

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.davaasambuу@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 хэндобр юм. Нөхцөлт хэндобрын гол онцлог нь тусгай нөхцөл хангах хүртэл боломжит бааз станцуудыг нэр дэвшигчээр хадгалж хэрэглэгчдийг олон бааз станцаас сонголт хийлгэх юм. Харин энэхүү хэндобрын асуудал нь боломжит бааз станцуудын тооноос хамаарч дохиоллын мессежийн тоо ихсэх юм. Мөн хэрэглэгч бай бааз станцаа сонгох үедээ зөв сонгоогүйгээс үүдэж хэндобрын алдаа ихэснэ. Энэ нь сүлжээний гүйцэтгэлд шууд муугаар нөлөөлнө. Энэхүү судалгааны ажлаар бид нөхцөлт хэндобрийн процедурт босго оноо болон тригерыг өөрчилсөн механизм нэмж сайжруулалт хийнэ. Өөрөөр хэлбэл бидний сайжруулалт нь нэр дэвшигч бааз станцуудаас сонгохдоо шалгах нөхцөлийн параметруудийг динамик болгох юм. Бид туршилтын орчинд өөрсдийн сайжруулалтаа шалгахад хэндобрын 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 хэндобрыг тодорхойлсон байдаг. Тэдгээр нь make-before-break (МБВ) болон RACHless-NO(RHO) гэсэн хоёр төрлийн хэндобр 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 хэндобр юм. Энэхүү хэндобр 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 хэндобр нь 4G сүлжээний үндсэн хэндобр болох хатуу хэндобрыг шууд ашигласан.

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

- **Бэлтгэх:** радио дохионы чанарт хэмжилт хийж BC-аас гарах нөхцлийг хангахад нэг бай BC-ийг сонгоно.
- **Гүйцэтгэх:** АЗ нөхцлийг радио дохионы чанар хангахад бай BC-руу хэндоврыг эхлүүлнэ. Энд үйлчлэгч BC-аас холболтоо салгах, бай BC-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 BC-ын оронд тусгай нөхцөл хангаж байгаа олон тооны BC-уудыг хянаж АЗ нөхцөл биелсэн нэгрүү нь гүйцэтгэх шатыг эхлүүлнэ. Тухайн ашиглагдаж байгаа нөхцлүүд, олон бай BC сонгох үйлдлүүдийн тусламжтайгаар дан холболтын найдвартай байдлыг хангаж буруу бай BC сонгох, Ping-pong (PP) хэндовр үүсэхээс сэргийлнэ. Буруу BC сонгох алдаа гэдэг нь сонгогдсон BC-ний радио дохионы чанар хэндоврын үе шатууд бүрэн дуусахаас өмнө буурч өгөгдөл дамжуулах боломжгүй түвшинд хүрэх юм [5]. Ингэснээр хэндовр алдаатай болж хэрэглэгч хуучин BC-руугаа шилжиж, шинээр хэндоврыг эхлүүлэх шаардлагатай болж хоцролт нэмэгдэнэ. Хэрэв хуучин BC-руу шилжиж чадахгүй бол хэрэглэгч сүлжээнээс салж, идэвхитэй бүх сейшнүүд тасарч үйлчилгээ тасалдана. PP хэндовр гэдэгт хэрэглэгч хэндоврыг амжилттай дуусгаад тодорхой хугацааны дотор буцаж анхны BC-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 BC-ын хүрээнээс гарах хүртэл сунгаж нөхцөлт хэндоврт сайжруулалт хийнэ. Ингэхдээ бид хэндоврын бэлтгэх шат дахь бай BC-ыг сонгох хэсэгт босго нэмж хэрэглэгч холбогдсон байгаа BC-тэйгээ холболтоо хадгалах боломжтой нөхцөлд нэр дэвшигч BC-уудыг үргэжлүүлэн хянах болно. Ингэснээр бай BC-ыг зөв сонгох, BC-ын хүрээний захад үүсэх PP 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 танилцуулна. Дүгнэлтийг тавдугаар бүлэгт багтаав.

2 Нөхцөлт хэндовр ба түүний асуудлууд

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

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

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

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

- Хэрэглэгчийн төхөөрөмж нэр дэвшигч BC-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 BC-тай хэндоврын гүйцэтгэх шатыг эхлүүлнэ.

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

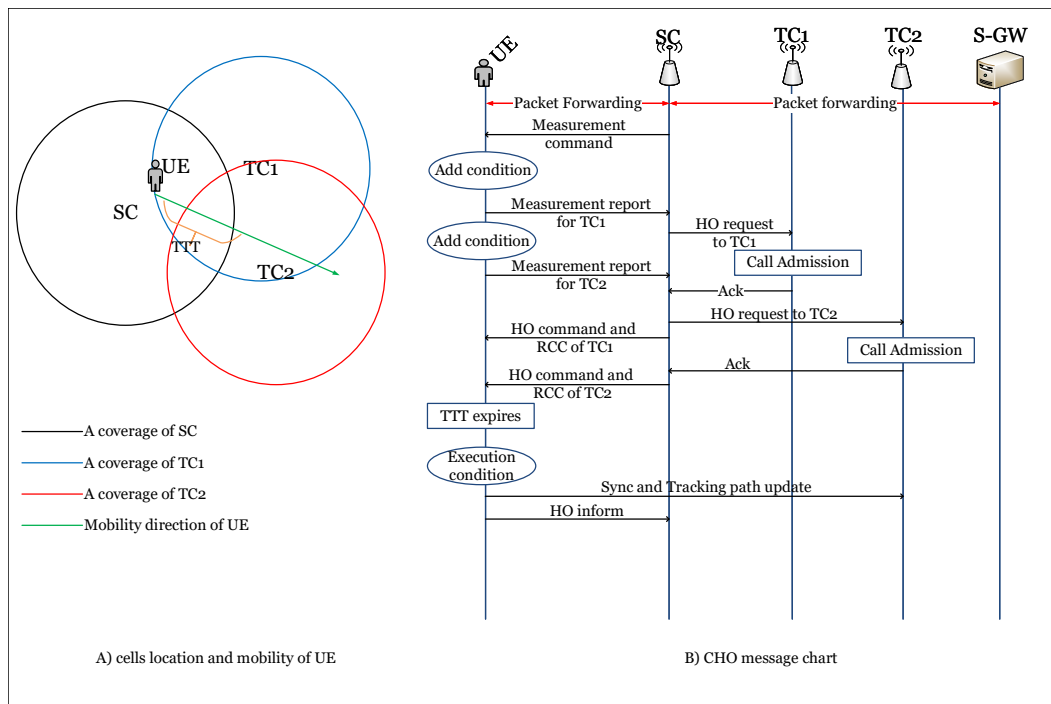
Томъёо 1, 2, 3 дахь o_{add} , o_{remove} болон o_{exec} гэсэн хоёр BC-ны радио дохионы зөрүүг илэрхийлэх параметруудийг сүлжээний администратор гараар тохируулах зохицуулалттай байгаа нь олон төрлийн орчин, BC-ийн хэмжээнүүдтэй 5G сүлжээнд нэг султ тал бий болгож байна гэж бид үзсэн.

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* (ТТТ)-ийг эхлүүлнэ. Энгийн хэндоврын үед зөвхөн сонгогдсон BC-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 BC-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 BC 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 хэндөврын үйл ажилгааны жишээ.

- байнга хянаж байдаг. Зааж өгсөн босгоос радио дохионы чадал бага болох үед үйлчлэгч БС нь *Measurement Command*-ийг хэрэглэгчрүү илгээнэ.
 2. Хэрэглэгч радио дохионы хэмжилт хийгээд илэрсэн БС-уудын радио дохиог Томъёо 1-ээр шалгаж нэр дэвшигч БС-уудын жагсаалт гаргана.
 3. 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.
 4. Үйлчлэгч БС нь *Measurement report*-д багтсан БС-уудруу *HO request* буюу хэндөврын бэлтгэх шатны үйлдэл болох бай БС-руу хэрэглэгч нэвтэрч орох шаардлагатай тохиргоо хийх хүсэлт илгээнэ. Манай жишээнд *SC* нь *TC1*-руу хүсэлт илгээж байна.
 5. *TC1* нь хүсэлтийг хүлээж аваад *Call Admission* буюу радио нөөцийг хэрэглэгчид зориулж нөөцлөөд хэндөвр хийж шилжиж орж ирэхэд шаардлагатай тохиргоог *Ack*-аар үйлчлэгч БС-руу хариулна.
 6. 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.
 7. Үйлчлэгч БС нь *Measurement report*-д багтсан *TC2*-руу *HO request*-ийг илгээнэ.
 8. Дээрх үйлдэлтэй зэрэгцээд үйлчлэгч БС нь хэрэглэгчид *TC1*-рүү хэндөвр хийх *HO command and RCC*-ийг илгээнэ.
 8. *TC2* нь хүсэлтийг хүлээж аваад радио нөөцийг нөөцлөх, хэндөврт шаардлагатай тохиргоог *Ack*-аар *SC*-руу хариулна.
 9. *SC* нь хэрэглэгчрүү *TC2*-руу хэндөвр хийх *HO command and RCC*-ийг илгээнэ
 10. ТТТ-ын хугацаа дууссан учир хэрэглэгч нэр дэвшигч БС-уудаас Томъёо 3-ийг хангаж байгаа БС-руу хэндөврын гүйцэтгэх шатыг эхлүүлнэ. Манай жишээнд хэрэглэгч *TC2*-руу шилжих үйлдлийг эхлүүлсэн.
 11. Хэрэглэгч *TC2*-тай *Sync and Tracking update*-ийн бүлэг дохиоллын мессежүүдийг солилцож хэндөврыг дуусгах шатыг хийнэ.
 12. Хэрэглэгч эсвэл түүний шилжиж орсон БС-ын аль нэг нь хэндөврын 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 хэндөврын энгийн хатуу хэндөвроос 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 BC-уудын радио дохиог хянах, нөхцлүүдийг шалгах, нэр дэвшигч BC-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 BC-ийн тоотой уялдаатайгаар солилцож байна.
- Нэр дэвшигчдээс сонгох үйл ажиллагааг үйлчлэгч BC-аас хэрэглэгчрүү шилжүүлснээр хэрэглэгч дээр тооцоолол хийх шаардлагатай болсон. Хэрэв ТТТ-ийн утга дуусахад олон нэр дэвшигч BC-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 BC-ыг сонгох механизмын талаар тайлбарлана. Дараа нь нөхцөлт хэндоврт хийсэн өөрчлөлтүүд, СНХ-ийн ажиллах үед сүлжээний нэгжүүдийн хоорондоо солилцох дохиоллын мессежүүдийг тайлбарлах болно.

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

Зураг 2А-д харуулсан хоёр том BC-ын давхацлын хэсэгт хоёр жижиг BC-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 RR хэндовр үүсгэх асуудлуудад тулгарсан гэвэл А-аас С-руу, А-аас В-руу, С-аас В-руу, D-аас А-руу гэх зэргээр шаардлагагүй хэндовруудыг

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

Зөв BC сонгохын тулд ТТТ болон бусад параметруудийн утгыг BC-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 BC-ын хүрээнээс гарах шалгуур буюу радио дохионы зааж өгсөн доод түвшинд хүрвэл АЗ нөхцлийн хангаж байгаа нэр дэвшигч BC-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 BC сонгох боломжтой болно.

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

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

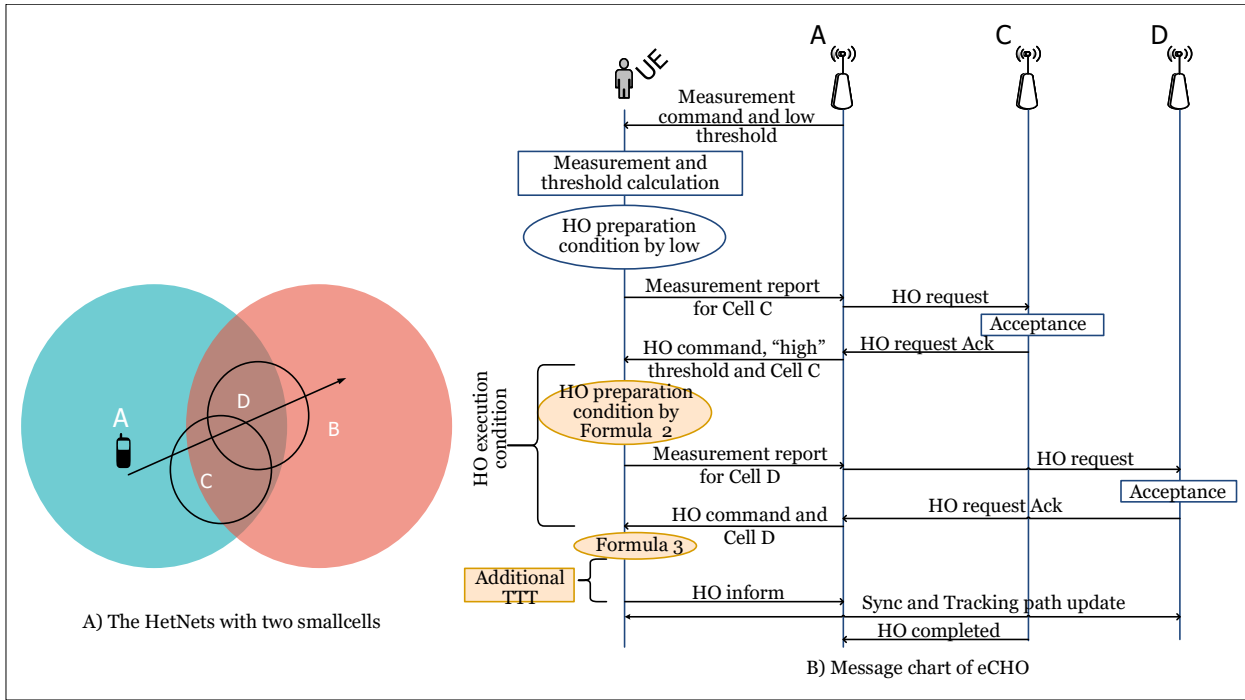
Q_{out} нь радио дохионы зааж өгсөн доод түвшин, $RSRP_{sc}$ нь үйлчлэгч BC-ийн радио дохионы чадал, *hysteresis* нь АЗ нөхцөл дэхь параметр юм.

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

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

ТТТ-ыг сунгаснаар жижиг хамрах хүрээтэй BC болон макро BC-уудын давхцлын бүсээр явж байгаа хэрэглэгчийг хэндовр хийлгүй дахин хэмжилтийн утгыг авч тооцоолж, тохиромжтой BC-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 BC-аас сонгох боломжтой болно. Мөн RR 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 тооцолж 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 PP 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
Хэндөвр давхцал	макро BS 30 хувь
Хэрэглэгчийн тоо	100 хүртэл
Хэрэглэгчийн хурд	6 m/s and 20 m/s

4.1 Ping-Pong хэндөвр

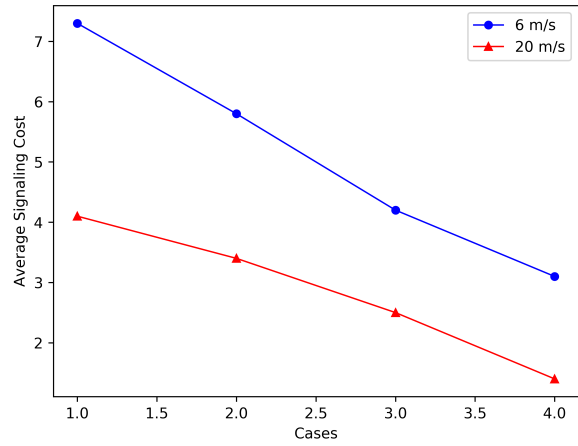
Туршилтын үр дүнгээс бид PP хэндөврыг хэрэглэгч хэндөвр дуусаад буцаж хуучин BS-руу хэндөвр хийсэн болон хэндөврын дараа тухайн BS-д хэрэглэгч 4 секундээс бага хугацаанд байгаа дурын BS-руу хэндөвр хийсэн гэсэн хоёр нөхцлийг тавьж тоог гаргаж ирсэн. Ингээд үр дүнг Хүснэгт 2-т 4 өөр нөхцлөөр ялган үзүүлэв.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

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

Хүснэгт 2-оос дүгнэвэл хөдөлгөөний хурдны зөрүү нь PP хэндөвр, BS-д байх хугацаа, хэндөврын оролдлого хийсэн нийт тоонд нөлөөлөх боломжтой байна. Хэрэглэгчийн хурд өндөр байхад PP хэндөвр болон BS-д байх хугацааг уртасгаж байна. Харин хурд бага байхад хэндөвр 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 BS, нэр дэвшигч BS-ууд, сүлжээний гарц гэсэн дөрвөн сүлжээний нэгжүүдийн хооронд солилцож байгаа хэндөвртой 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 хэндөврыг сайжруулах зорилгоор бид СНХ-ийг босго утга болон TTT-ыг сунгах механизмтайгаар санал болгосон. Бид СНХ-ийн гүйцэтгэлийг шалгахын тулд макро болон жижиг BS-үүд бүхий сүлжээг туршилтын орчинд загварчилсан. Туршилтаар бидний санал болгосон СНХ нь хэндөврын дараа тухайн BS-даа удаан байх, PP хэндөврын тоог багасгах, бэлтгэх шатанд хэндөврын 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 Хэндоер болон БС-д орших хугацаа

Нөхцлүүд	1	2	3	4	1	2	3	4
Ping-pong Хэндоер	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
Хэндоер 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..