



ХАРИЛЦАА ХОЛБООНЫ
ЗОХИЦУУЛАХ
ХОРОО

МОНГОЛ УЛСЫН ШИНЖЛЭХ УХААН ТЕХНОЛОГИЙН ИХ СУРГУУЛЬ
МЭДЭЭЛЭЛ, ХОЛБООНЫ ТЕХНОЛОГИЙН СУРГУУЛЬ



5G ХОЛИМОГ СҮЛЖЭЭНД МЭДЭЭЛЛИЙН АЧААЛЛЫГ ШИЛЖҮҮЛЭХ (TRAFFIC OFFLOAD) БОЛОМЖ, ТҮҮНИЙ ҮР АШГИЙН СУДАЛГАА

Зөвлөх үйлчилгээний тайлан

МХТС-ийн ХИТ-ийн зөвлөх профессор, доктор Б.Отгонбаяр

МХТС-ийн ХИТ-ийн ахлах багш, доктор Р.Баярмаа

2025.09.12

Агуулга

1. 5G/Wi-Fi АЧААЛАЛ ШИЛЖҮҮЛЭХ ТЕХНОЛОГИЙН ХЭРЭГЛЭЭ, ҮНДЭСЛЭЛ

- Олон улсын туршлага, харьцуулалт
- 5G сүлжээнд ачаалал ихсэх шалтгаан
- Холимог сүлжээний хэрэгжилтэд хиймэл оюун ухаан ашиглах боломж

2. 5G/WI-FI СҮЛЖЭЭНИЙ БҮТЭЦ, БҮРЭЛДЭХҮҮН ХЭСГҮҮД

- 5G /Wi-Fi-ийн үндсэн зарчим
- Холимог сүлжээнд хэрэгжүүлэх стандартууд
- 5G сүлжээний ерөнхий бүтэц, хэрэгжүүлэх хувилбарууд

3. 5G/Wi-Fi АЧААЛАЛЫГ ШИЛЖҮҮЛЭХ АРГА, ТЕХНОЛОГИ

- Холимог сүлжээнд 5G/Wi-Fi ачаалал шилжүүлэхэд босгын түвшин тодорхойлох судалгаа
- 5G/Wi-Fi ачаалалыг шилжүүлэх арга, технологиуд
- 5G/Wi-Fi ачааллыг шилжүүлэхэд нөлөөлөх хүчин зүйлийн судалгаа
- Улаанбаатар хотын ачаалал ихтэй хэсэгт ачаалал шилжүүлэх тооцоо
- Offloading хэрэглэх эдийн засгийн үр ашгийн тооцоо



Олон улсын туршлага, харьцуулалт

Улс / Бүс нутаг	Түлхүүр арга	Ашигласан технологи	Шилдэг туршлага
Өмнөд Солонгос	Wi-Fi First + 5G fallback	KT Smart Offloading, Seamless Wi-Fi handover	Хот дотор Wi-Fi-г үндсэн сүлжээ болгон ашиглаж, 5G-г зөвхөн шаардлагатай үед асаадаг.
АНУ (Verizon, AT&T)	ATSSS, Dynamic Offload	MPTCP + Edge Computing	MPTCP дээр суурилсан ATSSS ашиглаж, VoIP болон видео стримингийг автомат route хийдэг.
Япон (NTT DoCoMo, KDDI)	QoE-based Offloading	AI-driven Traffic Selection, ANDSF	Хэрэглэгчийн байршил, өгөгдөл, апп usage дээр үндэслэн ML-аар offload хийдэг.
Европын холбоо	Policy-based Offload	ANDSF + LBO (Local Breakout)	Roaming үед Wi-Fi-руу урсгалыг чиглүүлж зардал бууруулдаг.
Хятад (China Mobile)	Hybrid Core Architecture	Dual Access, Smart Flow Steering	Нэгдсэн платформ дээр 5G ба Wi-Fi-г зэрэг удирдаж, enterprise хэрэглээнд нэвтрүүлдэг.



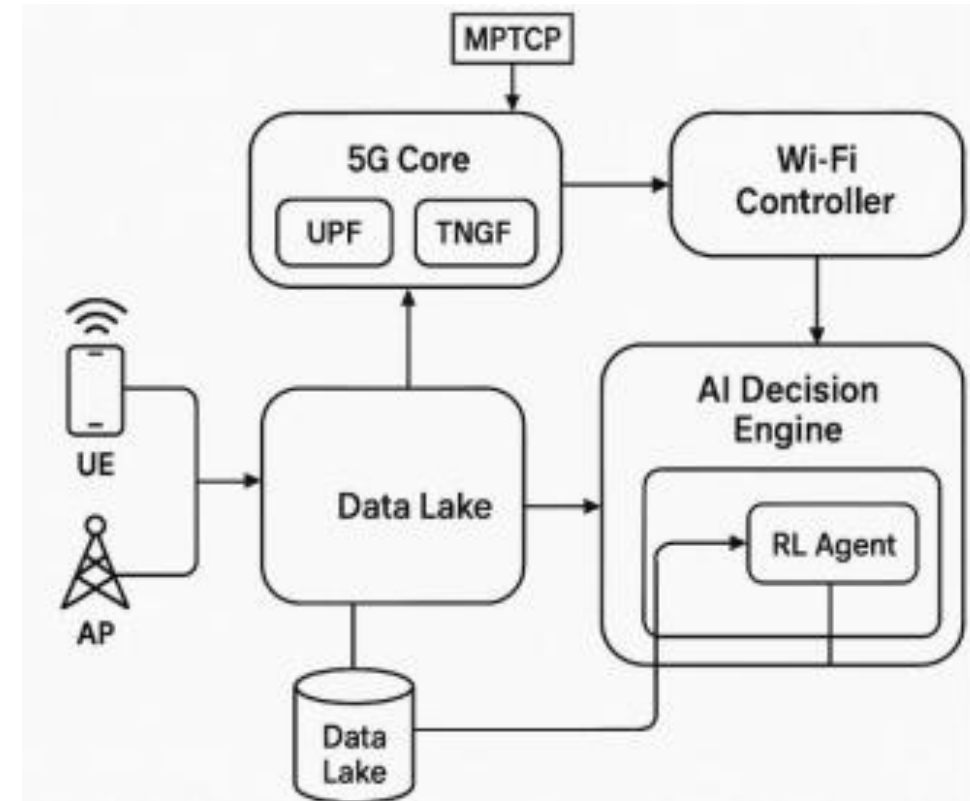
5G сүлжээнд ачаалал ихсэх шалтгаан

1. Хэрэглэгчийн тоо нэмэгдэх (User Density)
2. Хэт өндөр дата хэрэглээ
3. Баз станцын тоо багатай / дэд бүтцийн хязгаар
4. Сүлжээний архитектурын төвлөрөл
5. Ultra-low latency service (URLLC) шаардлагууд
6. Нөөцийн зохицуулалт, хуваарилалт муу байх
7. Interference буюу хөндлөнгийн нөлөөлөл ихсэх
8. Backhaul холболтын хүчин чадал хүрэлцэхгүй байх
9. Network Slicing дэмждэггүй эсвэл буруу ашигласан



Холимог сүлжээг хэрэгжүүлэхэд хиймэл оюуныг ашиглах боломж, үр ашгийн судалгаа

- Сүлжээ төлөвлөлт ба оновчлол
- Ачааллын удирдлага (ATSSS – Steering, Switching, Splitting)
- Интерференц ба давхцалын удирдлага
- Аюулгүй байдал ба заналхийлэл илрүүлэлт
- Эрчим хүчний хэмнэлт

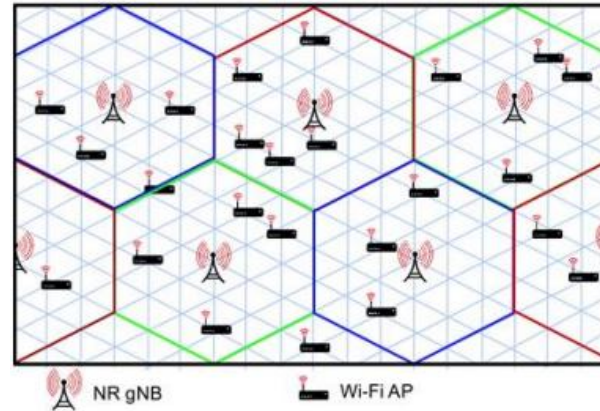


Холимог сүлжээг хэрэгжүүлэхэд хиймэл оюуныг ашиглах боломж, үр ашгийн судалгаа

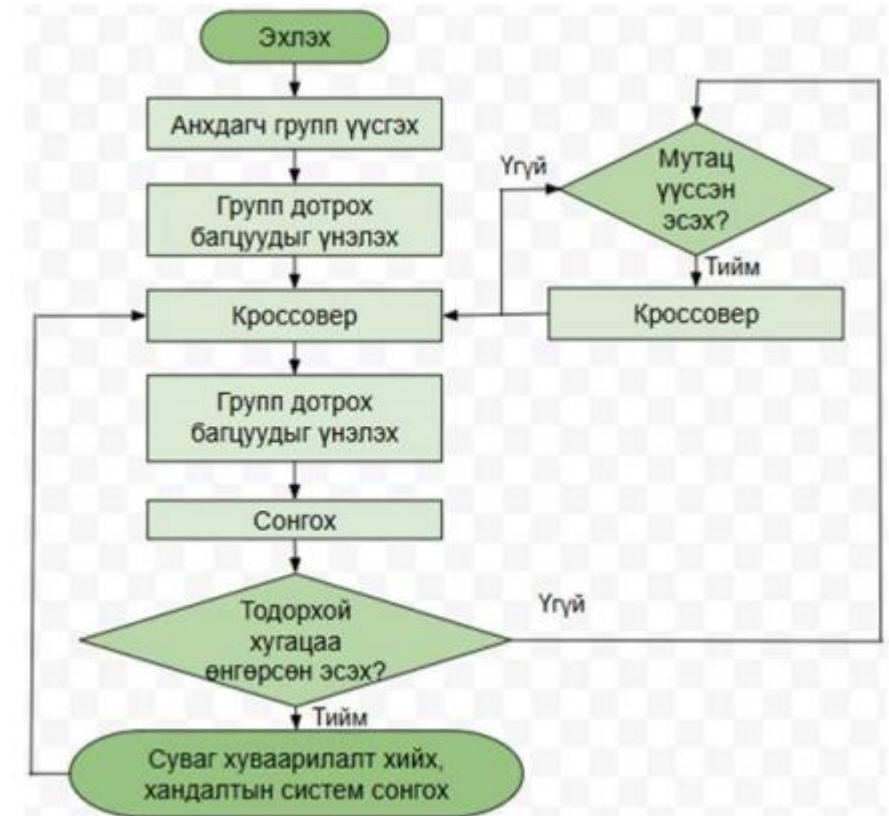
Судлагдсан байдал

- А. Нөөц хуваарилалтын аргууд
- В. Үүрэн болон Wi-Fi холимог системд уламжлалт аргаар нөөц хуваарилалт хийх
- С. Үүрэн болон Wi-Fi холимог системд машин сургалтад суурилсан аргаар нөөц хуваарилалт хийх

Системийн загварчлал

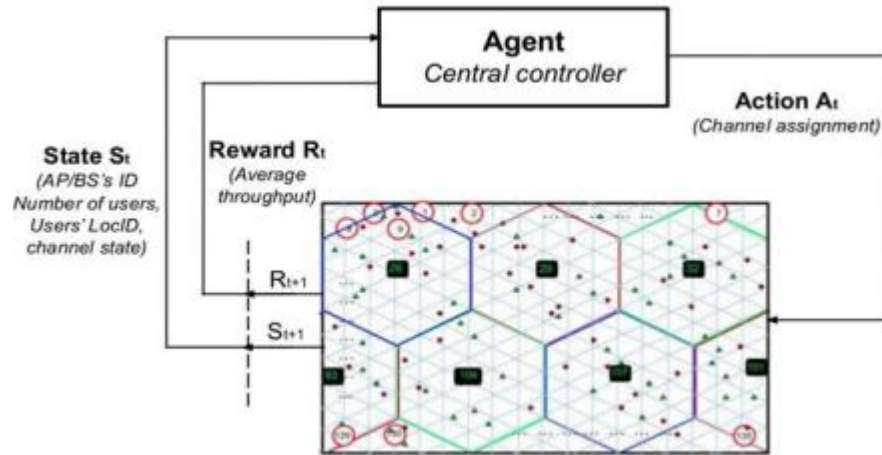


Холимог системийг хэрэгжүүлэх алгоритм



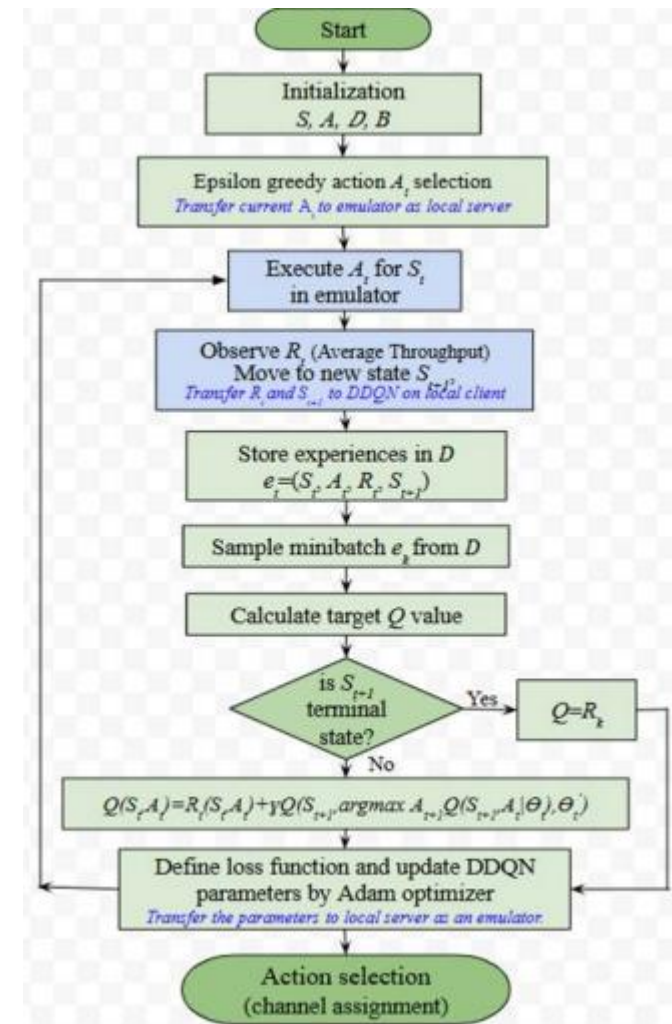
Холимог сүлжээг хэрэгжүүлэхэд хиймэл оюуныг ашиглах боломж, үр ашгийн судалгаа

Агент болон орчны харилцан үйлчлэл



Оролтын өгөгдөл

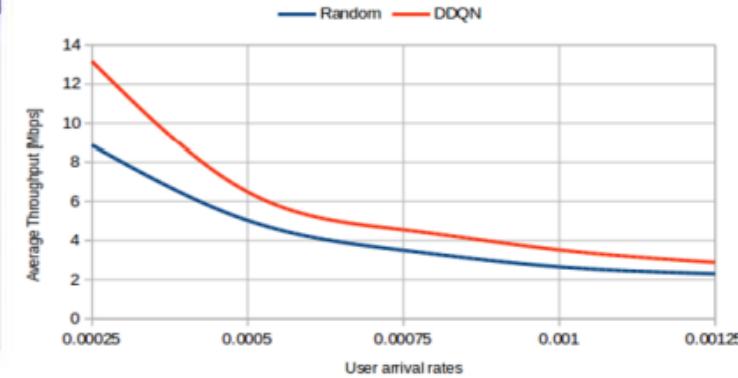
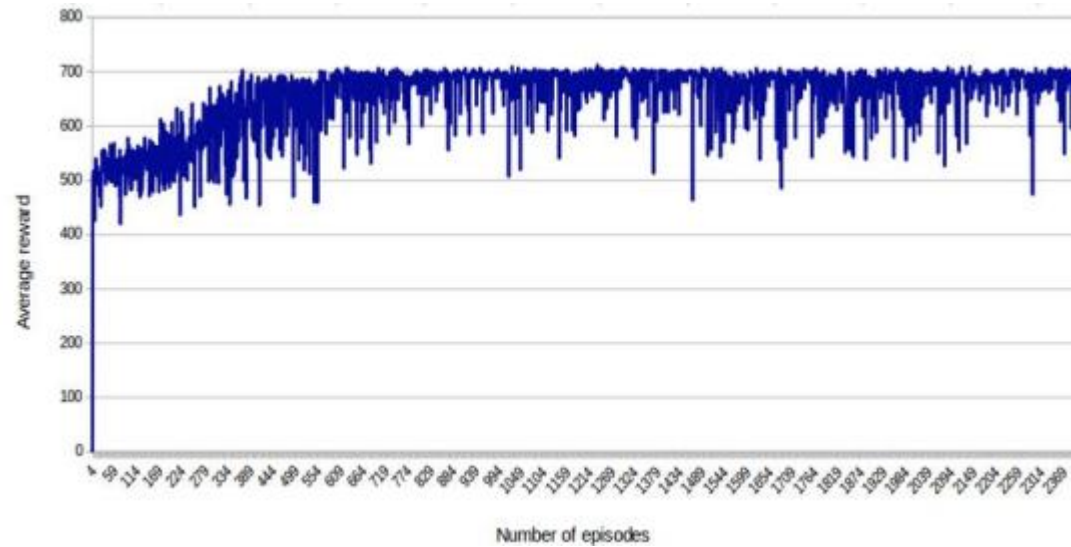
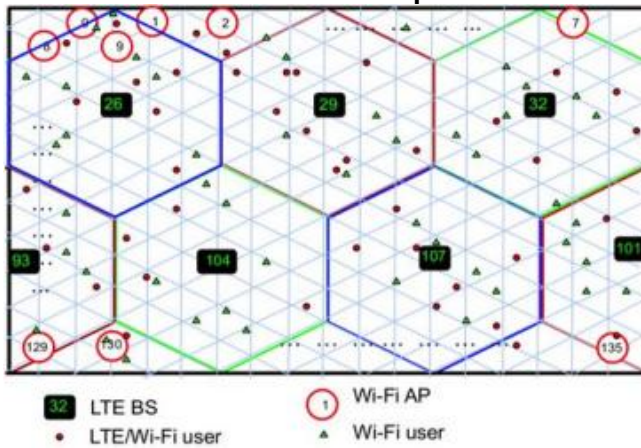
AP ID	1	2	3		107
AP/NB байршил	24	36	55		74
Холбогдсон хэрэглэгчдийн тоо	5	0	3		6
Багтаамж	4.33	11	13.5		3.6
Хамгийн багтаамж	40	75	40		40
Хэрэглэгчдийн байршил	115	85	24		33
Хуваарилсан суваг	1	2	0		3
Хэрэглэгчийн нэвтрүүлэх чадамж	6.74	4.33	3.54		7.24



Холимог сүлжээг хэрэгжүүлэхэд хиймэл оюуныг ашиглах боломж, үр ашгийн судалгаа

Гүйцэтгэлд үнэлэлт хийх

А. Системийн загварчлал



5G/Wi-Fi СҮЛЖЭЭНИЙ БҮТЭЦ, БҮРЭЛДХҮҮН ХЭСГҮҮД

Холимог сүлжээнд хэрэгжүүлэх стандартууд

3GPP стандартаас

Стандарт	Үүрэг
3GPP TS 23.501	5G System Architecture (5GS) — HetNet болон non-3GPP (Wi-Fi) хандалтыг дэмжих архитектурын үндэс.
3GPP TS 23.502	Procedures for 5GS — Wi-Fi (non-3GPP) холболтын бүртгэл, гарцын удирдлага, handover, steering журам.
3GPP TS 23.316	Access Traffic Steering, Switching, and Splitting (ATSSS) — 5G болон Wi-Fi хооронд урсгал шилжүүлэх, хуваах зарчим.
3GPP TS 24.502	Non-3GPP access signalling (N1/N2 интерфэйсээр) — UE болон 5GC хооронд Wi-Fi-ээр холбогдох протокол.
3GPP TS 24.261	ANDSF (Access Network Discovery and Selection Function) — Хандалтын сүлжээ илрүүлэх, сонгох бодлого (LTE-ийн үеэс).
3GPP TS 33.501	Security architecture and procedures — non-3GPP хандалтын аюулгүй байдлын шаардлага (IPsec, EAP-TLS, EAP-AKA').

Wi-Fi талын үндсэн стандарчлал

Стандарт	Үүрэг
IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6/6E)	Өндөр нягтралтай орчинд (5G HetNet хотын бүс) дамжуулах хурд, latency сайжруулах.
IEEE 802.11be (Wi-Fi 7)	Multi-Link Operation (MLO), өндөр throughput — 5G integration-д илүү тохиромжтой.
IEEE 802.11u	Interworking with External Networks — Wi-Fi AP нь операторын core network-тэй уялдах боломж.
Wi-Fi CERTIFIED Passpoint (Hotspot 2.0)	Автомат аюулгүй холболт, roaming.
Wi-Fi CERTIFIED Agile Multiband	Олон зурвасын хурдан шилжилт, load balancing — ATSSS-тэй хослуулахад ашиглана.

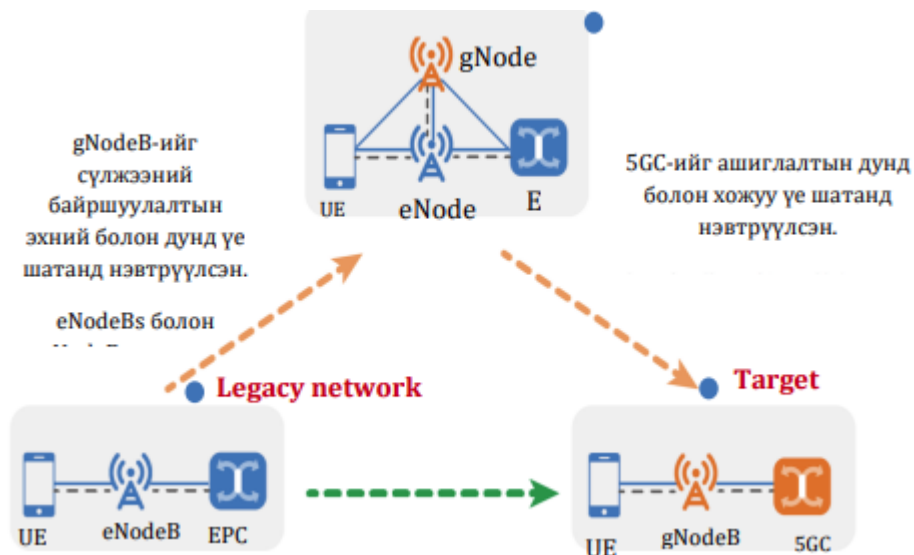
Нэмэлт холболт ба ачаалал шилжүүлэх технологи

- LWA (LTE-Wi-Fi Aggregation): LTE-ийн үеийн стандарт, 5G-д зарим уялдаа хадгалагдсан.
- LWIP (LTE-Wi-Fi IPsec Tunnel): EPC болон Wi-Fi хооронд IPsec туннелээр өгөгдөл дамжуулах.
- IFOM (IP Flow Mobility): Урсгалын түвшинд Wi-Fi/5G хооронд шилжүүлэх.
- MAPCON (Multi-Access PDN Connectivity): Нэг PDN-д олон хандалтаар холбогдох.

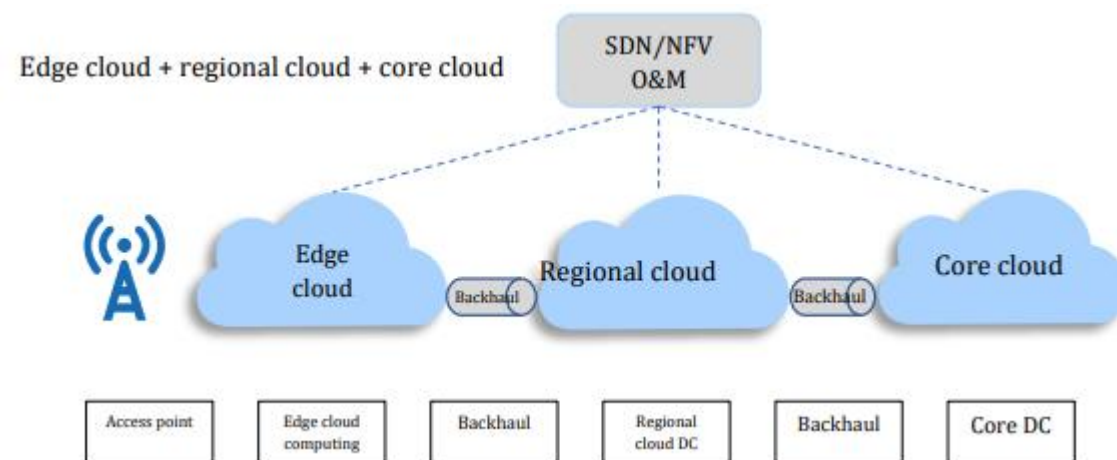


5G сүлжээний бүтэц, хэрэгжүүлэх хувилбарууд

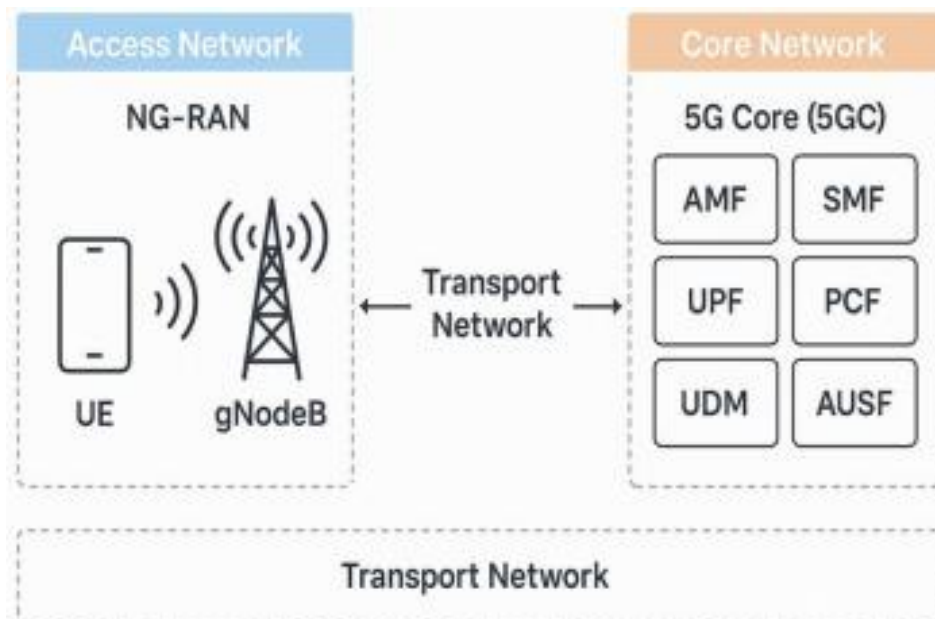
4G/5G сүлжээг хэрэгжүүлэх хувилбар



5G сүлжээний үүлэн сүлжээний бүтэц



5G сүлжээний ерөнхий бүтэц



1. Access Network (Хандалтын сүлжээ)
2. Transport Network (Дамжууллын сүлжээ)
3. Core Network (Цөм сүлжээ – 5GC)
 - AMF - Хэрэглэгчийн бүртгэл, холболт, хөдөлгөөнт удирдлага
 - SMF - Удирдлага, IP хаяг олголт
 - UPF - Хэрэглэгчийн өгөгдлийг чиглүүлэх, сүлжээний урсгал боловсруулах
 - PCF - Бодлого, нөөцийн хуваарилалт, QoS (Quality of Service)- ийн удирдлага
 - UDM - Хэрэглэгчийн бүртгэл, authentication болон захиалгын мэдээлэл хадгалалт
 - AUSF - Хэрэглэгчийн нэвтрэлт, баталгаажуулалт



5G/Wi-Fi АЧААЛЛЫГ ШИЛЖҮҮЛЭХ АРГА, ТЕХНОЛОГИ

ATSSS-г хэрэгжүүлэх алгоритм

- Холимог сүлжээнд 5G/Wi-Fi ачаалал шилжүүлэхэд босгын түвшин тодорхойлох судалгаа

Сүлжээ	Үзүүлэлт	Threshold утга
5G gNB	RSRP	-95 ~ -100 dBm
5G gNB	SINR	5 ~ 10 dB
Wi-Fi AP	RSSI	-65 ~ -70 dBm
Wi-Fi AP	SNR	20 ~ 25 dB

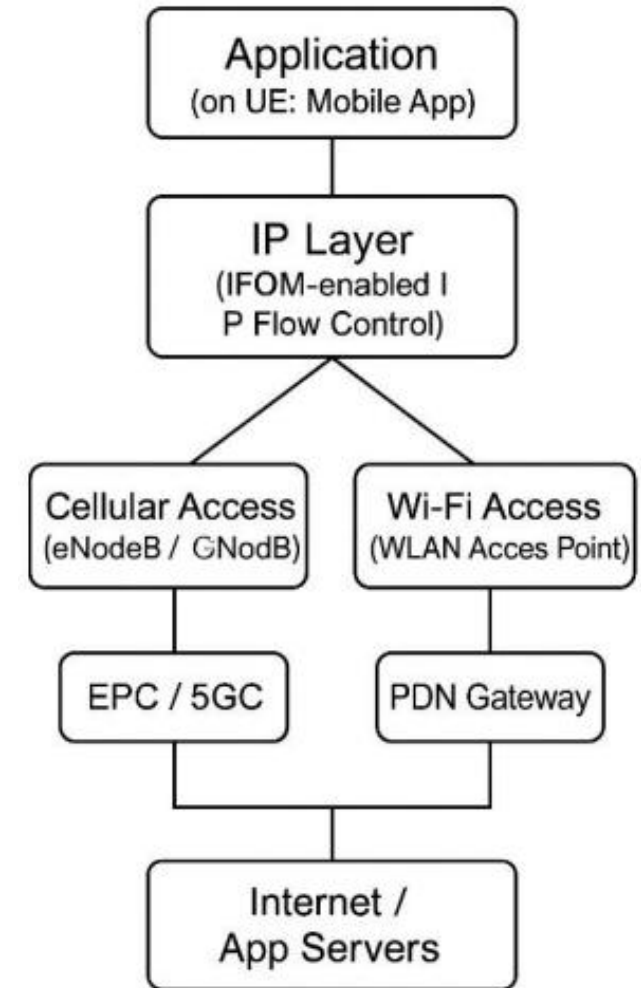
1. Дохионы түвшний босго шалгах:
 - **Wi-Fi:** Wi-Fi RSSI ≥ -65 dBm ба SNR ≥ 25 dB
 - **5G:** 5G RSRP ≥ -95 dBm ба SINR ≥ 10 dB
2. Үйлчилгээний ангилал шалгах:
 - Latency-sensitive
 - Throughput-sensitive
3. Сүлжээний ачаалал харгалзах
 - 5G: Wi-Fi channel utilization $> 70\%$
 - Wi-Fi: 5G PRB usage $> 80\%$
4. Хувь ачаалал хуваарилах (Splitting)
 - 5G: latency-sensitive, урсгалыг
 - Wi-Fi: high-throughput



5G/Wi-Fi АЧААЛЛЫГ ШИЛЖҮҮЛЭХ АРГА, ТЕХНОЛОГИ

1. **Wi-Fi Offloading (IP Flow Mobility / IFOM):** Үүрэн (LTE/5G) сүлжээ ба Wi-Fi сүлжээний хооронд хэрэглэгчийн өгөгдлийн урсгалыг ухаалгаар хуваарилах, шилжүүлэх боломж олгодог IP түвшний технологи

Протокол	Үүрэг
DSMIPv6 (Dual Stack Mobile IPv6)	UE хоёр сүлжээнд зэрэг холбогдох боломжийг олгоно
PMIPv6 (Proxy Mobile IPv6)	Сүлжээний талд хөдөлгөөнт байдлыг удирдана
ePDG (Evolved Packet Data Gateway)	Wi-Fi сүлжээнээс EPC/5GC руу нэвтрэх гарц
IPsec туннел	Wi-Fi холболтод аюулгүй байдал хангах

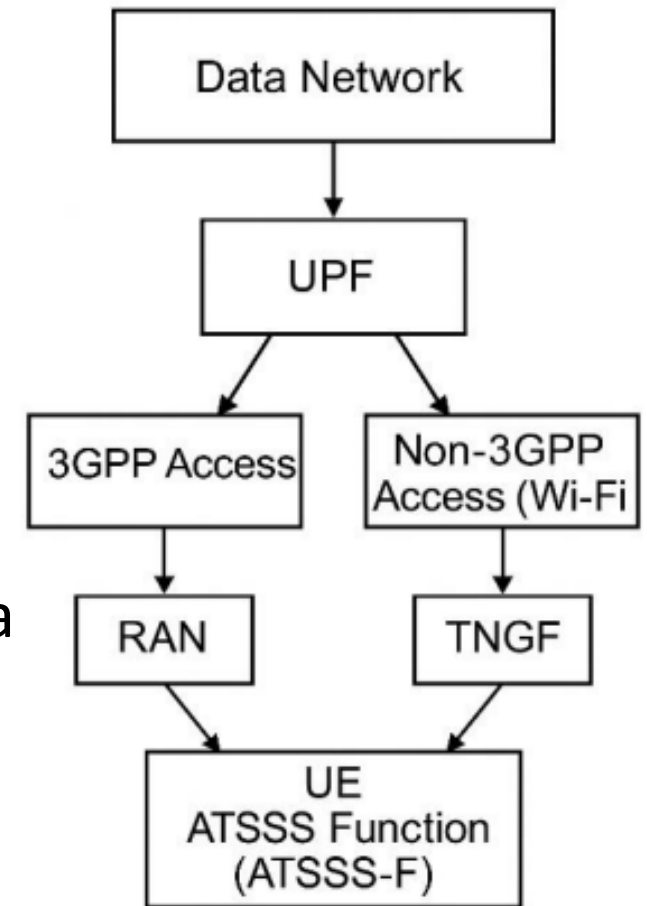


2. ATSSS (Access Traffic Steering, Switching, Splitting)

- 3GPP Release 16, ATSSS нь 5G цөм сүлжээнд нэгдсэн олон замын замчлалын технологи бөгөөд дараах функцуудыг агуулна.
 - Урсгалыг нэг сувгаар явуулах (Steering)
 - Урсгалыг сүлжээ хооронд шилжүүлэх (Switching)
 - Урсгалыг нэгэн зэрэг олон сувгаар хувааж илгээх (Splitting)

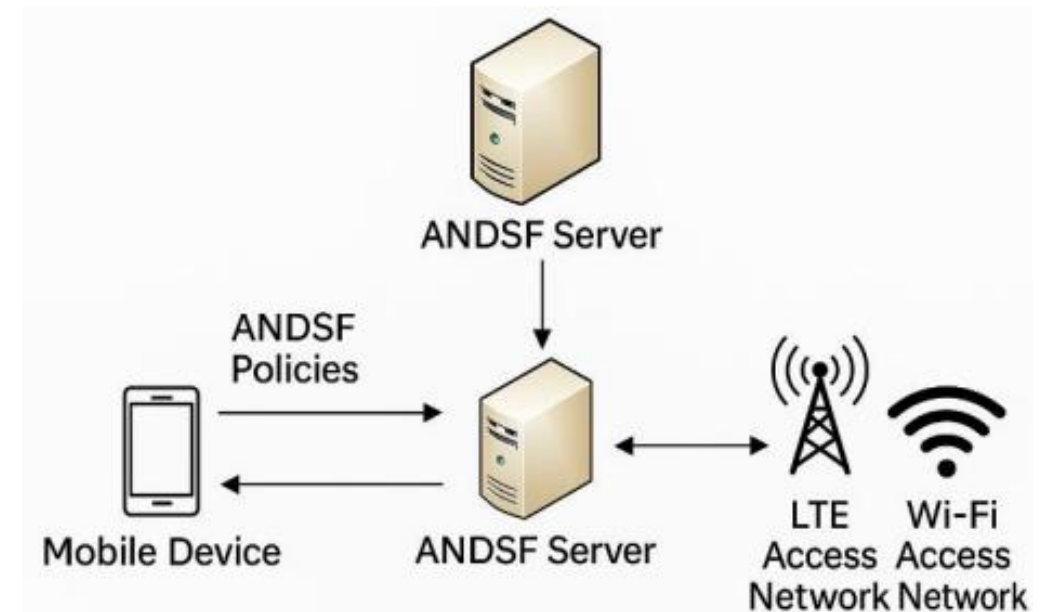
Ашиглагддаг протокол:

- Multipath TCP (MPTCP)
- Ажиллагааны зарчим нь хэрэглэгчийн төхөөрөмжийг 5G ба Wi-Fi-ийн хооронд ухаалгаар ачаалал чиглүүлэх (steering), шилжүүлэх (switching), зэрэг хуваах (splitting)-ийг зохицуулдаг.



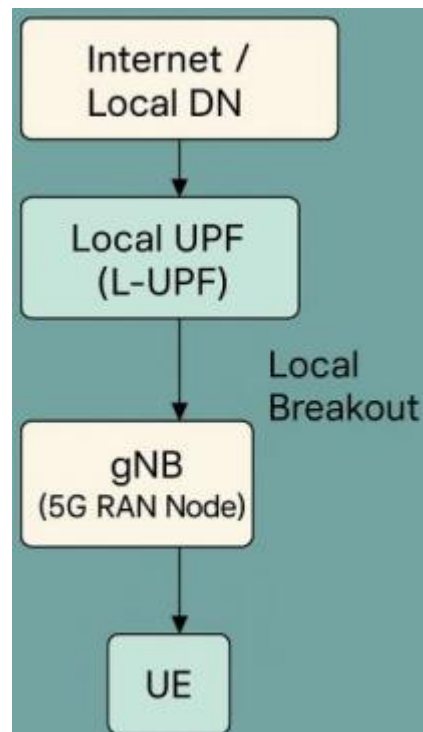
3. ANDSF (Access Network Discovery and Selection Function)

- 3GPP Release 8, сүлжээний функц бөгөөд UE-ийн ойр орчмын Wi-Fi болон үүрэн сүлжээнүүдийн талаар мэдээлэл өгч, аль сүлжээг сонгох, холбогдох шийдвэрийг дэмждэг.
- Энэ нь traffic offloading, network selection, policy-based connection хийхэд хэрэглэдэг.



4. Local Breakout (LBO)

- Үүрэн холбооны LTE/5G сүлжээнд хэрэглэгддэг offloading механизм
- Хэрэглэгчийн зарим өгөгдлийн урсгалыг операторын цөм сүлжээгээр дамжуулахгүйгээр, тухайн Local Gateway түвшинд шууд интернет эсвэл орон нутгийн үйлчилгээ рүү гаргах зарчимтай.



аж ахуйн нэгжийн дотоод сүлжээ, орон нутгийн дата төв

хэрэглэгчийн өгөгдлийг төв сүлжээгээр дамжуулахгүйгээр шууд орон нутагт чиглүүлнэ

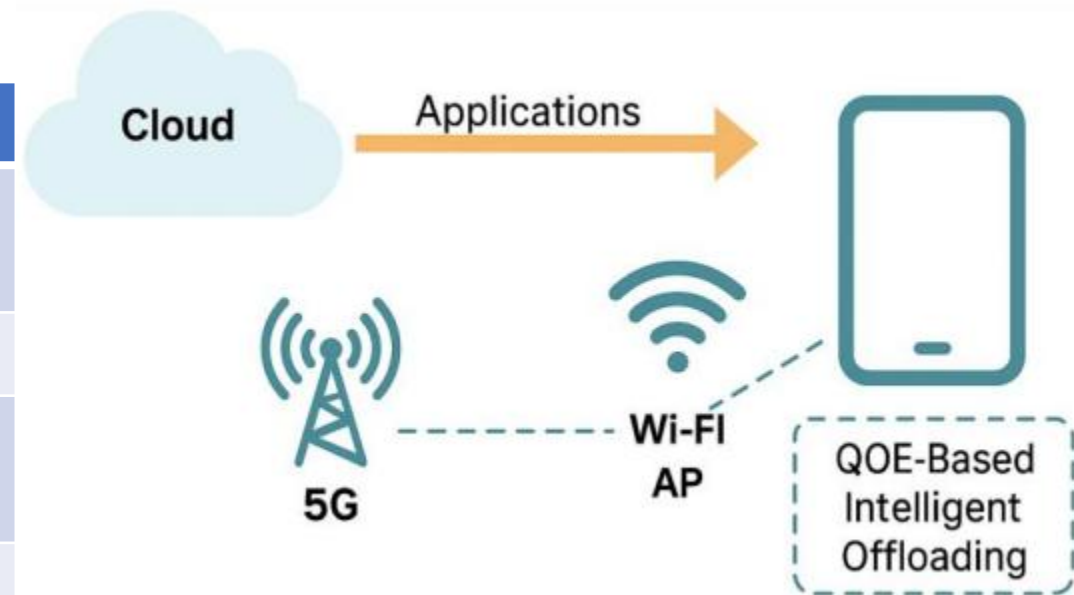
5G RAN болон BS, хэрэглэгчийн төхөөрөмжтэй (UE) холбогдоно

гар утас, IoT төхөөрөмж гэх мэт



5. QoE-based Intelligent Offloading (AI/ML ашиглах)

Ангилал	Хувьсагч
Сүлжээний нөхцөл	RSRP, SINR, хоцролт, jitter, зурвасын өргөн
Хэрэглэгчийн хэрэглээ	Видео стриминг, VoIP, вэб үзэх
Төхөөрөмжийн мэдээлэл	Battery, CPU, network capability
Байршил ба хөдөлгөөн	GPS, cell ID, Wi-Fi SSID
Машин сургалт (ML)	QoE таамаглах загвар (supervised learning, reinforcement learning)



5. Ачаалал шилжүүлэх аргуудын харьцуулалт

Арга	Түвшин	Протокол/ Стандарт	Давуу тал	Сул тал
IFOM	IP	DSMIPv6, PMIPv6	Нарийн control	Тохиргоо төвөгтэй
ATSSS	Transport	MPTCP	Real-time switching/splitting	UE/5GC бүрэн дэмжих шаардлагатай
ANDSF	Policy	3GPP	Dynamic network discovery	5GC шаардана
LBO	Edge	Local routing	Latency бууруулах	Core coordination багатай
AI-based	Application	Custom/ML	Smart decision-making	Өгөгдөл ба сургалт шаардана



5G/Wi-Fi ачааллыг шилжүүлэх туршилт

Application	Дундаж дата хэмжээ	Зурвасын өргөн (Bandwidth)	QoE шаардлага
Видео	~30 MB / мин	2–4 Mbps	Medium–High
Веб	~5 MB/ session	0.5–1 Mbps	Medium
VoIP	~1 MB / мин	100–150 kbps	Low Latency
Файл	~50–100 MB	5–10 Mbps	Delay-tolerant

User	Application	Offloaded To	Data Volume (MB)	Required Bandwidth (Mbps)
1	Видео	Wi-Fi	30	3
2	Веб	Wi-Fi	5	0.5
3	VoIP	5G	1	0.15
4	Файл	5G	80	8
5	Видео	Wi-Fi	30	3
6	Веб	Wi-Fi	5	0.5
7	VoIP	5G	1	0.15
8	Файл	Blocked	100	10
9	Видео	Blocked	30	3
10	Веб	Wi-Fi	5	0.5

Улаанбаатар хотын ачаалал ихтэй бүсэд ачаалал шилжүүлэх тооцоо

1. Нөхцөл байдал

- Байршил: Сүхбаатарын талбай орчим
- Цаг: 18:00–20:00 (оройны оргил ачаалал)
- Сүлжээ:
 - 5G gNB: 3 сектор, NR n78 (3.5 GHz), нийт 100 MHz зурвас
 - Wi-Fi AP: Хотын нийтийн Wi-Fi (5 GHz, 80 MHz)
- Хэрэглэгч: ~150 идэвхтэй UE / сектор (eMBB + VoIP хэрэглээ холимог)

Сүлжээ	Ачаалал (PRB/Channel Utilization)	Дундаж дохионы түвшин	Саатал (RTT)
5G	PRB ашиглалт 90%+	RSRP ~ -92 dBm, SINR ~ 8 dB	35–50 ms
Wi-Fi	Channel util 40%	RSSI ~ -60 dBm, SNR ~ 28 dB	20–25 ms



Улаанбаатар хотын ачаалал ихтэй бүсэд ачаалал шилжүүлэх тооцоо

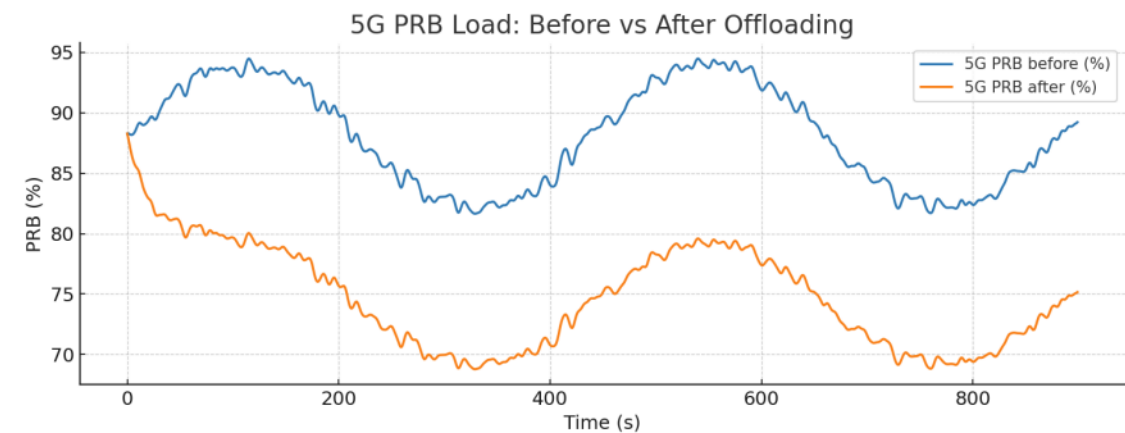
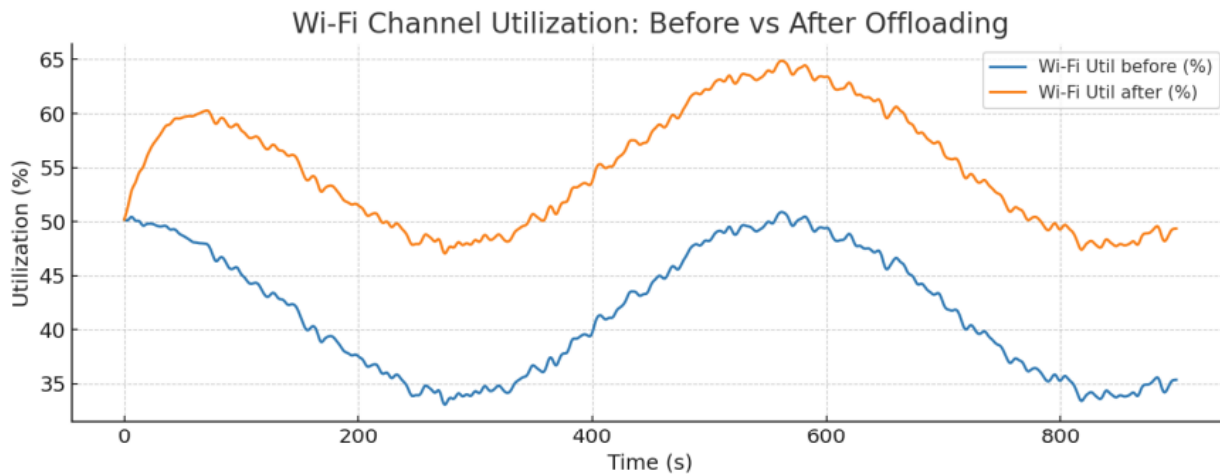
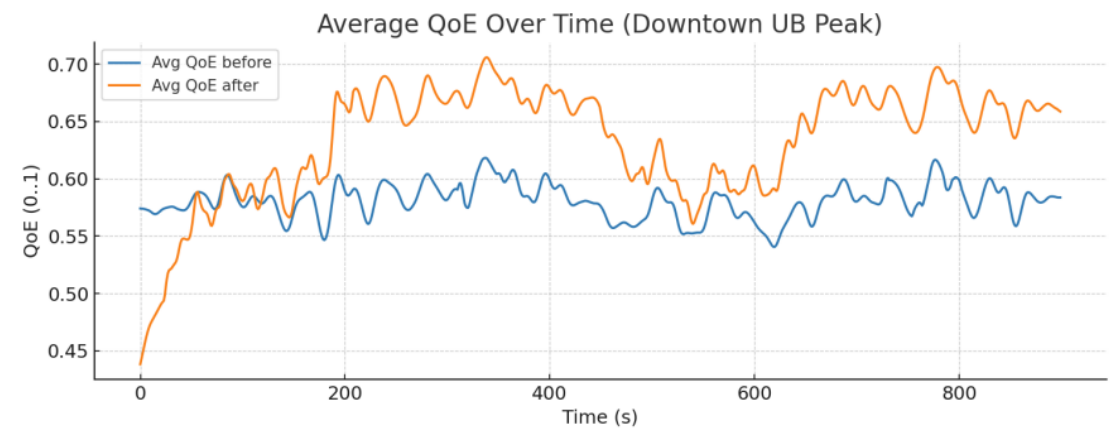
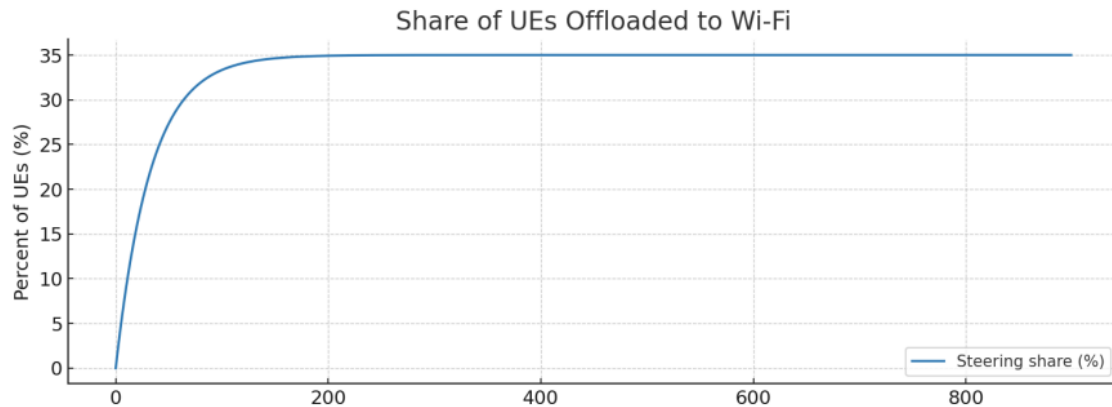
1. Threshold-д суурилсан ачаалал шилжүүлэх
2. 5G → Wi-Fi шилжүүлэх нөхцөл:
 1. 5G PRB $\geq 80\%$
 2. Wi-Fi RSSI ≥ -65 dBm ба SNR ≥ 25 dB
 3. Wi-Fi channel util $\leq 70\%$
3. Wi-Fi → 5G шилжүүлэх нөхцөл:
 - Wi-Fi channel util $\geq 80\%$
 - Wi-Fi RSSI ≤ -70 dBm эсвэл SNR ≤ 20 dB
 - 5G RSRP ≥ -95 dBm ба SINR ≥ 10 dB

Үр дүн

- 5G секторийн ачаалал: $\sim 90\% \rightarrow \sim 65\%$ буурна
- Wi-Fi channel utilization: $\sim 40\% \rightarrow \sim 65\%$ нэмэгдэнэ
- Дундаж QoE (0–1): $\sim 0.42 \rightarrow \sim 0.71$ болж өснө
- VoIP чанар (MOS): $3.2 \rightarrow 4.1$ (сонсголын туршилтаар)



Улаанбаатар хотын ачаалал ихтэй бүсэд ачаалал шилжүүлэх тооцоо



Улаанбаатар хотын ачаалал ихтэй бүсэд ачаалал шилжүүлэх тооцоо

Үр дүн (Сүхбаатар талбай, оргил цаг)

- 5G PRB дундаж: 88.0% → 74.7% (-13.3 %)
- Wi-Fi util дундаж: 41.5% → 55.0% (+13.5 пункт)
- Дундаж offload хувь: ~33.7% UE Wi-Fi руу шилжсэн
- Дундаж QoE: 0.581 → 0.634 ($\approx$ +9.2% сайжирсан)

Үр дүн:

- Trigger: 5G PRB $\geq$ 80% үед, Wi-Fi RSSI $\geq$ -65 dBm, SNR $\geq$ 25 dB, util $\leq$ 70% бол offload хийдэг.
- Steering хувь алхам алхмаар өсч ($\sim 0 \rightarrow 35\%$) ачааллыг тэнцвэржүүлснээр 5G-ийн RTT буурч, Wi-Fi дээр util өсөх ч QoE-ийн уналтыг penalty-аар барьж өгнө.
- QoE өсөлт нь latency ба throughput-ийн жинлэсэн утга (LS=40%, TS=60%) дээр суурилсан.



Эдийн засгийн тооцоо

Үзүүлэлт	Хэмжих нэгж	Уламжлалт LTE/5G	Offload ашигласан тохиолдол	Зөрүү
Дата урсгал	TB/cap	100	70	30 ↓
Цөм сүлжээний зардал	\$	1,000	700	300 ↓
Wi-Fi offload зардал	\$	0	120	120 ↑
Нийт зардал	\$	1,000	820	180 ↓

Төрөл	Ачаалал (сая минут)	Ачаалал (минут)	Хэрэглэгч тутмын дундаж ачаалал (минут)
Сүлжээ доторх яриа	34.37	34370000.0	7.001143567645876
Гарах ачаалал	16.96	16960000.0	3.4547394503134727
Орох ачаалал	14.84	14840000.0	3.0228970190242888
Нийт ачаалал	66.17	66170000.0	13.478780036983638



Эдийн засгийн тооцоо

5G/WiFi ачаалал шилжүүлэх ашиглалтын эдийн засгийн судалгаа

Зардлын төрөл	Нийт зардал (\$)	Тайлбар
Цөм сүлжээний (бүх ачаалал)	63600.0	Ачаалал шилжүүлэх технологийг ашиглаагүй нөхцөлд нийт зардал
5G/WiFi Ачаалал шилжүүлэх технологийг ашигласан	49290.0	30% WiFi offload ашигласан үед
Хэмнэлт	14310.0	WiFi Offload-ийн үр дүнд үүссэн ХЭМНЭЛТ



Анхаарал хандуулсанд хандуулсанд баярлалаа

