

Утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээнд Wi-Fi сүлжээнээс нөлөөлөх радио сувгийн интерференцийг багасгах нийлмэл алгоритм

Гончигсумлаагийн Хишигжаргал (Ph.D)

Пүрэвдоржийн Ууганбаяр

Холбооны салбар

Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль

Пүрэвдоржийн Нарангэрэл

Мэдээллийн Технологийн салбар

Мэдээлэл Холбооны Технологийн Сургууль
Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль

Хураангуй— Энд 2.4 ГГц-ийн радио давтамжийн сувгууд дээр ажиллах IEEE802.15.4 стандартын Утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээ (УМС) ба мөн 2.4 ГГц радио давтамж ашиглаж байгаа IEEE802.11 стандартын Утасгүй LAN сүлжээ хоорондын хамтран орших нөхцөлийг судалсан. Утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний радио шугамын сувгийн үнэлгээг оновчтой, олон талт хувилбараар хийхэд зориулагдсан, цаашдын судалгаа шинжилгээний ажлыг нэн хөнгөвчлөх ач холбогдолтой хэрэглэгчийн график интерфэйс бүхий тооцооллын программыг хөгжүүлсэн бөгөөд уг суурь программ дээрээ утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээнд гаднаас нөлөөлж буй интерференцийг багасгах алгоритм зохион туршсан. Өгүүлэлд утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний талаар товч танилцуулга, утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний радио сувгийн үнэлгээг хийсэн загвар, интерференц дарах алгоритм, түүний тайлбар үр дүн ба уг загварыг ашиглах зорилго, ач холбогдол зэргийг багтаасан.

Тулхуур үг— Утагуй мэдрэгчтэй сүлжээ; Интерференц дарах алгоритм; Радио сувгийн үнэлгээ

Оршил

Сүүлийн жилүүдэд дэлхий нийтэд хэрэглээ, нэр хүнд нь өсч буй Zigbee сүлжээ гэдэг нь IEEE802.15.4 стандартад [1] суурилсан энергийн хэмнэлттэй бага чадлын, өртөг хямд утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний технологи юм. Энэхүү сүлжээ нь хэрэгжүүлэхэд хялбар, олон төрлийн хэрэглээ, бүтээгдэхүүн, үйлчилгээнд өргөн ашиглагдах болсон гэдгээрээ давуу талтай. Тухайлбал төрөл бүрийн хэрэглэгчийн электрон систем, эрүүл мэндийн үйлчилгээ, гэр, байгууллага, үйлдвэрлэлийн автоматжуулалт, орчны хяналтын систем гэх мэт олон салбарт ашиглаж байна. Ийм учраас бид өөрийн оронд утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээг хөгжүүлэх, өөрийн онцлогт тохируулан загварчилж нутагшуулах тал дээр судалгаа хийх нэн шаардлагатай болоод байна. Утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээг өөрсдийн судалгааны үр дүнд тулгуурлан шинээр зохион байгуулахын тулд тухайн сүлжээний бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн үүрэг ажиллагааны онцлогт тохирсон дамжууллын протокол, тополог, энергийн зарцуулалтын менежмент, радио сувгийн үзүүлэлтүүд зэргийг

сүлжээний хэрэглэгдэх хэрэглээ, орчинд нь уялдуулж нарийн судалж, шийдэл гаргах шаардлагатай төдийгүй цаашлаад судалгааг гүн гүнзгий хийснээр сүлжээний төхөөрөмжүүдийн зарим хэсгийг өөрсдөө үйлдвэрлэх ч нөөц боломж байгаа юм. Бидний хувьд одоогоор ачааны галт тэргийг мэдрэгч төхөөрөмжөөр тоноглох, мэдрэгчээр тоноглогдсон галт тэргэнээс өгөгдөл авах утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний шийдлийг тухайн компанийн төмөр замын трасс дагуу гаргах, турших зорилготойгоор судалгааны төслийн ажлыг хэрэгжүүлж байна. Төслийн судалгааны эхний шатанд утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний стандартад нийцэх нэвтрүүлэгч, радио суваг, хүлээн авагчаас бүрдсэн нэгж системийн хувьд радио сувгийн ажиллагааг үнэлэх, ойролцоох давтамжуудын нөлөөллийг тооцох гэх мэт радио дамжуулалтай холбоотой чухал асуудлуудыг маш оновчтойгоор хялбар судалж үр дүнд анализ хийж, сувгийн үзүүлэлтийг сайжруулахын тулд үр ашигтай алгоритм санаачлах гэх мэтийн техникийн шийдэлд хүрэх шаардлага байна. Үүнтэй холбоотойгоор бид радио сувгийн үнэлгээг хийх тооцооллын программын загварыг ашиглахад хялбар хэрэглэгчийн интерфэйстэйгээр матлаб програм дээр хөгжүүлээ. Бидний хөгжүүлсэн загвар нь уг төслөөр дэвшүүлсэн эцсийн техникийн даалгаварыг бага зардлаар урьдчилан турших оновчлоход ихээхэн үүрэг гүйцэтгэх юм. Энэ програмаа ашиглаад утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээнд ойролцоох давтамж дээр ажиллаж байгаа гадны сүлжээнээс нөлөөлөх радио сувгийн интерференцийг багасгах, дарах алгоритм зохион туршлаа. 2.4 ГГц-ийн радио давтамж дээр ажиллах утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээнд хөндлөнгөөс нөлөөлөх гол утасгүй технологиуд нь Wi-Fi, Bluetooth, Бичил долгионы зуух зэрэг байх ба бид энд давтамжийн зурвас өргөн, чадал ихтэй гэдэг шалтгаанаар Wi-Fi сүлжээг гадны нөлөөллийн загвар сүлжээ болгон сонгон авсан. Өөрөөр хэлбэл утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээнд хамгийн хүчтэй радио сувгийн интерференц үүсгэх сүлжээ гэдэг утгаар нь сонгож байгаа бөгөөд дэлхий нийтэд ч мөн Wi-Fi сүлжээг онцолж авч үздэг нь олон судалгаанаас харагдсан.

I. УТАСГҮЙ МЭДРЭГЧТЭЙ СҮЛЖЭЭНИЙ РАДИО СУВГИЙГ ҮНЭЛЭХ ЗАГВАР

A. Загвар системийн радио давтамжийн сонголт ба стандарт өгөгдлүүд

Zigbee төхөөрөмжүүд нь тухайн бүс нутагт тусгайлан хуваарилагдсан давтамжийн зурвас болон үйлдвэрлэл, шинжлэх ухаан, анагаах ухааны салбарт (ISM) дэлхий нийтэд лизензгүйгээр чөлөөтэй ашиглаж болох радио давтамжийн зурвасууд дээр ажилладаг.

ХҮСНЭГТ I. УТАСГҮЙ МЭДРЭГЧТЭЙ СҮЛЖЭЭНИЙ ДАВТАМЖИЙН ЗУРВАС ХУВААРИЛАЛТ, ӨГӨГДЛИЙН ХУРД

	Давтамжийн зурвас	Хамрах хүрээ	Өгөгдлийн хурд	Сувгийн тоо
2.4 ГГц	ISM	Дэлхий нийтэд	250 кБит/сек	16
868 МГц		Европд	20 кБит/сек	1
915 МГц	ISM	Америкт	40 кБит/сек	10

Манай орны хувьд сүүлийн жилүүдэд мөн утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний хэрэглээ, хөгжүүлэлт төрөл бүрийн салбарт хүч түрэн орж ирж байгаа бөгөөд эдгээр давтамжийн зурвасуудаас дэлхий нийтэд чөлөөтэй ашиглаж болох 2.4 ГГц орчмын радио давтамжийн зурвасын 16 сувгийг ашиглаж байна. Энэ давтамжийн зурвас нь радио долгионы хяналт зохицуулалтын ямар нэг зөвшөөрөл лиценз шаардахгүй, тухайн зурвас дахь сувгийн тоо олон, өгөгдлийн хурд өндөр зэргээрээ америк, европд ашиглагдаж байгаа 868 МГц, 915 МГц орчмын давтамжийн зурвасуудаас давуу талтай юм. Тийм ч учраас 2.4 ГГц-ийн давтамж дээр ажиллах утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний хөгжүүлэлт, судалгааг дэлхий нийтээр хурдацтай хийж байна. Манай тохиолдолд бид утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээгээ дэлхий нийтэд нээлттэй ашиглаж болох 2.4 ГГц орчмын давтамжийн зурваст ажиллуулахаар төлөвлөж байгаа бөгөөд зөвхөн энэ асуудлыг авч үзэхэд л урьдаас тооцох, загварчлах, шалгах шаардлагатай радио сувгийн чанарын үзүүлэлт, радио долгион тархалтын хүчин зүйлүүд гэх мэт олон асуудлууд урган гарч ирнэ. Тухайлбал 2.4 ГГц гэдэг бол нийтэд нээлттэй давтамж учраас ойролцоох давтамжийн зурвасууд дээр ажилладаг Wi-Fi, Bluetooth зэрэг технологиудын төхөөрөмжүүдээс манай сүлжээнд нөлөөлөх радио интерференцийн асуудал ч энд зайлшгүй судлах шаардлагатай том асуудал юм. Бид радио сувгийн ажиллагааг үнэлэхдээ системийн анхны өгөгдлүүдийг IEEE802.15.4 стандартад [1] нийцүүлэн тооцож байна.

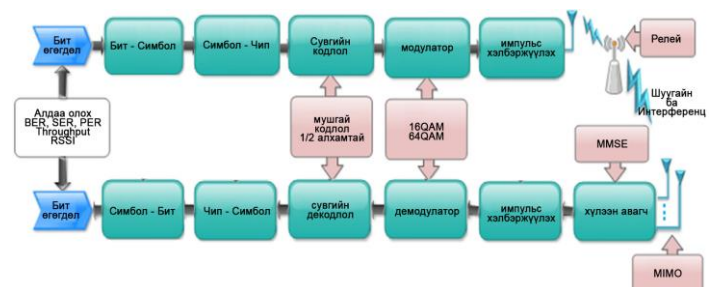
ХҮСНЭГТ II. СУВГИЙН ҮНЭЛГЭЭНИЙ СИМУЛЯЦ ХИЙХЭД АШИГЛАГДАХ СТАНДАРТ ПАРАМЕТРУУД

Д/д	Параметр	УМС- Параметр	Wi-Fi-Параметр
1.	Давтамж	2.4ГГц	2.4ГГц
2.	Зурвасын өргөн	20МГц	110МГц
3.	Модуляц	OQPSK, 16QAM, 64QAM	64QAM
4.	Антенн	MIMO-Rx Diversity	MIMO-Rx

		1x2	Diversity 1x2
5.	Сувгийн кодлол	Мушгиа код 1/2	Мушгиа код 1/2
6.	Дамжууллын хурд	250кб/с	54 Мб/с
7.	Релей	AF- amplify and forward (Шууд өсгөлттэй релей)	AF- amplify and forward (Шууд өсгөлттэй релей)

B. Загвар системийн ажиллагааны зарчим, сувгийн үнэлгээний параметрууд

Энэ хэсэгт радио сувгийн ажиллагааг үнэлэхэд шаардлагатай утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний нэгж нэвтрүүлэгч, хүлээн авагч төхөөрөмжийн шугамын түвшин дэхь дохио боловсруулалтын асуудлыг Зураг 1-д үзүүлсэн дарааллын дагуу тодорхойлж байна. Энд утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний нэвтрүүлэгч, хүлээн авах төхөөрөмжийн тоон дохионы хувиргалтуудыг IEEE802.15.4 стандартад [1] заасны дагуу хэрэгжүүлж байна. Мөн бидний загварын нэг онцлог давуу тал нь утасгүй орчны олон сонголттой радио сувгийн үнэлгээг хийхэд оршиж байна. Ихэнх судалгааны ажил дээр [4], [5] утасгүй орчныг загварчлахдаа зөвхөн гауссын цагаан шуугиантай суваг байхад л хангалттай гэж үздэг бол манай тохиолдолд бид нэмэлтээр дотоод болон гадаад орчны хэд хэдэн сонголттойгоор шийдэж өгсөнөөр тухайн орчин бүрийн цаана радио долгионы замхралтын төрлөөс хамаарсан функц ажиллаж сувгийн нөхцөл байдлыг илүү бодитой загварчилж өгч байгаа юм. Ингэснээр утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний радио сувгийн үнэлгээ илүү эрсдэлтэй орчны загвар дээр хийгдэж, бодит байдалд илүү ойртсон оновчтой анализ хийгдэнэ гэж ойлгож болно.



Зураг 1.1. Утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээнд сувгийн үнэлгээ хийх загвар

Утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний нэвтрүүлэгч, хүлээн авах радио төхөөрөмжүүдийн үндсэн функцуудын үүрэг ажиллагааг загварчлах ажлын хажуугаар сувгийн үнэлгээг хийх алгоритм функцуудын мөн сонгож загварчилах нь хамгийн чухал юм. Энд сувгийн үнэлгээний Zero Forcing, MMSE, MRRF_ZF, Layered_ZF [2] алгоритмуудын алийг сонгон үнэлгээ хийх боломжтойгоор хэрэглэгчийн график интерфэйс загвараа хөгжүүлсэнээрээ өмнөх судалгааны ажлууд дахь загваруудаас илүү нийлмэл, олон талт үнэлгээ хийх боломжтой хэрэглэгчийн загвар болж байна. Манай радио сувгийн үнэлгээний загвар нь сувгийн үнэлгээнд чухалчлан авч үзэгдсээр ирсэн Багц алдааны магадлал (PER-Packet Error Rate), Блок алдааны магадлал (BLER-Block Error Ratio), Бит алдааны магадлал (BER-Bit Error Rate), Тэмдэгт алдааны магадлал (SER-Symbol Error Rate), Слот алдааны магадлал (SLER-Slot Error Rate), Нэвтрүүлэгч

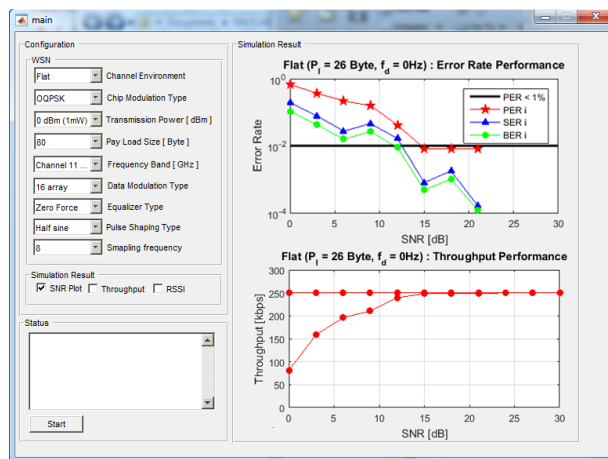
чадвар (Throughput), Хүлээн авах дохионы чанар (RSSI-Received Signal Strength Indicator) Дохио шуугианы харьцаа (Signal to Noise Ratio)[2], [4], [5] гэсэн үзүүлэлтүүдийг хамаарлыг хэрэглэгчид тооцоолон харуулах боломжтой.

II. УТАСГҮЙ МЭДРЭГЧТЭЙ СҮЛЖЭЭНИЙ СУВГИЙН ҮНЭЛГЭЭ ХИЙХ ХЭРЭГЛЭГЧИЙН ГРАФИК ИНТЕРФЭЙС

I-р хэсэгт дурьдсан, загвар болгон авч буй нэгж нэвтрүүлэх, хүлээн авах төхөөрөмжтэй, орчны үзүүлэлтүүдийг сонголттойгоор тооцон утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээ бүхий системийн хувьд радио шугамын сувгийн үнэлгээг хийх үйл ажиллагаа нь Зураг.1.1-т үзүүлсэн үйл явцын дагуу ажиллана. Энд гаднаас нөлөөлж буй Wi-Fi сувгийг интерференцийг тооцож үнэлгээ хийх боломжтойгоор загварчилж өгсөн. Өөрөөр хэлбэл сувгийг үнэлгээг хийхдээ зөвхөн тухайн утасгүй мэдрэгч сүлжээний орчинд хийсэн ч болно. Эсвэл гаднаас Wi-Fi дохионы интерференц нөлөөлж буй үеийн загварын дагуу хийсэн ч болно гэсэн үг юм. Эндээс бид уг 2 өөр сүлжээний хоорондын интерференцийн үр дүнд анализ хийж үндсэн утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний мэдээлэлд алдаа гарах магадлалыг үнэлэх боломжтой юм. [3] Ингэснээр интерференцийг багасгах, дарах шаардлагатай техникийн хязгаар нөхцөлийг бүрэн тодорхойлж болно.

Зураг 1.1-т үзүүлсэн сувгийн үнэлгээний үйл явц нь эхлээд сувгийн давтамж, дамжуулах чадал, нэг удаагийн тооцооллд зориулж дамжих битийн хэмжээ, модуляци болон демодуляцийн төрөл, дохио дамжих орчин гэх мэт симуляцын анхны стандарт мэдээлүүдийг авна. Дараа нь дамжих битүүдийн цувааг өгөгдсөн урттайгаар санамсаргүйгээр үүсгэж өгнө. Үүний дараа битүүдийг “16 арга” алгоритмаар дата модуляци хийж тэмдэгт болгож хувиргана. Үүссэн тэмдэгтийг “2 chip PN code” функцаар Чип болгоод сувгийн кодлол хийнэ. Сонгогдсон модуляцилах аргын тусламжтайгаар чип модуляци хийж сувгаар дамжуулахад бэлэн болсон радио дохиог гарган авна. Үүссэн дохиог сувгаар дамжуулахдаа орчины төрөл сонгох ба орчноос хамаарсан замхралтын хэлбэр болон гаусын шуугианыг нэмж өгнө.

Дараа нь хүлээн авагч талын хэсэг ажиллаж эхэлнэ. Энд эхлээд хүлээн авагч тал Zero Forcing, MMSE, MRRC_ZF, Layered_ZF [2] алгоритмуудын аль нэгийг ашиглан сувгийн үнэлгээг хийнэ. Сувгийн үнэлгээ хийхэд нэвтрүүлэгчээс дамжуулагдсан дохионд зайнаас хамаарсан нөлөөллийн функцийг хүлээн авах талд тооцож байгаа юм. Орж ирсэн дохионд демодуляци хийнэ. Үүний дараа дохиогоор дамжигдаж ирсэн битүүдийг ялгаж авна. Ингээд ирсэн битүүдийг анх үүсгэгдсэн битүүдтэй харьцуулж BER, PER, SER, Throughput, RSSI зэрэг сувгийн үнэлгээний параметруудыг тодорхойлно.



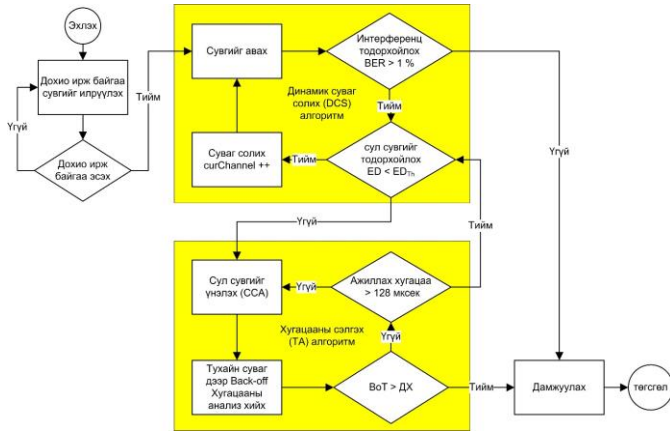
Зураг 2.1. радио сувгийн үнэлгээний программын хэрэглэгчийн интерфэйсийн харагдах байдал

III. СУЛ СУВГИЙН ҮНЭЛГЭЭНД СУУРИЛСАН ИНТЕРФЕРЕНЦИЙГ БАГАСГАХ НИЙЛМЭЛ АЛГОРИТМ

Энэ алгоритм нь 2 хэсгээс тогтоно. Эхлээд II-р хэсэгт дурьдсан радио сувгийн үнэлгээний аргыг ашиглан тухайн сувгаар ирж байгаа мэдээлэл интерференцтэй эсэхийг тогтооно. Интерференцийг олохдоо бит алдааны хэмжээ нь 1 хувиас бага байхаар тооцно. Хэрвээ интерференцтэй байвал нийлмэл алгоритмын эхний алгоритм ажиллана. Энэ алгоритмын гол санаа нь нөлөөлөлд орж байгаа сувгаас бусад сул байгаа сувгийг олох юм. Сул сувгийг олохдоо системийн бүх сувгийн хувьд үнэлгээ хийж суваг бүр дээрх чадлын түвшинг тодорхойлно. Чадлын түвшин нь IEEE802.15.4 стандартад заасны дагуу -77 дБм – ээс бага бол зөөгч дохио байхгүй гэж үзнэ. Хэрвээ зөөгч дохио байхгүй сул суваг олдвол дамжуулж байгаа сувгийг чөлөөтэй байгаа сул сувгуудын аль нэг сувгаар солино. Энэ аргыг динамикаар суваг сонгох арга гэж нэрлэдэг.

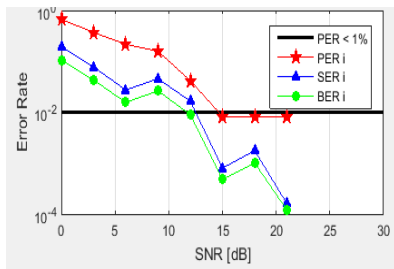
Харин нийлмэл алгоритмын 2 дахь алгоритм нь эхний алгоритмаар чөлөөтэй суваг олдохгүй бол анхны интерференцтэй суваг дээрээ үргэлжлүүлэн дамжуулал хийх санаан дээр үндэслэнэ. Ингэхдээ мөн сул сувгийн үнэлгээ (Clear Channel Assessment) хийнэ. Гэхдээ энэ тохиолдолд системийн бусад сувгийн хувьд сул сувгийн үнэлгээ хийхгүй. Харин тухайн дамжуулал хийж буй сувагт тодорхой хугацааны интервалын хувьд суваг гадны интерференцгүй болж суларч байгаа эсэхийг шалгах юм. Энэ нь маш бага хугацаа байна. Хэрвээ алгоритм үндсэн утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний өгөгдлийн нэг пакет дамжих хугацаанд гадны интерференц тасалдлаа гэж илрүүлбэл үндсэн сүлжээний мэдээллээ энэ хугацааны агшинд амжиж дамжуулах санаан дээр энэ алгоритм үндэслэж байна гэсэн үг. Хэрвээ энэ нөхцөлийг хангах хугацааны интервал олдохгүй бол тухайн давталтыг 128 мкс ажиллуулаад алгоритмын нэгдүгээр хэсэг рүү буцаж үсрэнэ. Энэ шилжилт нь сул сувгийн үнэлгээ хийх нэг циклийн үргэлжлэх хугацаагаар хязгаарлагдаж байгаа бөгөөд сул хугацааны интервал тухайн сувагт олдохгүй байвал дараах хугацааны сул агшныг хүлээх зуур өмнөх алгоритмаар шинээр өөр суваг суларсан эсэхийг давхар шалгах боломжтойгоор

ажиллана.Интерференцэд орж буй Wi-Fi ба Утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний аль алиных нь радио нөөц хуваарилах алгоритмын ажиллагаанаас хамаарч хэзээ хангалттай сул зай орж ирэх вэ гэдэг магадлал тооцогддог бөгөөд энэ нь яг тогтсон хугацаанд хэрэгжих нь ховор юм.Иймээс алгоритм хэдэн арван удаа шалгалт хийсний дараа үндсэн пакет дамжихад хангалттай сул хугацааны интервал тохиолдож ч болно.

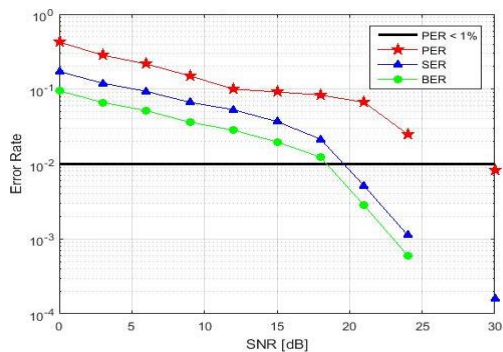


Зураг 3.1.Нийлмэл алгоритмын үйл явц

IV.СИМУЛЯЦЫН ҮР ДҮН,ДҮГНЭЛТ

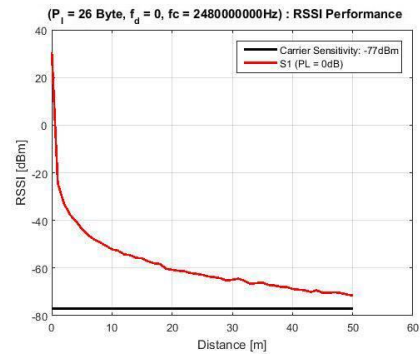


Зураг 4.1. Утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээнд Wi-Fi интерференц нөлөөгүй үеийн дамжууллын алдааны үзүүлэлт

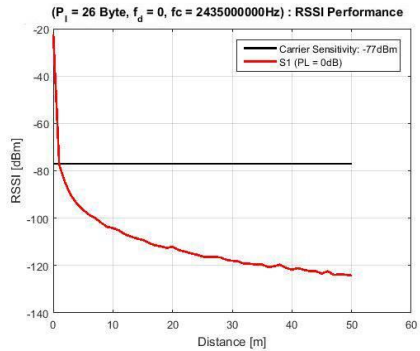


Зураг 4.2. Утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээнд Wi-Fi интерференцтэй үеийн дамжууллын алдааны үзүүлэлт

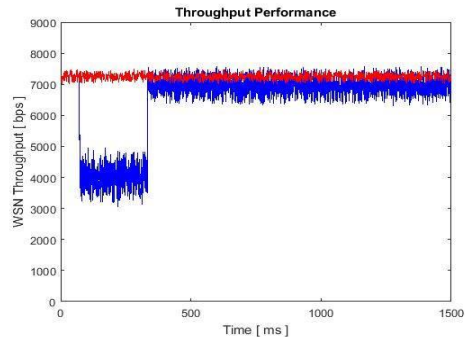
Зураг 4.1 ба 4.2 оос харахад утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээний загвар системд Wi-Fi сүлжээний интерференц нөлөөлж байгаа болон нөлөөлөөгүй үеийн бит алдааны үзүүлэлт эрс ялгаатай харагдаж байна.Өөрөөр хэлбэл бид эндээс тухайн утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээнд интерференцийн нөлөөлөл аль зэрэг байгааг алдааны үзүүлэлтээс нь шууд дүгнэж болох юм. Алдааны үзүүлэлт 1%-иас хэтэрсэн тохиолдолд интерференцээс болж үндсэн мэдээлэл сэргэхэд гарах алдааны хэмжээ зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс хэтэрлээ гэж үзэж болно.



Зураг 4.3. Мэдээл дамжиж буй сувгийн энергийн үзүүлэлт (50м хүртэлх зайд)



Зураг 4.4. Сул сувгийн энергийн үзүүлэлт (50м хүртэлх зайд)



Зураг 4.4. Интерференц дарах алгоритм ажиллаж байгаа үеийн дамжуулах чадамжийн үнэлгээ

Харин зураг 4.3 ба 4.4 –оос харахад интерференцээс зайлсхийхийн тулд сул сувгийн үнэлгээ хийх үеийн тухайн нэг суваг дахь энергийн үзүүлэлтийг тус тус харуулж байгаа бөгөөд сул байгаа суваг болон завгүй суваг хоорондын энергийн ялгааг ажиглах боломжтой.Тухайлбал зураг 4.4 –т бидний хайж буй сул сувгийн энергийн түвшин нь нэвтрүүлэгчээс маш бага зайд ч тухайн сувгийн энерги нь стандартаар зааж өгсөн хүлээн авагчийн зөөгч мэдрэх түвшин -77 дБм-ээс бага байгаа нь харагдаж байна.Өөрөөр хэлбэл энэ сувагт яг одоогийн хугацааны агшинд ямар нэг дамжуулал хийгдээгүй байна гэж үзнэ.

Зураг 4.4- т интерференц дарах нийлмэл алгоритм ажиллаж байгаа үеийн дамжуулах чадамжийн үнэлгээг харуулсан.Энд улаан өнгөөр интерференц нөлөөлөөгүй үеийн дамжуулах чадамжийг харуулж байгаа бол цэнхэр өнгөөр интерференц нөлөөлж эхлэх үеийн болон интерференцийг дарах нийлмэл алгоритм ажиллаж эхэлснээс хойшхи үеийн дамжууллын чадамжийн үзүүлэлтийг нэг хугацааны тэнхлэг дээр дүрслэн харуулсан юм.Интерференц

нөлөөлж буй үеийн дамжууллын үзүүлэлтийн графикаас харахад системийн дамжууллын чадамж эрс буурч байгаа бөгөөд интерференцээс зайлсхийх нийлмэл алгоритм ажиллаж эхэлснээр бусад энэ төрлийн алгоритмтай харьцуулахад харьцангуй богино хугацааны агшинд дамжууллын чадамж сэргэж байгааг харж болно. Ийнхүү аль болох хурдан хугацаанд интерференцээс зайлсхийж чадсанаар үндсэн дохионд интерференцийн улмаар үүсэх алдааг төдий чинээ багасгаж байгаа юм. Энэ нь бидний санаачилсан интерференцийн нөлөөллийн үр ашигтай багасгах нийлмэл алгоритмийн гол давуу тал юм.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг гүйцэтгэхэд дэмжлэг үзүүлсэн БНСУ-ын Шинжлэх Ухааны Яамны R&D нэгдсэн хөтөлбөр, Шинжлэх Ухаан Технологийн Үндэсний Судалгааны Консул, Монголын төмөр зам болон Монгол Улсын Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургуульд талархал илэрхийлье.

V. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛЫН ЖАГСААЛТ

- [1] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), IEEE Std 802.15.4TM-2011
- [2] Prof. Brian L. Evans, Kapil Gulati, Marcel Nassar “*In-Platform Radio Frequency Interference Mitigation for Wireless Communications*” Embedded Signal Processing Laboratory The University of Texas at Austin, Austin, Texas 2007
- [3] Haisheng Tan, Tiancheng Lou, Yuxuan Wang, Francis C.M. Lau “Exact algorithms to minimize interference in wireless sensor networks” *Theoretical Computer Science* 412 (2011) 6913-6925
- [4] Ana Bildea. Link Quality in Wireless Sensor Networks. Other [cs.OH]. Université de Grenoble, 2013. English. <NNT : 2013GRENM054>. <tel-01167272>
- [5] Nouha Baccour, Anis Koubâ, Carlo Alberto Boano, Luca Mottola, Hossein Fotouhi, Mário Alves, Habib Youssef, Marco Antonio Zúñiga, Daniele Puccinelli, Thiemo Voigt, Kay Römer, Claro Noda, Radio Link Quality Estimation in Low-Power Wireless Networks book
- [6] Yoonchul Baek, Joon-Ho Lee, Seok Lee, Hyung Seok Kim “*Predictive channel scanning and switching algorithm for the coexistence of IEEE 802.15.4 and wifi*” Department of Information and Communication Engineering Sejong University
- [7] Yong Tang, Zhipeng Wang, Dimitrios Makrakis, Hussein T. Mouftah “*Interference aware adaptive clear channel assessment for improving zigbee packet transmission under wifi interference*” IEEE Broadband Wireless and Internetworking Research Laboratory School of Electrical Engineering and Computer Science University of Ottawa
- [8] Suk-Un Yoon, Robert Murawski, Eylem Ekici, Sangjoon Park, Zeeshan Hameed Mir “*Adaptive channel hopping for interference robust wireless sensor network*” Department of Electrical and Computer Engineering The Ohio State University, Columbus, Electronics and Telecommunications Research Institute Daejeon, South Korea