

LTE Сүлжээний Контентийн Нөөц Хуваарилалтын Судалгаа

Л.Эрдэнэбаяр*, Б.Отгонбаяр †, Н.Чулуунбанди †², Г.Хишигжаргал †²

* Холбооны салбар, Докторант,

† Холбооны салбар, Доктор (Ph.D), проф

†² Холбооны салбар, Доктор (Ph.D), дэд проф

* erdenebayar.l@must.edu.mn † otgonbayar_b@must.edu.mn, chuluunbandi@must.edu.mn, khishigjargal@must.edu.mn

Хураангуй—LTE технологийн нөөц хуваарилалтын асуудлыг оновчлоход хэрэглэгчийн үйлчилгээний ачаалал зохицуулалтын шатны боловсруулалтад ҮЗДҮЭА алгоритм, хугацааны мужид нөөц төлөвлөх шатны боловсруулалтад ПИСА алгоритм, давтамжийн мужид нөөц төлөвлөх шатны боловсруулалтад хамгийн их үйлчилгээний чанарыг сонгох алгоритм, мультимедиа үйлчилгээний дамжуулах аргачлалд ХЗҮУА алгоритм, өгөгдлийн үйлчилгээний дамжуулах аргачлалд шинэ GTS хуваарилах алгоритмуудыг хөгжүүлж, эдгээр алгоритмуудыг Гибрид суурьтай нөөц хуваарилалтын нэгдмэл алгоритмд нэгтгэн хөгжүүлсэн.

Түлхүүр үг— LTE сүлжээ, Нөөц хуваарилалт, OFDMA, давтамжийн муж, хугацааны муж

I. ОРШИЛ

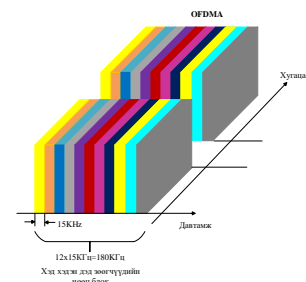
Холбооны технологи нь сүүлийн жилүүдэд хэд хэдэн хүчин зүйлээс шалтгаалан контентийн үйлчилгээг нэвтрүүлэх гарцыг нээсэн. Нэгдүгээрт үүрэн сүлжээний төхөөрөмжүүдийн интерфэйс дамжуулал нь IP (Интернэт Протокол) суурьтайгаар хөгжүүлэгдсэн. Хоёрдугаарт эцсийн хэрэглэгчийн терминалд зарим боломжууд нээгдсэн. Үүнд, мэдрэгчтэй өргөн дэлгэцтэй болж, батерейн ажиллах хугацаа уртсаж, тэжээлийн зарцуулалт сайжирсан. Камерын функц сайжирснаар хэрэглэгч видеог дан ганц захиалж үзэх бус, бусдад түгээх боломж нээгдсэн. Өнөөгийн 3 дахь үеийн үүрэн сүлжээний үйлчилгээний тэлэх чадавхи, чанарын үнэлгээний аргачлалыг 4 дэх үеийн хөдөлгөөнт холбоонд хөгжлийн шинэ шатанд өргөжүүлэн сайжруулснаар өсөн нэмэгдэж байгаа хөдөлгөөнт хэрэглэгчдийн хүсэл хэрэгцээ болон хэрэглэгчийн төхөөрөмжийн шаардлагад нийцсэн мультимедиа өгөгдлүүдийг дамжуулах, өндөр хурдны тасалдалгүй үйлчилгээний нөхцөлд эдүгээ бүрэн шийдэгдээгүй байгаа болно. Ялангуяа утасгүй холбооны сүлжээнд системийн багтаамжийг үр ашигтай зохион байгуулж, хэрэглэгчийн контентийн мэдээллийг оновчтой шийдэх үйлчилгээний алгоритм, системийн логик сувгуудад хуваарилан үр ашгийг дээшлүүлэх шаардлагад нийцүүлэн хөдөлгөөнт сүлжээний хувьд нэгдмэл алгоритмыг боловсруулахад уг диссертацийн судалгааны ажил зориулагдана.

II. LTE СҮЛЖЭЭ БА ТҮҮНИЙ НӨӨЦ ХУВААРИЛАЛТЫН АСУУДЛУУД

LTE сүлжээний OFDMA суурьтай радио нөөц хуваарилалт нь хугацаа ба давтамжийн мужид сул чөлөөтэй байгаа спектрийн нөөцийг ашиглахад чиглэгддэг. Нөөц хуваарилалтыг хэрэгжүүлэхийн тулд хэд хэдэн үе шатуудыг дамждаг. Үүнд: Ачаалал зохицуулалтын шат, хугацааны муж ба давтамжийн мужид нөөц төлөвлөх үе шатууд багтана. Эдгээр үе шатуудыг дараах дэд бүлгүүдээр дурдана.

A. LTE хандалтын аргууд

LTE сүлжээнд шууд чиглэлийн дамжуулалд OFDMA хандалтын аргыг, гэдрэг чиглэлийн дамжуулалд SC-FDMA хандалтын аргыг хэрэгжүүлдэг. Олон цэгийн хандалтын шийдэл нь хэрэглэгчдийн ортогональ байдлыг хангаж, интерференцийн нөлөөг бууруулж, сүлжээний багтаамжийг дээшлүүлэх боломжийг олгоно.



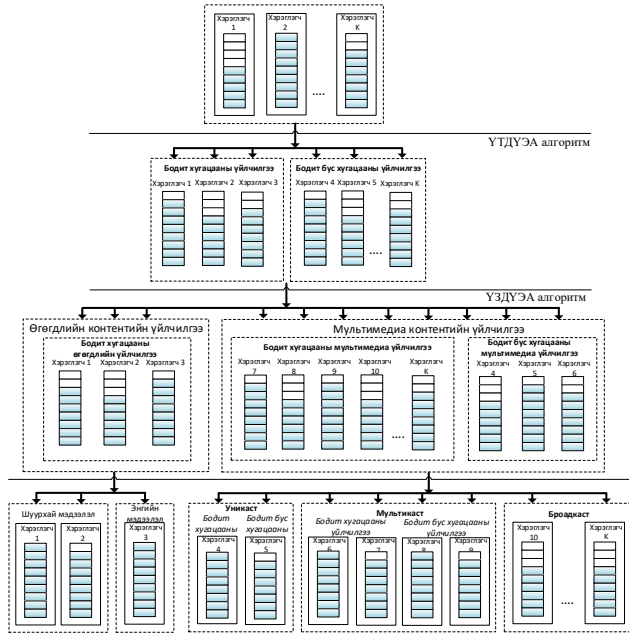
Зураг 3. OFDMA технологи

Шууд ба гэдрэг чиглэлийн дамжууллын аргуудад нөөц хуваарилах хугацаа ба давтамжийн мужууд байдаг ба тус мужуудад хэрэгжүүлэх олон аргачлалуудыг гүйцэтгэнээр хугацаанц 1 ТТI агшинд төрөл бүрийн үйлчилгээ захиалсан олон тооны хэрэглэгчдээс сонголт хийх замаар нөөц хуваарилах зарчмыг хэрэгжүүлдэг.

B. Ачаалал зохицуулалтын шатны оновчлол

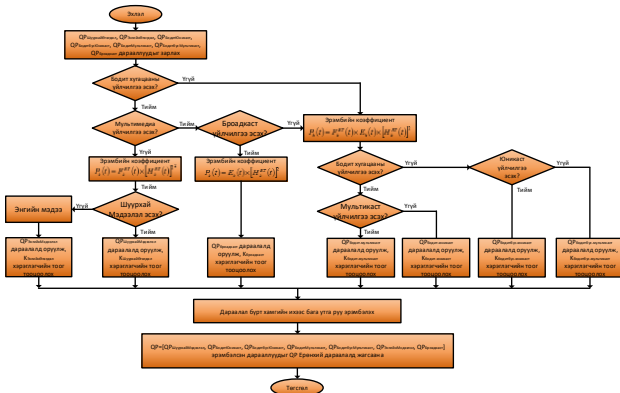
Мобайль сүлжээний бааз станц дээр олон хэрэглэгчдийн өөр өөр QoS шаардгуудтай төрөл бүрийн үйлчилгээнүүд эгшин тутамд хүрэлцэн ирдэг. Ачаалал зохицуулалт нь хэрэглэгчдийн төрөл бүрийн үйлчилгээнүүдийг бөөгнөрүүлж, үйлчилгээний дарааллыг эрэмбэлэх алгоритмыг холбогдох үйлчилгээний QoS шаардлагын дагуу эрэмбэлэлтийн

процессийг гүйцэтгэдэг. Үйлчилгээний Төрлөөр Дараалал Үүсгэн Эрэмбэлэх алгоритмын [1] хувьд бодит ба бодит бус хугацааны үйлчилгээнүүдийг QoS шаардлагад тодорхойлсон саатал ба нэвтрүүлэх чадамжаар эрэмбэлэх санал зөв зохистой шийдэл юм.



Зураг 2. Ачаалал зохицуултын шат

Ачаалал зохицуулалтын нэгдүгээр шатанд хугацааны тухайн эгшинд орж ирсэн олон хэрэглэгчдийн төрөл бүрийн үйлчилгээнүүдийг ҮТДҮЭ дарааллын алгоритмын [1] тусламжтай хоёрдугаар шатанд бодит ба бодит бус хугацааны үйлчилгээгээр ялгаж, гуравдугаар шатанд мультимедиа ба өгөгдлийн контентуудаар ангилж, дөрөвдүгээр шатанд үйлчилгээний зэрэглэлийн коэффициентийн тусламжтай үйлчилгээнүүдийг шинэ дараалалд оруулан эрэмбэлэлтийг гүйцэтгэнэ.



Зураг 3. Ачаалал зохицуултын шат

Бодит хугацааны шуурхай ба энгийн мэдээллийн үйлчилгээний хувьд үйлчилгээний зэрэглэлийг харгалзан эрэмбэлэлтийн коэффициентийг тодорхойлов.

$$P_k(t) = F_k^{RT}(t) \times [H_k^{RT}(t)]^2 \quad (1)$$

Бодит ба бодит бус хугацааны юникаст, мультикаст үйлчилгээний хувьд

$$P_k(t) = F_k^{RT}(t) \times E_k(t) \times [H_k^{RT}(t)]^2 \quad (2)$$

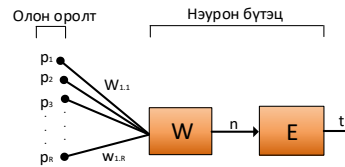
Бродкаст үйлчилгээний хувьд:

$$P_k(t) = E_k(t) \times [H_k^{RT}(t)]^2 \quad (3)$$

ҮТДҮЭ алгоритмд тооцоолсон k дугаар хэрэглэгчийн үйлчилгээний дарааллын урт $Q_k(t)$ параметрийг үйлчилгээний төрлөөс хамааран дарааллын урт харилцан адилгүй байх тул давтамжийн мужид хэрэгжүүлэх нь зүйтэй гэж үзлээ.

С. Хугацааны мужид нөөц төлөвлөх шат

Томаз Сзандалагийн судалгааны ажилд [2] Хэббианы процесс, Ожагийн процесс, Псевдо-инверси процессуудыг харьцуулан судалж, хэрэгжүүлэлтийн үр дүнд хамгийн сайн ажиллагааг Псевдо-инверси процесс үзүүлсэн байна. Иймд тус судалгааны ажилд Псевдо-инверси процессыг ашиглан нэгж ГТТ эгшинд хичнээн хэрэглэгчийг сонгох боломжийг судалсан.



Зураг 4. Псевдо-инверси процессийн зарчим

Псевдо-Инверсийн процесст оролтын утгуудыг P , гаралтын утгуудыг t утгаар тэмдэглэдэг. Оролт ба гаралтын утгуудыг мөрөн вектор хэлбэрээр илэрхийлнэ. Нэурон сүлжээнд өргөн хэрэглэдэг тус процессийг ашиглан нэгж хугацааны агшинд орж ирсэн төрөл бүрийн үйлчилгээний олон тооны хэрэглэгчдийн захиалгаас хичнээн хэрэглэгчийн захиалгыг сонгохыг шийднэ. Оролтын p матрицыг үйлчилгээний ангилал гэж үзсэн ба ижил төрлийн дамжуулалттай үйлчилгээнүүдийг нэг ангилалд оруулна.

$$P = [p_1 \ p_2 \ p_c \ \dots \ p_c] \quad c = 1, \dots, C \quad (4)$$

s дугаарын үйлчилгээнээс сонгогдсон хэрэглэгчдийн тоог олбол:

$$t_s = Wp_s \quad (s = 1, 2, 3) \quad (5)$$

Дээрх тэгшитгэлийг матриц хэлбэрээр бичвэл:

$$T = WP \quad (6)$$

Псевдо-Инверсийн жингийн матриц нь оролтын олон утгуудад харгалзах гаралтын хүссэн утгыг гаргах үүрэгтэй матриц юм. Жингийн матрицын хэмжээ нь оролтын матрицийн хэмжээтэй тэнцүү байна.

Жингийн матрицийг олохдоо:

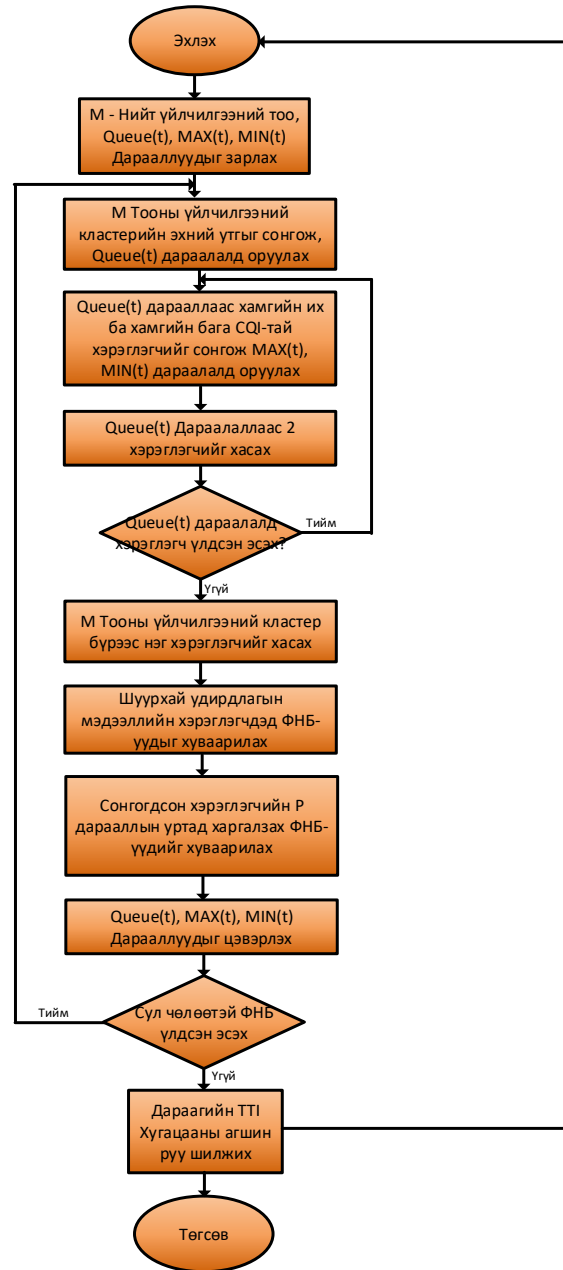
$$W = TP^+ \tag{7}$$

$$P^+ = (P^T * P)^{-1} * P^T \tag{8}$$

D. Давтамжийн мужид нөөц төлөвлөх шат

Уламжлалт нөөц хуваарилалтын алгоритмууд болох Роунд-Робин, PF алгоритмуудыг 3G сүлжээний радио нөөц хуваарилалтад өргөн хэрэглэдэг. Харин 4G LTE сүлжээний радио нөөц хуваарилалтад бодит ба бодит бус хугацааны үйлчилгээнүүдийн QoS чанарын шаардлагыг хангахад дээрх орчин үеийн алгоритмууд дан ганц нэвтрүүлэх чадамж, эсвэл CQI үзүүлэлтэд тулгуурлан нөөц хуваарилалтыг хэрэгжүүлэхэд чиглэдэг. Гэвч нэг үзүүлэлтэд тулгуурлах нь хангалттай биш бөгөөд шаардлагатай битийн хурд, саатал зэргийг хамт хослуулан хэрэглэх нь санал болгох нөөц хуваарилалтын алгоритмын тулгуур байх болно. Дараах зурагт 1 TT1 хугацаанд сонгогдсон хэрэглэгчдэд давтамжийн нөөцийг хуваарилах алгоритмыг харуулав.

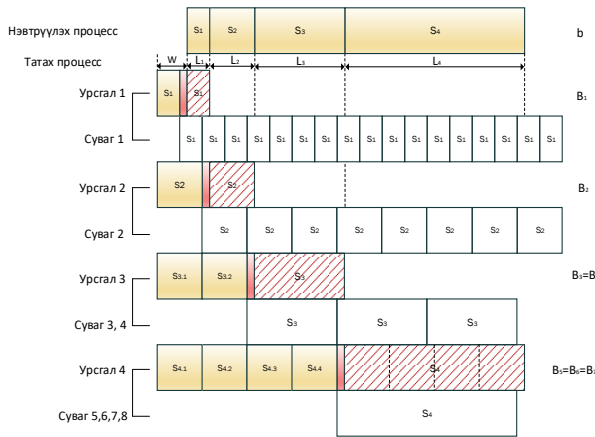
Ачаалал зохицуулалтын шатанд хэрэглэгчдийн үйлчилгээг мультимеди ба өгөгдлийн контент гэж хуваасан. Тэгвэл тус контентүүдийг дамжуулах аргачлалуудыг мөн сайжруулах, зарим боломжуудыг нэмэхийн тулд дараах 2 дэд бүлгээр шинэ аргыг санал тусган хэрэгжүүлээ.



Зураг 5. Давтамжийн мужид нөөц хуваарилах шинэ алгоритм

III. ХЭРЭГЛЭГЧИЙН ЗАХИАЛГАТ ҮЙЛЧИЛГЭЭНИЙ УДИРДЛАГЫН АЛГОРИТМ

Хэрэглэгчийн захиалгат үйлчилгээний удирдлагын алгоритм нь хэрэглэгчдийн бродкаст, мультикаст, юникаст үйлчилгээний зэрэглэлээс хамаарч хамгийн бага зурвасын өргөний шаардлагыг хангах шинэ дамжууллын аргыг санал болгосон. Сегментийн бүтцийг тогтвортой байлгахын тулд нэгж урсгалаар нэвтрүүлэгдэх дэд сегментүүдийг янз бүрийн хурдаар дамжуулна. Өөрөөр хэлбэл 1 сегментийг олон дэд сегментүүдэд хувааж ашиглаж байгаа тул нэгж урсгалд оруулахын тулд тэдгээр дэд сегментүүд хүлээн авах талд ондоо хурдаар дамжуулагдах ёстой.

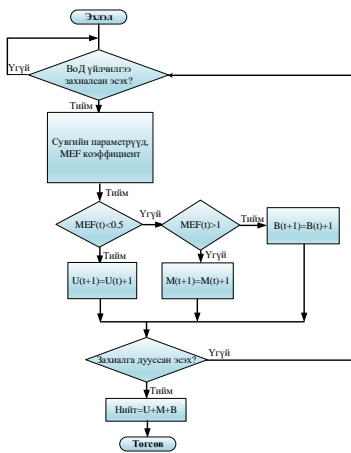


Зураг 6. Шинэ бродкаст дамжуулал

Нэгж урсгалын зурвасыг тооцоолбол:

$$B_i = K_i * \frac{1}{2^{i-2} + md - 1} \quad (9)$$

Хэрэглэгчийн захиалгат үйлчилгээний мультикаст үр ашгийн коэффициентээр захиалгын хүсэлт/хариултад хурдан шуурхай шийдэх боломжтой буюу сүлжээгээр дамжиж буй контентийг юникаст, мультикаст эсвэл бродкаст дамжуулалд оруулах эсэхийг мультикаст үр ашгийн коэффициентийн тусламжтай тооцоолно.



Зураг 7. Вод үйлчилгээний удирдлагын алгоритм

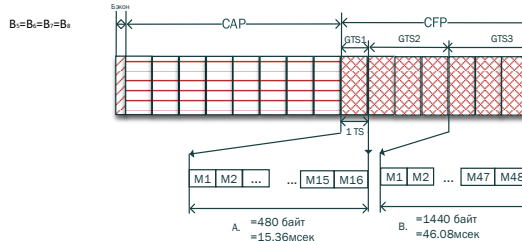
Нөөц хуваарилалтыг хэрэгжүүлэх ачаалал зохицуулалтын шатанд хэрэглэгч тус бүрийн үйлчилгээний дарааллын уртыг ашиглан шинэ эрэмбэ тогтоох тул хэрэглэгчийн захиалгат үйлчилгээнд дараах тэгшитгэлээр дарааллын уртыг тооцоолно.

$$Q_k(t) = K_i = 2^{i-2} \quad (1 \leq i \leq N) \quad (10)$$

Дээрх дамжууллын аргыг хэрэгжүүлэх Вод үйлчилгээний удирдлагын алгоритмыг үзүүлэв.

IV. ШИНЭ GTS ХУВААРИЛАЛТЫН АЛГОРИТМ

Өгөгдлийн контентийн төрөлд утасгүй мэдрэгч сүлжээний үйлчилгээг авч үзсэн ба хэрэглэгчийн төхөөрөмж ба координатор гэсэн зохион байгуулалттайгаар энгийн ба шуурхай мэдээллүүдийг дамжуулдаг. Суперфрэймийн GTS хуваарилалтыг хэрэгжүүлэхийн тулд координатор болон мэдрэгч төхөөрөмжийн хооронд дамжуулах бэкон ба командын фрэймүүдэд зарим талбарын өөрчлөлт хийх шаардлагатай.



Зураг 8. Динамик GTS нөөц хуваарилалт (SO=0)

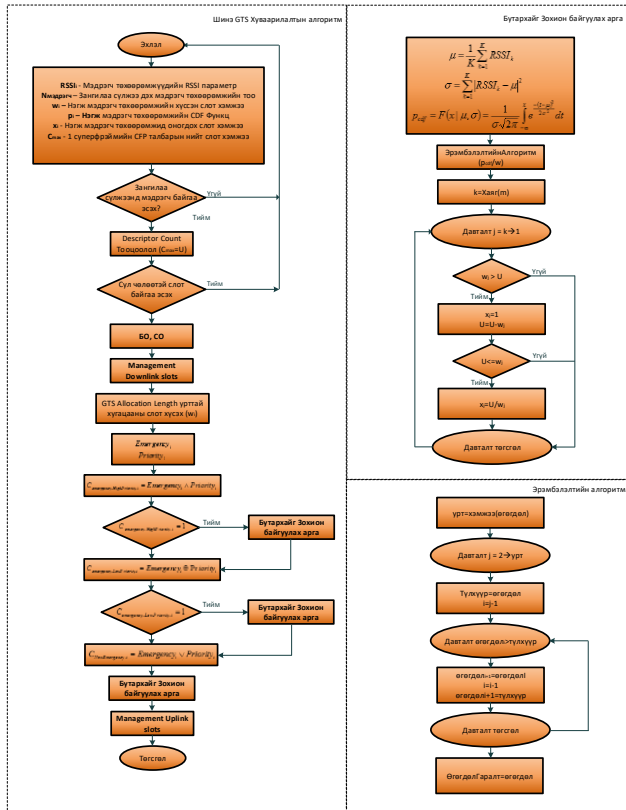
Шинэ GTS хуваарилах алгоритмыг хэрэгжүүлэхдээ бутархайг зохион байгуулах аргыг ашиглаж, тус арга нь координатороос тодорхой тооны GTS слотыг захиалсан мэдрэгч төхөөрөмжүүдэд хугацааны слотуудыг хуваарилж өгөхөд голлох үүрэгтэй. Энгийн тархалтын функц нь:

$$p_{cdf} = F(x | \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (11)$$

Эндээс стандарт хазайлт ба дунжийг хүлээн авсан дохионы чадлын индикатор параметрийн тусламжтай олно.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{k=1}^K |RSSI_k - \mu|^2} \quad (12)$$

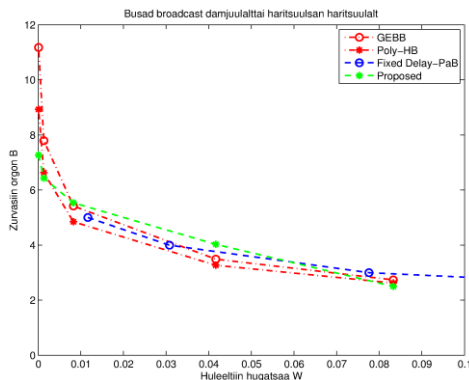
$$\mu = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K RSSI_k \quad (13)$$



Зураг 9. Динамик GTS нөөц хуваарилалт (SO=0)

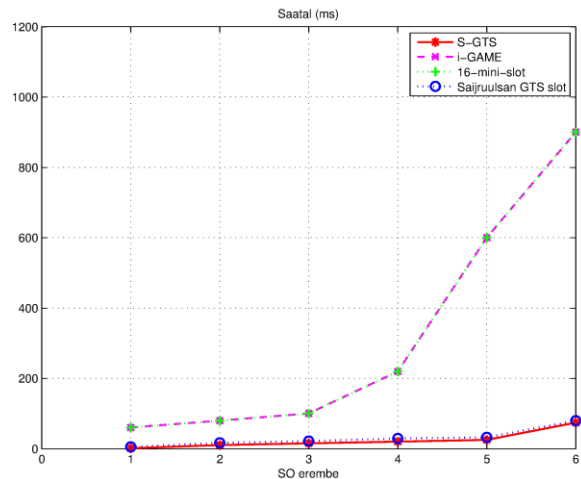
LTE сүлжээний нөөц хуваарилалтын үе шатуудад судалсан судалгааны ажлуудыг өөрийн санал болгох аргачлал, алгоритмуудтай харьцуулан дараах үр дүнг гаргалаа. Эхний хос зураг нь мультимедиа контент үйлчилгээг дамжуулах аргуудыг харьцуулж, дараагийн хос зурагт давтамжийн мужид нөөц хуваарилах аргуудыг хооронд нь харьцуулан харууллаа. Давтамжийн мужид нөөц хуваарилах 8 алгоритмыг судалж тэдгээр алгоритмуудын хувьд дундаж спектр үр ашиг ба дундаж нэвтрүүлэх чадамжийн үр дүнг гарган тооцоолов.

Бродкаст дамжууллын арга тус бүрийн хамгийн сайн аргуудтай хүлээлийн хугацаа ба зурвасын өргөний харьцааг гаргаж үзэхэд санал болгосон арга нь хүлээлийн хугацааны бага утгад олон гармоникийн бродкастаас сайн үр дүнг, их утганд харьцангуй их зурвас ашиглалттай үр дүнг гаргасан байна.

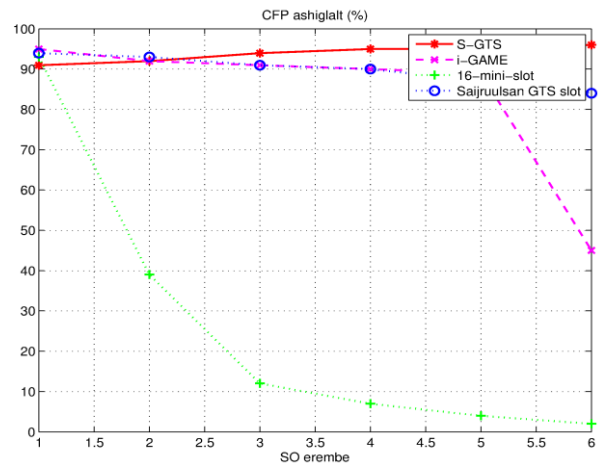


Зураг 10. Бусад бродкаст дамжууллын аргуудтай харьцуулсан харьцуулалт

Шинэ GTS слот хуваарилалтын алгоритмын үр дүн саатал ба CFP ашиглалтын хувьд S-GTS алгоритмын үр дүнтэй ойролцоо үр дүнг үзүүлж байна.

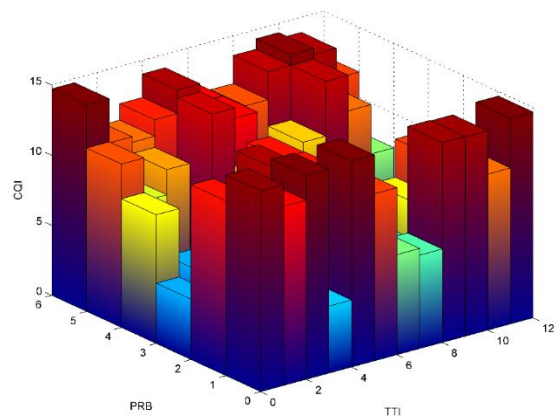


Зураг 11. Бусад GTS алгоритмуудтай харьцуулсан саатлын харьцуулалт



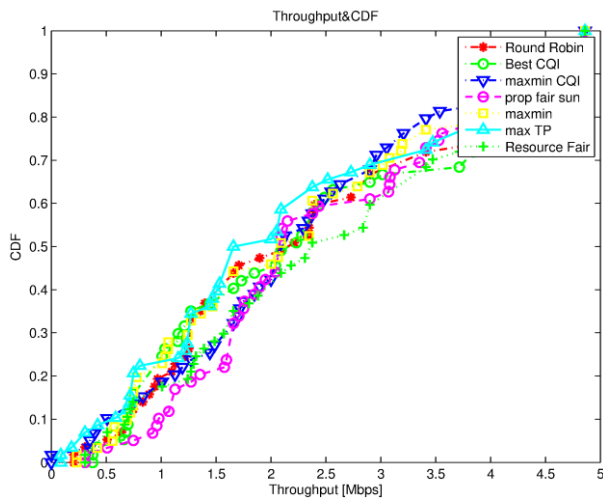
Зураг 12. Бусад GTS алгоритмуудтай харьцуулсан GTS ашиглалтын харьцуулалт

Санал болгосон хамгийн их, хамгийн бага үйлчилгээний чанарыг сонгох (CQI) алгоритмыг 12 ТТI хугацааны агшинд 1.4MHz зурвасын өргөний хувьд ФНБ-ТТI-CQI хамаарлаар графикуудыг гаргасан.



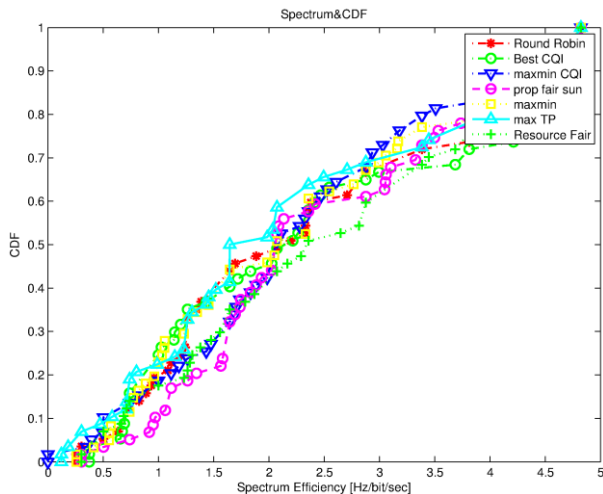
Зураг 13. 12 ТТI хугацааны агшинд 6 ФНБ нөөц хуваарилалт

Санал болгосон maxmin CQI алгоритмыг бусад 6 алгоритмтай харьцуулан үзэхэд CDF магадлал тархалтын функц нь нэвтрүүлэх чадамжийн хэдэн хувь нь найдвартай дамжуулал хийснийг илэрхийлнэ.



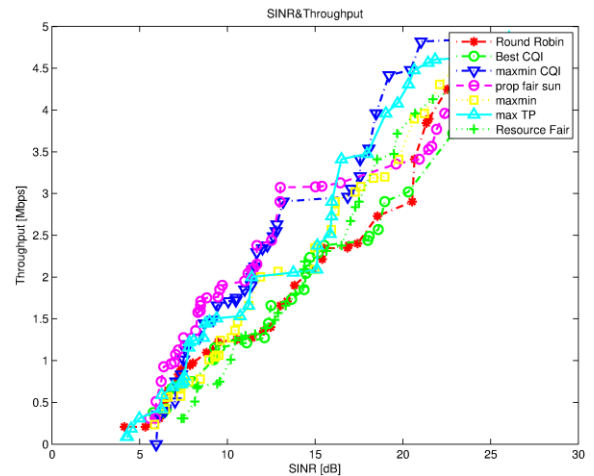
Зураг 14. Нэвтрүүлэх чадамж ба CDF функцийн хамаарал

Санал болгосон maxmin CQI алгоритмыг бусад 6 алгоритмтай харьцуулан үзэхэд CDF магадлал тархалтын функц нь спектрийн үр ашгийн түвшингийн хэдэн хувь нь найдвартай дамжуулал хийснийг илэрхийлнэ.



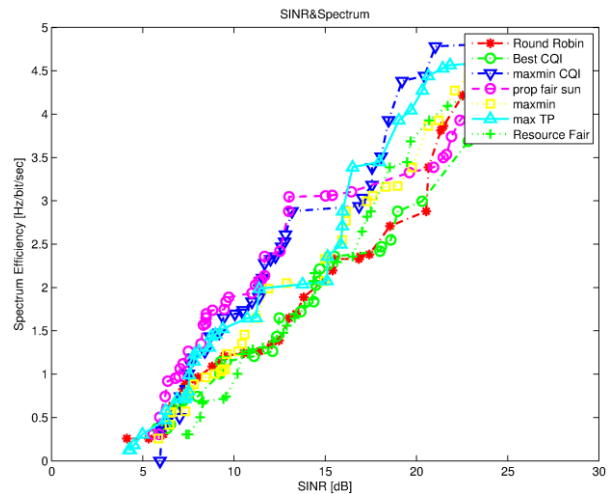
Зураг 15. Спектрийн үр ашиг ба CDF функцын хамаарал

Нэвтрүүлэх чадамжийн хамаарлын хувьд SINR дохио шуугианы харьцааны утга 13dB үед хамгийн зурвасын өргөний хувьд санал болгосон арга нь хамгийн их нэвтрүүлэх чадамжийн алгоритм, хамгийн сайн CQI сонгох алгоритм, Роунд-Робин алгоритмуудаас сайн үр дүнг үзүүлж байна.



Зураг 16. SINR ба нэвтрүүлэх чадамжийн хамаарал

Спектрийн үр ашгийн хамаарлын хувьд SINR дохио шуугианы харьцааны утга 13dB үед хамгийн зурвасын өргөний хувьд санал болгосон арга нь хамгийн их нэвтрүүлэх чадамжийн алгоритм, хамгийн сайн CQI сонгох алгоритм, Роунд-Робин алгоритмуудаас сайн үр дүнг үзүүлж байна.



Зураг 17. SINR ба спектрийн үр ашгийн хамаарал

Мөн давтамжийн мужид хэрэгжүүлэх санал болгож байгаа алгоритмыг дээрх үзүүлэлтүүд дээр симуляциар тооцоолж дараах үр дүнг гаргасан болно.

ДҮГНЭЛТ

LTE сүлжээнд нөөц хуваарилахад ачаалал зохицуулалт, хугацааны ба давтамжийн мужийн нөөц хуваарилах үе шат бүрт хийсэн судалгааны ажлуудыг судалж, компьютерт суурилсан LTE сүлжээний загвар боловсруулалтыг хэрэгжүүлж, үйлчилгээний нэгдмэл алгоритмыг тус загвараар хөгжүүлснээр тус судалгааны ажилд судалсан мультимедиа ба контентийн үйлчилгээг дамжуулах төдийгүй, утасгүй холбооны системийн янз бүрийн форматтай бүхий л өгөгдлийн төрлүүдийг дамжуулж болох нэгдмэл алгоритмын зарим үр дүнг туршиж үзсэн.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Rehana Kausar, Yue Chen, Kok. Keong. Chai, "Service Specific Queue Sorting and Scheduling Algorithm for OFDMA-Based LTE-Advanced Networks", Sixth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), Barcelona, Spain, October 26-28, 2011.
- [2] Tomasz Szandala, "Comparison of Different Learning Algorithms for Pattern Recognition with Hopfield's Neural Network", 6th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures, BICA 2015, 6-8 November Lyon, France
- [3] J.-F. Pâris, A Fixed-Delay Broadcasting Protocol for Video-On-Demand, Proceedings of the 10th International Conference on Computer Communications and Networks 2001, pp. 418-423, 2001.
- [4] 3GPP TSG-RAN TS 36.300, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) and evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN)", version 9.0.0, June 2009.
- [5] J. Jayakumari, "MIMO-OFDM for 4G wireless systems", international journal of engineering science and technology, Vol. 2, issue 7, 2010.