

ГАЛТ ТЭРЭГНИЙ ХЯНАЛТЫН СҮЛЖЭЭНИЙ ТОПОЛОГИ

П.Бумдүүрэн, Т.Уранчимэг
Багш/Магистр, Холбооны салбар
ШУТИС-МХТС
Улаанбаатар, Монгол

bumduuren@must.edu.mn, Uranchimegtc@must.edu.mn,

Ж.Жавзансүрэн
Дэд профессор /доктор, Холбооны салбар
ШУТИС-МХТС
Улаанбаатар, Монгол
j_javzansuren@must.edu.mn

Хураангуй—Монгол улсын төмөр замаар тээвэрлэх олон улсын ачааны хэмжээ 2015 оныхоос 2016 онд 2.5 дахин нэмэгдэхээр болж байгаагаас гадна уул уурхайн бүтээн байгуулалттай холбоотой зүүн чиглэлийн төмөр замын бүтээн байгуулалт ид өрнөж, цаашдаа төмөр замын ачаа тээвэрлэлтийн хэмжээ мэдэгдэхүйц өсөх ирээдүй харагдаж байна. Ачаа тээвэрлэлтийг аюулгүй найдвартай явуулах гол нөхцлийн нэг нь тухайн галт тэрэгний хяналтын асуудал бөгөөд түүнийг ЗигБи-д суурилсан утасгүй мэдрэгч сүлжээгээр шийдэх технологи олон улсад судлагдаж тодорхой шийдлүүд гарч байна. Бид IEEE802.15.4 стандартын уламжлалт нэг зохицуулагчтай од топологитой сүлжээг бодвол олон үсрэлт бүхий сүлжээний олон зохицуулагч (координатор) бүхий бүтцийг санал болгож, түүний үзүүлэлтийг Опнет сүлжээний програмаар симуляци хийж тодорхойлов.

Түлхүүр үг- Утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээ (УМС), зигбизохицуулагч, зигби рутер, OPNET, нэвтрүүлэх чадвар, хугацааны саатал

Оршил

Монгол улсын төмөр замын хүн тээврийн галт тэргэнд ОХУ-ын дугуйн халалтын хэмийг мэдрэгч хяналтын систем байдаг ч чингэлэг тус бүр дээр байрлах мэдрэгчээс авсан мэдээллийг хянах нэгдсэн сүлжээ байхгүй учраас хяналтын мэдээллийг операторын тусламжтай төв рүү дамжуулдаг. Харин ачаа тээврийн галт тэргэнд одоогоор дугуй халалт, орчны чийгшил, температур зэргийг хянах хяналтын систем байхгүй байна. Суудлын галт тэргийг бодвол ачааны галт тэрэг нь хүнд даацын учраас үрэлт их үүсч дугуйны халалт их, нэг удаадаа 100 хүртлэх вагон чирдэг хэдэн зуун метр хүртэл урттай зэрэг онцлогтой учраас уламжлалт аргаар ачааны чингэлэг тус бүрийн нөхцөл байдлыг хянах хүн хүч дутагдах хүндрэл гардаг. Тиймээс дугуйн тэнцвэр, халалтын хэм, замын эвдрэл, тээвэрлэж буй барааны гэмтэл зэргийг хянах хяналтын сүлжээг зохион байгуулах асуудал тулгарч байгаа юм. IEEE 802.15.4 стандарт нь ачааны чингэлэгүүд дээр байрлах мэдрэгчийн өгөгдөл дамжуулалд хэрэглэгдэнэ. Гэсэн хэдийн ч IEEE 802.15.4 стандартын олон үсрэлт бүхий, цуваа хэлбэрийн томоохон сүлжээнд замчлалын асуудал нийлмэл болж рутерийн тоо ихсэхийн хэрээр холболт тогтох хугацаа ихэсдэг. Тухайлбал IEEE 802.15.4 олон үсрэлттэй (multi-hop) 1-ээс 5 зангилаатай үед сүлжээний нэвтрүүлэх чадвар нь

250 kbps-ээс 40 kbps болж буурдаг байна. Тиймээс утасгүй мэдрэгч сүлжээг ачааны галт тэргэнд зохион байгуулахдаа сүлжээний олон зохицуулагчтай байхаар сонгож тэдгээр нь хоорондоо Wi-Fi сүлжээгээр харилцан холболт хийх топологийг дэвшүүлж судлахыг зорилоо. Зигби нь УМС-д ашигладаг түгээмэл платформ юм. Энэ чиглэлд бичигдсэн өгүүллүүд нь УМС-ний симуляци дээр тулгуурлаж дүгнэлт өгсөн байдаг. Жишээ нь [4] нь Зигби утасгүй мэдрэгч сүлжээний NS-2 симуляцийн програм ашигласан байна. NS-2 нь үр ашиг болон бодит нөхцөлтэй уялдуулан хийхэд төвөгтэй байдаг бол [5] нь OPNET ба NS-2 хоёрын үр дүнг харьцуулсан байдаг. Ингэхдээ FTP протоколоор тогтмол битийн хурдтай өгөгдлийг утаст сүлжээгээр дамжуулах нөхцөлд харьцуулалт хийж NS-2 нь OPNET-тэй нэвтрүүлэх чадварын хувьд бараг адил байгааг тогтоосон байна. Гэхдээ [5] нь утасгүй сүлжээ ба утасгүй мэдрэгчт сүлжээний хувьд дүгнэлтийг хийгээгүй юм. Мэдрэгчтэй сүлжээний симуляцийн судалгааг [6]-д хийсэн байдаг. Энд OPNET-ийг ашигласан олон янзын утасгүй мэдрэгч сүлжээний симуляцийг авч үзсэн байдаг. Мэдээж симуляци ба загварчлал нь цаг мөнгө хэмнэсэн чухал арга бөгөөд симуляци нь тодорхой нөхцөлд тохирох симуляцийн загварыг гаргаж тухайн системийг судалдаг учраас мэдээж бодит системд тун дөхсөн байхаар загварыг тодорхойлох нь чухал. Тиймээс бид загварчлал ба симуляцийн тэргүүлэх орчинг үүсгэдэг OPNET Modeler 14.5-ийг симуляцдаа сонгон ашиглалаа. Энэ симуляцийн хэрэгсэл нь нь од, тор, кластер мод топологит холбооны сүлжээ ба тархмал системийн загварыг хөгжүүлдэг цогц орчин юм. Сүлжээ нь мэдээж сүлжээний зохицуулагч, рутер, хэрэгслүүд хооронд үүснэ.

Бидний судалгааны ажил нь I-р хэсэгт IEEE 802.15.4 Зигби протокол стандартын тухай, II-р хэсэгт Галт тэрэгний утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээнд тавигдах ерөнхий шаардлага, III-р хэсэгт Олон үсрэлттэй мэдрэгч сүлжээний шийдлийг үзүүлсэн. IV-р хэсэгт Симуляцийн загвар, Симуляцийн үр дүнг V-р хэсэгт оруулсан.

I. IEEE 802.15.4 стандарт

IEEE 802.15.4/Зигби нь хувийн утасгүй нам хурдны сүлжээний физик болон орчны хандалтын удирдлагын түвшнийг тодорхойлсон стандарт юм.

Сүлжээг уян хатанзохион байгуулж, үнэ өртөг, тэжээл зарцуулалт багатай байдаг онцлогтой. Энэ онцлог нь суурин, зөөврийн, хөдөлгөөнт хэрэгслүүдийн хооронд адхок сүлжээ үүсгэхэд тохиромжтой. IEEE 802.15.4-ийн физик түвшинд 2.4 ГГц-ийн зурваст 16, 915 МГц-ийн зурваст 10, 868 МГц-ийн зурваст 1 суваг нийт 27 суваг хуваарилагдсан байдаг [1]. Харин MAC түвшин нь дамжуулах орчинд буюу физик түвшинд хандах хандалтыг удирддаг бөгөөд үйлчилгээний нийцлэлийн дэд түвшин ба физик түвшний хооронд интерфейс болдог [1-2].

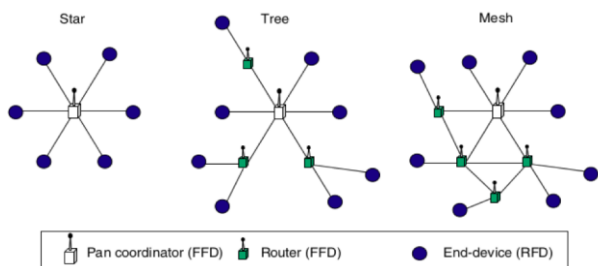
Хүснэгт 1. Зигби-ийн үндсэн үзүүлэлтүүд

Үзүүлэлтийн нэр	Зигби үзүүлэлт
Хамрах хүрээ [м]	1-100
Батарейн амьдрах хугацаа [өдөр]	100-1000
Сүлжээний зангилааны тоо/ хэмжээ	>64000
Нэвтрүүлэх чадвар [кбит/сек]	20-250

IEEE 802.15.4 сүлжээний бүрэлдэхүүн :

- Хувийн хандалтын сүлжээний зохицуулагч (PAN coordinator). Сүлжээний зохицуулагч нь сүлжээг үүсгэж, бусад зангилаануудтай холбогдоно. Мөн бусад зангилаа руу ерөнхий синхрончлолын дохиог тулгуур фреймүүдэд илгээнэ. Энэхүү тулгуур фреймд сүлжээний таних дугаар болон сүлжээтэй холбоотой мэдээллүүд дамждаг.
- Рутер. Энэ нь сүлжээ үүсгэхээс бусад үүргийн хувьд сүлжээний зохицуулагчтай адил. Энэхүү зохицуулагч нь өөрийн хүрээнд байгаа зангилаануудад локаль синхрончлолын дохиог болон сүлжээний зохицуулагчийн тулгуур фреймд ирсэн сүлжээний таних дугаарыг илгээнэ.
- Энгийн зангилаа буюу эцсийн хэрэгсэл. Энэ нь зохицуулагчийн үүрэггүй ч бусад зангилаатай синхрончлогдон, сүлжээний координаторт хоёрдогч зангилааболж холбогдоно.

Сүлжээний энэхүү 3 элементийн эхний хоёр нь IEEE802.15.4 стандартад заасан үүргүүдийг гүйцэтгэдэг бүрэн үйлдэлт хэрэгсэлд (FFD) тооцогдоно. Бусад төрлийн сүлжээний нэгэн адил IEEE 802.15.4 Зигби сүлжээ нь од, мод, торон хэлбэрийн топологитой байна.



Зураг1. Сүлжээний топологи

Сүлжээний торон топологи нь мэдээллийн үүсгүүрээс хүлээн авагч хүртэл дурын замаар өгөгдлийг дамжуулах боломжийг олгодог хамгийн уян хатан дамжууллын хэлбэр юм. Аль нэг рутерт алдаа үүсэх, гэмтэл гарсан тохиолдолд Зигбигийн өөрөө өөрийгөө засварлах(self-healing) механизм нь өөр замаар өгөгдөл дамжуулах боломжийг

сүлжээнд гаргадаг. Утасгүй Мэдрэгчтэй Сүлжээ (УМС) нь утасгүйгээр холбогдсон олон тооны мэдрэгчээс бүрддэг[3].

II. Галт тэрэгний утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээнд тавигдах ерөнхий шаардлага

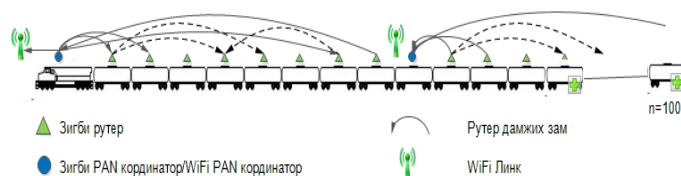
Галт тэрэгний хяналтын утасгүй сүлжээг байгуулахад галт тэрэгний физик параметрууд, утасгүй мэдрэгчийн ажиллах нөхцлийг тооцож үзэх шаардлагатай онцгой объект юм. Галт тэрэг нь хол зайд их хэмжээний ачаа болон олон тооны хүнд үйлчилдэг найдвартай байх шаардлагатай тээврийн хэрэгсэл юм. Ачааны галт тэрэгний хувьд тусгайлан авч үзэхэд хол замд урт хугацаагаар тээвэрлэлт хийдэг, ашиглалт үйлчилгээ явуулдаг хүний нөөц цөөн байдаг учраас бодит хугацааны хяналт, засвар үйлчилгээг хийхэд хүндрэл учирдаг. Мөн түүнчлэн ачааны тэрэгний цуваа урт учраас аль нэг хэсэгт үүссэн гэмтлээс үүдэн цуваа бүхэлдээ замаас гарах, төмөр замд гэмтэл учруулах зэрэг нөхцөл үүсдэг. Иймээс ачааны тэргэнцэрт бодит хугацааны мэдрэгчтэй сүлжээг нэвтрүүлснээр галт тэрэгний явах эд анги болон замын гэмтэл зэргийг илрүүлснээр болзошгүй эрсдлээс урьдчилан сэргийлэх, гэмтлийг цаг алдалгүй илрүүлэн засах боломжийг олгож чадах юм.

a) *Зам дагуу байрлуулдаг хяналтын систем:* Энэ төрлийн хяналт нь замын хажууд байрлах мэдрэгчийн хажуугаар ачааны галт тэрэг явж өнгөрөх үед илрүүлэгчээр галт тэргэлийн мэдээллийг хүлэн авдаг. Илрүүлэгч нь ерөнхийдөө замын гадна талд газарт байрладаг. Эдгээр илрүүлэгчид нь хөдлөх ангийн халалтын хэм, аюулгүй ажиллагаа зэрэг мэдээллийг авч суурь сүлжээгээр хяналтын төв рүү дамжуулдаг.

b) *Автоматаар төхөөрөмжийг таних:* Энэ хэлбэрийн хяналт нь ачааны галт тэрэг болон замын төхөөрөмжүүдийг детектороор/илрүүлэгчээр дайрч өнгөрөхөд таних үйл ажиллагааг хийнэ. Үнд идэвхгүй шошгыг ачааны тэрэг эсвэл замын төхөөрөмж дээр суурилуулж, төмөр замын далангийн хажуу зурваст байрладаг төхөөрөмжөөр мэдээллийг уншина. Энэ шийдэл нь ихэвчлэн RFID буюу Радио Давтамж Таних Технологийг ашигладаг.

c) *Тээвэрлэлтийн явцад хяналт хийх систем:* Энэ систем нь мэдрэгч төхөөрөмжийг тээвэрлэлт хийж байгаа ачааны тэргэнд байрлуулна. Энэ нь ялгаатай 2 хэсгээс бүрдэнэ. Мэдрэгч ба түүний мэдээллийг хүлээн авах координатор. Энэ төрлийн хяналтыг IEEE 802.11(b), үүрэн хобоог ашиглан шийддэг ба байршил илрүүлэх, алслагдсан удирдлагын төв рүү мэдээлэл дамжуулахад GPS ашиглаж болно.

d) *УМС ашиглан ачааны тэргийг хянах:* Энэ хэлбэрийн хяналт нь орчин үеийн бөгөөд бодит хугацаанд хяналт хийх боломжыг олгодог. Мэдрэгч



цэгүүд нь сүлжээнд өөр хоорондоо мэдээлэл солилцох боломжыг олгодог. Сүлжээнд ашиглагддаг протокол болон мэдрэгч цэгүүдийн дизайн нь эрчим хүчний зарцуулалт аль болох бага байхаар зохион байгуулагдсан байдаг.

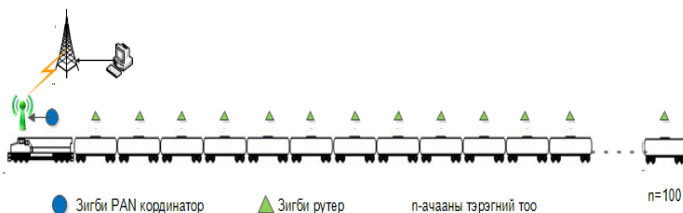
Энэ хэлбэрийн хяналтын сүлжээг:

- Газар нутгийг хянах
- Орчны хяналт үүнд: Ой, агаарын чанар, мөсөн бүрхүүл зэрэг багтана
- Үйлдвэрлэлийн машины ажиллагааг хянах
- d)Хөдөө аж ахуй, хөрсний чийг, мал аж ахуй.
- Ухаалаг гэрийн хяналт

УМСнь мэдрэгчүүд хооронд харилцан холболтын уян хатан бүтэцтэйгээс гадна гадна эрчим хүчний зарцуулалт бага байдаг учраас сүлжээний ашиглалтын/амьдралын хугацааг уртасгах, батерейг сольж хэрэглэдэг учраас суурилуулалтын ажиллагаа хялбарших онцлогтой. Иймээс УМС ашиглан төмөр зам, галт тэргэнд зориулсан хяналтыг зохион байгуулах нь хамгийн тохиромжтой юм.Эндээс дүгнэхэд сүлжээ зохион байгуулах объект нь уртаашаа сунаж тогтсон, замын муруйлт, саадыг тойрч гарч байгаагаас шалтгаалан хаалттай орчин үүсэх нөхцөл гарах магадлалтай байна.

III. Олон үсрэлттэй утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээ

Ачааны нэг зүтгүүр нь 100 хүртэл чингэлэгийг чирж тээвэр хийдэг бөгөөд нэг чингэлэгт доод тал нь 4 мэдрэгч тавигдах нөхцөлд IEEE 802.15.4 стандартын саадгүй орчинд 100м, саадтай орчинд 40м дотор хамрах хүрээ үүсгэдэг байдлыг тооцвол нэг чингэлэгт байрлах мэдрэгчүүд хоорондоо болон дараагийн чингэлэгийн мэдрэгчтэй холбогдож зүтгүүр дээр орших сүлжээний зохицуулагчтай холбогдох (Зураг 2)асуудал нь саатал ихтэй, төвөгтэй байх нь тодорхой байна. Өөрөөр хэлбэл энэ онцгой нөхцөлд замчлал хийх олон үсрэлттэй сүлжээ үүсч, рутерийн тоо ихсэхийн хирээр хугацааны саатал их байх болно.



Зураг2.Олон рутертэй галт тэрэгний мэдрэгчтэй сүлжээ

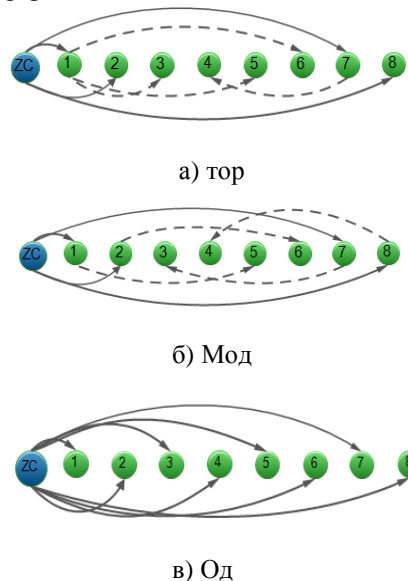
Тиймээс бид дан зигби сүлжээнээс гадна өндөр хурдтай Wi Fi сүлжээг ашиглан зигби төхөөрөмжийн хамрах хүрээг 100 м гэж үзэн нэг вагоны урт 12 м байдаг ба агон бүрт рутер байрлах учир 8 рутер, 1 координатортой хувийн утасгүй (PAN) торон сүлжээг санал болгож байна.

Зураг 3. Олон кординаатортой торон сүлжээ

Илгээх хүсэлт/илгээхэд нээлттэй (RTS/CTS) гэсэн мэдээллийг явуулахгүй тохиолдолд олон үсрэлттэй сүлжээнд нуугдсан хэрэгслийг илрүүлж мэдрч чадахгүй нөхцөл үүснэ. Түүнээс гадна олон үсрэлттэйсүлжээний нэг асуудал нь зам тодорхойлох явдал бөгөөд үүнд үсрэлтийн тоо олшрох тутам замыг тогтооход нилээд урт хугацаа шаарддаг. Бүрэн үйлдэлт802.15.4 хэрэгсэл нь сүлжээний замчлах үйлдэлтэй байдаг бол үнэ өртөг болон сүлжээг хялбарчлахын тулд алсын удирдлагатай свич, өгөгдөл цуглуулах мэдрэгч зэрэг төгсгөлийн энгийн хялбар хэрэгсэлдхагас үйлдэлт хэрэгсэл (RFD) ашиглагддаг. IEEE 802.15.4 сүлжээ нь сүлжээний зохицуулагчийн үүргийг гүйцэтгэх ядаж нэг FFD-тэй байна. Хэрэгсэл хоорондын (Peer-to-peer) холболт үүсгэхийн тулд дээрхи хоёр төрлийн хэрэгсэл хоорондоо холбогддог. Энэ төрлийн холболт нь үр ашигтайгаар өөрөө үүсдэг, хамрах хүрээ их байх боломжтой зэрэг шинжээрээ үйлдвэрийн болон арилжааны зориулалтын сүлжээнд тохиромжтой ч сүлжээний саатал их байдаг дутагдалтай.

IV. Симуляцийн загвар

Бид уг судалгааны ажлыг хийж гүйцэтгэхдээ гурван төрлийн топологиудын замчлалын хүснэгтийг боловсруулсан (зураг 4) ба тэдгээрийн симуляцийн загварыг Ornet програм ашиглан (Зураг 5) тухайн сүлжээнүүдийн (QoS)-ыг нэвтрүүлэх чадвар (throughput) болон төхөөрөмж хоорондын өгөгдөл дамжуулах хугацааны саатал (end to end delay) гэсэн үзүүлэлтээр үнэлсэн.



Зураг.4. Симуляцаар турисан сүлжээний топологиуд



Зураг.5. Симуляцийн топологи

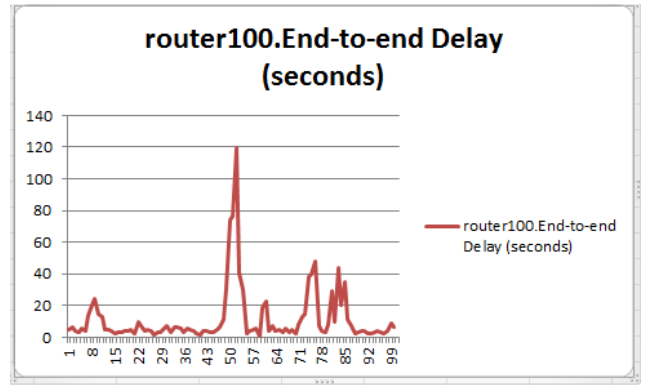
Симуляцийг хийхдээ сүлжээний зохицуулагч буюу ZC-д star, tree, mesh гэсэн тохиргоог идэвхжүүлж симуляцийн хугацааг 3600 секундээр тохируулсан. Зураг.4-д Од, Мод, Торонсүлжээний бүтцийг харуулав.

Хүснэгт II. Ornet Симуляцийн Зигби-ийн үндсэн үзүүлэлтүүд

Attribute	Value
Name	ZC
<i>MAC Parameters</i>	
ACK Mechanism	(...)
-Status	Enabled
-ACK Wait Duration (seconds)	0.05
-Number of Retransmissions	5
<i>CSMA-CA Parameters</i>	
-Minimum Backoff Exponent	3
-Maximum Number of Backoffs	4
Channel Sensing Duration	0.1
<i>Physical Layer Parameters</i>	
-Data Rate	Auto Calculate
-Packet Reception- Power Threshold	-85
<i>Transmission Bands</i>	
-2450 MHz Band	Enabled
-915 MHz Band	Disabled
-868 MHz Band	Disabled
Transmit Power	0.05
<i>Network Parameters</i>	
-Beacon Order	6
-Superframe Order	0
-Maximum Children	7
-Maximum Routers	5
-Maximum Depth	5
-Beacon Enabled Network	Disabled
-Mesh Routing	Enabled
-RouteDiscovery Timeout	10
PAN ID	Auto Assigned
<i>Application Traffic</i>	
-Destination	All Coordinators and Routers
-Packet Inter arrival Time	Constant(1.0)
-Packet Size	Constant(1024)
-Start Time	Uniform (20.21)
-Stop Time	Infinity

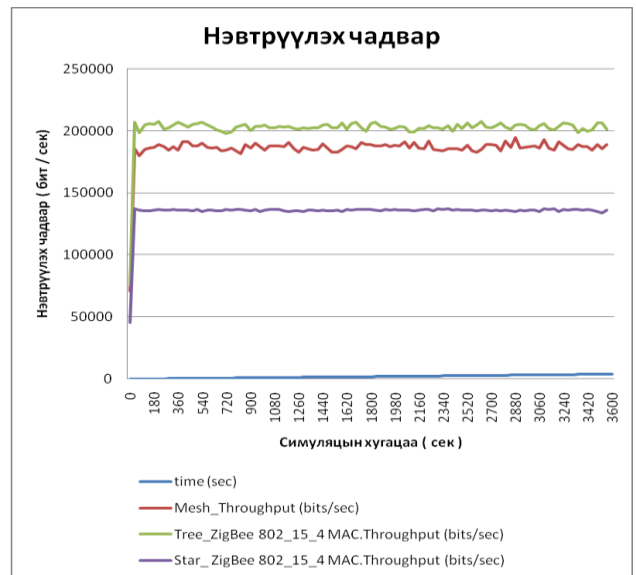
V. Симуляцийн үр дүн

Зураг.6-аас харвал олон рутертэй 1 утасгүй хувийн сүлжээнд өгөгдөл дамжихдаа маш их хугацааны саатал үүсгэж байгаа нь ийм сүлжээнд мэдрэгчээс утгыг үнэн зөв авах болон бодит хугацааны мониторингын үйлчилгээ үзүүлэх боломжгүй гэдгийг мэдэж болно. Энэ нь мэдээж Зигби модулын өгөгдөл дамжуулах зай 100 м, өгөгдөл дамжуулалтын хурд бага байдагтай холбоотой байна.[7]



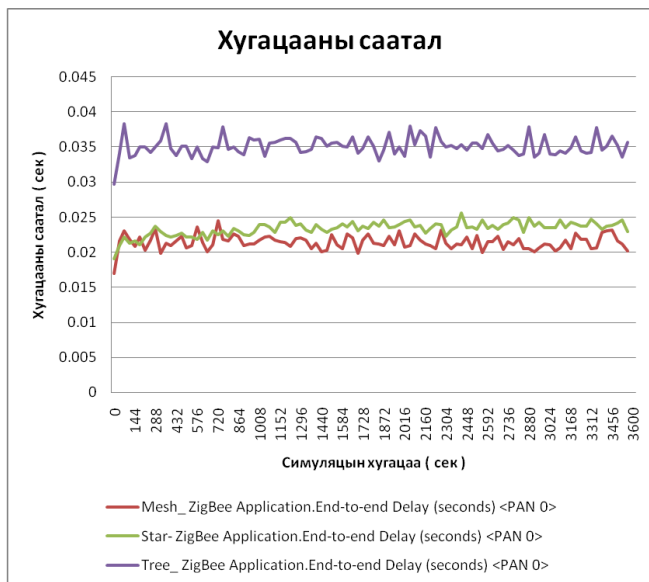
Зураг 6. Олон рутертэй хувийн утасгүй сүлжээний хугацааны саатал.

Сүлжээний нэвтрүүлэх чадвар (throughput) нь тодорхой хугацаанд дамжуулагчаас хүлээн авагчид дамжуулсан өгөгдлийн хэмжээ бөгөөд утасгүй сүлжээнд хэрэглэгчийн тоо нэмэгдэхэд интерференцэд орох магадлал өндөр болох тул сүлжээний үйлчилгээний чанарт анализ хийхэд чухал параметр юм. Зураг.7-д системийн нийт нэвтрүүлэх чадварыг харуулсан бөгөөд мод топологид хамгийн өндөр үзүүлэлтийг үзүүлсэн байна.



Зураг 7. Нэвтрүүлэх чадвар

Хугацааны саатал (End to end delay) нь физик түвшинд дамжуулагчаас хүлээн авагч тал сүүлийн битийг хүлээн авч дуусах хүртэлх хугацааны интервалаар хэмжигдэх сүлжээний сааталын хэмжээ юм. Зураг.8-аас дүгнэхэд хугацааны саатал нь мод топологид нөгөө хоёр топологоо бодвол бараг 2 дахин өндөр байна. Харин тор топологийн хугацааны саатал нь хамгийн бага байгааг харж болно.



Зураг 8. Хугацааны саатал

Эндээс бидний санал болгосон 8 рутертэй нэг PAN сүлжээнд нэвтрүүлэх чадвар буюу хурд бага ч хугацааны саатал багатай гэдгээрээ торон сүлжээ үүсгэж мэдрэгчийн мэдээллийг авах нь илүү найдвартай бодит хугацааны мониторинг хийх боломжийг олгож байна.

Дүгнэлт

УМС-ний топологи үүсгэх талаар судаллаа. Ачааны галт тэрэг нь суудлын галт тэргийг бодвол вагоны тоо олон учраас цуваа урт зэрэг онцлогоос хамааран одоогийн түгээмэл хэрэглэгдэж байгаа Утасгүй Мэдрэгчтэй Сүлжээ од хэлбэрийн топологитой протоколоор сүлжээ нь шаардлагатай үйлчилгээг үзүүлэхэд дутагдалтай байна. Замчлалын үзүүлэлт ба найдвартай байдал нь үсрэлтийн тоо ихсэх тусам буурч байна. Санал болгож байгаа олон координатор олон үсрэлт бүхий сүлжээний бүтэц нь төмөр замын том хэмжээтэй олон үсрэлт бүхий нөхцөлд тохиромжтойг туршилтаар харуулахыг зорилоо. Уг судалгааны

гол санаа нь утасгүй мэдрэгчтэй сүлжээгээр холын зайнд рутруудээс богино зайнд хүлээн авсан өгөгдөл дамжууллын замчлалд шаардлагатай дамжих рутрийн тоог багасгах юм. Энэ арга нь өгөгдөл дамжих зурвасын өргөн нэмэгдэх ба өндөр найдваржилттай зэрэг томоохон давуу талтай юм. Симуляцийн үр дүнд олон координатор ашиглах арга нь ачааны галт тэрэгний урт цуваа бүтцэд тохирсон бөгөөд найдвартай болох нь харагдаж байна.

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.

Ашигласан материал

- [1] IEEE 802.15 WPAN Task Group 4, "IEEE 802.15.4 Standard"
- [2] Shih, B., Chen, C., Chih, C. and Tseng, J. "The development of enhancing mechanisms for improving the performance of IEEE 802.15.4", International Journal of the Physical Sciences Vol.5 (6), pp.884-897, June 2010.
- [3] Leung, S., Gomez, W. and Kim, J. J. "ZigBee Mesh Network Simulation using OPNET and Study of Routing Selection", spring 2009.
- [4] Hue et al, "Performance Evaluation of NS-2 Simulator for Wireless Sensor Networks", Proceedings of Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, CCECE 2007, Vancouver, BC, 2007, pp.1372-1375.
- [5] G. Lucio et al "OPNET Modeler and ns-2 - comparing the accuracy of network simulators for packet-level analysis using a network test bed", seas transactions on computers, Vol. 2, No. 3.(July 2003), pp. 700-707.
- [6] Current, "A survey of simulation in sensor networks", 2013
- [7] Аюурзана Одгэрэл, Пүмбүүрэй Бумдүүрэн "Зигби модулын хөгжүүлэлт ба зайн туршилт", ММТ-2015, Улаанбаатар, ММТК, МУИС, 2015. 05. 01