлжээг загварчилсан эмуляторaас гаргаж авах ба дундаж нэвтрүүлэх чадамжаар илэрхийлэгдэх хугацааны бодит агшинд шагнал өгөх зориулалттай дискрет функц байна. Суваг хуваарилах процесс нь өгөгдсөн төлөв S_t-өөс дараагийн төлөв S_{t+1} -д $p(S_{t+1}, R_t, |S_t, A_t) = P_r\{S_t = S_{t+1}, R_t = R_{t+1}|S_{t-1} = S_t, A_{t-1} = A_t\}$ гэсэн шилжилтийн магадлалтайгаар шилжинэ. Сүүлийн AP-д суваг хуваарилалтыг туршсанаар тухайн эпиcодын төгсгөл болж шагнал R_t -г тооцоолон, дараагийн эпиcодод шинээр хуваарилалтыг турших байдлаар сургалт үргэлжилнэ. Үр

дүнд нь агентыг бүрэн сургах ба сургасан агент AP/BS-д холбогдсон хэрэглэгчдийн тоо, байршлаас хамааран сувгийг оновчтой хуваарилах чадвартай болно.

IV. ГҮЙЦЭТГЭЛД ҮНЭЛЭЛТ ХИЙХ

A. *Симуляцийн загварчлал*

Симуляцийн загварчлал хийх зорилгоор тэгш өнцөгт хэлбэртэй дотроо 288 жижиг гурвалжин дүрсээс бүрдэх талбайг зураг 4-т үзүүлсэнээр авч үзсэн.



Зураг 4. Симуляцийн загварчлал

AP болон BS-ийн бүрхэлтийн талбай адилхан зөв зургаан өнцөгт хэлбэртэй дотроо 54 жижиг гурвалжин талбайгаас бүрдэнэ. Энд AP болон BS-ийг байрлуулах боломжтой талбайн тоо 136 байна. Зураг 4-д үзүүлсэнээр нийт 7 (26, 29, 32, 93, 101, 104, 107 дугаартай) BS-ийг улаан, ногоон, хөх өнгөөр дүрслэн зөв зургаан өнцөгтийн төвд байрлуулсан ба бүрхэлт нь хооронд давхцахгүй. Харин 100 ширхэг Wi-Fi AP -ийг бусад байрлуулах боломжтой талбайд санамсаргүйгээр суурилуулна. Бүх жижиг талбай нь нэг болон түүнээс олон тооны Wi-Fi AP-ийн бүрхэлтэнд байна. Симуляторыг хэрэгжүүлэхдээ нийт 2500 хэрэглэгчтэй байхаар загварчилсан ба тухайн хугацааны агшинд зарим AP-д хэрэглэгч холбогдохгүй ч байж болно. Мөн хэрэглэгчдийн холболтын үргэлжлэх дундаж хугацаа нь 300сек байх ба холболт дуустал хэрэглэгчид тухайн байршилдаа байна. Дараагийн суваг хуваарилалтыг 300сек-ийн дараа туршиж үзнэ. Өөрөөр хэлбэл симуляцийн туршид хэрэглэгчид хөдөлгөөнгүй байх ба 300сек-ийн дараа хэрэглэгчдийн тоо, байршил гэх мэт төлвийн мэдээлэл өөрчлөгдөж дараагийн суваг хуваарилалтыг туршина. Нийт боломжит сувгийн тоо 4 байх ба эхлээд AP-д санамсаргүйгээр хуваарилагдана. Харин LTE eNB нь гурван сувагтай, зэрэгцээ BS-уудад ижил суваг хуваарилахгүй, симуляцийн турш хуваарилагдсан суваг өөрчлөгдөхгүй. Хоёр төрлийн хэрэглэгчдийн жижиг талбайд ирэх харьцаа нь адил 1:1 тэнцүү байна. Хэрэглэгчдийн хандалтын системийг сонгохын тулд тухайн хэрэглэгчдийн төхөөрөмжөөс авсан мэдээлэл дээр үндэслэж хамгийн өндөр нэвтрүүлэх чадамжтай байх системд холбоно.

ХҮСНЭГТ 2. LTE BS БОЛОН WI-FI AP-ИЙН СИМУЛЯЦИЙН ПАРАМЕТРҮҮД

Пакетын хэмжээ	12800 бит
MAC толгойн мэдээлэл	272 бит
PHY толгойн мэдээлэл	128 бит
Баталгаажуулалт (ACK)	(112+ PHY толгой) бит
Wi-Fi битийн хурд	40 Mbps
LTE битийн хурд	75 Mbps
Слотын хугацаа	9 мксек
SIFS	16 мксек
DIFS	34 мксек

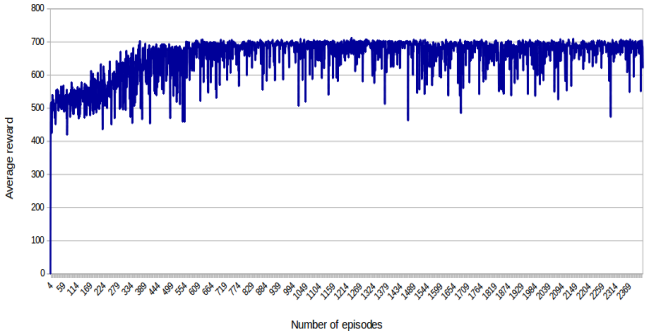
Холимог системийн гүйцэтгэлийг хүснэгт 1 [19]-ийн дагуу үнэлнэ.

B. *Сүлжээний бүтэц*

DDQN алгоритмаар сувгийн хуваарилалт хийхийн тулд хуперпараметрийн янз бүрийн утга дээр туршиж [5] хамгийн сайн гүйцэтгэлтэй утгаар тохируулга хийж моделийг сургасан. Туршилтаас $\gamma = 0.99$, $\alpha = 0.00025$ байхаар сонгосон. Мөн санах ойн хэмжээ 100000, batch-ийн хэмжээг 512 байхаар 20 алхам бүрт сүлжээг шинэчлэхээр сонгосон. Веллмений тэгшитгэлээр Q-ийн хамгийн их утгатай үед оновчтой суваг хуваарилалтыг гаралтын давхарга дээр гаргана.

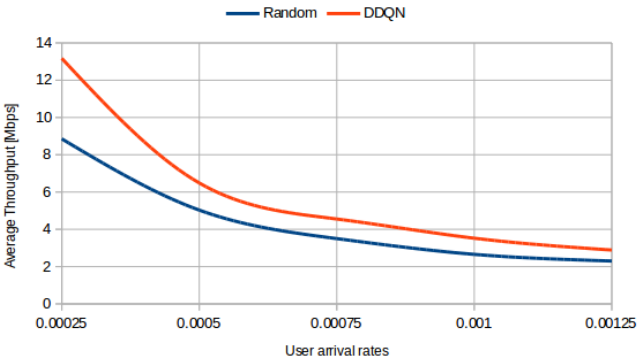
C. *Гүйцэтгэлийн үнэлэлт*

Тохируулсан параметрийн дагуу DDQN агентийг сургаж хамгийн их шагналын оноотой арван моделийг харьцуулж хамгийн өндөр гүйцэтгэлтэй моделийг сонгосон. Сонгосон моделийн гүйцэтгэлийн үр дүнг зураг 5-д үзүүлсэн ба хэвтээ тэнхлэгт эписодын тоог, босоо тэнхлэгт шагналын дундаж тоо буюу дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг харуулсан. Өөрөөр хэлбэл дундаж дундаж нэвтрүүлэх чадамж 700 гэж үзвэл нэг AP-ийн нэвтрүүлэх чадамж нь 6.54Мбит/сек болно.



Зураг 5. Гаргаж авсан DDQN моделийн гүйцэтгэл (дундаж нэвтрүүлэх чадамжаар)

Дундаж нэвтрүүлэх чадамж нийлэхэд (converged), DDQN агент авч үзэж байгаа орчинг (environment) бүрэн судалж өгөгдсөн төлөвт оновчтой сувгийг хуваарилах боломжтой болно. Бид DDQN-д суурилсан суваг хуваарилалтын гүйцэтгэлийн үр дүнг $\varepsilon = 1$ үед санамсаргүйгээр суваг хуваарилалтын үр дүнтэй харьцуулсан, зураг 6.



Зураг 6. Хэрэглэгчийн ирэх хурд ялгаатай үед дундаж нэвтрүүлэх чадамжийн харьцуулалт

Дээрх үр дүнгээс авч үзвэл бидний санал болгосон DDQN-д суурилсан арга санамсаргүй суваг хуваарилалтын аргатай харьцуулахад дундаж нэвтрүүлэх чадамж нь 20.1%-32.8% сайжирсан нь харагдаж байна. Энд хэрэглэгчийн ирэх хурдыг $\lambda = \{0.00025, 0.0005, 0.00075, 0.001, 0.00125\}$ гэж таван өөр хурдаар сонгосон. Харьцуулсан үр дүндээс авч үзвэл холимог сүлжээнд ирэх хэрэглэгчдийн тоо нэмэгдэхэд дундаж нэвтрүүлэх чадамж буурч байна.

V. ДҮГНЭЛТ, ЦААШИД ХИЙХ АЖЛУУД

Энэ судалгааны ажлаар холимог сүлжээнд DDQN-д суурилсан аргаар суваг хуваарилалтыг оновчилж дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг сайжруулахыг зорьсон. Үүнийг хэрэгжүүлэхийн тулд үүрэн болон Wi-Fi холимог сүлжээг загварчилж орчинг бий болгон эмулятор болгож ашигласан. Гаргаж авсан моделийн үр дүнгээс харахад санал болгосон DDQN алгоритм дундаж нэвтрүүлэх чадамжийг санамсаргүй аргатай харьцуулахад 20.1%-32.8% -р сайжруулсан.

Цаашид холимог сүлжээн дэх хэрэглэгчдийг хөдөлгөөнтэй байдлаар орчинг (эмуляторыг) загварчилж машин сургалтын бусад алгоритм ашиглан үр дүнг харьцуулалт хийнэ.

ТОВЧИЛСОН ҮГИЙН ЖАГСААЛТ

ABS	Almost Blank Subframe
APs	Access Points
BS	Base Station
CSAT	Carrier Sensing Adaptive Transmission
CSMA/CA	Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance
DDQN	Double Deep Q Networks
DL	Deep Learning
DQN	Deep Q Network
DRL	Deep Reinforcement Learning
eLAA	enhanced LAA
eNBs	eNodeBs
LAA	License Assisted Access
LBT	Listen Before Talk
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MDP	Markov Decision Process
ML	Machine Learning
NN	Neural Network
PHY	Physical Layer
RL	Reinforcement Learning
TCP	Transmission Control Protocol
UE	User Equipment
WLAN	Wireless Local Area Network

АШИГЛАСАН МАТРИАЛУУД

1. Report ITU-R M.2370-0(07/2015) IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030, M Series Mobile, radio determination, amateur and related satellite services.
2. Signals Research Group, ‘‘The prospect LTE Wi-Fi sharing unlicensed spectrum’’, Qualcomm, San Diego, CA, USA, White Paper, Feb. 2015.
3. M. Agiwal, A. Roy, et al., "Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey, "*IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 3, pp. 1617-1655, third quarter 2016.
4. F. Hu, B. Chen, et al., "Full Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks Toward 5G: A Survey" IEEE Access, vol. 6, pp. 15754-15776, 2018.
5. Ragchaa B, Kinoshita K. Spectrum Sharing between Cellular and Wi-Fi Networks Based on Deep Reinforcement Learning. International journal of Computer Networks & Communications. 2023 Jan 30;15(01):123-43.
6. G. Naik, J .Liu, et al., “Coexistence of Wireless Technologies in the 5 GHz Bands: A Survey of Existing Solutions and a Roadmap for Future Research”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol 20, pp. 1777-1798, 2018.
7. S. Xu, Y. Li, et al., "Opportunistic Coexistence of LTE and WiFi for Future 5G System: Experimental Performance Evaluation and Analysis", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 8725-8741, 2018.
8. B. Chen, J. Chen, et al., “Coexistence of LTE-LAA and Wi-Fi on 5 GHz with Corresponding Deployment Scenarios: A Survey”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 1553-877X (c) 2016.
9. C. Capretti, F. Gringoli, et al., “LTE/Wi-Fi Co-existence under Scrutiny: An Empirical Study”, October 2016 Pages 33–40, https://doi.org/10.1145/2980159.2980164
10. K. Kinoshita, K. Ginnan, et al., "Channel Assignment and Access System Selection in Heterogeneous Wireless Network with Unlicensed Bands", 2020 21st Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), pp. 96-101, 2020.
11. J. Wszołek, S. Ludyga, et al., “Revisiting LTE LAA: Channel Access, QoS, and Coexistence with Wi-Fi”, IEEE Communications Magazine, vol. 59, no. 2, pp. 91-97, February 2021.
12. G. Naik, J. M. Park, et al., "Next Generation Wi-Fi and 5G NR-U in the 6 GHz Bands: Opportunities and Challenges", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 153027-153056, 2020..
13. M. Alhulayil, M. López-Benítez, et al., "Novel LAA Waiting and Transmission Time Configuration Methods for Improved LTE-LAA/Wi-Fi Coexistence Over Unlicensed Bands", IEEE Access, vol. 8, pp. 162373-162393, 2020.
14. N. Bitar, O. Al Kalaa, et al., "On the Coexistence of LTE-LAA in the Unlicensed Band: Modeling and Performance Analysis", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 52668-52681, 2018.
15. C. Chen, R. Ratasuk, et al., "Downlink Performance Analysis of LTE and WiFi Coexistence in Unlicensed Bands with a Simple Listen-Before-Talk Scheme", 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), pp. 1-5, 2015.

16. V. Maglogiannis, A. Shahid, et al., “Enhancing the Coexistence of LTE and Wi-Fi in Unlicensed Spectrum Through Convolutional Neural Networks”;
17. M. Hirzallah, M. Krunzet, et al., "5G New Radio Unlicensed: Challenges and Evaluation", IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, vol. 7, no. 3, pp. 689-701, Sept. 2021.
18. N. Najem, M. Martinez, et al., "Cognitive Radio Resources Scheduling using Multi-Agent Q-Learning for LTE", International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol.14, No.2, March 2022
19. O. Naparstek, K. Cohen, et al., “Deep multi-user reinforcement learning for distributed dynamic spectrum access,” IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 18, no. 1, pp. 310–323, 2018.

.

Дата Төвд Программаар Тодорхойлогддог Сүлжээ Нэвтрүүлэх нь

Г.Хуягбаатар
Электроник, Холбооны Инженерчлэлийн Тэнхим
Монгол Улсын Их Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
khuyagbaatar.g@gmail.com

Г.Базарсүрэн
Электроник, Холбооны Инженерчлэлийн Тэнхим
Монгол Улсын Их Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
khuyagbaatar.g@gmail.com

Б.Өсөхбаяр
Электроник, Холбооны Инженерчлэлийн Тэнхим
Монгол Улсын Их Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
usukhbayar@num.edu.mn

Х.Золзаяа
Электроник, Холбооны Инженерчлэлийн Тэнхим
Монгол Улсын Их Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
zolzayakhh@num.edu.mn

Д.Баттулга
Электроник, Холбооны Инженерчлэлийн Тэнхим
Монгол Улсын Их Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
battulgad@num.edu.mn

***Abstract*—Дата төвийг байгууллагын онцлогт зориулан зохион байгуулах боловч өргөтгөл, шинэчлэлтийн асуудал нь зардал их юм. Дата төвийн өсөн нэмэгдэж байгаа хэрэгцээг хангах, ачаалал даах чадвар, найдвартай байдал зэргийг сайжруулах үүднээс үүлэн тооцоолол, виртуалчлал зэрэг технологийг нэвтрүүлэх шаардлага тулгараад байна. Энэ судалгааны ажлаараа бид сүлжээний уламжлалт архитектуртай дата төвийг программаар тодорхойлогддог сүлжээнд суурилсан архитектурт шилжүүлэх, үйл ажиллагааны талаар болон явцын дундах алдааг хэрхэн шийдсэн талаар танилцуулна. Дараа нь 2 болон түүнээс дээш дата төвийн сүлжээг программаар тодорхойлогдсон сүлжээнд нэвтрүүлэхдээ контроллерууд, чиглүүлэгчийн байршуулалтыг оновчтой зохион байгуулах замаар гүйцэтгэлийг нэмэгдүүлж, үр ашгийг бий болгосон шийдлийг танилцуулах болно.**

Keywords—дата төв, SDN, контроллерын байршил, дата төвийн сүлжээ

I. Эхлэл

Технологийн хөгжил өсөн нэмэгдэхийн хэрээр хүмүүсийн цахим хэрэглээ эрс нэмэгдэж, цахим шийдэл ашигласан бизнес загварууд улам бүр дэлгэрч байна. Манай улсад И-Монголиа зэргээр цахим шилжилтийг засгийн газраас идэвхжүүлснээр мэдээллийг хадгалах, боловсруулах, бүртгэх, хэрэглэх нь нийтийн хүртээл болж байна. Үүний цаана мэдээлэл байрших дата төвийн асуудлыг шийдэх хэрэгтэй. Бизнес загвараасаа хамаарч томоохон компаниуд өөрийн дата төвтэй байх шаардлагатай болж байна.

Монгол улсад мөрдөгдөж буй дата төвийн тухай MNS 6528:2021 [1] стандартад бүрэн тодорхойлсон байдаг. Товчоор бол мэдээллийн технологийн дэд бүтэц (сервер, сүлжээний төхөөрөмж, Сторэйж гэх мэт), цахилгаан, генератор, хөргөлтийн систем, галын систем, камер бүхий нэвтрэх хяналтаар тоноглогдсон тусгай зориулалтын байгууламж юм. Энэхүү стандартаас гадна олон улсын байгууллагаар дата төвөө баталгаажуулах шаардлагатай болж байна. Үүний жишээ нь гадаадаас хөрөнгө оруулалт татах шалгуурт мэдээллийн технологийн дэд бүтцийн найдвартай байдал ордог болсон. Uptime Institute байгууллагын сертификатаар баталгаажсан TIER 2 буюу 2-р ангиллын дата төв Монголд 2024 оны сүүлийн мэдээгээр 3 байгууллагын 5 дата төв байна. Эдгээр нь Монгол банкны 1, Хаан банкны 2, Хасбанкны 2 дата төв юм[2]. Эдгээр дата төвүүд нь TIER 2 түвшинд баталгаажсан гэдэг 99.741%-ийг найдвартай дэд бүтэцтэй гэсэн сертификат юм. Мөн сертификат нь зураг төсөл, байгууламж, үйл ажиллагаа гэсэн үндсэн 3 төрөлд TIER 1,2,3,4 түвшинтэй байна.

Өнөөдөр дата төвүүдийг өргөтгөх, хэрэглээний өсөлттэй уялдуулахад төвөгтэй, өртөг өндөр, уян хатан биш байгаагаараа хүндрэл учруулж байна [1]. Энэхүү байдлыг үүлэн тооцоолол, виртуалчлал, Программаар Тодорхойлогддог Сүлжээ (SDN) зэрэг технологийн шийдлүүдийг ашигласнаар шийдэх боломжтой юм. Цаашлаад SDN ашигласан дата төвийн сүлжээний чиглүүлэлт, трафик инженерчлэл, нөөцийн менежмент, эдгээрийн үр ашигтай байдлыг судлах шаардлагатай юм. Мөн SDN нь эрчим хүчний хэмнэлттэй, байгальд ээлтэй дата төв байгуулахад чухал шийдэл юм [2,3].

Статистик мэдээллээр дэлхий даяар 2021-2028 хооронд программ хангамжаар тодорхойлсон сүлжээний зах зээлийн орлогод SDN орчин үеийн Дата төвүүдийн нэн чухал хэсэг болсон бөгөөд хурдан шуурхай байдал, өргөтгөх чадвар, автоматжуулалт, аюулгүй байдлын хувьд ихээхэн давуу талуудыг бий болгосноор нөлөөлж байгааг дурджээ [4].

Энэхүү судалгааны ажлаараа бид 2 дата төв бүхий байгууллагын сүлжээний дэд бүтцийг SDN технологид нэвтрүүлсэн явц болон түүнд тулгарсан асуудлыг хэрхэн шийдсэн талаар танилцуулах болно. Бидний ажил нь SDN-ийн чухал нэгж болох контроллёрын байршилтай холбоотой практик асуудал болон түүний шийдлийг санал болгосон шинэлэг талтай юм.

Энэхүү өгүүлэл нь дараах хэсгүүдээс бүрдсэн. Хоёрдугаар бүлэгт дата төв болон SDN технологийн талаар танилцуулсан. Гуравдугаар бүлэгт SDN-ийг дата төвд нэвтрүүлэх үйл явцыг товч танилцуулна. Дөрөвдүгээр бүлэгт контроллерын байршилтай холбоотой асуудлын шийдэл, түүний үр дүнг нэгтгэсэн бол тавдугаар бүлэгт энэхүү судалгааны ажлаа дүгнэх болно.

II. Онолын Хэсэг

A. Дата төв

TIER 1 түвшний дата төв нь өөрсдийн мэдээллийн технологийн тоног төхөөрөмжүүдийн (IT load) – бүрэн

[1] https://estandard.gov.mn/standard/v/3991

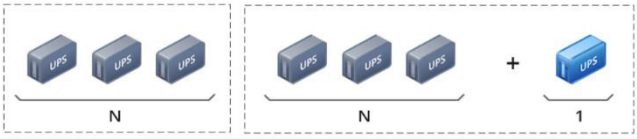
[2] https://uptimeinstitute.com/uptime-institute-awards/list

ачааллыг хангах эрчим хүч, хөргөлтийн хүчин чадалтай, тэдгээр цахилгааны тоног төхөөрөмж, хөргөлтийн шийдэл нь ямар нэгэн нөөцгүй, дангаар ажилладаг зохион байгуулалттай дата төвүүд байдаг. Энэ төрлийн дата төв нь яаралтай засвар үйлчилгээ хийх шаардлага гарах үед үйл ажиллагаа нь бүрэн зогсдог. Тоног төхөөрөмжүүдийн нөөц байдаггүй тул TIER 1 түвшний дата төвийн жилийн бодит тасалдал 28.8 цаг байхыг хүлээн зөвшөөрдөг. Энэ нь жилийн найдвартай ажиллагаа 99.671% гэсэн үг юм.

TIER 2 түвшний дата төв нь 1-р түвшний дата төвийн бүх шаардлагуудыг хангасан байх ёстой бөгөөд нэмэлтээр уг түвшний дата төв дээр нөөц тоног төхөөрөмжүүдийн шаардлага нэмэгддэг. Хэдий 2-р түвшний дата төв нь нөөц генератор, нөөц хөргөлтийн төхөөрөмжтэй байдаг ч цахилгааны үндсэн шугам болон хөргөлтийг түгээх шугам нь дан шийдэлтэй байдаг тул эрсдэл өндөр хэмээн үзэж жилийн бодит тасалдал 22 цаг буюу жилийн найдвартай ажиллагаа 99.741% байдаг гэж үздэг.

TIER 3-р түвшний дата төв нь цахилгаан хангамжийн тоног төхөөрөмж болон хөргөлтийн төхөөрөмжүүдийн нөөцтэй байх шаардлагатай болдог ба 1 болон 2-р түвшний дата төвүүдээс ялгаатай нь аливаа засвар үйлчилгээ болон тоног төхөөрөмжийг солих үед дата төв бүрэн унтрах шаардлагагүйгээр засвар үйлчилгээг хийх боломжтой байдаг. Энэ түвшний дата төвийн байгууламж нь 2-р түвшний Дата төвд шаардагддаг бүх бүрэлдэхүүн хэсгүүд болон бусад шаардлагыг хангасан байх ёстой ба нэмээд эдгээр байгууламжууд дээр N+1 шаардлага нэмэгддэг. Уг ойлголтыг тайлбарлавал “N” гэдэг нь мэдээллийн технологийн тоног төхөөрөмжүүдийн (IT load) бүрэн ачааллыг хангахад шаардлагатай хүчин чадлыг хангах дэд бүтэц ба “+1” нь тухайн дэд бүтэц дээр нэмэлтээр нөөцөд ашиглаж байгаа тоног төхөөрөмжүүдтэй ижил хүчин чадал бүхий 1 ширхэг тоног төхөөрөмж байхыг шаарддаг гэсэн үг юм.

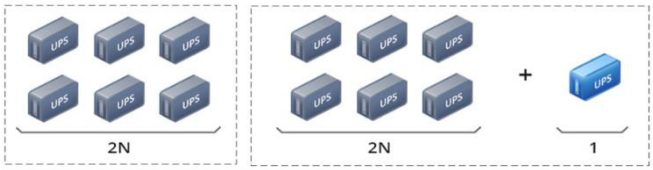
Тухайн түвшний дата төв дээр аливаа гэнэтийн цахилгааны хязгаарлалт, тасалдлын үед өөрийн нөөцөөр хамгийн багадаа 72 цаг үргэлжлүүлэн ажиллах шаардлагатай байдаг ба бодит тасалдал харьцангуй бага буюу жилийн бодит тасалдлын хүлээн зөвшөөрөгдсөн хэмжээ 1.6 цаг буюу найдвартай ажиллагаа 99.982% байдаг. (Зураг 1)



Зураг 1. TIER 3 түвшний дата төвийн N+1 бүтэц

TIER 4 түвшний дата төв нь дата төвийн хамгийн өндөр зэрэглэл бөгөөд TIER 3-р түвшний дата төвийн дэд бүтцийн шаардлага дээр нэмэгдэж бүх тоног төхөөрөмжүүд нь тусдаа бие даасан, тусгаарлагдсан зохион байгуулалттай байдаг. TIER 4 түвшний дата төв нь “2N” болон “2N+1” архитектурыг ашигладаг. Тавигдах ерөнхий шаардлага:

- Хос генератор, хос тог баригч төхөөрөмжийн систем, хос хөргөлтийн төхөөрөмжийн систем
- Аль нэг систем дээр асуудал гарахад нөгөө системдээ нөлөөлөхгүй ба тусгай бие даасан дэд бүтцүүд байх
- Аливаа гэнэтийн эрчим хүчний тасалдал, гэмтлийн үед өөрийн нөөц дэд бүтцээр хамгийн багадаа 96 цаг тасралтгүй ажиллах боломжтой байх.
- Эрчим хүчний эх үүсвэр нь ямар нэгэн өөр гадны эх үүсвэртэй холбогддоггүй байх
- 2N зохион байгуулалт гэдэг нь тухайн дата төвийг ажиллуулах дэд бүтцийн нөөц нь бие даасан 2 тусдаа систем болж ажиллах шаардлагатай ба аль нэг хэсэгт асуудал, тасалдал үүсэхэд нөгөө хэсгийн дэд бүтцийн систем ажиллана гэсэн үг юм
- 2N+1 зохион байгуулалт нь 2N – тэй ижил мөн тусдаа бие даасан 2 дэд бүтцийн систем ажиллах ба аль нэг систем дээр асуудал үүсэхэд нөгөө хэсгийн дэд бүтэц мөн ажиллана. Хэрэв тухайн нөөцөөр ажилласан дэд бүтцийн тоног төхөөрөмж дээр асуудал гарлаа гэж үзэхэд нөөцөд нэмэлтээр 1 төхөөрөмж сэлгэж ажиллах боломжтой байх шаардлага юм (Зураг 2).



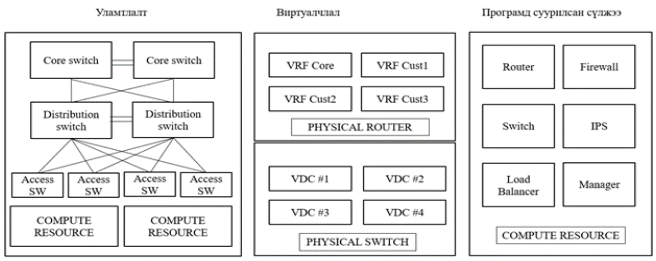
Зураг 2. TIER 4 түвшний дата төвийн 2N болон 2N+1 бүтэц

B. SDN суурь ойлголт

Зураг 3-д үзүүлснээр сүлжээний архитектурыг виртуалчлалд чиглэсэн хөгжлийн үе шатаар тодорхойлбол 3 хуваан авч үзнэ.

Уламжлалт сүлжээ: Уламжлалт сүлжээнд ихэвчлэн сүлжээний Switch төхөөрөмжийг VLAN үүсгэх замаар виртуалчилдаг байсан.

Виртуал сүлжээ: Уламжлалт сүлжээний хөгжлийн дараагийн үед галт хана, чиглүүлэгч, L2/L3 свич, ачаалал тэнцвэржүүлэгч, IPS/IDS төхөөрөмжүүдийг тухайн физик төхөөрөмж дээрх тусгай протоколуудыг ашиглан виртуалаар олшруулж эхэлсэн. Энэ нь зардлын хувьд үр ашигтай шийдэл юм.

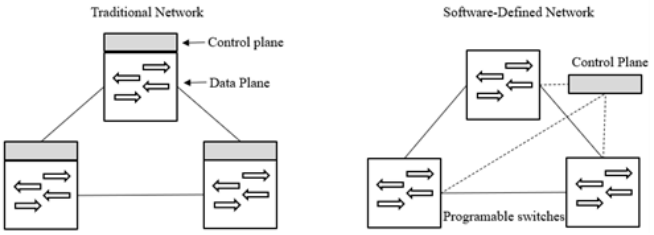


Зураг 3. Сүлжээний архитектурыг виртуалчлалд чиглүүлсэн хөгжлийн үе шат

Программд суурилсан сүлжээ: Энэ загвар нь сүлжээний урсгалыг удирдахад зориулалтын техник хангамжийн төхөөрөмж (жишээ нь: чиглүүлэгч, свич) ашигладаг уламжлалт сүлжээнүүдээс ялгаатай. SDN нь программ хангамжаар дамжуулан виртуал сүлжээ үүсгэж,

уламжлалт техник хангамжийг удирдах боломжийг олгодог.

Уламжлалт сүлжээний төхөөрөмж нь өгөгдөл тээвэрлэлт болон хяналт гэсэн талбаруудын нэгдсэн зохион байгуулалтын тусламжтайгаар чиглэлийг тодорхойлох, дамжуулах үүрэг гүйцэтгэдэг. SDN-ын хувьд тухайн төхөөрөмж дээрх өгөгдөл зөөх болон хяналтын талбаруудыг тусгаарлаж зохион байгуулсан архитектурын цогц шинэчлэл юм (Зураг 4).



Зураг 4. Уламжлалт сүлжээ болон Програм хангамжинд суурилсан сүлжээний загварын ялгаа

III. NSX-T Программаар Тодорхойлогддог Сүлжээ

VMware нь дэлхийд тэргүүлэгч серверийн виртуалчлал, SDN үйлчилгээний үйлдвэрлэгчдийн нэг юм. VMware-ын SDN шийдэл болох NSX нь сүлжээг зохион байгуулах бүтээгдэхүүн гэж ойлгоно. Forrester судалгааны байгууллагаас 2020 онд VMware-т зориулж гаргасан “The Total Economic Impact™ Of Vmware NSX” сэтгүүлд [5]:

- Шилдэг 100 байгууллагын 91 нь NSX SDN -ыг Дата төвийн сүлжээний шийдэл дээрээ ашиглаж байна
- NSX SDN ашигладаг харилцагчид дунджаар 60% хөрөнгө оруулалтын зардал (CAPEX) хэмнэсэн
- NSX SDN ашигладаг харилцагчид дунджаар 66% үйл ажиллагааны зардал (OPEX) хэмнэсэн тухай судалгааны үр дүнг танилцуулжээ.

A. NSX-ийн тухай

NSX нь сүлжээний сервисүүдийн бүхий л төрлийн төхөөрөмжүүд (свич, галт хана, чиглүүлэгч, IPS гэх мэт)-ийг программ хангамжийн түвшинд виртуалчилсан байдаг. NSX нь ерөнхий архитектурын хувьд удирдлага, хяналт, өгөгдөл гэсэн гурван тусдаа боловч нэгдсэн платформыг хэрэгжүүлэх замаар ажилладаг. Гурван дэд хэсгүүд нь Management appliance ба Transport гэсэн хоёр төрлийн зангилаа дээр байрладаг процессууд, модулиуд, агентуудын багц хэлбэрээр хэрэгждэг.

B. GENEVE протокол

Generic Network Virtualization Encapsulation (Geneve) нь VXLAN болон NVGRE зэрэг протоколуудын хөгжүүлэлтийг нэгтгэх зорилгоор IETF-с бүтээсэн сүлжээний протокол бөгөөд ижил төстэй протоколуудын шаардлагагүй ашиглалт, хөгжүүлэлтийг арилгах, цэгцлэх зорилготой юм. Geneve протоколын тухайд:

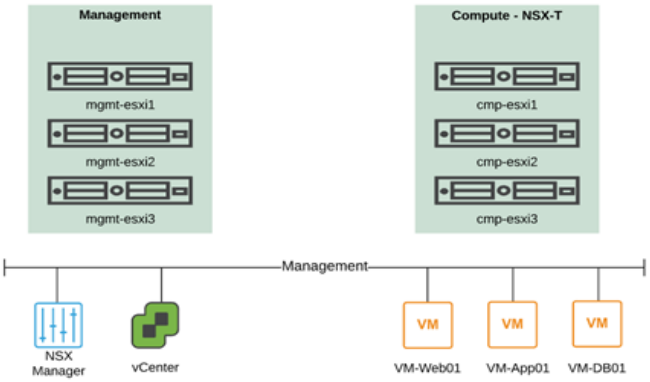
- NSX-д Data Plane-ын холболт тогтооход ашигладаг ба VXLAN-тай маш төстэй ажилладаг
- Хялбар туннел хийх боломжийг олгодог
- MTU хэмжээ нь хамгийн багадаа 1600 байт MTU>1600 байхыг шаарддаг
- GENEVE нь UDP протокол боловч дотор Header нь TCP (VM/Containers гэх мэт) юм.
- NSX Controller нь MAC хүснэгтийг харгалзах TEP IP хаягтай хадгалдаг.

IV. Тушилт

Энэ бүлэгт эхлээд бид NSX ашиглан SDN-ийг 2 дата төвд хэрхэн нэвтрүүлсэн практик туршлагаа танилцуулна. Дараа нь контроллерын байршилтай холбоотой асуудал болон түүнийг шийдсэн байдлыг танилцуулна.

A. SDN Нэвтрүүлэх

Туршилтын зорилгоор NSX-ыг бэлтгэхэд 2 ширхэг vSphere кластер (1 ширхэг тооцоолох кластер, 1 ширхэг удирдлагын кластер) -ыг туршилтын орчинд ашигласан болно [6]. Кластер бүр 3 ESXi физик сервертэй бөгөөд NSX Manager болон vCenter виртуал машинууд удирдлагын кластер дээр, Workload виртуал машинууд тооцоолох буюу compute-NSX-T кластер дээр тус тус байршуулав (Зураг 5).



Зураг 5. Туршилтанд зориулсан дэд бүтэц

Туршилтын орчинд дараах үйлдлүүдийг нэг бүрчлэн гүйцэтгэсэн. Эдгээр нь:

NSX manager: NSX Manager нь сүлжээг бүхэлд нь удирдах нэгдсэн удирдлагын систем юм. Мөн NSX Manager-ээр дамжуулан сүлжээг удирдахын тулд API хүсэлтүүдийг ашиглах боломжтой.

vCenter: нь VMware-ын vSphere hypervisor-ын бүрэн хэмжээний тохиргоо, удирдлагыг хийх зориулалт бүхий төвлөрсөн удирдлагын систем юм. Бид “МУИС-Магистр ЛАБ” гэсэн туршилтын орчинд кластерууд (тооцоолох, удирдлагын) үүсгэсэн. Тооцоолох кластер дотор 3 ширхэг ESXi серверүүд байршсан бөгөөд VM-App01, VM-DB01, VM-Web01 зэрэг workload-уудыг нэрлэсэн. Харин удирдлагын кластер дотор 3 ширхэг ESXi серверүүд байгаагаас vCenter (vc) , nsx-manager зэргийг 3 сервер дээр байршуулсан.

vSphere Distributed Switch, сервер нэмэх: vSphere сервер платформд сүлжээний суурь технологиуд багтсан байдаг ба үүний нэг нь виртуал свич юм. Виртуал свичийг vCenter платформоос үүсгэж, түүнд харгалзах серверүүдийг бүртгэж өгөв.

Tunnel End Point (TEP) сүлжээ үүсгэх: Бүх hypervisor-ууд нь NSX-ын нэг хэсэг байх бөгөөд Tunnel End Point гэж нэрлэгдэх интерфейсээр сүлжээний

урсгалыг encapsulation/decapsulation хийж сүлжээний нууцлалыг хангана.

Transport zone: энэ нь логик сүлжээний хил хязгаарыг тогтоож өгөх үүрэгтэй. Өөрөөр хэлбэл transport zone-д бүртгэгдсэн серверүүд сүлжээний нөөцөд хандах боломжтой болдог.

Серверүүдийг NSX-т бэлтгэж оруулах: Өмнө дурдсанчлан transport node нь дотроо 2 төрөл (захын болон тооцоолох) байдаг. Тохиргооны явцад олон төрлийн NSX-ын бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг суулгах шаардлагатай болох бөгөөд TEP интерфейсийг тохируулж дууссанаар эдгээр бүрэлдэхүүн хэсэг буюу чиглүүлэгч, свич, аюулгүй байдлын функц зэргийг ашиглах боломжтой болох юм. Серверүүд дээр NSX-ын plugging суулгахын тулд system-Fabric-Host Transport Nodes гэж ороод Managed by гэсэн сонголтоос зохих vCenter-ын мэдээллийг оруулснаар кластеруудыг харах боломжтой болно. Ингэснээр тухайн кластер байгаа серверүүдийг оруулахын тулд configure NSX дарахад хангалттай юм.

Edge кластер үүсгэх: NSX Edge transport node нь NSX сүлжээнд гарц болж ажиллах үүрэг бүхий функц юм. Эдгээр node-уудийг сүлжээний нөөцийн бэлэн байдлын хувьд хоршуулан ажиллуулахын тулд үүсгэсэн захын node-уудыг нэг кластерт бүртгэж өгөх хэрэгтэй болдог. Захын кластер нь сүлжээний гарцын бэлэн байдлыг хангах үндсэн үүрэгтэй бөгөөд энэ удаагийн туршилтаар NUM-Edge-Cluster нэртэй үүсгэж 1 ширхэг Edge transport Node-ыг байршуулав.

Логик сегмент төлөвлөх, үүсгэх, тохируулах: NSX сүлжээнд логик свич нь сегмент гэж нэрлэгддэг ба 2-р түвшний броадкаст домэйнийг бий болгодог. Edge gateway нь NSX-ын гадаад сүлжээтэй харьцах үндсэн оролт, гаралтыг зохицуулах бөгөөд Tier-0 чиглүүлэгч дээр тохиргоо хийгдэнэ. Үүнийг хэрэгжүүлэхийн тулд VLAN-backed (Geneve ашиглахгүй тул VLAN-backed-р тохируулав) сегмент үүсгэж гадаад сүлжээтэй холбогдоно. “NSX manager-Networking-Segments-Add segment” замаар нарийвчилсан шаардлагуудыг тодорхойлж өгснөөр дөрвөн “Logical segment” -үүдийг амжилттай үүсгэлээ.

Логик чиглүүлэгч (TIER-0): 2 шатлалт чиглүүлэгчийг турших зорилгоор байгуулав. Хялбар бүтэцтэй байх үүднээс 1 шатлалт чиглүүлэгчээр мөн шийдэл гаргаж, ашиглах боломжтой. NSX Manager - Networking-Tier-0 Gateways хэсэгт TIER-0 gateway үүсэж, кластер бүртгэх, HA mode-г тохируулах, гадаад интерфейстэй холбогдох BGP болон IP тохиргоог хийж, дотоод сүлжээнүүд буюу логик сегментийг гадаад сүлжээ рүү зарлах ажлуудыг хийв.

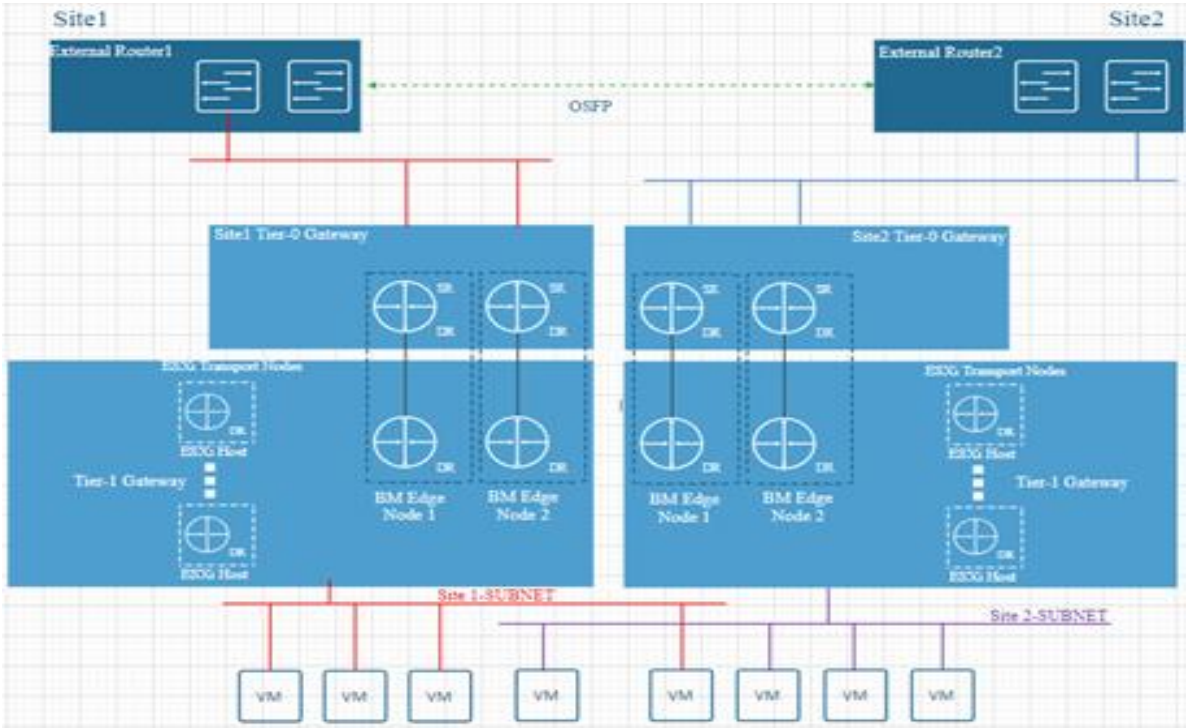
Логик чиглүүлэгч (TIER-1): Энэ хэсэгт логик сегментийн үндсэн gateway хаягийг тохируулах ажлыг хийж, TIER-0 чиглүүлэгчтэй холболт үүсгэсэн ба холболт амжилттай тогтсоныг доорх зургаар харуулав.

Логик сегментийг TIER-1 чиглүүлэгчтэй холбох: Өмнө үүсгэсэн логик сегментүүдийг TIER-1 чиглүүлэгчтэй холбож, IP хаяг subnet mask тохируулсныг доор харуулав.

Виртуал машинуудын сүлжээний тохиргоог хийх: Өмнө үүсгэсэн Web, App, DB гэсэн 3 машиныг NUM-LS-Web, NUM-LS-App, NUM-LS-DB логик сегментэд харгалзуулж өгнө.

NSX Sotfware-Defined Network сүлжээний ажиллагаа шалгах: Доорх шалгалтаар логик сегментүүд хоорондоо холбогдож байгааг харж болох ба нэгдсэн сүлжээний топологийн өөрчлөлтийг харуулав.

Дээрх үйлдлүүдийг гүйцэтгэснээр Зураг 6-д үзүүлсэн топологи бүхий туршилтын сүлжээ үүссэн.



Зураг 6. Туршилтад ашиглагдсан сүлжээний топологи

B. SDN Контроллерийн серверийн төлөвлөлт

SDN-д сүлжээний контроллер болон түүний ачааллыг зөв тооцоогүйгээс бүх сүлжээнд нөлөөлөл гарах өндөр эрсдэлтэй байдаг.

Үүссэн асуудлын хувьд үндсэн контроллер (LOGICAL ROUTER T1/T0 VM) нь виртуал машин хэлбэрээр “management host – 4” дээр төлөвлөсөн байв. Management host – 4 нь бусад 3 хостын хамт нэг физик сервер ажиллаж байна. Бусад 3 хостын хувьд веб сервер, апп сервер, өгөгдлийн сангийн сервер гэх мэт өндөр ачаалал авдаг. NSX Edge ажиллахгүй боловч эдгээр хостууд дээр өндөр хэмжээний ачаалал ирмэгц үндсэн физик сервертээ нөлөөлөл өгч улмаар SDN Edge node-үүд ажиллаж буй виртуал машинуудад физик серверээс нөлөөлөх замаар сүлжээнд удаашрал бий болсон.

SDN контроллеруудыг нэг физик сервер дэх бусад өндөр ачаалалтай ажилладаг серверүүдээс бүрэн тусгаарлах нь бусад серверээс хамааралтай ачааллаас ангид байхаас гадна, сторэйжээс хамаарсан доголдолд тэсвэртэй байх давуу талтай. Иймд дизайныг шинэчлэн зохион байгуулж, туршилт хийв.

Ачаалал даах хэмжилтийг 3 нөхцөлд шалгах зорилгоор хийсэн бөгөөд дараах нөхцөлүүдийг тооцож үзэв.

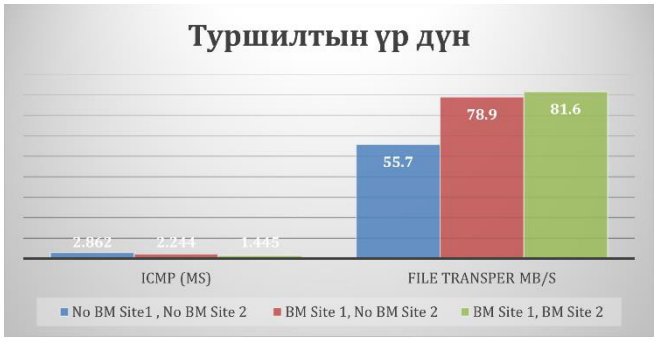
Нөхцөл 1: Site1 болон 2 дээрх SDN Gateway-ыг виртуал машин дээр ажиллуулж сүлжээний хоцрогдол болон дата дамжуулах хурдыг тэмдэглэж авсан.

Сүлжээний хоцрогдол – 2.862ms, Файл дамжуулах хурд – 55.7MB/s

Нөхцөл 2: Site1 дээрх SDN Gateway-ыг BM сервер дээр ажиллуулж, Site2 дээрх SDN Gateway-ыг виртуал сервер дээр ажиллуулан сүлжээний хоцрогдол болон дата дамжуулах хурдыг тэмдэглэж авсан. Сүлжээний хоцрогдол – 2.244ms, Файл дамжуулах хурд – 78.9MB/s

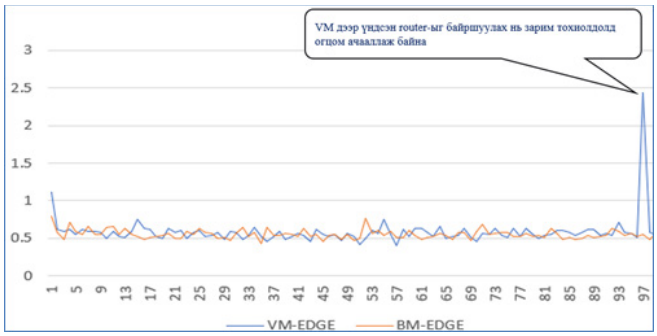
Нөхцөл 3: Site1 болон 2 дээрх SDN Gateway-ыг BM сервер дээр тус тус ажиллуулж сүлжээний хоцрогдол болон дата дамжуулах хурдыг тэмдэглэж авсан.

Сүлжээний хоцрогдол – 1.445ms, Файл дамжуулах хурд – 81.6MB/s



Зураг 7. Туршилтын үр дүн, сүлжээний хоцрогдол ба файл дамжуулсан байдал

Доорх Зураг 8-д туршилтад чиглүүлэгчийн виртуал машинд байршуулах болон бие даасан физик сервер дээр байршуулах 2-ын ялгааг харуулав. Чиглүүлэгчийг виртуал машин дотор байршуулсан үед гадны нөлөө (Серверийн ачааллаас хамаарсан) огцом ачаалал үүсэж байв.



Зураг 8. Туршилтын үр дүн, чиглүүлэгчийн байршил, виртуал машин ба физик машин

C. Дата төв хооронд SDN кластерийн зохион байгуулалт

SDN сүлжээний архитектурын үндсэн өөрчлөлт нь хардвэйрээс “control plane” -ыг салган авч бие даасан байдлаар зохион байгуулах билээ. Харин нэг бүс нутагт байршиж буй дата төвүүдэд бие даасан тусдаа SDN сүлжээг зохион байгуулах нь хэр оновчтой эсэхийг баталгаажуулахаар туршилт хийв.

Туршилтаар бие даасан тусдаа SDN-ын кластерийг нэгтгэх, SDN-ын бүхий л мэдээллийг кластерийн түвшинд ижил байлгах зорилго тавьсан. Топологид “Site 1 Tier-0 Gateway” болон “Site 2 Tier-0 Gateway” тусдаа кластерт байршиж байгаа тул хоорондоо холбогдохдоо заавал гадаад сүлжээгээр тойрч холбогдоно (Зураг 9). “Site 1 Tier-0 Gateway” болон “Site 2 Tier-0 Gateway” -ыг нэг кластерт байршуулснаар Site1, Site2 дундаа 1 “TIER-0 Gateway” -тэй болно. 2 сайт дундаа нэг TIER-0 Gateway-тэй болсноор TIER-1 Gateway нь хоёр сайт хооронд тархмал байрших боломжтой болно.



Зураг 9, Туршилтын үр дүн, сүлжээний хоцрогдол

Учир нь SDN орчинд ажиллаж байгаа бүх серверүүд Geneve протоколоор холбогдсоноор ямарч нэмэлт gateway-гүйгээр сүлжээний урсгалыг хоорондоо шууд дамжуулах боломжтой юм. Өөрөөр хэлбэл бүх серверт суусан SDN агентаар дамжуулан SDN Manager-ээс сүлжээний урсгалыг хэрхэн дамжих талаар зохицуулалт хийх тул сүлжээний урсгал заавал өөр тийшээ явж чиглүүлэлт хийгдэх шаардлагагүй юм.

V. ДҮГНЭЛТ

Уг судалгааны ажлаар 2 дата төвийн хооронд зохион байгуулагдсан уламжлалт сүлжээг SDN шийдэл болгосон. SDN-г нэвтрүүлсэнтэй холбоотойгоор байгууллагын сүлжээг бүрэн хэмжээнд хянах боломж бий болохоос гадна олон давуу талууд гарсан бөгөөд программын аргаар удирдаж, автоматжуулах боломж нээгдсэн.

Сүлжээнд өндөр ачаалал бүхий виртуал машинууд нэмэгдэх үед бусад сүлжээ, системүүд болон SDN-ын Manager-т нөлөөлснөөр сүлжээг удирдахад хүндрэл үүсэж байсан ч нэмэлт тохиргоо болон дизайнд өөрчлөлт оруулах замаар сүлжээний гүйцэтгэл, ачаалал даах чадварыг нэмэгдүүлсэн.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

[1] Kamboj, P., Pal, S. (2022). Software-Defined Networking in Data Centers. In: Aujla, G.S., Garg, S., Kaur, K., Sikdar, B. (eds) Software Defined Internet of Everything. Internet of Things. Springer, Cham.

[2] Li, D., Shang, Y., and Chen, C. (2014, April). Software defined green data center network with exclusive routing. In IEEE INFOCOM 2014-IEEE Conference on Computer Communications (pp. 1743-1751). IEEE.

[3] Carlinet, Yannick, and Nancy Perrot. "Energy-efficient load balancing in a SDN-based Data-Center network." In 2016 17th international telecommunications network strategy and planning symposium (Networks), pp. 138-143. IEEE, 2016.

[4] Digital Realty's global markets by share annual rent in 2023, https://www.statista.com/statistics/1452868/digital-realty-markets-by-annual-rent/

[5] The Total Economic Impact™ Of VMware NSX, https://www.vmware.com/learn/\\ 558734_REG.html?int_cid=7012H000001Ov5HQAS.

[6] World Wide Technology https://www.wwt.com/atc/labs-and-learning/overview

VoIP Хэрэглэгчдийн Траффикийн Математик Загварчлал ба Симуляцийн Харьцуулсан Судалгаа

*Я.Дашдорж, Х.Уянгаа, Ц. Энхтөр, Л. Одончимэг
Ахисан түвшний компьютерын сүлжээ ба аюулгүй байдлын лаборатор
Мэдээллийн Сүлжээ, Аюулгүй Байдлын Салбар
ШУТИС-ИЙН МХТС
Улаанбаатар хот, Монгол улс
dashdorj@must.edu.mn uyangaakh@must.edu.mn

***Хураангуй*—Энэхүү судалгааны ажлаар орчин үеийн харилцаа холбооны технологид өргөн ашигладаг ярианы (VoIP) үйлчилгээний G.711, G.723, G.729 кодекуудыг судалж, үүнээс G.711 кодекийг 160 байт тогтмол хэмжээтэй пакет, пакет хоорондын хугацааг экспоненциаль тархалтаар python хэл дээр программ бичиж симуляци хийн гарсан үр дүнг дарааллын онолын (queuing theory) M/D/1/oo хувилбарын математик загварын гаргалгааг хийв. Математик загвараар Ls тухайн загварчилж байгаа системд байх пакетийн тоо, Lq системийн түр хадгалах буфер дэх пакетийн тоо, Ws тухайн систем дэх пакетийн хүлээх хүлээлтийн хугацаа, Wq системийн хүлээлтийн буферт хүлээх хүлээлтийн хугацаа гэсэн дөрвөн параметраас энэ удаа симуляциар Ws, Wq гэсэн параметрүүдийг тодорхойлж, математик загварын утгатай харьцуулсан графикаар үзүүлэв.**

Түлхүүр үг— Компьютерын сүлжээ, пакет, математик загварчлал

I. Удиртгал

Техник технологи хурдацтайгаар хувьсан өөрчлөгдөж буй энэ үед интернэт сүлжээ хэрэглэгчдийн тоо 2023 оны байдлаар 5.3 тэрбумд хүрсэн [1]. Интернэт хэрэглэгчийн тоо өсөхийн хэрээр интернэт руу хандах хэрэглэгчдийн траффикийн загварыг гаргах, урьдчилан төлөвлөх, техник технологийн шинэчлэл хийх, сүлжээний чанарын болон мэдээллийн аюулгүй байдлын үйлчилгээг сайжруулах зорилгоор загвар зохиох нь хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг судалгааны арга юм. Пакет холболтот сүлжээг (packet switching network) өгөгдөл дамжуулахаас гадна дуу, дүрсийн үйлчилгээ болон онлайн сургалт, тоглоом, хурал, зэргүүдэд өргөн ашигладаг болсон ба энэ төрлийн үйлчилгээ нь Ковид цар тахлаас хойш эрчимтэй нэмэгдэх хандлагатай байна[2]. Пакет холболтот технологид чанарын болон аюулгүй байдлын үйлчилгээ чухлаар тавигдаж байна. Өгөгдөл дамжуулалд утастай болон утасгүй технологиудыг хослуулан ашиглаж байгаа бөгөөд пакет холболтоор бүх төрлийн өгөгдлийг дамжууллын өндөр хурдаар найдвартай дамжуулдаг. Өнөөгийн хэрэглэгчийн төгсгөлийн төхөөрөмж нь интернэтийн өргөн хүрээний хэрэглээ, үйлчилгээг үзүүлэх чадвартай бөгөөд өндөр хурдны өгөгдөл дамжуулах, өндөр чанартай үйлчилгээ (QoS) -д тавигдах шаардлагыг нэмэгдүүлж байна. Эдгээр шаардлагын үр дүнд шинэ үеийн хөдөлгөөнт, утасгүй холбооны системүүд нь илүү өндөр өгөгдлийн хурд, илүү сайн холболтын чанарыг шаардах төлөвтэй байна [3].

Монгол улсын хэмжээнд үйл ажиллагаа явуулж буй харилцаа холбооны оператор компаниуд бүгд IP сүлжээ дээр суурилсан ярианы үйлчилгээ явуулж байна. Харилцаа Холбооны Зохицуулах Хорооноос гаргасан 2023 оны эхний хагас жилийн статистик мэдээллээр[4] манай улсын хувьд 52 ISP компанийн түрээсэлсэн 207.4Gbps урсгал, интернэтийн гадаад урсгалын багтаамж 570.5Gbps болж өмнө жилүүдээс нэмэгдсэн байна. Мөн суурин интернэт үйлчилгээний 97.13 хувийг утастай, 2.87 хувийг утасгүй технологиор дамжуулан хэрэглэсэн гэж дурджээ. Монгол улсад харилцаа холбооны үүрэн, суурин, улс хоорондын ярианы үйлчилгээ эрхлэх зөвшөөрөлтэй 16, харилцаа холбооны интернэтийн үйлчилгээ эрхлэх зөвшөөрөл бүхий 52 (статистик тайлан илгээсэн, идэвхтэй үйл ажиллагаатай) компани байна. Дээрх байгууллагуудаас ирсэн статистик мэдээгээр үүрэн холбооны 4G/LTE сүлжээний дата ачаалал/сараар – 48.9TB, 2023 оны эхний хагаст 274TB дата хэрэглэж байна. Мөн суурин холбооны ярианы үйлчилгээг эрхлэгч 8 компанийн 502.6 мянган хэрэглэгчдийн сүлжээн доторх 11.5, гарах 47.0, орох 74.0 сая минутын яриа бүртгэгджээ. Өмнө дурдсанчлан дээрх ярианы өгөгдөл дамжууллын үндсэн технологи нь интернэт протокол суурьтай (VoIP) бөгөөд тус өгөгдлийн урсгалыг хянах, оновчтой загварчлах нь сүлжээнд үүсэх ачаалал, урсгалыг хянах, шаардлагатай техник болон программ хангамжийг нэвтрүүлэх, мэдээллийн аюулгүй байдлыг хангах өндөр ач холбогдолтой юм.

Энэхүү ажлаар 10Mbps хурдтай утастай сүлжээнд холбогдсон сүлжээний дундын төхөөрөмжөөр дамжуулж буй тогтмол 160 байт урттай ярианы багцын траффикийн онолын хувьд тооцоолсон математик загварчлалыг симуляцийн үр дүнтэй харьцуулан судаллаа. Бидний судалгааны ажил дараах бүлгүүдээс бүрдэнэ. II хэсэгт судалгааны ажлын онолын судалгаа, III хэсэгт санал болгож буй математик загварчлал, IV хэсэгт симуляцийн алгоритм,V бүлэгт симуляцийн хэрэгжүүлэлт, төгсгөлийн VI бүлэгт судалгааны ажлын дүгнэлтийг тус тус орууллаа.

II. Суурь Судалгаа

A. Технологийн судалгаа

Voice over Internet Protocol (VoIP) нь уламжлалт Нийтийн Телефон Сүлжээтэй (PSTN) харьцуулахад интернэт эсвэл пакет холболтот сүлжээгээр яриа дамжуулах боломжийг олгодог технологи юм. Skype, Viber, WhatsApp, Zoom зэрэг олон VoIP программуудыг интернэт орчинд ашиглах боломжтой. VoIP-д дамжуулагчийн аналог ярианы дохиог компресслохоос өмнө тоон дохионд шилжүүлж, IP сүлжээгээр хүлээн авагч руу дамжуулахын тулд IP пакетуудын урсгал болгон энкодчилдог. Хүлээн авагчийн төгсгөлд Тоон Аналог Хувиргагч (DAC) нь хүлээн авсан IP пакетуудыг боловсруулж анхны аналог дохиог дарааллаар нь сэргээн эх дохиог үүсгэнэ. Өгөгдөл дамжуулын явцад VoIP-ийн үйлчилгээний чанарыг (QoS) алдагдуулахгүй байх,

ХҮСНЭГТ I. КОДЕКИЙН ТӨРЛҮҮД

Codec	Voice Payload size (mSec)	Voice Payload size(bytes)	Comments
G.711	20	160	160*8/20mSec=64kbps
G.729	20	20	20*8/20mSec=8kbps
G.723	30	30	30*8/30mSec=8kbps

чанарыг сайжруулахад олон параметр үзүүлэлтийг тооцоолдог бөгөөд эдгээрийн хамгийн чухал хүчин зүйлийн нэг нь ITU-ийн кодчиллын стандарт юм.

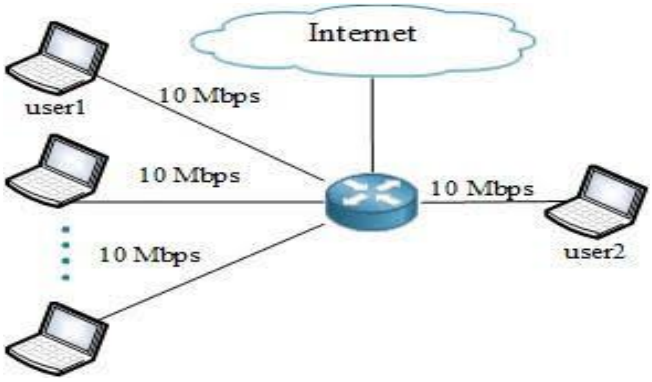
Дискретчилэх хурд, өгөгдлийн хурд, хэрэгжүүлсэн шахалтын аргачлал зэргээс хамаарч олон төрлийн кодек стандартууд байдаг. VoIP үйлчилгээнд ашиглагддаг хамгийн түгээмэл кодлогч нь G.711, G722, G723, G726, G728, G729A гэх мэт бөгөөд тэдгээр нь дууны чанар, шаардагдах зурвасын өргөн, дамжууллын тооцооллын шаардлага, кодчиллын алгоритм болон кодлох саатал зэргээс хамаарч өөр хоорондоо ялгаатай параметр үзүүлэлтүүдтэй байдаг. VoIP үйлчилгээний чанарт кодек сонголтын нөлөөлөл, параметр үзүүлэлтүүдийн харьцуулсан судалгаа, утасгүй LAN/WAN сүлжээнд төгсгөлийн болон дундын төхөөрөмж дээрх траффик анализын тооцооллыг [5], [6], [7], [8] судалгаануудад дурдсан байна. Бид энэхүү ажлаараа VoIP үйлчилгээний дамжуулалд QoS-ыг сайжруулахад хэрэглэгддэг G.711, G.723, G.729 кодекуудыг судалж, үүнээс G.711 кодекийг ашиглан 160 байт тогтмол хэмжээтэй пакет дамжуулан уг судалгааг хийж гүйцэтгэв.

Хүснэгт 1-д үзүүлснээр кодекуудийг дээрх харгалзах хурдтайгаар ашигладаг ба зарим тохиолдолд өөр параметрүүдийг сонгох боломжтой. Энэ хүснэгтэд зөвхөн анхны (default) утгыг оруулсан бөгөөд 20 м/сек интервал тутамд ярианы пакетыг генерац хийнэ. Ярианы дуудлагын зурвасын өргөний зарцуулалтыг тооцоолох аргачлал, болон стандартчиллын хүснэгтэд [9] тулгуурлан сонгож авав.

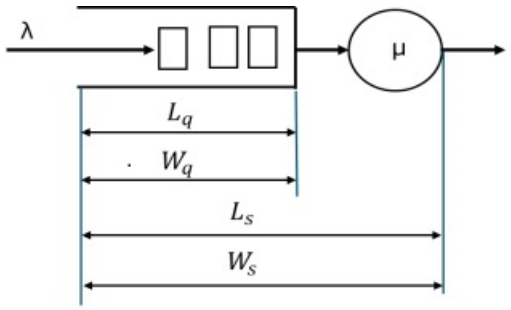
B. Сүлжээний загварчлал

Утасгүй сүлжээний хандах төхөөрөмж дээгүүр ярианы траффик дараалан ирж, хамгийн эхний пакет эхэнд орох ба FIFO (first input first output) зарчмаар үйлчилгээ авч дараагийн хэрэглэгчийн төхөөрөмж рүү шилжинэ.

Зураг 1 дээр хоёр хэрэглэгч хоёр өөр сүлжээнээс хоорондоо ярианы (voice) үйлчилгээ явуулах үеийн загварыг авч үзье. Ярианы үйлчилгээ явуулж байх үед тухайн дундын төхөөрөмж болох замчлагч дээр өөр олон хэрэглэгч холбогдсон байх ба зураг 1 дээр тэдгээрийг хэрэглэгчийн дугаараар дугаарлаагүй болно.



Зураг 1. Хоёр хэрэглэгч, нэг замчлагч



Зураг 2. M/D/1/oo загварын ерөнхий схем

Харилцаа холбооны салбарт пакет холболтот загварчлал хийхдээ дараалын онолыг хамгийн өргөн ашигладаг. Дараалын (queueing theory) онол нь оролтод орж ирэх пакетийн төрөл болон үйлчилгээ үзүүлэх хэлбэрээс хамаарч дотроо янз бүрийн загваруудтай. Бидний энэ тохиолдолд санамсаргүйгээр тогтмол урттай пакетуудыг хэрэглэгч-1 болон хэрэглэгч-2 хоёр генерац хийх ба үйлчилгээ үзүүлэх замчлагч төхөөрөмж нь тогтмол хурдаар сервис үйлчилгээ үзүүлж гаралтын сүлжээ рүү илгээнэ. Ийм төрлийн загварыг дараалын онол дээр M/D/1/oo гэсэн загвараар загварчилдаг. Энэ тэмдэглэгээний эхний M үсэг нь оролтын пакетуудыг Пауссон төрлийн процесс гэж үздэг. Дараах төрлийн магадлалаар илэрхийлнэ.

$$\Pr(k) = \frac{(\lambda * t)^k}{k!} e^{-\lambda * t} \quad (1)$$

Дээрх магадлалын функц (1) дээр λ нь нэгж хугацаанд орж ирэх пакетийн дундаж хурд, к – хугацааны тогтмол интервал дотор орж ирэх пакетийн тоо, t – хугацааны интервалыг тус тус илэрхийлнэ.

Зураг 2 дээр санамсаргүй пакетуудын орж ирэх хурд λ ба түүнийг сервис хийх хурд μ тус тус байна. Орж ирэх пакетуудыг Пауссон төрлийн процесс гэх ба дискрет процесс, тухайн пакетуудад үйлчилгээ үзүүлээд гаралтын интерфейс рүү илгээх хугацааг манай тохиолдолд тогтмол хурдаар үйлчилгээ үзүүлнэ гэж үзнэ. Бидний зохиосон загвар дээр хугацааны Δt интервал дотор хоёр болон түүнээс олон пакет орж ирэх үед замчлагчийн гаралтын интерфейс дээр дараалал үүсэх ба энэ үед гаралтын буфер дотор дараагийн ээлжээ түр хүлээхээр хадгалагдана. Энэ дараалал тухайн сүлжээний хэрэглэгчийн тоо болон сервис үйлчилгээнээс хамаарч хэт их дараалал үүсэх боломжтой.

III. МАТЕМАТИК ЗАГВАР

Зураг 2-т үзүүлсэн M/D/1/oo загварын схем дээр дараах 4 параметрийг тодорхойлох зорилго тавьсан. Үүнд:

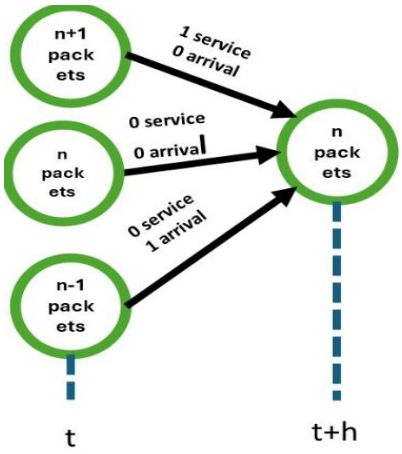
L_s - Тухайн систем дэх пакетийн тоо

L_q - Системийн дараалал (queue) дахь пакетийн тоо

W_s – Тухайн системд пакетийн хүлээлт

W_q – Системийн дараалал (queue) дахь пакетийн хүлээлт

Эдгээр дөрвөн параметр нь оролтын хурд λ, сервис үйлчилгээний хурд μ болон системийн тухайн төлөвт байх пакетийн магадлал зэргээс хамаарсан төлөвийн тэгшитгэлийг үүсгэнэ.



Зураг 3. Тухайн хугацааны эгшинд P_n төлөв

Зураг 3 дээр тухайн хугацааны t эгшнээс хугацааны t+h эгшинд шилжих үед сүлжээний замчлалын санах ой буюу буфер дотор n пакет байх магадлалын төлөвийн тэгшитгэлийг бичнэ. Энд h хугацааг маш бага хугацаа буюу ядаж нэг пакет орж ирнэ, хэрэв h*h хугацаанд нэг ч пакет орж ирэхгүй гэсэн нөхцөлийг тухайн загварт авч үзье. Тухайн замчлагч төхөөрөмж тогтвортой ажиллах нэг нөхцөл нь λ<μ байх ёстой. Хугацааны t+h эгшинд системд n ширхэг пакет байх нөхцөлийг томьёолъё:

- Хугацааны t эгшинд n+1 пакет байх ба нэг ч пакет орж ирээгүй, t+h хугацааны дараа нэг пакет сервис үйлчилгээ авч дараагийн сүлжээ рүү шилжиж системд n пакет үлдэнэ.
- Хугацааны t эгшинд n пакет байх ба нэг ч пакет орж ирээгүй, нэг ч пакет сервис үйлчилгээ авч дараагийн сүлжээнд шилжээгүй бол t+h хугацааны дараа системд n пакет байна.
- Хугацааны t эгшинд системд n-1 пакет байх ба нэг пакет орж ирсэн, t+h хугацааны дараа нэг ч пакет сервис үйлчилгээ аваагүй бол системд n пакет байх болно.

Дээрх гурван нөхцөлийг хангасан төлөвийн тэгшитгэлийг бичихдээ дараах нөхцөлийг тооцно.

- Пакет орж ирэх магадлал λh
- Сервис үйлчилгээ аваад дараагийн сүлжээ рүү шилжих пакетийн магадлалыг μh

$$P_n(t+h) = P_{n-1}(t) * \lambda h * (1-\mu h) + P_{n+1}(t) * \mu t(1-\lambda h) + P_n(t) * (1-\mu t)(1-\lambda h) \quad (2)$$

Тэгшитгэл (2)-г эмхэтгэж бичихэд (энд h^2 өмнөх заасан нөхцөл ёсоор тэг гэж үзнэ)

$$P_{n-1}(t) * \lambda + P_{n+1}(t) * \mu = P_n(t) * (\lambda + \mu) \quad (3)$$

Төлөвийн тэгшитгэл дараах хэлбэртэй болно. Энд P_0 төлөв байх үеийн тэгшитгэлийн өмнөх бичсэн нөхцөлтэй адил боловч эхний эгшинд нэг ч пакет байхгүй тул сервис үйлчилгээний магадлалыг 1 гэж тооцох болно.

$$P_1(t) * \mu = P_0(t) * \lambda \quad (4)$$

Тэгшитгэл нэг болон (1) болон (2)-ийг нэгтгэж P_n үеийн магадлалыг олбол дараах хэлбэртэй болно.

$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$; $P_0 + P_1 + \cdots += 1$ гэж тус тус тооцоход

$$P_n = (1-\rho) * \rho^n \quad (5)$$

Бид тухайн буфер дотор байх пакетийн тооны харгалзах магадлалыг олох боломжтой болсон ба энд жигнэсэн дунджийг харгалзах магадлалаар үржүүлж нэмсэн нийлбэр нь дундаж байдаг бол L_s системд байх пакетийн дунджийг олохдоо бидний өмнө заасан нөхцөл ёсоор сервис үйлчилгээ нь тогтмол хурдтай, орж ирэх пакетуудыг Пауссон төрлийн процесс гэж тус тус тооцвол дараах хэлбэртэй болно.

$$L_s = \sum_{i=0}^{\infty} i * P_i = \frac{1}{2}\left(\frac{\rho^2}{1-\rho}\right) + \rho \quad (6)$$

$$L_q = L_s - \rho = \frac{1}{2}\left(\frac{\rho^2}{1-\rho}\right) \quad (7)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho}{2\mu(1-\rho)} \quad (8)$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu} = \frac{2-\rho}{2\mu(1-\rho)} \quad (9)$$

Дээрх (6),(7),(8),(9) гэсэн илэрхийлэл нь бидний математик загварын үндсэн шийд болно.

IV. Симуляцийн Алгоритм

Энэхүү судалгааны ажил дээр бид тогтмол пакетийн хэмжээ бүхий Пауссон төрлийн дискрет ярианы пакет орж ирнэ гэж үзвэл, тэгшитгэл (1) дээр тухайн хугацааны эгшинд ямар ч пакет орж ирэхгүй буюу k=0 байх үед

$$\Pr(k=0) = e^{-\lambda t} \quad (10)$$

k>=1 байх үед

$$\Pr(k \geq 1) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (11)$$

Тэгшитгэл (11)-ээс харахад санамсаргүй орж ирэх пакет хоорондын хугацаанаас хамаарсан магадлал болно. Пакет хоорондын хугацаа санамсаргүй хэмжигдэхүүн байх боловч энэ нь экспоненциаль тархалт бүхий зэргийн функц болох ба эндээс урвуу хувиргалт хийж пакет хоорондыг хугацааг санамсаргүй тоон генераторааар илэрхийлэх зорилго тавья.

$$t = -\frac{1}{\lambda}\ln(1-y) \quad (12)$$

Дээрх (12) тэгшитгэлээр жигд тархалтын санамсаргүй функц ашиглан өгөгдсөн λ параметр бүхий экспоненциаль тархалттай санамсаргүй хугацаа болох t-г симуляцийн аргаар гаргаж авах боломжтой боллоо. Сервис үйлчилгээ буюу пакет дээр боловсруулалт хийх хугацаа нь тогтмол, орж ирэх пакет хоорондын хугацаа урвуу экспоненциаль (12) томьёогоор манай тохиолдолд тодорхойлогдоно.

Хүснэгт 2. симуляциболон онолын харьцуулсан тооцоо хийхэд ашиглах параметрүүд

№	Description	Parameters
1	Bandwidth (bps)	10(e+07)
2	Packet size(bytes)	230
3	Physics header (bytes)	20
4	Datalink header (bytes)	22
5	IP header (bytes)	20
6	UDP header (bytes)	8
7	DATA SIZE (bytes)	160
8	Transimit time(sec)	0.000184
9	Packet rate(packets/sec)	5434.783

Хүснэгт 2-т симуляци болон онолын харьцуулсан тооцоо хийхэд ашиглах параметрүүдийг үзүүлэв. Энэ параметрүүдийг тооцохдоо өмнө бүлэгт авч үзсэн ярианы G.711 кодекийн технологийн параметрүүд дээр үндэслэн тооцоог хийлээ.

Хүснэгт 3-т physic болон datalink давхаргын удирдлага, хяналтын талбарын хэмжээг байтаар үзүүлэв.

Хүснэгт 4 дээр ρ, μ, λ параметрүүдийг онолын болон симуляцийн загварчлалд хэрэглэж үр дүнг хүснэгтийн сүүлийн 4 баганад харьцуулж харуулав. Симуляцийг программчлалын Пайтон (Python) хэл дээр бичиж үр дүнг тооцохдоо онолын үр дүнтэй буюу (8),(9) тэгшитгэлтэй харьцуулсан.

V. Симуляцийн Хэрэгжүүлэлт

Зураг 1 дээр олон хэрэглэгчид шууд 10Mbps -ийн хурд бүхий интерфейстэй замчлагч төхөөрөмжтэй холбогдсон гурван сүлжээнээс бүрдсэн. Сүлжээний тогтвортой нөхцөлийг хангахын тулд бидний өмнө заасан

Хүснэгт 3. Ethernet-II Фрэймийн Стандарт Толгойн Мэдээлэл (Байтаар)

№	Description (bytes)	Parameters
1	Preamble	7
2	Start frame delimiter (SFD)	1
3	MAC destination	6
4	MAC source	6
5	802.1Q tag (optional)	4
6	Ethertype (Ethernet II) or length (IEEE 802.3)	2
7	Payload	42-1515
8	Frame check sequence (32 bit CRC)	4
9	Interpacket gap (IPG)	12

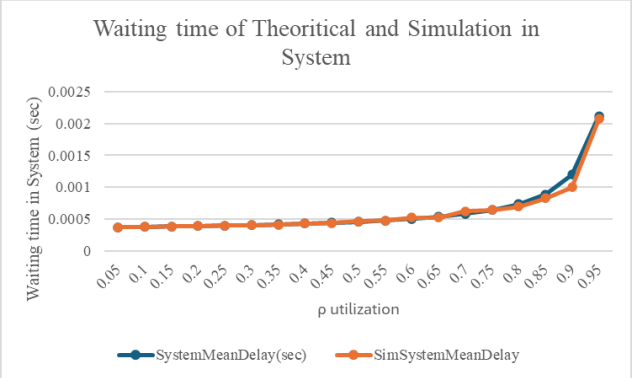
Хүснэгт 4-ийн (ρ<1) нөхцөлийн дагуу загвар хийгдэнэ. Сервис үйлчилгээ нь тогтмол хурдтай, орж ирэх пакетуудыг Пауссон төрлийн процесс гэж тус тус тооцно.

- ρ<1 байх нь орж ирсэн пакет бүр сервис үйлчилгээ авах боломжтойг илэрхийлнэ.
- ρ=1 тохиолдолд пакетийг сэжигтэй (criteria) үе эхэлнэ.
- ρ>1 гарах үед тогтвортой нөхцөл хангагдахгүй, пакетийн хаягдал үүснэ.

Туршилтаар user-1 болон user-2 хоёр хоорондоо G.711 кодекоор кодлогдсон ярианы үйлчилгээ үзүүлж байх ба бусад хэрэглэгчид болох user_1 болон user_2-оос бусад нь интернэтээс файл татах, веб болон видео үзэх гэх мэт ялгаатай үйлчилгээ авч байж болно. Энэ үед бид загвараа туршилтын орчинг үүсгэн хэрэгжүүлэв.

Хүснэгт 4. Математик загварын болон симуляцийн харьцуулсан параметрүүд

№	ρ=λ/μ	λ(packets/s)	μ(packets/s)	System MeanDelay(sec)	Queueing Delay(sec)	SimSystem MeanDelay(sec)	Sim QueueingDelay(sec)
1	0.05	271.74	5434.78	0.000372842	4.84211E-06	0.000374558	4.51E-06
2	0.1	543.48	5434.78	0.000378222	1.02222E-05	0.000378723	1.04E-05
3	0.15	815.22	5434.78	0.000384235	1.62353E-05	0.000384255	1.56E-05
4	0.2	1086.96	5434.78	0.000391	0.000023	0.000389783	2.48E-05
5	0.25	1358.70	5434.78	0.000398667	3.06667E-05	0.000397889	3.38E-05
6	0.3	1630.43	5434.78	0.000407429	3.94286E-05	0.000406696	4.04E-05
7	0.35	1902.17	5434.78	0.000417538	4.95385E-05	0.000410399	4.51E-05
8	0.4	2173.91	5434.78	0.000429333	6.13333E-05	0.000432377	6.12E-05
9	0.45	2445.65	5434.78	0.000443273	7.52727E-05	0.000435399	7.55E-05
10	0.5	2717.39	5434.78	0.00046	0.000092	0.000467104	9.24E-05
11	0.55	2989.13	5434.78	0.000480444	0.000112444	0.000476789	1.16E-04
12	0.6	3260.87	5434.78	0.000506	0.000138	0.000522255	1.49E-04
13	0.65	3532.61	5434.78	0.000538857	0.000170857	0.000522592	1.94E-04
14	0.7	3804.35	5434.78	0.000582667	0.000214667	0.000622987	4.87E-04
15	0.75	4076.09	5434.78	0.000644	0.000276	0.000640222	2.14E-04
16	0.8	4347.83	5434.78	0.000736	0.000368	0.000697183	3.37E-04
17	0.85	4619.57	5434.78	0.000889333	0.000521333	0.000829398	5.84E-04
18	0.9	4891.30	5434.78	0.001196	0.000828	0.001002789	4.68E-04
19	0.95	5163.04	5434.78	0.002116	0.001748	0.002071049	1.86E-03



Зураг 4. Онолын болон симуляцийн системийн үр дүнд үүссэн хүлээлтийн хугацаа

Хүснэгт 4-ийн өгөгдлийг боловсруулснаар дараах үр дүнд хүрснийг Зураг 3, Зураг 4-т дүрслэн үзүүлэв.

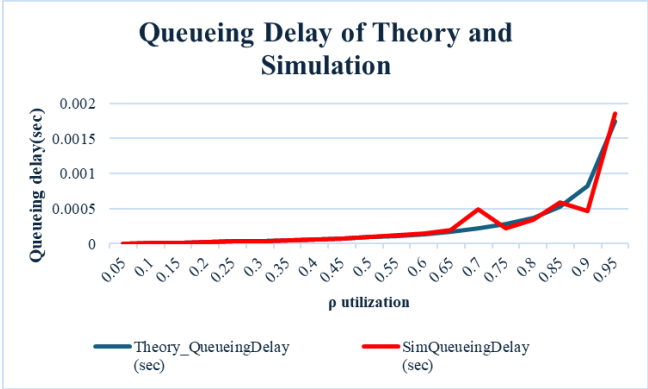
Зураг 4-т бидний гаргаж авсан системийн хүлээлтийн хугацааг математик загвар болон python хэл дээр бичиж туршсан симуляцийн утгатай харьцуулав. Зураг 3-аас харахад онол математик загвар болон туршилтын симуляцийн хоорондын ялгаа маш бага буюу корреляцийн коэффициент нь corr=0.994777 гарч байна.

Зураг 5-д бидний хэрэгжүүлэхээр зорьсон туршилтын загварын пакетийн буферт хүлээх хугацааг симуляци болон математик загвараар харьцуулж харуулав. Симуляци болон математик загварын хоорондын корреляцийн коэффицент correlation= 0.96 гарч байна.

VI. Дүгнэлт

Энэхүү судалгааны ажлаар тогтмол пакетийн хэмжээ бүхий ярианы үйлчилгээг хоёр хэрэглэгчийн хооронд дамжуулахад бусад хэрэглэгчдийн интернэт рүү хандах траффик нь мөн энэ замчлагчаар дамжих ба үүнээс шалтгаалан бидний авч үзэх загвар дээр тухайн хоёр хэрэглэгчийн хооронд дамжих пакет хоорондын хэмжээ нь санамсаргүй хэмжигдэхүүн байх ба үүнийг экспоненциаль тархалтаар загварчлав. Загварчлалын үр дүнд тухайн систем дэх хүлээлтийн хугацаа болох Ws, хүлээлтийн буферт хүлээх хугацаа зэргүүдийг харьцуулж үзвэл туршилтын үр дүн маш ойролцоо гарч байгаа буюу бидний онолын загвар, симуляцийн утгатай ижил гарч байна. Орчин үеийн интернэт дээр суурилсан мультмедиа өгөгдөл нь маш мэдрэмтгий траффик бөгөөд бидний загварчлалыг ашиглан ярианы үйлчилгээний хүлээлтийн хугацаа, пакетийн хаягдлыг тооцох нь өгөгдөл дамжуулалд чухал ач холбогдолтой гэж үзэж байна. Энэ удаа Ws болон W_q параметрүүдийг тооцож, 10Mbps зурвасын өргөнд хэрэглэгчийн тооноос хамаарах хамаарлыг математик загварчлал болон симуляцийн үр дүнгээр зураг 4, 5 дээр харуулав.

Энэ математик загварчлал болон симуляцийн утгуудын хоорондын корреляци хамаарлын коэффициентыг тооцоолбол 0.99477 болон 0.96 тус тус гарч хоорондын ялгаа маш бага байгаа нь батлагдаж байна. Дараагийн судалгаагаар бодит орчинд туршилт хийж харьцуулж үзэх болно.



Зураг 5. Туршилтын загварын буферт хүлээх хүлээлтйн хугацааг харьцуулав

Acknowledgment

This research was supported by KOICA (Korea International Cooperation Agency) through the "Capacity Building Project for the School of Information and Communication Technology at Mongolian University of Science and Technology in Mongolia" (Contract No. P2019-00124).

Номзүй

[1] A. Petrosyan, “Internet usage worldwide - Statistics & Facts, Worldwide.” [Online]. Available: https://www.statista.com/topics/1145/internet-usage-worldwide/#topicOverview

[2] M. Candela, V. Luconi, and A. Vecchio, “Impact of the COVID-19 pandemic on the Internet latency: A large-scale study,” *Computer Networks*, vol. 182, p. 107495, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.comnet.2020.107495.

[3] S. Kaur, P. Singh, V. Tripathi, and R. Kaur, “Recent trends in wireless and optical fiber communication,” *Global Transitions Proceedings*, vol. 3, no. 1, pp. 343–348, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.gltp.2022.03.022.

[4] ХХЗХ, “Харилцаа Холбооны тусгай зөвшөөрөлтэй үйлчилгээ эрхлэгчдийн 2023 оны эхний хагас жилийн үндсэн үзүүлэлтүүд,” 2024. [Online]. Available: https://statistic.crc.gov.mn/#/infograph/4162

[5] S. El Brak, M. Bouhorma, M. El Brak, and A. Bohdhir, “Speech Quality Evaluation Based Codec for VoIP Over 802.11P,” *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, vol. 5, no. 2, pp. 59–69, Apr. 2013, doi: 10.5121/ijwmn.2013.5205.

[6] A. M. Alsahlany, “Performance Analysis of VOIP Traffic Over Integrating Wireless LAN and WAN Using Different Codecs,” *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, vol. 6, no. 3, pp. 79–89, Jun. 2014, doi: 10.5121/ijwmn.2014.6306.

[7] T. Daengsi, K. Yochanang, and P. Wuttidittachotti, “A study of perceptual VoIP quality evaluation with thai users and codec selection using voice quality - Bandwidth tradeoff analysis,” in *2013 International Conference on ICT Convergence (ICTC)*, IEEE, Oct. 2013, pp. 691–696. doi: 10.1109/ICTC.2013.6675452.

[8] A. M. Alsahlany, “Performance Analysis of VOIP Traffic Over Integrating Wireless LAN and WAN Using Different Codecs,” *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, vol. 6, no. 3, pp. 79–89, Jun. 2014, doi: 10.5121/ijwmn.2014.6306.

[9] Cisco, “Modify Bandwidth Consumption Calculation for Voice Calls,” Document ID:7934. [Online]. Available: https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html

Estimation of rain attenuation at C, Ku and Ka bands for satellite links in Mongolia

1st Otgonbaatar Yura
Department of Information and Communication
Huree University of Information and Communication Technology
Ulaanbaatar, Mongolia
otgonbaatar@huree.edu.mn

2nd Buyankhishig Zundui
Department of Communications Engineering Technology
The School of Information and Communication Technology of MUST
Ulaanbaatar, Mongolia
zbuya@must.edu.mn

3rd Ganbold Shagdar
Department of Communications Engineering Technology
The School of Information and Communication Technology of MUST
Ulaanbaatar, Mongolia
sh_ganbold@must.edu.mn

***Abstract*—The countries of the world are using various communication services in all areas of society on based satellite networks. The International Telecommunication Union has allocated two kind of satellite positions in Geo-Synchronous Orbit (GSO) space to Mongolia that are 113.6E longitude for Fixed Satellite Service-(FSS) and 74E longitude for Broadband Satellite Service-(BSS). Therefore, Mongolia is planning to launch its national satellite in 2030.**

Thus, we are studying many kind of science research including estimate satellite geometry parameters, rain attenuation, cloud attenuation and satellite network architecture on based national satellite that will be deployed to space segment.

In this paper, we aim to define estimation of the rain attenuation effecting the satellite links to will be launched at 113.6E space position at C, Ku and Ka bands by ITU-R method for Mongolia.

Key words—ITU-R model, geometer parameters, look angles, longitude and latitude

I. INTRODUCTION

In satellite communication link, the electromagnetic waves carrying the signals travel the most part in free space, which is near vacuum. For near-earth orbit satellites, the major part of propagation is in the atmosphere. There are losses encountered by the signal in the region close to the earth. For geostationary satellites, the path through the atmosphere may be just about 3% of the total path length: however, for low earth orbit satellites, it is almost 100%. The atmosphere comprises many elements that effect the signals in different ways [1]. these include various losses of the signal strength and phase changes causing degradation in the received signal. These losses are due to atmospheric absorption and attenuation, cloud attenuation, rain attenuation, tropospheric and ionosphere scintillation, faraday rotation, and rain and ice crystal depolarization. The effects of the atmosphere are also frequency dependent [2].

A. Rain Attenuaton laterature.

First, Rain may be defined as a form of precipitation in which water falls back to the earth as a liquid. Rainfall on the other hand means the amount of rain that falls in a particular area during a particular period of time (Ajewole, 2011). While attenuation is caused more frequently by cloud and gases, it is rain that causes the largest attenuation (Omotoso, 2008 and Adrian, 2011).

Rain attenuation depends on various characteristics of rain such as, wavelength, rain rate, drop size distribution, and drop shape (Crane, 1980).Rain is correlated with the atmospheric propagation characteristics and utmost greatly influence the satellite system.

Attenuation by rain intensity depends on the millimeters rain rate of accumulation per hour and not on the total rain accumulation (Ezeh et al., 2014). Atmospheric effect is the major factor to be considered in design of satellite-to-earth links operating at frequencies above 10 GHz. Raindrops absorb and scatter radio waves, leading to signal attenuation, thus reduce the system availability and reliability (Yussuff et al., 2018) [3].

B. Mongolian climate and rainfall

Mongolia is a landlocked country to located in East and Central Asia bordered by Russia and China. The geography of Mongolia is varied with the Gobi Desert to the south and mountainous regions to the north and west.

Mongolia is known as the Land of the Blue Sky and throughout the year, there are 278 sunny days and 9-23 cloudy days. All in all, the weather pattern is very variable over short periods of time. Mongolia has a strongly continental climate with long, cold winters and short summers. Geography map is shown in Fig-1.1 [4].



Fig-1.1: Mongolia geography.

There is a short rainy season in June, July and August during which most of the annual rain falls. Around 70 percent of all precipitation falls during these three summer months.

Precipitation is more abundant in the north, where it exceeds 300 mm per year, while in the south, which is desert, it drops below 200 mm per year. Average precipitation of capital of Mongolia is shown in Fig-1.2 [5].

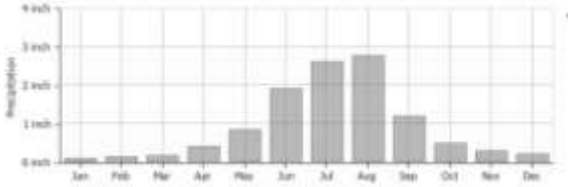


Fig-1.2: Average precipitation (rain/snow) in Ulaanbaatar, Mongolia-2022.

As well annual precipitation rarely exceeds 400 mm and is typically much lower in the south and central desert and steppe regions. In Gobi Desert annual rainfall is only around 40 mm.

II. STUDY AREA

Mongolia is divided into 5 regions by physical geography. We have selected one province from each region. Map of study selected provinces are shown in Fig-2.1



Fig-2.1: Map of study area

It is shown longitude and latitude of selected provinces in table-2.1 [6].

TABLE-2.1: LONGITUDE AND LATITUDE OF PROVINCES

Zone	Province	Longitude	Latitude
Central	Ulaanbaatar	106.92 E	47.92 N
North	Khuvsgul	100.15 E	49.64 N
West	Bayan-Ulgii	89.97 E	48.97 N
South	Umnugovi	104.43 E	43.57 N
East	Dornod	114.53 E	48.08 N

These data of longitude and latitude will be used to calculate geometry parameters including slant range, look angles of earth station antenna.

Depending on the longitude and latitude of the satellite and earth station, the distance between the stations and the azimuth and elevation angle of antenna are different.

$$R = (r_e^2 + r_s^2 - 2 * r_e r_s \cos\gamma)^{\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

Where:

- $r_{(e)}$ – The radius of earth=6378 km
- r – The altitude of GEO orbit=35786 km

The radius of satellite-$r_{(s)}$ consists earth radius and altitude of GEO orbit.

Step 2: Calculate of the azimuth angle is the angle between the earth station meridian and the line joining the earth station and sub-satellite point.

$$\sin(A_z) = \frac{\sin(\Delta\lambda)}{\sin\gamma} \quad (2.2)$$

Where:

- $\Delta\lambda$ – Difference of longitudes of the earth station and satellite
- γ – The central angle

$$A_z = \sin^{-1}(\sin A_z) \quad (2.3)$$

Step 3: Calculate of the Elevation angle-The elevation angle-θ, of earth station antenna, the angle measured upward from the local horizontal to the satellite obtained follow formula.

$$\cos\theta = \frac{r_s}{R} * \sin\gamma \quad (2.4)$$

Where:

- $r_{(s)}$ – The radius of satellite
- R – The slant range
- γ- The central angle

Hence, elevation angle θ is

$$\theta = \cos^{-1}\cos(\theta) \quad (2.5)$$

It is important to determine the factors affecting, propagation effects, and the reliable of satellite system.

The geometric calculation of the satellite communication in selected provinces is calculated by mathematical modeling at the space position 113.6 E. Estimated result of geometry is shows in table-2.2

TABLE-2.2: ESTIMATED RESULT OF GEOMETRY PARAMETERS

Province	Slant range [km]	Look angle of earth station antenna	
		Azimuth	Elevation
Ulaanbaatar	38213	171.04^0	34.5^0
Khuvsgul	38463	162.6^0	31.6^0
Bayan-Ulgii	38662	150^0	28^0
Umnugovi	37865	166.8^0	40^0
Dornod	38196	181.26^0	35^0

If elevation angle of the earth station antenna is less more 5 degrees not used in satellite system [7].

As shown in table 2.2, the elevation angle of the earth station antenna is (28^0-40^0) degrees for the satellite position 113.6 E in Mongolia.

Therefore, it shows good characteristics that these elevation angle parameters are suitable to develop satellite network at space position 113.6 E for Mongolia.

These estimated parameters directly will be used to calculate next the rain attenuation in Mongolia.

III. RAIN ATTENUATION MODEL BY ITU-R

The International Telecommunication Union (ITU) has created a statistical model in which the Earth is divided into 15 different „rain zones“ where each zone corresponds to a certain level of rain rate. Rain zone map of ITU-R is shown in Fig.3.1.

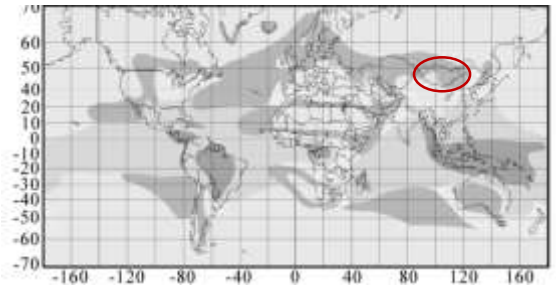


Fig-3.1: Worldwide map of ITU-R Rain Regions [8].

According to ITU-R model, Mongolia is related in two kind of zones that are Zone A-(<8 mm/hr.) and Zone E-(<22 mm/hr.) for 0.01 percent of annual rain intensity [8].

A. ITU-R Rain Attenuation Formula

At frequency higher than 10 GHz, rain attenuation becomes the main cause that decrease the quality of transmission signal.

ITU-R model applies rain rate at 0.01% probability level for attenuation estimation and then uses an adjustment factor

the predicated rain attenuation depth for other probabilities [9]. The steps required for the analysis are given below: [10].

Step 1: Determine the rain height, H_R as:

$$h_R = h_o + 0.36 \text{ [km]} \quad (3.1)$$

$h_{(0)}$ is upper atmosphere altitude at which rain is in the transition state between rain and ice. The rain height is defined in km above sea level [10].

Step 2: Determine the slant path length $L_{(s)}$, below the rain height is given by:

$$L_S = \frac{h_R - h_S}{\sin(\theta)} \text{ [km] for } \theta \geq 5^0 \quad (3.2)$$

Where $h_{(s)}$ (km) is the altitude of Earth station above sea-level and θ (degree) is the elevation angle between the horizontal projection and slant path.

Step 3: The horizontal projection of slant-path length, $L_{(G)}$, (km) is calculated as:

$$L_G = L_S \cos(\theta) \text{ [km]} \quad (3.3)$$

Step 4: Point rainfall rate $R_{(0.01)}$ (mm/h) exceeded for 0.01% of an average year from one-minute integration rain rate data.

Step 5: Obtain the specific attenuation, γ_R-(dB/km) for 0.01 of time as given by:

$$\gamma_R = k * {R_{0.01}}^{\alpha} \text{ [dB/km]} \quad (3.4)$$

Parameters k and α can also be obtained from ITU-R P.838-3

Step 6: The horizontally adjusted path reduction factor $r_{(0.01)}$ for 0.01% of time is given by:

$$r_{0.01} = \frac{1}{1+0.78\sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f}} - 0.38(1-e^{-2L_G})} \quad (3.5)$$

Where f-(GHz) is the operating frequency, so that the horizontally adjusted rainy slant path length is calculated from:

$$L_R = \frac{L_G r_{0.01}}{\cos\theta} \text{ for } \zeta > \theta \text{ [km]} \quad (3.6)$$

Otherwise,

$$L_R = \frac{h_r - h_s}{\sin\theta}, \text{for } \zeta \leq \theta \text{ [km]} \quad (3.7)$$

Where,

$$\zeta = \tan -1 \left(\frac{h_R - h_s}{L_G r_{0.01}}\right) \text{ [degree]} \quad (3.8)$$

Step 7: The vertical reduction factor $r_{(0.01)}$ for 0.01% of time is also given by:

$$v_{0.01} = \frac{1}{1+\sqrt{\sin\theta[31-e^{-\left(\frac{\theta}{1}+x\right)}\sqrt{\frac{L_R \gamma_R}{f^2}}-0.45]}} \quad (3.9)$$

Step 8: Finally, the effective path length L_E (km) through rain is obtained by multiplying the horizontally adjusted slant-path by the vertical reduction factor, as follows:

$$L_E = L_R V_{0.01} \quad (3.10)$$

Step 9: The predicted rain attenuation exceeded for 0.01% of an average year is obtained from:

$$A_R = \gamma_R * L_e \text{ [dB]} \quad (3.11)$$

IV. METHODOLOGY

There are many kind of rain models in the literature of studied papers. The ITU-R model was adjudged the most widely accepted internationally for the prediction of rain effects on communication systems. Hence, most emerging models are compared against it for conformity and reliability, especially for cases where measured data are not available.

However, recent researches have shown that some ITU-R models are only suitably reliable in certain geographical areas. This paper predicts the rain attenuation value in several provinces in Mongolia. The ITU-R rain attenuation model is as below [11].

A. Data collection

We defined longitude and latitude of provinces in study area from source "time genie country" to show by table 2.1. After that satellite geometry parameters were calculated by mathematical model on based longitude and latitude of provinces. There is shown result of elevation angle of earth station of provinces for the satellite position 113.6E in table 2.2. Then related date of rain intensive for 0.01% of year and rain zone category are defined from worldwide map of ITU-R rain regions. Also, altitude of provinces in study area defined from source of "Geodetic coordinate and altitude of Mongolia" in Agency for Land Administration and Management, Geodesy and Cartography [12]. Collection data are shown table-4.1.

TABLE-4.1: DATA COLLECTION

Earth station location	Altitude [m]	Elevation [Degree]	World rain zone map of ITU-R	
			Zone	Rain intensity for 0.01%
Ulaanbaatar	1429	34.5^0	E	22 mm/hr.
Khuvsgul	1301	31.6^0	E	22 mm/hr.
Bayan-Ulgii	1715	28^0	E	22 mm/hr.
Umnugovi	1263	40^0	A	8 mm/hr.
Dornod	713.2	35^0	E	22 mm/hr.

As shown in table-4.1 Dornod province is located minimum altitude and Bayan-Ulgii province is maximum altitude above sea altitude. For elevation angle, Dornod and Umnu-Govi provinces are shown better characteristic than others.

B. Specific attenuation model for rain dor use in prediction methods

Values for the coefficients k and α are determined as functions of frequency, f (GHz), in the range from 1 to 1 000 GHz by ITU-R P.838-3. These values were selected to use in calculation from ITU-R P.838-3

TABLE-4.2: FREQUENCY-DEPENDENT COEFFICIENTS FOR ESTIMATING SPECIFIC RAIN ATTENUATION

Frequency GHz	$K_{(H)}$	$\alpha_{(H)}$	$K_{(V)}$	$\alpha_{(V)}$
1	0.0000259	0.9691	0.0000308	0.8592
4	0.0001071	1.6009	0.0002461	1.2476
6	0.0007056	1.5900	0.0004878	1.5728
12	0.02386	1.1825	0.02455	1.1216
18	0.07078	1.0818	0.07708	1.0025
26	0.1724	0.9884	0.1669	0.9421
40	0.4431	0.8673	0.4274	0.8421

For linear and circular polarization, and for all path geometries, the coefficients can be calculated from the values given by the following equations [13].

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V)\cos^2\theta \cos 2\tau]/2 \quad (4.1)$$

$$\alpha = \frac{[k_H\alpha_H + k_V\alpha_V + (k_H\alpha_H - k_V\alpha_V)\cos^2\theta \cos 2\tau]}{2k} \quad (4.2)$$

- $k_{(V)}$ and $\alpha_{(V)}$ – coefficient of vertical polarization.
- $k_{(H)}$ and $\alpha_{(H)}$ – coefficient of horizontal polarization.

Where (τ) is the polarization tilt relative to the horizontal and θ is the path elevation angle. The polarization tilt angle $\tau = 90^0$ for vertical polarization, and $\tau = 0^0$ for horizontal polarization while circular polarization is given $\tau = 45^0$ [7].

As planning, main hub earth station will be established in Ulaanbaatar, Mongolia. Hence we calculated rain attenuation on based three kind of polarization to choice Ulaanbaatar. Comparative result is shown in table-4.3.

TABLE-4.3: COMPARATIVE ESTIMATED RESULT OF POLARIZATIONS FOR C, K_U, K_A BANDS IN ULAANBAATAR, MONGOLIA

Satellite position		113.6^0 E		
Site position		Ulaanbaatar		
Altitude of sea		1428m		
Elevation angle		34.5^0		
Rain-(0.01)		22 mm/hr.		
Polarization		Rain fall intensity-(0.01%)		
Frequency		Horizontal	Circular	Vertical
C Band	4GHz	0.0131	0.0116	0.0115
	6GHz	0.0908	0.0796	0.0683
Ku Band	12GHz	0.8988	0.8509	0.8064
	18GHz	1.9497	1.8431	1.7493
Ka Band	26GHz	3.5601	3.3561	3.1599
	40GHz	6.354	6.1152	5.8807

These results are shown very approximate values. Circular polarization is commonly used in satellite communication. Therefore, these results of calculated on based circular polarization will be used directly in the next calculations.

V. CALCULATION

Rain attenuation was calculated by ITU-R model in capital Ulaanbaatar, center of provinces, and point of bordering of Mongolia in main science study work.

In this paper, we selected one province from each regional to calculate rain attenuation by ITU-R model on based uplink and downlink of C bands, Ku bands, and Ka bands at space position 113.6 E. Estimated result is shown in table-5.1 and table-5.2 with graphs.

TABLE-5.1:ESTIMATED RESULT OF RAIN ATTENUATION FOR DOWNLINK FREQUENCY

Satellite position-113.6 E					
Rain attenuation for 0.01% of year annual					
Province	Elevation	Rain zone	Frequency-Downlink		
			4 GHz	12 GHz	26 GHz
Ulaanbaatar	34.5	E	0.0353	2.579	10.17
Khuvsgul	31.6	E	0.0398	2.911	11.48
Bayan-Ulgii	28	E	0.0359	2.625	10.35
Umnugovi	40	A	0.0087	0.779	3.71
Dornod	35	E	0.0461	0.366	13.27

TABLE-5.2:ESTIMATED RESULT OF RAIN ATTENUATION FOR UPLINK FREQUENCY

Satellite position-113.6 E					
Rain attenuation for 0.01% of year annual					
Province	Elevation	Rain zone	Frequency-Uplink		
			6 GHz	18 GHz	40 GHz
Ulaanbaatar	34.5	E	0.242	5.587	18.54
Khuvsgul	31.6	E	0.273	6.305	20.92
Bayan-Ulgii	28	E	0.264	6.118	20.3
Umnugovi	40	A	0.047	1.888	7.556
Dornod	35	E	0.315	7.291	24.19

As shown in Table-5.1 and Table-5.2, Umnugovi province is shown more good characteristic with compare other provinces by rain attenuation both of downlink and uplink for Mongolia.

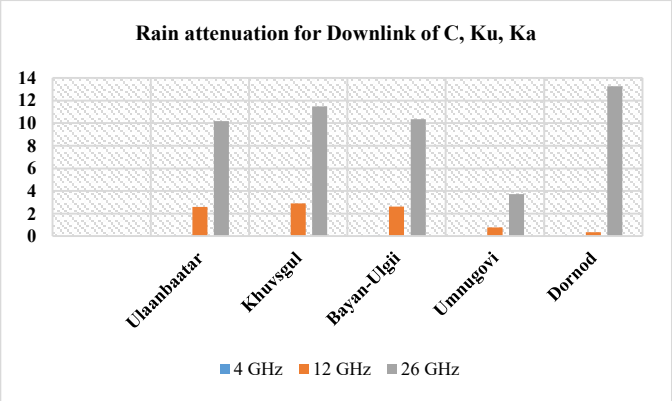


Fig-5.1: Rain attenuation for downlink

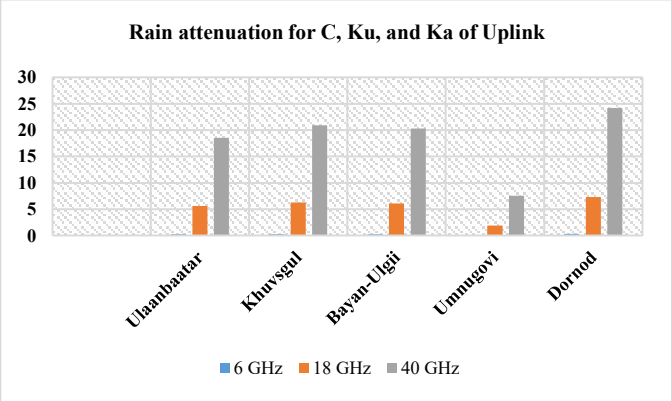


Fig-5.2: Rain attenuation for Uplink

As shown in Fig-5.1 and Fig-5.2, C band is shown more good characteristic with compare other Ku and Ka bands by rain attenuation.

RESULT

The effects of rainfall on satellite communication link at downlink and uplink of C, Ku, Ka-bands was estimated space position at 113.6 E based on local and calculated data in Mongolia.

The rain attenuation effect was calculated by frequency range that uplink and downlink of C band, Ku band, and Ka bands in selected provinces of study area.

The result shows that an increase in attenuation was experienced at 40 GHz with a value of 24.19 dB and the least is at 4 GHz with a value of 0.0087 for A zone and 0.0353 dB for E zone.

The rain attenuation result is showed by theoretical equations, graphs and tables in this paper.

Finally, by resulting of this science work, rain attenuation is high atmosphere effect but this high effect is shown more possible condition in Mongolia to compare the countries with rain season, heavy rain, and located near sea.

Although, when we propose the satellite networks for Mongolia, the operational scenarios during the raining condition have to consider to mitigate the rainfall effects.

If a satellite link is to be maintained during a rainfall, it is necessary that extra power to be transmitted to overcome the degradation induced by rain. Or other signal transmission mechanisms such as modulation index change, or changing to lower coding gain.

ACKNOWLEDGMENT

We want to thank Professor. Dr. BYUNG K. Yi of University of California San Diego Extension, whose valuable advice and comments have greatly improved the science paper.

REFERENCES

[1] Otgonbaatar Yura, Buyankhishig, and others “Comparative study of estimation of rain and cloud attenuation at high frequency on satellite links for Mongolia”, International Journal of Innovative Science and Research Technology-IJISRT-2023, Volume 8, Issue 8, August 2023, /P2193-P.2203/

[2] Satellite Communication Principles and Application book: R.N Mutagi P42-P48, and P185-P.187, first published 2016.

[3] Akinyemi, Akinpelumi Gbenga, “Estimation of Rain Attenuation at C, Ku, Ka and V bands for Satellite Links in Nigeria”, Master degree dissertation, P.13-P.15.

[4] Y. Igarashi, H. Fujiwara, and D.Jugder, Change of the Asian dust source region deduced from the composition of anthrogogenic radionuclides in surface soil in Mongolia, reeasrchgate.net, published 20 july 2011.

[5] Average monthly snow and rain fall in Ulaanbaatar in millimeter: weather-and-climate.com

[6] Монгол улсын уртраг, өргөрөг: www.mon.timegenie.com

[7] Otgonbaatar, Yura, Rajesh Kumar Singh, Dr. Kwangcheol Shin, “System design and analysis of hybrid terrestrial and satellite network, its simulation of propagation effects for Mongolia” master dissertation, India, Feb, 2021.

[8] David Brunnenmeyer, S.Mills, Samir Patel Ka and Ku operational considerations for military sitcom application, IEEE-2012, Military Communications Conference-2012, published Milcom-2012.

[9] Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems-ITU-R P.618-8

[10] Rain height model for prediction methods-ITU-R P.839-3.

[11] Yussuff Abayomi I.O., Nor Hisham Haji Khamis: Rain Attenuation Modelling and Mitigation in The Tropics: Brief Review, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol.2, No.6, December 2012, pp. 748~757

[12] “Geodetic coordinate and altitude of Mongolia” in Agency for Land Administration and Management, Geodesy and Cartography.

[13] Frequency-dependent coefficient for estimating specific rain attenuation: Specific attenuation model for rain for use in prediction methods, Recommendation ITU-R P. 838-3, (1992-1999-2003-2005).

Author profile

Otgonbaatar Yura is Dean of information communication department in Huree university of Information and Communication Technology. He received his B.S, and M.S degrees Telecommunication Engineering from MUST in 2000, 2008. As well he received his second M.S degree Satellite Communication from Andhra University in Visakhapatnam, India in 2020. His current research interests satellite communication network, planning and some factors affecting the reliable operation of satellite communication systems.

Buyankhishig Zundui is Head of Department in School of Information and Communication Technology (SICT) of Mongolian University of Science and Technology (MUST). She received the B.S, M.S, and PhD degrees in Telecommunication Engineering from MUST in 1991, 1997, and 2003, respectively. From 1991 to 1993, she was a Researcher in Institute of Telecommunications Industry and Research. Since 1993, she has been a Lecturer with the SICT of MUST, where she became a Team professor in 2006. She has been involved in research on Broadband communication, optical communication, information and coding theory. She is a member of the Circuits and Systems Society of the IEEE.

Ganbold Shagdar is associate professor in School of Information and Communication Technology (SICT) of Mongolian University of Science and Technology (MUST). He is a member of IEEE. He received his B.S. and M.S degrees in electronic engineering from MUST, Ulaanbaatar, Mongolia, in 1991 and 1997, respectively and PhD degree from Gwangju Institute of Science and Technology, Gwangju, Korea, in 2016. His current research interests include dynamic wavelength and bandwidth allocation, energy efficiency and resilient architecture in optical access networks, optical cross connection architectures, and optical transport network.

Монгол улсын мэдээлэл холбооны сүлжээний үр ашгийн өнөө ба ирээдүйн өсөлтийн таамаглал

Баярсайханы Пүрэвцэрэн
Холбооны салбар
ШУТИС-н МХТС
Улаанбаатар, Монгол
purevtseren_b@must.edu.mn

Гончигдоржийн Мөнхтулга
Холбооны салбарын магистр
ШУТИС-н МХТС
Улаанбаатар, Монгол
munkhtulga@crc.gov.mn

Ламжавын Эрдэнэбаяр
Холбооны салбар
ШУТИС-н МХТС
Улаанбаатар, Монгол
erdenebayar.l@must.edu.mn

Пүрэвдоржийн Уганбаяр
Сургалт, чанарын алба
ШУТИС-н МХТС
Улаанбаатар, Монгол
p.uuganbayar @must.edu.mn

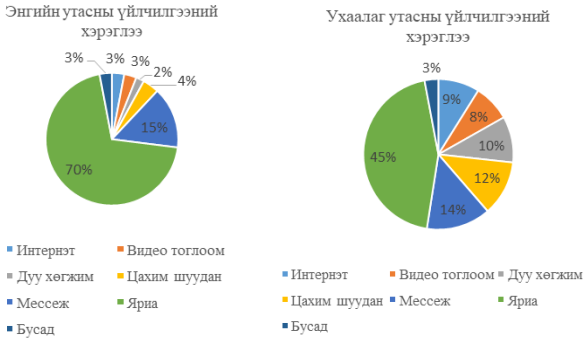
Хураангуй—Өнөөгийн Монгол орны өсөн нэмэгдэж буй интернэтийн урсгалын хэрэгцээг хангах тэгш, хуртээмжтэй харилцаа холбооны сүлжээ, дэд бүтцийг хөгжүүлэхэд мэдээлэл холбооны сүлжээний өнөөгийн төвшинг тооцож, ирээдүйн өсөлтийн таамаглалыг гарган сайжруулалтуудыг тоон судалгааны аргачлалаар харуулсан. Одоо ашиглагдаж буй сүлжээний гүйцэтгэлийг нийт хэрэглэгчид нь сүлжээнд дээд өгөгдлийн хурдаараа нэгэн зэрэг хандсан үед буюу сүлжээнд хамгийн их ачаалал үүссэн үед тооцож, мөн цаашид 5G сүлжээнд шилжих явцад сүлжээний ачаалал хэрхэн өсөн нэмэгдэх боломжтойг сүлжээний зангилаа тус бүр дээрх суурин болон утасгүй сүлжээ хэрэглэгчдийн статистик мэдээлэлд үндэслэн таамаглал дэвшүүлсэн.

Түлхүүр үгс —ачаалал, интернэт урсгал, 4G 5G сүлжээ, суурин интернэт, багтаамж

I. Удиртгал

Холбооны технологийн үсрэнгүй өөрчлөлт нь үйлчилгээний шинэ ангиллуудыг бий болгож, түүн дундаа үүрэн оператор болон интернэт провайдерууд интернэтийн урсгалаар дамжуулан бүх төрлийн контентийг дурын хугацаанд дата серверүүдээс ямарч өгөгдлийг тухайн улсын хэрэглэгчдэд хүргэх цогц үйлчилгээг санал болгож байна. Олон төрлийн контентод видео энтэртайнмэнт, алсын зайн сургалт, гэр ахуйн барааны цахим худалдаа, зар мэдээ, инерактив мэдээ, цахим шуудан, файл дамжуулах, зураг илгээх зэрэг маш олон хэрэглээнүүд багтдаг. Интернэтийн урсгал нь хуваарилалт, хандалт, дамжуулал, боловсруулалт зэргийг багтаасан ойлголт ба тэдгээр өгөгдлийн мэдээллийг цэгээс цэгт, цэгээс олон цэгийн дамжуулалттай хүргэж гүйцэтгэдэг [1]. Интернэтийн урсгал нь сервер сүлжээний их зурвасын өргөнийг эзэлж, дата төвүүдийн серверт их хэмжээний хадгалах байгууламжийг шаарддаг. Ингэснээр үүрэн оператор төдийгүй интернэт провайдерийн серверүүд асар том зурвасын өргөнийг хангах үр ашигтай удирдлагын механизмыг хангах ёстой. Хэрэглэгчийн үйлчилгээг тасралтгүй хангахын тулд серверүүд нь хэрэглэгчийн захиалгыг итгэмжлэхээс өмнө үйлчилгээний сүлжээний хүрэлцээтэй Ролт/Гаралтын зурвасын өргөнийг нөөцөлсөн байна. Интернэт урсгалын их хэмжээний зурвасын шаардлагаас үүдэн хэрэгжүүлж буй системийн илүү үнэтэй нэгж нь сервер сүлжээний зурвас байдаг [2].

Өргөн зурвасын утасгүй холбооны технологи нь эцсийн хэрэглэгчийн хөдөлгөөнт терминалд үйлчилгээг дамжуулах болон олон талт үйлчилгээг гар утсаараа авах хангалттай зурвастай байна. Үүрэн сүлжээнд яриа дамжуулах үйлчилгээнээс гадна цахим шуудангаар захидал илгээх хүлээн авах, хөтөч ашиглан интернэтэд зочлох, өөр хоорондоо зураг түгээх, видео тоглоом тоглох, видео клип, кино, телевизийн нэвтрүүлгүүдийг үзэх үйлчилгээнүүд байдаг [4].



Зураг 1. Морган Станлэй байгууллагаас гаргасан судалгаа

Хөдөлгөөнт сүлжээний өгөгдлийн ачаалал нь контентийн үйлчилгээг захиалах хэрэглэгчдийн тоогоор экспоненциалаар өсөн нэмэгдэж байна. Иймд энэ асуудлыг шийдэхийн тулд үүрэн сүлжээний хөгжил LTE-ээс 5G технологид шилжснээр дамжууллын хурд 173Мбит/с-ээс 1000Мбит/с хүртэл өсөх боломж нээгдсэн.

II. Өгөгдөл Дамжуулал

A. Үйлчилгээний профайль

Үйлчилгээг бид хүснэгт 1-т үзүүлсэн шиг 5 өөр профайл болгон хуваарилдаг. Профайл бүр нь нэг цагт гарах давталтыг илэрхийлсэн байдаг. Үүнээс үзэхэд үйлчилгээнүүдийн хослол нь 1-р профайлын хувьд оффисын орчинтой холбоотой үйлчилгээнүүдээс бүрддэг болохыг харуулж байна. Профайл 4 нь файл татаж буй хэрэглэгчдийн нөхцлийг тусгасан. Хэрэглэгчид профайлиудад харилцан адилгүй хуваарилалтыг санамсаргүй байдлаар хандаж болно, жишээлбэл, хэрэглэгчдийн 20% нь 1-р профайл, 30% нь 2-р профайл гэх мэт [5].

ХҮСНЭГТ I. ХЭРЭГЛЭГЧИЙН ҮЙЛЧИЛГЭЭНИЙ ТӨРӨЛ

ID	Үйлчилгээ	Үйлчилгээний ID	Үйлчилгээний давталт
1	Харилцан яриа (GBR)	1	4
	Хөгжим, буфер цацалт (20мин)	5	2
	Файл татаж авах (баримт бичиг/апп SW)	10	6
2	Сошиал, зураг татах	8	20
	Видео, буфер цацалт (2мин)	2	15
3	Видео, буфер цацалт (60мин)	4	1
4	Файл татаж авах (баримт бичиг/апп SW)	10	12
	Файл татаж авах (софтвэйр)	9	1
5	Хөгжим, буфер цацалт (60мин)	6	1
	Сошиал, зураг татах	8	15
	Вэб хандалт	7	10

5G сүлжээний хүрээнд 4K Virtual Reality (VR) болон Video-on-Demand (VoD) үйлчилгээ нь хэрэглэгчид асар том виртуал орчныг гайхалтай 4K нягтаршилтайгаар физик болон дижитал ертөнцийн хооронд заагийг интерактив туршлагад үндэслэн хүлээн авах боломжтой.

ХҮСНЭГТ II. 5G ҮЙЛЧИЛГЭЭНИЙ ТӨЛӨВЛӨЛТИЙН ШАЛГУУРУУД

Хэрэглээ	Төхөөрөмжийн шаардлага	Нэвтрүүлэх чадамж
4K VoD	5G CPE өргөн дэлгэцийн телевиз (15 Мбит/сек)	30 Мбит/сек
4K дүрсийн шууд дамжуулал	5G CPE өргөн дэлгэцийн телевиз (20 Мбит/сек)	40 Мбит/сек
4K 360 дүрс	VR компьютер (40 Мбит/сек)	80 Мбит/сек
	Гар утас+Мини VR, нүдний шил (50 Мбит/сек)	30 Мбит/сек
8K VR дүрс	VR компьютер Гар утас+Мини VR, нүдний шил (50 Мбит/сек)	100 Мбит/сек
4K үүлэн VR (тоглоом)	VR компьютер (50 Мбит/сек)	100 Мбит/сек

B. Хөдөлгөөнт хэрэглэгчийн терминалын өгөгдөл дамжуулах хурд

Хөдөлгөөнт холбооны эхэн үеийн хэрэглэгчдийн терминалыг бодвол ухаалаг системтэй аппликейшн програм хангамжуудыг өөртөө багтаасан одоо үеийн терминалыг хамгийн өргөн ашиглах болсон. Хэрэглэгчийн терминал нь үүрэн холбооны үйлчилгээ үзүүлэгч операторын хандалтын сүлжээнд байгаа үйлчилгээний бүс нутгийг үүсгэх бааз станцуудтай радио интерфэйсээр хандан ажилладаг ухаалаг төхөөрөмж юм. Мөн хэрэглэгчийн төхөөрөмж нь бүх төрлийн хэрэглэгчийг таних модулийг агуулсан байх ба ихэнхдээ түүнийг эцсийн терминал ч гэж нэрлэх нь бий. Хэрэглэгчийн термналын онцлог шинжүүд нь холбооны системд харилцан мэдээлэл солилцох гол түлхүүрүүдийг өөртөө нэгтгэсэн байдаг. Учир нь хэрэглэгчийн терминал нь тухайн төхөөрөмжийн байршлын мэдээлэл, гардварууд гэх зэрэг хөдөлгөөний удирдлагын функцуудыг агуулах ба гэр дотроо захиалгат видео контентийн үйлчилгээг авах боломжтой. Хэрэглэгчийн терминал нь дараах функцуудтай.

- 15 төрлийн ухаалаг платформ байна. (Тухайлбал, гар утас, таблет, айпад)
- Үүрэн операторын үйлчилгээний макро үүр ба фемто үүрийн сүлжээтэй радио интерфэйсээр холбогдоно.
- Нийтийн өгөгдлийн интернэт сүлжээнд хандах боломжтой

ХҮСНЭГТ III. ХЭРЭГЛЭГЧИЙН ТЕРМИНАЛУУДЫН АНГИЛАЛ

Хэрэглэгчийн тераминалын ангилал	Уруудах шугамын өгөгдлийн хурд	Өгсөх шугамын өгөгдлийн хурд
NB1	0.68Мбит/с	1.0Мбит/с
M1	1.0Мбит/с	1.0Мбит/с
Категори 0	1.0Мбит/с	1.0Мбит/с
Категори 6	301.5Мбит/с	51.0Мбит/с
Категори 7	301.5Мбит/с	102.0Мбит/с
Категори 8	2,998.6Мбит/с	1,497.8Мбит/с
Категори 9	452.2Мбит/с	51.0Мбит/с
Категори 10	452.2Мбит/с	102.0Мбит/с
Категори 11	603.0Мбит/с	51.0Мбит/с
Категори 12	603.0Мбит/с	102.0Мбит/с
Категори 13	391.7Мбит/с	150.8Мбит/с
Категори 14	3.917Мбит/с	9.585Мбит/с
Категори 15	750Мбит/с	226Мбит/с
Категори 16	979Мбит/с	n/a
Категори 17	25,065Мбит/с	n/a
Категори 18	1174Мбит/с	n/a
Категори 10	1566Мбит/с	n/a

C. Хэрэглэгчийн өгөгдлийн хурдны тооцоо

5G NR-д физик дамжуулах чадварыг тодорхойлох үйл явц нь LTE-тэй харьцуулахад тийм ч хялбар биш юм, учир нь RB сонголт нь SCS-ийг зурвасын өргөнтэй хамт харгалзан үздэг [7]. SCS болон зурвасын өргөний боломжит хослолыг хүснэгт 4-д үзүүлэв.

ХҮСНЭГТ IV. СУВГИЙН ЗУРВАСТ ХАРГАЛЗАХ НӨӨЦ БЛОКУУД

SCS (kHz)	40MHz RB	50MHz RB	60MHz RB	80MHz RB	90MHz RB	100MHz RB
15	216	270	N/A	N/A	N/A	N/A
30	106	133	162	217	245	273
60	51	65	79	107	121	135

Энэ мэдээллийг ашиглан дараах тэгшитгэлийг ашиглан физик нөөцийн нэвтрүүлэх чадварыг тодорхойлох боломжтой. Зураг 3-т өгөгдсөн нэвтрүүлэх зурвасын хэмжээг дараах тэгшитгэлийн дагуу тооцоолж туршсан болно.

$$DataRate(Mbpss) = 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^{J} \left(v_{давхарга}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^j \cdot R \cdot \frac{N_{PRB}^{BW(j),\mu} \cdot 12}{T_s^{\mu}} \cdot \left(1 - OH^{(j)}\right) \right) \quad (1)$$

Энд, J - зурвас эсвэл зурвасын хослол дахь нэгтгэсэн бүрэлдэхүүн зөөгчүүдийн тоо, R_max=948/1024, J-р зөөгчийн бүрэлдэхүүн хэсгийн хувьд, $v_{давхарга}^{(j)}$ - давхаргын тоо, $Q_m^{(j)}$ - Модуляцийн эрэмбэ, f^j - өргөтгөх коэффициент, BW^j - Зурвасын өргөн (МГц), $OH^{(j)}$ - Давтамжийн цар, T_s^{μ} -н дэд фрейм дэх OFDM тэмдэгтийн үргэлжлэх хугацааны дундаж (

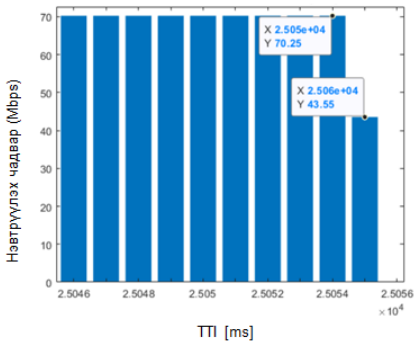
$T_s^{\mu} = \frac{10^{-3}}{14 \cdot 2^{\mu}}$ хэвийн циклийн угтвар), $N_{PRB}^{BW(j),\mu}$ - тоон утга бүхий зурвасын өргөн дэх хамгийн их ФН хуваарилалт

5G Шинэ радио дахь TBS утгыг тодорхойлох нь LTE-тэй харьцуулахад маш өөр процесс бөгөөд бүх боломжит сонголтыг нэгтгэсэн хүснэгтүүд байдаг.

III. ТУРШИЛТ

A. Нэг хэрэглэгчийн хамгийн их өгөгдлийн хурдны тооцоо

Нөөцийн бодит эрэлт гэдэг нь ачааллын төрөл, сувгийн нөхцлөөс хамааран хэрэглэгчийн шаардагдах нөөцийн хэмжээ юм. Тус эрэлтийг шаардлагатай зурвасын өргөн, шаардлагатай TTI-ийн тооноос хамааран нөөцийн блокуудын тоогоор илэрхийлж болно. UE-ийн нөөцийн бодит эрэлтийг тодорхойлохдоо нэг хэрэглэгчийн зурвасын өргөний сонгодог жишээг авч үзье.



Зураг 2. LTE сүлжээний нэвтрүүлэх чадвар

Энэ жишээнд LTE радио хандалтын технологи, TDD систем, 15кГц дэд зөөгчийн зайтай 20МГц зурвасын өргөнтэй сувгийн хувьд UE нь 25055мс хугацаанд 70.24 Mbps нэвтрүүлэх чадамжтай сувгаар өгөгдлийг дамжуулж байсан. Хүснэгт 1-ийн дагуу UE хэрэглэгч нь 10 ба 9 (S10, S9) үйлчилгээг хослуулсан байна. S10 нь цагт 12 удаа гардаг 10 МБ файл татаж авах үйлчилгээ бөгөөд S9 нь цагт нэг удаа тохиолддог 100 МБ файл татаж авах үйлчилгээ юм.

Нийт өгөгдөл = (10 x 12)+100 = 220 Mbyte

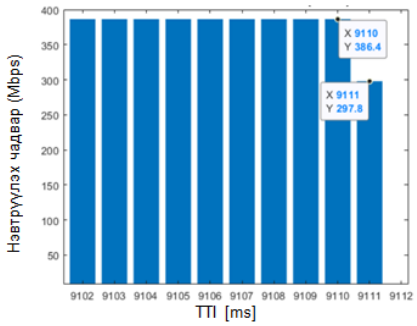
Симуляцийн дагуу төлөвлөсөн нийт өгөгдлийг дараах байдлаар тооцоолно.

Хуваарилалтын хугацаа = 25055/1000 = 25.055 секунд

1 хэрэглэгчийн өгөгдлийн хурд = 70.24 / 8 = 8.78 Mbps

Өгөгдөл дамжуулалт = Хуваарилалтын хэмжээ x 1 хэрэглэгчийн өгөгдлийн хурд = 219.98 Mbyte

Одоо бид ижил үйлчилгээтэй UE хэрэглэгчийн хувьд 5G-NR RAT-ийн хувьд тооцоолъё.



Зураг 3. 5G NR сүлжээний нэвтрүүлэх чадвар

Энэхүү симуляцийн туршилтаар системийн зурвасын өргөнийг 100 МГц, дэд зөөгчийн зай нь 30 кГц байхаар сонгосон. Дамжуулах хугацааны интервал (TTI) нь 0.5 миллисекундтэй тэнцүү байх ба TTI-д ашиглах боломжтой PRB-ийн хамгийн их тоо нь 275 байна. Нийт өгөгдлийг дараах байдлаар тооцоолно.

Хуваарилалтын хугацаа = 9111 x 0.5/1000 = 4.555 секунд

1 хэрэглэгчийн өгөгдлийн хурд = 386.39 / 8 = 48.29 Mbps

Өгөгдөл дамжуулалт = Хуваарилалтын хугацаа x 1 хэрэглэгчийн өгөгдлийн хурд = 219.96 Mbyte

Сувгийн чанар ижил байгаа дээрх туршилтаас харахад хамгийн өндөр зурвасын өргөнтэй RAT (энэ тохиолдолд NR) нь ижил хэмжээтэй файлын татан авалтыг largeBW/smallBW хурдаар удирдаж байгааг харж болно. 5G-NR системийн өгөгдлийн дундаж хурд маш өндөр бөгөөд энэ нь голчлон өндөр зурвасын өргөнтэй холбоотой юм. Тиймээс энэхүү туршилт нь ондоо ачааллын хувилбарууд, өөр өөр төрлийн RAT болон зохицуулагдсан сувгийн чанарыг үр ашигтайгаар тооцдог гэж хэлж болно.

B. Үүрэн ба суурин интернэтийн урсгалын багтаамжийн тооцоо

Үүрэн холбооны нийт хэрэглэгч болон 3G, 4G/LTE хэрэглэгчийн тоог Улаанбаатар хот, аймаг, бүс нутгийн хүн амын тоотой харьцуулахад 4G/LTE хэрэглэгчийн нэвтрэлт баруун бүсэд хамгийн бага буюу 65.4 хувьтай байгаа бол Улаанбаатар хотод 105.6 хувьд хүрсэн байна. Үүрэн холбооны хэрэглэгчдийн үүсгэсэн дата хэрэглээ 2022 жилийн эцсийн байдлаар 474,596 Терабайтад хүрч, дата хэрэглээ өмнөх оны мөн үетэй харьцуулахад 33.10 хувиар өссөн байна. Харин Монгол Улсын хэмжээнд суурин интернэтэд холбогдсон буюу гэрээт хэрэглэгчийн тоо 2022 оны жилийн эцсийн байдлаар 56,720 -оор нэмэгдэн 436,447-д хүрч өмнөх оноос 15 хувиар өсчээ. Үүний 411,856 нь өрхийн хэрэглэгч бөгөөд улсын хэмжээнд нийт өрхийн 44% нь суурин интернэтэд холбогдсон нь өмнөх оноос 6.3 хувиар өсчээ. 100 хүнд ногдох үзүүлэлтээр тооцвол 12.6 хувьд хүрсэн байна [3]. Нэг хэрэглэгчийн хамгийн их өгөгдлийн хурдны тооцоонд үндэслэн Монгол орны сүлжээний багтаамж аймаг, хотын хэмжээнд ямар байгааг тооцоолов.

ХҮСНЭГТ V. ҮҮРЭН ТЕХНОЛОГИ, ХӨДӨЛГӨӨНТ ӨРГӨН ЗУРВАС, НЭВТРЭЛТИЙН ТҮВШИН БҮСЭЭР

Байршлаар	Улсын нийт Хүн ам	4G/LTE	Нэвтрэлтийн хувь
НИЙТ	3,457,548	4,835,520	139.8%
БАРУУН БҮС	418,707	496,994	118.7%
ХАНГАЙН БҮС	603,427	699,208	115.8%
ТӨВИЙН БҮС	515,771	714,728	138.5%
ЗҮҮН БҮС	227,877	304,501	133.6%
УЛААНБААТАР	1,691,766	2,620,089	154.8%

Үүрэн хөдөлгөөнт хэрэглэгчийн нэг сарын дундаж өгөгдлийн урсгалын хэмжээ 0.303Мбит/с байна.

ХҮСНЭГТ VI. ҮҮРЭН ХОЛБООНЫ ҮЙЛЧИЛГЭЭНИЙ НЭГ ХЭРЭГЛЭГЧИЙН САРЫН ДУНДАЖ ХЭРЭГЛЭЭ

ОН	2022
4G хэрэглэгч	4,835,520
Дата хэрэглээ нийт /GB/	61,894,656
Нэг хэрэглэгчийн 1 сарын дундаж хэрэглээ /GB/	12.8

Дээрх бүсийн хуваалтаар аймаг тус бүрийн 4G/LTE хөдөлгөөнт хэрэглэгчдийн тоон үзүүлэлтийг тооцож гаргав.

ХҮСНЭГТ VII. АЙМГУУДЫН 4G СҮЛЖЭЭНИЙ НЭВТРЭЛТ

Аймаг	Хүн ам (2022)	4G LTE нэвтрэлт (ш)	4G LTE нийт багтаамж
Баруун бүс			
Баян-Өлгий	114776	115331	34.16GB
Говь-Алтай	57098	75775	22.43GB
Завхан	71798	96855	28.68GB
Увс	83964	100504	29.77GB
Ховд	91071	108529	32.14GB
Хангайн бүс			
Архангай	93149	106301	31.48GB
Баянхонгор	88397	101542	30.07GB
Хөвсгөл	136633	175733	52.05GB
Булган	61161	67677	20.05GB
Орхон	109125	122957	36.43GB
Өвөрхангай	114962	124998	37.03GB
Төвийн бүс			
Дархан-Уул	107932	128055	36.43GB
Дорноговь	71129	99818	29.56GB
Сэлэнгэ	107341	124409	36.85GB
Дундговь	46387	57254	16.94GB
Өмнөговь	72937	164382	48.69GB
Төв	92038	119293	35.33GB
Говьсүмбэр	18007	21517	6.37GB
Зүүн бүс			
Дорнод	83704	102530	30.37GB
Сүхбаатар	65214	83587	24.75GB
Хэнтий	78959	118384	35.07GB
Нийслэл			
Улаанбаатар	1691766	2620089	776.32GB

ХҮСНЭГТ VIII. СУУРИН ИНТЕРНЕТИЙН НЭВТРЭЛТИЙН ТҮВШИН БҮСЭЭР

Байршлаар	Улсын нийт Хүн ам	Суурин	Нэвтрэлтийн хувь
НИЙТ	3,457,548	432,576	12.5%
БАРУУН БҮС	418,707	16,332	3.9%
ХАНГАЙН БҮС	603,427	38,583	6.4%
ТӨВИЙН БҮС	515,771	46,636	9%
ЗҮҮН БҮС	227,877	14,030	6.1%
УЛААНБААТАР	1,691,766	316,995	18.7%

Суурин интернэт хэрэглэгчийн нэг сарын дундаж өгөгдлийн урсгалын хэмжээ 3.5Мбит/с байна.

ХҮСНЭГТ IX. СУУРИН ИНТЕРНЭТ ҮЙЛЧИЛГЭЭНИЙ НЭГ ХЭРЭГЛЭГЧИЙН САРЫН ДУНДАЖ ХЭРЭГЛЭЭ

Он	2022
Суурин хэрэглэгч	432,576
Дата хэрэглээнийт /GB/	65,016,172.8
Нэг хэрэглэгчийн 1 сарын дундаж хэрэглээ /GB/	150,3

Дээрх бүсийн хуваалтаар аймаг тус бүрийн суурин интернэт хэрэглэгчдийн тоон үзүүлэлтийг тооцож гаргав.

ХҮСНЭГТ X. АЙМГУУДЫН СУУРИН ИНТЕРНЭТИЙН УРСГАЛ

Аймаг	Хүн ам (2022)	Суурин (%)	Суурин (ш)	Суурин интернет нийт багтаамж
Баруун бүс				
Баян-Өлгий	114776	2.8	3262	11.35GB
Говь-Алтай	57098	5.5	3140	10.92GB
Завхан	71798	2.3	1698	5.9GB
Увс	83964	4.1	3475	12.1GB
Ховд	91071	5.2	4757	16.55GB
Хангайн бүс				
Архангай	93149	2.9	2771	9.64GB
Баянхонгор	88397	6.4	5691	19.8GB
Хөвсгөл	136633	5.1	6988	24.31GB
Булган	61161	3.1	1904	6.62GB
Орхон	109125	16	17536	61GB
Өвөрхангай	114962	3.2	3693	12.84GB
Төвийн бүс				
Дархан-Уул	107932	13.8	14888	51.8GB
Дорноговь	71129	9.7	6943	24.15GB
Сэлэнгэ	107341	7.4	8018	27.9GB
Дундговь	46387	5.4	2536	8.82GB
Өмнөговь	72937	11.2	8226	28.62GB
Төв	92038	3.9	3589	12.48GB
Говьсүмбэр	18007	13.5	2436	8.47GB
Зүүн бүс				
Дорнод	83704	8.4	7073	24.6GB
Сүхбаатар	65214	4.7	3093	10.76GB
Хэнтий	78959	4.9	3864	13.44GB
Нийслэл				
Улаанбаатар	1691766	18.7	316995	1102.87GB

Аймаг тус бүрийн одоогийн сүлжээний нийт багтаамжид зохицсон эсэхийг 4G ба суурин интернэтийн хэрэглэгчийн хамгийн их урсгалтай харьцуулан гаргалаа.

ХҮСНЭГТ XI. АЙМАГ БҮРИЙН СУУРИН БА 4G СҮЛЖЭЭНИЙ ХАМГИЙН ИХ УРСГАЛ ХЭРЭГЛЭЭ

Аймаг	Одоо байгаа нийт багтаамж	4G нийт багтаамж	Суурин интернет нийт багтаамж	4G ба Суурин интернет нийт багтаамж
Баруун бүс				
Баян-Өлгий	111GB	34.16GB	11.35GB	45.51GB
Говь-Алтай	124GB	22.43GB	10.92GB	33.35GB
Завхан	113GB	28.68GB	5.9GB	34.58GB
Увс	213GB	29.77GB	12.1GB	41.87GB
Ховд	223GB	32.14GB	16.55GB	48.69GB
Хангайн бүс				

Архангай	132GB	31.48GB	9.64GB	41.12GB
Баянхонгор	123GB	30.07GB	19.8GB	49.87GB
Хөвсгөл	223GB	52.05GB	24.31GB	76.36GB
Булган	296GB	20.05GB	6.62GB	26.67GB
Орхон	263GB	36.43GB	61GB	97.43GB
Өвөрхангай	267GB	37.03GB	12.84GB	49.87GB
Төвийн бүс				
Дархан-Уул	273GB	36.43GB	51.8GB	88.23GB
Дорноговь	236GB	29.56GB	24.15GB	53.71GB
Сэлэнгэ	112GB	36.85GB	27.9GB	64.75GB
Дундговь	211GB	16.94GB	8.82GB	25.76GB
Өмнөговь	125GB	48.69GB	28.62GB	77.31GB
Төв	123GB	35.33GB	12.48GB	47.81GB
Говьсүмбэр	223GB	6.37GB	8.47GB	14.84GB
Зүүн бүс				
Дорнод	162GB	30.37GB	24.6GB	54.97GB
Сүхбаатар	122GB	24.75GB	10.76GB	35.51GB
Хэнтий	222GB	35.07GB	13.44GB	48.51GB
Нийслэл				
Улаанбаатар	620GB	776.32GB	1102.87GB	1879.19GB

2022 оны 1 хэрэглэгчийн хэрэглээг 4G сүлжээний нөхцөлд тооцсон, мөн суурин интернэтийн хэрэглэгчийн хэрэглээг тооцон одоо байгаа нийт багтаамжид эзлэх хувийг тооцож гаргахад 40-50%-ийн дундаж үзүүлэлттэй байх ба Улаанбаатар хотын хувьд 303% хүртэл үзүүлэлт байгаа нь хотын нийт хэрэглэгч хамгийн их урсгал зарцуулахад хангалттүй байгаа юм. Гэсэн хэдий ч Улаанбаатар хотын бүх хэрэглэгчид бүгд өгөгдөл татах хамгийн их ачааллын үйлчилгээг авах боломж байхгүй тул өгөгдсөн давсан урсгалын 30%-ийг идэвхтэй хэрэглэнэ гэж үзвэл 626.4GB буюу 100%-ийн үзүүлэлтийг гаргаж байгаа нь хотын хэмжээнд нийт багтаамжийг дахин төлөвлөж өсгөх шаардлага тулгарч байна.

ХҮСНЭГТ XII. АЙМАГ БҮРИЙН СУУРИН БА 5G СҮЛЖЭЭНИЙ ХАМГИЙН ИХ УРСГАЛ ХЭРЭГЛЭЭ

Аймаг	**Одоо байгаа нийт багтаамж**	**5G нийт багтаамж**	**Суурин интернет нийт багтаамж**	**5G ба Суурин интернет нийт багтаамж**
Баруун бүс				
Баян-Өлгий	111GB	187.88GB	11.35GB	199.23GB
Говь-Алтай	124GB	123.36GB	10.92GB	134.28GB
Завхан	113GB	157.74GB	5.9GB	163.64GB
Увс	213GB	163.73GB	12.1GB	175.83GB
Ховд	223GB	176.77GB	16.55GB	193.32GB
Хангайн бүс				
Архангай	132GB	173.14GB	9.64GB	182.78GB
Баянхонгор	123GB	165.38GB	19.8GB	185.18GB
Хөвсгөл	223GB	286.27GB	24.31GB	310.58GB
Булган	296GB	110.27GB	6.62GB	116.86GB
Орхон	263GB	200.37GB	61GB	261.37GB
Өвөрхангай	267GB	203.66GB	12.84GB	154.94GB
Төвийн бүс				
Дархан-Уул	273GB	200.4GB	51.8GB	252.2GB
Дорноговь	236GB	162.58GB	24.15GB	194GB
Сэлэнгэ	112GB	202.67GB	27.9GB	230.57GB
Дундговь	211GB	93.17GB	8.82GB	101.99GB
Өмнөговь	125GB	267.79GB	28.62GB	296.41GB
Төв	123GB	194.31GB	12.48GB	206.79GB
Говьсүмбэр	223GB	35.06GB	8.47GB	43.53GB
Зүүн бүс				
Дорнод	162GB	167.03GB	24.6GB	191.63GB
Сүхбаатар	122GB	136.12GB	10.76GB	146.88GB
Хэнтий	222GB	192.88GB	13.44GB	206.32GB
Нийслэл				
Улаанбаатар	620GB	4,269.76GB	1102.87GB	5372.63GB

2022 оны 1 хэрэглэгчийн хэрэглээг 5G сүлжээний нөхцөлд тооцсон, мөн суурин интернэтийн хэрэглэгчийн хэрэглээг тооцон одоо байгаа нийт багтаамжид эзлэх хувийг тооцож гаргахад 80-90%-ийн дундаж үзүүлэлттэй байх ба Улаанбаатар хотын хувьд 866% хүртэл үзүүлэлт байгаа нь хотын нийт хэрэглэгч хамгийн их урсгал зарцуулахад хангалттүй байгаа юм. Гэсэн хэдий ч Улаанбаатар хотын бүх хэрэглэгчид бүгд өгөгдөл татах хамгийн их ачааллын үйлчилгээг авах боломж байхгүй тул өгөгдсөн давсан урсгалын 30%-ийг идэвхтэй хэрэглэнэ гэж үзвэл 1790.9GB буюу 288%-ийн үзүүлэлтийг гаргаж байгаа нь хотын хэмжээнд нийт багтаамжийг 3-4 дахин төлөвлөж өсгөх шаардлага тулгарч байна.

ХҮСНЭГТ XIII. АЙМАГ БҮРИЙН ОДОО БАЙГАА НИЙТ БАГТААМЖИЙН ХЭТИЙН ТӨЛӨВ

Аймаг	**Одоо байгаа нийт багтаамж**	**4G ба Суурин интернет нийт багтаамжийн 33% хэрэглээ**	**Одоо байгаа нийт багтаамж дахь эзлэх хувь**	**5G ба Суурин интернет нийт багтаамжийн 33% хэрэглээ**	**Одоо байгаа нийт багтаамж дахь эзлэх хувь**
Баруун бүс					
Баян-Өлгий	111GB	15.17GB	13.6%	66.41GB	59.8%
Говь-Алтай	124GB	11.11GB	8.9%	44.76GB	36.1%
Завхан	113GB	11.52GB	10.2%	54.54GB	48.2%
Увс	213GB	13.95GB	6.5%	58.61GB	27.5%
Ховд	223GB	16.23GB	7.2%	64.44GB	28.9%
Хангайн бүс					
Архангай	132GB	13.7GB	10.3%	60.92GB	46.1%
Баянхонгор	123GB	16.62GB	13.5%	61.72GB	50.1%
Хөвсгөл	223GB	25.45GB	11.4%	103.52GB	46.4%
Булган	296GB	8.89GB	3%	38.95GB	13.1%
Орхон	263GB	32.47GB	12.3%	87.12GB	33.1%
Өвөрхангай	267GB	16.62GB	6.2%	51.64GB	19.3%
Төвийн бүс					
Дархан-Уул	273GB	29.41GB	10.7%	84.06GB	30.7%
Дорноговь	236GB	17.9GB	7.5%	64.66GB	27.4%
Сэлэнгэ	112GB	21.58GB	19.2%	76.85GB	68.6%
Дундговь	211GB	8.58GB	4%	34GB	16.1%
Өмнөговь	125GB	25.77GB	20.6%	98.8GB	79%
Төв	123GB	15.93GB	12.9%	68.93GB	56%
Говьсүмбэр	223GB	4.94GB	2.2%	14.51GB	6.5%
Зүүн бүс					
Дорнод	162GB	18.32GB	11.3%	63.87GB	39.4%
Сүхбаатар	122GB	11.83GB	9.6%	48.96GB	40.1%
Хэнтий	222GB	16.17GB	7.2%	68.77GB	30.9%
Нийслэл					
Улаанбаатар	620GB	626.4GB	101%	1790.87GB	288.8%

Үүрэн сүлжээ ба суурин интернетийн нийт хэрэглэгчийн 33% нь бүгд хамгийн их ачааллын урсгал болох файл таталтын үйлчилгээг ашиглана гэж тооцвол

Улаанбаатар хот одоогийн байгаа 4G ба суурин интернетийн урсгалыг 101% тултал ашиглаж байгаа нь харагдаж байна. Харин бусад аймгуудын хувьд нийт багтаамжийнхаа 20% хүрэхгүй хувийг ашиглаж байна. Хэрэв 5G сүлжээг нэвтрүүлэх тохиолдолд Улаанбаатар хотын хэмжээнд одоо байгаа багтаамжийн 3 дахин өсгөх шаардлага гарч байна. Бусад аймгуудын хувьд 50% хүрэхгүй хувийг ашиглаж байгаа нь эдгээр орон нутгийн зангилаануудад урсгалын багтаамж өргөтгөх шаардлагагүй гэж үзэж болхоор байна.

ДҮГНЭЛТ

2022 оны байдлаар Монгол улсын хэмжээнд 4G сүлжээнд 4835520 хэрэглэгч холбогдсон статистик мэдээ байна. Хэрэглэгчдийг нэг хэрэглэгчид ноогдох хамгийн их хурдаар (файл татах хэрэглээнд) сүлжээнд холбосон гэж үзээд сүлжээний ачааллыг 4G сүлжээ, 5G сүлжээ болон 4G+5G хосолсон сүлжээнүүдэд үүсгэх ачааллыг тооцлоо. Ачааллыг тооцохдоо сүлжээ тус бүрт бүрэн ачаалал үүссэн үеийн буюу бүртгэлтэй бүх хэрэглэгчид сүлжээнд дээд хурдаараа (файл татах үеийн ачааллаар тооцсон хурд) нэгэн зэрэг холбогдсон үед шаардагдах сүлжээний багтаамж, нийт хэрэглэгчдийн 33 хувь нь сүлжээнд холбогдсон үед шаардагдах сүлжээний багтаамжыг тус тус тооцож харьцуулсан.

ХҮСНЭГТ XIV. ҮҮРЭН ТЕХНОЛОГИ, ХӨДӨЛГӨӨНТ ӨРГӨН ЗУРВАС, НЭВТРЭЛТИЙН ТҮВШИН БҮСЭЭР

Сүлжээний төрөл	Нэг хэрэглэгчид ноогдох хамгийн их өгөгдлийн хурд (Файл татах хэрэглээний үед)	Нэг хэрэглэгчийн сарын дундаж хэрэглээ	МУ-н одоо байгаа сүлжээний нийт багтаамж	Бүрэн ачаалал үүссэн үед шаардагдах сүлжээний багтаамж	33%-н ачаалал үүссэн үед шаардагдах сүлжээний багтаамж
4G сүлжээ	8.78 мбит/сек	12.8 GB (2022 оны 4G хэрэглэгчдийн дундажаар)	4517 GB	1431 GB	477 GB
5G сүлжээ	48.29 мбит/сек	150.3 GB	4517 GB	9321 GB	3107 GB
4G+5G хосолсон сүлжээ	8.78 мбит/сек +48.29 мбит/сек	12.8 MB + 150.3 MB	4517 GB	5376 GB	1792 GB

Харьцуулсан үнэлгээний үр дүнг хүснэгтэд харууллаа. Өнөөдрийн байдлаар 4G сүлжээнд МУ-н сүлжээний нийт багтаамжийн 33 хувь орчмыг зарцуулж байгаа статистик байна. Энэ нь хүснэгт дэхь ачааллын загвараар үзвэл улсын хэмжээнд 477 GB урсгал болж байгаа нь нийт сүлжээний багтаамжийг одоогоор эзлэхгүй байгаа гэдгийг харуулж байна. Харин 4G сүлжээнд энэ ачааллын загвараар хэрэглэгчийн бүрэн ачаалал үүснэ гэж үзвэл тооцоогоор 1431GB багтаамж гарч байна. Энэ нь өнөөгийн МУ-н сүлжээний багтаамжийн 31.5%-ийг эзэлж байна.

Цаашид сүлжээг бүрэн 5G сүлжээнд шилжүүлсэн үед одоо байгаа хэрэглэгчийн тоотой ижил тооны хэрэглэгчтэй болно гэж үзвэл шаардагдагдах сүлжээний багтаамжийг дээрх ачааллын загвараар дахин тооцоолбол сүлжээнд нэгж агшинд бүрэн ачаалал үүснэ гэж үзсэн үед 9321 GB урсгал шаардлагатай, 33%-тай тэнцэх ачаалал үүснэ гэж үзвэл 3107 GB урсгалын багтаамж гарч байна. Үүнээс үзэхэд 5G сүлжээг бүрэн хэрэгжүүлсэн байх тэр үед өнөөгийн сүлжээний багтаамжийн 68% -н ачаалыг эзлэх дүгнэлт хийж болох юм.

НОМ ЗҮЙ

[1] 5G future hinges on lessening small cell barriers, available at: https://insidetowers.com/5g-future-hinges-on-lessening-small-cell-barriers-sayswheeler/ (accessed on 3rd May 2017).

[2] 5G Vision, The 5G infrastructure public private partnership; the next generation of communication networks and services, 5GPP, executive summary, available at: https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Exec-Summary-v1.pdf (accessed on 3rd May 2017).

[3] 5G energy performance, key technologies and design principles, Ericsson white paper, April 2015,available at: https://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp-5g-energy-performance.pdf (accessed on 15th May 2017).

[4] https://www.crc.gov.mn/list/zah-zeel-rs-ld-n/mn

[5] S. E. Hassani, A. Haidine, and H. Jebbar, “Road to 5G: Key Enabling Technologies,” Journal. of Comm., vol. 14, no. 11, Nov 2019, pp. 1034–1036.

[6] A. Singh, “5G REQUIREMENT, CAPABILITIES AND SPECTRUM”, Indira College of Engineering and Management, Available: https://www.linkedin.com/pulse/5g-requirement-capabilities-spectrum-ankita-singh.

[7] F. Haider, et al., “Spectral Efficiency Analysis of Mobile Femtocell Based Cellular Systems,” Proc. IEEE ICCT ’11, Jinan, China, Sept. 2011, pp. 347–51

Салбар хуралдаан-6



Дижитал конвержинс

САЛБАР ХУРАЛДААН-6: ДИЖИТАЛ КОНВЕРЖИНС *ШУТИС VIII байр, 804 тоот танхимд* **Хурлын дарга:** Д.Болормаа /СЭЗИС-ийн профессор/		
1.	“LiveData A Worldwide Data Mesh for Stratified Data” *Simone Bocca, Amarsanaa Ganbold and Tsolmon Zundui*	146
2.	“Ахмад настнуудын дундах хавсарсан өвчлөл: Априори алгоритм” *О.Уганбаяр, Л.Пүрэвдолгор, Л.Ажнай, Ж.Мөнхцэцэг, Ц.Жавзмаа, Ч.Баасандорж*	153
3.	“Машин сургалтын алгоритм ашиглан уйланхайт бэтэг өвчний үе шатыг тодорхойлох нь” *Т.Тэгшээ, Б.Долгорсүрэн*	158
4.	“Олон сувгийн камертай нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийг буудайн тариаланд ашиглах нь” *Т.Мандухай, С.Баттуяа, Б.Одгэрэл*	164
5.	“Өсвөр насны сурагчдын хандлага төлөвшилд мэдээллийн технологийн хэрэглээний үзүүлэх нөлөө” *Г.Уртнасан, П.Гантөгс*	171

LiveData
A Worldwide Data Mesh for Stratified Data

Simone Bocca
Department of Information Engineering and Computer Science
University of Trento
Trento, Italy
simone.bocca@unitn.it

Amarsanaa Ganbold
School of Information Technology and Electronics
National University of Mongolia
Ulaanbaatar, Mongolia
amarsanaag@num.edu.mn

Tsolmon Zundui
School of Information Technology and Electronics
National University of Mongolia
Ulaanbaatar, Mongolia
tsolmonz@num.edu.mn

***Abstract*—Data reuse is fundamental for reducing the data integration effort required to build data supporting new applications, especially in data scarcity contexts. However, data reuse requires to deal with data heterogeneity, which is always present in data coming from different sources. Such heterogeneity appears at different levels, like the language used by the data, the structure of the information it represents, and the data types and formats adopted by the datasets. Despite the valuable insights gained by reusing data across contexts, dealing with data heterogeneity is still a high price to pay. Additionally, data reuse is hampered by the lack of data distribution infrastructures supporting the production and distribution of quality and interoperable data. These issues affecting data reuse are amplified considering cross-country data reuse, where geographical and cultural differences are more pronounced. In this paper, we propose LiveData, a cross-country data distribution network handling high quality and diversity-aware data. LiveData is composed by different nodes having an architecture providing components for the generation and distribution of a new type of data, where heterogeneity is transformed into information diversity and considered as a feature, explicitly defined and used to satisfy the data users purposes. This paper presents the specification of the LiveData network, by defining the architecture and the type of data handled by its nodes. This specification is currently being used to implement a concrete use case for data reuse and integration between the University of Trento (Italy) and the National University of Mongolia.**

***Index Terms*—Data Reuse, Data Heterogeneity, Data Distribution**

I. Introduction

Digital data is, nowadays, a fundamental resource for research and innovation development. The Big Data market grown fast in the last decade, but also Small Data became crucial for data-based applications, data analysis, as well as for AI applications, especially in contexts affected by data scarcity. In this scenario, data reuse can significantly reduce the cost of the inevitable data management process for getting valuable information from existing data. One of the key activities involved in such a process, in order to reap the benefits of data reuse, is the ability to integrate data from different data sources. More specifically, the aim of data integration is to unify and merge all the information carried by data coming from different sources by combining the semantic (knowledge representation) and syntactic (data value representation) aspects of the data in a purposeful form.

Nevertheless, the reuse of data, and by consequence the data integration, directly involve dealing with the data heterogeneity, always present in data provided by existing data sources. Such heterogeneity occurs at different levels within the data to be reused. At syntactic level it appears in the file formats and in the data types adopted to represent specific information, while at semantic level it appears in the representation of real world entities structured by different properties according to the point of view of the data producer. This phenomenon significantly increases when the data reuse is considered worldwide, thus trying to reuse, and integrate, data from very different geographical and social contexts. For example, enabling data reuse data between Italy and Mongolia requires overcoming the problem of the different languages used to represent the data in the two countries, namely the language heterogeneity [1], [2]. At another level, for example, the data representation of university staff in Italy uses different data properties to the data representation of university staff in Mongolia, because of the differences in the organisation of the different university roles in the two countries, such as professors, researchers and students. This last example refers to what is called knowledge heterogeneity. Despite the difficulties in dealing with data heterogeneity, there are several examples of cross-country data reuse, that generated valuable analytical insights in different research fields, healthcare [3], [4], environmental analysis [5], digital innovation [6], and many others.

In such a heterogeneous international context, data re-use is hampered not only by the cost of data integration to deal with such data heterogeneity, but also by the lack of high quality data distribution to enable effective cross-country data sharing. The ability to reuse data is directly dependent on the accessibility of such data, as well as on the ability to recognise whether or not data is suitable for a purpose-specific reuse. Several open data projects [7], as well as data catalogues [1] have been created to address such data distribution issue. However, they are often focused on a specific field, context or country, and therefore they rarely (if ever) consider the

[1]European Open Data Portal

possibility of sharing data between countries with very strong cultural differences (heterogeneity). Metadata definition plays a crucial role in such a cross-country data distribution. Often the metadata used to describe the data does not provide enough information about the data, which actually limits its potential reuse. Moreover, very rarely does the metadata take into account the linguistic diversity of the users who might be interested in reusing the data, thus limiting the metadata definition to the language of the data producer.

In this paper we propose LiveData, namely a cross-country data distribution network handling high quality, and diversity-aware data. The fundamental idea behind the design of LiveData is to see the data heterogeneity not as a limitation, but as a feature of the data used to highlight the valuable information diversity it contains. ”The world is extremely diverse and diversity is visibly manifested in language, data and knowledge” [8]; with this sentence, F. Giunchiglia et al. want to communicate that the same real-world object can be described by many different words in different communities and in different languages, and can be represented by different property sets, with different property values. However, diversity allows for local maximisation of information representation by minimising the effort required to exploit it locally. Turning the data heterogeneity into information diversity, and considering it as a feature, the goal of each node that makes up the LiveData network is to transform existing low quality data by making its diversity explicit at language, knowledge, and data value level. This multi-layered, or stratified [9], approach to diversity representation increases the amount of valuable information in a single piece of data, as well as its reusability. In addition, the diversity-aware data produced are distributed in a worldwide data distribution network, structured according to the principles of data mesh architecture [10], [11], in which the distribution and ownership of the data are controlled locally by the domain experts who created the data, having the necessary knowledge to fully express its relative information (and information diversity). The key idea behind the design of such a data distribution network is to preserve diversity also at the architectural level by giving each node full control over the data it creates and distributes. The principles of data interoperability and data reuse behind the definition of the LiveData network and the diversity-aware data, have been presented by F. Giunchiglia et al. in [12]. Nevertheless, in this paper we propose to extend this previous contribution by providing a multi-domain data distribution model.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 describes the diversity-aware data handled by the LiveData nodes. In section 3 we define the architecture of the LiveData network, by describing the architecture of each node, as well as the data distribution policy defined to share data between such nodes. Section 4 focuses on the related work in terms of existing data distribution networks and data catalogues. Section 5 concludes the paper by summarizing the key features of LiveData, and outlying the future work.

II. LiveData contents

When we browse the web or collect data from existing databases, most of the time we get data where some of the information is implicit and therefore not directly accessible. For example, looking at a dataset containing information about university professors, we can see a set of values representing the attributes of different entities (professors), and we can also understand what the specific attributes are that these values refer to, like ”first name”, ”last name”, ”courses taught”, and others. However, we could not always understand which language(s) was used to represent the values (for example, if Italian citizens deal with a Mongolian dataset, or vice versa), especially considering the existence of languages more exploited then others for digital solutions [13]. In addition, it may not be clear from the dataset what the meaning of certain attributes is. For example, it is difficult to understand whether the attribute ”courses taught” refers to master’s courses, bachelor’s courses or both. More generally, it is not clear whether the entities and their attributes are part of an ontological model. Moreover, context-specific datasets often use local data standards to represent their information, making it difficult to clearly understand their data (for example, the values of the ”courses taught” attribute may be represented by codes defined locally by the specific university). The example above shows how diversity can be expressed at different levels in a single dataset, and how the current common types of datasets are not able to express such diversity concretely.

Each node of the LiveData network is designed to handle diversity-aware data, namely data where diversity has been made explicit by producing a dataset package, having different dataset types, one for each level at which diversity occurs. This type of data is produced through a specific data transformation process, implemented by following the iTelos methodology [14]–[16]. Such a process is exploited by each LiveData node to transform existing low quality data into diversity-aware data with an high level of interoperability and reuse. Applying the iTelos methodology, the process takes low quality input datasets and produces four different types of output datasets:

- *Standardised Datasets*: these are datasets that have been cleaned and formatted by adopting well-known standards. Such datasets have been cleaned by the iTelos process to remove any kind of possible noise, namely data values (but also attributes, or entire datasets) with additional meaningless information. In addition, the datasets are formatted to conform to well-known and widely used data standards. The standards adopted for these datasets are in line with the principles of 5⋆ Linked Open Data [2] and FAIR data [3]. The standardised datasets, managed by the LiveData nodes aim to be highly interoperable and reusable, while preserving their original information.

[2]Linked Data
[3]FAIR data

- *Language Datasets*: the second type of dataset handled by the LiveData nodes aims to make explicit the diversity at the language level [2], [17]. The language datasets contain the definition of the concepts used to express the information carried by the other (types of) datasets. Such concepts are used to express entity and attribute names that can be found in the datasets, as well as Entity Types (ETypes) and ETypes properties that exist in the ontologies used to model the information in the dataset. The language datasets provide three key elements for each concept. (i) A concept identifier that uniquely identifies the concept, (ii) the concept word that represents the concept, and (iii) the description of the concept in one or more natural languages that is used to disambiguate the meaning of the concept. Specifically, the language datasets can be defined in different formats, such as CSV and XML, depending on the purpose of their use. The language datasets can be used to improve the information expressed by lexical databases [18], by providing new concept definitions for different languages.

- *Knowledge Datasets*: the knowledge dataset handled by the LiveData nodes aims to make explicit the diversity at the knowledge level. Such datasets are the ontologies produced by the iTelos process, which make explicit, and machine-readable, the ontological model of the information as it is implicitly represented in the datasets [19]. More in details, the knowledge datasets define how the ETypes are modelled by data properties and how they are related to each other by object properties. In addition, such ontologies define the functional level of each EType by expressing how each of them represents a specific function of a more general EType. For example, the representation of the EType ”course taught” can better reflect the diversity of the specific context in which it has to be used, through an ontology modelling two more specific functional ETypes, like ”master course” and ”bachelor course”. The LiveData knowledge datasets, defined as RDF-OWL files, are modelled reusing well-known standard reference ontologies, with the aim of enhancing the interoperability and the reuse of the newly created ontologies.

- *Graph-based Datasets*: the graph-based dataset [20] is the last type of datasets, by considering the generation order of the iTelos process. The key idea behind the generation of such datasets is to provide a type of data that contains all the types of datasets described above, thus making the different levels of diversity explicit in a single object. More specifically, graph-based datasets are Knowledge Graphs (KGs) [21], which have a schema defined by LiveData knowledge resources, where the ETypes and their properties have been defined using the concepts of language datasets. The data layer of the KG, on the other hand, is defined using the LiveData standardised datasets. The merging of language, knowledge and standardised datasets produces a type of data in which diversity is concretely defined at different levels and in a machine-readable form. Furthermore, the interoperability of the type of datasets described above is directly reflected in the graph-based datasets, allowing the definition and distribution of more reusable KGs. The LiveData graph-based datasets are specifically defined as RDF Turtle (TTL) files.

It is important to note that LiveData creates and distributes content that can be both composed into a single object (the graph-based dataset) and decomposed into three different types of data (language, knowledge and standardised datasets). Such composition and decomposition allows the LiveData user to reuse the provided content as a whole or just one (or more) of its components, depending on their own specific purpose. This approach reduces the processing effort required to extract a single content’s type from a single dataset object, as well as the effort required to build a KG from different datasets. In addition, such a compositional approach can also be used by considering content created from different input datasets, thus increasing the reuse of datasets across purposes. To support the distribution of its content, each LiveData node uses the iTelos process to generate a specific set of metadata for each of the content types described above. A specific metadata schema is applied to each type of dataset to define the information to be provided by the metadata. The metadata plays a crucial role in the distribution of the data provided by the LiveData nodes. The information provided by the metadata allows LiveData users to find the content they are looking for, and to verify that such content is suitable for their own purposes. In other words, metadata increases the reusability of the data.

III. LiveData architecture

LiveData is a worldwide data distribution network sharing diversity-aware contents. To this end, the LiveData network architecture model has been designed as a Data Mesh [11]. In their work, Machado et al. [10] describe the four main principles of the data mesh model as (i) decentralising data management and ownership into the hands of domain representatives; (ii) defining an infrastructure that supports data as a product; (iii) defining quality and security data compliant with their requirements; and (iv) defining interoperable data. While the third and fourth data mesh principles are satisfied by the iTelos process executed by the LiveData nodes to generate diversity aware data, the first and second principles require the design, and implementation of a specific infrastructure. To this end, the LiveData data mesh architecture is composed of different nodes, defined for different geographical and cultural domains, which act as domain representatives, thus responsible for the maintenance and distribution of their local data. In addition, each node implements the concept of connectivity by defining links between the diversity-aware data thus highlighting such data as the main product provided. The architectural model of each LiveData node depicted in Figure 1. Each node is composed internally by four components described here below.

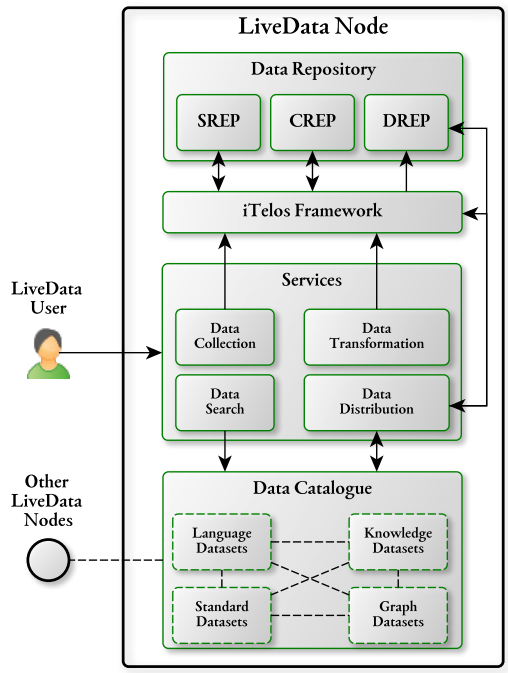


Fig. 1. LiveData Node Architecture

The *Data Repository* is the infrastructure's component used for the storage, and maintenance of the LiveData contents. The LiveData repository can be implemented by using several data management technologies ensuring data storage, as well as the data security and eventually the data anonymization (in case of sensible data). Nevertheless, the repository logical structure is uniquely defined and it has to be observed regardless of the technology used to implement it. Such a structure takes into account the four main types of content handled by LiveData, as well as the different phases of data management, from the data collection to the data distribution. For this reason the LiveData repository is internally structured in three main logical partitions, as depicted in Figure 1.

- *Source Repository (SREP)*: this repository partition contains the low quality data, collected from external sources that needs to be transformed into diversity-aware data. The data stored in the source repository has a lower quality and interoperability level. However, following the LiveData approach, SREP is again divided into three sub-sections for the storage of low quality datasets, external language datasets (not generated by the iTelos process) and external reference ontologies or data schemas. The SREP is the repository partition from which the iTelos data process receives its input.

- *Core Repository (CREP)*: this repository partition instead contains the data that has been transformed by the iTelos data process. The CREP stores the LiveData content, so this partition is also internally organised to maintain standardised datasets, language datasets, knowledge datasets and graph-based datasets. The CREP is the repository partition used to store the output of the iTelos data process awaiting distribution.

- *Distribution Repository (DREP)*: the last repository partition contains the diversity-aware data ready for distribution. When the LiveData administrator wants to distribute a data stored in CREP, a copy of that data is stored in DREP. In other words, DREP contains a subset of the data stored in CREP. In addition, for each dataset copied into DREP, a dedicated set of metadata is created and stored into the same repository partition. It is important to note that in Figure 1, DREP is directly connected to the LiveData distribution service, which is responsible for publishing metadata to the LiveData catalogues.

The *iTelos Framework* is a set of data management libraries and tools designed to implement the iTelos methodology. Thanks to this framework, any LiveData node can execute the iTelos data transformation process to produce diversity-aware data. The framework aims to support the different phases of the iTelos methodology, starting from the data collection until the generation of the metadata for the data distribution, passing through the generation of all the LiveData dataset types. For this reason, in Figure 1, the iTelos framework component is directly connected to SREP in order to handle the collection and storage of the low quality data to be transformed, but also to CREP to store, and eventually reuse, the produced diversity-aware data. Furthermore, the framework interacts with DREP to store the data and its associated metadata to be then distributed via the LiveData catalogues. The iTelos framework provides the tools used to execute some of the requests of the LiveData services that interact directly with the LiveData users or other LiveData nodes. More specifically, as shown in Figure 1, the framework handles the requests from the data collection and data transformation services.

The *Services* are the components of the LiveData node architecture that allows LiveData users to interact with the node, thus actually implementing the communication between the LiveData network and its users. The LiveData users can be both the administrators of the nodes, who use the LiveData services to collect, transform and distribute new data, and users who are not involved in the administration of the LiveData network. The latter category of users are interested in using the LiveData services to browse and download the diversity-aware data available through the LiveData catalogue. To support the needs of such users each LiveData node provides four services, as depicted in Figure 1.

- *Data collection*: the data collection service is mainly used by the LiveData node administrator to collect local low-quality data with the aim of transforming it into diversity-aware data and making it available in the LiveData network. Such a service, as shown in Figure 1, is connected to the iTelos framework, which provides

the tools to implement the collection of data to be stored in SREP.

- *Data Transformation*: the data transformation service is subsequently used by the LiveData node administrator, to transform, the data collected in SREP, into diversity-aware data. The service offers to the user an access point for the usage of the transformation tools provided by the iTelos framework, to generate the standardised datasets, the language datasets, the knowledge datasets and the graph-based datasets, to be stored in CREP.

- *Data Distribution*: the data distribution service is used by the LiveData node administrator to copy the data to be distributed into DREP and to generate the associated metadata. The service then sends the generated metadata to the LiveData catalogue for online publication. Moreover, the data distribution service is used by non-administrator users for the download of the data stored in DREP, identified and accessed through the data catalogue. The iTelos framework provides the tools to support the functionalities of such a service.

- *Data Search*: the data search service is mainly used by non-administrator users to look for the diversity-aware data suitable for their purpose. Such a service links the users directly to the LiveData catalogue, allowing them to browse the data by exploiting the values of the metadata defined to describe it.

The *Data catalogue* is the last component of the LiveData node architecture. It is responsible for publishing diversity-aware data to be distributed in the LiveData network. The data catalogue is a web portal designed to provide information at three different levels. At a more general level, the catalogue describes, through its landing page, the geographical and cultural domain for which it has been created. To this end, it provides a general description of all the data published in the catalogue, as well as a description of the organisation responsible for these data (the agent that acts as the LiveData node administrator). The second level of information provided by the catalogue, is given by the list of the available distributed contents. This information is provided by a second catalogue web page that list all the datasets (for each type of LiveData content). In this web page, the LiveData catalogue provides the search bar linked by the data search service, as well as the possibility to filter the list of available datasets by domain-specific categories (some examples of data categories are geographical data, health data, education data, and many others). Moreover, the catalogue at this level, allow users to filter the datasets according to the type of LiveData content, so that only language datasets, knowledge datasets, standardised datasets, graph datasets or a combination of these dataset types can be displayed in the dataset list. The third, and more specific, level of information provided by the LiveData catalogue, is focused on the individual dataset. The catalogue provides a web page where a single dataset is described by its own set of metadata. The metadata are visualised on this web page to provide a detailed description of the dataset, thus helping the users to understand if the dataset is what they are looking for. The metadata visualized on this page are also the parameters taken into account by the search service, provided on the previous catalogue's web page. Moreover, in the last web page, the catalogue also provides a link for the dataset download. The data download can be implemented in different ways depending on the data distribution policy defined by the data owner (for example one LiveData node can implement this by submitting a download request to the data owner, while another node may implement this by an automatic download procedure). The metadata published in the LiveData catalogue (depicted in Figure 1 by the dashed boxes inside the data catalogue component) that defines the diversity-aware data is not only descriptive. In fact, specific metadata values are defined to link the catalogue web pages describing datasets generated by the same execution of the iTelos process. To better understand such a catalogue feature, we define the iTelos transformation of a given low-quality dataset, named X, into the diversity-aware data package, composed of the four LiveData content types, where S is the standardised dataset, L is the language dataset, K is the knowledge dataset and G is the composed graph-based dataset. The metadata set published on the catalogue web page for dataset G, contains the link to the catalogue web pages describing datasets L, K and S, thus linking the graph-based dataset to the LiveData contents used to build it. Following the same approach dataset K has specific metadata linking to the web page for dataset L, which has been used to define its ETypes and properties names. Such connections between the LiveData contents, represented by dashed lines in Figure 1, implement at the catalogue level, the compositionality of the contents handled by LiveData. It is important to note how, the metadata defined for a dataset into the current LiveData node, can link to the dataset's web page published on the catalogue of another node, since the external dataset has been reused to generate a content of the current LiveData node (for example a knowledge dataset of one node can be reused to generate the graph-based dataset of other nodes). For this reason, in the Figure 1, the LiveData catalogue is linked to other LiveData nodes by a dashed line, describing the metadata links between two or more nodes.

IV. Related work

Previous work has addressed the issue of data distribution at different levels. At the transnational level, the European Data Portal[4] (EDP) is one of the most interesting examples. The EDP aims to disseminate data and link existing data catalogues and web portals across European countries. The EDP, uses the DCAT-AP[5] (Data Catalogue Vocabulary - Application Profile) as its metadata standard. DCAT-AP is a specification based on the Data catalogue Vocabulary (DCAT) for describing

[4] data.europa.en/en
[5] www.w3.org/TR/vocab-dcat

European public sector datasets. Its purpose is to facilitate interoperability and enable a more efficient data exchange and publication across the European Union. On the metadata definition side, DCAT is an RDF vocabulary designed to facilitate interoperability between web-based data catalogues. The W3C recommends this standard and is widely adopted for data description. It allows for uniformly categorizing and cataloging of datasets, making it easier for data portals to share and integrate data from various sources. The DCAT-AP standard specifically tailors DCAT for use within the context of European data portals, ensuring consistency and compatibility across the data catalogues of EU member states. It includes a set of classes and properties to be used by public sector portals to describe datasets in a standardized way. This standardization facilitates the aggregation of datasets published in national, regional, or thematic catalogues, enabling users to find and access datasets more efficiently across Europe. While the portal may not offer direct data transformation tools, users typically leverage external tools and libraries for data transformation tasks. It also distributes two types of data (knowledge and standardized datasets). However, the EDP lacks a specific methodology for generating high quality and interoperable data. We can see this lack by observing how EDP data is generated according to local standards, often defined locally by European countries. This results in high costs for data re-use and integration when dealing with data provided by the EDP.

At national level instead, several countries governments, as well as public and private organizations, developed their own solution to distribute data. For example, the open data portal of the National University of Mongolia [6] not only distributes tabular datasets but also publishes a knowledge graph using semantic data integration methods [22], [23], making the data more flexibly usable. Another example of local data distribution is the Open Data Trentino (ODT) [24] portal [7], publishing data about the Trento autonomous province of Italy. The portal is one of the first national data catalogues for the dissemination of open data and thus represents an important step towards supporting data reuse and integration. However, even these national projects do not emphasise the diversity of the data. In addition, at the infrastructure level, these projects have a centralised approach to data management and distribution, which requires more effort to scale up to include new heterogeneous data domains.

From an architectural point of view, different data network projects (some example are the work described in [25] and [26], but many others can be found) have been developed for data sharing and distribution, going beyond the European Data Portal to encompass a wide range of initiatives, platforms and technologies designed to facilitate data access, sharing and analysis across different sectors and domains. Current data networks focus more on data standardization, accessibility, and interoperability, with a centralized or federated approach to data distribution. They have also made significant strides in making data accessible and interoperable on a large scale. Nevertheless, such kind of solutions, do not relay on the same methodology for data creation, as well as they do not share data access and data distribution polices, thus resulting into a domain-specific isolated environments, where a huge cost have to be paid for the integration and reuse of data.

V. Conclusion

In this paper we presented LiveData a worldwide data mesh for the generation and distribution of diversity-aware data. The key idea behind the design of the LiveData architecture and the data it handles, is that the data heterogeneity should not be seen as a constraint that generates effort and cost, but instead should be transformed into data diversity that enhances the power of the information carried by domain-specific data. The data handled by LiveData is a new type of data, created from existing low-quality data, and shaped as a data package composed of four different datasets where the diversity of information is concretely represented, and therefore exploitable, at several different levels. LiveData is designed as a data network composed of different nodes with a specific architecture composed of different components. These components are: a data repository for storing all the data handled by each node; a framework composed of various tools implementing the iTelos methodology supporting the generation and distribution of diversity-aware data; a set of services allowing LiveData users to interact with the LiveData node; and a data catalogue for the distribution of diversity-aware data. LiveData provides a novel solution for reducing the cost of data reuse by considering a new definition of data and a new architecture for its distribution. The implementation of the first LiveData network use case is currently underway. The first two nodes have been already defined for the University of Trento (Italy) and the National University of Mongolia, which are accessible through their catalogues, called LiveData UNITN [8] and LiveData NUM [9], respectively. These first two nodes have been defined to produce and distribute diversity-aware data in the university domain. In particular, the graph-based datasets produced by the two nodes can be composed to highlight different types of interactions between the two universities, such as co-authorship of papers, collaboration on research projects, inter-faculty educational courses, and others. The aim for the future is to increase the amount of diversity-aware data available in these first two LiveData nodes, and to create new nodes to enhance the sharing of data and knowledge across the LiveData network.

Acknowledgements

The results described in this paper have been achieved also based to the research previously carried out by PhD students in the Knowdive research group of the Department of Engineering and Computer Science at the University of Trento (Italy). In particular, important contributions have been made

[6] data.num.edu.mn
[7] dati.trentino.it
[8] LiveData UNITN
[9] LiveData NUM

by the forthcoming PhD thesis of Mayukh Bagchi and Xiaoyue Li, who are studying a knowledge representation methodology for the generation of interoperable ontologies and a method for the representation of geographical and social contexts through geographical data, respectively. Furthermore, PhD student Alessio Zamboni made a strong contribution with his research on the definition of a toolkit to support the iTelos methodology, which will be described in his forthcoming PhD thesis. A special thanks go to Khuyagbaatar Batsuren from the National University of Mongolia for his research on language diversity. The work described here is part of the long term initiative *DataScientia* [10]. DataScientia's main aim and purpose is to contribute to and influence the future technological evolution of Data-Centric Human-Aware Artificial Intelligence (AI) as it applies to everybody and everything, and in particular to people and society. We also thank the results and datasets published through the API of the National University of Mongolia-funded Digital NUM pilot project (P2022-4222).

References

[1] F. Giunchiglia, K. Batsuren, G. Bella *et al.*, "Understanding and exploiting language diversity." in *IJCAI*, 2017, pp. 4009–4017.

[2] F. Giunchiglia, K. Batsuren, and A. Alhakim Freihat, "One world-seven thousand languages (best paper award, third place)," in *International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Text Processing*. Springer, 2018, pp. 220–235.

[3] A. Kiourtis, A. Mavrogiorgou, K. Mavrogiorgos, D. Kyriazis, A. Graziani, C. Symvoulidis, G. Bella, S. Bocca, and F. Torelli, "Electronic health records at people's hands across europe: The interopehrate protocols," in *pHealth 2022*. IOS Press, 2022, pp. 145–150.

[4] G. Bella, L. Elliot, S. Das, S. Pavis, E. Turra, D. Robertson, and F. Giunchiglia, "Cross-border medical research using multi-layered and distributed knowledge," in *Proceedings of Prestigious Applications of Intelligent Systems (PAIS@ECAI)*, Santiago de Compostela, Spain, 2020.

[5] B. Belletti, C. Garcia de Leaniz, J. Jones, S. Bizzi, L. Börger, G. Segura, A. Castelletti, W. Van de Bund, K. Aarestrup, J. Barry *et al.*, "More than one million barriers fragment europe's rivers," *Nature*, vol. 588, no. 7838, pp. 436–441, 2020.

[6] M. Poess, T. Rabl, H.-A. Jacobsen, and B. Caufield, "Tpc-di: the first industry benchmark for data integration," *Proceedings of the VLDB Endowment*, vol. 7, no. 13, pp. 1367–1378, 2014.

[7] A. Molinari, V. Maltese, L. Vaccari, A. Almi, E. Bassi *et al.*, "Big data and open data for a smart city," *IEEE-TN Smart cities white papers, Trento, Italy*, 2014.

[8] F. Giunchiglia, V. Maltese, and B. Dutta, "Domains and context: first steps towards managing diversity in knowledge," *Journal of Web Semantics, special issue on Reasoning with Context in the Semantic Web*, pp. 53–63, 2012.

[9] F. Giunchiglia, A. Zamboni, M. Bagchi, and S. Bocca, "Stratified data integration," in *2nd International Workshop On Knowledge Graph Construction (KGCW), Co-located with the ESWC 2021*, Hersonissos, Greece, 2021.

[10] I. A. Machado, C. Costa, and M. Y. Santos, "Data mesh: concepts and principles of a paradigm shift in data architectures," *Procedia Computer Science*, vol. 196, pp. 263–271, 2022.

[11] Z. Dehghani, *Data Mesh*. Marcombo, 2022.

[12] F. Giunchiglia, V. Maltese, A. Ganbold, and A. Zamboni, "An architecture and a methodology enabling interoperability within and across universities," in *2022 IEEE International Conference on Knowledge Graph (ICKG)*. IEEE, 2022, pp. 71–78.

[13] P. Helm, G. Bella, G. Koch, and F. Giunchiglia, "Diversity and language technology: how language modeling bias causes epistemic injustice," *Ethics and Information Technology*, vol. 26, no. 1, p. 8, 2024.

[14] S. Bocca, M. Dragoni, and F. Giunchiglia, "itelos - case studies in building domain specific knowledge graphs," in *ISIC-22 International Semantic Intelligence Conference*, 2022.

[15] F. Giunchiglia, S. Bocca, M. Fumagalli, M. Bagchi, and A. Zamboni, "Popularity driven data integration," in *Iberoamerican Knowledge Graphs and Semantic Web Conference*. Springer, 2022, pp. 277–284.

[16] F. Giunchiglia, S. Bocca, M. Fumagalli, M. Bagchi, and A. Zamboni, "itelos–purpose driven knowledge graph generation," *arXiv preprint arXiv:2105.09418*, 2021.

[17] S. Bocca, G. Bella, and F. Giunchiglia, "Interoperating vocabularies in multilingual domain data," in *2022 IEEE 24th Conference on Business Informatics (CBI)*, vol. 2. IEEE, 2022, pp. 73–79.

[18] F. Giunchiglia, G. Bella, N. C. Nair, Y. Chi, and H. Xu, "Representing interlingual meaning in lexical databases," *Artificial Intelligence Review*, vol. 56, no. 10, pp. 11 053–11 069, 2023.

[19] F. Giunchiglia and M. Bagchi, "From knowledge representation to knowledge organization and back," *arXiv preprint arXiv:2312.07302*, 2023.

[20] R. Angles and C. Gutierrez, "Survey of graph database models," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 40, no. 1, pp. 1–39, 2008.

[21] M. Kejriwal, C. A. Knoblock, and P. Szekely, *Knowledge Graphs: Fundamentals, Techniques, and Applications*. MIT Press, 2021.

[22] M. Gansukh and A. Ganbold, "Comparison quality of university ontologies by syntax and structure: Vivo and num ontology," in *Proceedings of Mongolian Information Technology*, vol. 9, 2022, pp. 24–27.

[23] N. Bold and A. Ganbold, "Using and developing ontology for university data integration," in *Proceedings of Mongolian Information Technology*, vol. 9, 2022, pp. 34–38.

[24] I. Bedini, F. Farazi, D. Leoni, J. Pane, I. Tankoyeu, and S. Leucci, "Open government data: Fostering innovation," *Journal of eDemocracy & Open Government*, vol. 6, no. 1, p. 6, 2014.

[25] A. Roehrs, C. A. Da Costa, and R. da Rosa Righi, "Omniphr: A distributed architecture model to integrate personal health records," *Journal of biomedical informatics*, vol. 71, pp. 70–81, 2017.

[26] B. Ahlgren, M. Hidell, and E. C.-H. Ngai, "Internet of things for smart cities: Interoperability and open data," *IEEE Internet Computing*, vol. 20, no. 6, pp. 52–56, 2016.

[10] https://datascientia.disi.unitn.it/

Ахмад Настнуудын Дундах Хавсарсан Өвчлөл:Априори Алгоритм

1st Отгонбаатарын Уганбаяр
Эрүүл мэндийн менежментийн тэнхим
Өмнөд Анагаах Ухааны Их Сургууль
БНХАУ
uuganaasua@gmail.com

2nd Лувсанцэрэнгийн Пүрэвдолгор
Физик, мэдээлэл зүйн тэнхим
Био-Анагаахын Сургууль, АУШҮИС
МОНГОЛ
purevdolgor@mnums.edu.mn

3rd Лувсан-Ишийн Ажнай
Физик, мэдээлэл зүйн тэнхим
Био-Анагаахын Сургууль, АУШҮИС
МОНГОЛ
ajnai@mnums.edu.mn

4th Жанлавын Мөнхцэцэг
Биохимийн тэнхим
Био-Анагаахын Сургууль, АУШҮИС
МОНГОЛ
munkhtsetseg.j@ *mnums.edu.mn*

5th Цэндийн Жавзмаа
Физик, мэдээлэл зүйн тэнхим
Био-Анагаахын Сургууль, АУШҮИС
МОНГОЛ
javzmaa.ts@mnums.edu.mn

6th Чилхаасүрэнгийн Баасандорж
Физик, мэдээлэл зүйн тэнхим
Био-Анагаахын Сургууль, АУШҮИС
МОНГОЛ
baasandorj@mnums.edu.mn

Abstract—**Хавсарсан өвчлөл нь архаг өвчлөлөөс урьдчилан сэргийлэх, хянах хэрэгцээ шаардлагыг бий болгож байна. Хавсарсан өвчлөлийн тархалт нь хөгжиж буй орнуудын ахимаг насны хүн амын дунд өндөр тархалттай байна. Гэвч Монгол улсын хэмжээнд хавсарсан өвчлөлөөс урьдчилан сэргийлэх, эмчлэхэд чиглэсэн үндэсний стратеги, төсөл хөтөлбөр хэрэгждэггүй. Иймд ахмад настны архаг өвчлөлөөс урьдчилан сэргийлэх, эмчлэхэд чиглэсэн эрүүл мэндийн бодлогын суурь лавлагаа бий болгохын тулд архаг өвчлөлийн хооронд хамаарлыг судлах нь геронтологи, гериатри төдийгүй эмнэлзүйн шинжлэх ухаанд чухал юм.**

Энэхүү судалгаанд 60 болон түүнээс дээш насны 800 ахмад настныг хамруулсан. Ахмад настны хавсарсан өвчлөлийн хэв шинжийг тодорхойлохын тулд Python програм хангамжийг ажиллуулсан. Ахмад настны дунд зонхилон тохиолдож буй архаг өвчлөлийн эерэг хамаарлын бат бөх уялдаа холбоог тогтоохыг зорив.

Хавсарсан өвчлөлийн тархалт нь 66.9% байна. Хавсарсан өвчлөлийн хамгийн өндөр тархалттай хавсрал нь артерийн даралт ихсэлт + ревматоид артрит байна. Хот болон хөдөө орон нутагт амьдардаг эсэхээс хамааран архаг өвчлөлийн хавсрал ялгаатай байна. Дэмжлэг (support) утгын дараалаар хоёр архаг өвчний холбоо хамаарлын дүрмийг шалгахад: хотод {ревматоид артрит} → {даралт ихсэлт} (support: 51%, confidence: 96%), хөдөөд {ясны сийрэгжилт} → {ревматид артрит} (support: 36%, confidence: 76%) байна.

Хоёр архаг өвчний хавсарсан өвчин 7.1%, гурван архаг өвчний хавсарсан өвчин 18.7%, дөрвөн архаг өвчний хавсарсан өвчин 23%, таван архаг өвчний хавсарсан өвчин 16.2% хувь, 6 болон түүнээс дээш архаг өвчний хавсарсан өвчин 35% байна. Хоёр архаг өвчлөлийн 11 төрлийн хавсрал хотод, 18 төрлийн хавсрал хөдөөд орон нутагт үүсэж байна.

Keywords—Асуумж судалгаа, холбоо хамаарлын дүрэм, өвчлөлийн хэв

I. Introduction

Нэг хүнд хоёр ба түүнээс дээш архаг өвчин оношлогдохыг хавсарсан өвчлөл гэнэ [1-10]. Хавсарсан өвчлөлөөр оношлогдсон ахмадуудын өвчлөлийн хүндрэл, нас барах эрсдэл мөн эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээнд зарцуулах зардал, өртөг нь нэг архаг өвчтэй хүнтэй харьцуулахад өндөр байдаг [11-17]. Хавсарсан өвчлөлийн тархалт нь амьдралын чанар болон эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээнээс шууд хамааралтай [18-21]. Өвчлөлд нөлөөлөх эрсдэлт хүчин зүйл нь нийгмийн эрүүл мэндийн бодлогоос хувь хүний амьдралын хэв маяг, гэр бүлийн оролцоо хүртэл өргөн хүрээг хамардаг [22]. НҮБ-ын төрөлжсөн агентлагийн хамтарсан багаас хийсэн үнэлгээгээр хүн амын нийт нас баралтын шалтгааны 77 хувийг халдварт бус өвчлөл, тэдгээрийн 32 хувь нь 30-70 насныхныг хамран цагаас эрт нас барж байгааг тогтоосон бөгөөд өвчлөлийн архагшсан, хожуу үед өртөг өндөртэй оношилгоо, эмчилгээ хийж, үүнд эрүүл мэндийн салбарын төсвийн 70 гаруй хувийг зарцуулж байгааг дээрх үнэлгээгээр тогтоожээ [23]. Хүн амын өвчлөлийн тэргүүлэх шалтгаанд зүрх судас, хоол боловсруулах, шээс ялгаруулах тогтолцооны өвчлөл орж байна [24]. Хүн амын нас баралтын шалтгааны 85.9 хувийг ХБӨ эзэлж, үүний дотор 3 хүний нэг нь зүрх судасны тогтолцооны өвчин, 4 хүний нэг нь хавдар, 5 хүний нэг нь гэмтэл хордлого, гадны шалтгааны улмаас нас барж байна [25]. Түүнчлэн 3 болон түүнээс олон өвчний эрсдэлтэй хүн амын эзлэх хувь 10.5 хувиар нэмэгдэж, өвчний ямар нэг эрсдэлт хүчин зүйлс огт илрээгүй хүн ам дөнгөж 1 хувьтай байна [26]. Монгол улсын хэмжээнд ахмад настнуудын амьдралын чанар, хэв маяг, эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээний хүртээмж, сэтгэлзүйн байдлыг хавсарсан өвчлөлтэй холбон судалсан судалгаа, архаг өвчлөлийн хавсран тохиолдож буй хэв шинжид хийсэн судалгаа шинжилгээ бага бөгөөд харин халдварт бус өвчлөл болон түүнд нөлөөлөх хүчин зүйлсийг судалсан томоохон судалгаанууд олон [27-29] байна. Сүүлийн жилүүдэд олон улсад архаг өвчлөл хоорондын хамаарлыг тодорхойлохдоо олон гишүүнд логистик регрессийн аргыг [30-32], архаг өвчлөлийн хоорондын хавсран тохиолдох хамаарлыг тодорхойлохдоо холбоо

Дижитал конвержинс

хамаарлын дүрэм дээр үндэслэн загварчлалыг тодорхойлж байна [33-37]. Монгол улсад хавсарсан өвчлөлд хамгийн өндөр өртөж буй ахмад настнуудын дунд архаг өвчлөлийн хавсран тохиолдох хэв шинжийг судалсан судалгаа байхгүй байгаа тул архаг өвчлөлийн хавсран тохиолдох уялдаа холбоог илрүүлэхэд оршино.

II. Материал аргачлал

A. Судалгаанд оролцогчид

Улаанбаатар хот болон хөдөө орон нутгийн 800 ахмадын дунд 2023 оны 6 дугаар сараас 9 дүгээр сарын хооронд асуумж судалгааг явуулсан. 800 ахмад настнаас эрүүл мэндийн 16 асуумжтай судалгааг явуулж мэдээллийн санг бүрдүүлсэн. Бид ихэнх бүс нутагт зонхилон тохиолддог, амьдралын чанарт чухал нөлөө үзүүлдэг 16 архаг өвчнийг (цусны даралт ихсэх, чихрийн шижин, хэрх буюу ревматоид артрит, зүрх судасны өвчин, сонсголын бэрхшээлтэй, ходоод өвчин, ясны сийрэгжилт, нүдний өвчин, амьсгалын замын өвчин, хорт хавдар, ангина, гэмтэл, цус харвалт, мэдрэлийн өвчнийг сонгосон.

B. Судалгаанд

- Жар ба түүнээс дээш настай,
- Хаяг дээрээ 5-аас доошгүй жил амьдарсан,
- Оюун санаа эрүүл, харилцаанд орох чадвартай.

Эмнэлгийн мэдлэгтэй, бэлтгэгдсэн ярилцлага авагчид бэлтгэсэн асуулгын хуудсыг ашиглан нүүр тулсан ярилцлага хийсэн. Өвчний мэдээллийг оролцогчийн өөрийн тайлагналаар болон эмнэлгийн бүртгэл, эмнэлгийн жороор авсан оношилгооны нотлох баримтаар баталгаажуулсан. Нийт 800 ахмад настнуудын дунд судалгаа явуулсан бөгөөд энэ нь нийт ахмад настнуудын 0.3 хувийг эзэлж байна. Судалгаанд хамрагдагсдын нийт асуумжийн 720-ийг үр дүнтэй хариултай гэж үзсэн бөгөөд үр дүнтэй хариултай асуумжийн хувь 90% байна.

C. Холбоо хамаарлын дүрэм

Априори алгоритм холбоо хамаарлын дүрмээр архаг өвчний хооронд хавсран тохиолдох хамаарлыг тодорхойлохоор сонгосон (Зураг 1). Холбоо хамаарлын нь аливаа хувьсагчдын хооронд холбогдох дүрмийг олж илрүүлэх, тэдгээрийн хооронд хамаарлыг тодорхойлоход ашигладаг өгөгдөл олборлох чухал арга юм. Хэрэв хоёр ба түүнээс дээш хувьсагчийн утгууд хооронд тодорхой холбогдох дүрэм байвал аль хувьсагч нь бусад хувьсагчдыг таамаглахад гол нөлөө үзүүлж буйг тооцдог [38]. Холбоо хамаарлын дүрмээр дүн шинжилгээ хийх олон үр дүнтэй алгоритмуудын дотроос Априори алгоритм нь хамгийн сайн гүйцэтгэлтэй, хамгийн өргөн хэрэглээтэй алгоритм юм. Архаг өвчлөлийн хоорондын холбогдох хэв маягийг судалж, архаг өвчний хоорондын учир шалтгааны хамаарлыг олж мэдэх боломжтой [39, 40]. Дэмжих утга (support), итгэлцлийн хувь (confidence), шүүлтүүр (lift) нь ассоциацийн дүрмийн хувьд түгээмэл хэрэглэгддэг хэмжүүр юм. Тодорхой ойлголтууд нь дараах байдалтай байна: Нийт өгөгдлийн санг “*D*” хувьсагчаар, өгөгдлийн санг бүрдүүлсэн хувьсагчийг A, B-ээр илэрхийлнэ.

$$\text{Support (A} \rightarrow \text{B)} = \frac{P(A \cap B)}{P(D)} \quad (1)$$

Дэмжих утга (support) нь өгөгдлийн сан D –ийн хувьд A болон B хамт тохиолдох магадлалыг илэрхийлдэг. Дэмжих утга (support) –ийн өндөр байх тусам A, B нь хавсарч тохиолдох магадлал өндөр, холбоо хамаарлын дүрэм төдий чинээ эгзэгтэй байдаг.

$$Confidence\ (A \rightarrow B) = P(B|A) = \frac{P(A,B)}{P(A)} \quad (2)$$

Итгэлцлийн хувь (confidence) гэдэг нь нь өгөгдлийн сан D –ийн хувьд A тохиолдох үед B хамтаар тохиолдох магадлалыг хэлнэ. Итгэлцлийн хувь (confidence)–ийн түвшин өндөр байх тусам ассоциацийн дүрэмд итгэлцлийн түвшин болон магадлалын түвшин өндөр байна.

$$Lift\ \text{(A} \rightarrow \text{B)} = \frac{P(B \cap A)}{P(B)} \quad (3)$$

Шүүлтүүр (lift) нь 1 ба түүнээс дээш байвал A ба B хоорондын эерэг хамаарал өндөр байгааг илэрхийлнэ. Эдгээр гурван утга нь зайлшгүй шаардлагатай бөгөөд аль нэг нь байхгүй үед буруу дүгнэлтэд хүргэнэ. Холбоо хамаарлын дүрмээр дэмжих утга (support), итгэлцлийн хувь (confidence), шүүлтүүрийн хамгийн бага хэмжээг судлаач тогтоож өгнө. Бид холбоо хамаарлын дүрмээр хамгийн бага дэмжих утгыг 3, Итгэлцлийн хувийг 30%, шүүлтүүрийг 1 гэж тогтоосон болно.

```
Ck – к хэмжээст хавсарсан өвчлөлийн олонлог
Lk – к хэмжээст өвчнүүдийн олонлог
L1 = өвчин
for (k = 1;   Lk != ø;   k++) do begin
     Ck+1 = Lk-аас үүсгэгдсэн хавсарсан өвчлөл
     for each t-ийг агуулсан хавсарсан өвчлөл
     Ck+1 бүрийн тоог нэмэгдүүлэх үйлдлийг өгөгдлийн сахгийн t бүрт
     хийнэ.
     Lk+1= хамгийн бага оролцоотой(support)
    хавсарсан өвчлөл Ck+1
     end
return ∪k Lk;
```

Зураг 1. Априори алгоритм

Архаг өвчлөлийн хоорондын хамаарлыг тодорхойлохдоо Python программ хангамж дээр Априори алгоритмаар бодов. Априори алгоритмд холбоо хамаарлын дүрмээр A болон B өвчнөөр зэрэг өвчлөх магадлал тус бүрийг A болон B үсгээр тэмдэглэв. A өвчнөөр өвдсөн бол B өвчнөөр өвдөх магадлалыг $L_{A \rightarrow B} > 1$ үед хамааралтай гэж үзнэ.

III. Үр дүн

A. Архаг өвчлөлийн хавсралын өнөөгийн байдал

Судалгаанд 720 ахмад оролцсоноос хөдөө орон нутгаас 348 ахмад, хотоос 372 ахмад оролцсон. Нийт ахмадын 574 (79.9%) нь архаг өвчлөлтэй, 482 (66.9%) нь хавсарсан өвчлөлтэй байв. Хавсарсан өвчлөлийн 51.9% нь хөдөө орон нутаг, 48.1% нь хотод байв. Үүнээс хоёр архаг өвчний хавсарсан өвчин 7.1%, гурван архаг өвчний хавсарсан өвчин 18.7%, дөрвөн архаг өвчний хавсарсан өвчин 23%, таван архаг өвчний хавсарсан өвчин 16.2% хувь, 6 болон түүнээс дээш архаг өвчний хавсарсан өвчин 35% байна (Зураг 1). Архаг өвчлөлийн хавсралаас хамгийн өндөр хавсарч буй эхний таван архаг өвчний хавсралыг доор харуулав.

1. Даралт ихсэлт + Ревматоид артрит 273 (56.6%)
2. Даралт ихсэлт + Хоол боловсруулах замын өвчин 203 (42.1%)
3. Даралт ихсэлт + Ясны сийрэгжилт 203 (42.1%)
4. Ревматоид артрит + Ясны сийрэгжилт 192 (39.8%)
5. Ревматоид артрит + Хоол боловсруулах замын өвчин 178 (36.9%)

B. Архаг өвчлөл хоорондын хавсран тохиолдох хамаарал

Ахмадуудаас асуумж судалгаагаар авсан 720 бичлэгтэй мэдээллийн санд Априори алгоритмаар Python программд бодуулав.

Бодолтын үр дүнг Хүснэгт 1.А болон Хүснэгт 1.Б-д үзүүлэв. Бодолтын үр дүнг Хүснэгт 1.А-ээс харвал хотын ахмадуудын үе мөчний үрэвсэлт-**А** өвчин артерийн даралт ихсэлт-**В** өвчний хавсрах магадлал confidence (A→B)>96%, үе мөчний үрэвсэлт-**А** өвчин болон артерийн даралт ихсэлт-**В** өвчлөлийн хавсрал эзлэх хувь support(A→B)>51%, энэхүү хоёр архаг өвчлөлийн хавсарсан магадлал ($L_{A\to B}$> 1) тохиолдолд сонгож авав. Энэхүү үр дүнг Хүснэгт 1.А-ийн эхний мөрнөөс харж болно. Хоёр архаг өвчлөлийн 11 төрлийн хавсрал хотод, 18 төрлийн хавсрал хөдөөд орон нутагт үүсэж байна. Даралт өөрчлөлтөөс хамаарах хавсарсан өвчлөлийн 8 хэв шинж

ХҮСНЭГТ 1.А ХАВСАРСАН ӨВЧЛӨЛ ХООРОНДЫН ХАМААРАЛ, ХОТОД

“А”-Архаг өвчин	**“В” -Архаг өвчин**	**Support (%)**	**Confidence (%)**	**Lift**
Хэрх өвчин, ревматоид артрит	Артерийн даралт ихсэлт	5.1	96	1.15
Ясны сийрэгжилт	Артерийн даралт ихсэлт	4	91	1.09
Хоол боловсруулах замын өвчин	Артерийн даралт ихсэлт	3.6	84	1.01
Нүдний өвчин	Артерийн даралт ихсэлт	4	84	1
Ясны сийрэгжилт	Хэрх өвчин, ревматоид артрит	3.1	72	1.35
Артерийн даралт ихсэлт	Хэрх өвчин, ревматоид артрит	5.1	61	1.15
Хэрх өвчин, ревматоид артрит	Ясны сийрэгжилт	3.1	59	1.35
Артерийн даралт ихсэлт	Нүдний өвчин	4	48	1
Артерийн даралт ихсэлт	Ясны сийрэгжилт	4	47	1.09
Артерийн даралт ихсэлт	Хоол боловсруулах замын өвчин	3.6	43	1.01
Артерийн даралт ихсэлт	Зүрх судасны өвчин	3.2	38	1.19
Significance lift≥1, Minimum conditional support 3, Minimum rule confidence 30%				

ХҮСНЭГТ 1.Б ХАВСАРСАН ӨВЧЛӨЛ ХООРОНДЫН ХАМААРАЛ, ХӨДӨӨ ОРОН НУТАГТ

“А”-Архаг өвчин	**“В” -Архаг өвчин**	**Support (%)**	**Confidence (%)**	**Lift**
Хоол боловсруулах замын өвчин	Хэрх өвчин, ревматоид артрит	3.6	77	1.21
Ясны сийрэгжилт	Хэрх өвчин, ревматоид артрит	3.6	76	1.19
Хоол боловсруулах замын өвчин	Артерийн даралт ихсэлт	3.5	74	1.11
Нүдний өвчин	Хэрх өвчин, ревматоид артрит	3.5	73	1.15
Ясны сийрэгжилт	Хоол боловсруулах замын өвчин	3.2	69	1.47
Хэрх өвчин, ревматоид артрит	Артерийн даралт ихсэлт	4.4	69	1.04
Хоол боловсруулах замын өвчин	Ясны сийрэгжилт	3.2	69	1.47
Ясны сийрэгжилт	Нүдний өвчин	3.2	68	1.42
Нүдний өвчин	Артерийн даралт ихсэлт	3.2	68	1.02
Ясны сийрэгжилт	Артерийн даралт ихсэлт	3.1	67	1.01
Артерийн даралт ихсэлт	Хэрх өвчин, ревматоид артрит	4.4	66	1.04
Нүдний өвчин	Ясны сийрэгжилт	3.2	66	1.42
Хэрх өвчин, ревматоид артрит	Хоол боловсруулах замын өвчин	3.6	57	1.21
Хэрх өвчин, ревматоид артрит	Ясны сийрэгжилт	3.6	56	1.19
Хэрх өвчин, ревматоид артрит	Нүдний өвчин	3.5	55	1.15
Артерийн даралт ихсэлт	Хоол боловсрох замын өвчин	3.5	52	1.11
Артерийн даралт ихсэлт	Нүдний өвчин	3.2	48	1.02
Артерийн даралт ихсэлт	Ясны сийрэгжилт	3.1	47	1.01
Significance lift≥1, Minimum conditional support 3, Minimum rule confidence 30%				

хотод тодорхойлогдсон бол ревматоид артритаас хамаарах 9 хэв шинж хөдөөд тодорхойлогдсон. Хотод артерийн даралт ихсэлт нь бусад архаг өвчлөлтэй хавсран өвчлөх нь өндөр, хөдөө орон нутагт ревматоид артрит нь бусад архаг өвчлөлтэй хавсран өвчлөх нь өндөр байв. (Хүснэгт **1.А, 1.Б**).

IV. ХЭЛЦЭМЖ

Архаг өвчлөлийн тархалт 79.9%, хавсарсан өвчлөлийн тархалт 66.9% байна. Бусад оронтой харьцуулахад Австралид 65-аас дээш насны хүмүүс (36%) байгаа нь Монгол 30.9%-иар их, Испанид насанд хүрэгчид (37%) байгаа нь Монгол 29.9%-иар их, АНУ-д (38%) байгаа нь монгол 28.9%-иар их, Нидерландад (39%) байгаа нь Монгол 27.9%-иар их байна. Энэ нь хавсарсан өвчний тархалт өндөр байгааг илтгэнэ [41, 42]. Судалгааны үр дүн бусад улсуудаас ялгаатай байгаа нь түүвэрлэлтийн арга, түүврийн хэмжээ, эрүүл мэндийн тогтолцоо, эрсдэлт хүчин зүйлсийн ялгаатай байдлаас шалтгаалж болно.

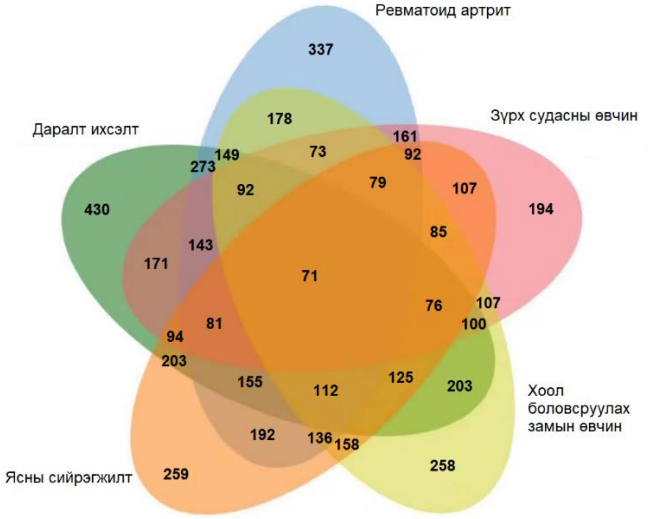
Априори алгоритм дээрх тооцооллоос харахад хавсарсан өвчлөлийн нарийн төвөгтэй хамаарлууд хот суурин газартай харьцуулахад хөдөө орон нутагт өндөр тархалттай байна. Хөдөөгийн ахмад настнуудад ясны сийрэгжилт, ревматоид артрит нь бусад архаг

Дижитал конвержинс

өвчлөлтэй хавсрах хамаарал нь хотын ахмад настнуудаас илүү өндөр байв (хотод 4, хөдөөд 8). Хөдөөгийн ахмад настнууд газар тариалангийн хүнд хөдөлмөр эрхэлдэг тул хот суурин газрынхаас илүү үе мөчний өвчнөөр өвчлөх магадлал өндөр байгаа нь үе мөчний өвчнөөс урьдчилан сэргийлэх, эмчлэх, ревматоид артритын хавсарсан өвчлөлд илүү анхаарал хандуулах шаардлагатайг харуулж байна [43-45].

V. Дүгнэлт

Нийт ахмадын 574 (79.9%) нь архаг өвчлөлтэй, 482 (66.9%) нь хавсарсан өвчлөлтэй байв. Хавсарсан өвчлөлийн 51.9% нь хөдөө орон нутаг, 48.1% нь хотод байв. Хавсарсан өвчлөлийн тархалт нь 66.9% байна. Хавсарсан өвчлөлийн хамгийн өндөр тархалттай хавсрал нь артерийн даралт ихсэлт + ревматоид артрит байна. Хот болон хөдөө орон нутагт амьдардаг эсэхээсээ хамааран архаг өвчлөлийн хавсрал ялгаатай байна. Дэмжлэг (support) утгын дарааллаар хоёр архаг өвчний холбоо хамаарлын дүрмийг шалгахад: хотод {ревматойд артрит} → {даралт ихсэлт} (support: 51%, confidence: 96%), хөдөөд {ясны сийрэгжилт} → {ревматойд артрит} (support: 36%, confidence: 76%) байна. Хоёр архаг өвчлөлийн 11 төрлийн хавсрал хотод, 18 төрлийн хавсрал хөдөөд орон нутагт үүсэж байна.



Зураг 2. Архаг өвчлөлийн хавсралаас хамгийн өндөр хавсарч буй эхний таван архаг өвчлөлийн хавсралын тархалт

References

1] Hu Y, Wang Z, He H, Pan L, Tu J, Shan G: Prevalence and patterns of multimorbidity in China during 2002–2022: A systematic review and meta-analysis. *Elsevier* 2024.

[2] Igland J, Forster R, Jenum AK, Strandberg RB, Berg TJ, Rossberg JI, Iversen MM, Buhl ES: How valid is a prescription-based multimorbidity index (Rx-risk) in predicting mortality in the Outcomes and Multimorbidity In Type 2 diabetes (OMIT) study? A nation-wide registry-based cohort study from Norway. *Bmj Open*, 14(3):e077027, 2024

[3] Lobeek M, Middeldorp ME, Van Gelder IC, Rienstra M: Multimorbidity in patients with atrial fibrillation. *Open Heart*, 11(1), 2024.

[4] Lohani S, Sharma SK, Singh SB, Uranw S, Ghimire A: Prevalence of multimorbidity and its associated risk factors among population of Mechinagar municipality of Nepal. *J Multimorb Comorb*, 14:26335565241237892, 2024.

[5] Romero Moreno G, Restocchi V, Fleuriot JD, Anand A, Mercer SW, Guthrie B: Multimorbidity analysis with low condition counts: a robust Bayesian approach for small but important subgroups. *EBioMedicine*, 102:105081, 2024.

[6] Tan MMC, Barbosa MG, Pinho P, Assefa E, Keinert AAM, Hanlon C, Barrett B, Dregan A, Su TT, Mohan D *et al*: Determinants of multimorbidity in low- and middle-income countries: A systematic review of longitudinal studies and discovery of evidence gaps. *Obes Rev*, 25(2):e13661, 2024.

[7] Tran PB, Nikolaidis GF, Abatih E, Bos P, Berete F, Gorasso V, Van der Heyden J, Kazibwe J, Tomeny EM, Van Hal G *et al*: Multimorbidity healthcare expenditure in Belgium: a 4-year analysis (COMORB study). *Health Res Policy Syst*, 22(1):35, 2024.

[8] Xiao LX, Wang ZY, Li JT, Wang HM, Hao YM, Zhou P, Huang YL, Deng QJ, Hao YC, Yang N *et al*: Association of cardiometabolic multimorbidity with all-cause and cardiovascular disease mortality among Chinese hypertensive patients. *J Geriatr Cardiol*, 21(2):211-218, 2024.

[9] Zanwar PP, Taylor R, Hill-Jarrett TG, Tsoy E, Flatt JD, Mirza Z, Hill CV, Perianayagam A: Characterizing Multimorbidity Prevalence and Adverse Outcomes in Ethnically and Culturally Diverse Sub-Populations in India: Gaps, Opportunities, and Future Directions. *Int J Environ Res Public Health*, 21(3), 2024.

[10] Zheng W, Huang X, Wang X, Suo M, Yan Y, Gong W, Ai H, Que B, Nie S: Impact of multimorbidity patterns on outcomes and treatment in patients with coronary artery disease. *Eur Heart J Open*, 4(2): 009, 2024.

[11] Ezzati M: Excess weight and multimorbidity: putting people's health experience in risk factor epidemiology. *Lancet Public Health*, 2(6):e252-e253, 2017.

[12] Islam MA, Khan MFH, Quee PJ, Snieder H, van den Heuvel ER, Bruggeman R, Alizadeh BZ, Investigators G: Familial liability to psychosis is a risk factor for multimorbidity in people with psychotic disorders and their unaffected siblings. *Eur Psychiatry*, 45:81-89, 2017

[13] Quirk SE, Stuart AL, Berk M, Pasco JA, Brennan Olsen SL, Koivumaa-Honkanen H, Honkanen R, Lukkala PS, Chanen AM, Kotowicz M *et al*: Personality disorder is an excess risk factor for physical multimorbidity among women with mental state disorders. *Psychiatry Res*, 257:546-549, 2017.

[14] Li A, Rosella LC, Kurdyak P, Wodchis WP: Depression as a Risk Factor for Physical Illness and Multimorbidity in a Cohort with No Prior Comorbidity. *Can J Psychiatry*, 66(8):726-736, 2021.

[15] Cucinotta D: Multimorbidity and polypharmacy: a risk factor for older patients. *Acta Biomed*, 93(2):e2022137, 2022.

[16] Sathya T, Nagarajan R, Selvamani Y: Multimorbidity as a Risk Factor of Elder Abuse/Mistreatment in India: A Cross-Sectional Study. *J Interpers Violence*, 37(11-12):NP9191-NP9213, 2022.

[17] Franken DL, Dias-da-Costa JS, Olinto MTA, Sturmer J, Bordin RB, Paniz VMV: Multimorbidity patterns: obesity as the main modifiable risk factor in adult women in Southern Brazil. *Arch Endocrinol Metab*, 67(5):e000642, 2023.

[18] Ryan BL, Mondor L, Wodchis WP, Glazier RH, Meredith L, Fortin M, Stewart M: Effect of a multimorbidity intervention on health care utilization and costs in Ontario: randomized controlled trial and propensity-matched analyses. *CMAJ Open*, 11(1):E45-E53, 2023.

[19] Schmitz MT, Just JM, Weckbecker K, Schmid M, Munster E: [Multimorbidity and its Importance in Future Health Care in Germany: a Secondary Data Analysis Based on 67 Million Health Insurance Policy Holders]. *Gesundheitswesen*, 85(10):871-877, 2023.

[20] Taloyan M, Alinaghizadeh H, Wettermark B, Jan Hasselstrom JH, Bertilson BC: Physical-mental multimorbidity in a large primary health care population in Stockholm County, Sweden. *Asian J Psychiatr*, 79:103354, 2023.

[21] Zhong Y, Qin G, Xi H, Cai D, Wang Y, Wang T, Gao Y: Prevalence, patterns of multimorbidity and associations with health care utilization among middle-aged and older people in China. *BMC Public Health*, 23(1):537, 2023.

[22] Liu J, Chen Z, F-K. Y: The current situation and coping strategies of chronic diseases among the elderly in China *China Foreign Med Treatment*, 33:194–198. doi: 10.16662/j.cnki.1674-0742.2014.23.001, 2014.
[23] НҮБ-ын төрөлжсөн агентлагийн хамтарсан багийн ХБӨ-ий НЭЗ-ийн нөлөөллийн үнэлгээ, 2016 .
[24] Эрүүл мэндийн хөгжлийн төв: Эрүүл мэндийн үзүүлэлтүүд 2022, 2023.
[25] Халдварт бус өвчинтэй тэмцэх үндэсний хөтөлбөр. 2017.
[26] ДЭМБ, НЭМХ: ХБӨ-ий эрсдэлт хүчин зүйлийн тархалтыг тогтоох үндэсний судалгаа 2013.
[27] Dugee O, Sugar B, Dorjsuren B, Mahal A: Economic impacts of chronic conditions in a country with high levels of population health coverage: lessons from Mongolia. *Trop Med Int Health*, 24(6):715-726, 2019.
[28] Enkh-Oyun T, Davaalkham D, Kotani K, Aoyama Y, Tsuboi S, Ae R, Davaa G, Angarmurun D, Khuderchuluun N, Nakamura Y: A cohort study of chronic diseases for Mongolian people: Outline with baseline data of the Moncohort study. *J Epidemiol Glob Health*, 6(3):187-196, 2016.
[29] Enkhtuya S, Luvsannorov O, Tsenddorj B, Steiner TJ: The prevalence and some risk factors chronic headache in Mongolia. *J Headache Pain*, 19, 2018.
[30] Micklesfield LK, Munthali R, Agongo G, Asiki G, Boua P, Choma SS, Crowther NJ, Fabian J, Gomez-Olive FX, Kabudula C *et al*: Identifying the prevalence and correlates of multimorbidity in middle-aged men and women: a cross-sectional population-based study in four African countries. *Bmj Open*, 13(3):e067788, 2023.
[31] Patel V, Ts J, Kamble N, Yadav R, K T, Pal PK, Reddy Yc J: Prevalence and Correlates of Psychiatric Comorbidity and Multimorbidity in Parkinson's Disease and Atypical Parkinsonian Syndromes. *J Geriatr Psychiatry Neurol*, 36(2):155-163, 2023.
[32] Pereira CC, Pedroso CF, Batista SRR, Guimaraes RA: Prevalence and factors associated with multimorbidity in adults in Brazil, according to sex: a population-based cross-sectional survey. *Front Public Health*, 11:1193428, 2023.
[33] Jhang KM, Wang WF, Chang HF, Chang MC, Wu HH: Characteristics Predicting a High Caregiver Burden in Patients with Vascular Cognitive Impairment: Using the Apriori Algorithm to Delineate the Caring Scenario. *Risk Manag Healthc Policy*, 14:1335-1351, 2021.
[34] Zhang C, Xiao S, Shi L, Xue Y, Zheng X, Dong F, Zhang J, Xue B, Lin H, Ouyang P: Urban–Rural Differences in Patterns and Associated Factors of Multimorbidity Among Older Adults in China: A Cross-Sectional Study Based on Apriori Algorithm and Multinomial Logistic Regression. *Front Public Health*, 2021
[35] Zheng Y, Chen P, Chen B, Wei D, Wang M: Application of Apriori Improvement Algorithm in Asthma Case Data Mining. *J Healthc Eng*, 2021:9018408, 2021.
[36] Chen M, Yin Z: Classification of Cardiotocography Based on the Apriori Algorithm and Multi-Model Ensemble Classifier. *Front Cell Dev Biol*, 10:888859, 2022.
[37] Ma H, Ding J, Liu M, Liu Y: Connections between Various Disorders: Combination Pattern Mining Using Apriori Algorithm Based on Diagnosis Information from Electronic Medical Records. *Biomed Res Int*, 2022:2199317, 2022
[38] Mandeville KL, Lagarde M, K. H: The use of discrete choice experiments to inform health workforce policy: a systematic review. . *Bmc Health Serv Res*, 14:367. doi: 10.1186/1472-6963-14-367, 2014.
[39] Ma H, Ding J, Liu M, Y. L: Connections between various disorders: combination pattern mining using Apriori algorithm based on diagnosis information from electronic medical records. . *Biomed Res Int*, 2022:2199317. doi: 10.1155/2022/2199317, 2022.
[40] Lin W-Q, Yuan L-X, Sun M-Y, Wang C, Liang E-M, Li Y-H: Prevalence and patterns of multimorbidity in chronic diseases in Guangzhou, China: a data mining study in the residents' health records system among 31,708 community-dwelling elderly people. 5. *Bmj Open*, 12:e056135. doi: 10.1136/bmjopen-2021-05613, 2022.
[41] Newman D, Tong M, Levine E, S. K: Prevalence of multiple chronic conditions by US state and territory, 2017. *PLoS One*, 15:e0123180. doi: 10.1371/journal.pone.0232346, 2020.
[42] BK, E, AM, N, AB, M, Simard EP, Boscoe FP, Henley SJ: 120: 1290–1314, doi: 10.1002/cncr.28509. Annual report to the nation on the status of cancer, 1975-–010, featuring prevalence of comorbidity and impact on survival among persons with lung, colorectal, breast, or prostate cancer, 2022.
[43] Raterman HG, Lems WF: Pharmacological Management of Osteoporosis in Rheumatoid Arthritis Patients: A Review of the Literature and Practical Guide. *Drugs Aging*, 36(12):1061-1072, 2019.
[44] Bahat G, Ilhan B, Karan MA: Comment on: "Pharmacological Management of Osteoporosis in Rheumatoid Arthritis Patients: A Review of the Literature and Practical Guide". *Drugs Aging*, 37(3):237-238, 2020.
[45] Raterman HG, Lems WF: Authors' Reply to Comment on "Pharmacological Management of Osteoporosis in Rheumatoid Arthritis Patients: A Review of the Literature and Practical Guide". *Drugs Aging*, 37(3):239-240, 2020.

Машин сургалтын алгоритм ашиглан уйланхайт бэтэг өвчний үе шатыг тодорхойлох нь

Тэгшээгийн Түвшинсайхан
Компьютерийн ухааны салбар
ШУТИС, МХТС
Улаанбаатар, Монгол
tegsheetuvshinsaikhan@gmail.com

Батжаргалын Долгорсүрэн
Мэдээллийн технологийн салбар
ШУТИС, МХТС
Улаанбаатар, Монгол
b.dolgorsuren@must.edu.mn

***Хураангуй*—Бэтэг өвчин нь удаан явцтай эмнэлзүйн шинж тэмдэг тод илэрдэггүй учраас өвчтөнгүүд цаг хугацаа алддаг бөгөөд тэднийг үнэн зөв оношлох эмчлэхэд бэрхшээлтэй байдаг. Энэ асуудлыг шийдвэрлэхэд туслах зорилготойгоор шинэ үеийн технологи хиймэл оюун, машин сургалт ашигласан систем бий болгох, хэрэглээнд нэвтрүүлэх зайлшгүй шаардлагатай гэж үзэж байна. Дэлхийн эрүүл мэндийн байгуулгаас бэтгийн үе шатуудыг ерөнхийд нь таван ангилалд хамааруулдаг бөгөөд бэтэг өвчний төрлийг зөв таних, өвчний үе шатыг тодорхойлох нь өвчтөнд хамгийн тохиромжтой эмчилгээг үзүүлэх анхны бөгөөд чухал үе шат юм. Энэхүү судалгааны ажлаар машин сургалтын хэд хэдэн арга алгоритм ашиглан уйланхайт эхинококкозын төрлийг ангилан ялгах алгоритм боловсруулах, хэрэгжүүлэх, программын үр дүнг танилцуулахыг зорилоо. Мөн цаашлаад уйланхайн ангиллын танилтын хувийг ихэсгэхийн тулд өгөгдөл болон машин сургалтын арга алгоритмуудаа хэрхэн өргөтгөх боломжийг судалсан.**

Түлхүүр үг— зураг боловсруулалт, гүн сургалт, бэтэг, өвчний ангилал

I. УДИРТГАЛ

Бэтэг өвчин нь амьтнаас хүнд халдварладаг цестодозын бүлэгт хамааран туузан хорхойгоор үүсгэгдэж элэг, уушги гэх мэт бусад эрхтэнд шимэгчлэн уйланхай үүсгэдэг зоонозын төрлийн халдварт өвчин юм. Энэ үүсгэгчийн 5 төрөл байдгаас Echinococcus granulosus ба Echinococcus multilocularis гэсэн хоёр зүйлийн шимэгч нь түгээмэл байдаг. Энэ хоёр нь хоорондоо ялгаатай бэтгийн төрөл үүсгэдэг. Үүнд cystic echinococcus (CE) буюу уйланхайт эхинококкоз, alveolar echinococcus (AE) буюу цулцангийн эхинококкозууд багтана. Эхинококкоз нь шинэ болон дахин сэргэж буй “Анзаарагддаггүй” зоонозын өвчин юм. Судалгаагаар [1] төв Азийн 270 сая хүн cystic echinococcosis (CE)-ийн эрсдэлтэй бүсэд амьдардаг.

Уйланхайт бэтэг үүсэхэд хүргэдэг шимэгчийн халдвар болох Echinococcus granulosus-д дэлхий дахинаа нийгмийн эрүүл мэндийн асуудалд ихээхэн анхаарал хандуулж байна. Энэ хор хөнөөлтэй өвчин нь янз бүрийн хөхтөн амьтдад нөлөөлж болох ба мөн нохой болон бусад махчин амьтдын ялгадсаар бохирдсон хоол хүнс, усыг хүн хэрэглэх залгих замаар голчлон халдварладаг. Нэг эст шимэгчээр үүсгэгдсэн гидатид уйланхай нь ихэвчлэн удаан хугацааны туршид илрэх шинж тэмдэггүй байдаг бөгөөд хүний бие дотор чимээгүйхэн ургадаг. Гэвч эдгээр уйланхай нь томрох тусам эргэн тойрны эд эс, эрхтний тогтолцоондоо дарамт учруулж өвчтөний амьдралын чанарт ихээхэн нөлөөлдөг. Бүр илүү аймшигтай нь эдгээр уйланхай нь хагарвал эрүүл мэндийн ноцтой хүндрэлүүд гарч, амь насанд эрсдэл учирч болзошгүй.

Гидатидын уйланхайг оношлох үйл явц нь ихэвчлэн рентген туяа, компьютерийн томограф, хэт авиан гэх мэт эмнэлгийн дүрс боловсруулалтын аргуудыг ашигладаг. Харин ангиллын хувьд манай Монгол улсад эмч нар нүдээр харж, гар аргаар ангилдаг. Эдгээр уйланхайг үнэн зөв хурдан шуурхай ангилах нь өвчтөндөө тохирох эмчилгээг цаг тухайд нь баталгаажуулж хүндрэлийн эрсдэлийг бууруулахад чухал ач холбогдолтой юм. Энэхүү судалгаагаар хэт авиан зургийг ашиглан уйланхайт эхинококкозыг идэвхтэй, идэвхгүй, шилжилтийн (active, inactive, transition) гэсэн гурван ангилалд оруулахдаа машин сургалтын арга алгоритмуудыг ашиглахыг зорилоо. Өмнөх судалгааны ажлаараа [16] бид C# хэл дээр ML.NET технологи ашигласан бол энэ удаа пайтон хэл дээр машин сургалтын олон загваруудыг ашиглан өвчний үе шатыг тогтоох ажлыг автоматжуулсан нь гар аргаар ангилахаас өндөр нарийвчлалыг харуулж байна. Цаашлаад бид илүү нарийвчлалтай болохын тулд гүн сургалтын Convolution Neural Network (CNN) [2] архитектурын Inception-V3 [4] MobileNet-v2 [5] VGG-16 [6] VGG-19 [7] мөн сүүлийн үеийн ViT [12] загваруудыг пайтон хэл дээр хэрэгжүүлж уйланхайг илрүүлэх, ангилах, сегментэд хуваах ажлуудыг хийхийг зорилоо. Өөрөөр хэлбэл, эмнэлзүйн зургийг янз бүрийн CNN-ийн гүнзгий суралцах загварууд ашиглан ангилсан бөгөөд эдгээр загварууд нь өөр өөр нейрон сүлжээний параметрүүдтэй учир аргуудыг харьцуулах, туршилтын үр дүнгүүдийг нэгтгэх, дүгнэх, тайлбарлах зэрэг ажлуудыг хийлээ.

II. СУДЛАГДСАН БАЙДАЛ

Бид бүхэн хэд хэдэн судалгааны ажил уншсан бөгөөд тэдгээрээс бидний хэрэгжүүлсэн зарим аргыг ашигласан байсан нь сонирхолтой санагдлаа. Тэгвэл зарим нэг хийсэн ажилын тоймыг доор харуулав.

1. Эхний судалгааны ажил [13] нь CT зургийг ангилахад CNN болон KNN аргуудыг ашигласан бөгөөдажлын үр дүнг харахад манай гарсан үр дүнгээс бага хувьтай харагдаж байгаа юм.
2. Мөн Sulyok нарын ажил судлаачдын [14] нь CNN гүн сургалтыг ашигласан ба мөн бид бүхний хэрэгжүүлсэн VGG-19, ResNet-18 тус тус ашигласан байна. Гэхдээ энэхүү ажлын үр

дүн манай ажлын үр дүнгээс мөн бага байгаа юм. Ялгаа нь энэхүү ажил нь ResNet-18 ашигласан бол манай ажил нь ResNet-50 ашигласан юм.

3. Automatic Classification of Hepatic Cystic Echinococcosis Using Ultrasound Images and Deep Learning [15] ажил нь мөн Inception, ResNet-18, VGG-19 тус тус ашигласан байгаа юм. Үүний үр дүнг харахад манай загваруудаас муу байгаа юм.

III. Онолын хэсэг

A. Уйланхайт бэтгийн ангилал

CE-ийн анхдагч оношийг ийлдэс судлалын шинжилгээ (serology)-гээр, эсвэл хэт авиан шинжилгээ ашиглан илрүүлэх боломжтой байдаг. Хэт авиан шинжилгээгээр (ЭХО) жижиг хэмжээст уйланхайн илрэхгүй байж болно. Харин дараагийн үе шат буюу нарийвчлан бэтгийн үе шатыг нь илрүүлэхдээ дүрс оношилгооны зургийг мэргэжлийн эмч нар уншиж Gharbi болон Дэлхийн эрүүл мэндийн байгуулгаас (ДЭМБ) гаргасан ангиллын дагуу тодорхойлно. Анх 1981 онд эрдэмтэн Gharbi [8] хэт авиан шинжилгээн дээр үндэслэн элэгний уйланхайг ангилах шалгуурыг боловсруулсан (Хүснэгт 1-ээс харна уу.) ба 2001 онд ДЭМБ үүнийг илүү сайжруулж Хүснэгт 2-т үзүүлсэнчлэн WHO-IWGE [9] стандарчлагдсан ангиллыг үүсгэсэн. ДЭМБ гарал үүсэл нь тодорхойгүй уйланхайг хэв шинжээр нь үндсэн 3 хэлбэрийн уйланхай болгоод тэдгээрийг мөн үе шатаар таван дэд төрөлд оруулсан.

Хүснэгт 1. Гидатидын уйланхайн Gharbi ангилал

Type	Characteristics
I	Unilocular cyst, wall and internal echogonicities
II	Cyst with detached membrane (water-lily sign)
III	Multivesicular, multiseptated cyst, daughter cyst (honeycomb pattern)
IV	Hererogeneous cyst, no daughter vesicules
V	Cyst with partially or completely calcified wall

Уйланхай бэтэг нь “active, inactive, transition” гэсэн гурван төрлийн ангилал байна. CE1 ба CE2-р хэлбэрийн уйланхайг “идэвхтэй” хэлбэрийн уйланхай гэж үздэг бол CE3 хэлбэрийн уйланхайг “шилжилтийн” гэж үздэг. Харин CE4-CE5-р хэлбэрийн уйланхайг “идэвхгүй” хэлбэрийн уйланхай гэж тус тус ангилдаг.

Шилжилтийн гэж тооцогдож байсан 3-р хэлбэрийн уйланхайг цаашид хоёр дэд бүлэгт хуваадаг болсон. CE3a (тусгаарлагдсан эндокистууд) харин CE3b (цэвэр цэврүү агуулсан) гэж ангилах болсон. Харин зарим судалгаагаар [10] CE3a цист (уйланхай) идэвхгүй бол CE3b цист идэвхтэй байна гэж гаргажээ. Мөн хэт авиан шинжилгээг өвчний уйланхай үйл явцыг хянах зорилгоор ашиглаж болно.

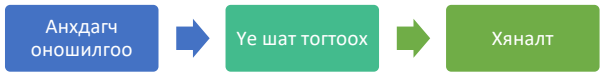
Хүснэгт 2. Дэлхийн эрүүл мэндийн байгуулгын гидатик уйланхайн ангилал

WHO stage	Characteristics	Activity
CE1	Unilocular, anechoic cyst with double line sign	Active
CE2	Multiseptated “rosette-like” “honeycomb patern” cyst	Active
CE3a	Cyst with detached membrane (water-lily sign)	Transitional
CE3b	Daughter cysts in solid matrix	Transitional
CE4	Hererogeneous cyst, no daughter vesicules	Inactive
CE5	Solid matrix with calcified wall	Inactive

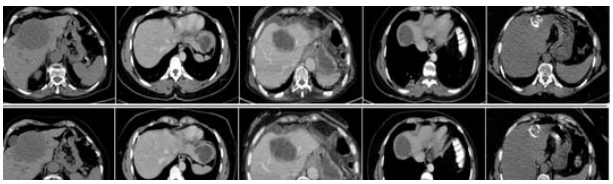
Эмчилгээ хийсэн өвчтөнүүдийн хувьд 3-6 сар тутамд хяналтын үзлэгээ хийлгэж дараа нь жил бүр давтан үзлэг хийлгэх хэрэгтэй байдаг. Тэгвэл бид энэхүү хоёр ангиллын аргаас сүүлд гаргасан буюу ДЭМБ-аас гаргасан ангиллын дагуу уйланхайт бэтгийг хэт авиан зурган мэдээллээс ангилөхыг зорьсон юм.

B. Зургаас ангилах арга

Зарим нэг тохиолдолд хэт авиан шинжилгээгээр тодорхой тогтсон онош тавих боломжгүй байдаг тул соронзон резонансын дүрслэл (MRI) болон компьютерийн томографи (CT) шаардлагатай байж болно. Үүнд таргалалттай өвчтөнүүд, диафрагмын доорх уйланхай эсвэл уйланхайн хоёрдогч халдвартай өвчтөнүүд, цөсний фистул зэрэг хүндрэлтэй тохиолдлууд болон хэвлийн хөндийн гадуур тархсан тохиолдлууд гэх мэт нийтлэг өвчнөөр өвчилсөн өвчтөнүүд орно. Дүрс оношилгооны CT ба MRI нь мэс заслын өмнөх болон дараагийн үзлэгт онцгой ач холбогдолтой юм. Оношилгоо, хяналтын шинжилгээнд MRI ашиглах нь CT-гээс илүү үр дүн сайн.



Энэ хоёр арга нь хоёулаа биеийн эмгэгийг дүрслэн харуулдаг боловч MRI нь зөөлөн эдүүдийн төлөв байдлын талаар, CT нь яс болон бусад хатуу эдүүдийн эрүүл мэндийг үнэлэхэд илүү их ашиглагддаг. Компьютерийн томографид рентген туяа нь зөөлөн эдийг нэвтэрч, нягт бүтцэд ойдог. Тиймээс өндөр мэдээлэл сайтай, нарийвчлал сайтай 3D хэмжээст зургийг бүтээдэг. Гэхдээ уг зургуудыг мэргэжлийн эмч нар л тайлж тайлбарлаж бэтгийг үе



Зураг 1. Дүрс оношлогооны зураг

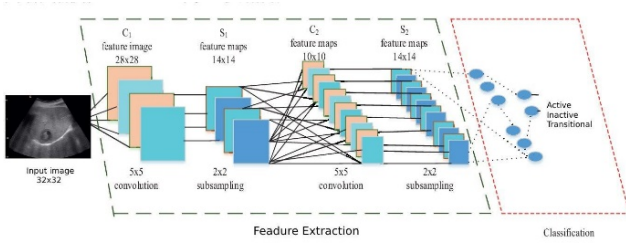
шат явц хэр байгааг хэлж өгдөг. Гэтэл уг өвчин маань ховор тохиолдох үл анзаарагдам өвчин тул нарийн мэргэшсэн эмч цөөн байдаг. Тэгэхээр дараагийн

Дижитал конвержинс

бүлэгт яригдах шинэ технологиудыг ашиглан MRI болон CT зургаас өндөр нарийвчлалтай бэтгийн уйланхай үе шат тогтоох, өвчний хяналтыг хийх чадамжтай оюун ухаант систем бий болгох хэрэгтэй байна.

C. Машин сургалтын аргачлал

Машин сургалтын CNN аргачлал нь харааны бор гадаргаас санаа авсан хиймэл мэдрэлийн сүлжээ (эсвэл олон давхаргат мэдрэгч)-ийн нэг төрөл юм. CNN бол гүнзгий суралцах чухал ойлголтуудын нэг юм. CNN нь ерөнхийдөө зураг таних программуудад ашиглагддаг бөгөөд энэ нь эвдрэл, нэгтгэх гэж нэрлэгддэг хоёр үндсэн процессыг агуулдаг. Ангиллын өндөр нарийвчлалтай болох хүртэл эргэлт, нэгтгэх давхаргыг байрлуулна. Нэмж дурдахад зарим онцлог шинж чанаруудын газрын зургийг эвдрэлийн давхарга бүрээс олж болох бөгөөд нэг газрын зураг дээрх эвдрэлийн зангилааны жинг хуваалцдаг. Эдгээр зохицуулалт нь хянах боломжтой параметрүүдийн тоог хадгалахын зэрэгцээ сүлжээний янз бүрийн шинж чанарыг судлах боломжийг олгодог. CNN нь уламжлалт аргуудтай харьцуулахад цөөн тооны тусгай даалгавартай бөгөөд онцлог шинжүүдийг бүрэн гаргаж сурдаг. CNN процессын схемийг Зураг 2-т үзүүлэв.



Зураг 2. CNN архитектурын схем

Ингээд энэхүү судалгааны ажилд ашигласан CNN аргачлалын зураг ангилахад зориулагдсан Resnet50, Inception, MobileNet, VGG16, VGG19 загваруудын талаар дурдъя.

ResNet-50

ResNet архитектур нь CNN-ийн хамгийн алдартай архитектуруудын нэг бөгөөд илүү өргөн хүрээтэй ResNet-50 нь уг архитектурын томоохон шинэчлэлийг төлөөлдөг. ResNet-ийн гол шинэлэг зүйл бол алгасах холболт эсвэл үлдэгдэл холболтыг ашиглан нэг буюу хэд хэдэн давхаргыг тойрч гарах чадвар юм. Хүссэн үндсэн зураглалыг сурахын оронд ResNet загварууд үлдэгдэл зураглалд суралцдаг бөгөөд энэ нь хүссэн гаралт болон одоогийн гаралтын хоорондох ялгааг ойлгож, сүлжээний оновчлолыг илүү удирдах боломжтой болгодог. Эдгээр үлдэгдэл блокууд нь мэдээллийг олон давхаргаар дамжуулж, дараагийн давхаргууд руу шууд холбох боломжийг олгодог. ResNet-ийн бүтэц нь дараалсан сүлжээний топологиос сайжруулсан микроархитектурын модулиудад суурилдаг. Жишээлбэл, дараагийн давхаргыг үлдэгдэл утгаараа тэжээх блокуудыг нэмсэн. Ердийн CNN-д шугаман бус $G(x)$ функцийг оролтоос гаралт хүртэл дараалан урагшлах загварыг төлөөлөхөд ашигладаг. ResNet-д “x” нь оролтын утга бөгөөд оролтоос гаралт хүртэлх хөндлөн огтлолыг хийж $F(x)$ функцэд арифметик байдлаар нэгтгэгдэнэ. Энэ сүлжээний цаад санаа нь давхаргууд нь үндсэн зураглалд суралцахын оронд үлдэгдэл зураглалд тохирох боломжийг олгох явдал юм. $F(x) + x$ дараа нь ReLU-ээр дамжуулагдана. Хоёрдох давхаргыг дуусгасны дараа оролтыг хавсаргасан бөгөөд өмнөх түвшний утгыг дараагийн давхаргад илүү хүчтэйгээр дамжуулах зорилготой. ResNet50[(Кумар нар, 2022)] нь олон тооны жинтэй давхарга бүхий өвөрмөц ResNet загвар бөгөөд ихэвчлэн зураг таних, ангилах ажилд ашиглагддаг бөгөөд ImageNet зэрэг өргөн хүрээний мэдээллийн багц дээр урьдчилан бэлтгэгдсэн байдаг. Энэхүү урьдчилсан сургалт нь компьютерын харааны тодорхой аажлуудад зориулж нарийн тохируулсан сургалтыг шилжүүлэх боломжийг олгодог. Үүний үр дүнд ResNet-50 нь компьютерийн харааны янз бүрийн программуудад тохиромжтой сонголт болж гарч ирсэн бөгөөд TensorFlow, PyTorch болон бусад гүнзгий сургалтын системүүдтэй нийцдэг.

Inception-V3

Inception-v3 нь дүрсийг ангилах, таних ажилд зориулагдсан хүчирхэг конволюцийн мэдрэлийн сүлжээ (CNN) архитектур юм. Энэ нь компьютерийн харааны өргөн хүрээний сорилтуудад хамгийн сүүлийн үеийн гүйцэтгэлд хүрэхийн тулд гол шинэчлэлтүүдийг багтаасан өмнөх Inception загваруудын амжилт дээр суурилдаг. Inception v3 нь ImageNet өгөгдлийн багц дээр 78.1% -иас илүү нарийвчлалтай болох нь батлагдсан зураг таних загвар юм.

$$A_X = \begin{bmatrix} A_{1,1} & \dots & A_{1N} \\ A_{21} & \dots & A_{2N} \\ A_{M1} & \dots & A_{MN} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} B_{1,1} & \dots & B_{1N} \\ B_{21} & \dots & B_{2N} \\ B_{M1} & \dots & B_{MN} \end{bmatrix} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} A_{(M-1),(N-j)} B_{(i+1),(j+1)} \quad 1$$

Inception-v3 нь тэгшитгэлд үзүүлсэн шиг 48 давхаргат гүн гүнзгий урьдчилан бэлтгэгдсэн эвдрэлийн мэдрэлийн сүлжээний загвар бөгөөд энэ нь эмнэлзүйн зураг дээрх нарийн төвөгтэй хэв маяг, онцлог шинж чанаруудыг сурч, таних чадвартай. Inception V3-ийн гол онцлогуудын нэг нь том өгөгдлийн багц болгон масштаблах, янз бүрийн хэмжээ, нягтралтай зургийг боловсруулах чадвар юм. Inception v3 нь одоо байгаа бусад загваруудтай харьцуулахад оролтын зургийг боловсруулах хамгийн зөв бөгөөд үр дүнтэй загвар юм. Энэ нь байнга сайжирч байгаа бөгөөд тодорхой загвар, онцлог, дүрсийг илүү үр дүнтэй таних чадвартай. Энэхүү загвар нь нэг фреймээс харж болох объектуудыг мөн динамик объектуудыг тодорхойлох чадвартай. Энэ нь нүүр царай таних, бүтээгдэхүүн санал болгох, ангилахаас эхлээд бодит цагийн объект илрүүлэх зэрэг олон төрлийн зураг боловсруулах ажилд тохиромжтой.

MobileNet
Зургийн ангилалд MobileNetV2 ашиглах нь хэд хэдэн давуу талтай. Нэгдүгээрт, түүний хөнгөн бүтэц нь хязгаарлагдмал тооцооллын нөөцтэй хөдөлгөөнт болон суулгагдсан төхөөрөмж дээр үр ашигтай байршуулах боломжийг олгодог. Хоёрдугаарт, MobileNetV2 нь илүү том, тооцоолоход илүү үнэтэй загваруудтай харьцуулахад өрсөлдөхүйц нарийвчлалд хүрдэг. Эцэст нь, загварын жижиг хэмжээс нь илүү хурдан дүгнэлт гаргах боломжийг олгодог бөгөөд энэ нь бодит цагийн хэрэглээнд тохиромжтой. Түүний үр ашигтай архитектур нь өндөр нарийвчлалыг хадгалах чадвартай хослуулсан нь нөөц хязгаарлагдмал төхөөрөмжүүдэд тохиромжтой сонголт болгодог. MobileNetV2-ийн үндсэн шинж чанарууд, архитектур, сургалтын үйл явц, гүйцэтгэлийн үнэлгээ, хэрэгжилтийг ойлгосноор хөгжүүлэгчид болон судлаачид бодит дүр төрхийг ангилах асуудлыг үр дүнтэй шийдвэрлэхийн тулд түүний чадавхыг ашиглаж чадна.

VGG-16
Гүн мэдрэлийн сүлжээний 16 давхаргыг VGG (VGGNet) гэж нэрлэсэн 16 тоогоор илэрхийлдэг. Энэ нь VGG16 сүлжээ нь нэлээд том бөгөөд нийт 138 сая гаруй параметртэй болохыг харуулж байна. Өнөөдрийн өндөр стандартаар ч гэсэн энэ нь асар том сүлжээ юм. Гэсэн хэдий ч VGGNet16 архитектурын энгийн байдлаас шалтгаалан сүлжээ нь илүү сонирхолтой байдаг. Зөвхөн түүний архитектур нь хэр жигд болохыг тодорхойлоход ашиглаж болно. VGG-16 нь нийт 21 давхаргатай; 13 эргэлтийн давхарга, таван нэгтгэх давхарга, гурван нягт давхарга. Тэдний дунд зөвхөн 16 жинтэй давхарга байсан. Эхний эргэлтийн давхаргад 64 шүүлтүүр, хоёрдугаар давхаргад 128 шүүлтүүр, гуравдугаар давхаргад 256 шүүлтүүр, дөрөв, тавдугаар түвшин тус бүрд 512 шүүлтүүр байна.

VGG-19
Энэ нь олон давхарга бүхий ердийн гүн гүнзгий Convolutional Neural Network (CNN) загвар бөгөөд 19 давхаргаас (16 эргэлтийн давхарга, гурван бүрэн холбогдсон давхарга, таван MaxPool давхарга, нэг SoftMax давхарга) бүрдэх VGG загварын хувилбар юм. VGG-11, VGG-16 гэх мэт VGG-ийн бусад хувилбарууд нэлээдгүй ялгаатай. VGG-19-д хоёр давхаргын бүлгийн эхний ба хоёр дахь эргэлтийн давхаргын араас max-pooling давхаргууд, дараагийн найман давхаргууд нь дөрвөн давхаргын бүлэг бөгөөд дараа нь ижил шүүлтүүрийн хэмжээтэй max-pooling, өөрөөр хэлбэл , 3 × 3; VGG архитектурыг ашиглан объектыг илүү сайн таних шинэлэг загваруудыг бүтээдэг. Гүн мэдрэлийн сүлжээ хэлбэрээр бүтээгдсэн VGGNet нь ImageNet-ээс гадуурх олон төрлийн даалгавар, өгөгдлийн багцын жишиг үзүүлэлтээс давж гардаг. Энэ нь өнөө үед хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг дүрс таних архитектуруудын нэг хэвээр байна.

VIT-pytorch
Компьютерийн харааны салбарт олон жилийн турш Convolutional Neural Networks (CNNs) архитектур давамгайлж ирсэн. Шүүлтүүрийг ашигласнаар эдгээр сүлжээнүүд нь хамгийн хамааралтай хэсгүүдийг тодруулсан онцлог зураг үүсгэх замаар оролтын зургийн хялбаршуулсан хувилбаруудыг бий болгох боломжтой. Дараа нь эдгээр шинж чанаруудыг олон давхаргат перцептрон ашиглан хүссэн ангиллыг гүйцэтгэдэг. Гэвч саяхан энэ талбарт Vision Transformers (ViT)-ийн архитектур гайхалтай хувьсал хийсэн бөгөөд энэ нь өөртөө анхаарал хандуулах механизмаар дамжуулан олон даалгаварт маш сайн үр дүнд хүрч чадсан юм. Vision Transformer Architecture нь хэд хэдэн трансформаторын блокуудаас бүрдэнэ. Трансформаторын блок бүр хоёр дэд давхаргаас бүрдэнэ. Трансформаторууд нь олон төрлийн хэрэглээний талбарууд болон даалгавруудад маш их сэтгэл хөдлөлийг төрүүлдэг. Тэд CNN-ийн гүйцэтгэлийг даван туулж эхэлсэн. Тэдний ерөнхий зориулалтын архитектурын ачаар тэд өөр өөр даалгаварт өөр өөр шийдлүүдийг урлахаас илүүтэйгээр бүх алсын хараатай ажлуудыг нэг дор шийдвэрлэх боломжийг санал болгодог. Өмнөх арга барилууд нь пикселээс пиксел, пикселээс объект эсвэл объектоос объект гэсэн өөр өөр төрлийн харилцаг зохицуулах ёстой байсан бол трансформаторууд эдгээр бүх харилцан хамаарлыг ижил аргаар зохицуулж чаддаг. Өөр нэг чухал зүйл бол энэхүү нэгдмэл байдал нь олон модулийн оролтууд нь трансформаторуудад маш сайн тохирдог гэсэн үг бөгөөд ингэснээр зураг болон текстийн оролтыг ижил загвараар зохицуулах боломжтой болно.

ViTs болон CNN ялгаа.
CNN нь пикселийн массивыг ашигладаг бол ViT нь оролтын зургийг харааны токен болгон хуваадаг. Харааны трансформатор нь дүрсийг тогтмол хэмжээтэй нөхөөсүүдэд хуваах, тус бүрийг зөв оруулж, трансформаторын кодлогчийн оролт болгон байрлалын суулгацыг оруулдаг. Үүнээс гадна ViT загварууд нь тооцооллын үр ашиг, нарийвчлалын хувьд CNN-ээс бараг дөрөв дахин илүү байдаг. CNN нь конвюцийн цөмөөр хийгдсэн индуктив орон зайн хэвийсэн шинж чанартай байдаг бол Vision transformers нь илүү ерөнхий архитектур дээр суурилдаг. Гол ялгаа нь тэдний архитектурын дизайн, харааны мэдээллийг боловсруулах аргад оршдог. CNN нь онцлогуудыг шаталсан байдлаар гаргаж авахын тулд эргэлтийн давхаргыг ашигладаг бол Vision Transformers нь зургийн засвар хоорондын харилцаг шууд олж авахын тулд механизмыг ашигладаг. Энэ нь Vision Transformers-д CNN-ээс илүү үр дүнтэй зураг доторх урт хугацааны харилцан үйлчлэлийг загварчлах боломжийг олгодог. Үүнийг бид туршилтын үр дүнгээс илүү нарийн харж болно.

IV. Судалгааны хэсэг

Эмнэлгийн зургийн шинжилгээнд гарсан асуудлууд

Өгөгдөл хангалтгүй: Сургалтад ашиглах боломжтой эмнэлзүйн зураг хангалтгүй цаашлаад өвчтөний хувийн нууцлал, мэдээлэл цуглуулах өндөр өртөг зэргээс шалтгаалж бодит эмнэлзүйн зургийг олж авах нь шийдвэрлэхэд төвөгтэй асуудал байсан.

Өндөр эрсдэл: Бид энд хүмүүсийн амьдрал, эрүүл мэндийн холбогдолтой шийдвэр гаргаж байгааг анзаарахгүй өнгөрч болохгүй. Шинжилгээний нэг алдаа нь ноцтой үр дагаварт хүргэж болзошгүй юм. Эдгээр бэрхшээлийг даван туулахын тулд сургалтын мэдээллийн тоог нэмэгдүүлэх нь нийтлэг шийдэл юм. Энэ нь жижиг өгөгдлийн багцыг ямар нэгэн шалтгаанаар тэнцвэржүүлэх эсвэл баяжуулах боломжийг олгодог.

Data Augmentation нь одоо байгаа эмнэлгийн зурган өгөгдлүүдийг авч, тэдгээрийг эргүүлэх, томруулах гэх мэт янз бүрийн өөрчлөлтүүдийг ашигладаг. Зорилго нь хязгаарлагдмал өгөгдлийн багцаас олон янзын боловч холбоотой олон тооны зургийг бүтээх явдал юм. Эмнэлгийн зургийн шинжилгээ нь зөвхөн хэв маягийг илрүүлэх биш юм. Энэ нь хүний амь насыг аврах, өвчтөнд үзүүлэх тусламж үйлчилгээг сайжруулах юм. Мэдээллийг нэмэгдүүлэх нь эмнэлгийн зургийн шинжилгээг сайжруулахад чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Зургийн олон хувилбарыг ашигласнаар манай загварууд нь илүү сайн суралцаж, эмч нарт өвчтөний өвчний үе шатыг зөв тодорхойлоход нь туслах юм. Гүйцэтгэлийн үнэлгээний хэмжүүрүүд нь дараах байдалтай байна.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad 2$$

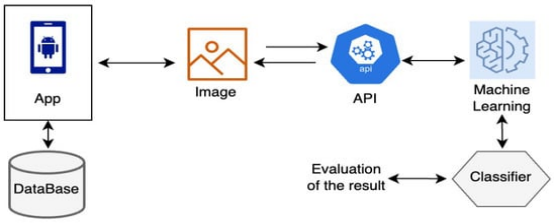
$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad 3$$

$$F1 - Score = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad 4$$

$$Avg_{Accuracy} = \frac{\sum^{n} \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}}{n} \quad 6$$

V. Туршилтын хэсэг

Эхинококкоз буюу бэтгийн уйланхайн зургийг ашиглан шинжлэхэдээ MRI, CT болон хэт авиан зургийг дүрс боловсруулалтын төхөөрөмжөөс гаргаж авсан эмнэлгийн зурган өгөгдөл дээрх уг уйланхайтай холбоотой онцлог хэв шинж дээр тулгуурлан автоматаар илрүүлж үе шатыг ангилахын тулд машин сургалтын дээр дурдсан загваруудыг туршсан. Зурган өгөгдлүүдээ туршилтын болон тестэд ашиглахаар бэлтгэн хадгалсан. Загвар тус бүрт сургалтын болон тестийн ажиллагааны кодуудыг пайтон хэл дээр бичиж туршсан. Ингэхдээ бид машин сургалтын загвар, туршилтаа Local CPU envorment Intel(R) Core(TM) i5-1035G1 CPU @ 1.00GHz үзүүлэлт бүхий компьютер дээр хэрэгжүүлсэн. Үүсгэсэн системийн ажиллах зарчмыг Зураг 3-д харуулав.



Зураг 3. Системийн ажиллах зарчим

A. Туршилтын өгөгдөл

ДЭМБ ангиллын дагуу үүсгэсэн 2518 CT зураг байгаагаас CE1-CE2 буюу идэвхтэй үеийн 830 зураг, CE3 буюу 472 зураг, CE4-CE5 буюу 1216 зураг бүхий томоохон мэдээллийн багцыг Kaggle [11] системээс болон интернэтээс цуглуулсан. Мөн гар аргаар цуглуулсан 161 Ultrosound зургийг Data augmentation хийн 319 зураг болгон өргөжүүлэв.

Эдгээр зургийг бид сургалтдаа ашигласан бөгөөд тестийн үе шатанд манай улсад тохиолдсон бэтэгтэй өвчтөнүүдийн 50 зургийг ашигласан.

Хүснэгт 3. Сургалтын багцын хэмжээ

	Active	Transitional	Inactive
CT	830	472	1216
Ultrasound	55	45	61

Сургалтын багцын хэмжээг нэмэгдүүлсэн байдлыг Хүснэгт 4-т харуулав.

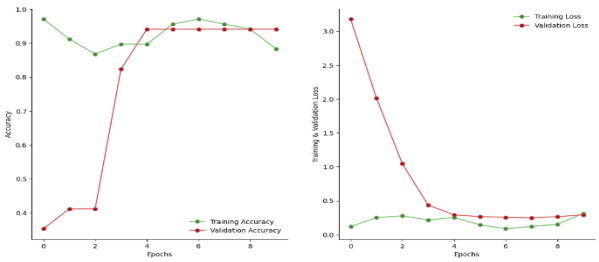
Хүснэгт 4. Нэмэгдүүлсэн сургалтын багцын хэмжээ

Ultrasound	Active	Transitional	Inactive
Test	24	18	12
Train	127	119	73

B. Туршилтын үр дүн

Уг судалгааны ажлаар Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллагын гидатид уйланхай ангилахыг хэрэгжүүлсэн болно. Мөн MRI болон Ultrosound зургаар тус тус ангилал хийх боломжтой ухаалаг системийг хэрэгжүүллээ. Бидний хэрэгжүүлсэн систем нь ихэнх зургуудыг зөв ангилсан. Гэсэн хэдий ч үр дүнд нь буруу ангилсан зургууд байсаар байна. Сонирхолтой нь (Ultasound, MRI) нь адилхан эмнэлзүйн зураг мөртлөө ижил загварын модел дээр сургасан боловч энэ хоёрын танилтын хувь нь өөр байна. Энэ хоёрын үр дүнг харвал Ultrasound зургийн танилтын хувь өндөр байсан бол харин эсрэгээрээ MRI зургийн өгөгдөл дээр сургасан загварын танилтын хувь бага байна. Бидний үзэж байгаагаар MRI зургийн ангиллын танилтын хувь бага байгаа шалтгаан бол өгөгдлийн багц нь бодит биш тул ерөнхий шинж байдал тодорхой хэмжээгээр нөлөөлсөн бөгөөд энэ нь субьектив байж болно. Жишээлбэл, Resnet+Inception загварын үр дүнг Зураг 4-т харуулсан ба Training нарийвчлал нь Validation нарийвчлалаас хамаагүй өндөр байгааг харж болно. Энэ загвар нь бидний өгөгдөлд нийцэж байгаа байгааг харуулж байна.

Зураг 4. Epochs vs. Training and Validation Accuracy/Loss

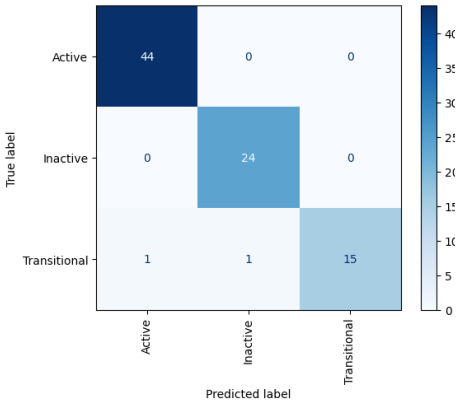


Хүснэгт 5. Туршилтын үр дүн, Inception model

	precision	recall	F1-score	support
	0.98	1.00	0.99	44
1	0.96	1.00	0.98	24
2	1.00	0.88	0.94	17
Accuracy	-	-	0.98	85
Macro avg	0.98	0.96	0.97	85
Weighted avg	0.98	0.98	0.98	85

Бүх өгөгдлийн зураг матрицын диагональ дээр байрлах нь хамгийн тохиромжтой хувилбар бөгөөд энэ нь загвар нь бүх өгөгдлийн зургуудыг төгс ангилсан гэсэн үг юм. Үүнийг Зураг 5-с харж болно.

Зураг 5. CONFUSION MATRIX, INCEPTION MODEL



Active: Загвар нь 44 active зургаас 44-ийг зөв ангилсан.
Inactive: Загвар нь 24 inactive зургаас 24-ийг зөв ангилсан.
Transitional: Загвар нь 15 зургаас active 1, inactive1, гэж тус тус ангилсан.

Ерөнхийдөө загвар нь active болон inactive зургийг сайн ангилах чадвартай боловч transitional зургийг ангилахад хүндрэлтэй байдаг. Энэ мэтчилэн арга тус бүрийн хувьд сургалтын болон тестийн үр дүнг гаргаж болох ба нийт дээр дурдсан таван загвар нь 88 ± 10 хувийн магадлалтайгаар зөв таамаглаж байсан. Хамгийн сайн үр дүн үзүүлсэн загвар бол ViT загвар байлаа.

VI. Дүгнэлт

Манай систем нь машин сургалтын дэвшилтэд арга алгоритмын тусламжтайгаар уйланхайт бэтэг өвчинтэй хүмүүсийн асуудлыг хөндөн өвчний үе шатыг “active, inactive, transitional” хурдан шуурхай үнэн зөвөөр тодорхойлж тухайн өвчтөнийхөө амь нас эрүүл мэндийг, мөн алслагдсан аймаг сумын иргэдэд тэгш хүртээмжтэй байдлыг бий болгох юм. Бид бүхний санал болгож буй хамгийн сайн үр дүн үзүүлсэн загвар ViT нь одоогоор уйланхайт бэтэг өвчний эмнэлзүйн зургийг 98% магадлалтайгаар үнэн зөв ангилж байна.

Ашигласан материал

[1] Zhang, W., Zhang, Z., Wu, W., Shi, B., Li, J., Zhou, X., ... & McManus, D. P. (2015). Epidemiology and control of echinococcosis in central Asia, with particular reference to the People's Republic of China. *Acta tropica*, *141*, 235-243.

[2] Sultan, H. H., Salem, N. M., & Al-Atabany, W. (2019). Multi-classification of brain tumor images using deep neural network. *IEEE access*, *7*, 69215-69225.

[3] Thai, L. H., Hai, T. S., & Thuy, N. T. (2012). Image classification using support vector machine and artificial neural network. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, *4*(5), 32-38.

[4] Pan, Y., Liu, J., Cai, Y., Yang, X., Zhang, Z., Long, H., ... & Tan, Z. (2023). Fundus image classification using Inception V3 and ResNet-50 for the early diagnostics of fundus diseases. *Frontiers in Physiology*, *14*, 1126780.

[5] Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., ... & Adam, H. (2017). Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *arXiv preprint arXiv:1704.04861*.

[6] Yang, H., Ni, J., Gao, J., Han, Z., & Luan, T. (2021). A novel method for peanut variety identification and classification by Improved VGG16. *Scientific Reports*, *11*(1), 15756.

[7] Han, B., Du, J., Jia, Y., & Zhu, H. (2021). Zero-watermarking algorithm for medical image based on VGG19 deep convolution neural network. *Journal of Healthcare Engineering*, *2021*.

[8] Mihmanli, M., Idiz, U. O., Kaya, C., Demir, U., Bostanci, O., Omeroglu, S., & Bozkurt, E. (2016). Current status of diagnosis and treatment of hepatic echinococcosis. *World journal of hepatology*, *8*(28), 1169.

[9] WHO-IWGE classification Available: https://www.who.int/groups/informal-working-groups-on-echinococcosis Last Access: 2023-10-30

[10] Mihmanli, M., Idiz, U. O., Kaya, C., Demir, U., Bostanci, O., Omeroglu, S., & Bozkurt, E. (2016). Current status of diagnosis and treatment of hepatic echinococcosis. *World journal of hepatology*, *8*(28), 1169.

[11] Kaggle - Hydatid Cyst Dataset, Available: https://www.kaggle.com/datasets/tahamu/hydatid-cyst?select=2 Last access: 2023-11-01

[12] Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., ... & Houlsby, N. (2020). An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. arXiv preprint arXiv:2010.11929.

[13] Yildirim, M. (2023). Image Visualization and Classification Using Hydatid Cyst Images with an Explainable Hybrid Model. *Applied Sciences*, *13*(17), 9926.

[14] Sulyok, M., Luibrand, J., Strohäker, J., Karacsonyi, P., Frauenfeld, L., Makky, A., ... & Schürch, C. M. (2023). Implementing deep learning models for the classification of Echinococcus multilocularis infection in human liver tissue. Parasites & Vectors, 16(1), 29.

[15] Wu, M., Yan, C., Wang, X., Liu, Q., Liu, Z., & Song, T. (2022). Automatic classification of hepatic cystic echinococcosis using ultrasound images and deep learning. Journal of Ultrasound in Medicine, 41(1), 16

[16] "Машин сургалтын DNN+ResNET хосолсон алгоритм ашиглан өвчнийг ангилах нь" ШУТИС-МХТС бакалавр оюутны ЭШХ, Монгол улс 2023-11-07: Т.Түвшинсанаа, Х. Ариунзаяа, Н.Дуламсүрэн, Б. Долгорсүрэн

Дижитал конвержинс

Олон сувгийн камертай нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийг буудайн тариаланд ашиглах нь

1st Мандухай Төрөө
Инженер технологийн сургууль
Хөдөө Аж Ахуйн Их Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
mandukhaituruu@gmail.com

2nd Баттуяа Санжааханд
Инженер технологийн сургууль
Хөдөө Аж Ахуйн Их Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
battuya@muls.edu.mn

3rd Одгэрэл Болд
Онцгой байдлын сургууль
Дотоод хэргийн их сургууль
Улаанбаатар, Монгол
https://orcid.org/0000-0003-2575-8662

Хураангуй: ***Судалгааны ажлын хүрээнд Монгол улсын Төв аймгийн нутаг дэвсгэрт орших Баянцогт сумын буудайн тариалангийн талбайд таримал ургамлын ургалтын үе шатуудыг өвөр өвөр орон зайн нарийвчлал бүхий зургийг (1.59 см, 3.63 см, 5.44 см болон 11.35 см) олон сувгийн камертай нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийг ашиглан зураглав. Мэдээ, өгөгдөлд тулгуурлан тооцоолсон NDVI, GNDVI, LCI, NDRE, NDWI болон OSAVI зэрэг ургамлын спектрийн индексүүд нь буудайн биометрийн үзүүлэлтийг тооцоолоход R2 нь OSAVI 0.79, GNDVI 0.73, LCI 0.81, NDRE 0.76 , NDVI 0.76 болон NDWI 0.75 байна. Орон зайн нарийвчлалтын хувьд авч үзэхэд R2 нь 1.59 ± 0.46 см (30 м) үед 0.62, 3.63 ± 0.02 см (80 м) үед 0.87, 5.44 ± 0.06 см (120 м) үед 0.88 байсан бол 11.35 ± 0.04 см (250 м) үед 0.68 байсан. Эндээс үзэхэд нислэгийн 120м өндөр 5.44±0.06 см-ын нягтаршилтай нислэгийг үйлдэхэд тохиромжтой байсан ба нислэгийн 250м өндөрт хамаарал хамгийн муу байна.***

Түлхүүр үгс— Нислэгийн өндөр, орон зайн нарийвчлал, биометрийн хэмжилт, индекс

I. Оршил

Манай орны хувьд хиймэл дагуулын спектрийн олон сувгийн мужуудад хэмжилт хийсэн тоон өгөгдлийг ашиглан бэлчээрийн ургамалжилтын тандан судалгаа хийгдэж байсан бөгөөд Б.Баяртунгалаг 2007 онд магистрын судалгааны ажлын хүрээнд Орхон аймгийн газар ашиглалт тэр дундаа газар тариалангийн талбайг Ландсат хиймэл дагуулын тоон өгөгдөл ашиглаж ангилж байсан. Мөн 2008 онд ХААИС-ийн багш Б.Батбилэг Борнуур сумын газар тариалангийн ургамлын шинж болон ургацыг судалсан байдаг хэдий ч орон зайн нарийвчлал болон тухайн хугацаанд өгөгдлийн олдоц бага байгаагаас хангалттай нэвтрүүлэх боломж ховор байсан. Үүнд: 2015 онд Г.Нямдорж “ХАА-н машинд тусгай зориулалтын компьютер бүхий төхөөрөмж ашиглах боломжийг судалсан дүн” сэдвээр судалгааны ажил хийж гүйцэтгэхдээ уриншилсан талбайгаас хог ургамлыг өнгөөр ялгах технологийг боловсруулсан. Судалгааны ажил нь OpenCV дүрс боловсруулалтын санг ашиглан, WDM (Windows Driver Model) камер ашиглан видео бичлэг хийснээр дүрс боловсруулалтын (image processing) аргаар уриншилсан талбайгаас хог ургамлыг ялгах боломжтой. Өнгөний ялгаралд гол нөлөө үзүүлдэг HSV (Hue-Өнгө, Saturation-Шингээлт, Value-Гэрэлтэц) өнгөний үзүүлэлтээр бүрэн хүчин зүйлт туршилт төлөвлөлтийн аргыг ашиглан регрессийн загварыг гарган, өнгөний ялгарлыг тодорхойлох босгочлолыг тогтоосон байна.

Манай оронд сүүлийн жилүүдэд аж үйлдвэрийн IV хувьсгалын хүрээнд ухаалаг болон нарийвчлалтай газар тариаланг хөгжүүлэх шинэ технологийг нэвтрүүлэх, үйлдвэрлэлд ашиглаж дэлхий нийтийн технологийн хөгжилтэй хөл нийлүүлэх алхах боломж бүрдэж байна. Газар тариалан болон бусад дэд бүтцийн хөгжилд хүч түрэн орж ирж буй ухаалаг технологийн төлөөлөл нь нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмж болоод байна. Сүүлийн 10 жилд нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийн хамрах хүрээ эрчимтэй өргөжсөн байна [10], [11]. Нисгэгчгүй онгоцнууд нь хараа, хяналтаас гадуур бие даасан жолоодох боломжтой нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмж (UVA) юм [12].

Дэлхийн хөдөө аж ахуйн нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийн зах зээлийн хэмжээ 2022 онд 1.1 тэрбум ам.долларт хүрсэн бөгөөд 2032 он гэхэд 7.19 тэрбум ам.долларт хүрч, 2023-2032 он хүртэлх хугацаанд жилийн нийт өсөлт (CAGR) 20.7 хувиар өсөх төлөвтэй байна (Word data). Үр ашгаа нэмэгдүүлж байгаагийн нэг нь нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмж, түүнд суурилуулсан олон спектрийн хэмжилт хийж чадах мэдрэгчийн хамт ашиглан газар тариалангийн талбай бүс орчимд нисгэж зураглал үйлдэж тоон өгөгдөл цуглуулан ургамлын болц, ургац, чийг, температур зэргийг тодорхойлж байна.

Хөдөө аж ахуйн нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийн хэрэглээ нь үр тарианы хяналт, зураглал, дүн шинжилгээ зэрэг өргөн хүрээний үйл ажиллагааг хамаардаг [27]. Олон сувгийн, дулааны камер зэрэг дэвшилтэт дүрс мэдрэгчээр тоноглогдсон хөдөө аж ахуйн нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмж нь өндөр нарийвчлалтай агаарын зураг авах боломжтой бөгөөд газар тариалан эрхлэгчдэд таримлын эрүүл байдлыг хянах, өвчинг илрүүлэх, талбайн ерөнхий байдлыг үнэлэх боломжийг олгож байна. Тухайн цаг үеийн мэдээн дээр үндэслэн нь усалгаа, бордоо, хортон шавжтай тэмцэх ажлыг зөв зохистой зохион байгуулах замаар үр тарианы ургац, нөөцийн үр ашгийг дээшлүүлэх ач тустай. Нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжүүд нь нарийн хөдөө аж ахуйд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг бөгөөд бордоо, пестицид, гербицид зэрэг ургамал хамгааллын бодисын зөв зохистой хэрэглэхэд тусалдаг. Хөдөө аж ахуйн нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжүүд нь GPS болон самбар дээрх мэдрэгчийг ашигласнаар тухайн талбайн тодорхой хэсгийг оновчтой онилж, хог хаягдлыг багасгаж, нөөцийн оновчтой ашиглалтыг хангах боломжтой. Өндөр нарийвчлалтай зураг авч, фотограмметрийн техникийг ашигласнаар нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмж нь хөдөө аж ахуйн ландшафтын үнэн зөв 3D газрын зураг, өндрийн загвар зургийг бүтээх боломжтой болж байгаа юм. Энэхүү мэдээлэл нь газрын хэмжилт, талбайн хил заагийг зураглаж тариаланчдад талбайн төлөвлөлтийг оновчтой болгох, цаг уурын өөрчлөлтөд дүн шинжилгээ хийх, ургамал ургалтын үеийн бүхийл үе шатанд төлөвлөх боломжийг олгодог. Цаашилбал, газар тариалангийн ургамал хамгааллын зориулалтаар хор цацах үйл

ажиллагаанд үр дүнтэй болохыг харуулсан. Тусгай шүрших төхөөрөмжөөр тоноглогдсон эдгээр нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжүүд нь тариалангийн талбайд пестицид, гербицид болон бусад агрохимийн бодисыг нарийн хэрэглэж, химийн хэрэглээг багасгах, зорилтот түвшинд ашиглах, фермийн ажилчдын үйл ажиллагааны аюулгүй байдлыг нэмэгдүүлэх зэрэг давуу талуудыг санал болгодог. Хөдөө аж ахуйн нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийг нэвтрүүлэх нь үр ашгийг нэмэгдүүлж, зардлыг бууруулж, тариалангийн практикт бүтээмжийг сайжруулахад эерэг нөлөөтэй юм.

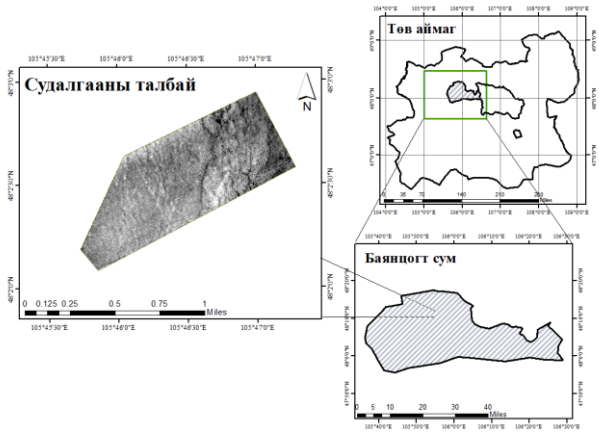
Олон сувгийн нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжүүд нь тариаланчдад газар тариалангийн нарийн техникийг хөнгөвчлөх, төлөвлөлтийг оновчтой болгох замаар хөдөө аж ахуйн салбарт хувьсгал хийх боломжтой юм. Гэсэн хэдий ч хөдөө аж ахуйд нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийг өргөнөөр нэвтрүүлж, тогтвортой ашиглахын тулд зохицуулалт, хувийн нууцтай холбоотой асуудал, одоо байгаа хөдөө аж ахуйн системд нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмж технологийг нэгтгэхтэй холбоотой бэрхшээлүүдийг шийдвэрлэх шаардлагатай байна.

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд газар тариалангийн салбарт нэвтрүүлэхээр зорьж буй олон сувгийн мэдрэгчтэй нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмж нь газар тариалангийн салбарт дэвшил болох юм. Мөн газар тариалан эрхлэх, газар ашиглалтын менежментийн тэргүүлэх чиглэлийг тодорхойлоход ашиглах боломжтой юм.

II. Судалгааны Ажлын Хэрэглэгдэхүүн, Арга Зүй

A. Судалгааны талбай

Судалгааны талбай нь Төв аймгийн Баянцогт сумын буудайн (105°47′0″E, 48°30″N) (Зураг 1). Баянцогт сум нь далайн түвшнээс дээш 1200-1500 м өргөгдсөн, физик газар зүйн хувьд хангайн нурууны шувтрах үзүүр, хангайн уулсын мужид, багтдаг. Уур амьсгалын мужлалаар хуурайдуу сэрүүн зунтай бүс нутагт хамаарах ба мужлалын хувьд хахир өвөлтэй, нийт нийлбэр дулааны хангамж нь 2000-2500°C, 1 дүгээр сарын дундаж температур -25 C°, 7 дугаар сарын дундаж температур +25 C°, хур тунасны жилийн нийлбэр хэмжээ 300-400 мм, жилийн дундаж салхины хурд 4-6 м/с байдаг. Хүчтэй салхины (15м/с) үргэлжлэх дундаж хугацааны жилийн явц нь 10-20 хоног, цасан шуургатай өдрийн тоо 5-10 хоног байдаг байна. Харин шороон шуургатай өдрийн тоо 10-30 байдаг. Өвөл тогтвортой цасан бүрхүүлтэй байх үе XI/20-оос XII/20-ны хооронд, газар нутгийн хувьд нойтон, цас, мөсжилтийн давталтын III-р мужид хамаардаг ба нойтон цастай өдөр 1-5 хоног ба үргэлжлэх хугацаа 2-3 цаг, цан буух өдрийн тоо 1-5 хоног ба үргэлжлэх хугацаа 6-14 цаг, мөсжилттэй өдрийн тоо 1-2 хоног ба үргэлжлэх хугацаа 1-3 цаг байдаг. Цас халзрах үе III/1-10-нд тохиодог байна [1]. Сумын нутаг дэвсгэр нь уул, гүвээ толгод бүхий тал хээр, мал аж ахуй болон газар тариалан эрхлэхэд тохиромжтой бүс юм.



Зураг 1. Судалгааны талбайн зураг. Буудайн талбайд туршилтыг 2021 онд Төв аймгийн Баянцогт суманд хийсэн.

B. Судалгааны талбайн буудайн сортын танилцуулга

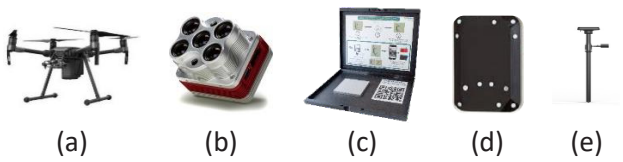
Сонгосон тариан талбайд буудайн Алтайская жница /Triticum aestivum L/ [2] сортыг 2021 оны 05 дугаарын сарын эхний 10 хоногт тариалсан болно. Алтайская жница /Triticum aestivum L/ сортын ботаник морфологийн шинж тэмдэг нь бутны хэлбэр хагас босоо, түрүү нь цагаан сахалгүй, шувтан буюу пирамид хэлбэртэй, дунд зэргийн нягт 6-8 см урттай, түрүүхэйн хайрс нь зууван хэлбэртэй, ташуу нарийн мөртэй, халсны шүдлэг бага мохоо, богино, цэцгийн хайрс нь үрээ бүрэн хучсан. Навчны урт, өргөн нь дунд зэргийн, цайвар ногоон өнгөтэй, туг навчны амсар дээр өнгөр ихтэй, хагас босоо байрлалтай, дунд зэргийн бахим иштэй. Үр нь улаан, зууван хэлбэртэй, суурь нь унжсан, үрийн ховил гүн нарийн, үрийн гадаргуу бага үрчлээтэй. Дундын болцтой (ургалтын хугацаа 82-89 хоног), жишиг Алтайская 100 сортоос 2-3 хоногийн дараа боловсордог. Сорт сорилтын дүнгээр 21.4 ц/га ургацтай байсан. Алтайн хязгаарт 25.6 ц/га ургацтай байсан ба жишиг Алтайская 100 сортоос 3.5 ц/га нэмүү ургацтай байсан. Хамгийн дээд ургацыг 2013 онд Тюменьд авсан (51.5 ц/га). Ган, налалтанд дунд зэрэг тэсвэртэй. Навчны хүрэн зэвэнд харьцангуй тэсвэртэй, хатуу харуу, гуалилт, үндэсний илжрэл, септориоз өвчинд тэсвэргүй. Талбайн нөхцөлд тоост харуугаар өвчлөх нь бага, 1000 үрийн жин 32-39 г байна. Ууралт 13.5 %, цавуулаг 22.7-29.6%, гурилын гарц 65.8-70.5, талхны эзлэхүүн 360-375 см, ерөнхий талхны үнэлгээ 3.07-3.25 балл. Монгол Улсад 2015 оноос эхлэн тариалан бүхий бүс нутагт тариалсан. УГТХүрээлэнгийн Селекцийн секторын “Үзүүлэх талбар”-т 2015-2019 онуудад соригдсон. Уг сорт нь чийглэг бүс нутагт арвин ургац өгдөг, ган тэсвэрлэлтээр дунд гэсэн үнэлгээтэй сорт юм [3].

C. Олон сувгийн камертай нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжөөр мэдээ цуглуулах

Судалгаанд Америкийн Micasense компанийн үйлдвэрлэсэн олон сувгийн мэдрэгч бүхий АЛТУМ (Altum Micasence Inc, Seattle, USA) (Зураг 2b) камер нь үзэгдэх гэрлийн (улаан, ногоон, хөх), үл үзэгдэх гэрлийн (улааны зааг, ойрын нил улаан) болон дулааны мужид өндөр нарийвчлал бүхий 5 төрлийн линзтэй. Цахилгаан соронзон долгионы урт/өргөн 668 нм/14 нм, 560 нм/27 нм, 475 нм/32 нм, 717 нм/12 нм, 842 нм/57 нм-ын мужид байна. Камерын суваг бүр нь 2064 x 1544 нягтрал бүхий газарзүйн координатын мэдээлэл агуулсан геотиф

Дижитал конвержинс

(GeoTIFF) форматын зургуудыг автоматаар зурагладаг. Мөн шалгалт тохируулгын хавтан (Зураг 2c) болон гэрлийн өөрчлөлтийг тохируулах гэрэл мэдрэгч /DLS/ (Зураг 2d) тоноглогдсон. Нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийн сонголтоор Матрис 210 RTK v2 (Matrice 210 RTK v2, Shenzhen, China) загварын диагональ тэнхлэг хоорондын зай 643 мм, хөөрөх жин 6.14 кг/хамгийн их/, дээд хурд 81 км/ц, салхины эсэргүйцэл 12 м/с, нислэгийн дээд хугацаа 33 минут ба -20°C-аас +50°C температурын хооронд далайн түвшнөөс 3000 м өндөрт нисэх боломжтой нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмж ашигласан (Зураг 2a). Агаарын зураглал үйлдэх хугацаанд орчны (тоосжилт, шувууны нүүдэл, услалтын систем гэх мэт) болон байгалийн (үүлний нүүлт, салхи, бороо) хүчин зүйлүүд зургийн чанар, боловсруулалтын нарийвчлал, цаашдын үр дүнд ихээхэн нөлөөтэй байдаг. Иймд буудайн ургалтын үе шатуудад тухайн өдрийн 11-14 цагийн хооронд тэнгэр цэлмэг байх үед судалгааны хэмжилтийг DJI pilot аппликейшнаар 30м, 80м, 120м болон 250 м-ын тогтсон өндөрт зургийн давхцал 75% байхаар төлөвлөгөөт нислэгүүд үйлдсэн ба газар зүйн байршлын нарийвчлан тодорхойлох хөдөлгөөнт GPS станц (RTK mobile station) ашигласан (Зураг 2e).



Зураг 2. Нисгэгчгүй нисэн төхөөрөмж (a), Олон сувгийн камер (b), Шалгалт тохируулгын хавтан (c), гэрэл мэдрэгч /DLS/ (d), Хөдөлгөөнт GPS(e)

D. Талбайн дээж авах

Буудайн талбайд санамсаргүй байдлаар сонгосон 5 цэгээс ургамал ургалтын түвшлэлт, сүүн болц, аарцан болц, бүрэн болцын үе шатанд жааз (50 см х 50 см) үүсгэн биометрийн хэмжилтийг дэвсэг тус бүрээс санамсаргүйгээр тэмдэглэсэн 5 ургамлын мэдээг цуглуулах байдлаар үзэгдэл зүйн ажиглалтыг хийсэн. Биометрийн хэмжилтэд таримлын тоо, таримлын өндөр, биомассын нойтон жин, навчны урт, навчны өргөнийг тус бүр ажиглалт хэмжилтийн бичиглэл үйлдсэн.

Бүтээгдэхүүнт бутлалт ба 1м2 талбай дахь түрүүтэй ишний тоо: Буудайн ургамлын түвшлэлт жигдрэх үеэр 50*50см-ийн жааз ашиглан түүн доторх ургамал, салбар иш бүрийг тус тусад нь тоолж 1м2-д шилжүүлэн олно.

1м2 талбай дахь таримлын өндөр (см): Буудайн ургамлын түвшлэлт, сүүн болц, аарцан болц, бүрэн болцын үед 50*50см-ийн жааз ашиглан түүн доторх санамсаргүй авсан 5 ургамлын өндрийг ишний ёроолоос (хөрсний өнгөн үеийн давхаргаас дээш) түвшүний орой эсвэл ургамлын хамгийн өндөр хэсэг хүртэл (см)-ээр хэмжинэ.

1м2 талбай дахь ургамлын навчны урт болон өргөн (см): Монтгомери (1911) анх ургамлын навчны талбайг ерөнхий хамаарлыг ашиглан навчны шугаман хэмжилтээр тооцоолж болно гэж үзсэн. Буудайн ургамлын түвшлэлт, сүүн болц, аарцан болц, бүрэн болцын үед 50*50 см-ийн жааз ашиглан түүн доторх санамсаргүй авсан 5 ургамлын дээжинд навчны урт болон хамгийн өргөн хэсгийг шугамаар хэмжин тэмдэглэл үйлдсэн.

Навчны эзлэхүүн = (урт х өргөн) х 0.75 (1)

1м2 талбайн нэг түвшүн дахь үрийн тоо (ш/м2): Буудайн үрийн аарцан болц жигдрэх үеэр талбайд сонгосон 5 цэгт 50*50см-ийн жаазанд орсон бүх түвшүг тоолж цайруулан үрийг тоолж түвшүний тоонд хувааж нэг түвшүн дэх үрийн тоог олоод 5 цэгийн дунджаар тооцно. Нэг жаазан дахь үрийн тоог 4-өөр үржүүлэн 1м2 дахь үрийн тоог олно.

Ургац тодорхойлох (ц/га): Судалгааны талбайд тогтоож дээж авсан 5 цэг бүрээр 1м2 талбай дахь үрийн жинг га/ц-т шилжүүлэн ургац тооцно. Дараах томьёог ашиглана:

Т=(А×10000)/100кг=ц/га (2)

Т-Ургац, ц/га

1м2 дахь үрийн жин, кг

Буудайн биомассын хэмжилт: Биомассын хэмжилтийг 2021 оны ургамал ургалтын хугацаанд долоо, найм, есдүгээр саруудад буудай тарьсан талбайн таван цэгээс 50*50см-ийн жаазанд орсон бүх ургамлын хөрсний өнгөөс үеэс дээш бүх биомасс авч хэмжилт хийсэн. Хэмжилтийн цэвэр жинг гаргаж авахын тул уутны жинг хасаж гаргасан.

Биомассын цэвэр жин = ууттай биомасс - ууны цэвэр жин

E. Хөрсний дээж цуглуулах

Төв аймгийн Баянцогт сумын хөрсний хэв шинж нь ойт хээр, хээрийн, цөлийн бүсүүдэд багтдаг. Баянцогт сумын ихэнх талбайнууд нь уул, толгодын хоорондох хөндийд байрладаг учраас дунджаар 0-3 градусын налуутай байдаг нь газрын гадаргын налуугийн нөхцөл харьцангуй тэгш тариаланд тохиромжтой газар юм. Тариалангийн хөрс нь хүрэн хөрсний цайвар хүрэн хэв шинж зонхилсон бөгөөд механик бүтцийн хувьд хөнгөн шавранцар, элсэнцэр бүтцэнд шилжиж байгаа боловч хөдөө аж ахуйн олон тарималд тохиромжтой байдаг. Хөрсний үржил шимийн хувьд тариалангийн талбайн хөрсний ялзмагт үеийн зузаан жигд биш харилцан адилгүй боловч хамгийн нимгэн газраа 20 см, хамгийн зузаан нь 36 см дунджаар 25 см байна [4].

Талбай нь 5 цэг дээр буудайн биометрийн хэмжилтийн хамт ургамал ургалтын хугацаанд /түвшүүлэлт, сүүн болц, аарцан болц, бүрэн болц/ 4 удаа цэгийн дээжийг хөрсний үе давхаргын 0-25 см-т 500 гр-аас багагүй байхаар тооцоолж авсан [8]. Дээж авахад хүрз, метр, нийлэг хальсан уут, GPS багаж, хэрэгслийг ашиглав. Талбайг төлөөлүүлэн хөрсний зүсэлтийг 1 удаа авсан.

Судалгааны талбайн хөрсний агрохимийн шинжилгээ [20], [8]-ны дүнгээр механик бүрэлдэхүүний хувьд хөнгөн шавранцар хөрс голлон тархсан, хөрсний уусмалын орчин pH 7.8-8.0 буюу шүлтлэг шинжтэй, хөрсний давсжилтгүй /0.04-0.06%/ байсан. Харин шим тэжээлийн бодисын хувьд ялзмагын агууламж бага /1.52-2.57%/, кальци, магний сууриуд хангалттай, азот 0.03-9.8 мг, фосфор 0.5-1.5 мг маш бага, кали 11-16 мг дунд зэргий агууламжтай гарсан байна.

F. Орон зайн мэдээллийн дүн шинжилгээ хийх арга зүй

Олон сувгийн камераар нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийн тусламжтай нислэгийн янз бүрийн өндөрт агаарын зураг, засвар хийх тусгай зураг, тухайн газрын координат, өндөр, гэрлийн мэдээллийг оролтын өгөгдөл

мэдээ болгон бэлтгэж авсан мэдээг Pix4Dmapper [5] программ хангамж ашиглан фотограмметрийн алгоритмууд нь олон тооны агаарын зургийг нэгтгэж, радиометрийн болон геометрийн засвар хийж эх бэлтгэсэн [6]. Судалгааны нийт 16 нислэгийн 42300 зургийг программ нь 3 үндсэн үе шатлалаар (зургийн нэгтгэл, цэгүүдийн баталгаажуулалт, сэдэвчилсэн зургуудын гаралт) нислэгийн бүх зургийг боловсруулан эх эх зургийг бэлтгэсэн.

Хүснэгт 1. Нислэгийн өндөр тус бүрийн зургийн нарийвчлал, боловсруулалтын үр ашиг

Нислэгийн өндөр, м	Зургын нягтаршил, см/pixel	Зураг боловсруулалт цаг/мин	Талбайн хэмжээ, га
30	1.59 ± 0.46	54.56 ± 11.03	3.31 ± 1.44
80	3.63 ± 0.02	26.28 ± 7.54	10.36 ± 1.74
120	5.44 ± 0.06	18.48 ± 3.48	18.27 ± 1.62
250	11.35 ± 0.04	58.28 ± 18.21	262.07 ± 29.48

G. Ургамлын индексийн сонголт

Буудайн ургамал ургалтын хугацаанд судалгаанд ашигласан 6 ургамлын индексийн дэлгэрэнгүй мэдээллийг Хүснэгт 2-т үзүүлэв. Дүрс боловсруулалтыг газарзүй, бүс нутгийн зураглал, төсөөллийг хамгийн энгийн бөгөөд ойлгомжтой боловсруулдаг программуудын нэг болох ArcGIS программ хангамжийг ашиглан дараах индексүүдийг боловсруулсан. Ургамлын индексийн олон сувгийн зураг (R, G, B, NIR, RE)-ыг нисэгчгүй нисэх төхөөрөмжөөр авсан.

Хүснэгт 2. Энэхүү судалгаанд ашигласан ургамлын спектрийн индексүүд

Нэр	Индекс	Тооцоолох томъёо	Хэвлэлийн тойм
NDVI	Ургамлын нормчлогдсон	(NIR − R)/(NIR + R)	*Serrano 1998*
NDRE	Улаан-захын сувгийн	(NIR − RE)/(NIR + RE)	*Barnes 2000*
NDWI	Усны нормчлогдсон	(Green − NIR)/(Green + NIR)	*Pu 2008*
OSAVI	Оновчилсон хөрс-ургамал	(NIR − R)/(NIR + R + 0.16)	*Rondeaux 1996*
GNDVI	Ногоон ургамлын	(NIR − Green)/(NIR + Green)	*Fu-min 2007*
LCI	Навчны хлорофиллын	(NIR-RE)/(NIR+R)	*Datt, Bisun. 1999*

III. Судалгааны Арга Зүй

A. Өгөгдөл боловсруулалт

Корреляцийн коэффициентийг “Пийрсон”1-ны коэффициент-оор тооцдог.Хамаарлын хүчийг корреляцийн коэффициентийн гарсан утга дээр үндэслэн тодорхойлно. Корреляцийн коэффициентийг “r” үсгээр тэмдэглэдэг. Мөн хүчин зүйлийн хоорондоо хэр хамаарч байгааг үнэлэхийн тулд олон хүчин зүйлийн регрессийн шинжилгээ хийж гарах үр дүнг дараах томьёогоор тооцоолно. Детерминацийн коэффициентийг “R2” үсгээр тэмдэглэдэг (3). Анхдагч нөхцөлийн хэмжилтээс тооцоолоогүй бодит утгын стандарт хазайлт. X ба Y нь ортозурагийн хоёр тэнхлэгийг дундаж квадрат алдаа (RMSE) гэж нэрэлдэг (4).

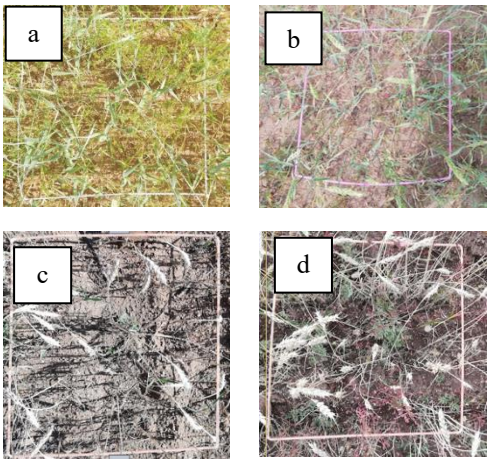
$$R^2 = \frac{\Sigma_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2 \times (y_i-\bar{y})^2}{\Sigma_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2 \times \Sigma_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\Sigma_{i=1}^{n}(y_i-x_i)^2}{n}} \quad (4)$$

Буудайн биометрийн үзэгдэл зүйн хэмжилт судалгаа, ургамлын индексийн нөлөөлөх магадлалтай хүчин зүйлүүдээр тус бүрд, корреляцийн коэффициент болон детерминацийн коэффициентуудыг тооцов.

IV. Үр Дүн, Хэлэлцүүлэг

Олон сувгийн камертай нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийг цаг хугацааны хувьд буудайн ургамал ургалтын 4 үе шатанд /түрүүлэлт, сүүн болц, аарцан болц, бүрэн болц/ тус тус хэмжилт нислэгийг үйлдсэн.



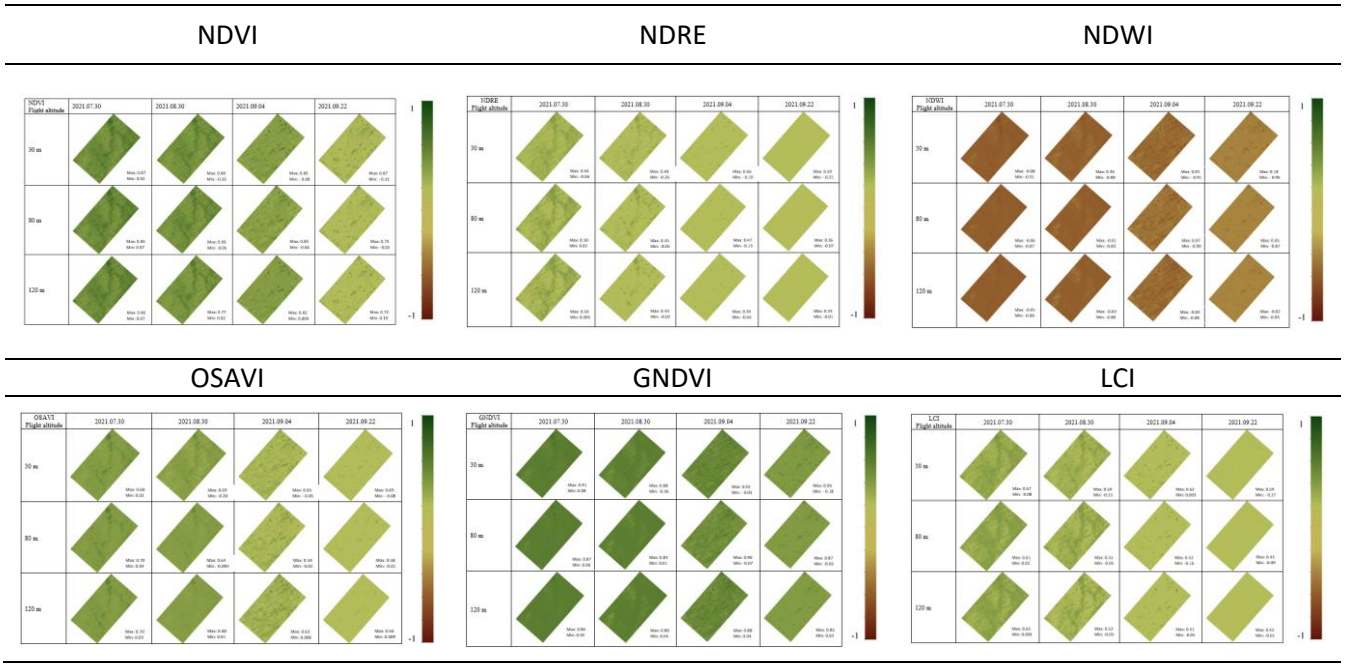
Зураг 3. Буудайн ургалтын үе шат a. Буудайн түрүүлэлтийн үе шат, b. Буудайн сүүн болцын үе шат, c. Буудайн аарцан болцын үе шат, d. Буудайн бүрэн болцын үе шат

Хүснэгт 3. Ургамлын индекс дээр үндэслэсэн хяналтын үр дүн.

Индекс	30m		80m		120m		250m	
	RMSE	R^2	*RMSE*	R^2	*RMSE*	R^2	*RMSE*	R^2
GNDVI	0.17	0.61	0.04	0.81	0.03	0.85	0.07	0.65
LCI	0.08	0.59	0.02	0.92	0.03	0.91	0.12	0.83
NDRE	0.07	0.59	0.02	0.90	0.02	0.92	0.06	0.62
NDVI	0.15	0.65	0.06	0.87	0.05	0.93	0.13	0.59
NDWI	0.17	0.61	0.03	0.85	0.04	0.81	0.11	0.73
OSAVI	0.11	0.67	0.05	0.87	0.04	0.93	0.08	0.68

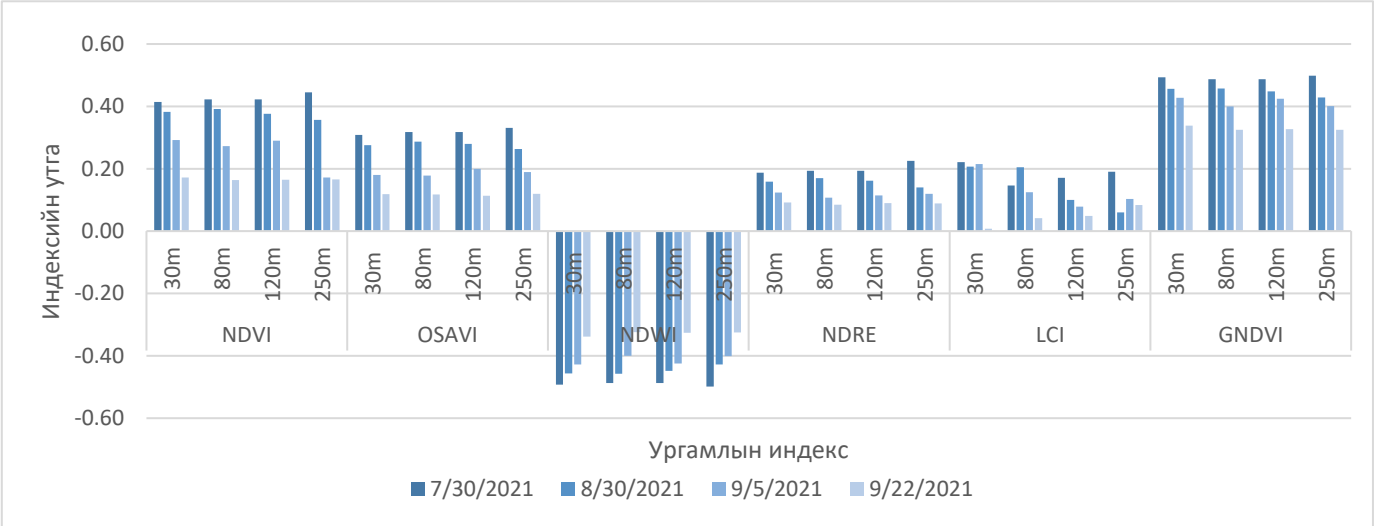
Ургамлын индексүүдийг буудайн биометрийн хэмжилттэй хамааруулан шинжилгээ хийж дундаж квадрат алдааг тооцоход нислэгийн 120м өндөрт GNDVI нь хамгийн өндөр утга буюу R2 0.85 (RMSE нь 0.03) бол LCI нислэгийн 80м өндөрт R2 0.92 (RMSE нь 0.02), NDRE нь нислэгийн 120м өндөрт R2 0.92 (RMSE нь 0.02), NDVI хувьд нислэгийн 120м өндөрт R2 0.93 (RMSE нь 0.05), NDWI нислэгийн 80м өндөрт R2 0.85 (RMSE нь 0.03) байсан бол OSAVI хувьд нислэгийн 120м өндөрт R2 0.93 (RMSE нь 0.04) гарсан. Үүнээс үзэхэд буудайн биометрийн хэмжилтийг төлөөлөх хувиар авч үзвэл 80м нь 86%-тай байхад 120м өндөрт нислэг үйлдэх нь 90%-тай гарсан нь 30м өндөртэй харьцуулахад 28%, 250м өндөртэй харьцуулахад 22%-иар илүү үр дүнтэй байна.

Дижитал конвержинс



Зураг 4. Ургамлын индексийн ялгаатай цаг хугацааны болон нислэгийн өндөрийн метрийн орон зайн тархалт

Бид буудайн ургалтын үе шат дээр үндэслэн 2021 оны 7 дугаар сараас есдүгээр сар хүртэл NDVI, NDRE, NDWI, OSAVI, GNDVI болон LCI-ийн цаг хугацааны өгөгдлийн утгыг тооцон Зураг 4, 2021 оны ургамал ургалтын хугацаанд NDVI, NDRE, NDWI, OSAVI, GNDVI болон LCI индексийн дундаж өөрчлөлтийг Зураг 5-д үзүүлэв.



Зураг 5. Ургамлын индексийн хугацаа болон өндрийн ялгаатай байдал

Буудайн түрүүлэлтийн үе шат нь бүх ургамлын индексийн хамгийн өндөр үзүүлэлттэй байсан бол сүүн болцоос эхлэн аажмаар бүрэн болцын үе хүртэл ургамлын индексийн утга буурсан үзүүлэлттэй харагдаж байна.

V. ШҮҮН ХЭЛЭЦЭХҮЙ

Орон зайн нарийвчлал нь зурвасын тусгалд тодорхой нөлөө үзүүлэхгүй боловч VI болон TFs загваруудад ихээхэн нөлөөлдөг. Орон зайн нарийвчлалтай зураг, улаан буудайн харуу өвчнийг ургамлын индекс, бүтэц шинж чанаруудын хоорондын хамаарлыг шинжлэн судалснаар 3.47 см нь орон зайн хамгийн сайн нарийвчлалтай болохыг тогтоожээ [28]. Харин судлаач Wanxue Zhu, Hamideh Nouri, Ehsan Eyshi Rezaei болон Zhigang Sun нарийн судалснаар практик хэрэглээнд буудайн ургалтын сүүлийн шатанд газар дээрх ногоон массыг тооцоолоход нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийн (UAV) хоёр мэдээллийн багц стратегийг ашиглахыг зөвлөж байгаа, үүнд UAV + дунд зэргийн орон зайн нягтралтай (4-6 см) зургаас авсан спектрийн болон нэгдсэн олон хэмжээст бүтэц орно. Энэхүү энгийн оптик дээр суурилсан UAV агромониторинг схем нь фермерүүд болон фермийн менежерүүдэд агрономийн хяналтын зардлыг бууруулж, практик менежментийг оновчтой болгоход тусална гэж үзсэн байна

Харин бидний судалгаагаар буудайн биометрийн үзүүлэлт (ургамлын өндөр, навчны урт, биомассын

нойтон жин)-ийг ургамлын индексийн хоорондын хамаарлыг шинжлэн судлахад 5.41 см нь орон зайн хамгийн оновчтой нарийвчлал болохыг тогтоосон.

VI. Дүгнэлт

Олон сувгийн нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмж /нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмж/ ашиглан буудайн өсөлт, хөгжилтийн үе шатуудад орон зай, цаг хугацааны мониторинг хийхэд өндөр нарийвчлалтай мэдээ, өгөгдлөөр хангах боломжийг бүрдүүлж байна.

1. Буудайн биометрийн үзүүлэлтийг цаг хугацааны хувьд үзэхэд түрүүлэлтийн үе шатанд ургамлын өндрийг тооцоход хувь үзэхэд, тэр дундаа биомассын нойтон жинг тооцоолоход NDVI (30м) 0.99, OSAVI (30м) 0.96, LCI (30м) 0.85, GNDVI (30м) 0.82, NDVI (120м) 0.80 хамгийн сайн хамаарал үзүүлсэн бол навчны урт тооцоход NDRE (80м) 0.86, NDVI (120м) 0.85, LCI (80м) 0.83, NDVI (30м) 0.83, OSAVI (120м) 0.81 хамааралтай байна. Харин навчны өргөнийг тооцоолоход OSAVI (120м) 0.75, GNDVI (120м) 0.65, NDVI (120м) 0.57 хамгийн өндөр хамаарлыг харуулсан бол NDWI урвуу хамааралтай байна. Эндээс үзэхэд ургамлын индексийн сонголтоос хамааран нислэгийн өндрийг тодорхойлох нь зөв юмаа. Буудайн түрүүлэлтийн үе шатанд 1.59 см, 5.44 см-ын нягтаршилтай нислэгийг үйлдэхэд тохиромжтой байсан ба нислэгийн 250м (11.35 см) өндөрт хамаарал хамгийн муу байлаа.
2. Буудайн сүүн болцын үе шатанд биомассын нойтон жинг тооцоолоход OSAVI (120м) 0.96, NDRE (120м) 0.91, NDVI (120м) 0.86, LCI (120м) 0.93, GNDVI (120м) 0.77 хамгийн сайн хамаарал үзүүлсэн бол навчны урт тооцоход NDRE (120м) 0.89, LCI (120м) 0.81, NDVI (120м) 0.54 хамааралтай байна. Харин ургамлын өндөр тооцоход OSAVI (250м) 0.95, LCI (120м) 0.89, NDRE 0.88 OSAVI (120м) 0.75, GNDVI (120м) 0.87, NDVI (250м) 0.91 хамгийн өндөр хамаарлыг харуулсан бол NDWI урвуу хамааралтай байна. Буудайн сүүн болцын үе шатанд 1.59 см нягтаршилтай нислэгийг үйлдэхэд тохиромжтой байсан.
3. Буудайн аарцан болцын үед биомассын нойтон жинг тооцоолоход OSAVI (120м) 0.76, GNDVI (120м) 0.70, NDVI (120м) 0.53 хамгийн сайн хамаарал үзүүлсэн бол навчны урт тооцоход NDVI (250м) 0.84, NDRE (30м) 0.51 хамааралтай байна. Харин ургамлын өндөр тооцоход GNDVI (120м) 0.55, GNDVI (30м) 0.59 хамаарлыг харуулсан байна. Буудайн аарцан болцын үе шатанд 1.59 см нягтаршилтай нислэгийг үйлдэхэд тохиромжтой буюу хамаарал өндөр байсан.
4. Буудайн бүрэн болцын үед биомассын нойтон жинг тооцоолоход GNDVI (80м) 0.71, NDWI (120м) 0.62 байсан бол ургамлын өндөр тооцоход NDWI (120м) 0.64 хамааралтай байна. Харин ургамлын тоо ширхэгийг тооцоход LCI (250м) 0.85, NDRE (250м) 0.79 хамаарлыг харуулсан байна. Эндээс үзэхэд ургамлын индексийн сонголтоос хамааран нислэгийн өндрийг тодорхойлох буудайн бүрэн болцын үе шатанд 3.63 см, 5.44 см, 11.35 см-ын нягтаршилтай нислэгийг үйлдэхэд тохиромжтой байсан.
5. Олон сувгийн камертай нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийн мэдээ, өгөгдөлд тулгуурлан тооцоолсон NDVI, GNDVI, LCI, NDRE, NDWI болон OSAVI зэрэг ургамлын спектрийн индексүүд нь буудайн биометрийн үзүүлэлтийг тооцоход R2 нь OSAVI 0.79, GNDVI 0.73, LCI 0.81, NDRE 0.76 , NDVI 0.76 болон NDWI 0.75 байна. Орон зайн нарийвчлалтын хувьд авч үзэхэд R2 нь 1.59 ± 0.46 см (30 м) үед 0.62, 3.63 ± 0.02 см (80 м) үед 0.87, 5.44 ± 0.06 см (120 м) үед 0.88 байсан бол 11.35 ± 0.04 см (250 м) үед 0.68 байсан.

Талархал

Энэхүү судалгааны ажлыг удирдаж чиглүүлсэн удирдагч ХАА ИС-ын Инженер технологийн сургуулийн багш, доктор С.Баттуяа, Дотоод хэргийн их сургуулийн багш, доктор Б.Одгэрэл хүндэт багш нартай маш их баярлахын зэрэгцээ зөвлөмж туслалцаа үзүүлсэн Доктор Б.Баяртунгалагт, үнэтэй дэмжлэг туслалцаа үзүүлсэн доктор Л.Баяртулга, мөн судалгааны ажлын хүрээнд нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийн нислэг болон мэдээ боловсруулалтын ажилд дэмжлэг үзүүлсэн докторант Я.Гансүх нарт талархаж байна. Судалгааны чанарыг сайжруулахад тусалж бүтээлээс нь эшлэл, зүүлт авсан эрдэмтэн судлаачдад талархал илэрхийлж байна.

Ном зүй

[1] Цаг уур, орчны орчны шинжилгээний газар – Төв аймаг Эрдэнэсант сумын цаг уурын станц мэдээ

[2] Korobeinikov N.I., Peshkova N.V., Valekzhanin V.S., Boradulina V.A., Musalitin G.M.. State scientific institution Altai Scientific Research Institute of Agriculture. 2014.

[3] УГТХүрээлэнгийн Селекцийн секторын “Үзүүлэх талбар”-т 2015-2019 он.

[4] Баянцогт сумын тариалангийн газрын чанарын улсын хянан баталгааны ажлын тайлан 2007 он, 2012 он

[5] Banaszek, Anna, Aleksander Zarnowski, Anna Cellmer, and Sebastian Banaszek. "Application of New TechnologyData Acquisition Using Aerial (UAV) Digital Images for the Needs of Urban Revitalization." In EnvironmentalEngineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE, vol. 10, pp. 1-7.Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property, 2017.

[6] Masiri Kaamin1, Muhammad Iqbal Azmidi, Muhammad Haziq Aiman Faisal1, Nur Zafirah Zaini1,Suhaila Sahat1, Ahmad Hakimi Mat Nor, Mardiha Mokhtar, Nor Farah Atiqah Ahmad1,Muhammad Aliyuddin Mohd Kamal., Production and Evaluation of Orthophoto Map using UAV Photogrammetry. Available from: https://www.researchgate.net/publication/374937082_Production_and Evaluation_of_Orthophoto_Map_using_UAV_Photogrammetry [accessed Apr 02 2024].

[7] ArcGIS, Sentinel Application Platform manual

[8] MNS 6988 : 2022 “Хөрс. Тариалангийн хөрсний агрохимийн үзүүлэлтүүдийг тодорхойлох арга” 2022 он.

[9] McFeeters, S.K, [Усны нормчлогдсон өөрчлөлтийн индекс (NDWI) нь ургамлын навчны усны агууламжийн илэрхийлэхээс гадна ургамлын болц тодорхойлох], 1996 он.

[10] Cauchard, J. R., Zhai, K. Y., Spadafora, M., & Landay, J. A. (2016). Emotion encoding in Human-Drone Interaction. 2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI). doi:10.1109/hri.2016.7451761

[11] Giones, F., & Brem, A. (2017). From toys to tools: The co-evolution of technological and entrepreneurial developments in the drone industry. Business Horizons, 60(6), 875-884. doi:10.1016/j.bushor.2017.08.001

[12] Sullivan, J. (2006). Evolution or revolution? the rise of UAVs. IEEE Technology and Society Magazine, 25(3), 43-49. doi:10.1109/mtas.2006.1700021

[13] Zhang,L.,Wang,S, [Буудайн ургацын мониторингийн бусад судалгаанд Хятад улсын хойд мужуудад үйлдвэрлэлийн түвшинд WOFOST загварыг тохируулах, газар тариалангийн загварчлалыг

бүс нутгийн хэмжээнд сайжруулахад MODIS хиймэл дагуулын өгөгдлийг ашиглахыг судалсан], 2007 он.

[14] Maimaitijiang, M., Ghulam, A., Sidike, P., Hartling, S., Maimaitiyiming, M., Peterson, K., Shavers, E., Fishman, J., Peterson, J., Kadam, S., Burken, J., Fritschi, F.B., 2017. Unmanned aerial system (UAS)-based phenotyping of soybean using multi-sensor data fusion and extreme learning machine. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 134, 43–58.

[15] Iqbal, F.; Lucieer, A.; Barry, K. Simplified radiometric calibration for UAS-mounted multispectral sensor. Eur. J. Remote Sens. 2018, 51, 301–313.

[16] Mamaghani, B.; Saunders, M.G.; Salvaggio, C. Inherent Reflectance Variability of Vegetation. Agriculture 2019, 9, 246.

[17] Wang, C. At-Sensor Radiometric Correction of a Multispectral Camera (RedEdge) for sUAS Vegetation Mapping. Sensors 2021, 21, 8224.

[18] Taddia, Y.; Russo, P.; Lovo, S.; Pellegrinelli, A. Multispectral UAV monitoring of submerged seaweed in shallow water. Appl. Geomat. 2019, 12, 19–34.

[19] Honkavaara, E.; Khoramshahi, E. Radiometric Correction of Close-Range Spectral Image Blocks Captured Using an Unmanned Aerial Vehicle with a Radiometric Block Adjustment. Remote Sens. 2018, 10, 256.

[20] Clevers, J.G.P.W.; Kooistra, L.; Brande, M.M.M.V.D. Using Sentinel-2 Data for Retrieving LAI and Leaf and Canopy Chlorophyll Content of a Potato Crop. Remote Sens. 2017, 9, 405.

[21] Доржготов.Д “Монгол орны хөрс”2003 он

[22] Datt, Bisun., Leaf Chlorophyll Index (LCI) - "Remote Sensing of Water Content in Eucalyptus Leaves." Journal of Plant Physiology 154, no. 1 (1999): 30-36.

[23] Serrano, Lydia; Filella, Iolanda; PeÃ±uelas, Josep - Remote Sensing of Biomass and Yield of Winter Wheat under Different Nitrogen SuppliesGreen Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) - Gitelson, A., and M. Merzlyak. "Remote Sensing of Chlorophyll Concentration in Higher Plant Leaves." Advances in Space Research 22 (1998): 689-692.

[24] Barnes, E.M.; Clarke, T.R.; Richards, S.E.; Colaizzi, P.D.; Haberland, J.; Kostrzewski, M.; Waller, P.; Choi, C., Riley, E.; Thompson, T.; Lascano, R.J.; Li, H.; Moran, M.S. - Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data, 2000

[25] Rondeaux, G., M. Steven, and F. Baret., Optimized Soil Adjusted Vegetation Index (OSAVI) - "Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices." Remote Sensing of Environment 55 (1996): 95-107.

[26] Wang, Fu-min; Huang, Jing-feng; Tang, Yan-lin; Wang, Xiu-zhen - New Vegetation Index and Its Application in Estimating Leaf Area Index of Rice, 2007.

[27] Pu, Ruiliang; Gong, Peng; Yu, Qian - Comparative Analysis of EO-1 ALI and Hyperion, and Landsat ETM+ Data for Mapping Forest Crown Closure and Leaf Area Index, Sensors 2008, 8(6), 3744-3766; https://doi.org/10.3390/s8063744

[28] D. Keshet, A. Brook, D. Malkinson, I. Izhaki, and M. Charter, “The use of drones to determine rodent location and damage in agricultural crops,” Drones, vol. 6, no. 12, p. 396, 2022.

[29] Wenjing Zhu 1,2, Zhankang Feng 1,2, Shiyuan Dai 1,2, Pingping Zhang 3 and Xinhua Wei 1,2, Using UAV Multispectral Remote Sensing with Appropriate Spatial Resolution and Machine Learning to Monitor Wheat Scab, 2022.

Өсвөр насны сурагчдын хандлага төлөвшилд мэдээллийн технологийн хэрэглээний үзүүлэх нөлөө

Urtnasan.Gurjav[1]
Department of Information and Communication Technology
University of Science and Technology
Ulaanbaatar, Mongolia
gurjav@must.edu.mn, ORCID: 0000-0002-1808-4789

Gantugs Purevsuren[2]
Department of History and Geography
Absolute-Elite secondary school
Ulaanbaatar, Mongolia
gantugs1513@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1808-478

Хураангуй- ***Өсвөр нас бол хүүхдээс том хүн болон шилжих үйл явцыг хэлэх ба өсвөр насны хүүхдүүд шинэ зүйл сурч мэдэж, шинэ дадал бий болгоход мөн хамгийн сайн ачаалал даах чадвартай нас нь байдаг. Өсвөр насандаа бие дааж, бусадтай харилцах цар хүрээ нь илүү тэлж бусдаас туслалцаа авах, бусдад туслах, өөрийгөө тодорхойлж түүндээ хүрэхэд тэмүүлж хичээл зүтгэл гаргах зэрэг нийгэмд харилцаж эхэлдэг үе юм[9]. Түүнчлэн шинэ зүйл сурах, олон шинэ хүнтэй танилцаж тэднээс мэдрэмж авдаг нас юм. Нөгөөтэйгүүр интернетийн орчинд хүүхэд багачуудад тохиолдож болох эрсдэл, аюулын талаар хэлж зөвлөх ёстой эцэг, эхчүүдийн мэдлэг боловсрол мөн тэдэнд тавих хараа хяналт маш сул байгаа нь ажиглагдаг. Иймээс интернэтийн орчин дах хүүхдийн аюулгүй байдал, технологийн хэрэглээг зөв зохистой шийдэх, улмаар хүүхдийн хандлага төлөвшилд хэрхэн нөлөөлөх талаар үндэсний суурь судалгаа хийж, цаашид авах арга хэмжээний төлөвлөгөө боловсруулах шаардлага тулгараад байгаа талаар энэхүү өгүүлэлдээ тусгалаа.***

Түлхүүр үг: интернэтийн сүлжээ, аюулгүй байдал, дижитал ертөнц, хандлага төлөвшил, сэтгэцийн эмгэг

I. ОРШИЛ

Техник технологи, интернетийн ертөнц хөгжиж өсвөр насны хүүхдүүд том хүнээс илүүтэйгээр шинэ мэдээ мэдээллүүдийг цаг алдалгүй авч, өөрсдийн сонирхлоор юу хүссэнээ илүү сурч мэдэж, судлах боломжтой болсон эрин үе юм[24].

2021 оны эхний хагас жилийн байдлаар Монгол Улсад нийт 3.37 сая интернэт хэрэглэгч байгаа ба 91%-нь буюу 3072775 нь ухаалаг гар утас, төхөөрөмжөөр хөдөлгөөнт үүрэн холбооны сүлжээ ашиглан интернэтэд холбогдож байна. ЭмЭмСиЖи компанийн сүүлийн 6 жилийн турш хийж байгаа “Үндэсний медиа хэрэглээний судалгаа”-аас харахад нийгмийн сүлжээн дэх хэрэглэгчдийн тоо 2014 оноос хойш маш өндөр өсөлттэй байгаа ба нөгөө талдаа уламжлалт медиа хэрэглээнээс телевиз үзэлт буурсаар байна. Нийт интернэт хэрэглэгчдийг насаар нь ангилж харвал 15-19 насныхны 99%-нь сүүлийн 12 сарын хугацаанд ямар нэгэн байдлаар интернэтэд холбогдсон байгаа нь хамгийн өндөр хувьтай үзүүлэлт байгаа ба тэдний нийт интернэт хэрэглээний ихэнх хувийг нийгмийн сүлжээний хэрэглээ эзэлж байна[7]. Ялангуяа “Gen Z” залуу үеийнхэн өдөрт 7-9 цаг буюу өдрийн 1/3-ийг нийгмийн сүлжээнд өнгөрүүлж байна. Улмаар өсвөр насныхан өөрийгөө хамгаалах мэдлэг, мэдээлэл хангалтгүй байгаагаас интернэтийн орчинд зүй бус үйлдэл хийх, гэмт хэргийн золиос болох үүнээс улбаалан сэтгэл зүй, эд материал, эрүүл мэнд, амь насаараа хохирох эрсдэл ихээр бий болоод байна.

Судлагдсан байдал. Ухаалаг утас нь өсвөр насныхны амьдралын хэв маягт өөрчлөлт оруулаад зогсохгүй сэтгэцийн эрүүл мэндэд нөлөөлөх гол хүчин зүйл болж байна. Стресс гэдэг нь “хүчдэл” гэсэн утгатай англи үг бөгөөд биологийн шинжлэх ухаанд янз бүрийн тааламжгүй нөлөөний улмаас хүн болон амьтны бие махбодод үүсэж байгаа физиологийн хамгаалах урвал юм. Сэтгэцийн өвчлөлийн ихэнх тохиолдол нь гар утаснаас хамааралтай болохыг Сан Диегогийн их сургуулийн сэтгэл судлалын профессор Жен М.Твенге өнөөгийн өсвөр насныхны ухаалаг утас болоод сошиал медиагийн хэрэглээ тэдэнд хэрхэн нөлөөлж байгааг судалгаандаа дурдаад ЕБС-ийн 12- 17 насны сурагчдаас зохисгүй үг хэллэг ашиглах, бусдын нэр төрд халдах, зүй бус үйлдлүүдийг хийх гэх мэт асуудлуудыг хөндөн судалгаа хийсэн байна[3]. Судалгаанаас үзвэл 7-12 насны хүүхдүүдийн 62% нь, 13-18 насны хүүхдийн 71% нь өдөр бүр интернэт ашигладаг. Ялангуяа орон сууцны хороололд амьдардаг хүүхдүүдийн интернэтэд орж эхэлсэн нас нь бага, давтамж нь ойр ойрхон байгаа ба интернэт орчинд 7-12 насны хүүхдүүд өдөрт дунджаар 2 цаг 30 минутыг, 13-18 насныхан 4 цагийг зарцуулдаг гэжээ.

Олон улсын цахилгаан холбооны байгууллага (ITU) нь 5-10 насны хүүхдэд өдөрт 1 цагаас бага, 11-18 насны хүүхдэд өдөрт 2-оос бага цагийг интернэтийн хэрэглээнд зарцуулах стандарт байдгийг тогтоосон. Энэ стандартаас үзвэл Монгол хүүхдүүдийн интернэтийн хэрэглээ өндөр үзүүлэлттэй байгаа нь харагдаж байна. Тэдний

Дижитал конвержинс

интернэтийн сүлжээнд ордог гол төхөөрөмж нь ухаалаг тас байгаа ба ихэвчлэн мобайл дата 78% болон өрхийн Vi- Fi-г ашиглан 58%-нь орж байна. Хүүхдүүдийн 89% нь цэг, эхийн эзгүйд буюу хараа хяналтгүйгээр интернэт шиглаж байгаа нь энэ хандлага хүүхдүүд том болох тусам эмэгдэж байна гэж үзэж байна[17].

Хүүхдүүдийн хамгийн их ашигладаг сошиал медиа нь фейсбүүк, фейсбүүкийн мессенжер, youtube, инстаграм, тик ток байгаа ба инстаграм, тик токийг хөвгүүдээс охид хэрэглэх нь илүү байна. Хэдийгээр 13 болон түүнээс дээш насанд фейсбүүк хэрэглэхийг зөвшөөрдөг ч 7-12 настай хүүхдүүдийн 50% нь фейсбүүк хэрэглэдэг аж. 13-18 насны хүүхдүүдийн 10 хүүхэд тутмын 8 буюу 77%-д нь фейсбүүкийн 1-ээс олон хаягтай найз байх ба тэдний үе тэнгийн найзууд нь дунджаар 3-4 хаягтай байдаг байна. Фейсбүүкийн өөр нэгэн хаягаараа 61% нь бусадтай чатлах, танилцах, 36% нь эцэг, эхийн хараа хяналтгүй сошиал медиа ашиглах зорилготой байдаг байна.

Судалгааны шинэлэг тал. Өсвөр насныхны интернэт хэрэглээн дэх зохисгүй үйлдлийг илрүүлэх, цаашлаад судалгаанд хамрагдагчдын мэдээлэл дээр үндэслэн дүгнэлт өгөх;

Технологийн хэрэглээг даган сэтгэцийн эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөлөх хүчин зүйлийг тодорхойлох;

Цахим орчны нөлөөлөл 13-18 насны сурагчдад хэрхэн яаж нөлөөлж байгааг судлах гэх мэт.

II. СУДАЛГААНЫ ҮНДСЭН ХЭСЭГ

Судалгааны зорилго, зорилтууд. Өсвөр насныхны дунд интернэт орчны дарамт, гадуурхлын асуудал нэлээн өндөр түвшинд байгаа нь олон судалгаагаар батлагдаж байгаа ба үүнд нөлөөлж буй хүчин зүйлс, тулгамдаж байгаа асуудлуудыг судлахад оршино.

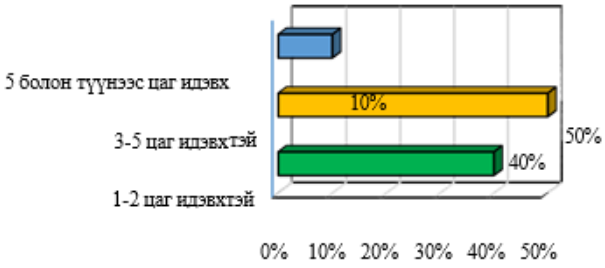
Судалгааны хамрах хүрээ. Баянзүрх дүүргийн Улсын болон хувийн хэвшлийн ЕБС-ийн 10-12 ангийн сурагчид

Судалгааны ач холбогдол. Сэтгэл судлал болон боловсрол судлалын асуудлуудад интернэтийн орчны хэрэглээ хүүхдэд хэрхэн нөлөөлж байгаа талаарх асуудалд хариулт өгч, туслах юм. Сүүлийн жилүүдэд гэр бүлийн хүчирхийлэл асар хурдацтай нэмэгдэж байгаа бөгөөд Монгол 5 хүн тутмын нэг нь сэтгэцийн өөрчлөлттэй гэсэн мэдээг СЭМҮТ-өөс гаргасан байдаг. /Сэмүт-Сэтгэцийн эрүүл мэндийн үндэсний төв/

Тэгвэл интернэтийн орчны зохисгүй хэрэглээ нь хүүхдэд хэрхэн яаж нөлөөлдөг тухай судалж байгаа нь дараачийн судлаач нарт судлагдахуун болгон ашиглах боломжтой юм. Судалгаа ба үр дүн. Интернэтийн орчны хэрэглээ хүүхдийн хандлага төлөвшилд хэрхэн нөлөөлж байгаа талаар УБ хотын улсын болон хувийн хэвшлийн сургуулиудын дунд болон ахлах ангийн нийт 200-аад сурагчдаас судалгаа авч судалгааны үр дүнг гаргалаа.

Өсвөр насны сурагчдаас авсан санал асуулга.

Асуулт 1. Сурагч та интернетийн орчинд хэчнээн цагийг зарцуулдаг вэ?



Зураг 1. Сурагчдын интернэтийн орчинд өнгөрүүлж буй хугацаа

Зураг 1-ээс үзвэл нийт 40 сурагч уг судалгаанд хамрагдсан ба сурагчдын 40% нь 1-2 цаг интернетийн орчинд идэвхтэй байдаг гэсэн бол харин үлдсэн 50%-нь 3-5 цаг идэвхтэй байдаг, зарим тохиолдолд түүнээс дээш цаг ашигладаг гэж хариулсан байна. Эндээс үзэхэд сурагчдын интернэтийн хэрэглээ өндөр байгааг харуулж байгаа ба интернэтийн орчинд бага цагаар зөв зохистой хэрэглүүлэхэд эцэг, эхийн зүгээс анхаарах хэрэгтэй байна.

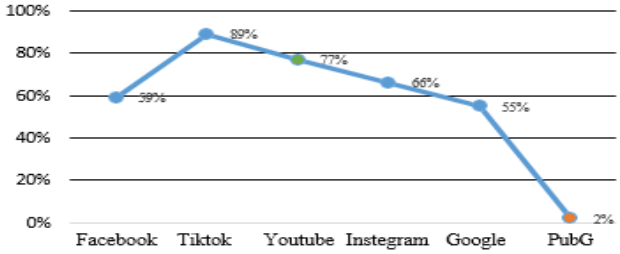
Асуулт 2. Сурагч та интернэтийг ямар зорилгоор ашигладаг вэ?



Зураг 2. Сурагчдын интернэт ашиглах хэрэгцээ, шаардлага

Зураг 2-оос харахад сурагчдын 14%-нь интернэт орчинг мэдээлэл авах зорилгоор, 21%-нь хичээлийн холбогдолтойгоор, 25%-нь бусадтай харилцах зорилгоор, 18%-нь хэрэгтэй бичлэг клип хайх, 18%-нь кино аниме үзэх, үлдсэн 4%-нь тоглоом тоглоход гэж тус тус хариулсан байна. Эндээс үзэхэд бусадтай харилцах зорилгоор интернэтийг хамгийн их ашигладаг нь харагдаж байна.

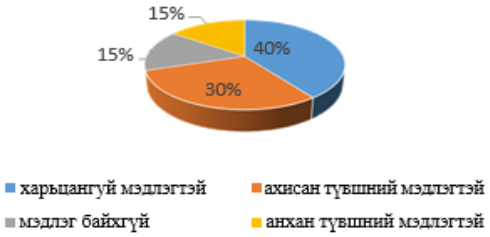
Асуулт 3. Сурагч та ямар аппликейшнийг хамгийн өргөн ашигладаг вэ?



Зураг 3. Сурагчдын дундах аппликейшн хэрэглээ

Зураг 3-аас үзвэл сурагчид сурагчдын 89%-нь Tiktok, 77%- нь Youtube, 66%-нь Instagram, 55%-нь Facebook, 55%-нь Google, 2%-нь pubg гэх мэт цахим тоглоомын аппликейшн өдөр тутамдаа хэрэглэдэг бол өсвөр насны сурагчдын дунд Youtube болон Tik tok үзэлт өндөр байгаа нь харагдаж байна.

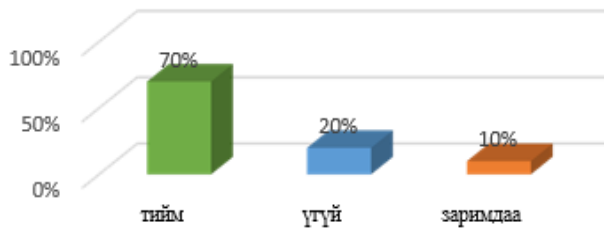
Асуулт 4. Сурагч таны интернэт орчинд хувийн нууц мэдээллээ хамгаалах талаарх мэдлэг ойлголт ямар түвшинд байдаг вэ?



Зураг 4. Сурагчдын цахим орчны хэрэглээний талаарх мэдлэгийн түвшин

Зураг 4-т нийт сурагчдын 60%-нь дунд буюу харьцангуй мэдлэгтэй, 30%-нь өндөр буюу ахисан түвшний мэдлэгтэй, 15%-нь мэдэхгүй буюу энэ талаарх мэдлэг байхгүй, харин 15%-нь анхан түвшний мэдлэгтэй гэж хариулсан байна. Иймээс сурагчдын интернэтийн орчны зохистой хэрэглээний талаарх мэдлэг ойлголтыг дээшлүүлэх хэрэгтэй.

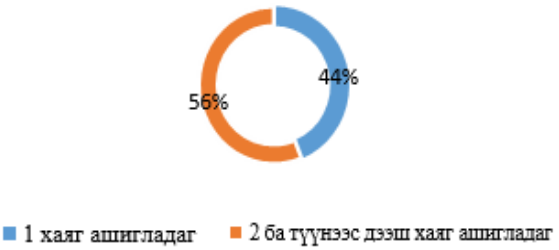
Асуулт 5. Сурагч та ямар нэгэн танихгүй хүнтэй чаталдаг байсан уу?



Зураг 5. Танихгүй хүнтэй чаталдаг эсэх

Зураг 5-т нийт судалгаанд оролцсон сурагчдын 70%-нь тийм буюу танихгүй хүнтэй чаталж байсан, 20%-нь үгүй буюу чаталж байгаагүй, харин 10%-нь заримдаа чаталдаг гэх мэт хариултыг өгсөн. Өсвөр насны хүүхдүүд аливааг сонирхож, сониуч зантай байдаг тул ихэнх сурагчид танихгүй хүнтэй чаталдаг нь харагдаж байна. Мөн энэ нь сурагчдын асран хамгаалагчдын хараа хяналт, анхаарал бага байгааг харуулж, хүүхдүүд өөрсдөө эрсдэлд орж байгаа гэдгийг мэдэхгүй, тэдэнд танихгүй хүнтэй чатлах нь олон талын эрсдэлд орж болох талаарх ойлголтууд байхгүй байгааг харуулж байна.

Асуулт 6. Сурагч та сошиалд хэдэн хаяг идэвхтэй ашигладаг вэ?

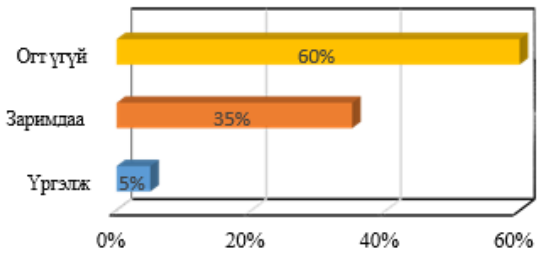


Зураг 6. Сурагчдын цахим хаяг ашиглалт

Зураг 6-д нийт сурагчдын 56%-нь 2 ба түүнээс дээш хаяг ашигладаг, 44%-нь зөвхөн 1 хаяг ашигладаг гэж хариулжээ. Эндээс харахад сурагчид интернэтийн орчинд хэд хэдэн хаяг идэвхтэй ашигладаг болох нь харагдаж байна.

Тиймээс цаашид өөрийн үндсэн хаягаараа сошиалд хандалт хийх, хуурамч хаяг нээх ашиглах нь эрсдэлд хүргэж болзошгүй болохыг сайтар ойлгуулах хэрэгтэй байна. Мөн эцэг, эхчүүдийн зүгээс интернэтийн орчинг ямар байдлаар хэрхэн ашиглаж байгаа дээр нь хяналт тавих нь зүйтэй юм.

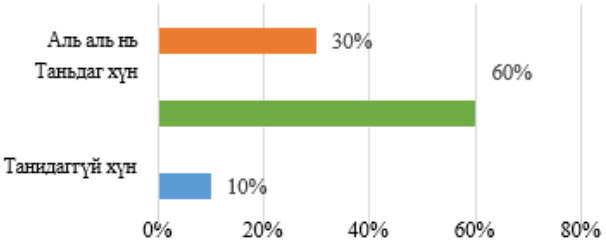
Асуулт 7. Сурагч та интернэтийн орчинд шоолох, тоглох үйлдэл бүхий дүрс бичлэг оруулж байсан уу?



Зураг 7. Сурагчдын дунд цахим орчинд зохисгүй хэрэглээ

Зураг 7-оос үзвэл олон нийтийн сүлжээнд зохисгүй үйлдэл хийж байсан эсэх, үе тэнгийн дээрэлхэлт болж байсан эсэх дээр 60%-нь үгүй, 35%-нь заримдаа, 5%-нь үргэлж ийм үйлдэл хийдэг гэсэн хариултыг өгсөн байна. Үүнээс үзэхэд сурагчдын дунд интернэтийн орчинд бие биеэ зохисгүй мэдээллээр хангах, зохисгүй байдлаар интернэтийг ашигладаг болохыг харуулж байна.

Асуулт 8. Сурагч та найзын хүсэлт авахдаа хэнийг зөвшөөрч авдаг вэ?

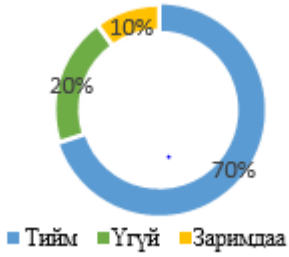


Зураг 8. Танихгүй хаягаас найзын хүсэлт авдаг эсэх

Зураг 8-аас үзвэл судалгаанд хамрагдсан сурагчдын хувьд үл таних хаягаас найзын хүсэлт ирэхэд зөвшөөрч авдаггүй сурагчид 60%-нь, 30%-нь таньдаг, таньдаггүй хаягаас найзын хүсэлтүүдийг авдаг, харин 10%-нь танихгүй хүнээс ч хамаагүй найзын хүсэлт авдаг гэж хариулсан байна. Харин дунд, ахлах ангийн сурагчдын хувьд харьцангуй биеэ даасан байдаг учраас найзын хүсэлт авахдаа хэн нэгнээс зөвлөгөө авдаггүй өөрөө шийддэг байна.

Иймээс танихгүй хүнтэй интернэт орчинд удаан эсвэл түр харилцах нь гэмт хэрэгт холбогдох болон бусад эрсдэлтэй нөхцөлд хүргэх аюултай гэдгийг ойлгуулах нь зөв юм.

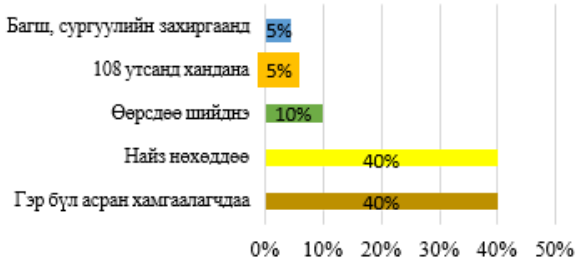
Асуулт 9. Хэн нэгэн чиний зураг бичлэг хувийн нууц зэргийг олон нийтийн сүлжээнд тарааж байсан уу?



Зураг 9. Тухайн сурагчийн хувийн нууц мэдээлэл

Зураг 9-өөс үзвэл бусдаар өөрийн нууц мэдээлэл, зураг бичлэг интернэтийн сүлжээнд тараалгуулж байсан эсэхийг асуухад 70%-нь тийм, энэ тохиолдол гарч байсан, 20%-нь үгүй, ийм тохиолдол гарч байгаагүй харин 10%-нь заримдаа тийм тохиолдол гардаг гэсэн байна. Үүнээс үзэхэд өсвөр насныхны дунд бие биеийнхээ нэр төрд халдах тохиолдлууд гардаг гэдгийг харуулж байна.

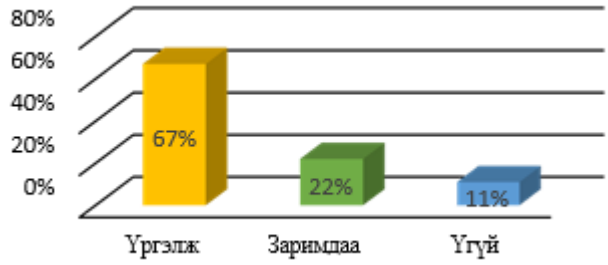
Асуулт 10. Сурагч та интернэтийн орчинд хүчирхийлэл, гэмт хэрэг гарвал хэнд хандах вэ?



Зураг 10. Сурагч гэмт хэрэг, хүчирхийлэлд өртвөл хандах суваг

Зураг 10-аас үзвэл 40% гэр бүлийнхэн буюу асран хамгаалагч, 40% найз нөхдөдөө, 10%-нь өөрсдөө шийднэ гэсэн бол 5% 108 хүүхдийн утсанд хандана гэсэн бол харин 5% багш сургуулийн захиргаанд хандах болно гэж хариулт өгсөн байна. Харин багш, сургуулийн захиргаа, хүүхдийн тусламжийн утас болох 108-д хариулт өгөөгүйн улмаас тэдний асуудлаа шийдэх буруу хэлбэр, нуун дарагдуулах, зүгээр өнгөрөөх нь дахин ийм асуудалд өртөх магадлал өндөр болохыг харуулж байна. Өөрөөр хэлбэл, сургуулийн захиргаа, багш нарын хувьд хүүхдийн гэмт хэрэг, хүчирхийлэлд өртсөн тохиолдолд мэдэхгүй өнгөрдөг нь харагдаж байна.

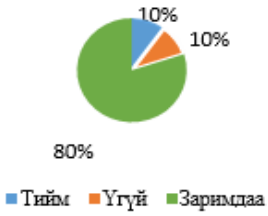
Асуулт 11. Сурагч таны гэр бүл асран хамгаалагч нараас интернэтийн хэрэглээний цагийн хуваарьт хяналт тавьдаг уу?



Зураг 11. Интернэтийн орчин дах гэр бүлийн хяналт

Зураг 11-ээс үзвэл 66.7%-нь үргэлж, 22.2%-нь заримдаа, 11.1%-нь үгүй гэж хариулт өгсөн байна. Өсвөр насны хүүхдүүдэд хэт хяналт тавих нь өөрийн орон зайг нь хязгаарладаг. Харин огт хяналт тавихгүй байвал өөрийгөө хянах боломжгүй нөхцөлд орж, олон нийтийн сүлжээг зохисгүй ашиглах мөн хэт их цагийг интернэтийн орчинд өнгөрүүлэх учраас хүүхэдтэйгээ сайтар ярилцаж, тэдэнд зөвөөр ойлгуулж мэдлэг ойлголт өгөх хэрэгтэйг харуулж байна.

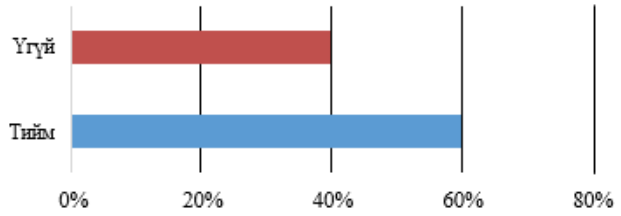
Асуулт 12. Сурагч та олон нийтийн сүлжээний хэрэглэгчдээс заналхийлсэн, үзэн ядсан, гутаан доромжилсон, нэр төрд халдсан гэх мэт таныг гүтгэсэн зурвас авч байсан уу?



Зураг 12. Цахим орчин дах хүүхдийн сэтгэл зүй

Зураг 12-оос үзвэл 80%-нь үгүй буюу тийм тохиолдол гарч байгаагүй, 10%-нь тийм буюу энэ төрлийн зурвас авч байсан, 10%-нь заримдаа ийм зурвас авдаг гэж тус тус хариултуудыг өгсөн байна. Сурагчдын 2/10-нь ийм зүйлд өртдөг нь тэдний сэтгэлзүйд нөлөөлдөг учраас интернэтийн орчинд хэт идэвхтэй байхаас зайлсхийж сэтгэцийн эрүүл мэндэд нь анхаарах хэрэгтэйг харуулж байна. Мөн эцэг, эхчүүд хүүхдийг аль болох сэтгэлзүйг нь ойлгож дэмжих, суралцах тав тухтай орчинг нь бий болгож, хүүхэдтэйгээ тогтмол ярилцах нь зүйтэй юм гэдгийг анхаарах хэрэгтэй.

Асуулт 13. Сурагч та интернэт орчинд садар самууныг сурталчилсан, уруу татсан мэдээлэлтэй тааралддаг уу?



Зураг 13-аас үзвэл сурагчдын 60%-нь тийм буюу энэ төрлийн мэдээлэлтэй тааралддаг, 40%-нь үгүй гэж хариулсан байна. Үүнээс үзэхэд интернэт орчинд тавигдах зохисгүй бичлэг их байдаг гэдгийн илрэл юм.

Өөрсдийн нас сэтгэхүйн онцлогт тааруулан, тохирсон мэдээ мэдээллийг төдийлөн авч чадахгүй байгааг нь үүнээс харах боломжтой байна. Тиймээс эцэг, эхчүүд хүүхдийнхээ интернэт орчин дах сувгуудыг зөв тохируулах, зарим тохиолдолд хяналт тавьж, тохирох зөвлөгөөг өгч байх нь чухал юм гэж үзэж байна.

Зураг 13. Садар самуун сурталчилсан мэдээлэл

III. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааг явуулснаар интернэтийн орчинд хүүхдийн хандлага, төлөвшил мөн сэтгэлзүйн эрүүл мэндэд ямар эерэг болон сөрөг нөлөөлөл үзүүлж байдаг нь харагдлаа. Иймд сургуулийн захиргаа, багш сурган хүмүүжүүлэгч мөн эцэг, эхчүүд болон гэр бүлийн гишүүд дараах зүйлсийг анхаарах хэрэгтэй. Үүнд:

Олон нийтийн мэдээллийн хэрэгсэл өсвөр насны сурагчдад эерэг ба сөрөг олон нөлөө үзүүлдэг. Энэ нь тэдний найз нөхөд, гэр бүл, хайртай дотнын хүмүүстэйгээ харилцахад сайн арга болох, хүссэн цагтаа өөрийн хүссэн мэдээллүүдийг авч болох хэрэгсэл ч олон нийгмийн сүлжээн дэх маш олон эерэг сөрөг мэдээлэл, томчуудын зохисгүй үйлдэл, буруу үлгэр дуурайлал, мөн асран хамгаалагчийн зохисгүй интернетийн хэрэглээ томоохон нөлөө үзүүлдэг.

- Интернэтийн орчны дарамт, гадуурхлын эрсдлээс сэргийлэх зөвлөмж:

Эцэг, эхийн оролцоог нэмэгдүүлэх, сургууль хамт олны дунд хяналтыг сайжруулах нь чухал байна. Мөн эцэг эхчүүд өөрсдөө хүүхдээ үлгэрлэл үзүүлж оройн цагаар хүүхэдтэйгээ хамт байхдаа сошиал медиа бага ашиглах, тэдэнтэй найз нь мэт ярилцах, өөрсдийнхөө хэрэгцээнд тохирсон гэрийн дүрэм зохиож, дагаж мөрдөх дадлыг бий болгох хэрэгтэй.

НОМ ЗҮЙ

[1] Ст. Лежер, “Цахим хэрэглээний үзүүлэх нөлөө”. Багш бэлтгэдэг их дээд сургууль, коллежийн оюутанд зориулсан цуврал хичээл. Иркутский государственный университет, 2021

[2] “Нийгмийн үзүүлэлтийн түүвэр судалгаа”, Institute of Science 2021 ху.78–83.

[3] Жен М.Твенге “Өсвөр үеийнхний гар утасны хэрэглээ” судалгааны илтгэл Mongolian National University of Education, 2023

[4] “Стресс”, Амьдрах ухааны чадвар.Чиглүүлэгчийн багц гарын авлага. National University of Mongolia, 2012

[5] “Сэтгэлийн хөдөлгөөнийг хянаж зохицуулах”, Амьдрах ухааны чадвар. Чиглүүлэгчийн багц гарын авлага. Mongolian National University of Education, 2012

[6] Б. Эрдэнэбаяр, “Сэтгэцийн эрүүл мэнд”, Office for National Statistics, 2012

[7] “Үндэсний медиа хэрэглээний судалгаа” Эм Си Жи Жи Department of Information Communication Organization, 2023

[8] “Эрүүл мэнд” Бага боловсролын сургалтын хөтөлбөр, суралцахуйн удирдамж. БСШУСЯ, ЭМ. Office for National Statistics, 2018

[9] “Эрүүл мэнд” Суурь, бүрэн дунд боловсролын сургалтын хөтөлбөр, суралцахуйн удирдамж. БСШУСЯ, ЭМЯ. UNICEF, 2018

[10] 3.Бадамсамбуу. Э.Нэргүй “Сургалтын арга, хэрэгсэл”, Mongolian National University of Education, 2018

[11] Г.Уртнасан, “Гар утасны хэрэглээ”, Байгаль орчин сэтгүүл, University of Science and Technology, 2012

[12] Ч.Наранчимэг, “Эцэг эхийн боловсролын түвшин хүүхдэд нөлөөлөх нь”, University of Science and Technology, 2022

[13] С.Нэргүй, “Сурагчийн мэдлэгийг шалгах үйл ажиллагааг боловсронгуй болгох арга зам”, УБ: Адмон. National University of Mongolia, 2022

[14] Ш.Ичинхорлоо, “Хүүхдээ хэрхэн хүмүүжүүлэх вэ?” , Mongolian National University of Education, 2016

[15] 21-р зууны суралцахуйн үйл ажиллагааны тэнцвэржүүлэлт (21st Century Learning balance)

[16] ADEA. (2003). Case study on distance education for teacher education in Mauritius. ADEA Biennial Meeting, Mauritius

[17] Andersen, C.J. (1998). Fact Book on Higher Education. Phoenix, AZ: American Council on Education and The Oryx Press.

[18] Article in Asian Education and Development Studies, August 2020

[19] [18] Beaudoin, M. (1990), “The Instructor’s Changing role in Distance Education”. The American journal of Distance Education, 4(2): 21-27.

[20] Berge, Z. (1995). “The Role of the Online Instructor/Facilitator”. Education Technology, 35(1): 22

[21] Brunham, B.R. and R.A. Seamons (1987), “Exploring the Landscape of Electronicn Distance

[22] Education”. Lifelong Learning: an Omnibus of Practice and Research. 11(2): 8-11

C. Jack, Richards and S.Theodor,Rodgers, “Approaches and Methods in language Teaching” Cambridge University Press, 2018

[23] Jim Schweizer “Internet basics for ESL students”

[24] Michael McCarthy, Jeanne McCarten, Helen Sandiford “Touchstone”, 2009

[25] Сургалтын хүртээмжийг дээшлүүлэхэд цахим сургалтыг ашиглах нь, Mongolian National University of Education, 2012

Үзүүлэн илтгэл



Автомат ус түгээх системүүдийн харьцуулсан судалгаа

Чулуунбатын Нарантунгалаг
Электроникийн салбарын магистр
ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Улаанбаатар, Монгол Улс
ch.nomukas@gmail.com

Аюурзанын Одгэрэл
Электроникийн салбарын багш
ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Улаанбаатар, Монгол Улс
odgerel55@must.edu.mn

Хураангуй - Манай улсад 2003 оноос Дэлхийн банкны санхүүжилтээр нэгдсэн усан сангуудын мэдээллийг радио сүлжээ ашиглан мэдээллийн сан үүсгэж, нэгтгэх ажил хийгдсэн. Ус түгээх худгуудыг 2014 оноос УСУГ (Ус сувгийн удирдах газар)-с тендер зарлан автоматжуулах ажил эхэлсэн. Улаанбаатар хотын хэмжээнд УСУГ-ын төвийн шугамд холбогдсон нийт 330 худаг байдаг. Үүнээс 153 худгийг автоматжуулсан. Автоматаар ажилладаг 4-5 худгийн дунд нэг ус түгээгч ажилладаг бөгөөд цаашид үлдсэн 177 худгийг автомат болгохоор ажиллаж байна. Уг судалгааны ажлаар 2014 болон 2019 онуудад хөгжүүлж хэрэгжүүлсэн автомат УТБ (Ус түгээх байр)-ны системүүдийн ажиллах зарчмыг талаар харьцуулан судаллаа. 2019 онд хэрэгжүүлсэн буюу одоо ашиглаж буй систем нь удирдлагын техник болон програмын шийдэл нь сайжирсан. Усны электрон тоолуурын нарийвчлал сайжирсан. Тайлан тооцоо хийх нэгдсэн програм хангамж, өгөгдлийн сантай зэрэг олон давуу талуудтай болсон.

Түлхүүр үг – УСУГ, УТБ, оператор, RFID, 4G, усны тоолуур

I. Удиртгал

Манай улс нь 2000 оны эхэн хүртэл гэр хорооллын оршин суугчид ундны хэрэглээний усаа авдаг худгууд нь гар ажиллагаатай, хэрэглэгчийн усны савны хэмжээгээр нь багцаалдан ус түгээгч төлбөрийг тооцон авдаг байсан. 2003 оноос Дэлхийн банкны санхүүжилтээр нэгдсэн усан сангуудын мэдээллийг радио сүлжээ ашиглан мэдээллийн сан үүсгэж, нэгтгэх болон автоматжуулах ажлууд хийгдэж эхэлсэн [1]. Ус түгээх худгуудыг 2014 оноос УСУГ (Ус сувгийн удирдах газар)-с тендер зарлан автоматжуулах ажил эхэлсэн. Уг ажил нь зөвхөн Улаанбаатар хотод байршилтай УТБ-уудад хамааралтай бөгөөд хөдөө орон нутагт уг ажил нь удаашралтай байна. Улаанбаатар хотын хэмжээнд УСУГ-ын нийт төвийн шугамд холбогдсон 330 худаг байдаг. Үүнээс өнөөгийн байдлаар 153 худгийг автоматжуулж нэгдсэн хяналтын төвд холбосон. Автоматаар ажилладаг 4-5 худгийн дунд нэг ус түгээгч ажилладаг бөгөөд цаашид үлдсэн 177 худгийг автомат болгохоор ажиллаж байна.

Хөдөө орон нутгийн УТБ-уудын автоматжуулах ажлыг хувийн хэвшлийн компаниуд гүйцэтгэж байна. Жишээ нь Цахим Алт ХХК нь Увс, Ховд, Сүхбаатар, Дархан-Уул аймгуудын цэвэр усны нөөцийн савны хяналт, ус шахах станцын автоматжуулалт, ухаалаг худгийн системүүдийг хийж гүйцэтгэсэн.

Хүснэгт 1-д Улаанбаатар хотод байршилтай автоматжуулсан худгийн тоо болон байрлах дүүргийг харуулав.

Хүснэгт 1. Автоматжуулсан худгийн тоо

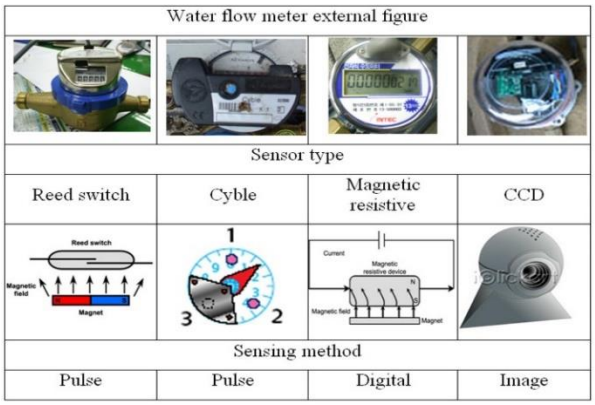
№	Дүүрэг	Худгийн тоо хэмжээ
1	Баянзүрх	30
2	Сүхбаатар	22
3	Сонгинохайрхан	32
4	Чингэлтэй	43
5	Хан-Уул	22
6	Баянгол	4
Нийт		153

Ус хангамжийн тоног төхөөрөмжийг орчин үеийн IoT тоног төхөөрөмж ашиглан удирдах бүрэн автомат систем нэвтрүүлэн ажиллаж байна. Усан сангийн түвшинг хэмжиж, эх үүсвэрийн худгийг автоматаар асааж унтраах, мотор, насосуудыг тохируулсан хугацаагаар автоматаар удирдана. Мөн инвертерийг шугамын даралтаас нь хамааран давтамжийг удирдах, хяналтын програм дээр бүх мэдээллийг нэгтгэж харуулах зэрэг функцуудтэй.

Ажилтнуудыг гар утсанд автоматаар мэдээлэл илгээнэ. [2]. Ундны усны эх үүсвэр буюу бүх гүний худаг, өргөгч станцуудыг автомат ажиллагаатай болгосноор хэрэглэгчдэд хүрч буй ундны усны аюулгүй байдал хангагдахаас гадна, усны өртөг зардал тогтвортой байх боломж бүрдсэн [3]. Хөдөө орон нутагт худгийн мал услах ажиллагааг хүний оролцоогүйгээр, ухаалаг ажиллагаатай болгохын тулд сэргээгдэх эрчим хүчээр тэжээж, автоматаар ажиллах төхөөрөмж зохион бүтээж ашигласан. Зохион бүтээсэн автомат удирдлагын төхөөрөмж нь хөдөлгөөн болон усны түвшин мэдрэгчүүдийн тусламжтайгаар мэдээлэл авч, Arduino mega микроконтроллёр ашиглан мэдээллийг боловсруулж, худгийн насосны ажиллагааг автоматаар удирдсан [4].

УТБ-д ашиглаж байгаа уламжлалт механик усны тоолуурыг электрон усны тоолуур болгон сольж байна. Механик усны тоолуурыг халуун болон хүйтэн усны зориулалттай гэж ангилдаг. Мөн хэрэглээнээсээ хамаарч айл өрхөд 13мм диаметртэй, аж ахуйн нэгж, албан байгууллагад 20мм болон түүнээс диаметртэй тоолууруудыг тус тус ашигладаг. Тоолуурыг халуун,

хүйтэн усны шугаманд холбоно, ус тоолууруар өнгөрөхөд дотор нь байх сэнс эргэх ба энэ сэнс нь олон араа шүдтэй харьцаж тоолуурыг заалтын цифрүүдийг эргүүлэх зарчмаар механик тоолуур ажилладаг. Тоолуур дээрх улаан зүү нэг бүтэн эргэхэд хэдэн литр ус тоолуураар өнгөрсөнийг илэрхийлдэг. Жишээ нь механик тоолуурт 4 улаан зүү бүхий заалт байдаг ба энэ нь зүүний 1 бүтэн эргэлт 1л, 10л 100л, 1000л ус өнгөрч байгааг заана. Механик тоолуур дээр мэдрүүр байрлуулан электрон тоолуур болгоно. Зураг 1-д усны электрон тоолуурын зарим төрлийг харуулав.



Зураг. 1. Усны электрон тоолуурын төрөл [5]

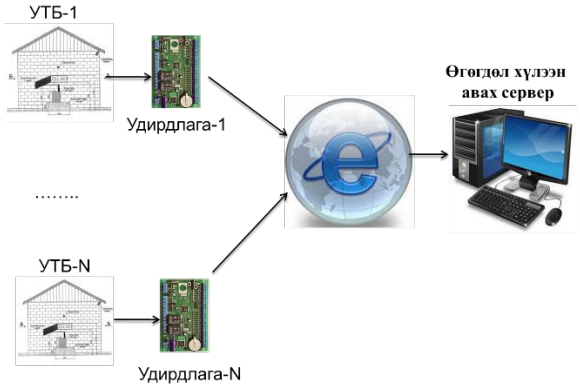
Тоолуурын заалтын зургийг авч дүрс боловсруулалтын аргаар заалтын тоог танидаг аргыг [6] судалгааны ажилд судалсан ба энэ арга нь камер хөдлөх, тоолуурын дотор тоос шороо ороход дүрс бүдгэрэх зэрэг дутагдалтай талууд ихтэй байдаг. MR (Magnetic resistive) буюу соронзон эсэргүүцлийг ашигладаг арга нь сүүлийн жилүүдэд өргөнөөр ашиглаж байна. Уг арга нь Холлын үзэгдэл (Hall effect) дээр үндэслэсэн. Сайбл (Cyble) аргыг Францын компани мөн MR мэдрүүрийг ашиглан хөгжүүлсэн. MR болон Cyble аргууд нь технологийн шийдлийн хувьд үнэтэй байдаг [7].

Рид свич (Reed switch) мэдрүүр ашигласан электрон усны тоолуур нь хамгийн энгийн бүтэцтэй, үнэ өртөгийн хувьд ч боломжийн тул дэлхий даяар усны тоолуурын автомат системүүдэд өргөнөөр ашиглаж байна. Рид свич нь тоолуурын буруу эргэлтийг мэдрэхгүй, мөн соронз хоёр ялтасын орчимд зогссон тохиолдолд нэг дор олон импульс өгдөг зэрэг дутагдалтай талуудтай бөгөөд эдгээр дутагдалтай талуудыг багасгах судалгааны ажлууд хийгдсэн [8]. Мөн рид свич мэдрүүр ашигласан усны тоолуурын автомат системийн судалгааг хийсэн [9, 10]-д хийсэн. Уг судалгааны ажлын 2014 оны УТБ-ны автомат системийн загварт рид свич буюу пульс тоологч усны электрон тоолуурыг ашигласан. MR төрлийн мэдрүүр ашиглан усны тоолуурын өгөгдлийг CDMA болон GSM модем ашиглан дамжуулах системийн судалгааг хийсэн [11, 12]. Хэт улаан туяаны (Infrared) мэдрүүрийг усны тоолуурын заалтыг уншихад ашиглаж, дамжуулалтанд LoRa технологи ашигласан судалгааг [13, 14]-д хийсэн. Ультрасоник мэдрүүр бүхий усны тоолуурын автомат системийг [15]-д судласан. Ультрасоник мэдрүүр ашигласан усны электрон тоолуур нь нарийвчлал сайтай бөгөөд энэ судалгааны ажлын 2019 онд хөгжүүлсэн УТБ-ны автомат системд ашигласан.

II. СИСТЕМИЙН ШИЙДЭЛ

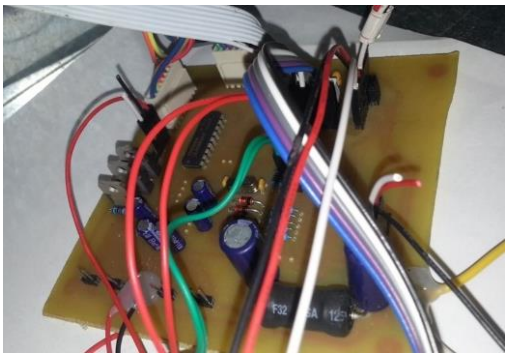
A. 2014 онд хөгжүүлсэн системийн шийдэл

2014 онд хөгжүүлж хэрэгжүүлсэн системийн ерөнхий бүтцийн диаграмыг дараах зурагт харуулав.



Зураг. 2. 2014 онд хөгжүүлсэн системийн бүтцийн диаграм

2014 онд хөгжүүлсэн системийн удирдлагын хавтанг дараах зурагт харуулав. Удирдлагын хавтан нь ATMega328 микроконтроллёр, мэдээлэл харуулах LCD дэлгэц, тоон товчлуур, хяналтын LED гэрлүүд, чанга яригч, компьютертай холбох цуваа порт, усны тоолуурыг нээж хаах хавхлагыг удирдах хэсгээс тус тус бүрдэнэ.



Зураг. 3. 2014 онд хөгжүүлсэн удирдлагын хавтан

2014 онд хөгжүүлсэн системийн удирдлагын хэсгийн дараах зурагт харуулав. Удирдлага нь мэдээлэл харуулах LCD дэлгэц, тоон товчлуур, RFID карт уншигч хэсэг гэсэн үндсэн хэсгүүдээс бүрдэнэ.

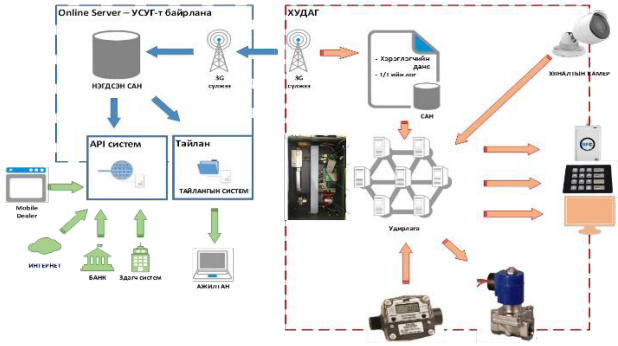


Зураг. 4. Удирдлагын хэсгийн харагдах байдал /2014/

Хэрэглэгч авах усны хэмжээг товчлууpаар оруулна. RFID-тай төлбөрийн картаа карт уншуулагчид уншуулсанаар усны автомат хавхлага нээгдэнэ. Усны хэмжээ болмогц хавхлага автоматаар хаагдана. LCD дэлгэц дээр мэдээллүүд харагдах зарчмаар ажиллана. Электрон усны тоолуурын утгыг GPRS модемоор мэдээллийн төвд өдөртөө нэг удаа илгээнэ.

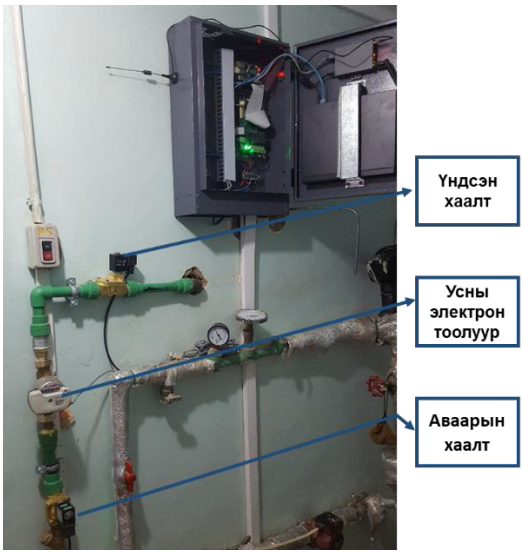
B. 2019 онд хөгжүүлсэн системийн бүтэц

2019 онд хөгжүүлж хэрэгжүүлсэн системийн ерөнхий бүтцийн диаграмыг дараах зурагт харуулав.



Зураг. 5. 2019 онд хөгжүүлсэн системийн бүтцийн диаграм

УТБ-ууд нэгдсэн нэг удирдлагын төвтэй болсон. Удирдлагын техник болон програм хангамжийн шийдлүүдэд сүүлийн үеийн технологиуд хэрэглэж хурд, өгөгдөл дамжуулалт болон багтаамж сайжирсан. УТБ бүр дээр өндөр нягтрал бүхий тоон камер суурилуулсан. Худгууд 3G/4G сүлжээгээр удирдлагын төвтэйгөө холбогдон мэдээллээ солилцдог болсон. Нэгдсэн өгөгдлийн сан дээр УТУТ-ын ус авсан бүртгэл, картын үлдэгдэл, худгуудын ажиллагааны төлөвийн мэдээлэлүүд хадгалагдана. API системээр УТУТ карт цэнэглэлттэй холбоотой банкны систем, Монпэй, 3дагч системтэй холбогдоно. Тайлангийн системээр худгуудын төлөв, картын мэдээллүүдээ шалгадаг болсон. Банкны цэнэглэлтийн систем нь тусгай системээр дамжиж мэдээллээ дамжуулдаг.



Зураг. 6. Нэг УТБ-ны бүтэц

Нэг УТБ-ны бүтцийг дээрх зурагт харуулав. Нарийвчлал сайтай ультрасоник мэдрүүр бүхий усны электрон тоолуур нь усны мэдээллийг автоматаар тоолно. Электрон усны хаалт буюу хавхлага нь хэрэглэгчид RF карт ашиглан төлсөн мөнгөний хэмжээгээрээ ус авсаны дараа цахилгаан соронзон ашиглан автоматаар усыг хаана. Аваарын хаалт нь аваар осол тохиолдох үед усыг автоматаар хаахаар тохируулагдсан хаалт юм. Дээрх функцуудыг Raspberry Pi 3.0 болон Arduino Mega өндөр хүчин чадал бүхий микроконтроллёрууд ашиглан гүйцэтгэнэ.



Зураг. 7. Удирдлагын хэсгийн харагдах байдал /2019/

Нэг УТБ-ны удирдлагын хэсгийн хэрэглэгчдэд харагдах байдлыг дээрх зурагт харуулав. Хэрэглэгч авах усны хэмжээг тоон товчлууpаар оруулна. RFID бүхий төлбөрийн картаа карт уншуулагчид уншуулсанаар усны автомат хаалт нээгдэж усыг түгээнэ. Усны хэмжээ болмогц хаалт автоматаар хаагдана. LED дэлгэц дээр усны төлбөрийн болон усны мэдээллүүд харагдана. Усны электрон тоолуурын утгыг 3G/4G модемоор удирдлага мэдээллийн төвд өдөртөө нэг удаа илгээнэ.

III. Туршилт, үр дүн

2019 оноос хөгжүүлж өнөөг хүртэл УТБ-д ашиглаж буй систем нь 2014 онд хөгжүүлсэн автомат удирдлагын системээс ашигласан техник болон програм хангамжийн шийдэл нь илүү хурд, хүчтэй, багтаамж сайтай болсон. Илүү хурд, хүчтэй, багтаамжтай микроконтроллёрууд ашигласан. Ультрасоник мэдрүүр бүхий усны электрон тоолуур ашигласан нь нарийчлалыг нэмэгдүүлсэнээр алдааг багасгасан. Цахилгаан тасарсан үед 4-6 цаг цахилгаанаар хангах UPS төхөөрөмжөөр удирдлагын хэсгийг тэжээсэн. IP буюу тоон камераар УТБ-ыг бодит хугацаанд хянадаг. Усны тоолуурын утгыг 3G/4G сүлжээ ашиглан мэдээллийн серверт илгээж нэгдсэн тайлан тооцоо хийдэг болсон. Харагдах байдал сайжирч, хэрэглэгчид хэрэглэхэд хялбар, ойлгомжтой болсон.

Хүснэгт 2. 2014 болон 2019 оны автомат УТБ-ны системүүдийн харьцуулалт

№	Автомат тоолуурын бүтэц	2014 оны загвар	2019 оны загвар
1	Удирдлагын микроконтроллёр	ATMega328	Raspberry Pi 3.0, Arduino Mega
2	Дэлгэц	LCD 4x16	OLED
3	Усны электрон тоолуур	Пульс тоологч, механик тоолуур (нарийвчлал муу)	Ультрасоник, цахилгаан соронзон тоолуур (Нарийвчлал сайн)
4	Автомат хаалт	Үйлдвэрлэлийн бус	Цахилгаан соронзон хаалт
5	Дата дамжуулалт	2G	3G/4G
6	Төлбөр төлөлт	RF карт	RF карт
7	Тог баригч (UPS)	1-2 цаг, 35А	4-6 цаг, 40-60А
8	Хяналтын камер	Аналог	IP
9	Усны шланк	PPR	Сайжруулсан резинэн рольктой

Ашиглалтын явцад удирдлагын хавтанг нь шууд унтрааж асаасанаас болж техникийн гэмтэл үүсэж байна. Одоогоор алдаа заасан төхөөрөмжүүдийг операторoос команд явуулж унтрааж асааж байна. Цахилгааны хэлбэлзэлээс болж контроллёр хэсгийн төхөөрөмжүүд болон 3G/4G модемны модул шатах асуудлууд гарсан. Шалтгаан нь гэр хорооллын цахилгаан хангамж муу, төвийн шугамаас хүчдэл уналттай ирдэг, цахилгаан тасралт их зэргээс болж байна. Товчлуур (keypad) ашиглалтын явцад элэгдэж, товчлуурын ялтас хагарч товчлуур дарагдахгүй байх, мөн хэрэглэгчид зориудаар цохиж эвдэх тохиолдолууд гарч байна. Усны ультрасоник электрон тоолуур нь соронзон мэдрэгчтэй тул цахилгаан соронзон орны нөлөөллөөс болж ус их, бага тоологдсон тохиолдолууд бүртгэгдсэн. Автомат хаалтны соронзон мембрам резин нь цоорох, шугамын жижиг хог бөөгнөрсөөр соронзон нь татахгүйгээс хаалт хаагдахгүй байх зэрэг алдаанууд гарсан. Аваарын хаалт өөрөө автоматаар хаагдсан бөгөөд команд алсаас илгээгээд нээгдэхгүй тохиолдол гарч газар дээр нь очиж засварлах тохиолдол мөн гарсан. Санах ой SD карт нь чийгтэй, хүйтэн, халуунд ажиллаж байгаа нь програмын ажиллагаанд нөлөөлж байсан.

IV. Дүгнэлт

Усны төлбөрийг RF карт ашиглан төлдөг системд шилжсэнээр иргэд худгаар үйлчлүүлэхэд илүү хялбар болж, цагийн хязгаарлалтгүй болсноор 7 хоногийн 24 цагийн аль ч үед хэрэглэгч усаа авах боломжтой болсон. Усны зарцуулалт, картын цэнэглэлт, хэрэглэгчийн бүртгэл нь мэдээллийн санд хадгалагдаж сарын болон тухайн сонгосон хугацааны тайлан харах боломжтой. Төлбөрийн нарийвчилсан систем, тоног төхөөрөмжийн ажиллагаа сайжирснаар усны үргүй зардал буурч хэмнэлт гарсан. Мөн ундны усан хангамжийн хүртээмж сайжирсан. 2014 онд хөгжүүлсэн автомат УТБ-ны удирдлагын системээс 2019 оны систем нь ашигласан техник болон програм хангамжийн шийдэл нь илүү болсон. Илүү хурд, багтаамжтай микроконтроллёр ашигласан. Усны электрон тоолуурын нарийчлал нэмэгдсэнээр алдаа багассан. Усны тоолуурын утгыг 3G/4G сүлжээ ашиглан мэдээллийн серверт илгээж нэгдсэн тайлан тооцоо хийдэг болсон. Харагдах байдал сайжирч, хэрэглэгчид хэрэглэхэд хялбар, ойлгомжтой болсон. Цаашид төхөөрөмжийг илүү сайжруулж гарч буй гэмтэл саатлыг арилгах, засах дээр анхаарах шаардлагатай.

Ном зүй

[1] Ус сувгийн удирдах газар, www.usug.ub.gov.mn

[2] Цахим Алт ХХК “Ус хангамж автоматжуулах цогц шийдэл” 2022

[3] http://www.chandmani-ilch.mn/projects/

[4] Д.Баатархүү, З.Түвшинтөр, Ж.Амгаланзул “Худгийн насосны ажиллагааг автоматжуулах төхөөрөмжийн судалгаа” Mongolian Journal of Agricultural Sciences, June 2017, DOI:10.5564/mjas.v20i01.790

[5] А.Одгэрэл "Усны электрон тоолуурын өгөгдлийг WI-FI сүлжээ ашиглах дамжуулах нь", Цахим Үндэстэй-2021 ЭШХ, 2021.06.30

[6] Shantala, Latha H K, S.V Mohanasundaram, Gokul Krishnan and Niyathi Shenoy “An approach to Extract Text from Water Meter Images using OpenCV-Python”, ICSIPCA-2017, 6-7 July 2017, Bengaluru, India,

[7] Kanishk Shrotriya, Manish Jain, Madhur Mittal, “Digital Water Meter Using Arduino” International Journal of Engineering and Management Research, Vol-7, Mar-Apr 2017, pp 276-279

[8] Odgerel Ayurzana, Hiesik Kim, “Analysis of Chattering Error on Reed Switch for AMR System of Water Supply” U-Media-2014, IEEE Conference, 12-14 Jul 2014, Ulaanbaatar, Mongolia

[9] А.Одгэрэл, Н.Мягмаржав "Усны электрон тоолуурын мэдээллийг шифрлэн дамжуулах нь" InfoNet&Sec-2020, ЭШХ, ШУТИС, Номын сан, хх 45-48, 2020.01.17

[10] Yogendra P Joshi, M. B. Tadwalkar “Implementation of GSM Based Water Meter a Step towards Automation in Billing System” Journal of Electronics and Communication Engineering Volume 9, Issue 4, Jul 2014

[11] Odgerel Ayurzana, Yongman Park, Jongwon Kwon, Hiesik Kim "Realization of Automatic Remote Measurement of Water Meter using the CDMA Telecommunication" CASS 2006, 1~3. June 2006, KINTEX, Korea, pp496~499

[12] Mwangi Peter Ngugi "A low cost water consumption meter system based on GSM” Master thesis of Kenyatta University, Oct 2016

[13] Dinesh Bhoyar, Barkha Katey, Manish Ingle, “LoRa Technology Based Low Cost Water Meter Reading System” 3rd ICIoTCT-Mar 26-27 2018, Jaipur, India

[14] Stefano Alvisi, Francesco Casellato “Wireless Middleware Solutions for Smart Water Metering” MDPI Journal of Sensors, 18 April 2019

[15] Chul-Ho Lee, Hye-Kyung Jeon "An implementation of ultrasonic water meter using dToF measurement", Journal of Cogent Engineering, 25 Sep, 2017

Нано Хиймэл Дагуулын Системийн Аюулгүй Байдлын Зарим Асуудлууд

Эрдэнэтуяа Эрдэнэбилэг
Холбооны салбар
ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
erdenetuya.e@must.edu.mn

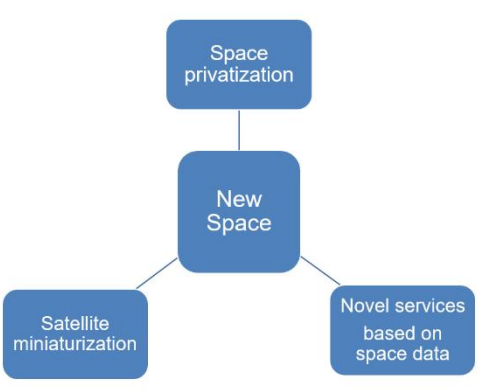
Батдалай Сүх
Холбооны салбар
ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
batdalai@must.edu.mn

***Хураангуй*—Сансрын холбооны систем нь харилцаа холбоо, тандан судалгаа, навигаци болон цэргийн зориулалттай гэх мэт олон талт чухал хэрэглээг хангахын тулд 5G эрин үед нэгдмэл утасгүй сүлжээнүүдийн салшгүй нэг бүрэлдэхүүн хэсэг болж байна. Гэвч утасгүй дамжууллын орчин эсвэл сүлжээ нь хааяагүй холболт бүхий радио долгионы тархалттай учраас системийн аюулгүй байдлын эрсдэл ба эмзэг байдал өндөртэй юм. Ялангуяа нам орбит (LEO)-ын бичил буюу нано хиймэл дагуулын технологи нь ихэвчлэн өртөг багатай, аюулгүй байдлын хамгаалалт султай байдаг. Энэ өгүүлэлд бид нам орбитын хиймэл дагуулын системүүдэд үүсээд байгаа аюулгүй байдлын сорилтууд, эмзэг байдал, түүнээс хамгаалах идэвхтэй ба идэвхгүй арга замуудыг танилцуулна. Мөн бид нано хиймэл дагуулын физик түвшин дэх эмзэг байдлыг тодорхойлохын тулд сонирхогчийн гадаргуугийн хавтгай (¼ wave ground plane) антен бүхий LoRa газрын станцыг ашиглан DL (Down Link) талын холболт, туршилт хийсэн зарим үр дүнгүүдийг танилцуулах болно.**

Түлхүүр үг—Нано хиймэл дагуул, LEO орбит, аюулгүй байдлын эрсдэл, эмзэг байдал, халдлага, LoRa газрын станц

I. Танилцуулга

Саяхнаас сансрын эрин үеийн шинэ эхлэл гэж нэрлэж болох техник, технологийн болон үйлчилгээний өргөн хүрээнд тодорхойлогдох шинэчлэлүүд хувийн хэвшлийн /бизнесийн байгууллагууд (SpaceX, Amazon, OneWeb, Telesat, O3B гэх мэт)-ын хөгжүүлэлтээр хэрэгжиж эхлээд байна [1]. Эдгээр нь NGSO (Non-Geostationary Satellite Orbit) хиймэл дагуулын бүлгийг ашиглан интернэт сүлжээнд суурилсан (медиа урсгал, өргөн зурвасын интернэт гэх мэт) үйлчилгээнүүдийг алслагдсан болон сүлжээ хүрэхгүй газруудад хүргэх, газрын сүлжээний хамрах хүрээг өргөтгөх зорилгоор хэрэгжиж байна [3]. Түүнчлэн 5G холбооны шинэ ололт нь газрын болон сансрын сүлжээний нэгдэн нийлэлт (convergence)-ийг шаардаж байгаа нь массив MTC (massive- Machine Type Communication), S-IoT (Satellite-Internet of Things) хэрэглээний зах зээл эрчимтэй хөгжихэд түлхэц болсоор байна.



Зур.1. Сансрын шинэ эрин үе

Сансрын шинэ эрин үе (New space):

- Сансрын хувьчлал (SpaceX, Amazon..,)
- Бага оврын (микро/нано/пико) хиймэл дагуулын системийн хөгжүүлэлт
- Хиймэл дагуулын өгөгдөл боловсруулалтад суурилсан шинэ үйлчилгээ (S-IoT хэрэглээнүүд)

Инноваци маш хурдацтай явагдаж байгаа нэг салбар бол хиймэл дагуулын бүтцийн дэд систем буюу хийц юм. Микро/нано технологийг хиймэл дагуулын техник хангамж (ж: LoRa модуль)-д хэрэглэснээр дагуулын жин болон овор хэмжээг багасгахаас гадна нэг хөөргөх төхөөрөмжөөр хэд хэдэн дагуул хөөргөх боломжийг бий болгосон. Микро хиймэл дагуул нь 10-100 кг жинтэй бол нано хиймэл дагуул нь 1-10 кг жин бүхий Куб хиймэл дагуул (1U CubeSat: 10см×10см×11.35см)-ын төрөл юм. Эдгээр хиймэл дагуулууд нь ШУ-ны судалгаа, технологи хөгжүүлэлт ба туршилт, дэлхийн ажиглалт ба тандан судалгаа, харилцаа холбоо, мөн их сургуулиудын туршилт, судалгааны гэсэн чиглэлүүдэд хөгжүүлэгддэг. Үүнтэй зэрэгцээд S-IoT зах зээл эрчимтэй хөгжиж эхэлсэн бөгөөд дэлхийн ажиглалт, хөдөлгөөнт объектыг мөрдөх, мэдрэгч төхөөрөмжүүдээс өгөгдөл цуглуулах зэрэг олон төрлийн шинэлэг хэрэглээг бий болгоод байна. IoT-ийн зах зээлд үйлчилдэг аливаа дэд бүтцэд тавигдах шаардлага нь бага чадлын, бага оврын төхөөрөмжүүдийн хааяагүй холболт үүсгэх юм. IoT сүлжээний холболтыг 2 ангилж болно. Үүнд:

- Холын зайн сүлжээ (3GPP /2-5G/ эсвэл SigFox & LoRaWAN)
- Ойрын зайн сүлжээ (WiFi, Bluetooth, Zigbee г.м)

LoRa (Long Range) нь тархмал спектртэй модуляцийн техникийг ашиглан холын зайд бага чадлаар 0.3-50 кбит/с хурдтай ачааллыг дамжуулах чадвартай бөгөөд зөвхөн физик (MAC) түвшинг хамрах техник юм. Тиймээс аюулгүй байдлын хувьд E2E (End to End) бүтэцтэй. LoRa нь олон тооны ялгаатай үйлдвэрлэгчдээр бага өртөгтэй, овор багатай байхаар загварчлагдсан байдаг учраас техник хангамжийн ихэнх шийдэл нь аюулгүй байдлын хамгаалалтыг орхигдуулсан байдаг. Тиймээс LoRa бүтцийн ийм сул тал нь системийн аюулгүй байдлын эмзэг байдлыг үүсгэж, халдлагад өртөх магадлал өндөр болоод байна.

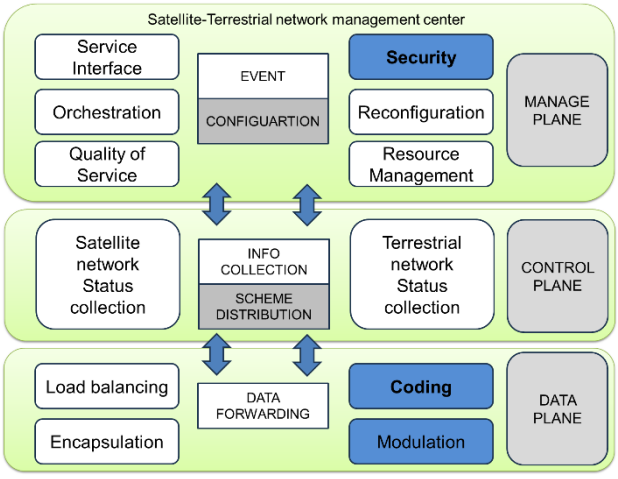
II. Аюулгүй байдлын асуудлууд

A. Шаардлага ба сорилтууд

Дараа үеийн утасгүй сүлжээнүүд (газрын ба сансрын орчинд)-ийн нэгдэн нийлэлтийн явцад найдваржилт өндөртэй, хааяагүй холболт бүхий гибрид систем эсвэл сүлжээний бүтцийг бий болгоход дараах хэд хэдэн шаардлага тавигдаж байна [1]. Үүнд:

- Олон талт хэрэглээний боломжууд (харилцаа холбоо, тандан судалгаа, навигаци, батлан хамгаалахын зориулалттай г.м)
- Хамрах хүрээний хаяагүй холболтууд
- Нэгдмэл сүлжээний менежментийн асуудлууд
- Найдвартай буюу хамгаалалттай сүлжээ

Ялангуяа системийн аюулгүй байдлын асуудлууд нь дэд бүтцийн аль ч шатанд тохиолдох систем эсвэл технологийн эмзэг байдал, эрсдэл/аюул занал зэргийг тодорхойлохоос гадна үндэстний хэмжээний мэдээллийн аюулгүй байдлын асуудлуудыг хамрах өргөн хүрээтэй.



Зур.2. SDN (Software Defined Network)-д суурилсан сансар-газрын гибрид сүлжээний функционал архитектур

Зураг 2-д сансар-газрын хосолсон сүлжээний үйл ажиллагааны архитектурыг программ хангамжаар тодорхойлогдох сүлжээ (SDN)-нд суурилсан загвараар дүрслэн харуулав [2]. SDN нь сүлжээний функцийн виртуалчлалыг дэмжиж ажилладаг бөгөөд хиймэл дагуулын техник хангамжийг газрын сүлжээнээс бүрэн удирдах, хянах боломжийг бий болгодог. Түүнээс гадна, хиймэл дагуулын сүлжээ нь ихэвчлэн үйл ажиллагааны орчноосоо шалтгаалан тодорхой тохиргоотой байдаг. Ялангуяа сүлжээний замчлал (routing), QoS, аюулгүй байдал, радио нөөцийн менежмент, холболт тогтолтын функцууд нь газрын сүлжээтэй холбогдох чухал хэсэг юм. SDN-д суурилсан хосолсон сүлжээг өгөгдлийн шугам (data plane), хяналтын шугам (control plane) ба удирдлагын шугам (manage plane) гэсэн 3 хэсэгт хуваах ба өгөгдлийн шугам нь сансар-газрын хооронд өгөгдөл дамжуулах физик (MAC) түвшний асуудлуудыг авч үздэг. Өгөгдлийн шугамд аюулгүй байдлын хамгаалалт хийхийн тулд дэвшилтэт модуляц ба кодлолын аргаар хэрэгжүүлдэг бол удирдлагын шугамд сүлжээний аюулгүй байдлын нууцлал, шифрлэлтийн олон талт аргуудыг авч үздэг. Одоогийн байдлаар хиймэл дагуулын сүлжээний кибер аюулгүй байдлын стандарт, түүнийг удирдах зөвлөл гэж байхгүй. Тиймээс газрын сүлжээнээс хиймэл дагуулуудад зөвшөөрөлгүй хэрэглэгчид халдах, цаашлаад мэдээллийн хулгай, системийг доголдуулах хортой үйл ажиллагаа зэрэг кибер халдлагууд үүсэх магадлал өндөр байгаа юм. Ялангуяа энэ нь нам орбитын нано буюу куб хиймэл дагуулын LoRa технологи бүхий хамгаалалт султай техник хангамжуудад илэрч байна. Мөн газрын сүлжээний IoT төхөөрөмжүүд нь аюулгүй байдлын нэгдсэн стандартгүй байгаагаас шалтгаалан халдлагад өртөх эрсдэл өндөртэй байдаг. Энэ нь газрын хяналтын сүлжээ (TTC- Telemetry Tracking & Command)-д зөвшөөрөлгүй хэрэглэгч нэвтрэх, цаашлаад удирдлагыг гартаа авах зэрэг кибер халдлагын эрсдэлд өртөх эмзэг байдлыг тодорхойлж байна. Хүснэгт 1-д нам орбит (LEO)-ын хиймэл дагуулын системүүдэд үүсч болох аюулгүй байдлын сорилтуудыг харуулав.

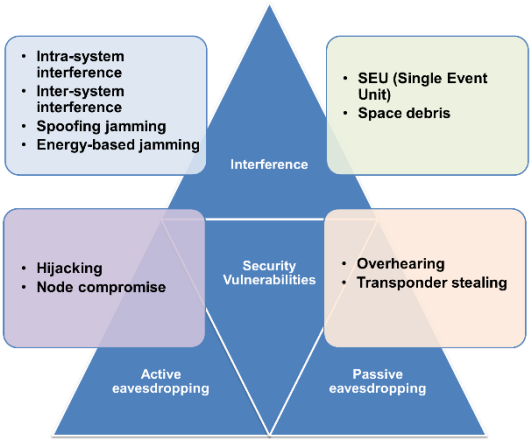
ХҮСНЭГТ I. АЮУЛГҮЙ БАЙДЛЫН СОРИЛТУУД

LEO (NGSO) хиймэл дагуулын систем		
Халдлагын төрлүүд	***Хандалт***	***Практик жишээ***
✓ Eavesdropping ✓ Malicious jamming	Холын-зайн телеметр (Gateways)	Iridium сүлжээний SDR төхөөрөмжүүд
✓ Hijacking ✓ Ransomware	IoT төхөөрөмжүүд	SkyNet сүлжээний LoRa төхөөрөмжүүд
✓ Debris, cosmic radiation-SEU (Single Event Unit)	Сансрын орчин	Сансрын хог хаягдал (ажиллагаагүй болсон дагуулууд)

Сансрын холбооны системийн аюулгүй байдлын хамгийн гол сул талуудын нэг нь толгой (GW) станцын телеметрийн мэдээлэл дамжуулах хэсэг юм. Ялангуяа SDR төхөөрөмжөөр дамжих сүлжээнд eavesdropping (нууцаар чагнах), malicious jamming (сүлжээний гацалт) үүсэх эмзэг байдал үүсч байдаг. Түүнчлэн IoT төхөөрөмжүүдийн LoRa бүтэц нь hijacking (мэдээллийн хулгай) халдлагад өртөх эмзэг байдал өндөртэй. Хэрэв хакерууд тухайн системийг онилж, удирдлагыг гартаа авах эсвэл системийг доголдуулж эдийн засгийн хувьд гарз хохирол учруулах зэргээр халдлага хийх зорилгоор ухаалаг антены технологийг хөгжүүлэх боломжтой юм.

B. Эмзэг байдал (Vulnerability)

Нам орбит (LEO)-ын хиймэл дагуулын системүүд нь иргэний ба цэргийн зориулалттай чухал хэрэглээнүүдийг дэмждэг учраас аюулгүй байдлын эрсдэлүүдийг арилгах, урьдчилан хамгаалах нь хамгийн гол асуудал юм. Энэ хэсэгт бид нам орбитын хиймэл дагуулын системийн эмзэг байдлын төрлүүдийг танилцуулах болно [1].



Зур.3. Нам орбит (LEO)-ын хиймэл дагуулын систем дэх эмзэг байдлын төрлүүд

1) Интерференц

Системд үүсэх интерференц нь 2 төрлөөр илэрч болно: санамсаргүй болон санаатайгаар/зориуд үүсэх. Санамсаргүй интерференц нь давтамж хуваарилалтаас хамаарч үүсэх бөгөөд систем доторх (intra-system) болон систем хоорондын (inter-system) гэж ангилагдах бол

зориудаар үүсэх интерференцийн төрөлд утасгүй сүлжээг унагах/доголдуулах зориулалт бүхий тусгай радио долгионыг үүсгэгчийн тусламжтайгаар хийгддэг spoofing jamming ба energy based jamming хамаардаг. Spoofing jamming нь хүлээн авагчийн электрон төхөөрөмжид хуурамч буюу хортой дохиог илгээх замаар хэрэгждэг бөгөөд үүний нэг тод жишээ нь GPS системүүдэд тохиолддог. Energy based jamming нь мөн хүлээн авагчийн электрон төхөөрөмж рүү чиглэсэн халдлага бөгөөд онилсон хүлээн авагчийн антены цацаргалтын орчинд ижил давтамжтай хуурамч дохиог үүсгэх замаар хэрэгждэг. Энэ төрлийн эмзэг байдал нь bent-pipe буюу шууд өсгөлттэй трансфондер бүхий хиймэл дагуулын системүүдэд ихэвчлэн илэрнэ.

2) Сансрын орчны нөлөө

Сүүлийн жилүүдэд 800-1400 км өндөрт байрлах LEO орбитын бага оврын хиймэл дагуулын мега бүлэг нь сансрын орчныг дүүргэж, хиймэл дагуул хоорондын мөргөлдөөнөөс шалтгаалсан сансрын хог хаягдлын тоог нэмэгдүүлсээр байна. Европын Сансрын Агентлаг (ESA)-ийн статистик загвараар 1 см-ээс багагүй сансрын хог хаягдлын тоо ойролцоогоор 1036500 байна гэж тооцоолжээ. Мөн сансар огторгуйн тоон цацаргалт нь хиймэл дагуулын электон төхөөрөмжүүдэд нөлөөлөх шалтгаан болдог бөгөөд үүнийг SEU (Single Event Unit) гэж нэрлэдэг.

3) Идэвхгүй eavesdropping

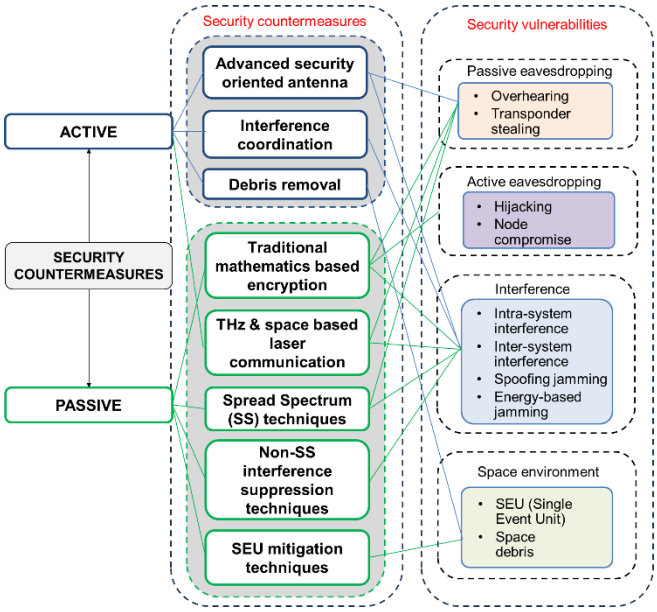
Энэ нь дамжууллын явцад мэдээллийг хууль бусаар чагнах зорилготой бөгөөд энэ төрлийн халдлагыг илрүүлэхэд нилээд төвөгтэй. Үүнд: overhearing болон transponder stealing хамаарна. Overhearing халдлага нь утасгүй дамжууллын орчны эмзэг байдлыг онилж, газрын терминал болон зорилтот хиймэл дагуул хоорондын шугамын орчимд eavesdropping дагуулыг байрлуулснаар хууль бусаар мэдээллийг чагнах боломжтой болдог. Үүнээс урьдчилан хамгаалах уламжлалт арга нь газрын станцын чадлыг бууруулах боловч шугамын чанарт муугаар нөлөөлдөг. Мөн уламжлалт крифтографын нууцлалын аргууд нь өндөр нууцлалтай сүлжээний шаардлагыг хангахгүй болоод байна. Transponder stealing нь хиймэл дагуулын трансфондерын зурваст хууль бус дохионы давтамжийг оруулах замаар давтамжийн интерференц үүсгэж, мэдээлэл дамжуулах явцыг доголдуулдаг. Үүнээс хамгаалах арга нь трансфондерын хүлээн авагчийн бүтцийг хууль бус дохионуудыг илрүүлдэг байхаар хөгжүүлэх явдал юм.

4) Идэвхтэй eavesdropping

Энэ нь системийн үйл ажиллагааг доголдуулах эсвэл мэдээллийн хулгай хийх зэрэг хортой үйл явцаар илэрнэ. Үүнд: node compromise болон hijacking хамаардаг. Node compromise нь системийн зангилаа цэгүүдийн эмзэг байдлыг ашиглан хортой алгоритм, программ эсвэл программ хангамжуудыг нэвтрүүлж, сүлжээг бүхэлд нь удирдах боломжтой болдог. Хакерууд голдуу бага чадлын хамгаалалт султай S-IoT төхөөрөмжүүд руу чиглэдэг ба IoT botnet үүсгэх замаар хортой кодуудыг систем руу ачааллаж халдлага хийдэг. Ийм төрлийн халдлагыг илрүүлэх ба бууруулахад хэцүү бөгөөд дэлхий нийтээр тархсан IoT төхөөрөмжүүдэд хяналт хийх боломжгүй юм.

C. Хамгаалах арга замууд (Countermeasures)

Энэ хэсэгт бид нам орбитын хиймэл дагуулын дээрх эмзэг байдлуудыг бууруулах, арилгахад чиглэгдсэн арга замуудыг танилцуулах болно [1]. Үүнд: идэвхтэй ба идэвхгүй гэсэн аюулгүй байдлын хамгаалах аргууд хамаарна. Идэвхтэй аюулгүй байдлын хамгаалах арга нь халдлага болохоос өмнө урьдчилан сэргийлэх зорилгоор хийгддэг бол идэвхгүй арга нь халдлага болох үед эрсдэлийг бууруулахад чиглэгддэг.



Зур.4. Хиймэл дагуулын систем дэх эмзэг байдал ба түүний аюулгүй байдлын хамгаалах арга замууд

D. Ирээдүйн чиг хандлага

Квантын технологи хурдацтай хөгжиж байгаа өнөө үед LEO хиймэл дагуулын системийн эмзэг байдлыг арилгах хүчтэй технологиуд бий болох ирээдүй ойрхон байна [1]. Судлаачид, технологи хөгжүүлэгчдийн харж байгаагаар дараах хэд хэдэн технологи судлагдаж байна.

- Хамгаалалттай квантын холбоо
- 3D Виртуал массив антен
- AI-д суурилсан аюулгүй байдлын хэмжилтүүд
- Space-д суурилсан блокчейн
- IRS (Intelligent Reflecting Surface)-хамгаалалттай дамжуулал

III. Туршилт

Энэ хэсэгт бид нано буюу куб хиймэл дагуулуудын эмзэг байдлыг тодорхойлох зорилгоор сонирхогчийн гадаргуугийн хавтгай (¼ wave ground plane) антен бүхий LoRa газрын станцыг ашиглан DL (Down Link) талын холболт, туршилтыг гүйцэтгэсэн. Үүний тулд дурын сонирхогчийн антеныг угсарч, куб хиймэл дагуулуудтай холболт тогтоож байгаа эсэхийг шалгасан.

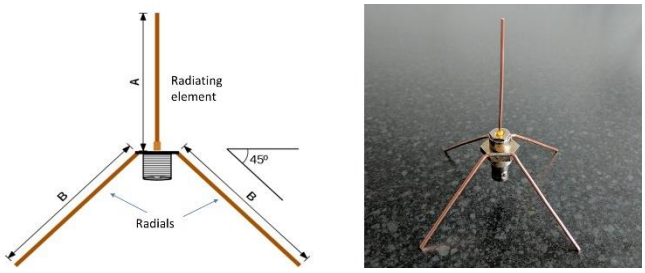
A. Антены туршилт

Туршилтанд сонгосон антен нь UHF (433МГц) давтамж дээр ажилладаг, цацаргагч элемент нь ¼ долгионы урттай ба газрын гадаргууд 45 градусын налуутай байрлах 4 ойлгогчтой, ойлгогч тус бүр нь

цацаргагч элементээс 12%-иар илүү урттай, фидерийн оролтын эсэргүүцэл нь 50 ом байхаар загвагчлагдсан. Энэ антен нь нэгэн төрлийн монополь антен юм. Антеныг фидертэй холбогч нь N-type коннектор байх ба энэ нь LoRa газрын станц руу мэдээлэл дамжуулна.

Quarter Wave Ground Plane Antenna Calculator	
Frequency	433.0 MHz
Velocity Factor (see text*)	0.95 vf
Give me the results in…	○ mm (MilliMetres) ◉ cm (Centimetres) ○ m (Metres) ○ in (Inches) ○ ft (Feet)
Calculate My Quarter Wave!	
A. Vertical Monopole Radiating Element (λ*0.25)*vf	16.5 cm
B. Radials (λ*0.28)*vf	18.4 cm
Actual wavelength	69.3 cm

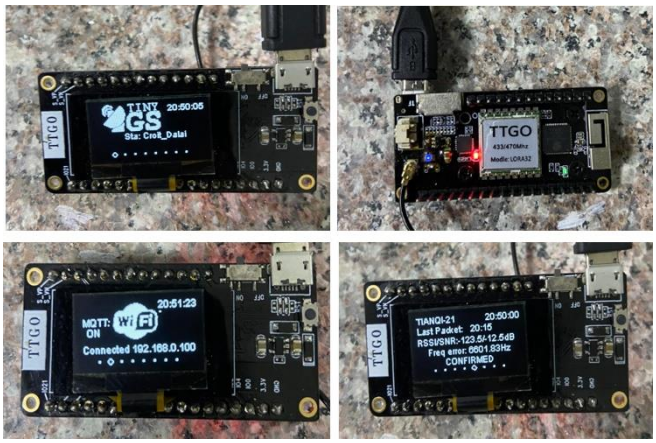
Зур.5. Гадаргуугийн хавтгай (¼ wave ground plane) антены тооцоолол



Зур.6. Гадаргуугийн хавтгай (¼ wave ground plane) антены хийц

B. *LoRa газрын станц*

Энэ хэсэгт бид LoRa модуль бүхий газрын станцыг үүсгэсэн үүсгэсэн ба туршилтын антенаар хүлээн авсан хиймэл дагуулын дохиог WiFi сүлжээгээр компьютер руу илгээж, туршилтын үр дүнгүүдийг шалгасан.



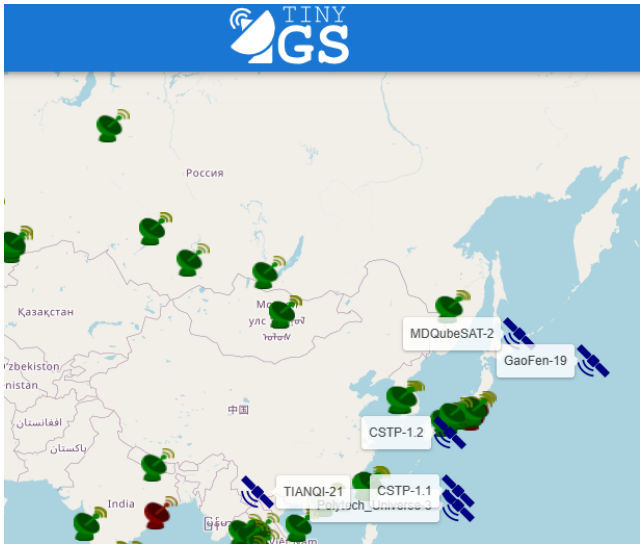
Зур.7. Croit-_Dalai LoRa газрын станцын харагдах байдал

Croit-_Dalai LoRa газрын станцын мэдээлэл:

- Module: LORA32 (433/470 МГц)
- WiFi on - connected 192.168.0.100
- TIANQI21 дагуултай 20:50 минутад холбогдож, RSS/SNR: -123.5/-12.5дБ, freq error: 6601.83Гц байх хүлээн авалт хийсэн харагдаж байна.

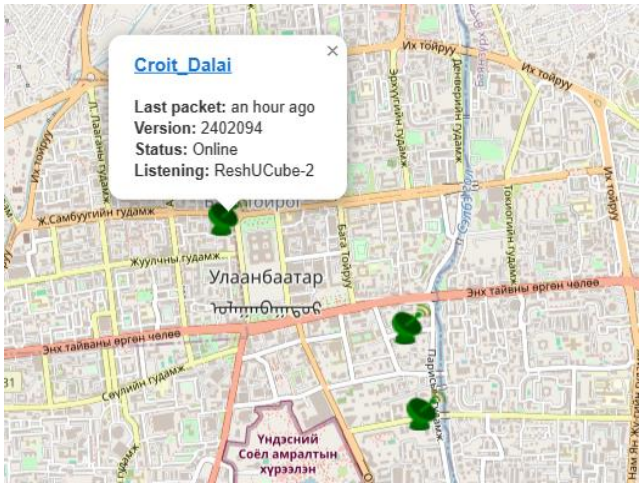
C. *TinyGS нээлттэй сүлжээний платформ*

Дэлхийн өнцөг булан бүрт тархсан газрын станцуудын нээлттэй сүлжээний TinyGS платформын тусламжтайгаар газрын станц болон хиймэл дагуулууд хоорондын холболт, багцын дамжуулал, антены чиглэлийн диаграмм зэрэг тодорхой үр дүнгүүдийг шалгах боломжтой [4].

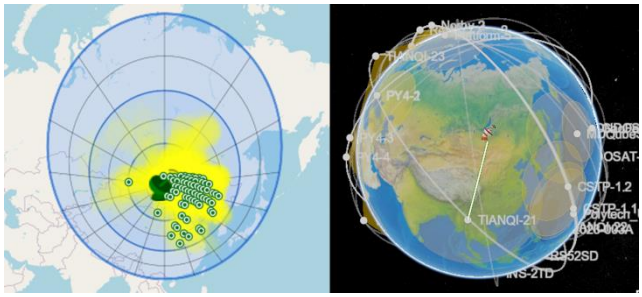


Зур.8. TinyGS газрын станцын нээлттэй сүлжээний платформ

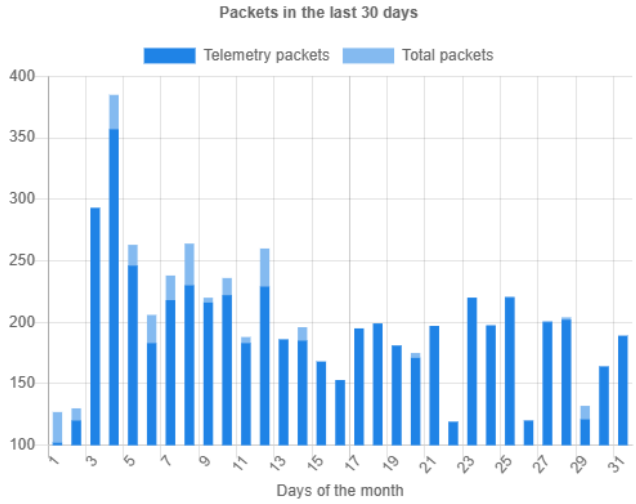
Тус сайтаас шалгахад Монгол улсын хэмжээнд 3 газрын станц идэвхтэй байгаа бөгөөд үүний нэг нь бидний Croit_Dalai нэртэй LoRa газрын станц юм. Нөгөө 2 нь ONDOGS-1 ба ONDOGS-2 гэсэн нэртэй газрын станцууд байна [4].



Зур.9. TinyGS платформ дээрх Croit-_Dalai LoRa газрын станцын харагдах байдал



Зур.10. Croit-_Dalai LoRa газрын станцын дохионы тархалт ба хиймэл дагуулын холболт



Зур.11. Croit-_Dalai LoRa газрын станцын дохио хүлээн авалт (2024-03 сар)

Status	Listening	Version	Creation date
Online	GaoFen-24	2402094	2 months ago
Last seen	**Last Packet**	**Position (Lat, Lang)**	**QTH Locator**
a few seconds ago	an hour ago	47.922, 106.915	ON37kw
Elevation	**Auto tuning**	**Test mode**	**Confirmed packets**
1301.00 m	ON	OFF	9946
Telemetry packets	**Type of antenna**	**Band**	**Record distance**
9058	1/4λ Ground plane	301 - 501 MHz	13442.8 Km

Зур.12. Croit-_Dalai LoRa газрын станц- хиймэл дагуул хоорондын холболтын мэдээлэл

IV. ДҮГНЭЛТ

Энэ өгүүлэлд бид нам (LEO) орбитын хиймэл дагуулын системүүдэд үүсээд байгаа аюулгүй байдлын сорилтууд, эмзэг байдал, түүнээс хамгаалах идэвхтэй ба идэвхгүй арга замуудыг тодорхойлсон. Ялангуяа нано буюу куб хиймэл дагуулын физик түвшин дэх эмзэг байдлыг тодорхойлохын тулд дурын сонирхогчийн гадаргуугийн хавтгай (¼ wave ground plane) антен бүхий LoRa газрын станцыг ашиглан DL (Down Link) талын холболт ба туршилтуудыг гүйцэтгэж, түүний зарим үр дүнгүүдийг харуулав. Нэгдүгээрт, бид дурын нано хиймэл дагуулуудтай холболт тогтоох зорилгоор гадаргуугийн хавтгай (¼ wave ground plane) антеныг хийж туршсан. Хоёрдугаарт, LoRa модулийг газрын станц болгон ашигласан ба хиймэл дагуулуудаас хүлээн авсан дохиог WiFi сүлжээгээр дамжуулан хэрэглэгчийн платформтой холбож, дурын нано хиймэл дагуулуудаас мэдээлэл хүлээн авах эсвэл илгээх боломжтой байгааг баталсан. Үүнээс дүгнэж үзэхэд дурын сонирхогчийн антены хөгжүүлэлтээр (хэрэв хакерууд тухайн нэг хиймэл дагуулыг онилж, системд доголдол үүсгэх зорилгоор хортой үйл ажиллагааг хийх зориулалт бүхий) LoRa хиймэл дагуулуудад газрын сүлжээнээс халдах эрсдэл буюу эмзэг байдлын цоорхой байгааг тодорхойлж байгаа юм. Өөрөөр хэлбэл ихэнх тандан судалгаа, технологи туршилтын нано хиймэл дагуулууд нь хямд өртгөөр бүтсэн, аюулгүй байдлын хамгаалалт султай техник ба программ хангамжийн бүтэцтэй байгаа юм. Хэдийгээр LoRa хиймэл дагуулуудын одоогийн хөгжүүлэлтийн зорилго нь өндөр нууцлалтай өгөгдлийн дамжуулалд төдийлөн зориулагдаагүй байгаа боловч цаашдын хэрэглээний өсөлтөд нийцэхүйц аюулгүй байдлын асуудлуудыг чухалчлах нь гарцаагүй юм. Тиймээс тус өгүүлэлд дурьдсан (зур.4) эмзэг байдлын төрлөөс нь хамаарсан хамгаалах арга хэмжээнүүдийг авах шаардлагатай болоод байна.

Бид цаашдын туршилтандаа SDR (Software Defined Radio) газрын станцаар нано хиймэл дагуулд халдах боломж байгаа эсэхийг тодорхойлох зорилготой байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

[1] Pingyue Yue, Jianping An, Jiankang Zhang, Gaofeng Pan, Shuai Wang, Pei Xiao and Lajos Hanzo, “On the security of LEO satellite communication systems: vulnerabilities, countermeasures, and future trends”, arXiv:2201.03063v1 [eess.SP] 9 Jan 2022.

[2] Peng Wang, Jiaxin Zhang, Xing Zhang, Zhi Yan, Barry G. Evans and Wenbo Wang, “Convergence of satellite and terrestrial networks: a comprehensive survey”, Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2019.2963223.

[3] Yeqiu Xiao, Jia Liu, Yulong Shen, Xiaohong Jiang And Norio Shiratori, “Secure communication in non-geostationary orbit satellite systems: a physical layer security perspective”, Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2018.2885979.

[4] TinyGS: the Open Source Global Satellite Network

[5] L. H. Newman. Hackers are building an army of cheap satellite trackers. (Aug. 04, 2020). [Online]. Available: https://www.wired.com/ story/nyansat-open-source-satellite-tracker/

[6] AEDT. Hackers could shut down satellites – or turn them into weapons. (Feb. 13, 2020). [Online]. Available: https://theconversation.com/ hackers-could-shut-down-satellites-or-turn-them-into-weapons-130932

[7] P. Paganini. Hacking the Iridium network could be very easy. (Aug. 23, 2015). [Online]. Available: https://securityaffairs.co/wordpress/ 39510/hacking/hacking-iridium-network

[8] E. Nakashima. Russian hacker group exploits satellites to steal data, hide tracks. (Sep. 9, 2015). [Online]. Available: https://www.washingtonpost.com/world/national-security/ russian-hacker-group-exploits-satellites-to-steal-data-hide-tracks

Дуу хоолойгоор удирддаг робот гарны хөгжүүлэлт

Аюурзанын Одгэрэл
Электроникийн салбар
ШУТИС, Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Улаанбаатар, Монгол Улс
odgerel55@must.edu.mn

Хураангуй*—Энэ судалгааны ажлаар дуу хоолойгоор удирддаг гурван мөчтэй робот гарны загварыг хөгжүүлж туршсан. ESP32 төрлийн өөртөө Wi-Fi модуль агуулсан 32 битийн микроконтроллёрыг робот гарны удирдлагаар сонгон ашигласан. MIT-с хөгжүүлсэн дуу хоолойг удирдах Андройд аппликэшнийг судалгааны ажилдаа зориулан хөгжүүлж ухаалаг утсан дээрээ суулгасан. Ухаалаг утас, микроконтроллёр хоёр нь өөрсдийн орчны Wi-Fi сүлжээгээр дамжин Интернетэд холбогдоно. Ухаалаг утаснаас 6 мотортой, 5 үеэр хөдлөх робот гарыг баруун, зүүн тийш өнцгөөр эргүүлэх болон дээш, доош, барих (хавчих) тавих командуудыг хэрэглэгч хэлнэ. Гүүглийн хөгжүүлсэн машин сургалтанд суурилсан дуу хоолойн таних функцийг Андройд аппликэшн дээр дуудан боловсруулж Wi-Fi сүлжээгээр дамжин ESP32 микроконтроллёроор удирдах зарчмаар ажиллана. Туршилтанд 6 хүнийг оролцуулан командуудыг хэлүүлэхэд Англи хэлний дуудлагаасаа хамаарч робот гар 87%-тай командуудыг таниж биелүүлсэн.

Түлхүүр үг–серво мотор, ESP32, MIT App, Wi-Fi, Андройд

I. Удиртгал

Робот технологи нь аж үйлдвэрлэлийн 4-р хувьсгалын нэг цөм нь юм [1]. Орчин үед олон салбарт роботыг хүний хүч хөдөлмөрийг хөнгөвчлөх, судалгаа шинжилгээ хийхэд ашиглаж байна. Хүнд болон хөнгөн үйлдвэрүүдийн ажлын бүтээмжийг нэмэгдүүлэх, нарийвчлалтайгаар ажил үүрэг гүйцэтгэхэд роботыг ашиглаж байна. Сансар огторгуйн судалгаа шинжилгээ, аюул осол ихтэй цэрэг, дайны зориулалттай роботын хөгжүүлэлтүүд маш олноор хийгдэж байна. Аль ч салбарт роботыг ашиглах нь эдийн засгийн хувьд үр ашигтай байна.

Роботыг утсаар буюу RS232, RS485 зэрэг интерфейсүүдээр холбон товчлуурууд ашиглан удирдах арга нь хамгийн түгээмэл юм. Сүүлийн үед аюулгүй байдал, эдийн засгийн хувьд үр ашигтайг нь бодон Wi-Fi, Bluetooth болон Zigbee технологиуд ашиглан зайнаас утасгүйгээр товчлуурууд ашиглан удирдах нь их болсон.

Өнөө үед технологи хурдтай хөгжиж тэр дундаа хүний дуу хоолойг таних технологиудыг дэлхийн том мэдээллийн технологийн компаниуд эрчимтэй хөгжүүлж байна. Хүний хэлсэн үг, өгүүлбэрийг боловсруулан текст болгох, эсрэгээр нь бичсэн текстийг дуу хоолой болгон хөрвүүлдэг хиймэл оюун ухаан, машин сургалтын аргуудыг ашигласан функц, түүл, програм хангамжуудыг ихээр хөгжүүлж байна.

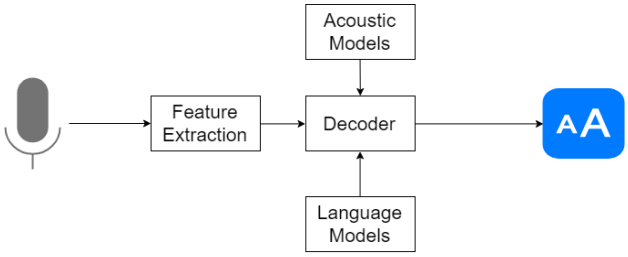
Уг судалгааны ажлаар зайнаас буюу утасгүй Интернетийн сүлжээ (Wi-Fi) ашиглан хүний дуу хоолойгоор удирдах робот гарны загварыг хөгжүүлж турших зорилго тавин ажилласан. Робот гарыг тусгай хэрэгцээт хүмүүс дуу хоолойгоороо удирдан гэртээ туслагчаараа ашиглах боломжтой. Мөн ийм төрлийн робот гарыг үйлдвэрийн конвейр болон үйлчилгээний газруудад ашиглахад тохиромжтой. Мөн аюул осол ихтэй газар алсаас робот гарыг удирдан аврах ажиллагаа явуулах, судалгаа шинжилгээний дээж авахуулах бусад тандан судлах ажлуудад ашиглах боломжтой.

Энэ судалгаанд Гүүгл компаний хөгжүүлсэн машин сургалтын аргыг ашигласан дуу хоолой таних функцийг (Android RecognizerIntent Class) ашигласан [2]. Уг загварт одоохондоо Монгол хэл ороогүй учраас Англи хэлийг ашигласан. Робот гарыг MIT-с хөгжүүлсэн App Inventor блок програмчлалаар програмчилан Андройд аппликэшн хөгжүүлж ухаалаг утсан дээр суулган удирдсан. Гүүглийн хүний дуу хоолой таних функцийг аппликэшн дээр дуудаж ажиллуулсан.

Робот гар нь програмчлагддаг, зарим талаараа хүний гартай төстэй бүтэц болон үйлдлүүдтэй, хэд хэдэн үеэс бүрдэх механик робот юм. Энэ судалгааны ажлаар хөгжүүлсэн робот гар нь 6 серво мотортой, 5 үеэр эргэх бөгөөд 3 мөчтэй байна. Роботын удирдлагаар өөртөө Wi-Fi модуль агуулсан ESP32 32 битийн микроконтроллёр ашигласан. Андройд аппликэшн бүхий ухаалаг утас, ESP32 микроконтроллёр бүхий удирдлагатай робот гар нь өөрсдийн орчныхоо Интернетийн сүлжээнд холбогдож ажиллана. Ухаалаг утсан дээрх аппликэшнээ нээн робот гарыг удирдах командаа хэлэхэд Интернетээр дамжин Гүүглийн дуу хоолой таних загвараар боловсруулагдан текст болно. Хөрвүүлсэн текстийг ESP32 микроконтроллёр боловсруулан роботыг удирдах зарчмаар ажиллана. Ardiuno микроконтроллер Bluetooth утасгүй өгөгдөл дамжуулах модуль ашиглан дуу хоолойгоор машин удирдах ажлыг [3, 4] дээр хийсэн. Ardiuno Mega микроконтроллерыг ашиглан дуу хоолойгоор удирддаг робот гарыг [5] судалгааны ажил дээр хөгжүүлж туршсан.

II. Дуу хоолой таних зарчим

Хүний дуу хоолойг таних гэдэг нь хиймэл оюун (Artificial intellegent), машин сургалт (Machine learning) болон эх хэлний боловсруулалтын (Natural language processing) технологиуд ашиглан ярьсан яриаг өндөр нарийвчлалтай уншигдах текст болгон хувиргана гэсэн санаа юм [6].



Зураг. 1. Хүний дуу хоолойг таних процесс [6]

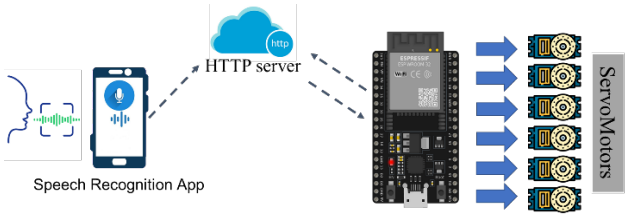
Хүний хэлсэн дууны дохионоос гадна, дотны шуугиануудыг шүүж онцлог шинжүүдийг ялгана (Feature extraction). Акустик (acoustic) болон хэлний (language) загваруудыг ашиглан хэлсэн үгийг тайлж текст болгох зарчмаар ажиллана. Google assistant ашиглан дуу хоолойг таниж робот гарыг удирдах ажлыг [7]-д хөгжүүлэн туршсан.

III. Системийн дизайн ба шийдэл

A. Системийн бүтэц

Систем нь MIT App Inventor-р хөгжүүлсэн апп бүхий ухаалаг утас, өөртөө Wi-Fi модуль агуулсан ESP32 микроконтроллёр, 6ш серво мотороос бүрдэнэ. Ухаалаг утас болон микроконтроллёр нь Wi-Fi модулиараа өөрсдийн орчны Интернетийн сүлжээнд холбогдоно. Хүний хэлсэн үгийг аппликэшн програм хүлээн авна, Гүүглийн дуу хоолойг текст болгох функцийг дуудан боловсруулалт хийх текст болгон микроконтроллёр руу дамжуулна. Микроконтроллёр ирсэн үгийг тулхүүр үгүүдтэй харьцуулан робот гарыг удираж хөдөлгөнө.

Зураг 3-д дуу хоолойгоор удирдах роботын системийн ерөнхий бүтцийг харуулав.



Зураг. 2. Системийн ерөнхий бүтэц

Робот гарыг удирдах ESP32 микроконтроллёр болон ухаалаг утсан дээр суулгасан дуу хоолой танидаг аппликейшн хоёр нь интернэд сүлжээнд холбогдсон байх ёстой. Хэрэглэгч аппликейшнийг нээж ямар нэгэн команд хэлэхэд аппликейшн хэрэглэгчийн хэлсэн командыг хүлээн авч тэмдэгт мөрийн цуваа байдлаар микроконтроллёрт руу Интернет серверээр дамжуулан илгээнэ. Микроконтроллёр тухайн тэмдэгт мөрийг нь хүлээн аваад эхлээд боловсруулалт хийж команд, өнцөг зэрэг хэрэгтэй мэдээллээ шүүж авна. Дараа нь робот гарыг удирдах команд мөн эсэхийг нь шалгаад хэрвээ робот гарыг удирдах команд мөн байвал микроконтроллёроос серво моторуудыг удирдах дохиог гаргаж робот гарыг командын дагуу хөдөлгөх зарчмаар ажиллана.

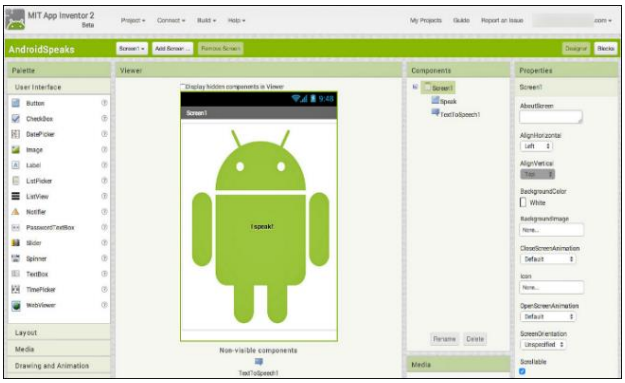
B. ESP32 микроконтроллёр

ESP32 нь өөртөө Wi-Fi модуль агуулсан хос цөмт (dual core) 32 битийн микроконтроллёр юм. 240MHz хүртэлх хурд, 512KB RAM, 4MB-16MB flash санах ой, ADC, DAC, I2C, UART, CAN 2.0, SPI, I2C зэрэг интерфэйсүүдийг агуулсан. ESP8266-г Espressif Systems компани 40 нм технологи ашиглан хөгжүүлсэн бага чадлын микроконтроллёр (MCU) юм. Мөн Arduino IDE, Espressif IDF (IoT Development Framework), Micropython, JavaScript зэрэг олон програмчлалын орчныг дэмжиж ажилладаг давуу талтай. Уг микроконтроллёр нь өөрийн орчны бие даасан утасгүй сүлжээ үүсгэх (Access point-AP mode) болон өөрт ойрхон утасгүй сүлжээнд клиент болж оролцох гэсэн 2 горимд ажилладаг.

Эхний горим нь ESP32 микроконтроллёр нь өөрт ойрхон утасгүй сүлжээнд клиент болж холбогдоно. Уг судалгааны ажилд горим-1 ашигласан бөгөөд төхөөрөмж орчны сүлжээнээс өөрийн IP хаягийг авна. Дараагийн горим нь өөрөө AP (Access point) болж бие даасан өөрийн орчны сүлжээг үүсгэдэг.

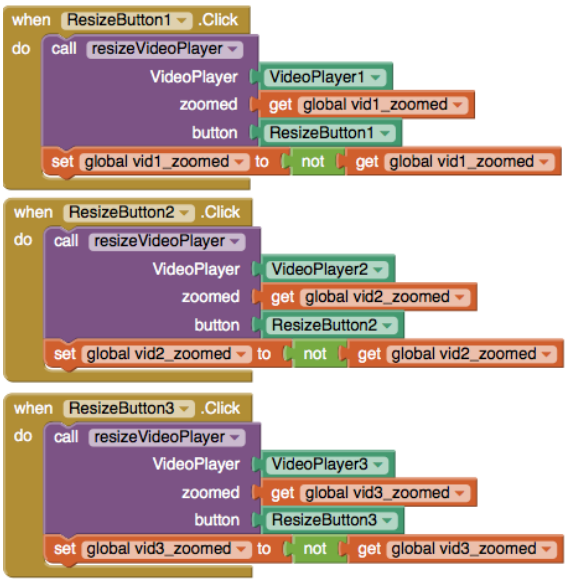
C. MIT App Inventor програм

MIT App Inventor-г анх Google-ээс вэб програмын хөгжүүлэлтэнд зориулж гаргасан бөгөөд одоо MIT (Massachusetts Institute of Technology) хариуцдаг. Компьютерийн програмчлал эхлэн суралцагчдад Android болон iOS гэсэн хоёр үйлдлийн системд зориулсан хэрэглээний программ хангамж (аппликэшн) хөгжүүлэх боломжийг олгодог програм юм. Уг програм нь блок програмчлалын хэл бөгөөд ухаалаг, визуал програмчлалын орчинтой. Дараах зурагт MIT App Inventor програмын интерфэйсийг харуулав.



Зураг. 3. MIT App Inventor програмын интерфейс

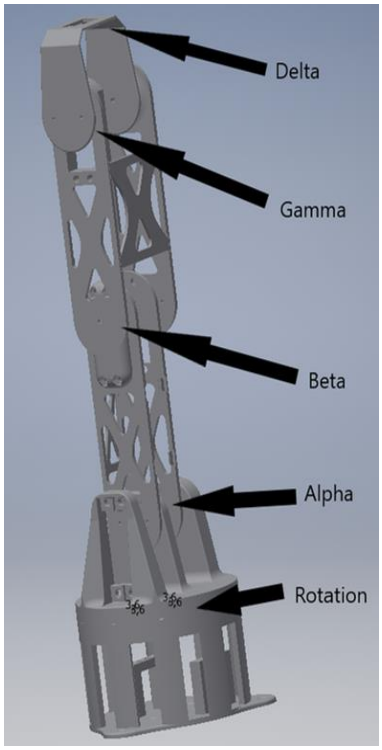
Анх блок програмчлалын хэл нь Google Blockly дээр бүтээгдсэн. App Inventor програмыг StarLogo TNG, Scratch зэрэг хэлнүүдээс санаа авч хөгжүүлсэн. Блок програм нь эвлүүлдэг тоглоомын хэсгүүд шиг хоорондоо холбогдсон өнгөт кодлогдсон блокуудаас бүтдэг [8].



Зураг. 4. MIT App Inventor блок програмчлалын хэсэг

D. Робот гарны бүтэц

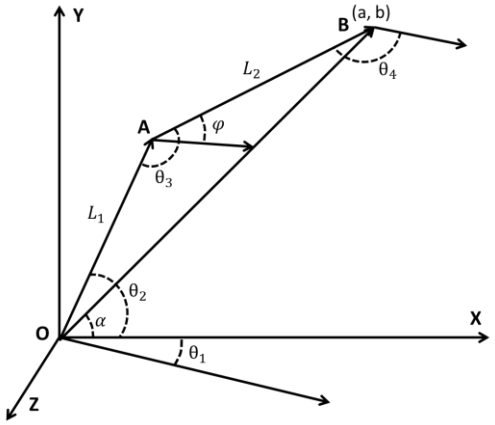
Робот гар нь 6 серво мотороос бүрдэх бөгөөд 5 үеэр эргэх боломжтой суурь, мөр, тохой, бугуй, төгсгөлийн хавчих гарнаас тус бүр бүрдэнэ гэж тооцсон. Дараах зурагт робот гарны 3D загварыг харуулав.



Зураг. 5. Робот гарны 3D загвар

E. Робот гарны кинематик тооцоо

Робот гарыг хөгжүүлэхэд давших (forward) эсвэл урвуу (inverse) кинематикийн тооцоог хийдэг [9]. Уг судалгааны ажлаар робот гарны тооцоог урвуу кинематик ашиглан мөчнүүдийг ямар өнцгөөр ямар орон зайд хүрэхийг тооцоолсон. L_1, L_2-нь робот гарны хөдлөх хоёр мөчний урт.



Зураг. 6. Робот гарны урвуу кинематик геометр

Робот гарыг 3 хэмжээст орон зайд хөдөлнө гэж үзвэл төгсгөлийн хавчигч гарны хамгийн хүрч болохуйц координатыг (a, b, θ_1) гэж үзэн дээрх зургаас a, b-г тодорхойлвол:

$$a = L_1\cos(\theta_2) + L_2\cos(\varphi) \quad (1.1)$$
$$b = L_1 sin(\theta_2) + L_2\sin(\varphi) \quad (1.2)$$

$$\cos(\theta_2 - \varphi) = \frac{a^2+b^2-(L_1^2+L_2^2)}{2L_1L_2} \quad (1.3)$$

$\gamma = \theta_2 - \varphi$ гэж үзвэл

$$\gamma = \arccos\left(\frac{a^2+b^2-(L_1^2+L_2^2)}{2L_1L_2}\right) \quad (1.4)$$

$$\alpha = arctan\left(\frac{b}{a}\right) \quad (1.5)$$

OAB гурвалжинд синусын дүрмийг бичвэл:

$$\frac{\sin(\theta_2-\alpha)}{L_2} = \frac{\sin(\alpha-\varphi)}{L_1} = \frac{\sin(\theta_3)}{\sqrt{a^2+b^2}} \quad (1.6)$$

Дээрх томьёонуудаас θ_2, θ_3 болон θ_4 өнцгүүдийг дараах байдлаар олно.

$$\theta_2 = \alpha + \arcsin\left(\frac{L_2\sin(\gamma)}{\sqrt{a^2+b^2}}\right) \quad (1.7)$$

$$\theta_3 = \pi - \gamma \quad (1.8)$$

$$\theta_4 = \pi - \arcsin\left(\frac{L_1\sin(\gamma)}{\sqrt{a^2+b^2}}\right) - \alpha \quad (1.9)$$

IV. Туршилт, үр дүн

A. Аппликэшний хөгжүүлэлт

MIT App inventor програмыг ашиглан Андройд үйлдлийн системд тохирсон робот гарыг удирдах апп-ыг хөгжүүлсэн. Дуу хоолойг хэлэх товчлуур, робот гарны IP хаягийг оруулах хэсэг, лого зураг болон бусад дизайнтай холбоотой хэсгүүдийг нэмж аппликэшний загварыг гаргасан.

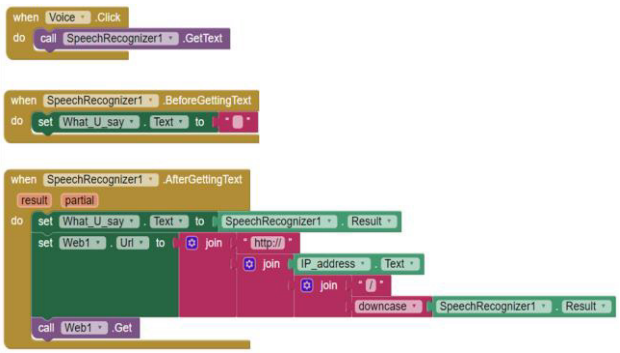


Зураг. 7. Роботын удирдах ухаалаг утасны аппликэшн

Мөн Web1-сүлжээнд холбох, Гүүгл Андройд SpeechRecognizer1-дуу хоолойг таних функцуудыг тус тус оруулсан. Speechrecognizer1 функц нь командыг цааш Гүүгл клауд руу холбож боловсруулалт хийн дууг текст болгон ESP32 роботын удирдлагын микроконтроллёрт дамжуулна.

Блок кодыг илүү хураан хялбаршуулж, хэрэглэгчийн хэлсэн дараалсан үгсийг микроконтроллёрт алдагдалгүй илгээдэг байхаар хөгжүүлсэн бөгөөд үүгээрээ командыг ганцхан үгээр илэрхийлж роботын хөдөлгөөнийг баригдмал болгож байсан асуудлыг шийдэж чадсан. Одоо командыг 2-3 үгэнд илэрхийлж, хаашаа хэдэн градусаар эргэхийг нь зааж өгөх боломжтой болсон.

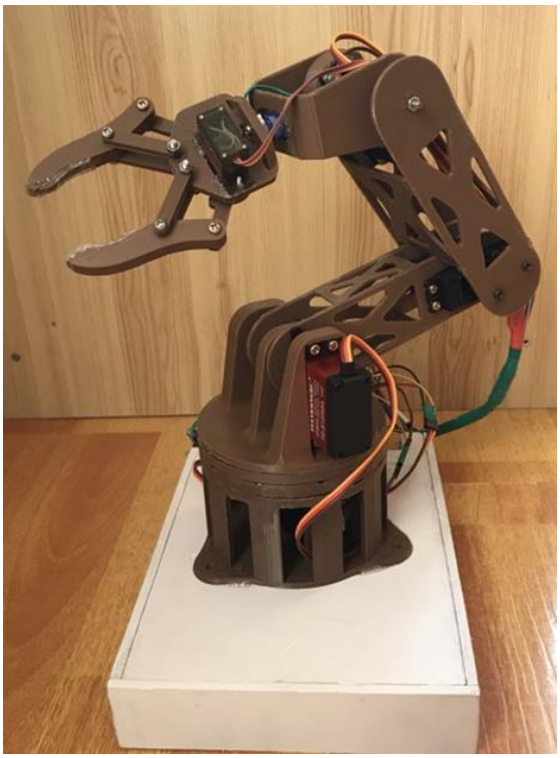
Дараах зурагт үндсэн апп-ын блок програмчлалын хэсгийг харууллаа. Апп-ын командын үйлдлүүдыг блок програмчлалаар хийж гүйцэтгэсэн.



Зураг. 8. Апп-ын загварын блок програмчлалын хэсэг

B. Туршилтын робот гарны загвар

Туршилтаар хөгжүүлсэн робот гаранд 6 серво мотор ашигласан. MG995 загварын 3 ширхэг, MG90s загварын 2 ширхэг, хамгийн их ачаалал авч буй робот гарны alpha буюу мөр хэсэгт нь 20кг орчим эргэлтийн хүчтэй TD-8120G загварын серво моторыг ашигласан. Робот гар нь 5 үеэр эргэх боломжтой суурь, мөр, тохой, бугуй, төгсгөлийн хавчигч гарнаас бүрдэнэ. 3D зурагнаас 3D принтерээр хэвлэсэн туршилтын робот гарны загварыг дараах зурагт үзүүлэв.



Зураг. 9. Робот гарны туршилтын загвар

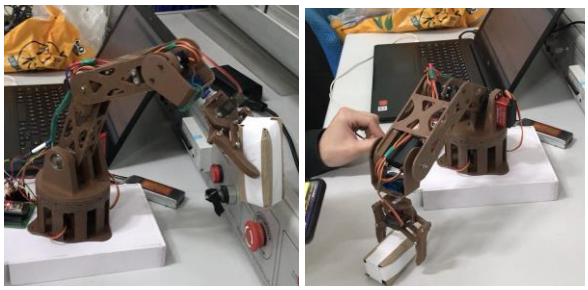
C. Туршилтын үр дүн

Ухаалаг утас болон ESP32 микроконтроллёрын удирдлагатай робот нь Wi-Fi модулиудаараа өөрсдийн орчны утасгүй Интернет сүлжээнд холбогдоно. Arduino IDE ESP32-ын програмын компайлорын Serial monitor-с роботын IP хаягийг авч ухаалаг утсан дээрх MIT App inventor програмаар хөгжүүлсэн апп-даа оруулж өгснөөр хоёр төхөөрөмж хоорондоо Интернетийн сүлжээгээр холбогдоно. Апп-с дуу хоолойгоор дараах командуудыг өгч робот гарыг удирдана.

- Баруун тийш эргүүлэх (робот гарыг сууриар нь хэдэн градус эргэхийг нь зааж өгнө) - Turn right [degree]
- Зүүн тийш эргүүлэх (робот гарыг сууриар хэдэн градус эргэхийг нь зааж өгнө) - Turn left [degree]
- Доошлуулах - Go down
- Дээшлүүлэх(өргөх) - lift up
- Хавчих - take on
- Тавих - release it
- Робот гарыг сунгах - get long
- Робот гарыг хумих(богиносгох) - get short



Зураг. 10. Робот гарыг ухаалаг утаснаас удирдаж байгаа байдал



Зураг. 11. Робот гар ачааг зүүн тийш болон доош нь буулгаж байгаа байдал

Робот гарны мөчнүүд хамгийн ихдээ ямар өнцгөөр хөдөлж болохыг 1.1-1.9 үзүүлсэн урвуу кинематик тооцооллын томьёогоор тооцоолсон. Сүлжээний ачааллаас хамаарч хэлсэн командыг боловсруулахад хамгийн ихдээ 1сек орчмын хоцрогдол үүсч байсан. Мөн Монгол хүний Англи хэлний дуудлагаас шалтгаалан командыг танихгүй тохиолдолууд гарсан. Жишээ нь go down, lift up, take on, get long, get short командуудыг 6 хүнээр хэлүүлэхэд 100%-тай танисан. Харин turn right, turn left, release it командууд дээр 2 хүний хэлсэнийг нь танихгүй тохиолдол гарсан. Эндээс харахад 6 хүний дунджаар хэлсэн командуудыг 87%-тай таниж байна.

V. Дүгнэлт

Судалгааны ажлаар дуу хоолойгоор удирддаг робот гарны загварыг хөгжүүлж туршсан. MIT-с хөгжүүлсэн дуу хоолойг удирдах Андройд аппликэшнийг App Inventor програмыг ашиглан хөгжүүлж ухаалаг утсан дээрээ суулгасан. Уг апп нь Гүүгл компаний клауд серверт холбогдон машин сургалтанд суурилсан дуу хоолойн таних функцийг дуудан хэлсэн үгийг текст болгон хөрвүүлж роботын удирдлагын микроконтроллёрт дамжуулна. Ухаалаг утас болон ESP32 микроконтроллёрын удирдлагатай робот гар нь Wi-Fi модулиудаараа өөрсдийн орчны утасгүй Интернетийн сүлжээнд холбогдсон байна.

Робот гар нь 6 серво мотор, 6 хэсэгтэй бөгөөд 3 мөчтэй, төгсгөлдөө хавчих гартай 5 үеэр эргэдэг байхаар хөгжүүлсэн. Ухаалаг утаснаас Интернет холбогдсон дурын газраас алсад байрлалтай робот гарыг баруун (turn right), зүүн (turn left), дээшлүүлэх (lift up), доошлуулах (go down), хавчих (take on), тавих (release it), робот гарыг сунгах (get long), робот гарыг хумих (богиносгох) (get short) гэсэн командуудаар тодорхой градусын өнцгөөр эргүүлэн удирдаж туршилтууд хийсэн. Туршилтанд 6 хүн оролцож 8 командын үгийг хэлүүлэхэд робот гар 87%-тай танисан. Монгол хүний Англи хэлний дуудлагаас шалтгаалан turn right, turn left, release it командуудыг танихгүй тохиолдолууд гарсан.

Одоогоор уг MIT-с гаргасан аппликэшн нь дэлхийн 50 орчим хэлээр (Англи, Хятад, Орос…) хэлсэн үгийг боловсруулж байна. Системийг цаашид үргэлжлүүлж Монгол инженерүүдийн бүтээсэн Чимэгэ дуу таних системтэй [10] холбож Монгол хэлийг танидаг болгож хөгжүүлэх боломжтой.

Ном зүй

[1] https://www.researchgate.net/figure/Technologies-for-industry-40_fig1_319944621

[2] https://cloud.google.com/speech-to-text

[3] Kantekar Sampath Kumar, Pinkesh Santhosh Reddy, Manchala Rajiv Vikram Revanth, Dr. Krishna Samalla “Voice Controlled Robot Vehicle Using Arduino” International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology Volume 10, Issue VI, June 2022

[4] Suwarna Gothane “Development of IoT Enabled Voice Controlled Robot Using Arduino” International Journal of Innovative Research in Technology, Volume 7, Issue 11, April 2021

[5] AbhinavSalim, Ananthraj C R, Prajin Salprakash, Babu Thomas, “Voice Controlled Robotic Arm”, International Research Journal of Engineering and Technology, Vol.4, Issue 4, P. 2121-2124, April 2017.

[6] Lawrence Rabiner, Biin-Hwang Juang “Fundamentals of Speech Recognition”, Prentice Hall, Signal Processing Series, 1993

[7] Ngoc-Hoang Tran “Voice Recognition to Control and Monitor Robotic Arm on IoT by Using Smartphone”, 8th International Conference on Mechanical, Automotive and Materials Engineering (CMAME 2020) 20th-22nd Dec 2020, Ho Chi Min, Vietnam, DOI 10.1088/1757-899X/1194/1/012004

[8] http://ai2.appinventor.mit.edu/reference/blocks/

[9] Coskun Yetim “Kinematic Analysis for Robot Arm” Yildiz Technical University, Turkey, 2009

[10] https://reader.chimege.com/home

Ардиунод суурилсан төхөөрөмж загварчлах нь: МХТС-ийн дотоод орчны агаарын чанарыг үнэлэх судалгааны үр дүн

Т.Номин-Эрдэнэ[1], Л.Одончимэг[2]

[1]Сүлжээний технологи" мэргэжлийн III дамжааны оюутан
[2]ШУТИС, Мэдээллийн сүлжээ, аюулгүй байдлын салбарын дэд профессор, доктор (Ph.D)

Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль
Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Мэдээллийн сүлжээ, аюулгүй байдлын салбар

Цахим хаяг: Laura33heh@gmail.com, odno@must.edu.mn

Хураангуй— Агаарын бохирдлын түвшин ихсэх тусам бидний хүрээлэн буй орчинд хохирол учруулж эхэлдэг. Гэвч бид нар агаарын бохирдол гэх сэдэв татагдах болгонд гадаах орчны талаар ярьдаг байна. Гадаах агаарын бохирдол нь дотоод орчны агаартаа ч гэсэн нөлөөлдөг. Бид судалгаандаа Ардиуно хавтан, газ, чийгшил, температур мэдрэгчүүдийг ашиглан сургуулийн дотоод орчны агаарын бохирдлыг хэмжсэн болно.Энэ ажилд Arduino uno микроконтроллёрт суурилсан агаарын чанарыг хянах хямд системийг санал болгосон. Arduino нь 2 мэдрэгчтэй холбогдсон бөгөөд хэмжсэн өгөгдөл нь LCD дэлгэц дээр харагдана. Ашигласан мэдрэгчүүд нь чийгшил болон температурын мэдрэгчийн хувьд DHT11, нүүрстөрөгчийн давхар ислийн (CO2)-д Mq-2 юм. Төхөөрөмж маань REAL-TIME буюу тэр үеийнхээ нөхцөл байдлын хэмжилтийг авах чадвартай төхөөрөмж юм. Энэ загварчилсан төхөөрөмжөөрөө сургуулийн орчин дахь агаарын бохирдлыг хэмжиж үр дүнг гаргалаа.

Түлхүүр үгс— *Дотоод орчны агаарын бохирдол, мэдрэгчүүд, суурь хавтан, хяналтын систем*

Introduction (*Heading 1*)

I. Удиртгал

Дотор агаарын урсгалгүй байгаа байшин барилгуудын агаарын бохирдол нь гадаах агаарын бохирдлоос 2-5 дахин их, зарим ноцтой нөхцөлд 100 дахин их байдаг байна. Дотоод орчны агаарын бохирдол (IAP) нь Байгаль орчныг хамгаалах агентлагийн (EPA) Шинжлэх Ухааны Зөвлөх Зөвлөлийн (Environmental Protection Agency 2019) байгаль орчны нийгмийн эрүүл мэндийн эрсдлүүдийн эхний тавд багтдаг. Дээрх дурдсан концентрацийн нөлөөлөл нь ердийн цагийнхаа 90-ээс дээш хувийг гэртээ эсвэл оффист өнгөрөөдөг хүмүүст илүү хамааралтай байдаг байна. Дотоод агаарын бохирдлын концентраци нэмэгдэж байгаа нь эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөг сайтар судлаагүй ч дотоод агаарын чанар нь уушгины үйл ажиллагааны дутагдал зэрэгт илүү нөлөөлдөг гэсэн судалгаа гарчээ [1].

Дотоод агаарын бохирдлын тодорхойлолтод ерөнхийдөө агаарын бохирдол, гаднах агаарын тоосонцорыг нэвтрүүлэх, хуваарилах, харьцангуй чийгшил, температурын хэлбэлзэл зэрэг орно. Эдгээр дулааны тайтгарлын параметрүүд нь дотоод орчныг хамгаалах түвшинд нөлөөлж, агаарын чанар муутай холбоотой хэд хэдэн гомдлын үндэс болдог тул чийгшил, температурыг үл тоомсорлох боломжгүй юм [5].

Дэлхийн Эрүүл Мэндийн Байгууллага (ДЭМБ) жил бүр дэлхийн хэмжээнд агаарын бохирдлын улмаас 8 сая орчим хүн нас барж байгаагаас 4.3 сая нь зөвхөн ахуйн агаарын бохирдлын эх үүсвэрээс болж нас бардаг (Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллага 2015; Апте, Салви 2016) гэсэн судалгаа хийжээ. Дотоод агаарын бохирдлын улмаас нас барсан хүмүүсийн ихэнх нь дунд болон бага орлоготой орнуудад бүртгэгдсэн бөгөөд Европт 52,000, АНУ-д 82,000, Дорнод зүгийн улсуудад 212,000 хүн нас баржээ [2].

II. Үндсэн хэсэг

Энэ судалгаагаар чийгшил болон температур мэдрэгч нь DHT11(Humidity and Temperature sensor) ашигласан. Нүүрстөрөгчийн давхар исэл болон MQ-2 газ мэдрэгчийг кодлон ашиглав. Төхөөрөмж маань үндсэндээ 75%-ийн боломжтой ажиллаж байгаа бөгөөд тус тусын төхөөрөмжүүдтэйгээ 80-90%-иар адил хэмжилт хийж, кодлон сургах явдал юм.

Судалгааны зорилго:

- Сургуулийн доторх агаарын орчныг дээшлүүлэх
- Ямар орчинд сурч, ажиллаж байгаагаа харах
- Дотоод агаарын бохирдол ч гэсэн аюултай гэдгийг ойлгуулах

Энэхүү судалгааг бодит төхөөрөмж дээр биелүүлэн хэрэгжүүлэхийн тулд дараах зорилтуудыг тавьж ажилласан. Үүнд:

- ✓ Онолын судалгааг англи хэл дээрх ОУ-ын эрдэм шинжилгээний материал уншиж тоймлох
- ✓ Хэрэглэгдэх хавтан болон мэдрэгчүүдийг цуглуулах
- ✓ Төхөөрөмжөө загварчлан холболтыг хийх
- ✓ Сургуулийн орчинд туршилт хийх
- ✓ Дотоод агаарын бохирдлын хэмжилтийг авах

Төхөөрөмжийн өртөг:

1. Ардиуно уно хавтан – 35’000 төгрөг
2. DHT11 мэдрэгч – 5’000 төгрөг
3. MQ-2 мэдрэгч – 5’000 төгрөг
4. Active buzzer - 5’000 төгрөг
5. Резистер – 1’000 төгрөг
6. LCD дэлгэц – 15’000 төгрөг
7. Холбогч утас – 2’000 төгрөг

Нийт өртөг – 68’000 төгрөг

III. Төхөөрөмжийн загварчлал

Бид туршилтандаа гол хавтан, газ мэдрэгч, чийгшил, температур мэдрэгчийг олон төрлөөр кодлон ашигласан. Төхөөрөмжийн кодлолоо доор оруулав:

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

// Дэлгэцийн өгөгдлийн байт
byte Degree[] = {
  B00111,
  B00101,
  B00111,
  B00000,
  B00000,
  B00000,
  B00000,
  B00000
};

#include <DHT.h>

#define DHTPIN 6     // DHT11 –тэй холбогдож байгаа пин
#define DHTTYPE DHT11   // DHT 11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

int Analog_Input = A0;
int lpg, co;
int DI = 12;
int RW = 11;
int DB[] = {3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10};//
int Enable = 2;

void LcdCommandWrite(int value) {
// define all pins
int i = 0;
for (i=DB[0]; i <= DI; i++) // утгыг оноох
{
   digitalWrite(i,value & 01);// 1602 LCD-ийн хувьд дохиог танихад D7-D0 (D0-D7 биш) ашигладаг; Энд үүнийг дохионы урвуулахад ашигладаг.
   value >>= 1;
}
digitalWrite(Enable,LOW);
delayMicroseconds(1);
digitalWrite(Enable,HIGH);
delayMicroseconds(1);  // 1 сек хүлээнэ
digitalWrite(Enable,LOW);
delayMicroseconds(1);  // 1 сек хүлээнэ
}

void LcdDataWrite(int value) {
// бүх пинг эхлүүлэх
int i = 0;
digitalWrite(DI, HIGH);
digitalWrite(RW, LOW);
for (i=DB[0]; i <= DB[7]; i++) {
   digitalWrite(i,value & 01);
   value >>= 1;
}
digitalWrite(Enable,LOW);
delayMicroseconds(1);
digitalWrite(Enable,HIGH);
delayMicroseconds(1);
digitalWrite(Enable,LOW);
delayMicroseconds(1);  // 1 сек хүлээнэ
}

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("DHT11 test!");

  dht.begin();
  Serial.begin(9600);
```

```
  lcd.init();
  lcd.backlight();

  // Тусгай тэмдэгт үүсгэх:
  lcd.createChar(0, Degree);

  int i = 0;
for (i=Enable; i <= DI; i++) {
   pinMode(i,OUTPUT);

}

}
void loop(){

  //Өгөгдлийг уншиж, h (чийгшил) ба t
(температур) хувьсагчдад хадгална.
  //Температур эсвэл чийгшлийг уншихад
ойролцоогоор 250 миллисекунд шаардлагатай!
    delay(2000);  // Мэдрэгчийн уншилтын
хооронд саатал


float humidity = dht.readHumidity();    //
Чийглэгийг уншина
  float temperature = dht.readTemperature();
// Температурыг Цельсийн хэмээр уншина

  // Уншлага амжилтгүй болсон эсэхийг шалгаад
эртхэн гарна уу (дахин оролдоно уу).
  if (isnan(humidity) || isnan(temperature)) {
    Serial.println("Failed to readfrom DHT
sensor!");
    return;
  }
  Serial.print("Humidity: ");
  Serial.print(humidity);
  Serial.print(" %\t");
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(temperature);
  Serial.println(" *C");

// курсорыг (0,0) тохируулна уу:
// 0-ээс 9 хүртэл хэвлэх:


    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.println(" Now Temperature ");

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("T:");
    lcd.print("C");

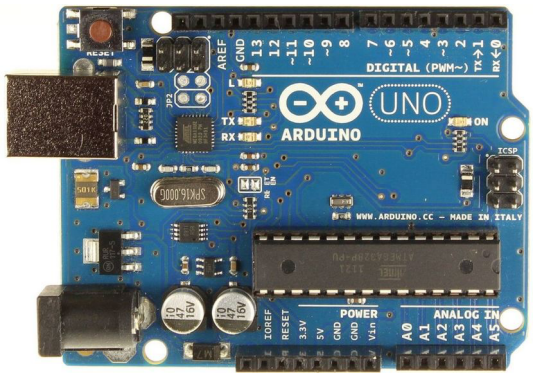
    lcd.setCursor(11, 1);
    lcd.print("H:");
    lcd.print("%");

  delay(1000); //1 сек хүлээнэ

  int val;
val=analogRead(0);//Хийн утгыг аналог 0-ээс
уншина
co=analogRead(0);
Serial.print("CO2=");
Serial.println( val,DEC);//Цуваа порт руу
утгыг хэвлэх

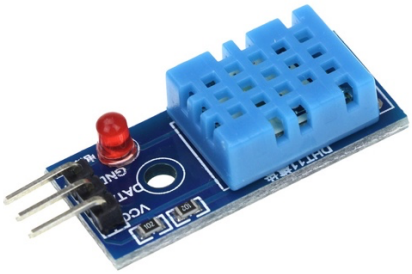
 lcd.print(" CO:");
 lcd.print(co);
 lcd.setCursor(0,1);

  delay(1000);
}
```



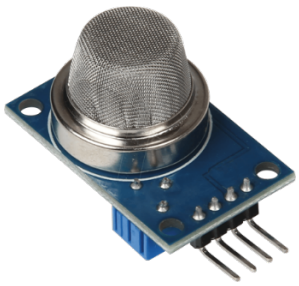
1-р зураг. Arduino хавтангийн загвар

Тайлбар 1: Ардиуно уно хавтан нь ATmega328P микроконтроллёр чип дээр суурилсан алдартай микроконтроллёрийн самбар юм. Энэ нь 14 дижитал оролт/гаралтын зүү (үүнээс 6-г нь PWM гаралт болгон ашиглаж болно), 6 аналог оролт, 16 МГц-ийн керамик резонатор (CSTCE16M0V53-R0), USB холболт, тэжээлийн залгуур, ICSP толгой, дахин тохируулах товчлууртай. Энэ нь олон талт байдал, ашиглахад хялбар, өргөн хүртээмжтэй учраас Ардиуногийн хамгийн өргөн хэрэглэгддэг самбаруудын нэг юм [16].



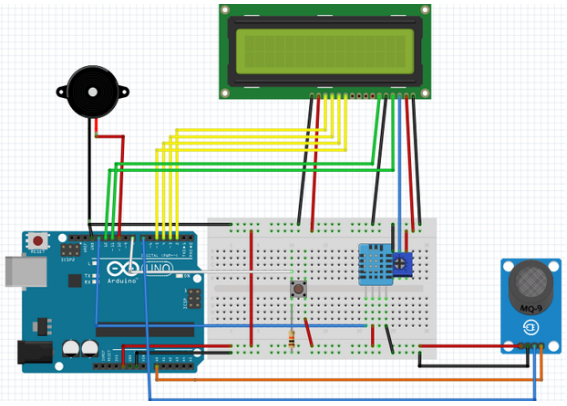
2-р зураг. DHT11 буюу чийгшил болон температур хэмжигч

Тайлбар 2: DHT11 нь үндсэн, хэт хямд дижитал температур, чийгшлийн мэдрэгч юм. Энэ нь багтаамжтай чийгшлийн мэдрэгч ба термистор ашиглан хүрээлэн буй агаарыг хэмжиж, тоон дохиог өгөгдлийн зүү дээр цаддаг (аналог оролтын зүү шаардлагагүй).

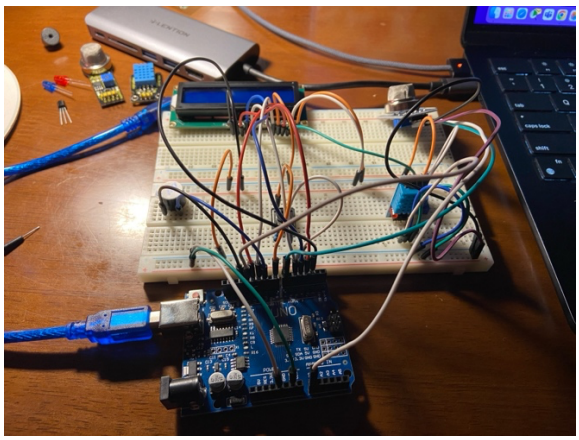


3-р зураг. MQ-2 буюу газ хэмжигч

Тайлбар 3: MQ-2 нь Winsen-ийн утаа, шатамхай хий мэдрэгч юм. Энэ нь 300 - 10000ppm-ийн хүрээнд шатамхай хийг илрүүлэх боломжтой. Энэ нь хамгийн түгээмэл хэрэглээ бол пропан, утааны өндөр мэдрэмжтэй ахуйн хий алдалтын дохиолол, мэдрэгч юм. Мөн энэхүү газ хэмжигчийг кодлон нүүрстөрөгчийн давхар ислийг хэмжих бүрэн боломжтой [17].



4-р зураг.Төхөөрөмжийн симуляцын орчинд хийсэн загвар



5-р зураг.Бодит төхөөрөмж дээр хийсэн холболтын загвар

IV. Судалгааны арга аргачлал

Судалгааны объектоор ШУТИС-ийн МХТС дээр судалгаа хийсэн. МХТС -ийн хувьд их оюутантай бөгөөд үүнээс үүдэн лекц ороход жижиг анги олон оюутан олон цагаар суух хэрэг гардаг. Мөн давхар болгонд байдаг хичээл хийж суух зориулалттай шилэн хэсгүүд агаарын солилцоо явуулах боломжгүй бүтэцтэй.

Судалгаанд дараах мэдрэгчүүд болон хавтанг хэрэглэсэн. Үүнд:

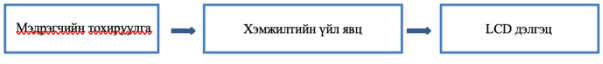
1. Ардиуно уно хавтан
2. Газ мэдрэгч
3. Температур мэдрэгч
4. Чийгшил мэдрэгч

A. Аргачлал

Бид зардал багатай, хэрэглэхэд хялбар агаарын чанарын хяналтын системийг бий болгосон. Active buzzer болон дахин эхлүүлэх товчийг ашиглан хөрвүүлэлт хийн, түүнийгээ Arduino Uno -ийн дижитал пинд холбогдсон MQ-2 мэдрэгчийг нүүрстөрөгчийн давхар исэл мэдрэгчээр ашиглан, DHT11 мэдрэгч нь чийгшил ба температурын хэмжилтийг авахад гол үүрэг гүйцэтгэсэн.

Бид 2 мэдрэгчийг 4 төрлийн өгөгдөл авах зорилготойгоор Arduino uno самбарт холбов. Мэдрэгчээс уншсан өгөгдлийг Arduino Uno микропроцессор боловсруулж, дараа нь өгөгдлийг LCD дэлгэц дээр тоо хэлбэрээр харуулах болно.

Хүлээн авсан үр дүнг хэмжсэн агаарын чанарын босгоны дагуу шинжилнэ. Энэхүү судалгааны үе шатуудыг Зураг 6-аас харж болно.



6-р зураг.Судалгааны үе шат

B. Хэмжилтийн тогтмол байх ёстой дундаж утга болон ойлголт

Дотоод орчны температур нь 18-22℃ байдаг. Харин чийгшлийн хувьд үнэмлэхүй чийгийг агаарын нэгж эзэлхүүн дэх усны уурын жинг хэмжихэд ашигладаг. Үнэмлэхүй чийгийн нэгж нь -3, өөрөөр хэлбэл нэг шоо метр агаарт грамм усны уурын нэгж юм. Чийгшил нь өөрөө 65%-аас дээшилбэл мөөгөнцөр болон улам их чийгшил дарангуйлах шалтгаан болох юм. Харин хэвийн чийгшил нь 55%-аас их байж болохгүй.

Байгалийн хийн дотор нүүрстөрөгчийн давхар исэл орох ба метанаас тогтсон шатамхай шинж чанартай ашигт малтмал учир хэвийн хэмжээнээс илүү гарах нь агаарын бохирдлын асуудлыг үүсгэдэг Нүүрстөрөгчийн давхар ислийн хувьд нэг сая агаарт хэдэн хэсэг нүүрстөрөгчийн давхар исэл байдгийг илэрхийлдэг. Хэрэв нүүрстөрөгчийн давхар исэл нь сая тутамд 400-1000 хэсэг (эсвэл ppm) байвал энэ нь нэг сая агаарт хэвийн гэсэн үнэлгээ юм. 1000-аас ихэсвэл ноцтой, аюултай гэх нөхцөлд ордог байна. [4].

PPM -ыг мг/м³ -руу хөрвүүлэх томьёо [6]:

Концентраци (ppm) = 24.45 х Концентраци (мг/м3) ÷ Молекулын жин (1)

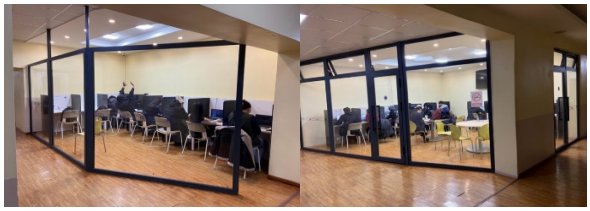
C. Судалгааны үр дүн

Мэдээлэл цуглуулах ажлыг сургуулийн орчинд өглөө 07:00 цагт оюутнууд цуглаагүй болон хүүхэд хамгийн их цугласан үед хэмжилтийг хийсэн. Мөн сургуулийн энд тэнд олон байрлалаас өгөгдлийн дээж авахыг хичээсэн.

Хэмжилт хийсэн газрууд:



7-р зураг.Номын сангийн А,Б хэсэг



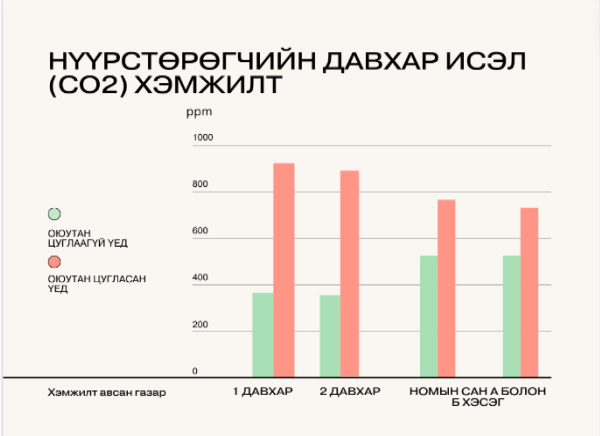
8-р зураг. Нэг болон хоёр давхрын хичээл хийх зориулалтай шилэн хэсэг

Агаарын чанарын мониторингийн үр дүнг Хүснэгт 1-ээс харж болно.

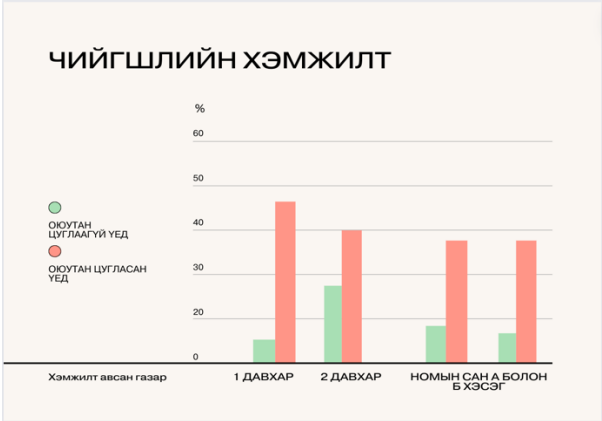
1-р хүснэгт. МХТС-ийн агаарын чанарын мониторингийн үр дүн

Байршил	Нүүрстөрөгчийн давхар исэл(ppm)		Чийгшил(г/м³)(%)		Температур(℃)	
	Оюутан багаүед	Оюутан ихүед	Оюутан багаүед	Оюутан ихүед	Оюутан багаүед	Оюутан ихүед
Номын сан А хэсэг	527	782	19%	39%	19.2 ℃	21.7 ℃
Номын сан Б хэсэг	527	737	17%	39%	19.2 ℃	22.3 ℃
Нэг давхарын шилэн хэсэг	385	920	15%	48%	19℃	24℃
Хоёр давхарын шилэн хэсэг	387	892	27%	40%	17℃	23.7 ℃
Дундаж	456.5	832.75	19.5 %	41.5 %	18.6 ℃	22.92℃

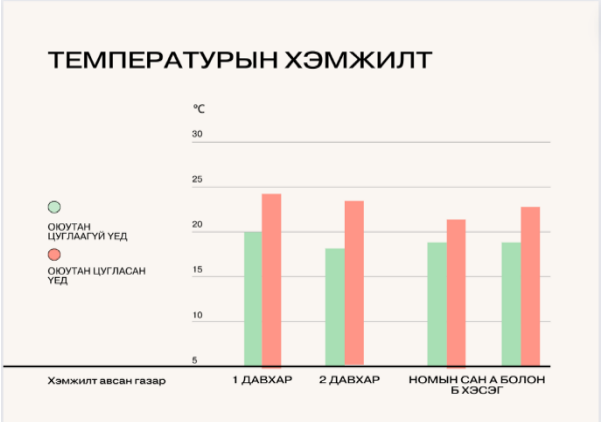
Чийгшлийн хувьд хэдий 55%-иас их байвал аюултай нөхцөлд орох ч эсрэгээрээ хэтэрхий бага байвал хуурайшилтай төрөлд орж байгаа юм. Хэмжилт хийсэн байршлуудад оюутан цуглаагүй үед хуурайшил ихтэй байгаа ч цугласны дараа олон хүний амьсгалсан агаар битүү орчинд түгэн чийгшил өсөж байгааг харуулж байна. Харин нүүрстөрөгчийн давхар исэл маань 920 ppm байгаа нь сургуулийн хэмжээнд өндөр үзүүлэлт байгаа юм. Харин номын сангийн А хэсэгт 527-782 ppm хэлбэлзэл нь олон хүний амьсгал ихсэхэд чийгшил ихсэж байгаа нь оюутан ихтэй үед агаар сэлгэлт багатай байгааг харуулж байна. Харин бидний хэмжилтийн үр дүнд номын сангийн өрөө нь чийгшлийн хувьд хэвийн, хуурайшилтын хувьд өндөр үзүүлэлтэй байна.



9-р зураг. Нүүрстөрөгчийн давхар исэлд хийсэн хэмжилт



10-р зураг. Чийгшилд хийсэн хэмжилт



10-р зураг. Температурын хэмжилт

Дүгнэлт

Энэ судалгааны үр дүнд Arduino-д суурилсан агаарын бохирдлыг хэмжих хямд үнэтэй төхөөрөмж загварчилсан. Энэ нь дотор агаарын чанарыг хэмжих систем бөгөөд Arduino Uno-г микроконтроллёр болгон ашигласан ба CO2 мэдрэгч, чийгшил болон температур мэдрэгч зэрэг бохирдуулагчийг хэмжих боломжтой мэдрэгчүүдийг ашигласан. Энэ систем нь одоо байгаа суурин болон өртөг өндөртэй хяналтын станцуудтай харьцуулахад зардал багатай, зөөврийн гэдгээрээ онцлог юм. Мөн ашиглахад хялбар, үйл ажиллагаа нь одоо байгаа агаарын бохирдлыг илрүүлэгчтэй харьцуулах боломжтой, үр ашигтай, хэрэглэгчдэд болон судлаачдад ээлтэй агаарын чанарыг илрүүлэх төхөөрөмж юм. Өөрсдийн ажиллаж, амьдарч буй дотор агаарыг хэмжсэнээр орчны агаарыг сайжруулах, бохирдлын эсрэг арга хэмжээ авахад дөхөмтэй.

Хэмжилтийн үр дүнгээс харахад чийгшлийн хувьд хэдий 55%-иас их байвал аюултай нөхцөлд орох ч эсрэгээрээ хэтэрхий бага байвал хуурайшилтай төрөлд орж байгаа юм. Хэмжилт хийсэн байршлуудад оюутан цуглаагүй үед хуурайшил ихтэй байгаа ч цугласны дараа олон хүний амьсгалсан агаар битүү орчинд түгэн чийгшил өсөж байгааг харуулж байна. Харин нүүрстөрөгчийн давхар исэл маань 920 ppm байгаа нь сургуулийн хэмжээнд өндөр үзүүлэлт байгаа юм. Харин номын сангийн А хэсэгт 527-782 ppm хэлбэлзэл нь олон хүний амьсгал ихсэхэд чийгшил ихсэж байгаа нь агаарын бохирдол үүсгэх эрсдэлтэй байна. Харин бидний хэмжилтийн үр дүнд номын сангийн өрөө нь чийгшлийн хувьд хэвийн, хуурайшилтын хувьд өндөр үзүүлэлтэй байна.

Иймээс 1,2 давхрын хичээл хийх зориулалтай шилэн хэсэгт өдөр бүр нойтон цэвэрлэгээ хийх, оюутан цугласан үед агаарын сэлгээ хийх төхөөрөмж суурилуулах нь зүйтэй байна.

Цаашдын төлөвлөгөө маань Ардиунод суурилсан төхөөрөмж дээрээ WI-FI модуль нэмж өгөн, IOT түвшний төхөөрөмж болгон хувиргахыг туршина. IOT түвшний төхөөрөмж болгосноор төхөөрөмж дээр авах утгуудаа утсан дээр веб интерфэйс болон програм ашиглан өгөгдлөө бүрэн харах боломжтой болгох юм.

Ном зүй

[1] Kemenkes RI. 2014. Tahun 2030 Prevalensi Diabetes Melitus di Indonesia Mencapai 21,3 Juta *Orang.* Artikel. www.depkes.go.id.

[2] “Sensors for indoor air quality monitoring and assessment through Internet of Things: a systematic review” November 2020

[3] “Review of the Performance of Low-Cost Sensors for Air Quality Monitoring”

[4] Md. Abdullah Al Ahasan, Saumendu Roy, A. H. M. Saim, Rozina Akter, Md. Zakir Hossain “Arduino-Based Real Time Air Quality andPollution Monitoring System"

[5] Krishna, V. Siva, and S. Arun. "Embedded System Based Air Pollution Detection in Vehicles." (2015).

[6] Kumar S and Jasuja A 2017 In 2017 “International Conference on Computing, Communicationand Automation” 1341-1346

[7] Kuncoro A H, Mellyanawaty M, Sambas A, Maulana D S, Subiyanto and Mamat M 2020 “*Journal of Advance Research in Dynamical & Control Systems* **12”** 2473-2479

[8] Gunawan T S, Munir Y M S, Kartiwi M and Mansor H 2018 “*International Journal of Electricaland Computer Engineering* **8”** 280-290

[9] Piedrahita, R., et al. "The next generation of low-cost personal air quality sensors for quantitative exposure monitoring." Atmospheric Measurement Techniques 7.10 (2014): 3325.

[10] Kim, Sunyoung, and Eric Paulos. "inAir: measuring and visualizing indoor air quality." Proceedings of the 11th international conference on Ubiquitous computing. ACM, 2009.

[11] Al-Dahoud, Ali, "Monitoring Metropolitan City Air-quality Using Wireless Sensor Nodes based on ARDUINO and XBEE."

[12] WHO. 2016. *Diabetes Fakta dan Angka.* Artikel:http://www.searo.who.int/indonesia/topic

ИММЕРСИВ VR-Virtual Reality ЦАХИМ ЛАБОРАТОРИ ХӨГЖҮҮЛЭЛТ

[1]Б.Батшагай
[1]ШУТИС Мэдээлэл, холбооны технологийн сургууль
batshagai@must.edu.mn

[2]Ч.Ану-Үжин
[2]ШУТИС Мэдээлэл, холбооны технологийн сургууль
888nineteen@gmail.com

Хураангуй: Бид энэ өгүүлэлд VR орчны тухай, түүний техник, технологи, программ хангамж болон өөрсдийн судлан хөгжүүлж буй иммерсив VR- Virtual Reality виртуал лаборатори түүний хөгжүүлэлт болон шийдлийг тусгалаа. Хөгжүүлж буй цахим лаборатори нь химийн хичээлийн лабораторийн орчин бөгөөд бүтэн сургалтын лабораторийн орчин г харуулахыг зорьсон ба 360 парорама зураг, видео, 3D объект, орчин, модель дээр Game Engine хөдөлгүүр ашиглан иммерсив VR цахим лабораторийг хийхдээ хичээлийн нэг модулийг санал болгон хийсэн ба тус ажлын талаар энэ өгүүлэлд өгүүлэх болно.

Түлхүүр үг: (keywords). Мэдээллийн технологи, Виртуал бодит байдал, виртуал орчин, иммерсив

УДИРТГАЛ

Мэдээллийн технологи хөгжихийн хэрээр түүний хэрэглээ цар хүрээгээ тэлж технологийн ололт амжилтууд бидний хэрэглээнд нэвтэрч байна. Виртуал бодит байдал (VRVirtual Reality) орох төхөөрөмж түүний хэрэглээ төрөл нь олон зүйл янзаар хөгжиж MR XR зэрэг төрлөө нэмэн шинжлэх ухаан, анагаах, интертаймент медиа контентын зах зээлд маш хүчтэй түрэн орж иржээ. Толгой дээр суурилуулсан (HMD) дэлгэц бүхий VR төхөөрөмжийн нэмэлт модулиуд нь түүний ашиглалт хэрэглээг нэмэгдүүлэн боломжоо өсгөж Oculus Rift, HTC Vive, Samsung VR Gear, Microsoft HoloLens, Sony-ийн PlayStation VR зэрэг олон төрлийн төхөөрөмж хийгдэн орчин үед TV, компьютерын дэлгэцийг харж тоглох биш та өөрөө дотор нь орон бодит орчин мэдрэн тоглох боломж хүн бүрийн өмнө нээлттэй байна. (Виртуал бодит байдал) гэдэг нь программ хангамжийн тусламжтай бүтээгдсэн, хэрэглэгчдэд бодитой мэт харагдах хиймэл дижитал 360 панорама, 3D орчин, объект билээ. Мэдээллийн технологийн өндөр хөгжил нь виртуал хэлбэрээр аялах, хөгжих, тоглоом, кино үзвэр үзэх, суралцах мөн өөрийн хүссэн дүрдээ хувирах, огт хийж үзээгүй зүйлээ виртуалаар хийх, хүссэн орон зайдаа шилжих, өөрийн очиж үзээгүй, үзэхийг хүссэн газар, араатан амьтан харах далай дээгүүр нисэж, тэнгэрийн хаяа яг хажуугаас нь харан өөр ертөнцийн адал явдлыг бодит байдлаар мэдрэн цоо шинэ мэдрэмжийг танд олгох хязгааргүй олон интертаймен боломжийг VR технологи бидэнд авчирсан.

Виртуал бодит байдал гэсэн ойлголт 1992 оноос яригдсан боловч төдийлөн хөгжиж чадаагүй учир нь энэ технологи хэт их үнэ өртөгтэй бас төвөгтэй байсан юм. Анх энэ санаа тэртээ 1838 онд Чарльз Вийтстоуны судалгаагаар хүний нүд харж байгаа объектыг хоёр өөр хэмжээстэйгээ хардаг бөгөөд үүнийг тархи боловсруулж нэг объект болгодог болохыг нээжээ. Түүний бүтээсэн стереоскопоор дамжуулан хоёр талт стерео зураг буюу энгийн зургийг харахад хүн гүн гүнзгий сэтгэгдэл болоод зурган даа автагдах мэдрэмжийг төрүүлдэг байсан байна. 1860-аад оны үед 360 градусаар дүрсэлсэн Панорамик ханын зурган урлаг үүссэнээр виртуал бодит байдал үндэслэгдсэн. 1970 онд хиймэл бодит байдал (artificial reality) гэсэн шинэ нэр томьёог гаргаж ирсэн.

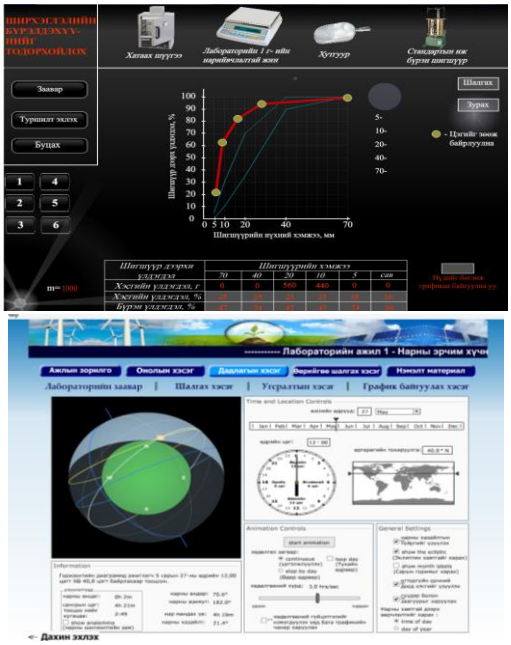
Харин өнөө үед Oculus Rift, Samsung Gear, OSVR зэрэг VR төхөөрөмжүүд сенсор ашиглан илүү хялбар бодит орчин г бүрдүүлсэн. Тэр дундаа Oculus Rift, Samsung Gear, HTC VIVE, OSVR зэрэг Wirks төрлийн VR сенсор төхөөрөмжүүд нь хүний хэрэглээнд түргэн нэвтэрч байна. Мөн Facebook 360 videos, Youtube 360 videos-ийг үзэх бүрэн биеллээ олж байгаа виртуал реалити буюу VR болон AR технологийн энэ энтертаймент байдлыг боловсрол болон бусад шинжлэх ухааны салбарт өргөнөөр ашиглах асар их боломжийг агуулж буй салбар [2].

ШУТИС-н зайн, цахим сургалт хэрэглэгдэхүүнийг 2000 оны эхэн үеэс хөгжүүлж эхэлсэн [3]. Төрийн зүгээс цахим сургалтад анхаарал хандуулж хэд хэдэн хөтөлбөр гаргаж хэрэгжүүлсээр ирсэн. Тухайлбал, 2002 онд “Зайн сургалтын үндэсний хөтөлбөр”, 2005-2012 онуудад “Цахим Монгол үндэсний хөтөлбөр”, 2012-2016 онуудад “Нэг Монгол санаачилга” гэх зэрэг тодорхой ажлуудыг нэрлэж болно [4].

Засгийн газрын үйл ажиллагааны хөтөлбөрт “Хүн бүрд чанартай боловсрол эзэмших тэгш боломж бүрдүүлж, тэгш хамруулах тогтолцоог бэхжүүлэх” зорилт дэвшүүлсэн [5]. Цахим сургалт нь дараагийн хөгжлийн төвшин рүү шилжиж тоон (дижитал), нээлттэй боловсролын зарчмаар технологид суурилсан олон чиглэлээр хөгжих төлөв ажиглагдаж байна.

ҮНДСЭН ХЭСЭГ

2010 оноос эхлэн виртуал лаборатори боловсруулалт хөгжүүлэлтийг тушин судалж эхэлсэн ба туршилтын дүнд 2 хэмжээст онлайн болон онлайн хэлбэрээр ажиллан хичээлд хэрэглэх интерактив цахим хэрэглэгдэхүүн лабораториудыг хийн туршиж байсан. Тухайн үед 67 дугаар тоот тушаалаар (магистрын төвшний хичээлүүдийг е-хичээл болгон бэлдэх тухай) 260 орчим цахим хичээл 10 орчим виртуал лаборатори хийж ба зарим зургаас оруулав [6].



Зураг1. “Барилгын материал”,” Шинэ ба сэргээгдэх эрчим хүчний нөөц

Виртуал орчин үүсгэх

- 3D технологи
- 3D графикийн программ
- Программчлалын engine хөдөлгүүр шаардагддаг.

Хийсвэр бодит байдлын загварыг боловсруулахын тулд Unity, Unreal engine 3D технологи программтай ажиллах дадал чадвартай байх хэрэгтэй.

Аливаа виртуал орчин үүсгэхийн тулд дараах алхмуудыг хийх хэрэгтэй.

Үүнд:

- Орчин үүсгэх, ямар хэлбэрт яаж байх гэх зэрэг асуудлуудыг тодруулна.
- Объект үүсгэх, ямар объектууд байх, тэдгээр нь ямар шинж чанартай байх, үйлдлийн хязгаартай байх эсэх гэх зэрэг асуудлуудыг энд шийднэ.
- Гэрэл тохируулах, аливаа объект бодит харагдахад гэрэл маш чухал үүрэгтэй оролцдог бөгөөд хэд хэдэн гэрлийн тусгалыг ашиглаж болдог.
- Гадаргуу материалыг сонгох зэрэг болно.
- Виртуал орчин үүсгэхэд объект буюу деталь маш чухал байдаг.

Учир нь бодит орчинд бүх зүйл тус тусдаа оршин байдаг. Тиймээс виртуал орчинд ч ижил тус тусад нь үүсгэх ёстой болдог.

Гэхдээ аливаа объектыг үүсгэхдээ бодит мэт харагдуулахад гадаргуу материал ихээхэн үүрэгтэй.



Зураг 2. Виртуаль орчин үүсгэх загвар

Виртуал орчин үүсгэхдээ ямар орчин хэрхэн харагдах, мөн хийгдэх үйлдэл нь тодорхой байх шаардлагатай. VR орчин, объект бэлэн болоход engine хөдөлгүүр ашиглан виртуал орчин, хөдөлгөөнийг боловсруулах ба нэмэлт үйлдэл шаардвал программчлалын орчин шаарддаг [7].

3D виртуал орчин ба технологи

Технологийн хувьд үндсэн хоёр хэсэгт тулгуурлан хөгжүүлнэ.

1. Виртуал 3D технологиуд k engine, unity engine, unreal engine , maya, 3ds max, Revit, fusion 360, 3D Animation гэх зэрэг 3D, VR технологи ашиглан виртуал орчин үүсгэн хөгжүүлэх.
2. Нээлттэй хэлбэрийн веб технологи WebGL платформд, Unreal Engine Web Remote Control, Stimulus JavaScript framework, HTML5, Javascript frame work зэрэг технологийн хөгжүүлэлт хийгдэж байна.

Мөн VR орчин нь хэрэглэгчдэд илүү бодит мэдрэмж төрүүлэх, нэмэлт олон боломжийг хөгжүүлэгчдэд олгодог. Мөн өнөө үед зах зээл нь чөлөөт цаг, аялал жуулчлал, маркетинг, соёл урлаг гэх зэрэг олон чиглэлээс ойрын жилүүдэд хиймэл оюун ухааныг нэгтгэх түүн дээр тулгуурлан ажиллах шийдэл харагдаж байгаа. Үүний жишээ нь: The Matrix Awakens: An Unreal Engine 5 Experience юм. Сүүлийн үеийн 5G стандарт нь VR-ийн хувьслын маш сонирхолтой хувилбаруудыг гаргаж өгч чадна. Энэхүү стандарт нь илүү олон төхөөрөмжүүд болон томоохон хэрэглэгчийн бүлгүүдийг холбох боломжийг олгоно [8].

VR лабораторийг боловсруулах хэлбэрээр нь

1. 2 хэмжээст график бүхий онлайн оплайн хэлбэрээр ажиллах интерактив цахим хэрэглэгдэхүүн болон лаборатори хийх. /Цахим платформ, программ гэх зэрэг/
2. 3 хэмжээст график бүхий интерактив интертаймэнт цахим хэрэглэгдэхүүн болон лаборатори хийх./Компьютерын дэлгэц дээр

харагдах 3D game хэлбэрийн гэх зэрэг мөн зарим төрийн VR виртуал орчин хамруулан ойлгоно/.

3. 3 хэмжээс график орчин бүхий бүрэн VR-д орох интерфейс бүхий интертаймэнт цахим хэрэглэгдэхүүн болон лаборатори хийх. /VR орчинд бүрэн орж тухайн орчинд үйлдэл хийх, ажиллах зэрэг бодит иммерсив мэдрэмжүүдийг агуулна [8].

Иммерсив виртуал лаборатор

Бидний хийхээр зорьж буй виртуал лаборатори нь бүрэн иммерсив VR виртуал лаборатор ба VR төхөөрөмж headset дээр тулгуурлан ажиллах 3D болон 360^0 виртуал аялал ашиглан хийсэн контент юм. Бүрэн виртуал бодит байдлыг мэдрэх, түүнтэй харилцахын тулд хэрэглэгчдэд зохих хэмжээний VR төхөөрөмж эсвэл толгой холбогч дэлгэц (HMD – Head Mounted Display) хэрэгтэй. Виртуал бодит байдал гэдэг нь бүрэн дижитал, компьютероор бүтээгдсэн, гурван хэмжээст дижитал орчин юм. Уламжлалт хэрэглэгчийн интерфейсээс ялгаатай нь VR нь хэрэглэгчид туршлага дээр тулгуурлан бодит ертөнцийг дуурайх эсвэл огт өөр 3D ертөнцөд автах, түүнтэй харьцах боломжийг олгодог. Хараа, сонсгол, хүрэх гэх мэт мэдрэхүйн мэдрэмжийг аль болох дуурайлган хийсэн дижитал орон зай юм.

Өнөө үед виртуал бодит байдлын симуляцийн 3 үндсэн ангиллыг ашигладаг:

• Иммерсив бус

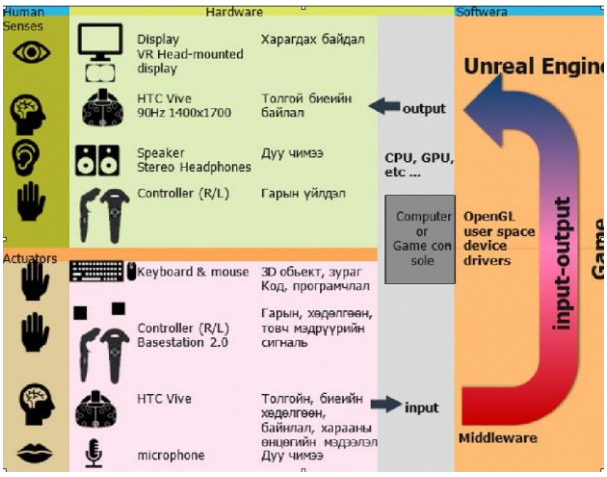
• Хагас иммерсив

• Бүрэн иммерсив

Бидний хийсэн виртуал лаборатори нь бүрэн иммерсив виртуал бодит байдлын төрөл юм. Энэ төрлийн VR-ийг тоглоом болон бусад интертаймент зориулалтаар ашигладаг боловч бусад салбарт өргөнөөр ашиглаж байна.

VR ҮҮСГЭХ ИНТЕРФАЙС

Бүрэн иммерсив VR орчинд ороход дараах ерөнхий интерфейстэй байх шаардлагатай.



Зураг 3. VR үүсгэх интерфайс

Хүн бүрэн иммерсив VR орчинд ороход толгойд зүүх HTC Vive HMD дэлгэц бүхий төхөөрөмж, түүн дээрх дуу чимээ хөдөлгөөн мэдрэх камер Basestation, гарын товч хөдөлгөөн мэдрэх controller зэрэг төхөөрөмжийн тусламжтай өгөгдлийг системд оруулан unreal engine game боловсруулан программчиллаж буцаан HMD болон бусад төхөөрөмжид гаралтыг илгээх хэлбэрээр хүний харах болон бусад мэдрэхүйд хүрснээр VR орчинд орон үйлдэл хийх боломжийг олгоно [8].

Өөрөөр хэлбэл

1. Хүн /мэдрэх, үйлдэл илгээх/

2.Техник хангамж /Өгөгдлийн ороолт гаралтын сигнал/

3.Программ хангамж /программчлал, боловсруулалт/ гэсэн үндсэн гурван хэсгээс бүрдэх юм.

Давуу болон сул талууд

Аливаа технологийн нэгэн адил виртуал бодит байдал нь сайн, муу хоёр хэсэгтэй байна.

Давуу талууд

- Дүрслэл
- Сонирхлын төвшин нэмэгдүүлдэг
- Мэдээллийг хадгалах нөхцөлийг бүрдүүлэх
- Иммерсив мэдрэх, интерактив оролцоо

Сул талууд

- VR өвчин, эрүүл мэнд
- Технологи нь туршилтын хэвээр байгаа зэрэг
- Үнэтэй тоног төхөөрөмж

VR виртуал лаборатори

Ихэнх виртуал бодит байдал үүсгэх технологи нь 3D технологи, 3D графикийн программ, программчлалын engine хөдөлгүүр ашиглан хийгдэж байгаа ба ихэнх engine программ нээлттэй хэлбэрээр хөгжүүлж байгаа нь түүнийг хэрэглэх боломжийг бидэн олгож байна.



Зураг 4. Химийн лабораторийн виртуаль орчин 3D model

Бидний хувьд Unity болон Unreal engine-ийг сонгон виртуал орчин үүсгэх зорилгоор судалсан.

Мөн одоогоор химийн лабораторийн хичээлд хэрэглэх виртуал лабораторийн ажлыг эхлүүлэн судалж байгаа ба лабораторийн орчин бүрэн үүсгэсэн.

Бидний хөгжүүлж буй лаборатори нь Mate Quest 2 headset дээр тулгуурлан ажиллах ба game engine ашиглан хөгжүүлэхэд хэд хэдэн хүндрэл тулгарсан.

1. Meta Quest 2 headset холболт үүсгэн ажиллах
2. Meta Quest 2 headset дээр тулгуурлан ажиллах

Энэ байдлаас шалтгаалан Unity болон Unreal engine аль аль дээр нь орчин үүсгэж хөгжүүлэлт хийсэн.



Зураг 5. Unreal engine болон Unity engine орчин

Мөн 3D иммерсив лаборатори 2 өөр хэлбэрээр үүсгэж байгаа шалтгаан нь

1. Unity engine ашиглан хийж буй технологи нь шууд headset дээр суун ажиллах ба давуу тал нь гацалт бага ашиглахад хялбар бол сул тал нь headset-ийн чадлаас хамааран бодит харагдах график интерфейс муутай байдаг.
2. Unreal engine ашиглан хийж буй технологи нь headset дээр сууж ажиллах боломжгүй буюу компьютертой холболт хийж ажиллана./5Gbps connection cabel, өдөр хурдны wifi 6/. Давуу тал нь маш өндөр релистик бодит 3D график интерфейстэй.

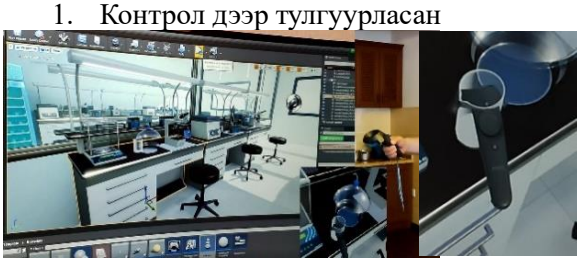
Мөн бидний хийж буй лабораторид иммерсив байдлыг хангах үүднээс 360^0 виртуал орчны бодит бичлэгийг тодорхой хэсгүүдэд ашиглаж байна.



Зураг 6. Иммерсив VR лаборатор ашиглах 360^0 видео, зураг

Иммерсив VR лабораторийн виртуал орчин объектын коллешин, үйлчлэл хийсэн ба интерактив оролцоог хангахдаа дараах хэлбэрээр хийж байна.

1. Контрол дээр тулгуурласан

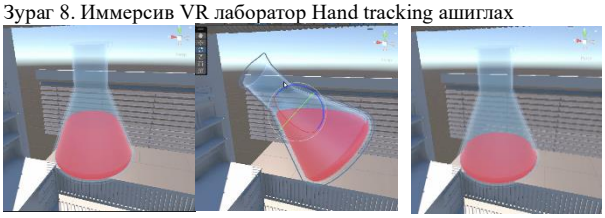


Зураг 7. Иммерсив VR лаборатор Контрол ашиглах

2. Hand tracking технологийг ашиглаж байна.



Зураг 8. Иммерсив VR лаборатор Hand tracking ашиглах

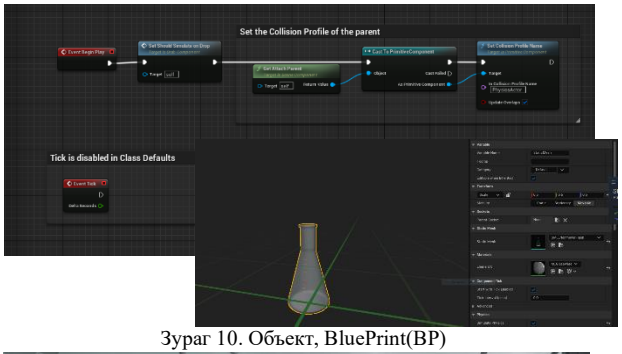


Зураг 9. Shader

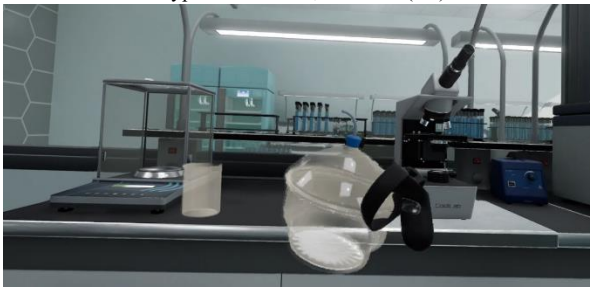
Shader ашиглан обьект дээрхи урвалийн хөдөлгөөн хийсэн.

Intractable обектууд үүсгэх

3d моделиуд VR platform-д орж ирэх үедээ ямар нэгэн intraction болон collision байхгүй хоосон орж ирдэг. Орчноо илүү сонирхолтой болгохын тулд объектуудаа collision нэмээд Blue Print үүсгэсэн.



Зураг 10. Объект, BluePrint(BP)



Зураг 11. Component, объектыг барих

Модель бодит амьдралтай аль болох ижил байхын тулд тохирсон масстай байх хэрэгтэй бөгөөд intract хийх объект болгонд тус тусад нь BluePrint(BP) хийх ёстой. Үүнээс гадна component-оор объектыг аль товчоор хэрхэн барихыг заан объектоо оноож өгнө.

Locomotion

Locomotion нь хэрэглэгчид виртуал орчинд хэрхэн шилжихийг тодорхойлдог VR-ийн чухал хэсэг юм. Дотроо олон янз байдгаас motion sickness гэмтэл алдаанаас сэргийлэх үүднээс Teleportation-ийг сонгон Nav Mesh Agent хоёр project-оо хөгжүүлэн ашигласан.



Зураг 12. Locomotion VR орчинд эхлэх хэсэг

3d модель авч ашигласан эх сурвалж

Дээр дурдсанчлан VR орчин болоод объект хийхэд хамгийн их шаардагдах зүйлүүд нь 3D объектууд ба хийх зурахад цаг хугацаа шийдэл ихээхэн шаарддаг. Иймээс 3D загвар авч ашиглах нь харьцангуй хялбар ч scan төрлийн 3D объектоор хийх нь зохимжгүй байдаг ба байгуулагч бүтэцтэй 3D загвар болон 3D объект дээр ажиллах өөрчлөлт хийх нь илүү хялбар болдог.

1. Зарим 3D объектыг авж ашигласан эх сурвалж ашигласан эх https://support.turbosquid.com
2. Unreal Engine Marketplace https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US

ДҮГНЭЛТ

Виртуал лаборатори нь орон зай, цаг хугацаа, үнэ өртөг, суралцах, боломж боловсролын хүртээмжтэй байдал зэрэг маш олон талын хэрэглээ ач холбогдолтой бөгөөд бидний хийж буй лабораторийн шинэлэг тал нь иммерсив VR лаборатори гэдэгт оршино. Цахим хэрэглэгдэхүүн виртуал лаборатори боловсруулахад олон шийдэлтэй байдаг технологийн шинэчлэл түүний ололт амжилттай уялдан шинэ шийдлүүд дээр тулгуурлан бүрэн иммерсив хэлбэрийн virtual reality цахим лаборатори хийсэн нь бидний хувьд шинэлэг тал ач холбогдол нь оршиж байна. Ирээдүйд 5G болон бусад технологийн шийдлүүд болон WebVR, 3D, VR, AR технологиуд нь интертаймэнт 3D хэлбэрийн цахим хичээл, виртуал лаборатори, виртуал аялал, цахим хэрэглэгдэхүүнийг хөгжүүлж олон нийтийн хэрэглээнд өргөнөөр нэвтрүүлэх боломж харагдаж байна. Мөн 3D, VR хэлбэрийн энэ ажил нь цаг хугацаа болоод хүн боловсон хүчин, тоног төхөөрөмж, үнэ өртөг, технологийн шийдэл ихээр шаардана. Харьцангуй сүүлийн жилүүдэд технологи, төхөөрөмжийн үнэ дэлхийн зах зээл дээр буурч байгаа бөгөөд headset-ийн үнэ хувьд дундажаар 500$ байна. Хэдийгээр үндсэн хөгжүүлэлт хийх програм хангамж хөдөлгүүр үнэгүй байгаач VR library, development environment зэргийг ашиглан engine хийх 3D объект боловсруулах зэрэг э өртөгтэй цаг хугацаа их шаардсан ажил болж байна. Технологийн хөгжилтэй зэрэгцэн цахим хэрэглэгдэхүүн виртуал лаборатори хөгжүүлэлтийн орчин технологи өөрчлөгдөж байгаатай хөл нийлүүлэн шинэ шийдлүүдийг илэрхийлэн энэ хүү VR лабораторийн боловсруулахаар зорилт тавин ажиллаж иммерсив VR виртуал лаборатори хийхсэн ба онцлог нь бүрэн иммерсив хэлбэрт орох шийдэл юм. Бидний хувьд цахим хэрэглэгдэхүүний мөн чанар нь сургалтын агуулгыг баяжуулах, хичээлийн зорилго зорилтыг оюутан суралцагч нарт бүрэн хүргэхэд чиглэсэн байх ёстой гэсэн үндсэн шаардлагаар цахим хэрэглэгдэхүүнийг боловсруулсаар ирлээ.



НОМ ЗҮЙ

[2] Б.Батшагай, "360^0 зураг, видеоний хэрэглээ ба виртуал аялал,"ММТ 2023.

[3] Б.Батшагай, Т.Уранчимэг, "Цахим хэлбэрийн сургалтын технологийн," Эрдэм шинжилгээний бүтээл *№10*, 2010.

[4] Б.Очирбат "Цахим сургалт боловсролын хөгжлийн чиг хандлага," Зууны мэдээ 2020.

[5] "Алсын хараа 2050 Боловсролын салбарт эрх тэгш байдал" ttps://www.globalpartnership.org, 2020/07.

[6] Б.Батшагай, Т.Уранчимэг "Цахим хэрэглэгдэхүүнүүдийг боловсруулж, инженерийн сургалтад нэвтрүүлсэн замнал, дүгнэлт," Нээлттэй боловсрол , 2021.

[7] Б.Батшагай, "Цахим виртуал хэрэглэгдэхүүн хөгжүүлэх технологи ба virtual eality орчин үүсгэх боломж," *Цахим үндэстэн ЭШХ* , 2021.

[8] Б.Батшагай, Т.Урагчимэг, "Virtual reality лабораторийн хөгжүүлэлт," *ММТ 2022*.

Уламжлалт болон машин сургалтын аргууд дээр суурилсан цаг агаарын таамаглал

Чойнзонгийн Мөнхнасан
МХТ-ийн ахисан түвшний салбар, МХТС, ШУТИС
mnasan@must.edu.mn

Ганболдын Ганчимэг
МХТ-ийн ахисан түвшний салбар, МХТС, ШУТИС
ganaa@must.edu.mn

Зоригтын Нарантуяа
Танасофт ХХК
narantuya696@gmail.com

Хураангуй **- Цаг агаарын урьдчилсан мэдээ нь эрүүл мэнд, хөдөө аж ахуй зэрэг олон салбарт ихээхэн нөлөө үзүүлж, цаг агаарын хүнд хэлбэрийн үед менежментийн шийдвэр гаргахад чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Уламжлалт тоон суурьтай цаг агаарын урьдчилсан мэдээний аргууд нь нарийн нийлмэл математик тэгшитгэлийг ашигладаг бөгөөд их хэмжээний тооцоолох хүчийг шаарддаг. Нөгөө талаас сүүлийн жилүүдэд өртөг багатай машин сургалтын аргууд болон технологийн дэвшлийг ашиглан цаг агаарыг таамаглах судалгааны ажлууд ихээр хийгдэж байна. Энэхүү судалгааны зорилго бол хугацааны цувааны алгоритмууд болох SARIMA, RNN, LSTM, сүүлийн үеийн өсөлтөд тулгуурласан (boosting-based) машин сургалтын алгоритмууд болох XGBoost, LightGBM -ийг ашиглан Улаанбаатар хотын дараагийн өдрийн агаарын температурын хамгийн их ба хамгийн бага температурыг таамаглах загваруудыг боловсруулах явдал юм. Загваруудыг ЦУОШГ-аас авсан Улаанбаатар хотын 2013-2022 оны ажиглалтын өгөгдлийн багц дээр тулгуурлан сургасан. Загваруудын гүйцэтгэлийг хэмжихийн тулд дундаж квадрат алдаа болон хамгийн өндөр R^2 онооны аргуудыг ашигласан. XGBoost, LightGBM загварууд нь бүх жилүүдийн хувьд хамгийн их болон хамгийн бага температурыг SARIMA, RNN, LSTM алгоритмуудаас илүү таамагласан. Хамгийн их температурын хувьд LightGBM загвар нь 89%, хамгийн бага температурын хувьд LightGBM загвар нь 93% -ийн нарийвчлалтай тус тус таамагласан.**

Түлхүүр үг: Daily temperature forecasting, RNN, LSTM, XGBoost, LightGBM, Autoregressive model

I. Удиртгал

Цаг агаарын урьдчилсан мэдээ нь эрүүл мэнд, хөдөө аж ахуй зэрэг олон салбарт ихээхэн нөлөө үзүүлж, цаг агаарын хүнд хэлбэрийн үед менежментийн шийдвэр гаргахад чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Мөн хүмүүсийн өдөр тутмын амьдралын хэв маягт ч нөлөөлдөг. Иймээс цаг агаарыг найдвартай, үнэн зөв урьдчилан таамаглах нь маш чухал юм. Уламжлалт тоон суурьтай цаг агаарын урьдчилсан мэдээний аргууд нь нарийн нийлмэл математик тэгшитгэлийг ашиглах бөгөөд их хэмжээний тооцоолох хүчийг шаарддаг [5, 12].

Сүүлийн жилүүдэд өртөг багатай машин сургалтын аргууд болон технологийн дэвшлийг ашиглан цаг агаарыг таамаглах судалгааны ажлууд ихээр хийгдэж байна [5, 6]. Судлаачид хиймэл нейрон сүлжээний салбар төрлүүд болон регрессийн аргууд дээр суурилсан аргуудыг өөр өөр орны өгөгдлийн багцууд дээр туршин үнэлгээний аргуудаар үнэлэн өндөр үр дүн бүхий таамаглалыг гарган авсан [1, 6-9].

Монгол орны газар нутаг гадаад далай тэнгисээс ихээхэн алслагдсан, Евразийн эх газрын төвд тал бүрээсээ өндөр уул нуруугаар хүрээлэгдсэн, далайн түвшнээс дунджаар километр хагас илүү өндөр өргөгдсөн зэргээс шалтгаалан эх газрын эрс тэс, хатуу ширүүн уур амьсгалтай. Монгол орны уур амьсгалын гол онцлог бол жилийн дөрвөн улирлын ялгаа ихтэй, энэ чанараараа агаарын температурын хэлбэлзэл өндөр, хур тунадас бага, уур амьсгалд өргөрөгийн болон өндрийн бүслүүрийн ялгаа тодорхой илэрдэг [12].

Бид энэхүү судалгааны хүрээнд цаг агаарыг таамаглахад хугацааны цувааны өгөгдөлд зориулсан уламжлалт статистик шинжилгээний загвар болох SARIMA, мөн гаралтаас оролт руу эргэх холбоог ашиглах шинж чанартай Feedforward нейрон сүлжээний өөрчлөгдсөн хэлбэр болох RNN, RNN мэдрэлийн сүлжээний боловсронгуй хувилбар бөгөөд ялангуяа хугацааны цувааны өгөгдлүүд дээрх комплекс холбоог загварчлахад тохиромжтой LSTM аргыг үр ашигтай байдал, хурд, нарийвчлалын хувьд хүчирхэг сүүлийн үеийн алгоритмууд болох Extreme gradient boosting regression (XGBoost), Light gradient boosting machine (LightGBM) аргуудын хамт сургалтын аргаараа сонгосон.

Энэхүү судалгааны зорилго бол сонгон авсан SARIMA, RNN, LSTM, XGBoost, LightGBM алгоритмуудыг ашиглан Улаанбаатар хотын дараагийн өдрийн агаарын температурын хамгийн их ба хамгийн бага температурыг таамаглах машин сургалтын загваруудыг байгуулан загвар тус бүрийн чадварыг шинжлэн судлах явдал юм. Загваруудыг ЦУОШГ-аас авсан Улаанбаатар хотын 2013-2023 оны ажиглалтын өгөгдлийн багц дээр тулгуурлан сургана. Эдгээр загваруудын үр дүнг (гүйцэтгэлийг) таамагласан болон бодит утгуудын хоорондох дундаж квадрат алдаа болон хамгийн өндөр R^2 оноогоор шинжлэн харьцуулна. Мөн түүнчлэн сүүлийн нэг жилийн хувьд их бага температурыг хамгийн өндөр таамагласан загварын үр дүнг ЦУОШГ-ын хийсэн температурын харгалзах урьдчилсан таамаглалтай

харьцуулан сургасан загварын үр ашигтай байдлыг үнэлэх юм.

II. Судлагдсан байдал

Жун Мин Хан нар өндөр нарийвчлалтай орон нутгийн цаг агаарын урьдчилсан мэдээг гаргахад RNN аргыг ашиглах аргачлалыг санал болгосон. Урьдчилсан таамаглалыг газар дээрх бодит хэмжилттэй харьцуулан баталгаажуулж, дундаж квадрат алдаа нь бага 2.96 -д хүрсэн [1].

Ю Ли нар LSTM болон DLSTM гэсэн 2 загварыг 2017-2019 оны Ираны бүс нутгаас цуглуулсан өгөгдлийн багцыг ашиглан өдөрт тутмын агаарын температурыг таамаглахад хэрэглэсэн. Уг санал болгож буй DLSTM загварын хувьд RMSE нь 0.08 ˚C, R^2 нь 0.99 гэсэн маш өндөр нарийвчлалтай болохыг харуулсан [7].

Мерве Апайдин нар 12 ялгаатай машин сургалтын аргуудыг ашиглан хийсэн Сөүл хотын цаг агаарын урьдчилсан таамаглалуудыг шинжилсэн [8]. Ажиглагдсан үр дүнгээс харахад XGBoost болон LightGBM нь цаг агаарыг хамгийн өндөр нарийвчлалтай таамаглаж чадсан.

Ике Шри Рахайу нар RNN аргыг ашиглан өдөр тутмын агаарын температурыг таамаглах загварыг бүтээсэн [9]. Adam оновчлогчийг ашигласан судалгааны үр дүн нь тестийн өгөгдөл дээр 80.36% байсныг нотлон харуулсан.

Л. Оюунжаргал нь 2012 онд хиймэл нейрон сүлжээний загвараар Монгол орны 28 хот, сууринган агаарын хоногийн хамгийн их, бага температур, хагас хоногийн хур тунадас, салхины дундаж их хурдыг тав хүртэлх хоногоор, өдөр дараалан урьдчилан тооцоолох загвар боловсруулж, тодорхой үр дүнгүүдийг гаргасан [12].

III. Судалгааны арга

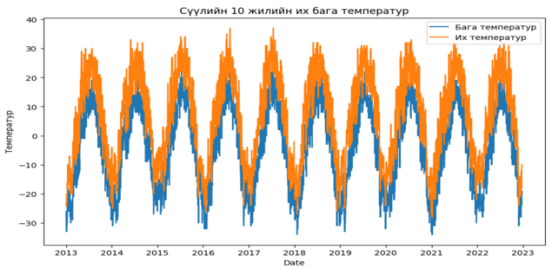
A. Өгөгдөл цуглуулах ба өгөгдлийн урьдчилан боловсруулалт

Тус судалгаанд зориулж нийт 10 жилийн (2013–2022) түүхий өгөгдлийг ЦУОШГ-аас цуглуулж, судалгаанд ашигласан (Зураг 1). Зураг 2-т Улаанбаатар хотын 2013 оны 1 сарын 1-нээс 2022 оны 12 сарын 31-ний хоорондох өдөр бүрийн цаг агаарын хамгийн их болон бага температурын өгөгдлийн багцыг дүрслэсэн графикийг үзүүлэв. Хугацааны цувааны өгөгдөл дэх үндсэн хэв маяг, бүтцийг ойлгоход тусладаг хугацааны цувааны задралын аргыг ашиглан судалгаанд ашиглаж буй өгөгдлөө шинжилсэн (Зураг 3).

	Date	Tmin	Tmax
0	2013-01-01	-26.0	-24.0
1	2013-01-02	-30.0	-23.0
2	2013-01-03	-32.0	-23.0
3	2013-01-04	-33.0	-24.0
4	2013-01-05	-31.0	-22.0
...	...	...	...
3647	2022-12-27	-24.0	-18.0
3648	2022-12-28	-28.0	-20.0
3649	2022-12-29	-26.0	-15.0
3650	2022-12-30	-25.0	-16.0
3651	2022-12-31	-24.0	-16.0

Зураг 1. Өгөгдлийн багцын тойм

Дээрх шинжилгээний үр дүнд цувааны хувьд улирлын шинж чанар болон чиг хандлага нь тогтвортой ба улирлын болон хандлагын хэв маягийг хамааруулалгүйгээр авч үзэхэд огцом өсөлт эсвэл бууралт нь харьцангуй тогтвортой ч зарим өдөр эсвэл улирлын үед хэлбэлзэлтэй байна.



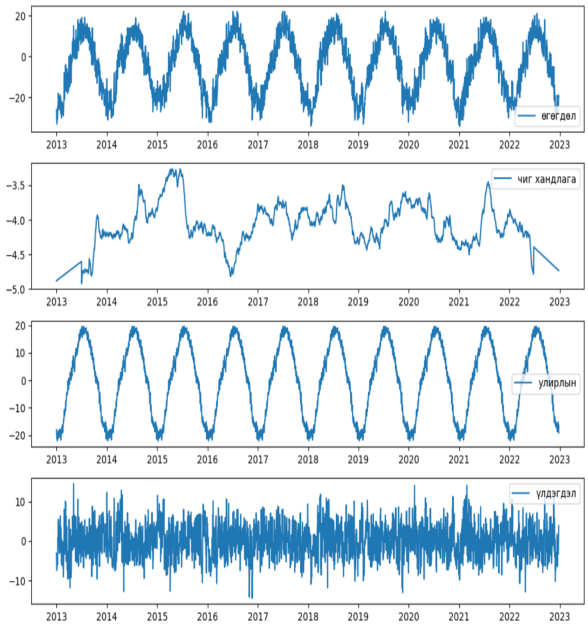
Зураг 2. Хугацааны цувааны зураглал

Өгөгдлийн урьдчилсан боловсруулалтаар Date атрибут буюу он сар өдрийг нэг формат бүхий огноо руу шилжүүлж, Tmin болон Tmax утгуудыг float төрөл рүү хувирган бэлтгэсэн.

B. Загваруудын архитектурын дизайн

SARIMA загвар

Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) [10] нь ирээдүйн чиг хандлагыг урьдчилан таамаглахад хугацааны цувааны өгөгдлийг ашигладаг статистик шинжилгээний загвар юм. Сонгодог ARIMA загварууд нь судлаачдын хувьд илүү боловсронгуй машин сургалтын аргуудыг тархахаас өмнө цаг агаартай холбоотой хугацааны цувааны өгөгдлүүдтэй ажиллахад ашиглагддаг түгээмэл арга нь байсан. Эдгээр загварууд нь ихэнх тохиолдолд харьцангуй найдвартай үр дүн, таамаглалыг гаргадаг бөгөөд хэрэгжүүлэхэд харьцангуй хялбар, ямар ч төрлийн хугацааны цувааны өгөгдлүүд дээр ашиглах боломжтой.



Зураг 3. Хугацааны цувааны нэмэлт задрал

Гэхдээ ARIMA загварууд нь урт хугацаанд, олон хувьсагчтай сайн ажилладаггүй. SARIMA (Seasonal ARIMA) нь улирлын бүрэлдэхүүнтэй нэг хувьсагчтай хугацааны цувааны өгөгдлийг дэмждэг ARIMA-ийн өргөтгөл юм [10].

SARIMA загвар дээр хамгийн бага AIC (Akaike Information Criterion-загвар сонгоход ашиглагддаг шалгуур) утга бүхий хослолыг тодорхойлохын тулд SARIMA загварын параметрүүдийн (p, d, q болон P, D, Q, m) янз бүрийн хослолууд дээр сүлжээ хайлтыг (grid search) хийсэн ба тэдгээр хайлтын явцад сургалтын багц дээр байж болох хамгийн бага утга бүхий AIC-тэй хослол (1,1,1,0,0,0,12)-ыг сонгон хамгийн их болон бага температурыг таамаглах загварыг боловсруулсан. Энд p, d, q нь улирлын бус бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг илэрхийлэх ба p -авторегрессийн дараалал, d -ажиглалтын зөрүүний тоо, q -хөдөлгөөний (шилжилтийн) дундаж дараалал, P, D, Q, m нь харгалзан улирлын регрессийн дараалал, зөрүүний тоо, хөдөлгөөний дундаж дараалал бол m - нэг улирлын хугацаан дахь хугацааны алхмын тоо болно.

RNN загвар

RNN (Recurrent Neural Network) [2, 9] нь өмнөх алхмын гаралт нь одоогийн алхмын оролт болон ашиглагддаг давтагдах (рекуррент) мэдрэлийн (нейрон) сүлжээний нэг төрөл юм. RNN-ийн гол шинж чанар нь дарааллын талаарх зарим мэдээллийг санаж байдаг түүний далд төлөв юм. RNN нь өмнөх хугацааны алхмуудыг ‘санах’/’боловсруулах’ чадвартай хугацааны оролтуудын хоорондох далд төлөвүүдийг агуулах хуваалцах нейрон давхаргуудаас бүрддэг. Энэ нь RNN аргыг дараалсан өгөгдлүүдийг загварчлахад тохиромжтой болгоод зогсохгүй түүний тухайн хугацааны динамиктай холбоотой нарийвчлалыг илүү болгоно. Гэсэн хэдий ч энгийн RNN нь идэвхжүүлэгч функцээс хамааран мэдээлэл нь “цаг хугацааны явцад бүдгэрдэг” градиент алга болох асуудалтай холбоотойгоор холын зайн холболтыг сурахад үр дүнгүй байдаг. Тодруулбал, мэдрэлийн эсүүдийн жин нь тодорхой мужид хүрмэгц өмнөх алхмууд нь мэдээлэл өгөхөө болино гэсэг үг юм. Энэ асуудлыг даван туулахад LSTM тусалдаг. LSTM-ийн талаар доор тайлбарлана.

Хүлээж буй үр дүнд хүрэх нэг чухал алхам бол гиперпараметруудыг зөв сонгох явдал юм. Температур таамаглах RNN, LSTM загваруудын ихэнх параметрүүдийг туршилт ба алдааны аргаар тохируулсан. Загварыг дараах гиперпарамет-руудтай байхаар эцсийн тохируулгыг хийсэн.

Энгийн давтагдах нейрон сүлжээний загвар байгуулсан ба үүнд давтагдах давхарга нь 128 нэгж/нейронтой ба оролтын өгөгдлийн багцын хэмжээг 1, оролтыг 365 оролтын функцтэй, ReLU идэвхжүүлэгч функцтэйгээр тохируулагдсан. Туршилтын өгөгдлийн 12 сарын эцэс болгоноор урагшлан баталгаажуулах нэг алхамт таамаглалуудыг гаргах тул багцын хэмжээг 1-ээр авсан.

Загварт Dense буюу 2 нягт давхаргыг нэмж өгсөн ба эхний давхаргыг ReLU идэвхжүүлэгч функцтэй, 32 нейронтойгоор тодорхойлсон бол хоёр дахь нягт давхарга нь идэвхжүүлэх функцгүй ба регрессийн хувьд нийтлэг буюу 1 нейронтойгоор таамаглалд зориулан гаралтын давхаргуудыг төлөөлүүлэн тодорхойлогдсон. Загвар нь $RMSprop$ оновчлогч функцыг 0.001 сургалтын хурдтайгаар ашигласан. $epoch$-ийг 20-оор тохируулсан.

LSTM загвар

LSTM [11] нь дараалсан өгөгдлүүд дэх урт хугацааны хамаарлыг судлах чадвартай RNN-ний сайжруулсан хувилбар юм. Энэхүү судалгаанд ашигласан LSTM архитектурын нэг үүрийн бүтцийг Зураг 4-т үзүүлэв. LSTM аргын чухал бүрэлдэхүүн хэсэг нь санах ойн үүр (урт хугацааны санах ой) ба мартах, оролт, гаралт гэсэн 3 гарцууд бөгөөд тэдгээрийг одоогийн гаралт h_t болон одоогийн үүрийн төлөв C_t -ийг тооцоолоход ашигладаг. LSTM үүр бүр нь өмнөх үүрийн төлвийн гаралт C_{t-1}, өмнөх үүрийн далд (нуугдсан) төлөв h_{t-1} гэсэн хоёр оролт, мөн

одоогийн оролт x_t -ийг авдаг. Үүрний агуулга (мэдээлэл) нь оролт болон мартах гарцын тусламжтайгаар солигддог. Өөрөөр хэлбэл санах ойн үүрнээс хэрэггүй болсон мэдээллийг мартах гарцын тусламжтайгаар (1) -р тэгшитгэлийг ашиглан устгадаг.

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (1)$$

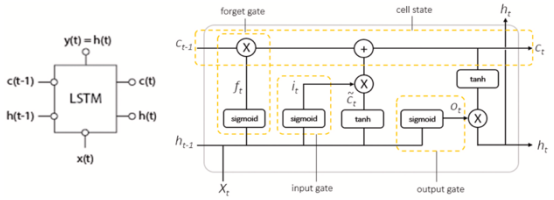
Оролт гарцын тусламжтайгаар (2), (3), (4) -р тэгшитгэлийг ашиглан үүрэнд хэрэгтэй шинэ мэдээллийг нэмдэг буюу өөрөөр хэлбэл үүрний мэдээллийг шинэчилдэг.

$$i_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (2)$$
$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (3)$$
$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t \quad (4)$$

Одоогийн үүрийн төлөвөөс гаралт болгон харуулах хэрэгтэй мэдээллийг гаргаж авах ажлыг гаралт гарц (5), (6) -р тэгшитгэлийг ашиглан гүйцэтгэдэг.

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (5)$$
$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (6)$$

σ нь сигмойд идэвхжүүлэгч функц, tanh нь tanh идэвхжүүлэгч функц, W_f, W_c, W_o нь жингийн матрицууд, b_i, b_c, b_o нь хазайлтын векторуудыг тус тус илэрхийлж байна.



Зураг 4. Оролт, гаралтыг багтаасан LSTM-ийн нэг үүрийн бүтэц

Бидний LSTM загвар нь 3 LSTM давхаргатай ба давхарга бүр дээрх үүрийн тоо нь харгалзан 30, 30, 30. Загварыг хэт сургахаас сэргийлэхийн тулд давхарга бүрийн дараа Dropout давхаргыг (0.2) нэмсэн. Эцэст нь регрессийн идэвхжүүлэх функцүүй нэг нейроны нягт давхаргыг нэмсэн. Багцын тоог RNN-тэй адил 1, *epoch* -ийг 100-оор тохируулсан. *Adam* оновчлогч функцыг 0.001 сургалтын хурдтайгаар ашигласан.

XGBoost загвар

XGBoost [4] нь зорилгын функцэд тогтворжуулах (зохицуулах) элементүүдийг нэмж, илүү дэвшилтэт оновчлолын алгоритмыг ашиглах замаар уламжлалт градиентийн өргөлтийг (өсгөлтийг) сайжруулдаг. Энэ алгоритм нь эхлээд олон ялгаатай загваруудыг үүсгэх замаар таамаглалуудыг дэвшүүлдэг. Дараа нь эдгээр загваруудын үлдэгдэл дээр үндэслэн үндсэн загварыг байгуулдаг. Давталт болгонд шинэ мод нэмэгдэж, шийтгэх (punishment) тэгшитгэл (7)-ийн дагуу загварын алдааг тусгах замаар суралцах процесс явагдана.

$$\hat{y}_i^{(t)} = \sum_{k=1}^{t} f_k(x_i) = \hat{y}_i^{(t-1)} + f_t(x_i) \quad (7)$$

Энд $\hat{y}_i^{(t)}$ нь t хугацааны таамаглалын үр дүнг илэрхийлнэ.

$$g_i = \partial_{\hat{y}_i^{(t-1)}} I(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)}) \quad (8)$$
$$h_i = \partial^2_{\hat{y}_i^{(t-1)}} I(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)}) \quad (9)$$

Энд, g_i ба h_i -г I алдагдлын функцыг ашиглан тооцоолно.

XGBoost алгоритмд хуваалт бүрийн дараа зорилгын функцын мэдээллийн үр ашгийг (10) тэгшитгэлийн дагуу бодно.

$$G = \frac{1}{2}\left[\frac{(\sum_{i\in I_L} g_i)^2}{\sum_{i\in I_L} h_i+\lambda} + \frac{(\sum_{i\in I_R} g_i)^2}{\sum_{i\in I_R} h_i+\lambda} + \frac{(\sum_{i\in I} g_i)^2}{\sum_{i\in I} h_i+\lambda}\right] - \gamma \quad (10)$$

Энд, g_i ба h_i нь алдагдлын функцын 1, 2-р эрэмбийн градиент статистикууд, I_L ба I_Rнь зүүн, баруун мөчрүүдийн түүвэр багц, γ нь хуваах босго юм. Мэдээллийн үр ашиг нь γ-ээс бага байвал навчин зангилааг хуваахгүй.

XGBoost, LightGBM загваруудын хувьд мөн параметрүүдийг туршилт ба алдааны аргаар тохируулсан. XGBoost загварын хувьд гиперпараметрүүдийг дараах байдлаар тохируулсан. 1000 тооцоологчтой, суралцах хурд нь 0.03, модны хувьд хамгийн их гүн нь 12, дэд түүвэрлэлтийг 0.9-өөр, болон баганын дэд түүвэрлэлтийг 0.7 -гоор тохируулсан.

LightGBM загвар

LightGBM нь Microsoft-ын 2017 онд боловсруулсан градиентийг нэмэгдүүлэх шийдвэрийн мод (GBDT)-ны алгоритм юм [3]. LightGBM арга нь хоёр техникийг ашигладаг. Эхнийх нь градиент дээр суурилсан нэг талын түүвэрлэлтийн (GOSS) арга юм. Энэ нь том градиентуудыг хадгалах (барих) зуураа бага градиентуудтай түүвэрүүдийг сонгон тэдэнд тогтмол жинг өгдөг. Ийм байдлаар загвар нь өгөгдлийн тархалтыг өөрчлөхгүйгээр илүү сургагдсан түүврүүд дээр анхаарлаа төвлөрүүлдэг. Хоёр дахь нь онцгой шинж чанарын багцлалт (EFB) юм. EFB техникээр өндөр хэмжээст

өгөгдлийн багц дахь шинж чанаруудын хоорондын хамаарлаас гистограммыг гаргаж авдаг. Эдгээр гистограммуудын тусламжтайгаар үүсгэж байгаа загварын нарийн төвөгтэй байдал нь багасдаг. LightGBM аргын зорилгын функцыг (11)-р тэгшитгэлд өгсөн.

$$G = \frac{1}{2}\left[\frac{(\sum_{i\in I_L} g_i)^2}{\sum_{i\in I_L} h_i+\lambda} + \frac{(\sum_{i\in I_R} g_i)^2}{\sum_{i\in I_R} h_i+\lambda} + \frac{(\sum_{i\in I} g_i)^2}{\sum_{i\in I} h_i+\lambda}\right] \quad (11)$$

LightGBM загварын хувьд гиперпараметрүүдийг дараах байдлаар тохируулсан. Тодорхой гиперпараметр бүхий регрессийн даалгаварт зориулж LightGBM регрессор (LGBMRegressor) -г тохируулсан. Энэ загвар нь дундаж квадрат алдаа (metric = "l2") ашиглан регресс хийхээр тохируулагдсан ба зорилгын функцийг мөн регресс (objective = "regression") гэж тохируулсан. Энэхүү LightGBM регрессорын тохиргоонд тодорхойлсон гол гиперпараметрүүдийг дараах байдлаар тохируулсан. Тооцоологчийн тоог 1400, нэг модны навчны тоог 100, модны хамгийн их гүнийг 10, суралцах хурдыг 0.05, дэд түүвэрлэлтийг 0.8-аар тус тус тохируулсан.

IV. Туршилт ба үр дүн

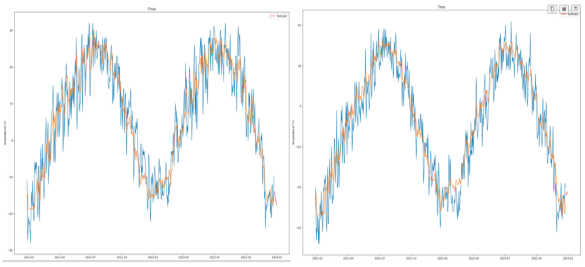
Өгөгдлийг бид сургалтын 70%, тестийн 30% гэсэн хоёр хэсэгт хуваан таван загварын сургалт болон туршилтын үнэлгээнд ашигласан. Дараагийн өдрийн хамгийн их болон бага температурыг үүсгэсэн SARIMA, RNN, LSTM, XGBoost, LightGBM загварууд дээрээ тестийн өгөгдлийг ашиглан таамагласан.

Температурыг таамаглах эдгээр загваруудын гүйцэтгэлийг (нарийвчлалыг) үнэлэхдээ өргөнөөр хүлээн зөвшөөрөгдсөн, хамгийн өргөн хэрэглэгддэг баталгаажуулалтын хоёр хүчин зүйл болох дундаж квадрат алдаа (RMSE), R квадратыг ашигласан.

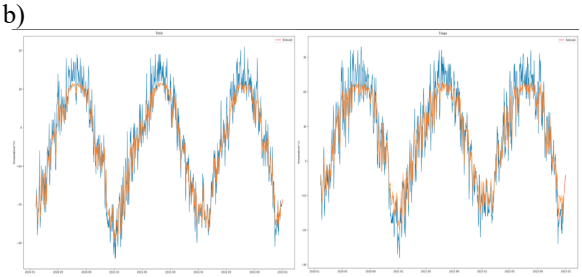
Хүснэгт 1-т загвар тус бүрийн RMSE үнэлгээний харьцуулалтыг, Хүснэгт 2-т R^2 үнэлгээний харьцуулалтыг тус тус үзүүлэв. Мөн Зураг 5-д сургасан загваруудын туршилтын өгөгдөл дээрх таамаглалыг температурын жинхэнэ (бодит) утгуудтай харьцуулсан харьцуулалтыг дүрслэн харуулсан. Эндээс харахад LightGBM алгоритм нь RMSE утгын хувьд, LightGBM болон XGBoost нь R^2 утгын хувьд бусад алгоритмуудтай харьцуулахад өндөр гүйцэтгэлтэй болох нь харагдаж байна. Тодруулбал LightGBM болон XGBoost дээрх RMSE -ийн бага утгууд ба R^2 -ийн их утгууд нь загварын илүү өндөр нарийвчлал, илүү сайн тайлбарлах чадварыг харуулж байна (Зураг 6).

Мөн түүнчлэн сүүлийн нэг жилийн хувьд LightGBM загварын туршилтын өгөгдлийн таамаглалын үр дүнг ЦУОШГ-ын хийсэн харгалзах таамаглалтай харьцуулахад их температурын хувьд ойролцоо үр дүн гарсан. Хамгийн их температурын хувьд ЦУОШГ нь 90%, хамгийн бага температурын хувьд ЦУОШГ нь 98% -тай таамагласан (Зураг 7). Харьцуулалтын үр дүнг Хүснэгт 3-т харуулав.

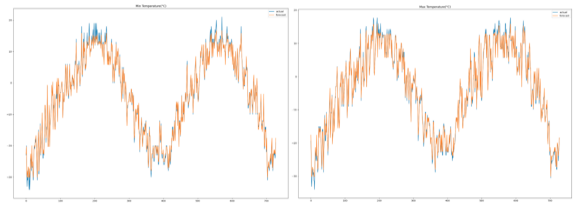
a)



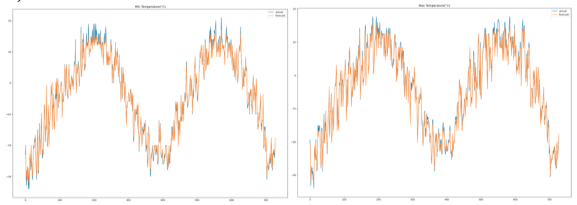
b)



c)



d)



Зураг 5. Загваруудын туршилтын өгөгдөл дээр таамагласан болон бодит температурын харьцуулалт a) RNN, b) LSTM, c) XGBoost, d) LightGBM

ХҮСНЭГТ 1. Загвар тус бүрийн RMSE үнэлгээний харьцуулалт

Дундаж квадрат алдаа (RMSE)		
Загвар	**Их температур(°C)**	**Бага температур(°C)**
Simple RNN	5.28	4.00
LSTM	4.83	3.77
ARIMA	3.99	3.67
XGBoost	0.90	0.89
LightGBM	0.80	0.91

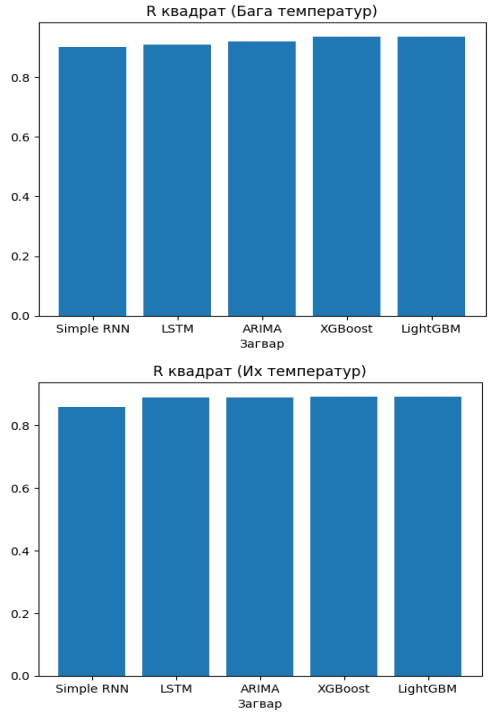
Хэлэлцүүлэг

Энэхүү судалгааны ажлын бусад ижил төстэй судалгааны ажлуудаас ялгарах гол ялгаа бол бол цаг агаарын температурыг таамаглахад хугацааны цувааны уламжлалт статистик шинжилгээний загвар, хугацааны цувааны өгөгдлүүд дээрх комплекс холбоог загварчлахад тохиромжтой мэдрэлийн сүлжээний загвар, болон сүүлийн үеийн үр ашигтай байдал, хурд, нарийвчлалаараа хүчирхэг алгоритмууд болох XGBoost, LightGBM гэсэн гурван өөр төрлийн аргуудыг сонгон авч, хооронд нь үнэлж, гүйцэтгэлийг харьцуулсан явдал юм.

Баталгаажуулалтанд ашигласан шалгуурын үнэлгээнүүдээс харахад SARIMA [7] нь богино хугацааны таамаглалд сайн гэдгийг түүний таамаглал LightGBM, XGBoost аргуудын дараа орж байгаагаас дүгнэж болохоор байна.

ХҮСНЭГТ 2. Загвар тус бүрийн R^2 үнэлгээний харьцуулалт

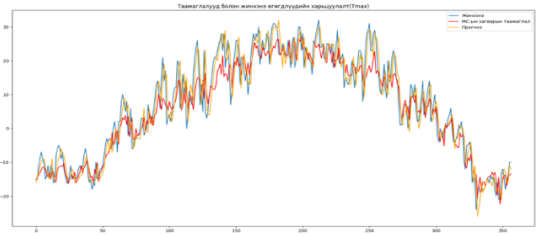
Детерминацийн коэффициент (R^2)		
Загвар	**Их температур (°C)**	**Бага температур (°C)**
Энгийн RNN	0.86	0.90
LSTM	0.89	0.91
ARIMA	0.89	0.92
XGBoost	0.8932	0.9353
LightGBM	0.8932	0.9360



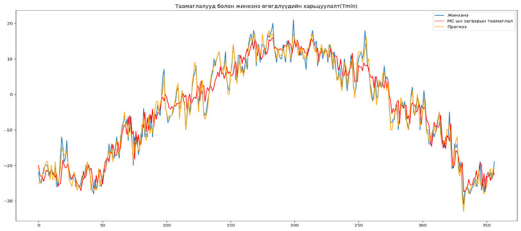
Зураг 6. Загвар тус бүрийн R^2 үнэлгээний харьцуулалт

Мөн RNN аргын боловсронгуй хувилбар болох урт хугацааны мэдээллийг санах үүртэй олон давхаргууд бүхий LSTM загвар нь RNN загвараас илүү таамагласан. LSTM аргын хувьд илүү олон хувьсагчаас хамааруулан температурыг таамаглах, илүү их хэмжээний өгөгдлүүдийг ашиглах, гипепараметрүүдийн тохиргоог параметр хайлтын аргуудыг ашиглан хийснээр илүү өндөр үр дүнг үзүүлэх байсан байж магадгүй гэж үзэж байна.

a)



b)



Зураг 7. LightGBM загварын таамаглал ба ЦУОШГ-ын 1 өдрөөр таамагласан прогноз болон жинхэнэ утгуудын харьцуулалт: a) хамгийн их температур, b) хамгийн бага температур

ХҮСНЭГТ 3. LightGBM загвар ба ЦУОШГ-ын таамаглалын харьцуулалт

Температур	**LightGBM**	**ЦУОШГ**
Их	89%	90%
Бага	93%	98%

Гэхдээ бидний RNN болон LSTM-ийн үр дүн нь дараагийн өдрийн температурыг таамаглах судалгааны ажлууд [1,7]-ын үр дүнтэй нийцтэй байсан. XGBoost болон LightGBM [8] нь үр ашигтай байдал, хурд, нарийвчлалын хувьд хүчирхэг сүүлийн үеийн алгоритмууд болох нь бидний хийсэн судалгааны ажлаас мөн харагдаж байна.

Сүүлийн нэг жилийн хувьд LightGBM загвар болон ЦУОШГ-ын хийсэн таамаглалуудын харьцуулалт дээр бага температурын хувьд 5%-ийн зөрүүтэй гарсан нь Монгол орны цаг агаарын эрс тэс байдлаас шалтгаалсан температурын хэлбэлзлийн өндрөөс болсон байх талтай юм.

V. Дүгнэлт

Бид энэхүү судалгааны ажлаараа цаг агаарын температурыг таамаглахад SARIMA, RNN, LSTM, XGBoost, LightGBM гэсэн таван алгоритмыг сонгон авч, ЦУОШГ-аас авсан Улаанбаатар хотын 2013-2022 оны цаг агаарын нэг өгөгдлийн багц дээр тулгуурлан загварууд байгуулж, загваруудын гүйцэтгэлийг дундаж квадрат алдаа, дитерминацын коэффициент R квадратыг ашиглан үнэлж, загваруудын үр дүнг харьцуулсан.

Загваруудын гүйцэтгэлийн үр дүнгээс харахад хамгийн сайн таамаглаж чадсан нь LightGBM алгоритм байсан. Их температурын хувьд RMSE=0.89, бага температурын хувьд RMSE=0.80, их температурын хувьд R^2=0.89, бага температурын хувьд R^2=0.93. XGBoost загвар нь LightGBM загвартай ойролцоо таамагласан. XGBoost загварын R^2 оноо нь LightGBM загварынхтай адилхан байсан бол RMSE-гийн хувьд бага зэргийн буюу их температурын хувьд 0.1, бага температурын хувьд 0.02 утгын зөрүүтэй байсан.

Мөн түүнчлэн сүүлийн нэг жилийн хувьд LightGBM загвар болон ЦУОШГ-ын хийсэн таамаглалуудын харьцуулалт нь их температурын хувьд ойролцоо үр дүн гарсан нь бага өртөг бүхий машин сургалтын аргуудыг температурыг таамаглахад ашиглах боломжтой гэдгийг харуулж байна.

Цаашид загваруудын нарийвчлалыг сайжруулахын тулд бусад даралт, чийг, салхины хурд зэрэг цаг уурын параметрүүдийг оруулан судлах, илүү урт хугацааны өгөгдөл дээр сургалтыг явуулах, гиперпараметрүүдийн туршилтыг илүү нарийн явуулах, параметр хайлтын аргуудын үр дүнг харьцуулан сонгох ажлуудыг хийхээр төлөвлөж байна.

Талархал

Судалгааны дата өгч хамтран ажиллаж буй ЦУОШГ-ын Цаг агаар, орчны тоон загварчлал, судалгааны хэлтсийн дарга Г. Батжаргал танд баярлалаа.

Ном зүй

[1] Jung Min Han, Yu Qian Ang, Ali Malkawi, Holly W. Samuelson, Using recurrent neural networks for localized weather prediction with combined use of public airport data and on-site measurements, Journal of Elsevier on Build. Environ., 192(1), 2021 (doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107601).

[2] Abdel-Nasser, Mohamed and Karar Mahmoud, Accurate Photovoltaic Power Forecasting Models Using Deep LSTM-RNN, *Neural Computing and Applications* 1–14, 2017.

[3] Ke G, Meng Q, Finley T, Wang T, Chen W, Ma W, Ye Q, Liu TY, Lightgbm: A highly efficient gradient boosting decision tree, Advances in Neural Information Processing Systems, 30, 3146-3154, 2017.

[4] Ogunleye A, Wang QG, XGBoost model for chronic kidney disease diagnosis, IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics, 17(6), 2131-2140, 2019.

[5] Haupt SE, Chapman W, Adams SV, Kirkwood C, Hosking JS, Robinson NH, Lerch S, Subramanian AC, Towards implementing artificial intelligence post-processing in weather and climate: proposed actions from the Oxford 2019 workshop. *Phil. Trans. R. Soc. A* 379: 20200091, 2021 (doi.org/10.1098/rsta.2020.0091).

[6] Marzieh Fathi, Mostafa Haghi Kashani, Seyed Mahdi Jameii, Ebrahim Mahdipour, Big Data Analytics in Weather Forecasting: A Systematic Review, Computational Methods in Engineering, 29, 1247–1275, 2022 (doi.org/10.1007/s11831-021-09616-4).

[7] Li, Y., Li, T., Lv, W., Liang, Z., Wang, J, Prediction of Daily Temperature Based on the Robust Machine Learning Algorithms, *Sustainability*, 15, 9289, 2023 (doi.org/10.3390/su15129289).

[8] M. Apaydın, M. Yumuş, A. Değirmenci, Ö. Karal, Evaluation of air temperature with machine learning regression methods using Seoul City meteorological data, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 28(5), 737-747, 2022.

[9] Ike Sri Rahayu, Esmeralda C Djamal, Ridwan Ilyas, Daily Temperature Prediction Using Recurrent Neural Networks and Long-Short Term Memory, *Proceedings of the 5th NA International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Detroit, Michigan, USA, August 10 - 14, 2020.*

[10] Salah L. Zubaidi, Hussein Al-Bugharbee, Khalid Hashim, et.al, Prediction and Forecasting of Maximum Weather Temperature Using a Linear Autoregressive Model, IOP Conf. Series: Earth and Environ. Sci, 877, (doi:10.1088/1755-1315/877/1/012031).

[11] S. Hochreiter, J. Schmidhuber, Long short-term memory, Neural Comput. 9 (8) (1997) 1735-1780.

[12] Л.Оюунжаргал, Нейроны сүлжээ болон калманы шүүлтүүрийн аргаар хот суурингийн цаг агаарыг урьдчилан тооцоолох нь, УЦУОАЭШИ, Эрдэм шинжилгээний бүтээл (диссертаци), 2012 он.

Non-Concave Network Utility Maximization Problem with a Bounded Transmission Rate Norm

1st Bazarragchaa Barsbold
Applied Mathematics Department
School of Information Technology and Electronics
National University of Mongolia
Ulaanbaatar, Mongolia
barsbold@num.edu.mn

2nd Dovdon Batsuuri
University of Humanities
Ulaanbaatar, Mongolia
batusaguri@gmail.com

3nd Dorjkhuu Enkhtaivan
Agula LLC
Ulaanbaatar, Mongolia
enkhtaivan@agula.mn

***Abstract*—We consider the Network Utility Maximization Problem (NUM) with a non-concave objective function. Non-concave utility functions model inelastic traffic flows. When traffic flow is elastic, network congestion is successfully controlled by NUM-based distributed convex programming algorithms. But, when traffic flows are inelastic NUM problem has a non-concave objective function. Maximization of a non-concave function over a closed, convex set is a non-convex programming problem. In general non-convex problems are NP-hard for solving it. Notice that, there is talk about intractability and lack of efficient algorithms for non-convex problems even in centralized manner, with no mention about distributed ones. In this research, we slightly modify the classical formulation of the NUM problem, introducing some quadratic constraint term. Due to such modification, we propose a new convergent distributed algorithm for the non-concave NUM problem. Based on simple numerical examples we demonstrate that the algorithm successfully allocates transmission rates entire network with inelastic traffic flows.**

***Index Terms*—network utility, quality of service (QoS), convex optimization problem, non-convex optimization problem, distributed algorithm**

I. Introduction

A Network Utility Maximization (NUM) Problem [1], [2] is defined as it follows

$$\begin{aligned} \text{maximize} \quad & \textstyle\sum_{s\in S} U_s(x_s) && (1)\\ \text{subject to} \quad & \textstyle\sum_{s\in S(l)} x_s \le c_l, \quad \forall l \in L && (2)\\ & x \ge 0, && (3)\end{aligned}$$

where

S	is a set of sources,
L	is links connecting sources,
x_s	for $s \in S$ is a transmission rate of s-th source,
c_l	for $l \in L$ is a capacity of l-th link,
$S(l)$	for $l \in L$ is a number of transmission sources using l-th link,
U_s	for $s \in S$ is utility function of the s-th source.

This research was supported by Graduate Assistantship Funding during 2022-2023 years of the School of Information Technology and Electronics, NUM

Example 1. A small illustrative example. Consider the simple 2 link, 3 user network shown in Figure 1, with $c = [1, 2]$. The optimization problem is

$$\begin{aligned} & \max \sum_{s\in S} U_s(x_s) && (4)\\ & s.t.\ x_1 + x_2 = 1 && (5)\\ & \quad x_1 + x_3 = 2 && (6)\\ & \quad x_1,\ x_2,\ x_3 \ge 0. && (7)\end{aligned}$$

The problem is to find transmission rate of each sources

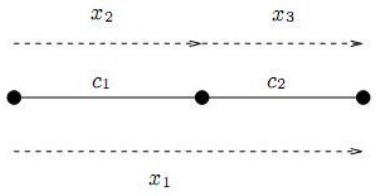


Fig. 1. Link 1 is employed by users 1 and 2 and link 2 is employed by users 1 and 3.

maximizing total network utility at given capacity of the links. Utility functions U_s for $s \in S$ are often assumed to be strongly concave [3].

Distributed algorithm for the NUM problem with concave utility function: Lagrangian function to problem (1)-(3) is given by the following [4], [5].

$$L(x,\lambda) = \sum_{s\in S} U_s(x_s) + \sum_{l\in L} \lambda_l \left(c_l - \sum_{s\in S(l)} x_s \right) \quad (8)$$

Due to separability of variables x_s both in the objective function and in the constraint inequalities we arrange it as

$$\begin{aligned} L(x,\lambda) &= \sum_{s\in S} (U_s(x_s) - x_s \sum_{l:\ s\in S(l)} \lambda_l) + \sum_{l\in L} \lambda_l c_l && (9)\\ &= \sum_{s\in S} (U_s(x_s) - q_s x_s) + \sum_{l\in L} \lambda_l c_l, && (10)\end{aligned}$$

where $q_s = \sum_{l:\, s\in S(l)} \lambda_s$ for all $s \in S$, $l \in L$. When utility functions U_s are concave for all $s = 1, ..., S$, then (1)-(3) is convex programming problem. Its Lagrangian dual is given as

$$\min_{\lambda\geq 0} \max_{x\in\mathbb{R}^S} L(x,\lambda) = \tag{11}$$

$$\min_{\lambda\geq 0} \left(\sum_{s\in S} (U_s(x_s^*(\lambda)) - q_s x_s^*(\lambda)) + \sum_{l\in L} \lambda_l c_l \right), \tag{12}$$

where

$$x^*(\lambda) = \operatorname*{argmax}_x \sum_{s\in S} (U_s(x_s) - q_s x_s) + \sum_{l\in L} \lambda_l c_l.$$

We define function $g(\cdot)$ by $g(\lambda) = L(x^*(\lambda), \lambda)$. Then we can write problem as $\min_{\lambda\geq 0} g(\lambda)$. It is an optimal link pricing problem.

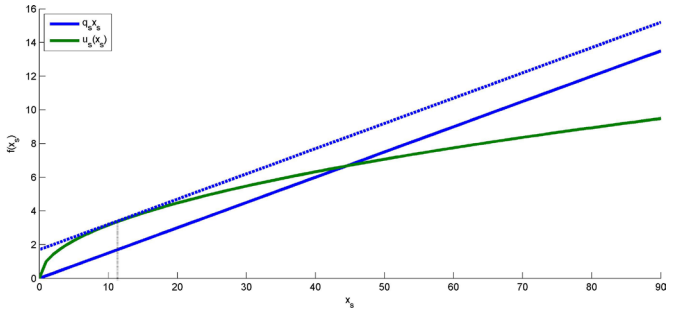


Fig. 2. Illustration to Algorithm 13-15. When utility functions $U_s(\cdot)$ are concave, then the problem of Step 15 is convex and the algorithm convergent to the global optimal solution. Problem $\max_{x_s} \sum_{s\in S} (U_s(x_s) - q_s x_s)$ is separable. Therefore, we split it into subproblems $\max_{x_s}(U_s(x_s) - q_s x_s)$ for all $s = 1, ..., S$. Indeed, the last one is a value of the conjugate function to U_s at q_s.

From the practical point of view, it is hard to determine or approximate utility function U_s of each users for all $s = 1, ..., S$. Because of this reason problem (1)-(3) has been solved in disributed manner, individually for each user. Each iteration of distibuted algorithm consists of the following two steps.

$$\lambda_l(k+1) = \left[\lambda_l(k) - \alpha(k) \left(c_l - \sum_{l:\, s\in S(l)} x_s^*(\lambda^s(k)) \right) \right]^+ \tag{13}$$

for all $l = 1, ..., L$, (14)

$$x^*(\lambda) = \operatorname*{argmax}_{x_s} \sum_{s\in S} (U_s(x_s) - q_s x_s) + \sum_{l\in L} \lambda_l c_l. \tag{15}$$

Problem (15) is solved individually for each users. So, network operator does not need to know about individuals utility functions U_s for all $s = 1, ..., S$. This is a very important practical implication of the distributed algorithm. Step (13) is just update toward sub-gradient. α is step size.

Open problem: Distributed algorithm (13)-(15) works well when utility functions U_s are concave for all $s = 1, ..., S$. *But it fails when U_s are non-concave.* In some practical cases U_s can be functions as like x_s^2 and x_s^3 (separable convex max problem, $x_s \geq 0$) or sigmoidal $U_s(x_s) = \frac{1}{1+e^{-a x_s - b_s}}$ (monotonic problem[1]) for all $s = 1, ..., S$.

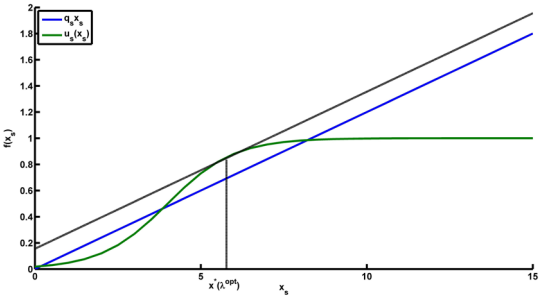


Fig. 3. Illustration to Theorem 1. If q_s is not too high, then $x^*(\lambda^{opt})$ is continuous in λ. In this case Algorithm (13)-(15) converges to globally optimal allocation.

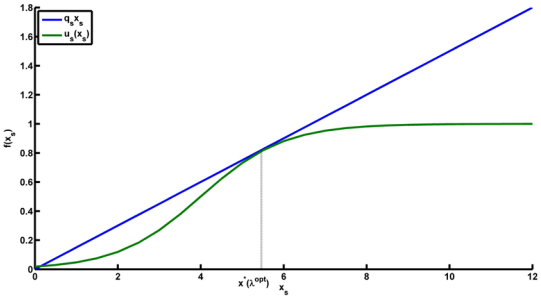


Fig. 4. Illustration to Theorem 1. If q_s is high enough, then $x^*(\lambda^{opt})$ is not continuous in λ. Function $x^*(\lambda)$ exhibits catastrophic jump from some non-zero value to 0

Question: "currently there is no theoretically polynomial-time and practically efficient algorithm (distributed or centralized) known for nonconcave utility maximization" (M. Chiang et al. [1])

II. Distributed algorithm for NUM problem with concave utility function

A. Sufficient condition for convergency of the distributed algorithm to a global optimal solution

Theorem 1 (Sufficient condition [5]): If function $x^*(\lambda)$ is continuous at all λ^{opt}, then sequence $x^*(\lambda(k))$, $k = 0, 1, 2, ...$ generated by Algorithm (13)-(15) converges to global optimal allocation of problem (1)-(3).

P.Hande et al. proposed *capacity provisioning algorithm* in [5], which gives a condition under which Algorithm (13)-(15) converges to global optimal solution to (1)-(3).

[1]in this case U_s is also both quasi-convex and quasi-concave and I hope it is d.c., too. Quasi-convexity (q.cv) or quasi-concavity (q.cc) does not help us too much because sum of q.cv. or q.cc is not necessarily q.cv or q.cc. In contrast to this, sum of d.c. is d.c. and sum of monotonically inc. is monotonically inc. and sum of monotonically dec. is sum of monotonically dec.

B. The Modified NUM Problem

Consider the following parameterized problem.

$$\max \quad \sum_{s\in S} U_s(x_s) \tag{16}$$
$$\text{s.t.} \quad \sum_{s\in S(l)} x_s \le c_l, \quad \forall l \in L \tag{17}$$
$$x^T x \le \mu \tag{18}$$
$$x \ge 0, \tag{19}$$

Here (18) stands for energy constraint. Lagrangian function to problem (16)-(18) is given by the following.

$$L(x,\mu,\lambda) = \sum_{s\in S} U_s(x_s) + \sum_{l\in L}\lambda_l\left(c_l - \sum_{s\in S(l)} x_s\right) + \lambda_{L+1}\left(\mu - \sum_{s\in S} x_s^2\right) \tag{20}$$

Due to separability of variables x_s both in the objective function and in the constraint inequalities we arrange it as

$$L(x,\lambda) = \sum_{s\in S}\left(U_s(x_s) - \lambda_{L+1}x_s^2 - x_s \sum_{l:\, s\in S(l)} \lambda_l\right) + \sum_{l\in L}\lambda_l c_l + \lambda_{L+1}\mu \tag{21}$$
$$= \sum_{s\in S}\left(U_s(x_s) - \lambda_{L+1}x_s^2 - q_s x_s\right) + \sum_{l\in L}\lambda_l c_l + \lambda_{L+1}\mu, \tag{22}$$

where $q_s = \sum_{l:\, s\in S(l)} \lambda_s$ for all $s \in S,\ l \in L$.

Lemma 1: If[2]

$$\lambda_{L+1} \ge \max\left\{\max_{x_1}\frac{d^2U_1}{dt^2}(x_1), \ldots, \max_{x_S}\frac{d^2U_S}{dt^2}(x_S)\right\},$$

then lagrangian function $L(x,\lambda)$ is concave w.r.t. x.

Lagrangian dual to (16)-(18) is given as

$$\min_{\lambda\ge 0}\max_{x\in\mathbb{R}^S} L(x,\lambda) = \min_{\lambda\ge 0}\left(\sum_{s\in S}(U_s(x_s^*(\lambda)) - \lambda_{L+1}(x_s^*(\lambda))^2 - q_s x_s^*(\lambda)) + \sum_{l\in L}\lambda_l c_l + \lambda_{L+1}\mu\right), \tag{23}$$

where

$$x^*(\lambda) = \operatorname*{argmax}_x \sum_{s\in S}(U_s(x_s) - \lambda_{L+1}x_s^2 - q_s x_s) + \sum_{l\in L}\lambda_l c_l.$$

We define function $g(\cdot)$ by $g(\lambda) = L(x^*(\lambda),\lambda)$. Then we can write problem as $\min_{\lambda\ge 0} g(\lambda)$. It is an optimal link pricing problem. From the practical point of view, it is hard to determine or approximate utility function U_s of each user for all $s = 1,...,S$. Because of this reason problem (1)-(3) has been solved in distributed manner, individually for each user. In each iterations distributed algorithm completes the following two main steps.

$$\lambda_l(k+1) = \left[\lambda_l(k) - \alpha(k)\left(c_l - \sum_{l:\, s\in S(l)} x_s^*(\lambda^s(k))\right)\right]^+ \quad \text{for all } l = 1,...,L, \tag{24}$$
$$\lambda_{L+1}(k+1) = \max\{lb, update\lambda_{L+1}(k)\} \tag{25}$$
$$x^*(\lambda) = \operatorname*{argmax}_{x_s} \sum_{s\in S}\left(U_s(x_s) - \lambda_{L+1}x_s^2 - q_s x_s\right) + \sum_{l\in L}\lambda_l c_l + \lambda_{L+1}\mu. \tag{26, 27}$$

Problem (27) is solved individually for each users. So, network operator do not need to know about utility functions U_s for all $s = 1,...,S$.

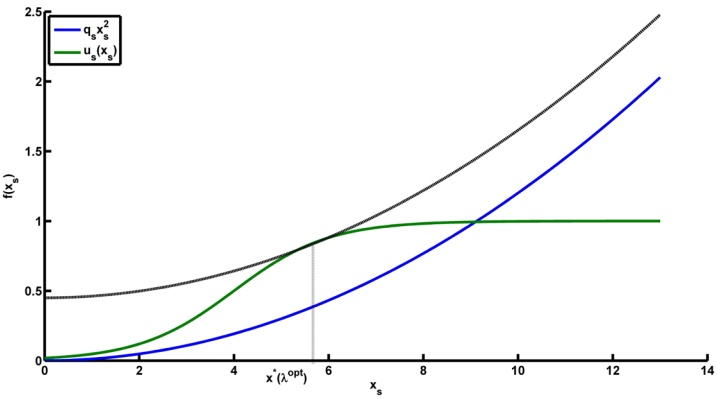


Fig. 5. In (15)

we propose to replace the problem by $\max_{x_s}(U_s(x_s) - \bar{q}_s x_s^2)$, instead of $\max_{x_s}(U_s(x_s) - q_s x_s)$ for all $s = 1,...,S$. In this case we expect that $x^*(\lambda^{opt})$ is continuous. Thus convergence to global optimal solution is guaranteed due to Theorem 1.

III. A Numerical Algorithm

Algorithm.

Input: A separable, non-concave and continuously differentiable objective function f, a bounded, closed and convex polyhedral set D describing network topology.

Output: An approximate solution z to problem (1) i.e., an approximate global maximizer of f over D.

Step 1 Choose precision ε and set $k := 0$.

Step 2 Find an initial feasible solution $x^0 \in D$ and initialize $x(k) = x^0,\ \lambda_l(k) = \lambda_0$ for all $l = 1,...,L$

Step 3 If $\|\nabla L(x(k),\lambda(k))\|^2 \le \varepsilon$, then ($tildex^*, \tilde{\lambda}^*) = (x(k),\lambda(k))$ and STOP. Otherwise, GOTO to the next step.

Step 4 Update $(x(k),\lambda(k))$ according to (24)-(27) and GOTO Step 3.

[2]In case of sigmoidal utility function it is sufficient to assume that $\lambda_{L+1} \ge \max\{a_1,\ldots,a_S\}$

TABLE I

N	S	f_0	$\tilde{f}$	Imp. %	Time /h:m:s/
1	5	0.4964	0.68	20.03	0:00:3.633
2	5	1.0985	1.3054	16.05	0:00:3.041
3	5	1.5932	1.9993	22.31	0:00:3.442
4	9	3.6193	3.9577	10.25	0:00:3.632
5	10	1.0002	5.0001	75.13	0:00:3.063
6	10	2.0244	6.0049	68.91	0:00:3.942
7	11	1.061	1.0746	10.88	0:00:8.483
8	11	0.59376	1.1208	49.23	0:00:8.011
9	11	0.38051	0.62501	41.34	0:00:8.034
10	11	0.44026	1.3867	71.19	0:00:7.834
11	15	4.0768	5.5082	28.33	0:00:6.411
12	27	0.17581	0.31421	51.28	0:00:63.551

A. Numerical Experiments

We considered a network with ring topology with S users and S links connecting $\lfloor \frac{S}{2} \rfloor + 1$ subsequent users, where $\lfloor \alpha \rfloor$ denotes an integer part of α.

We have tested our approach for 12 test problems for maximizing a sigmoidal utility functions with randomly generated parameters a_j and b_j for all $j = 1, ..., S$. Link capacities c_j are also chosen randomly so that the objective function stays neither convex nor concave over the constraint set and μ is chosen to be sufficiently large. We paid a special attention to this case because, for problems with a convex objective function more convenient global optimality condition and numerical algorithm can be found in [6], [7].

The proposed algorithm had been implemented in MATLAB 2018 on PC with Pentium i7 3.6GHz processor and 16 GB RAM. Results of numerical experiments are given in Table I. In the table by N we denote an example number, by S a number of variables of the test problem. The column labeled by f_0 contains an initial local optimal values. The approximate global optimal values obtained by the proposed algorithm is listed in the column labeled by $\tilde{f}$. Columns marked with $Imp.\ \%$ shows improvement in percent given by the formula:

$$\frac{\tilde{f} - f_0}{\tilde{f}} * 100\%.$$

A column marked by $Time/h : m : s/$ contains computation time in $hour : minute : second$ format.

Example 1.
a=(0.10129, 0.041534, 12.152, 4.3175, 14.135)^T,
b=(-17, -4.2046, -0.07851, -6.7597, -9.5621)^T,
c=(336.28, 202.52, , 0.062225, 3.3959, 1.4018)^T
$\tilde{x}$=(0, 1.4018, 0.0622, 0, 0)^T.

Example 2.
a=(11.237, 7.4969, 2.336, 0.34878, 4.2607,)^T,
b=(-13.637, -6.7609, -12.834, -2.6612, -0.81216,)^T,
c=(0.74312, 1.1961, 4.6924, 3.616, 2.2573,)^T,
$\tilde{x}$=(0, 0.7431, 0, 0.4530, 1.5142)^T.

Example 3.
a=(4.6136, 0.59055, 4.226, 0.14369, 2.9238,)^T,
b=(-1.9121, -12.408, -12.624, -6.2084, -9.8421,)^T,
c=(1.4886, 102.05, 14.46, , 206.94, 13.96,)^T,
$\tilde{x}$=(1.4886, 0, 0, 8.3439, 6.1165)^T.

Example 4.
a=(1.6823, 2.4037, 0.64806, 0.39055, 0.016966, 10.192, 9.8806, 4.7697,
8.5486,)^T,
b=(-19.455, -0.051552 , -7.8483, -0.3408, -8.0184, -0.13108, -5.038, -0.022219, -1.1896)^T,
c=(58.254, 0.79151, 60.642, 5.2232, 2363.8, 1.0301, 2.7945, 0.69306, 1.3808)^T,
$\tilde{x}$=(1.6823, 2.4037, 0.64806, 0.39055 0.016966, 10.192, 9.8806, 4.7697, 8.5486,)^T.

Example 5.
a=(13.262, 14.346, 0.06523, 9.7665, 12.935, 5.4189, 12.995, 2.5366, 5.8157, 1.0793,)^T,
b=(-14.491, -26.1, -27.137, -10.561, -8.9898, -11.064, -29.4, -5.6099, -16.605,)^T,
c=(3.4182, 54.018, 58.754, 8.3209, 70.275, 93.594, 31.453, 85.115, 86.378,
35.158,)^T,
$\tilde{x}$=(0, 1.6538, 0, 0, 1.5085, 0.2558, 1.6463, 0, 4.6237, 23.5294,)^T.

Example 6.
a=(10.318, 10.855, 5.0737, 5.4268, 0.5133, 13.592, 13.03, 0.35046, 4.9926,
5.4885,)^T,
b=(-16.314, -24.878, -26.05, -22.997, -13.936, -17.718, -4.8455, -5.7467,
-6.4728,)^T,
c=(39.697, 71.747, 72.97, 5.9242, 81.472, 99.219, 57.065, 58.073, 60.385,
70.791,)^T,
$\tilde{x}$=(3.4536, 30.9639, , 2.7597, 0, 0, 1.5693, 1.9239, 0, 2.4310, 18.0718)^T.

Example 7.
a=(6.18415, 10.1737, 12.057, 3.99671, 2.48311, 3.45971, 7.98772, 10.3249, 6.6653,
12.8748, 12.2667)^T,
b=(-8.24553, -13.5649, -16.076, -5.32895, -3.31081, -4.61294, -10.6503,
-13.7665, -8.88706, -17.1664, -16.3556)^T,
c=(2.0614, 3.3912, 4.019, 1.3322, 0.8277, 1.1532, 2.6626, 3.4416,
2.2218, 4.2916, 4.0889)^T,
$\tilde{x}$=(-5.9398e-021, 1.7293, 8.3477e-020, -6.5621e-020, 0.33207, 1.2828e-020,
2.9099e-020, 0.48183, 0.013795, -1.8691e-019, 0.40528)^T.

Example 8.
a=(14.5972, 11.677, 8.63457, 5.46258, 3.80776, 6.92992, 5.15274, 5.32616,
1.15266, 7.94597, 5.78247)^T,

b=(-19.463, -15.5694, -11.5128, -7.28345, -5.07701, -9.2399, -6.87032,
-7.10155, -1.53689, -10.5946, -7.70996)^T,
c=(4.8657, 3.8923, 2.8782, 1.8209, 1.2693, 2.31, 1.7176, 1.7754, 0.38422, 2.6487, 1.9275)^T,
$\tilde{x}$=(0, 1.5793e-032, 3.6978e-032, 1.8209, 1.438e-032, -1.5407e-033,
2.8273e-033, 1.0785e-032, -2.4074e-032, 0.04809, 0.10663)^T.

Example 9.
a=(13.1485, 2.74604, 0.61563, 11.0912, 3.86477, 4.68572, 5.06805, 9.43611, 3.05993,
11.0927, 4.85062)^T,
b=(-17.5314, -3.66139, -0.820841, -14.7883, -5.15303, -6.24763, -6.75739,
-12.5815, -4.07991, -14.7903, -6.46749)^T,
c=(4.3828, 0.91535, 0.20521, 3.6971, 1.2883, 1.5619, 1.6893, 3.1454, 1.02,
3.6976, 1.6169)^T,
$\tilde{x}$=(1.6105e-034, -5.7778e-034, -3.8519e-034, 0, 0.20521, 0, 0,
-7.7037e-034, 1.02, 4.6689e-035, -4.5613e-034)^T.

Example 10.
a=(8.61067, 14.6349, 14.1092, 12.0477, 7.73585, 4.98874, 1.39492, 10.2659 7.27186, 14.5349, 0.164902)^T,
b=(-3.05486, -10.4141, -12.3622, -5.88926, -19.7598, -11.352, -12.1663, -18.5229,
-1.88139, -4.38441, -18.861)^T,
c=(4.4414, 4.5866, 3.5612, 4.2102, 2.0438, 2.715, 4.4867, 0.16875, 0.7962,
0.84141, 2.549)^T,
$\tilde{x}$=(4.6222e-033, 6.5482e-033, 2.157e-032, 0.84141, 1.7076, 0.16745,
1.3482e-033, -6.5482e-033, 0.16875, -1.5407e-033, -5.7778e-033)^T.

Example 11.
a=(4.0459, 3.4301, 0.25348, 2.7333, 0.69564, 0.69773, 3.5446, 0.0075284, 8.7518,
8.4621, 2.9769, 11.106, 8.6258, 11.255, 0.052249)^T,
b=(-3.7016, -1.9931, -16.817, -4.6917, -2.9847, -15.612, -11.311, -0.055569,
-11.985, -4.4391, -1.4239, -7.6251, -6.9061, -7.8518, -6.1528)^T,
c=(4.5771, 3.1429, 332.37, 9.5166, 21.478, 111.94, 16.87, 36.953, 6.8877, 3.5423,
3.1726, 4.0753, 4.7842, 3.9894, 589.34)^T,
$\tilde{x}$=(0, 0, 0, 1.4896, 0, 0, 0, 0, 1.6533, 0.8239, 0.8242, 0.9427, 0, 0.9516, 0)^T.

Example 12.
a=(1.95768, 8.03563, 8.69044, 4.57666, 6.45133, 6.90871, 8.53513, 7.77198, 6.0139,
6.12716, 14.539, 7.18362, 4.46336, 3.71163, 8.8661, 3.6463, 3.14693, 6.00674,
3.66249, 3.08932, 11.4875, 6.58181, 5.22211, 8.32127, 7.02947, 7.13808, 5.37541)^T,
b=(-2.61024, -10.7142, -11.5873, -6.10221, -8.60177, -9.21162, -11.3802,
-10.3626 -8.01853, -8.16955, -19.3853, -9.57816, -5.95115, -4.94884,
-11.8215, -4.86173, -4.1959, -8.00898, -4.88332, -4.1191, -15.3167, -8.77575,
-6.96281, -11.095, -9.37263, -9.51744, -7.16722)^T,
c=(0.65256, 2.6785, 2.8968, 1.5256, 2.1504, 2.3029, 2.845, 2.5907, 2.0046, 2.0424,
4.8463, 2.3945, 1.4878, 1.2372, 2.9554, 1.2154, 1.049, 2.0022, 1.2208, 1.0298,
3.8292, 2.1939, 1.7407, 2.7738, 2.3432, 2.3794, 1.7918)^T,
$\tilde{x}$=(0.65256 5.5931e-034, -3.9719e-034, 5.7778e-034, -6.9396e-034, 3.6323e-034,
-2.0704e-033, 1.2467e-034, 2.2479e-034, -7.7037e-034, 2.0222e-033, -3.2972e-034,
1.8296e-033, -2.8889e-034, 0.67434, 0.16646, 0.39642, 4.6097e-034 -4.1982e-034,
-1.9259e-034, -2.1667e-034, -6.1389e-034, -6.0185e-034, -3.135e-034, 1.9259e-033,
6.9127e-034, 1.8432e-034)^T.

IV. Conclusion

We have considered the network utility maximization problem with a non-concave objective function. In order to solve it numerically in distributed manner, we propose a numerical method. We suppose that the network has an additional energy type of constraint. Results of numerical experiments are provided.

References

[1] M. Fazel and M. Chiang, "Network utility maximization with nonconcave utilities using sum-of-squares method," in *Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference 2005*, Seville, Spain, December 12-15 2005, pp. 1867–1874.

[2] J.-W. Lee, R. R. Mazumdar, and N. B. Shroff, "Non-convex optimization and rate control for multi-class services in the internet," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 13, no. 4, pp. 827–840, 2005.

[3] J. Falk, "Conditions for global optimality in nonlinear programming," *Operations Research*, vol. 21, pp. 337–340, 1973.

[4] H. Tuy, "Monotonic optimization: problems and solution approaches," *SIAM Journal on Optimization*, vol. 11, pp. 464–494, 2000.

[5] P. Hande, S. Zhang, and M. Chiang, "Distributed rate allocation for inelastic flows." *IEEE/ACM Trans. Netw.*, no. 6, pp. 1240–1253.

[6] R. Enkhbat, B. Barsbold, and M. Kamada, "A numerical approach for solving some convex maximization problems," *Journal of Global Optimization*, vol. 35, pp. 85–101, Springer, 2006.

[7] A. Strekalovskiĭ, "On the problem of the global extremum," *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, vol. 292, no. 5, pp. 1062–1066, 1987.

Виртуал Портабле Программуудын Харьцуулсан Судалгаа

Ч.Тэмүүжин
Компьютерын ухаан салбар
МХТС, ШУТИС
ch.temuujin@ngs.gov.mn

Г.Ганчимэг
МХТ-ийн Ахисан түвшний салбар
МХТС, ШУТИС
ganaa@must.edu.mn

***Хураангуй*— Одоо болон ирээдүйн ажлын талбар нь бидэнд орон зай, цаг хугацаанаас хамаарахгүйгээр бүх төрлийн төхөөрөмжөөр зайнаас болон цахимаар, ажлын байр нь дээр гэх мэт ямар ч ажлын нөхцөл байдалд ажлаа хийж, үйлдлүүдийг гүйцэтгэж, бизнесээ удирдан зохион байгуулах онлайн, оффлайн орчинд ажиллах гэх мэт хэрэглээний динамик орчныг шаардаж байна. Энэ өргөн хүрээний ойлголтын нэг хэсэг чухал функц нь виртуал орчны портабле программууд юм. Энэхүү судалгааны ажилд виртуал технологиуд болон портабле программуудын хэрэглээ болон тэдгээрийг харьцуулсан судалгааны ажлын туршилтын үр дүнгийн талаар өгүүлнэ.**

Түлхүүр үг—Docker, Xen, Kvm, data, виртуал

I. Удиртгал

Виртуал технологи нь үндсэн нэг физик сервер болон компьютерт нэгэн зэрэг олон үйлдлийн систем ажиллуулж программ хангамжийн орчинд төрөл бүрийн үйлдлийн систем хүссэн нөөцөө *(resource)* гаргаж ажиллах боломжийг олгодог [1]. Нэг физик компьютер дээр түүний CPU, RAM, Hard disk, сүлжээний картнаас хамаарч хичнээн ч виртуал машин үүсгэх боломжтой [2]. Тухайн үүсгэсэн виртуал машинууд нь бүгд бие даасан тусдаа бие биенээсээ хамааралгүй ажилладаг боловч тэдгээр нь үндсэн физик машины техник хангамжийн утгыг хуваалцана [1-2]. Виртуалчлалын олон давуу тал бий ч түүний хамгийн том давуу тал нь дутуу буюу ашиглагдаагүй нөөц техник хангамжийг хамгийн үр ашигтай ашиглах явдал юм [3]. Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд хамгийн өргөн хэрэглэгддэг виртуалчлалын 3 төрлийн технологийн харьцуулсан судалгааг хийсэн. *Үүнд:*

- *Full Virtualization - Бүрэн виртуалчлал*
- *Para Virtualization - Хагас виртуалчлал*
- *OS-Level Virtualization Үйлдлийн системийн түвшиний виртуалчлал*

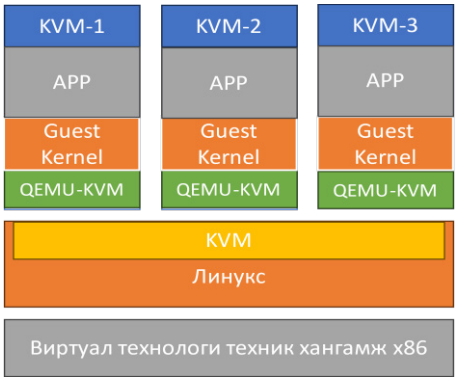
Kernel-based Virtual Machine (KVM), Xen, ба Docker ашиглан виртуалчлалын туршилтыг явуулсан.

II. Судалгааны хэсэг

A. Бүрэн виртуалчлал

Бүрэн виртуалчлалыг томоохон дэд бүтэц үүлэн тооцооллын серверүүдэд өргөнөөр ашигладаг [4]. *Жишээ нь:* Google (IaaS), Amazon Web Service, Alibaba Cloud гэх мэт.

Бүрэн виртуалчлал нь виртуал машинуудын хамгийн сайн тусгаарлалт, аюулгүй байдлыг санал болгодог бөгөөд ижил төрлийн зочин OS хооронд эсвэл үндсэн техник хангамж хооронд энгийн чөлөөтэй байдлаар шилжиж ажилладаг [1-3]. Бүрэн виртуалчлалын *жишээ нь:* Kernel-based Virtual Machine (KVM) юм.

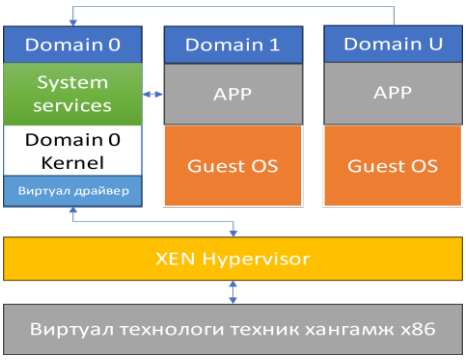


Зураг 1. KVM архитектур

B. Хагас виртуалчлал

Хагас виртуалчлал нь олон үйлдлийн системийг дэмждэг тул үүлэн тооцоололд сайн гүйцэтгэлийг харуулдаг. Бидний туршилтанд хагас виртуалчлалын жишээгээр нээлттэй эхийн Xen архитектурыг авч үзсэн. Xen архитектур нь гурван үндсэн хэсгээс бүрдэнэ [4-5]. *Үүнд:*

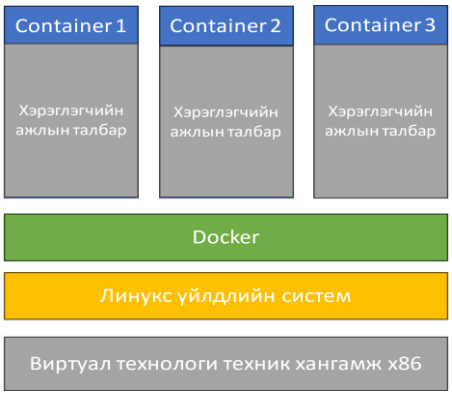
- Xen гипервизортэй (hypervisor) хамгийн давуу эрхтэй давхаргын хамгийн доор байрлаж өөр дээрээ олон үйлдлийн систем ажлуулах боломжтой.
- Xen Domain 0 буюу хамгийн өвөрмөц зочин үйлдлийн систем ба энэ үйлдлийн системээр физик нөөцтэй шууд харьцаж бусад зочин үйлдлийн системийг удирдах боломжтой. Xen архитектурын нөөцийн хуваарилалт, тусгаарлалт бүгд Domain 0 дээр тулгуурладаг.
- Xen Domain U зочин үйлдлийн систем ба шууд техник хангамжтай харьцах эрхгүй бөгөөд бие даан бусад Xen Domain-тэй зэрэгцээ ажиллана.



Зураг 2. Xen архитектур

C. Үйлдлийн системийн түвшний виртуалчлал

Энэ нь бусад гипервизортэй *(hyperviser)* харьцуулахад хамгийн энгийн түргэн гүйцэтгэлтэй виртуалчлал юм [5]. Мөн физик нөөцийг бага эзэлдэг давуу талтай ба секундын дотор мянга мянган container үүсгэж үйлдлийн системийн түвшний виртуалчлалыг бий болгоно [1-3]. Тус судалгааны ажлын туршилтад Docker ашигласан.



Зураг 3. Docker архитектур

D. Ижил төстэй бусад виртуалчлал архитектур

Red Hat Enterprise Virtualization (RHEV) нь KVM архитектуртай төстэй гүйцэтгэлтэй боловч арилжааны зориулалттай гипервизор *(hypervisor)* тул худалдан авч ашиглах боломжтой. Дээд боломж 160 цөм *(core)*, 2TB шуурхай санах ой (RAM), 64 vCPU-ба зочин үйлдлийн системийн шуурхай санах ойн (RAM) дээд хязгаар 512GB байна.

Citrix XenServer нь мөн адил арилжааны зориулалттай гипервизор юм. Одоогоор XenServer нь xen.org дээр байрлаж байгаа бөгөөд серверийн виртуалчлал, нээлттэй эхийн Xen binaries package, embedded технологи болон хамгаалалтын бүтээгдэхүүн хөгжүүлж байна. Манай судалгаанд Xen binaries package нээлттэй эхийн хувилбарыг ашигласан.

Microsoft Windows Server 2012 Hyper-V нь үнэгүй хувилбар ба 4 төрлийн арилжааны хувилбартай. *Үүнд*: Foundation, Essential, Standard, DataCenter

Үнэгүй хувилбар нь график интерфэйс байхгүй *(no GUI)* ба виртулачлал хийх эрхгүй *(no virtualization rights)* байдаг. *Дээд боломж нь*: 320 хүртэлх логик процессор, 4TB шуурхай санах ой (RAM) хост бүрд 2048 виртуал CPU, VM тутамд 64 vCPU, VM тутамд 1TB санах ой, кластер бүрт 64 зангилаа байна.

VMware vSphere Hypervisor нь виртуал технологийн тэргүүлэгч гипервизор ба арилжааны хувилбаруудтай юм. *Дээд боломж нь*: Нэг хост бүрд 512 VM, 2048 vCPU, 64 хүртэл vCPUS, VM тутамд 1TB vRAM

III. Туршилтын хэсэг

Туршилтыг Dell R740 server Ubuntu version 20.04 LTS 64 bit x86 Kernel version 5.4 (GA) 2.4 GHz Intel (R) Xeon (R) CPU 16 thread 64GB memory, EXT4 File system 1Tb HDD 10gbps Ethernet компьютер дээр:

KVM: 4 виртуал CPUs (vCPUs), 10GB виртуал санах ой, 100GB виртуал HDD, EXT4 файл систем, Bridged network, KVM image qcow2 host файл системтэйгээр,

Xen 4.8-1 4 виртуал CPUs (vCPUs), 10GB виртуал санах ой, 100GB виртуал HDD, EXT4 файл систем, Bridged network тус тус үүсгэж,

Docker 17.06.1-се хувилбар ашиглаж туршилтыг явуулсан. Туршилтын утгыг авахдаа 3 удаагийн туршилтын дундаж үзүүлэлтээр алдагдлыг хувиар тооцоолж нэгдүгээр хүснэгтэд үзүүлсэн.

ХҮСНЭГТ I. Гүйцэтгэлийн туршилт физик машинтай харьцуулсан алдагдал (%)

Benchmark	Туршилтын хэмжилтийн арга	KVM	XEN	Docker
LINPACK	Шугаман алгебрын утга	28	17	1
STREAM	Copy	2	2	0
	Add	3	3	2
	Scale	3	2	1
	Traid	3	2	2
Netperf	TCP RR Latency	70	46	8
	UDP RR Latency	74	43	8
	TCP портоор илгээх	0	0	0
	TCP портоор хүлээн авах	0	0	0
	UDP портоор илгээх	21	19	0
	UDP портоор хүлээн авах	22	19	3
FIO	Random уншилт	37	25	0
	Random бичилт	45	28	0
	Random mix	47	27	3
	Seq (дараалал) уншилт	4	3	0
	Seq (дараалал) бичилт	4	2	0

Эх сурвалж: Судлаачийн боловсруулснаар

Туршилтын аргачлал: Kernel-based Virtual Machine (KVM) бүрэн виртуалчлал, Xen хагас виртуалчлал ба Docker үйлдлийн системийн виртуалчлалыг тус бүр нэгдүгээр хүснэгтэд харагдаж байгаа Benchmark багажийг ашиглан гүйцэтгэлийг үндсэн физик машинтай харьцуулж алдагдлыг хувиар тооцоолсон.

Linpack Benchmark марк буюу CPU-ийн гүйцэтгэлийн туршилт: Linpack Benchmark нь CPU хэр хурдан нэг чиглэлт шугаман алгебрын утгыг тооцоолж гүйцэтгэл хийж байгаагаар CPU гүйцэтгэлийг шалгадаг [5-6]. Энэхүү судалгаанд Intel Optimized LINPACK Benchmark Intel Math Kernel Library 2018.0.006 туршилтанд ашигласан.

Түүнчлэн нэгдүгээр хүснэгтэд харуулсан гүйцэтгэлээр CPU-ийн гүйцэтгэл хамгийн бага буюу физик машинаас 1%-ийн алдагдалтай Docker байсан бол KVM 28%, Xen 17%-аар физик машинаас алдагдалтай гүйцэтгэл тооцоолжээ. KVM болон Xen

виртуалчлал хооронд энэ тооцооллоор 11% гүйцэтгэлийн алдагдал KVM машин гүйцэтгэж байгаа нь харагдаж байна.

STREAM Benchmark буюу санах ойн гүйцэтгэлийн туршилт: Stream benchmark нь тогтвортой санах ойн тооцооллыг хэмжихийн тулд дөрвөн аргыг ашигладаг [6-7]. *Үүнд:*

1. Copy a[i] = b[i] энэ нь нэг санах ойн нүдэнд байгаа утгыг уншиж өөр санах ойн нүдэнд бичнэ.
2. Add a[i] = b[i] + c[i] энэ нь хоёр санах ойн нүдэнд байгаа утгыг нэмж нийлбэрийг өөр санах ойн нүдэнд бичнэ.
3. Scale a[i] = factor * b[i] энэ нь санах ойн нүдэнд байгаа утгыг үржүүлж тэр үр дүнг өөр санах ойд бичнэ.
4. Traid a[i] = b[i] + factor * c[i] энэ нь санах ойн нүдэнд байгаа утгыг үржүүлж гарсан үр дүн дээр дахин өөр санах ойн утгыг нэмж тэр нийлбэрийг өөр санах ойд бичнэ.

Нэгдүгээр хүснэгтэд харуулсан гүйцэтгэлээр гурван виртуалчлалын технологи нь физик машинтай алдагдлын хувьд нэлээд бага буюу дээд тал нь 3%-ийн гүйцэтгэлийн алдагдлыг үзүүлж байна. Мөн хоорондын гүйцэтгэлийн алдагдал 2%-аас ихгүй байна.

Netperf Benchmark буюу сүлжээний гүйцэтгэлийн туршилт: Netperf Benchmark нь сүлжээний нэвтрүүлэлт хэлбэлзлийг TCP ба UDP портоор client / server хооронд өгөгдөл илгээж хэр хугацааны дараа хариу үйлдэл үзүүлэхээр тооцоолдог сүлжээний тооцоолуур юм [8-9].

Нэгдүгээр хүснэгтэд харуулсан гүйцэтгэлээр Xen нь TCP портод *(port)* 46%- ийн хоцрогдол UDP port 43% хоцрогдолтой байгаа бол хамгийн муу үзүүлэлтийг KVM үзүүлсэн ба TCP 70%, UDP 74% тус тус алдагдалтай байгаа бол хамгийн бага сүлжээний алдагдлыг Docker TCP 8%, UDP 8% гэж үзүүлсэн.

FIO benchmark буюу диск гүйцэтгэлийн туршилт: FIO benchmark нь IOPS *(оролт, гаралтын функцыг секунд бүрээр)* дискний блокт бичигдэж байгаа хэмжээгээр тооцоолдог [9-10]. Туршилтанд ioengine psync блокын хэмжээг 32kb-аар тохируулж нэг бүр нь 2GB ажлын ачаалалтай 20 зэрэгцээ горимоор ажлуулсан. Нэгдүгээр хүснэгтэд харуулснаар дарааллсан хандалтын горимд бүх виртуалчлалын технологи нь 4% -иас бага гүйцэтгэл харуулж байхад санамсаргүй хандалтын горимд Docker нь үндсэн системтэй бараг ижил дискний ролт, гаралтын гүйцэтгэлтэй байсан. Ramdom FIO туршилтуудад KVM нь Xen-ээс 17% -иас 22% -иар муу гүйцэтгэлийг харуулж, Xen нь Docker-ээс 22% -иас 28% -иар илүү ачааллыг үзүүлсэн.

Виртуалчлалын өргөтгөл: Энд KVM, Xen, Docker-ийн өргөтгөх чадварыг үнэлэх хоёр аргыг ашигласан. Эхний тохиолдолд одоо байгаа нэг VM/контейнер дээр илүү олон жишиг хэлхээг нэмж системийг томруулсан. Хоёр дахь тохиолдолд бид VM/контейнер бүр дээр ажиллаж байгаа нэг жишиг бүхий нэг үүлэн зангилаа руу илүү олон VM/контейнер нэмж системийг томруулсан. Бид Apache HTTP Server 2.4 туршилтын жишиг болгон сонгосон.

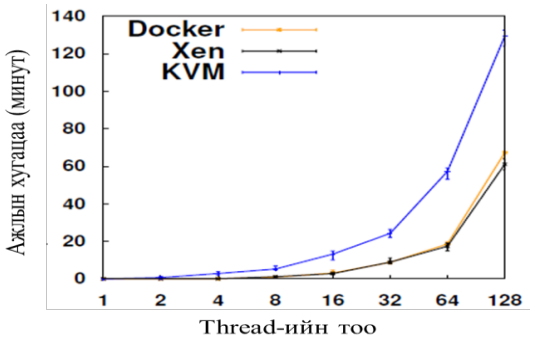
Хоёрдугаар хүснэгтэд туршилтуудын VM болон контейнеруудын тохиргоог үзүүлсэн. Энэ туршилтанд ажлын цагийг үр дүн болгон ашигласан. Ажиллах хугацаа богино байх тусам өргөтгөх чадвар сайн болно. Энэ хэсгийн үр дүн бүрийг 3 тогтвортой үр дүнгээс дээш дунджилсан.

ХҮСНЭГТ II. Виртуалчлалын өргөтгөлийн туршилт

Аргачлал	VCPUs	Virtual memory	Virtual disk
Илүү олон жишиг хэлхээг нэмэх	4	10GB	100 GB
VM/контейнер ийн тоог нэмэх	1	1 GB	15 GB

Эх сурвалж: Судлаачийн боловсруулснаар

Энэ туршилт нь системийн нөөцийн ашиглалтыг нэмэгдүүлэхийн тулд илүү олон жишиг хэлхээг нэмэх явдал юм.



Зураг 4. Жишиг хэлхээний тоог нэмэгдүүлж ажлын хугацаатай харьцуулсан график

4 дүгээр зурагд нэг контейнер/VM доторх хэлхээний тоог нэмэгдүүлэх үед бүх VM/контейнерын ажиллах дундаж хугацааг харуулав. KVM нь жишиг хэлхээний тоог нэмэгдүүлэхэд гурван өөр виртуалчлалын технологийн хамгийн муу үзүүлэлтийг харуулж байна. Xen нь 128 thread-тай үед Docker болон KVM-ээс 6.1 минут, 68.2 минут богино ажиллах хугацаатайгаар өргөтгөх чадварын хамгийн сайн гүйцэтгэлийг харуулж байна. Мөн Docker нь Xen болон KVM-ээс 2.18 минут, 5.28 минут хүртэл бага хэлбэлзэлтэй хамгийн тогтвортой өргөтгөх чадварыг харуулж байна.

Судалгааны ач холбогдол: Ижил төстэй бусад виртуалчлал архитектураас бид хамгийн боломжит арилжааны бус нээлттэй эхийн гүйцэтгэл, боломж өндөртэй виртуал архитектурыг судалгаанд авч ашигласан. Тус судалгаа нь физик серверийн гүйцэтгэлийг хамгийн үр ашигтайгаар ашиглаж үүлэн тооцоолол хийх мөн хэрэглэгчдийн хүсэж буй ажлын цар хүрээнд тохирох серверийн нөөц үүсгэхэд KVM, Xen, Docker архитектурын аль нь хамгийн тохиромжтой гүйцэтгэлийг үзүүлэх боломжтойг benchmark хэрэгслүүдийн

тусламжтайгаар харьцуулан гаргаж ирсэн нь системийн администраторуудад хөтөч болох мөн хэрэглэгчдэд зөвхөн тохирох виртуал машинаа үүсгүүлж үр ашиггүй зардал гаргахаас сэргийлэх ач холбогдолтой юм.

Дүгнэлт

KVM, Xen болон Docker нь үүлэн тооцоолол, үйлчилгээнд ашиглахад маш сайн виртуалчлалын технологи боловч тэдгээр нь өөр өөрсдийн ашиг тус, сул талуудыг хэрэглэгчдэд өгдөг. Энэ судалгааны ажлаар бид бүрэн виртуалчлал, пара-виртуалчлал, үйлдлийн системийн түвшний виртуалчлалыг гүйцэтгэл, өргөтгөх чадвар зэргийг туршилтаар баталж үзүүлсэн. Гүйцэтгэлийн судалгаанд зориулж KVM, Xen, Docker-ийг LINPACK, STREAM, Netperf, FIO ашиглан хэмжиж, дүн шинжилгээ хийснээр бид Docker хамгийн сайн гүйцэтгэлтэй, Xen ихэнх туршилтуудад Docker-оос бага зэрэг ачаалалтайгаар түүний араас орж байгаа бол KVM Docker, Xen нараас илүү муу үзүүлэлттэй байгааг туршилтын үр дүнгээс олж мэдсэн. Энд үр дүн нь hypervisor суурилсан виртуалчлал нь нэмэлт давхаргуудтай холбоотой үйлдлийн системийн түвшний виртуалчлалаас илүү их ачаалалтай болохыг харуулж байна.

Өргөтгөх чадварыг судлахын тулд бид Apache HTTP серверийн дамжуулалтаар KVM, Xen, Docker-ийн гүйцэтгэлийг үнэлэв. Докер нь олон тооны контэйнерын тоог нэмэгдүүлэх туршилтаараа тэргүүлсэн бол Xen нь нэг VM дээр дамжуулалтын хэлхээний тоог нэмэгдүүлэх туршилтанд сайн ажиллаж байсан. KVM нь мөн өргөтгөлийн энэ туршилтанд хамгийн муу гүйцэтгэлийг үзүүлсэн.

Ном зүй

[1] Mickey Iqbal et al. IT Virtualization Best Practices: A Lean, Green Virtualized Data Center Approach. Mc Press, 2011. ISBN: 1583473548. URL: http://goo.gl/IBc22y.

[2] Felter, W., A. Ferreira, R. Rajamony and J. Rubio, “An updated performance comparison of virtual machines and linux containers”, in “Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS), 2015 IEEE International Symposium On”, pp.171–172 (IEEE, 2015).

[3] Fink, J., “Docker: a software as a service, operating system-level virtualization framework”, Code4Lib Journal pp. 25, 29 (2014).

[4] Kivity Qumranet, A., Y. Kamay Qumranet, D. Laor Qumranet, U. Lublin Qumranet and A. Liguori, “Kvm: The linux virtual machine monitor”, Proceedings Linux Symposium p. 15 (2007).

[5] Krishnan, S. and J. L. U. Gonzalez, “Google compute engine”, in “Building your next big thing with Google cloud platform”, pp. 53–81 (Springer, 2015).

[6] Li, Y. and Y. Xia, “Auto-scaling web applications in hybrid cloud based on docker”, in “2016 5th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)”, pp. 75–79 (IEEE, 2016).

[7] Morabito, R., J. Kj¨allman and M. Komu, “Hypervisors vs. lightweight virtualization: a performance comparison”, in “2015 IEEE International Conference on Cloud Engineering”, pp. 386–393 (IEEE, 2015).

[8] Soltesz, S., H. P¨otzl, M. E. Fiuczynski, A. Bavier and L. Peterson, “Container-based operating system virtualization: a scalable, high-performance alternative to hypervisors”, in “ACM SIGOPS Operating Systems Review”, vol. 41, pp. 275–287 (ACM, 2007).

[9] Soriga, S. G. and M. Barbulescu, “A comparison of the performance and scalability of xen and kvm hypervisors”, in “2013 RoEduNet International Conference 12th Edition: Networking in Education and Research”, pp. 1–6 (IEEE, 2013).

[10] Xavier, M. G., I. C. De Oliveira, F. D. Rossi, R. D. Dos Passos, K. J. Matteussi and C. A. De Rose, “A performance isolation analysis of disk-intensive workloads on container-based clouds”, in “2015 23rd Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing”, pp. 253–260 (IEEE, 2015).

Цахим Худалдаааны Веб Сайтнаас Зургаар Хайлт Хийх Аргачлал

С.Оч-Эрдэнэ
Компьютерын ухаан салбар
МХТС, ШУТИС
comochko2087@gmail.com

Г.Ганчимэг
МХТ-ийн Ахисан түвшний салбар
МХТС, ШУТИС
ganaa@must.edu.mn

***Хураангуй*— Одоо үед цахим худалдаааны сайтуудын эрэлт хэрэгцээ их байна. Түүнчлэн электрон худалдаа нь гар утасны худалдаа, цахим гүйлгээ хийх, нийлүүлэлтийн гинжин менежмент, интернет маркетинг, онлайн гүйлгээ боловсруулах, электрон өгөгдөл солилцоо, бараа материалын удирдлагын систем, автомат мэдээлэл цуглуулах систем гэх мэт технологиудаас бүрдэж байна. Эдгээр нь хэрэглэгчдийн хэрэгцээ сонирхолд нийцэх хэрэгтэй байдаг. Иймд бид энэхүү судалгааны ажлаар цахим худалдаааны веб сайтыг зургаар хайлт хийх боломжтойгоор хөгжүүлж, нэмэлтээр чатботыг холбож өгөхийг зорьсон. Ингэснээр худалдаааны менежментийг сайжруулж, маркетингийг өсгөх ач холбогдолтой юм. Манай орны хувьд цахим худалдаа эрхэлдэг байгууллагуудын ашигладаг веб сайтууд зургаар хайлт хийх боломж байдаггүй. Бид тус судалгааны ажлаар дүрс боловсруулалт болон машин сургалтын аргуудыг ашиглаж зургаар хайлт хийх туршилтуудыг хийж, цахим худалдаааны веб сайтад амжилттай нэвтрүүлсэн талаар танилцуулна.**

Түлхүүр үг*— *CNN, зураг, веб, систем, онлайн, худалдаа, хайлт

I. Удиртгал

1971 ба 1972 оны үед Stanford Artificial Intelligence Laboratory ба Massachusetts Institute of Technology хоорондох каннабис худалдааг зохион байгуулахад The ARPANET ашиглагдсан ба үүнийг дараа нь John Markoff, What the Dormouse Said номд *"э-худалдаааны хамгийн анхны хэлбэр"* хэмээн тэмдэглэсэн байдаг [1]. Электрон худалдаа, э-худалдаа, и-худалдаа, онлайн худалдаа, цахим худалдаа гэдэг нь интернэт эсвэл онлайн нийгмийн сүлжээ гэх мэтийг ашиглан бүтээгдэхүүн, үйлчилгээг худалдах үйл ажиллагаа юм. Электрон худалдаа нь гар утасны худалдаа, цахим гүйлгээ хийх, нийлүүлэлтийн гинжин менежмент, интернет маркетинг, онлайн гүйлгээ боловсруулах, электрон өгөгдөл солилцоо (EDI), бараа материалын удирдлагын систем, автомат мэдээлэл цуглуулах систем гэх мэт технологиудаас бүтдэг [2]. Орчин үеийн электрон худалдаа нь World Wide Web технологиор гүйлгээний амьдралын мөчлөгийн нэг хэсэгт ихэвчлэн ашигладаг хэдий ч и-мэйл болон бусад технологиудыг мөн ашигладаг [3-4]. Э-худалдаааны бизнесүүд нь дараахыг агуулдаг. *Үүнд:*

- *Хэрэглэгчдэд шууд худалдах онлайн худалдаааны веб сайтуудыг жижиглэн худалдаааны борлуулалтанд ашиглах*
- *Гуравдагч этгээдийн бизнес-хэрэглэгч рүү эсвэл хэрэглэгч-хэрэглэгч рүү борлуулалтыг явуулдаг онлайн зах зээлийг хангах, эсвэл оролцох*
- *Бизнесээс бизнест худалдах, худалдан авах*
- *Хүн ам зүйн өгөгдлийг веб холбоо, олон нийтийн мэдээллийн хэрэгслээр дамжуулан цуглуулах, ашиглах*
- *Бизнес-бизнес (B2B) цахим мэдээлэл солилцох*
- *И-мэйл, факс ашиглан боломжит болон одоогийн худалдан авагчдад маркетинг хийх*
- *Шинэ бүтээгдэхүүн, үйлчилгээ гаргахад pretail эрхлэх*
- *Валютын солилцоо болон арилжаа эрхэлдэг онлайн санхүүгийн бирж гэх мэт.*

Манай орны хувьд цахим худалдаа өргөжихийн хирээр түүнд менежментийг зөв зохистой ашиглах зайлшгүй шаардлага гарч ирж байна. Бид энэхүү судалгааны ажлаараа цахим худалдаа эрхлэгчид болон зургаар хайлт хийх боломжтой салбар бүрд ашиглаж болох зурган хайлтын системийг хөгжүүлж нэвтрүүлэхийг зорьсон.

II. Ижил төстэй системийн судалгаа

Манай орны хувьд зургаар хайлт хийдэг цахим худалдаааны веб сайт хараахан нэвтрээгүй байна. Харин олон улсын эхний 11 байранд ордог цахим худалдаааны веб сайтуудыг зурган хайлт болон чатботтой эсэх талаар харьцуулсан судалгааг гар аргаар түүвэрлэн хийж 1 дүгээр хүснэгтэд үзүүлсэн.

Хүснэгт I. Олон улсын худалдаааны веб сайтууд зурган хайлттай эсэх судалгаа

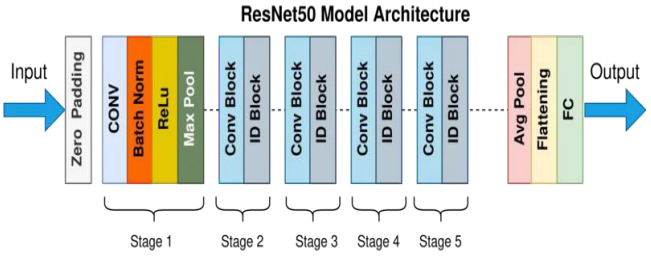
Нэр	***Chatpot***	***Зурган хайлт***
Alibaba	Үгүй	Тийм
Amazon	Үгүй	Тийм
Ebay	Үгүй	Үгүй
AliExpress	Үгүй	Үгүй
Walmart	Үгүй	Тийм
Rakuten	Үгүй	Тийм
Wildberries	Үгүй	Тийм
Ozon	Үгүй	Тийм
Flipkart	Үгүй	Үгүй
Etsy	Үгүй	Үгүй
DJI	Үгүй	Үгүй

Мөн бид өөрсдийн боловсруулж буй цахим худалдаааны веб сайтыг зургаар хайлт хийх боломжтойгоор хөгжүүлж, нэмэлтээр чатботыг холбож өгөхийг зорьсон. Ингэснээр худалдаааны менежментийг сайжруулж маркетингийг сайжруулах ач холбогдолтой юм. Маркетингийн үүрэг гэдэг нь мэдээллийн зах зээлд бараагаа борлуулах чадвар бөгөөд хүлээн авагчдын талаарх судалгааг социологийн болон бусад судалгаанд тулгуурлан хийж, тэдний эрэлт хэрэгцээг зөв мэдэрч, харгалзан ажиллах явдал юм [5].

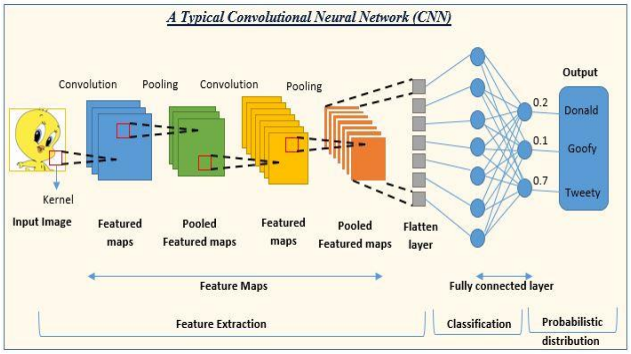
III. Зурган өгөгдлийг хайх аргачлал

Систем дээр хайлтыг олон төрлөөр *(зураг, үг, дуу хоолой)* хийж болох бөгөөд эдгээр нь хэрэглэгчийн системд зарцуулах үр ашиггүй хугацааг багасгадаг. Хэрэглэгч тухайн бараа хэлбэр дүрсийг мэдэж байгаа ч нэрийг нь мэдэхгүй байгаа үед зургаар хайлтыг хийх нь тохиромжтой. Компьютерын хараа нь дижитал зураг, видео болон бусад оролтын утгаас мэдээлэл олж авахын тулд машин сургалтын болон мэдрэлийн сүлжээг ашигладаг хиймэл оюун ухааны (AI) салбар юм. Өөрөөр хэлбэл компьютерын хараа нь машинууд дүрсийг автоматаар таньж, үнэн зөв, үр дүнтэй дүрслэхийн тулд ашигладаг технологи. Тус судалгааны ажилд зураг танилтыг хийж сургах кодыг хөгжүүлэхийн тулд зургийн боловсруулалтын аргууд болон нээлттэй эхийн сангийн алгоритмуудыг ашигласан. *Үүнд [6-10]:*

- **Convolutional neural networks**: Хувиралт мэдрэлийн сүлжээ нь дүрсийг боловсруулах, шинжлэхэд зориулагдсан гүн мэдрэлийн сүлжээний /deep neural network/ нэг төрөл юм. Дүрсийг таних, ангилах болон объект илрүүлэлтэд түлхүү ашигладаг. Мэдрэлийн сүлжээ нь хэдэн арван эсвэл хэдэн зуун давхаргатай байж болох бөгөөд тэдгээр нь тус бүр нь зургийн өөр өөр шинж чанарыг илрүүлж сурдаг. Сургалтын зураг бүрд өөр өөр нягтаршилтай шүүлтүүрүүд хэрэглэгдэх ба эргэлдсэн зураг бүрийн гаралтыг дараагийн давхаргад оруулах оролт болгон ашигладаг. Шүүлтүүрүүд нь тод байдал, ирмэг зэрэг маш энгийн шинж чанаруудаас эхэлж, объектыг өвөрмөц байдлаар тодорхойлох функцүүдийн нарийн төвөгтэй байдлыг нэмэгдүүлэх боломжтой.
- **OpenCV** (Open-Source Computer Vision Library): нь нээлттэй эхийн компьютерын хараа болон машин сургалтын программ хангамжийн номын сан юм. OpenCV нь ихэвчлэн бодит цагийн харааны программуудад тулгуурладаг бөгөөд боломжтой үед MMX болон SSE зааврыг ашигладаг. Мөн 500 гаруй алгоритмууд байдаг бөгөөд тэдгээр алгоритмуудыг бүрдүүлдэг эсвэл дэмждэг 10 дахин олон функцууд байдаг [4].
- **Tensorflow, Keras**: Tensorflow нь тооцоолол хийхийн тулд өгөгдлийн урсгалын граф ашигладаг машин сургалтад зориулагдсан нээлттэй эхийн программ хангамж юм. Граф дахь зангилаанууд нь математик үйлдлүүдийг илэрхийлдэг, харин графын ирмэгүүд нь тэдгээрийн хооронд урсах олон хэмжээст өгөгдлийн массивуудыг *(тензоруud)* төлөөлдөг. Уг уян хатан архитектур Keras нь Tensorflow дээр байдаг дээд түвшний api юм. Энэ нь модел сургах явцыг хурдасгадаг.
- **CNN моделууд**: LeNet, AlexNet, VGNer, GoogleNet, Resnet50, VGGNet нь ихэвчлэн зургийн ангилал, объект илрүүлэлтэд ашигладаг.
- **Resnet50:** Хамгийн алдартай ResNet архитектуруудын нэг бол ResNet50 бөгөөд 50 давхаргаас бүрдэх бөгөөд 2015 онд ImageNet өгөгдлийн багц дээр хамгийн сүүлийн үеийн гүйцэтгэлд хүрсэн. ResNet50 нь 16 үлдэгдэл блокоос бүрддэг бөгөөд блок бүр нь хэд хэдэн эвхэгддэг давхаргатай. Уламжлалт гүн мэдрэлийн сүлжээ эсвэл энгийн гүн мэдрэлийн сүлжээнд алга болох градиент нь асуудал үүсгэдэг. Градиент нь мэдрэлийн сүлжээний олон давхаргаар тархах тусам маш бага болдог. Энгийнээр хэлбэл, давхаргын тоо нь сургалтыг ихэсгэдэг эсвэл туршилтын алдаа улам бүр дорддог. Энэ нь удаан суралцах дутагдалд хүргэж болзошгүй байдаг. ResNets нь үлдэгдэл холболт гэж нэрлэгддэг алгасах холболтуудыг нэвтрүүлснээр энэ асуудлыг шийддэг бөгөөд градиент нь сүлжээн дэх тодорхой давхаргыг тойрч гарах боломжийг олгодог.



Зураг 1. Зураг танилтын сургалтын модел



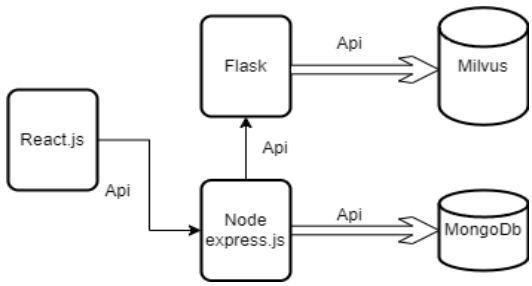
Зураг 2. CNN архитектур

1 ба 2 дугаар зурагт үзүүлсэн аргуудыг ашиглан хайлт хийж зургуудыг таньж сургасан.

IV. Цахим худалдааны веб сайт хөгжүүлэлт

Зургаар болон текстээр хайлт хийх боломжтой цахим худалдааны вебийг дараах программчлалын хэлүүдийг ашиглан хөгжүүлсэн. *Үүнд [11-17]:*

- *Front-end (React.js)*
- *Back-end (Python Flask)*
- *Database (MongoDb, Milvus)*
- *Python Web development Flask* фреймворкийн тусламжтай вебийн *back-end* код бичих боломжтой.
- *Data_science Machine learning, data analyst* хэрэгслүүдийг өгөгдлийг сургахад ашигласан.
- *Автоматжуулалт Scripting* хүний гараар хийгддэг түүвэрлэлтийг Python кодоор автоматжуулсан.



Зураг 3. Системийн архитектур

Javascript бол веб хуудас боловсруулахад шаарддаг скрипт хэл юм. Уг системд бид Jquery front-end хийхэд ашигласан. Jquery нь Javascript бэлэн кодуудыг нэгтгэсэн сан юм. Үүнийг ашиглан илүү хурдан веб хийх боломжтой.

HTML, CSS гэдэг нь Cascading Style Sheets гэдэг үгийн товчлол бөгөөд хэлбэр, дизайн гэж ойлгож болох юм. CSS нь HTML кодчлолын элемент тагуудийг хэрхэн үзүүлэх форматлахыг тодорхойлдог. Өөрөөр хэлбэл таны вебийн өнгө үзэмжийн, харагдах байдлыг сайжруулдаг. HTML хэл нь script хэл бөгөөд ямар нэг хөрвүүлэлт шаарддаггүй, дурын текст боловсруулах программ дээр бичиж болдог.

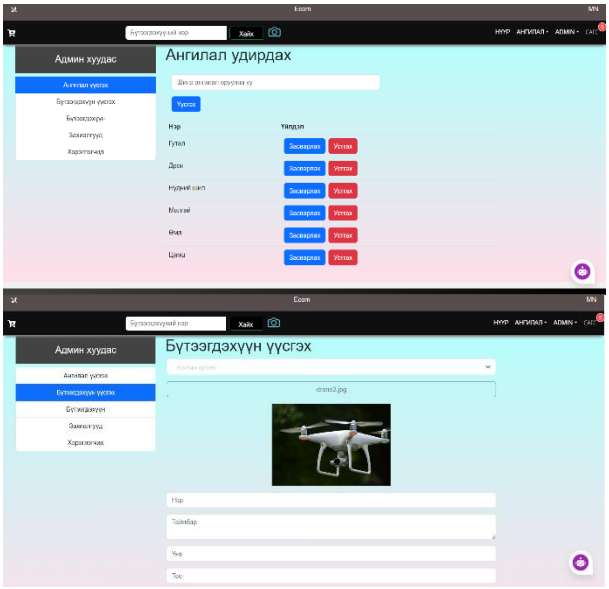
MongoDb нь нээлттэй эхийн NoSql өгөгдлийн сангийн менежментийн систем. Анх Eliot Horowitz, Dwight Merriman болон Kevin Ryan нар зохион бүтээж байсан. Анхны хувилбараа 2009 онд гаргаж байсан бөгөөд одоогоор Google компани эзэмшдэг. MongoDB нь C++ хэл дээр бичигдсэн, Linux, macOS, Windows, FreeBSD зэрэг олон системийн платформ дээр ажилладаг.

Milvus нь ижил төстэй байдлын хайлт болон AI программуудыг оруулах зорилгоор бүтээгдсэн нээлттэй эхийн вектор мэдээллийн сан юм. Milvus нь бүтэцгүй өгөгдлийн хайлтыг илүү хүртээмжтэй болгож, байршуулах орчноос үл хамааран хэрэглэгчийн байнгын туршлагыг хангадаг.

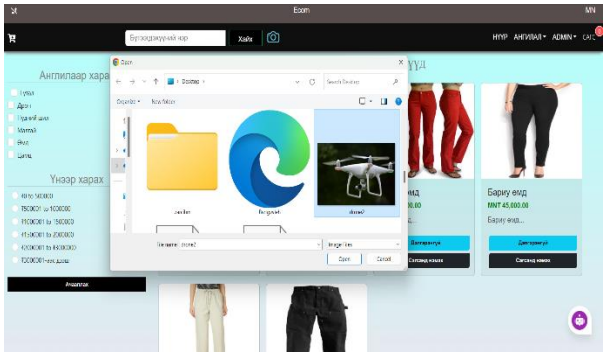
Flask технологийг 2004 онд байгуулагдсан Python сонирхогчдын олон улсын бүлэг болох Покугийн Армин Роначер бүтээсэн. Flask нь Python хэл дээр бичигдсэн микро веб фреймворк юм. Энэ нь тусгай хэрэгсэл, сан шаарддаггүй тул микрофрэймворк гэж ангилдаг. Энэ нь өгөгдлийн сангийн хийсвэрлэлийн давхарга, маягтын баталгаажуулалт эсвэл урьд өмнө байгаа гуравдагч талын сангуудыг нийтлэг функцээр хангадаг бусад бүрэлдэхүүн хэсгүүдгүй.

React.js нь веб аппликейшны User Interface /хэрэглэгчийн интерфейс/ хөгжүүлэхэд зориулагдсан JavaScript фреймворк юм. 2011 онд Мета компанийн программ хангамжийн инженер Жордан Уолке JavaScript хөгжүүлэлтийн нарийн төвөгтэй байдлыг арилгахын тулд components /бүрэлдэхүүн хэсгүүд/ суурилсан, дахин ашиглах боломжтой React фреймворкыг хөгжүүлж, 2013 онд анхны хувилбараа гаргаж байсан.

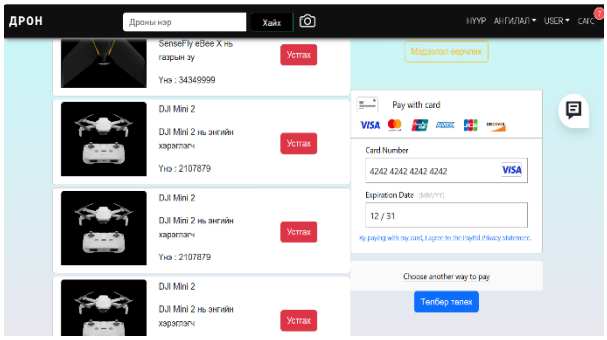
Системийн загвар: 4-9 дүгээр зургуудад системийн гол үйлдлүүдийг агуулсан системийн интерфэйс болон прототипыг үзүүлэв.



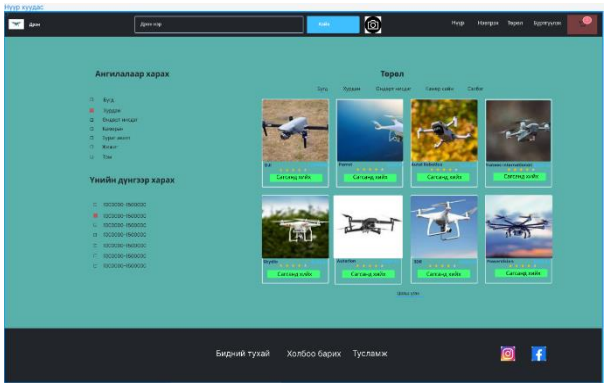
Зураг 4. Хөгжүүлж буй системийн бүтээгдэхүүн болон ангилал үүсгэх хуудсууд



Зураг 5. Хөгжүүлж буй системийн хайлтын хэсэг

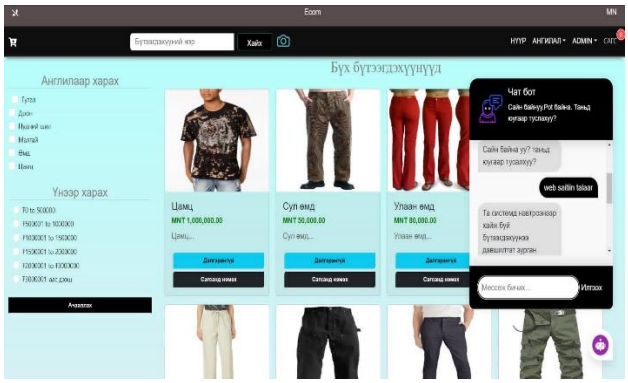


Зураг 6. Хөгжүүлж буй системийн төлбөрийн хуудас

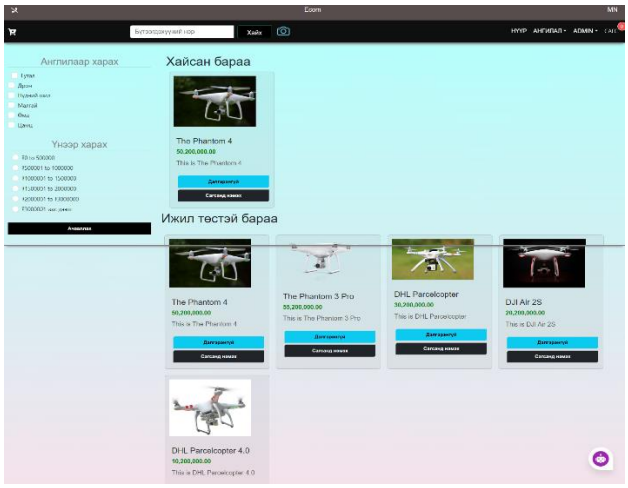


Зураг 7. Хөгжүүлж буй системийн прототип

Чатботыг өмнөх судалгааны [18] ажлаар хөгжүүлж зохиогчийн эрхийн гэрчилгээ авсан тул шууд тус системд холбож өгч ажиллуулсан.



Зураг 8. Системийн нүүр хуудас ба чатботын хэсэг



Зураг 9. Хөгжүүлж буй системээс зургаар хайлт хайж буй байдлын үр дүн

Бид нийт гутал, дрон, нүдний шил, малгай, өмд, цамц шоорт гэсэн ангилуудтай 2000 зураг дээр сургалт явуулсан ба зураг таньж сургах загвараа CNN Resnet50 архитектур дээр тулгуурлан код бичиж хөгжүүлэн сургасан ба сургалтын танилтын хувь 73%, алдааны хувь 27% байна. Үүнийг цаашид сайжруулан хөгжүүлж сургалтын алдааг багасгах тал дээр ажиллаж байна. 10 дугаар зураг Resnet 50 давхарга бүрийн төрөл, гаралтын хэлбэр, параметрын тоог харуулсан загварыг оруулав. *Үүнд:*

Давхарга (төрөл): Энэ баганад загвар дахь давхарга бүрийн төрлийг жагсаав.

Гаралтын хэлбэр: Энэ багана нь давхарга бүрээс гаргаж авсан гаралтын хэлбэрийг заана. Асуултын тэмдэг (?) нь загварыг бүтээж, оролтын өгөгдөл өгөх хүртэл гаралтын хэлбэр тодорхойлогдохгүй байгааг харуулж байна.

Парам #: Энэ баганад давхарга бүрийн параметрын тоог *(жин ба хазайлт)* харуулна. Resnet50 давхаргын хувьд 23, 587, 712 параметр байна. GlobalMaxPooling2D давхаргын хувьд энэ давхаргад сургах боломжтой параметр байхгүй тул тэгийг заана.

Нийт параметрүүд: Энэ мөрөнд сургах боломжтой болон сургах боломжгүй параметрүүдийг багтаасан загвар дахь параметрүүдийн нийт тоог харуулна.

Сургах боломжтой параметрүүд: Загвар дахь сургах боломжтой параметрүүдийн тоог харуулна. Энэ тохиолдолд GlobalMaxPooling2D давхаргад сургах боломжтой параметр байхгүй тул энэ нь тэгийг харуулж байна.

Сургах боломжгүй параметрүүд: Энэ мөрөнд загварт сургагдах боломжгүй параметрүүдийн тоог харуулна. Энэ тохиолдолд бүх параметрүүд нь сургах боломжгүй Resnet50 давхаргад хамаарах тул параметрын нийт тоотой ижил байна.

```
model = tensorflow.keras.Sequential([
    model,
    GlobalMaxPooling2D()
])
model.summary()
```

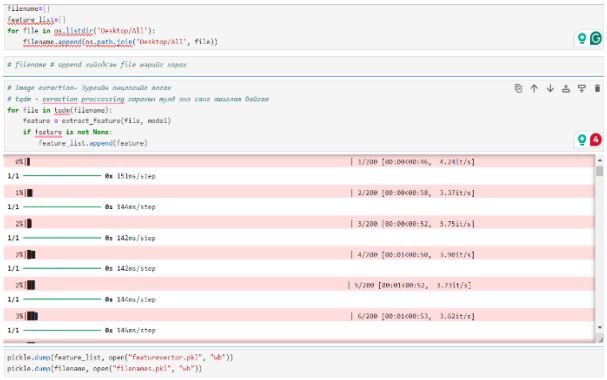
```
Model: "sequential"
```

Layer (type)	Output Shape	Param #
resnet50 (Functional)	?	23,587,712
global_max_pooling2d (GlobalMaxPooling2D)	?	0 (unbuilt)

```
Total params: 23,587,712 (89.98 MB)
Trainable params: 0 (0.00 B)
Non-trainable params: 23,587,712 (89.98 MB)
```

Зураг 10. Resnet50 модел загвар

11 дүгээр зурагт өгөгдлийн онцлогийг ялгах процессыг 12 дугаар зурагт туршилтын зургуудаас хэрхэн алдаатай таньсан хувийг олох, 13 дугаар зурагт зөв танилтын хувийг олох кодуудыг тус тус үзүүлсэн.



Зураг 11. Өгөгдлийн онцлогийг ялгах процесс

```
faulty_recognitions = 0
# Туршилтын зургуудаар давтах
for file in tqdm(test_filenames):
    # Туршилтын зургаас онцлогуудыг задлах
    test_feature = extract_feature(file, model)
    if test_feature is not None:
        distances, indices = neighbors.kneighbors([test_feature])
        if np.max(distances) > threshold:
            faulty_recognitions += 1
fault_rate = (faulty_recognitions / len(test_filenames)) * 100
print(f"Fault rate: {fault_rate:.2f}%")
```

Зураг 12. Алдааны хувийг олох код

```python
from sklearn.metrics import accuracy_score
# Ground truth labels туршилтын зурганд зориулж ачаллах
test_labels = [get_label_from_filename(file) for file in test_filenames]
# Зөв таамаглалын жагсаалт
predictions = []
# Туршилтын зургуудаар давтах
for file in tqdm(test_filenames):
    #Туршилтын зургаас онцлогуудыг задлах
    test_feature = extract_feature(file, model)
    if test_feature is not None:
        distances, indices = neighbors.kneighbors([test_feature])
        nearest_labels = [get_label_from_filename(train_filenames[idx]) for idx in indices[0]]
        prediction = max(set(nearest_labels), key=nearest_labels.count)
        predictions.append(prediction)
accuracy = accuracy_score(test_labels, predictions)
print(f"Accuracy: {accuracy:.2f}")
```

Зураг 13. Зөв танилтын хувийг олох код

Дүгнэлт

Бид тус судалгааны ажлаар дүрс боловсруулалт болон машин сургалтын аргуудыг ашиглаж зургаар хайлт хийх туршилтуудыг хийж, чатботтой, цахим худалдааны веб сайт хөгжүүлсэн. Манай орны хувьд цахим худалдааны сайтууд зургаар хайлт хийх функцгүй байдаг. Зургаар хайлт хийх боломжийг хөгжүүлснээр зөвхөн бүтээгдэхүүн хайх биш бусад зургаар хайлт хийх хэрэгтэй системүүд авч ашиглах боломжтой болж байна. Ингэснээр худалдааны менежментийг сайжруулж, маркетингийг өсгөх ач холбогдолтой юм. Түүнчлэн цагдаагийн эрэн сурвалжлах албаны мэдээллийн системд холбож өгвөл мэдээллийн баазад байгаа зургийг хайх ажиллагааг хурдасгаж, эрэн хайх ажиллагааг хөнгөвчлөх ач холбогдолтой юм.

Ном зүй

[1] Power, Michael 'Mike' (19 April 2013). "Online highs are old as the net: the first e-commerce was a drugs deal". The Guardian. London. Retrieved 17 June 2013.

[2] Tkacz, Ewaryst; Kapczynski, Adrian (2009). Internet — Technical Development and Applications. Springer. p. 255. ISBN 978-3-642-05018-3. Retrieved 28 March 2011. The first pilot system was installing in Tesco in the UK (first demonstrated in 1979 by Michael Aldrich).

[3] 1988 Palmer. "E Commerce – Essays – Hpandurang92". Study mode. Retrieved 17 June 2013.

[4] "Online shopping: The pensioner who pioneered a home shopping revolution". BBC News. 16 September 2013.

[5] https://mn.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%B6%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82

[6] https://www.linkedin.com/pulse/why-facilities-manage ment-so-important-lazo-popovski-msc-fmpThermal imaging camera and night vision, https://pulsar-nv.com/useful-information/thermal-vs-night-vision/

[7] OpenCv. https://www.researchgate.net/publication /30159057 1_OpenCV_for_ omputer_Vision_Applic ations.

[8] Coremeda content cloud, Fronted Developer Manual 2021, https://documentation.coremedia.com/cmcc-10/art ifacts /2101/manuals/frontend-en.pdf

[9] By Emenwa Global, Python Flask and Django | Full Stack Python for Web Development: Build Web Applications In Python Using Flask And Django Frameworks Paperback – September 28, 2022

[10] By Daniel D. Gutierrz, Machine Learning and Data Science: An Introduction to Statistical Learning Methods with R First Edition, 2015

[11] Jaime Buelta, Python Automation Cookbook 75 Python automation ideas for web scraping, data wrangling, and processing Excel, reports, emails, and more, 2nd Edition, 2020

[12] Г.Цэрэндагва, Эдийн засгийн онол, 2013, УБ

[13] Б.Батмөнх, Макро эдийн засгийн болон аж байдлын үзүүлэлтээр хийсэн хүчин зүйлийн судалгаа, Үндэсний статистикийн хороо, 2010, УБ

[14] Авдай Ч., Энхтуяа Д., Судалгаа шинжилгээний ажил гүйцэтгэх арга зүй: Статистик боловсруулалт, загварчлал, оновчлол, 2010, УБ, ISBN: 978-99929-844-1-4 https://www.uneguia.mn/adv/4791831_avto-zasvarchin/, Үзсэн 03-19-2021

[15] MongoDb paper. https://www.mongodb.com/collateral/ mongodb - multi - document-acid-transactions.

[16] React.jspaper. https://ijirt.or/master/publishedpaper/IJIRT15385 4 _ PAPER.pdf.

[17] VsCode paper. https://arxiv.org/pdf/2303.101 74v1.pdf.

[18] G.Ganchimeg, N.Sukhtumur, “Development of School Admission and Inquiry Chatbot”, Professors, Teachers and Researchers“, Academic Conference2023” Scientific Transactions, MUST, No.23(03), 309, best article awards, pp. 43-46

Development of fast response non-contact sensor based on humidity and their applications

Enkhzaya Ganbold
RFIC Centre, Kwangwoon University, 20 Kwangwoon-ro, Nowon-Gu, Seoul 01897, South Korea
Department of Electronics Engineering, Kwangwoon University, 20 Kwangwoon-ro, Nowon-Gu, Seoul 01897, South Korea
enkhzaya@kw.ac.kr

Eun Seong Kim
RFIC Centre, Kwangwoon University, 20 Kwangwoon-ro, Nowon-Gu, Seoul 01897, South Korea
Department of Electronics Engineering, Kwangwoon University, 20 Kwangwoon-ro, Nowon-Gu, Seoul 01897, South Korea
esk@kw.ac.kr

Nam Young Kim
RFIC Centre, Kwangwoon University, 20 Kwangwoon-ro, Nowon-Gu, Seoul 01897, South Korea
Department of Electronics Engineering, Kwangwoon University, 20 Kwangwoon-ro, Nowon-Gu, Seoul 01897, South Korea
nykim@kw.ac.kr

***Abstract*— The development of a fast response non-contact sensor based on humidity is a significant advancement in the field of environmental sensing. This paper presents the design, fabrication, and application of an interdigitated capacitor (IDC)-based humidity sensor that utilizes advanced sensing materials for rapid detection of humidity changes. The sensor's working principle relies on the variation in the dielectric constant and electronic properties of the sensing materials in response to relative humidity (RH) levels. The sensor demonstrates quick response time and real-time data acquisition, making it suitable for a wide range of non-contact sensing applications.**

Keywords*— *Interdigitated capacitor devices, Noncontact sensing applications, Nanocomposite materials

I. Introduction

The development of fast-response non-contact humidity sensors has become increasingly significant in various fields, including environmental monitoring, industrial processes, healthcare, and agriculture. These sensors offer the advantage of rapid detection and measurement of humidity levels without the need for direct contact with the sample or environment being monitored. This non-invasive approach not only enhances the longevity and reliability of the sensors but also broadens their application scope, particularly in situations where traditional contact-based sensors are impractical or could potentially contaminate the sample [1-4].

The principle of operation of these sensors typically involves the measurement of changes in electrical properties (such as capacitance or resistance) that occur in response to variations in ambient humidity. This change is attributed to the adsorption or desorption of water molecules on the sensor's active material, which alters its electrical characteristics. The rapid response of these sensors is crucial for real-time monitoring and control applications where timely and accurate humidity measurements are essential for decision-making processes [5-6].

The application of fast-response non-contact humidity sensors spans several domains. In the healthcare sector, they are instrumental in respiratory monitoring, providing vital information for the management of patients with respiratory conditions [7-8]. In agriculture, these sensors can optimize irrigation processes by accurately measuring soil moisture levels, thereby enhancing crop yields and water usage efficiency. Industrial applications include monitoring and controlling humidity levels in manufacturing processes, storage facilities, and clean rooms to ensure product quality and safety. Furthermore, the integration of these sensors into Internet of Things (IoT) devices has opened new avenues for environmental monitoring, enabling the collection of comprehensive data on air quality and climatic conditions [8-10]. This paper presents a comprehensive overview of the development of fast-response non-contact humidity sensors, focusing on the innovative materials and fabrication techniques that have contributed to their enhanced performance.

II. Method and Fabrication

A. Fabrication of IDC device

The interdigital capacitor was fabricated on a 6-inch glass substrate through a series of meticulous steps:

Step 1. Cleaning: Ultrasonic acetone bath, IPA treatment, and DI water rinse, followed by acid cleaning.

Step 2. Photoresist Application: Spin-coating of negative photoresist, edge bead removal, exposure, and development.

Step 3. Metal Layer Deposition: Plating a 150/150-nm-thick Ti/Pt layer under controlled conditions.

Step 4. Lift-Off Process: Removal of photoresist using acetone/IPA/DI water solution.

This process ensures high purity and precision, guaranteeing the quality of the interdigital capacitor. The advantages of the EAGLE XG wafer, Ti/Pt electrode to create a device suitable for high-performance applications. The sensing materials(6-10ul) coated on the IDC device include nanocomposite materials, carbon-based 2D materials and polymers. After coating, dried on the hotplate 80^0C. These materials are chosen for their high sensitivity to humidity and rapid response to changes in environmental conditions.

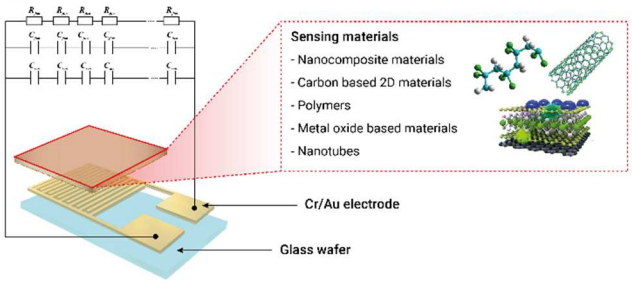


Fig. 1. Equivalent circuit of IDC device with sensing materials

B. Working principle of IDC device

As humidity levels rose, the nanocomposites swiftly engaged with water molecules, driven by a powerful attraction, particularly when subjected to an electric field, as shown in Fig 2. Within this dynamic, interdigitated capacitors (IDCs) emerged as pivotal components, facilitating efficient signal transmission. Their intricately designed structure not only amplifies surface area but also augments sensitivity. These nanoporous composite-based IDC humidity sensors exhibit versatility, finding utility in diverse applications such as breath rate monitoring and both contact and non-contact sensing methodologies.

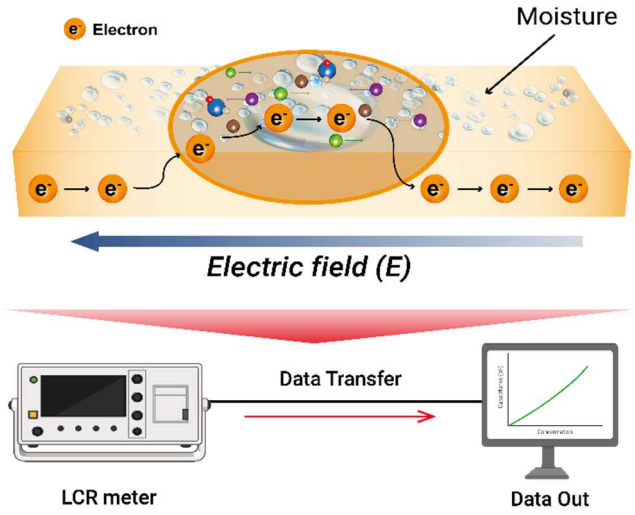


Fig. 2. Working principle and real-time measurement of IDC device materials

C. Humidity Sensing Measurement Method

An impedance analyzer (4192A, Agilent Co. Ltd., Santa C lara, California) was employed to evaluate the sensitivity of various humidity sensors within a controlled environment pr ovided by a humidity chamber (TH-ME-025, JeioTech Co. L td., Seoul, South Korea). The testing protocol involved a loc king mechanism that facilitated automatic measurements of capacitance at precise one-second intervals. The humidity ch amber was capable of adjusting the RH in stepwise incremen ts of 5%, ranging from 65% to 95%. This range was chosen t o encompass the typical environmental conditions that the se nsors might encounter in real-world applications. For each st ep, the RH was stabilized for approximately 10 minutes to e nsure that the sensors had sufficient time to equilibrate to the new humidity level. During this stabilization period, the im pedance analyzer continuously recorded the capacitance valu es of the sensors (Figure 3).

To manage and analyze the vast amount of data generated from these measurements, the capacitance readings were inp ut into a custom software developed using Excel VBA (Visu al Basic for Applications). This software was instrumental in processing the raw data, calculating the average capacitance value for each RH level over the 10-minute equilibration per iod. The voltage applied across the sensors was maintained c onstant at 1 V, and the frequency of the capacitance measure ments was fixed at 1 kHz.

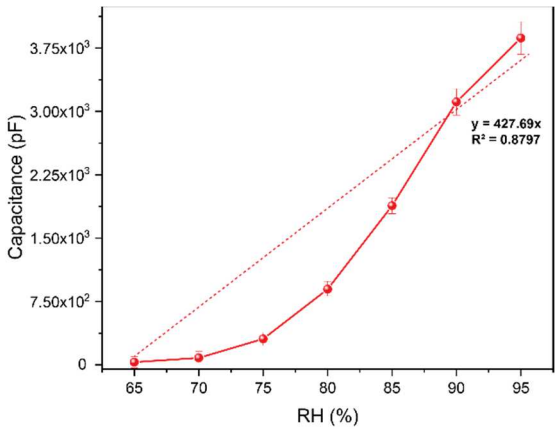


Fig. 3. Sensitivity of developed humidity sensor at 65% to 95%RH.

III. PERFORMANCE OF DEVELOPED SENSOR

Figure 4 presents the outcomes of real-time breath monitoring. In Figure 4a, we observe a schematic representation of an individual wearing a mask connected to an LCR meter (Keysight E4980AL and BenchVue software). This configuration forms a live data transmission system, affirming the sensor's capability to monitor breath patterns and seamlessly transmit the collected data. Figure 4b illustrates the fluctuations in capacitance corresponding to various breathing rates, including deep, normal, and fast breathing while wearing the mask. These fluctuations are depicted in the transition from picofarads (pF) to nanofarads (nF), showcasing the sensor's sensitivity to subtle respiratory changes.

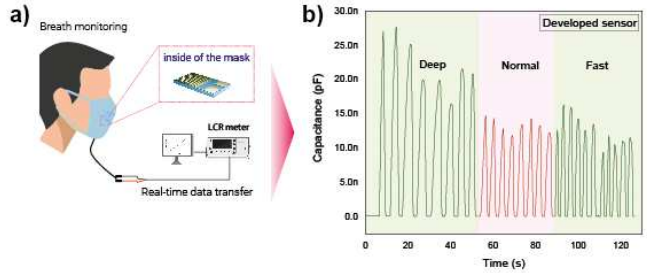


Fig 4. Real-time breath monitoring measurement result. a) setup of measurement. b) Breath measurement results of deep, normal, and fast breathing.

Figure 5a exhibits the variation in capacitance within a range of 0.3 cm to 0.5 cm distance between the sensor and a human finger. This demonstration underscores the sensor's proficiency in discerning the humidity levels associated with human skin. In Figure 5b, we observe the functionality of an electric fan in conjunction with the developed sensor, highlighting its practical application.

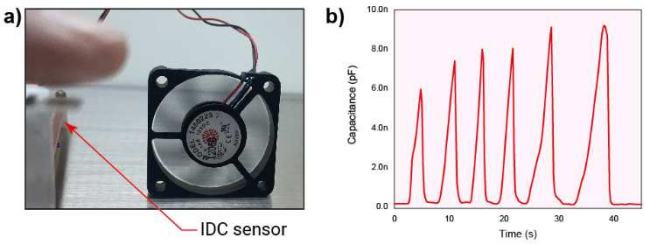


Fig 5. Non-contact sensing from human finger moisture. a) Electric fan on and off measurement result. b) Capacitance changes from finger moisture.

The developed sensors possess the capability to detect and quantify the humidity present in exhaled breath without requiring direct contact. Notably, these sensors exhibit responsiveness to diverse breathing patterns and can operate effectively at different distances. Such versatility holds promise for applications in health monitoring and environmental sensing. Furthermore, owing to their compact nature, these sensors lend themselves well to integration within real-time monitoring systems, offering a seamless solution for continuous data acquisition and analysis..

IV. Conclusion

In this study, we presented nanocomposite-based IDC humidity sensors for real-time monitoring applications. Our developed sensor uses an easy fabrication process and is cost-effective. Moreover, the sensor is capable of real-time data acquisition with quick response times, making it suitable for continuous monitoring applications. This is a significant advantage over other sensors that might have slower response times or require periodic manual data collection. Its versatility and real-time monitoring capabilities hold promise for advancements in human health monitoring and the operation of non-contact electronic devices.

Acknowledgment

We would like to acknowledge the financial support from Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (Grant 2018R1A6A1A03025242 and Grant 2018R1D1A1A09083353).

References

[1] X. Chen, K. Ma, J. Ou, D. Mo, H. Lian, X. Li, “Fast-Response Non-Contact Flexible Humidity Sensor Based on Direct-Writing Printing for Respiration Monitoring,” Biosensors, 2023 Aug; 13(8): 792.

[2] Ganbold, E., Sharma, P. K., Kim, E. -S., Lee, D. -N., Kim, N. -Y. Capacitive humidity sensor with a rapid response time on a GO-doped P(VDF-TrFE)/LiCl composite for noncontact sensing applications. Chemosensors. 11 (2), 122 (2023).

[3] Zhang, Z. Sh.; Liu, J. X.; Cheng, X. F.; He, J. H.; Li, H.; Xu, Q. F.; Li, N. J.; Chen, D. Y.; Lu, J. M. Ultrasensitive humidity sensing using one-dimensional π-d conjugated coordination polymers for breath monitoring, Sensors & Actuators: B. Chemical 2021, 330, 129353

[4] S. Kano, N. Jarulertwathana, S. M. Noor, J. K. Hyun, R. Asahar, H. Mekaru, Respiratory Monitoring by Ultrafast Humidity Sensors with Nanomaterials: A Review, Sensors, 2022 Feb; 22(3): 1251.

[5] Kim, E. S.; Liang, J. G.; Wang, C.; Cho, M. Ch.; Oh, J. M.; Kim. N. Y. Inter-digital capacitors with aerosol-deposited high-K dielectric layer for highest capacitance value in capacitive super-sensing applications. Scientific reports 2019, 9, 9680.

[6] M. Y. Cho, S. H Kim, I. S. Kim, E. S. Kim, Z. Ji. Wang, N. Y. Kim, S. W. Kim, J. M. Oh, Humidity Sensor Systems: Perovskite-Induced Ultrasensitive and Highly Stable Humidity Sensor Systems Prepared by Aerosol Deposition at Room Temperature, Advanced Functional Materials, Volume30, 3, 2020

[7] P. Guo, B. Tian, J. Liang, X. Yang, G. Tang, Q. Li, Q. Liu, K. Zheng, X. Chen, W. Wu, An All-Printed, Fast-Response Flexible Humidity Sensor Based on Hexagonal-WO3 Nanowires for Multifunctional Applications, Adv Mater, 35(41), 2023.

[8] X. Chen, K. Ma, J. Ou, D. Mo, H. Lian, X. Li, Z. Cui, Y. Luo, Fast-Response Non-Contact Flexible Humidity Sensor Based on Direct-Writing Printing for Respiration Monitoring, Biosensors, 13(8), 792, 2023.

[9] A. Ullah, M. H. Zulfiqar, M. A. Khan, M. Zubair, M. Q. Mehmood, Y. Massoud, Fast Response Facile Fabricated IDE-Based Ultra-sensitive Humidity Sensor for Medical Applications, ACS Omeg, 8, 19, 16842–16850, 2023.

[10] Z. Chen, C. Lu, Humidity Sensors: A Review of Materials and Mechanisms, Sensor Letters, 3, 274-295, 2005.

Response of review comments

1. **Calculate the error rate of the sensor.**

- Our developed sensor measured the capacitance change in detail every second (or even decisecond), making it impossible to calculate the error rate for each peak. All experiments were performed more than three times using different sensors, and similar results were consistently obtained. We added the sensitivity result calculated with an error bar in a manuscript.

2. **How is it determined that the measured value of the sensor is correct?**

- We used official measurement devices for humidity sensor measurement. An impedance analyzer, model 4192A, a product of Agilent Co. Ltd., Santa Clara, California, and a humidity chamber, model TH-ME-025, a product of JeioTech Co. Ltd., Seoul, South Korea, were utilized. The LCR meter is a product of Keysight E4980AL, and the BenchVue software is designed for use with Keysight's devices. We added the device information to the manuscript.

3. **What distinguishes it from other similar types of contactless sensors?**

- Our developed sensor uses an easy fabrication process and is cost-effective. Moreover, the sensor is capable of real-time data acquisition with quick response times, making it suitable for continuous monitoring applications. This is a significant advantage over other sensors that might have slower response times or require periodic manual data collection.

4. No mathematical calculations were made regarding the physical structure of the sensor.

- Our sensor was designed and simulated on an Advanced Design System (ADS) (2016.01, Keysight©).

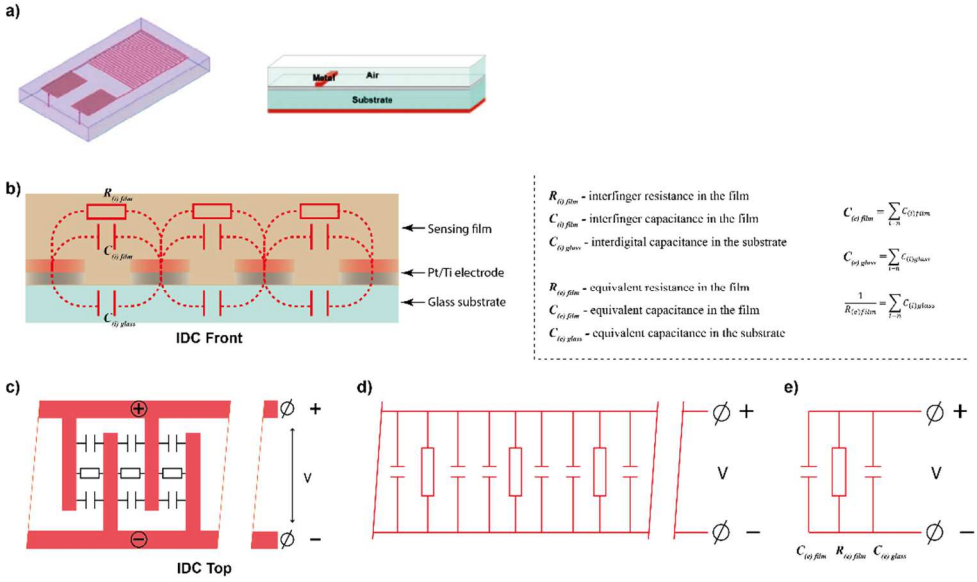


Fig. S1. Simulation of an IDC and detailed equivalent circuit of the IDC. (a) 3D view of the designed IDC (b) Front side of the equivalent circuit with IDC electrode, (c) Top side of the equivalent circuit with IDC electrode, (d) Equivalent circuit without electrode, and (e) Single equivalent circuit design.

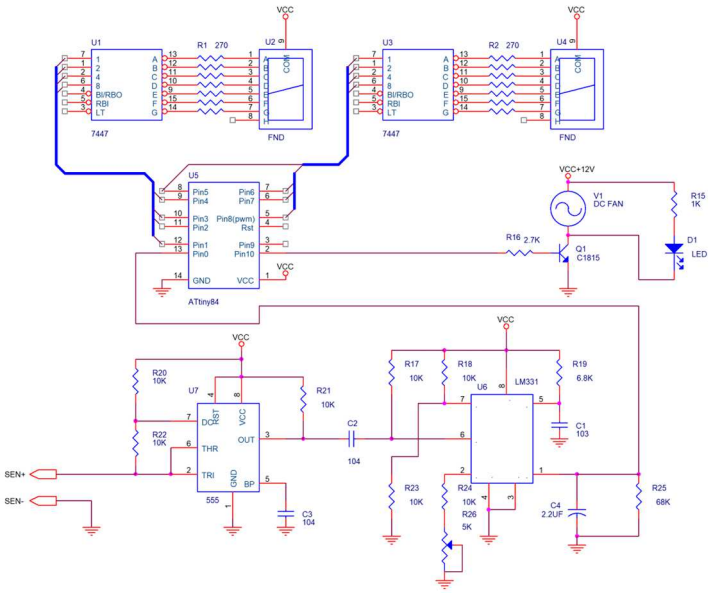


Fig. 2S. Circuit of a device for non-contact sensing measurement. (ref 2)

Монгол улсын үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг машин сургалтын арга ашиглан таамаглах нь

Жамбалдорж Отгончимэг*, Болдын Наранчимэг†
Мэдээлэл, компьютерын ухааны тэнхим
МТЭС, МУИС
Улаанбаатар хот
Email: *19m6num0562@stud.num.edu.mn, †naranchimeg@num.edu.mn

***Хураангуй*—Үл хөдлөх хөрөнгө нь хувь хүмүүс төдийгүй үндэсний эдийн засгийн чухал хүчин зүйл юм. Тиймээс үл хөдлөх хөрөнгийн үнэ цэнэ эсвэл үл хөдлөх хөрөнгийн үнэлгээг урьдчилан таамаглах нь зөвхөн худалдан авагчдад төдийгүй үл хөдлөх хөрөнгийн агент, эдийн засагч, банк санхүү, бодлого боловсруулагчдад ач холбогдолтой, идэвхтэй судалгааны салбар юм. Манай улсын хувьд үл хөдлөх хөрөнгийн үнэлгээг шууд таамаглах судалгааны ажил харьцангуй цөөн тул бид үл хөдлөх хөрөнгийн мэргэжлийн байгууллагаас гаргасан өгөгдлийг ашиглан Улаанбаатар хотын орон сууцны үнийг үнэн зөв таамаглах хамгийн үр дүнтэй аргыг тодорхойлох ажлыг хийхийг зорьлоо.**

Тодруулбал бид 2019 онд ашиглалтанд орсон 61106 өрхийн, 418 төсөл буюу орон сууцны өгөгдөл хүлээн авч, түүнийг цэвэрлэн боловсруулж Linear regression, Lasso болон Ridge regression, XGBoost, Random forest, Support vector machine, Decision tree, AdaBoost, ElasticNet машин сургалтын аргуудыг харьцуулан судалсан. Эдгээр аргууд нь сайн үр дүн үзүүлснээс XGBoost болон Random forest нь Улаанбаатар хотын үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг урьдчилан таамаглахад маш чухал хувилбар болсон.

***Түлхүүр үгс*—үл хөдлөх хөрөнгийн үнэ; машин сургалт; XGBoost; random forest**

I. Удиртгал

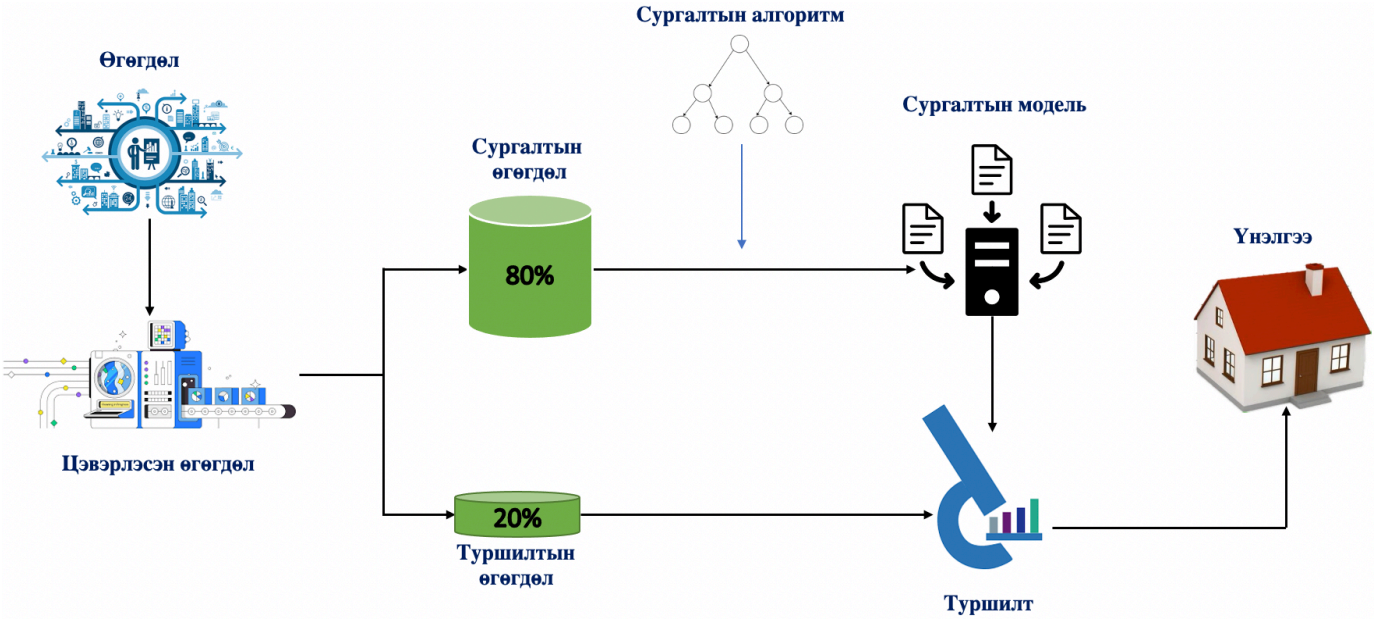
Үл хөдлөх хөрөнгө нь оршин суугчдын сэтгэл ханамж, зан төлөвт шууд бусаар нөлөөлж, бие, сэтгэл зүй, нийгэм-соёлын орчинд нөлөөлж, хувь хүн, гэр бүл, нийгмийн ерөнхий эрүүл мэнд, аз жаргал, сайн сайхан байдлыг бүрдүүлж чаддаг [1]. Үл хөдлөх хөрөнгийн зохистой, хүчин төгөлдөр үнэлгээ нь ямар ч үед, үл хөдлөх хөрөнгөтэй холбоотой аливаа гүйлгээний гол түлхүүр гэж тооцогддог. Хэдий тийм боловч үл хөдлөх хөрөнгийн зах зээл нь бусад зах зээлээс ялгаатай нь нийлүүлэлтийн уян хатан бус бүтэцтэй байдаг нь үл хөдлөх хөрөнгийн үнэлгээний үйл явцыг хүндрүүлэхээс гадна үл хөдлөх хөрөнгийн үнэлгээг илүү ач холбогдолтой болгож байна. Үл хөдлөх хөрөнгийн үнэлгээ гэдэг нь хамгийн энгийнээр бол үл хөдлөх хөрөнгийг өмчлөхөөс үүсэх үр өгөөж, хариуцлагын тоон хэмжилтийг хэлнэ. Ялангуяа худалдах эсвэл зээл авах хүсэлт гаргахад үл хөдлөх хөрөнгийн үнэ нь түүний үнэ цэнийг тодорхойлох бодит тусгал болдог [2]. Уламжлал ёсоор үл хөдлөх хөрөнгийн агентууд болон үл хөдлөх хөрөнгийн үнэлгээчид байшингийн үнэ цэнийг тодорхойлохдоо өөрсдийн туршлага, мэдлэгт тулгуурладаг.

Нөгөөтэйгүүр үл хөдлөх хөрөнгө худалдан авах нь ихэнх өрхөд амьдралынх нь хамгийн том санхүүгийн арилжаа байх ба үл хөдлөх хөрөнгийн үнийн өөрчлөлт нь иргэдийн үл хөдлөх хөрөнгө худалдан авах, худалдаалах, цаашлаад хуримтлал, хэрэглээгээ төлөвлөхөд нөлөөлнө. Хөрөнгийн зах зээл сул хөгжсөн манай оронд Улаанбаатар хотод орон сууц худалдан авч буй худалдан авагчдын зан төлөв, сонголт жил ирэх бүр өөрчлөгдөж байна. Ялангуяа үл хөдлөх хөрөнгийг зөвхөн орон байр биш, хөрөнгө оруулалт, эргэлтэнд орох боломж гэж хардаг болсон байна. Энэ нь үл хөдлөх хөрөнгийн үнийн хөөсрөлтийг үүсгэж улмаар үл хөдлөх хөрөнгийн зээлийн зах зээлийг маш том эрсдэлд оруулдаг. Иймд санхүүгийн зах зээл дээрх эрсдэлийг хянаж, тогтвортой байдлыг шинжлэх нэг гол үзүүлэлт бол үл хөдлөх хөрөнгийн үнэ юм [3].

Олон улсад хөрөнгийн шинж чанар, тухайн хөрөнгийг нээлттэй зах зээлд арилжаалах нөхцөлийг тусгасан үнэлгээний арга, журмыг хэрэглэснээр зах зээлийн үнэ цэнийг урьдчилан таамагладаг [4]–[9]. Тухайлбал: Хонг Конгийн Карри Бэй дүүргийн өгөгдөл [5], Турк улсын Анкара мужийн өгөгдөлд [6] машин сургалтын арга ашиглан үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг таамаглах ажлуудыг хийсэн байна.

Манай улсад үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг урьдчилан таамаглах нь цөөн ба үл хөдлөх хөрөнгө ямар үнээр худалдаалах, худалдах, үнэ өсөх буурах гээд мэдээллийг цогцоор нь авахад маш хүндрэлтэй байдаг. Харин Монгол банк 2013 оноос эхлэн орон сууцны үнийн индексийг тооцож байх шийдвэр гаргаж улмаар уг тооцоог үл хөдлөх хөрөнгийн мэргэжлийн байгууллага болох “Тэнхлэг зууч” ХХК орчин үеийн аргазүйд тулгуурлан гаргадаг. Гэвч тус компанийн гаргадаг сар бүрийн орон сууцны үнийн индекс бүхий мэдээллийг хүн бүр ашиглаж харьцуулах боломжгүй өндөр үнээр худалдаалагддаг. Түүнчлэн ”Тэнхлэг зууч” компани үл хөдлөхийн үнийг уламжлалт буюу хедоник регрессийн аргаар сар тутам тооцож байна [10].

Энэхүү ажлаар бид байршил, хэмжээ, барилгын зэрэглэл, хотын төвөөс хэдэн километр зайтай, өрөөний тоо гэх мэт янз бүрийн хүчин зүйл дээр үндэслэн Монгол улсын орон сууцны үнийг урьдчилан таамаглах загвар гаргахыг зорилоо. Тодруулбал бид үл хөдлөх хөрөнгийн мэргэжлийн байгууллагаас гаргасан 2019 оны орон сууцны өгөгдлийг цэвэрлэн боловсруулж, үл хөдлөх



Зураг 1: Үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг таамаглах машин сургалтын аргын ерөнхий бүдүүвч

хөрөнгийн үнэлгээнд төдийлөн ашиглагддаггүй боловч олон улсын ижил төстэй ажлуудад түгээмэл хэрэглэгддэг машин сургалтын алгоритмуудыг судалж, Улаанбаатар хотын орон сууцны үнийг үнэн зөв таамаглах хамгийн үр дүнтэй аргыг тодорхойлох ажлыг хийж гүйцэтгэсэн. Зураг 1-т бидний аргын ерөнхий бүдүүвчийг үзүүлэв.

Энэ өгүүллийн хоёрдугаар бүлэгт үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг таамагласан ижил төстэй зарим ажлын талаар тайлбарласан. Гуравдугаар бүлэгт Монгол улсын үл хөдлөх хөрөнгийн өгөгдөл, өгөгдлийг цэвэрлэх, бэлтгэх үйл явц, машин сургалтын аргуудын талаар, дөрөвдүгээр бүлэгт хэрэгжүүлэлт болон үр дүнг бичсэн болно. Эцэст нь судалгааны ажлын дүгнэлтийг танилцуулна.

II. Холбоотой ажил

Үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг урьдчилан таамаглах олон тооны судалгаа сүүлийн жилүүдэд хийгдсэн байдаг. Энэ хэсэгт бид машин сургалтын арга ашиглан үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг таамагласан олон улсын болон Монгол улсын байдал, тэдгээрийн үр дүнг онцлох болно.

A. Олон улсын түвшинд судлагдсан байдал

Үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг тодорхойлоход олон хүчин зүйлс байгаа нь машин суралцах болон гүнзгий суралцах загваруудыг энэ салбарт илүү сонирхолтой болгодог [7].

Тухайлбал Европ тивийн улсуудаас, Испанийн үл хөдлөх хөрөнгийн салбарт хийсэн судалгаанд random forest машин сургалтын арга сайн гүйцэтгэлийг үзүүлсэн бол Петерсон нар нь 1999-2005 оныг хамарсан 46,467 орон сууцны үл хөдлөх хөрөнгийн томоохон түүврийг ашиглан Artifical Neural Network (ANN) нь шугаман хедоник үнийн загвараас хамаагүй бага алдаатай үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг таамаглах боломжтойг тогтоожээ [8], [11]. Грекийн үл хөдлөх хөрөнгийн салбарт хийсэн судалгаанд хедоник регресс болон ANN дээр суурилсан шугаман болон шугаман бус загваруудыг харьцуулж, арга тус бүрийн давуу тал, гүйцэтгэлийг судалж, таамаглалын нарийвчлалыг нэмэгдүүлэхийн тулд хосолсон таамаглалын дүрмийг ашигласан [12]. Судлаач Айдемир 176 онцлог шинж бүхий өгөгдөлд 14 өөр аргуудыг харьцуулан үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг таамаглах судалгаа хийсэн байна [9].

Түүнчлэн Ази тивийн улсуудаас, Хонг Конгийн үл хөдлөх хөрөнгийн салбарт хийсэн судалгаанд Extra trees (ET),k–Nearest Neighbors (KNN), Random forest (RF) аргыг ашиглан дараа нь тэдний үр дүнг уламжлалт арга буюу хедоник үнийн загвартай харьцуулсан судалгаа хийсэн байна [5]. Туркийн үл хөдлөх хөрөнгийн салбарт хийсэн судалгаанд 70360 орон сууцны гүйлгээний бүртгэлийг ашиглан Linear regression (LR), Lasso regression (LaR), Ridge regression (RL) регресс, XGBoost, ANN аргуудыг харьцуулан үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг таамаглах судалгаа хийсэн байна [6].

Хэдийгээр үл хөдлөх хөрөнгийн үнэлгээний чиглэлээр олон янзын арга, өгөгдлийн багц бүхий олон судалгаа хийгдсэн боловч Монгол улсад энэ нь тийм биш юм. Ялангуяа Монгол улсын хүрээнд хийгдсэн судалгаанууд нь ерөнхийдөө маш бага ажиглалт, онцлог шинж чанартай байдаг ч боловсруулсан загваруудын төрөл нь нэлээд хязгаарлагдмал байдаг. Одоо байгаа судалгаануудын ихэнх нь хедоник загварт суурилсан шугаман регрессийн загварууд бөгөөд машин сургалтын аргуудаар үл хөдлөх хөрөнгийн үнийн таамаглалыг хийдэг судалгааны тоо маш цөөхөн байдаг. Нэмж дурдахад, ихэнх судалгааг орон сууцны тодорхой дэд зах зээлийн түүвэр болгон нэгэн төрлийн мэдээллийн багц дээр хийсэн бөгөөд

Хотхоны нэр	м.кв-н дундаж үнэ	Бүсийн нэр	Өрөөний сонголт	Байршлын координат	...	Барилгын зэрэглэл	Давхарын тоо	Харуул хамгаалалт	Тоглоомын талбай	Халаалтын байдал
100 apartment	2,300,000	Баруун бүс	1-3 өрөө	47.92209422156047, 106.87867999076843	...	Residential-medium,	16	Хашаагүй / жижүүр/,	N	Төвийн
21 apartment	1,800,000	Баруун бүс	1-3 өрөө	47.917406, 106.819132	...	Residential-Standart,	16	Хашаагүй / жижүүр/,	Y	Төвийн
220К residence	7,000,000	Төвийн бүс	2-5 өрөө	47.91369582195551, 106.91237926483154	...	Residential-high,	17	Хашаатай / манаач/,	N	Төвийн
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Шинэ сонголт хотхон	1,050,000	Алслагдмал бүс	1-3 өрөө	47.76796700923878, 107.25330412387848	...	Residential-Standart,	12	Хашаагүй / жижүүр/,	Y	Төвийн
Шинэ толгойт хороолол	1,290,000	Захын бүс	1-3 өрөө	47.91592498214514, 106.77995324134826	...	Residential-Standart,	9	Хашаагүй / жижүүр/,	Y	Төвийн
Шинэ төсөл хотхон	1,300,000	Зүүн бүс	1-3 өрөө	47.923377, 106.976155	...	Residential-Standart,	12	Хашаатай / манаач/,	Y	Төвийн

(a)

Apartment name	Room selection	Region name	District name	latitude	longitude	...	Warm parking	Security	Playground	Heating condition	Number of floor	Housing price
9	1	2	1	47.912513	106.948273	...	1	1	0	1	12	2.550
0	1	0	2	47.917406	106.819132	...	1	1	1	1	16	1.800
151	2	4	1	47.903340	106.939738	...	1	3	0	1	16	3.000
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
70	2	0	0	47.909539	106.839230	...	1	1	1	1	12	2.100
59	1	1	4	47.852515	106.781767	...	1	1	1	1	12	2.375
74	4	4	4	47.885111	106.922228	...	1	3	0	1	7	3.500

(b)

Зураг 2: (a) ”Тэнхлэг зууч” ХХК-аас авсан өгөгдөл (b) Цэвэрлэсний дараах өгөгдөл

боловсруулсан загварууд нь нийтэд хүртээлтэй биш байна.

B. Монгол улсад судлагдсан байдал

Манай улсад орон сууцны үнийг урьдчилан таамагласан судалгаа шилжилгээ хийгдсэн байдлыг судалж үзэхэд: 2019 онд Улаанбаатар хотын орон сууцны үнийг урьдчилан таамаглах вэб програмыг бүтээхээр зорьж машин сургалтын загвар ашиглан судалгаа хийгдсэн байна [13]. Энэхүү ажил нь Unegui.mn сайтаас орон сууцны талаархи 3863 өгөгдөл цуглуулснаас, өгөгдлийн багцыг цэвэрлэсний дараа 1966 утга бүхий өгөгдөл дээр шугаман регресс, random forest, XGBoost хувилбарууд нь 70-аас 80 хувийн үр дүнд хүрсэн байна. Гэсэн хэдий ч цуглуулсан өгөгдөл нь Unegui.mn сайтын мэдээлэл учир богино хугацааны, хэт их хөөсрөлттэй өгөгдөл байхыг үгүйсгэхгүй. Яагаад гэвэл Unegui.mn сайт нь дан ганц үл хөдлөх орон сууц борлуулах сайт бус олон төрлийн бараа материал зарах худалдааны сайт юм. Сайтад иргэд өөрийн зарах орон сууцны үнийг өөрийн хүссэнээр оруулдаг ба эдгээр оруулсан зар мэдээлэл нь ямар нэгэн хяналтгүй, бүрэн мэдээлэлгүй тавигдаж 7-14 хоногт зарууд устдаг.

Харин бидний ажил эдийн засгийн судалгаа, эрдэм шинжилгээний хүрээлэнгээс хяналт тавьж, Монгол банктай хамтран орон сууцны үнийн индексийг тооцож гаргадаг үл хөдлөх хөрөнгийн мэргэжлийн байгууллага болох ”Тэнхлэг зууч” ХХК-аас авсан шинэ орон сууцны бодит өгөгдөл дээр, бодит үр дүнг батлан харуулна.

III. Арга зүй

Бидний санал болгож буй аргын бүдүүвчийг Зураг 1-т үзүүлэв. Бид Монгол улсын үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг таамаглахдаа үл хөдлөх хөрөнгийн мэргэжлийн байгууллага болох ”Тэнхлэг зууч” ХХК-аас Улаанбаатар хотын 2019 онд ашиглалтанд орсон орон сууцны өгөгдлийг авч, өгөгдлийг цэвэрлэн боловсруулж, түгээмэл хэрэглэгддэг машин сургалтын арга ашиглан үнийг таамагласан. Энэ хэсэгт судалгаанд ашигласан машин сургалтын аргууд болон өгөгдлийн багцыг тайлбарлах болно.

A. Машин сургалтын регрессэд суурилсан, үнэ таамаглахад ашигласан загварууд

- Linear regression (LR) - Энэ нь хувьсагч хоорондын хамаарлын хэлбэрийг тогтоох буюу тэдгээрийн холбоо хамаарлыг илрүүлэх, энэхүү хамаарлыг үнэлэх, мөн хамаарах хувьсагчийн мэдэгдэхгүй утгуудыг үнэлэхэд чиглэгдэнэ [14].
- Ridge regression (RR) – Энэ нь хэмжээст байдлыг багасгах аргуудын нэг юм. Бие даасан хувьсагчид хоорондоо хамааралтай үед (өөрөөр хэлбэл, олон шугаман байдал үүсдэг) өгөгдлийн илүүдэлтэй тэмцэхэд ашиглагддаг. [15].
- Lasso regression (LaR) - Энэ нь LR болон RL-тэй шинж чанар төстэй боловч хэд хэдэн сайжруулалтыг ашигладаг. Хэт тааруулахаас сэргийлэхийн тулд янз бүрийн хязгаарлалт тавих зорилготой зохицуулалтын хэлбэртэй.
- XGBoost – Энэ нь өргөтгөх боломжтой, хуваарф-илагдсан градиентээр нэмэгдүүлсэн шийдвэрийн мод (GBDT) машин сургалтын загвар юм. Энэ нь зэрэгцээ модыг нэмэгдүүлэх боломжийг олгодог бөгөөд регресс, ангилал (classification), эрэмбийн асуудлуудын машин сургалтын тэргүүлэх загварын нэг юм. XGBoost нь сургалтыг хурдасгах, өндөр нарийвчлалыг урьдчилан таамаглах боломжтой зэрэгцээ болон тархсан тооцоолол гэх мэт бусад олон боломжуудтай [16].
- Decision tree (DT) - Энэ нь мод шиг харагдах байдлаар урсдаг ба регрессийн тохиолдолд модны үндсээс эхэлж, навчны зангилаа хүрч, үр дүнг өгөх хүртэл хувьсах үр дүнд тулгуурлан хуваагдлыг дагадаг.
- Random Forest (RF)- Энэ нь өгөгдлөөс санамсаргүй байдлаар хэд хэдэн шийдвэрийн модыг үүсгэхийн тулд шийдвэрийн модны хүрээтэй хамт сургалтын аргуудыг нэгтгэж, үр дүнгийн дунджийг авч шинэ үр дүнд хүрдэг.
- AdaBoost - Энэ нь анхны өгөгдлийн багц дээр регрессорыг суулгах замаар эхэлдэг мета үнэлгээч бөгөөд дараа нь ижил өгөгдлийн багц дээр регрессорын нэмэлт хуулбарыг тохируулах боловч одоогийн таамаглалын алдааны дагуу тохиолдлын жинг тохируулдаг. Иймээс дараагийн регрессүүд хүнд хэцүү тохиолдлуудад илүү анхаардаг.
- Support Vector Machines (SVM)- Энэ нь тоон таамаглал, ангилал, хэв маягийг таних ажилд онцгой ач холбогдолтой. SVM нь өгөгдлийн цэгүүдийн хоорондох шийдвэрийн хил хязгаарыг зурах замаар ажилладаг бөгөөд өгөгдлийн цэгүүдийг ангиудад хамгийн сайн тусгаарладаг (эсвэл хамгийн ерөнхийд

Хүснэгт I: Орон сууцны үнийг таамаглахад ашиглах онцлог шинжүүд

Variable	Variable Type	Range	Variable	Variable Type	Range
Housing price	Continuous	0-459	State of construction	Binary	0,1
Room selection	Categorical	0,1,2,3,4,5,6,7,8	Bonus	Categorical	0,1,2,3
Number of toilet	Continuous	1-4	Construction progress	Binary	0,1
City center..km..	Continuous	0,5-45	Sales process	Continuous	0-100
Region name	Categorical	0,1,2,3,4,5	Warm parking	Binary	0,1
Distruct name	Categorical	0,1,2,3,4,5	Parking price	Continuous	0-45000000
By committee	Continuous	1-37	Guard fence	Binary	0,1
latitude	Continuous	47,50-48,02	Security	Binary	0,1
longitude	Continuous	106,49-160,60	Playground	Binary	0,1
Number of residential households	Continuous	10-450	Freight elevator	Binary	0,1
Construction rank	Categorical	0,1,2,3	Passenger elevator	Binary	0,1
Period commissioning	Continuous	1-6	Heating condition	Binary	0,1
Inclided period	Continuous	1-100	Number of floor	Continuous	2-25

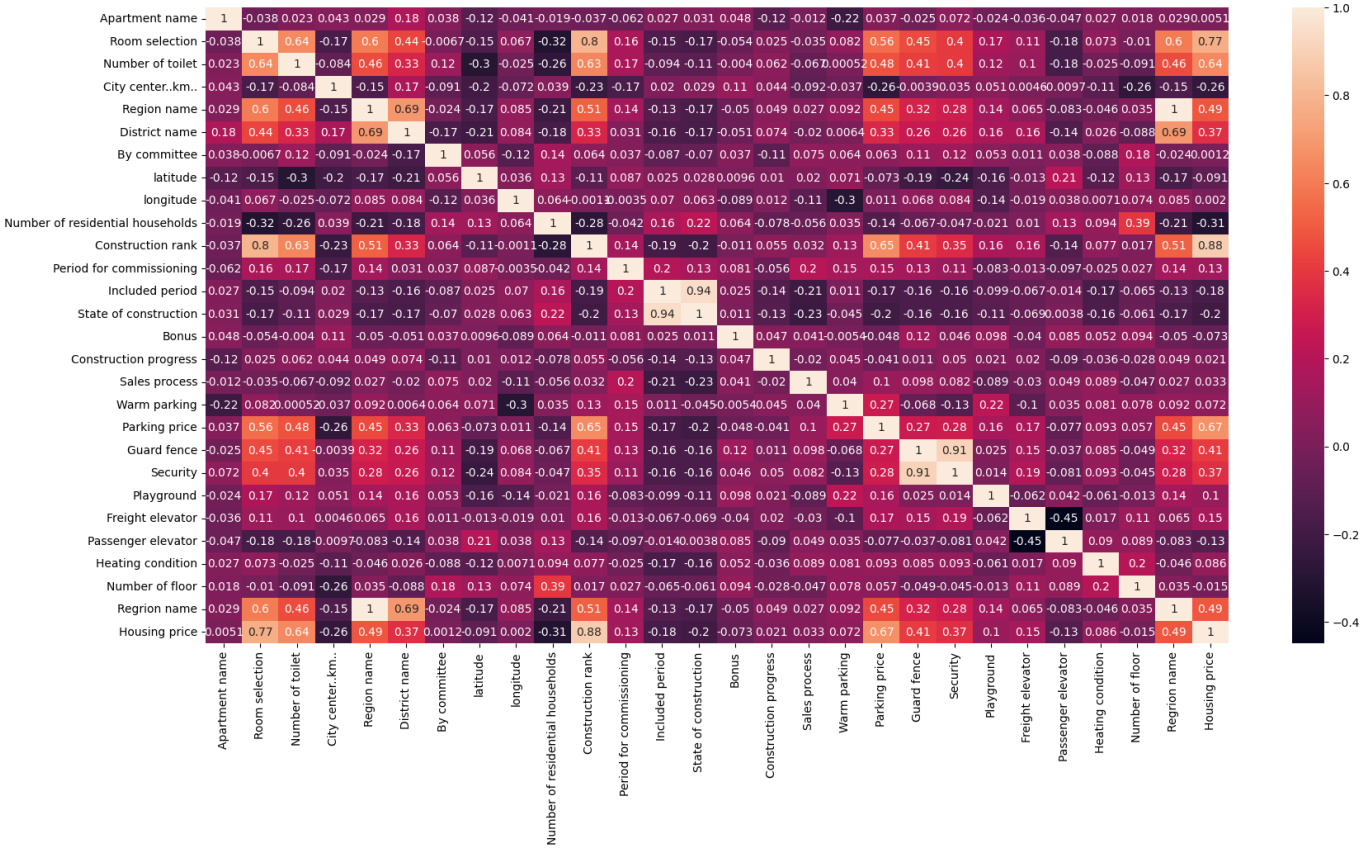
тооцогдох боломжтой) шийдвэрийн хил хязгаарыг зорьдог [17].

- ElasticNet (EN)- Энэ нь Lasso болон Ridge Regression-ийн онцлогуудыг хослуулсан хүчирхэг машин сургалтын алгоритм юм. Энэ нь өндөр хэмжээст өгөгдлийн багцад түгээмэл тохиолддог олон шугаман байдал, хэт тохирох асуудлуудыг шийдвэрлэхэд ашигладаг тогтмол регрессийн арга юм.

B. Өгөгдлийн багц

Бид Монгол улс, Улаанбаатар хотын төвийн зургаан дүүрэгт 2019 онд шинэээр ашиглалтанд орсон орон сууцны мэдээллийг эдийн засгийн судалгаа, эрдэм шинжилгээний хүрээлэнгээс хяналт тавьж, Монгол банктай хамтран орон сууцны үнийн индексийг тооцож гаргадаг үл хөдлөх хөрөнгийн мэргэжлийн байгууллага болох ”Тэнхлэг зууч” ХХК-аас 2019 онд ашиглалтанд орсон 61106 өрхийн, 418 төсөл буюу орон сууцны өгөгдөл хүлээн авсан ба өгөгдлөө нормчилсан.

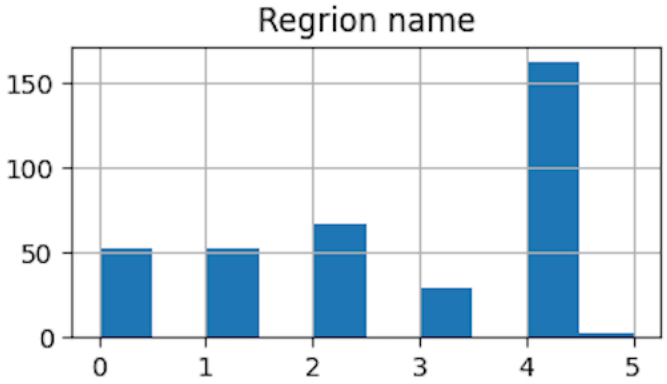
Хэдий мэргэжлийн байгууллагаас авсан үнэн бодит өгөгдөл ч зарим бүртгэл нь дутуу эсвэл тодорхойгүй байсан тул бид өгөгдөлд дүн шинжилгээ хийх боломжийг



Зураг 3: Корреляцийн матриц

олгодог Pandas[1] сангийн функцүүдийг ашиглан дутууг дундаж өгөгдлөөр дүүргэсэн ба ашиглалтанд орсон орон сууцны бодит өгөгдөл байсан учир 418 төсөл буюу орон сууцны өгөгдөл нь цэвэрлэгээний явцад ямар нэгэн өөрчлөлтгүй зөвхөн дутуу мөрийг дүүргэн цэвэрлэсэн. Тэнхлэг зууч компаниас авсан өгөгдөл болон түүнийг цэвэрлэсний дараах өгөгдлийг Зураг 2a болон 2b-т үзүүлэв. Хүснэгт I-д орон сууцны үнийг таамаглахад ашиглах онцлог шинжүүдийн дэлгэрэнгүйг харуулаа.

Бид өгөгдлийн багц дахь онцлог шинжүүдийн харилцан хамаарлыг харахын тулд корреляцийн матрицыг байгуулсан ба үр дүнг Зураг 3-т үзүүлэв. Үр дүнгээс харахад барилгын зэрэглэл, өрөөний сонголт, хэдэн ариун цэврийн өрөөтэй, гаражийн үнэ, бүсчлэл зэрэг онцлог шинжүүд нь хамгийн өндөр хамааралтай байна. Цаашлаад тоон шинж чанаруудын тархалтыг Зураг 4-т гистограмм хэлбэрээр харуулсан. Хэвтээ тэнхлэг нь тооны мужийг харуулдаг харин босоо тэнхлэг (давтамж) нь муж бүрт байгаа өгөгдлийн хэмжээг илэрхийлнэ.



Зураг 4: Хувьсагчдын гистограмм хэлбэр

IV. Хэрэгжүүлэлт ба Үр дүн

Судалгааны хүрээнд машин сургалтын есөн өөр аргыг үл хөдлөх хөрөнгийн үнийн таамаглалыг бий болгоход ашигласан. Ялангуяа Linear, Lasso, Ridge regression аргууд нь өнгөрсөн үеэс өнөөг хүртэл үл хөдлөх хөрөнгийн үнэ тогтоохоод байнга хэрэглэгддэг уламжлалт болон шугаман регрессийн аргууд байдаг бол XGBoost, RF, DT нь сүүлийн үед түгээмэл ашиглагдаж буй илүү үр дүнтэй аргууд юм.

Туршилтад бид дээрх аргуудыг scikit-learn санг ашиглан хэрэгжүүлсэн [18]. Бүх алгоритмуудын гүйцэтгэлийг үнэлэхдээ туршилтын багц дээр (нийт өгөгдлийн 20%) R^2, Adjusted R^2, Mean absolute error (MAE), Mean squared error (MSE), Root mean squared (RMSE) гэсэн хэмжүүрээр хэмжив.

Туршилтын өгөгдөл дээр таамагласан үр дүнгийн харьцуулалтыг Хүснэгт II-т дүрслэн харуулав. Үр дүнг судалж үзэхэд XGBoost нь MAE, MSE, RMSE-ны гүйцэтгэлийн үзүүлэлтүүдийн дагуу хамгийн сайн гүйцэтгэлийг харуулж байна. Түүнчлэн DT болон Linear, Lasso, Ridge хооронд их биш ч мэдэгдэхүйц ялгаатай байна. Энэ хүрээнд XGBoost болон Random Forest загварууд нь үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг урьдчилан таамаглахад маш чухал хувилбар болохыг харж байна.

Бодит үнэ болон урьдчилан таамагласан үнийн ялгааг тархалтын графикт (Зураг 5) харуулсан. Энэ нь бодит үнийг, урьдчилан таамагласан үнэтэй харьцуулдаг. Цэгүүд шулуун шугамд ойртох тусам загварын таамаглал илүү сайн болно. Үр дүнгээс харахад бодит үнээс таамагласан үнэ нь хол зөрүүгүй, шулуун шугамтай ойр байгаа нь XGBoost болон RF нь сайн үр дүнтэйг илтгэж байна.

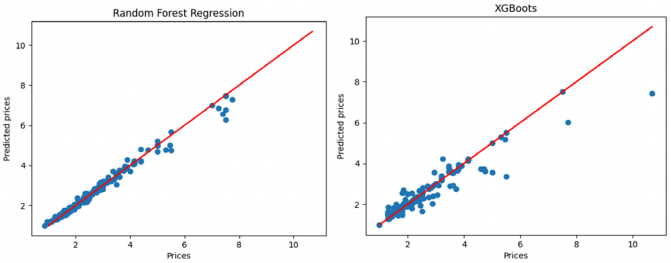
V. Дүгнэлт

Энэхүү ажлаар Монгол улсын үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг машин сургалтын арга ашиглан таамаглах оролдлогыг амжилттай хийж гүйцэтгэлээ. Ингэхдээ үл хөдлөх хөрөнгийн мэргэжлийн байгууллагын өгөгдлийг ашигласан гэдгээрээ онцлогтой. Туршилтын үр дүнгээс харахад машин сургалтын есөн арга нь сайн үр дүн өгснөөс Random Forest болон XGBoot нь сайн хувилбар болохыг баталж чадлаа.

Цаашдын судалгаанд энэ судалгаанд ашигласан аргуудтай өөр өөр, хамгийн сүүлийн үеийн хандлагыг харьцуулах, түүнчлэн судалгааны хүрээнд ашигласан аргуудад илүү өргөн интервалтай гипер параметрүүдийг турших боломжтой. Цаашлаад нэмэлт шинж чанар болгож хамгийн ойр улсын болон хувийн сургуулиудыг оруулж туршиж байгаа. Нэмж дурдахад, үл хөдлөхийн үнийг таамаглан үзүүлдэг вэб програм болон аппликейшн хийж мөн газрын зурагт байршуулан орон сууцны үнийг нь ойролцоох сургууль, цэцэрлэг, эмнэлэг, үйлчилгээний төв гэх мэт хэрэгцээт бүхнийг багтаан, хийж хөгжүүлэх боломжтой нь харагдаж байна. Энэ хүрээнд газрын зураг дээр судалгааны өгөгдөл болох орон сууцны үнийг байршуулж үзсэн загварыг (Зураг 6) сонирхуулж байна.

Талархал

Судалгааны ажлын өгөгдлийг бүрдүүлэхэд томоохон туслалцаа үзүүлсэн Д.Должинсүрэн захиралтай ”Тэнхлэг Зууч” ХХК-ны хамт олонд талархал илэрхийлье.



Зураг 5: Random Forest болон XGBoost өгөгдлийн бодит үнэ болон таамагласан үнэ

[1]https://pandas.pydata.org/

Хүснэгт II: Үл хөдлөх хөрөнгийн үнийг таамаглах машин сургалтын аргуудын үр дүн

Арга/Хэмжүүр	R2	MAE	Adjusted R2	MSE	RMSE
Linear Regression (LR)	0.78	0.41	0.73	0.41	0.64
Extreme Gradient Boosting (XGBoost)	**0.87**	**0.24**	0.84	**0.23**	**0.48**
Support Vector Regression (SVM)	0.73	0.36	0.67	0.50	0.71
Ridge Regression (RR)	0.78	0.41	0.73	0.41	0.64
Random Forest Regression (RF)	**0.87**	**0.25**	0.84	**0.24**	**0.49**
Lasso Regression (LaR)	0.73	0.42	0.67	0.51	0.71
ElasticNet (EN)	0.78	0.41	0.73	0.41	0.64
AdaBoost Regression	0.83	0.37	0.79	0.32	0.57
Decision Tree Regression (DT)	0.82	0.34	0.78	0.35	0.59



Зураг 6: Үл хөдлөхийн хөрөнгийн үнийг газрын зурагт байрлуулсан байдал

Зүүлт

[1] R. Lawrence, *Housing, dwellings and homes:*. Design theory, research and practice., 1987.

[2] E. L. C. E. A.-C. M. G. Alfaro-Navarro, JL, "A fully automated adjustment of ensemble methods in machine learning for modeling complex real estate systems," in *In Anais do XVI Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional*, 2020, p. Article ID 5287263.

[3] V. hudluh hurungu, "Barilga mn setgvvl," 2023.

[4] H. Selim, "Determinants of house prices in turkey: Hedonic regression versus artificial neural network." *Expert systems with Applications*, vol. 36, no. 7, pp. 2843–2852, 2009.

[5] L. H. Choy, "The use of machine learning in real estate research," *IEEE Access*, vol. 9, 2023.

[6] H. G. Cihan Cilgın, "Machine learning methods for prediction real estate sales prices in turkey," 2023.

[7] D. S. . N. R. Varma, Sarma, ""house price prediction using machine learning and neural networks"." *In 2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies*, vol. 59, pp. 1936–1939, 2018.

[8] M. A. I. R. □. . A. C. Baldominos, Blanco, "Identifying real estate opportunities using machine learning, applied sciences," no. 8, p. 2321, 2018.

[9] C. . Y. M. Aydemir, Aktürk, "Estimation of housing prices with artificial intelligence," in *In International real estate society conference*, 2020, pp. 183–194.

[10] O. suutsni vniin index, "Tenkhleg zuuch llc," 2023.

[11] A. Peterson, S Flanagan, "Neural network hedonic pricing models in mass real estate appraisal," *Journal of Real Estate Research,*, pp. 147–169, 2009.

[12] K. P. D. . A. D. Alexandridis, A.K, "Real estate valuation and forecasting in non-homogeneous markets:," *A case study in Greece during the financial crisis, Journal of the Operational Research Society*, vol. 70, pp. 1769–1783, 2019.

[13] A. Altangerel, "Predicting ulaanbaatar's apartment price," in *In this project we will create a prediction model to predict Ulaanbaatar city's house price by per square meter. Web Application here*, 2019.

[14] S. Şahinler, "The basic principles of constructing a linear regression model using the least squares method." *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol. 5, no. 1, pp. 57–73, 2000.

[15] J. Walker, E Birch, "Influence measures in ridge regression," *Technometrics*, vol. 30, no. 2, pp. 221–227, 1998.

[16] C. Chen, T Guestrin, "Xgboost: "a scalable tree boosting system",," in *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining*, 2016, pp. 785–794.

[17] D. Nelson, "Growth of time series basis models for data analysis and forecasting," 2021.

[18] F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, J. Vanderplas, A. Passos, D. Cournapeau, M. Brucher, M. Perrot, and E. Duchesnay, "Scikit-learn: Machine learning in Python," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 12, pp. 2825–2830, 2011.

5G сүлжээ нэвтрүүлэх асуудлын судалгаа, зарим үр дүн

Ламжавын Эрдэнэбаяр
Холбооны салбар
ШУТИС-н МХТС
Улаанбаатар, Монгол
erdenebayar.l@must.edu.mn

Г.Эрдэнэбат
Холбооны салбарын магистр
ШУТИС-н МХТС
Улаанбаатар, Монгол
g.erdenebat@yahoo.com

Батаагийн Отгонбаяр
Холбооны салбар
ШУТИС-н МХТС
Улаанбаатар, Монгол
otgonbayar_b@must.edu.mn

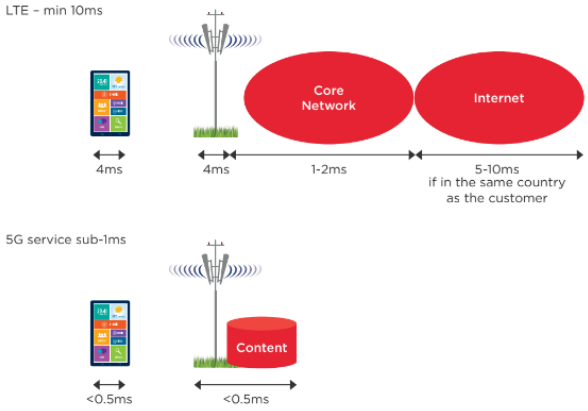
Хураангуй — Дараа үеийн 5G сүлжээ нь өргөн зурвасын, өндөр хурдны, найдвартай сүлжээгээр олон төрлийн шинэ үйлчилгээг санал болгож, мөн хүмүүс, обьект, машин, тээврийн хэрэгслүүдийг хүртэл хооронд нь холбох боломжийг олгож байна. Манай орны хувьд хэрэглэгч төвтэй үйлчилгээг үүрэн операторууд нэвтрүүлэх боломжийг бүрдүүлж байгаа ба бусад салбарт түүн дундаа уурхайн орчинд шинэ үеийн технологи нэвтрүүлэх бололцоог хангах үүднээс "Эрдэнэт үйлдвэр" ТӨҮГ-ийн ил уурхайн бүсэд мэдээлэл дамжуулах нөхцөлийг үнэлэх зорилгоор 4G болон 5G сүлжээний бүлэг хэрэглэгчийн суваг хоорондын гардварын симуляцийн туршилтыг Exata программ хангамжийг ашиглан гүйцэтгэсэн. Энэхүү туршилт нь уул уурхайн бүсэд ажиллаж буй ажилчид болон тоног төхөөрөмжүүдийн үйл ажиллагааны явцад харилцаа холбоог тасралтгүй хангах, холболтыг сайжруулахад чиглэж, одоогийн байгаа мобайль компьютерийн хяналтын мэдээлэл дамжуулыг 4G болон 5G сүлжээнд найдвартай дамжуулал хийж гүйцэтгэлээ.

Түлхүүр үгс —гардвар, симуляци, хөдөлгөөнт сүлжээ, дамжууллын горим, дохиолол

I. Удиртгал

Тав дахь үеийн (5G) хөдөлгөөнт сүлжээ нь хөдөлгөөнт холбооны дараа үеийн өндөр хурдны утасгүй сүлжээний төлөөлөгч юм. Цаашилбал, Юмсын Интернет хөгжиж байгаатай уялдан 2020 оны байдлаар олон тэрбум төхөөрөмжийг хөдөлгөөнт холбооны сүлжээнд холбосон. Machine-to-Machine (M2M), суурин утасны үйлчилгээ болон үүлэн технологи нь хөдөө аж ахуй, барилга байгууламж, эрүүл мэнд, ЖДҮ, тээврийн салбарт бизнесийн загвараа шинэчилж инновацид хүрэх гол түлхүүр болж байна. Аж үйлдвэрийн салбарт 5G технологийг шаардлагатай үйлчилгээнд тохируулах замаар ашигласнаар амжилт олох боломжтой [1]. Тийм учраас уян хатан байдал болон олон талт үйлчилгээ нь 5G сүлжээг нэвтрүүлсэн 2 том дэвшил болно. 5G сүлжээ нь олон улсын хөдөлгөөнт холбооны системийн (IMT-2020) шаардлагыг хангаж үндсэн 3 төрлийн категори нь үйлчилгээний шаардлагад нийцсэн байх ёстой. Сайжруулсан суурин утасны үйлчилгээ, өөрөө явагч тээврийн хэрэгсэл, үүрэн холбоонд холбогдсон дрон, шуурхай эрүүл мэндийн үйлчилгээ болоод физик бүх зүйлс юмсын интернэтэд суурилах юм. Дэлхий нийтийн хэмжээнд 5G сүлжээг 2020 оноос хэрэглэж эхэлсэн байна. Өнөөдрийн байдлаар монгол улсад утасгүй сүлжээний хамгийн дээд хурдыг 4G LTE сүлжээ үзүүлдэг. Тэгвэл 2023-2024 оноос тав дахь үеийн маш өндөр хурдтай сүлжээг нэвтрүүлэх төлөвлөгөөтэй байна. 5G сүлжээг Internet of Things (IoT) буюу бүх төхөөрөмж сүлжээнд холбогддог болох эриний гол дэд бүтэц болно [2]. 5G сүлжээ нь 4G-тэй харьцангуй хугацааны хоцролгүй хянах, удирдах боломжтой болох юм. Үүрэн холбооны салбарынхан 5G сүлжээнд шилжих хугацааг 2020 гэж товлож байна. AT&T, Nokia Networks компаниуд энэ хугацааг боломжийн гэж үзэж байгаа. Харин Deloitte & Touche зөвлөх компани 2022 гэвэл илүү бодитой гэж үзжээ. Alcatel-Lucent компани бүр 2025 оноос нааш массын хэрэглээ болохгүй гэж үзэж байгаа юм [3]. Ямар ч байсан мэдээллийн хувьсгалын тав дахь үед шилжих хугацаа хаяанд ирснийг бүгд хүлээн зөвшөөрч байна.

Энэ сүлжээ нь бүрэн хэмжээний киног нэг секундэд татах чадвартай байх юм. Өөрөөр хэлбэл өнөөдөр шилжээд байгаа 4G сүлжээнээс 66 дахин хурдан байхаар төлөвлөж байна. БНСУ хөдөлгөөнт холбоо тав дахь үеийн сүлжээ 5G технологийг дэлхийд анх удаа нэвтрүүлж эхэллээ [4]. Тус улсын "SK Telecom", "KT" болон "LG Uplus" зэрэг харилцаа холбооны томоохон компаниуд 2019.04.05 лхагва гарагийн 23.00 цагт утасгүй интернетийн сүлжээг үйлчилгээндээ ашиглаж эхэлсэн байна.

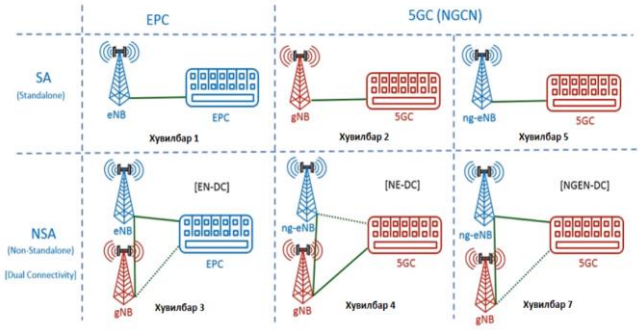


Зураг 1. 4G ба 5G сүлжээний харьцуулалт

Хурднаас гадна мэдээлэл дамжуулах үеийн хоцролт багатай, илүү найдвартай, тогтвортой холболт зэрэг нь 5G-г дан ганц технологи бус бусад салбаруудад өөрчлөлт авчрах боломжийг олгож байна. Жишээлбэл АНУ-д байгаа мэс засалч Монголд байгаа робот гарыг 10 гаруй мянган км зайнаас удирдаж байгаа ч яг л хажууд нь байгаа мэт хугацааны алдагдалгүй удирдаж чадах юм. Өөрчлөлт гарах магадлалтай бас нэгэн салбар нь боловсролын салбар. AR, VR, Хологram зэрэг бодитоор оршдоггүй эсвэл хол байгаа зүйлийг хажууд мэт харагдуулж чаддаг технологи 5G-ын ачаар улам хөгжинө. Ингэснээр цаг хугацаа, орон зай үл хамааран хичээлд суух эсвэл хичээл заах боломжийг бий болгож байгаа юм. Нэг ёсондоо заавал багш сурагч хоёр нэг танхимд байж хичээл ордог үеийг халахад 5G хүчтэй нөлөө үзүүлнэ.

II. SA БОЛОН NSA СҮЛЖЭЭНИЙ ХУВИЛБАРУУД

SA (Stand Alone) гэдэг нь радио сүлжээний хувьд зөвхөн нэг сүлжээний элемент үндсэн сүлжээнд холбогдож байгаа хувилбаруудыг хамруулж ойлгоно. Харин NSA (Non-Stand alone) нь радио сүлжээний хувьд нэгээс илүү тооны сүлжээний элементүүд холбогдон тохиолдолын хувилбаруудыг хамруулж ойлгоно. EPC нь Evolved Packet Core буюу одоогийн 4G LTE сүлжээнд ашиглагддаг үндсэн сүлжээний элементүүдийг багтаан ойлгож болно [7]. 5GC гэдэгт 5G сүлжээний үндсэн сүлжээнд ашиглагддаг сүлжээний функцүүд байна. Доорх зурагт эдгээрийн хоорондын комбинац, харилцан холболт байж болох хувилбаруудыг харууллаа.



Зураг 2. LTE сүлжээний бүлэг хэрэглэгчийн гардварын процесс

Дээрх зургаас харахад хувилбар 1 нь одоогийн 4G LTE сүлжээ нэвтэрсэн үеийн тойм бүтцийн схем харагдаж байна. Иймээс 5G сүлжээ нэвтрүүлэх дээрх нийт 5-н төрлийн хувилбаруудын сонголт байгаа юм. Доорх хүснэгтэд дээрх зурган дах SA, NSA, EPC (Evolved Packet Core), 5GC-н давуу болон сул талуудыг харьцуулан харууллаа.

ХҮСНЭГТ I. 5G ХУВИЛБАРУУДЫН ЕРӨНХИЙ ДАВУУ БОЛОН СУЛ ТАЛУУД

		Давуу талууд	Сул талууд
Радио хандалтын сүлжээ	**SA**	Удирдахад хялбар 4G-5G үе хоорондын handover	Хэрвээ NR ашиглагдаж байгаа бол одоогийн LTE сүлжээний дэд бүтцийг ашиглах боломжгүй.
	NSA	Одоогийн LTE сүлжээг хөшүүрэг болгон 5G сүлжээг нэвтрүүлэх	LTE болон NR хоорондын нягт харилцан ажиллагаа шаардлагатай. Хэрэглэгчийн хэрэглээнд эрсдэл үүсэх магадлалтай
Үндсэн сүлжээ	**EPC**	Одоогийн EPC сүлжээг хөшүүрэг болгон 5G сүлжээг нэвтрүүлэх	Үүлэн орчин сонголттойгоор ажиллана
	5GC	Үүлэн тооцоолол Олон хандалтыг дэмжихэд хялбар	Шинэ технологи нэвтрүүлэлт шаардлагатай

5G үйлчилгээг нэвтрүүлсэн бусад орнуудын туршлагаас харахад доорх байдлаар хувилбар хооронд шилжиж, 5G сүлжээг хөгжүүлж ажиллаж байна.



Зураг 3. Хувилбар хоорондын шилжилтүүд

Эдгээр хувилбарууд хооронд шилжих шилжилтүүд нь тус тусын давуу болон сул талуудтай.

III. EXATA ПРОГРАММ ХАНГАМЖИЙГ АШИГЛАН ГҮЙЦЭТГЭСЭН ТУРШИЛТ

EXata программ хангамж нь бодит системийн сайжруулалт эсвэл сүлжээг бодитоор бий болгохоос өмнө сүлжээний дижитал ихэр үүсгэж, шинэ технологийг туршиж үнэлэх зорилгоор бодит хугацаанд сүлжээний нэг буюу хэд хэдэн протоколын давхарга дээр техник хангамжийг ашиглах, төхөөрөмжүүдтэй хамтран ажиллах симуляци хийх боломжийг олгодог. Мөн Exata программ хангамжийн онцлог нь OSI түвшингүүд тус бүрийн хувьд үр дүнгүүдийг харах боломжтой байдгаараа бусад программуудаас илүү давуу талтай юм. Нэвтрүүлэх чадвар нь тухайн сүлжээнд үүсч болох хамгийн дээд хурд бол, харин гардварын процесс нь нэг бааз станцад харьяалалтай хэрэглэгчийн хөдлөмжийн маршрут өөрчлөгдөх замаар хөдөлгөөний замын дагуу байрлах станцуудаас хамгийн сайн дохионы дамжуулалттай станцад цаашид харьяалагдаж харилцан холболт хийх процессыг хэлнэ.

Үүрэн хөдөлгөөнт холбооны бааз станцуудыг сүлжээний стандартаас нь хамааражад дараах үзүүлэлттэйгээр тооцоолсон. Үүнд:

Бааз станцын нэвтрүүлэгчийн чадал:

- 4G сүлжээнд нэвтрүүлэх антены чадал 20Вт (43дБм),
- 5G сүлжээнд жижиг үүрэнд 100мВт (мөн 250мВт) (20-24дБм)
- 5G MIMO тохиолдолд 120Вт (50дБм).

Нэвтрүүлэгчийн ажлын давтамжийг олон улсын сайн туршлагаас суралцаж 5G сүлжээний C зурваст 4.2 ГГц давтамжийг сонгон симуляцыг гүйцэтгэсэн [8]. C зурваст 4.2 ГГц нь харьцангуй нам давтамж тулд үүрийн бүрхэлтийг нэмэгдүүлдэг, мөн ухаалаг техникийг нэвтрүүлэх үндсэн давтамж юм.

Хөдөлгөөнт терминалын хүлээн авагчийг нь ил уурхайд байгаа явган хэрэглэгч гэж үзээд ил уурхайг хамарсан бааз станцуудаас хүрэлцэн ирэх дохионы хамгийн нам цэгийн байршил гэж тооцож 5G сүлжээний холболт зохион байгуулахаар одоогийн уг уурхайд ашиглаж байгаа 8 байрлалд байгаа бааз станцуудын тооцооллыг хийсэн. Одоогийн ил уурхайд байрлуулсан бааз станцууд нь хөдөлгөөнт холбооны операторын радио сүлжээний инженерүүдийн гаргасан тооцоонд тулгуурлаж байгаа төдийгүй бодит хэмжилтийн утгуудыг тооцоолоход оновчтой цэг гэж үзэж болно.

ХҮСНЭГТ II. ИЛ УУРХАЙ ОРЧМЫН БААЗ СТАНЦУУДЫН ҮЗҮҮЛЭЛТ

№	Байршил	Уртраг	Өргөрөг	Давтамж	Нэвтрүүлэх чадал	Антены өндөр
1	Станц 1	104.1405	49.0288	4.2ГГц	100 мВт	18 метр
2	Станц 2	104.1366	49.0038	4.2ГГц	100 мВт	18 метр
3	Станц 3	104.1136	49.0080	4.2ГГц	100 мВт	18 метр
4	Станц 4	104.1080	49.01	4.2ГГц	100 мВт	18 метр
5	Станц 5	104.1027	49.0152	4.2ГГц	100 мВт	18 метр
6	Станц 6	104.1080	49.0241	4.2ГГц	100 мВт	18 метр
7	Станц 7	104.1222	49.0313	4.2ГГц	100 мВт	18 метр
8	Станц 8	104.1354	49.0308	4.2ГГц	100 мВт	18 метр

Бид судалгааны ажлын үндсэн хэсэгтээ Exata программ хангамж ашиглан утасгүй сүлжээний загвар гарган, сүлжээний харилцан холболтыг 4G, 5G, 4G ба 5G хосолсон үед ил уурхайн одоо байгаа орчинд зохион байгуулж симуляцийн орчны OSI загварын түвшингүүд дээр үр дүн гаргасан.

Exata программ хангамжийн симуляцийн 4G, 5G сүлжээний түвшний болон сүлжээний үндсэн параметрүүдийг тодорхойлсон.

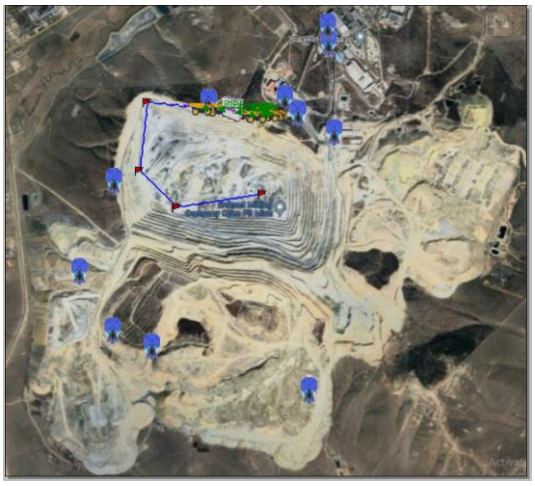
ХҮСНЭГТ III. ҮНДСЭН ПАРАМЕТРҮҮД

Параметрүүд	Утга
Exata-ийн хувилбар	8.0.2
Дундаж симуляцийн хугацаа	20 сек
Загварын хэмжээс (x,y)	(1000,1000)
Сувгийн тоо	10
Сувгийн давтамж	2.1 ГГц, 4.2 ГГц
Path Loss Model	Хоёр цацарагт загвар (Two Ray Model)
Зайн нэгж	Метр
Тээврийн хэрэгслийн тоо	10-20
Радио төрөл	4G/5G
Өгөгдлийн хурд	250кбит/сек
Дамжуулын чадал	3дБм
Ачааллын генератор	Traffic Gen
Minimum Item size	512 байт

Симуляцийн хугацаа нь тухайн хэрэгжүүлсэн загвар тус бүрт харилцан адилгүй тодорхойлогдож байгаа ба ил уурхайд байгаа хөдөлгөөнт билазуудын маршрутаас хамааран ялгаатай замыг туулна гэж үзсэн. Ил уурхайн билазуудын хөдөлгөөнт мобайль төхөөрөмжүүдээс ирэх удирдлагын мессеж дамжуулал нь ихэвчлэн текстэн мэдээллүүд байдаг тул тэдгээрийн хэмжээ хөдөлгөөнт сүлжээний нөөцийн багахан хувийг эзэлдэг. Харин дүрсийн дамжуулалтай нөхцөлд үйлчилгээний өгөгдлийн хэмжээ харьцангуй их болох тул радио нөөцийн эзлэлтийн хувь хэмжээ нэмэгддэг. Ийм учраас сүлжээний радио нөөцийн хуваарилалтын хэмжээг тодорхойлох шаардлагатай. Радио нөөц хуваарилалтын 1 TTI хугацааны агшин 1мс байх ба 4G сүлжээнд 10МГц зурвас бүхий сувагтай үед 50 хэрэглэгч, 20МГц зурвастай сувагтай үед 100 хэрэглэгч, харин 5G сүлжээнд нь 5 МГц зурвастай сувагтай үед 273 хэрэглэгч хуваарилагдах боломжтой тул өдрийн хэдийд ч ил уурхайд байгаа дурын терминалын холболт тогтолт сааталгүй сүлжээнд ажиллах боломжтой [6].

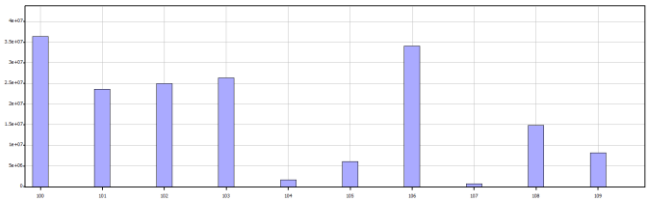
A. Туршилт 1, LTE сүлжээний бүлэг хэрэглэгчийн гардвар

Радио сүлжээ төлөвлөлтийг хийсэн тус нэгж цэгүүдэд 4G сүлжээний eNodeB бааз станцуудыг байрлуулж зэрэгцээ байрлалтай болон цуваагаар явж байгаа олон билаз болон бусад тээврийн хэрэгслийн мобайль компьютерийн сүлжээний өгөгдөл дамжуулыг мөн тэдгээр eNodeB хооронд хөдөлгөөнт тээврийн хэрэгсэл шилжин хөдөлж байх үед найдвартай, тасалдалгүй дамжууллыг хангана. eNodeB бааз станцуудын хувьд нэг бааз станцын харьяалал бүхий үйлчлэх хүрээнээс, хөдөлгөөнт хэрэгсэл зэргэлдээх бааз станцын үйлчлэх хүрээнд холболт тасрахгүйгээр шилжих процессыг гардварын процесс гэх бөгөөд үүний туршилтын үр дүнг доор харуулаа.



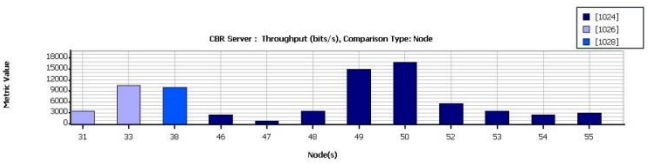
Зураг 4. LTE сүлжээний бүлэг хэрэглэгчийн гардварын процесс

Юникаст дамжуулал нь цөм сүлжээнээс цэгээс-цэгт холболтоор тухайн эцсийн хэрэглэгчийн өгөгдөл дамжууллыг бие даасан сувгаар гүйцэтгэх боломжийг хэлдэг. Цөм сүлжээний зангилаа нь билазуудаас ирэх удирдлагын мессеж, видео дүрсийн өгөгдөл дамжууллыг нэгэн зэрэг олон билаз хөдлөх үед тэдгээрийн аяллын маршрут дахь бааз станц бүр дэх харилцан холболтыг юникаст дамжууллын горимын нөхцөлд гүйцэтгэсэн.



Зураг 5. Ил уурхайн билазиудын төв рүүгээ дамжуулсан өгөгдлийн нэвтрүүлэх чадвар

Туршилтын графикийн хэвтээ мөрөнд өгөгдөл солилцох үеийн бааз станцуудын зангилаануудыг дугаарууд, босоо баганад Мобайль компьютерийн мониторинг хийж байгаа хяналтын мэдээллийн нэгж хугацаанд нэвтрүүлсэн утгыг харуулж байна.



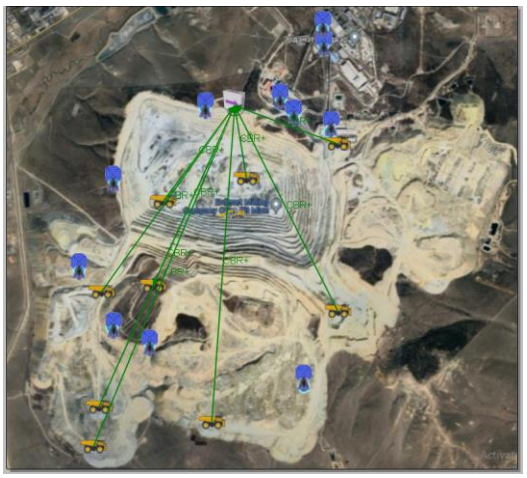
Зураг 6. Нэгж зангилаа бүрийн нэвтрүүлэх чадвар

Туршилтын явцад нэмэлт тээврийн хэрэгслүүдийг оруулж турших замаар нэвтрүүлэх чадварыг тооцож үзэхэд тэдгээрт хөдөлгөөнт тээврийн хэрэгсэл хөдлөн явах боломжтой цөөн хэдэн замуудын харилцан адилгүй цэгүүдэд хөдлөхөд хоёрдугаар eNodeB станцад төвлөрөх нэвтрүүлэх чадварууд алслагдсан тээврийн хэрэгсэлд

бага үзүүлэлттэй гарч байна. Гэсэн хэдий ч дохионы босгын түвшин өндөртэй дамжууллыг хүлээн авч гардварын процессийг хийдэг тул ойролцоо яваа тээврийн хэрэгслүүдийн бүлгийн гардварыг хэрэгжүүлдэг.

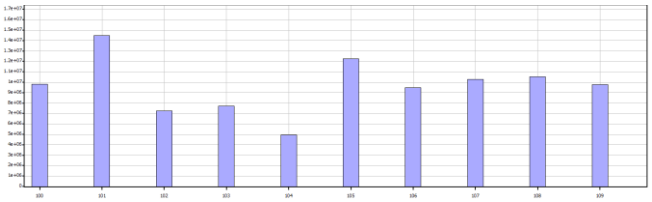
B. Туршилт 2, LTE сүлжээний үүр бүр дэх хэрэглэгчийн гардвар

Ил уурхайн үйлдвэрлэл нь баялгийн олборлолтод чухал үүрэг гүйцэтгэдэг ч хатуу ширүүн, хүнд нөхцөлд ажилладаг. Харилцаа холбоо нь аюулгүй байдал, бүтээмжийг хангахад чухал ач холбогдолтой боловч ил уурхайн дохионы тархалтын хүндрэлтэй шинж чанарууд нь ихэвчлэн саад болдог. Энэ тохиолдолд одоогийн ашиглаж байгаа 4GLTE холболтын асуудлыг шийдвэрлэхдээ нэг хэрэглэгчийн төхөөрөмжийг (UE) өөр өөр eNodeB станцуудын саадгүй гардвар хийх үеийн нөхцлийг туршив.

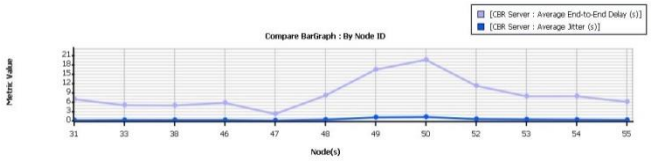


Зураг 7. LTE сүлжээний үүр бүр дэх хэрэглэгчийн гардварын процесс

CBR параметрээр юникаст дамжууллын горимд удирдлагын өгөгдөл дамжууллыг ялгаатай байршлуудад хөдөлж буй билазуудын хувьд туршив. Анхны нэг юникаст мессежийг амжилттай дамжуулснаар холболтыг сайжруулахаас эхлээд мультимедиа дамжуулалтыг хүртэл нэгэн зэрэг боломжит хэрэглээг багтаасан өгөгдлийг дамжуулах технологийн дэвшил болох өгнө.



Зураг 8. Юникастаар дамжуулсан мессежийн тоо

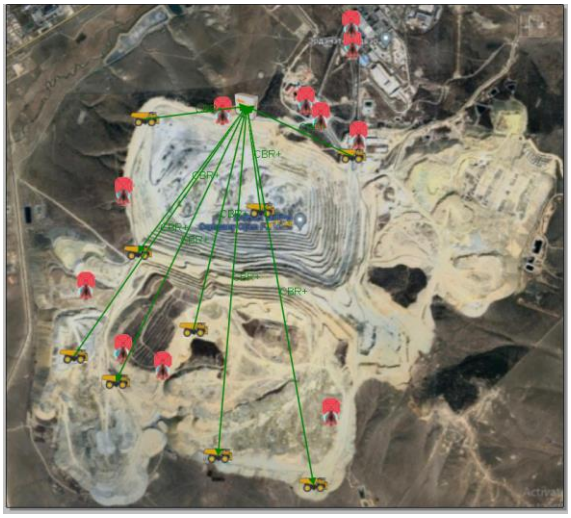


Зураг 9. Цэгээс цэгийн дамжуулын саатал ба гажилт

Сүлжээний гүйцэтгэлийн шинжилгээнд "Дундаж төгсгөлийн саатал" болон "дундаж життер"-ийн үр дүн нь өгөгдөл дамжуулах үр ашиг, тогтвортой байдлыг илтгэх ба нэвтрүүлэгчээс хүлээн авагч хүртэл дамжуулахад зарцуулсан хугацааг хэмждэг гол хэмжигдэхүүн болох төгсгөлөөс төгсгөл хүртэлх дундаж саатал нь сүлжээний хариу үйлдэл үзүүлэх чадварыг илэрхийлдэг. "Дундаж життер"-ийн үнэлгээ нь өгөгдлийн багцын дамжуулалтын турш гарах саатлуудын хамгийн бага зөрүүн харуулдаг. Життер нь өгөгдөл дамжуулахад тогтвортой байдлын хэмжүүр юм. Их хэмжээтэй життер нь хамгийн удаан саатсан өгөгдөл ирэхэд хангалттай хэмжээний өгөгдлийг дараагийн шатанд дамжуулахад ашигладаг. Гэсэн хэдий ч, энэ нь хоцролыг нэмэгдүүлэх бөгөөд бодит хугацааны мониторинг хийж байгаа програмуудад оновчтой утгыг илэрхийлэхгүй юм.

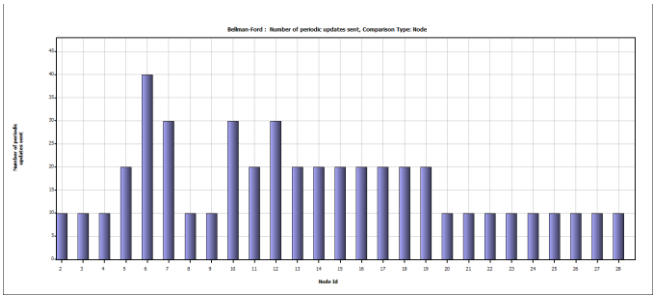
C. Туршилт 5, Бүрэн 5G сүлжээний гардвар

Ил уурхайн орчинд тохирсон бүрэн 5G SA-ийн төрөлжсөн тоног төхөөрөмжид суурилсан загварыг сонгосон. Тэдгээр шинэ төхөөрөмж бүхий бааз станцуудын байршуулах үйл явц нь 5G бааз станцуудыг стратегийн дагуу өндөр газрыг сонгож байршуулах, хэрэглэгчийн тоног төхөөрөмжийн саадгүй өгөгдөл дамжуулах, гардвар хийх зэргээр системийн гүйцэтгэлийг үнэлэх, тасралтгүй мониторинг хийх зэргийг харгалзан үзсэн.



Зураг 10. Бүрэн 5G сүлжээний гардварын процесс

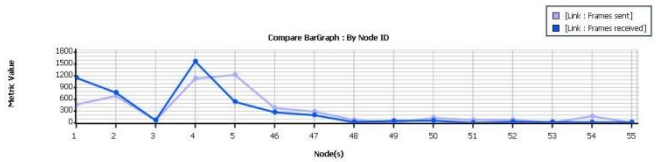
5G NAS, GTP, IGMP зэрэг удирдлагын дохиоллуудыг Exata програмаар гаргах боломжтой тул тэдгээр удирдлагын дохионуудын найдвартай дахин дамжууллуудыг зангилаа цэг бүрээр гаргаж туршив.



Зураг 11. Бааз (gNB) станцуудын хоорондын дамжуулал

Нэгж хугацаанд амжилттай илгээсэн удирдлагын өгөгдлийг 5G SA загварын дагуу эцсийн зангилаа

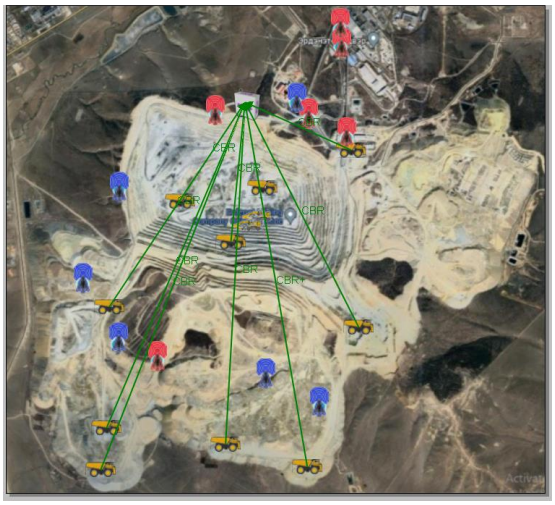
цэгүүдийн фрэйм илгээсэн утгын хэмжээг харуулсан болно.



Зураг 12. Дамжуулсан болон хүлээн авсан фрэйм

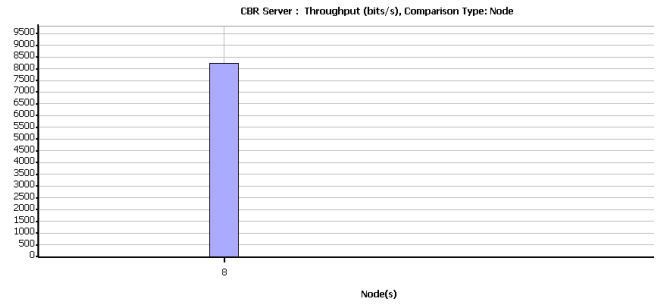
D. Туршилт 3, 4G болон 5G сүлжээг хослуулсан гардвар

4G ба 5G системийг байрлуулахад өндөр чанартай, найдвартай холбоог хангаж, хэрэглэгчид уурхайн янз бүрийн хэсгүүдээр шилжиж, 5G болон 4G сүлжээний хооронд саадгүй гардвар хийж байх үед тасралтгүй холболтыг хангасан. Дохионы чанар, гардварын гүйцэтгэл, өгөгдөл дамжуулах хурд мэдэгдэхүйц сайжирч, ил уурхайн аюулгүй байдал, ашиглалтын үр ашгийг дээшлүүлэхэд чиглэсэн.



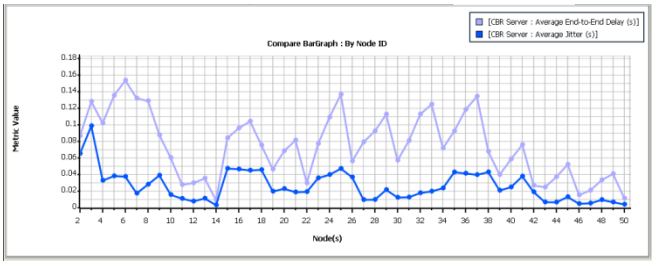
Зураг 13. Хөх өнгийн 4G бааз станцууд болон улаан өнгийн 5G бааз станцууд бүхий сүлжээг хослуулсан гардварын процесс

Юуникаст дамжууллаар гардварын процессыг амжилттай болсныг илэрхийлэх ба тэдгээр олон тооны билазын зангилаа цэгүүд ойролцоо байгаа станцуудтай 5G удирдлагын мессежүүдийг дамжуулах замаар холбогддог. Мөн нэвтрүүлэх талын CN зангилаа нь CBR үзүүлэлтийг илгээж байгаа тул хүлээн авах талын олон тооны билазуудад ямар нэвтрүүлэх чадвараар тус үзүүлэлтийг дамжуулж байгааг дараах зургаас харж болно.



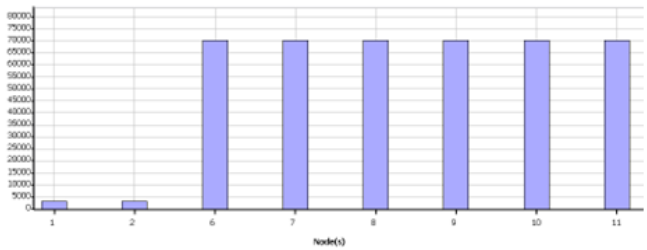
Зураг 14. Нэвтрүүлэгчийн нэвтрэх чадвар

Саатлын життер нь CBR болон түүнтэй ижил бусад үзүүлэлтүүдийг дамжуулахад жигд байдлын хэмжүүр юм. Техникийн хувьд життэр нь нэг багцад ноогдох саатлын (зөрүүтэй) фреймын тоотоогоор тодорхойлогдоно. CBR үзүүлэлтийг хүлээн авах үед өндөр ба бага життерүүдийн харьцааг харуулав. Том буфер (життэр буфер) нь хамгийн удаан саатсан фрейм ирэхэд хангалттай хэмжээний фрэйм барихад ашиглагдаж, нөлөөллийг багасгах боломжтой.



Зураг 15. Зангилаа цэгүүдийн алдааны життер

Дараах зурагт харгалзах 6 зангилааны хувьд OSI стандартын 7 давхаргаас бид MAC түвшний гол параметр болох илгээсэн болон хүлээн авсан өгөгдийн мэдээллүүдийн тоог авч үзсэн. Эндээс зангилаа 2-ийн хувьд 1000 мессеж дамжуулж байхад 6-р зангилаа нь 70000 мессеж хүлээж авч байгаа нь харагдаж байна.



Зураг 16. Хүлээн авсан ба MAC түвшин рүү илгээсэн багцууд

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү туршилт нь уул уурхайн бүсэд ажиллаж буй ажилчид болон тоног төхөөрөмжүүдийн холбоог үйл ажиллагааны явцад тасралтгүй хангах, холболтын чанарыг дээшлүүлэх, баталгаажуулах зорилготой. Иймд одоо ашиглаж байгаа сүлжээний үзүүлэлтэд үндэслэн хийгдсэн. Ил уурхайн билазуудын хөдөлгөөнт төхөөрөмжүүдээс ирэх удирдлагын мессеж дамжуулал нь ихэвчлэн текстэн мэдээллүүд байх тул тэдгээрийн хэмжээ хөдөлгөөнт сүлжээний нөөцийн багахан хувийг эзэлдэг. Харин цаашид дүрсийн мэдээлэл дамжуулах нөхцөлд үйлчилгэний өгөгдлийн хэмжээ харьцангуй их болох тул радио нөөцийн эзлэлтийн хэмжээ нэмэгддэг. Ашиглалтын нөхцөлд байж болох хязгаарын тохиолдлуудыг тодорхойлохын тулд OSI түвшинд буюу Хэрэглээний түвшин, Дамжууллын түвшин, MAC түвшин, Физик түвшинд тус тус симуляцийн тусламжтайгаар нөөц хуваарилалтын үр дүнгүүдийг гаргаснаар стандарт үзүүлэлттэйгээр хангах шаардлагатай байсан. OSI түвшний үзүүлэлтээр 4G, 5G, хосолсон аль ч сүлжээний хувьд харилцан холболт тогтолт амжилттай хийгдэнэ. Голлож анхаарах асуудал нь нэгж үйлчилгээний хувьд тухайн үйлчилгээг дамжуулах нэвтрүүлэх чадамж аль сүлжээний хувьд өгөгдлийг хангалттай дамжуулж чадах эсэхийг тодорхойлох явдал юм. Иймд хэрэглэгч тус бүрийн өгөгдөл дамууллын хурдыг 4G сүлжээний нэг хэрэглэгчийн өгөгдөл дамжууллаар тооцоолбол 8.48Mbps хурдтай ба 5G сүлжээний хувьд 48.29 Mbps

хурдтай байна. Ил уурхайд камерын системээр өгөгдөл дамжууллыг хэрэгжүүлэхэд 720px нягтралтай видеонд 5 Mbps, 1080px нягтралтай видеонд 8 Mbps, 4K VoD видеонд нэвтрүүлэх чадамж 30-40Mbps хурдтай байхыг шаарддаг [5]. Эндээс бид одоогийн 4G сүлжээг цаашид ашигласан хэвээр байна гэж үзвэл 720px, 1080px нягтралтай видеог дамжуулах чадамжтай, 5G сүлжээ болгож өргөтгөж чадвал 4K VoD видеог дамжуулах боломж нээгдэнэ. Ил уурхайн билазиудын төв рүүгээ дамжуулах өгөгдлийн нэвтрүүлэх чадварыг нэмэгдүүлэх цаашид билазын жолоочийн царайны төлөв (үүрэглэх, нойрмоглах, биеийн байдлын өөрчлөлт, мөн эрүүл мэндийн удирдлагын утасгүй сүлжээг нэвтрүүлэх тохиодолд нэвтрүүлэх чадварын үзүүлэлтүүд нэн шаардлагатай учир ил уурхайн билазиудын төв рүүгээ дамжуулсан өгөгдлийн нэвтрүүлэх чадварыг тодорхойлсон.

НОМ ЗҮЙ

[1] A. Dakdouki, “5G Business and Technology: Real World Wide Wireless Web (WWWW)?”, 2015, September 23

[2] A. Krendzel, P. Ginzboorg, “From the rigid hierarchical to flexible flow-based 5G architecture: Dimensioning issues”, ‘Network of Future (NOF) 6th International Conference’, Sept 30 – Oct 2, 2015.

[3] A. Haidine, S. Hassani, El, “LTE-A Pro (4.5G) as Pre-phase for 5G Deployment: Closing the gap between technical requirements and network performance”, ‘Advanced Communications systems and Information Security (ACOSIS), International Conference’, Oct 17 – 19, 2016.

[4] Maria Massaro, Seongcheol Kim, “Why is South Korea at the forefront of 5G? Insights from technology systems theory”, https://doi.org/10.1016/j.telpol.2021.102290

[5] C. Jarray, A. Bouabid, B. Chibani. “Enabling and challenges for 5G Technologies”, ‘Information Technology and Computer Applications Congress (WCITCA), World Congress’, June 11 – 13 2015,

[6] IMT Vision-Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, recommendation ITU-R M2083-0 September 2015, available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-E.pdf (accessed on: 2nd February 2017).

[7] The Road to 5G: Drivers, Applications, Requirements and Technical Development, November 2015, Ericsson, Huawei and Qualcomm available at:http://www.huawei.com/minisite/5g/img/GSA_the_Road_to_5G.pdf (accessed on: 5th February 2017).

[8] Ricardo Barretto Ferreira da Silva, Isabella de Castro Satiro Aragão, “C-Band Spectrum and 5G: a comparative international analysis”, https://chambers.com/articles/c-band-spectrum-and-5g-a-comparative-international-analysis.

[9] The 5G economy: How 5G technology will contribute to the global economy, January 2017, Economic impact analysis, IHS Economics, IHS Technology.

Монгол улсын сагсан бөмбөгийн дээд лигийн шидэлтийн оновчийг машин сургалтын арга ашиглан таамаглах нь

Ялалтын Сайнсанаа
Мэдээлэл, компьютерын ухааны тэнхим
МУИС, МТЭС
20m1num0113@stud.num.edu.mn

Болдын Наранчимэг
Мэдээлэл, компьютерын ухааны тэнхим
МУИС, МТЭС
naranchimeg@num.edu.mn

***Хураангуй*—Сагсан бөмбөгийн тоглолтод хожил байгуулахад нөлөөлөх гол хүчин зүйлсийн нэг нь шидэлтийн сонголт юм. Гэвч тухайн шидэлт оновчтой болох магадлал нь хэд хэдэн хүчин зүйлээс шалтгаалдаг тул тоглолтын явцад ялангуяа тоглолтын төгсгөлд довтолгоог хэрхэн зохион байгуулах (шидэлтийг хаанаас гүйцэтгэх) шийдвэр гаргахад дасгалжуулагч, тамирчдад хүндрэлтэй байдаг. Үүнээс шалтгаалан бид шидэлтийн оновчийг урьдчилан тооцоолоход машин сургалтын арга, техникийг ашиглах судалгаа хийлээ. Бид энэхүү судалгааны ажлаар Монгол улсын сагсан бөмбөгийн дээд лигийн 2023-2024 оны улирлын тоглолтын шидэлтийн мэдээллийг цуглуулж өгөгдлийн сан бий болгон, сагсан бөмбөгийн талбайн аль хэсгээс шидэлт гүйцэтгэсэн байршлаар тухайн шидэлтийн оновчийг таамаглах аргыг боловсруулаа. Тодруулбал бид Монгол улсын сагсан бөмбөгийн дээд лигийн тоглолтын бичлэг үзэн, тоглогч шидэлт гүйцэтгэх үед шидэлтийн байршил болон шидэлт амжилттай болсон эсэхийг бүртгэсэн ба нийт 13 багийн 110 тоглолтын 15,048 мөр шидэлтийн өгөгдлийг цуглуулсан. Цуглуулсан өгөгдөл дээр машин сургалтын арга ашиглан судалгаа, таамаглал хийж, гарсан үр дүнг хооронд нь харьцуулж, хамгийн сайн машин сургалтын аргыг олохыг зорив. Бид K-Nearest Neighbors (KNN), Logistic Regression болон Random forest машин сургалтын аргуудыг ашиглан шидэлтийн оновчийг 57-65 хувийн амжилттайгаар урьдчилан таамаглаж чадсан.**

***Түлхүүр үг*—өгөгдлийн шинжилгээ, спортын шинжлэх ухаан, машин сургалт, сагсан бөмбөг**

I. Удиртгал

Сүүлийн жилүүдэд спортын гүйцэтгэлийн дүн шинжилгээ нь спортын салашгүй нэг чухал хэсэг болж байна. Энэхүү чиг хандлага нь ганцаарчилсан, багийн олон спортын төрөлд ажиглагдаж буй бөгөөд баг, тамирчны сул болон давуу талыг ойлгохын тулд тамирчид, дасгалжуулагчид, эрдэмтэд, инженерүүдийн хамтарсан баг олон төрлийн хэмжилт, шинжилгээг олон улсад хийж байна. Баг, тамирчдын гүйцэтгэлд дүн шинжилгээ хийж үнэлснээр дасгалжуулагчид тоглолтын тактик, төлөвлөгөө боловсруулахад харин тамирчид тоглолтонд зөв шийдвэр гаргахад тусалж, улмаар энэ нь амжилт гаргах үндэс болдог.

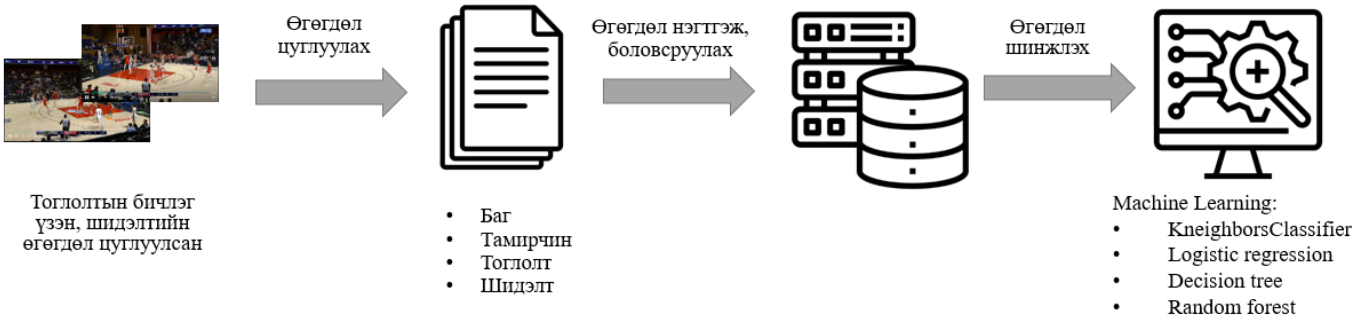
Монгол улсын хувьд баг, тамирчдын гүйцэтгэлийг өгөгдөлд үндэслэн шинжлэх, үнэлэх судалгааны ажил маш цөөн бөгөөд тодорхой тэмцээнд тохирох тамирчныг сонгох, тамирчдын бэлтгэлжилтийн төлөвлөгөө гаргах зэргийг субъектив байдлаар буюу спортын холбоод, дасгалжуулагч багийн үзэмж, туршлагад үндэслэх нь элбэг байдаг [1]. Үүний үр дүнд бэлтгэл сургуулилтыг хангалттай тохируулж чадахгүй байх зарим тохиолдолд баг тамирчдын бүх чадварыг ашиглаж чадахгүй байх талтай. Ялангуяа сүүлийн жилүүдэд хурдацтай хөгжиж байгаа багийн спортын нэг болох сагсан бөмбөгийн тамирчдын гүйцэтгэлд дүн шинжилгээ хийх нь тамирчдын тоглолтонд зөв шийдвэр гаргахад болон дасгажуулагчдад тактик, төлөвлөгөө боловсруулахад тусалж тоглолтонд хожил авах магадлалыг нэмэгдүүлэх чухал ач холбогдолтой.

Гүйлт, усан сэлэлт, өндрийн болон уртын харайлт гэх мэт спортын хувьд эцсийн үр дүнг үндэслэн тамирчдын гүйцэтгэлийг хэмжих, шинжлэхэд амархан бол багийн спортын хувьд аливаа тоглолтын эцсийн үр дүн багийн бүх тоглогчийн ур чадвар, гүйцэтгэл болон бусад олон зүйлээс шууд хамаардаг учир тамирчдын гүйцэтгэлийг хэмжих, шинжлэхэд төвөгтэй. Dean Oliver [2] энэхүү асуудлыг шийдэхийн тулд сагсан бөмбөгийн хожилд хөтлөх дөрвөн хүчин зүйлд (Зураг 1) хуваан авч үзсэн байна. Эдгээр нь:

- Өндөр хувьтай шидэлт гүйцэтгэх: Шидэлтийн хувь өндөр байх нь олон оноо авч, хожил авах магадлалыг нэмэгдүүлнэ.
- Бөмбөг алдалт хийхгүй байх: Бөмбөг алдана гэдэг



Зураг 1: Сагсан бөмбөгийн хожилд хөтлөх хүчин зүйлс



Зураг 2: Арга зүй

нь шидэлт гүйцэтгэж чадалгүй эсрэг багтаа довтлох боломжийг өгч байгаа учир цөөхөн бөмбөг алдалт хийх хэрэгтэй.

- Довтолгооны самбараас бөмбөг авах: Довтолгооны самбараас бөмбөг авна гэдэг нь дахин нэг удаа шидэлт гүйцэтгэх боломж юм.
- Шидэлтийн алдаа олон авах: Шидэлтийн алдаа авч торгуулийн шугамаас хамгаалагчгүй шидэлт гүйцэтгэх нь амархан оноо авах боломжийг нэмэгдүүлнэ.

Энэхүү судалгааны ажлаар дээрхээс өндөр хувьтай шидэлт гүйцэтгэлтэй хамаарах хүчин зүйлсийн өгөгдлийг цуглуулж, тамирчдын гүйцэтгэлд дүн шинжилгээ хийнэ. Тодруулбал, бид Монгол улсын сагсан бөмбөгийн дээд лигийн 2023-2024 оны улирлын тоглолтын видео бичлэгийг үзэн, шидэлтийн мэдээллийг цуглуулж, өгөгдлийн сан бий болгон, машин сургалтын аргуудыг ашиглан шидэлтийн оновчийг таамаглах болно.

Энэ өгүүллийн хоёрдугаар бүлэгт сагсан бөмбөгийн шидэлтийн гүйцэтгэлд дүн шинжилгээ хийсэн ижил төстэй ажлын талаар тайлбарлана. Гуравдугаар бүлэгт өгөгдөл цуглуулах, боловсруулах болон машин сургалтын аргын талаар, дөрөвдүгээр бүлэгт хэрэгжүүлэлт болон туршилтын үр дүнг тайлагнах болно. Эцэст нь судалгааны ажлын дүгнэлтийг танилцуулна.

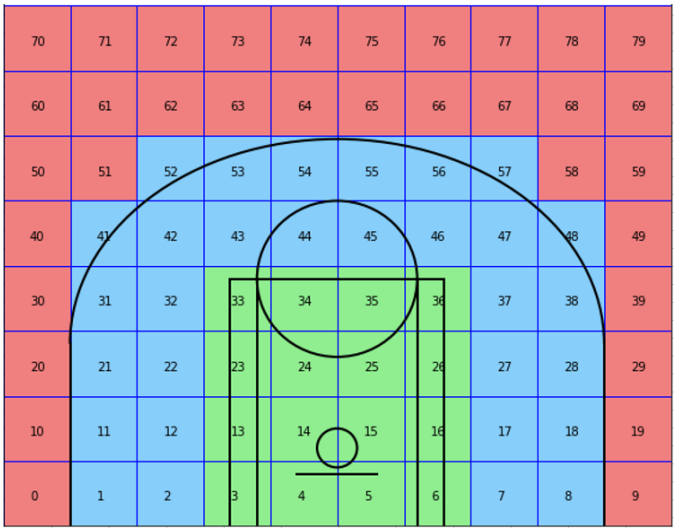
II. Холбоотой ажил

Сагсан бөмбөгийн тамирчдын гүйцэтгэлд дүн шинжилгээ хийж, шидэлтийн оновчийг таамагласан олон тооны судалгаа хийгдсэн байдаг. Эдгээр судалгаанууд ихэвчлэн Америкийн Нэгдсэн Улсын сагсан бөмбөгийн дээд лигийн (NBA) тоглогчдын өгөгдөл дээр дүн шинжилгээ хийж, таамаглал хийсэн байна.

Тухайлбал Raymond Cen, Harrison Chase, Carlos PenaLobel, болон Daniel Silberwasser [3] нар бидэнтэй адил сагсан бөмбөгийн тамирчдын гүйцэтгэлд дүн шинжилгээ хийж, шидэлтийн оновчийг таамагласан байна. Тэдний судалгааны өгөгдөл биднийхтэй төстэй боловч шидэлт гүйцэтгэсэн байршлыг бүсчлэн авч үзэж, тухайн бүс бүрээс хэдэн хувийн оновчтой шидэлт гүйцэтгэхийг өмнөх жилийн өгөгдлүүд дээр үндэслэн таамаглах оролдлого хийжээ. Ингэж таамаглал хийхдээ Logistic regression моделийг ашигласан ба шидэлт оновчтой болох магадлалыг 65 хувьтай таамаглаж чаджээ.

Стэнфордын их сургуулийн Brett Meehan [4] мөн өөр нэг судалгаан дээр шидэлт оновчтой болох магадлалыг 54-68 хувьтай таамаглаж чаджээ. Тэрээр Naive Baynes, Random Forest, Boosting, Logistics Regression, болон neural networkийн машин сургалтын аргуудыг ашигласан байна. Түүний ашигласан өгөгдөл нь биднийхтэй төстэй боловч хэмжээ нь хамаагүй их буюу 122502 мөр шидэлтийн өгөгдөл дээр таамаглал хийжээ.

Сагсан бөмбөгийн спортыг олон улсад олон талаас нь судалсан [5] [6] [7] [8] байдаг. Олон улсад хийгдсэн эдгээр судалгаануудыг харахад сагсан бөмбөгийн шидэлтийн оновчтой болох магадлалыг тооцоход төвөгтэй бөгөөд 54-68 орчим хувьтай таамаглаж чаддаг байна. Бидний ажил нь Монгол улсын мэргэжлийн тамирчид дээр төвлөрөх бөгөөд бид машин сургалтын аргыг ашиглан, шидэлтийн оновчтой болох магадлалыг судална.



Зураг 3: Сагсан бөмбөгийн талбайг хуваасан байршил

Хүснэгт I: Цуглуулсан өгөгдөл

Өгөгдлийн багц	Мөрийн тоо	Тайлбар
Баг	13	Монгол улсын сагсан бөмбөгийн дээд лигийн 2023-2024 оны улиралд оролцсон багуудын мэдээлэл
Тамирчин	196	13 багийн 196 тамирчны мэдээлэл
Тоглолт	110	Нийт 110 тоглолтын өгөгдөл
Шидэлт	15,048	Шидэлтийн өгөгдөл

III. Арга зүй

Бидний сагсан бөмбөгийн тамирчдын шидэлтийн оновчийг судлах үйл явц нь өгөгдөл цуглуулах, өгөгдөл нэгтгэж боловсруулах, өгөгдөл шинжлэх буюу шидэлтийн оновчийг машин сургалтын арга ашиглан таамаглах үе шатуудаас бүрдэнэ. Энэхүү арга зүйг Зураг 2-т үзүүлэв.

A. Өгөгдөл цуглуулах

Бид Монгол улсын сагсан бөмбөгийн дээд лигийн 2023-2024 оны улирлын тоглолтын бичлэгийг үзэж, тоглолтын явцад тамирчдын гүйцэтгэсэн шидэлтийн өгөгдлүүдийг цуглуулсан. Өгөгдөл цуглуулахдаа ямар багийн хэн гэдэг тоглогч, ямар багийн эсрэг, хэдэн онооны шидэлтийг талбайн аль хэсгээс гүйцэтгэж, оновчтой болсон эсэхийг тэмдэглэсэн. Шидэлтийг талбайн аль хэсгээс гүйцэтгэсэн бэ гэдгийг тодорхойлохдоо бид сагсан бөмбөгийн талбайг 80 хувааж (Зураг 3) шидэлтийн байршлыг тодорхой болгосон. Мөн шидэлт гүйцэтгэж байгаа тоглогчдын ерөнхий мэдээлэл, өндөр, жин, нас болон байрлалын мэдээллийг[1] цуглуулж, судалгаандаа ашигласан.

Бид Монгол улсын сагсан бөмбөгийн дээд лигийн 2023-2024 оны улирлын 110 тоглолтын бичлэг үзэн 13 багийн 196 тамирчдын мэдээлэл болон 110 тоглолтын 15048 мөр шидэлтийн өгөгдлийг (Хүснэгт I) цуглуулсан.

B. Өгөгдөл боловсруулах

Бид тоглолтын бичлэг үзэж цуглуулсан өгөгдлийг CSV өргөтгөлтэй файл болгон хадгалж, тус өгөгдлийг цэвэрлэн, баг, тамирчин, тоглолт гэх мэт өгөгдлийн бүрдэл бүрт дахин давтагдахгүй дугаар олгон өгөгдлийн санг зохиомжлон, хадгалсан. Түүнчлэн цуглуулах боломжгүй өгөгдөл жишээлбэл шинэ тамирчдын өндөр, байрлал зэрэг мэдээллийг нийт тамирчдын дундаж утгаар дүүргэсэн. (Хүснэгт II)-д шидэлтийн оновчийг таамаглахад ашиглах онцлог шинжүүдийг харуулав.

[1]https://basketball.asia-basket.com/

C. Өгөгдөл шинжлэх

Бид боловсруулсан өгөгдлөөс тамирчны шидэлт оновчтой болох эсхийг машин сургалтын аргууд ашиглан судалсан. Ингэхдээ бид K-nearest neighbors [9], Random forest [10], Decision tree [11] болон Logistic regression аргуудыг ашигласан ба эдгээр нь шидэлт амжилттай эсвэл амжилтгүй болох хоёртын ангилал (binary classification) гүйцэтгэхэд хамгийн тохиромжтой машин сургалтын аргууд юм.

IV. Хэрэгжүүлэлт ба үр дүн

Энэ хэсэгт тамирчдын шидэлтийн өгөгдөлд машин сургалтын аргуудыг ашигласан үр дүнг тайлагнах болно. Туршилтад бид K-nearest neighbors (KNN), Logistic regression (LR), Decision tree (DT) болон Random Forest (RF) машин сургалтуудын аргуудыг scikit-learn [12] санг ашиглан хэрэгжүүлсэн. Бүх алгоритмуудын гүйцэтгэлийг үнэлэхдээ туршилтын багц дээр (нийт өгөгдлийн 25%) accuracy, precision, recall болон F1 оноо гэсэн хэмжүүрээр хэмжив.

Эхний ээлжинд бид нийт 110 тоглолтонд тамирчдын гүйцэтгэсэн 15,048 шидэлтийн оролдлогын өгөгдөл дээр шидэлт оновчтой болох эсэхийг таамаглаж үзсэн. Туршилтын үр дүнг (Хүснэгт III)-д үзүүлэв. Уг туршилтад тоглолтын дугаар, шидэлт гүйцэтгэсэн тамирчны баг, эсрэг баг, тамирчны ID, тамирчны өмсгөлийн дугаар, шидэлтийн байршил, хэдэн онооны шидэлт зэрэг онцлог шинжүүдийг ашигласан. Туршилтын үр дүнгээс харахад DT хамгийн өндөр буюу 63 хувийн үр дүнг, 'criterion':'entropy', 'max depth': 4 гэсэн хамгийн сайн параметртэйгээр гаргажээ. Түүнчлэн бид энэ туршилтанд ашигласан онцлог шинж чанарууд нь эцсийн үр дүнд хэрхэн нөлөөлж буй нөлөөллийг тооцоолж авч үзсэн. Үр дүнгээс (Зураг 4) харахад шидэлтийн байршил хамгийн чухал нөлөөтэй болох нь харагдаж байна. Өөрөөр хэлбэл

Хүснэгт II: Онцлог шинжүүд

Онцлог шинжүүд	Тайлбар
Game ID	Тоглолтын дугаар
Team	Шидэлт гүйцэтгэсэн тамирчны баг
Opposite Team	Эсрэг баг
Player Number	Шидэлт гүйцэтгэсэн тамирчны өмсгөлийн дугаар
Player ID	Шидэлт гүйцэтгэсэн тамирчин
Location	Шидэлтийн байршил
Spot/Score	Холын эсвэл дундын зайн шидэлт (хэдэн онооны шидэлт вэ гэдгийг тодорхойлно)
Shot	Шидэлт оновчтой болсон эсэх
Position	Шидэлт гүйцэтгэсэн тамирчны байрлал
Height	Шидэлт гүйцэтгэсэн тамирчны өндөр
Weight	Шидэлт гүйцэтгэсэн тамирчны жин
Age	Шидэлт гүйцэтгэсэн тамирчны нас

Хүснэгт III: Шидэлтийн өгөгдөл дээрх машин сургалтын аргуудын үр дүн

Машин сургалтын арга	Хамгийн сайн параметр	Accuracy	Precision	Recall	F1 Score
K-nearest neighbor	n-neighbors: 30	60.13	58.54	57.53	57.24
Logistic regression	C: 0.01, penalty: l2, solver: newton-cg	61.27	60.02	59.57	59.61
Decision tree	criterion: entropy, max-depth: 4	**63.98**	**62.93**	**62.38**	**62.48**
Random Forest	max-features: log2, n-estimators: 1000	58.64	57.47	57.35	57.38

Хүснэгт IV: Шидэлтийн болон тамирчдын хувийн мэдээлэл дээрх машин сургалтын аргуудын үр дүн

Машин сургалтын арга	Хамгийн сайн параметр	Accuracy	Precision	Recall	F1 Score
K-nearest neighbor	n-neighbors: 18	57.12	55.08	54.45	53.95
Logistic regression	C: 0.1, penalty: l2, solver: liblinear	62.09	61.03	60.75	60.82
Decision tree	criterion: entropy, max-depth: 4	**65.12**	**64.19**	**63.45**	**63.56**
Random Forest	max-features: sqrt, n-estimators: 1000	57.65	56.46	56.35	56.37

холын зайнаас шидэлт гүйцэтгэх, ойрын зайнаас шидэлт гүйцэтгэх нь шидэлтийн оновчид хамгийн их нөлөөтэй байна. Түүнчлэн хэн гэдэг тоглогч шидэлт гүйцэтгэж буй нь оновчид өндөр нөлөөтэй байна.

Цаашлаад бид тамирчдын хувийн мэдээлэл болох өндөр, тухайн тамирчны байрлал (төвийн тоглогч, довтлон тоглогч гэх мэт) зэрэг нь шидэлтийн оновчид хэрхэн нөлөөлж буйг судлахын тулд эдгээр онцлог шинжүүдийг нэмж таамаглаж үзэв. Нийт 196 тамирчдын байрлал, 148 тамирчны өндөр, 140 тамирчны жин болон 141 тамирчны насыг тодорхой болгож, тодорхой бус өгөгдлийг нийт өгөгдлийн дунджаар тооцоолж туршилтандаа ашигласан. Туршилтын үр дүнг (Хүснэгт IV)-д үзүүлэв. Үр дүнгээс харахад өмнөх туршилттай адилаар Decision tree хамгийн өндөр буюу 65-аас дээш хувьтай таамаглаж чадсан бол Logistic regression 62 хувьтай таамаглаж, K-nearest neighbor болон Random Forest тус бүр 60 хувиас бага үр дүн үзүүлжээ. Тамирчдын мэдээлэл нь танилтын хувийг бага хувиар (1%) сайжруулж чаджээ. Энэ нь хэрвээ онцлог шинж чанаруудыг нэмэгдүүлбэл үр дүнг сайжруулах боломжтойг харуулж байна. Бид тамирчдын хувийн мэдээлэл бүхий онцлог шинж чанарууд нь эцсийн үр дүнд хэрхэн нөлөөлж буй нөлөөллийг тооцоолж үзсэн. Үр дүнгээс (Зураг 5) харахад өмнөх туршилттай ижил шидэлт гүйцэтгэсэн байршил чухал нөлөөтэйг харуулсан бол тамирчдын мэдээллээс тамирчны өндөр, жин илүү нөлөөтэй байгааг харуулж байна. Харин тамирчны ямар байрлалд тоглодог нь шидэлтийн гүйцэтгэлд нөлөө багатай байгаа нь сонирхол татаж байна.

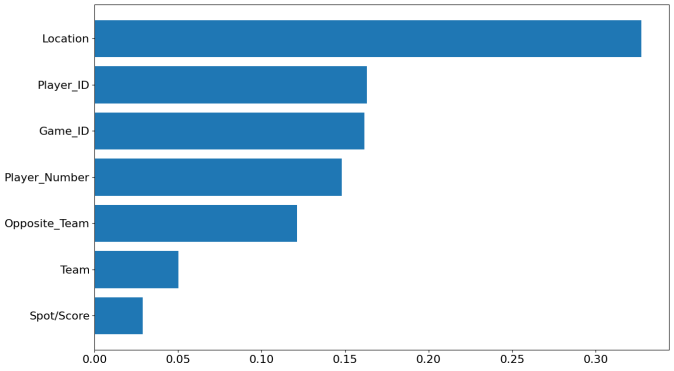
V. Дүгнэлт

Энэхүү судалгаагаар спортын өгөгдөл тэр дундаа сагсан бөмбөгийн тамирчдын шидэлтийн өгөгдлийг видео бичлэг үзэн цуглуулж, уг өгөгдөлд өгөгдлийн шинжилгээ хийх оролдлогыг амжилттай хийж гүйцэтгэлээ. Ингэхдээ бид машин сургалтын аргуудыг ашиглан тамирчдын гүйцэтгэсэн шидэлтийн оновчтой болох магадлалыг судаллаа. Үр дүнгээс харахад Монгол улсын сагсан бөмбөгийн дээд лигийн шидэлтийн оновчтой болох магадлал нь 58-65%-тай байгаа нь олон улсын тэмцээний шидэлтийн оновчтой болох магадлалтай ойролцоо үр дүн гаргасан төдийгүй бидний ашигласан машин сургалтын аргуудаас decision tree нь сайн үр дүн үзүүллээ.

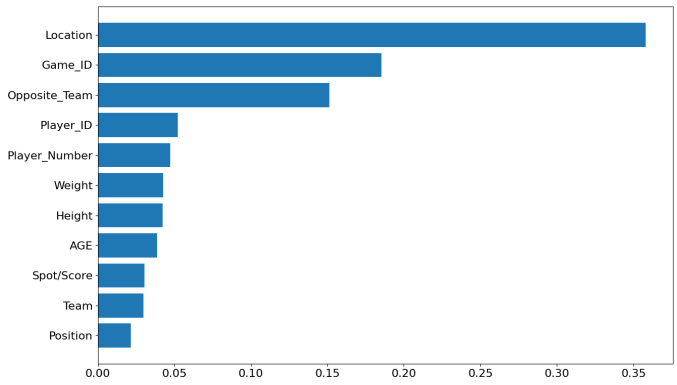
Бид цаашдаа энэхүү судалгааг үргэлжлүүлж, шидэлт гүйцэтгэж байгаа тамирчныг хамгаалж буй тамирчны байршил болон хувийн мэдээллийг өгөгдөлдөө нэмж судлах болно.

Талархал

Энэхүү судалгааны ажлыг санхүүжүүлсэн Хэрэглээний сэтгэл судлалын хүрээлэн (P2022-4276) болон өгөгдөл цуглуулахад туслалцсан МУИС-ийн сэтгэл судлалын хөтөлбөрийн оюутнуудад талархал илэрхийлье.



Зураг 4: Шидэлтийн өгөгдлийн онцлог шинж чанарын нөлөө



Зураг 5: Шидэлтийн болон тамирчдын мэдээллийн онцлог шинж чанарын нөлөө

Зүүлт

[1] Я.Сайнсанаа, “Жүдо бөхийн тамирчдын өгөгдлийг шинжлэх нь,” *Монголын Мэдээллийн Технологи эрдэм шинжилгээний хурал*, pp. 72–76, 2023.

[2] D. Oliver, “Based on statistical analyses, the four most important keys for team success in basketball and their relative weights, in parentheses,” in *Basketball on Paper: Rules and Tools for Performance Analysis*. POTOMAC BOOKS, 2004, pp. 1–392.

[3] C. P. Raymond Cen, Harrison Chase and D. Silberwasser, ““nba shot prediction and analysis.”,” *NBA Shot Prediction and Analysis*, 2015.

[4] B. Meehan, “Predicting nba shots,” *Predicting NBA Shots*, pp. 1–6, 2017.

[5] H. H. Y. C. M. J. H. O. I. P. K.-H. L. YOUNG YOON(Member, IEEE) and J.-H. Hwang, “Analyzing basketball movements and pass relationships using realtime object tracking techniques based on deep learning,” *Analyzing Basketball Movements and Pass Relationships Using Realtime Object Tracking Techniques Based on Deep Learning*, pp. 1–14, 2019.

[6] W. Li, “Research on the application of modern computer technology in the modeling of basketball offensive line measurement and calculation,” *Research on the Application of Modern Computer Technology in the Modeling of Basketball Offensive Line Measurement and Calculation*, pp. 1–8, 2021.

[7] R. Ji, “Research on basketball shooting action based on image feature extraction and machine learning,” *Research on Basketball Shooting Action Based on Image Feature Extraction and Machine Learning*, pp. 1–9, 2020.

[8] S. Narayan, “Applications of machine learning: Basketball strategy,” *Applications of Machine Learning: Basketball Strategy*, pp. 1–74, 2019.

[9] R. M. Musa, A. A. Majeed, Z. Taha, M. Abdullah, A. H. M. Maliki, and N. A. Kosni, “The application of artificial neural network and k-nearest neighbour classification models in the scouting of high-performance archers from a selected fitness and motor skill performance parameters,” *Science & Sports*, vol. 34, no. 4, pp. e241–e249, 2019.

[10] Z. Gao and A. Kowalczyk, “Random forest model identifies serve strength as a key predictor of tennis match outcome,” *Journal of Sports Analytics*, vol. 7, no. 4, pp. 255–262, 2021.

[11] J. Marynowicz, M. Lango, D. Horna, K. Kikut, and M. Andrzejewski, “Predicting ratings of perceived exertion in youth soccer using decision tree models,” *Biology of sport*, vol. 39, no. 2, pp. 245–252, 2022.

[12] F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, J. Vanderplas, A. Passos, D. Cournapeau, M. Brucher, M. Perrot, and E. Duchesnay, “Scikit-learn: Machine learning in Python,” *Journal of Machine Learning Research*, vol. 12, pp. 2825–2830, 2011.

Кибер аюулгүй байдлын зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөө

Элбэгбаярын Даваахүү
Мэдээллийн Сүлжээ, Аюулгүй Байдлын Салбар
ШУТИС, Мэдээлэл холбооны, технологийн сургууль
Улаанбаатар, Монгол улс
dakaa.96@gmail.com

Бат-эрдэний Мөнхбаяр
Мэдээллийн Сүлжээ, Аюулгүй Байдлын Салбар
ШУТИС, Мэдээлэл холбооны, технологийн сургууль
Улаанбаатар, Монгол улс
munkhbayar.b@must.edu.mn

Хураангуй— Мэдээлэл технологи байгууллагын урагшлах хөшүүрэг болж байна. Үүнийг дагаад технологийг буруугаар ашиглах, халдлага хийх нь байгууллагыг их хохиролд учруулах эрсдэл өндөр байна. Монгол улс нь 2022 оны 5 сарын 1 ээс хэрэгжүүлж эхэлсэн Кибер аюулгүй байдлын тухай хуульд зааснаар 19.2.2 -р зүйлд кибер халдлага, зөрчлийн үед дагаж мөрдөх төлөвлөгөөг баталж хэрэгжүүлэх гэж заасан байдаг. Иймээс олон улсын зөрчилд хариу үзүүлэх стандартуудыг судалж харьцуулалт хийн онц чухал мэдээллийн дэд бүтэцтэй байгууллагад зориулж зөрчлийг бууруулах болон зөрчилд өртсөн үед зөв хариу арга хэмжээ авах талаар зөрчилд хариу арга хэмжээ авах төлөвлөгөөг боловсруулав.

***Түлхүүр үг*— Бэлтгэх, илрүүлэх, хориглох, устгах, зөрчлийн дараах үйл ажиллагаа.**

I. УДИРТГАЛ

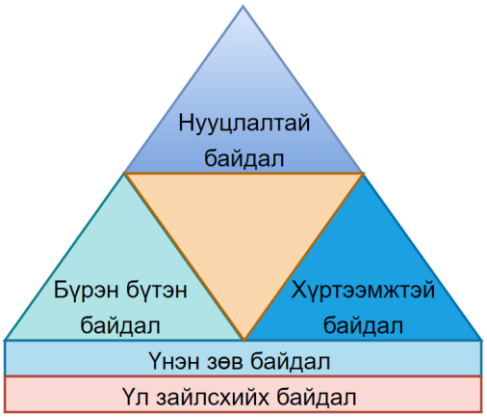
Кибер гэмт хэргийн хохирол дэлхий дахинд 2023 онд 9.2 их наяд доллар, сард 766 тэрбум доллар, ердөө ганцхан цагт 11.6 тэрбум долларын хохирол учруулж байна[2]. Монгол улсад 2023 онд кибер гэмт хэргийн тоо 7905 гэж бүртгэгдсэн байна. Кибер аюулгүй байдлын зөрчил нь байнга үйлдэгддэг бөгөөд байгууллага бүр кибер аюулгүй байдлын зөрчлийн төрлөөс үл хамааран зөрчил илэрсэн үед хариу үзүүлэх сайн төлөвлөгөөтэй байх хэрэгцээ гардаг. Ихэнх байгууллагууд зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөө дутмагаас шалтгаалж учирч болзошгүй эрсдэл нэмэгдэх хариу арга хэмжээ авахад хугацаа алддаг. Онц чухал мэдээллийн дэд бүтэцтэй байгууллага нь кибер аюулгүй байдалдаа анхаарч зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөөг боловсруулж батлуулах зайлшгүй шаардлагатай.

II. МЭДЭЭЛЛИЙН АЮУЛГҮЙ БАЙДЛЫН ТУХАЙ ОЙЛГОЛТ

A. Аюулгүй байдлын суурь ойлголт

Мэдээллийн аюулгүй байдал гэдэг нь маш өргөн ойлголт бөгөөд зөвхөн мэдээллийн технологитой холбоотой асуудал биш юм. Мэдээлэлтэй харьцаж буй хүн, түүнийг дамжуулах процесс, үүнд ашиглагдаж буй технологи нь найдвартай байснаар мэдээллийн аюулгүй байдал хангагдах нөхцөл байдал үүсдэг. Хүн төрөлхтөн үүссэн цагаасаа л тодорхой мэдээллийг нэгнээсээ нууцлах шаардлага зайлшгүй байсан ба үүнийг нь илрүүлж ямар нэгэн байдлаар зөв болон буруу замаар ашиглах сонирхол байсаар ирсэн. Мэдээллийн аюулгүй байдлыг хангадаг 3 шаардлага байдаг ба шинээр 2 шаардлага нэмэгдсэн[4] зураг 1-д харуулав.

- Нууцлагдсан байдал (Confidentiality)
- Бүрэн бүтэн байдал (Integrity)
- Хүртээмжтэй байдал (Availability)
- Үнэн зөв байдал (Authentication)
- Үл зайлсхийх байдал (Non-repudiation)



Зураг 1. Мэдээллийн аюулгүй байдлын гурвалжин

Нууцлагдсан байдал:
Мэдээлэл зөвхөн хүрэх ёстой эзэндээ л хүрч өөр зөвшөөрөлгүй хэн нэгэн уг мэдээлэлд нэвтрэх боломжгүй гэсэн нөхцөлийг хангаж байх ёстой.
Бүрэн бүтэн байдал:
Мэдээлэл болон мэдээллийн системд зөвшөөрөлгүй этгээд мэдээллийг өөрчлөх, устгахаас хамгаалагдсан байх.
Хүртээмжтэй байдал:
Тухайн мэдээллийг шаардлагатай үед ашиглах боломжтой байх буюу та хүссэн цагтаа үйлчилгээгээ авч чаддаг байхыг хэлнэ. Өөрөөр хэлбэл мэдээллийн системийн найдвартай үйл ажиллагааг хангахыг хэлнэ.
Үнэн зөв байдал:
Мэдээллийг илгээгч өөрөө үнэн зөв байх ёстой. Та хэн нэгэн рүү мэдээлэл илгээсэн бол өөр хэн нэгэнд очихгүйгээр хүлээн авах ёстой хүндээ л очих ёстой.
Үл зайлсхийх байдал:

Мэдээллийг илгээсэн, хүлээн авсан гэдгээс зайлсхийх боломжгүйгээр баталгаажсан байхыг хэлнэ.

B. Кибер аюулгүй байдлын ойлголт, зөрчил

Кибер аюулгүй байдал нь компьютер, сервер, хөдөлгөөнт төхөөрөмж, цахим систем, сүлжээ,програм, өгөгдлийг хортой халдлага, эрсдэлээс хамгаалахыг хэлнэ. Кибер халдлагын эрсдэлийг бууруулж, систем, сүлжээ, технологийг зөвшөөрөлгүй ашиглахаас хамгаалах зорилготой юм[5].

Кибер аюулгүй байдлын хамгийн түгээмэл хэрэглэдэг төрлүүд

- Сүлжээний аюулгүй байдал.
- Төгсгөлийн төхөөрөмжийн аюулгүй байдал.
- Гар утасны аюулгүй байдал.
- Аппликейшны аюулгүй байдал

Кибер аюулгүй байдлын зөрчил

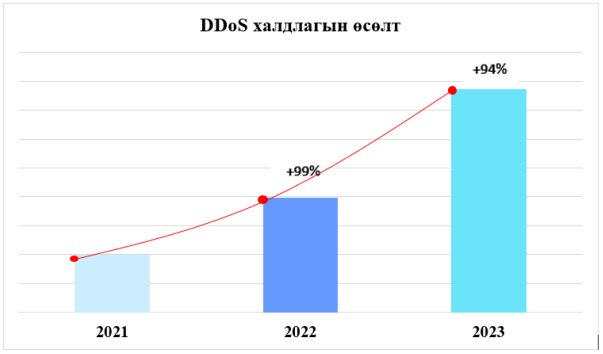
Кибер аюулгүй байдлын зөрчил гэдэг нь мэдээлэл, мэдээллийн системийн бүрэн бүтэн байдал (Integrity), нууцлагдсан байдал (Confidentiality), хүртээмжтэй байдал (Availability) , нэмэлтээр үнэн зөв байдал (Authentication), үл зайлсхийх байдал (Non-repudiation)-ийг алдагдуулдаг кибер аюулгүй байдлын үйл явдал юм. Мөн хууль, аюулгүй байдлын бодлого, журмыг зөрчих нь кибер аюулгүй байдлын зөрчилд орно[6,9].

III. ЗӨРЧИЛД ХАРИУ ҮЗҮҮЛЭХ СТАНДАРТУУД БОЛОН ЗӨРЧЛИЙН СУДАЛГАА

Кибер халдлага эрчимтэй өсөж байгаа энэ үед байгууллагад тохирсон зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөө шаардлагатай . Кибер аюулгүй байдлын зөрчлийн талаар болон олон улсын стандартуудын талаар энэхүү хэсэгт тусгав.

A. Кибер аюулгүй байдлын зөрчлийн өнөөгийн судалгаа

Дэлхий нийтэд гарсан DDoS халдлагын дундаж тоо 2022 онтой харьцуулахад 2023 онд 94 хувиар өссөн үзүүлэлтэй байна зураг 2-т харуулав. DDos халдлага нь сүлжээний аюулгүй байдлын төрөлд хамаарагдах бөгөөд үйлчилгээг тасалдуулах, зогсоох хүртэл үргэлжилдэг. 2023 оны байдлаар DDoS халдлагын дундаж тоо улиралд 4392 удаа, сард 493 удаа өдөрт 16.43 удаа үйлдэгдэж байна. 2023 онд нэг байгууллагад ноогдох халдлагын дундаж хэмжээ 48 хувиар өссөн үзүүлэлтэй байна. Жил ирэх тусам DDoS халдлагын өсөлт маш хурдтай нэмэгдэж байна[2].



Зураг 2. DDos халдлагын өсөлт

Ихэнх байгууллага нь өөрсдийн мэдээлэл харилцагчийн хувийн мэдээллийг веб дээр байршуулдаг ба энэ нь халдагч нарт чухал мэдээллийг өгөх боломжийг олгодог. 2023 онд Web application-д чиглэсэн халдлагын хэмжээ өмнөх оноос 171 хувиар өссөн үзүүлэлтэй байна[2]. Зураг 3-т харуулав.



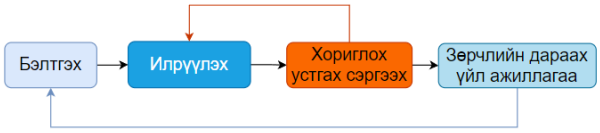
Зураг 3. Веб халдлагын өсөлт

Кибер аюулгүй байдлын халдлага ихээр үйлдэгдэж байгаа тул зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөөтэй байх нь чухал болж байна.

B. Зөрчилд хариу үзүүлэх стандартууд

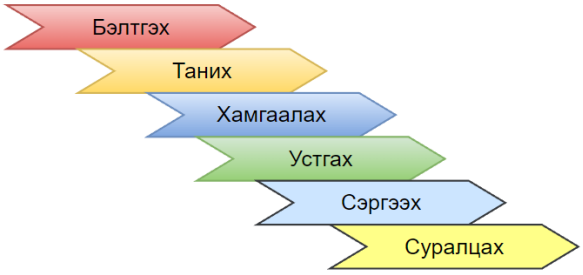
Байгууллагууд зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөө боловсруулахын тулд SANS(Systems Administration and Network Security) болон NIST (National Institute of Standards and Technology), CISA (Cybersecurity and Infrastructure Security Agency) - байгууллагуудаас боловсруулсан зөрчилд хариу үзүүлэх загварт суурилсан ижил төстэй хариу арга хэмжээ авах төлөвлөгөө боловсруулж дагаж мөрддөг[3, 4, 5].

NIST ээс гаргасан 4 шатлалт зөрчилд хариу арга хэмжээ авах төлөвлөгөөг 2012 онд компьютерын аюулгүй байдлын зөрчлийг зохицуулах гарын авлага (NIST Special Publication 800-61 Revision 2) номыг гаргасан[3] зураг 4-т харуулав. Тус зөрчилд хариу арга хэмжээ авах аргуудыг өнөөг хүртэл бүх дэлхий даяар дагаж мөрдөж өөрсдийн байгууллагуудад тохируулан ашиглаж байна.



Зураг 4. NIST зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөө

SANS-аас гаргасан зөрчлийн хариу арга хэмжээний төлөвлөгөө нь байгууллагуудын аюулгүй байдлын зөрчилд хариу арга хэмжээ авахад ашигладаг тогтолцоо юм зураг 5-д харуулав. Энэ нь байгууллагуудад шуурхай, үр дүнтэй хариу арга хэмжээ авахад туслах зорилготой юм[6].

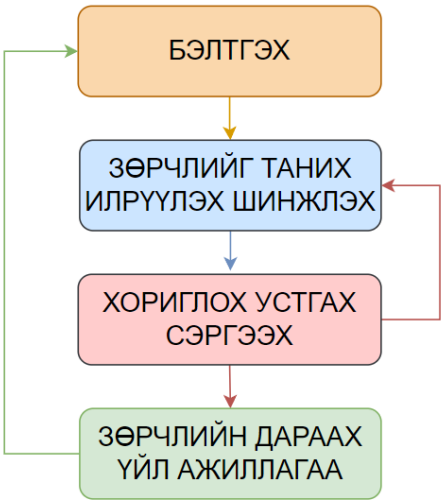


Зураг 5. SANS зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөө

Зөрчилд хариу үзүүлэх стандартууд нь хоорондоо ижил төстэй талууд их байдаг гол нь бүгд зөрчилд зөв замаар түргэн шуурхай илрүүлж хариу авахад чиглэсэн.

IV. Кибер аюулгүй байдлын зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөө боловсруулах

Тус дипломын ажлаар дараах зөрчилд хариу арга хэмжээ авах төлөвлөгөөг боловсруулав. Тус арга нь Бэлтгэл үе, Зөрчлийг таних, илрүүлэх шинжлэх, хориглох устгах сэргээх, зөрчлийн дараах үйл ажиллагаа гэсэн хэсгүүдэд хуваарилж тус бүрд дэлгэрэнгүй төлөвлөгөө боловсруулав зураг 6-д харуулав. Тус төлөвлөгөө нь 4 үе шаттай байх ба үе шат бүрд хийх алхмуудыг тайлбарлав[6, 11].



Зураг 6. Зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөө

A. Бэлтгэл үе

Тус үе шат нь зөрчилд хариу арга хэмжээ авах чухал үе шат бөгөөд дараах зүйлсийг бэлтгэж бэлэн болгосон байх шаардлагатай[7]. Бэлтгэл үе шатанд багтсан ажлуудад дараах зүйлс орно, гэхдээ үүгээр хязгаарлагдахгүй.

- Кибер аюулгүй байдлын зөрчлийн хариу арга хэмжээний баг (CSIRT)байгуулна.
- CSIRT -ийн гишүүдийн ур чадварыг дээшлүүлэх дүн шинжилгээ хийх,ур чадварыг сайжруулах сургалтад хамруулах, зохион байгуулах.
- Кибер аюулгүй байдлын бодлого зөрчлийн үеийн бодлогыг шинэчлэх боловсруулах.
- CSIRT нь тооцоолсон байгууллагын эрсдэлд тулгуурлан шаардлагатай багаж хэрэгсэл, тоног төхөөрөмжид хандах боломжтой эсэхийг баталгаажуулах.
- CSIRT-ийн үйл ажиллагааг тодорхойлж, баримтжуулах
- Бичиг баримт, хяналтын хуудсыг сайжруулах, үүсгэх.
- Сүлжээний диаграм зургийг гаргах
- Систем сервер програм хангамжийн жагсаалт уялдаа холбоог гаргах
- Үйлдэгдэж болох эрсдэлийн жагсаалтыг гаргаж зэрэглэл тогтоох
- Нэвтрэлт шалгалтын тестийн тайланг хянаж эмзэг байдлыг засварлуулах

B. Зөрчлийг таних, илрүүлэх, шинжлэх

Ажилтан нь өгөгдөл, систем эсвэл сүлжээнд сэжигтэй зүйл байгааг анзаарсан эсвэл системийн дохиолол үүсгэсэн тохиолдолд Аюулгүй байдлын баг нь тухайн үйл явдлын анхны шинжилгээ, баталгаажуулалтыг хийх ёстой[8, 9].
Зөрчил гэмтлийг тодорхойлох ажлыг хөнгөвчлөхийн тулд аюулгүй байдлын зөрчлийн ердийн шинж тэмдгүүдийн жагсаалтыг доор харуулав.

- Халдлага илрүүлэх системээс ирсэн имэйл эсвэл утасны мэдэгдэл.
- Лог хоорондын зөрүү.
- Богино хугацааны дотор олон нэвтрэх оролдлого амжилтгүй болсон.
- Файлын хэмжээ эсвэл огноо, ялангуяа системийн файлуудад тодорхойгүй өөрчлөлтүүд.
- Өгөгдлийг тодорхойгүй өөрчлөх, устгах.
- Үйлчилгээг тасалдуулах эсвэл нэг буюу хэд хэдэн хэрэглэгч бүртгэл рүү нэвтрэх оролдлого хийх.
- Систем гацсан.

- Сервер системийн гүйцэтгэл муу.
- Системийн хэт их ачаалал. (CPU өндөр ачаалах). (гэх мэт)

Болзошгүй зөрчлийг илрүүлсний дараа CSIRT нь зөрчлийн нөхцөл байдлыг судлахын тулд үнэлгээ гаргана. Үнэлгээ нь зөрчлийн ангилал, хамрах хүрээ, болзошгүй нөлөөллийг тодорхойлно. CSIRT нь дор дурдсан үйл явцыг дагаж, хийсэн алхам бүрийг баримтжуулж, зөрчил тус бүрд дүн шинжилгээ хийж, баталгаажуулахын тулд хурдан ажиллах ёстой

Зөрчлийн ангилал

Зөрчлийг ангилах нь хэрхэн хурдан шуурхай хариу арга хэмжээ авахад туслах болно[1]. Зөрчлийг зарим ангиллыг доор оруулав.

- Фишинг
- Сүлжээ чагнах
- Мэдээлэл устгах
- Үйлчилгээг тасалдуулах
- Нөөцөд хандах (гэх мэт)

Хамрах хүрээ

Хамрах хүрээг тодорхойлох нь CSIRT-д байгууллагад үзүүлэх нөлөөллийг ойлгоход тусална. Хамрах хүрээг тодорхойлохдоо дараах хүчин зүйлсийг анхаарч үзэх хэрэгтэй.

- Энэ зөрчилд хэчнээн систем өртсөн бэ?
- Нууц эсвэл Хамгаалагдсан мэдээлэлтэй холбоотой юу?
- Тухайн зөрчилд нэвтрэх цэг нь юу вэ (жишээлбэл, интернэт, сүлжээ, физик)?

Зөрчлийн нөлөө

Зөрчлийн ангилал, хамрах хүрээг тодорхойлсны дараа зөрчлийн болзошгүй нөлөөллийг тодорхойлох ёстой. Үйл ажиллагааны нөлөөлөл болон мэдээллийн нөлөөллийг гэж тодорхойлно[5] хүснэгт 1 болон 2-т харуулав.

Хүснэгт 1. Үйл ажиллагааны нөлөөлөл

Үйл ажиллагааны нөлөөлөл	**Тодорхойлолт**	**CSIRT-ийн хариу**
Нөлөөгүй	үйлчилгээнд нөлөөлөхгүй	хүсэлт үүсгэж засварлах
Бага	Үйл ажиллагаа хэвийн бага зэрэг нөлөө үзүүлсэн	хүсэлт үүсгэж засварлах. Удирдлагад мэдэгдэх
Дунд	Түр хугацаанд үйлчилгээ үзүүлэх боломжгүй болсон	CSIRT-ийн зүгээс шуурхай арга хэмжээ авах. Удирдлагад мэдэгдэх. Зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөөг эхлүүлэх
Их	Үйлчилгээ үзүүлэх боломжгүй болсон	CSIRT-ийн зүгээс шуурхай арга хэмжээ авах. Удирдлагад мэдэгдэх. Зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөөг эхлүүлэх

Хүснэгт 2. Мэдээллийн нөлөөлөл

Мэдээллийн нөлөөлөл	**Тодорхойлолт**	**CSIRT-ийн хариу**
Нөлөөгүй	Ямар ч мэдээлэлд хандаагүй.	Арга хэмжээ авах шаардлага-гүй
Бага	Нийтийн болон эмзэг бус өгөгдөлд хандсан, гадагшаа гарсан,өөрчилсөн, устгасан халдсан.	Тохиромжтой арга хэмжээг авна
Дунд	Дотоод мэдээлэлд нэвтэрч, гадагшаа задруулсан, өөрчилсөн, устгасан, халдсан.	Шуурхай арга хэмжээ авах. Удирдлагад мэдэгдэх. мэдээлэл эзэмшигчтэй хамтран ажилллана
Их	Хамгаалагдсан өгөгдөлд хандсан, гадагшаа задруулсан, өөрчилсөн, устгасан, халдсан.	Шуурхай арга хэмжээ авах. Удирдлагад мэдэгдэх. мэдээллүүдийг тодорхойлж хуулийн байгууллагатай хамтран ажилллана

С. Хориглох, устгах, сэргээх

Зөрчлийн хариу арга хэмжээний дараагийн шатны хориглохын зорилго нь нөхцөл байдлыг дахин хянах, хохирлын хэмжээг хязгаарлах явдал юм. Энэхүү зорилгодоо хүрэхийн тулд байгууллага зөрчил бүрийн эсрэг хамгаалах хэд хэдэн стратегийг тодорхойлсон хүснэгт 3-т харуулав[8, 9, 10].

Хүснэгт 3. Хамгаалалтын стратеги

Итгэмжлэлээ алдах	Бүртгэлийн итгэмжлэлүүдийг идэвхгүй болгох, бүх идэвхтэй холболтыг дахин тохируулах, хэрэглэгчийн үйл ажиллагааг шалгах, өөрчлөлтийг буцаах
Ransomware	Нөлөөлөлд өртсөн системийг тусгаарлах, нэмэлт системүүд өртсөн эсэхийг тодорхойлох, шаардлагатай бол тусгаарлах.
Вирус	Системийг хязгаарлана, нэмэлт системүүд өртсөн эсэхийг тодорхойлох.
Өгөгдлийн алдагдал	хэрэглэгчийн үйл ажиллагааг хянах, мэдээлэл зөрчсөн тохиолдолд хариу арга хэмжээ авах.
Вэбсайтын эвдрэл	засварлах.

Нөлөөллийг бууруулах

Зөрчлийн төрлөөс хамааран баг нөлөөлөлд өртсөн системд үзүүлэх нөлөөллийг багасгах ба эсвэл халдагчийн хүртээмжийг багасгахын тулд хурдан ажиллах ёстой. Үйлдлүүд нь дараах зүйлийг агуулж болох боловч үүгээр хязгаарлагдахгүй[8].

- Хандалтын хяналтыг ашиглан халдагчийг зогсоох (бүртгэлүүдийг идэвхгүй болгох, идэвхтэй холболтыг дахин тохируулах, нууц үг солих, галт ханын дүрмийг сайжруулах).
- Эвдэрсэн системийг сүлжээнээс тусгаарлах.
- Тогтворгүй байдлын өгөгдөл эсвэл системийн төлөвийн өгөгдлийг эрт өөрчлөхөөс зайлсхий.

- Ажиллаж байх ёстой чухал гадаад системийг тодорхойлж, бусад бүх үйл ажиллагааг зогсоох
- Системийг цааш нарийн шалгах, нотлох баримт болгон ашиглах.

Шинжлэх

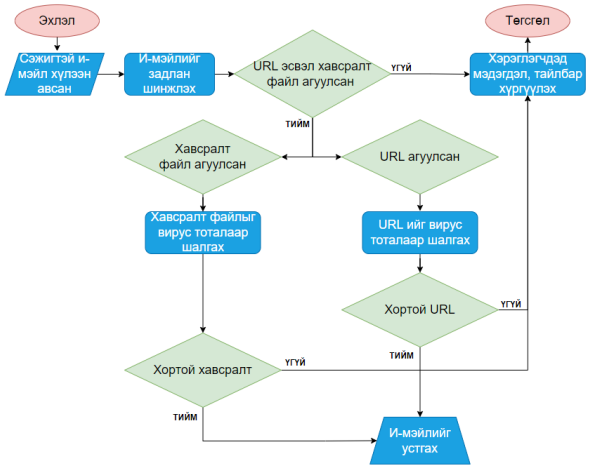
Шинжлэх ажиллагаа нь зөрчлийн нөлөөлөлд өртсөн бүх систем, үйлчилгээ, өгөгдлийг бүрэн тодорхойлох оролдлого, түүний дотор үндсэн шалтгаан, халдагчийн нэвтрэх цэг эсвэл үйл явдлыг зөрчил болгон өргөжүүлэх боломжийг олгосон системийн сул талыг тодорхойлоход тусалдаг[8]. Шинжлэх ажиллагааны явцад CSIRT-ийн ур чадвараас давсан бол нөлөөлөлд өртсөн системийг гуравдагч этгээдтэй холбоо тогтоон хамтран шинжлүүлэх шаардлагатай.

Устгах

Устгах нь зөрчлийн бүх бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг бүрэн арилгахаас бүрдэнэ.Зөрчлийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг арилгах алхмуудад дараах зүйлс орно.

- Эвдэрсэн хэрэглэгчийн бүртгэлийг идэвхгүй болгох.
- Эвдэрсэн бүртгэлүүдийн идэвхтэй сешинуудыг дахин тохируулна уу.
- Халдагчийн хөшүүрэг болсон эмзэг байдлыг тодорхойлж, засварлах.
- Шаардлагагүй нээлттэй портуудыг хаа.
- Аюулгүй байдлын бүртгэл, сэрэмжлүүлэг, хяналтыг нэмэгдүүлэх.
- Бүртгэлийн бүх нууц үгийг өөрчлөх (систем. домэйн, хэрэглэгч).

Зөрчлийг устгахын тулд урьдчилсан бэлтгэсэн зааварчилгааг ашиглах шаардлагатай. Зураг 7-д харуулснаар сэжигтэй и-мэйлийг таньж устгахад ашиглах зааварчилгаа бэлтгэв.



Зураг 7. Сэжигтэй м-мэйлд хариу үзүүлэх зааварчилгаа

Сэргээх

Системийн хэвийн ажиллагааг сэргээхийн өмнө CSIRT нь устгал амжилттай болсон, сүлжээ аюулгүй эсэхийг тодорхойлохын тулд систем(үүд)-ийг баталгаажуулах нь чухал юм[9]. Эвдэрсэн систем(үүд) эсвэл сүлжээнд нэг удаа хандсанаар халдагчид ирээдүйн халдлагад хөшүүрэг болох илүү их мэдээлэлтэй болно. Сэргээх алхмууд нь дараах зүйлийг агуулна.

- Цэвэр нөөцөөс системийг сэргээх.
- Сүлжээний холболт болон хандалтын дүрмийг сэргээх.
- Сүлжээ, системийн хяналтын үйл ажиллагааг нэмэгдүүлэх (богино эсвэл урт хугацааны).
- Ирээдүйн халдлагыг илрүүлэх эсвэл урьдчилан сэргийлэхэд гуравдагч этгээдээс дэмжлэг авах.

D. Зөрчлийн дараах үйл ажиллагаа

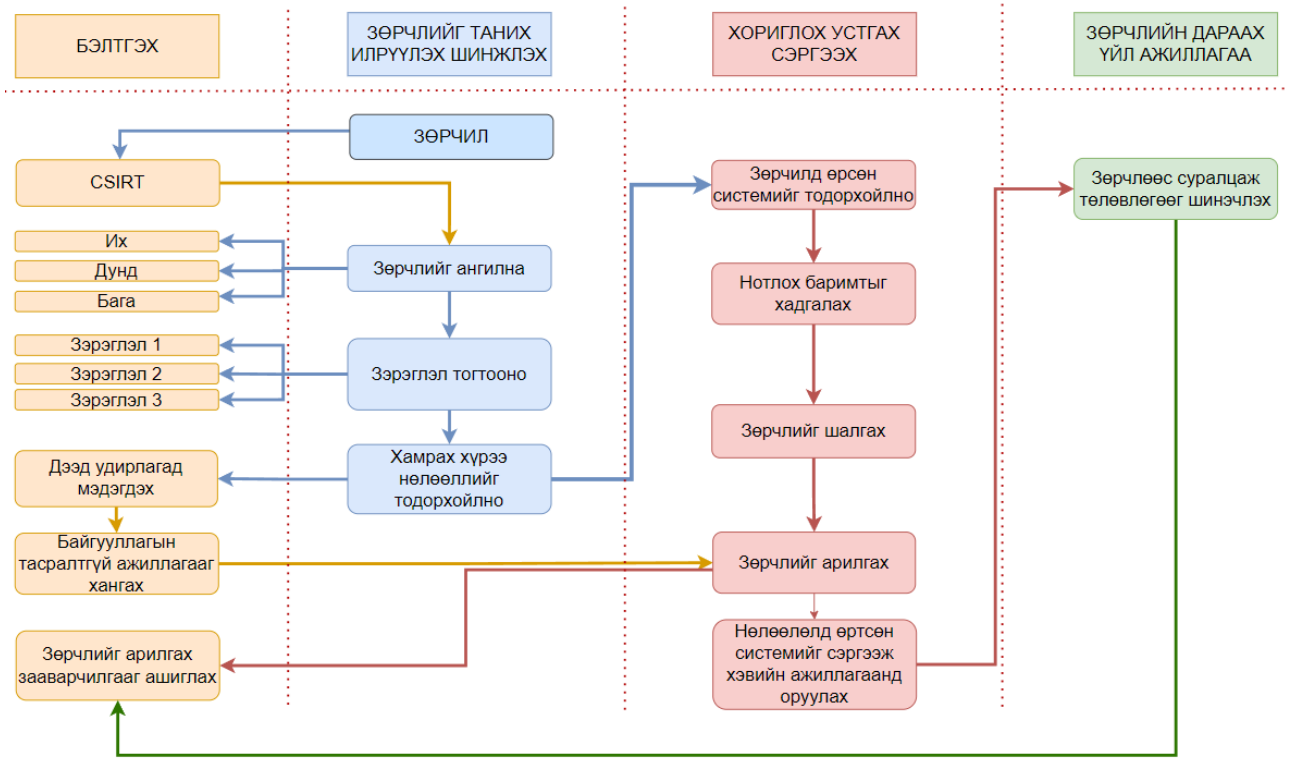
Тус үе шатанд зөрчлийн бай болсон систем(үүд) болон бусад эмзэг системүүдийн талаар мэдээлэх, ослын дараах дүн шинжилгээ орно. Энэ үе шатны зорилго нь аюулгүй байдалтай холбогдох үйл ажиллагаа, хариу арга хэмжээ авах чадвар, горимыг үргэлжлүүлэн сайжруулах явдал юм. CSIRT нь холбогдох талуудтай (техникийн ажилтнууд, удирдлага, борлуулагчид, аюулгүй байдлын баг гэх мэт) уулзаж, ирээдүйн зөрчлийн эрсдэлийг бууруулахын тулд уг зөрчлөөс сурсан сургамжийг хэлэлцэж, нэгтгэх[10].

Гарсан хандлагыг олж мэдэхийн тулд тохиолдлуудад дүн шинжилгээ хийж, шаардлагатай тохиолдолд засаж залруулах арга хэмжээг авч үзэх хэрэгтэй. Дахин энэ төрлийн халдлага гарахад бэлэн байж зөрчлийн үед хадгалж авсан мэдээллийг урт хугацаанд хадгалах. Ажилчдыг илүү мэргэжлийн түвшинд сургах симуляц тест явуулах шаардлагатай. Шаардлагатай бол зөрчилд хариу арга хэмжээ авах төлөвлөгөөг эргэн харж өөрчлөлт оруулах.

CSIRT нь ослын хамрах хүрээ, үр нөлөөг судалж байх хооронд нөлөөлөлд өртсөн системүүдийн хяналтыг нэмэгдүүлнэ. Устгах болон Сэргээх үе руу шилжихдээ мэдээлэл их байх шаардлагатай.

Зөрчлийн талаарх бүх мэдээллийг нууц гэж үзэх бөгөөд аливаа мэдээллийг гүйцэтгэх удирдлагын зөвшөөрөлгүйгээр байгууллагаас гадуур хэн нэгэнтэй хэзээ ч ярилцаж болохгүй.

Кибер аюулгүй байдлын зөрчилд илэрсэн үед хэрхэн ажиллах талаар бүтцийн схем зохиож зураг 8-д харуулав. Тус бүтцийн схемийн дагуу аюулгүй байдлын зөрчилд хариу үзүүлэхэд танд туслах болно.



Зураг 7. Зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөө.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү дипломын ажлаар боловсруулсан кибер аюулгүй байдлын зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөө нь байгууллагын аюулгүй байдлын зөрчлийг үр дүнтэй бууруулахад чухал үүрэг гүйцэтгэнэ. CSIRT-ийн гишүүдийн үүрэг, хариуцлага, харилцаа холбоог нарийн тусгаснаар аюулгүй байдлын аливаа зөрчилд түргэн шуурхай, үр дүнтэй хариу арга хэмжээ авна.

Тус төлөвлөгөө нь статик үйл явц биш бөгөөд хувьсан өөрчлөгдөж буй аюул занал, технологийн дэвшил, өнгөрсөн зөрчлөөс суралцаж зөрчилд хариу үзүүлэх төлөвлөгөөг тогтмол хянаж шинэчилж байх хэрэгтэй. Зөрчилд хариу арга хэмжээ авах төлөвлөгөөг хэрэгжүүлж ажилласнаар аюулгүй байдлын зөрчлийн нөлөөллийг бууруулж, систем болон дэд бүтцийнхээ бүрэн бүтэн байдал, уян хатан байдлыг хангаж чадна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Eric C. Thompson “Cybersecurity Incident Response”

[2] Pascal Geenens, Daniel Smith “2023 Global Threat Analysis Report”

[3] Karen A. Scarfone, Timothy Grance, Kelly Masone “Computer Security Incident Handling Guide”

[4] Alexander Staves, Tom Anderson, Harry Balderstone, Benjamin Green, Antonios Gouglidis, and David Hutchison “A Cyber Incident Response and Recovery Framework to Support Operators of ICS and Critical National Infrastructure”

[5] Wendi Whitmore “Incident response report 2024”

[6] Charles DeVoe, Syed (Shawon) M. Rahman, Ph.D. “Incident response plan for a small to medium sized hospital”

[7] Bilal Al Sabbagh “Cybersecurity Incident Response”

[8] Maria B. Line, Inger Anne Tondel and Martin G. Jaatun “Information security incident management: Planning for failure”

[9] Syed Khurram Hassan and Asif Ibrahim “The role of Artificial Intelligence in Cyber Security and Incident Response”

[10] Newman, R. (2007). Computer forensics: evidence collection and management. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, LLC.

[11] Ignatius Frank Zinatra Poetiray, Muhammad Salman "Information security incident management using iso 27035 standard"

Өнгөт Зураг Боловсруулах Аргачлалаар Хадны Бичвэрийг Сэргээн Сайжруулах

Г.Ганчимэг
МХТ-ийн Ахисан түвшний салбар
МХТС, ШУТИС
ganaa@must.edu.mn

Ц.Дэлгэрсайхан
Компьютерын ухаан салбар
МХТС, ШУТИС
delgersaihanst@gmail.com

***Хураангуй*—Зураг боловсруулах арга техникийг ашиглан соёлын өвийн зургийг сэргээн засварлах боломжтой байдаг. Хадны урлаг бол эвдэн сүйтгэх болон бусад хэлбэрээр эвдрэлд өртөмтгий соёлын үнэт өв юм. Бид өмнөх судалгааны ажлын хүрээнд Архангай аймгийн Тайхар хадны зураг дээрээс хуурамч болон соёлын өвийн текстэн бичвэр илрүүлэх судалгааг гүн сургалтын аргаар хийсэн. Энэхүү өгүүлэлд өмнө нь туршилт хийж гаргаж авсан хадны зураг дээрх соёлын өвийн бичвэрийг сэргээн сайжруулах боломжийн талаар өгүүлнэ. Хадны зургийг сэргээн сайжруулахдаа бид өнгөт зураг боловсруулах аргачлал дээр тулгуурлан улаан өнгөний суваг дээр ажиллаж тодорхой үр дүнд хүрсэн ба туршилтын үр дүнгийн зарим хэсгийн зургуудыг үзүүлсэн.**

Түлхүүр үг— Өнгө, соёл, зураг, сэргээх, сайжруулах, хад

I. УДИРТГАЛ

Хүн төрөлхтөн хад чулуунд зураг дүрслэлийг хуучин чулуун зэвсгийн дээд үеэс эхлэн зурж эхэлсэн байдаг [1]. Энэ үеийн зарим зураг дүрслэлийг Хойд цэнхэрийн агуй болон, Рашаан хадны зураг дүрслэлээс харж болно. Хадны сүг зургийг зосон ба сийлмэл гэж 2 ангилдаг байна. Зосон зураг нь Өвөр байгаль, Төв болон Дорнод Монголын нутагт өргөн тархсан бөгөөд агуулгын хувьд олон янз байдаг бөгөөд МЭӨ 2 дугаар мянганаас МЭӨ III зуунд холбогдоно [2]. Монгол нутагт хадны сүг зураг дүрслэлийг агуулсан газар орон маш олон байдаг. Хадны сүг зураг нь үндсэндээ өнгөрсөнд хүргэх гарц, асар үнэ цэнэтэй зурган бичиг юм. Судлаачид хадны сүг зургийн хийц, технологийг судлан аль цаг үед бүтээгдсэн болохыг нь тогтоодог. Сүүлийн үед дахин давтагдашгүй түүхийн ховор нандин дурсгалууд, соёлын биет өвдөө хүндэтгэлгүй хандаж, эх төрхийг нь алдагдуулах үйлдэл гаарсаар байна [3]. Нэг талаас иргэдийн мухар сүсэгтэй холбоотой мэт. Нөгөө талаас вандализм буюу санаатай хорлон сүйтгэх ажиллагаа гэж судлаачид тайлбарлаж байна. Түүх, соёлын үл хөдлөх дурсгалын тооллогоор өнгөрсөн онд 9,136 дурсгалт газрын 82,096 дурсгал бүртгэгдсэн [1-3]. *Үүнд:*

- Өөх тосоор бохирдож, гэмтсэн -213
- Будаж, баллаж гэмтээсэн - 201
- Сийлж сүйтгэсэн буюу хүний үйл ажиллагаатай гэмтсэн 263 дурсгалыг тооллогын дүнгээр илрүүлжээ.

II. ЗУРГИЙГ СЭРГЭЭН САЙЖРУУЛАХ ТЕХНИК

Зургийг сэргээн сайжруулах арга техникийг тухайн зураг дээрх эвдрэлийн тодорхой төрөл, хэмжээнээс хамаарч ашигладаг [4]. Техникийн аргын сонголт нь эвдрэлийн шинж чанар, доройтлын үйл явцын талаарх мэдээлэл, тооцооллын нөөц, сэргээгдэх зургийн хүссэн чанар зэрэг хүчин зүйлүүдээс хамаарна. Зургийг сэргээн засварлах нь зураг авах, дамжуулах, хадгалах явцад үүссэн доройтлыг арилгах, багасгах замаар зургийн чанарыг сайжруулахад чиглэсэн зураг боловсруулах үндсэн ажил юм [4]. Энэ нь муудсан эсвэл эвдэрсэн хувилбараас жинхэнэ дүр төрхийг сэргээхийн зэрэгцээ эх контентыг аль болох их хэмжээгээр хадгалах явдал юм. Дүрсийг сайжруулах арга буюу алгоритмууд нь ерөнхийдөө орон зайн эсвэл давтамжийн домэйн *(domain)* бөгөөд алхам бүр нь шинж чанар, үйл ажиллагааныхаа дагуу өөрийн гэсэн ач холбогдолтой байдаг. Зарим алгоритмууд нь зөвхөн орон зайн домэйн дүрсийг сайжруулах аргуудаас бүрддэг бол зарим алгоритмууд нь тодосгогч, динамик хүрээ, чимээ шуугиан, дэлгэрэнгүй мэдээлэл гэх мэтээр оролтын дүрсийг сайжруулахын тулд зөвхөн давтамжийн домэйны аргуудаас бүрддэг [4-5]. Дижитал дүрсийг эвдэхгүйгээр сэргээн сайжруулах аргуудыг ерөнхийд нь орон зайн домэйны аргууд ба давтамжийн домэйны аргууд гэж хоёр төрөлд хувааж болно. *Үүнд [6-7]:*

- **Орон зайн домэйны техникт** зургийн пикселтэй шууд ажилладаг. Хүссэн сайжруулалтыг хийхийн тулд пикселийн утгыг өөрчилдөг. Тус аргад зургийг сэргээхэд дундаж, медиан, Гаусс, Wiener зэрэг орон зайн шүүлтүүрүүдийг ихэвчлэн ашигладаг. Wiener шүүлтүүр нь анхны болон сэргээгдсэн зургийн хоорондох дундаж квадрат алдааг багасгадаг дасан зохицох шүүлтүүр юм. Энэ нь зургийн дэлгэрэнгүй мэдээллийг хадгалахын зэрэгцээ нэмэлт additive noise арилгахад онцгой үр дүнтэй байдаг. Түүнчлэн Wiener шүүлтүүрийг муудаж доройтсон зургийг нөхөн сэргээх арга болгон ашигладаг. Энэ шүүлтүүр нь бүдгэрсэн зурагт тохиромжтой [8].
- **Давтамжийн домэйны** техник нь Фурье хувиргалтыг ашиглан дүрсийг давтамжийн муж болгон хувиргадаг. Additive noise, бүдэгрэх зэрэг хүсээгүй давтамжийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг арилгахын тулд шүүлтүүрийн үйлдлүүд давтамжийн домэйнд хийгддэг.

Зургийн сайжруулалтыг дүрсийг ойлгох, шинжлэх шаардлагатай талбар бүрд ашигладаг.

Gaussian noise: Зургийг сэргээхэд гол зүйл бол зургийн чухал нарийн ширийн зүйлийг алдалгүйгээр зураг дээрх шуугианыг арилгах явдал юм. Хуучин зураг дээр ихэвчлэн Гауссын шуугиан байдаг. Иймд Гауссын аргыг хэрэглэх нь тохиромжтой. Энэхүү аргыг орон зайн болон давтамжийн аль алинд нь ашигладаг [9-11].

Peak-Signal-to-Noise Ratio (PSNR) нь зураг дээрх боломжтой шуугианы дохионы хэмжээг үзүүлдэг. PSNR-ийн үзүүлэлт өндөр байх нь зураг дээрх чимээ шуугианаас илүү сайн дохиог үзүүлдэг [12-13]. PSNR-ийг (1) томьёогоор тооцоолно [14].

$$PSNR = 10 \times log_{10} \cdot \left(\frac{MAX_T^2}{MSE}\right) \quad (1)$$

Энд: MSE – Mean Square Error, $MSE = \frac{sum(sum(Squared\ Error\ Image))}{rows * columns}$,

$SquaredErrorImage = (double(Gray\ Image) - double(Output\ Images))^2$

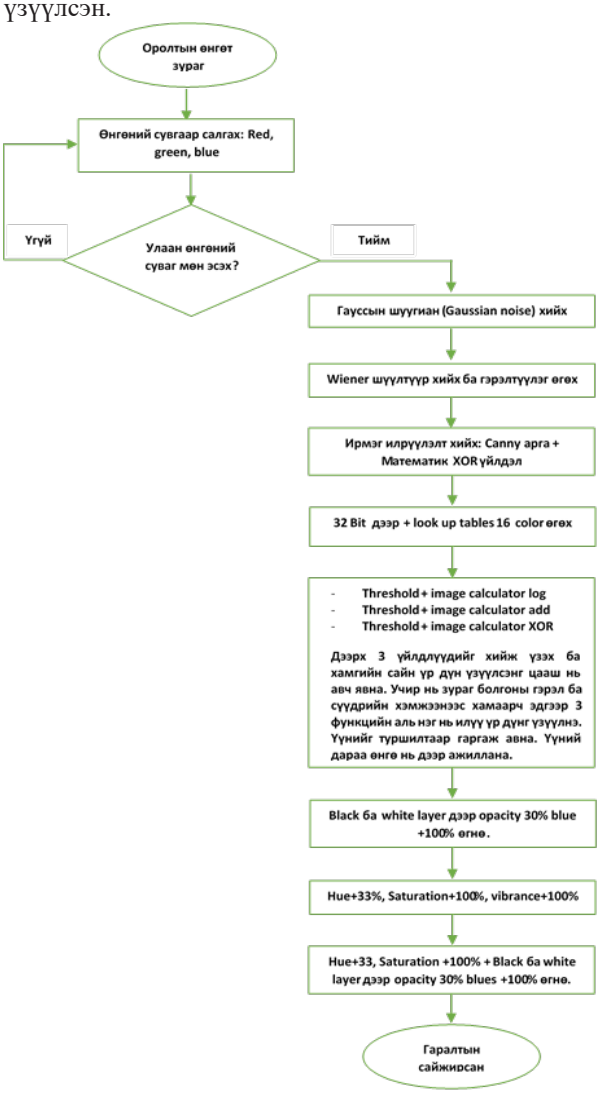
Зургийг сэргээн сайжруулахад үргэлж ямар аргуудыг сонгох хэрэгтэй вэ гэсэн хүндхэн асуудлуудтай тулгардаг. Иймд зураг сэргээх аргачлалын талаар судалгаа хийсэн өгүүллүүдийг харьцуулж нэгдүгээр хүснэгтэд үзүүлсэн. Ингэхэд Wiener шүүлтүүр нь бүдгэрсэн зураг дээр сайн үр дүн үзүүлж байсан байна. Иймд тус судалгааны ажилд Wiener шүүлтүүрийг ашиглахаар сонгож авсан.

Хүснэгт I. Зураг сайжруулах аргуудын харьцуулалт

Судалгааны ажил	Зургийн төрөл	PSNR
A. Prochazka, I. Sindelarova [15]	PIM (JPG)	52.83
Keith T. Knox, Roger l. Easton [13]	JPG	NA
Yi-bing Li, Qiang Fu, Fang Ye, and Qi-diWu [16]	BMP	32
Hilda Deborah and Aniati Murni Arymurthy [12]	JPG	10
Parashuram Bannigidad, Chandrashekar Gudada [17]	JPG	12.89
Ankita, Er. Lavina [18]	JPG/PNG	27.03
Keyong Shao, Yun Zou, Yuanhong Liu, Cheng Li, Bosi Fu [19]	JPG	82.74
Khadidja Kaibiche, Slami Saadi, Djamel Chikouche, Zoubida Messali [10]	TIF/PNG	27.01
Jianfang Cao , Yanfei Li, Qi Zhang and Hongyan Cui [20]	JPG	48.06

III. ЗУРГИЙГ ӨНГӨНИЙ СУВГААР САЛГАЖ БОЛОВСРУУЛАЛТ ХИЙХ

Зургийг өнгөний сувгаар нь салгаж, тус тусад нь боловсруулах нь тодорхой өнгийг сайжруулах, өнгөний тэнцвэрийг засах, өнгөт мэдээлэлд дүн шинжилгээ хийх боломжийг олгодог [4]. Өнгөний сувгийг ялгахад ашигладаг хамгийн түгээмэл өнгөний орон зай бол RGB *(улаан, ногоон, цэнхэр)* ба CMYK *(цэнхэр, магента, шар, хар)* юм. Сувгуудыг салгахын тулд өнгөний бүрэлдэхүүн хэсэг бүрийг зурагнаас гаргаж авахад л хангалттай. CMYK нь ихэвчлэн хэвлэлтэд ашиглагддаг ба CMYK өнгөний орон зайд сувгийг тусгаарлах нь RGB-аас CMYK руу хөрвүүлэх, хар суваг (K) нэмсэнтэй холбоотойгоор илүү төвөгтэй байж болно [5]. Сувгуудыг салгасны дараа суваг бүрд бие даан эсвэл хамтад нь янз бүрийн боловсруулалтын арга хэрэглэж болно. Харгалзах сувгийн эрчмийг тохируулах замаар тодорхой өнгийг сайжруулах боломжтой [4]. Хэрэв өнгөний тэнцвэрт асуудал байвал өөр өөр сувгийн эрчмийг тохируулах замаар засч залруулж болно [4]. Мөн тодорхой үр дүнд хүрэхийн тулд шүүлтүүр эсвэл зураг боловсруулах бусад аргуудыг суваг бүрд бие даан хэрэглэж болно. Түүнчлэн зургийг өнгөний суваг болгон хувааж, тус тусад нь боловсруулснаар өнгөний зохицуулалтыг илүү хянах боломжтой болж, программынхаа хэрэгцээнд нийцүүлэн тодорхой харааны эффект эсвэл залруулга хийх боломжтой болно [21-26]. Тус судалгааны ажилд ашигласан зураг сайжруулах аргачлалыг 1 дүгээр зурагт үзүүлсэн.



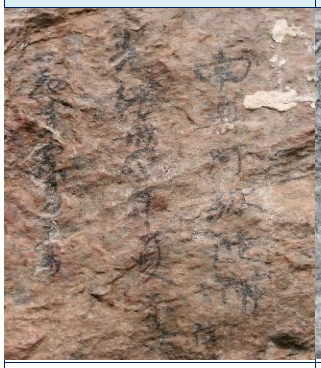
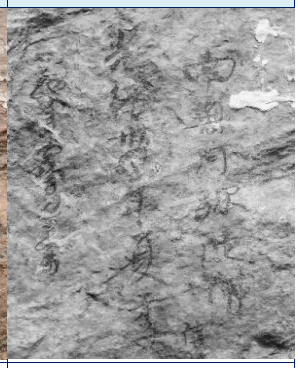
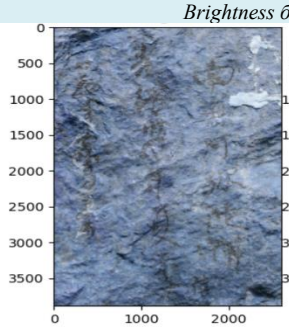
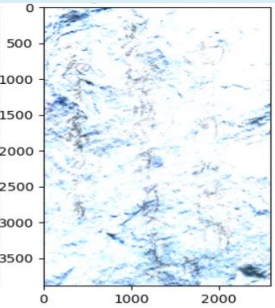
Зураг 1. Өнгөт хадны зургийг сайжруулах аргачлал

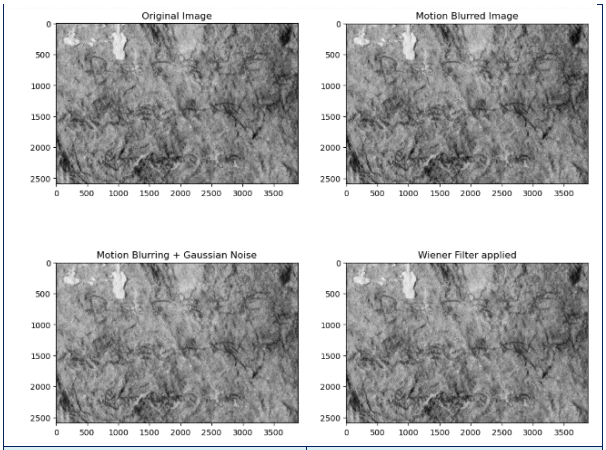
IV. ТУРШИЛТЫН ХЭСЭГ

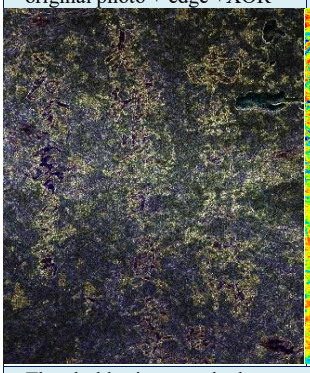
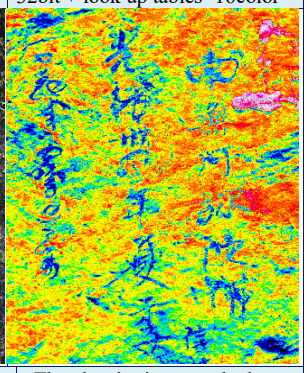
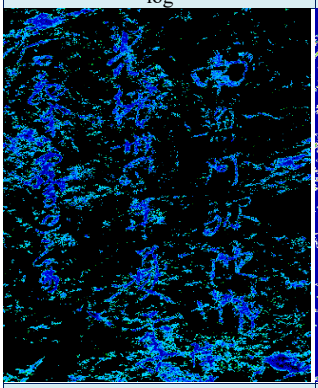
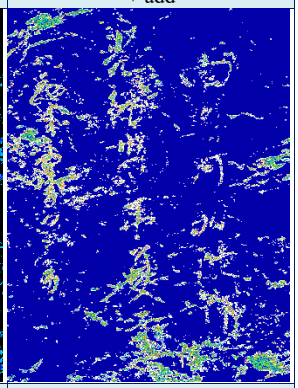
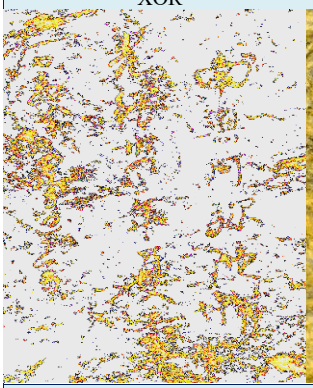
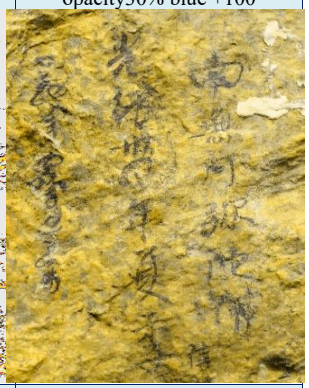
Туршилтын обьект болох Тайхар чулуу нь Архангай аймгийн Ихтамир сумын нутагт Цэцэрлэг хотоос 22 километрт Хойд Тамир голын захад байрладаг. Тайхар чулууны өндөр нь 18 метр бөгөөд

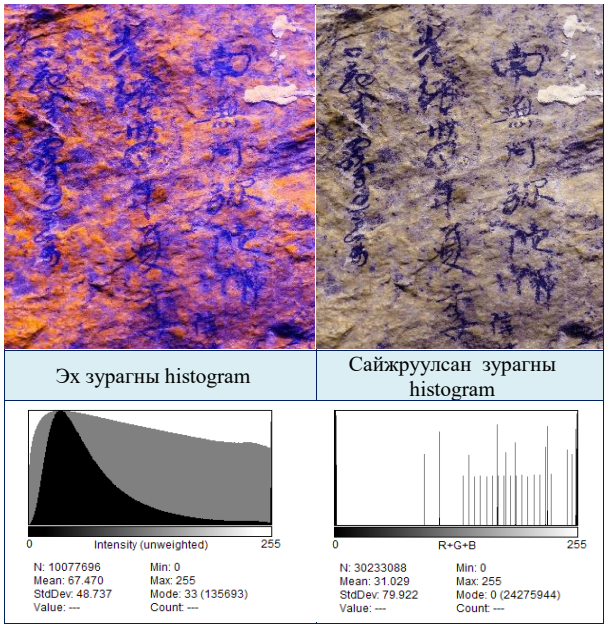
боржин чулуунаас бүтсэн цохио юм. Тамирын гол хойд эргийнхээ боржин хошууг олон сая жилийн турш эвдэн элээсээр дундуур нь тасалж энэ цохиог үүсгэжээ [27]. Тайхар чулуунд Түрэг, Уйгар, Монгол, Түвд, Манж, Хятад, Руни [28] зэрэг эрт эдүгээгийн олон улс үндэстний хэлээр бичсэн YII-XYII зууны үеийн 150 гаруй бичээс байдаг боловч он жил өнгөрөх тусам улам бүдгэрч баларч байна [29]. Бичээсийн 70 орчим нь Монгол үсгээр бичигдсэн байдаг [29]. Түүнчлэн хүний хорлон сүйтгэх үйл ажиллагааны үр дүнд соёлын өвийн бичиг дурсгал бүдгэрч хуурамч бичвэрүүдийг дээр нь бичиж сийлсэн байна. Тус судалгааны ажлын гол зорилго бол хуурамч болон соёлын өвийн бичвэрүүдийг ялгаж соёлын өвийн бичвэрийг сэргээн сайжруулах зорилготой юм. Өмнөх судалгааны ажлын хүрээнд Тайхар хадны дроноор авсан 400 зураг дээрээс хуурамч болон соёлын өвийн текстэн бичвэр илрүүлэх судалгааг гүн сургалтын аргаар хийсэн. Тус судалгааны ажлаар өмнө нь гаргаж авсан хадны зураг дээрх соёлын өвийн бичвэртэй хадны зургийн хэсгүүдийг сэргээн сайжруулахаар өнгөт зураг боловсруулах аргачлал дээр тулгуурлан улаан өнгөний суваг дээр ажиллаж тодорхой үр дүнд хүрсэн ба туршилтын зургуудыг 2 дугаар хүснэгтэд үзүүлсэн. *Үүнд:* Ирмэг илрүүлэлт, Гаусс болон Wiener шүүлтүүрийн аргууд, математикийн log, add ба xor функцууд, binary erode, dilate болон зургийн арын давхаргыг маск хийж текстийг салгаж авсны дараа эх зурагтай нэгтгэж өнгөний хүснэгтээр утга өгч зургийг сэргээн тодруулах арга техникүүдийг ашигласан.

ХҮСНЭГТ II. ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮНГИЙН ХЭСГЭЭС

Эх зураг 1	***Улаан өнгөний суваг***
	
Өнгөт зурагны Hue +33, Saturation +100 туршилт	Эх зураг+Ирмэг илрүүлэлт хийсэн байдал
Brightness ба contrast	
	
Gaussian ба Wiener Filter	

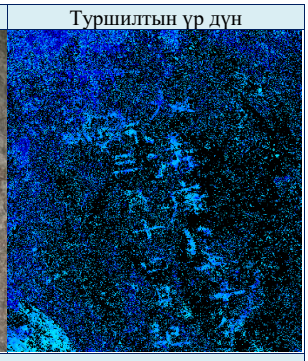
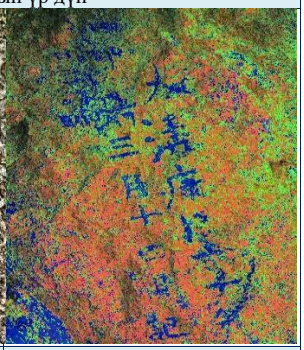
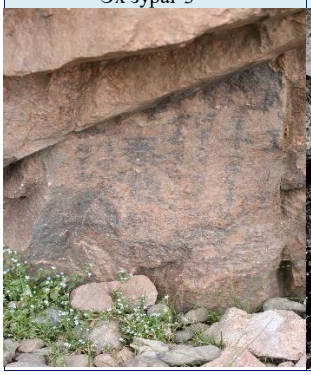


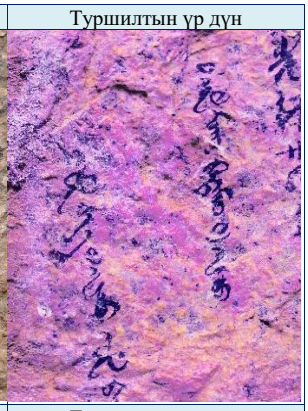
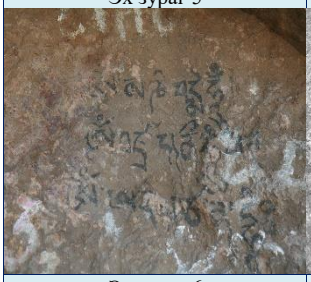
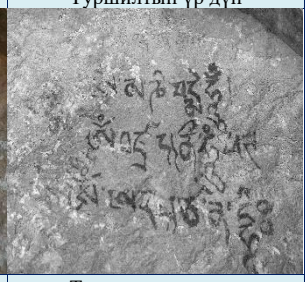
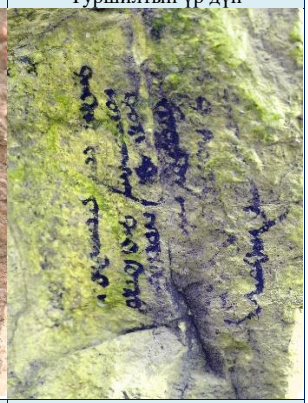
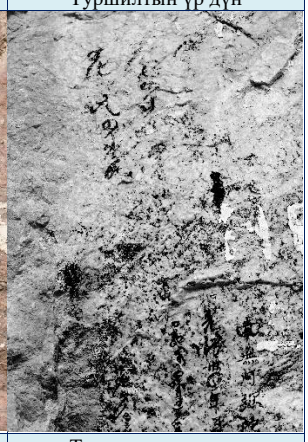
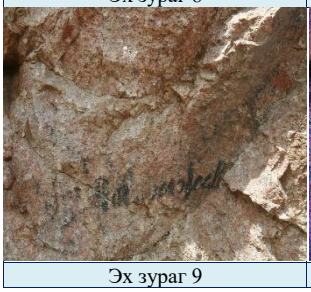
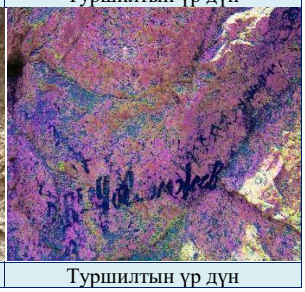
original photo + edge +XOR	32bit + look up tables=16color
	
Threshold + image calculator + log	Threshord + image calculator + add
	
Threshord + image calculator + XOR	Black and white layer opacity30% blue +100
	
Hue +33, Saturation +100 vibrance +100	Hue +33, Saturation +100 Black and white layer + opacity 33% blues +100

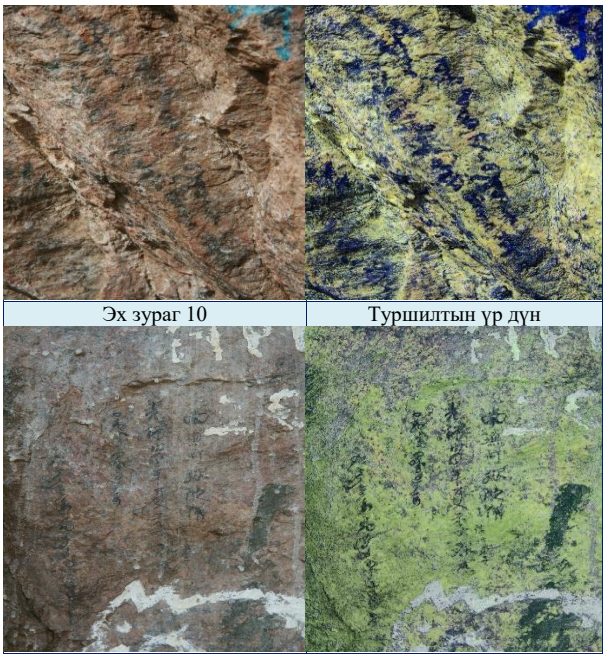


Бусад туршилт хийж буй зургуудын зарим үр дүнгийн хэсгүүдийг 3 дугаар хүснэгтэд үзүүлсэн.

ХҮСНЭГТ III. ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮНГИЙН ХЭСГЭЭС

Эх зураг 2	Туршилтын үр дүн
	
Туршилтын үр дүн	
	
Эх зураг 3	Туршилтын үр дүн
	

Эх зураг 4	Туршилтын үр дүн
	
Эх зураг 5	Туршилтын үр дүн
	
Эх зураг 6	Туршилтын үр дүн
	
Эх зураг 7	Туршилтын үр дүн
	
Эх зураг 8	Туршилтын үр дүн
	
Эх зураг 9	Туршилтын үр дүн



ДҮГНЭЛТ

Зураг боловсруулах аргуудын дэвшилтэд техникийг ашигласнаар соёлын өвийн дүрс зургийг сэргээн сайжруулах боломжтой юм. Тус судалгааны ажилд зургийн өнгөний суваг дээр боловсруулалт хийж Тайхар хадны соёлын өвийн бичвэрийн зургийг сэргээн сайжруулах ажлыг хийсэн туршилтын эхний үр дүнгүүдийн талаар танилцуулсан. Тайхар хадны соёлын өвийн бичвэр текстэн хэсгийн зургийг боловсруулахдаа өнгөний сувгуудаар задалж тус тусад нь боловсруулсан ба хамгийн сайн үр дүн өгсөн улаан өнгөний суваг дээр зургийн боловсруулалтыг хийсэн. Түүнчлэн өнгөтэй холбоотой тодорхой техникүүдийн тусламжтайгаар дүрсийг удирдах, сайжруулах боломжтой байдаг тул энэ үйл явцаар дамжуулан зургийн харагдах байдлыг илүү хянах, өнгөний тэнцвэрийн асуудлыг засах, тодорхой өнгийг сайжруулах, эсвэл тусдаа сувгууд дээр зорилтод зургийг сэргээн сайжруулах арга техникүүдийг ашигласан. Тус судалгааны ажлын туршилтын үр дүнгүүдийг сайжруулахын тулд үргэлжлүүлэн судалгааны ажлыг хийж байна.

***Талархал**: Судалгааны дата өгч хамтран ажиллаж буй Соёлын өвийн үндэсний төвийн Авран хамгаалах, эрсдэлийн судалгааны газрын дарга Г.Анхсанаа танд баярлалаа.*

НОМ ЗҮЙ

[1] https://mongoliaexpeditions.blogspot.com/2012/09/blog-post.html. url: https: //mongoliaexpeditions.blogspot.com /2012/09/blog-post.html.
[2] Хаданд мөнхөлсөн зан үйлл. 2018. url: http://www.baabar.mn/article/ khadand-munkhulsun-zan-uil.
[3] Мухар сүсэг, вандализм хоёулаа Монголд байна. Лам нар ч өөрсдөө соёлын өвийн мөн чанарыг мэдэхгүй сүү, тос өргөдөг. url: https://ikon.mn/ opinion/2yl9.
[4] G.Ganchimeg, History document image background noise and removal methods, International Journal of Knowledge Content Development & Technology, 2015, Vol 5, Issue 2, pp 11-24
[5] Rafael, C. Gonzalez and Richard E. Woods. “Digital Image Processing,” 2nd edition, Prentice Hall, 2002.
[6] Dileep MD, and A. Sreenivasa Murthy, “A Comparison Between Different Color Image Contrast Enhancement Algorithms,” Proceedings of IEEE ICETECT 2011, pp. 708-712.
[7] Hanumantharaju M.C., Ravishankar M., Rameshbabu D.R., and Ramchandran S., “Color Image Enhancement using Multiscale Retinex with Modified Color Restoration Technique,” Second International Conference on Emerging Applications of Information Tecnology 2011, pp. 93-97.
[8] A. Maurya and R. Tiwari, “A Novel Method of Image Restoration by using Different Types of Filtering Techniques”, International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), vol. 3, no. 4, pp. 124–129, 2014
[9] M. B. Kathale and A. S. Deshpande, “Review Paper On Image Restoration Using Statistical”, Ijret: International Journal of Research in Engineering and Technology, no. 1, pp. 2319–2322, 2016.
[10] K. Kaibiche, S. Saadi, D. Chikouche, and Z. Messali, “Restoration of Stained Old Manuscripts via a Hybrid Wavelet and Bilateral Filtering System,” , Journal of King Saud University - Computer and Information SciencesJ. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci., 2016
[11] R. F. Abbas, “Review on some methods used in image restoration,”, International Multidisciplinary Research Journal 2020 vol. 10, pp. 13–16, 2020.
[12] H. Deborah and A. M. Arymurthy, “Image Enhancement and Image Restoration for Old Document Image using Genetic Algorithm,” pp. 4–8, 2010, doi: 10.1109/ACT.2010.24.
[13] K. T. Knox, R. L. Easton, and W. Christens-barry, “Image Restoration of Damaged or Erased Manuscripts,” no. Eusipco, pp. 1–5, 2008.
[14] I. Publishing, “Sensors & Transducers Based on Total Variation Regularization Iterative Blind,” vol. 167, no.3, pp. 36–42, 2014.
[15] A. Proch´azka_, I. ˇSindel´aˇrov´a_, and J. Pt´aˇcek,“ Image De-Noising and Restoration Using Wavelet Transform”, 2016.
[16] Y. Li, Q. Fu, F. Ye, and Q. Wu, “Blind Image Restoration via the Integration of Stochastic and Deterministic Methods”, Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering vol. 2014, no. 3, 2014
[17] P. Bannigidad, Chandrashekar Gudada “Restoration of Degraded Kannada Handwritten Paper Inscriptions (Hastaprati) using Image Enhancement Techniques”, International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI) 2017
[18] E. Lavina, “Research Paper on Image Restoration using Decision Based Filtering Techniques”, International Journal of Engineering Development and Research vol. 4, no. 3, pp. 477–481, 2016
[19] Z. Chunxi, “The Research on Image Restoration Algorithm Based on Improved Total Variation Model,”International Journal of Engineering Development and Research (www.ijedr.org),pp. 964–967, 2013.
[20] Jianfang Cao , Yanfei Li, Qi Zhang and Hongyan Cui, “Restoration of an ancient
[21] Gabriel Thomas, Daniel Flores-Tapia, and Stephen Pistorius, “Histogram Specification: A Fast and Flexible Method to Process Digital Images,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 60, no. 5, May 2011, pp.1565-1578
[22] Mohd Firdaus Zakaria, Haidi Ibrahim, and Shahrel Azmin Suandi, “A Review: Image Compensation Techniques,”2nd International Conference on Computer Engineering and Technology 2010, vol. 7, pp. 404-408.
[23] Nyamlkhagva Sengee, Altansukh Sengee, and Heung-Kook Choi, “Image Contrast Enhancement using Bi-Histogram Equalization with Neighborhood Metrics,” IEEE Trans.Consumer Electronics, vol.56, no. 4, pp. 2727-2734, Nov 2010.
[24] Youhei Terai, Tomio Goto, Satoshi Hirano, and Masaru Sakuari, “Color Image Contrast Enhanncement by Retinex Model”, 13th IEEE International Symposium on Consumer Electronics 2009, pp. 392-393.
[25] In-su Jang, Tae-Hyoung Lee, Ho-Gun Ha, and Yeong-Ho Ha, “Adaptive Color Enhancement Based on Multi-Scaled Retinex using Local Contrast of the Input Image” 2011.
[26] Li He, Ling Luo, and Jin Shang, “An Image Enhancement Algorithm Based Retinex Theory,” International Workshop on Education Technology and Computer Science 2009, pp. 350-352.
[27] https://www.myarkhangai.mn/a/123, Үзсэн огноо 2023/12/01
[28] https://bitig.kz/pdf/taihar.pdf, Үзсэн огноо 2023/11/01
[29] http://nutag.mn/index.php?newsid=3172, Үзсэн 2023/11/05

Чөлөөт орон зайн оптик холбооны сүлжээнд ашиглагдах хугацааны хуваалт бүхий орбитал өнцгийн моментум солих модуляци

1st Адъяагийн Мөнхбаяр
Холбооны салбар
Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль, ШУТИС
Улаанбаатар, Монгол улс
a_munkhbayar@must.edu.mn

2nd Одбаярын Ням-Эрдэнэ
Үйл ажиллагааны газар
Скайтел ХХК
Улаанбаатар, Монгол улс
nyamerdene.o@skytel.mn

***Abstract*— Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд бид чөлөөт орон зайн оптик холбооны сүлжээнд цаг агаарын нөхцөлөөс улбаалан үүсэж буй турбуленсийн алдагдлыг багасгахад чиглэсэн модуляцийн аргыг танилцуулж байгаа бөгөөд энэхүү аргыг хугацааны хуваарилалт бүхий Орбитал өнцгийн моментум солих модуляци хэмээн нэрлэсэн. Уг арга нь өмнө хэрэгжүүлэгдэж байсан 8 түвшинт Орбитал өнцгийн моментум солих модуляцийн сайжруулсан хувилбар болон хэрэгжүүлэгдэж байгаа юм.**

Keywords—Орбитал өнцгийн моментум, Чөлөөт орон зайн оптик холбоо, 8PSK

I. Удиртгал

Мэдээлэл харилцаа холбооны салбарын үсрэнгүй хөгжил нь өргөн зурвасын өндөр хурдны хэрэгцээг нэмэгдүүлж байгаа бөгөөд утасгүй сүлжээний багтаамжийг ихэсгэх шаардлага тулгараад байгаа билээ. Чөлөөт орон зайн оптик холбооны сүлжээ нь цэгээс цэгт холболт бүхий утасгүй өргөн зурвасын сүлжээг хангах технологиудын нэг бөгөөд энэ нь сүүлийн жилүүдэд эрдэмтдийн болон судлаачдын анхаарлыг татаж буй топ сэдвүүдэд зайлшгүй багтах болсон билээ. Чөлөөт орон зайн оптик холбоо нь лицензгүй, өндөр хурд өргөн зурвасын боломж, суурилуулахад хялбар зэрэг давуу байдлуудыг бий болгодог нь хандалтын сүлжээний шилдэг шийдлүүдийн нэг төдийгүй эцсийн хэрэглэгчид сүлжээг хүргэх боломжгүй байршлууд болон оптик дамжуулах сүлжээнд гэмтэл гарсан, мөн оптик кабель суурилуулах боломжгүй газруудад нөөц болон үндсэн сүлжээг зохион байгуулахад өргөнөөр ашиглагдаж байгаа. Энэхүү технологи нь радио давтамжийн оронд өндөр давтамж бүхий гэрлэн дохиог зөөгч дохионд ашигладаг нь цэгээс цэгт холболтод ашиглахад тохиромжтой. Гэрлэн дохио нь чөлөөт орон зайгаар дамжих үед орчны болон цаг агаарын нөлөөллөөс үүсэх хэд хэдэн сорилтуудтай нүүр тулдаг нь гэрлийн дохионы шингээлт, сарнилт, агаарын хуйлрал , долгион тархалтын унтралт зэрэг болно. Сүүлийн жилүүдэд Орбитал Өнцгийн Моментум (ОӨМ) бүхий гэрлэн дохиог Чөлөөт орон зайн оптик холбооны сүлжээнд ашиглах явдал ихсэж байгаа бөгөөд энэ нь сүлжээний багтаамжийг нэмэгдүүлэхэд ихээхэн нөлөөллийг үзүүлж байгаа болно. Агаарын хуйлрал буюу турбуленс нь тухайн чөлөөт орон зайгаар тархаж буй ОӨМ бүхий гэрлэн дохионы эрчимжилтийн хуваарилалт болон орбитал фазын өөрчлөлтүүдийг бий болгож байгаа нь судлаачдын анхаарлыг татсан сэдвүүдийн нэг болоод байгаа билээ. Бид өмнөх судалгааны ажилдаа [1] турбуленсийн нөлөөллийг багасгах 8-ary OAM shift-keying модуляцийн аргыг танилцуулсан. Энэ арга нь турбуленсийн нөлөөллийг багасгаж байсан хэдий ч ОӨМ бүхий дохио хоорондын интерференцийн хамаарал их байсан сул талыг бий болгож байсан. Иймд бид энэхүү судалгааны ажилдаа өмнөх аргын сул дутагдалтай талыг сайжруулан хөгжүүлэлт хийн сайжруулсан. Бид шинэ аргадаа өмнөхтэй адилаар 8PSK-шошго таних хэлхээг [2] ашигласан бөгөөд гаралтын 8 утгыг 8 өөр ОӨМ бүхий дохионд хувиргаж байсныг 3 болгон цөөрүүлснээр интерференцийг багасгаж чадсан.

II. ОӨМ- солих модуляци дахь хугацааны хуваалт

Энэхүү судалгааны үндсэн суурь нь 8PSK модуляци бүхий дохиог өөр өөр орбитал фазын төлөв бүхий ОӨМ-тай дохионы тэмдэгт бүрийн утгыг дамжуулахад суурилж байгаа. 8PSK модуляцийн хувьд тэмдэгт бүр нь 3 битийн үргэлжлэх хугацаатай байх бөгөөд зөөгч хэлбэлзэл нь тухайн 3 битийн дундах битийн хугацаанд өөрийн дохионы фазын төлөвт харгалзан хэлбэржсэн дохио байдаг. Өмнөх судалгаанд 8 тэмдэгтийн утга бүрд харгалзсан 8 өөр өөр орбитал фаз бүхий ОӨМ дохиог дамжуулж байсан бол энэхүү судалгаандаа өөр хоорондоо ялгаатай 3 дохиог ашиглаж байгаа. Үүнийг хэрэгжүүлэхийн тулд зөөгч хэлбэлзэл дамжих хугацааг тэмдэгтийн 3 битийн байрлал тус бүрд 3 өөр ОӨМ дохиог харгалзуулан дамжуулж байгаа. Зураг 1-д өмнөх болон одоогийн шинэ аргуудын констелейшн диаграм болон ОӨМ дохионы хамаарлыг дүрслэн харуулсан.

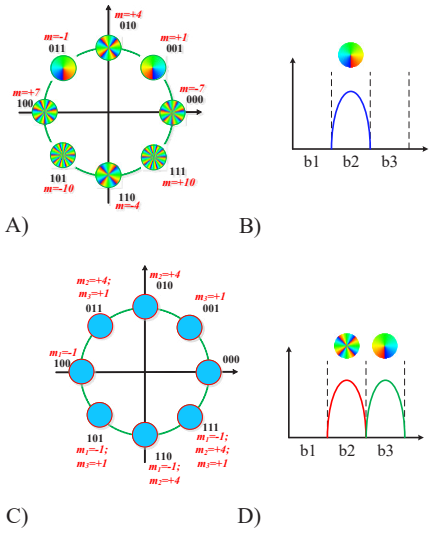


Fig. 1. 8OAM-SK болон хугацааны хуваалт бүхий OAM-SK аргуудын констелейшн диаграм болон ОӨМ дохионы хамаарал

Зураг 1A,B-д 8 өөр өөр орбитал фаз бүхий ОӨМ дохиог дамжуулж буй 8OAM-SK аргын фазын болон дохионы хуваарилалтыг дүрслэн харуулсан. Энэ аргын үед тэмдэгтийн тоон цуваан 011 утгат харгалзах ОӨМ(m=-1) бүхий дохио b2 битийн хугацаанд дамжуулагдаж байгаа нь харагдаж байна. Ашиглагдаж буй ОӨМ бүхий дохионы тоо 8 ширхэг байна. Харин Зураг 1C,D-д үзүүлсэн аргын хувьд 011 гэсэн тоон битийн 1 гэсэн утгуудад харгалзах b2, b3 гэсэн битүүдийн хугацаанд m=4 болон m=-1 гэсэн ОӨМ дохиог харгалзуулан дамжуулж байна. Энэ аргын хувьд тухайн тэмдэгтийн битийн утгуудад 3 өөр өөр ОӨМ дохиог харгалзуулж байгаа бөгөөд битийн утга 1 бол тухайн битэд харгалзах ОӨМ дохиог дамжуулж байгаа. Энгэснээр системд ашиглагдаж байгаа ОӨМ дохионы тоо багасах бөгөөд энэ нь дохио хоорондын интерференцийг багасгах ач холбогдолтой болсон.

III. Симуляци болон үр дүн

Уг аргыг бид Optisystem 18 симуляцийн програм дээр туршин гүйцэтгэсэн бөгөөд симуляцийн загварчлалын хэлхээг зураг 2-т дүрслэн үзүүллээ.

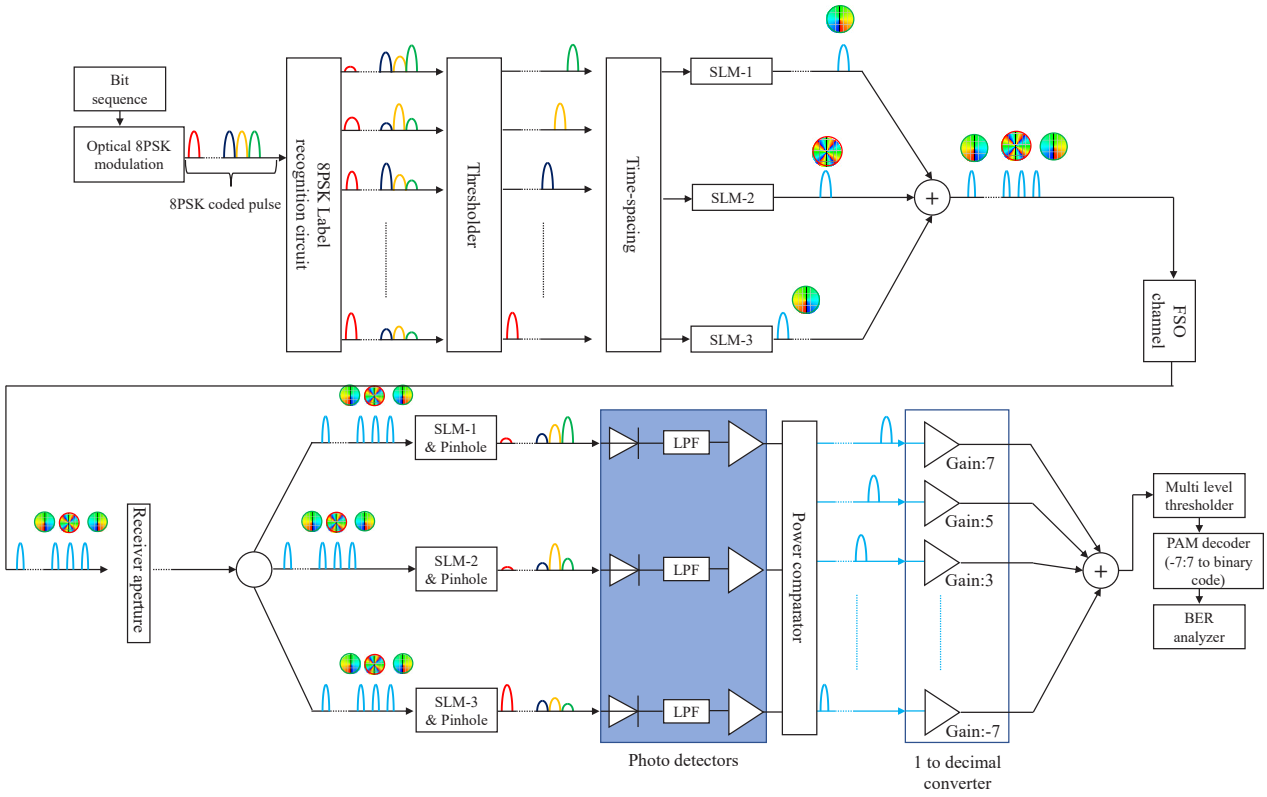


Fig. 2. Симуляцийн схематик хэлхээ

Симуляцийн хувьд битийн хурд нь 120Гб/с, тэмдэгтийн хурд 40ГТ/с бөгөөд 8PSK шошго таних хэлхээг анхдагч 8PSK дохионоос тэмдэгтийн утга бүрд харгалзах гаралтуудад дохиог гаргахын тулд ашигласан. 8 гаралт бүр тэмдэгт бүрд тус тусдаа харгалзан дохионы түвшний хамгийн их утгаа авч байгаа.Үүний дараа тайрагч төхөөрөмжийн тусламжтайгаар гаралтын тэмдэгтийн утгаас нам байх утгуудыг дарж зөвхөн хамгийн өндөр байх буюу тухайн гаралтад харгалзах тэмдэгтийг ялган үлдээж байгаа. Энгэснээр гаралт бүрийг цэвэр тэмдэгтийн утгуудаар л дохиог нэвтрүүлэх боломж бүрдэнэ. Дараагийн элемент бол саатуулах төхөөрөмжүүдээс бүрдэх хугацааны хуваалтын блок байх бөгөөд энэ хэсэгт тэмдэгтийн битийн 1 байх битүүдийн байрлалд гэрлэн дохионы импульсууд орж ирнэ. Үүний дараа харгалзах ОӨМ-тай дохионд хувиргах SLM (spatial light modulator) төхөөрөмжөөр гэрлэн дохионы импульсууд ОӨМ дохио болон хувиргагдана. Үүний дараачаар чөлөөт орон зайн оптик холбооны сүлжээгээр дамжин хүлээн авах талд анхдагч дохиог нөхөн сэргээнэ. ОӨМ дохио (Laguerre Gaussian beam ашигласан) болон эрчимжилтийн хамаарлын хугацааны муж дах дүрслэлийг зураг 3-т үзүүлэв.

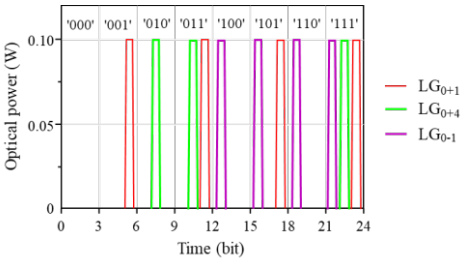


Fig. 3. LG дохио болон эрчимжилтийн хамаарал

Зурагт үзүүлснээр 3 ОӨМ дохионы комбинац тэмдэгт бүрд харгалзана. Жишээ нь нэг тэмдэгтийн хугацаанд дохио орж ирэхгүй бол уг тэмдэгтийн 3 битийн 000 байна. Харин 3 ОӨМ дохио тэмдэгтийн битийн байрлалууд тус бүр орж ирвэл үүнийг 111 байна гэж таних болно.

Хүлээн авах талд фото детектор, нам давтамжийн шүүр, цахилгаан өсгөгч зэргээс бүрдсэн оптик-цахилгаан хувиргах хэлхээг ашиглаж байгаа бөгөөд чадлын харьцуулагч төхөөрөмжөөр чадлыг харьцуулж ОӨМ

дохиог таньж үүний дараачаар тоон дохионы боловсруулалтын хэлхээг анхдагч тоон цуваг сэргээх болно. Өмнөх болон шинэ аргуудын симуляцийн үр дүнгийн харьцуулалтыг зураг 4-т үзүүлэв.

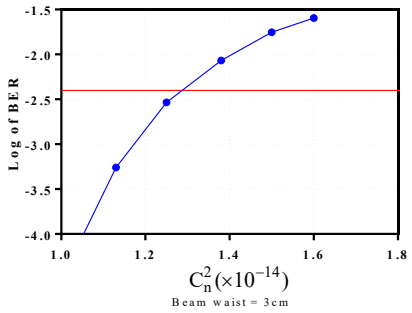


Fig. 4. 8PSK-SK аргын

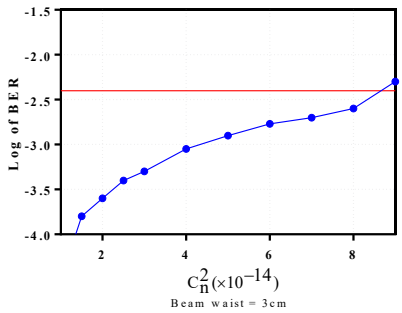


Fig. 5. Симуляцийн үр дүн

Симуляцийн үр дүнд чөлөөт орон зайн оптик холбооны сүлжээний гол үзүүлэлт болох агаарын хуйлралд тэсвэртэй байдлыг бит алдааны магадлалаар үнэлэхийг зорьсон. Агаарын хуйлрал нь маш нарийн ширхэг бүхий тоосонцруудыг үүсгэх бөгөөд энэ нь агаар мандалд тархаж буй гэрлэн дохионы эрчимжилт болон фазад нөлөөлж байдаг. Хуйлралын хүчтэй эсвэл сул эсэх хэмжээг хугарлын индекс C параметрээр тодорхойлох бөгөөд зураг 4-т өмнөх арга(8PSK-SK)-н, зураг 5-д шинэ арга болох хугацааны хуваалттай 8OAM-SK модуляци бүхий системийн бит алдааны магадлалыг тус параметртээс хамааруулан тус тус дүрслэн харуулсан байна. Зураг 4-т үзүүлснээр өмнөх аргын үед зөвшөөрөгдөх бит алдааны магадлал нь $C=1.3x10^{-14}$ байгаа нь харагдаж байна. Харин зураг 5-д үзүүлснээр шинэ аргын хувьд $8.5x10^{-14}$ байгаа нь хуучин аргаас ойролцоогоор 6 дахин их буюу агаарын хуйлралд илүү тэсвэртэй болохыг харуулж байна.

IV. Дүгнэлт

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд хугацааны хуваалт бүхий ОӨМ солих модуляцийг чөлөөт орон зайн оптик холбооны сүлжээнд нэвтрүүлэхийг зорин симуляцийг хийн гүйцэтгэсэн. Энэхүү арга өмнө боловсруулсан 8OAM-SK модуляцийн сайжруулсан хувилбар бөгөөд симуляцийн үр дүнд цөөн тооны ОӨМ бүхий байх нь тэдгээр хоорондын интерференцийг багасган улмаар агаарын хуйлралд илүү тэсвэртэй байх нь бит алдааны магадлалын үнэлгээнээс харагдаж байна.

V. References

[1] Munkhbayar Adiya, Hiroki Kishikawa, Nobuo Goto, and Ganbold Shagdar “8-ary orbital angular momentum shift keying for free-space optical communication system” Opt. Eng. 59(2), 026102 (2020), doi: 10.1117/1.OE.59.2.026102

[2] M.Adiya, N.Odbayar, H.Kishikawa, N.Goto and G.Shagdar, “Waveguide-Type Optical Circuits for Recognition of Optical 8PSK-Coded Labels” Jap.J.Appl.Phys .,Vol58, (2019).

Гүн сургалтын арга ашиглан илтгэгчээс хамааралгүй дуу хоолой хувиргах систем

Э.Адъяабат
МТЭС
МУИС
Улаанбаатар, Монгол улс
adiyabat.e@num.edu.mn

Т.Отгонбаатар
МТЭС
МУИС
Улаанбаатар, Монгол улс
t.otgonbaatar11@gmail.com

М.Номин-Эрдэнэ
МТЭС
МУИС
Улаанбаатар, Монгол улс
nominerdene.me@gmail.com

Д.Сумъяаханд
МТЭС
МУИС
Улаанбаатар, Монгол улс
sumiyakhand@num.edu.mn

***Хураангуй*— Хиймэл оюун ухаан хурдацтайгаар хөгжиж түүнийг дагаад хүмүүс, тэр дундаа дэлхийн олон хүн ам хэрэглэдэг Англи гэх мэт түгээмэл шиглагддаг хэлээр хүн машинтай харьцах боломж хангалттай түвшинд хөгжөөд байгаа бол Монгол хэлний хувьд бусад хэлтэй харьцуулахад энэ нь хязгаарлагдмал байна. Тиймээс бид энэхүү ажлын хүрээнд монгол хэлний төхөөрөмжтэй харилцах эхний шат болох Монгол хэлээр ярьсан яриаг илтгэгчээс хамааралгүй текстэд хөрвүүлэх, түүнийг өөр нэгэн зорилтот хоолойд хувиргах ажлыг Whisper болон MMS моделийн тусламжтай хийсэн. Энэхүү судалгааны ажлын үр дүнд суурилаад Монгол хэлээр ярьж буй яриаг текстэнд хөрвүүлэх программ, цаашлаад Монгол хэлдээр ажиллах боломжтой харилцан ярианы системийг хөгжүүлэх боломжтой.**

Түлхүүр үгс*— *Whisper, MMS, TTS, STT

I. Удиртгал

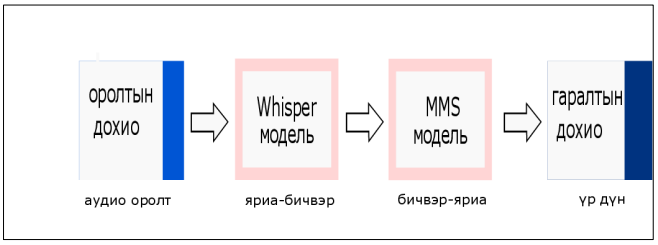
Бидний өдөр тутмын амьдралын хэв маягийг хялбарчлах аргын нэг болох яриагаараа төхөөрөмжтэй харьцах боломж дэлхийн олон хэл дээр нээлттэй болсоор байгаа ч энэ нь одоогийн байдлаар Монгол хэл дээр хараахан хангалттай хэмжээнд ашиглагдаж чадахгүй байна. Хэрэв бид бүгд Англи хэлийг эсвэл дэлхийн түгээмэл ашиглагддаг Хятад, Герман, франц, Солонгос гэх мэт хэлнүүдээс нэгийг нь эх хэл шигээ мэддэг ашигладаг байсан бол бидний амьдрал, ухаалаг төхөөрөмжүүдтэйгээ харилцах харилцаа өнөөгийн бидний хэрэглээний түвшнээс илүү боловсронгуй, тэгш хүртээмжтэй байдал ч тэр хэрээр сайн байх байсан. Гэвч нэг асуудал урган гарах нь эх хэлний дархлаа муудах, цаашлаад монгол хэл соёл устах аюулыг дагуулж болзошгүй. Тиймээс хэдий хүн бүр англи хэлийг эх хэл шигээ мэддэг ойлгодог байсан ч монгол хэл дээр ашиглаж болохуйц харилцан ярианы систем хэрэглэгчийн туслах үүсгэх нь бидний хэрэгцээ шаардлагад нийцэхүйц асуудал юм.

Энэ шаардлагын дагуу харилцан ярианы системийг үүсгэхийн тулд бид нэн тэргүүнд хүний яриаг бичвэр болгох, эргүүлээд бичвэрийг яриа болгох хэрэгтэй бөгөөд энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд бид ярианаас бичвэрт хөрвүүлэх Whisper модель, бичвэрээс ярианд хөрвүүлэх MMS моделийн TTS-н монгол хэл дээрх хэрэгжүүлэлтүүдийг тус тус туршин үзсэн.

Whisper болон MMS-TTS моделийг шууд ашиглах нь хэд хэдэн сул талуудтай. Үүнд whisper нь параметрээрээ ялгаатай 5 төрлийн модельтой. Их параметртэй модель нь үг танилтын хувьд сайн ажиллах ч удаан ажилдаг тул real-time дээр ажиллуулахад зохимжгүй, харин бага параметртэй модель нь хурдан ажиллах ч үг танилт муу мөн шуугианд хэт мэдрэмтгий байдаг. MMS модель нь хаалттай байдаг тул нэмж хөгжүүлэх боломжгүй.

II. Арга зүй

Дуу хоолой хөрвүүлэх систем нь үндсэн гурван үе шатаас бүрдэнэ . Үүнд аудио файлыг оролтод бэлтгэн оруулах, Whisper моделийг ажиллуулах, whisper моделийн гаралтыг MMS-н оролтод өгч MMS моделийг ажиллуулах гэсэн дарааллын дагуу ажиллана. Зураг 1-д илтгэгчээс хамааралгүй дуу хоолой хувиргах системийн ерөнхий ажиллах дарааллыг блок диаграммаар харуулав.



Зураг 1. Дуу хоолой хөрвүүлэх дараалал

A. Аудио файлыг оролтод бэлтгэх

Илтгэгчийн яриаг Whisper модельд тохируулан 30 секундээр таслах эсвэл дүүргэн, 16кГц-н давтамжтай түүвэрлэнэ. Параметр тохируулах: Whisper загварыг сургахад python хэлний Датасет санг ашиглан датагаа сонгодог. Датасетыг тохируулахдаа хэлээ сонгодог бөгөөд монгол хэл дээр бэлтгэгдсэн дата дээр сургах бол функцийн аргумент нь “mn” гэж зааж өгдөг. Монгол хэл дээр бэлтгэгдсэн Common_voice_11_0 нэртэй 10 мянган цагийн дата байдаг. Энэхүү датасетэд “өргөлт”,” нас”, “хүйс” гэх мэт арван нэгэн feature байдгаас “аудио” болон ”өгүүлбэр” гэсэн 2 feature-ийг ашигладаг. Өмнө нь сургасан модель буюу checkpoint-уудыг ашиглан дахин сургах боломжтой. Үүнийг fine tune гэж нэрэлдэг. Янз бүрийн түүвэрлэлтийн хурдтай аудио дохио нь маш өөр тархалттай байдаг тул аудио оролтын түүвэрлэлтийн хурдыг загварынхаа хүлээгдэж буй түүвэрлэлтийн хурдтай тааруулах нь маш чухал юм. Аудио зөвхөн зөв түүвэрлэлтийн хурдаар боловсруулах ёстой. Whisper Feature Extractor нь 16 кГц-ийн түүвэрлэлтийн хурдтай аудио оролтыг хүлээж байгаа тул оролтыг энэ утгатай тааруулдаг. Training хийхэд хэрэглэгдэх бүх параметрүүдийг тодорхойлох.

“output_dir” : Загварын жинг хадгалах зам. Энэ нь мөн Hugging Face Hub дээрх хадгалах газрын нэр байх болно .

“generation_max_length” : Үнэлгээний явцад авторегрессив үүсгэх токенуудын хамгийн уртыг токенийн тоо.

“save_steps”: Сургалтын явцад завсрын checkpoint-уудыг хадгалагдаж, сургалтын алхам бүрийг Hub-д асинхрон байдлаар байршуулна.

“eval_steps”: Сургалтын явцад завсрын checkpoint-уудийн үнэлгээг сургалтын үе шат бүрд хийнэ

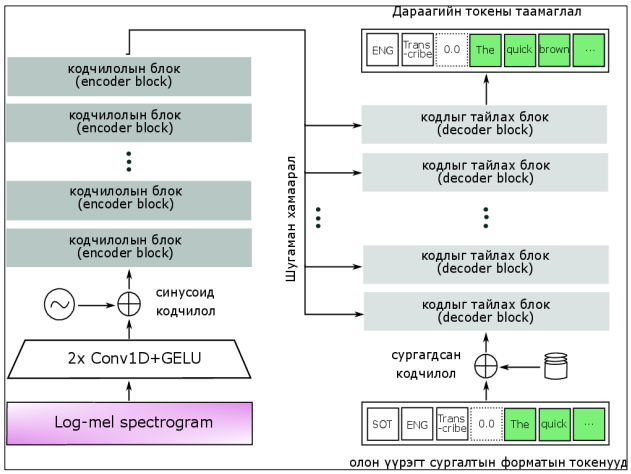
B. Яриаг текстэд хөрвүүлэх Whisper модель

Уг модель нь 2022 оны 9-р сард OpenAI-с Алек Рэдфорд тэргүүтэй судлаачдын олон нийтэд нээлттэй гаргасан ярианаас бичвэрт хөрвүүлэх модель бөгөөд 96 орны хэл дээр ажиллах боломжтой нийт 860000 цагийн ярианы өгөгдөл дээр сургагдсан модель юм. Уг өгөгдлийн 1/3 нь англи хэл дээрх өгөгдөл бол үлдсэн 117000 гаруй цагийн өгөгдөл нь бусад 95 хэлний ярианы өгөгдөл тус тус багтана. Үүнээс Монгол хэл дахь өгөгдөл нь үүний 10.1 цагийг хамаардаг. Whisperийн моделиуд болон тэдгээртэй харгалзах монгол хэлний WER(үгийн алдааны түвшин) BELU (Bilingual Evaluation Understudy)-н утгыг хүснэгт 1-д харуулсан. WER-н утга бага BELU-н утга их байх тусмаа бид илүү сайн үр дүнд хүрэх ба монгол хэлний хувьд бусад хэлний WER, BELU-н утгатай харьцуулахад сайнгүй үзүүлэлттэй байна. [1]

ХҮСНЭГТ I. WHISPERИЙН 5 МОДЕЛЬ БОЛОН МОНГОЛ ХЭЛ ДЭЭРХ WER, BELU УТГА

Модель	layers	width	par	WER	BELU
tiny	4	384	39M	113.7	0.1
base	6	512	74M	125.7	0.1
small	12	768	244M	144.2	0.5
medium	24	1024	769M	103.7	1
large	32	1280	1550M	106.2	1

Зураг 2-д Whisper моделийн ерөнхий ажиллагааны зарчмыг харуулсан [1] бөгөөд энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд үүнийг үндсэн гурван алхамд хуваан тайлбарласан.



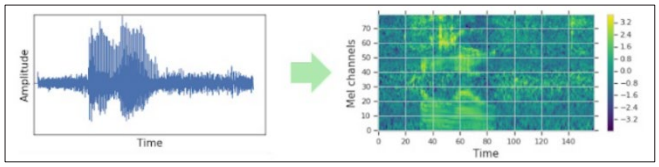
Зураг 2. Whisper model architecture (sequence to sequence mapping)

Үүнд:

1) Аудио оролтыг урьдчилан боловсруулах буюу feature extractor: Whisper Feature Extractor нь үндсэндээ дараах хоёр үйлдлийг гүйцэтгэдэг.

- Эхлээд бүх түүвэрлэлтийн оролтын урт 30 секунд байхаар дууны түүвэрлэлтийн багцыг дүүргэж эсвэл тасалж өгдөг.
- Whisper Feature Extractor гүйцэтгэдэг хоёр дахь үйлдэл нь дүүргэж эсвэл тасалсан аудио массивыг log-Mel спектрограмм болгон хувиргах

Эдгээр спектрограммууд нь Фурье хувиргалттай адил дохионы давтамжийн дүрслэл бөгөөд (Жишээ спектрограммыг Зураг 3-т харуулав) үүнд у-тэнхлэгт тодорхой давтамжид тохирох Мел сувгууд, х- тэнхлэгт хугацааг харуулсан байна. Log-Mel спектрограмм нь Whisper моделийн оролтын утга болно.



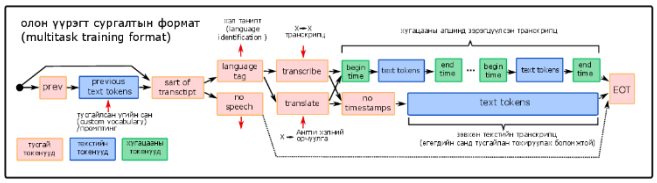
Зураг 2. Audio feature extract

2) Sequence-to-sequence mapping хийх

Sequence to sequence модель нь хоёр үндсэн бүрэлдэхүүн хэсгийг агуулдаг нь encoder болон decoder-н хэсэг юм. (Зураг 2 Шугаман хамаарал).

- Encoder: Энэ нь оролтын дохионоос гаргаж авсан спектрограмаас тогтмол хэмжээтэй контест векторыг гаргана
- Decoder: Энэ нь encoder-с харгалзах контекст векторыг авч токенизаторт дамжуулах замаар ажиллана

3) Моделийн гаралтыг текст формат руу боловсруулах токенизатор: Whisper модель нь токен id дараалыг гаргадаг. Токенизатор нь эдгээр токен id тус бүрийг харгалзах текстийн мөрөнд буулган, аргументед нь урьдчилан бэлтгэсэн токенизатор болон хэл, хийх ажлын төрлийг зааж өнгө. Үүнийг зураг 4-т блок диаграммаар харуулав.[1]

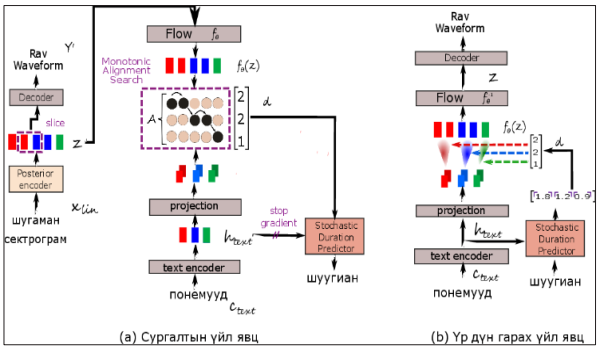


Зураг 3. Whisper model architecture (multitask training format)

C. Whisper моделийн гаралтаас бичвэрийг авч, бичвэрийг ярианд хөрвүүлэх MMS модель

Meta AI-с Винель Пратап тэргүүтэй судлаачид 2023 оны 5-р сарын үед уг моделийн нээлттэйгээр олон нийтэд дэлгэсэн бөгөөд тухайн үеийн технологи нь зуу орчим хэлээр хязгаарлагдаж байсан нь дэлхий даяар ярьдаг 7000 гаруй хэлний багахан хэсэг юм. Massively Multilingual Speech (MMS) төсөл нь хийх үйлдлээс хамааран дэмжигдсэн хэлний тоог 10-40 дахин нэмэгдүүлснээрээ онцлогтой.[2] Монгол хэлний хувьд MMS моделийн гурван үйлдэл тус бүр дээр ажиллах боломжтой . MMS загвар нь Монгол хэлний хувьд Халх монгол болон Өвөр монгол гэсэн хоёр төрлийн хоолойгоор сургагдсан. MMS-н Text-to-Speech (TTS) загвар нь VITS дээр суурилдаг бөгөөд энэ нь хамгийн сүүлийн үеийн TTS арга барилуудын нэг юм. VITS нь текстийн дараалаас ярианы дохионы хэлбэрийг урьдчилан таамаглах байдлаар

ажилладаг ба үүнийг оролтын текст дээр үндэслэн аудио шинж чанарыг тооцдог variational autoencoder (VAE) гэж үзэж болно [6] Зураг 5-д MMS моделийн сургах үйл явц болон үр дүнг харуулав.[3]



Зураг 4. Системийн диаграмм (а) сургах үйл явц ба (б) үр дүн

"VITS" нь VAE (Variational Autoencoder)-ийн нэг төрөл гэж ойлгож болох бөгөөд Энэхүү загварын зорилго нь өгөгдлийг log-likelihood-д ойролцоо вариацын доод хязгаар evidence lower bound (ELBO)-г нэмэгдүүлэх явдал юм. Энэ нь ялангуяа marginal log-likelihood-г нарийн тооцоолох үед ашигтай байдаг (Тэгшитгэл. 1).

$$\log p_\theta(x \mid c) \geq \mathbb{E}_{q_\phi(z|x)}\left[\log p_\theta(x \mid z) - \log \frac{q_\phi(z \mid x)}{p_\theta(z \mid c)}\right] \quad (1)$$

Энд: pθ (z | c) нь z өгөгдсөн c, pθ (x | z) нь x өгөгдлийн цэгийн магадлалын функц, qφ(z | x) нь арын тархалтыг илэрхийлнэ. Сургалтын алдаа нь сөрөг ELBO бөгөөд үүнийг− log pθ (x | z) ба KL divergence log qφ(z | x)−-ийн сэргээлтийн алдааны нийлбэр гэж үзэж болно. log pθ (z | c),энд z ∼ qφ(z | x).
Оролтын текст болон зорилтот ярианы хоорондох A-г тооцоолохын тулд f-ээр параметржүүлсэн өгөгдлийн магадлалыг нэмэгдүүлэх зэргэцүүлэлтийг хайх арга болох Monotonic Alignment Search (MAS)-ийг ашигласан. (Тэгшитгэл 2) [4], [5]:

$$A = \arg\max_{\hat{A}} \log p\left(x \mid c_{\text{text}}, \hat{A}\right)$$
$$= \arg\max_{\hat{A}} \log N\left(f(x); \mu\left(c_{\text{text}}, \hat{A}\right), \sigma\left(c_{\text{text}}, \hat{A}\right)\right)] \quad (2)$$

III. Хэрэгжүүлэлт ба үр дүн

A. *Whisper моделийн хэрэгжүүлэлт*

Whisper моделийн tiny small large гэсэн гурван загвар загвар тус бүрт 10 хүнээр 15-н секундийн ялгаатай өгүүлбэрүүдийг хэлүүлэхэд tiny нь шуугиан багатай орчинд ч үг танилт бусадтайгаа харьцуулахад муу, алдах нь олон ч маш хурдан хариу гаргаж байсан бол small нь шуугиангүй орчинд бараг алдахгүй, хугацааны хувьд tiny-тай харьцуулахад удаан ч шуугиангүй орчинд алдах үгийн тоог хугацаатай харьцуулан үзвэл харьцангуй сайн байсан бол large нь хэдий бусадтайгаа харьцуулахад хугацааны хувьд маш удаан ч шуугианаас үл хамааран танилт маш сайн бөгөөд тухайн өгүүлбэрийн утгыг ялган (цэг, таслал, асуултын тэмдэг зэрэг) тэмдэгтүүдийг оруулж өгдөг.

Манай тохиолдолд Whisper-н small моделийг хэрэгжүүлэлтдээ ашигласан бөгөөд дээрх гурван загвар тус бүр 2.9s, 24.4s, 2m48.2s -н хугацаанд яриаг текст болгон хөрвүүлж байна.

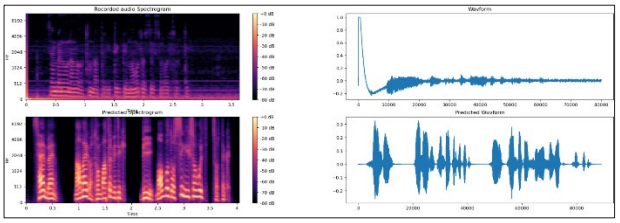
B. *MMS-TTS моделийн хэрэгжүүлэлт*

MMS-TTS -д Whisper-н гаралтаас авсан ялгаатай 30 өгүүлбэрүүдийг хэлүүлэхэд Ш үсэг орсон байвал тухайн үсгийг шууд алгасан уншиж байсан. Жишээ нь "Хаврын шуурга" гэсэн үг оролтод өгөхөд үүнийг "хаврын уурга", “хөгшин” гэвэд “хөгин” гэх мэтээр алдаж байсан. Бусад үг үсгийн хувьд алдах нь маш бага хэдий ч халх аялага гэхэд бага зэрэг өөр, өвөр монгол хүн ярьж байгаа мэт сонсогдож байсан.

C. *Whisper болон MMS-TTS моделийг хамт хэрэгжүүлэх*

Энэ үе шатад бид Whisper моделийн гаралтаас авсан бичвэрийг MMS моделийн оролтод өгч холбон ажиллуулж улмаар илтгэгчээс хамааралгүй хэн нэгэн хүний хоолойг зорилтот буюу MMS-TTS-н Халх аялага бүхий нэг илтгэгчийн хоолойд хувирна. Энэ ажил нь энтертайнмент, хууль эрх зүйн байгууллагууд, боловсрол, харилцаа холбооны байгууллагууд зэрэг олон салбарт ашиглагдах боломжтой.

Зураг 6-д Whisper-н оролтод өгсөн 5 секундын аудио бичлэгний дохио болон харгалзах спектрограммын хамтаар харуулсан байна.



Зураг 5. Оролт болон гаралтын спектрограмм

IV. Дүгнэлт

Бид энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд Whisper моделийг ашиглан хүний яриаг текст болгон, MMS моделийг ашиглан тухайн текстийг MMS-TTS-mon халх аялгаар хэлүүлэх замаар дурын илтгэгчийн хоолойг MMS модельд сургагдсан Монгол хэлний халх аялгатай эрэгтэйн хоолойд хөрвүүлсэн бөгөөд эдгээр нээлттэй эхийн загваруудыг ашиглан сонирхогчийн түвшинд ажиллах сонирхолтой ажлуудыг гүйцэтгэх бүрэн боломжтой хийгээд цаашид илүү сайн судалж хэрэглээний түвшинд ажиллуулан ашиглаж болохуйц хэрэглүүрийг ч хийх бүрэн боломжтой. Мөн Whisper-ийн small, tiny, загварууд нь шуугиан багатай өгөгдөл дээр сурсан байдгаас шалтгаалан шуугиантай орчинд танилт муутай ажилдаг бөгөөд энэ нь оролтын утгыг зөв таних чадварыг бууруулдаг, large, medium гэх мэт моделиуд алдаа багатай сайн ажиллах ч олон параметрүүдтэй учир төхөөрөмж маш их ачаалуулах бөгөөд гаралт гаргах хугацааг удаашруулдаг болохыг, MMS модель нь дангаар ажиллах үедээ алдаа багатай ажилладаг бөгөөд туршилтуудын үр дүнгээс харахад Ш үсгийг огт хэлж чадахгүй байгааг мэдсэн. Жишээлбэл оролтод "маш" гэсэн үгийг өгөхөд "ма" гэж хэлэх гэх мэтээр алдаж байгаа нь ажиглагдсан.

Бид дээрх хоёр моделийг ашиглан хэрэглэгч ямар нэгэн асуулт асуухад асуусан асуултад нь тохирох хариултыг өгөх, тухайн даалгаврыг биелүүлэх харилцан ярих автомат туслахын системийн энгийн моделийг туршин ажиллуулна**.**

Виртуал туслахын модель нь чатботын систем дээр суурилан ажиллаж байгаа бөгөөд бэлдэж өгсөн асуулт хариултын өгөгдлийг гүн сургалтын neuralintents загвар дээр сургадаг бөгөөд гүн сургалтын загвар модель дээр сургахын давуу тал нь оролтын утга буюу хэрэглэгчээс өгч буй команд, асуултуудын хэлбэр ялгаатай байсан ч тэдэнтэй дүйх зөв хариултыг өгч, уян хатан ажиллана [7] NeuralIntents нь виртуал туслахууд эсвэл байгалийн хэл боловсруулах системд оновчтой үр дүнд хүрэхийн тулд neural network-д суурилсан аргыг ашиглахыг хэлнэ. Энэ нь оролтын текст эсвэл ярианаас хэрэглэгчийн зорилгыг урьдчилан таамаглахын тулд шошгологдсон өгөгдөл дээр мэдрэлийн сүлжээний загваруудыг сургаж, хэрэглэгчидтэй илүү нарийвчлалтай, уян хатан харилцах боломжийг олгодог

Ном зүй

[1] Alec Radford, Jong Wook Kim et al, Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision

[2] Vineel Pratap, Andros Tjandra et al, Scaling Speech Technology to 1,000+ Languages

[3] Bapna, A., Cherry, C., Zhang, Y., et al, Massively multilingual joint pre-training for speech and text.

[4] (Rezende, D. and Mohamed, S. Variational inference with normalizing flows. In International Conference on Machine Learning, pp. 1530–1538. PMLR, 2015.).

[5] (Kim, J., Kim, S., Kong, J., and Yoon, S. Glow-TTS: A Generative Flow for Text-to-Speech via Monotonic Alignment Search. Advances in Neural Information Processing Systems, 33, 2020.)

[6] Jaehyeon Kim, Jungil Kong, Juhee Son, Conditional Variational Autoencoder with Adversarial Learning for End-to-End Text-to-Speech.

[7] One System to Rule them All: a Universal Intent Recognition System for Customer Service Chatbots Juan Camilo Vasquez-Correa, Juan Carlos Guerrero-Sierra, Jose Luis, Pemberty-Tamayo, Juan Esteban Jaramillo, Andres Felipe Tejada-Castro.

Mongolian Cyrillic handwritten text recognition from image, dataset and benchmark

1st Orgil Jargalsaikhan
Computer Science, SICT
MUST
Ulaanbaatar, Mongolia
orgilsict@must.edu.mn

2nd Battsetseg Erdenebat
Computer Science, SICT
MUST
Ulaanbaatar, Mongolia
battsetseg_e@must.edu.mn

Abstract*— This research endeavors to advance the domain of Mongolian Cyrillic handwritten recognition by creating a dedicated dataset specifically tailored for this purpose. The newly curated dataset not only serves the primary function of optical character recognition (OCR) but extends its usability to related tasks such as handwritten gender and age detection. The carefully selected sentences within the dataset offer a valuable resource for handwritten-to-translated text generation. Leveraging a Transformer-based OCR model, we achieved a promising Character Error Rate (CER) of 0.978 in the early stages, demonstrating the efficacy of our approach even with a relatively small dataset. With a commitment to fostering collaboration and progress, we aim to publicly share the dataset, setting a benchmark for the community and inviting further advancements in Mongolian Cyrillic handwritten recognition.

Keywords*— Mongolian handwritten dataset, OCR, Deep learning, image to text

I. Introduction

In contemporary society, a plethora of activities, ranging from training sessions to handling complaints and more, have transitioned into a digital realm, with meticulous records being maintained in written form. Several nations have already successfully tackled this challenge by implementing advanced technologies and efficient systems to seamlessly manage and convert such records into digital formats.

In line with this progression, the primary objective of this research initiative is to develop a transformative solution for the conversion of Mongolian handwritten text from images into machine-readable text. This endeavor seeks to harness the potential of cutting-edge image recognition and text conversion algorithms to facilitate a smoother transition from traditional handwritten documentation to easily accessible and searchable digital text, contributing to the modernization and efficiency of record-keeping practices.

II. Related works

In Mongolian Traditional handwritten word recognition, Wei 2009 [1] achieves 90% recognition rates using Hidden Markov Models (HMM). Yang 2020 [2] introduces CMAMOHR, enhancing whole word recognition by up to 28.94% over the baseline. Wei 2011 [3] explores recurrent neural networks (RNN) achieving 80% recognition for unconstrained Mongolian words. Liu 2017 [4] combines a sliding window method with a DBLSTM network, achieving a word-level recognition rate of 89.24%, potentially reaching 90.35% with multiple models. These studies employ diverse strategies to enhance Mongolian Traditional handwritten word recognition. However, a handwriting recognition database for Mongolian Cyrillic is lacking. While a Handwritten Mongolian Cyrillic Characters MNIST-like Database exists on Kaggle, corresponding research findings have not been published.

In an English sentence database for offline handwriting recognition, Marti [5] and Marti [6] provide detailed descriptions, including form, writer, and word instance numbers. They emphasize its usability for handwriting recognition tasks requiring linguistic knowledge beyond the lexicon level. Brakensiek [7] focuses on hybrid modeling techniques and character n-grams for online cursive handwriting recognition. Paquet [8] describes an off-line handwriting recognition system based on a specific word model. These papers offer insights into the IAM-database and its applications in offline handwriting recognition.

Our research focused on Transformer-based models for OCR, showcasing significant advancements. Li [9] introduces TrOCR, an end-to-end text recognition approach utilizing pre-trained image Transformer and text Transformer models, outperforming existing models. The TrOCR model's code and models are publicly available. Conversely, Campiotti [10] explores various architectures for text recognition, including CNN + CTC and CNN + Tr + CTC models, achieving high F1 scores on the SROIE 2019 dataset.

III. Dataset

Embarking on this phase of the study, we delved into the vast landscape of OCR databases, meticulously evaluating each for their potential in aiding our recognition endeavors. In our exploration, the IAM database emerged as a standout candidate, holding promise in significantly augmenting our research by providing a robust foundation for collecting new and diverse data.

Building upon this realization, our research focused on procuring a comprehensive Mongolian text dataset from various open-source repositories. We meticulously curated data from mn-en.txt, a valuable resource for Mongolian to English translations, and also delved into mn_sentences_94k.txt, a corpus obtained through crawling numerous news websites and literary sources.

Subsequently, a critical step in our data preparation involved filtering a substantial corpus of 13,894 sentences. Employing a selection criterion based on a minimum of 35 characters per sentence, we ensured a well-rounded representation of the language. Our objective was to encompass the entire spectrum of characters, including both lowercase and uppercase letters, as well as special characters, within the carefully selected sentences. This meticulous approach in data curation was pivotal in shaping the quality and inclusiveness of our dataset.

In order to visually comprehend the character distribution within our selected sentences, we constructed a histogram. This graphical representation, illustrated in Fig. 1, offered valuable insights into the frequencies and variations of characters, providing a foundational understanding crucial for further analytical and algorithmic pursuits.

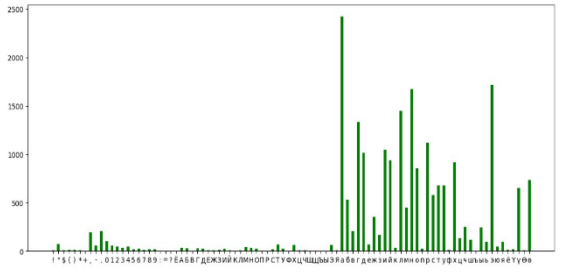


Fig.1 Histogram of chosen sentences.

Following the initial data processing phase, we proceeded to consolidate these sentences into 494 distinct forms, mirroring the structure observed in the esteemed IAM database. Each form encapsulated a coherent composition of sentences, meticulously categorized to emulate a diversified representation akin to the IAM model. This categorization strategy enabled us to simulate the varying domains and linguistic styles encompassed within the IAM database.

These meticulously curated forms were subsequently serialized into distinct categories denoted as A, B, and C. Category A was populated with content sourced from a diverse array of news websites, encompassing a broad spectrum of topics and subjects. Category B comprised sentences derived from Mongolian to English translations, aiming to capture the nuances and intricacies of language conversion. Finally, Category C encapsulated literary sentences, offering a glimpse into the eloquence and expressiveness found within the world of literature. This categorization allowed for a nuanced exploration of the dataset, ensuring a comprehensive and balanced representation of different textual domains.

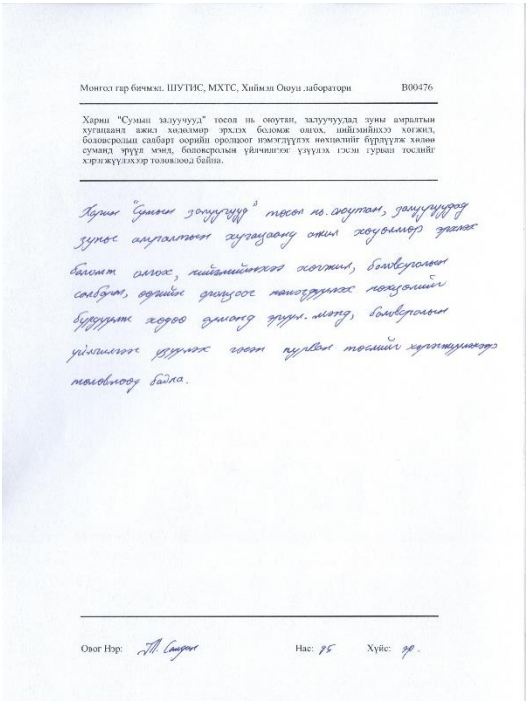


Fig. 2 Example of form of handwritten dataset

During the course of the summer, we conducted an extensive data collection initiative, resulting in the acquisition of 470 forms that were filled by unique writers. Each form provided valuable insights into the handwriting styles, preferences, and idiosyncrasies of individual writers. A representative example of a filled form is showcased in Fig. 2 offering a glimpse into the diversity and intricacies present within the collected data. The accumulation of these forms marked a significant milestone in our research, further enriching the dataset and enhancing the depth of our analysis in Gender and Age.

Each form comprises images with dimensions of 2550x3300 pixels. Following the scanning of completed forms, our research group is actively engaged in the annotation process about 20\%. A sample annotation of a line is illustrated in Fig. 3.

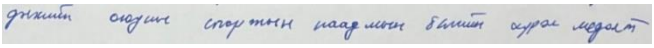


Fig. 3 Example of annotated line case input image of handwritten dataset

Annotations were used to depict the upper and lower boundaries of each written line, aiding in visual clarity. The potential reasons behind the issues in result improvement can be clarified through dedicated image processing techniques applied to lines. After line image boundary annotation, we created line image path with text sentence combined file named lines.txt in Fig.4.

```
C09215_06|ургамал" биш, харин эмийн чухал түүхий
C09215_07|жиргэрүү хэрэггүй, тэр тусмаа "хогжуулагч
C09215_08|орнуудын шашин хоорондын зөвлөлийн тэргүүл
C09215_09|тэрээр Тусгаар улсуудын хамтын нөхөрлөлийн
C09215_10|олсон цорын ганц жүжигчин аж. 2004 онд
C09215_11|шагнал авсан бөгөөд ийм хэмжээний хөрөнгө
C09215_12|чоно" кинонд тоглосноор 20 сая ам.долларын
C09215_13|тодорхойгүй. Леонардо Ди Каприо "Уолл-стритийн
C09242_00|Газрын албанд ажилладаг байж газар авахгүй
C09242_01|Өмнөд хөршийн Сангийн сайдын хувьд өндөр хэм-
```

Fig. 4 Line by line annotation file

Additionally, our research team focused on a Sentence-by-Sentence task. Leveraging image processing tools, we could seamlessly merge lines to form coherent sentence cases within images.

IV. Proposed Method

In this study, our objective was to refine the pre-trained TrOCR model for enhanced accuracy in recognizing Mongolian Cyrillic handwritten text through fine-tuning techniques.

We conducted a comparative analysis with the Tesseract engine, known for its proficiency in recognizing Mongolian printed text from images. Following the fine-tuning process, we assessed the Character Error Rate (CER), Word Error Rate (WER), and Sentence Error Rate (SER). Additionally, to further enhance recognition, we will implement a connection between the net layer and a WER correction layer utilizing a pre-trained KNN model to identify the nearest word. Thus our proposed algorithm showed in following Fig.5.

The input images in this study will be taken using smartphones, contributing to variability due to diverse individual environments and conditions. To mitigate this, we utilized image processing tools for crucial tasks like line alignment and detection. Given the challenges arising from varying image capture environments, applying image processing played a critical role in standardizing the input and preparing it for subsequent OCR processing.

In our workflow, each detected line underwent further analysis using the TrOCR model. This model was

meticulously trained on our newly curated Mongolian Handwritten dataset, designed to encompass a wide range of handwriting styles and variations. The detailed training procedure and subsequent inferences from this model are elaborated in Section 5.2, shedding light on the early results and initial progress made in this study.

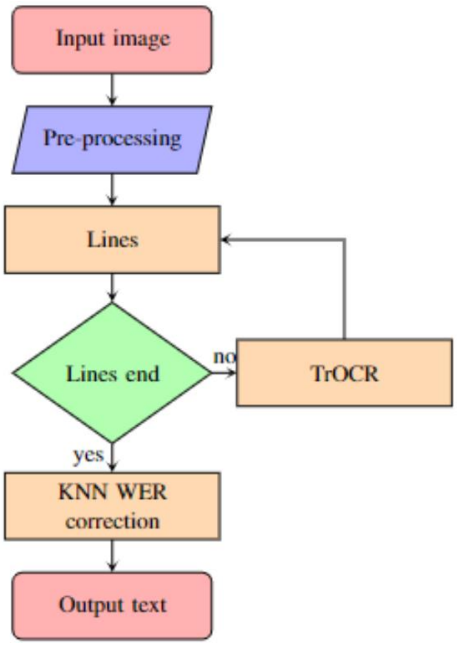


Fig.5 Proposed method

To visually represent our Transformer-based model, we provide an illustration in Fig.6, offering insights into the architecture and structure that form the foundation of our approach to Mongolian handwritten text recognition. This model constitutes the core of our OCR system, enabling accurate conversion of handwritten Mongolian text into a digital format.

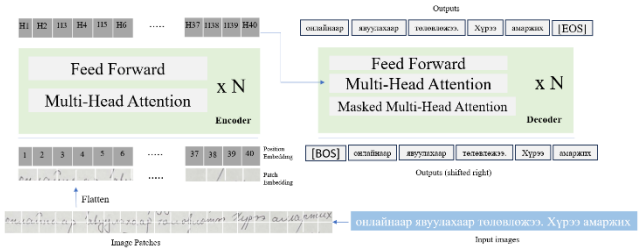


Fig.6 Transformer Model

Post-training the TrOCR small model on the IAM dataset, the authors achieved a Word Error Rate (WER) of 4.22. Subsequently, in our research, we introduced an additional layer dedicated to WER correction, utilizing a KNN model known for its efficiency and high performance.

V. Experiment and Result

A. Experimental setup

For patch feature extraction, we utilized the first four layers of a pretrained ResNet101, input of dimensions [1024, 128, 1]. The encoders and decoders were configured with 4 layers, each having 256 hidden sizes and 4 attention heads. The maximum character length was set to 128, with a training epoch count of 200 and a batch size of 16. The learning rate started at 1e-4 and was adjusted using a scheduler. These configurations were employed during training on 81 forms from our newly created dataset, marking a significant step forward in our research.

B. Early result

Due to dataset annotation, we trained our dataset and proposed method on 20 forms, which includes 234 lines of handwritten images. Our training was successful and it reached Train Loss: 1454.276, Val Loss: 2975.694 KLDivLoss vise verse of IAM TrOCR reached Train Loss: 7.638, Val Loss: 1635.348, that showed our training was significant result showed even using tiny portion of our dataset. We added 81 forms in our training dataset and obtained significant results as follows:

Train Loss: 537.799
Val Loss: 333.609

Therefore, some inferences were showed in Fig.7.

From Fig.7 we can see ground truth and prediction of model and its handwritten image above. Those 2 lines were predicted wrong but we have much room for training when we finished our annotation procedure of new dataset. Therefore, training metrics were CER 0.978, WER 0.996 and SER 0.99.

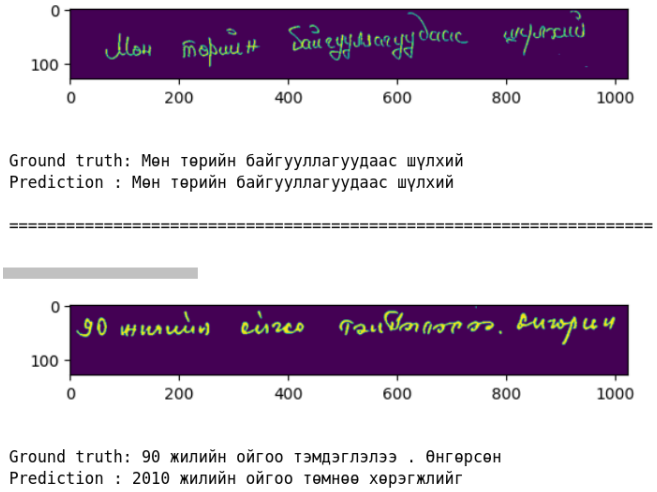


Fig.7 Early result of proposed method

VI. Conclusion

In our research, we undertook a significant initiative by carefully crafting a novel dataset tailored for Mongolian Cyrillic handwritten recognition. Beyond OCR, this dataset holds immense potential, extending its applicability to diverse tasks like handwritten gender and age detection. The dataset's richness and diversity establish a strong foundation for further exploration into these domains.

Furthermore, our dataset contains thoughtfully selected sentences that serve as a valuable resource for handwritten-to-translated text generation. These sentences, serialized under category B, are strategically positioned to facilitate training of models that effectively bridge the linguistic gap between handwritten Mongolian Cyrillic text and its translated versions.

A key objective was to establish a benchmark for our dataset. Once the dataset preparation is complete, we plan to make it publicly accessible by providing a download link. This initiative aims to empower fellow researchers and enthusiasts to utilize our dataset, fostering advancements and innovations in the realm of Mongolian Cyrillic handwritten recognition.

In our initial assessments, our efforts yielded promising outcomes. The Character Error Rate (CER) in the early stages was recorded at 0.978. Despite the dataset's relatively small size, this CER signifies the effectiveness of our approach and the potential for achieving higher accuracy as we expand the dataset and refine our models.

REFERENCES

[1] Wu Wei, Gao Guanglai, “Online Handwriting Mongolia words recognition based on HMM classifier”, Chinese Control and Decision Conference. IEEE; 2009. .

[2] Yang F, Bao F, Gao G. “Online Handwritten Mongolian Character Recognition using CMAMOHR and Coordinate Processing”, International Conference on Asian Language Processing (IALP). IEEE; 2020. .

[3] Wu Wei, Gao Guang-lai. Recognition with Recurrent Neural Networks;.

[4] Liu J, Ma LL, Wu J. Online Handwritten Mongolian Word Recognition Using a Novel Sliding Window Method with Recurrent Neural Networks. In: 2017 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). IEEE; 2017. .

[5] Marti UV, Bunke H. The IAM-database: an English sentence database for offline handwriting recognition. International Journal on Document Analysis and Recognition. 2002 nov 1;5(1):39-46.

[6] Marti UV, Bunke H. A full English sentence database for off-line handwriting recognition. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Document Analysis and Recognition. ICDAR ’99 (Cat. No.PR00318). IEEE; 1999. .

[7] A Brakensiek, J Rottland, A Kosmala, G Rigoll. OFF-LINE HANDWRITING RECOGNITION USING VARIOUS HYBRID MODELING TECHNIQUES AND CHARACTER N-GRAMS;.

[8] Paquett T, Lecourtier Y. Recognition of handwritten sentences using a restricted lexicon. Pattern Recognition. 1993 3;26(3):391-407.

[9] Li M, Lv T, Chen J, Cui L, Lu Y, Florencio D, et al. TrOCR: Transformer-Based Optical Character Recognition with Pre-trained Models. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2023 jun 26;37(11):13094-102.

[10] Campiotti I, Lotufo R. Optical character recognition with transformers and CTC. In: Proceedings of the 22nd ACM Symposium on Document Engineering. ACM; 2022. .

Хэлний загварын тусламжтай бичвэрийн алдаа засах

Батбаатар Сайнбаяр
Компьютерын ухааны салбар
МХТС, ШУТИС
Улаанбаатар, Монгол
sainbayr_b@mas.ac.mn

Болд Тунгалагтамир
Мэдээллийн технологийн салбар
МТТХ, ШУА
Улаанбаатар, Монгол
tungalagtamir_b@mas.ac.mn

Жаргалсайхан Оргил
Компьютерын ухааны салбар
МХТС, ШУТИС
Улаанбаатар, Монгол
orgilsict@must.edu.mn

Дуламрагчаа Уганбаатар
МТТХ, ШУА
Улаанбаатар, Монгол
uuganbaatard@mas.ac.mn

Хураангуй*: Энэхүү судалгааны ажилд бид хиймэл оюун ухааны тусламжтай, алдаатай кирилл бичвэрийг засах судалгааны ажлаа танилцуулж байна. Бид Neural Machine Translation буюу мэдрэлийн машин орчуулгын (ММО) загварыг алдаатай бичвэрийг, алдаагүй бичвэр рүү засагч болгон сургаснаар их хэмжээний алдаатай бичвэрийг засахад туслах загварыг бүтээж чадлаа. 2015 онд батлагдсан монгол хэлний тухай хуулийн 4.8.1, 4.8.2, 4.8.3 дугаар зүйл заалтад заасны дагуу монгол хэлний зөв бичих стандартыг технологийн тусламжтай шийдэх боломжийг бид нээж байна. (Daniel Hládek et al. 2019) [1] судалгааны "Seq2Seq CNN" загвар нийт 12 сая өгөгдөл дээр сурч 50%-0.09% хооронд WER (Word Error Rate) үнэлгээтэй байгаа бөгөөд манай кирилл хэлний алдаа засах загвар 500 мянган өгөгдөл дээр сурч 32%-ийн WER үнэлгээтэй байна.

Түлхүүр үг: Алдаа засагч, токенжуулалт, хиймэл оюун ухаан, гүн сургалт

I. УДИРТГАЛ

Бичвэрийн алдааны ихэнх хувийг зөв бичгийн алдаа эзэлдэг (Jayanthi et al,. 2020) [2]. Энэхүү асуудал мөн кирилл бичвэрийн алдааны ихэнх болдог (Cai & Monghjaya. 2021) [3].

Түгээмэл хэлтэй улс орнууд хэлний загварын тусламжтай алдаа засах системүүд бүтээгдсэн байдаг. Зөв бичгийн алдааг олох, засах программ хангамж монгол хэл дээр байдаг ч алдаатай үгийг уламжлалт аргуудаар буюу n-грамын аргаар илрүүлэх, ойролцоо утгатай үгсийг санал болгох программ хангамж болон судалгааны ажлууд байдаг (Byambasuren Ivanov et al. 2021) [4] ч бүх нийтийн хэрэглээнд ашиглаж болохуйц системүүд цөөхөн байна.

Монгол хэл нь давтагдашгүй олон үгийн сантай баялаг хэл юм. Гэвч хүн амын тоо бага, эдийн засгийн өсөлтийн байдал зэрэг бусад хүчин зүйлүүдээс шалтгаалан бага нөөцтэй, бага хэрэглээтэй байдаг. Тиймээс эх хэлний боловсруулалт буюу хэлийг компьютероор боловсруулахад үгийн алдаа засах программ хангамж нэн шаардлагатай байна.

(Zhang et al. 2020) [5] нар нь ММО загвар BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)-ыг алдаа засагч загвараар ашиглах боломжтойг харуулсан ба үг үсгийн алдаа засах гэхээс илүүтэй утгын алдааг засах тал дээр өндөр үр дүнг үзүүлсэн. Үг үсгийн алдаа засах нь зөв бичгийн алдааг үгийн түвшинд эсвэл тэмдэгтийн түвшинд засах чухал ажил юм (Yu and Li, 2014) [6]. Эх хэлний боловсруулалт тэр дундаа ММО-ын загварт кирилл бичвэрийн өгөгдлийг хэрхэн таниулж сургахаас хамаарч загвар нь үгийн дарааллаар хэлийг таних эсвэл үсгийн дарааллаар үгийн бүтцийг таньж орчуулга хийх гэдэг асуудлууд байдаг. Тус асуудлуудыг токенжуулалт буюу сегментчиллийн асуудал гэдэг бөгөөд илүү өргөн хүрээний ойлголт юм (Domingo et al. 2023) [7].

ММО нь (Vaswani et al. 2017) [8] нарын нийтэлсэн "Attention is all you need" өгүүлэл дээр танилцуулагдсан "Трансформер" загвар гарч ирснээс хойш өндөр үр дүнг үзүүлсээр ирсэн. (Lakew et al. 2018) [9] нь хэлний орчуулга дээр трансформер загварыг RNN (Recurrent Neural Network) - ий загвартай харьцуулж энэхүү загвар нь хоорондоо төсөөтэй хэлний орчуулгад өндөр үр дүнг үзүүлж буйг баталсан тул бид трансформер загварыг кирилл бичвэрийн алдаа засах загвараар сонгосон юм. Тус хэл орчуулгын загварыг алдаатай болон алдаагүй гэх параллель корпус өгөгдөл дээр сургаснаар кирилл бичвэрийн алдааг засах загвар болгон ашиглах боломжтой.

Бидний шийдэх гол асуудал нь бичвэрийн алдааг хэлний загварын тусламжтай олох тул, үсгийн токенжуулалтыг ашиглахаар шийдсэн. Нийт бичвэр өгөгдлөөс тэмдэгтүүдээр үгийн сан бүрдүүлэхэд монгол хэлний 35 үсэг болон өгөгдөл доторх англи хэлний зарим үгсийн 15 үсгүүд нийлсэн нийт 50 тэмдэгтээс бүрдсэн.

II. АРГА ЗҮЙ

1. Өгөгдлийн багц бэлтгэх

Трансформер загварыг сургахын тулд бидэнд алдаатай өгүүлбэр болон зөв өгүүлбэрийн параллель өгөгдөл хэрэгтэй. Гэвч бидэнд том хэмжээний бүтэцтэй өгөгдлийн сан цуглуулах нь цаг хугацаа хөрөнгө оруулалт шаардлагатай. Тийм учраас бид эхний ээлжинд зохиомлоор үгийн алдаа үүсгэж өгөгдлийн санг бүтээсэн. Зохиомлоор үгийн алдаа үүсгэхдээ бичвэрт хамгийн түгээмэл гардаг алдаа болох үсэг дутуу бичих, үсэг илүү бичих, үсгийн байрыг солих, үсэг орлуулах гэсэн дөрвөн төрлийн алдаанаас санамсаргүйгээр нормаль тархалтаар нэг үгэнд нэг төрлийн алдаа үүсгэх зарчмаар алдаануудыг үүсгэсэн.

ХҮСНЭГТ 1. АЛДААТАЙ ҮГ ҮҮСГЭХ ЖИШЭЭ

Алдааны төрөл	Алдаа үүссэн байдал	Зөв үг
Үсэг устгах	саранцэцг	саранцэцэг
Үсэг нэмэх	саранццэцэг	
Үсэг орлуулах	саранцэцэд	
Хоёр үсгийн байрыг солих	сарацнэцэг	

Хүснэгт 1 жишээний дагуу өгүүлбэрийн бүх үгэнд алдаа үүсгэж алдаатай өгүүлбэр болон зөв өгүүлбэр гэсэн бүтэцтэй параллель өгөгдлийг үүсгэсэн. Мөн бид загварын сургалтыг тоо хэмжээний хувьд өөр хэд хэдэн өгөгдөлд сургаж, үр дүнг харьцуулсан.

ХҮСНЭГТ 2. ӨГӨГДЛИЙН БАГЦЫН МЭДЭЭЛЭЛ

Өгөгдлийн багц	Сургалтын	Баталгаажуулалтын	Туршилтын
30000	24500 (85%)	4500 (15%)	5000
73000	61692 (85%)	11063 (15%)	5000
150000	127500 (85%)	22500 (15%)	5000
297000	251606 (85%)	44577 (15%)	5000
571000	486027 (85%)	80769 (15%)	5000

Сургалтад ашиглагдсан өгөгдлийн багцыг нэмэгдүүлэхэд загварын үр дүнгийн ялгаатай байдлын харьцуулахын тулд ялгаатай хэмжээтэй өгөгдлийн багцуудыг ашигласан ба өгөгдлийн багцыг сургалтын, баталгаажуулалтын, туршилтын хэмээн 3 хуваасан.

- Сургалтын багц нь загварыг сургахад хэрэглэгддэг.
- Баталгаажуулалтын багцын өгөгдөл дээр түүний сургалтын гүйцэтгэлийг үнэлдэг.
- Туршилтын багц нь загварыг сурсны дараа сургалт болон баталгаажуулалтад ашиглагдаагүй өгөгдлөөр загварын гүйцэтгэлийг үнэлэхэд ашиглагддаг.

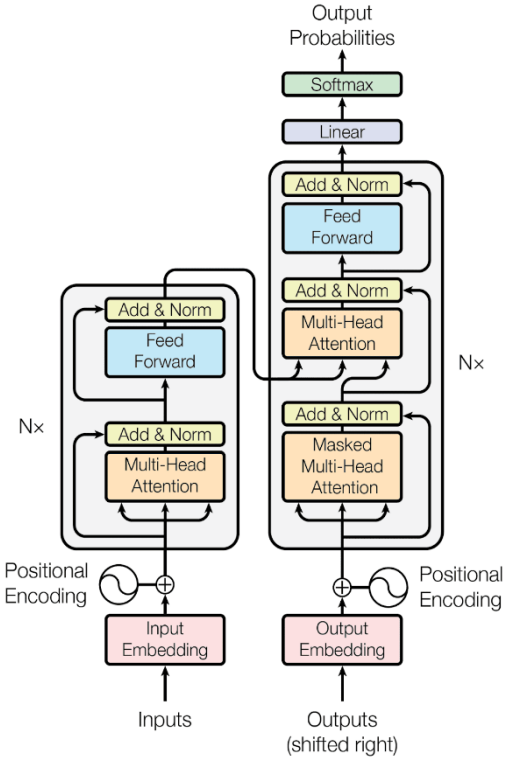
1. *Загвар сонголт*

Дээр дурдсанчлан Трансформер загвар гарч ирэхээс өмнө эх хэлний боловсруулалтын ажлуудад давтагдах нейроны тор RNN давамгайлж байсан. Гэсэн хэдий ч RNN нь ихээхэн хязгаарлалтуудтай тулгарсан:

- Градиентын асуудал: RNN нь урт хугацааны хамаарлыг дараалаар нь сурахад оролтын утгуудын хоорондын хамаарлыг алддаг.
- Дараалсан боловсруулалт: RNN-ийн дараалсан шинж чанар нь урт дараалалтай өгөгдлийг боловсруулах чадамж муу байдаг.

Хэлний загварыг текст болон кодын их хэмжээний мэдээллийн багц дээр сургах шаардлагатай. Трансформер архитектур нь дараах онцлогоороо давуу талтай:

- Нарийн төвөгтэй хамаарлыг олох: Оролтын дараллын холбогдох хэсгүүдэд анхаарлаа хандуулснаар хэлний загварууд үг хэллэг, тэр дундаа элэглэл, хошигнол гэх мэт далд утгыг ойлгох боломжтой.
- Харилцан уялдаатай, чөлөөтэй бичвэр үүсгэх: Хэлний загвар нь өмнөх үгсийн утга дээр үндэслэн дараагийн үгийг дараллаар нь таамаглаж, хүнтэй төстэй текст үүсгэх боломжийг олгодог.



Зураг 1. Трансформер загварын архитектур[8]

“Трансформер” загвар нь оролтын утгуудын байрлал хоорондын хамаарлыг олдог тул оролтын утгуудыг үгээр бус үсгээр бүрдүүлэхэд тухайн үсгүүдийн хоорондын хамаарлыг олж алдааг засна.

2. *Токенжуулалт*

Токенжуулалт нь хэлний загварт их хэмжээний бичвэрийг жижиг нэгжүүдэд хуваах сургахыг хэлнэ. Оролтын болон гаралтын өгөгдлийг хэрхэн илэрхийлэхээс хамаарч загварын ажиллагаа хэрхэн ажиллах нь шийдэгдэнэ. Бид энэхүү судалгаанд үсгийн токенжуулалтыг ашигласан.



Зураг 2. Токенжуулагч ажиллах зарчим.

Үсгийн токенжуулалт: Зөв бичиглэлтэй болон алдаатай бичвэрүүдийн үг нэг бүрийг үсгүүдээр нь салгаж хэлний загвараа сургах ба загвар нь тухайн үгийн үсгүүдийнх нь байрлалаас хамаарч ямар бүтэцтэй үг байхыг сурна.

3. *Сургалтын үнэлгээ*

Хэлний загварыг өгөгдөл дээр хэр сайн сурч буйг үнэлэхийн тулд дараах үнэлгээний аргуудыг нийтлэг ашигладаг.

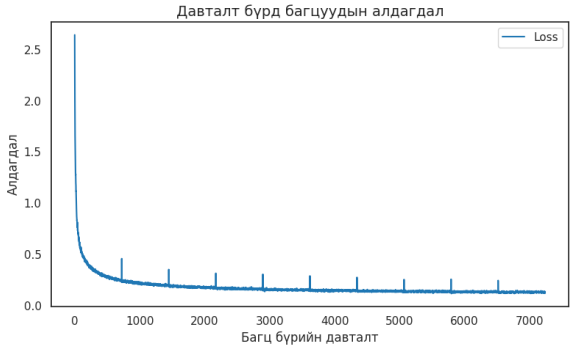
Хөндөн энтропийн алдагдал буюу Cross Entropy Loss (CEL) нь эх хэл боловсруулалтын загваруудын хувьд өргөн хэрэглэгддэг юм. Энэ нь таамагласан магадлалын

тархалт болон зорилтот тархалтын хоорондын ялгааг хэмжиж, манай загварын параметрүүдийг оновчтой болгоход тусалдаг. Энэхүү үнэлгээний аргыг дараах томьёогоор илэрхийлдэг.

$$\mathcal{L}_{C\varepsilon} = -\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} y_{ij}\log(P_{ij}) \quad (1)$$

$\mathcal{L}_{C\varepsilon}$ нь загварын сургалтын үеийн алдагдлыг илэрхийлэх ба түүний магадлал буюу P утгаас хамаарна. Хэрэв магадлалын утга бага бол алдааны утга өндөр байх тул загвар нь алдаанаасаа суралцаж параметрүүдийн утгад өөрчлөлт хийгдэнэ.

Хамгийн өндөр үр дүнг үзүүлсэн загварын сургалт нь нийт 500 мянган өгөгдөл дээр сурсан ба доорх графикт тус загварын сургалтын үйл явцыг харуулж байна.



Зураг 3. 500 мянган өгөгдөлд алдаа засагч загварын загварын сургалтын алдагдлын график.

Дээрх график дээрх буурч буй үзэгдэл нь загварын алдах магадлал буурч буйг илэрхийлэх ба 0-рүү тэмүүлсэн байх тусам бидний хэлний загвар өндөр үр дүнтэй таамаглалыг хийх боломжтой болохыг илэрхийлж байна.

Мөн сургалтын үнэлгээг Perplexity үнэлгээгээр хийсэн ба тус үнэлгээ нь машины хэл орчуулгад орчуулгын уян хатан байдал, уялдаа холбоог хэмжихэд ашиглагддаг. Загварын дараагийн үгийг дарааллаар нь таамаглахыг үнэлснээр PPL нь хэлний загвар түүврийг хэр сайн таамаглаж байгааг хэмжих хэмжүүр юм. Энэхүү үнэлгээний аргыг доорх томьёогоор илэрхийлнэ.

$$PPL = exp\left(-\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\log(p(w_i))\right) \quad (2)$$

Үсэг бүрийг дарааллаар таамаглах үед загварын алдагдлыг илэрхийлдэг $\mathcal{L}_{C\varepsilon}$ -ийн экспоненциал гэж тооцдог.



Зураг 4. 500 мянган өгөгдөлд алдаа засагч загварын сургалтын үеийн Perplexity үнэлгээний график үзүүлэлт.

Perplexity нь машин орчуулгын ажилд бэлтгэгдсэн хэлний загваруудын чанарыг үнэлэх чухал хэмжүүр болдог бөгөөд энэхүү үнэлгээ нь 0-рүү тэмүүлсэн байх тусмаа тухайн загварын таамаглалыг сайн гэж үздэг. Дээрх графикаас үзэхэд тус сургалтын явагдах тусам загвар хангалттай сайн сурч чадаж буйг харуулж байна.

III. ҮР ДҮН

Сургалт хийгдсэний дараа урьдчилан бэлтгэгдсэн туршилтын өгөгдөл дээр бид загварын чадамжийг үнэлэх шаардлагатай.

Word Error Rate (WER) нь хэлний загварын таамаглалыг үнэлэхэд өргөн хэрэглэгддэг хэмжүүр юм. WER нь урьдчилан таамагласан орчуулгын гаралт ба зорилтот орчуулгын хоорондох зөрүүг тоон үзүүлэлтээр хэмждэг. Энэхүү хэмжүүр нь орчуулсан текстийн зөв байдлыг шалгаж загваруудын гүйцэтгэлийг үнэлэх жишиг болдог. Энэ үнэлгээний дараах томьёогоор илэрхийлнэ.

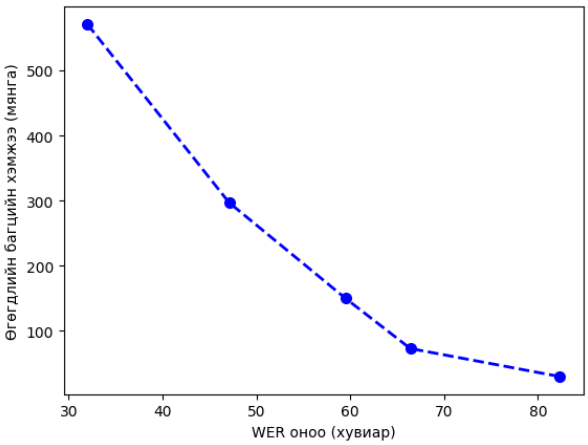
$$WER = \frac{S_\omega + D_\omega + I_\omega}{N_\omega} \quad (3)$$

Туршилтаар Трансформер ММО-ийн тэмдэгтийн түвшний токенжуулагч нь алдаа засагч загварын нарийвчлалыг мэдэгдэхүйц сайжруулсан. Энэхүү арга барил нь хэлний онцлогийг олж авах, бичгийн хувилбаруудыг боловсруулахад өндөр гүйцэтгэлтэйг харуулж кирилл дээрх алдаа засах чадавхыг сайжруулах боломжтойг харуулсан.

ХҮСНЭГТ 3. ХӨРВҮҮЛЭГЧ ЗАГВАРЫН ҮНЭЛГЭЭ

	Өгөгдлийн багц	WER
Трансформер	30000	82.3%
	73000	66.5%
	150000	59.5%
	297000	47.1%
	571000	32%

Тус хүснэгтэд сургалтын нийт өгөгдлийн багцыг WER оноотой харгалзуулан харуулж байна.



Зураг 5. Хөрвүүлэгч загварын WER үнэлгээний график

Дээрх график нь сургалтын өгөгдөл ихсэх бүрд үгийн алдааны түвшин буурч байгааг харуулж байна. Мөн Зураг 5.-аас бид алдааг 10%-иас доош бууруулахад ойролцоогоор 10 сая өгөгдөл цуглуулах шаардлагатайг туршилтын үр дүнгүүдээс регрессийн аргаар бодон гаргасан болно. Мөн цаашид уг судалгааг үргэлжлүүлэн үг болон өгүүлбэрийн алдааг засах болгон өргөтгөх юм.

IV. ДҮГНЭЛТ

Бид алдаатай үгсийг олж нэг нэгээр нь зөв үгээр сольж болох хэдий ч урт дараалал бүхий алдаатай бичвэрийг засахад цаг хугацаа, хөрөнгө санхүүгээс эхлээд ихээхэн хүндрэл болно. Энэхүү асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд бид хиймэл оюун ухаан, тэр дундаа эх хэлний ММО загварыг ашиглан монгол хэлний үгийн алдаа засах загвар болгон сургасан..

Энэхүү судалгааны ажилд үндэслэн судлаачдад монгол кирилл бичиг болон бусад хэлний алдаа засах загварыг хөгжүүлэх боломжийг нээлээ.

НОМ ЗҮЙ

[1] D. Hládek, M. Pleva, J. Staš, and Y.-F. Liao, “Sequence to Sequence Convolutional Neural Network for Automatic Spelling Correction,” 2019. Accessed: Apr. 01, 2024. [Online]. Available: http://aclanthology.org/2019.rocling-1.12.pdf

[2] Jayanthi, Sai Muralidhar, Danish Pruthi, and Graham Neubig. "Neuspell: A neural spelling correction toolkit." *arXiv preprint arXiv:2010.11085* (2020).

[3] Z. Cai and Monghjaya, “Statistics and Analysis of Mongolian Syllables Based on Network Corpus,” *www.atlantis-press.com*, Aug. 01, 2018. https://www.atlantis-press.com/proceedings/caai-18/25904425 (accessed Apr. 01, 2024).

[4] B. Ivanov, M. Musa and U. Dulamragchaa, “Mongolian spelling error correction using word NGram method”, in Proc. 16th Int. Conf. IIHMSP in Conjunction with 13th Int. Conf. FITAT, 2021, Ho Chi Minh City, Vietnam, pp. 94–101, doi:10.1007/978-981-33-6757-9_13.

[5] Shaohua Zhang, Haoran Huang, Jicong Liu, and Hang Li. 2020. Spelling Error Correction with Soft-Masked BERT. In *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, pages 882–890, Online. Association for Computational Linguistics

[6] “Wang, J., Yu, Y. and Li, F. (2014) Problems and Countermeasures in the Development of Rural Banks in China. Economic review, 6, 107-110. - references - scientific research publishing,” *Scirp.org*. [Online]. Available: https://scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2061706. (accessed Apr. 01, 2024).

[7] M. Domingo, M. García-Martínez, A. Helle, F. Casacuberta, and M. Herranz, “How much does tokenization affect neural machine translation?,” in *Computational Linguistics and Intelligent Text Processing*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, pp. 545–554.

[8] A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, et al., "Attention is all you need", *CoRR*, vol. abs/1706.03762, 2017.

[9] S. M. Lakew, M. Cettolo and M. Federico, "A comparison of transformer and recurrent neural networks on multilingual neural machine translation", *Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics*, pp. 641-652, 2018.