

NATIONAL UNIVERSITY OF MONGOLIA
School of Engineering and Applied Sciences

**MONGOLIAN JOURNAL OF
ENGINEERING AND APPLIED
SCIENCES**

No. 3 (1)

Ulaanbaatar 2021

Editorial Board

Editor-in-Chief

Munkhbat Byambajav (D.Eng.)

Editorial Board Members

Altansukh Ochir (Ph.D.)

Byambajav Dorj (Ph.D.)

Bolormaa Dalanbayar (PhD)

Khongorzul Dorjgotov (PhD)

Tserennadmid Tumurbaatar (Ph.D.)

Odsuren Myagmarjav (Ph.D.)

Editorial Board Members

Tamiraa Ganbold (Ph.D.)

This journal is devoted to original research articles in all areas of Engineering, Technology and Applied Sciences including Applied Mathematics, Computer Science, Information and Communication Technology, Material Science, Nanotechnology, Electronics, Nuclear Engineering, Chemical Engineering and Technology, Biological Engineering, Renewal Engineering, Environmental Science and Engineering and Forestry. This is a peer-reviewed journal and the articles can be published in English or in Mongolian.

Address:

School of Engineering & Applied Sciences

National University of Mongolia

Ikh Surguuliin Gudamj-3,

Ulaanbaatar-14201, MONGOLIA

Tel.: +976-11-325631

Fax: +976-11-325305

E-mail: mjeas@seas.num.edu.mn

Web: <http://www.seas.num.edu.mn>

Edited by Munkhbat Byambajav

МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
Хэрэглээний шинжлэх ухаан, инженерчлэлийн сургууль

ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БИЧИГ
Хэрэглээний шинжлэх ухаан, инженерчлэл

№ 3 (1)

Улаанбаатар 2021

Редакцийн зөвлөл

Ерөнхий эрхлэгч:

Б. Мөнхбат (доктор, дэд профессор)

Гишүүд:

О.Алтансүх (доктор, профессор)

Д. Бямбажав (доктор, профессор)

Д. Болормаа (доктор, дэд профессор)

Д. Хонгозул (доктор, ахлах багш)

Т. Цэрэннадмид (доктор, дэд профессор)

М. Одсүрэн (доктор, дэд профессор)

Нарийн бичиг:

Г.Тамираа (доктор, дэд профессор)

Тус сэтгүүл нь Хэрэглээний математик, Компьютерийн ухаан, Мэдээлэл, харилцаа холбооны технологи, Материал судлал, Нанотехнологи, Электроник, Цөмийн инженерчлэл, Химийн инженерчлэл, технологи, Биологийн инженерчлэл, Сэргээгдэх эрчим хүчний инженерчлэл, Хүрээлэн буй орчин судлал ба инженерчлэл, Ой судлал зэрэг инженерчлэл, технологи, хэрэглээний шинжлэх ухааны бүх салбарт хийгдсэн, шинэ үр дүн бүхий судалгааны өгүүллийг хэвлэхэд зориулагдана. Мэргэжлийн түвшинд хянан магадлагаа хийгдэх бөгөөд Англи, Монгол хэлээр хэвлэгдэнэ.

Хаяг:

Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль

Монгол Улсын Их Сургууль

Улаанбаатар, Монгол улс

Утас.: +976-11-325631

Факс: +976-11-325305

E-mail: mjeas@seas.num.edu.mn

Вэб хуудас: <http://www.seas.num.edu.mn>

Хянан тохиолдуулсан: Б. Мөнхбат

Хэвлэлийн эхийг: ????????

Цаасны хэмжээ: 210x297мм

Хэвлэлийн хуудас: ?????

Хэвлэсэн тоо: 300

АГУУЛГА /CONTENTS/

Д.Шүхэрт, Д.Баттулга, Б.Өсөхбаяр

5G СҮЛЖЭЭН ДЭХ ТАРХСАН ХӨДӨЛГӨӨНТ БАЙДЛЫН УДИРДЛАГАД ЗОРИУЛСАН
ХЭРЭГЛЭГЧИЙН БАТАЛГААЖУУЛАХ МЕХАНИЗМТАЙ ХЭНДОВР 7

Б.Цолмонтамир, Б.Өсөхбаяр, Н.Угтахбаяр

ВЕБИЙН АЮУЛГҮЙ БАЙДЛЫН ШИНЖИЛГЭЭНИЙ СИСТЕМИЙН ХӨГЖҮҮЛЭЛТ 19

А. Номин, Э. Номин-Эрдэнэ, М. Бадмаараг, Н. Хулан, Н. Эрдэнэ, О. Одгэрэл

ХЕПАТИТИЙН ДЕЛЬТА ВИРҮСИЙН ХАЛДВАРЫГ ИЛРҮҮЛЭХ ГАДАРГУУГИЙН
ПЛАЗМОН РЕЗОНАНС ДЭЭР ҮНДЭСЛЭСЭН ОНОШЛУУРЫГ ЗОХИОН БҮТЭЭХ..... 25

М.Dovchinvanchig, Ya.Gangantogos, B.Munkhjargal

MICROSTRUCTURE AND MARTENSITIC TRANSFORMATION OF $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ SHAPE
MEMORY ALLOYS..... 35

Т.Бүжинлхам, Н.Эрдэнэпүрэв, Д.Эрдэнэчимэг

ХИМИЙН НАЙРЛАГААС НЬ ХАМААРУУЛСАН ГАНГИЙН ЗЭВРЭЛТИЙН КИНЕТИК
ПРОЦЕССЫН СУДАЛГАА..... 41

Б.Барсболд

ИРГЭДИЙН ШИЛЖИЛТ ХӨДӨЛГӨӨН, СОНГОГЧДЫН ТООНЫ ШИНЖИЛГЭЭ..... 47

З.Цолмон, Б.Хуягбаатар, Г.Амарсанаа

ГАРАЛ НЭГ ҮГИЙГ ҮСГИЙН ДАРААЛАЛД ТУЛГУУРЛАСАН SEQ2SEQ ЗАГВАРААР
ҮҮСГЭХ НЬ..... 65

Т.Тэлмүүн, Юу Кепин, Д.Баттулга

5G ГЕТЕРОГЕН СҮЛЖЭЭНД САЙЖРУУЛСАН НӨХЦӨЛТ ХЭНДОВР 71

Г.Гантулга, П.Далайжаргал

СҮЛЖЭЭГ ЗАДЛАХ БОДЛОГОД ЗОРИУЛСАН ДАХИН ОРУУЛАХ ТЕХНИКИЙГ
САЙЖРУУЛАХ 79

ӨМНӨХ ҮГ

Мэдээлэл, харилцаа холбооны технологи

5G СҮЛЖЭЭН ДЭХ ТАРХСАН ХӨДӨЛГӨӨНТ БАЙДЛЫН УДИРДЛАГАД ЗОРИУЛСАН ХЭРЭГЛЭГЧИЙН БАТАЛГААЖУУЛАХ МЕХАНИЗМТАЙ ХЭНДӨВР

Д.Шүхэрт, Д.Баттулга, Б.Өсөхбаяр*

МУИС, ХШУИС, Электроник, Холбооны Инженерчлэлийн Тэнхим

Received on 2021.04.13; Revised on 2021.07.05; Accepted on 2021.07.05

*Холбоо баригч зохиогч: usukhbayar@seas.num.edu.mn.

Хураангуй

Мобайл сүлжээний үндсэн үүрэг нь яриа дамжуулахаас өгөгдөл дамжуулах болон өөрчлөгдөж байна. 5G сүлжээ нь хөдөлгөөнт хэрэглэгчийг өндөр хурдны интернетээр хангах үндсэн зорилготой юм. Тэгвэл мобайл сүлжээнд хэрэглэгчийн хөдөлгөөнийг хянах үүрэгтэй нэгж нь интернет үйлчилгээний тасралтгүй, найдвартай байдлыг хангах чухал үүрэгтэй юм. 5G сүлжээний стандартад тархсан хөдөлгөөнт байдлын удирдлага багтсан боловч хэрэглэгчийн баталгаажуулах механизмгүйгээрээ сул талтай байна. Энэхүү судалгааны ажлаар бид хөдөлгөөнт байдлын удирдлагад хэрэглэгчийг баталгаажуулахад хэш функц ашиглах сайжруулалт хийснээ танилцуулсан. Энэхүү хэрэглэгчийг баталгаажуулах үйлдэл нь сүлжээн дэх системийн түвшний халдлагуудаас хамгаалах үндсэн зорилготой юм. Мөн энэхүү ажлаараа туршилтын орчин зохион байгуулж санал болгож байгаа сайжруулалт болон боломжит баталгаажуулалтын шийдлүүдтэй харьцуулалт хийж үр дүнг тайлагнав. Үр дүнгээс, бидний сайжруулалт хэндоврын хоцролтыг ихэсгэх боловч пакетын алдагдал багасгаж, хөнөөлт анкертай үед алдаа бага гаргаж байгаа сайн талтай байна.

Түлхүүр үг: 5G, mobility management, handover, authentication.

1 Удиртгал

2020 оноос эхлэн Хөдөлгөөнт Холбооны 5 дахь үе (5G)-ийн технологийг дэлхий дахин нэвтрүүлж эхлээд байгаа билээ. 5G сүлжээ нь өмнөх үеэсээ 10 дахин бага хоцролт, 3 дахин их спектр, 10 дахин их хурд, 100 дахин их трафикийн багтаамж зэрэг олон үзүүлэлтээрээ давуу юм. Мөн сүлжээний архитектурын хувьд өөрчлөлт ихээхэн гарсан билээ. Жишээ нь 5G сүлжээний үндсэн загвар нь олон төрлийн үүрнээс бүтэх ба тэр дундаа нягт байршсан жижиг үүрүүдээр сүлжээний хоцролтыг багасгах, хурдыг нэмэгдүүлэх, найдвартай байдлыг хангахаар бүтэцлэгдсэн [1, 2].

Нөгөө талд хөдөлгөөнт, үүрэн сүлжээний оператор компаниудад хэрэглэгчийн тооны өсөлт, тэдгээрийн үүсгэх их хэмжээний дата урсгал (мобайл төхөөрөмжөөр үүсгэгдсэн болон дамжуулагдаж байгаа), дохиоллын болон тохиргооны мессежүүдийн хэт ачаалал зэрэг томоохон сорилтууд тулгарч байгаа билээ [3]. Ирээдүйн сүлжээ нь дэлхий даяар өсөн нэмэгдэж байгаа интернэтийн хэрэглээг хангах, үүсэх ачааллыг даах зохицуулалтуудыг хийх хэрэгтэй юм. Хөдөлгөөнт холбооны систем нь 2023 он гэхэд доорх үзүүлэлтүүдийг хангах хэрэгтэй болж байна [3].

- 2018 оны байдлаар дэлхийн хүн амтай харьцуу-

лахад интернэт хэрэглэгчийн тоо 55% байсан бол 2023 он гэхэд 66% болж өснө.

- нэг үүр дунджаар 2018 онд 13 Mbps байсан бол 2023 онд 43 Mbps болж өснө. Үүнд бүх технологиуд буюу 3G, 4G, 5G -ууд хамрагдана.
- 2023 он гэхэд интернэт холбогдсон төхөөрөмжүүдийн 45% нь мобайл төхөөрөмж болно.
- 2018 онд 5G сүлжээний хэрэглэгчийн эзлэх хувь 0% байсан бол 2023 онд мобайл хэрэглэгчдийн тоо 10.6% болно.

Интернэтийн хэрэглээ хурдацтай нэмэгдэж байгаа хамт нийтийн сүлжээ ба тэдгээрийн флат-пормуудад багтсан аппликейшнууд, шууд дамжуулагдаж байгаа мултимедиа өгөгдөл зэрэг их хэмжээний зурвасын өргөн шаардах үйлчилгээнүүд нэвтэрч байна. Нөгөө талаас нь харвал огцом нэмэгдэж байгаа хэрэглээ нь сүлжээний технологийн хөгжлийг хурдасгах түлхүүр юм. Энэ жишгээр программаар тодорхойлогддог сүлжээ (SDN), сүлжээний функцийн виртуалчлал (NFV), сүлжээний захирах тооцоолол (Edge computing), үүлэн тооцоолол (cloud computing), автомашинд зориулсан холбоо (V2X communication), сүлжээг хэрчих (Network Slicing) зэрэг технологиуд нэвтэрч интернэт сүлжээг илүү комплекс болгож байна.

Хөдөлгөөнт холбооны систем буюу мобайл сүлжээ нь хэрэглэгчдээ чөлөөт хөдөлгөөн, залгаасгүй үйлчилгээний боломжтой болгодог учраас бусад утас-тай, утасгүй сүлжээнүүдээс давуу талтай. Энэ нь үндсэн 3 функцүүдийн ажиллагааны үр дүн юм. Эдгээр нь:

- а) хэрэглэгчийн идэвхтэй байгаа үйлчилгээг тасалдуулахгүйгээр бааз станцууд хооронд шилжүүлэх хэндоврын менежмент,
- б) хэрэглэгчийн байршлыг мөрдөж хадгалах байршлын менежмент
- в) Логик байршил дээр үндэслэж хэрэглэгч рүү чиглэсэн дуудлага зэргийг чиглүүлэх трафик менежмент

Одоогоор бидний ашиглаж байгаа 4G сүлжээнд дээрх дурьдсан функцүүдийг хөдөлгөөнт байдлын удирдлагын нэгж (MME) төвлөрсөн архитектуртайгаар гүйцэтгэдэг [4]. Тэгвэл 5G сүлжээний стандартуудад [5] хандалт ба хөдөлгөөний удирдлагын функц (AMF) гэсэн функцийг MME-ийн үүргийг гүйцэтгүүлэхээр загварчлахдаа тархсан бүтцийг дэмждэг болгосон. Тархсан бүтцийн хувьд анх IETF-ийн стандартууд 4G сүлжээний гүйцэтгэлийг сайжруулах зорилгоор тодорхойлогдсон [6]. Тархсан бүтэц нь төвлөрсөн удирдлагын хамгийн том асуудал болох нэг цэгийн алдааг шийдэхээс гадна дохиоллын мессежийн хэт ачааллыг баланслах зэрэг давуу талтай. Мөн хөдөлгөөний удирдахад гол үүрэгтэй функцүүдийг сүлжээний захад ажиллуулж, хэрэглэгч ба систем хоорондох хоцролтыг багасгана.

5G сүлжээнд тархсан AMF удирдлага нь давуу тал бий болгох хэдий ч хэндовр менежментэд оролцогч сүлжээний нэгжүүдийг баталгаажуулах механизмгүйгээр тодорхойлж сүлжээний хоёрдугаар түвшний аюулгүй байдлын протоколуудад найдсан байна [7–9]. Тэгэхлээр AMF-ийн үйлдлүүд гүйцэтгэгддэг 3-р түвшин буюу системийн түвшинд олон төрлийн халдлагууд (DoS, impersonation, MNTM, malicious node)-аас хамгаалах аюулгүй байдлын протокол зайлшгүй шаардлагатай юм [10]. Жишээ нь session hijacking, denial of service, malicious MAG, malicious CMD зэрэг 2-р түвшинд бүрэн хамгаалж чадахгүй халдлагууд байна.

Одоогийн хэндовр менежментэд хэрэглэгчийг баталгаажуулах үйлдлийг нэмж сайжруулах нь сүлжээний гүйцэтгэлд нөлөөлж хоцролт ихсэх, радио хандалтын сүлжээний орчинд гарах алдаануудыг нэмэгдүүлнэ. Иймд ТХБУ-д аюулгүй байдлыг нэмэгдүүлэх хэдий ч үр ашигтай байдлыг бууруулахгүй байх хэрэгтэй юм.

Энэхүү өгүүллээр бид 5G сүлжээний орчинд хэндовр менежментийн аюулгүй байдлыг сайжруулах зорилгоор хэрэглэгчийн баталгаажуулах механизмыг тодорхойлсноо танилцуулах болно. Бидний санал болгосон механизм нь хэндовр менежментийн үйлдэлд оролцож байгаа сүлжээний нэгжүүдийг хэш утга ашиглан баталгаажуулалт хийнэ. Ингэхдээ хэндоврт оролцож байгаа үйлчилгээ үзүүлж

буй анкор (S-AMF), шилжиж орохоор сонгогдсон анкор (T-AMF), хэрэглэгч (UE) гэсэн сүлжээний 3 нэгжүүдийг баталгаажуулах үйлдлийг сүлжээний гарцын төхөөрөмж дээр хэш утгуудыг тулгах аргаар хийнэ. Энэ нь сүлжээнд нэвтэрсэн хөнөөлт ба хуурмаг нэгжийн үйл ажиллагааг хязгаарлах, түүний хөнөөлийг урьдчилан хориглох зорилготой байна. Жишээ нь сүлжээнд халдагч нэвтэрч хар-нүх (бүх хүсэлтэд зөвшөөрсөн хариу өгдөг) хөнөөлт AMF үүсгэсэн гэвэл таних, баталгаажуулах үйлдлүүдийн тусламжтайгаар түүн рүү чиглэсэн хэндовр үйлдлийг таслан зогсоох боломжтой болно.

Энэхүү ажлын шинэлэг тал ба ач холбогдлыг дараах байдлаар тодорхойлов. Үүнд:

- (1) Бид 5G сүлжээнд хэндовр хийж байх үед сүлжээний нэгжүүдийг баталгаажуулах аюулгүй байдлын нэмэлтийг загварчилсан.
- (2) Санал болгож буй сайжруулалтаа шалгахын тулд туршилтын сүлжээ байгуулсан. Энэ сүлжээндээ тархсан AMF болон бусад шаардлагатай өөрчлөлтүүдийг сүлжээний нэгжүүдэд нэмж зохион байгуулсан.
- (3) Дараа нь бид түгээмэл ашиглагдаж байгаа болон 5G -ийн стандартад багтсан хэрэглэгч/нэгжүүдийг баталгаажуулах аргуудтай өөрсдийн санал болгож буй үр ашигтай аюулгүй хэндовроо харьцуулсан.

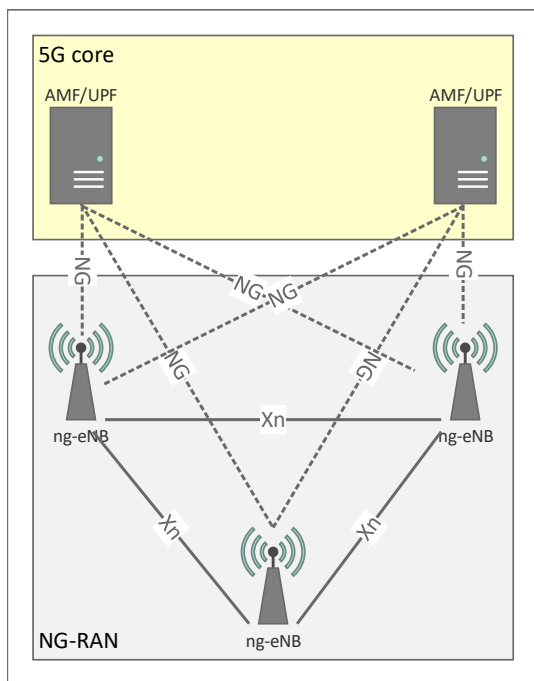
Энэхүү өгүүллийн бүтцийн хувьд хоёрдугаар бүлэгт хөдөлгөөнт байдлын удирдлагын тухай, гуравдугаар бүлэгт одоогийн системүүдэд хэрэглэгдэж байгаа хэрэглэгчийг баталгаажуулах механизмуудыг тайлбарлав. Дөрөвдүгээр бүлэгт бид санал болгож байгаа механизмаа дэлгэрэнгүй тайлбарлана. Тавдугаар бүлэгт туршилтын орчин ба үр дүнг танилцуулах бол дүгнэлтийг зургаадугаар бүлэгт бичив.

2 Суурь ойлголт ба судлагдсан байдал

2.1 Сүлжээний архитектур

Бид 5G сүлжээний орчинд тархсан AMF-уудтай үед хэндовр менежментийн аюулгүй байдлыг сайжруулах зорилгоор механизм хөгжүүлэх билээ. Зураг 1-д үзүүлсэн дангаараа ажиллах 5G сүлжээний ерөнхий зураглалыг үзүүлэв. Дангаараа ажиллах 5G гэдэг нь одоогийн 4G сүлжээнээс тусдаа ажиллах хөгжүүлэлтийн нэг хувилбар юм. Нөгөө талаас оператор компаниуд 5G сүлжээг бүрэн нэвтрүүлж 4G сүлжээгээ унтраасны дараах дангаараа ажиллах эцсийн хувилбар шийдэл юм.

5G сүлжээ AMF, SMF, UPF гэсэн 3 сүлжээний функц агуулах ёстой. Эдгээр дээр бид CMD гэсэн функцийг тархсан нэгжүүдийн хоорондын уялдааг хангах нэгдсэн сан байдлаар нэмж оруулсан. Ихэвчлэн эдгээр функцүүдийг суурь сүлжээ буюу сүлжээний төв хэсэгт байршуулдаг. Харин тархсан бүтцийг



Зураг 1: ТХБУ -тай 5G сүлжээний архитектур

бүрэн ажиллуулахын тулд бид боломжит функцүүдийг сүлжээний зах руу шилжүүлсэн. Бидний судалгааны ажил *AMF*-ийн үүрэг болох хэндовр менежментэд чиглэсэн.

- *AMF* нь хэрэглэгчийн сүлжээрүү хандах болон хөдөлгөөний удирдах үед хийх менежментийн үүргийг хүлээнэ. 5G сүлжээнд олон тооны *AMF* -ууд байрлуулах ба хэндовр хийх шаардлагатай гэж үзвэл хэрэглэгчийн холбогдсон байгаа *S-AMF* нь шилжиж орох *T-AMF*-ийг сонгох алгоритм ажиллуулна. Ингэж хэндовр эхлэх бол хэрэглэгч *T-AMF*-тай холболт тогтоож, хэрэглэгчийн байршлын мэдээллийг шинэчлэснээр хэндовр дуусна.
- *SMF* нь сүлжээнд амжилттай нэвтэрсэн хэрэглэгчийн сейшнийг хадгалах, удирдах үүргийг хүлээнэ. Өөрөөр хэлбэл хэрэглэгч сүлжээнд анх холбогдох үед баталгаажуулалт болон бусад сүлжээний тохиргоо хийснийг сейшн байдлаар хадгалах сервер юм. Энэхүү сейшнийг ашиглаж хэрэглэгч сүлжээний гарцтай холбогдож оператороос үйлчилгээ авах, интернетэд гарах эрхтэй болно.
- *UPF* нь хэрэглэгчийн өгөгдлийн урсгалыг чиглүүлэх, дамжуулах үүргийг хүлээнэ. Хэрэглэгчээс оператор компанийн үйлчилгээнүүд рүү эсвэл интернэт рүү холбогдох үед end-to-end логик зам үүсгэх, чиглүүлэх үйлдлүүдийг хийнэ. Хэрэглэгч рүү чиглэсэн ярианы дуудлага зэрэг мобайл сүлжээний үйлчилгээнүүдэд байршлын мэдээлэл дээр тулгуурлаж зам үүсгэх, чиглүүлэх үйлдлүүд хийнэ. Мөн хэндоврын үед хэрэглэгчийн байршил солигдход өгөгдлийн замыг шинэчлэх, хэрэглэгчийн идэвхтэй байгаа тра-

фикуудыг шинэ замаар дамжуулах үйлдлүүдийг хийнэ.

- *CMD* нь хэрэглэгчийн нэгдсэн мэдээллийн сан ба хэш утгуудыг тулгаж шалгах үндсэн үүрэгтэй.

2.2 Хэндовр Менежмент

Мобайл сүлжээний хэрэглэгч нь бааз станцууд хооронд идэвхтэй байгаа үйлчилгээгээ таслахгүйгээр шилжиж болдогоороо давуу билээ. Тэгвэл энэ процедурын цаана 4G сүлжээнд *MME*, 5G сүлжээнд *AMF* хянаж зохицуулах үйлдлийг хийдэг. Өөрөөр хэлбэл эдгээр функцүүд бааз станцууд хооронд шилжих хэндовр үйлдлийг удирдана.

Хэндоврт хэрэглэгч, түүний холбогдсон байгаа бааз станц, шилжиж орох бааз станц, гарц, *MME* гэсэн нэгжүүд оролцдог. Тэгвэл хэндоврын эхлүүлэх, шилжиж орох бааз станцыг сонгох гэх мэт үйлдлүүдийг аль нэгж ажиллуулж байгаагаас хамаарч хэрэглэгчид суурилсан (*UE-based*), сүлжээнд суурилсан (*network-based*) гэж хувилбарууд байдаг. Өнөөдрийн мобайл сүлжээнд ашиглаж байгаа хэрэглэгчид суурилсан төрлийн гол схем бол *IETF* (*Internet Engineering Task Force*) байгууллагаас хөгжүүлдэг *Mobile IPv6* (*MIPv6*) юм [11]. Мөн *MIPv6* болон түүний сайжруулсан хувилбарууд болох *F-MIPv6*, *HMIPv6*, *F-HMIPv6* -ууд хэрэглэгчийн төхөөрөмжийг хөдөлгөөнтэй хамааралтай дохиоллын процесс буюу хэндоврын турш идэвхтэй байхыг шаарддаг байна [12–15]. Энэ төрлийн хэндоврын бааз станц сонгох гэх мэт үйлдлүүдийн дохиоллын мессежүүдийг сүлжээний нэгжүүдийн хооронд солилцоход хэрэглэгчийн төхөөрөмжийг голлох үүрэгтэй оролцуулдаг. Үүнээс үүдэж энэ төрлийн стандартуудыг өөрчлөх болон шинэчлэхэд төвөгтэй байдаг. Мөн хэрэглэгчийн төхөөрөмж тооцоолох олон үйлдэл гүйцэтгэснээр энерги зарцуулалт нэмэгдэнэ. Хэрэв хэрэглэгчийн төхөөрөмжийг шинэчлэвэл, хуучин сүлжээний төхөөрөмжүүд дэмжихгүй байх асуудал үүснэ. Нөгөө талаас сүлжээний операторт хэрэглэгчийн төхөөрөмжийг удирдах хэцүү болж радио хангалтын сүлжээний бааз станцтай холбогдох, бааз станцууд хоорондын уялдааг хангах, ачаалал тэнцвэржүүлэх гэх мэт чухал функцүүд ажиллах боломжгүй юм.

Сүлжээнд суурилсан хэндовр нь хэрэглэгчид суурилсан хэндоврын сул талыг нөхөж чадна. Энэ төрлийн гол схемүүд бол *Proxy Mobile IPv6* (*PMIPv6*) ба *Fast handovers for Mobile IPv6* (*FPMIPv6*) юм [16–18]. Эдгээр схемүүд хэрэглэгчийн төхөөрөмж дээр хийгддэг тооцоолол болон дохиоллын мессежүүд солилцох үйлдлээс боломжтой хэсгийг бааз станц руу шилжүүлсэн. Мөн эдгээр схемүүдийн гол давуу тал нь хэндоврийн хоцролт буюу хэрэглэгч нэг бааз станцаас холболтоо таслаад нөгөө бааз станцтай холболт тогтоох хугацааг богиносгодог [19]. Жишээ нь хэндоврын эхлүүлэх нөхцлийг шалгах, бааз станц сонгох үйлдлүүдийг хэрэглэгчийн холбогдсон бааз станц руу шилжүүлсэн. Хэндоврыг хийж дуу-

сах хүртэл хэрэглэгчийн дата урсгал гарцын төхөөрөмж дээр буфферлэгдэх ба хэндовр дуусахад дахин чиглүүлэгдэнэ.

Хэндоврыг гүйцэтгэх үедээ дохиоллын мессежүүдийн солилцож байгаа хэлбэрээр хоёр төрөл болгож хувааж болно. Эдгээр нь холбогдсон байгаа бааз станцаасаа холболтоо бүрэн салгаад шинэ рүү шилжих хатуу, шинэ бааз станц руу шилжсэний дараа хуучнаасаа холболтоо салгах зөөлөн хэндоврууд юм. Жишээ нь 3G сүлжээний хувьд зөөлөн хэндоврын голчлон ашиглаж байсан бол 4G сүлжээний стандартад зөвхөн сүлжээнд суурилсан хатуу хэндовр багтсан. Хатуу хэндоврын давуу тал нь хэрэглэгчийн идэвхтэй байгаа үйлчилгээг шилжин орж байгаа бааз станц руу тасалдалт багатайгаар шилжүүлэх юм. Тасалдалт ихэсвэл хэрэглэгчийн холболт салж үйлчилгээ тасалдана.

Хөдөлгөөнт байдлын удирдлагад хэндовр менежментээс гадна чухал функцүүд болох байршлын менежмент, чиглүүлэх менежмент гэсэн функцүүдийг харьяалагдана. Байршлын менежмент хэрэглэгчийн төхөөрөмжийг баталгаажуулалт хийх үед холбогдсон үүрийн мэдээллийг цуглуулах ба хадгална. Ингэснээр тухайн хэрэглэгчийн сүлжээндэх байршил тодорхой болох ба энэхүү байршлыг ашиглаж хэрэглэгч рүү хийх дуудлагуудыг чиглүүлдэг. Сүлжээний менежмент нь хэрэглэгчийн трафикийг байршил дээр үндэслэн дамжуулах ба хэрэв байршил өөрлөгдвөл чиглүүлэлтийг дахин тохируулдаг. Тэгэхлээр хөдөлгөөнт байдлын удирдлагын үр дүнтэй байдал нь системд хийгдэж байгаа бүх хэндовруудыг удирдах ачааллыг даах, хэндоврын турш хэрэглэгчийн датаг хадгалж дахин чиглүүлэх, хэрэглэгчийн идэвхтэй үйлчилгээнүүдийг алдаагүй шилжүүлэхээр тодорхойлогдоно.

2.3 Тархсан Хөдөлгөөнт Байдлын Удирдлага

Төвлөрсөн хөдөлгөөнт байдлын удирдлагын функцүүд нь сүлжээнд өсөн нэмэгдэж байгаа хэт ачааллыг дийлэхгүй байх магадлалтай юм. Хэрэглэгчийн тоо болон тэдгээрийн хөдөлгөөнөөс үүсэх дохиоллын мессежүүдийн ачаалал нь төвлөрсөн удирдлага дээр бөглөрөл үүсгэнэ. Энэхүү бөглөрөл нь сүлжээний гүйцэтгэлд пакетын алдагдал, хоцролт ихсэх, байршлын менежментийн үйлдэл хийх хугацааг уртасгах зэргээр нөлөөлдөг [20]. Тархсан удирдлага нь хавтгай ба уян хатан архитектуртайгаараа нягт байршсан бааз станцууд бүхий 5G сүлжээний үндсэн хөдөлгөөнт байдлын удирдлагаар сонгогдсон [21].

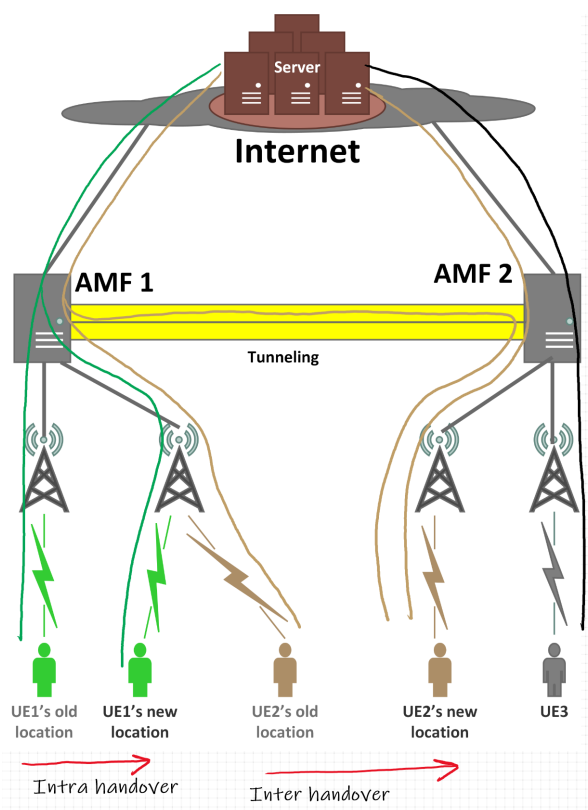
Төвлөрсөн удирдлагын дутагдлаас зайлсхийх зорилгоор IETF байгууллагаас тархсан ХБУ (ТХБУ)-ийн стандартыг хөгжүүлсэн [22]. Тархсан шийдлийн үндсэн зорилго бол хөдөлгөөнт байдлын удирдлагын функцүүдийг сүлжээний зах буюу хандалтын сүлжээний чиглүүлэгч төхөөрөмж рүү шилжүүлж хэрэглэгчидтэй ойртуулах юм. Энэхүү хэрэглэгчийн хөдөлгөөнийг удирдаж чадах чиглүүлэгчийг сүлжээнд анкөр (зангуу) гэж нэрлэдэг. Өөрөөр хэлбэл чиглүүлэгч төхөөрөмж нь өөртэйгээ холбогдсон бааз

станцуудын хоорондох дохиоллын мессежүүдийг зохицуулах, хэрэглэгчийн хөдөлгөөнийг удирдах, трафикийг чиглүүлэх зэргийг гүйцэтгэнэ. Анкөрт олон тооны хөрш бааз станцуудыг холбох ба үүнийг үйлчилгээний хамрах хүрээ гэнэ. Хэрэглэгч энэхүү үйлчилгээний хүрээ дотор бааз станцаа солих болвол тухайн анкөр удирдаж дотоод (Intra) хэндовр гүйцэтгэнэ. Харин үйлчилгээний хүрээнээс хэрэглэгч гарч өөр анкөрийн үйлчилгээний хүрээрүү орохоор болвол хоёр анкөрүүд хамтарч хоорондын (Inter) хэндовр гүйцэтгэдэг.

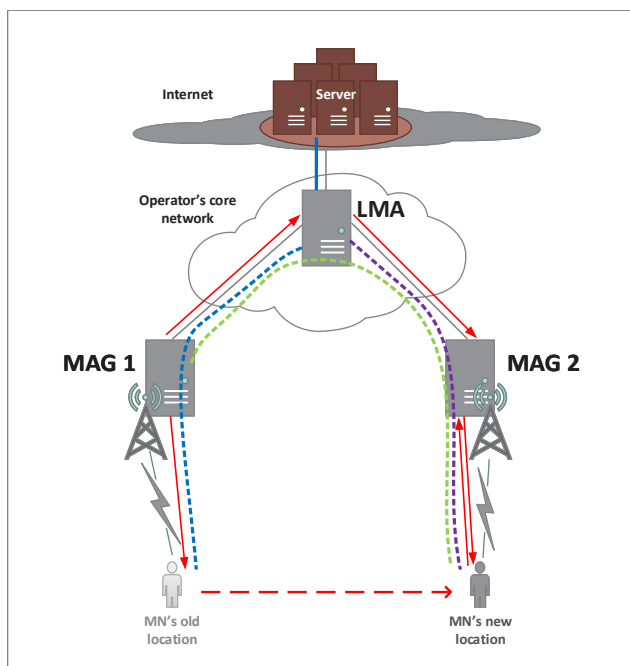
Зураг 2-д бид 5G сүлжээг тархсан AMF-тайгаар дүрслэв. Зургаас харвал флат архитектурт суурилж хандалтын сүлжээний хэсэгт анкөр ажиллаж байна. Анкөрүүд нь хэндовр, байршил, трафикийн менежментүүдийн үүргийг бие даан гүйцэтгэж чадна. Хэндовр менежментийн хувьд UE1-ийн дотоод хэндоврыг AMF1, UE2-ийн хоорондын хэндоврын AMF1 ба AMF2 хамтарч удирдаж байна. Мөн трафик менежментийн хувьд UE1-ийг AMF1, UE3-ийг AMF2 тус тус удирдаж байгаа бол UE2-ийнх AMF1-ээс AMF2-руу шилжиж байна.

Тархсан хөдөлгөөнт байдлын удирдлагын хөгжүүлэлтэд хагас тархсан ба бүрэн тархсан гэсэн хоёр хувилбар загвар байна [23]. Хагас тархсан хувилбар нь суурь сүлжээнд байрлах нэгдсэн өгөгдлийн сан руу бүх анкөрүүд хэрэглэгчийн талаарх мэдээллийг авах, шинэчлэх зэргээр хандаж байршлын менежментийг хэрэгжүүлдэг. Харин бүрэн тархсан хувилбар нь анкөрүүд тус тусдаа өөрийн өгөгдлийн санд хэрэглэгчийн байршлын талаарх мэдээллийг хадгалж, чиглүүлэлт хийдэг. RMPv6 бол хагас тархсан хөдөлгөөнт байдлын удирдлагын нэг жишээ юм (Зураг 3). Local Mobility Anchor (LMA) гэсэн суурь сүлжээнд байрлах нэгж нь олон тооны Mobile Access Gateway (MAG)-уудад байршлыг менежментийг хэрэгжүүлэхэд мэдээллээр хангах үүрэгтэй юм. Мөн энэхүү нэгж MAG-уудаас интернэт рүү гарах гарцын үүрэг гүйцэтгэнэ.

5G сүлжээнд програмаар тодорхойлогддог сүлжээг нэвтрүүлсэн, бүтэн ба хагас, хосолсон гэсэн тархсан хөдөлгөөнт байдлын удирдлагын шийдлүүдийг хөгжүүлж байна. Тархсан удирдлага болон RMPv6 хоёрыг хослуулсан шийдлийг [24] -д санал болгосон. Энэхүү хосолсон шийдэл нь төвлөрсөн удирдлагаар анкөрүүдэн хооронд холбоо үүсгэж мэдээлэл солилцох боломжийг хангана. Харин [25, 26] -д, тархсан хөдөлгөөнт байдлын удирдлагын шийдэл нь хоёр шаталсан бүтэцтэйгээр танилцуулагдсан. Радио хандалтын сүлжээнд бааз станцууд хоорондох хөдөлгөөнийг дотоод буюу доод түвшний удирдлага хийнэ. Харин сүлжээний гарцуудыг дээд түвшний удирдлага гүйцэтгэнэ. [27]-д 5G-д програмаар тодорхойлогдох сүлжээг нэвтрүүлэх замаар тархсан удирдлагыг бий болгох шийдлийг танилцуулсан. Мөн [28, 29]-д тархсан удирдлагыг SDN-ийн контролёр дээр аппликейшн сервер болгон байрлуулах шийдлийг санал болгосон. Энэ шийдлийн үр дүнд нь удирдлагын хэсгийг нарийн төвөгтэй байдлыг багасгаж хөдөлгөөнийг удирдах функцүүдийг сүлжээнийн үйлчилгээ хэлбэрээр ажиллуулс-



Зураг 2: Тархсан Хөдөлгөөнт Байдлын Удирдлага



Зураг 3: PMIPv6 ба төвлөрсөн ХБУ

2.4 Тархсан Хөдөлгөөнт Байдлын Удирдлагын Эмзэг Байдал

Сүлжээнд халдагч нэвтэрч чадсан гэж үзье. Тэгвэл дараах халдлагууд үүсэх боломжтой болно. Үүнд:

- **man in the middle** дохиоллын мессежүүд нууцлал хийгдээгүй бол халдагч мессежийг хуулбарлаж авах ба түүнийгээ ашиглаж бай болсон хэрэглэгчийн оронд сүлжээний үйлчилгээнүүд рүү хандах боломжтой болно. Үндсэндээ халдагч анкөр, хэрэглэгч хоорондын тогтоосон сейшнийг барьцаалж хэрэглэгчийн дүрд тоглох боломжтой болно.
- **malicious network information** хэрэв халдагч анкөрөөс хэрэглэгч рүү чиглэсэн чиглүүлэлтийн талаарх дохиоллын мессежид өөрчлөлт хийвэл бай хэрэглэгч сүлжээний буруу тохиргоо хийнэ. Өөрөөр хэлбэл халдагч сүлжээний тохиргоог өөрчлөх, буруу тохируулах зэргээр төөрөгдөл бий болгоно. Ингэснээр хэрэглэгч үйлчилгээ авч чадахгүй болно.

- **malicious anchor** халдагч анкөрийг хуурмагаар үүсгэж хөдөлгөөнт байдлын удирдлагын бүх функцүүдийг ажиллуулах боломжтой болно. Ингэснээр хэрэглэгчийн талаарх бүх төрлийн мэдээллийг цуглуулж чадахаас гадна төвлөрсөн өгөгдлийн санд хандах боломжтой болно.

наар дамжууллын болон хэндоврийн хоцролт зохицуулах боломжтой болгосон. [30]-д хөдөлгөөнтэй байдлыг дэмждэг шинэ протоколыг танилцуулсан. Энэ протокол нь хэрэглэгчид суурилсан тархсан удирдлага гэсэн шийдэл юм.

2.5 PMIPv6-д суурилсан ТХБУ -ийн аюулгүй байдал

Аюулгүй тархсан удирдлагыг хангахын тулд судлаачид дараах шийдлүүдийг санал болгосон. [7]-д трафикийг чиглүүлэх үйлдлийн аюулгүй байдлыг хангах болон оновчлолыг гүйцэтгэх протоколыг тархсан удирдлагатай үед зориулж санал болгосон. Энэхүү систем нь ухаалаг гэрийн системд зориулсан гэдгээрээ онцлог юм. Гэхдээ энэхүү шийдэл нь зөвхөн чиглүүлэлт ба түүний оновчлолыг гүйцэтгэхэд аюулгүй байдлыг хангахаар загварчилсан. Өөрөөр хэлбэл хэндовр эхлэх болон гүйцэтгэх алхмуудад аюулгүй байдлыг хангахгүй зөвхөн хэндовр дуусгах шатны дохиоллын мессежүүдийг хамгаалах юм.

[8] ба [10]-д PMIPv6-д суурилсан тархсан удирдлагад зориулсан хэрэглэгч баталгаажуулалтын протокол танилцуулсан. Энэ протокол нь хэрэглэгч болон анкөр хооронд нууцлал хийх түлхүүрийг солилцох аргаар ID-д суурилж харилцан баталгаажуулалт хийнэ. Ингэснээр хэрэглэгч болон анкөр хооронд аюулгүй холбоо үүснэ. Хэдий тийм боловч энэ протоколд дохиоллын мессежүүдийг солилцох дараалал нь энгийн байгаагаас хэрэглэгчийн хөдөлгөөний тухай мэдээллийг ашиглаж хөнөөлт анкөр бусад анкөрүүдийг хуурч чадах хэвээрээ байна. Мөн хэндовр гүйцэтгэж байхад хэрэглэгчийн сул талыг ашигласан халдлагад өртөх боломжтой ба анкөрөөр трафикийг дахин чиглүүлэх төрлийн халдлагад өртөх боломжтой байна. Хэрэглэгчийг халдлагад өртөмтгий болгож байгаа шалтгаан нь удаан хугацаанд өөрчлөлтгүй ашиглах ID ба түүнийг нууцлалгүйгээр дамжуулж байгаа явдал юм.

2.6 5G дэх EAP баталгаажуулалт

Extensible Authentication Protocol (EAP) бол сүлжээний аюулгүй байдлыг хангахад өргөн хэрэглэж байгаа фреймвөкүүдийн нэг юм. Энэ фреймвөк нь хэрэглэгчийн баталгаажуулах (authentication) үед тогтвортой байдал ба өргөтгөх боломж олгодог давуу талтай юм. Сүлжээний нэгж бүрт EAP-ийг дэмжих функцийг ажиллуулснаар баталгаажуулах үйлдлүүдийг аюулгүй гүйцэтгэнэ. 5G-ийн стандартад EAP фреймвөкийг багтаасан нь аюулгүй байдлыг хангах суурь болгон хэрэглэх нэг шалтгаан юм [31].

3 Хэрэглэгч Баталгаажуулах Механизмтай Хэндовр

Энэ бүлэгт бид санал болгож буй хэрэглэгч баталгаажуулах механизмтай хэндоврын тухай хоёр дэд бүлэгт хувааж тайлбарлах болно. Эхний дэд бүлэгт бид хэндоврыг гүйцэтгэхэд сүлжээний нэгжүүдийн оролцоо, хоорондоо солилцох дохиоллын мессежний блок-схемийг танилцуулна. Хоёрдахь дэд бүлэгт хэрэглэгчийг баталгаажуулахад ашиглагдаж байгаа хэш функцийн талаар тайлбарлах болно.

3.1 Хэндовр Менежмент

5G сүлжээнд тархсан AMF-уудтай болсоноор хэндоврыг бааз станцууд хооронд, анкөрүүд хооронд гүйцэтгэнэ. Өмнөх бүлгүүдэд тайлбарласнаар эдгээр нь анкөр дотоод ба анкөрүүд хоорондын хэндовр гэж үзэж болно. Бидний судалгааны хүрээнд анкөрүүд хооронд буюу хэрэглэгч нэг анкөрийн үйлчлэх хүрээнээс гарч нөгөөгийнх рүү шилжих шаардлагатай болох үед гүйцэтгэх хэндовр менежментийг авч үзнэ. Бидний гол зорилго бол хэрэглэгч MN ба AMF-уудийг хөнөөлт буюу халдлага үйлдэгч биш гэдгийг батлах юм. Өөрөөр хэлбэл MN -д шилжиж орох анкөр T – AMF-ийг, T – AMF-д MN ба S – AMF-уудыг жинхэнэ гэж батлах хэрэгтэй.

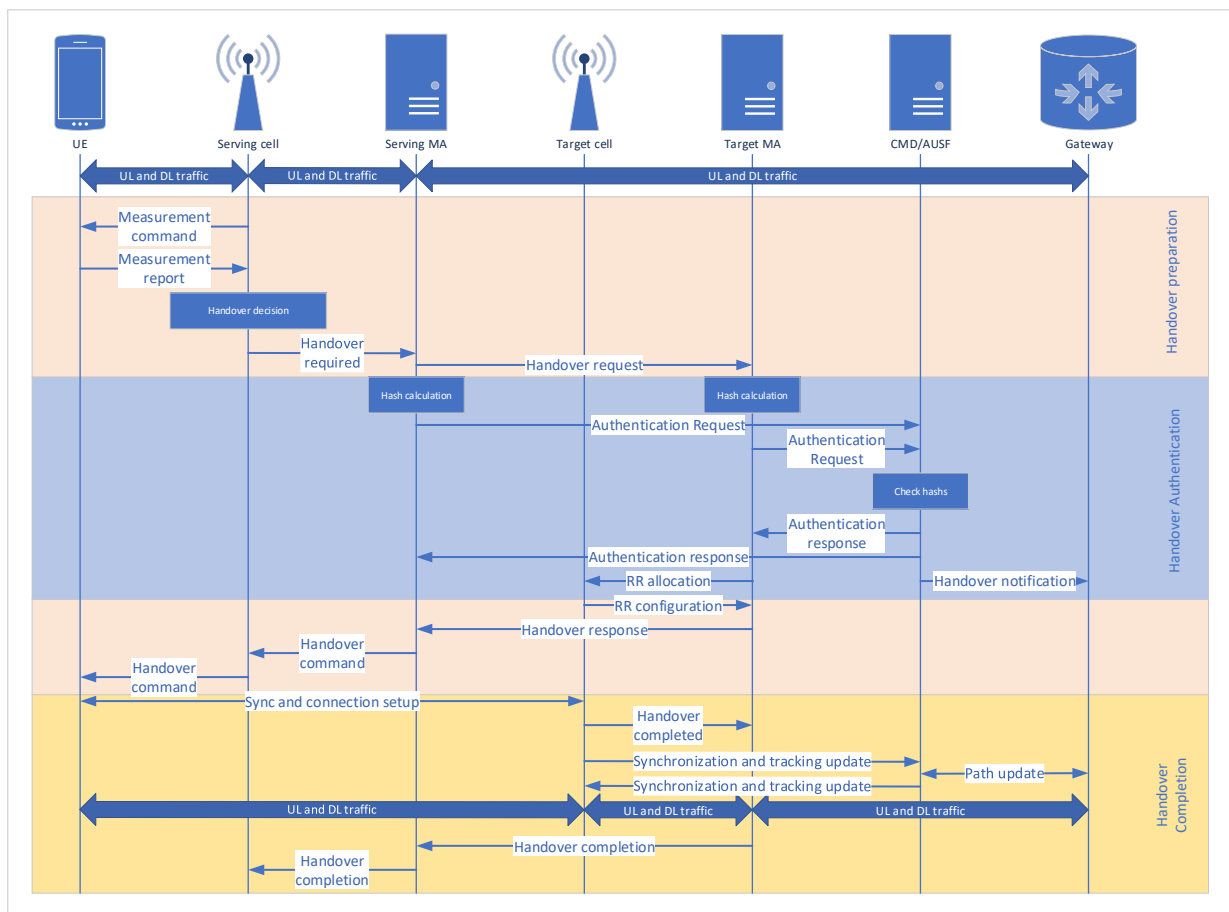
Эдгээр баталгаажуулалтыг удирдах боломжтой нэгж нь сүлжээний гарцын төхөөрөмж буюу тархсан удирдлагад зориулсан нэгдсэн өгөгдлийн санг ажиллуулж буй сервер CMD юм. Иймд бид хэндоврт оролцож буй сүлжээний нэгжүүд болох MN, T – AMF, S – AMF -уудад хадгалагдаж байгаа түлхүүрүүдээр хэш утгуудыг үүсгэж, CMD -ийн тусламжтайгаар тэдгээрийг хянах үйлдлүүдийг хэндовр менежментэд нэмсэн. Бидний санал болгож байгаа сайжруулсан хэндовр менежментийг Зураг 4-д үзүүлэв.

Зурагт бид цэнхэр суурьтайгаар хэрэглэгчийн баталгаажуулалт хийж байгаа хэндовр менежментэд нэмсэн хэсгийг дүрсэлсэн болно. Энэ хэсгээрээ бидний санал болгож байгаа хэндовр нь уламжлалтаас ялгаатай юм. Аливаа хэрэглэгч нь оператор компаниас авсан сим карт дээрх мэдээллийн дагуу тохиргоо хийж сүлжээнд холбогдох, анхдагч баталгаажуулах үйлдлүүдийг хийсэн байдаг. Уламжлалт хэндоврын дундуур баталгаажуулалт хийдэггүй сул талтай. Тэгэхлээр бид хэндовр менежментээс өмнө хэрэглэгч сүлжээнд анх холбогдох үед дараах үйлдлүүдийг урьдчилан хийсэн гэж үзнэ. Үүнд:

- Хэрэглэгчийг анх сүлжээнд холбогдох үед баталгаажуулна.
- Хэрэглэгчийг баталгаажуулах үед түүний холбогдож байгаа AMF -ийг давхар баталгаажуулсан.
- MN, AMF-үүд, AUSF, CMD гэсэн сүлжээний нэгжүүд хугацааны синхрончлол хийсэн.
- CMD дээр хэш функцийг түлхүүрүүдийг үүсгэж MN, AMF-уудруу аюулгүй сувгаар дамжуулагдсан.

Бид Зураг 4-д дүрсэлсэн аюулгүй хэндоврт сүлжээний нэгжүүд дээр болон тэдгээрийн хооронд дамжуулагдаж байгаа мессежүүдийг дараах байдлаар нарийвчлан тайлбарлав.

1. Хэрэглэгч MN нь S – AMF -тэй $Cell_{serving}$ дээгүүр дамжиж холбогдсон байна.
2. $Cell_{serving}$ нь MN -ийн радио дохионы чанарыг байнга хянах ба зааж өгсөн түвшнээс доошлох үед (хэрэглэгч үүрийн зах руу ойртох үед)



Зураг 4: Санал болгож буй хэндовр менежментийн мессежүүдийн дараалал

- Measurement command* мессежийг хэрэглэгч рүү илгээнэ.
- Хэмжилт хийх командыг хэрэглэгч хүлээн аваад радио дохио/орчны хэмжилт хийнэ. Хариулт болгож $Cell_{serving}$ -рүү *Measurement report* мессежийг илгээнэ. Энэхүү хариултад хэрэглэгчийн төхөөрөмжийн тухайн байршилд байх бааз станцуудын мэдээлэл, хэрэглэгчийн түлхүүр (анх сүлжээнд холбогдоход CMD -ээс авсан) байна.
- $Cell_{serving}$ нь хэрэглэгчийг хэндовр хийх шаардлагатай эсэхийг "Event A3" нөхцлийг ашиглаж шалгана. Хэрэв хэрэглэгч хэндовр хийх шаардлагатай бол сонгогдсон үүр $Cell_{target}$ эсвэл $T-AMF$ -руу хүсэлт илгээх ёстой. Хэрэв хэрэглэгчийн хэндовр хийж шилжиж орох үүр $Cell_{target}$ нь $S-AMF$ -тэй холбогдсон бол ямар нэгэн баталгаажуулалт хийх шаардлагагүй юм. Харин $Cell_{target}$ нь $S-AMF$ -ийн үйлчилгээний хүрээнээс гадна ба $T-AMF$ -д холбогдсон бол $S-AMF$ -ээс анкер хоорондын хэндовр эхлүүлнэ. Бидний зорилго анкер хооронд хийх хэндоврт чиглэсэн учир дараагийн алхамууд энэ төрлийн хэндоврынх байна.
- Хэндовр шаардлагатай үед $S-AMF$ өөрийн болон хэрэглэгчийн хэш утгуудыг тооцоолно.
- Дараа нь $S-AMF$ -ээс $T-AMF$ -руу *Handover request* гэсэн хүсэлтийг илгээнэ.
- Handover request* мессежийг хүлээж авсан $T-AMF$ нь өөрийн хэш утыг тооцоолно.
- Дараа нь $S-AMF$ -аас ирсэн HM_2 -ийг шалгана.
- $S-AMF$ болон $T-AMF$ -ууд өөрсдийн хэш утгуудаа $CMD/AUSF$ -руу *Authentication request* мессеж ашиглаж илгээнэ.
- Хэш утгуудыг хүлээн авсан $CMD/AUSF$ нь өөрт байх түлхүүрүүдийг ашиглаж MN , $S-AMF$, $T-AMF$ тус бүрийн хэш утгуудыг тооцоолох ба ирсэн утгуудтай харьцуулна.
- Хэрэв харьцуулалт амжилттай болж хэш утгууд ижил байвал $CMD/AUSF$ -ээс $S-AMF$ болон $T-AMF$ -руу *Authentication response* мессежийг илгээнэ. Энэхүү мессеж нь $S-AMF$ -д $T-AMF$ -ийг, $T-AMF$ -д $S-AMF$ -ийг тус тус баталгаажуулсан буюу хөнөөлт анкер биш гэсэн утгатай байна.
- Дараа нь $T-AMF$ нь $Cell_{target}$ -рүү хэндовр хийж орж ирэх хэрэглэгчид зориулж радио нөөцийн хүсэлт илгээж хариултад тохиргоо хүлээн авна.

13. $S - AMF$ дээр $CMD/AUSF$ -ээс баталгаажуулсан мессеж, $T - AMF$ -аас *Handover response* мессеж ирсний дараа $Cell_{serving}$ -ээр дамжуулж хэрэглэгчрүү *Handover command* мессежийг илгээнэ. Энэхүү *Handover command* мессеж нь $Cell_{target}$ -тэй холболт тогтооход шаардлагатай тохиргооны мэдээлэл багтана.
14. Хэрэглэгч $Cell_{serving}$ -ээс холболтоо салгаж $Cell_{target}$ -руу холболт тогтооно.
15. $Cell_{target}$ нь хэрэглэгч өөртэй нь амжилттай холбогдсоны дараа $T - AMF$ -руу хэндовр амжилттай дууссан тухай *Handover completed* мессежийг илгээнэ.
16. Дараа нь $Cell_{target}$ -ээс CMD -тэй хэрэглэгчийн байршил болон өгөгдлийн замыг шинэчлэх харилцан мессежүүдийг солилцоно.
17. CMD нь *Gateway* -д хэрэглэгчийн өгөгдлийн замыг шинэчлэх мессежүүд солилцоно.
18. Өгөгдлийн зам шинэчлэгдсэний дараа $T - AMF$ -аас $S - AMF$ -руу хэндовр амжилттай дууссан тухай *Handover completion* мессежийг илгээнэ.
19. Дараа нь $S - AMF$ -аас $Cell_{serving}$ -руу хэрэглэгчийн хэрэглэж байсан радио нөөцийг чөлөөлөх команд илгээж хэндовр төгсөнө.

3.2 Хэш функцийн тооцоолол

$S - AMF$ болон $T - AMF$ -ууд $CMD/AUSF$ -руу баталгаажуулалт хийлгэхээ хүсэлт илгээхдээ тус бүрдээ тооцоолсон хэш утгуудаас гадна хэрэглэгч болон хоёр анкөрүүдийн танигчууд, хугацааны цонх, тухайн хэрэглэгчийн хэндоврт зориулсан түлхүүр зэргийг илгээнэ. Харин тэдгээрийн түлхүүрүүд $CMD/AUSF$ дээр хадгалагдаж байдаг. Эдгээр ирсэн мэдээлэл, $CMD/AUSF$ дээрх түлхүүрийдийг ашиглаж $S - AMF$ болон $T - AMF$ -ийн хэшүүдийг тооцоолж олно. Дараа нь $S - AMF$ болон $T - AMF$ -аас ирсэн хэшүүдтэй тулгаж шалгана.

3.2.1 $S - AMF$ дээрх хэш тооцоолол

Хэндовр эхлэхээс өмнө $S - AMF$ нь $AID_{serving}$ -ийг хадгалж байна. Хэрэглэгч анх сүлжээнд холбогдох үед түлхүүр K_{S-AMF} -ийг хэндоврт зориулж үүсгэнэ. $S - AMF$ -аас илгээх хэндовр хүсэлтэд ID_{MN} , ts_1 , K_{S-AMF} -уудыг агуулна.

Тооцоолол хийхэд дараах түлхүүр, танигчуудыг ашиглана. Үүнд:

- $AID_{serving} - S - AMF$ -ийн танигч
- $AID_{target} - T - AMF$ -ийн танигч.
- ID_{MN} - хэрэглэгчийн танигч.
- K_{S-AMF} - хэрэглэгч $S - AMF$ -тэй анх холбогдох үед хэндоврт зориулж үүсгэсэн түлхүүр.

- K_{CMD} - хэрэглэгчид $CMD/AUSF$ -аас өгсөн түлхүүр.

- ts_1 - тухайн хэндовр хийж байгаа хугацааны цонх.

Доорх томъёоны дагуу хэш утгыг тооцоолж олно.

$$HM_S = HMAC(K_{CMD}, ID_{MN} || AID_{S-AMF}) || ts_1 \quad (1)$$

3.2.2 $T - AMF$ дээрх хэш тооцоолол

$T - AMF$ дээр ирсэн хэндовр хүсэлтэд агуулагдах мэдээлэл дээр тулгуурлан Томъёо 2 -ийг ашиглаж хэш утгыг тооцоолон олох ба $CMD/AUSF$ -руу илгээнэ.

$$HM_T = HMAC(K_S, ID_{MN} || AID_{T-AMF}) || ts_1 \quad (2)$$

Хэрэв хэндовр амжилттай болвол $T - AMF$ нь хэрэглэгчид зориулж K_{T-AMF} хэндовр түлхүүрийг үүсгэнэ.

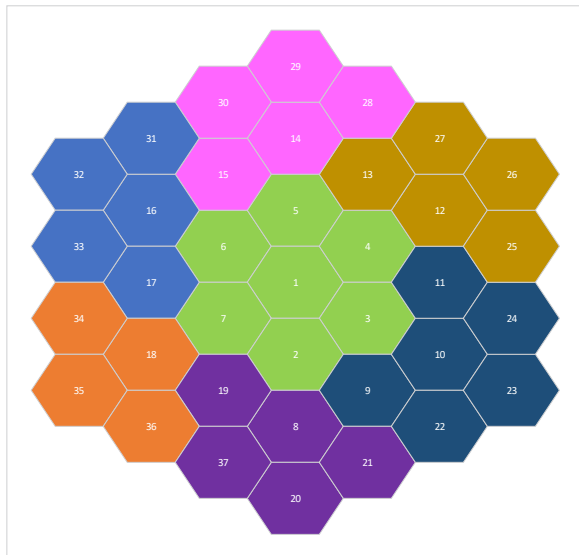
4 Туршилт ба Үр Дүн

Энэ хэсэгт бид санал болгож буй шийдлээ туршилтын орчинд EAP-д суурилсан баталгаажуулалтын арга болон баталгаажуулалт хийхгүй байх гэсэн хоёр шийдэлтэй харьцуулалт хийсэн үр дүнгээ танилцуулах болно. EAP-д суурилсан арга нь энэхүү протоколын хэрэглэгчийг анх нэвтрэх үед хийгддэг баталгаажуулалтыг хэндоврт шууд ашиглах хувилбар юм [32].

4.1 Туршилтын орчин

Бид туршилтын сүлжээ (Зураг 5)-ийг нээлттэй эхийн NS3 симулятор ашиглаж байгуулсан. Бааз станцууд болон анкөрүүдэд хоорондоо мэдээлэл солилцох зориулалттай функц нэмсэн.

Туршилтын сүлжээ нь 37 бааз станц, 7 анкер буюу AMF , нэг төвлөрсөн сан буюу $CMD/AUSF$, интернэтийн нэг гарц гэсэн нийт 46 сүлжээний нэгж болон тэдгээрийн холбосон холболтын төхөөрөмжүүдээс бүрдэнэ. Зураг 5-д өнгөөр ялгаж үзүүлсэнчлэн 7 анкер тус бүрийн үйлчилгээний хүрээнд бааз станцуудыг хамруулсан. Радио хандалтын сүлжээг байгуулахдаа 3GPP-ийн 15 болон 16 гэсэн стандартуудыг ашигласан. Туршилтанд ашигласан параметруудийг Хүснэгт 1-д үзүүлэв. Туршилт эхлэхэд хэрэглэгчдийг тоо, байршлыг санамсаргүйгээр сонгох ба хамгийн ойр байх бааз станцаар дамжиж анкеруу бүртгүүлнэ. Улмаар төвлөрсөн сан болон хэрэглэгчийг нэвтрэх зөвшөөрөл өгөх үйлдүүдийг стандартын дагуу хийж гүйцэтгэнэ. Туршилтын турш хэрэглэгч тогтмол хурдтай хөдөлж байнга идэвхтэй өгөгдөл дамжуулна. Бид хэрэглэгчийн хурдыг 3



Зураг 5: Туршилтын сүлжээний топологи

Параметрууд	Утга
Зөөгч давтамж	1800 MHz
үүрийн тоо	37
үүрийн хэмжээ	1 км
Замын алдагдлын загвар	$128.1 + 37.6 \log_{10} d$
Shadow fading гажилт	2dB
AMFs-уудын тоо	7
Хэндовр хийх давхцах талбай	үүрийн хэмжээний 30%
MNs-үүдийн тоо	1000 хүртэл
MNs-ийн хөдөлгөөний хурд	3km/h - 80km/h

Хүснэгт 1: Туршилтын параметрууд.

км/ц-аас 80км/ц-ийн хооронд санамсаргүйгээр сонгохоор тохируулсан болно. Туршилтын турш хэрэглэгчид ярианы дуудлага үйлчилгээг гарцын төхөөрөмжийн цаана байрлах сервертэй байнга идэвхтэй ашиглана. Сүлжээний аливаа нэгж дээр ирсэн дуудлагуудыг FIFO алгоритм ашиглаж дараалалд байршуулахаар тохируулсан.

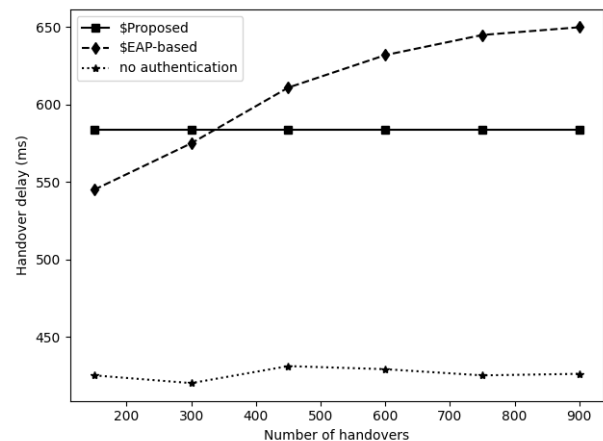
4.2 Туршилтын үр дүн

Туршилтаа бид 20 удаа давтан хийсэн ба баталгаажуулалтын хоцролт, хэндоврын хоцролт, хэндовр хийх үед алдагдсан пакет, баталгаажуулалт хийж байх үед гарсан бусад алдаа гэсэн 4 үзүүлэлтийг тус бүрт дунджаар тооцоолсон.

4.2.1 Хэндоврын хоцролт

Хэндоврын хоцролт нь хэрэглэгчийн идэвхтэй үйлчилгээнүүдэд нөлөөлдөг чухал үзүүлэлт юм. Иймд бид туршилтын үр дүнгүүдээс хэндовр хийх үе дэх хэрэглэгчийн үйлчилгээний тасалдалтыг хэмжсэн.

Хэмжихдээ хэрэглэгч хуучин анкераар дамжуулж авсан сүүлийн пакетийн ирсэн хугацаа, шинэ анкераар дамжуулж авсан эхний пакетийн ирсэн хугацаа гэсэн 2 хугацааны ялгавраар илэрхийлсэн. Зураг 6 -д хэндоврын хоцролтыг хэндовр хийсэн тоотой харьцуулж үзүүлэв. Бидний санал болгосон схем нь ЕАР-д суурилсан баталгаажуулалтын аргаас ялимгүй их байна. Энэ нь баталгаажуулах үйлдэлд нэмэгдсэн хэш утгыг тооцоолох, тулгаж шалгах зэрэг үйлдлүүдтэй шууд хамааралтай юм.



Зураг 6: Хэндоврын хоцролтын харьцуулалт.

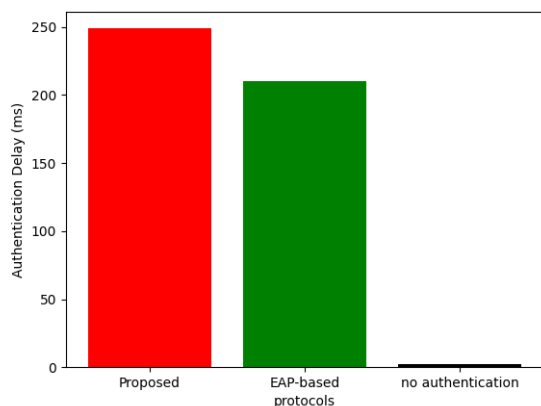
4.2.2 Баталгаажуулалтын хоцролт

Бид хэндоврын хоцролт дотроос баталгаажуулалт хийх мессежүүдийг солилцох, хэш утга бодох зэргээс үүдэн гарц байгаа хоцролт буюу баталгаажуулалтын хоцролтт Зураг 7 -д үзүүлэв. Зургаас харахад бидний санал болгож байгаа арга нь нөгөө 2-оос их байна. Мөн ямар нэгэн баталгаажуулалт хийхгүй байх үед хоцролт хамгийн бага байна. Ойролцоогоор 9 орчим милсекундыг зөвхөн хэрэглэгчийн өгөгдлийн замыг шинэчлэхэд зарцуулж байгаа хугацаа эзэлж байна. Харин ЕАР -д суурилсан аргын хувьд урьдчилан тараасан түлхүүрүүдийг шууд ашиглах, хэш утга бодохгүй ч дамжуулж байгаа мессежийн тоо, тэдгээрийн хэмжээнээс хамаарч хоцролт их гарч байна.

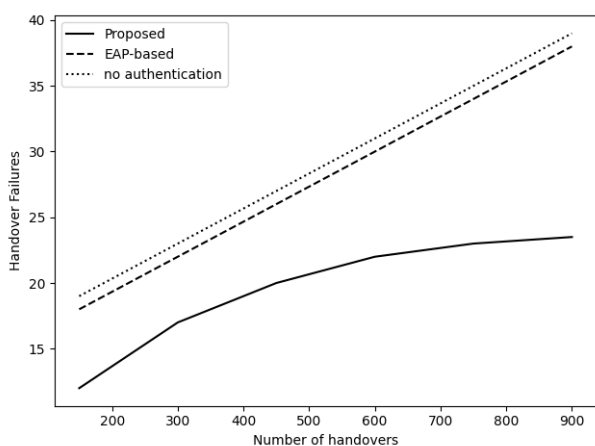
4.2.3 Баталгаажуулалтын үед гарсан алдаа

Бид зөвхөн баталгаажуулалт хийх үед гарч байгаа алдааны талаар Зураг 8-д үзүүлэв. Хэндовр хийх үед радио дохионоос хамаарсан алдаа болон системийн түвшинд дамжуулагдаж байгаа мессежүүд алдагдах зэрэг олон төрлийн алдаа гардаг. Тэдгээр дээр нэмээд хэрэглэгчийн өгөгдлийн замыг шинэчлэх үед алдаа гарч болно. Харин зурагт бид баталгаажуулах үйлдэл хийх үе дэх мессежүүдээс хамаарсан болон өгөгдлийн зам шинэчлэх үед гарсан алдаануудыг ялгаж үзүүлсэн.

Туршилтын турш хийгдэж байгаа хэндовруудыг шинжлэхэд баталгаажуулалт хийдэггүй болон ЕАР



Зураг 7: Баталгаажуулалт хийх үед үүсэх хоцролт.



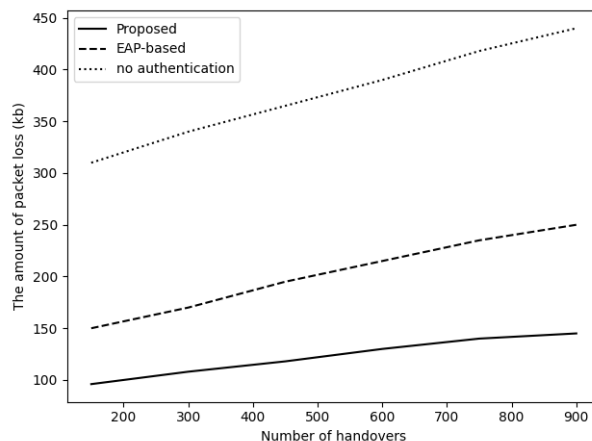
Зураг 8: Хэндовр хүсэлтийг бай зангуу татгалзсан байдал.

-д суурилсан аргуудыг хэндовр алдаа тогтмол өссөн үр дүн үзүүлсэн. Харин бидний санал болгож байгаа арга нь алдааг бага түвшинд хадгалж чадаж байна. Энэ нь баталгаажуулалтын эцсийн үр дүнг $CMD/AUSF$ дээр хийгдэж бүх нэгжид мэдэгдэж байгаагаар тайлбарлаж болно. Өөрөөр хэлбэл өгөгдөл дамжуулах, чиглүүлэх зэрэг үйлдлүүдийг давхар хариуцаж байгаа анкерууд дээр тооцоолол бага хийх, өгөгдлийн зам шинэчлэх гол нэгж дээр тооцоолол хийсэн зэрэг юм.

4.2.4 Пакет алдагдлын хэмжээ

Зураг 9-д бид туршилтын үр дүнгүүдээс хэндовр хийх үед алдагдсан пакетуудын хэмжээг дундажлан үзүүлэв. Ингэхдээ гүйцэтгэсэн хэндоврын тоотой харьцуулав. Зургаас харвал хэндовр хийх үед баталгаажуулалт хийхгүй байх үеийн пакет алдагдал 300 -аас 440 хүртэл өссөн бол EAP -д суурилсан баталгаажуулалтын арга 150 -аас 250 хүртэл өссөн байна. Харин бидний санал болгож байгаа арга нь 100 -аас 145 хүртэл өссөн. Эндээс дүгнэвэл бидний санал болгосон арга нь хэндовр хийх үед пакетын алдагдал бага байна. Үүний шалтгаан нь хэндовр

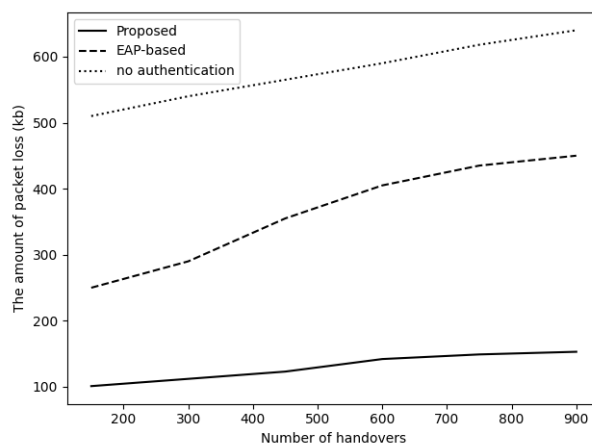
хийж байх үед гарах алдаа багасаж байгаатай холбоотой юм.



Зураг 9: Пакетын алдагдал ба гүйцэтгэсэн хэндоврын тоо.

4.2.5 Хөнөөлт анкертэй үеийн нөлөө

Бид хөнөөлт анкер буюу AMF -ийг нэмж туршилтаа давтан хийсэн үр дүнг Зураг 10-д үзүүлэв. Ингэхдээ бид хөнөөлт нэг анкерийг сүлжээний дурын байршилд байрлуулж ойр орших 7 үүрнээс ирэх хэндовр хүсэлтийг хүлээн авах боловч хариу өгөхгүй байхаар програмчлав. Энэ нь хэндоврын хүсэлтийг гээгдүүлж, хэндовр амжилтгүй болох магадлалыг ихэсгэх юм. Зураг 10-ийг Зураг 9-д харьцуулж харвал бидний санал болгосон хэндоврын пакетын алдагдалд өөрчлөлт бага гарсан. Харин нөгөө хоёр аргын пакетын алдагдал ихээхэн нэмэгдсэн байна. Пакет алдагдал нэмэгдэж байгаа үндсэн шалтгаан нь хэндовр хүсэлтийг хөнөөлт анкер руу илгээж хариу хүлээснээр $Cell_{serving}$ дээр түр хадгалагдаж байгаа хэрэглэгчийн пакетууд хүлээлтийн хугацаа дуусаж устаж байгаа юм.



Зураг 10: Пакетын алдагдал ба хөнөөлт анкер.

5 Дүгнэлт

Энэхүү судалгааны ажлаар бид 5G сүлжээний орчинд тархсан удирдлагатай үед хэндовр менежментэд баталгаажуулалтыг хангах зорилготой нэмэлт хийв. Өөрсдийн нэмэлтийг шалгах зорилгоор туршилтын орчин зохион байгуулж, санал болгож байгаа өөрчлөлттэй хэндовр, EAP -д суурилсан хэндовр, баталгаажуулалт хийдэггүй хэндовр гэсэн 3 төрлийн зохиомжилж туршив. Туршилтын үр дүнд бидний санал болгосон арга нь хоцрогдлыг тодорхой хэмжээгээр нэмэгдүүлэх боловч хэндовр хийх үед баталгаажуулалтаас хамаарч гарах алдааг багасгаж, хөнөөлт анкер нэмэхэд нөлөө багатай байсан давуу талуудыг үзүүлсэн. Бидний цаашдын ажил бол туршилтын орчинд халдлагуудыг зохиомжлох, тэдгээрийн эсрэг үзүүлж байгаа нөлөөг судалж өөрсдийн аргаа сайжруулах юм.

Зохиогчийн оролцоо

Д.Шүхэрт туршилтын орчин зохион байгуулж, санал болгож байгаа сайжруулалт болон боломжит баталгаажуулалтын шийдлүүдтэй харьцуулалт хийж үр дүнг боловсруулсан. Д.Баттулга, Б.Өсөхбаяр нар 5G сүлжээний орчинд тархсан удирдлагатай үед хэндовр менежментэд баталгаажуулалтыг хангах зорилготой нэмэлтийг боловсруулсан. Д.Шүхэрт, Д.Баттулга, Б.Өсөхбаяр нар өгүүллийг засаж сайжруулах, утга агуулгын алдааг хянаж, өгүүллийн сүүлчийн хувилбарыг бичсэн.

Ашиг сонирхлын зөрчилгүйн баталгаа

Зохиогчид ашиг сонирхолын зөрчилгүй гэдгээ баталж байна.

Ашигласан ном

- [1] Hu RQ, Qian Y. An energy efficient and spectrum efficient wireless heterogeneous network framework for 5G systems. *IEEE Communications Magazine*. 2014;52(5):94–101.
- [2] Ge X, Tu S, Mao G, Wang C, Han T. 5G Ultra-Dense Cellular Networks. *IEEE Wireless Communications*. 2016;23(1):72–79.
- [3] Cisco U. Cisco annual internet report (2018–2023) white paper; 2020.
- [4] Choi YJ, Lee KB, Bahk S. All-IP 4G network architecture for efficient mobility and resource management. *IEEE wireless communications*. 2007;14(2):42–46.
- [5] Zhang X, Kunz A, Schröder S. Overview of 5G security in 3GPP. In: 2017 IEEE conference on standards for communications and networking (CSCN). *IEEE*; 2017. p. 181–186.
- [6] Chan H, Liu D, Seite P, Yokota H, Korhonen J. Requirements for distributed mobility management. *draft-ietf-dmm-requirements-16*. 2014.
- [7] Shin D, Yun K, Kim J, Astillo PV, Kim J, You I. A Security Protocol for Route Optimization in DMM-Based Smart Home IoT Networks. *IEEE Access*. 2019;7:142531–142550.
- [8] Lee J. Secure authentication with dynamic tunneling in distributed IP mobility management. *IEEE Wireless Communications*. 2016;23(5):38–43.
- [9] Dohyun Kim, Yongtae Shin. An enhanced security authentication mechanism in the environment partially distributed mobility management. In: 2017 International Conference on Information Networking (ICOIN); 2017. p. 457–462.
- [10] Lee J, Bonnin J, Seite P, Chan HA. Distributed IP mobility management from the perspective of the IETF: motivations, requirements, approaches, comparison, and challenges. *IEEE Wireless Communications*. 2013;20(5):159–168.
- [11] Johnson D, Perkins C, Arkko J, et al.. Mobility support in IPv6. *RFC 3775*, june; 2004.
- [12] Perkins CE, Johnson DB. Mobility support in IPv6. In: *Proceedings of the 2nd annual international conference on Mobile computing and networking*; 1996. p. 27–37.
- [13] Koodli R, et al. Fast handovers for mobile IPv6. *RFC 4068*, july; 2005.
- [14] Soliman H, Castelluccia C, El Malki K, Bellier L. Hierarchical mobile IPv6 mobility management (HMIPv6). *RFC 4140*, august; 2005.
- [15] Jung H, Kim E, Yi J, Lee H. A Scheme for Supporting Fast Handover in Hierarchical Mobile IPv6 Networks. *ETRI Journal*. 2005;27(6):798–801.
- [16] Gundavelli S, Leung K, Devarapalli V, Chowdhury K, Patil B, et al. Proxy mobile ipv6. 2008.
- [17] Schmidt T, Wählisch M, Krishnan S. Base deployment for multicast listener support in Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) Domains. *IETF RFC6224*, April. 2011.
- [18] Yokota H, Chowdhury K, Koodli R, Patil B, Xia F. Fast handovers for proxy mobile IPv6. In: *RFC 5949*; 2010. .
- [19] Sun K, Kim Y. Flow Mobility Management in PMIPv6-based DMM (Distributed Mobility Management) Networks. *J Wirel Mob Networks Ubiquitous Comput Dependable Appl*. 2014;5(4):120–127.

- [20] Chan H, Liu D, Seite P, Yokota H, Korhonen J. Requirements for distributed mobility management. draft-ietf-dmm-requirements-16. 2014.
- [21] Chan H. Problem statement for distributed and dynamic mobility management. Internet Draft, draft-chan-distributed-mobility-ps-00. 2010.
- [22] Giust F, Cominardi L, Bernardos CJ. Distributed mobility management for future 5G networks: overview and analysis of existing approaches. IEEE Communications Magazine. 2015;53(1):142–149.
- [23] Bertin P, Bonjour S, Bonnin J. A Distributed Dynamic Mobility Management Scheme Designed for Flat IP Architectures. In: 2008 New Technologies, Mobility and Security; 2008. p. 1–5.
- [24] Lee J, Bonnin J, You I, Chung T. Comparative Handover Performance Analysis of IPv6 Mobility Management Protocols. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2013;60(3):1077–1088.
- [25] Nguyen TT, Bonnet C. A hybrid centralized-Distributed Mobility Management for supporting highly mobile users. In: 2015 IEEE International Conference on Communications (ICC). IEEE; 2015. p. 3945–3951.
- [26] Nguyen TT, Bonnet C, Härri J. SDN-based distributed mobility management for 5G networks. 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. 2016:1–7.
- [27] Ko H, Jang I, Lee J, Pack S, Lee G. SDN-based distributed mobility management for 5G. In: 2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). IEEE; 2017. p. 116–117.
- [28] Sanchez MI, De la Oliva A, Mancuso V. Experimental evaluation of an SDN-based distributed mobility management solution. In: Proceedings of the Workshop on Mobility in the Evolving Internet Architecture; 2016. p. 31–36.
- [29] Valtulina L, Karimzadeh M, Karagiannis G, Heijenk G, Pras A. Performance evaluation of a SDN/OpenFlow-based Distributed Mobility Management (DMM) approach in virtualized LTE systems. In: 2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). IEEE; 2014. p. 18–23.
- [30] Lee JH, Bonnin J, Lagrange X. Host-based distributed mobility management support protocol for IPv6 mobile networks. 2012 IEEE 8th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob). 2012:61–68.
- [31] Chandramouli D, Liebhart R, Pirskanen J. 5G for the Connected World. John Wiley and Sons; 2019.
- [32] Haddar W, Ameer SB, Zarai F. Securing Fast PMIPv6 protocol in case of Vertical HandOver in 5G network. In: 2019 15th International Wireless Communications Mobile Computing Conference (IWCMC); 2019. p. 1037–1042.

Компьютерын ухаан

ВЕБИЙН АЮУЛГҮЙ БАЙДЛЫН ШИНЖИЛГЭЭНИЙ СИСТЕМИЙН ХӨГЖҮҮЛЭЛТ

Б.Цолмонтамир^{1,*}, Б.Өсөхбаяр², Н.Угтахбаяр²

¹МУИС, Мэдээлэл технологийн газрын сүлжээ холбооны газар,

²МУИС, ХШУИС, Электроник, холбооны инженерчлэлийн тэнхим

Received on 2021.04.13; Revised on 2021.06.24; Accepted on 2021.07.01

*Холбоо баригч зохиогч: tsolmontamirb@num.edu.mn.

Хураангуй

Веб системд суурилсан програм хангамж, үйлчилгээний тоо сүүлийн жилүүдэд асар хурдацтай нэмэгдэж байна. Энэхүү хурдтай өсөлтөөс үүдэн вебийн аюулгүй байдал нь бүрэн хангагдаагүй системүүд нэмэгдэх болж, түүний хирээр вебийн эмзэг байдалд тулгуурласан халдлага дайралтууд улам бүр ихсэж байна. Вебийн аюулгүй байдлыг хамгаалахтай холбоотой арга хэрэгсэл ашиглаагүй, аюулгүй байдлыг хангах хангалттай мэдлэггүй хүн программын кодыг бичсэн, баталгаажуулалт байхгүй эсвэл баталгаажуулалтын арга, аргачлал, хэрэглээний алдаа зэрэг олон шалтгаанаас вебийн эмзэг байдал үүсэж байна. Энэ алдаа дутагдлыг багасгаж, веб системийн аюулгүй байдлыг сайжруулах замаар хэрэглэгч болон мэдээллийн аюулгүй байдлыг хангах хэрэгцээ шаардлага зайлшгүй урган гарч ирж байна. Бид энэ судалгааны ажлаар вебийн эмзэг байдлыг тодорхойлох системийн хөгжүүлэлтийг хийж гүйцэтгэсэн. Энэхүү систем нь вебийн эмзэг байдлыг илрүүлэх wapiti, w3af, ZAP, Vega зэрэг бусад програмуудтай харьцуулахад ажиллагааны хувьд ойлгомжтой, хялбар, бүтцийн хувьд энгийн, бусад системүүдтэй интеграц хийх боломжтой, нээлттэй эх кодтой, цаашид нэмж хөгжүүлэх боломжтой, түгээмэл хэрэглэгддэг програмчлалын пайтон хэлийг ашигласан, график интерфэйс бүхий цогц систем юм. Судалгааны үр дүнгээс харахад бидний боловсруулсан систем үр дүнгээрээ бусад төстэй системүүдтэй ижил түвшинд ажиллаж, вебийн эмзэг байдлыг тодорхойлох боломжтой байна.

Түлхүүр үг: web application security scanning, web security assessment, enumeration, injection

1 Удиртгал

Аливаа системд халдлага үйлдэхэд тухайн системийн талаарх үнэн зөв мэдээллийг цуглуулах, тухайн мэдээлэл дээр тулгуурлан халдлага хийх боломжийг эрэлхийлэх нь ёс зүйт хакер болон бусад халдлага үйлдэгчдийн хийдэг үндсэн үйлдэл юм. Вебийн эмзэг байдал гэдэг нь халдагч этгээд зөвшөөрөлгүй нэвтрэхээс эхлээд нууц, хаалттай, байгууллагын дотоод хэрэгцээний зэрэг чухал мэдээлэл олж авах улмаар байгууллагад хохирол учруулахуйц аливаа үйлдэл хийхийг хэлэх бөгөөд вебийн аюулгүй байдлыг муу хангаснаар энэхүү боломжийг халдагч этгээд олгодог. Сүүлийн жилүүдэд веб програмчлалд суурилсан төрөл бүрийн үйлчилгээ асар хурдацтай нэмэгдэж буй бөгөөд энэхүү өсөлттэй зэрэгцэн түүнд чиглэсэн эмзэг байдлын тоо ч хурдтай өсөж байна. Эмзэг байдлыг ангилан үзэхэд тэдгээрийн ихэнх нь баталгаажуулалт, веб системд тогтмол хийгдэх шаардлагатай арчилгаанаас болдог байна [1]. Вебд суурилсан аливаа системийн хувьд тухайн системд хандах хэрэглэгчийн интерфэйстэй холбоотой аливаа эрсдэл түгээмэл тохиолдох боломжтой бөгөөд тэдгээрээс хамгийн түгээмэл тохиолддог нь SQL injection (SQLi), Cross-site scripting (XSS) юм. 2020 онд аюулгүй байдлын про-

грамм, судалгааны компани болох Acunetix-ийн боловсруулсан судалгааны үр дүнгээр маш эрсдэлтэй (critical) эмзэг байдлын жагсаалтад SQLi, XSS халдлагуудад өртөмтгий байдал түгээмэл, эрсдэл өндөртэй эмзэг байдлын ангилалд орсон байна [2]. Энэхүү халдлага үүсэх үндсэн нөхцөл нь оролт баталгаажуулахгүй байх, ямар нэг аюулгүй байдлаа хангах аргачлал ашиглаагүй байх, вебийн, веб системийн хамгаалалтын арга техник ашиглаагүй байх зэргээс болох нь түгээмэл байна. Иймээс аливаа байгууллага ашиглаж буй вебийн эмзэг байдлыг тодорхойлж, мэдэх нь чухал асуудал юм. Тухайн вебийн эмзэг байдлыг мэдэхгүй байснаар веб системийн өгөгдлийн сан, дэд бүтцэд эрсдэл үүсэхээс гадна эмзэг байдлын цар хүрээнээс хамаарч тухайн байгууллага, хувь хүнд их хэмжээний хохирол учруулах боломжтой. Зах зээл дээр вебийн эмзэг байдлыг илрүүлэх олон төрлийн програмууд бий. Түүний дотроос Wapiti, Wa3f, ZAP, Veg зэрэг програмууд өргөн ашиглагддаг бөгөөд тэдгээр нь түгээмэл тохиолддог XSS, SQLi, Directory Traversal гэх мэт олон халдлагуудыг илрүүлдэг давуу талтай боловч нүсэр бүтэцтэй, агуулга томтой, эмзэг байдлыг илрүүлэхдээ аюулгүй байдлын шалгалтыг командын мөрнөөс хийдэг зэрэг дутагдалтай талууд их байдаг.

Энэ нь хэрэглээнд ашиглахад хүндрэл учруулдаг байна. Бид энэхүү судалгаа, туршилтын үр дүнгээр дээрх асуудлуудыг шийдсэн нээлттэй эхийн, график интерфэйстэй, аюулгүй байдлын олон эх үүсвэрээс аюулгүй байдлыг шалгах боломжтой, хэрэглэхэд хялбар, хамгийн өндөр эрсдэл бүхий SQLi, XSS эмзэг байдлуудыг төрлөөр нь ангилж илрүүлэх боломжтой системийн хөгжүүлэлтийг хийсэн.

2 Вебийн эмзэг байдал

Аж үйлдвэрийн хурдацтай хувьсгал, дэлхий нийтийн цахим хэрэглээний дэвшил нь бидний өдөр тутмын амьдралд огцом өөрчлөлтийг авчирсаар байна. Ялангуяа, веб програмчлал, веб технологи нь хэрэглэгчдэд хэрэглэхэд хялбар, түргэн шуурхай бөгөөд мэдээллийг цаг алдалгүй авах боломж олгож буй тул түүнд суурилсан үйлчилгээ алхам тутамд шинээр нэмэгдсээр байна. Урьд нь хийдэг байсан файл зөөх, аудио, видео тоглуулах зэрэг олон үйлчилгээ онлайн хэлбэрт шилжиж вебд суурилсан үйлчилгээ болсноор бидний амьдралд илүү ойр болсон. Энэхүү хурдацтай өөрчлөлтийн сөрөг тал нь хувь хүний мэдээллийн нууцлал алдагдах, аюулгүй байдал бүрэн хангагдаагүй вебүүд олшрох зэрэг эрсдэл, аюулыг бий болгож байна. Веб, веб програмчлал бүхий системүүдийн ихэнх нь хэрэглэгчийн оруулж буй өгөгдөлд баталгаажуулалт хийдэггүй, аюулгүй байдлын аливаа шийдлийг бүрэн гүйцэд ашигладаггүйтэй холбоотой эмзэг байдал үүсэж байгаа нь тогтоогдсон. Вебийн аюулгүй байдлыг хангах олон арга байдаг бөгөөд хэрэглэгчээс үүдэлтэй эрсдэлийг бууруулах, веб системээс үүдэлтэй эрсдэлийг бууруулах, веб аппликейшнээс үүдэлтэй эрсдэлийг бууруулах гэсэн үндсэн гурван ангилалд хуваан авч үзэж болно. Эдгээрээс түгээмэл ашиглагддаг арга нь давхар баталгаажуулалт ашиглах, вебийн галт ханыг, WAF (Web Application Firewall), зөв тохируулан ашиглах, өгөгдөл хадгалагдахад нууцлалыг хангах хүчтэй криптографи ашиглах, вебийн аливаа холболтын нууцлалыг хангах зорилгоор холболтын протоколын аюулгүй шийдлийг ашиглах, нууц үгийн стандартыг хэрэгжүүлэх, бодлого тодорхойлох, онц шаардлагатай тохиолдолд өгөгдлийг сэргээх боломжтой байх, нөөц сервер бэлдэн ачааллыг тэнцвэржүүлж, аюулгүй байдлыг ханган ажиллах, вебийн код, веб сервер болон бусад холбогдох дэд системүүдийн шинэчлэл, сайжруулалтыг цаг тухай бүр тогтмол, стандартын дагуу хийж байх юм [3].

2.1 Cross-Site Scripting

Энэхүү XSS эмзэг байдал нь аливаа вебийн хэрэглэгчийн интерфэйст буй оролтын талбарт аюулгүй байдлын шалгалтуудыг хийгээгүйгээс үүдэн хаке-руудад тухайн код сервер дээр ажиллан системд халдах, системийн мэдээллийг цуглуулах, системд хандаж буй хэрэглэгчид халдах, системийн найдвартай, тогтвортой байдлыг алдагдуулах зэрэг үйл-

дэл хийх боломжийг олгодог байна. Хэдийгээр энэ нь тухайн веб болон вебийг ашиглаж буй хэрэглэгчдэд хор хохирол их учруулж болох боловч түүнийг илрүүлэх, засах боломж харьцангуй хялбар байдаг. Уг эмзэг байдал бүхий вебээр дамжуулан халдагч этгээд тухайн вебд хандаж буй хэрэглэгчийг халдлагын өртөгч болгох боломжтой учир хэрэглэгчдэд ихээхэн хохирол учруулна. Энэ халдлага нь Reflected болон Persistent гэсэн үндсэн хоёр төрөлд хуваагдана [4]. Persistent XSS-д өртсөнөөр тухайн вебийн өгөгдлийн санд халдагч этгээдийн оруулсан хор хөнөөлтэй код хадгалагдах ба ямар нэгэн хэрэглэгч тухайн вебд хандах үед халдлагын код ажиллаж хэрэглэгчид халдварлаж, кодын дагуу төрөл бүрийн үйлдлүүдийг гүйцэтгэнэ. Уг халдлага амжилттай болох тохиолдол нь веб сервер аюулгүй байдлын шийдэлгүй, кодын аюулгүй байдлыг шалгадаггүй, зөвшөөрөгдөөгүй үйлдлийг хязгаарлаагүйтэй холбоотой бөгөөд хэрвээ тухайн веб нь дээрх шалгалтыг хийдэггүй, баталгаажуулалт ашигладаггүй бол халдлагад өртөх магадлал их болох юм [5]. Иймд Reflected XSS халдлага нь амжилттай хийгдсэн тохиолдолд тухайн халдлагын хамрах хүрээ ихсэж, хор хохирол нэмэгдэх эрсдэлүүдийг бий болгоно.

2.2 SQL Injection

SQLi нь өгөгдлийн санд хэрэглэгч эсвэл бусад системээс ирж буй SQL query-г шалгах хамгаалалтын ямар нэгэн аргачлал ашиглаагүй тохиолдолд өгөгдлийн сангийн мэдээллийг олж авах, мэдээлэл хуулах зэрэг хөнөөлт үйлдлүүд хийх боломжийг олгох бөгөөд MySQL, Microsoft SQL Server, Oracle гэх мэт түгээмэл ашиглагддаг бүх төрлийн өгөгдлийн сан уг халдлагад өртөх боломжтой [5]. Уг халдлага нь хөгжүүлэгчийн алдаа эсвэл вебийн системийн ажиллагааны алдаа зэргээс болж их тохиолддог. SQLi ашиглан халдагч нь SQL командыг өгөгдлийн сангийн сервер рүү илгээж, өгөгдөлд зөвшөөрөлгүй хандах эсвэл өгөгдлийн сангийн сервер ажиллаж байгаа системийг нь бүхэлд нь эзэмших оролдлого хийх бөгөөд тэрхүү боломжийг олж авснаар өөрийн хүссэн үйлдэл хийх боломжтой болдог. Simple SQLi нь энгийн, түгээмэл ашигладаг халдлагын төрөл юм. Үүний нэг жишээ нь: Хэрвээ веб нь хэрэглэгчийн ID дугаар дээр тулгуурлан хэрэглэгчийн мэдээллийг харуулдаг гэж үзвэл. Ямар нэг дугаар бүхий SQL query үүсгэн илгээх үед сонгосон дугаар бүхий хэрэглэгчийн мэдээлэл өгөгдлийн санд байхгүй тохиолдолд хоосон утга буцаах эсвэл алдааны мэдээлэл гарч ирнэ. Энэ тохиолдолд халдагч этгээд оролтын хэсэгт "111 OR 1=1" гэсэн утга бүхий query илгээсэн гэж үзвэл энэхүү логик үйлдлийн хариу нь үргэлж үнэн байх юм. Ингэснээр серверт уг query "SELECT * FROM users WHERE userId = 111 OR 1=1;" гэж дамжуулагдах бөгөөд үргэлж үнэн нөхцөл биелж өгөгдлийн сангаас харгалзах утгыг буцаах юм [6]. Энэхүү энгийн query-г дамжуулах боломжтой вебд хэрэглэгчийн мэдээлэл, хэрэглэгчийн хувийн мэдээлэл, нууц зэрэглэлийн мэдээлэл гэх зэ-

рэг агуулагдаж байсан гэж тооцвол уг нөхцөлийн үр дүнд өгөгдлийн сангаас хэрэглэгчдийн мэдээллийг буцааж тухайн мэдээллээр системд нэвтрэх, өгөгдөл алдагдах боломж бүрдэнэ.

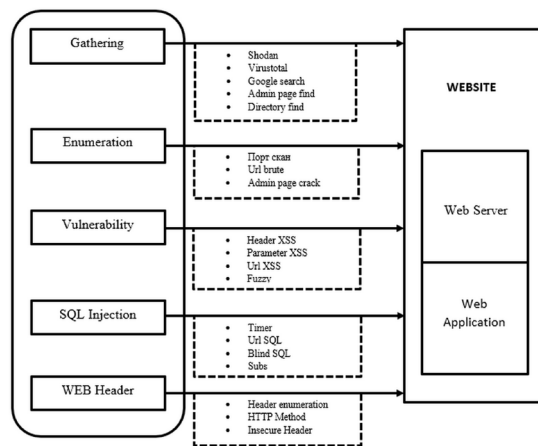
2.3 HTTP Header

Хэрэглэгч, веб хоорондын хүсэлт, хариу болон буцад нэмэлт мэдээллийг дамжуулах үед HTTP header ашигладаг. HTTP талбар нь General, Request, Response, Entity гэсэн дөрвөн талбараас бүрдэнэ. General header нь хүсэлт болон хариултын аль алинд нь хэрэглэгдэх хэдий ч өгөгдлийн санд өөрчлөлт оруулахгүй. Үүнд request url, request method, status code, remote address, referrer policy зэрэг агуулагдана. Request header хэсэгт хэрэглэгчийн илгээж буй хүсэлтийн мэдээллийг агуулдаг. Request header дотор cookie, user agent, cache-control, accept-language, accept-encoding, method, path гэсэн талбарууд орно. Response header гэх энэхүү талбарт серверээс хэрэглэгчийн илгээсэн хүсэлтэд хариулж буй мэдээллийг агуулдаг. Response header дотор server, date, server-timing, cache-control, content type, content-security-policy, secure header зэрэг орно [7].

3 Вебийн аюулгүй байдлын шинжилгээний програмын дизайн, хөгжүүлэлт

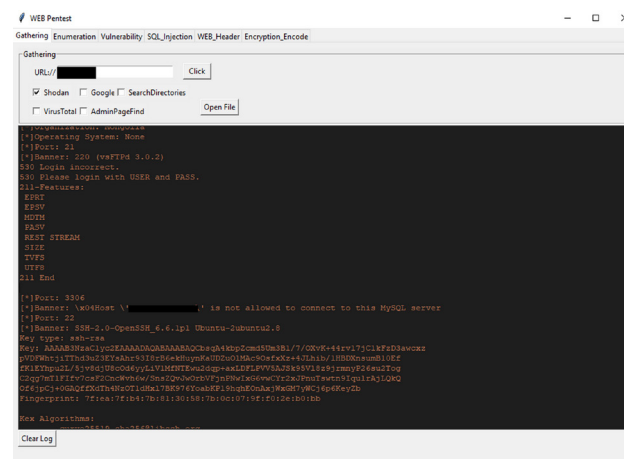
Бидний ажлын үр дүн өнөөдрийн байдлаар зах зээлд ашиглагдаж буй вебийн аюулгүй байдлын шинжилгээ хийх программын дутагдалтай талыг нөхөх юм. Уг программаар вебийн эмзэг байдлыг тодорхойлохоос гадна, вебийн, веб серверийн талаар мэдээлэл цуглуулах боломжтой. Үүнээс гадна нээлттэй эхийн программ хэлбэрээр хөгжүүлж буй тул бидний бүтээсэн программыг ашиглаж буй аюулгүй байдлын мэргэжилтэн, судлаачид цааш хөгжүүлэн, өөрсдийн хэрэгцээ шаардлагад нийцүүлэн ашиглах боломжтой. Бид судалгааны үр дүнд үндсэн 5 модулиас бүрдэхээр тооцсон бөгөөд а. Gathering (Мэдээлэл цуглуулах хэсэг), б. Enumeration (Системийн дэлгэрэнгүй мэдээллийг цуглуулах, илрүүлэх хэсэг) в. Эмзэг байдлыг тодорхойлох, илрүүлэх хэсэг г. SQLi илрүүлэх хэсэг д. Web header-ийн мэдээлэл цуглуулах хэсэг гэсэн модулиуд байна. Зураг 1-т программын ажиллагааны ерөнхий архитектурыг харуулсан бөгөөд модуль бүр ашиглагдах сан, өгөгдлийн бүтэцтэй байхаар тооцолсон бөгөөд энэ нь бусад судлаач, инженерүүдэд ашиглах боломж олгох, системийн үр дүнгээр гарсан мэдээллийг дараагийн судалгаанд ашиглахтай холбоотой боловсруулсан шийдэл юм.

Модулиуд нь өөр өөрсдийн үйлдлийг гүйцэтгэхдээ хоорондоо харилцан ажиллах болон бие даасан байдлаар үүрэг гүйцэтгэх боломжтой байхаар загварчилсан. Жишээ нь бид энэхүү судалгааны үр дүнд модулиуд хоорондоо хамааралтай буюу эхний модулийн гаралтын үр дүнгээс хамааран дараагийн



Зураг 1: Ажиллагааны загварчилал.

модулийн хийгдэх үйлдэл тодорхойлогдох замаар гүйцэтгэсэн.



Зураг 2: Програмын интерфэйс.

Зураг 2-т мэдээлэл цуглуулах модулийн ажиллагааны талбар буюу ерөнхий интерфэйс болон мэдээлэл цуглуулах үр дүнгийн хэсгийг харууллаа. Системийн модуль бүрийн ажиллах талбар өөр өөр байх боловч үр дүнг мэдээлэх ерөнхий гаралтын интерфэйстэй байна. Зураг 2-т харагдаж байгаа нь системийн эхний модуль болох Gathering хэсэг юм. Gathering хэсэг дээр URL: гэсэн оролтын хэсэгт мэдээлэл цуглуулах гэж байгаа сайтын URL-г оруулж, доор нь байгаа Shodan, Google, SearchDirectories, Virustotal, AdminPageFind гэсэн сонголтуудаас сонгоод “Click” товчлуурыг дарснаар систем ажиллаж, үр дүнгийн мэдээллийг гаралтын хэсэгт харуулна.

3.1 Мэдээлэл цуглуулах модуль

Мэдээлэл цуглуулах (gathering) модуль нь тухайн системийн талаарх ерөнхий мэдээллийг хайх хэсэг юм. Ерөнхий мэдээлэл гэдэгт ямар ip хаягтай, ямар хост дээр байршсан, ямар сервер дээр ажиллаж байгаа гэх мэт олон төрлийн мэдээлүүд багтана. Бидний боловсруулсан систем ту-

хайн вебээс shodan, virustotal, google search, admin page find, directory find зэрэг хайлтын функцүүдийг ашиглаж мэдээлэл олж авах боломжтой. Жишээ нь, shodan нь интернетэд холбогдсон төхөөрөмжүүдийн талаар мэдээлэл цуглуулдаг хайлтын систем юм. Shodan, Virustotal нь пайтон хэлний сантай байдаг. Тэрхүү пайтон хэлний сантай холбогдож API түлхүүр ашиглан хэрэгтэй мэдээллээ цуглуулна. Энэ систем мэдээллийн ихэнх хэсгийг төхөөрөмж дээр ажилладаг программ хангамжийн мета өгөгдөл болох баннераас цуглуулах боломжтой байдаг [8]. Энэ нь серверийн программ хангамжийн талаарх мэдээлэл, ямар үйлчилгээг дэмждэг эсвэл хэрэглэгч сервертэй харьцахаасаа өмнөх мэдэхийг хүсч байгаа зэргийг харуулна. Virustotal нь зааж өгсөн веб системийг 70 гаруй антивирус программаар шалгахад гадна тухайн URL буюу домайн нь хар жагсаалтад багтсан эсэхийг шалгахад авахуулаад бусад нэмэлт мэдээлэл авах боломжтой байдаг [9]. Мөн бид системээ search directory, admin page find гэх мэт веб системийн чухал бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн мэдээллийг хайх сонголттой байхаар зохион байгуулсан.

3.2 Системийн дэлгэрэнгүй мэдээлэл илрүүлэх модуль

Энэ хэсэгт цуглуулсан мэдээлэл дээрээ үндэслэн admin page crack, url brute extension функцүүдийг хэрэгжүүлэх мөн порт скан үйлдлийг гүйцэтгэнэ. Ингэснээр тухайн веб сайт нь ямар үйлчилгээ үзүүлдэг, ямар порт ашигладаг, ямар файлууд агуулсан гэх мэт нарийвчилсан мэдээллүүдийг цуглуулна. Энэ систем порт скан үйлдлийг scapy модуль дээр суурилж гүйцэтгэдэг бөгөөд үүнийг системд ашигласнаар бусад төрлийн скан хийдэг функцуудыг бодвол илүү хурдан, галт ханаар хамгаалагдсан эсэхийг тодорхойлох боломж олгодог давуу талтай. Жишээ нь системийн gathering хэсгээс админ хуудас хайх сонголтыг идэвхжүүлснээр админ хуудсыг илрүүлж, тухайн хуудасны нэвтрэх нэр болон нууц үгийг тодорхойлох боломжтой болно.

3.3 Эмзэг байдал илрүүлэх модуль

Энэ хэсэгт системийн эмзэг байдлыг шалгах XSS тест хийнэ. Бид энэ хэсэгт пайтон хэлний HTML болон XML файлуудаас мэдээлэл татах BeautifulSoup санг ашигласан [10]. Энэ санг ашигласнаар HTML талбартай хялбар ажиллаж оролтын хэсгүүдийг ялгах боломжтой болсон. Энэ санг ашигласнаар HTML талбартай хялбар ажиллаж оролтын хэсгүүдийг ялгах боломжтой болсон. XSS тестийг ганцхан системийн оролт (input) хэсэгт шалгахгүйгээр бусад аргаар шалгах боломжтой Мөн header XSS-ээр дамжуулан хэрэглэгч, веб хоорондын харилцааны HTTP header хэсэгт XSS хортой код илгээх боломжтой. Мөн түүнчлэн parameter XSS-ээр дамжуулан системийн дамжуулж байгаа параметрт XSS хортой код илгээж шалгана [11]. Түүнээс гадна вебийн эмзэг байдлын түгээмэл цоор-

хойнуудын нэг болох директор гэтлэх (Directory Traversal) халдлагад өртөмтгий байдлыг тодорхойлох боломжтой. Энэ функцийг ашиглахад системээс тест хийх payload-ийг шууд ачаалахаас гадна payload-ийг сольж болно.

3.4 SQLi илрүүлэх модуль

Энэ хэсэгт SQL тарилга (SQLi) халдлагад өртөмтгий эсэхийг тодорхойлно. Энэ халдлагад өртөх боломжтой эсэхийг тодорхойлохдоо SQL query-г тусгай тэмдэгт ашиглан илгээснээр системийн дэлгэцэд алдааны мессэж гарч ирэх байдлаар үр дүнг нь мэдээнэ. Дэлгэцэд алдааны мессэж гарч ирснээр халдагч веб системд ажиллаж байгаа өгөгдлийн сан, серверийн талаарх мэдээллүүдийг авснаар дараагийн алхмуудыг хэрэгжүүлэх үндэс болно. Blind SQLi буюу сохор гэж нэрлэдэг халдлага нь хортой код оруулах болон тусгай тэмдэгт агуулсан query оруулах үед веб системээс ямар нэгэн алдааны мессэж илэрдэггүй буюу хариу үйлдэл үзүүлэхгүй байх үед хэрэгжүүлдэг халдлага юм. Алдааны мессэж гарч ирэхгүй байснаар тухайн систем ямар төрлийн өгөгдлийн сан ашиглаж байгаа болон түүн дээр тулгуурлан халдлагыг хэрэгжүүлэхэд тодорхойгүй байдлыг бий болгоно [11]. Ингэснээр тухайн веб системд SQLi төрлийн цоорхой байгаа үгүйг мэдэж чадахгүй байдалд хүргэнэ. Мөн энэ төрлийн халдлагыг хийхэд Boolean based, Time based гэсэн 2 төрлийн аргыг ашиглаж халдлагыг гүйцэтгэх боломжтой. Boolean based арга нь Boolean тэгшитгэл дээр суурилагдаж зохиогдсон төрөл юм [12]. Boolean тэгшитгэл буюу үнэн эсвэл худал гэсэн SQL query серверлүү явуулж ямар хариу гарч байгаагаас шалтгаалж дараагийн нөхцөл байдлыг хийхэд хүргэнэ. Time based арга нь мөн адил дээрх Boolean аргатай ижил бөгөөд Boolean тэгшитгэл үнэн эсвэл худал гэсэн хариуны хугацаанаас хамаарч яг аль нь вэ гэдгийг тодорхойлж болох арга юм. Бид эдгээр аргуудад тулгуурлан SQLi эмзэг байдлыг тодорхойлох функцийг ашигласан.

3.5 WEB header тодорхойлох модуль

Энэ модуль нь веб хэрэглэгч хоорондын харилцаанд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг http header-ийн мэдээллийн талаар судална. Эндээс бид HTTP header-ийн ямар төрлийг хэрэглэж байгаа болон хамгаалалтын ямар арга, хэрэгслийг header хэсэгтээ ашиглаж байгаа болохыг тодорхойлно. Мөн сервер хэрэглэгч хоорондын харилцаанд хамгаалалттай күүки ашиглаж байгаа эсэх болон ямар сервер ашиглаж байна гэдгийг тодорхойлж болно.

4 Туршилтын үр дүн

Бидний хөгжүүлсэн веб тест хийдэг систем XSS, SQL Injection цоорхойг шалгахад гадна HTTP header мэдээллийг давхар шалгана. Ингэснээр HTTP header-ийн XSS protection, x-frame-options

гэх мэт вебийн аюулгүй байдалд нөлөөлдөг асуудлуудыг тодорхойлно. Судалгааны ажлын явцад Wa3f, Wapiti, ZAP, Vega программуудыг туршиад олон тооны файльтай механик аргаар харьцаж, олон үйлдэл хийх сул талуудтай байсан. Программуудын тус бүрийн сул талыг дурьдвал Wa3f программ нь пайтон хэл дээр бичигдсэн sql, xss халдлагыг илрүүлэх боломжтой ч мэдээлэл цуглуулах модуль байхгүй, windows үйлдлийн систем дээр суулгахад хүндрэлтэй, ZAP программ нь windows үйлдлийн систем дээр сайн ажиллаж байгаа ч нүсэр бүтэцтэй учир хэрэглэгчийн компьютерыг удаашруулах болон гацаах сул талтай байна, Wapiti программ нь пайтон хэл дээр бичигдсэн ч график интерфэйсгүй, мэдээлэл цуглуулах модуль байхгүй, Vega программ нь бусдыгаа бодвол ажиллагааны хувьд удаан байсан. Эдгээр сул талуудыг багасгах зорилгоор өөрсдийн хөгжүүлж байгаа системдээ машин сургалтын арга хэрэглэж бүтцийн хувьд жижиг болгон механик үйлдлийг нь багасгах юм. Бид системээ хөгжүүлэх явцдаа эхлээд туршилтын зорилгоор ашиглагддаг цоорхой веб системүүд болох WebGoat, DWVA, Bwapp программууд дээр шалгах замаар программын сайжруулалтыг хийсэн. Эдгээр цоорхой веб программууд дээр амжилттай туршиж зорилтод цоорхойтой хэсгүүдийг илрүүлсний дараа түүнийгээ баталгаажуулж Монголын зарим веб сайтууд дээр туршилтыг хийж гүйцэтгэсэн. Туршилт хийх веб сайтуудыг олоход Dork систем ашигласан. Хүснэгт 1-н эхний баганад тест хийсэн сайтуудыг аюулгүй байдал, хууль эрх зүйн асуудал үүсгэхгүй байхаар Site гэж нэрлэн, дугаарласан ба дараагийн баганад эмзэг байдлын тест хийж байгаа арга болон төрлүүдийг сүүлийн баганад тест хийсэн үр дүнг харуулсан.

Програм тодорхой үр дүнг гаргахдаа дараах байдлаар ажиллана. Хэрэв вебд эмзэг байдал байгаа нь батлагдвал "True", эмзэг байдлын нэр, ашигласан payload болон эмзэг байдлын талаарх товч тодорхойлолт дэлгэцэнд хэвлэгдэнэ. Хэрвээ эмзэг байдал байхгүй нь батлагдвал "False"болон "No Vulnerability"гэсэн үг дэлгэцэнд гарч ирнэ.

Шалгалтын үр дүнг илэрхийлэхдээ хэрэв веб систем тухайн эмзэг байдлыг агуулсан байвал 1 үгүй бол 0 гэсэн тэмдэглэгээг хэрэглэсэн.

Туршилтын үр дүнгээс харахад Site 1 нь XSS халдлагад өртөх боломжтой, хамгаалалтын Header агуулаагүй байна. Site 2 нь харин SQLi халдлагад илүү өртөмтгий ч хамгаалалтын Header ашигласан байгаа нь XSS халдлагаас сэргийлж боломжтой. Харин Site 3 нь XSS болон SQLi аль алинд нь өртөмтгий мөн дээрээс нь хамгаалалтын Header агуулаагүй байгаа нь халдлагад нөгөө 2 сайтаасаа илүү өртөмтгий байдал тодорхойлогдож байна. Эндээс дүгнэж үзэхэд туршилт явуулсан веб сайтуудын аюулгүй байдлын хамгаалалтууд бүрэн системтэй биш байгаа нь ажиглагдаж байна. Учир нь зарим сайтыг XSS халдлагаас хамгаалсан мөртлөө SQLi халдлагаас хамгаалаагүй, эсвэл SQLi халдлагаас хамгаал-

Хүснэгт 1: Туршилтын үр дүнг харуулсан байдал

Тест хийсэн сайт	Эмзэг байдлын тест хийсэн арга		Үр дүн
Site 1	XSS	Header	1
		Parameter	1
		URL_Scan	1
		Directory Traversal	0
	SQL Injection	BlindSQL_Time	0
		BLindSQL_Boolean	0
		URLSql	0
Site 2	XSS	Insecure header	1
		Header	0
		Parameter	0
		URL_Scan	0
	SQL Injection	Directory Traversal	0
		BlindSQL_Time	0
		BLindSQL_Boolean	1
Site 3	XSS	URLSql	1
		Insecure header	0
		Header	0
		Parameter	1
	SQL Injection	URL_Scan	1
		Directory Traversal	1
		BlindSQL_Time	0
	XSS	BLindSQL_Boolean	1
		URLSql	1
		Insecure header	1
		Header	0
	SQL Injection	Parameter	0
		URL_Scan	0
		Directory Traversal	0

сан боловч XSS халдлагыг хамгаалаагүй байгаа нь туршилтын үр дүнгээр илэрч байна.

5 Дүгнэлт

Уг судалгаа, туршилтын ажлын үр дүнд веб системийн мэдээлэл цуглуулах, эмзэг байдлыг тодорхойлох тэр дундаа хамгийн түгээмэл тохиолддог бөгөөд ихээхэн хохирол учруулдаг SQLi, XSS халдлагын төрлүүдийг илрүүлэх боломжтой программын дизайн боловсруулж, модулиудыг хөгжүүлж үр дүнг туршилтаар баталгаажуулсан. Энэхүү системийг хэрэглээнд нэвтрүүлснээр хэрэглэгчид хандалт хийж буй веб нь хөнөөлтэй код агуулсан эсэхийг мэдэх боломжтой бол веб системийн админ, аюулгүй байдлын мэргэжилтнүүд өөрсдийн системийн аюулгүй байдлыг шалгах, ингэснээр аюулгүй байдлыг хамгаалахтай холбоотой авч хэрэгжүүлэх цаашдын арга хэмжээг тодорхойлох боломжтой болох зэрэг олон давуу тал бий болно. Үүнээс гадна судлаачид уг программыг ашиглан төрөл бүрийн судалгаа хийх боломж бүрдэнэ гэж үзэж байна. Бид цаашид энэхүү программыг илүү сайжруулах зорилгоор вебийн эмзэг байдал бүрээр CVSS оноо тооцоолох, гаралтын үр дүнг машин сургалт болон бусад судалгаанд ашиглах боломжтой хэлбэрээр боловсруулдаг модуль хөгжүүлэх зэрэг ажлуудыг хийхээр төлөвлөж байна.

Зохиогчийн оролцоо

Б.Цолмонтамир програмын дизайныг гаргаж, кодыг бичсэн. Б.Өсөхбаяр санаа боловсруулж програмын ерөнхий архитектурыг гаргасан. Н.Угтахбаяр програмын модулиудад шинэчлэн сайжруулах алгоритмын аргачлалыг тусгасан. Б. Өсөхбаяр, Б.Цолмонтамир, Н.Угтахбаяр нар өгүүлэллийг засаж сайжруулж, утга агуулгын алдааг хянаж, өгүүллийн сүүлийн хувилбарыг бичсэн.

- [11] Suhina V, Groš S, Kalafatić Z. Detecting vulnerabilities in Web applications by clustering Web pages. Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb, Croatia. 2008.
- [12] Choudhary S, Singh N. Safety Measures and Auto Detection against SQL Injection Attacks. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2019;9(2):2827–2833.

Ашиг сонирхлын зөрчилгүйн баталгаа

Зохиогчид ашиг сонирхлын зөрчилгүй гэдгээ баталж байна.

Ашигласан ном

- [1] Jovanovic N, Kruegel C, Kirda E. Pixy: A static analysis tool for detecting web application vulnerabilities. In: 2006 IEEE Symposium on Security and Privacy (S&P'06). IEEE; 2006. p. 6–pp.
- [2] Acunetix Web Application Vulnerability Report 2020;. <https://www.acunetix.com/white-papers/acunetix-web-application-vulnerability-report-2020/>.
- [3] Lin JC, Chen JM, Liu CH. An automatic mechanism for sanitizing malicious injection. In: 2008 The 9th International Conference for Young Computer Scientists. IEEE; 2008. p. 1470–1475.
- [4] Wang R, Xu G, Zeng X, Li X, Feng Z. TT-XSS: A novel taint tracking based dynamic detection framework for DOM Cross-Site Scripting. Journal of Parallel and Distributed Computing. 2018;118:100–106.
- [5] Scott D, Sharp R. Abstracting application-level web security. In: Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web; 2002. p. 396–407.
- [6] Mishra S. SQL injection detection using machine learning. 2019.
- [7] HTTP headers;. <https://www.geeksforgeeks.org/http-headers/>.
- [8] What is Shodan?;. <https://help.shodan.io/the-basics/what-is-shodan>.
- [9] How it works;. <https://support.virustotal.com/hc/en-us/articles/115002126889-How-it-works>.
- [10] Beautiful Soup Documentation;. <https://www.crummy.com/software/BeautifulSoup/bs4/doc/>.

Био-инженерчлэл

ХЕПАТИТИЙН ДЕЛЬТА ВИРҮСИЙН ХАЛДВАРЫГ ИЛРҮҮЛЭХ ГАДАРГУУГИЙН ПЛАЗМОН РЕЗОНАНС ДЭЭР ҮНДЭСЛЭСЭН ОНОШЛУУРЫГ ЗОХИОН БҮТЭЭХ

А. Номин^{1,*}, Э. Номин-Эрдэнэ², М. Бадмаараг¹, Н. Хулан¹, Н. Эрдэнэ³, О. Одгэрэл^{1,4}

¹МУИС, ХШУИС, Хими Биологийн Инженерчлэлийн тэнхим, Генийн инженерчлэлийн лаборатори

²МУИС, ШУС, БУС, Физикийн тэнхим, Лазерын судалгааны төв

³МУИС, ХШУИС, Хими Биологийн Инженерчлэлийн тэнхим, Нанотехнологийн төв

⁴Элэгний төв

Received on 2021.04.14; Revised on 2021.06.24; Accepted on 2021.07.01

*Холбоо баригч зохиогч: anomin0110@gmail.com

Хураангуй

Монгол улс хепатит вирүсийн халдварын тархалт болон элэгний өвчлөлөөс шалтгаалсан нас баралтын тоогоороо дэлхийд нэгдүгээрт, элэгний өвчлөлөөрөө найм дугаарт эрэмбэлэгдэж байна. Элэгний өвчлөл их байгаагийн нэг том шалтгаан нь хепатит дельта вирүсийн (ХДВ) халдвар юм. Гадаргуугийн плазмон резонансын (ГПР) оношлуурыг ашиглан ХДВ-ийг оношлох шинжилгээг хийвэл бодит хугацааны анализ явуулан шинжилгээний хариу хурдан гарах ба мэдрэг чадвар харьцангуй өндөр, нэмэлт молекул ашиглахгүй, дахин хэрэглэж болох зэрэг олон давуу талтай. ГПР-ын оношлуурыг угсрахдаа алтны нано бөөм болон балк (bulk) бүтэцтэй алт ашиглан хоёр төрлийн оношлуур бэлтгэн тус тус харьцуулан судалсан. Алтны нано бөөмийг сонгодог Туркевичийн аргаар 32 ± 19 нм болон 60 ± 8 нм хэмжээтэй синтезлэн гаргаж, меркаптоандеканы хүчлийн (MUA) холбогчийг фосфатын буфер орчинд Tween 20 - ыг физисорбцилож тогтворжуулан холбосон. Урвалын дараа алтны нано бөөмийн гадаргуу дээр карбоксил функционал бүлэг суусан. Гадаргуу дээрх функционал бүлгийг 1-Этил-3-(3-диметиламинопропил)карбодиимид/Н-Гидроксисукцинимид (EDC/NHS) биохолбогчдын тусламжтай урвалын идэвхтэй заверын бүтээгдэхүүн рүү шилжүүлж ХДВ-ийн эсрэгтөрөгч уурагтай ковалент холбоогоор холбосон. Ийнхүү амин бүлэг суулган идэвхжүүлсэн шилэн дээр ХДВ-ийн эсрэгтөрөгч бүхий алтны нано бөөмийг холбон эхний оношлуур бэлэн болсон. Балк (bulk) бүтэцтэй алт ашигласан оношлуурыг угсрахдаа плазма спуттер багажаар 50 нм орчим зузаантай алтны нимгэн үе суулгасан ба пирана уусмалаар алтны гадаргууг идэвхжүүлж гидроксил бүлэг суулгасан. Үүний дараа MUA холбогчоор карбоксил функционал бүлэгтэй болгон өмнөх туршилтын адил EDC/NHS биохолбогчдыг ашиглан ХДВ-ийн эсрэгтөрөгч уургийг алтны нимгэн үетэй холбосон. оношлуурын холболтууд бүрэн явагдаж, угсралт амжилттай болсныг фотоны хөндлөн корреляцын спектроскоп, хэт ягаан/үзэгдэх гэрлийн спектрофотометр, нил улаан туяаны спектрометр, энергийн дисперсийн рентген спектрийн багажит анализар баталсан. Угсарсан оношлуурын ажиллагааг баталгаажуулахын тулд ELISA арга зүйг ашиглан өнгөний хувирал болон шингээлтийн эрчмийг хэмжин тодорхойлсон. ГПР-ын багажийг Лазерын судалгааны төвд шинээр угсран, эерэг болон сөрөг дээж дээр харьцуулан хэмжилт явуулахад шингээлтийн эрчим болон өнцгийн шилжилтийн ялгаатай үр дүн гарсан. Энэ нь оношлуур дээр холбосон ХДВ-ийн эсрэгтөрөгчтэй дээж буюу ийлдэс дэх ХДВ-ийн эсрэгбие холбогдож бидний оношлуур ажиллаж байгааг баталсан. Бид судалгааны ажлаараа ХДВ-ийг оношлох ГПР-ын технологид суурилсан оношлуурын хоёр төрлийн загварыг бүтээсэн ба ХДВ-ийн халдварыг оношлож эрт илрүүлснээр элэгний хатуурал, элэгний дутагдал, элэгний хавдраар нас баралтыг бууруулах боломжтой юм.

Түлхүүр үг: алтны нано бөөм, алтны нимгэн үе, эсрэгтөрөгч, эсрэгбие

1 Удиртгал

Хепатит дельта вирус (ХДВ) нь элэгний өвчлөл үүсгэдэг шалтгаануудын нэг бөгөөд хепатит В вирусийн (ХБВ) гадаргуугийн эсрэгтөрөгчийг ашиглах замаар ХБВ-тэй давхар халдварладаг. [1, 2]. 2010-аас 2019 оны хооронд хийгдсэн судалгааны нэгтгэлээр дэлхийн хэмжээн дэх ХБВ-ийн гадаргуугийн эсрэгтөрөгч (HBsAg) эерэг хүн амын 4.5 хувь нь ХДВ халдвартай байгаа нь тогтоогдсон бөгөөд дэлхийн нийт хүн амын 0.16 хувь буюу 12 сая хүн ХДВ-ийн халдвартай гэж тооцоологдсон [3]. Харин Монгол улсын хүн амын 8.03 (5.26- 12.08) хувь нь ХДВ-ийн халдвартай буюу 239 (157-360) мянган хүн ХДВ-ийн халдвартай гэж тооцоологдсон байна [4–6].

Сүүлийн жилүүдэд ГПР дээр үндэслэсэн оношлуурын хөгжүүлэлт, судалгаа эрчимтэй явагдаж байна. Энэхүү оношлуурын хувьд металлын гадаргуу дээр лиганд холбосон байх ба лазер гэрлийн үүсгүүрээс гарч буй гэрэл нь сенсоров гадаргуугаас дотоод бүрэн ойлтоор ойж детекторт очиж бүртгэгдэнэ. Гэрэл тусах өнцгийг өөрчилснөөр резонансын өнцгөөр тусах үед дотоод бүрэн ойлтоор ойхоо больж, ГПР-ын үзэгдлийн улмаас металлын гадаргуугаар долгион болгон тархана. Энэ үед детекторт гэрлийн эрчим бүртгэгдэхээ болино. Гэрлийн тусаж буй өнцөг дахин өөрчлөгдөхөд гэрэл эргэн дотоод бүрэн ойлтоор ойж эхэлнэ. Хэрэв оношлуурын гадаргуу дээр зорилтот аналит ирж суувал ГПР үүсч буй өнцөг нь өөрчлөгддөг. Гадаргуугийн плазмоныг өдөөхөд хэрэглэгддэг сараалжит конфигураци, Отогын конфигурациуд байдаг ба хамгийн өргөн хэрэглэгддэг геометр бол Кречманы конфигураци юм [7]. Энэхүү судалгаанд бид Кречманы конфигураци дээр суурилсан ГПР-ын багаж угсран хэмжилт явуулсан.

ГПР-ын оношлуурыг ашиглан ХДВ-ийн халдварыг илрүүлэн оношлох нь бодит хугацааны анализ хийн шинжилгээний хариу хурдан гарах, мэдрэг чадвар харьцангуй өндөр, нэмэлт молекул ашиглахгүй, дахин хэрэглэж болох зэрэг олон давуу талтай [8].

2 Материал, арга зүй

2.1 Алтны nano бөөм синтезлэх

Алтны хлоридын 0.25 mM 50 мл уусмал болон 1% 5 мл натрийн цитратын уусмал бэлтгэнэ. Алтны хлоридын уусмалыг соронзон хутгуур дээр 80°C болон 95°C хүртэл халааж температур тогтворжих үед натрийн цитратын уусмалыг хийж хутгуурыг ажиллуулж уусмал өнгөгүйгээс хөх, нил ягаан, хэсэг хугацааны дараа улаан өнгөтэй болон хувирмагц nano бөөм үүссэн гэж үзэн урвалыг зогсооно [9].

2.2 Алтны nano бөөмийг MUA холбогчоор бүрэх

10 mM pH=6.8 фосфатын буфер - Tween 20 уусмал бэлгэж 5 мл синтезлэсэн алтны nano бөөм дээр 5 мл уусмалыг нэмж 20 минут зөөлөн хутгана. Нийт 10 мл Tween 20 физисорбцилсон алтны nano бөөмийн уусмал дээр 0.5 mM MUA (этанол:ус 1:3) уусмал нэмнэ. MUA-аар химисорбцилож бүрэхийн тулд 11 цагийн турш тасралтгүй зөөлөн хутгана [10].

2.3 MUA холбогчоор бүрхэгдсэн алтны nano бөөмийг эсрэгтөрөгчтэй ковалент холбоогоор холбох

MUA холбогчоор бүрхэгдсэн алтны nano бөөмийг 3 удаа угааж фосфатын буфер - Tween 20 pH=6.8-д уусгана. Бүрхэгдсэн алтны nano бөөм дээр 10 мг/мл 1 мкл EDC нэмж, 15 минутын турш идэвхжүүлнэ. 10 мг/мл 2 мкл NHS нэмж 10 минут идэвхжүүлнэ. 8400 эрг/мин хурдаар 15 минут центрифуг ашиглан фосфатын буфер – Tween 20 pH = 6.8 уусмалаар илүүдэл EDC, NHS-ийг угаана. Идэвхжсэн алтны nano бөөм дээр 197.53 мкг/мл концентрацтай 50 мкл эсрэгтөрөгч нэмж 2 цагийн турш инкубацлана. Улмаар алтны nano бөөм эсрэгтөрөгчтэй ковалент холбоо үүсгэнэ. 6000 эрг/мин хурдаар 15 минут центрифуг ашиглан алтны nano бөөмтэй урвалд ороогүй илүүдэл эсрэгтөрөгч, бусад бодисыг фосфатын буфер - Tween 20 pH = 6.8 ашиглан угаана. Илүүдэл урвалд ороогүй уургаас салгасны дараа тунаж үлдсэн эсрэгтөрөгчтэй холбогдсон алтны nano бөөм дээр 200 мкл фосфатын буфер pH = 5.8 нэмж уусгана [11].

2.4 Эсрэгтөрөгчтэй холбосон алтны nano бөөмийг шилэн дээр суулгах

Цэвэрлэж бэлтгэсэн шилэн дээр 100 мкл пирана уусмал дусааж 20 минут инкубацлана. Идэвхжүүлсэн шилний гадаргууг нэрмэл усаар 3 удаа цэвэрлэж илүүдэл урвалд ороогүй пиранаг цэвэрлэнэ. Идэвхжүүлсэн шилний гадаргууд 100 мкл бэлтгэсэн 5 % APTES дусаан 90 минут чийгтэй орчинд 4°C-т инкубацлана. Энэ үед идэвхжсэн гадаргуу дээр APTES-ийн молекулууд өөрөө эрэмбэлэгдэн сууна. APTES-ийн өөрөө эрэмбэлэгдэх үе суусан шилийг этанолаар 3 удаа цэвэрлэн урвалд ороогүй илүүдэл бодисыг цэвэрлэнэ. APTES-ийн өөрөө эрэмбэлэгдэх нимгэн үе суулгасан шилэн дээрээ эсрэгтөрөгч буюу уурагтай холбогдсон алтны nano бөөмийн уусмалаас 100 мкл хийж 60 минут инкубацлана. Бэлэн болсон шилийг 3 удаа шүршин цэвэрлэж илүүдэл холбогдоогүй уурыг сайтар цэвэрлэнэ.

2.5 Алтны нимгэн үе суулгах

Алтны нимгэн үе суулгах ВК 7 шилийг ГИБ болон органик уусгагчдаар сайтар цэвэрлэн, гүйцэд хатаана. Плазма спуттер багажид цэвэрлэсэн шилийг голлуулан байрлуулна. Багажийг битүүмжлэн

тагласны дараа асаан минутын заалтыг 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 минутаар тус тус тохируулан найман өөр алтны нимгэн үеийн дээж бэлтгэнэ. Алтны нимгэн үе суулгасан шилийг петрийн тавганд дээш харуулан хийж битүүмжилнэ.

2.6 Алтны нимгэн үеийн гадаргууг идэвхжүүлж эсрэгтөрөгчтэй холбох

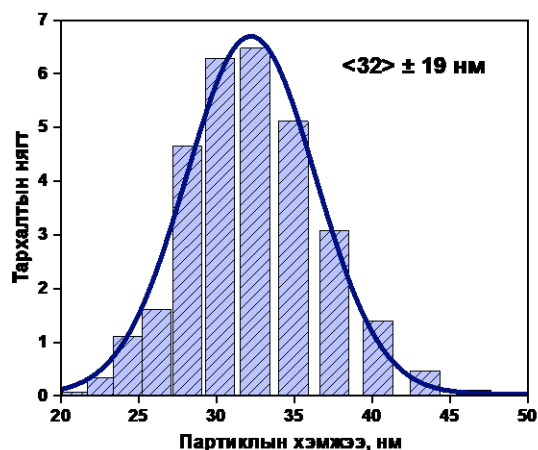
Нимгэн үе суулгасны дараа шилэн дээр маск тавьж зай гаргахгүй байхаар сайтар битүүмжилнэ. Цэвэрлэж бэлтгэсэн шилэн дээр 100 мкл пирана ($H_2SO_4 : H_2O_2$; 2:1) $60^\circ C$ хүртэл хөргөн хийж 1 минут идэвхжүүлнэ. Пиранагаар идэвхжүүлсэн шилэн дээр этанолд уусгасан 10 mM MUA –аас тус бүр маскны нүхэнд 100 мкл хийж 24 цагийн турш $4^\circ C$ -т чийгтэй орчинд сайтар битүүмжлэн инкубацлана. MUA-ийг шавхан цэвэрлэж, гадаргууг 5 удаа нэрмэл усаар угаана. Гадаргууг нь идэвхжүүлсэн алтны нимгэн үе дээр 75 mM EDC, 15 mM NHS-ын PBS-д уусгаж бэлтгэн, нүх тус бүрт 100 мкл хийж 1 цаг инкубацлана. EDC/NHS бүхий уусмалыг шавхан гадаргууг PBS-р 5 удаа угааж хатаана [12]. Карбоксил бүлэг суулгасан алтны нимгэн үе дээр ХДВ-ийн гадаргуугийн уургаас (эсрэгтөрөгч) нүх тус бүрийг бүрхэж байхаар 120 мкл хийж 1 цаг инкубацлана. Уураг холбосон алтны сенсороо PBS-ээр 5 удаа угаана. 5 % Skim milk PBS-д бэлтгэж нүх тус бүрт 100 мкл хийж 1 цаг блокинг хийнэ. Блокинг хийсний дараа сенсороо 5 удаа PBST 0.1 % ашиглан угаана [13].

3 Үр дүн

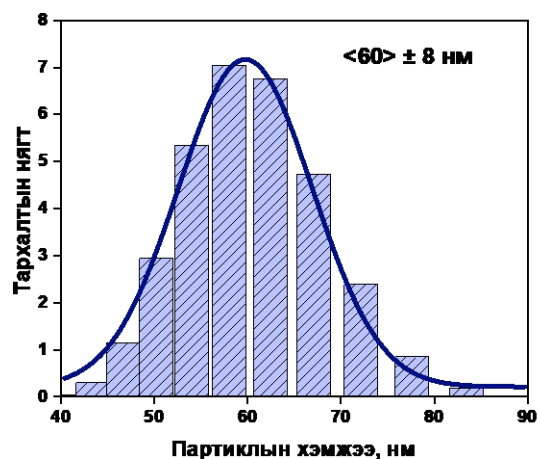
3.1 Туркевичийн аргаар синтезлэсэн алтны нано бөөмийн үр дүн

Алтны нано бөөмийг синтезлэхдээ урвалын температур их ба урвалын температур бага үед, харгалзан натрийн цитратын агууламж их ба бага үед туршилт явуулсан. *Зураг 1*, *2*-д фотон кросс корреляцын спектрометрийн үр дүнгээр алтны нано бөөмийн хэмжээний тархалтыг харуулав. Урвалын температур буурахад нано бөөм үүсгэдэг атомын зөөлт, хөдөлгөөн уусмалд удааширна. Уусмалд прекурсор үүсч дуусаагүй байхад түрүүлж үүссэн алтны цөм дараагийн шатны ургах процессоо эхлүүлснээр том алтны нано бөөм үүсдэг. Эсрэгээрээ температур их, урвал хурдан явагдах үед бүх прекурсор нь цөм үүсэх процессод нэгэн зэрэг ашиглагдаж дараагийн шатны ургах процессод цөөн хэдэн мономер л үлдсэн байдаг учраас бага хэмжээтэй алтны нано бөөм үүсдэг. Иймд урвалын температур харьцангуй өндөр буюу $95^\circ C$ байхад 32 ± 19 нм хэмжээтэй, $80^\circ C$ байхад түүнээс том 60 ± 8 нм хэмжээтэй байгаа нь судалгааны үр дүнтэй давхцаж байна. [14].

Үзэгдэх гэрлийн мужид спектр өгдөг бодисууд өнгөтэй байдаг ба синтезлэсэн алтны нано бөөм хэмжээнээс хамааран улаанаас нил ягаан өнгөтэй байх ба 500-600 нм-ын долгионы уртад шингээлт өгдөг.



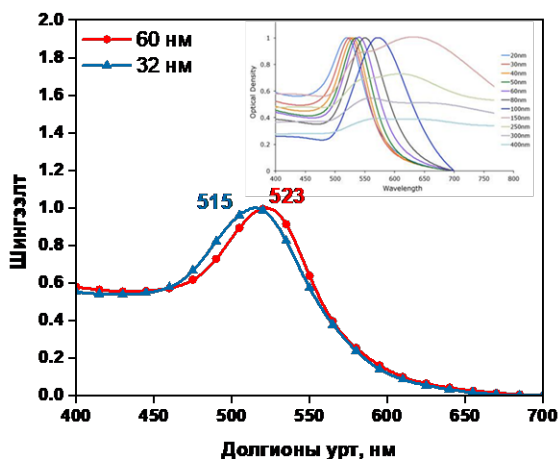
Зураг 1: Урвалын температур $95^\circ C$ үеийн фотон кросс корреляцийн спектр



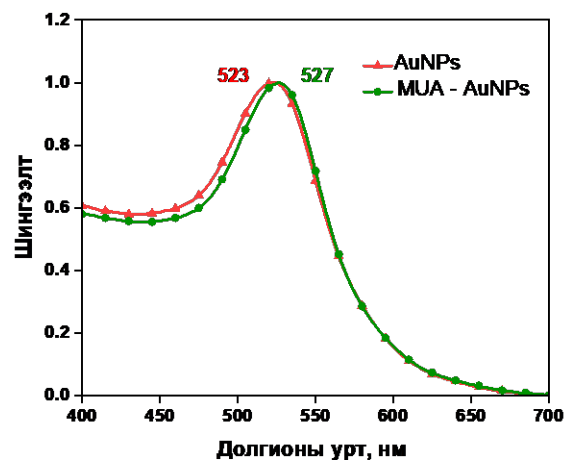
Зураг 2: Урвалын температур $80^\circ C$ үеийн фотон кросс корреляцийн спектр

Хэт ягаан/үзэгдэх гэрлийн спектрээс харахад 60 нм алтны нано бөөм нь 515 нм-т шингээлт өгсөн бол 32 нм хэмжээтэй нано бөөм 523 нм-т шингээлтийн утга өгсөн байна. Үүнээс харахад нано бөөмийн хэмжээ томрох тусам долгионы урт ихтэй мужруу пикийн шилжилт өгдөг. *Зураг 3*-ын [15] утгатай тохирч байна. Алтны нано бөөмийг ГПР-ын сенсорт ашиглахад 50 нм хэмжээ хамгийн тохиромжтой оптимал тул цаашдын судалгаанд 60 нм хэмжээтэй синтезлэсэн алтны нано бөөмийг хэрэглэв [16].

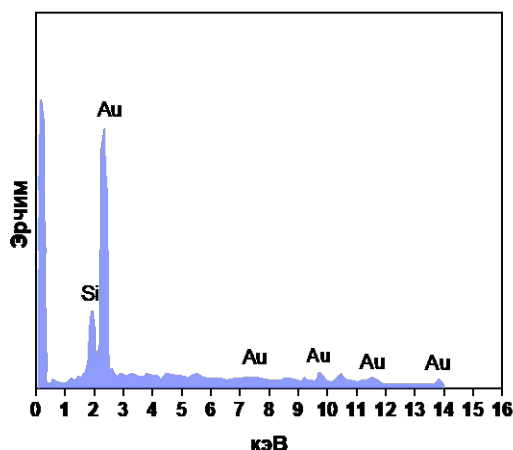
Хүснэгт 1-с харахад синтезлэсэн нано бөөмийн элементийн анализ хийхэд алтны эзлэх хувь 95 %, цахиур 5 % байсан. Шилэн дээр суулгасан алтны нано бөөмийн өөрөө утсрагдах моноүе бэлтгэсэн дээжийг энергийн дисперсийн рентген спектроскопоор хэмжүүлсэн ба шилэн дэх цахиур илэрсэн гэж дүгнэж байна.



Зураг 3: Хоёр өөр аргаар синтезлэсэн алтны nano бөөмийн хэт ягаан/үзэгдэх гэрлийн спектр ба алтны nano бөөмийн хэмжээнээс хамаарсан хэт ягаан/үзэгдэх гэрлийн спектр [15]



Зураг 5: Синтезлэсэн алтны nano бөөм болон MUA холбогчоор бүрсэн алтны nano бөөмийг харьцуулсан хэт ягаан/үзэгдэх гэрлийн спектр



Зураг 4: Алтны nano бөөмийн энергийн дисперсийн рентген спектр

Хүснэгт 1: Алтны nano бөөмийн энергийн дисперсийн рентген спектрийн тайлал

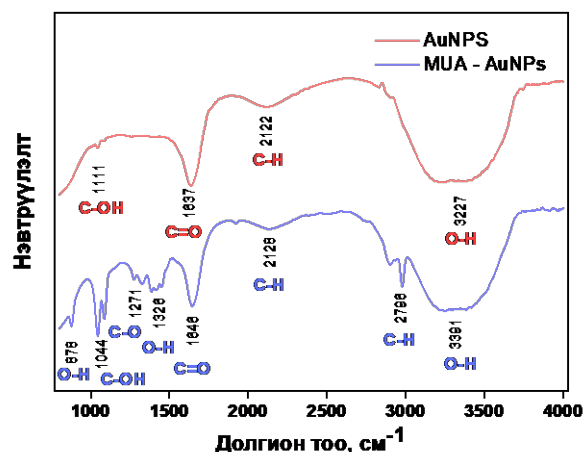
№	Элемент	Масс, %
1	Алт	95
2	Цахиур	5

3.2 Алтны nano бөөмийг MUA холбогчоор бүрсэн үр дүн

Алтны nano бөөмийг синтезлэсний дараа MUA (меркаптоандеканы хүчил) холбогчоор бүрсэн. MUA линкер нь нэгдүгээрт алтны nano бөөмийн гадаргууг карбоксил бүлгээрээ функционалжуулах, хоёрдугаарт бүрэн бүрсний дараа агрегацад орохоос сэргийлэх тогтворжуулагчийн үүрэгтэй ба тол-

гой бүлэг (тиол бүлэг, $-SH$), гинжин хэлхээ (10 нүүрстөрөгчийн алкан), сүүл хэсэг (карбоксил бүлэг, $-COOH$)-ээс тогтоно.

Шинжилж буй нэгдлийн функционал бүлэг болон зарим халагчийг солих, гинжин хэлхээг өөрчлөх, янз бүрийн уусгагчаар үйлчлэх мөн түүнчлэн гадаад хэлхээг өөрчлөх үед шингээлтийн спектрийн пик шилждэг [17]. Зураг 5-с харахад 60 nm алтны nano бөөм дээр алкантиол MUA линкерийг химисорбцолсны дараа пикийн шингээлтийн долгионы урт 523 нм-ээс 527 нм-ийн муж хүртэл шилжсэн, энэ нь металл nano бөөмийн гадуур зузаан давхарга үүссэнийг илтгэнэ. Харин шингээлтийн спектр өргөсөөгүй нь бөөм агрегацад ороогүйг илтгэсэн.



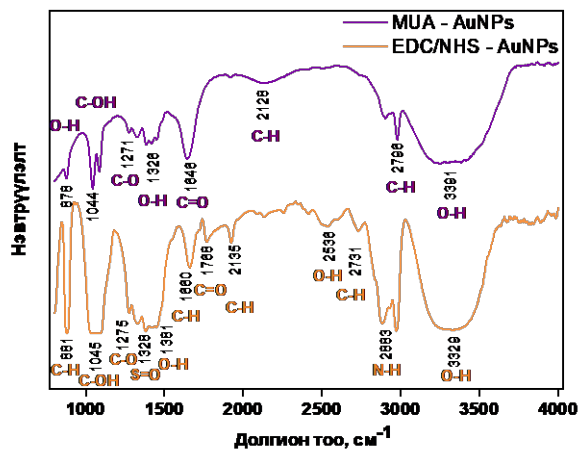
Зураг 6: Алтны nano бөөмд MUA линкер суулгасан нил улаан туяаны спектр

Зураг 6-с MUA линкер суулгасан нил улаан туяаны спектрийг харахад алтны nano бөөмөөс ялгарах найман пикүүд ажиглагдаж байна. 878 cm^{-1} , 946

cm^{-1} , 1044 cm^{-1} , 1085 cm^{-1} , 1326 cm^{-1} , 1420 cm^{-1} , 1451 cm^{-1} , 2796 cm^{-1} долгион тоон дээр пикууд өгсөн бөгөөд эдгээр нь C-H деформаци, O-H гидроксил, C-OH спирт болон эфир, O-H карбоксил бүлгийн гидроксил, C-H алкан, C-H алдегид бүлгүүдэд химийн холбооны хэлбэлзэлд харгалзаж байна. Үүнээс харахад карбоксил бүлгийн гидроксил болон алдегид бүлгүүдийн долгион тоон дээр хүчтэй шингээлт өгсөн нь урвал амжилттай явагдаж MUA линкер алтны nano бөөмийн гадаргуу дээр амжилттай холбогдсоныг харуулж байна. Мөн S-H тиол бүлгийн хэлбэлзэл $2500\text{--}2600 \text{ cm}^{-1}$ долгион тоон дээр илрээгүй нь илүүдэл урвалд ороогүй MUA линкер центрифугдэн угаагдсаны улмаас бүрэн арилсан болох нь батлагдаж байна.

3.3 MUA холбогчоор бүрхэгдсэн алтны nano бөөмийг эсрэгтөрөгчтэй ковалент холбоогоор холбосон үр дүн

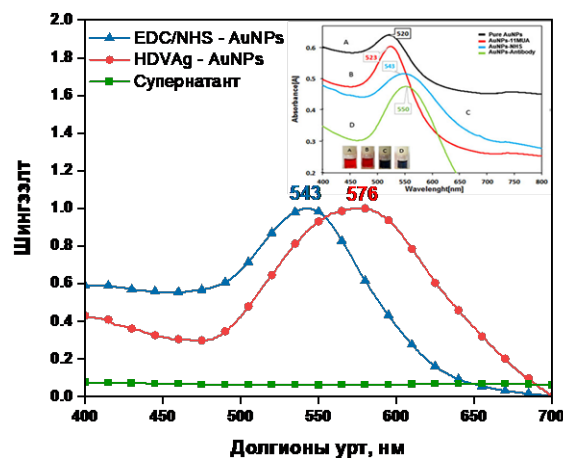
Карбоксил бүлэг $-\text{COOH}$ нь амин бүлэгтэй $-\text{NH}_2$ бат бөх амидын холбоо үүсгэдэг. Иймд алтны nano бөөмийн карбоксил бүлэг, эсрэгтөрөгчийн гадаргуу дээрх амин бүлэгтэй ковалент холбоо үүсгэх ба энэ холбоог EDC/NHS биохолбогчдын тусламжтай бий болгодог.



Зураг 7: Алтны nano бөөмд EDC/NHS биохолбогчид суулгасан нил улаан туяаны спектр

Зураг 7-с EDC/NHS биохолбогчид суулгасан нил улаан туяаны спектрийг харахад MUA холбогчоор бүрсэн алтны nano бөөмөөс ялгарах долоон пикууд ажиглагдаж байна. 800 cm^{-1} , 1328 cm^{-1} , 1660 cm^{-1} , 1768 cm^{-1} , 2536 cm^{-1} , 2883 cm^{-1} , 2973 cm^{-1} долгион тоон дээр пикууд өгсөн бөгөөд эдгээр нь C-H деформаци, S=O сульфонат, C-H алкан, C=O хүчлийн халид, O-H карбоксил бүлгийн гидроксил, N-H амин давсны бүлгүүдэд химийн холбооны хэлбэлзэлд харгалзаж байна. Үүнээс харахад сульфонат болон амин бүлгүүдийн долгион тоон дээр хүчтэй

шингээлт өгсөн нь урвал амжилттай явагдаж EDC халагдан NHS холбогдон алтны nano бөөмд карбоксил бүлэг амжилттай суусныг харуулж байна.



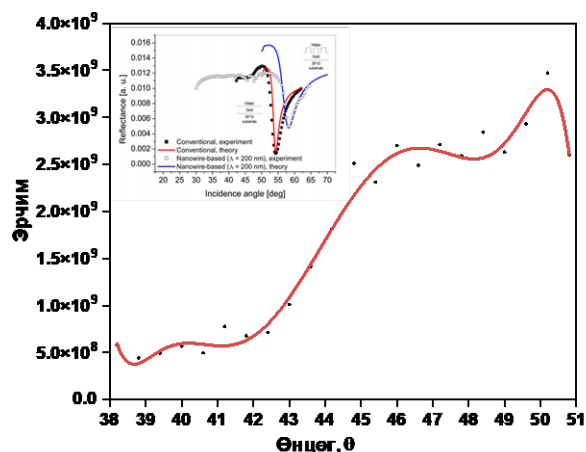
Зураг 8: Алтны nano бөөмд функционал бүлгүүд суулгахаас эсрэгтөрөгч холбосон шат бүрийн хэт ягаан/үзэгдэх гэрлийн спектр ба эрдэм шинжилгээний өгүүлэлд алтны nano бөөмийг модификаци хийсэн шат бүрийн хэт ягаан/үзэгдэх гэрлийн спектр [18]

Зураг 8-д алтны nano бөөмд функционал бүлгүүд суулгахаас эсрэгтөрөгч холбосон шат бүрийн хэт ягаан/үзэгдэх гэрлийн спектрийн хэмжилтийг харуулсан. Шат бүрт пикийн хэмжээ өргөсөж, шингээж буй долгионы урт ихэссэн нь nano бөөмийн үе улам зузаарч функционал бүлгүүд нэмэгдэж, эсрэгтөрөгч сууснаар хэмжээ нь томорч буйг харуулж байна. Эрдэм шинжилгээний өгүүлэлд [18] ижил PBT (фосфатын буфер 10 mM pH 7.0 2 mg/ml Tween 20) орчинд алтны nano бөөмийг антободитой ковалент холбоогоор холбох урвалыг явуулсан байна. Хэт ягаан/үзэгдэх гэрлийн спектрийн үр дүнг харьцуулахад цэвэр алтны nano бөөм 520 nm -т, MUA холбогчоор бүрсэн үед 523 nm -т, EDC/NHS биохолбогчид суулгасан үед 543 nm -т мөн эсрэгбие холбосны дараа 550 nm -т шингээлтийн пик өгсөн байна. Үүнээс харахад модификацийн шат бүрт шингээлт өгч буй долгионы урт ихэссэн мөн харгалзах пикийн долгионы урт нь бидний судалгааны ажилтай тохирч байна.

3.4 Алтны nano бөөмд суурилсан оношлуурын гадаргуугийн плазмон резонансыг хэмжсэн үр дүн

Идэвхжүүлсэн шилэн дээр эсрэгтөрөгч холбосон алтны nano бөөмийг суулгасан. Шилийг пирана уусмал ($\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$; 3:1) ашиглан гидроксил бүлэг суулган дараа нь APTEC-ын 5 % этанолон уусмалаар амин бүлэг суулгасан. Алтны nano бөөмийн гадаргуу дээрх эсрэгтөрөгчийн карбоксил бүлэг шилэн дээрх амин бүлэгтэй бат бөх амидын холбоо үүс-

гэн, урвал дууссаны дүнд шил нил ягаан өнгөтэй болсон.



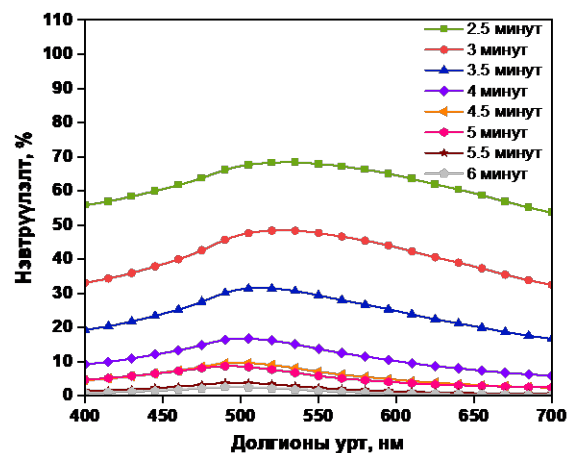
Зураг 9: Алтны нано бөөмд суурилсан оношлуурын БГПР-ын хэмжилтийн үр дүн болон эрдэм шинжилгээний өгүүллийн БГПР-ын үр дүн [19]

Угсарсан оношлуурын БГПР-ын хэмжилтийг Лазерын судалгааны төвд шинээр угсарсан багаж дээр гүйцэтгэсэн боловч ГПР-ын үзэгдэл ажиглагдаагүй ба гэрлийн эрчим буурч резонансын үзэгдэл явагдаагүй эрчим улам ихэссэн *Зураг 9*. Эрдэм шинжилгээний өгүүлэл [19]-д БГПР-ын ойлт болон өнцгөөс хамаарсан графикийг цэнхэр өнгөөр дүрсэлсэн ба ойролцоогоор 57°C-ын өнцгөөр лазер гэрэл тусгахад гадаргуугийн плазмон ажиглагдсан байна. Дээжээс хамааран тохирох тодорхой нэг өнцгөөр лазер гэрэл тусгахад ойлтын эрчим буурч, детекторт лазер гэрэл бүртгэгдэхгүй болно. Энэ нь гадаргуугийн плазмон ашиглагдаж Х тэнхлэг дагуу плазмон резонанс үүсэж байгаа үзэгдэл юм. Харин бидний угсарсан оношлуурт ойлтын эрчим буурах үзэгдэл явагдаагүй, улам ихсэж байгаа учир гадаргуугийн плазмон ажиглагдахгүй байна гэж дүгнэж байна. Мөн дахин багажны нөхцөл бололцоог сайжруулан лазерын ондоо эх үүсгэвэр ашиглах, долгионы урт болон шингээлтээс хамаарсан туршилт гүйцэтгэхийг төлөвлөж байна.

3.5 Алтны нимгэн үе суулгасан үр дүн

Алтны нимгэн үеийн зузааныг тодорхойлох чухал шаардлагатай ба нимгэн үеийн зузааныг хэмжихийн тулд эрдэм шинжилгээний өгүүллээс [20] иш татан суулгасан шилний нэвтрүүлэлтийн хувийг тооцоолсон.

Тус бүр дээжийг бэлтгэсний дараа хэт ягаан/үзэгдэх гэрлийн спектрофотометр ашиглан нэвтрүүлэлтийн хувийг тооцоолсон туршилтын графикийг *Зураг 10*-т харуулав. Энэхүү графикаас харахад хугацаа ихсэх тусам илүү зузаан алтны үе



Зураг 10: Найман өөр төрлийн хугацаанд суулгасан алтны нимгэн үеийн хэт ягаан/үзэгдэх гэрлийн нэвтрүүлэлтийн хувь

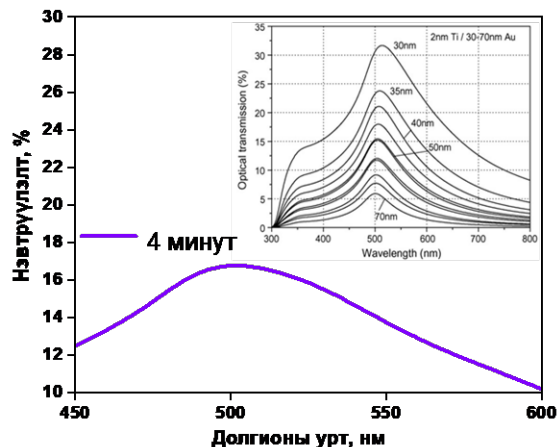
сууж нэвтрүүлэлтийн хувь багасаж байгаа ба Хүснэгт 2-т найман өөр төрлийн хугацаанд суулгасан алтны нимгэн үеийн хамгийн өндөр нэвтрүүлэлт үзүүлж буй долгионы урт болон нэвтрүүлэлтийн хувийг харуулав.

Хүснэгт 2: Тодорхой хугацааны турш суулгасан алтны нимгэн үеийн хамгийн өндөр нэвтрүүлэлт үзүүлж буй долгионы урт болон нэвтрүүлэлтийн хувь

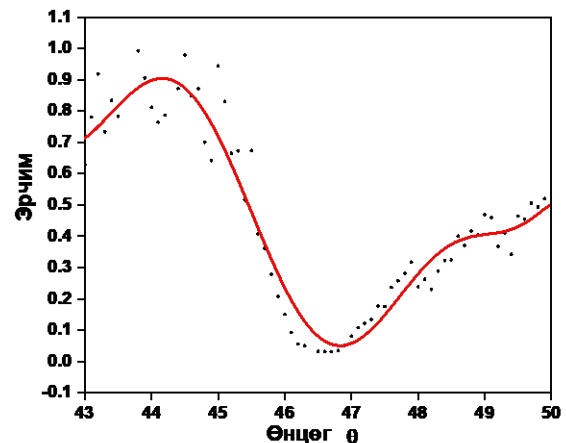
№	Хугацаа, минут	Долгионы урт, нм	Нэвтрүүлэлт, %
1	2.5	531	68.372
2	3	527	48.425
3	3.5	513	31.531
4	4	502	16.785
5	4.5	500	9.717
6	5	493	8.740
7	5.5	500	3.809
8	6	498	2.576

Эрдэм шинжилгээний өгүүлэлтэй [20] харьцуулахад 50 нм зузаан алтны нимгэн үе 500 нм орчим долгионы уртад нэвтрүүлэлт 15.2 % байсан. Найман өөр хугацааны турш суулгасан алтны нимгэн үеэс 4 минут үргэлжилсэн нимгэн үе нь 502 нм-т 16.7 % байгаа нь өмнөх өгүүлэлтэй харьцуулахад хамгийн ойролцоо үр дүн болсон. Иймээс 4 минутын турш суулгасан алтны нимгэн үеийг 50 нм-тэй хамгийн ойролцоо гэж дүгнэсэн. Цаашдын оношлуурын угсралт болон туршилтад алтны нимгэн үеийг 4 минут суулган ашиглахаар шийдсэн.

50 нм алтны нимгэн үе суулгасан шилийг гадаргуугийн плазмон үүсэж буй эсэхийг шалгах зорилгоор Лазерын судалгааны төвд угсарсан ГПР-ын багажийг ашиглан хэмжилт явуулсан бөгөөд *Зураг 12*-т харагдаж буй үр дүн гарсан. Энэхүү графикаас харахад гадаргуугийн плазмон үүсэж байгаа бөгөөд



Зураг 11: 4 минутын турш суулгасан алтны нимгэн үеийн нэвтрүүлэлтийн хувь Эрдэм шинжилгээний өгүүмлийн хэмжээний хувьд ялгаатай алтны нимгэн үеийн нэвтрүүлэлтийн хувь [20]



Зураг 12: 50 нм орчим алтны нимгэн үе суулгасан шилний ГПР-ын хэмжилт

47° орчим өнцгөөр дээжрүү лазер гэрэл тусгахад тохиромжтой гэж дүгнэсэн.

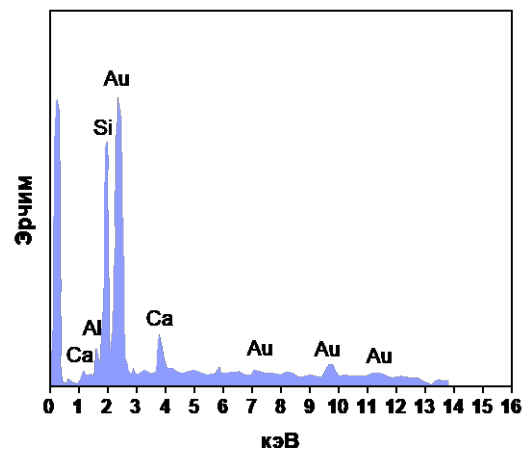
Хүснэгт 3: Алтны нимгэн үеийн энергийн дисперсийн рентген спектрийн тайлал

№	Элемент	Масс, %
1	Алт	75.8
2	Цахиур	17.4
3	Кальци	4.8
4	Хөнгөнцагаан	2

Энергийн дисперсийн рентген спектроскопоор шилэн дээр суулгасан алтны нимгэн үед элементийн анализ хийсэн. Хүснэгт 3-с харахад алт 75.8 %, цахиур 17.4 % илэрсэн нь шилэн дэхь цахиур илэрсэн байж болзошгүй ба кальци, хөнгөн цагааны элемент илэрсэн нь бохирдол байж болзошгүй гэж дүгнэсэн.

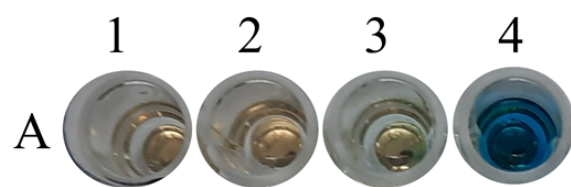
3.6 ELISA оношлуур угсарч, хэмжилт хийсэн үр дүн

Фермент холбоот эсрэг биеийн урвал (enzyme linked immunosorbent assay буюу ELISA) нь эсрэг биеийг түргэн хугацаанд шинжлэх, хэмжихэд ашиглах ба судлагдаж буй дээжид сонирхсон тодорхой уураг байгаа эсэх, хэрэв байвал хэр хэмжээтэй байгааг тодорхойлох явдал юм [21]. ELISA-ын бичил үүрт орох дугуй хэмжээтэй шилэн дээр 50 нм орчим алтны нимгэн үе суулган бичил үүрэнд гадаргууг дээш харуулан хийсэн. MUA линкер болон EDC/NHS биохолбогчдыг ашиглан өмнөх ГПР-ын оношлуур угсрах аргатай ижил үйл явцаар алтны гадаргууд эсрэгтөрөгчийг холбосны дараагаар Wantai biotech HDV-IgG ELISA цомог ашиглан оношлогоо хийсэн. Оношлогоо хийж дуусмагц өнгөний хувирал явагдсан уусмалыг хоосон бичил үүрлүү шилжүүлэн 450



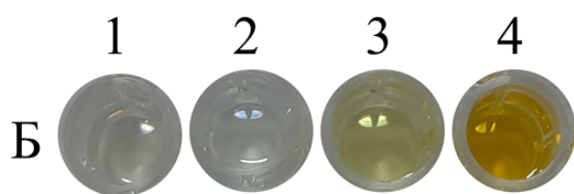
Зураг 13: Алтны нимгэн үеийн энергийн дисперсийн рентген спектр

нм долгионы уртад гэрлийн шингээлтийг хэмжсэн.

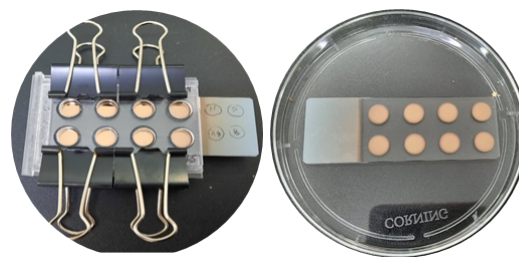


Зураг 14: Өнгө үзүүлэгч хромоген хийсний дараах ELISA оношлуурын үр дүн

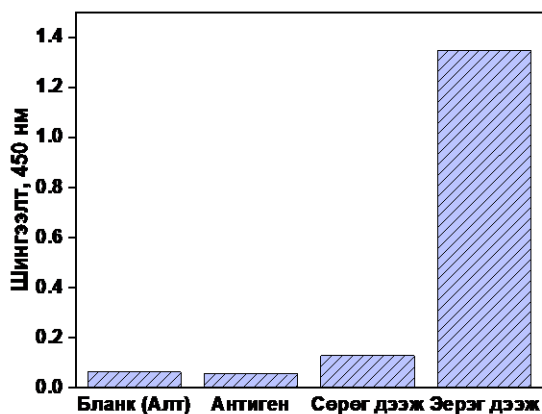
A1, B1 – Бланк алтны нимгэн үеийн контрол
A2, B2 – Эсрэгтөрөгч суулган блокинг хийсэн контрол
A3, B3 – Халдваргүй, сөрөг контрол
A4, B4 – Халдвартай, эерэг контрол



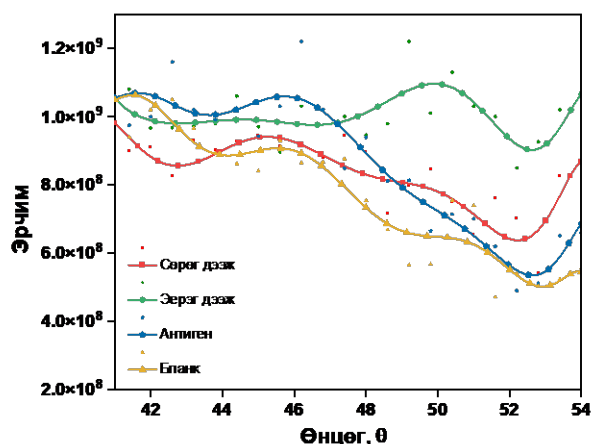
Зураг 15: Урвал зогсоох уусмал хийж, хоосон бичил үүрлүү шилжүүлсний дараах ELISA оношлуурын үр дүн



Зураг 17: Алтны нимгэн үе дээр суурилсан ГПР-ын оношлуурын холболт, угсралт явагдаж буй болон шинжлэхэд бэлэн болсон оношлуур



Зураг 16: ELISA оношлуурын шингээлтийг 450 нм долгионы уртад хэмжсэн үр дүн



Зураг 18: ХДВ-ийн халдвартай болон эрүүл хүний цусны ийлдэс дээр хэмжсэн ГПР-ын үр дүн

Зураг 16-с харахад бланк алтны нимгэн үе нь эсрэгтөрөгч суулган блокинг хийсэн контролоос илүү өндөр шингээлт өгсөн нь алтны гадаргуу дээр HRP агуулсан эсрэгбие бага хэмжээгэр холбогдсон байх боломжтой. Мөн халдваргүй сөрөг дээж эсрэгтөрөгч контролоос харьцангуй өндөр шингээлт өгсөн нь хүний цусанд агуулагдаж буй уураг, бусад эсрэгбие нь оношлуурын гадаргуу дээр харилцан үйлчлэл үзүүлж сонгомол биш шинж чанараар холбогдсон байна гэж дүгнэж байна. Харин халдвартай цусны ийлдэс буюу эерэг дээжний өнгө тодоор хувирч 1.348 шингээлтийн өндөр утга өгсөн. Энэ нь алтны нимгэн үеийн гадаргуу дээр угсарч буй бидний оношлуур хүний цусан дахь хепатит дельта вирусийн эсрэгбиеийг сонгомолор мэдрэг чанар сайтай танин холбогдож байгааг харуулж байна.

3.7 Алтны нимгэн үет оношлуур угсарсан үр дүн

Алтны нимгэн үе дээр суурилсан оношлуурын ГПР-ын хэмжилтийг балк (bulk) буюу алтны нимгэн үе, эсрэгтөрөгч суулгасан буюу оношлуур, сөрөг буюу эрүүл хүний ийлдэсээр үйлчилсэн, эерэг буюу халдвартай хүний ийлдэсээр үйлчилсэн үед явуулсан.

Зураг 18-с харахад бланк, эсрэгтөрөгч, сөрөг дээж бага эрчимтэй харин эерэг дээжийн шингээлт

тийн эрчим өндөр, эрс ялгаатай байна. Иймд алтны нимгэн үе дээр ковалентаар холбосон ХДВ-ийн эсрэгтөрөгч цусны ийлдэс дэх ХДВ-ийн эсрэгбие-тэй сонгомолор холбогдож, угсарсан оношлуур амжилттай ажиллаж энэхүү арга зүйгээр ХДВ-ийн халдварыг илрүүлэх боломжтой хэмээн дүгнэж байна.

4 Хэлэлцүүлэг

ГПР-ын технологид үндэслэсэн оношлуур сүүлийн жилүүдэд эрчимтэй хөгжин, дэлхий дахинд олон төрлийн судалгаа хийгдэж байна. Гэвч ХДВ-ийн халдварыг илрүүлэх ГПР-д тулгуурласан оношлуурын хөгжүүлэлт, судалгаа огт хийгдээгүй байна. Монгол улсад ХДВ-ийн тархалт өндөр байгаагаас шалтгаалан бид ХДВ-ийг илрүүлэх оношлуур бүтээх нь нийгмийн эрүүл мэндийг хамгаалахад томоохон хувь нэмэр болж чадна гэж үзэж байна. Энэхүү оношлуурыг угсрахад алтны нано бөөм болон балк (bulk) алтны нимгэн үеийг ашигласан. Алтны нано бөөмийг Туркевичийн натрийн цитратыг ангижруулах аргаар хоёр өөр урвалын температурт синтезлэсэн. Урвалын температур 95°C үед 32 ± 19

нм, урвалын температур 80°C үед 60 ± 8 нм орчим хэмжээтэй нано бөөм үүссэн *Зураг 1*, *Зураг 2*. 60 нм хэмжээтэй синтезлэсэн алтны нано бөөмийг сонгон авч цаашдын судалгаанд ашигласан. Алтны нано бөөмийг MUA холбогчоор (тиол болон карбоксил бүлэгтэй) бүрсэн ба этанолон орчинд тогтворгүй агрегацид орж байсан тул Tween 20 болон фосфатын буфер орчинд урвалыг явуулсан. Карбоксил бүлэг суусан алтны нано бөөмийг ХДВ-ийн гадаргуугийн эсрэгтөрөгч уурагтай ковалент холбоогоор холбохын тулд EDC/NHS тэг урттай биохолбогчдыг ашигласан. Учир нь EDC нано бөөмийн гадаргуугийн карбоксил бүлэгтэй холбогдож O-acylisourea гэх тогтворгүй эфир үүсгэх ба дараа нь NHS холбогдон хагас тогтвортой амин бүлэгт идэвхтэй завсрын бүтээгдэхүүн үүсгэдэг. Карбонат-бикарбонатын буферт уусгасан ХДВ-ийн эсрэгтөрөгчийг уусмалд нэмснээр амин бүлэгт идэвхтэй NHS эфиртэй уургийн амин бүлэг холбогдон амидын холбоо үүсгэсэн. Алтны нано бөөмийн гадаргууг модификацилаж функционал бүлгүүд суусныг *Зураг 5*, *Зураг 6*, *Зураг 7* ба ХДВ-ийн эсрэгтөрөгчтэй амжилттай холбогдсоныг *Зураг 8*-д нил улаан туяаны спектроскоп, хэт ягаан/үзэгдэх гэрлийн спектрометрээр баталгаажуулсан. Харин амин функционал бүлэг суулгасан шилэн дээр алтны нано бөөмтэй холбогдсон эсрэгтөрөгчийг суулган сенсоорыг угсарч ГПР-ын багажаар хэмжилт явуулахад *Зураг 9* дэх график гарсан ба гадаргуун плазмын үзэгдэл ажиглагдаагүй учир бид багажны угсралтыг улам сайжруулан, лазер гэрлийн үүсгэвэрийг өөрчлөн дахин туршилт явуулан учир шалтгааныг нарийвчлан тодорхойлох хэрэгтэй байна. Балк (bulk) алтны нимгэн үе ашигласан оношлуурын хувьд нэвтрүүлэлтийн хувийг тооцоолох аргаар шилэн дээр 50 нм орчим алтны нимгэн үе суулгасан *Зураг 10*, *Зураг 11*. Пирана ($\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$; 2:1) уусмалаар алтны нимгэн үеийн гадаргууг идэвхжүүлэн гидроксил бүлэг суулган дараа нь өмнөх арга зүйтэй ижил биохолбогчууд ашиглан ХДВ-ийн эсрэгтөрөгчийг ковалент холбоогоор холбосон. Угсарсан оношлуурын ХДВ-ийн халдварыг илрүүлэх оношлогооны ажиллагааг давхар баталгаажуулахын тулд ELISA арга зүйгээр давхар судалгаа гүйцэтгэн баталсан *Зураг 14*, *Зураг 15*, *Зураг 16*. Бэлэн болсон оношлуурыг халдвартай болон эрүүл хүний цуснаас ялгаж авсан ийлдсээр үйлчлэн ГПР-ын багажаар хэмжилт явуулахад эерэг болон сөрөг дээж дээр ялгагдахуйц график үүсэж эрчмийн болон өнцгийн шилжилт ажиглагдаж байсан нь оношлуур болон ГПР-ын багаж амжилттай ажиллаж, ХДВ-ийн халдварыг оношлож байсан *Зураг 18*. Цаашид бид алтны нимгэн үе дээр морфологи болон химийн холбоог тодорхойлох олон талт судалгаа явуулах, олон дээж дээр судалгаа хийж оношлуурын баталгаажуулалт хийх, мөн оношлуур болон түүнийг хэрэглэх арга зүйн нэгэн жигд байдлыг хангасан стандарт протокол боловсруулахыг зорьж байна.

5 Дүгнэлт

Бид энэхүү судалгаагаар балк (bulk) бүтэцтэй алт болон алтны нано бөөм ашиглан ковалент холбоогоор ХДВ-ийн эсрэгтөрөгчийг холбож амжилттай хоёр төрлийн ГПР-ын оношлуур угсарлаа. Энэхүү оношлуурын прототип загварыг зохион бүтээж ХДВ-ийн халдвартай хүний ийлдэснээс ХДВ эсрэгбиеийг амжилттай илрүүлсэн. Цаашид судалгааны ажлын үр дүнг улам бататгаж, оношлуурын баталгаажуулалт хийх мөн оношлуур болон түүнийг хэрэглэх арга зүйн нэгэн жигд байдлыг хангахад чиглэсэн стандарт протокол боловсруулахад анхаарч ажиллах шаардлагатай байна. Судалгааны ажлын үр дүнгээс доорх дүгнэлтэд хүрсэн. Үүнд:

- (1) Алтны нано бөөмийг синтезлэн гадаргууд нь амжилттай функционал бүлгүүд суулган эсрэгтөрөгчтэй холбосон болохыг баталсан.
- (2) Алтны нано бөөмийн оношлуурыг амжилттай угсран анализ хийсэн боловч шинээр угсарсан багаж дээр ГПР-ын үзэгдэл ажиглагдаагүй тул лазер гэрлийн эх үүсвэрийг өөрчлөх шаардлагатай гэж дүгнэсэн.
- (3) Харин алтны нимгэн үе дээр ХДВ эсрэгтөрөгч суулгах замаар гаргаж авсан оношлуурыг ашиглан ГПР-ын арга зүйгээр ХДВ-ийг оношлох боломжтой болох нь харагдаж байна.

Ашиг сонирхлын зөрчилгүйн баталгаа

Зохиогчид ашиг сонирхолын зөрчилгүй гэдгээ баталж байна.

Талархал

Энэхүү судалгааны турш оношлуур бүтээхэд лабораторийн орчин, туршилтын дээжээр хангаж, онолын тооцоолол хийн шинээр багаж угсарсан Генийн инженерчлэлийн лаборатори, Наноматериалын лаборатори, Элэгний төв, Лазерын судалгааны лабораторийн хамт олонд гүн талархал илэрхийлье. Судалгааны ажлыг минь ойлгож үргэлж түшиж тулж байдаг гэр бүлдээ баярлалаа.

Зохиогчийн оролцоо

А. Номин нь алтны нано бөөм, алтны нимгэн үе дээр суурилсан оношлуурын угсралт болон багажит анализын хэмжилт хийн, үр дүнг боловсруулсан. Э. Номин-Эрдэнэ нь ГПР-ын багаж угсран, онолын тооцоолол боловсруулан, оношлуурын хэмжилт хийсэн. М. Бадмаараг болон Н. Хулан нар нь ХДВ-ийн эсрэгтөрөгч уургийг гарган авч цэвэршүүлэн, ялгасан. Н. Эрдэнэ болон О. Одгэрэл нар нь судалгааны удирдагчид ба онол болон практикийн

олон талт туслалцаа, бодис урвалж лабораторийн орчноор хангаж энэхүү судалгааг гүйцэтгэсэн.

Санхүүжилт

Энэхүү судалгааны ажлыг санхүүжүүлж дэмжлэг үзүүлсэн Дөрвөн уул биотек ХХК-д гүн талархал илэрхийлье.

Ашиг сонирхолгүйн баталгаа

Ашиг сонирхолын зөрчилгүй болохыг үүгээр баталж байна.

Ашигласан ном

- [1] Vlachogiannakos J, Papatheodoridis GV. New epidemiology of hepatitis delta. *Liver international*. 2020;40:48–53.
- [2] Oyusuren T, F Kurbanov YT, Elkady A. High frequency of hepatocellular carcinoma in Mongolia; association with mono-, or co-infection with hepatitis C, B, and delta viruses. *Journal of medical virology*. 2006;78:1688–1694.
- [3] Stockdale AJ, Kreuels B, Henrion MY. The global prevalence of hepatitis D virus infection: Systematic review and meta-analysis. *Journal of hepatology*. 2020;73:523–532.
- [4] Dashtseren B, Bungert A, Bat-Ulzii P, Enkhbat M, Oidovsambuu O. Endemic prevalence of hepatitis B and C in Mongolia: A nationwide survey amongst Mongolian adults. *Journal of viral hepatitis*. 2017;24:759–767.
- [5] Chen X, Oidovsambuu O, Liu P, Grosely R, Elazar M. A novel quantitative microarray antibody capture assay identifies an extremely high hepatitis delta virus prevalence among hepatitis B virus-infected Mongolians. *Hepatology*. 2016;66:1739–1949.
- [6] Chen HY, Shen DT, Ji DZ, Han PC, Zhang WM, Ma JF. Prevalence and burden of hepatitis D virus infection in the global population: a systematic review and meta-analysis. *Hepatology*. 2018;68:381–382.
- [7] Scashfoort RBM. Handbook of surface Plasmon resonance. Royal society of chemistry. 2017:27–103.
- [8] Homola J, Dostalek J, S Jiang JL, Lofas S. Surface Plasmon Resonance Based Sensors. Springer Series on Chemical Sensors and Biosensors. 2006:45–67.
- [9] Bastus NG, Comenge J, Puentes V. Kinetically Controlled Seeded Growth Synthesis of Citrate-Stabilized Gold Nanoparticles of up to 200 nm: Size Focusing versus Ostwald Ripening. *Langmuir*. 2011;27:11098–11105.
- [10] Li D, He Q, Cui Y, Duan L, Li J. Immobilization of glucose oxidase onto gold nanoparticles with enhanced thermostability. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2007;355:488–493.
- [11] Lelievre HY, Bukar N, McKeating KS, Arnaud M, Cosin P. Plasmonic sensors for the competitive detection of testosterone. *Analyst*. 2015;140:5105–5111.
- [12] Jeong EJ, Jeong YS, Park K, Yi SY. Directed immobilization of DNA-binding proteins on a cognate DNA-modified chip surface. *Journal of Biotechnology*. 2008;135:16–21.
- [13] Vashist SK. Comparison of 1-Ethyl-3-(3-Dimethylaminopropyl) Carbodiimide Based Strategies to Crosslink Antibodies on Amine-Functionalized Platforms for Immunodiagnostic Applications. *Diagnostics*. 2012;2:23–33.
- [14] Huang CC, Liu TM. Controlled Au-Polymer Nanostructures for Multiphoton Imaging, Prodrug Delivery, and Chemo-Photothermal Therapy Platforms. *ACS Applied materials and interfaces*. 2015;7:25259–25269.
- [15] <https://www.cytodiagnosics.com/pages/introduction-to-gold-nanoparticle-characterization>.
- [16] Amendola V, Pilot R, Frascioni M, Marago OM. Surface plasmon resonance in gold nanoparticles: a review. *Journal of physics: Condensed matter*. 2017;29.
- [17] Sukhdorj G. Optical methods of analysis. 2007:7–23.
- [18] Jonoush JA, Yazdian F, Mansori R, Omid M. Localized Surface Plasmon Resonance Biosensor for Detection of Serum Prostate Specific Antigen in Prostate Cancer Patients. *Biosensing Biotechnology Research Asia*. 2016;13:2273–2279.
- [19] Yoon SJ, Kim D. Target dependence of the sensitivity in periodic nanowire-based localized surface plasmon resonance biosensors. *Journal of the Optical Society of America A*. 2008;25:725–735.
- [20] Sexton BA, Feltis BN, Davis TJ. Characterisation of gold surface plasmon resonance sensor substrates. *Sensors and Actuators A*. 2008;141:471–475.
- [21] Lequin RM. Enzyme Immunoassay (EIA)/Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA). *Clinical chemistry*. 2005;51:2415–2418.

MICROSTRUCTURE AND MARTENSITIC TRANSFORMATION OF $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ SHAPE MEMORY ALLOYS

M.Dovchinvanhig*, Ya.Gangantogos, B.Munkhjargal.

School of Engineering and Technology, Mongolian University of Life Sciences, Ulaanbaatar, 17024, Mongolia,

Received on 2021.04.14; Revised on 2021.07.01; Accepted on 2021.07.05

*Corresponding author: dovchinvanhig@mul.s.edu.mn

Abstract

The effect of rare earth element Er addition on the microstructure and phase transformation behavior of $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ ($x = 0, 1, 5$) shape memory alloy was investigated experimentally. The results showed that the microstructure of $Ni - Ti - Er$ ternary alloys consist of the $NiEr$ precipitate and the $NiTi$ matrix. A one-step martensitic transformation was observed in all alloys. The martensitic transformation temperature M_s increased gradually with increasing Er content.

Keywords: Microstructure, Phase transformation, Shape memory alloy

1 Introduction

Near equiatomic $Ni - Ti$ based shape memory alloys (SMA s) have a unique shape memory effects and super-elasticity behavior and have been used in various fields, particularly in engineering and biomedical applications [1]. Current research interest on SMA s mainly lies in controlling the martensitic transformation temperature and improving the shape memory effect for their applications. The effects of martensitic transformation, super-elasticity and shape memory effect have been widely studied by adding transitional elements to $Ni - Ti$ binary alloys. These elements include Fe [2], Hf [3], Pd [4], Pt [5], Cu [6], Au [7], Co [8] etc. The addition of Fe , Co to $Ni - Ti$ binary alloys decreases the martensitic transformation temperature. By contrast, but the addition of Hf and Pd can increase the martensitic transformation temperature of $Ni - Ti$ binary alloys.

Moreover, the microstructure and martensitic transformation temperature of the addition of La [9] [10], Ce [11], Pr [12], Nd [13] [14], Gd [15], Dy [16] to $Ni - Ti$ binary alloys have been studied using scanning electronic microscopy (SEM), energy dispersive spectrometry (EDS), X-ray diffraction (XRD), and differential scanning calorimetry (DSC). The addition of these rare earth elements to $Ni - Ti$ binary alloys was found to increase the martensitic transformation temperature and change the phase transformation sequence.

There, the effect of rare earth element Er addition to $Ni - Ti$ binary alloy on-microstructure and martensite transformation temperature remains unclear. In this work, Er content with atomic fractions of 0, 1% and 5% added to $Ni - Ti$ binary alloys the microstructure and martensitic transformation were studied experimentally.

2 Experimental

The $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ ($x = 0, 1, 5$) alloys were prepared by melting each 40g of raw materials with different nominal compositions (99.9 mass % sponge Ti , 99.7 mass % electrolytic Ni and 99.95 mass % Er) in a non-consumable arc-melting furnace using a water-cooled copper crucible. The alloys are denoted by $Er0$, $Er1$, and $Er5$ to refer to $Ni_{50}Ti_{50}$, $Ni_{50}Ti_{49}Er_1$, and $Ni_{50}Ti_{45}Er_5$ alloys, respectively. Arc-melting was repeated four times to ensure the uniformity of composition. The specimens are spark-cut from the ingots and solution-treated at $850^{\circ}C$ for an hour in a quartz tube furnace. Subsequently the specimens were quenched using water. Thereafter, the specimens are mechanically and lightly polished to obtain a plain surface.

The phase transformation temperatures of $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ alloys were determined by DSC using a TAQ2000 calorimeter. The temperature range of heating and cooling was from $-160^{\circ}C$ to $150^{\circ}C$, and the scanning rate of heating and cooling was $10^{\circ}C/min$. SEM observations were conducted using a Hitachi S3400N equipped with EDS analysis systems made by Oxford. An XRD experiment was performed a $D/MAX - 2500PC$ diffractometer using the software MDI Jade 5.

3 Results and discussion

3.1 Microstructure of $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ alloy

Fig.1a shows the XRD curves of $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ ($x = 0, 1, 5$) alloys at room temperature compared with JCPDF cards (Nos. 65 - 0145, 65 - 4572, and

19 – 0818). The diffraction peaks are identified to be from $NiTiB19$ martensite phase, $NiTi$ B2 austenite phase, and $NiEr$ alloys. The detailed crystal plane indices are marked in *Fig.1b* for $Er0$ at room temperature, *Fig.1c* for $Er5$ at room temperature, but the relative intensities of each XRD curve are quite different because of the differences in martensite phase fraction and austenite phase fraction. It can be seen that the diffraction intensity of martensite is evidently decreased with increasing Er fraction. The diffraction angle decreases with increasing Er fraction, which indicates that the lattice of the martensite expands with Er addition. Because the radius of Er is much larger than that of Ni and Ti , when Er atom is solubilized in the matrix, the martensitic lattice is distorted certainly [11]. The Lattice parameters of alloys can be also calculated [17] by peaks position in XRD curves and shown in *Table1*. It is shown clearly that cell volume V expands for with Er addition to $Ni - Ti$ binary alloy from 0 at.% to 5 at.%. The observation can be confirmed in the following composition analysis.

3.2 Morphologies and compositions of $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ alloys

Fig.2 depicts the back-scattering SEM images of $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ ($x = 0, 1, 5$) alloys. For $Er0$ alloy, there are two different morphologies, namely, black phase and matrix, can be identified in the SEM image (*Fig.2a*). The black phase is in irregular shape and distributed randomly in the matrix. For $Er1$ and $Er5$ two different morphologies, namely, white phase and matrix, can be identified in the SEM images. Some white particles that are nearly round in shape and up to $3\mu m$, and $10\mu m$ in diameter with a white thin curving area can be found to be distributed in the matrix in *Fig.2b - c*.

To identify the phase structure, EDS analysis was conducted in SEM. The compositions of the white phase and matrix are shown in *Table2*. The $Ti : Ni$ ratio in the matrix is observed to be near 1. Thus, the matrix can be concluded to consist of $Ni - Ti$ phase. The EDS results show that the $Er : Ni$ ratio in the white phase is near 1 and can be regarded as the $ErNi$ intermetallic compound with minimal Ti solid-solution inside. The amount and size of the $ErNi$ phase increase with increasing Er fraction.

3.3 Phase transformation of $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ alloys

Fig.3a depicts the DSC curves of the $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ ($x = 0, 1, 5$) alloys. Each DSC curve of $Er0, Er1$ and $Er5$ shows only one peak during the heating and cooling process, which indicates a one-step $B2 \longleftrightarrow B19$ phase transformation. *Fig.3b* shows the effect of Er concentration on martensitic transformation start temperature M_s . As observed, the martensitic transformation start temperature M_s increases with increasing

Er fraction. Moreover, all martensite transformations finished at a temperature M_f in DSC curves, higher than room temperature at $20^\circ C$. Thus, martensite transformation cannot finish fully at room temperature, which indicates that both the austenite phase and the martensite phase exist in the $Ni - Ti - Er$ alloy.

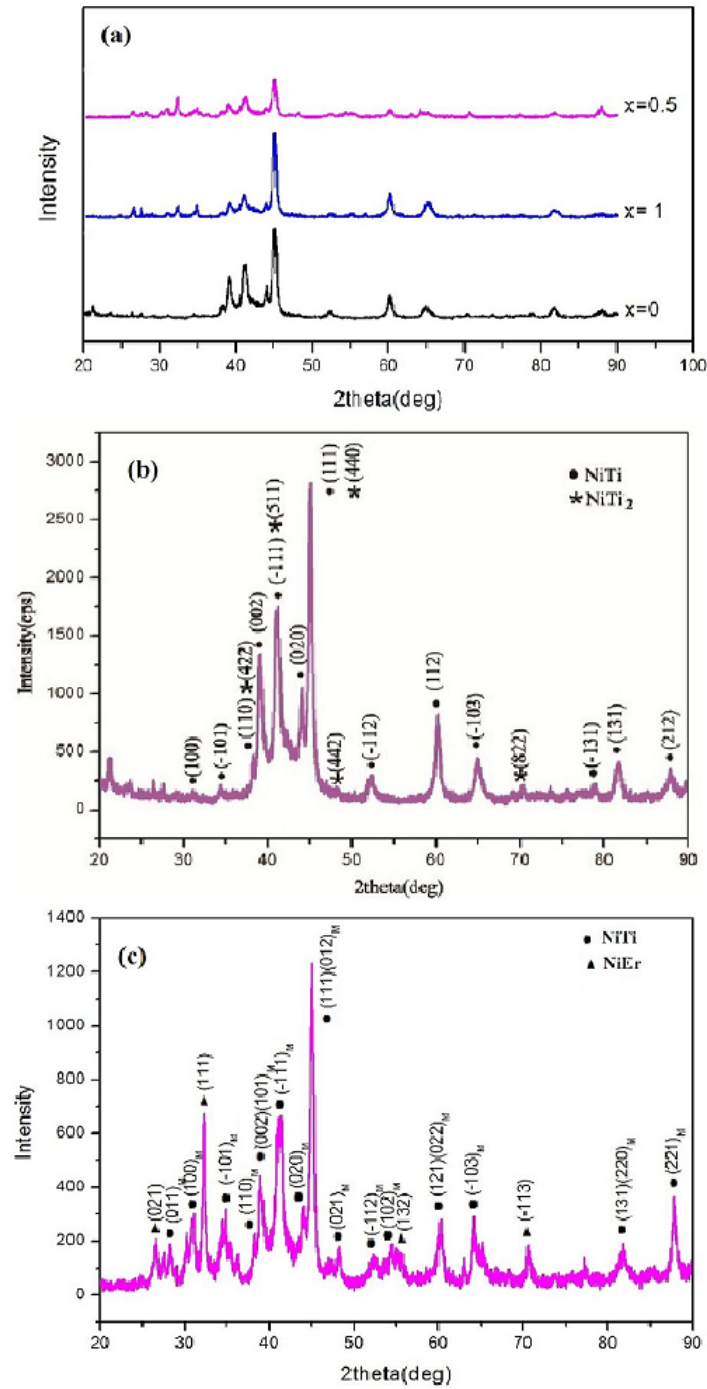


Figure 1: Fig. 1 XRD curves of $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ ($x = 0, 1, 5$) alloys:
 (a) XRD curves of $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ alloys; (b) Indexed diffraction peaks $Ni_{50}Ti_{50}$;
 (c) Indexed diffraction peaks $Ni_{50}Ti_{45}Er_5$.

Table 1: Lattice parameters of $Ni - Ti - Er$ alloys

Alloy	Phase	$a(nm)$	$b(nm)$	$c(nm)$	$\beta(^{\circ})$	$V(nm^3)$
Er0	M	0.2898	0.4121	0.4619	97.86	0.05464
Er1	M	0.2905	0.4121	0.4622	98.72	0.05534
Er5	M	0.2939	0.4129	0.4648	98.87	0.05640

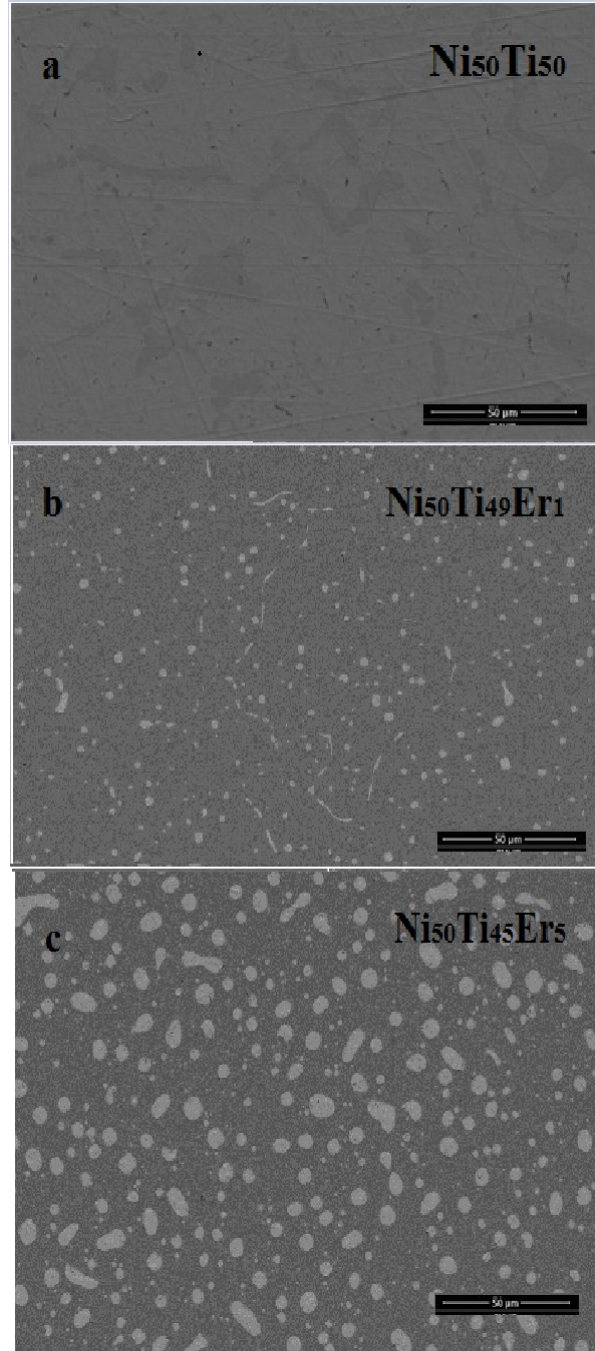


Figure 2: Back-scattering SEM images of $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ ($x = 0, 1, 5$) alloys: (a) $Ni_{50}Ti_{50}$; (b) $Ni_{50}Ti_{49}Er_1$; (c) $Ni_{50}Ti_{45}Er_5$.

Table 2: The compositions of $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ alloys

		Ti(at.%)	Ni(at.%)	Er(at.%)	Phase
Er0	matrix	49.39	50.61	0	NiTi
	black phase	66.99	33.01	0	NiTi ₂
Er1	matrix	49.24	50.21	0	NiTi
	white phase	2.92	49.84	47.19	NiEr
Er5	matrix	49.99	50.01	0	NiTi
	white phase	4.31	47.72	47.97	NiEr

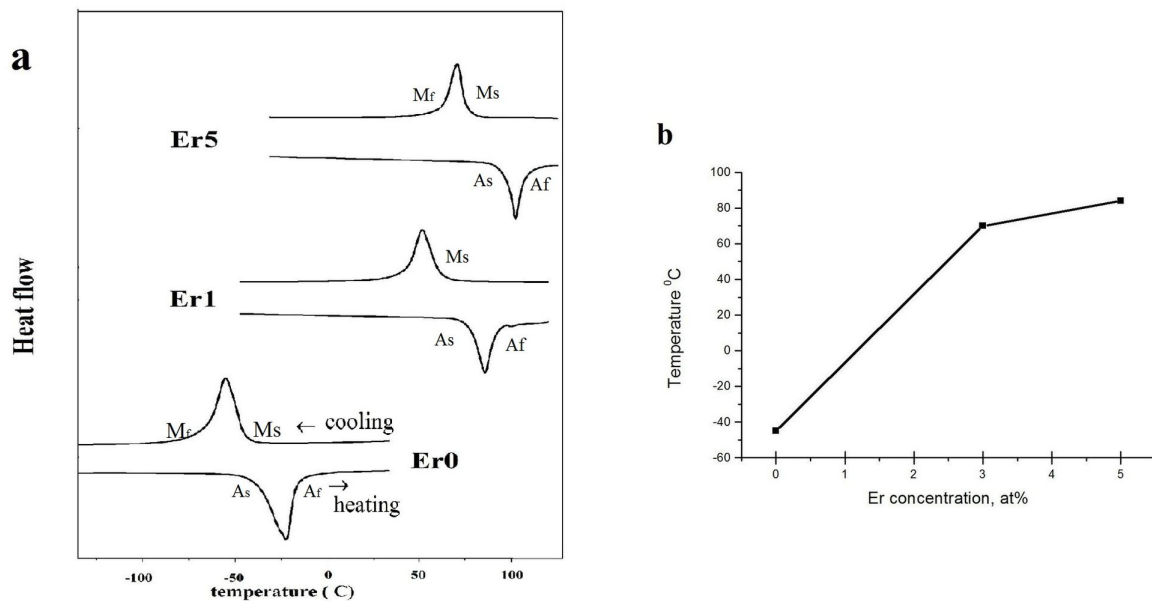


Figure 3: DSC curve and martensite transformation temperature of $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ alloys: (a) DSC curves; (b) M_s curve.

4 Conclusions

In summary, the effect of *RE* element *Er* addition on the microstructure and martensitic transformation behavior was investigated by SEM, XRD, and DSC. The microstructure of the $Ni_{50}Ti_{50-x}Er_x$ alloys consists of *Ni*–*Ti* matrix and *Ni*–*Er* alloy with a small amount of *Ti* solute.

The lattice of *NiTi* matrix is expanded by *Er* addition. The *Ni*–*Ti*–*Er* alloy one-step martensitic transformation, increasing the *Er* fraction, the martensitic transformation start, temperature M_s increases gradually.

Author Contributions

M.Dovchinvaanchig designed microstructure, XRD measurements and phase transition analysis, Ya.Gangantogos performed microstructure analysis, B.Munkhjargal measured DSC. M.D. wrote the paper.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- [1] Otsuka K, Ren X. Recent developments in the research of shape memory alloys. *Intermetallic*. 1999;7:511–52.
- [2] Frenzel J, Pfetz J, Neuking K, et al. On the influence of thermomechanical treatments on the microstructure and phase transformation behavior of Ni–Ti–Fe shape memory alloys. *Mat Sci Eng A*. 2008;635–63:481–482.
- [3] Meng X, Cai W, Fu Y, et al. Shape memory behaviors in an aged Ni-rich TiNiHf high temperature shape-memory alloy. *Intermetallic*. 2008;16:698–705.
- [4] Liu Y, Kohl M, Okutsu K, et al. TiNiPd thin film microvalve for high temperature applications. *Mat Sci Eng A*. 2004;378:205–209.
- [5] Lin B, Gall K, Hans J M, Waldron R. Structure and thermomechanical behavior of NiTiPt shape memory alloy wires. *Acta Biomaterialia*. 2009;5:257–267.
- [6] Nespoli A, Villa E, Besseghini S. Characterization of the martensitic transformation in $Ni_{50-x}Ti_{50}Cu_x$ alloys through pure thermal measurements. *J Alloy Comp*. 2011;509:644–647.
- [7] John P, Buenconsejo S, Ludwig A. Composition–Structure–Function Diagrams of Ti–Ni–Au Thin Film Shape Memory Alloys. *ACS Comb Sci*. 2014;16:678–685.
- [8] Tomasz G. Structure and Shape Memory Effect in Annealed Ni–Ti–Co Strip Produced by Twin Roll Casting Technique. *Solid State Phenomena*. 2009;154:59–64.
- [9] Xu JW, Liu AL, Qian BY, Cai W. Investigation on Microstructure and Phase Transformation of La added TiNi Shape Memory Alloy. *Adv Mater Res*. 2012;557–559:1041–1044.
- [10] Zhao C, Li W, Zhao S, Jin Y, Meng X, Hou Q. Effect of La addition on the microstructure

- and martensitic transformation of Ni-Ti-La alloys. Vacuum. 2017;137:169–174.
- [11] Cai W, Liu A, Sui J, Zhao L. Effects of Cerium Addition on Martensitic Transformation and Microstructure of $Ti_{49.3}Ni_{50.7}$ Alloy. Mater Trans. 2006;47:716–719.
 - [12] Zhao C, Zhao S, Jin Y, Guo S, Hou Q. Microstructure and martensitic transformation of Ni–Ti–Pr alloys. Appl Phys A. 2017;123:580.
 - [13] Dovchinvaniching M, Zhao CW, Zhao SL, Meng XK, Jin YJ, Xing YM. Effect of Nd addition on the microstructure and martensitic transformation of Ni-Ti shape memory alloys. Adv Mater Sci Eng. 2014;489701:2014.
 - [14] Maashaa D, et al. Investigation on microstructure and martensitic transformation of neodymium-added NiTi shape memory alloys. Modern Physics letters B. 2016;30:28.
 - [15] Liu A, Cai W, Gao Z, et al. The microstructure and martensitic transformation of $(Ti_{49.3}Ni_{50.7})_{1-x}Gd_x$ shape memory alloys. Mat Sci Eng A. 2006;438-440:634–638.
 - [16] Liu AL, Gao ZY, Gao L, Cai W, Wu Y. Effect of Dy addition on the microstructure and martensitic transformation of a Ni-rich TiNi shape memory alloy. Mat Sci and Eng. 2007;437:339–343.
 - [17] Khalil-Allafi J, Schmahl WW, Wagner M, Sitepu H, Toebbens DM, Eggeler G. The Influence of Temperature on Lattice Parameters of Coexisting Phases in NiTi Shape Memory Alloys—a Neutron Diffraction Study. Materials Science and Engineering. 2004;378:161–164.

Хэрэглээний хими

ХИМИЙН НАЙРЛАГААС НЬ ХАМААРУУЛСАН ГАНГИЙН ЗЭВРЭЛТИЙН КИНЕТИК ПРОЦЕССЫН СУДАЛГАА

Т.Бүжинлхам¹, Н.Эрдэнэпүрэв², Д.Эрдэнэчимэг^{1,*}

¹МУИС-ийн Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан Инженерчлэлийн сургууль,

²ШУТИС-ийн Барилга, Архитектурын сургууль.

Received on 2021.04.15; Revised on 2021.07.01; Accepted on 2021.07.05

*Холбоо баригч зохиогч: erdenechimeg@seas.num.edu.mn

Хураангуй

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд зэврэлтээс хамгаалах хар болон саарал бүрхүүлтэй ган бүтээцүүдийн химийн найрлагыг индукцийн холбоост плазмын оптик спектрометр (ICP-OES) болон рентген спектрометр (XRF)-ийн багажуудаар тодорхойлоход ган бүтээцүүдийн гангийн химийн найрлагад Cr, Ni, Si, Al, Mn -н агуулга нийлбэрээрээ >1.5% их байгаа нь чанаржуулсан гангийн төрөлд орж байна. Мөн зэврэлтээс хамгаалах хар бүрхүүлийн 92.73% -д Si, Al, Fe, Ti агуулгатай хайлш, саарал бүрхүүлийн 93.46% нь Zn агуулгатай байна. Зэврэлтээс хамгаалах хар болон саарал бүрхүүлийн зэврэлтэд тэсвэртэй байдалд шүтлэг орчин, температур, хугацааны хамаарлыг жингийн хорогдлын арга харьцуулан судалсан. Электрохимийн багажаар шугаман туйлширсан эсэргүүцлийн аргаар хэт шүтлэг орчин дахь саарал бүрхүүл нь хар бүрхүүлээс 5 дахин хурдтай зэвэрч байна.

Түлхүүр үг: Зэврэлт, Шугаман туйлширсан эсэргүүцлийн арга, Жингийн хорогдлын арга, Ган бүтээц

1 Удиртгал

Ган нь улс орны аж ахуйн бүх салбарт хэрэглэгдэж буй металлуудын нийт жингийн 90 гаруй хувийг эзэлдэг [1]. Зэврэлтээр ган хийц элэгдэн, бат бэх, уян хатан, дулаан дамжуулах зэрэг ажлын шинж чанараа алддаг. Энэ нь эдийн засаг, байгаль орчин болоод байгууламжийн ашиглалтын хугацаа, үйлдвэрийн орчны аюулгүй байдалд шууд нөлөөлдөг [2]. Үйлдвэрийн барилга болон тоног төхөөрөмж дэх зэврэлтийн хурд нь энгийн агаар мандалаас хэд дахин илүү байгаа нь үйлдвэрийн дотоод орчин дахь хүчиллэг, шүтлэг идэмхий үйлчлэлтэй бодисууд ялгардагтай холбоотой [3]. Өндөр хөгжиж байгаа орнууд металлыг зэврэлтээс хамгаалах, зэврэлтэнд өртсөн барилга байгууламжыг нөхөн сэргээх, хүчтгэх аргуудыг нарийн судлахад нилээд сайн анхааран хөрөнгө оруулалтыг хийж байна. Энэ нь гангийн элэгдлийг 15-35% хүртэл бууруулах боломжтой бөгөөд дэлхийн хэмжээнд 375-875 тэрбум доллартай дүйцэж байгаа юм [4].

Зэсийн хөвүүлэн баяжуулах үйлдвэрийн ган бүтээцийн зэврэлтээс хамгаалах хар болон саарал бүрхүүл ба зэврэлт үүсгэж буй орчны хооронд явагдах төрөл бүрийн хүчин зүйлүүдийн нөлөөлөлд явагдах зэврэлтийн хурд болон төрх, ерөнхий зүй тогтлыг мэдсэнээр зэврэлтийн учир шалтгааныг зөв тодорхойлж, сэргийлэх аргыг олох нөхцөл бүрдэнэ [5]. Зэврэлтийн судалгааг электрохимийн өндөр нарийвчлал бүхий хэмжилтийн аргаар хийсэн энэ нь

өмнөх механик аргуудтай харьцуулахад температурын өргөн хамааралд, өндөр нарийвчлалаар түргэн хугацаанд туршилтыг хийх боломжийг бүрдүүлж өгч байгаа юм [6].

2 Материал ба Арга зүй

2.1 Дээжийн бэлтгэл ба химийн анализ

Зэврэлтээс хамгаалах хар болон саарал бүрхүүлтэй ган бүтээцүүдийн бүрхүүлийн болон гангийн химийн найрлагыг индукцийн холбоост плазмын оптик спектрометр (ICP-OES, iCAP 6300, Thermo fisher), рентгенспектрометр (XRF, Niton XL3t GOLDD)-ийн багажуудаар тодорхойлсон [7] [8]. Туршилтын дээжүүдийг эргүүлдэг хавчигч (150мм PV-6), гар тасдагч (AG7108 INCO) багажуудыг ашиглан 1см х 2см хэмжээтэйгээр зүссэж бэлтгэсэн. Цаасан зүлгүүртэй (80, 120, 180, 320, 500, 1000 мм-ийн ширхэгтэй) өнгөлөгч (Knuth Rotor-2) багажаар хамгаалалтын хар болон саарал бүрхүүлийг арилгаж дотор ганг гаргасан дээжийг мөн бэлтгэнэ. Туршилтын дээжүүдийг цэвэрлэхдээ хавчаараар барьж хавчаад бязь даавуунд шингээсэн органик уусгагчаар (ацетон, P-646, бензол, толуол) арчиж тосгүйжүүлээд ионгүйжүүлсэн усаар сайтар угааж, хатаах шүүгээнд хатаана.

Мөн электрохимийн хэмжилтийн (μСТАТ 400,

Биопотенциостат/Гальваностат) харьцуулагч болон тоологч электродыг туршилт бүрийн өмнө цэвэрлэнэ. Харьцуулах электродыг цэвэрлэхдээ түүний анионыг нь агуулсан давсны уусмал болох 3М KCl-ийн уусмалаар зайлах болон электродыг цэнэглэнэ. Тоологч электрод болох цагаан алтан электродыг цэвэрлэхдээ тухайн металлын (Pt) уусдаггүй хүчил (HCl, H₂SO₄) -ээр 10 секунд орчим зайлсны дараагаар хүчлийн үлдэгдлийг ионгүйжүүлсэн усаар сайтар угаана. Электрохимийн хэмжилт бүрд шил аягыг 30 минут ультрасоник багажаар цэвэрлэж дээд зэргийн цэвэр болгосоны дараагаар ашиглана [6].

2.2 Уусмал бэлтгэх

3М-ийн калийн хлоридын уусмал бэлтгэх: 0.0001 гр нарийвчлалтай аналитик жин дээр 11.7 гр калийн хлорын нунтагаас хэмжин авч 100 мл хэмжээст колбонд хийж, ионгүйжүүлсэн усаар хэмжээс хүртэл нь дүүргээд сайтар сэгсэрнэ.

0.2М-ийн калийн хлоридын уусмал бэлтгэх: 0.0001 гр нарийвчлалтай аналитик жин дээр 3.9 гр калийн хлорын нунтагаас хэмжин авч 500 мл хэмжээст колбонд хийж, ионгүйжүүлсэн усаар хэмжээс хүртэл нь дүүргээд сайтар сэгсэрнэ.

0.2М-ийн натрийн гидроксид уусмал бэлтгэх: 0.0001 гр нарийвчлалтай аналитик жин дээр 4.0 гр натрийн гидроксид нунтагаас хэмжин авч 500 мл хэмжээст колбонд хийж, ионгүйжүүлсэн усаар хэмжээс хүртэл нь дүүргээд сайтар сэгсэрнэ. Орчны буфер уусмалыг дараах байдлаар бэлтгэсэн болно.

pH 12: 50 мл 0.2М KCl+12 мл 0.2М NaOH

pH 13: 50 мл 0.2М KCl+132 мл 0.2М NaOH

pH 14: 50 мл 0.2М KCl+276 мл 0.2М NaOH pH метрийн багаж болон индикаторын цаасаар орчны шалгасан.

2.3 Жингийн хорогдлын туршилт

Жингийн хорогдлын аргаар зэврэлтийн хурдыг тодорхойлоход зөвхөн жингийн зөрүү шаардлагатай учир нарийн тоног төхөөрөмж шаардлаггүй бөгөөд багажнаас үүдэлтэй туршилтын алдаа бага байдгаараа давуу талтай. Харин олон дээжийг нэгэн зэрэг хийх боломжтой ч хугацаа их шаарддаг нь бусад аргатай харьцуулахад сул тал болдог. Ган бүтээцүүдийн зэврэлтээс хамгаалах хар болон саарал бүрхүүлийн зэврэлтэд тэсвэртэй байдлыг шүлтийн орчин, температур болон хугацаанаас хамаарсан туршилтыг хийсэн. Жингийн хорогдлын аргаар зэврэлтийн хурдыг тооцоолох тэгшитгэлийг (1) үзүүлэв.

$$CR = \frac{WK}{pAT} \quad (1)$$

CR - зэврэлтийн хурд (мг см²т⁻¹), W - жингийн хорогдол (г), p - хайлшийн нягт (г/см³), A - гадаргуун талбай (см²), t - хугацаа (ц), K - 8.76*10⁴ тогтмол.

Туршилтын дээжнээс зэвийг зайлуулсны дараа зэврэлтийн хэмжээг тооцоолох бөгөөд жингийн хорогдлын зөрүүний үр дүнгээс тусгаарлагчийн үр ашгийг(IE) тооцоолох боломжтой ба тэгшитгэлийг (2) үзүүлэв.

$$IE, \% = \frac{W_0 - W_1}{W_0} 100 \quad (2)$$

Үр дүнгийн үнэн зөв байдлыг хангахын тулд туршилт бүр дээр 2 зэрэгцээ дээж, 2 давтан хэмжилтийг гүйцэтгэсэн болно [9].

2.4 Электрохимийн туршилт

мстат 400 маркийн Биопотенциостат/Гальваностат багажыг ашиглан шугаман туйлширсан эсэргүүцлийн аргаар гурван-электрод системд хэмжилтийг хийж, Excel программын тусламжтайгаар хэмжилтийн үр дүнгээс гүйдлын нягтын утга болон потенциалас хамаарсан муруйг байгуулан, Icorr ийн утгыг тодорхойлсон [10]. Зэврэлтийн хурдыг тооцоолох тэгшитгэлийг (3) үзүүлэв.

$$CR = I_{corr} \frac{KW}{AD} \quad (3)$$

CR - зэврэлтийн хурд (мкм/жил), Icorr - зэврэлтийн гүйдлийн нягт (μA/см²), K - 3.27*10⁻⁴ тогтмол, W - металлын эквивалент жин (г), A - гадаргуун талбай (см²), D - хайлшийн нягт (г/см³).

Гурван электрод системд ажлын электродоор туршилтад зориулан жижиглэн тасалж өнгөлсөн ган болон хар болон саарал бүрхүүлтэй дээжүүд байна. Харьцуулагч буюу хлор мөнгөний электрод нь электролит уусмал болон ажлын электродын хоорондох потенциалыг хянах үүрэгтэй. Тоологч буюу цагаан алтан электрод нь электролит уусмал болон ажлын электродын хоорондох гүйдлийг хянах үүрэгтэй байна.

3 Үр дүн ба Хэлэлцүүлэг

3.1 Гангийн химийн найрлагын үр дүн

Ган бүтээцүүдийн гангийн үндсэн компонентүүдийн агуулгыг индукцийн холбоост плазмын оптик спектромет (ICP-OES), рентген спектрометр (XRF) -н багажуудаар тодорхойлсон ба үр дүнг хүснэгт 1-д харьцуулан үзүүлэв. Зэврэлтээс хамгаалах хар, саарал бүрхүүлтэй ган бүтээцүүдийн ганд Si, Mn, P, Mo, Cr, Ni, Cu, Ti, Zn зэрэг чанаржуулагч элементүүдийг агуулсан байна. Хар бүрхүүлтэй гангийн 97.49 хувийг төмөр, саарал бүрхүүлтэй гангийн 98.67 хувийг төмөр агуулсан бөгөөд хар бүрхүүлтэй ганд хольц металлуудын агуулга нь саарал бүрхүүлтэй гангийн хольцоос дагалдах металлуудын агуулгаас илүү байгаа нь харагдаж байна. Хэдий энэ агуулгын бага зэргийн ялгаатай байгаа ч гангийн чанарын үзүүлэлтэнд болон зэврэлтийн хурдад эдгээр элементийн агуулгаас ихээхэн хамаарч байдаг.

3.2 Зэврэлтээс хамгаалах хар болон саарал бүрхүүлийн химийн найрлагын үр дүн

Хар болон саарал бүрхүүлүүдийн үндсэн компонентүүдийн агуулгыг XRF багажаар судалж үзсэн ба үр дүнг хүснэгт 2-д үзүүлэв. Бүрхүүлийн үндсэн компонентүүдийн агуулгаас харахад гангийн гадаргуун зэврэлтээс хамгаалах металл бүрхүүлтэй болох нь тогтоогдсон. Хар өнгөтэй бүрхүүлийн гол компонентүүд 33.64 хувийн цахиур, 4.20 хувийн титан, 47.43 хувийн төмөр, 7.46 хувийн хөнгөнцагаан эзлэх буюу нийт хайлшгийн 92.73 хувийг эзэлж байна. Хөнгөнцагаан болон цахиурын ислүүд гангийн гадаргууд нимгэн нягт бүрхүүл үүсгэж, титан бат бөх чанарыг дээшлүүлж байдаг.

Харин саарал бүрхүүлийн 93.48 хувийн цайр, 3.46 хувийн цахиур, 2.21 хувийн хөнгөнцагаан зэрэг элементийг агуулсан хайлш байна. Цайраар ганг бүрэх нь зузааныг багасгах мөн урьдчилан боловсруулалтыг алгасах боломжтой болгодог. Гэвч хэт шүлтлэг болон хүчиллэг орчинд цайр бүрхүүл нь уусаж хамгаалах шинж чанараа алддаг байна [9].

3.3 Ган бүтээцүүдийн зэврэлтээс хамгаалах хар болон саарал бүрхүүлийн орчин, температур, хугацаанаас хамааруулсан зэврэлтийн хурдны үр дүн

Ган бүтээцүүдийн зэврэлтээс хамгаалах хар болон саарал металл бүрхүүлүүдийн зэврэлтэд тэсвэртэй байдлыг рН орчин, температур, хугацаа зэргээс хэрхэн хамаарч байгааг харьцуулан судалсан. Үүний тулд ионгүйжүүлсэн ус (рН 6.8), рН 12, рН 13, рН 14 орчин бүрт 298K, 303K, 308K температур тус бүр мөн 2 цаг, 4 цаг, 6 цаг, 8 цаг, 10 цаг, 12 цаг тус бүрийн зэврэлтийн хурдыг жингийн хорогдлын аргаар тодорхойлсон дүнг зураг 1(a,b,c,d)-д харуулав.

Зураг 1(a) -ийн үр дүнгийн муруйгаас харахад зэврэлтээс хамгаалах хар, саарал бүрхүүлүүд нь орчны хэвийн нөхцөлд, температур болон хугацаа нэмэгдэхэд зэврэлтийн хурд нь өсөж байна. Зураг 1(b) -ийн үр дүнгийн муруйг 1(a) -ийн үр дүнгийн муруйтай харьцуулахад рН 12 орчин дахь температур болон хугацаа нэмэгдэхэд хар бүрхүүлийн зэврэлтийн хурд 1.2 дахин, саарал бүрхүүл нь 1.5 дахин тус тус нэмэгдэж байна.

Зураг 1(c) -ийн үр дүнгийн муруйг 1(a) -ийн үр дүнгийн муруйтай харьцуулахад рН 13 орчин дахь температур болон хугацаа нэмэгдэхэд хар бүрхүүлийн зэврэлтийн хурд 1.4 дахин, саарал бүрхүүл нь 3.5 дахин нэмэгдэж байна. Зураг 1(d) -ийн үр дүнгийн муруйг 1(a) -ийн үр дүнгийн муруйтай харьцуулахад рН 14 орчин дахь температур болон хугацаа нэмэгдэхэд хар бүрхүүл нь 2.3 дахин, саарал бүрхүүл нь 12.64 дахин хуртай зэвэрч байв.

Үр дүнгийн хэт ялгааг харуулсан 12 цагийн туршилт дахь ган бүтээцүүдийн зэврэлтээс хамгаалах хар болон саарал металл бүрхүүлүүд нь орчин бо-

лон температурын нөхцөлөөс хэрхэн хамаарч байгааг зураг 2-д харуулав. Цайр бүрхүүл нь хүчиллэг орчин буюу рН 4 -ээс бага үед, шүлтийн орчин буюу рН 10 -иас их үед цайр исэлдэж уусдаг нэгдлийн байдалд шилждэг. Ийм учраас цайрын бүрхүүл нь хүчиллэг болон шүлтлэг орчинд зэврэлтээс хамгаалах чадвараа алддаг [11].

Жингийн хорогдлын аргаар хар болон саарал металл бүрхүүлтэй ган бүтээцүүдийг орчин болон температураас хамаарсан зэврэлтийн хурд хэрхэн хамаарч байгааг тодорхойлохоос гадна массын хорогдол болон анхны жингийн үр дүнгээс бүрхүүлийн тусгаарлагчийн үр ашгийг тооцоолсон үр дүнг зураг 3 -д харуулав. Энэхүү утга нь 100% руугаа тэмүүлж байх тусам хамгаалалтын үр ашиг өндөр байгааг харуулдаг. рН 14 орчинд хар бүрхүүлийн тусгаарлагчийн үр ашиг нь саарал бүрхүүлээс 6 дахин илүү байгаа нь харагдаж байна.

3.4 Электрохимийн судалгааны үр дүн

Хоёр төрлийн ган бүтээцүүдийн гангийн болон зэврэлтээс хамгаалах хар болон саарал металл бүрхүүлийг ионгүйжүүлсэн ус (рН 6.8) болон хэт шүлтлэг (рН 14) орчин дахь зэврэлтийн хурдыг $\mu\text{stat}400$ маркийн Биопотенциастат/гальвонастат багажыг ашиглан лайнер свийп вольтампермерийн аргаар гурван электрод системд хэмжилтийг хийж, үр дүнг MS Excel программын тусламжтайгаар тооцоолсон хүснэгт 3-д үзүүлэв.

Зэврэлтийн хурдны үр дүнгээс харахад хар болон саарал металл бүрхүүлтэй дээжүүдийн ган нь хэт шүлтлэг орчин дахь зэврэлт нь саармаг орчноосоо ойролцоогоор 2 дахин илүү хурдтайгаар зэвэрч байна. Зэврэлтээс хамгаалах хар бүрхүүл хэвийн нөхцөлд 5.03 мкм/ жил зэвэрч байсан бол хэт шүлтлэг орчинд 36.41 мкм/жил болсон. Харин саарал бүрхүүл хэвийн нөхцөлд 4.84 мкм/жил зэвэрч байсан бол хэт шүлтлэг орчинд 93.82 мкм/жил болж нэмэгдсэн.

Зураг 4 (a, b, c, d)-д саармаг орчин дахь зэврэлтээс хамгаалах хар болон саарал бүрхүүлийн гүйдлийн нягт гангийн гүйдлийн нягтаас бага, потенциал нь нэмэгдэж байгаа нь хамгаалах чадварыг нэмэгдүүлсэнтэй холбоотой бөгөөд энэ нь зэврэлтийг эсэргүүцэх чадварыг нэмэгдүүлж байгааг харуулж байна. Анодын налуу нь тэгш бус байгаа нь анодын уусалт багассантай холбоотой [12].

4 Дүгнэлт

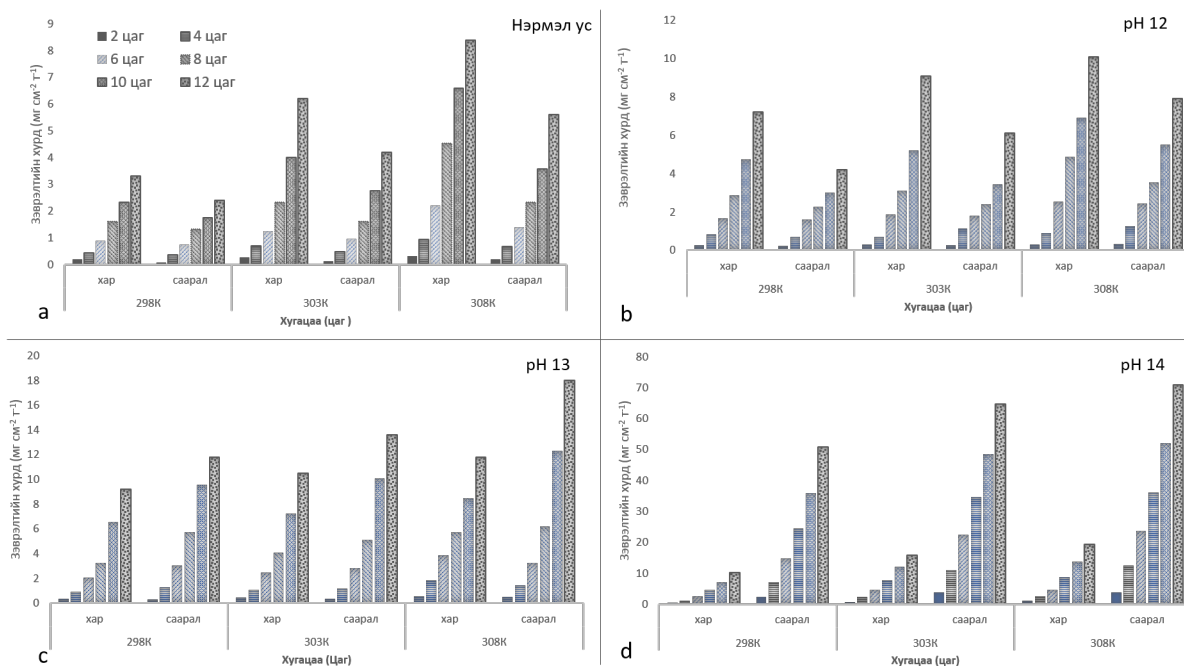
Хар болон саарал бүрхүүлтэй хоёр төрлийн ган бүтээцүүдийн гангийн найрлагад Cr, Ni, Si, Al, Mn-н агуулга >1.5 хувиас их байгаа нь чанаржуулсан гангийн төрөлд орж байна. Ган бүтээцийг зэврэлтээс хамгаалах хар бүрхүүлд макро хэмжээгээр 33.64% Si, 4.20% Ti, 47.43% Fe, 7.46% Al -н агуулгатай бол саарал бүрхүүлд 93.46% Zn агуулгатай байна. Нэг болон хэд хэдэн элементүүдийн нэгдлүүд хайлш үүс-

Хүснэгт 1: Ган бүтээцүүдийн гангийн химийн найрлага, %

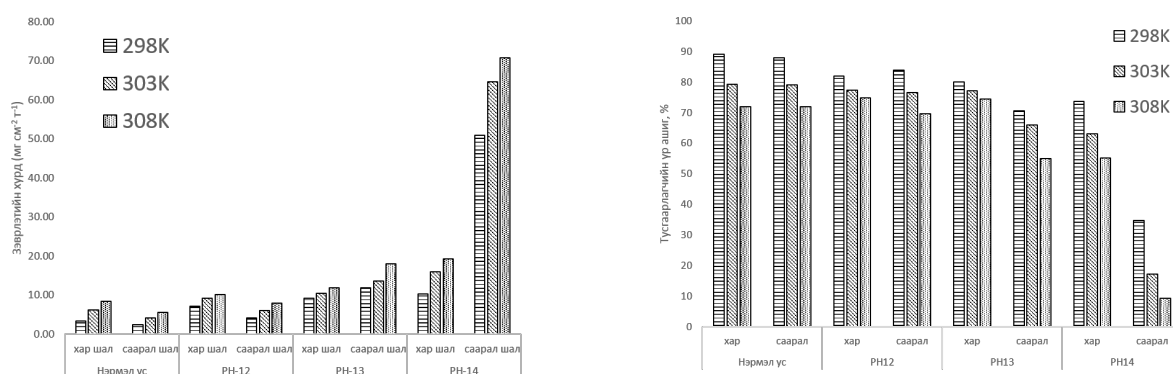
Гангийн төрөл	Багаж	Si	Mn	P	Mo	Cr	Ni	Cu	Ti	Zn	Fe
Хар	ICP-OES	0.22	0.56	0.02	0.01	0.13	0.08	0.28	0.005	0.02	97.49
Хар	XRF	-	0.60	-	0.01	0.13	-	0.29	0.006	0.02	97.55
Саарал	ICP-OES	0.18	0.34	0.014	-	0.04	0.02	0.01	0.002	0.27	98.67
Саарал	XRF	-	0.34	-	-	0.035	-	0.01	0.008	-	98.31

Хүснэгт 2: Ган бүтээцүүдий бүрхүүлийн химийн найрлага, %

Бүрхүүлийн төрөл	Si	Mn	P	Mo	Cr	Ni	Cu	Ti	Zn	Fe	Al
Хар	33.64	0.45	-	0.02	0.33	-	0.30	4.20	0.14	47.43	7.46
Саарал	3.46	-	0.03	-	-	0.02	0.02	-	93.48	0.70	2.21



Зураг 1: Ган бүтээцүүдийн зэврэлтээс хамгаалах хар болон саарал бүрхүүлийн зэврэлтийн хурд pH-ийн орчин температур, хугацаанаас хамаарсан



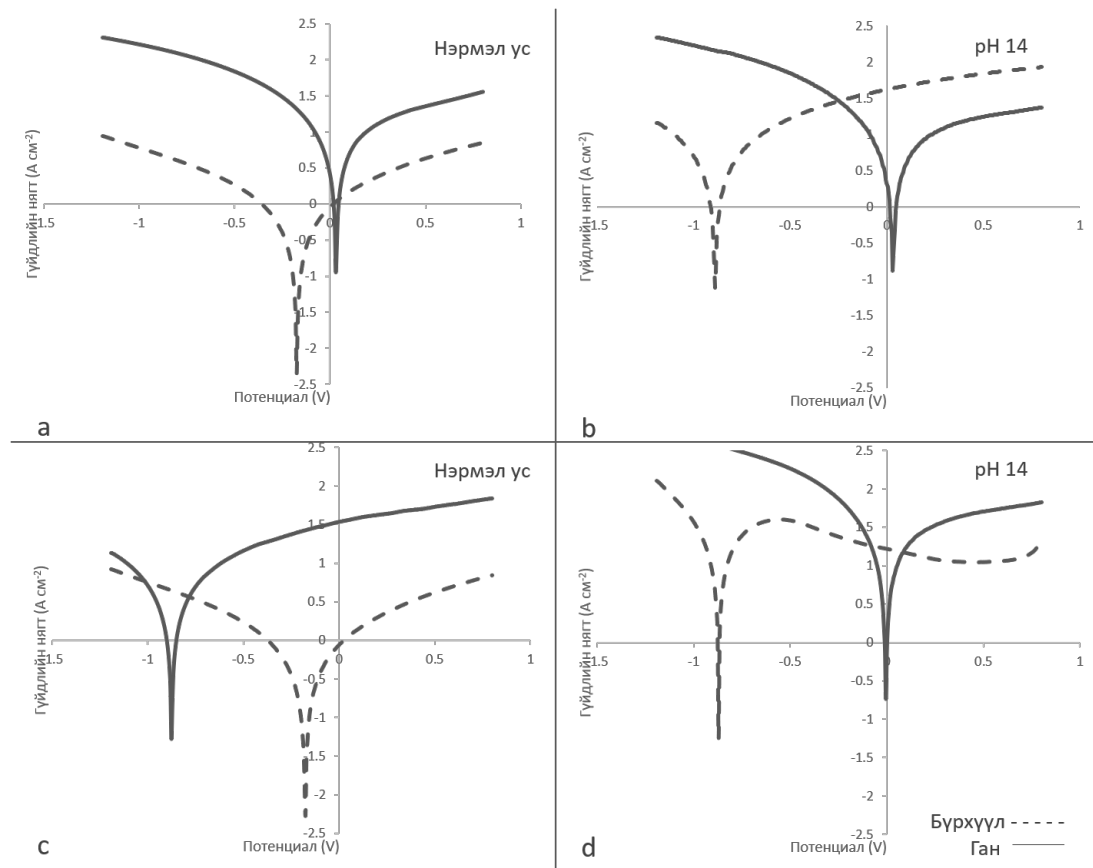
Зураг 2: Хар, саарал бүрхүүлийн pH-ийн орчин болон температурын хамаарал.

Зураг 3: Орчин болон температураас хамаарсан тусгаарлагчийн үр ашиг

гэх бөгөөд энэ бүрхүүлийг илүү нягт, хамгаалах чадварыг нэмэгдүүлж байдаг.

Зэврэлтээс хамгаалах хар болон саарал металл

бүрхүүлүүд нь хэвийн орчинд температур, чийг, хэт ягаан туяаны нөлөөнд зэврэлтэд илүү тэсвэртэй байна. Харин хэт шүлтлэг орчинд зэврэлтээс хам-



Зураг 4: Гүйдлийн нягт ($A\text{ см}^2$) потенциалын (V) хамаарлын муруй. Зэврэлтээс хамгаалах хар бүрхүүл (a.b), саарал бүрхүүл (c.d)

Хүснэгт 3: Саармаг болон хэт шүтлэг орчин дахь зэврэлтийн хурд, мкм/жсил

Орчин	Хар Ган	Бүрхүүл	Саарал Ган	Бүрхүүл
Нэрмэл ус	22.17	5.03	27.72	4.84
pH-14	43.56	36.41	53.03	93.82

гаалах хар бүрхүүл нь хэвийн орчноос 7 дахин, саарал бүрхүүл 19 дахин хурдтай зэврч байна. Хэт шүтлэг орчинд хар бүрхүүлтэй ган бүтээц нь илүү тохиромжтой болох нь харагдсан бөгөөд саарал бүрхүүлтэй ган бүтээц буюу цайр бүрхүүл нь хэт шүтлэг орчинд тэсвэргүй байна.

Талархал

Дээж бэлтгэлд тусалсан ШУТИС-МехТС-ийн Металл судлал эрдэм шинжилгээний төвийн хамт олонд болон МУИС-ийн ассистант ажиллуулах, тэтгэлэгт хамрагдсандаа талархаж байгаагаа илэрхийлье.

Зохиогчийн оролцоо

Хар болон саарал өнгөтэй ган бүтээцүүдийн гангийн болон бүрхүүлийн химийн найрлагыг тогтоох,

жингийн хорогдлын болон электрохимийн шугаман туйлшралын аргаар зэврэлтийн хурдыг тодорхойлох ажлыг хийж гүйцэтгэсэн болно. Т.Бүжинлхам 60%, Д.Эрдэнэчимэг 20%, Н.Эрдэнэпүрэв 20% -н оролцоотой байсан.

Санхүүжилт

МУИС-ийн ассистант ажиллуулах тэтгэлэг болон судалгааны төслүүдэд хамрагдан судалгааны ажлаа хийж гүйцэтгэж байна.

Ашиг сонирхлын зөрчилгүйн баталгаа

Ашиг сонирхолын зөрчилгүй болно

Ашигласан ном

- [1] Авдай. Монгол улсын орчин үеийн үйлдвэрлэлийн салбаруудын технологи. ШУТИС хэвлэх; 2011.
- [2] Adejo S, Yias S, Leke L, Onuche M, Atondo M, Uzah T. Corrosion studies of mild steel in sulphuric acid medium by acidimetric method.

- International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2019;8(1):50–61.
- [3] Vega J, Scheerer H, Andersohn G, Oechsner M. Experimental studies of the effect of Ti interlayers on the corrosion resistance of TiN PVD coatings by using electrochemical methods. Corrosion science. 2018;133:240–250.
- [4] Koch G, Varney J, Thompson N, Moghissi O, Gould M, Payer J. NACE Impact—International Measures of Prevention, Application and Economics of Corrosion Technologies Study. Houston: NACE International. 2016.
- [5] Schweitzer PA. Fundamentals of corrosion. CRC press; 2010.
- [6] Solomon MM, Umoren SA, Obot IB, Sorour AA, Gerengi H. Exploration of dextran for application as corrosion inhibitor for steel in strong acid environment: effect of molecular weight, modification, and temperature on efficiency. ACS applied materials & interfaces. 2018;10(33):28112–28129.
- [7] Liu Q, Huang X, Liang P. Preconcentration of Copper and Lead Using Deep Eutectic Solvent Modified Magnetic Nanoparticles and Determination by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry. Atomic Spectroscopy. 2020;41(1):36–42.
- [8] Guimarães D, Cleaver TM, Martin SF, Parsons PJ. Radioisotope-based XRF instrumentation for determination of lead in paint: an assessment of the current accuracy and reliability of portable analyzers used in New York State. Analytical Methods. 2015;7(1):366–374.
- [9] Boshkova N, Kamburova K, Tabakova N, Boshkov N, Radeva T. Application of Stabilized Polyaniline Microparticles for Better Protective Ability of Zinc Coatings. International Journal of Chemical and Molecular Engineering. 2018;12(4):191–194.
- [10] Khaled K, Amin MA. Corrosion monitoring of mild steel in sulphuric acid solutions in presence of some thiazole derivatives-molecular dynamics, chemical and electrochemical studies. Corrosion Science. 2009;51(9):1964–1975.
- [11] Pearson P, Cousins A. Assessment of corrosion in amine-based post-combustion capture of carbon dioxide systems. Absorption-based post-combustion capture of carbon dioxide. 2016:439–463.
- [12] Hu J, He S, Wang Z, Zhu J, Wei L, Chen Z. Stearic acid-coated superhydrophobic $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$ composite film on N80 steel for corrosion protection. Surface and Coatings Technology. 2019;359:47–54.

Хэрэглээний математик

ИРГЭДИЙН ШИЛЖИЛТ ХӨДӨЛГӨӨН, СОНГОГЧ-ДЫН ТООНЫ ШИНЖИЛГЭЭ

Б.Барсболд*

МУИС, ХШУИС, Хэрэглээний математикийн тэнхим

Received on 2021.04.15; Revised on 2021.06.23; Accepted on 2021.07.01

*Холбоо баригч зохиогч: barsbold@seas.num.edu.mn

Хураангуй

Энэ судалгааны хүрээнд сүүлийн 20 шахам жилийн аймаг хот, нийслэлийн хүн амын тооны статистик мэдээлэлд тулгуурлан шилжилт хөдөлгөөний матрицыг тооцоолж гаргаж авсан. Мөн оноос он дамжих зуурт насны бүлэг хоорондын шилжилтийг тооцох насжилтын магадлалын хүснэгтийг үнэлж тогтоосон. Эдгээр үр дүнд тулгуурлан 2019-2025 оны хүн амын тоог насны ангилал, засаг захиргааны харьяалаас хамааруулж тооцоолсон прогноз гаргав. 2020, 2021 он нь УИХ, ерөнхийлөгчийн сонгуулийн жил тул дээрх 2 тооцооллын үр дүнг нэгтгэж, аймаг, хотын хэмжээнд сонгогчдын тоог насны ангилалтайгаар тооцсон. Боловсруулсан аргачлалд тулгуурлаад сум, хороо дүүрэг, сонгуулийн тойрог зэрэг жижгэрүүлсэн болон бүс нутаг гэх мэт томсгосон аль ч ангиллаар хүн амын насны ангилалтай тоон үзүүлэлтийг тооцоолж, тодорхойлох бүрэн боломжтой. Зөвхөн сонгуулиар зогсохгүй урт хугацааны аливаа төлөвлөлтөд энэхүү боловсруулсан аргачлалыг нэвтрүүлэх бүрэн боломжтой.

Түлхүүр үг: шилжилтийн магадлал, шилжилтийн матриц, марковын хэлхээ

1 Удиртгал

Монгол улс нь өнөөг хүртэл нийт 10 удаа хүн амын тооллого явуулсан байна. Ингэхдээ хамгийн анхны тооллогыг ОХУ-ын эрдэмтэн И.М.Майский шинжилгээний анги 1918 онд явуулсан байдаг. Уг тооллогоор Монгол улс нь 647.5 мянган хүн амтай байсан. Үүнээс хойш 100 жилийн хугацаанд тав дахин өссөн үзүүлэлттэй байна. Тэгвэл жилээс жилд хүн амын тоо байршил, насны ангилал гэсэн хоёр үзүүлэлтээс хамаарч хүн амын тоо өсөж, буурч байна уу? гэдгийг урьдчилан таамаглаж, тооцооллын үр дүнг гаргаж авлаа. Энэхүү тоон баримтаа гарган авахдаа өмнөх онуудын тооллогын үр дүн дээр тулгуурлан шилжилтийн магадлалын матрицыг гаргах, үүнд шаардлагатай онолын мэдэгдэхүүн, арга аргачлалыг судалсан.

Хүн ам зүйн чиглэлээр манай судлаачид идэвхтэй судалгаа хийж байна. Тухайлбал энэ чиглэлд 2017 онд Б.Уранбилэг [4] ҮСХ (Үндэсний Статистикийн Хороо)-нд нэгэн тайлан гаргасан байна. Эдгээр судалгааны ажлууд хүн амын шилжилт хөдөлгөөнийг эдийн засаг, нийгмийн төрөл бүрийн хүчин зүйлээс хамааруулж тооцсон *статик* регрессийн шинжилгээ, үнэлгээг хөндсөн байдаг.

ҮСХ-ны болон бусад судалгаа тайланд *динамик* тооцоолол хийхдээ голчлон *энгийн өсөлтийн хувийг* ашигладаг. Ингэхдээ тодорхой нэг үзүүлэлтийг дангаар нь авч үзэхээс биш хэд хэдэн үзүүлэлт авч үзэж, тэдгээрийн хоорондын хамаарал нөлөө, динамик хувьсалыг тооцсон үр дүн үгүйлэгддэг.

Энэхүү судалгаанд насны ангилал, цаг хугацаа,

шилжилт хөдөлгөөнийг нэгтгэсэн *панел өгөгдлийн шинжилгээ* хийж байгаа нь онцлог. Насны ангилал, шилжилт хөдөлгөөний задаргаатай *динамик* загварын тэгшитгэл нь эдийн засгийн өсөлт, бүс нутгийн хөгжил болон төрөл бүрийн урт хугацааны төлөвлөлтийн загваруудад нэгэн бүрэлдэхүүн болж ордог.

А.Koslucher-ийн диссертац [6], Shuang Li нарын өгүүлэлд [7] насны ангилалтай динамик загварыг хүн ам зүйн судалгаанд ашиглаж буй гадаадын судлаачдын сүүлийн үеийн үр дүнгийн талаарх илүү дэлгэрэнгүй мэдээллийг дурджээ.

2 Марковын хэлхээний тухай үндсэн ойлголт

2.1 Стохастик процесс

Хугацаанаас хамаарч хувьсаж өөрчлөгддөг санамсаргүй хэмжигдэхүүнийг стохастик процесс гэнэ. Товчоор X_t гэж тэмдэглэнэ. Энд t индекс нь өгөгдсөн $T = [0; +\infty)$ интервалаар гүйнэ. X_t нь тухайн авч үзэж буй үзүүлэлтийн t агшны төлөв байдлыг илтгэнэ. Жишээ нь: X_t нь агуулахын үлдэгдлийг t агшны төлөв байдал байж болно. Хугацааг $t = 1, 2, 3, \dots$ гэх мэт натурал тоогоор тэмдэглэх бол X_t нь дискрет процесс болно. Харин хугацаа нь эерэг тоон интервал бол X_t нь тасралтгүй процесс болно. Харилцан үл хамаарах, ижил тархалттай.

2.2 Марковын хэлхээ

Хэрэв X_t стохастик процесс нь $t = 0, 1, 2, \dots$ болон $i, j, k_0, k_1, \dots, k_{(t-1)}$ бүрийн хувьд

$$\begin{aligned} P\{X_{(t+1)}=j|X_0=k_0, X_1=k_1, \dots, \\ X_{(t-1)}=k_{(t-1)}, X_t=i\} \\ =P\{X_{(t+1)}=j|X_t=i\} \end{aligned}$$

байвал түүнийг Марковын шинж чанартай гэнэ. Өөрөөр хэлбэл, Марковын чанартай процессын хувьд өгөгдсөн $X_t = i$ төлөвөөс дараагийн төлөвт шилжих магадлал нь t -ээс өмнө ямар төлөв байсан түүхээс үл хамаарна.

Марковын шинж чанартай $\{X_t\}$ стохастик процессыг Марковын хэлхээ [3], [1] гэнэ. Марковын хэлхээний хувьд $P\{X_{(t+1)}=j|X_t=i\}$ нөхцөлт магадлалыг (нэг алхамт) шилжилтийн магадлал гэнэ. Хэрэв $i, j, t = 1, 2, \dots$ бүрийн хувьд

$$P\{X_{t+1}=j|X_t=i\} = \dots = P\{X_1=j|X_0=i\}$$

нөхцөл биелэх бол шилжилтийн магадлалыг стационар (stationary) гэнэ. Иймээс стационар стохастик процессын хувьд шилжилтийн магадлал нь хугацаанаас хамаарч өөрчлөгдөхгүй гэсэн үг. Стационар, нэг алхамт шилжилтийн магадлал болон $i, j, n (n = 0, 1, 2, \dots), t = 0, 1, \dots$ бүрийн хувьд $P\{X_{t+n}=j|X_t=i\} = \dots = P\{X_n=j|X_0=i\}$ бүх нөхцөл биелэх бол ийм нөхцөлт магадлалыг n -алхамт шилжилтийн магадлал гэж нэрлэдэг. Цаашид стационар шилжилтийн магадлалыг хялбаршуулаад

$$\begin{aligned} p_{ij} &= P\{X_{t+1}=j|X_t=i\} \\ p_{ij}^{(n)} &= P\{X_{t+n}=j|X_t=i\} \end{aligned}$$

гэж тэмдэглэнэ. Мөн M -ээр нийт төлөвийн тоог тэмдэглэе. Эдгээр тэмдэглэгээний хүрээнд $n = 1$ байх үед $p_{ij}^{(1)} = p_{ij}$ байна. Цаашилбал $p_{ij}^{(n)}$ нь шилжилтийн магадлал байхын тулд бүх $i, j = 1, \dots, M, n = 0, 1, 2, \dots$ -ийн хувьд

$$p_{ij}^{(n)} \geq 0$$

ба

$$\sum_{j=0}^M p_{ij}^{(n)} = 1$$

гэсэн шинж чанарыг хангах ёстой. $p_{ij}^{(n)}$ магадлалуудыг нэгтгэвэл [1]

$$\begin{bmatrix} p_{00}^{(n)} & p_{01}^{(n)} & \dots & p_{0M}^{(n)} \\ p_{10}^{(n)} & p_{11}^{(n)} & \dots & p_{1M}^{(n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{M0}^{(n)} & p_{M1}^{(n)} & \dots & p_{MM}^{(n)} \end{bmatrix}$$

бөгөөд $P^{(n)}$ нь n алхамтай шилжилтийн магадлалын матриц болно. Энэ судалгааны ажлын хүрээнд цаашид зөвхөн төгсгөлөг тооны төлөвтэй, стационар шилжилтийн магадлалтай Марковын хэлхээг авч үзнэ. i бүрийн хувьд $P\{X_0=i\}$ анхны магадлал өгөгдсөн болог.

2.3 Чепмен-Колмогоровын тэгшитгэл

n -алхамт шилжилтийн магадлалыг $i = 0, 1, \dots, M, j = 0, 1, \dots, M, m = 1, 2, \dots, n-1, n = m+1, m+2, \dots$ бүрийн хувьд

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_{k=0}^M p_{ik}^{(m)} p_{kl}^{(n-m)}$$

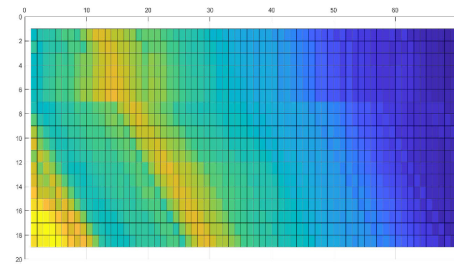
томъёогоор тооцно. Үүнийг Чепмен-Колмогоров (Chapman Kolmogorov)-ын тэгшитгэл нь гэнэ. Шилжилтийн магадлалын матрицын хувьд уг үр дүн

$$P^{(n)} = PP^{(n-1)} = P^{(n-1)}P = PP^{n-1} = P^{n-1}P = P^n$$

байна.

3 Хүн амын тоо толгойн өсөлтийн насны ангилалтай загвар

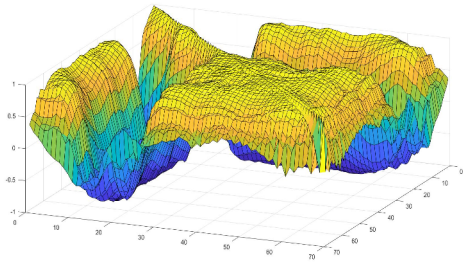
Тооцоонд 2000-2018 он дахь 0-70 насны хүн амын тоо бүхий түүврийг Үндэсний Статистикийн Хорооны [5] мэдээллээс авч ашиглав. 2000-2018 он дахь



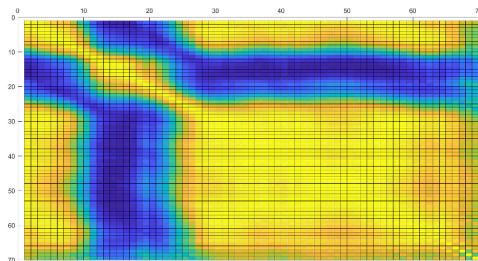
Зураг 1: 2000-2018 он дахь 20 жилийн хугацаан дахь 0-70 насны хүн амын тоо бүхий түүврийг дүрслэл. Уг зургийн мөр нь тухайн оны насны бүлэг тус бүр дэх хүн амын тоог илтгэнэ. Өнгө нь тод шараас гүн хөх рүү хүн амын тоо буурна.

0-70 насны хүн амын тоо бүхий түүврийн дүрслэлийг Зураг 1, 2-т харуулав. Зурагт хэвтээ тэнхлэг нь оны дугаар, босоо тэнхлэг нь насны бүлгийн дугаар болно. Тухайн бүлэг дэх хүн амын тоог өнгө нь ялгаж харуулж байна. Тод шараас гүн хөх рүү хүн амын тоо буурна. 2000-2018 он дахь 0-70 насны хүн амын тоо бүхий түүврийн насны бүлэг хоорондын корреляц хамаарлын гадаргуугийн дүрслэл. Корреляц хамаарал дээрээ тулгуурлаад насны бүлгүүдийг ангилж бүлэглэж болж байна. Дээрх зургаас харвал насны 0-10, 11-25, 26-70 бүлгүүд доторх хүн амын тоо нь хоорондын корреляц хамаарал өндөр байна. Дээрх ажиглалтад үндэслэн насны А, В, С бүлгийг Хүснэгт 1 дурдсан байдлаар үүсгэе. Корреляц хамаарлаас үзвэл дараах дүгнэлтүүд гарна.

- А, В, С бүлгийнхний тоо толгойн өөрийнхөө бүлэгт эерэг нөлөөтэй. Өөрөөр хэлбэл, айлд 0-10 насны хүүхэдтэй байвал 2 дахь хүүхэд нь энэ насных байх магадлал өндөр байна.



Зураг 2: 2000-2018 он дахь 20 жилийн хугацаан дахь 0-70 насны хүн амын тоо бүхий түүгэрийг гадаргуугийн дүрслэл.



- А бүлгийнхний тоо толгойд В бүлгийнхэн сөрөг нөлөөтэй байна. Өөрөөр хэлбэл, 11-25 насны хүүхэдтэй айлуудад дийлэнх хувь нь 0-10 насны хүүхэдгүй гэсэн үг.
- С бүлгийн хувьд А бүлэгт эерэг хамааралтай байна. Энэ бүлэг А бүлгийн тоо толгойтой үүсгэж буй корреляциас хамаарч 2 ангид хуваагдаж байна.

С-г 2 бүлэгт гэж хувааж үзье. С1 нь үржихүйн идэвхтэй анги болж байна. Энэ насны бүлгийн төрөлтийн хувь хэмжээ өндөр тул 0-10 насны бүлгийн тоо, толгойд эерэг нөлөөтэй гарсан. С2 нь ахмадын анги болж байна. Өвөө, эмээ нарын ач холбогдлыг илэрхийлж буй утгаараа С2 нь мөн А бүлгийн тоо, толгойд эерэг нөлөөтэй гарсан. Энэ ангилал нь цаашид загвар байгуулж, шилжилтийн магадлалын матрицын элементүүдийг үнэлсэн үнэлгээний үр дүн хир бодитой гарч буйд дүгнэлт өгөхөд тусгай.

Хүн амын өсөлтийн насны ангилалтай загварын параметрийн үнэлж, шилжилтийн магадлалын матриц байгуулахад ангилал тус бүрээс шинээр төрөгсдийн тоон мэдээлэл хэрэгтэй. ҮСХ-ын төрөлтийн мэдээлэл нь насны 15 ангилалтай байгаа. Иймд анхны 70 ангилалтай өгөгдлийг 15 ангилалд нэгтгэж тооцоолол хийе. Насны 15 ангилал хоорондын корреляцын матрицыг Хүснэгт 4-д харууллаа.

Уг матрицыг гадаргуу байдлаар дүрсэлбэл Зураг 3, 4 гарна. Насны 15 ангиллын хувьд хийгдсэн эдгээр зураг, дүрслэл нь өмнөх насны 70 ангилалтай өгөгдлийнхтэй ижил төстэй байна. Зургаас харвал бүлэг хоорондын корреляц хамаарлыг шууд тайлбарлаж болж байна. Жишээ нь 0-4 насны бүлгийнхний тоо нэг нэгэндээ харилцан эерэг, өндөр корреляц хамааралтай. Мөн энэ ангиллын хувьд түүний удаах 5-9 насны бүлгийнхний тоо, толгой эерэг, сайн корреляцтай. Харин 10-14, 15-19, 20-24 насны бүлгүүдийн

A	0-10
B	11-25
C	26-70

Хүснэгт 1: Насны ерөнхий бүлгүүд

C1	26-47
C2	48-70

Хүснэгт 2: С бүлэг шинээр А бүлгийн тоо толгойтой үүсгэж буй корреляциас хамаарч 2 ангид хуваагдаж байна.

0-4 нас	5-9 нас	10-14 нас	15-19 нас
20-24 нас	25-29 нас	30-34 нас	35-39 нас
40-44 нас	45-49 нас	50-54 нас	55-59 нас
60-64 нас	65-69 нас	70+ нас	

Хүснэгт 3: Төрөлтийн тооноос хамааруулсан насны 15 ангилал

тоо, толгой 0-4 насны бүлгийнхтэй сөрөг корреляц хамааралтай байна. Анхны түүврийн хувьд мөн ийм үр дүн гарсан.

3.1 Шилжилтийн магадлалын матрицын үнэлгээ

Дээрх ажиглалтад тулгуурлаж шилжилтийн магадлалын матрицыг үнэлэх зорилгоор дараах шинжилгээг хийе. $x_j(t)$ нь t агшинд насны j – р ангилалд буй хүн амын тоо болог. Тэгвэл

$x_{j+1}(t) - x_j(t)$ нь t агшны хүн амын тооны ангилал хоорондын зөрүү,

$\frac{x_{j+1}(t) - x_j(t)}{x_j(t)}$ нь t агшны хүн амын тооны ангилал хоорондын зөрөөний хувь хэмжээ,

$x_j(t+1) - x_j(t)$ нь j – р ангиллын хүн амын тооны жилийн өөрчлөлт,

$\frac{x_j(t+1) - x_j(t)}{x_j(t)}$ нь j – р ангиллын хүн амын тооны жилийн өөрчлөлтийн хувь хэмжээ тус тус болно. Өгөгдсөн α ($\alpha \geq 0$) тооны хувьд

$$L(\alpha) = \{(t, j) : x_j(t) = \alpha, t \in Y, j \in N, \alpha \in \mathbb{R}, \alpha \geq 0\}$$

олонлогийн авч үзье. Хүн амын тооны өсөлтийг насны ангилалтай холбосон зүй тогтлыг илрүүлэхийн тулд дээрх олонлогийг шулуунаар үнэлж болно гэсэн таамаглал дэвшүүлье. Уг таамаглалыг шалгахын тулд

$$c_j(t) = \frac{x_j(t+1) - x_j(t)}{x_{j-1}(t) - x_j(t)}$$

харьцаа авч үзье. Үнэндээ энэ нь t агшинд j –р ангилалд буй хүн амын тооны жилийн болон ангилал хоорондын өөрчлөлтүүдийн харьцаа болно. Уг харьцаа нь өөрчлөлтийн тоо хэмжээнийхээс гадна хувь хэмжээний харьцаа байж бас чадна. $t \in Y, j \in N$ бүрийн хувьд дээрх илэрхийллийн баруун гар талыг

Нөгөө талаас $\tilde{L}$ нь шилжилтийн магадлалын матриц бөгөөд төрөлтийг оролцуулж тооцоогүй үр дүн юм. Он солигдоход 0-4 настнуудын 88.18% нь энэ насны ангилалдаа үлддэг, үлдсэн 11.82% нь 5-н насанд хүрдэг. Үүн дээр шинээр төрөгсдийн тоог нэмж тооцож байж 0-4 настны ангиллын хүн амын тооны өсөлтийг гаргана.

3.2 Леслийн матриц

Насны ангилал бүр дэх төрөлтийн хувийг тооцоход Үндэсний Статистикийн Хорооны [5] 2000-2018 он хүртэлх шинээр төрсөн эхчүүдийн тоон өгөгдлийг ашигласан. Нэг эхээс нэг хүүхэд төрнө гэж үзсэн. Насны бүлэг бүрээс төрөх хүүхдийн тоог 19-н жилийн дундаж үзүүлэлтээр авсан. Үр дүнг Хүснэгт 5-д харууллаа. Энэ тооцоонд стандарт хазайлтыг

15-19 нас	0.013287
20-24 нас	0.077102
25-29 нас	0.081712
30-34 нас	0.058819
35-39 нас	0.034606
40-44 нас	0.009915
45-49 нас	0.001541

Хүснэгт 5: Насны бүлэг бүрээс төрөх хүүхдийн тоо (хувиар)

түүврийн ковариацийн матрицын хамгийн их хувийн утгаас тооцсон. Түүврийн ковариацийн матрицын хувийн утга

$$\lambda = (1.42E - 06, 9.05E - 06, 2.1E - 05, 2.96E - 05, 0.000166, 0.000264, 0.005745)$$

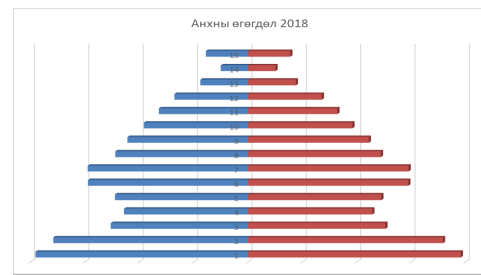
гэж тооцоогоор олдсон. Эндээс хамгийн их утга нь 0.005745 байна. Дээрх хувийн утгуудад харгалзах хувийн векторуудыг Хүснэгт 6-д үзүүлээ.

Эцэст нь төрөлтийг оролцуулж тооцсон хүн амын өсөлтийн насны ангилалтай загвар

$$X(t+1) = LX(t)$$

тэгшитгэлийг хангана. Энд L матриц Хүснэгт 7-д өгөгдөнө. Хүн ам зүйд үүнийг Леслийн матриц гэдэг. L матрицад төрөлтийн мөрийг эс тооцвол ШММ болно.

Хүн амын тоо, толгойн өсөлтийн дээрх загварт тулгуурлаад 2019 – 2025 оны хүн амын тоог насны ангилалтайгаар урьдчилан тооцоолбол Хүснэгт 10-д буй үр дүн гарав. Тооцооллын үр дүнд сууриалаад 2018, 2025 онуудын хүн амын суваргыг Зураг 5-7 дүрсэлж үзүүлээ. 7 жилийн хугацаанд уг суваргын хэлбэрт шилжилт өөрчлөлт үл ялиг байна. Суваргын суурь нь өргөн хэлбэрээ хадгалаад 2 байснаа 3 болж шилжжээ. Урт хугацаанд хүн амын суварга засрах хандлагатай байна. Тухайлбал тооцооллыг 2035 он хүртэл үргэлжлүүлэхэд суурь бэхжиж байна. Мэдээж энэ тооцоо нь хүн амын өнөөгийн үзүүлэлтүүд хадгалагдаж байх нөхцөлд биелнэ.



Зураг 5: 2018 оны хүн амын насны суварга



Зураг 6: 2025 оны урьдчилан таамагласан хүн ам, насны суварга



Зураг 7: 2035 оны урьдчилан таамагласан хүн ам, насны суварга

4 Засаг захиргааны харьяаллаас хамаарсан хүн амын шилжилт хөдөлгөөний загвар

Хүн амын аймаг хоорондын шилжилт хөдөлгөөний тоон өгөгдлийн талаарх Үндэсний Статистикийн Хорооны мэдээллийг Зураг 8-д дүрслэв. Зургаас Монголын хүн ам Улаанбаатар хотод бусад аймагтай харьцуулашгүй өндөр утгатай, өсөлт ихтэй байгаа нь харагдаж байна. Шилжилтийн магадлалын матрицыг засаг захиргааны харьяаллаас хамааруулж үнэлгээ хийв.

$$V = \begin{pmatrix} 0.0840 & 0.6090 & -0.4590 & -0.0238 & 0.5149 & -0.3674 & -0.3674 \\ -0.0115 & -0.3233 & 0.3672 & 0.0070 & 0.0773 & -0.7870 & -0.3673 \\ -0.0148 & 0.3585 & -0.1870 & -0.1723 & -0.7532 & -0.0851 & -0.4815 \\ 0.0827 & -0.1331 & -0.1388 & 0.7308 & 0.1367 & 0.2756 & -0.5720 \\ 0.0424 & -0.2060 & -0.0063 & -0.6554 & 0.3493 & 0.3554 & -0.5269 \\ -0.3939 & 0.5430 & 0.6885 & 0.0765 & 0.1417 & 0.1801 & -0.1319 \\ 0.9103 & 0.9103 & 0.3548 & 0.0032 & -0.0262 & 0.0589 & 0.0164 \end{pmatrix}$$

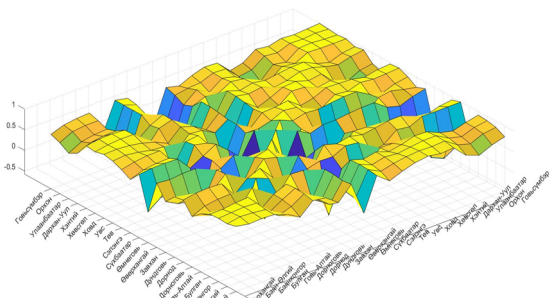
Хүснэгт 6: Хамгийн их утгад харгалзах хувийн вектор дээрх хүснэгтийн сүүлийн баганын тоонууд болно. Стандарт хазайлт нь хамгийн ихдээ 0.0758 байна.

Бүлэг	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70+
0-4	0.8818	0	0	0.0133	0.0771	0.0817	0.0588	0.0346	0.0099	0.0015	0	0	0	0	0
5-9	0.1182	0.8818	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-14	0	0.1182	0.8818	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-19	0	0	0.1182	0.8818	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-24	0	0	0	0	0.8818	0.8818	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25-29	0	0	0	0	0.1182	0.1182	0.8818	0.8818	0.8818	0	0	0	0	0	0
30-34	0	0	0	0	0	0	0.1182	0.1182	0.1182	0.8818	0	0	0	0	0
35-39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8818	0	0	0	0	0
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1182	0.8818	0	0	0	0
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1182	0.8818	0.8818	0	0
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1182	0.1182	0.8818	0
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1182	0.8818
70+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1182	0.8818

Хүснэгт 7: Леслийн матриц

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0-4	419190	443581.6	464769.5	483177.4	499187.3	513143	525354.2
5-9	362249.6	368979.9	377797.8	388077.9	399318.7	411123.1	423181.9
10-14	265057.2	276545.4	287471.1	298147.7	308777.5	319479.5	330311.7
15-19	231256.1	235251.4	240132.3	245727.8	251923.8	258643.9	265834.7
20-24	243012.5	241622.9	240869.8	240782.6	241367.1	242614.9	244509.6
25-29	288689.8	283290.7	278365.6	273933.6	270015.1	266628.9	263790.5
30-34	295033.2	294283.4	292984.1	291256.2	289208.7	286940	284539.2
35-39	250238.2	255533	260113.3	263998.6	267220.4	269819.5	271843.1
40-44	224551.2	227587.4	230890.5	234344.7	237849.8	241321.4	244689.8
45-49	195341.8	198794.4	202197.7	205589.2	208988.1	212399.5	215818.1
50-54	167472.3	170766.5	174079.4	177403	180734.6	184074.1	187422.2
55-59	138931	142304.6	145668.8	149026.9	152381	155732.4	159082.4
60-64	93434.29	98812	103952.8	108883.7	113628.6	118209.1	122644.4
65-69	54737.49	59311.45	63980.42	68705.16	73454.25	78202.86	82931.6
70+	76593.23	76169.81	76325.14	77018.36	78207.66	79851.26	81908.23
нийт	3305788	3372834	3439598	3506073	3572263	3638184	3703862

Хүснэгт 8: 2019 – 2025 оны хүн амын тоог
насны ангилалтай таамагласан үр дүн



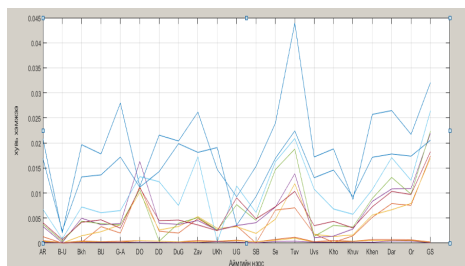
Зураг 9: Шилжин суурьшлыг илэрхийлэх шилжилтийн магадлалын матрицын гадаргуу дүрслэл

4.1 Аймаг, хот хоорондын шилжилт хөдөлгөөний ерөнхий төлөв

Аймаг хотуудын хувьд шилжилт хөдөлгөөний ерөнхий төлөвийг Зураг 10-14-д үзүүлэв. Монгол улсын 21 аймгаас шилжилт хөдөлгөөн ихтэй дараах таван аймгийг сонгож эдгээр зургийн тусламжтай шилжилт хөдөлгөөнд нөлөөлж болохуйц хүчин зүйлсийг тайлбарлая.

1. Улаанбаатар

Зураг 10-д орон нутгаас Улаанбаатар руу шил-

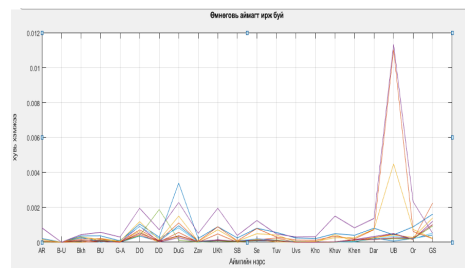


Зураг 10: Улаанбаатарт шилжин ирэгсдийн тоонд аймаг, хотын эзлэх хувь

жин очиж байгаа хүмүүсийн тоонд аймаг, хотуудын эзлэх хувь хэмжээг үзүүлжээ. Зургаас харвал Төв аймгаас УБ хот руу шилжих хөдөлгөөн хамгийн өндөр байна. Мөн жилээс жилд энэ дүр зураг тогтвортой хадгалагдаж байна. Эсрэгээрээ Баян-Өлгий, Увс, Ховд, Хөвсгөл зэрэг аймгуудаас хот руу шилжих хөдөлгөөн тогтмол бага байна. Энд газар зүйн байршил, хоорондын зайтай их нөлөөтэй болох нь харагдаж байна.

2. Өмнөговь

Өмнөговь аймаг нь сүүлийн жилүүдэд хүн амын шилжилт хөдөлгөөнийг маш ихээр татаж байгаа аймаг билээ. Учир нь ашигт малтмалуудын томоохон орд олборлодог уул уурхай болох Оюутолгой, Тавантолгой, Эрдэнэс Таван Толгой, Энержи Ресурс, Мөнх Ноён Суварга, Дун Юань, Олон Овоот Гоулд, Зөв Зүг, МАК, Чинхуа-Мак-Нарийн Сухайт, Саус Гоби Сэндс, Өсөх Зоос, Терра Энержи, Жавхлант Орд гэх нийт 14 нь компани Өмнөговь аймгийн нү-

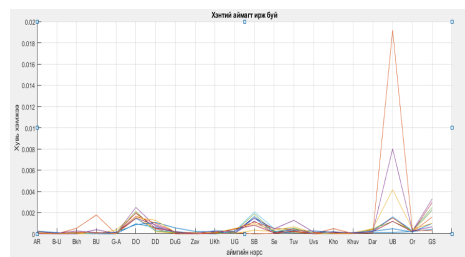


Зураг 11: Өмнөговьд шилжин ирэгсдийн тоонд аймаг, хотын эзлэх хувь

таг дэвсгэрт байрлан үйл ажиллагаа явуулж байна. Энэ нь хүн ам олноор шилжин суурьших шалтгаан болж байна. Жишээлбэл УБ хот болон хил залгаа Дорноговь, Өвөрхангай, Дундговь зэрэг аймагаас хүн амын шилжилт хөдөлгөөн ихэссэн байгаа нь тооцооллын үр дүн, зургаас тодорхой харагдаж байна.

3. Хэнтий

Хэнтий аймгийн хувьд уулархаг зүүн бүс нутаг

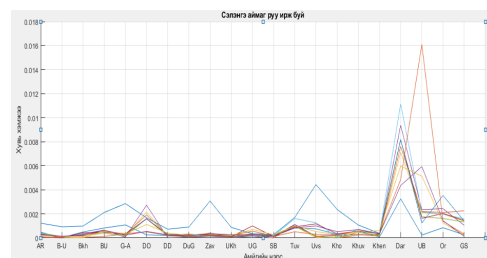


Зураг 12: Хэнтийд шилжин ирэгсдийн тоонд аймаг, хотын эзлэх хувь

ба хил залгаа аймаг болох Дорноговь, Сүхбаатар, УБ хот, Дорнод зэрэг аймгаас шилжилт хөдөлгөөн их байгаа нь Зураг 12-ээс харагдаж байна. Газарзүйн байршлаас хамаарч УБ хот луу ойртох чиглэлд шилжилт хөдөлгөөн идэвхтэй байна. Харин баруун бүс, хангайн бүсийн аймгуудаас Хэнтийг чиглэсэн шилжилт хөдөлгөөн бараг хийгдээгүй гэж хэлж болохоор байна.

4. Сэлэнгэ

Сэлэнгэ нь газар тариалан, төмрийн хүдэр олбор-



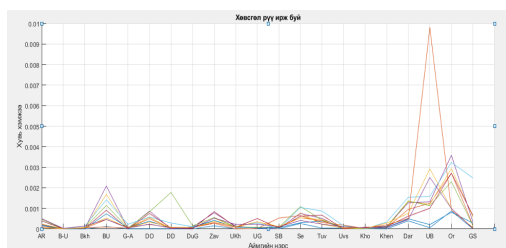
Зураг 13: Сэлэнгэд шилжин ирэгсдийн тоонд аймаг, хотын эзлэх хувь

лолт, хилийн боомт хөгжсөн аймаг. Тэгвэл энэ аймаг руу Дархан-Уул аймгаас тогтмол бусад аймгуудтай харьцуулахад хамгийн их хүн шилжилт хөдөлгөөнтэй байна. Үүний дараагаар Орхон, Төв зэрэг

аймгуудаас ирэх шилжилт хөдөлгөөн бусад аймгаас харьцангуй их байна. Энэ нь эхлээд хил залгаа байгаа аймгууд дараагаар шууд хар зам болон төмөр замаар холбогдсон нь зорчиход илүү хялбар байгаа нь нөлөөлдөг гэж үзэж байна. Бусад аймгийн нэгэн адил хол байршилтай аймгуудаас ирэх шилжилт хөдөлгөөн маш байна.

5. Хөвсгөл

Монгол улсын аялал жуучлалын цөм болох Хөвс-



Зураг 14: Хөвсгөлд шилжин ирэгсдийн тоонд аймаг, хотын эзлэх хувь

гөл аймаг нь Орхон, Сэлэнгэ, Завхан, Архангай, Булган зэрэг хил залгаа хар замаар холбогдсон байгаа нь шилжилт хөдөлгөөнд томоохон нөлөө үзүүлж байж болох юм. Нөгөө талаас Ховд, Сүхбаатар, Увс, Хэнтий зэрэг аймгууд руу шилжилт хөдөлгөөн муу байгаа нь алслагдсан байдалтай холбоотой.

Дээрх бүх үр дүнгээс харвал тухайн аймагт ирэх шилжилт хөдөлгөөнд хил залгаа аймгууд өндөр хувь эзэлж байгаа нь харагдаж байна. Үүнийг өөрөөр бүсчлэлтэй холбож тайлбарлаж болох юм. Тухайн бүс дотроо уул уурхай, үйлдвэр, бэлчээрийн даац, аялал жуучлал, байгалийн орчны шинжээс хамаараад хөгжил илүү, томоохон хот сууринд илүү дөт аймаг, хот луу хүн амын шилжилт хөдөлгөөн их байна. Энд нэг зүйлийг онцлъё. Дээрх зураг бүрт УБ хотоос шилжин ирэгсэд тооны хувьд хамгийн өндөр үзүүлэлттэй харагдаж байна. Гэвч энэ нь бусад аймгуудтай хүн амын тоонд эзлэх хувиар тооцож харьцуулахад тийм ч өндөр үзүүлэлт биш байсан.

4.2 Аймаг, хотын хүн амын тоон прогноз

Тооцооллын дүнд олдсон шилжилтийн магадлалын матрицын тусламжтай хүн амын хэтийн тоог бүс нутгаас хамааруулж таамаглаж гаргасан. Хүснэгт 10-д 2019-2025 он хүртэлх нийт 7 жилийн урьдчилан таамагласан хүн амын тоог харууллаа. Шилжилт хөдөлгөөн идэвхтэй байгаа ч хүн амын тоо аймаг тус бүрээр өссөн байна.

Аймаг	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Архангай	102392.4473	108004.8149	113560.8605	119064.18	124518.227	129926.3	135291.55
Баян-өлгий	107697.2672	110305.9874	112916.4075	115528.77	118143.296	120760.22	123379.753
Баянхонгор	93502.30753	98599.16876	103649.817	108657.35	113624.731	118554.81	123450.295
Булган	66604.34457	70968.74842	75309.40707	79628.426	83927.8233	88209.536	92475.4226
Говь-Алтай	64324.98696	70111.97988	75836.22574	81501.79	87112.5648	92672.277	98184.4939
Дорноговь	72436.22748	75568.06073	78700.61282	81834.952	84972.106	88113.06	91258.7606
Дорнод	86551.85222	92055.98355	97500.30394	102888.56	108224.329	113511.05	118752.015
Дундговь	50967.79845	55273.7684	59548.62687	63794.976	68015.3096	72212.015	76387.3814
Завхан	79110.47931	85364.58456	91545.94178	97658.98	103707.94	109696.88	115629.694
Өвөрхангай	122049.1604	126943.707	131798.4511	136616.09	141399.195	146150.25	150871.625
Өмнөговь	69564.21626	72399.88626	75230.1889	78056.256	80879.1731	83699.984	86519.6909
Сүхбаатар	66178.51429	70005.26928	73804.60934	77578.78	81329.9341	85060.132	88771.3515
Сэлэнгэ	117636.0294	123786.8946	129860.4172	135861.21	141793.702	147662.12	153470.509
Төв	104924.3017	114012.4892	122935.7305	131702.8	140322.076	148801.6	157149.047
Увс	89408.92715	94472.57269	99502.48862	104501.12	109470.821	114413.84	119332.333
Ховд	93788.93975	99195.61769	104553.3402	109865.27	115134.453	120363.78	125556.052
Хөвсгөл	138003.9771	142027.3773	146035.7523	150030.59	154013.329	157985.34	161947.937
Хэнтий	82916.06604	88726.31041	94463.36222	100131.65	105735.424	111278.74	116765.482
Дархан-Уул	112784.9207	119538.2895	126189.1594	132743.32	139206.318	145583.45	151879.795
Улаанбаатар	1476358.672	1462587.891	1450010.882	1438578.2	1428242.62	1418959	1410684.4
Орхон	112041.1773	118008.4159	123893.839	129702.35	135438.629	141107.17	146712.255
Говь-Сүмбэр	23238.76827	28608.50846	33909.74407	39146.804	44323.8326	49444.795	54513.4895
Нийт	3332481.381	3426566.326	3520756.168	3615072.4	3709535.83	3804166.4	3898983.33

Хүснэгт 10: 2019-2025 он хүртэлх аймаг хотын хууч амын тоон прогноз

5 Нийт сонгогчдын тоог насны бүлэг, нутаг дэвсгэрийн харьяаллаар тооцоолсон үр дүн

Дээр бид хүн амын тоо, толгойн өсөлтийг загварыг насны ангилалтай болон нутаг дэвсгэрийн харьяалалтай гэсэн 2 аргачлалаар тооцож гаргасан. Энэ үр дүнгийн практик ач холбогдлыг тодруулах үүднээс Монгол улсын нийт сонгогчдын тоог насны бүлэг, нутаг дэвсгэрийн харьяаллаар 2020 оны хувьд тооцож гаргалаа. Тооцооллын аргачлалыг товчхон тайлбарлая. Дараах тэмдэглэгээнүүдийг оруулъя. Үүнд:

d нь аймаг хотуудын сонгогчдын тооны нийт хүн амд эзлэх хувь хэмжээг илэрхийлсэн 22×1 хэмжээтэй вектор, V нь нийт сонгогчдын тоог насны бүлэг, нутаг дэвсгэрийн харьяаллаар ангилсан матриц, u нь насны 12 ангилал дахь Монгол Улсын сонгогчдын тооны вектор тус тус байг. Тэгвэл

$$V = d \otimes u^T$$

адилтгал биелнэ. Иймд V нь 22×12 хэмжээтэй матриц байна. V матриц мөрөөр

$$V = \begin{pmatrix} V_{AR} \\ V_{BO} \\ \vdots \\ V_{UB} \\ V_{OR} \\ V_{GS} \end{pmatrix}$$

байдлаар задарна. Насны ангилал тус бүр дэх сонгогчдын тоог 2020 оны хувьд тооцоолбол

$$u = \begin{pmatrix} 53994.2 \\ 241623.0 \\ 283291.0 \\ 294283.0 \\ 255533.0 \\ 227587.0 \\ 198794.0 \\ 170766.0 \\ 142305.0 \\ 98812.0 \\ 59311.5 \\ 76169.8 \end{pmatrix}$$

гэж гарна. Аймаг хотуудын сонгогчдын тооны нийт хүн амд эзлэх хувь хэмжээг 2020 оны хувьд тооцвол

$$d = \begin{pmatrix} 3.15\% \\ 3.21\% \\ 2.87\% \\ 2.07\% \\ 2.04\% \\ 2.20\% \\ 2.68\% \\ 1.61\% \\ 2.49\% \\ 3.70\% \\ 2.11\% \\ 2.04\% \\ 3.61\% \\ 3.32\% \\ 2.75\% \\ 2.89\% \\ 4.14\% \\ 2.58\% \\ 3.48\% \\ 42.6\% \\ 3.44\% \\ 0.83\% \end{pmatrix}$$

гэж олдоно. Дээрх үр дүнд тулгуурлан $V = d \otimes u^T$ томъёонд орлуулга хийж тооцоолол хийлээ. Аймагуудын сонгогчдын тоог насны бүлгээр тооцсон үр дүнг Хүснэгт 11 үзүүлээ.

Аймаг	18-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70+
Архангай	1701.9	7615.9	8929.3	9275.8	8054.4	7173.5	6266.0	5382.5	4485.4	3114.5	1869.5	2400.9
Баян-өлгий	1738.2	7778.2	9119.5	9473.4	8226.0	7326.4	6399.5	5497.2	4581.0	3180.9	1909.3	2432.0
Баянхонгор	1553.7	6952.7	8151.7	8468.0	7352.9	6548.8	5720.3	4913.8	4094.8	2843.3	1706.7	2191.8
Булган	1118.3	5004.3	5867.3	6095.0	5292.4	4713.6	4117.3	3536.8	2947.3	2046.5	1228.4	1577.6
Говь-Алтай	1104.8	4943.9	5796.5	6021.4	5228.5	4656.7	4067.6	3494.1	2911.7	2021.8	1213.6	1558.5
Дорноговь	1190.8	5328.7	6247.6	6490.0	5635.4	5019.1	4384.1	3766.0	3138.3	2179.2	1308.0	1679.8
Дорнод	1450.6	6491.3	7610.7	7906.0	6865.0	6114.2	5340.7	4587.7	3823.1	2654.6	1593.4	2046.3
Дундговь	871.0	3897.6	4569.7	4747.1	4122.0	3671.2	3206.7	2754.6	2295.5	1593.9	956.8	1228.7
Завхан	1345.1	6019.4	7057.5	7331.4	6366.0	5669.8	4952.5	4254.2	3545.2	2461.7	1477.6	1897.6
Өвөрхангай	2000.3	8951.4	10495.0	10902.3	9466.7	8431.4	7364.7	6326.4	5271.9	3660.7	2197.3	2821.9
Өмнөговь	1140.8	5105.2	5985.6	6217.9	5399.2	4808.7	4200.3	3608.1	3006.8	2087.8	1253.2	1609.4
Сүхбаатар	1103.1	4936.4	5787.7	6012.3	5220.6	4649.6	4061.4	3488.8	2907.3	2018.7	1211.7	1556.2
Сэлэнгэ	1950.6	8728.8	10234.1	10631.2	9231.3	8221.7	7181.6	6169.0	5140.8	3569.6	2142.7	2751.7
Төв	1796.6	8039.5	9426.0	9791.7	8502.4	7572.5	6614.5	5681.9	4734.9	3287.8	1973.5	2534.4
Увс	1488.7	6661.7	7810.5	8113.6	7045.2	6274.7	5480.9	4708.1	3923.4	2724.3	1635.3	2100.0
Ховд	1563.1	6994.7	8201.0	8519.2	7397.4	6588.4	5754.9	4943.5	4119.6	2860.5	1717.0	2205.0
Хөвсгөл	2238.0	10015.0	11742.1	12197.7	10591.6	9433.2	8239.8	7078.1	5898.4	4095.6	2458.4	3157.2
Хэнтий	1398.1	6256.5	7335.4	7620.1	6616.7	5893.1	5147.5	4421.8	3684.8	2558.6	1535.8	1972.3
Дархан-Уул	1883.6	8429.2	9882.8	10266.3	8914.5	7939.6	6935.1	5957.3	4964.4	3447.1	2069.1	2657.2
Улаанбаатар	23046.8	103133.8	120919.2	125611.3	109071.1	97142.9	84852.9	72889.6	60741.0	42176.7	25316.4	32512.2
Орхон	1859.5	8321.3	9756.3	10134.9	8800.4	7837.9	6846.3	5881.1	4900.9	3403.0	2042.6	2623.2
Говь-Сүмбэр	450.8	2017.3	2365.2	2457.0	2133.5	1900.1	1659.7	1425.7	1188.1	825.0	495.2	635.9
Нийт	53994.2	241622.9	283290.7	294283.4	255533.0	227587.4	198794.4	170766.5	142304.6	98812.0	59311.5	76169.8

Хүснэгт 11: Сонгоогчдын тоог насны бүлгээр нь тооцсон үр дүн

6 Дүгнэлт

Энэхүү судалгааны хүрээнд хүн амын шилжилт, насжилтын магадлалын матрицын тусламжтай нас болон засаг захиргааны харьяаллаас хамаарсан хүн амын тоон прогноз, тооцоо хийх зорилго тавьсан. Холбогдох өгөгдөл дээр тулгуурлан 2 төрлийн шилжилтийн магадлалын матрицыг үнэлж тогтоолоо. Хүн амын тоон прогноз, математик загвар нь сонгуулиас гадна сургууль, цэцэрлэгийн тоо, автозамын төлөвлөлт, хүн амын хэт төвлөрлийг сааруулах гэх мэт нийгмийн тулгамдсан асуудлыг шийдвэрлэхэд зайлшгүй шаардлагатай. Эдийн засгийн өсөлтийн онол, бүс нутгийн хөгжил, төлөвлөлттэй холбогдох бүхий л тооцоонд хүн амзүйн загвар боловсруулах, хэтийн төлөвийг тодорхойлох шаардлага тулгардаг. Үүний наад захын жишээ нь үүрэн холбоо, тээвэр, даатгал мэт бизнесийн салбарын урт хугацааны төлөвлөлтийн асуудлуудыг дурдахад хангалттай. Энэ судалгааны хүрээнд боловсруулсан үр дүн, аргачлалыг ийм зорилгоор ашиглах бүрэн боломжтой. Тооцоолсон үр дүнг тоймлон жагсаавал:

- насны ангилалтай ШММ-г ашиглаад дараах онуудын хүн амын тооны хэтийн тооцоолол,
- насны бүлэг хоорондын шилжилтийг илэрхийлсэн ШММ-ийн үнэлгээ,
- мөн адил насжилтын ШММ-г ашиглаад тухайн насны бүлгийн дараагийн онуудын хэтийн тооцоолол,
- нэг насны бүлгээс нөгөө насны бүлэг рүү эндэхгүй шилжих магадлалын тооцоолол,
- аймгуудын цэвэр шилжилтийг илэрхийлсэн ШММ-ын тооцоолол,
- аймаг хоорондын шилжилт хөдөлгөөний дотоод шалтгааныг тодорхойлох,
- Монгол Улсын 2020 оны сонгогчдын тооны харьяалал, насны бүлгээр нь хийсэн тооцоолол

тус тус болно.

Ашиг сонирхлын баталгаа

Ашиг сонирхлын зөрчилгүй болно.

Ашигласан ном

- [1] Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman, *Introduction to operations research*
- [2] Dani Gamerman, Hedibert Freitas Lopes, *Markov Chain Monte Carlo: Stochastic Simulation for Bayesian Inference*
- [3] Зорин А.В., Зорин В.А., Пройдакова Е.В., Федоткин М.А. *Введение в общие цепи Маркова*

- [4] Б.Уранбилэг, *Хүн амын өсөлт, өөрчлөлт, хандлага*, УЦХ, 2017
- [5] *УЦХ-ны мэдээ* www.1212.mn
- [6] Amber Koslucher, *Life Table and Population Projection Using the Leslie Matrix*, Graduate School of University of Minnesota, July, 2016
- [7] Shuang Li, Zewei Yang, Hongsheng Li, Guangwen Shu, *Projection of population structure in China using least squares support vector machine in conjunction with a Leslie matrix model*, <https://doi.org/10.1002/for.2486>, Journal of Forecasting, 2017

7 Хавсралт

7.1 Аймгийн хоорондын шилжилт хөдөлгөөнийг тооцсон код

```

clear all;
close all;
clc;

a(:, :, 1)=xlsread('hvnam kod.xlsx', '2005.h', 'B2:W23');
a(:, :, 2)=xlsread('hvnam kod.xlsx', '2006.h', 'B2:W23');
a(:, :, 3)=xlsread('hvnam kod.xlsx', '2007.h', 'B2:W23');
a(:, :, 4)=xlsread('hvnam kod.xlsx', '2008.h', 'B2:W23');
a(:, :, 5)=xlsread('hvnam kod.xlsx', '2009.h', 'B2:W23');
a(:, :, 6)=xlsread('hvnam kod.xlsx', '2010.h', 'B2:W23');
a(:, :, 7)=xlsread('hvnam kod.xlsx', '2011.h', 'B2:W23');
a(:, :, 8)=xlsread('hvnam kod.xlsx', '2012.h', 'B2:W23');
a(:, :, 9)=xlsread('hvnam kod.xlsx', '2016.h', 'B2:W23');
a(:, :, 10)=xlsread('hvnam kod.xlsx', '2017.h', 'B2:W23');
a(:, :, 11)=xlsread('hvnam kod.xlsx', '2018.h', 'B2:W23');

%
% hold on
% for k=3:7
% % % % norm(a(:, :, k))
% err(k)=(norm(a(:, :, k+1)-a(:, :, k)))/norm(a(:, :, k));
% % % % corr(a(:, :, k+1)', a(:, :, k)')
% aa=[a(1:2, 3, k); a(4:22, 3, k)];
% t=1:21;
% t=t';
% plot(t, aa)
% % % % % pause
% end
% % % plot(err)

% size(b)
% hold on
% for k=1:3
% % % % norm(a(:, :, k))
% % % % % err(k)=(norm(b(:, :, k+1)-b(:, :, k)))/norm(b(:, :, k));
% % % % % corr(a(:, :, k+1)', a(:, :, k)')
% bb=[b(1:2, 3, k); b(4:18, 3, k); b(20:22, 3, k)];
% pause
% t=1:20;
% t=t';
% plot(t, bb)
% % % % % pause
% end

am=sum(a, 3);
sm=sum(am, 2);

for i=1:22
    am(i, :) = am(i, :)/sm(i);
end
am

c=xlsread('hvn amiin tsewer osolt', 'Data', 'E30:P51');
f=xlsread('niit hvn am', 'Data', 'o2:o23');
cc=mean(c, 2);
% % % % % c=xlsread('niit hvn am', 'Data', 'e3:P24');

```

```

pred=f;
for k=1:7

    f=am*f+cc
    pred=[pred f];
    pause
end

pred
sum(pred)

```

7.2 Насны бүлэг хоорондын шилжилтт хөдөлгөөнийг тооцсон код

```

clear all;
clc;

data=xlsread('nas.xlsx','Sheet1','B2:Q21');

data=xlsread('agedata.xlsx','Data','c2:U17');
size(data)
prdt=data(2:16,:);
yrs0=data(1,:);
[m,n]=size(prdt);

clear data;

cses=[];
for k=1:15
    cses{k}=[num2str(5*(k-1)), '- ', num2str(5*k-1)];
end

cses=cses';

% for k=1:15
% pop=prdt(:,k);
% figure;
% plot(yrs0,pop);
% title(['Age ', num2str(5*k), '- ', num2str(5*(k+1)-1)]);
% ylabel('population by age');
% xlabel('Time');
% end

% tbl=detrend(prdt);
tbl=pudta;
tbl=price2ret(prdt);

surf(corr(prdt))

o=corr(prdt)
corrplot(prdt)

for i=1:18
for j=2:15
    coef(i,j)=[prdt(i+1,j)-prdt(i,j)]/...
        [prdt(i,j-1)-prdt(i,j)];
end
end
coef(14,6)=0;
coef(18,4)=0;
coef=fillmissing(coef,'linear');
mean(coef);

```

```

'coef';
coef;
% % figure
% % surf(coef)
mean(mean(coef))

c=prdata(1:m-1,4:10);
x0=prdata(2:m,1);
lb=zeros(7,1);
ub=0.05*ones(7,1);
ub=[0.05 0.2 0.3 0.3 0.3 0.1 0.05];
aeq=ones(1,7);
beq=1;
lsqlin(c,x0,[],[],[],[],lb,ub)

yrs=yrs0(1:18);
% % yrs=yrs0;
% % corrplot(tbl);
% % crr=corr(tbl)

for k=1:15
    pop=tbl(:,k);
    figure;
    plot(yrs,pop);
    title(['Age ', num2str(5*k), '- ', num2str(5*(k+1)-1)]);
    ylabel('population by age');
    xlabel('Time');
end

% % % T = size(tbl,1); % Total sample size

% % % % numseries = 15;
% % % % numlags = 1;
% % % % nummdls = numel(numlags);
% % % %
% % % % % Partition time base.
% % % % maxp = max(numlags); % Maximum number of required presample responses
% % % % idxpre = 1:maxp;
% % % % idxest = (maxp + 1):T;
% % % %
% % % % % Preallocation
% % % % EstMdl(nummdls) = varm(numseries,0);
% % % % aic = zeros(nummdls,1);
% % % %
% % % % % Fit VAR models to data.
% % % % Y0 = tbl{idxpre,:} % Presample
% % % % % Y0=Y0';
% % % % Y = tbl{idxest,:}% Estimation sample
% % % % % Y=Y';
% % % % for j = 1:numel(numlags)
% % % %     Mdl = varm(numseries,numlags(j));
% % % %     Mdl.SeriesNames = tbl.Properties.VariableNames;
% % % %     EstMdl(j) = estimate(Mdl,Y,'Y0',Y0);
% % % %     results = summarize(EstMdl(j));
% % % %     aic(j) = results.AIC;
% % % % end

g=xlsread('agedata.xlsx', 'Data', 'U3:U17');
f=xlsread('turult.xlsx', 'anh', 'B2:P16');
pred=g;
for k=1:27

```

```
    g=f*g
    pred=[pred g];
    pause
end
pred=floor(pred)
sum(pred)
```

Компьютерын ухаан

ГАРАЛ НЭГ ҮГИЙГ ҮСГИЙН ДАРААЛАЛД ТУЛГУУРЛАСАН seq2seq ЗАГВАРААР ҮҮСГЭХ НЬ

З.Цолмон, Б.Хуягбаатар, Г.Амарсанаа*

МУИС, ХШУИС, Мэдээлэл компьютерын ухааны тэнхим, Машин оюуны лаборатори

Received on 2021.04.15; Revised on 2021.06.23; Accepted on 2021.06.27

*Холбоо баригч зохиогч: amarsanaag@num.edu.mn

Хураангуй

Аливаа хэл хооронд оршдог бичлэг болон дуудлага төстэй, ижил утгатай гарал нэг үгсийг тодорхойлох нь компьютер хэл шинжлэлийн даалгаварт хэрэглэх хэлний шинэ нөөцийг үүсгэх боломжийг олгож байна. Энэ ажлаар үгийн үсгийн дараалалд тулгуурлан гарал нэг үгийг автоматаар үүсгэх аргыг боловсруулахыг зорьсон юм. Бид төстэй болон өөр үсэгтэй таван хос хэлний хувьд гарал нэг үгсийг үүсгэх seq2seq гүн сургалтын загварыг гаргалаа. Сургасан загварыг үүсгэсэн үгийн тэмдэгтийн зөрүүгээр үнэлэхэд дунджаар 0.73 магадлалтайгаар гарал нэг үгсийг зөв үүсгэж чадсан.

Түлхүүр үг: гарал нэгтэй үг, sequence-to-sequence, LSTM, гүн сургалт

1 Удиртгал

Компьютер хэл шинжлэлийн зарим даалгаварт, жишээ нь, машин орчуулгад гарал нэг үгсийг ашиглах нь орчуулгын чанарыг сайжруулах боломжтой байна [1]. Үүний тулд аливаа хос хэлний хооронд тохиолддог нэг гарал үүсэлтэй (etymology), ижил утгатай үгс - гарал нэг үгсийг ашиглах нь үгийг оновчтой сонгох боломжийг олгоно. Бусад даалгаврын хувьд энэ нь хэлний нэмэлт нөөц болж ашиглагдах юм. Ийм үгсийн санг олон хос хэлний хооронд тодорхойлох нь маш их хүчин чармайлт, хугацаа шаардсан, ойрын хугацаанд бараг бүтэшгүй даалгавар юм.

Хэрэв өөр хэлний тухайн хоёр үг нь нэг гарал үүсэлтэй, утга ижил бол генетик [2], ямарч өөрчлөлтгүй шууд танигдахуйц бичигддэг, нэг хэлээс нөгөөд шууд утгаараа орж ирсэн бол зээлсэн гарал үг болдог. Зээлсэн гарал нэг үгс нь гарал нэг үгсийн тодорхойлолтод хамаарахгүй боловч хэрэглээнд гарал нэг үг шиг хэрэглэгдсээр ирсэн байдаг. Эндээс өөр өөр хэлний үгс нь яг ижил болон ойролцоо утга илэрхийлж мөн ойролцоо бичигддэг бол үнэн гарал нэг үгс гэдэг бол харин утга ондоо бол худал гарал нэг үгс, өөрөөр худал найзууд ч гэдэг [3, 4].

Хүн аливаа гадаад хэл дээрх өгүүлбэрт байгаа мэдэхгүй үгийн утгыг өмнө нь эзэмшсэн хэлний мэдлэгээ ашиглан тааж ойлгох боломжтой байдаг [5]. Жишээлбэл,

La vacuna experimental contra el coronavirus es segura y produce una respuesta inmune

өгүүлбэрээс Англи хэл мэддэг хүн *experimental-experimental, coronavirus-coronavirus, produce-produces, immune-immune* (Испани-Англи үг харгалзан) зэрэг үгсийг хялбархан таньж чадна.

Аливаа нэг хэлний үг нь өөр хэлний үгтэй гарал нэг болохыг тэдгээрийн тэмдэгтийн ижил байдлаар дүгнэж болох [6] ч үсэг ондоо хэлнүүдийн хувьд түвэгтэй юм. Энэ тохиолдолд тухайн хос үгийн дуудлагын тэмдэглэгээ хэрэгтэй болно.

Гарал нэг үгийн санг олон хэл хооронд үүсгэх нь компьютер хэл шинжлэлд хэрэглэх хэлний нөөцийг бүрдүүлэх асуудлын нэг юм. Ийм нөөцийг бүрдүүлэхэд тухайн хос үгийн гарал үүсэл, мөн хэлний хээ хувьд илэрхийлэх үгийн утга, утгазүйн холбоо хамаарал, авиазүйн дуудлага зэрэг тал бүрийн мэдээллийг ашиглан үүсгэж болно.

Гарал нэг үгсийн хослол, түүний бичиглэлд тулгуурлан гарал нэг үгсийн санг өргөтгөн баяжуулах боломжтой эсэхийг энэ судалгаагаар туршиж үзлээ. Энэ ажлаар гарал нэг үгсийн хослолыг автоматаар, үнэн болон худал гарал нэг үгсийг ялгалгүй үүсгэхийг зорьсон юм. Үүний тулд эх хэл дээр байгаа өгүүлбэр - үгсийн цувааг зорилтот хэлний үгсийн цуваанд буулгах машин орчуулгын аргыг үгийн тэмдэгтийн түвшинд ашиглаж эх хэлний үг өгөгдөхөд зорилтот хэлний гарал нэг үгийг үүсгэн гаргасан болно. Үр дүнд нь 5 хос хэлний seq2seq загварыг боловсруулж үнэлэхэд гарал нэг үгсийг багадаа 55, ихдээ 86 хувийн магадлалтайгаар зөв үүсгэж чадсан.

Энэ өгүүллийн хоёрдугаар бүлэгт гарал нэг үгсийг таних, олж тодорхойлох, үгийн сан үүсгэх ижил төстэй зарим ажлын талаар тайлбарласан. Гуравдугаар бүлэгт гарал нэг үгсийг үүсгэх аргачлалыг, дөрөв болон тавдугаар бүлэгт туршилт, үр дүнгийн талаар бичсэн болно.

2 Гарал нэг үгийг тодорхойлох асуудал

Компьютер хэл шинжлэлд, гарал нэг үг автоматаар үүсгэх судалгааг хийсээр байна. Хамгийн сүүлийн үеийн судалгаанууд [3], [7] тэмдэгтэд тулгуурласан машин орчуулгын аргыг гарал нэг хоршоо үгсийн сан ашиглан үүсгэсэн байдаг. Мөн машин орчуулгын аргаар [1] их хэмжээний, олон хэлний гарал нэг үгсийн сангийн бүлгийг үүсгэсэн байна. Ийм аргуудаар гарал нэг үг үүсгэх нь үндсэндээ цахим хэл шинжлэлд тодорхой хэл боловсруулах чадварыг сайжруулах сайн эх сурвалж болж байгаа хэдий ч эдгээр аргуудын чанараас шалтгаалан хэл шинжлэлийн зарим асуудлыг шийдвэрлэж чадахгүй хэвээр байна. Жишээ нь, Араб болон Еврэй хэлэнд эгшиггүй бичигддэг боловч машин орчуулгаар ийм үгийг эгшиггүй бичиж чаддаггүй байна [8]. Дээрх ажлуудаас Бэйнборн нар [3] тэмдэгтэд тулгуурласан статистик машин орчуулгын аргаар боломжит орчуулгын хэд хэдэн хувилбарыг үүсгэж тэдгээрээс олох гэж байгаа үг нь хаана орсоноос нь хамаарч загвараа үнэлсэн байдаг. Харин Ву нарын [1] гарал нэг үгсийн их хэмжээний санг хүснэгтлэн үүсгэх судалгаа нь олон хэлний үгсийн сангуудаас тэмдэгтийн ижил байдлаар бүлэглэн цуглуулж үгсийн сангаас олдоогүй нөхөх шаардлагатай үгийг тодорхойлж ашигласан байдаг.

Гарал нэг үгсийн сан CogNet¹ [9] нь нийт 338 хэлний 8.1 сая гарал нэг үгсийн хослол агуулсан том хэмжээний сан юм. Энэ санг үгийн утга, гарал үүсэл болон утга зүйн холбоо хамаарал зэрэг гурван мэдээллийг тооцож үүсгэжээ. Үүнд, үгийн утга, үгсийн утга зүйн хамаарлыг агуулсан үг зүйн сан - Universal Knowledge Core² [10] ашигласан ба энэхүү сан нь Princeton Wordnet [11], Open Multilingual Wordnet [12], PanLex [13], Wiktionary [14] сангуудыг нэгтгэж үүсгэсэн байна. Бид CogNet санг судалгаандаа ашигласан болно.

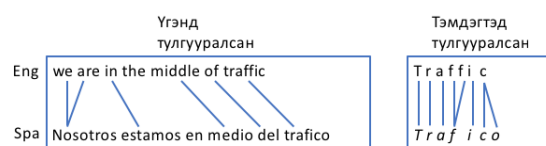
Энэ ажил нь олон хэлний олон үгсийн хослолтой томоохон хэмжээний сан дээр seq2seq [15] гүн сургалтын аргаар сургалт хийснээрээ өмнөх ажлуудаас ялгаатай. Хэдийгээр хос хэл бүрийн хувьд тус тусад нь загвар боловсруулж байгаа хэдий ч нэг аргачлал ашиглаж байгаа учир ямар ч хос хэлний хооронд ашиглах боломжтой загвар үүсгэж чадах юм. Харин хэлний нөөцийг баяжуулах асуудлын хувьд гүн сургалтын загвараар гарал нэг үгийг автоматаар үүсгэх шинэ аргыг танилцуулж байгаа болно.

3 Аргачлал

Энэ бүлэгт гарал нэг үгийг олох машин орчуулгын аргачлалын зохиомж болон машин сургалтын аргыг судалгааны асуудалд нийцүүлэн тайлбарласан болно. Мөн үнэлгээний аргачлалыг үзүүлсэн.

3.1 Тэмдэгтэд тулгуурласан машин орчуулга

Энэ ажлын үндсэн даалгавар бол эх хэлээр өгөгдсөн үгийн хувьд зорилтот хэлэнд тохирох гарал нэг үгийн зөв олох юм. Үүний тулд өгөгдсөн үгийг тэмдэгтийн цуваа (үсэг) гэж үзээд машин орчуулгаар зорилтот хэлний хувьд тохирох тэмдэгтийн цувааг үүгэх даалгавар болгон тодорхойлсон. Өөрөөр хэлбэл, тэмдэгтийн цуваа болон үгсийн хослолуудад гарал нэг үгийг илэрхийлэх ямарваа мэдлэг байгаа гэж таамаглан тэмдэгтийн дарааллыг орчуулах ажил болон хувиргаж буй хэрэг. Тэмдэгтэд тулгуурласан арга нь үгийн бичигдэж байгаа тэмдэгтийн цувааг оролтод оруулж орчуулах хэлний үгийг мөн тэмдэгтийн дараалал байдлаар үүсгэх (Зураг 1) юм. Зураг 1-т харуулсан жишээ дээр Англи хэлний



Зураг 1: Үг болон тэмдэгтэд тулгуурласан машин орчуулгын дүрслэл

Traffic гэдэг үгийг Испани хэлний харгалзах үгэнд буулгахад Англи үгийн *ff* хос үсэг нь *f*, *c* үсэг нь *co* үсгүүд болж харгалзан хувирна. Гэхдээ нийт хэлний хооронд ийм хувирал нь тодорхой дүрэмд захирагдахгүй. Seq2seq гүн сургалтын архитектур нь Long short-term memory (LSTM) эсийг ашигласнаар оролтод өгч байгаа үгсийн дарааллаас ямар үсгүүд харгалзах хэлний үсгүүд болон тэмдэгт болж хувирах эсэхийг оролт гаралтын үсгүүдийн дарааллын зүй тогтлоос тооцоолж суралцдаг. Тооцоолол хийхдээ дарааллын үсэг бүрийг харгалзах хэлний хооронд хувиргахад жин оноож тооцоолдог. Энд зөвхөн үсэг бүрийн хувьд тооцоолохгүй ойр хамт орж байгаа үсэг бүрийн дарааллаас хамаарсан жинг тооцоолж олдог. Учир нь LSTM нь дарааллын бүх элементүүдийг хамруулан тооцоолдогоруу давуу талтай байдаг. Дараалал хэтэрхий урт болсон тохиолдолд градиент замхрах асуудал байдаг хэдий ч үгсийн түвшинд энэ дутагдал нь нөлөөлөхгүй юм. Тиймээс үндсэн зорилго болох аливаа хэлний гарал нэг үгнээс өөр хэлний гарал нэг үг үүсгэх ажилд тохирох юм. Тэмдэгтэд тулгуурласан аргын нэг давуу тал нь ямарч үгсийн дараалал үүсгэх боломжийг олгодгооруу үгэнд тулгуурласан машин орчуулгын аргуудаас давуутай байдаг. Энэхүү аргаар товчилсон үгнээс зөв үг бүтээх боломжтой бөгөөд дараа дараагийн судалгаанд ашиглагдах бүрэн боломжтой юм. Өмнөх судалгаанд ашигласан арга нь хэд хэдэн боломжтой үгсийн хувирал үүсгэн түүн дотроос зөв хувирсан үг байгаа эсэх, тухайн зөв үг нь хэдэд эрэмблэгдэж байгаагаар үнэлгээ [3] өгч байсан бол манай загвар хамгийн сайн тохирох ганц үгийн хувирал санал болгодог загвар тул мөн өмнөх ажлуудтай үр дүнгээ харьцуулах боломжгүй юм.

¹<https://github.com/kbatsuren/CogNet>

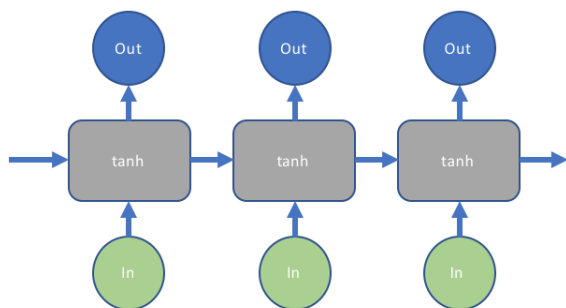
²<http://ukc.datascentia.eu/>

3.2 Seq2seq гүн сургалтын арга

Seq2seq машин сургалтын загвар нь статистикт биш Recurrent Neural Network (RNN) гэгдэх гүн сургалтын архитектурыг ашигладаг. Энэхүү арга нь цуваа оролтыг боловсруулан өөр цуваа оролтод хувирган гаргах үндсэн үйлдэлтэй, анх Google компани машин орчуулгад ашигласан бөгөөд машин орчуулгын хөгжлийг шинэ шатанд гаргасан байдаг. Seq2seq загвар нь цахим хэл боловсруулах маш олон хэрэглээнд одоо ашиглагдаж байна. Тухайлбал, зурагт гарчиг оноох, хугацааны цуваа өгөгдөл дээрх таамаглах хийхэд зэрэг боно. Seq2seq машин сургалтын загвар нь RNN-ийн үндсэн архитектурыг ашигладаг бөгөөд LSTM [16] болон Gated Recurrent units (GRU) гэсэн хоёр эсийн архитектурыг нейроны эс байдлаар ашигладаг. LSTM нь RNN архитектурын гол дутагдал болох оролтын цуваа хэтэрхий урт бол градиент замрах асуудлыг тодорхой хэмжээгээр шийдэж өгснөөрөө давуу талтай болсон байдаг боловч хэтэрхий урт цувааны хувьд бүрэн шийдэж чадаагүй.

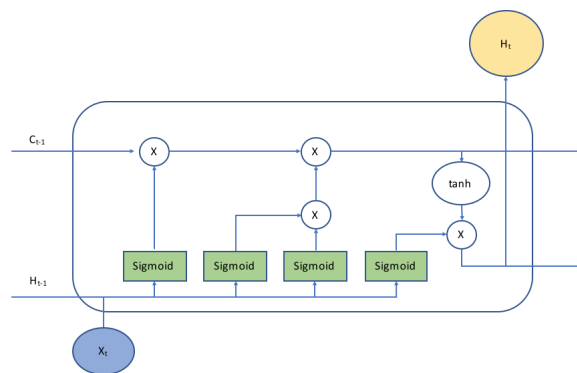
Seq2seq архитектурын үндсэн загвар нь энкодер, декодер гэсэн хоёр хэсгээс бүрдэх бөгөөд оролтын цуваа тэмдэгт энкодероор боловсруулагдан декодероор зорилтод цувааны хувиргалтаар гарна. Ингэхдээ энкодер болон декодерын үндсэн эсэндээ LSTM болон GRU ашигласан байдлаараа ялгардаг.

LSTM архитектурын бүтэц нь стандарт RNN архитектуртай төстэй боловч RNN дутагдлыг нөхсөн байдлаараа ялгардаг. Хэдийгээр LSTM архитектур



Зураг 2: RNN архитектур

нь RNN-тэй төстэй архитектуртай боловч RNN архитектур шиг ганц давхрага (зураг 2 харуулсан $\tanh$) ашиглахгүй харин бүр төвөгтэй гэж хэлж болох 4 давхрага ашигладаг. Зураг 3-т харуулсан шиг LSTM эсийн архитектур нь $\tanh$ функцээс гадна sigmoid 3 функц ашиглаж байна. Үүнээс гадна векторын үржвэрийг ашигласан байдаг. Энд C үсгээр тэмдэглэсэн тэмдэглэгээ нь RNN сүлжээний эсийн төлөвийг илэрхийлдэг. Эсийн төлөвийг дараа дараагийн эсийн төлөвтөө өмнөх төлөвийн мэдээллийг нэмэх байдлаар дамжуулж нийт цувааны хувьд тооцоолол хийхэд ашигладаг. LSTM эс доторх үндсэн ажиллагаа нь нэгдүгээрт эсийн төлөвөөс шаардлагагүй мэдээллийг мартах, хоёрдугаарт эсийн төлөвт мэдээлэл нэмэх, гуравдугаарт гаралтыг тооцоолох гэсэн гурван үндсэн үйлдлээс бүрддэг. LSTM эсийн



Зураг 3: LSTM эсийн архитектур

эхний sigmoid функц нь мартах буюу "forget gate level" дууддаг. Энэ нь өмнөх эсийн төлөв нь хэр чухал болохыг шийддэг. Sigmoid функц нь $0 \dots 1$ хооронд утга авах тул өмнөх эсийн төлөвийг хадгалах эсвэл алга болгох эсэхийг өмнөх эсийн төлөв болох H_{t-1} болон оролтын утга болох x_t -ийн утгуудаар тооцоолж шийднэ.

$$f_t = \delta(W_f \cdot [H_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (1)$$

f_t = forget gate-ийн вектор

W_f = forget gate дээрх хувьсагчдын жингийн матриц

b_f = forget gate дээрх загварын bias вектор

H_{t-1} = өмнөх эсийн далд төлөвийн вектор

x_t = оролтын вектор

Шаардлагагүй мэдээллээ алга болгосны дараа LSTM эс нь ямар өгөгдөл эсийг төлөвт нэмэгдэхийг шийдвэрлэдэг. Энэ үйлдлийг хоёрдох sigmoid болон $\tanh$ функцийн тусламжтайгаар гүйцэтгэдэг. Нэг болон хоёрдох sigmoid функцийн түвшнийг оролтын хаалганы давхрага гэдэг бөгөөд эсийн төлөвт ямар утга нэмэгдэхийг шийднэ. Харин $\tanh$ давхрага нь гаралтын төлөвт нэмэгдэх утгуудын векторыг үүсгэж өгдөг.

$$i_t = \delta(W_i \cdot [H_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (2)$$

i_t = оролтын/засварлалтын вектор

W_i = оролтын хувьсагчдын жингийн матриц

b_i = оролтын bias вектор

H_{t-1} = өмнөх эсийн далд төлөвийн вектор

x_t = оролтын вектор

$$C_t = \tanh(W_C \cdot [H_{t-1}, x_t] + b_C) \quad (3)$$

C_t = Эсийн төлөвийн вектор

W_C = Эсийн төлөвийн жингийн матриц

b_C = Эсийн төлөвийн bias вектор

H_{t-1} = өмнөх эсийн далд төлөвийн вектор

x_t = оролтын вектор

Дээрх бүх шинэ төлөвийн мэдээллийг ашиглан гаралтын шинэ төлөвийг дараах томъёогоор тооцоолдог.

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * C_t \quad (4)$$

f_t = forget gate вектор

C_{t-1} = Эсийн өмнөх төлөвийн жингийн матриц

i_t = Оролтын вектор

C_t = Эсийн төлөвийн вектор

LSTM эсийн гаралтын утгыг тооцоолох алхам нь хамгийн сүүлд шаардлагатай болдог. Үүнд гуравдахь *sigmoid* болон нэмэлт *tanh* шүүлтүүрийг ашигладаг. Гаралтын утга нь эсийн төлөвийн утгаас хамаарах боловч энэхүү утга нь *sigmoid* шүүлтүүрээр ордог. Үндсэндээ *sigmoid* функц нь эсийн төлөвийн аль хэсэг нь гаралтын утгад нөлөөтэй эсэхийг шийддэг гэсэн үг юм. Өөрөөр хэлбэл эсийн төлөвийн утгыг *tanh* шүүлтүүрээр оруулж гарсан үр дүнг гуравдахь *sigmoid* функцийг гаралтаар үржүүлнэ гэсэн үг юм.

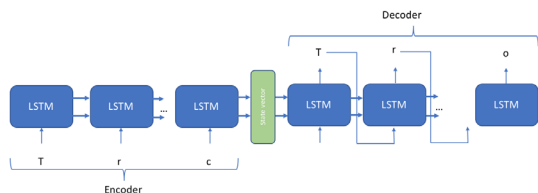
$$o_t = \delta(W_o \cdot [H_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (5)$$

o_t = эсийн гаралтын вектор

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (6)$$

h_t = эсийн далд төлөвийн вектор

Тэмдэгтэд суурилсан seq2seq загварыг доорх зураг 4-т харуулав. Гарал нэг үгс үүсгэх гүн сургал-



Зураг 4: Тэмдэгтэд тулгуурласан seq2seq загварын архитектур

тын загвар хангалттай сайн ажиллаж байгаа эсэхийг үнэлэхдээ үг хоорондоо хэр зөрүүтэй бичигдсэн эсэхийг хэмждэг Левенштэйн зайг шууд ашиглах боломжгүй юм. Учир нь Левенштэйн зай нь өгөгдсөн хоёр үгний нэгнээс нь нөгөөг үүсгэхэд хэдэн үсэг нэмэх, хасах тоог тооцдог бөгөөд олон үгнүүдийг шалгаж дундаж үзүүлэлт гаргах боломжгүй арга юм [17]. Тиймээс бид нормчилсон Левенштэйн зайг ашиглаж угсарсан загвар хэр зөв үг үүсгэж байгааг үнэлэв.

$$normLev = 1 - \frac{lev(word_{tar}, word_{prod})}{maxlen(word_{tar}, word_{prod})} \quad (7)$$

Энд $word_{tar}$ нь үгсийн санд буй жинхэнэ гарал нэг үг бол $word_{prod}$ нь сургасан загвараас үүсгэсэн гарал нэг үг юм. Нормчилсон Левенштэйн зайг олохдоо өгөгдсөн хоёр үгний Левенштэйн зайг тухайн үгнүүдийн хамгийн урт үгийн уртад хуваан 1-ээс

хассанаар үгсийн тэмдэгтийн зөрүү 0 ... 1 нормчилогдож болохыг томъёо 7-д илэрхийлэв. Ингэснээр ямар ч урттай байсан үгнүүдийн үсгийн зөрүү нэг утгатай хэмжээсээр хэмжигдэх боломжтой болно. Нормчилсон Левенштэйн зай нь хоёр үг ижил бол 1, харин үсгийн зөрүү ихсэх тусам 0 рүү ойр утга авна.

4 Туршилт

Зураг 4 дээр тэмдэгтэд тулгуурласан seq2seq гүн сургалтын архитектурыг бүдүүвчлэн харуулав. Бид энэхүү загварыг машин сургалтын фрэймворк Tensorflow 2.0 болон машин сургалтын фрэймворк-тэй ажиллах хялбар интерфэйс болох Keras ашиглан python хэл дээр хэрэгжүүлсэн болно. Сургалтын өгөгдлийг CogNet 2.0 сангийн хэлний хослолуудын өгөгдлөөс (хүснэгт 1) сургалтын өгөгдлийг бэлдсэн болно. Сургалтад ашиглах хэлний сонголтыг хийхдээ түгээмэл хэлнүүд болон үсэг ондоо бичигддэг хэл гэсэн сонголтоор эдгээр хэлнүүдийг сонгосон болно. Сонгож авсан хэлнүүдээс Англи-Франц

Хүснэгт 1: Сургалтад ашигласан хэлнүүдийн хослол

д	Эх	Зорилтот	Хосын тоо
1	Англи	Франц	54,365
2	Англи	Испани	41,119
3	Англи	Герман	26,377
4	Англи	Орос	9,475
5	Англи	Грек	5,564

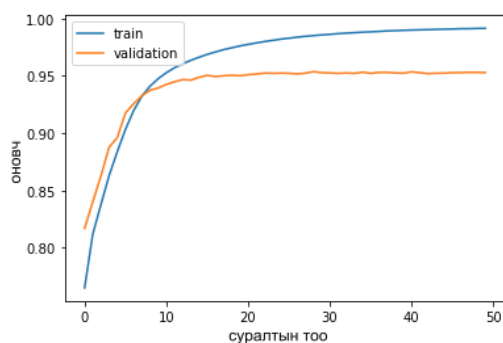
хэлний гарал нэг үсгийн хослол хамгийн их бөгөөд үсэг ижил хослол болно. Харин Англи-Орос, Англи-Грек хэлний хослолууд нь үсэг ондоо боловч гараг нэг үсгийн хослол бусад сонгож авсан хэлнүүдээс харьцангуй цөөн байгааг харж болох юм.

4.1 Сургалтын өгөгдөл

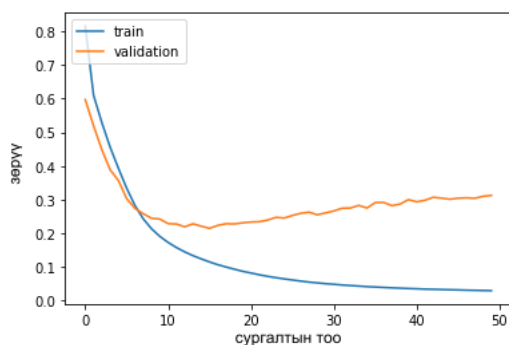
CogNet 2.0 үгсийн санд гарал нэг үсгийн хослол нь нэг нэг үг биш байсан бөгөөд зарим тохиолдолд 4-5 үгнүүдээс бүтсэн хослол байсан болно. Тиймээс сургалтын өгөгдлийг бэлдэхдээ хэлний хослол бүрийн хувьд 1 болон хоёр үгнээс бүтсэн гарал нэг үсгийн хослолыг үгсийн сангаас түүвэрлэн авсан. Түүвэрлэн авсан үгсээ оролтын болон гаралтын хэлний хувьд тэмдэгтээр салгаж ялгаатай тэмдэгтийн тоо, хамгийн урт үгийн тэмдэгтийн уртыг хэл бүрийн хувьд олж тэмдэгт бүрийг векторт хувирган seq2seq машин сургалтын оролт болон гаралтын хэмжээс болгон бэлдсэн. Сургалтад нийт өгөгдлийн 80% -ийг оруулж 20% -ийг шалгалтын өгөгдөл болгон ашигласан болно.

4.2 Загварыг сургах параметрын тохиргоо

Тэмдэгтэд тулгуурласан seq2seq загварыг өгөгдөл дээр сургахад хэд хэдэн загварын тохируулах пара-



(a) Загварын оновч



(b) Загварын алдаа

Зураг 5: Англи-Франц хэлний тэмдэгтэд тулгуурласан seq2seq загварын сургалтын үр дүн 50 epoch явагдахад (a) оновчлол (б) алдааны утга өөрчлөгдсөн байдал

метрийн Hyperparameter утгаар туршихад хамгийн боломжтой утга Batch size буюу сургалтын нэг алхам хийхэд ашиглах өгөгдлийн хэмжээг 64 байх, Latent dimensionality хэмжээ буюу энкодрийн гаралтын векторын утга 256, харин нийт сургалт хийх давтамжийн тоог 50 (epoch) гэсэн утга байв. Хэл бүрийн хослолын хувьд LSTM эсийн давхрагын тоо оролтын болон гаралтын тэмдэгтийн тооноос хамаарч encoder болон decoder дээр өөр өөр болно. Сургалтын загварын оптимайзераар RMSPROP, алдааг үнэлэх функцээр categorical cross entropy ашигласан болно. Зураг 5 дээр (a) график нь загварын оновч буюу загвар зөв үр дүн гаргаж байгаа магадлалыг сургалтын өгөгдөл болон баталгаажуулах өгөгдөл дээр нийт сургалтын хугацаанд 50 удаа явагдахад хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг харуулсан байна. (b) графикт алдааны хэмжээ мөн сургалтын өгөгдөл болон баталгаажуулах өгөгдөл дээр 50 удаагийн алхамд хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг харуулав. Сургалтыг Макинтош үйдлийн систем, интеллийн 2.4GHz CPU, 8Gb санах ойнттой машин дээр хийсэн бөгөөд нэг загварын сургах дундаж хугацаа 4 цаг орчим болж байв.

5 Үр дүн

Бидний угсарсан тэмдэгтэд тулгуурласан seq2seq загварыг хэл бүрийн хувьд сургасан бөгөөд нийт 5

загвар үүссэн болно. Энэхүү загварын архитектур ямарч хэлний хослолын хувьд ажиллах боломжтой харуулав. Зураг 5-д Англи-Франц хэлний хослол дээр сургалтын явцын үнэлгээг харуулав. Сургасан загвар бүрийн хувьд бид нормчилсон Левенштэйн зайг тооцоолох замаар загвар гарал нэг үгсийг хэр сайн үүсгэж байгаа эсэхийг үнэлэж хүснэгт 2-т харуулав. Нормчилсон Левенштэйн зай нь үгсийн ял-

Хүснэгт 2: Загварыг үнэлэх хэлний хослол бүрийн нормчилсон Левенштэйн зайн утгууд

	Хослол	Үнэлгээ
Төстэй үсэгтэй	Англи-Франц	0.77
	Англи-Испани	0.72
	Англи-Герман	0.86
Өөр үсэгтэй	Англи-Орос	0.76
	Англи-Грек	0.55

гаатай байдлаас хамаарахгүй үр дүн үзүүлсэн байгаа нь хүснэгт 2-оос харагдаж байна. Туршилтын үр дүнг харахад нормчилсон Левенштэйн зай Англи-Грек хэлнээс бусад хэлний хослол 0.72-гоос дээш, нийт хос хэлний хувьд дунджаар 0.73 оновчтой байна.

6 Дүгнэлт

Энэ ажлаараа гарал нэг үгс үүсгэх тэмдэгтэд тулгуурласан машин сургалтын seq2seq архитектурыг танилцуулав. Бидний дэвшүүлсэн арга нь хэл болон үгсийн ялгаатай хослолд хангалттай сайн ажиллаж байгааг харуулж байна. Учир нь нэгээс бусад хэлний хослолын хувьд 0.72 болон 0.86-аас дээш нормчилсон Левенштэйн утгатай байгаа нь анхны загварын хувьд сайн үзүүлэлт гэж дүгнэж байна. Өгүүлбэрийн бүтэц дээр буюу үгийн дараалал дээр сайн ажиллаж танигдсан seq2seq аргыг тэмдэгтийн цувааны бүтэц дээр туршиг ажиллуулж гарал нэг үгсийг олж тодорхойлох боломжийг туршиж байгаа нь энэ ажлын нэг онцлог, шинэлэг юм. Цаашид загварыг сайжруулахын тулд сургалтын өгөгдлийг улам чанаржуулж мөн бусад архитектурыг угсарч турших шаардлагатай гэж үзэж байна. Тухайлбал, seq2seq загвар дээр attention давхрага оруулж ирэх мөн хамгийн сүүлийн үеийн гүн сургалтын нэг ололт болох transformer архитектурыг дараа дараагийн судалгаандаа ашиглах бүрэн боломжтой юм.

Зохиогчийн оролцоо

З. Цолмон алгоритм болон хөгжүүлэлтийг хийж гүйцэтгэн туршилтыг хийж өгүүлэл бичсэн. Б. Хуягбаатар, Г. Амарсанаа өгүүлэл бичихэд оролцож мөн зөвөлгөө өгч ажилласан болно.

Ашиг сонирхолгүйн баталгаа

Ашиг сонирхолын зөрчилгүй болохыг үүгээр баталж байна.

Ашигласан ном

- [1] Wu W, Yarowsky D. Creating large-scale multilingual cognate tables. In: Proceedings of the Eleventh International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2018); 2018. .
- [2] Crystal D. A dictionary of linguistics and phonetics. vol. 30. John Wiley & Sons; 2011.
- [3] Beinborn L, Zesch T, Gurevych I. Cognate production using character-based machine translation. In: Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Natural Language Processing; 2013. p. 883–891.
- [4] Inkpen D, Frunza O, Kondrak G. Automatic identification of cognates and false friends in French and English. In: Proceedings of the International Conference Recent Advances in Natural Language Processing. vol. 9; 2005. p. 251–257.
- [5] Ringbom H. On L1 transfer in L2 comprehension and L2 production. Language learning. 1992;42(1):85–112.
- [6] Montalvo S, Pardo EG, Martinez R, Fresno V. Automatic cognate identification based on a fuzzy combination of string similarity measures. In: 2012 IEEE International Conference on Fuzzy Systems. IEEE; 2012. p. 1–8.
- [7] Sennrich R, Haddow B, Birch A. Neural machine translation of rare words with subword units. arXiv preprint arXiv:150807909. 2015.
- [8] Karimi S, Scholer F, Turpin A. Machine transliteration survey. ACM Computing Surveys (CSUR). 2011;43(3):1–46.
- [9] Batsuren K, Bella G, Giunchiglia F. Cognet: A large-scale cognate database. In: Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics; 2019. p. 3136–3145.
- [10] Giunchiglia F, Batsuren K, Freihart AA. One world—seven thousand languages. In: Proceedings 19th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Text Processing, CiCling2018, 18-24 March 2018; 2018. .
- [11] Miller GA. WordNet: a lexical database for English. Communications of the ACM. 1995;38(11):39–41.
- [12] Bond F, Foster R. Linking and extending an open multilingual wordnet. In: Proceedings of the 51st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers); 2013. p. 1352–1362.
- [13] Kamholz D, Pool J, Colowick SM. PanLex: Building a Resource for Panlingual Lexical Translation. In: LREC. Citeseer; 2014. p. 3145–3150.
- [14] Kirov C, Sylak-Glassman J, Que R, Yarowsky D. Very-large scale parsing and normalization of wiktionary morphological paradigms. In: Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'16); 2016. p. 3121–3126.
- [15] Sutskever I, Vinyals O, Le QV. Sequence to sequence learning with neural networks. arXiv preprint arXiv:14093215. 2014.
- [16] Hochreiter S, Schmidhuber J. Long short-term memory. Neural computation. 1997;9(8):1735–1780.
- [17] Schepens J, Dijkstra T, Grootjen F. Distributions of cognates in Europe as based on Levenshtein distance. Bilingualism: Language and cognition. 2012;15(1):157–166.

Мэдээлэл харилцаа холбооны технологи

5G ГЕТЕРОГЕН СҮЛЖЭЭНДЭХ САЙЖРУУЛСАН НӨХЦӨЛТ ХЭНДОВР

Т.Тэлмүүн¹, Юу Кэпин², Д.Баттулга^{1*}

¹МУИС, ХШИУС-ийн, Электроник, холбооны инженерчлэлийн тэнхим

²Васедагийн Их Сургуулийн, Глобал Мэдээлэл Холбооны Хүрээлэн

Received on 2021.04.15; Revised on 2021.07.01; Accepted on 2021.07.05

*Холбоо баригч зохиогч: battulga.davaasambu@seas.num.edu.mn

Хураангуй

5G сүлжээ дэлхий даяар нэвтэрч буй эхний давалгаа бидний амьдралд аль хэдийнээ нөлөөлж эхэлсэн. Мобайл сүлжээний үндсэн хэсгүүдийн нэг бол Хөдөлгөөний Удирдлага бөгөөд хэрэглэгчийг бааз станцууд хооронд чөлөөтэй шилжих боломжийг олгож үйлчилгээг тасалдалтгүй дамжуулжуулах давуу тал олгоно. Мобайл сүлжээний стандартын байгууллага 3GPP-ээс Release 15-ийг 5G-ийн шаардлагыг хангаж баталсан бөгөөд хөдөлгөөний удирдлагатай холбоотой өөрчлөлтүүдийн нэг нь дан холболттой үед хэрэглэгчийг илүү найдвартай сүлжээгээр хангах зорилготой нөхцөлт хэндовр юм. Нөхцөлт хэндоврын гол онцлог нь тусгай нөхцөл хангах хүртэл боломжит бааз станцуудыг нэр дэвшигчээр хадгалж хэрэглэгчдийг олон бааз станцаас сонголт хийлгэх юм. Харин энэхүү хэндоврын асуудал нь боломжит бааз станцуудын тооноос хамаарч дохиоллын мессежийн тоо ихсэх юм. Мөн хэрэглэгч бай бааз станцаа сонгох үедээ зөв сонгоогүйгээс үүдэж хэндоврын алдаа ихэснэ. Энэ нь сүлжээний гүйцэтгэлд шууд муугаар нөлөөлнө. Энэхүү судалгааны ажлаар бид нөхцөлт хэндоврийн процедурт босго оноо болон тригерыг өөрчилсөн механизм нэмж сайжруулалт хийнэ. Өөрөөр хэлбэл бидний сайжруулалт нь нэр дэвшигч бааз станцуудаас сонгохдоо шалгах нөхцөлийн параметруудыг динамик болгох юм. Бид туршилтын орчинд өөрсдийн сайжруулалтаа шалгахад хэндоврын гүйцэтгэлийн утгуудыг сайжруулсан үр дүн үзүүлсэн болно.

Түлхүүр үг: 5G, Conditional handover, multiple thresholds, Wireless Networks.

1 Удиртгал

5G сүлжээ дэлхий даяар нэвтэрч буйн эхний давалгаа бидний амьдралд аль хэдийнээ нөлөөлж эхэлсэн. Мобайл сүлжээний стандартын байгууллага 3GPP-ээс New Radio, Massive IoT, Massive MTC, V2x, LTE сүлжээний сайжруулалт болон бусад зүйлс багтах Release 15-ийг 5G-ийн шаардлагыг хангаж баталсан. Мөн дээрх стандартад маш бага-хоцролт (low-latency), тасалдалгүй үйлчилгээнүүд (uninterrupted service), хос холболт (Dual-Connectivity) болон олон тооны холболт (Multi-Connectivity) зэрэг хэрэглэгчийн холболтын олон төрүүдийг тодорхойлсон [1, 2]. Хос холболт нь макро Бааз Станц(БС) болон түүний хамрах хүрээнд байгаа жижиг БС-тай зэрэг холбогдож хэрэглэгчид өндөр хурдтай өгөгдөл дамжуулах боломж олгоно. Олон тооны холболт нь MIMO технологид суурилж Хэрэглэгч(User equipment) бааз станцтай өгөгдлийн олон зам үүсгэж хоцролт бага найдвартай холболт үүсгэнэ [3].

5G-ийн стандартад хос болон олон тооны холболтод зориулсан хэндоврыг тодорхойлсон байдаг. Тэдгээр нь make-before-break (MBB) болон RACHless-NO(RHO) гэсэн хоёр төрлийн хэндовр механизмуудыг 5G сүлжээний стандартад багтсан. Эдгээр механизмууд үйлчилгээний тасалдалтын хугацаа болон

алдааг багасгаж өгнө [4]. Өөрөөр хэлбэл эдгээр механизмууд нь 5G сүлжээнд тавигдах сүлжээний гүйцэтгэлийн шаардлагуудыг хангахад чухал нөлөөтэй юм.

Мобайл сүлжээний үндсэн хэсгүүдийн нэг бол Хөдөлгөөний Удирдлага (Mobility Management) бөгөөд хэрэглэгчийг бааз станцууд хооронд чөлөөтэй шилжих боломжийг олгож үйлчилгээг тасалдалтгүй дамжуулуулах давуу тал олгоно. Олон холболт үүсгэх нь өндөр хурдны интернэтээр хангах нэг шийдэл боловч найдвартай нэг холболт зайлшгүй шаардлагатай. Өөрөөр хэлбэл олон холболтуудын мастер нь найдвартай байх ёстой. Хөдөлгөөний удирдлага (ХУ)-ын гүйцэтгэх үүргүүдийн нэг нь хэндовр юм. Энэхүү хэндовр нь хэрэглэгчийг холбогдсон байгаа бааз станцын хамрах хүрээнээс гарч хөрш бааз станцынхруу ороход идэвхитэй байгаа сейшнүүдийг тасалдалтгүйгээр шилжүүлэх процедур юм. Тэгвэл найдвартай нэг холболт буюу дан холболттой үед 5G сүлжээнд ажиллахаар стандартчлагдсан нөхцөлт хэндовр нь 4G сүлжээний үндсэн хэндовр болох хатуу хэндоврыг шууд ашигласан.

Хатуу хэндовр гэдэг нь хэрэглэгч одоо холбогдсон байгаа Бааз Станц (БС) аас бүрэн салж бай БС шилжиж орох механизм юм. Хатуу хэндоврыг гүйцэтгэх процедурыг бэлтгэх, гүйцэтгэх, дуусгах гэсэн 3 үе шаттай гүйцэтгэдэг. Эдгээр нь

- **Бэлтгэх:** радио дохионы чанарт хэмжилт хийж БС-аас гарах нөхцлийг хангахад нэг бай БС-ийг сонгоно.
- **Гүйцэтгэх:** АЗ нөхцлийг радио дохионы чанар хангахад бай БС-руу хэндоврыг эхлүүлнэ. Энд үйлчлэгч БС-аас холболтоо салгах, бай БС-тай шинэ холболт тогтоох гэх мэт үйлдүүдийг хийнэ.
- **Дуусгах:** Хэндовр амжилттай дуусахад хэрэглэгчийн өгөгдлийн замыг шинэчилж, сүлжээний төхөөрөмжүүдийг дахин тохируулна.

Нөхцөлт хэндовр нь дээр дурьдсан үйлдлүүдийн бэлтгэх шатанд нэг БС-ын оронд тусгай нөхцөл хангаж байгаа олон тооны БС-уудыг хянаж АЗ нөхцөл биелсэн нэгрүү нь гүйцэтгэх шатыг эхлүүлнэ. Тухайн ашиглагдаж байгаа нөхцлүүд, олон бай БС сонгох үйлдлүүдийн тусламжтайгаар дан холболтын найдвартай байдлыг хангаж буруу бай БС сонгох, Ring-rong (PP) хэндовр үүсэхээс сэргийлнэ. Буруу БС сонгох алдаа гэдэг нь сонгогдсон БС-ний радио дохионы чанар хэндоврын үе шатууд бүрэн дуусахаас өмнө буурч өгөгдөл дамжуулах боломжгүй түвшинд хүрэх юм [5]. Ингэснээр хэндовр алдаатай болж хэрэглэгч хуучин БС-руугаа шилжиж, шинээр хэндоврыг эхлүүлэх шаардлагатай болж хоцролт нэмэгдэнэ. Хэрэв хуучин БС-руу шилжиж чадахгүй бол хэрэглэгч сүлжээнээс салж, идэвхитэй бүх сейшнүүд тасарч үйлчилгээ тасалдана. РР хэндовр гэдэгт хэрэглэгч хэндоврыг амжилттай дуусгаад тодорхой хугацааны дотор буцаж анхны БС-руу шинэ хэндовр эхлүүлэх алдаа орно. Энэ алдааны улмаас хэрэглэгч ойр ойрхон хэндовр хийж дохиоллын мессеж ихсэж сүлжээний гүйцэтгэлд нөлөөлнө.

Энэ судалгааны ажлаараа бид триггерийн нөхцлийн параметруудийг уян хатан болгож хэрэглэгчийг БС-ын хүрэнээс гарах хүртэл сунгаж нөхцөлт хэндоврт сайжруулалт хийнэ. Ингэхдээ бид хэндоврын бэлтгэх шат дахь бай БС-ыг сонгох хэсэгт босго нэмж хэрэглэгч холбогдсон байгаа БС-тэйгээ холболтоо хадгалах боломжтой нөхцөлд нэр дэвшигч БС-уудыг үргэжлүүлэн хянах болно. Ингэснээр бай БС-ыг зөв сонгох, БС-ын хүрээний захад үүсэх РР хэндовруудаас сэргийлэх гэсэн давуу талуудыг бий болгоно.

Бид нөхцөлт хэндоврыг хоёрдугаар бүлэгт танилцуулах бол санал болгож буй сайжруулалтаа гуравдугаар бүлэгт дэлгэрэнгүй тайлбарлана. Дөрөвдүгээр бүлэгт туршилтын үр дүнг танилцуулана. Дүгнэлтийг тавдугаар бүлэгт багтаав.

2 Нөхцөлт хэндовр ба түүний асуудлууд

Энэ бүлэгт нөхцөлт хэндоврын талаарх ойлголт болон түүний олон тооны бай БС-нуудын онцлогыг тайлбарлах болно. Нөхцөлт хэндовр нь стандартад

тодорхойлсноор дараах 3 төрлийн нөхцлийн хэндоврын шатуудын турш ашиглана [6–8].

- хэрэв дурын БС-ийн радио дохио нь *add* нөхцлийн хангавал нэр дэвшигчдийн жагсаалтад нэмж хэрэглэгчийн төхөөрөмж байнга хянана. Мөн үйлчлэгч БС нь тухайн БС-тай хэндоврыг гүйцэтгэх шатыг эхлүүлэхэд шаадлагатай тохиргоонуудыг дохиоллын мессежүүд солилцож хийнэ.

$$RSRP_{TC} > RSRP_{SC} + o_{add} \quad (1)$$

- Хэрэглэгчийн төхөөрөмж нэр дэвшигч БС-уудын радио дохионд байнга хяналт тавина. Хэрэв аль нэг нэр дэвшигчийн радио дохио *remove* нөхцлийг хангавал жагсаалтаас хасаж цаашид хянахаа больдог.

$$RSRP_{TC} < RSRP_{SC} - o_{remove} \quad (2)$$

- Хэрэглэгчийн төхөөрөмж *execution* нөхцлийн хамгийн түрүүлж биелүүлсэн нэр дэвшигч БС-тай хэндоврын гүйцэтгэх шатыг эхлүүлнэ.

$$RSRP_{TC} > RSRP_{SC} + o_{exec} \quad (3)$$

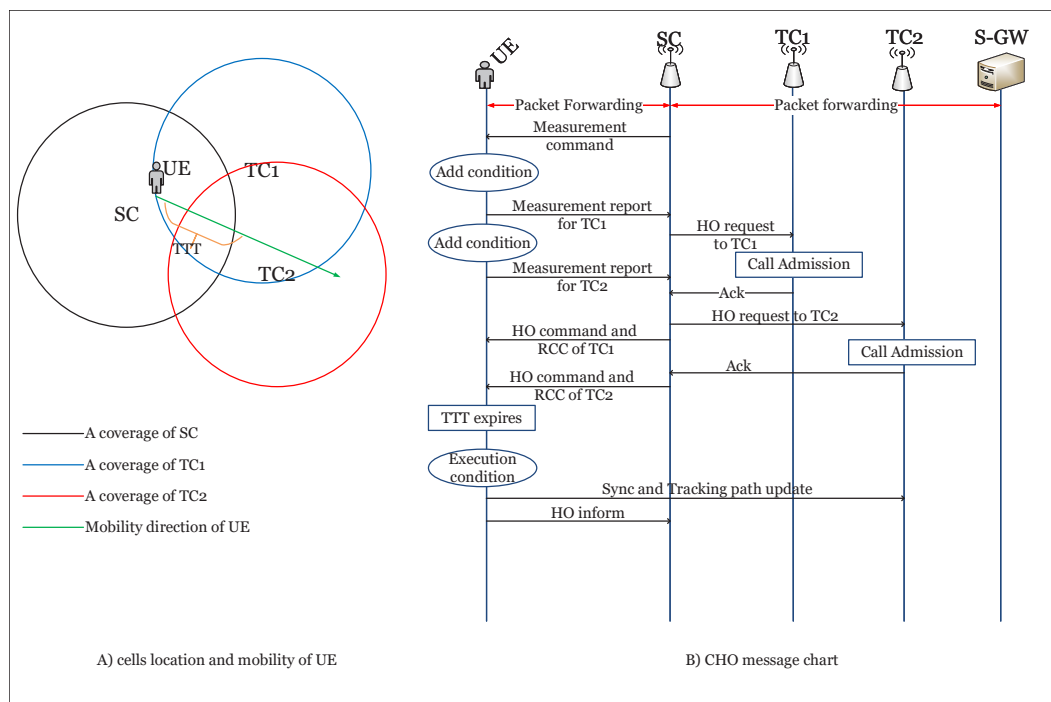
Томъёо 1, 2, 3 дахь o_{add} , o_{remove} болон o_{exec} гэсэн хоёр БС-ны радио дохионы зөрүүг илэрхийлэх параметруудийг сүлжээний администратор гараар тохируулах зохицуулалттай байгаа нь олон төрлийн орчин, БС-ийн хэмжээнүүдтэй 5G сүлжээнд нэг сул тал бий болгож байна гэж бид үзсэн.

Бид Зураг 1-д нөхцөлт хэндоврын нэг жишээг дүрслэв. Зураг 1А-д хэрэглэгч *UE* нь *SC*-ийн хамрах хүрээнд байсан ба ногоон шугамын дагуу хөдөлж байна. Энэхүү жишээ нь нягт байршуулсан жижиг бааз станцуудад элбэг тохиолдох хувилбар юм. Хэрэглэгчийн замд *TC1*, *TC2* гэсэн хоёр боломжит үүр байсан гэж үзвэл *TC1*-ийн хүрээнд хэрэглэгч нэвтэрч Томъёо 1 дэх нөхцөл биелэхэд нэр дэвшигчээр бүртгэж time-to-trigger (TTT)-ийг эхлүүлнэ. Энгийн хэндоврын үед зөвхөн сонгогдсон БС-ны радио дохиог л хянадаг бол нөхцөлт хэндоврын үед хэрэглэгч *TC2*-ийн хүрээнд нэвтэрэхэд Томъёо 1-ээр нөхцлийг шалгаад нэр дэвшигчийн жагсаалтад нэмнэ. ТТТ-ын хугацаа дуусахад Томъёо 3 дахь нөхцлийг *TC1*, *TC2*-ийн радио дохио шалгаад хангаж байгаа БС-руу хэндоврын гүйцэтгэх шатруу шилжинэ. Зөвхөн *TC2* нь гүйцэтгэх шатруу шилжих нөхцлийг хангасан гэж үзвэл хэрэглэгч *TC2*-руу шилжих болно. Харин энгийн хэндоврын үед хэрэглэгч зөвхөн *TC1*-ийг сонгосон байсан учир *TC1*-руу хэндовроо эхлүүлнэ. Зураг 1В-д бид энэхүү жишээний хувьд нөхцөлт хэндоврын дохиоллын мессежүүдийг сүлжээний нэгжүүд солилцох үйл ажилгааг үзүүлэв.

Зураг 1В дахь дохиоллын мессежүүдийн тайлбар.

1. Үйлчлэгч БС нь өөр дээрээ ирсэн $RSRP^1$ буюу хэрэглэгчээс ирсэн радио дохионы чадлыг

¹Reference Signal Received Power буюу лавлах дохионы хүлээн авсан чадал



Зураг 1: Нөхцөлт хэндоврын үйл ажилгааны жишээ.

- байнга хянаж байдаг. Зааж өгсөн босгоос радио дохионы чадал бага болох үед үйлчлэгч БС нь *Measurement Command*-ийг хэрэглэгчрүү илгээнэ.
- Хэрэглэгч радио дохионы хэмжилт хийгээд илэрсэн БС-уудын радио дохиог Томъёо 1-ээр шалгаж нэр дэвшигч БС-уудын жагсаалт гаргана.
- Хэрэглэгч жагсаалтаа үйлчлэгч БС-руу *Measurement report*-аар илгээнэ. Зургаас харвал хэрэглэгч *TC1*-ийн хүрээнд орсон, *TC2*-ийн хүрээнд ороогүй байсан учир *TC1*-ийг нэр дэвшигч БС-уудын жагсаалтад багтсан байна. Мөн хэрэглэгч ТТТ-ыг эхлүүлж, цаашид радио дохионы хэмжилтийг байнга хийнэ.
- Үйлчлэгч БС нь *Measurement report*-д багтсан БС-уудруу *HO request* буюу хэндоврын бэлтгэх шатны үйлдэл болох бай БС-руу хэрэглэгч нэвтэрч орох шаардлагатай тохиргоо хийх хүсэлт илгээнэ. Манай жишээнд *SC* нь *TC1*-руу хүсэлт илгээж байна.
- TC1* нь хүсэлтийг хүлээж аваад *Call Admission* буюу радио нөөцийг хэрэглэгчид зориулж нөөцлөөд хэндовр хийж шилжиж орж ирэхэд шаардлагатай тохиргоог *Ack*-аар үйлчлэгч БС-руу хариулна.
- Дээрх алхамтай зэрэгцээд хэрэглэгч радио дохионы хяналтаа хийж байхдаа *TC2*-ийн хүрээнд орж нөхцөл хангагдсан учир *SC*-руу *TC2*-ийг нэр дэвшигчийн жагсаалтад оруулсан мэдээллээ илгээнэ.
- Үйлчлэгч БС нь *Measurement report*-д багтсан *TC2*-руу *HO request*-ийг илгээнэ.
- Дээрх үйлдэлтэй зэрэгцээд үйлчлэгч БС нь хэрэглэгчид *TC1*-рүү хэндовр хийх *HO command and RCC*-ийг илгээнэ.
- TC2* нь хүсэлтийг хүлээж аваад радио нөөцийг нөөцлөх, хэндоврт шаардлагатай тохиргоог *Ack*-аар *SC*-руу хариулна.
- SC* нь хэрэглэгчрүү *TC2*-руу хэндовр хийх *HO command and RCC*-ийг илгээнэ
- ТТТ-ын хугацаа дууссан учир хэрэглэгч нэр дэвшигч БС-уудаас Томъёо 3-ийг хангаж байгаа БС-руу хэндоврын гүйцэтгэх шатыг эхлүүлнэ. Манай жишээнд хэрэглэгч *TC2*-руу шилжих үйлдлийг эхлүүлсэн.
- Хэрэглэгч *TC2*-тай *Sync and Tracking update*-ийн бүлэг дохиоллын мессежүүдийг солилцож хэндоврыг дуусгах шатыг хийнэ.
- Хэрэглэгч эсвэл түүний шилжиж орсон БС-ын аль нэг нь хэндоврын дуусгах шат дуусахад үйлчлэгч БС-руу амжилттай дууссан талаарх *HO inform* мессежийг илгээнэ. Ингэснээр үйлчлэгч БС дээрх хэрэглэгчийн хэрэглэж байсан радио нөөцүүдийг чөлөөтэй төлөвт шилжүүлнэ.

Нөхцөлт хэндоврын энгийн хатуу хэндовроос ялгагдах онцлог бол дээр дурьдсан алхмуудын 3 болон 6 дугаартай нэр дэвшигч БС-уудын тоо олон байх боломжтой нь юм [6,9]. Эдгээр алхмуудын тусламжтайгаар хэрэглэгч эхлээд *TC1*-рүү шилжиж, *TC1*-ийн хамрах хүрээний захад ирэхэд *TC2*-руу шил-

жих гэсэн дахин давтагдах хэндовруудаас зайлсхийж байна. Нөгөө талд нөхцөлт хэндовр нь бэлтгэх шатанд хэрэглэгчийг олон БС-уудын радио дохиог хянах, нөхцлүүдийг шалгах, нэр дэвшигч БС-уудын жагсаалтыг шинэчлэх гэх мэт үйлдлүүдийг хийлгэснээр батерейны хэрэглээг нэмэгдүүлэх, сүлжээний нэгжүүд хооронд олон тооны дохиоллын мессеж солилцох зэрэг асуудлуудыг бий болгож байна. Доорх байдлаар нөхцөлт хэндоврын асуудлуудыг жагсаав. Үүнд:

- Хэндоврын бэлтгэх шатанд дохиоллын ачаалал нэмэгдэж байна. Учир нь сүлжээний нэгжүүд хооронд дохиоллын мессежүүдийг нэр дэвшигч БС-ийн тоотой уялдаатайгаар солилцож байна.
- Нэр дэвшигчдээс сонгох үйл ажиллагааг үйлчлэгч БС-аас хэрэглэгчрүү шилжүүлснээр хэрэглэгч дээр тооцоолол хийх шаардлагатай болсон. Хэрэв ТТТ-ийн утга дуусахад олон нэр дэвшигч БС-ууд Томъёо 3-ийг хангаж байвал хэрэглэгч зөв сонголт хийх механизм байхгүй байна.
- Хамгийн эхний *Measurement report*-д багтсан нэр дэвшигч нараас ТТТ-ын хугацаа дуусахад гүйцэтгэх нөхцлийг хангах магадлал нь хоёрдахь *Measurement report* дахь нэр дэвшигчээс их байна. Жишээ нь хэрэв ТТТ-д богино хугацаа тохируулбал Зураг 1 дахь *ТС1* нь Томъёо 3-ийг хангах бол *ТС2* хангахааргүй байна.

3 Нөхцөлт хэндоврыг сайжруулах нь

Энэ бүлэгт бид өөрсдийн санал болгож буй Сайжруулсан Нөхцөлт Хэндовр (СНХ)-ийг танилцуулах болно. Эхлээд бид хэндоврын бэлтгэх шатанд БС-ыг сонгох механизмын талаар тайлбарлана. Дараа нь нөхцөлт хэндоврт хийсэн өөрчлөлтүүд, СНХ-ийн ажиллах үед сүлжээний нэгжүүдийн хоорондоо солилцох дохиоллын мессежүүдийг тайлбарлах болно.

РР хэндоврын гол шалтгаан нь хөдөлгөөний чиглэл өөрчлөгдөх зэрэг хэрэглэгчийн зан байдал, газар зүйн шалтгаанаас гадна БС-ны хамрах хүрээний захад хэндоврын гүйцэтгэх шатыг эрт эхлүүлэх, буруу БС сонгох гэсэн асуудлуудаас байна. Өөрөөр хэлбэл хэндоврын дараа хэрэглэгч тухайн БС-д бага хугацаанд байж дараагийн БС эсвэл хуучин БС-руу шилжих нь БС-уудын хамрах хүрээний давхцал бага байх, ТТТ-ын утгыг хэт бага тохируулах, хэрэглэгч БС-ын хамрах хүрээний захаар дайрч өнгөрсөн зэрэгтэй холбоотой юм.

Зураг 2А-д харуулсан хоёр том БС-ын давхацлын хэсэгт хоёр жижиг БС-ууд байршсан г гетероген сүлжээг жишээ болгож авъя. Энэхүү жишээнд хэрэглэгч А-аас С-руу, С-аас D-руу, D-аас В-руу гэх гурван удаа хэндовр хийж магадгүй юм. Хэрэв хэрэглэгч РР хэндовр үүсгэх асуудлуудад тулгарсан гэвэл А-аас С-руу, -аас А-руу, С-аас В-руу, D-аас А-руу гэх зэргээр шаардлагагүй хэндовруудыг

хийнэ. Үүнээс нэг БС-д хэрэглэгч байх хугацаа бага байх, ойрхон хэндовруудыг хийх зэргээр үйлчилгээний хоцролт болон дохиоллын мессежүүдийн хэмжээг ихсэх зэргээр сүлжээний гүйцэтгэлд муугаар нөлөөлнө.

Зөв БС сонгохын тулд ТТТ болон бусад параметруудийн утгыг БС-уудын төрөл, нэр дэвшигчийн жагсаалтад нэмэгдсэн байдал, хэрэглэгчийн хөдөлгөөний хурд зэрэгтэй уялдуулах хэрэгтэй юм. ТТТ-ийн зөв тохируулга нөхцөлт хэндоврт чухал параметр гэдгийг туршилтын орчинд хэндоврийн алдааны үзүүлэлтээр харуулсан байдаг [9]. Өмнөх бүлэгт тайлбарласнаас гадна нөхцөлт хэндоврын бэлтгэх шатанд хэрэглэгч үйлчлэгч БС-ын хүрээнээс гарах шалгуур буюу радио дохионы зааж өгсөн доод түвшинд хүрвэл АЗ нөхцлийн хангаж байгаа нэр дэвшигч БС-руу гүйцэтгэх шатыг эхлүүлдэг. Энэ нь ТТТ-ын хугацааг хэт ихээр тохируулснаас үүдэлтэй алдаа юм. Нөгөө талаас тогтмол ТТТ-ын утга хэрэглэгчийн хөдөлгөөний хурдтай уялдахгүй байгааг илэрхийлэх ба ТТТ-ын утгыг оновчтой тохируулснаар зөв БС сонгох боломжтой болно.

Бидний санал болгож буй эхний нэмэлт бол ТТТ-ыг сунгах механизм юм. Ингэхдээ ТТТ-д заасан хугацаа дуусахад үйлчлэгч БС-ийн радио дохио Томъёо 4 дахь нөхцлийг хангаж байвал дахин ТТТ-ыг тохируулах механизм ажиллуулна. Томъёо 4-ийг үйлчлэгч БС хангаж чадаж байна гэдэг нь хэрэглэгч тухайн БС-д цаашид байх боломжтой буюу БС-ын хүрээнээс гарах шалгуурт хүрэх болоогүй гэдгийг батална.

$$Q_{out} < RSRP_{sc} - hysteresis \quad (4)$$

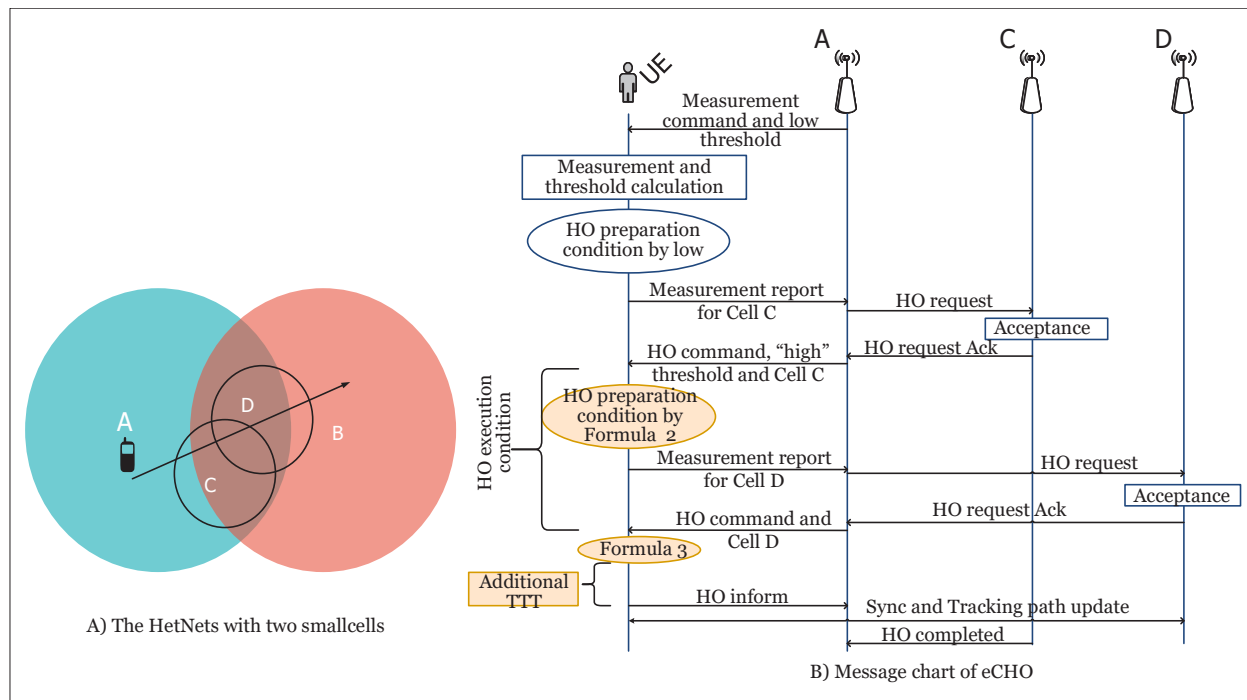
Q_{out} нь радио дохионы зааж өгсөн доод түвшин, $RSRP_{sc}$ нь үйлчлэгч БС-ийн радио дохионы чадал, $hysteresis$ нь АЗ нөхцөл дэхь параметр юм.

ТТТ-ыг сунгах нь дараах давуу талуудыг олгоно. Үүнд:

- Хэрэглэгч үйлчлэгч БС-д боломжит удаан хугацаанд байж хэндоврын гүйцэтгэх шатыг зөв цагт эхлүүлнэ.
- Нэр дэвшигч БС-уудаас хамгийн түрүүнд гүйцэтгэх нөхцлийг хангасан нь биш дараагийн нэр дэвшигч нарт боломж олдоно.

ТТТ-ыг сунгаснаар жижиг хамрах хүрээтэй БС болон макро БС-уудын давхцлын бүсээр явж байгаа хэрэглэгчийг хэндовр хийлгүй дахин хэмжилтийн утгыг авч тооцоолж, тохиромжтой БС-ийг сонгох боломжтой болно. Жишээ нь Зураг 2А-д хэрэглэгч С болон D-ийн хамрах хүрээний давхацлын хэсэгт байгаа гэж үзвэл ТТТ-ыг сунгаснаар хэндоврыг зөвхөн D-рүү биш В-ийг оруулаад хоёр БС-аас сонгох боломжтой болно. Мөн РР хэндовр болон ойролцоо олон хэндовр хийх зэргээс сэргийлнэ.

Одоо бид хоёр дахь нэмэлт болох СНХ-ийн бэлтгэх шатанд оруулсан өөрчлөлт болох босго утгуудыг тайлбарлана. Дохиоллын мессежийн тоог багасгахын тулд бид *low* болон *high* гэсэн хоёр бос-



Зураг 2: Макро БС болон жижиг БС-тай гетероген сүлжээ.

гыг тодорхойлсон. Стандарт нөхцөлт хэндоврт хэмжилт хийх команд үйлчлэгч БС-аас ирснээс хойш гүйцэтгэх шат эхлэх хүртэл хэрэглэгч радио хэмжилт байнга хийж Томъёо 1 нөхцлийг БС-уудаас хангах бүрт нэр дэвшигчдийн жагсаалтруу нэмдэг. Энэхүү байнга давтагдах үйлдлийг стандартад хязгаарлалтгүйгээр тусгасан байдаг нь дохиоллын мессежийн тоог ихэсгэх шалтгаан юм.

Тэгвэл low босго нь радио хэмжилтүүдийн давтамжийг тооцоолно. Өөрөөр хэлбэл радио хэмжилтүүдийн хоорондох давтамж ба түүний тоог low босго утгыг ашиглаж тодорхойлж болно. Хэрэглэгч Томъёо 5-ийг ашиглаж эхний хэмжилтийн дараа low босго утгыг бодно.

$$threshold_{low} = (RSRP_{sc} - Q_{out})/rep_{th} \quad (5)$$

$threshold_{low}$ нь тооцоолж олох утга, $RSRP_{current}$ нь хэрэглэгчийн хэмжсэн үйлчлэгч БС-ын RSRP, rep_{th} бол босгогын давталтын утга юм.

Дараа нь хэрэглэгч Томъёо 6-ийг ашиглаж үйлчлэгч БС-ийн хилийг өөрчилнө.

$$f_n = \begin{cases} RSRP_{TC} > RSRP_{SC} + threshold_{high} \\ if Q_{out} \geq RSRP_{SC} \end{cases} \quad (6)$$

$RSRP_{TC}$ болон $RSRP_{SC}$ нь нэр дэвшигч БС, үйлчлэгч БС-ийн RSRP-ууд юм. Харин $threshold_{high}$ нь $threshold$ юм.

Ингээд хэрэглэгч $threshold_{low}$ утгыг ашиглаж радио хэмжилтийн үйл явцыг давтана. Энэ нь нөгөө талаас хэрэглэгч радио дохионы хэмжилтийг байнга биш тогтоосон давтамжтайгаар гүйцэтгэнэ. Энэхүү давталтыг дуусгахын тулд Томъёо 7-аар $threshold_{low}$ -ын утгыг нэмэгдүүлнэ.

$$threshold_{low-new} = threshold_{low-current} + \delta \quad (7)$$

Томъёо 7 дахь δ нь өсгөх утга юм. Хэрвээ δ -ийн утга их байвал $threshold_{low-new}$ болон $threshold_{low-current}$ -ууд зөрүү ихтэй байх ба хэрэглэгчийн хийх радио дохионы хэмжилтүүдийн хоорондох хугацаа их байх болно. Нөгөө талаас δ бага байвал радио давтамжийн хэмжилтүүдийг ойр ойрхон гүйцэтгэнэ.

Зураг 2В-д СНХ-ийн дохиоллын мессежүүдийг үзүүлэв. Үйлчлэгч БС-аас хэмжилт хийх команд ирэхэд хэрэглэгч хэмжилт хийх, $threshold_{low}$ -ийг тооцоолж олно. Дараа нь нэр дэвшигчээр C БС-ийг үйлчлэгч БС-руу илгээсэн. Хэрэглэгч Томъёо 1 нөхцөлд $threshold_{low}$ -ийг ашиглаж хоёрдахь удаагаа хэмжилтийг хийнэ. Хэмжилтийн үр дүнг үйлчлэгч БС-руу илгээнэ. Цаашид хэрэглэгч Томъёо 3 дахь нөхцлийг биелэх хүртэл ТТТ-ийг сунгана. Энэ хугацаанд хэрэглэгч давтамжтайгаар радио дохионы хэмжилтээ хийсээр байх болно.

4 Туршилтын үр дүн

Энэ бүлэгт бид СНХ-ийн үзүүлэлтийг туршилтын орчинд стандарт нөхцөлт хэндовртэй?? харьцуулсан үр дүнг үзүүлэв. Ингэхдээ РР хэндоврийн тоо болон дохиоллын мессежийн хэмжээг үнэлэх өртөг зардлыг 50 удаагийн симуляцаас дунджилж үзүүлэв. Туршилтанд ашигласан параметруудийг Хүснэгт 1-д үзүүлэв. Хэрэглэгчийн тоо, байршил, хөдөлгөөний чиглэл болон хурдыг гэсэн параметруудийг санамсаргүй байдлаар сонгохоор програмчилсан болно. Хэрэглэгч хөдөлгөөний загвар нь random-walk болно.

Хүснэгт 1: Симуляцийн параметрууд

Параметрууд	Утга
Carrier давтамж	2 GHz
Макро BS тоо	7
Жижиг BS тоо	14
Path loss model	$128.1 + 37.6 \log_{10} d$
Shadow fading deviation	1 dB
Макро BS хэмжээ	1 km
Жижиг BS хэмжээ	166 m
A3 hysteresis	4 dB
TTT	40 ms
нэмэлт TTT	20 ms, 10 ms
RLF буюу Q_{out}	-10 dB
δ	1 dB
Threshold high value	4 dB
Хэндовр давхцал	макро БС 30 хувь
Хэрэглэгчийн тоо	100 хүртэл
Хэрэглэгчийн хурд	6 m/s and 20 m/s

4.1 Ping-Pong хэндовр

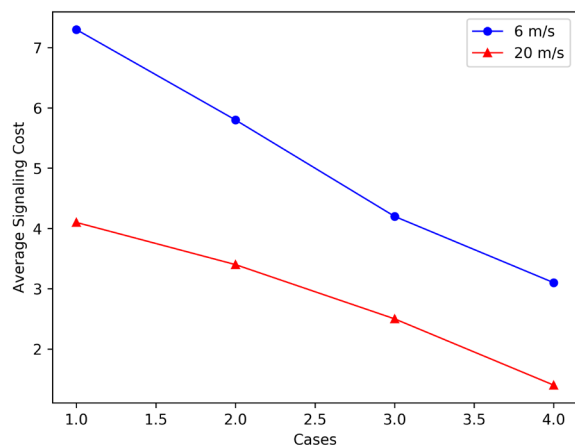
Туршилтын үр дүнгээс бид РР хэндоврыг хэрэглэгч хэндовр дуусаад буцаж хуучин БС-руу хэндовр хийсэн болон хэндоврын дараа тухайн БС-д хэрэглэгч 4 секундээс бага хугацаанд байгаа дурын БС-руу хэндовр хийсэн гэсэн хоёр нөхцлийг тавьж тоог гаргаж ирсэн. Ингээд үр дүнг Хүснэгт 2-т 4 өөр нөхцлөөр ялган үзүүлэв. Мөн хүснэгтэд хэрэглэгчийн хурд 6м/с бол саарал, 20 м/с бол цагаан дэвсгэр өнгөтэйгээр дүрсэлсэн болно.

1. ТТТ-ийг ашиглахгүй шууд гүйцэтгэх нөхцөл шалгаж эхлэх стандарт НХ,
2. ТТТ-тай стандарт НХ,
3. Үндсэн ТТТ-гүйгээр СНХ-ийг ажиллуулсан байдал,
4. Үндсэн ТТТ-тайгаар СНХ-ийг ажиллуулсан байдал,

Хүснэгт 2-оос дүгнэвэл хөдөлгөөний хурдны зөрүү нь РР хэндовр, БС-д байх хугацаа, хэндоврын оролдлого хийсэн нийт тоонд нөлөөлөх боломжтой байна. Хэрэглэгчийн хурд өндөр байхад РР хэндовр болон БС-д байх хугацааг уртасгаж байна. Харин хурд бага байхад хэндовр хийх оролдлого багасгаж байна. СНХ нь 4 нөхцлийн бүгдэд стандарт НХ-уудаас гурван үзүүлэлтийг бууруулсан үр дүн үзүүлсэн. Энэ нь бидний сайжруулалтын үр дүн юм.

4.2 Дохиоллын мессежний өртөг

Дохиоллын мессежийн өртөг гэсэн ойлголтод бид хэрэглэгч, үйлчлэгч БС, нэр дэвшигч БС-ууд, сүлжээний гарц гэсэн дөрвөн сүлжээний нэгжүүдийн хооронд солилцож байгаа хэндовртой холбоотой дохиоллын мессежүүдийн хэмжээг илэрхийлнэ. Энэхүү тодорхойлолтын дагуу хоёр өөр хурдтай, дөрвөн нөхцлүүдийг тоймлож Зураг 3-т харуулав.



Зураг 3: Дохиоллын өртөгийн дундаж утга

5 Дүгнэлт

5G сүлжээний нөхцөлт хэндоврыг сайжруулах зорилгоор бид СНХ-ийг босго утга болон ТТТ-ыг сунгах механизмтайгаар санал болгосон. Бид СНХ-ийн гүйцэтгэлийг шалгахын тулд макро болон жижиг БС-үүд бүхий сүлжээг туршилтын орчинд загварчилсан. Туршилтаар бидний санал болгосон СНХ нь хэндоврын дараа тухайн БС-даа удаан байх, РР хэндоврын тоог багасгах, бэлтгэх шатанд хэндоврын дохиоллын мессежүүдийн ачааллыг бууруулсан үр дүн гаргасан. Цаашид бид δ -ийн утгын нөлөө болон бусад параметруудийн оновчлолын талаар судлах болно.

Зохиогчийн оролцоо

Энэхүү судалгааны ажлын гол загварчлалыг Д-р Д.Баттулга, Т.Тэлмүүн гаргасан, Хэмжилтийн орчин, симуляцийг Юу Кэпин болон Т.Тэлмүүн хийж Д-р Д.Баттулга, Т.Тэлмүүн нар үр дүнг боловсруулсан. Өгүүллийг бичсэн нэгдүгээр зохиогч Т.Тэлмүүн, хоёрдугаар зохиогч Д-р Д.Баттулга.

Ашиг сонирхлын зөрчилгүйн баталгаа

Зохиогчид ашиг сонирхлын зөрчилгүй гэдгээ баталж байна.

Ашигласан ном

- [1] 3GPP. Radio Resource Control (RCC); Protocol specification. Technical Specification TS38.300; 2018.
- [2] 3GPP. Radio Resource Control (RCC); Protocol specification. Technical Specification TS38.331; 2018.
- [3] Chandramouli D, Liebhart R, Pirskanen J. 5G for the Connected World. John Wiley & Sons; 2019.

Хүснэгт 2: ping-pong Хэндовер болон БС-д орших хугацаа

Нөхцлүүд	1	2	3	4	1	2	3	4
Ping-pong Хэндовер	6.45	4.46	3.82	1.21	3.52	2.44	1.54	0.51
БС-д оршин байх хугацаа	32	28	19	9	56	44	22	12
Хэндовер оролдлого /sec	0.24	0.18	0.19	0.08	0.51	0.45	0.38	0.31

- [4] Viering I, Martikainen H, Lobinger A, Wegmann B. Zero-zero mobility: Intra-frequency handovers with zero interruption and zero failures. IEEE Network. 2018;32(2):48–54.
- [5] Davaasambuu B, Yu K, Sato T. Self-optimization of handover parameters for long-term evolution with dual wireless mobile relay nodes. Future Internet. 2015;7(2):196–213.
- [6] Martikainen H, Viering I, Lobinger A, Jokela T. On the basics of conditional handover for 5g mobility. In: 2018 IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC). IEEE; 2018. p. 1–7.
- [7] Park HS, Lee Y, Kim TJ, Kim BC, Lee JY. Handover mechanism in NR for ultra-reliable low-latency communications. IEEE Network. 2018;32(2):41–47.
- [8] Karabulut U, Awada A, Viering I, Barreto AN, Fettweis GP. Analysis and Performance Evaluation of Conditional Handover in 5G Beamformed Systems. arXiv preprint arXiv:191011890. 2019.
- [9] “Simulation results on conditional handover”; October 2018..

Компьютерын ухаан

СҮЛЖЭЭГ ЗАДЛАХ БОДЛОГОД ЗОРИУЛСАН ДАХИН ОРУУЛАХ ТЕХНИКИЙГ САЙЖРУУЛАХ

Г.Гантулга, П.Далайжаргал*

МУИС, ХШУИС, Мэдээлэл, Компьютерийн Ухааны Тэнхим

Received on 2021.04.15; Revised on 2021.06.24; Accepted on 2021.07.01

* Холбоо баригч зохиогч: dalaijargal@seas.num.edu.mn

Хураангуй

Сүлжээнээс хасахад сүлжээ өөрөө жижиг хэмжээтэй холбоост бүрдлүүд болгон задардаг байхаар хамгийн цөөн оройг олохыг Сүлжээг Задлах Бодлого (Network Dismantling Problem) гэнэ. Уг бодлого нь нийгэм, биологи, технологийн сүлжээнүүдийн бат бөх чанарыг судлахаас гадна, дутагдалтай бүтцийг судлахад ач холбогдолтой. Сүүлийн жилүүдэд дахин оруулах аргыг сүлжээг задлах бодлогод ашиглах судалгаа хийгдэж эхлээд байна. Гэхдээ дахин оруулах аргын судалгаа дутмаг байна. Энэхүү ажлаар бид нэгэн шинэ дахин оруулах аргыг танилцууллаа. Дэвшүүлсэн аргаа нийгэм, биологи, технологийн төрлийн 13-н сүлжээний өгөгдлийг ашиглан туршив. Туршилтын үр дүнгээс харахад дэвшүүлсэн арга ихэнх сүлжээний хувьд бусад аргаас давуу үр дүн үзүүлээ.

Түлхүүр үг: Комплекс сүлжээ, сүлжээг задлах бодлого, дахин оруулах техник

1 Удиртгал

Агаарын тээвэр [1], эрчим хүчний сүлжээ [2], Интернет [3], биологийн сүлжээ [4, 5], нийгмийн сүлжээ [6, 7] зэрэг олон бодит систем (real-world system)-ийг комплекс сүлжээ (ирмэгээр холбогдсон зангилаануудын сүлжээ)-гээр төлөөлүүлж болно. Ихэнх тохиолдолд хамгийн том холбоост бүрдэл нь системийн үйл ажиллагааг хэвийн биелүүлэхэд голлох үүрэгтэй оролцдог [8]. Довтолгооны оновчтой стратеги, мэдээллийн оновчтой тархалт, дархлаажуулалтын бодлогыг ойлгох хэрэгцээ шаардлагад тулгуурлан бид сүлжээг задлах асуудлыг судалж байна (өөрөөр хэлбэл цөөн тооны чухал зангилааны олонлогийг устгасан (идэвхгүй болгох)-аар сүлжээг жижиг холбоост бүрдлүүдэд задлах зангилааны хамгийн бага дэд олонлогийг хайж олох).

Сүлжээ (математикийн хэлээр G граф) нь N ширхэг зангилаа (эсвэл орой)-ны олонлог V , зарим хос зангилааг холбосон ирмэгийн олонлог E -ээс тогтоно. Сүлжээний судалгааны хүрээнд хэд хэдэн чухал асуултууд нь зангилааныхаа S дэд хэсгийг сонгож, тодорхой байдлаар авч үзэх үед графын шинж чанарыг өөрчлөхтэй холбоотой юм. Жишээлбэл, S -ийн оройг (зэргэлдээ ирмэгийн хамт) хасвал графын хамгийн том холбоост бүрдэл хэсэг (giant connected component (gcc))-ийн хэмжээ хэр зэрэг буурдаг вэ? Цар тахлын халдварын үед анх S дэх зангилаанууд бохирдсон бол тахлын тархалт ямар үр дүнд хүрэх вэ? Эсрэгээр, S -ийн зангилааны вакцинжуулалт нь сүлжээг бүтнээр нь вакцинжуулахад хэр нөлөөтэй вэ? Зэрэг асуултын хариулт нь сүлжээг задлах бодлоготой нягт холбоотой.

Collective influencer [9], сүлжээнээс бүх циклийг

устгаад, үлдэх мод графыг задлах арга [8], тасралтын цэг (articulation point)-ээр сүлжээг задлах арга [10], спектр графын онол (spectral graph theory)-д суурилсан арга [11] зэрэг сүлжээг задлах бодлогыг бодох олон аргуудыг дэвшүүлээд байна. Сүлжээг задлах аргуудын тухай дэлгэрэнгүй мэдээллийг [12]-оос авах боломжтой. Сүлжээг задлах аргыг сайжруулах зорилгоор дахин оруулах техник [13] (re-insertion technique) сүүлийн жилүүдэд судлагдаж эхлээд байгаа хэдий ч нарийвчилсан шинжилгээ дутмаг байна.

Энэхүү өгүүлэлд сүлжээг задлах аргыг сайжруулах шинэ дахин оруулах аргыг танилцуулах ба үр дүнгээ “сэгсрэх” гэж нэрлэсэн техник ашиглан илүү сайжруулах боломжийг танилцуулах болно. Дэвшүүлсэн аргаа нийгэм, биологи, технологийн төрлийн 13-н сүлжээний өгөгдлийг ашиглан туршихад, 10-11 сүлжээг бусад аргаас илүү үр дүнтэй задалсан байна.

2 Дэвшүүлж буй арга

2.1 Дахин оруулах тэнцвэрт арга

Бидний дэвшүүлсэн арга нь тухайн оройг нэмсний дараа граф дахь бүрдлүүдийн хэмжээний квадрат нийлбэр буюу Тэгшитгэл 1-ыг аль болохоор бага байлгахыг зорьдог. Тиймээс үүсгэгдсэн бүрдлүүдийн хэмжээг аль болохоор бага байлгана. Мөн нэг бүрдлийг хэтэрхий том болгохгүй, бүрдлүүдийн хэмжээг тэнцвэртэйгээр нэмэгдүүлж өгөх тул бид энэхүү аргыг дахин оруулах тэнцвэр гарга гэж нэр-

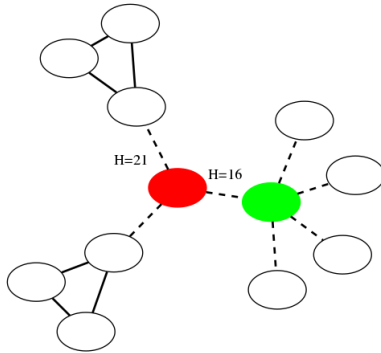
лэсэн.

$$H(u) = \sum_{C \in SCC(G')} \frac{|C|(|C| - 1)}{2} \quad (1)$$

Энд $|C|$ нь холбоост бүрдлийн хэмжээ, G' нь u оройг оруулсны дараа үүсэх граф, $SCC(G')$ нь G' графын холбоост бүрдлүүдийн олонлог болно. Тэгшитгэл 1 u оройг буцааж нэмсний дараах үүсгэгдсэн граф дахь бүрдлүүдийн хэмжээний квадрат нийлбэрийг бодно. Устгасан бүх u оройны хувьд $H(u)$ (Тэгшитгэл 1) утга хамгийн бага байх u оройг эргүүлэн графт нэмнэ.

$$u = \arg \min_{v \in S} H(v) \quad (2)$$

Нэмэхдээ нэмж буй оройны, графт аль хэдийн байгаа оройтой холбогдох ирмэгүүдийг дахин сэргээнэ. Жишээ нь Зураг 1-д үзүүлсэн графт улаан, ногоон оройг устгасан ба тэдгээрийн ирмэгүүд нь мөн устгагдсан тул тасархай шугамаар дүрсэлсэн. $H = 21$ байх оройг оруулах юм бол хэт том бүрдэл хэсэг үүсэх бөгөөд бусад бүрдлүүд нь хэт жижиг хэвээр байна. Харин $H = 16$ байх оройг оруулбал үүсэх бүрдэл хэсгүүдийн хэмжээ ойролцоо байх бөгөөд тэнцвэртэйгээр оройнуудыг буцаан оруулж байна.



Зураг 1: Будсан оройнууд нь графаас устгагдсан оройнууд, тасархай шугамаар тэмдэглэгдсэн ирмэгүүд нь тэдгээрийн устгагдсан ирмэг. Зурагт устгагдсан оройнуудын H функцийн (Тэгшитгэл 1) утгыг харуулав.

Дэвшүүлж буй дахин оруулах аргын баримжаа кодыг Алгоритм 1-д харуулав.

Algorithm 1 Дахин оруулах тэнцвэрт алгоритм

REINSERTION-BL(G, S)

- 1: **while** $S \neq \emptyset$
 - 2: $u = \arg \min_{i \in S} H(i)$
 - 3: u -г G графт буцааж нэм.
 - 4: $S = S / \{u\}$
 - 5: Одоогийн S -ын хувьд G графын хамгийн том холбоост бүрдлийг хэмжинэ.
-

2.2 Сэгсрэх техник

Графын хамгийн том бүрдлийг жижиглэн хуваасны дараа устгасан оройнуудыг нэг, нэгээр нь нэмж

оруулж эхэлнэ. Сэгсрэх техник нь s ширхэг оройг оруулсны дараа b ($s > b$) ширхэг оройг эргүүлэн хасах арга юм. Оройг дахин хасахдаа өмнө нь ашигласан хасах аргаа хэрэглэнэ. Ингэснээр үр дүнг муутгасан зарим нэг оройг хасаж, оруулах оройнуудыг шигших боломж бүрдэж байгаа юм. Бидний дэвшүүлж буй оруулах аргыг, сэгсрэх техниктэй хослуулсан алгоритмыг Алгоритм 2-д харуулна.

Algorithm 2 Сэгсрэх техниктэй, дахин оруулах тэнцвэрт алгоритм

REINSERTION-BLS(G, S, s, b)

- 1: $step = 0$
 - 2: **while** $S \neq \emptyset$
 - 3: $step = step + 1$
 - 4: $u = \arg \min_{i \in S} H(i)$
 - 5: u -г G графт буцааж нэм.
 - 6: $S = S / \{u\}$
 - 7: Одоогийн S -ын хувьд G графын хамгийн том холбоост бүрдлийг хэмжинэ.
 - 8: **if** $step == s$
 - 9: $step = 0$
 - 10: G -с b ширхэг оройг буцааж хасаад, S -д оруулна.
-

Сэгсрэх арга S -ийн хэмжээг ихэсгэж, багасгаж байгаа учраас утгасан оройн тооны нэг утга дээр өөр өөр хамгийн том бүхэл хэсгийн хэмжээ бүртгэгдэх бөгөөд давхацсан утгуудын хувьд хамгийн багийг нь авсан.

3 Туршилт, үр дүн

3.1 Өгөгдөл

Бид туршилтдаа бодит ертөнцийн өгөгдлүүдийг ашигласан [14]. Зарим сонирхолтой сүлжээний талаар товчхон оруулав.

humanDiseasome: Хүний өвчний сүлжээний хувьд оройнууд нь өвчнүүд ба хоёр өвчин ямар нэг ижил гений өөрчлөлтөөр үүсгэгддэг бол хооронд нь ирмэг татсан [15].

powergrid: Америкийн баруун мужуудад орших өндөр хүчдэлийн холболтын сүлжээ. Сүлжээний оройнууд нь генератор, хөрвүүлэгч, жижиг станцууд ба ирмэгүүд нь тэдгээрийн хоорондох өндөр хүчдэлийн шугамууд.

facebook: Фэйсбүүкийн найзуудын жагсаалтыг агуулна. Тусгай аппын тусламжтай судалгаанд оролцсон хүмүүсээс цуглуулж авсан. Өгөгдлийн оройнууд нь хэрэглэгч, circles, ego сүлжээнүүд байна. Өгөгдөлд хэрэглэгчийг нуухын тулд хэрэглэгчийн ID-ыг шинээр сольж тавьсан. Мөн өгөгдөлд байгаа онцлог шинжийн вектор тусгагдсан ч гэсэн тэдний утгыг нь далдлагдсан [16].

grqc, hepth, hepsh, astroph, condmat: Arxiv дээр төрөл бүрийн салбарт хамтран ажилладаг эрдэмтдийн хамтын ажиллагааны сүлжээг агуулна. Хэрэв өгүүлэл хэвлүүлж буй зохиогч i өөр нэг j

Хүснэгт 1: Туршилтад ашиглах сүлжээнүүдийн товч мэдээлэл, энд V нь зангилааны тоо, E нь ирмэгийн тоо, $\langle d \rangle$ нь дундаж зэрэг, H нь бүрдэл хэсгийн тоо, C нь кластерын коэффициент.

Networks	V	E	$\langle d \rangle$	H	C
HumanDis	516	1,188	4.60	1	0.43
Tren_Rom	255	272	2.13	1	0.02
EU_flights	1,191	31,610	53.08	2	0.40
openflights	1,858	13,900	14.96	371	0.33
yeast1	2,018	2,705	2.68	185	0.02
powergrid	4,941	6,594	2.66	1	0.10
OClinks	1,899	13,838	14.57	4	0.06
facebook	4,039	88,234	43.69	1	0.52
grqc	5,242	14,484	5.52	355	0.63
hepth	9,877	25,973	5.25	429	0.28
hepph	12,008	118,489	19.73	278	0.65
astroph	18,772	198,050	21.10	290	0.32
condmat	23,133	93,439	8.07	567	0.26

хүнтэй хамтарч бичсэн бол граф i -с j чиглэлгүй ирмэгийг агуулах болно. Хэрэв нэг өгүүлэл k зохиогчтой бол k оройтой бүтэн дэд граф үүсгэнэ [16].

3.2 Туршилтын арга зүй

Дахин оруулах аргыг харьцуулахдаа **Random**, **HDA**, **CI** гэсэн задлах аргаар графын хамгийн том бүрдэл хэсгийг хамгийн ихдээ 5 оройтой бүрдэл хэсгүүдэд хуваан оройнуудыг устгасан.

- **Random**: Графаас санамсаргүйгээр нэг оройг сонгон устгах зарчмаар сүлжээг жижиглэн хуваасан.
- **HDA**: High Degree Adaptive арга нь хамгийн өндөр зэрэгтэй оройг устгах зарчмаар графыг жижиглэн хуваана. Нэг оройг устгасны дараагаар үлдсэн оройнуудын зэргийг шинэчилнэ.
- **CI**: Collective Influencer¹ [17] аргыг ашиглан хамгийн өндөр CI оноотой оройг хасах зарчмаар графыг жижиглэн хуваана. Нэг оройг хассаны дараа үлдсэн оройнуудыг CI оноог дахин тооцно.

Графыг задлах алгоритм бүр дээр дахин оруулах аргаа туршиж үзсэн. Ингэхдээ Хүснэгт 1 харуулсан бодит сүлжээнүүд дээр туршиж ажиллуулсан.

Дэвшүүлж буй аргаа [13]-д дурдагдсан дараах гурван дахин оруулах аргатай харьцуулсан.

- **Re-insertion I (R1)**: Нэмэгдэж буй орой хамгийн цөөн тооны бүрдэл хэсгүүдийг хооронд нь холбож байхаар оройг сонгоно.
- **Re-insertion II (R2)**: Нэмэгдэж буй оройн холбон үүсгэсэн бүрдэл хэсгийн хэмжээ хамгийн бага байхаар оройг сонгоно.

- **Re-insertion III (R3)**: Холбож буй бүрдэл хэсгийн тоо, үүсгэсэн бүрдэл хэсгийн хэмжээ хоёрын үржвэр хамгийн бага байхаар оройг сонгон оруулна. Re-insertion I, II-ын үржвэр гэсэн үг.

Өөрсдийн дэвшүүлсэн аргаа хоёр янзаар ажиллуулсан, нэг нь сэгсрэх техник ашиглаагүй (**R_BL**), нөгөө нь дэвшүүлсэн арга дээрээ сэгсрэх техник хэрэгжүүлсэн (**R_BLS**). Эдгээр таван дахин оруулах аргыг, гурван задлах аргатай хослуулан өгөгдөл дээрээ туршиж харуулсан болно.

Дахин оруулах аргыг хооронд нь харьцуулахдаа дараах хэмжигдэхүүнийг ашигласан.

$$R = \frac{1}{N} \sum_{Q=5}^N s(Q) \quad (3)$$

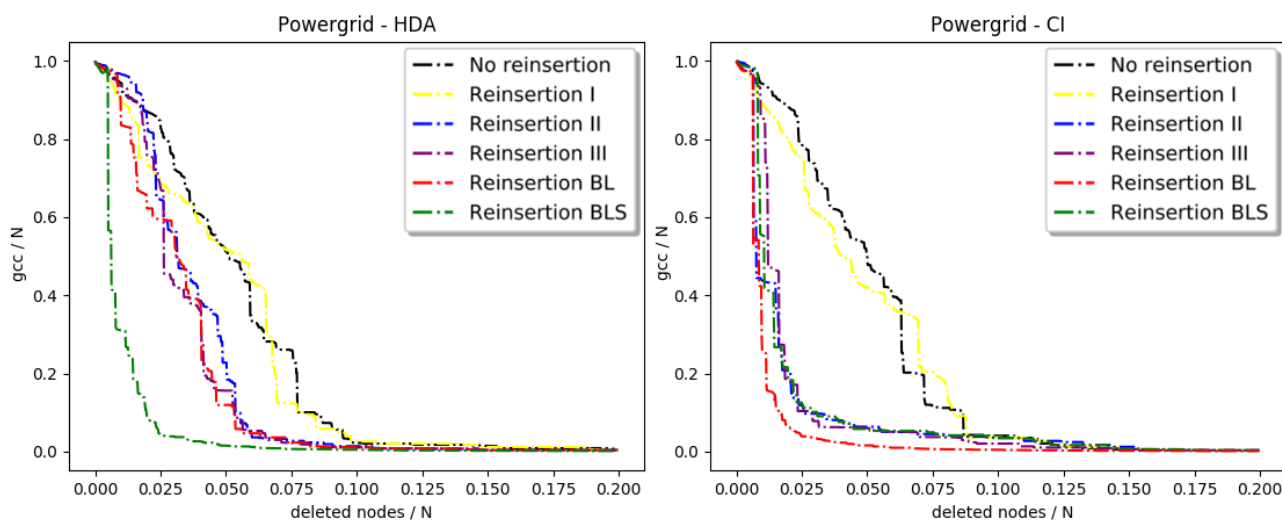
Энд $s(Q)$ нь Q ширхэг оройг буцааж нэмсний дараах хамгийн том бүрдэл хэсгийн хэмжээ. Устгасан оройнуудаас нэг нэгээр сонгон оруулахдаа хамгийн том бүрдэл хэсгийн хэмжээнүүдийн нийлбэрийн дунджийг Тэгшитгэл 3-аар олж байна. Энэ нь үндсэндээ Зураг 2-д харуулсан графикийн муруйн доорх хэсгийн талбайг бодож олж байгаа болно.

3.3 Дахин оруулах тэнцвэрт, сэгсрэх аргын үнэлгээ

Эхлээд бид дахин оруулах тэнцвэрт аргыг (**R_BL**), ямар ч дахин оруулах арга хэрэглээгүй задлах аргатай (**noR**) харьцуулсан. Энэ үр дүнг Хүснэгт 2-д тэгшитгэл 3-р бодон гарган харуулав. Сүлжээг задлах гурван арга тус бүрийн хувьд дахин оруулах тэнцвэрт аргыг хэрэглэсэн нь илүү давамгайл үр дүнг үзүүлж, нэг тохиолдлоос бусад бүх тохиолдолд дахин оруулах аргыг хэрэглэсэн нь илүү үр дүнтэй байна. Оройнуудыг санамсаргүй байдлаар устгасан үр дүн дээр дахин оруулах аргыг хэрэглэснээр дахин оруулах аргыг хэрэглээгүй ухаалаг алгоритмын үр дүнгээс илүү гарч байгаа нь энгийн дахин оруулах арга Сүлжээг Задлах Бодлогын үр дүнд ихээхэн нөлөөлж байгааг бататгаж байна [13]. HDA аргаар сүлжээг задлахад нөгөө хоёр аргаас ихэнх граф дээр илүү сайн задалж байгаа ч CI-ыг дахин оруулах тэнцвэрт аргатай хослуулахад HDA-ыг сайжруулснаас илүү давсан үзүүлэлт гаргасан. Иймд дахин оруулах тэнцвэрт арга нь CI-г илүү сайжруулж байгаа нь дундаж сайжруулалт 317.50-аар харагдаж байна. Дундаж сайжралтыг бодохдоо өгөгдөл тус бүрийн үр дүнгийн зөрүүний нийлбэрийг нийт өгөгдлийн тоонд хуваасан. Энд бодсон дундаж сайжралтын оноо нь задлах алгоритмаас ихээхэн хамаарах бөгөөд санамсаргүй аргын хувьд дундаж сайжралт хамгийн сайн байгаа нь задлах алгоритм анхнаасаа муу задласантай холбоотой.

Дараагаар нь дахин оруулах тэнцвэрт арга дээрээ сэгсрэх техникийг нэмсэн (**R_BLS**). Ингэхэд сэгсрэх техник нь дахин оруулах тэнцвэрт аргын үр дүнг илүү сайжруулсан. Хүснэгт 3-д сэгсрэх техникийг хэрэглэснээр дундаж сайжралт гурван задлах аргын хувьд ойролцоо байгаа бөгөөд сайжирсан

¹<https://github.com/zhfkt/ComplexCi>



Зураг 2: Powergrid өгөгдөл дээрх дахин оруулах аргуудын харьцуулалт. Хэвтээ тэнхлэг нь устгасан оройн тоог нийт оройн тоонд харьцуулсан хэмжээ. Босоо тэнхлэг нь хамгийн том бүрдлийн хэмжээг нийт оройн тоонд харьцуулсан хэмжээ.

үзүүлэлт Random-ын хувьд дунджаар 91.85, HDA-ын хувьд дунджаар 72.6, CI-ын хувьд дунджаар 85.19 байна. Random-ын хувьд дундаж сайжралт хамгийн их байгаа боловч үр дүнгийн хувьд бусдыгаа давж чадахгүй байна. Харин дахин оруулах тэнцвэрт аргатай HDA, CI-д өмнө нь ялагдаж байсан (Хүснэгт 2) бол сэгсрэх техниктэй, дахин оруулах тэнцвэрт аргыг хэрэглэснээр HDA-ын үр дүнг илүү сайжруулан 13 графын 8-д нь хамгийн сайн үр дүнг үзүүлсэн.

Туршилтаас үзэхэд R_BL нь CI аргыг илүү сайжруулж, R_BLS нь HDA аргын үр дүнг илүү сайжруулж байна. Хамгийн сайн үр дүнг HDA-г, сэгсрэх техниктэй дахин оруулах тэнцвэрт аргатай ашигласнаар гаргах боломжтой туршилт харуулж байна.

3.4 Бусад аргатай харьцуулсан үнэлгээ

Энэ хэсэгт дэвшүүлсэн сэгсрэх техниктэй дахин оруулах тэнцвэрт аргыг бусад дахин оруулах аргууд (R1, R2, R3)-тай харьцуулан үр дүнгийн үнэлгээг гүйцэтгэлээ. Ингэхэд туршилтын 13 өгөгдлийн хувьд R_BLS дахин оруулах арга нь Random-р задлах үед 11 удаа, HDA-р сүлжээг задлах үед 11 удаа, CI-р сүлжээг задлах үед 10 удаа тус тус ялсан үр дүн үзүүлсэн (Хүснэгт 4, 5, 6).

Хүснэгт 4, 5, 6 дахь тоон үр дүнгийн график дүрслэлийг зарим сүлжээний хувьд дүрслэв. powergrid өгөгдлийн хувьд таван дахин оруулах аргын үр дүнгийн графикийг Зураг 2-т харуулав. Хэвтээ тэнхлэгийн ихэнх хэсэгт уг тэнхлэгтэйгээ аль болох ойр байвал сайн үр дүнг үзүүлж байна гэж үзэж болно. Дахин оруулах арга ашиглаагүй (хар тасархай зураас) хувилбар болон дахин оруулах I (Re-insertion I [13]) аргууд хамгийн тааруу үр дүн үзүүлжээ. Ихэнх дахин оруулах аргууд (Re-insertion I -с бусад) сүлжээг илүү үр дүнтэйгээр задалж байна. Ямар ар-

гаар (HDA эсвэл CI) устгаснаас шалтгаалж дахин оруулах аргын үр нөлөө өөр байгаа нь харагдана. Тухайлбал, HDA устгах аргын (зүүн гар тал) хувьд сэгсрэх техниктэй дахин оруулах тэнцвэрт арга (Зураг 2-т ногоон тасархай зураасаар дүрсэлсэн) бусад аргаа илэрхий ялж байна. Харин CI (баруун гар тал) устгах аргын хувьд дахин оруулах тэнцвэрт арга (Зураг 2-т улаан өнгөөр дүрсэлсэн) бусад аргаа ялсан байна.

4 Дүгнэлт

Комплекс сүлжээг үр дүнтэйгээр задлах зорилготой дахин оруулах шинэ аргыг танилцууллаа. Дэвшүүлсэн аргаа нийгэм, биологи, технологийн төрлийн 13-н сүлжээний өгөгдлийг ашиглан туршиж, саяхан дэвшигдсэн бусад гурван аргатай үр дүнгээ харьцуулан үнэллээ. Бидний дэвшүүлсэн дахин оруулах тэнцвэрт аргыг сэгсрэх техник илүү сайжруулж байна. Туршилтын үр дүн HDA алгоритмаар сүлжээг задлаад, сэгсрэх техниктэй дахин оруулах тэнцвэрт аргыг хэрэглэснээр хамгийн сайн үр дүнг авах боломжтой бөгөөд бидний гаргасан үр дүн өмнө энэ салбарт хийгдсэн ажлын үр дүнг илүү сайжруулсан байна. Дахин оруулах аргыг нэмснээр хамгийн өндөр зэргийг устгадаг энгийн алгоритм илүү нарийн ажилгаатай CI алгоритмаас сайн үр дүнг үзүүлж чадаж байна.

Зохиогчийн оролцоо

Уг судалгааг П.Далайжаргал дизайн хийж, алгоритмын хөгжүүлэлт, хэрэгжүүлэлт, туршилт Г.Гантулга гүйцэтгэлээ, өгүүллийн бичилтийг хамтран гүйцэтгэв.

Хүснэгт 2: Дахин оруулах тэнцвэрт аргыг ямар ч дахин оруулах аргыг хэрэглээгүй задлах аргатай харьцуулсан үр дүн. noR нь ямар ч дахин оруулах аргыг хэрэглээгүй үр дүн. R_BL нь дахин оруулах тэнцвэрт арга. Ялсан тоо нь нэг аргын хоёр баганыг харьцуулан тоолсон бол нийт ялсан тоо нь бүх баганыг харьцуулан тоолсон. Тухайн графын хувьд хамгийн бага үр дүнг тодоор харуулав.

	Random		HDA		CI	
Сүлжээ	noR	R_BL	noR	R_BL	noR	R_BL
humanDisease	141.66	16.82	16.34	10.55	18.19	10.66
Treni_Roma	20.07	15.30	19.65	11.25	18.10	19.89
EU_flights	542.80	293.49	312.40	295.62	318.31	296.91
openflights	646.38	131.40	148.55	146.68	159.09	138.59
yeast1	577.86	79.18	72.64	65.29	72.26	63.38
powergrid	1,092.29	88.36	257.03	157.62	249.33	96.50
OClinks	835.63	297.00	276.25	271.98	278.34	268.12
facebook	1,783.65	539.21	1,075.84	391.92	1,136.85	790.25
grqc	1,475.21	258.17	440.53	256.27	477.82	251.14
hepht	3,384.68	828.29	997.25	781.33	1,037.64	781.01
hepht	4,820.37	1,377.08	2,048.81	1,322.39	2,175.45	1,313.49
astroph	8,137.28	3,319.25	4,099.93	3,160.29	4,275.94	2,921.57
condmat	8,966.96	2,132.57	2,752.33	2,067.86	2,914.13	2,052.45
Ялсан тоо	0	13	0	13	1	12
Нийт ялсан тоо	0	3	0	3	0	7
Дундаж сайжралт	1,772.98		275.27		317.50	

Хүснэгт 3: Дахин оруулах тэнцвэрт аргыг дахин оруулах тэнцвэрт арга дээр сэгсрэх техник ашигласантай харьцуулсан үр дүн. R_BL нь дахин оруулах тэнцвэрт арга, R_BLS нь сэгсрэх техниктэй дахин оруулах тэнцвэрт арга. Тухайн графын хувьд хамгийн бага үр дүнг тодоор харуулав.

	Random		HDA		CI	
Сүлжээ	R_BL	R_BLS	R_BL	R_BLS	R_BL	R_BLS
humanDisease	16.82	14.52	10.55	9.67	10.66	10.35
Treni_Roma	15.30	9.71	11.25	8.70	19.89	16.98
EU_flights	293.49	284.24	295.62	268.22	296.91	279.38
openflights	131.40	102.38	146.68	111.15	138.59	125.40
yeast1	79.18	58.32	65.29	52.33	63.38	54.97
powergrid	88.36	67.52	157.62	52.57	96.50	55.64
OClinks	297.00	263.54	271.98	252.32	268.12	254.57
facebook	539.21	419.95	391.92	398.88	790.25	311.75
grqc	258.17	231.09	256.27	218.79	251.14	219.11
hepht	828.29	727.20	781.33	695.65	781.01	697.49
hepht	1,377.08	1,219.26	1,322.39	1,212.73	1,313.49	1,175.91
astroph	3,319.25	2,927.67	3,160.29	2,892.50	2,921.57	2,875.26
condmat	2,132.57	1,856.72	2,067.86	1,819.64	2,052.45	1,819.67
Ялсан тоо	0	13	1	12	0	13
Нийт ялсан тоо	0	2	0	8	0	3
Дундаж сайжралт	91.85		72.76		85.19	

Хүснэгт 4: Санамсаргүй оройг устган сүлжээг задлан $R1$, $R2$, $R3$, R_BLS дахин оруулах аргуудыг харьцуулав.

	Random			
Сүлжээ	R1	R2	R3	R_BLS
humanDisease	23.57	17.43	16.50	14.52
Treni_Roma	16.78	16.09	13.60	9.71
EU_flights	283.19	295.10	284.40	284.24
openflights	121.96	144.22	111.02	102.38
yeast1	93.92	78.05	77.66	58.32
powergrid	288.04	122.62	116.49	67.52
OClinks	297.50	301.30	291.31	263.54
facebook	799.59	464.18	263.45	419.95
grqc	401.72	259.55	254.21	231.09
hepht	928.04	829.74	783.03	727.20
hepht	1,573.41	1,387.83	1,300.08	1,219.26
astroph	3,383.85	3,325.69	3,193.14	2,927.67
condmat	2,495.34	2,115.95	2,078.61	1,856.72
Ялсан тоо	1	0	1	11

Хүснэгт 5: HDA аргаар сүлжээг задлан $R1$, $R2$, $R3$, R_BLS дахин оруулах аргуудыг харьцуулав.

	HDA			
Сүлжээ	R1	R2	R3	R_BLS
humanDisease	17.83	13.65	13.39	9.67
Treni_Roma	19.60	11.36	10.67	8.70
EU_flights	263.41	296.18	272.88	268.22
openflights	109.22	147.55	109.01	111.15
yeast1	72.63	64.65	61.94	52.33
powergrid	242.75	181.89	163.96	52.57
OClinks	258.23	270.11	261.65	252.32
facebook	869.79	658.02	604.11	398.88
grqc	339.59	267.12	261.06	218.79
hepht	896.86	790.33	784.21	695.65
hepht	1,559.41	1,330.92	1,291.31	1,212.73
astroph	3,359.73	3,237.00	3,073.13	2,892.50
condmat	2,456.12	2,064.25	2,022.59	1,819.64
Ялсан тоо	1	0	1	11

Хүснэгт 6: CI аргаар сүлжээг задлан $R1$, $R2$, $R3$, R_BLS дахин оруулах аргуудыг харьцуулав.

	CI			
Сүлжээ	R1	R2	R3	R_BLS
humanDisease	18.18	13.65	11.49	10.35
Treni_Roma	20.74	19.07	19.89	16.98
EU_flights	269.31	303.09	282.63	279.38
openflights	120.58	107.53	115.52	125.40
yeast1	69.77	63.43	61.41	54.97
powergrid	237.97	92.75	98.46	55.64
OClinks	252.16	266.43	255.02	254.57
facebook	1,049.71	923.39	641.01	311.75
grqc	300.24	257.49	248.60	219.11
hepht	816.87	781.60	754.49	697.49
hepht	1,364.16	1,322.79	1,278.56	1,175.91
astroph	3,068.38	2,943.97	2,936.36	2,875.26
condmat	2,214.22	2,065.00	1,998.21	1,819.67
Ялсан тоо	2	1	0	10

Санхүүжилт

Энэхүү судалгааны ажил нь Монгол Улсын Их Сургуулийн өндөр төвшний судалгаа төслийн (P2020-3978) санхүүжилтээр хэрэгжсэн судалгааны ажлын нэг хэсэг болно.

Ашиг сонирхлын зөрчилгүйн баталгаа

Ашиг сонирхлын зөрчилгүй болно.

Ашигласан ном

- [1] Zanin M, Lillo F. Modelling the air transport with complex networks: A short review. The European Physical Journal Special Topics. 2013;215(1):5–21.
- [2] Cuadra L, Salcedo-Sanz S, Del Ser J, Jiménez-Fernández S, Geem ZW. A critical review of robustness in power grids using complex networks concepts. Energies. 2015;8(9):9211–9265.
- [3] Albert R, Barabási AL. Statistical mechanics of complex networks. Reviews of modern physics. 2002;74(1):47.
- [4] Sharan R, Ideker T. Modeling cellular machinery through biological network comparison. Nature biotechnology. 2006;24(4):427–433.
- [5] Rubinov M, Sporns O. Complex network measures of brain connectivity: uses and interpretations. Neuroimage. 2010;52(3):1059–1069.
- [6] Kelly ME, Duff H, Kelly S, Power JEM, Brennan S, Lawlor BA, et al. The impact of social activities, social networks, social support and social relationships on the cognitive functioning of healthy older adults: a systematic review. Systematic reviews. 2017;6(1):1–18.
- [7] Kong X, Shi Y, Yu S, Liu J, Xia F. Academic social networks: Modeling, analysis, mining and applications. Journal of Network and Computer Applications. 2019;132:86–103.
- [8] Braunstein A, Dall'Asta L, Semerjian G, Zdeborová L. Network dismantling. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2016;113(44):12368–12373.
- [9] Morone F, Makse HA. Influence maximization in complex networks through optimal percolation. Nature. 2015;524(7563):65–68.
- [10] Tian L, Bashan A, Shi DN, Liu YY. Articulation points in complex networks. Nature communications. 2017;8(1):1–9.
- [11] Ren XL, Gleinig N, Helbing D, Antulov-Fantulin N. Generalized network dismantling. Proceedings of the national academy of sciences. 2019;116(14):6554–6559.

- [12] Wandelt S, Sun X, Feng D, Zanin M, Havlin S. A comparative analysis of approaches to network-dismantling. *Scientific reports*. 2018;8(1):1–15.
- [13] Fan C, Zeng L, Feng Y, Xiu B, Huang J, Liu Z. Revisiting the power of reinsertion for optimal targets of network attack. *Journal of Cloud Computing*. 2020;9:1–13.
- [14] Aringhieri R, Grosso A, Hosteins P, Scatamacchia R. Local search metaheuristics for the critical node problem. *Networks*. 2016;67(3):209–221.
- [15] Goh KI, Cusick ME, Valle D, Childs B, Vidal M, Barabási AL. The human disease network. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007;104(21):8685–8690.
- [16] Leskovec J, Krevl A. SNAP Datasets: Stanford Large Network Dataset Collection; 2014. <http://snap.stanford.edu/data>.
- [17] Morone F, Min B, Bo L, Mari R, Makse HA. Collective influence algorithm to find influencers via optimal percolation in massively large social media. *Scientific reports*. 2016;6(1):1–11.

