

ХХЗХороо

Үүрэн холбооны 5G сүлжээнд
хуурмаг сүлжээ үүсгэн ашиглах
боломж

Гүйцэтгэсэн:

МУИС-ийн МТЭС-ийн ЭХИТ-ийн дэд
профессор, доктор Д.Баттулга

МУИС-ийн МТЭС-ийн ЭХИТ-ийн багш
Т.Тэлмүүн

МУИС-ийн МТЭС-ийн ЭХИТ-ийн багш,
П.Баясгалан

Улаанбаатар хот

2025 оны 09-р сарын 30

Гарчиг

1.	Удиртгал	3
2.	Сүлжээний виртуалчлал	4
3.	5G сүлжээний виртуалчлал	5
4.	5G сүлжээ	6
	5G сүлжээний онцлог	6
	5G сүлжээний ерөнхий архитектур	6
	5G сүлжээний хөдөлгөөнт байдлын удирдлага	8
5.	5G сүлжээний хатуу дэд бүтэц	10
6.	Радио хандалтын сүлжээний бүтэц	11
7.	5G болон дараах үеийн сүлжээ дэх виртуалчлал	13
	Сүлжээний цөм дэх виртуалчлал	13
	Радио хандалтын сүлжээндэх виртуалчлал	14
8.	5G радио хандалтын сүлжээний виртуалчлалын цаашдын чиг хандлага	14
9.	5G сүлжээний хуваалт	16
	Хуваалт хоорондын хэндоврийн үедэх хэрэглэгч баталгаажуулалт	17
	Сүлжээний хуваалт хоорондын хэндоврт тулгах асуудал	18
	Хэрэглэгчийн баталгаажуулалт хийх алхмууд	18
	Баз станц дахь нэмэлт функц	19
	Хуваалт хоорондын хэндовр	20
10.	5G болон SDN	21
11.	Хувийн 5G сүлжээ ба давуу тал	22
	Сүлжээний архитектур	23
	Хувийн 5G сүлжээний загвар	24
	Хэрэглэх нөхцөл	25
	Хувийн 5G сүлжээний хурд ба муж	25
12.	Хувийн 5G сүлжээний олон улсын стандарт болон холбогдох технологийн баримт бичгүүд	26
13.	Хувийн 5G сүлжээг хэрэглэх олон улсын чиг хандлага	27
	Зах зээлийн өсөлт ба хөрөнгө оруулалт	27
	Хэрэглээний салбарууд	27
14.	Хувийн 5G сүлжээг байгуулах, зохицуулалт хийх талаарх зөвлөмж	28
	Хувийн 6G сүлжээ	29
15.	Ишлэгдсэн материалууд	29

1. Удиртгал

5G сүлжээнд олон шинэ технологиуд багтдаг ба хэрэглээний хувьд олон төрлийн боломжийг нээдэг. Манай оронд 5G сүлжээг нэвтрүүлж, ашиглаж эхэлж байгаа энэ үед сүлжээний архитектур, дизайн, суурьлуулалтын талаар судалж боломжит хэрэглээг зөв тодорхойлох шаардлага үүсээд байгаа билээ. Манай орны оператор компаниуд сүлжээний хатуу дэд бүтэцийг хуваан шинэчлэлт, сайжруулалт, хуваан ашиглах, тусгай зөвшөөрөлгүй хэрэглэгчдэд түрээслэх боломж шийдлийг судлах нь нэн чухлаар тавигдаж байна.

Радио хандалтын сүлжээний виртуалчлал нь 5G болон түүний дараах үеийн сүлжээнд багтах гол технологиудын нэг юм. Бид энэхүү тайландаа эхлээд сүлжээний виртуалчлалын талаар тусгах бол хоёрдугаар бүлэгт радио хандалтын сүлжээндэх виртуалчлалын талаар, гуравдугаар бүлэгт цаашдын чиг хандлагын талаар тайлбарлана.

2. Сүлжээний виртуалчлал

Физик төхөөрөмжийн хүчин чадлыг илүү үр ашигтайгаар хуваан ашиглах, нэгэн зэрэг өөр өөр функцэд хэрэглэх гэх мэт зорилгоор анх виртуалчлалын технологийг хөгжүүлж эхэлсэн байдаг. Үүний үр дүн 2000-аад оноос хэрэглээнд нэвтрэх хүртлээ олон сорилт даван туулсанч өөр өөр үйлдвэрлэгчийн төхөөрөмж хангамж ашиглах, физик серверийн хэрэглээний боломжийн нэмэгдүүлэх зэрэг юм¹. Мөн одоогийн VMware, VirtualBox, KVM гэх мэт олон төрлийн виртуалчлалын шийдлүүдийн суурь болж өгсөн.

Тэгвэл 2012 оноос эхлэн хөгжүүлсэн сүлжээний виртуалчлал буюу Network Function Virtualization (NFV) -ийг European Telecommunications Standards Institute (ETSI) -аас стандарчласан. Энэ нь дараах гурван үндсэн хэсгээс бүрдэнэ. Үүнд:

- **Виртуалчлагдсан сүлжээний функцүүд (Virtualized network functions)** нь сүлжээний функцүүдийг виртуал дэд бүтэц дээр программ хангамж байдлаар хэрэгжүүлнэ. Жишээ нь виртуал галт хана, виртуал чиглүүлэгч, виртуал свич гэх мэтээр сүлжээний функцүүдийг виртуалчилж болно.
- **Сүлжээний функцүүдийн виртуал дэд бүтэц (Network functions virtualization infrastructure)** нь виртуал дэд бүтэц буюу виртуал функцүүдийг байршуулах орчинг бүрдүүлж буй техник, программ хангамжийн нийлбэр юм. Өөрөөр хэлбэл серверүүд (compute resources), хадгалах систем (storage), сүлжээний холболт (networking) гэсэн дэд бүтэц үүсгэдэг гол нэгжүүдийн виртуалчлах юм.
- **Сүлжээний функцүүдийн виртуалчлалын удирдлага ба оркестр архитектурын фремворк хоцролт (Network functions virtualization management and orchestration architectural framework)** нь сүлжээний виртуалчлалын нэгж бүрийн хоорондын холбоос, өгөгдлийг дамжуулал болон хадгалах зэргийг ашиглан дээрх 2 хэсгийг удирдах зорилготой нэгж, түүний холболтын интерфэйсүүд юм.

Виртуалчлалын гол ач холбогдол нь үйлдвэрлэгчийн өртөг өндөр хязгаарлагдмал техник хангамжаас сүлжээний функцүүдийг салгаж хялбарчлах юм. Мөн сүлжээг удирдах, өөрчлөн шинэчлэх, шинэ үйлчилгээ нэвтрүүлэх зэрэгт илүү уян хатан болгоно. Дараах байдлаар сүлжээний виртуалчлалын ач холбогдлыг жагсаав. Үүнд:

- Зардал бууруулах – физик төхөөрөмжийн хэрэглээ, шинэчлэл буурна.
- Уян хатан байдал – сүлжээний функцүүдийг хялбар нэмэх, өөрлөх, шинэчлэх боломжтой байна.
- Өргөтгөх хурд – системийг шаардлагатай үед хурдан өргөтгөх, өөрчлөх боломжтой.
- Аюулгүй байдал – виртуалчлалаар тусгаарлалт үүсгэснээр хамгаалах боломж сайн байна.

- Үүлэн тооцоололд нийцнэ – үүлэн тооцоолол ашигласан болон суурилсан аливаа архитектуртай нийцэж ажиллана.

Мөн дараах хүснэгтэнд сүлжээний виртуалчлал болон программаар тодорхойлогддог сүлжээний ялгааг харуулав.

Үзүүлэлт	Сүлжээний виртуалчлал	Программаар тодорхойлогддог сүлжээ
Технологийн зорилго	Сүлжээний функцүүдийг виртуалчлах	Сүлжээний удирдлагыг программ хангамж буюу аппликейшн түвшинээс удирдах
Хэрэглээний үр дүн	Виртуалчлагдсан сүлжээний функцүүд	Сүлжээ удирдах контролёр, өгөгдөл зөөх талбарын виртуалчлал
Ач холбогдол	Функцүүдийг хурдан үүсгэх, хувилах, олон функц зэрэг ажлуулахдаа физик төхөөрөмжийн хамааралгүй болж зардал буурна	Төвлөрсөн серверээс удирдах, удирдлагыг автоматжуулах, статистик өгөгдөл цуглуулах, сүлжээний нэгдсэн хяналт хийх

Хүснэгт 1. Сүлжээний виртуалчлал ба программаар тодорхойлогддог сүлжээний харьцуулалт

3. 5G сүлжээний виртуалчлал

Хөдөлгөөнт холбооны технологийн хөгжлийн шинэ үе болох 5G систем нь өндөр хурдны дамжуулалт, бага сааталтай үйлчилгээ, олон төрлийн төхөөрөмж холболтыг дэмжих зэрэг олон давуу талуудыг олгож байна. Уламжлалт мобайл сүлжээнд цөм сүлжээ болон радио хандалтын сүлжээ нь төхөөрөмж хангамжтай шууд хамааралтайгаар ажиллах ба зөвхөн операторын өөрийн үйлчилгээнүүдийг гүйцэтгэхээр зохион байгуулагддаг². Хэрэглэгч болон сүлжээний бүх бүрдэл хэсгүүд операторын дотоод сүлжээ учир үйлчилгээг зохион байгуулах, төхөөрөмжүүдийг удирдахад хялбар, сүлжээг хянахад энгийн, хэрэглэгчийн хэрэгцээ хязгаарлагдмал буюу сүлжээнээс шууд хамааралтай, аюулгүй байдлын хувьд харьцангуй сайн гэх зэрэг давуу талуудта боловч суурьлуулах өртөг өндөр, хэрэглээний явц дахь засвар үйлчилгээний зардал их, шинэчлэлт удаан зэргээр оператор ачаалал учруулдаг.

Сүлжээний виртуалчлал, автоматжуулалтыг бүрэн ашиглахаар сүлжээний функцийн виртуалчлал (NFV), программаар тодорхойлогддог сүлжээ (SDN) технологиудаар хуурмаг сүлжээ үүсгэх боломжтой болсон. Эдгээр технологиудыг уламжлалт сүлжээний адил сүлжээний цөмд ашиглахаас гадна радио хандалтын сүлжээндээ ашиглах боломжтой болсныг хуваалт гэж нэрлэдэг³. Сүлжээний хатуу дэд бүтэц дээр олон хуваалт үүсгэж болно. Харин одоогийн технологийн шийдэл нь нэг хэрэглэгч 8 хүртэл тооны хуваалтруу хандах боломжтойгоор тохиргоо хийгднэ. Хуваалтын нэг жишээ нь виртуал оператор буюу өөрийн хатуу дэд бүтэцгүйгээр мобайл сүлжээний үйлчилгээ үзүүлэх боломжтой юм. Энэ нь хатуу дэд бүтэц эзэмшигч оператор нь

түрээсийн гэрээ байгуулж виртуал операторт хуурмаг сүлжээ буюу хуваалт үүсгэж өгөх юм. Мөн хуваалт ашиглаж буй виртуал операторын бүх үйлчилгээ хатуу дэд бүтэц эзэмшигчийнхээс тусгаарлагдсан байна.

4. 5G сүлжээ

Тав дахь үеийн мобайл технологийн товчилсон нэр нь 5G ба 3GPP-ийн Release 15-аар тодорхойлогдсон. 3GPP Release 15-ийг 2018 оны Зургаадугаар сард хөгжүүлэлтийг зогсоож 2019 оны Есдүгээр сард эцэслэсэн⁴. Энэхүү стандарт нь радио сүлжээнээс гадна мобайл системд байх ёстой дуудлага болон сейшин хяналт, хөдөлгөөнт байдлын удирдлага зэргийг тодорхойлсон байдаг.

5G сүлжээний онцлог

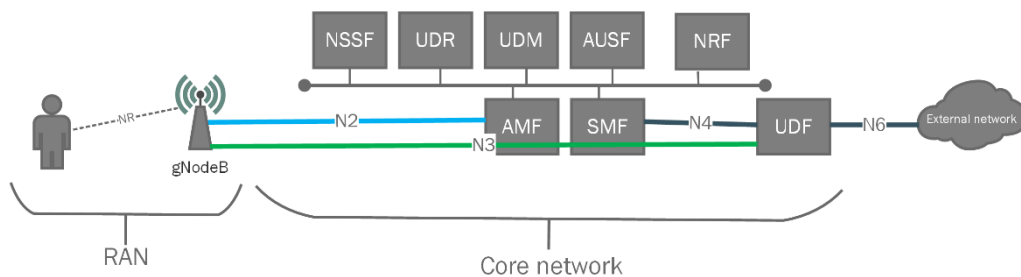
5G нь дараах байдлаар 4G-ийн үйлчилгээнүүдийг сайжруулсан⁵.

- Enhanced Mobile Broadband (eMBB): Өндөр дата дамжуулах хурдыг тодорхойлсон. Энэ нь гадаад орчинд 50Mbps хүртэл, дотоод орчинд 1Gbps хүртэлх татах хурд болон тэдгээрийн хагастай тэнцэх хэмжээний илгээх хурд юм.
- Critical Communications (CC) and Ultra Reliable and Low Latency Communications (URLLC): Зайнаас удирдах гэх мэт найдвартай байдлын зэрэг өндөр шаардах үйлчилгээнүүд дата дамжуулах хурдыг 100Mbps болон end-to-end хоцролдолыг 50 ms байхаар хангах юм. Жишээ нь захын тооцоолол хийх багтаамжийг нэмэгдүүлэхэд чухал үүрэгтэй юм.
- Massive Internet of Things (mIoT): IoT төхөөрөмжийн өсөлт, үйлдвэрийн автоматжуулалтын нөлөөгөөр үйлчилгээний хүрээг тэлэх, нэгэн зэрэг үйлчлэх төхөөрөмжийн тоог ихэсгэсэн.
- Flexible network operations: виртуалчлал, сүлжээний хуваалт, аюулгүй байдал, хөдөлгөөнт байдлын удирдлага, өргөтгөх чадвар зэргийг нэвтрүүлэх боломжийг нэмэгдүүлсэн.

Дээрх үйлчилгээнүүдийн талаарх дэлгэрэнгүй мэдээллийг 3GPP Release 15, Service requirements for the 5G system, NR and NG-RAN Overall description; Stage-2 баримт бичгүүдээс авч болно.

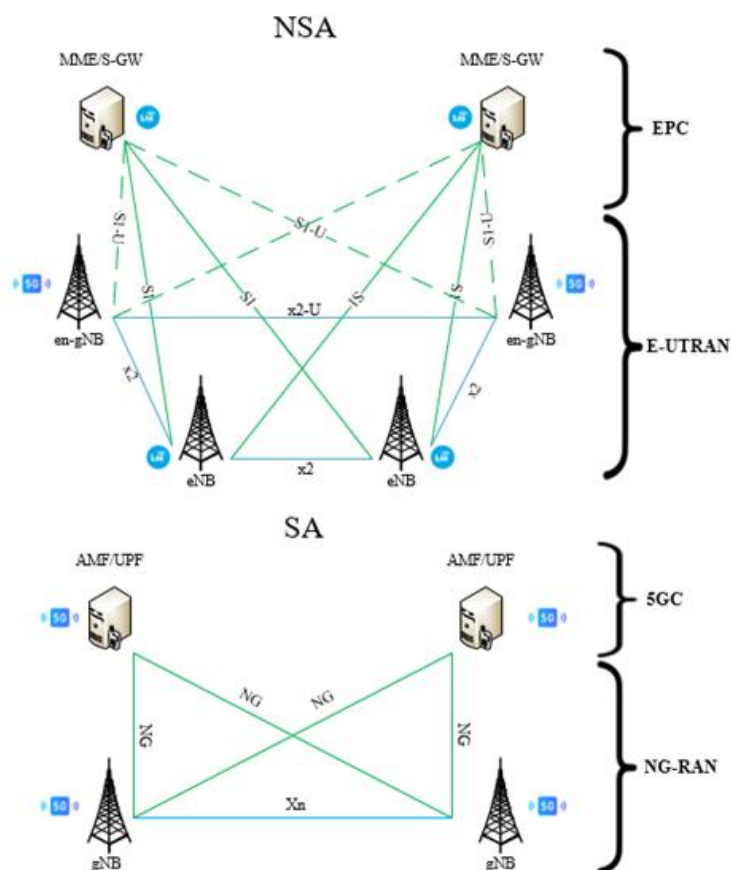
5G сүлжээний ерөнхий архитектур

5G систем нь USIM бүхий хэрэглэгчийн төхөөрөмж (UE), радио хандалтын сүлжээ (NG-RAN), цөм сүлжээ (5GC) гэсэн 3 үндсэн хэсгээс бүрдэнэ.



Зураг 1. 5G сүлжээний архитектур

Радио хандалтын сүлжээ нь gNB буюу бааз станцуудаас бүрдэнэ . Хэрэглэгчийн төхөөрөмж болон бааз станц хооронд NR-Uu гэсэн радио интерфэйс буюу шугам үүснэ. Сүлжээний цөмд байрлах User Plane Function (UPF) нь хэрэглэгчийн датаг чиглүүлэх болон хяналтын хэсгийн үүргийг гүйцэтгэх бол Access and Mobility management Function (AMF) нь хэрэглэгч радио сүлжээнд хандах үеийг удирдана. Өөрөөр хэлбэл AMF нь хэрэглэгчийн бүртгэл, байршил, хөдөлгөөн гэсэн мобайл сүлжээний гол онцлогийг тусгасан функцүүдийн үүргийг гүйцэтгэгч нэгж юм.



Зураг 2. 5G сүлжээний NSA болон SA архитектур (Зургийг Dell Roadmap to 5G⁶⁾)

Дээр зурагт үзүүлснээр 5G-ийн стандартчилахдаа Non-Stand Alone (NSA) ба Stand-Alone (SA) гэсэн 2 төрөл байхаар загварчилсан. Эдгээрийг 4G-ээс 5G-д шилжих шатууд, нэвтрүүлэх үеийн хэрхэн гүйцэтгэхээс хамаарч ялгана. NSA нь 5G-ийн RN-

ийг ажиллаж байгаа 4G-ийн цөм сүлжээнд холбох, түүнийг сүлжээний функцүүдийг шууд ашиглах байдлаар ажиллах хувилбар бөгөөд SA нь 4G-ээс хамааралгүй 5G болон NR-ийн байгуулж 4G-тэй зэрэгцүүлэн ажиллуулах хувилбар юм. Өнөөдөр SA архитектурын хувилбарын суурилуулалтын өртөг өндөр байгаагаас хамаарч NSA-ийг голчлон ашиглаж байсан бол виртуалчлалын технологийн нөлөөгөөр шууд SA хувилбар ашиглах нь өндөр өгөөжтэй болж байна.

5G сүлжээний хөдөлгөөнт байдлын удирдлага

Мобайл сүлжээний гол давуу тал бол хэрэглэгчийн идэвхтэй үйлчилгээг тасалдуулахгүйгээр үүр хооронд шилжих буюу сүлжээний хамрах хүрээ дотор хөдөлгөөнтэй байх явдал юм. Үүнийг гүйцэтгэдэг сүлжээний функцийг хөдөлгөөнт байдлын удирдлагын нэг хэсэг болох хэндовр менежмент гэнэ. Олон төрлийн хэндовр менежмент байх боловч бүгд бэлтгэх, гүйцэтгэх, дуусгах гэсэн 3 шаттай явагддаг⁷. Ялангуяа бэлтгэх шат бүхий л төрлийн хэндоврт ижил байна. Энэ шат нь дараах үйлдлүүдийг гүйцэтгэнэ. Үүнд:

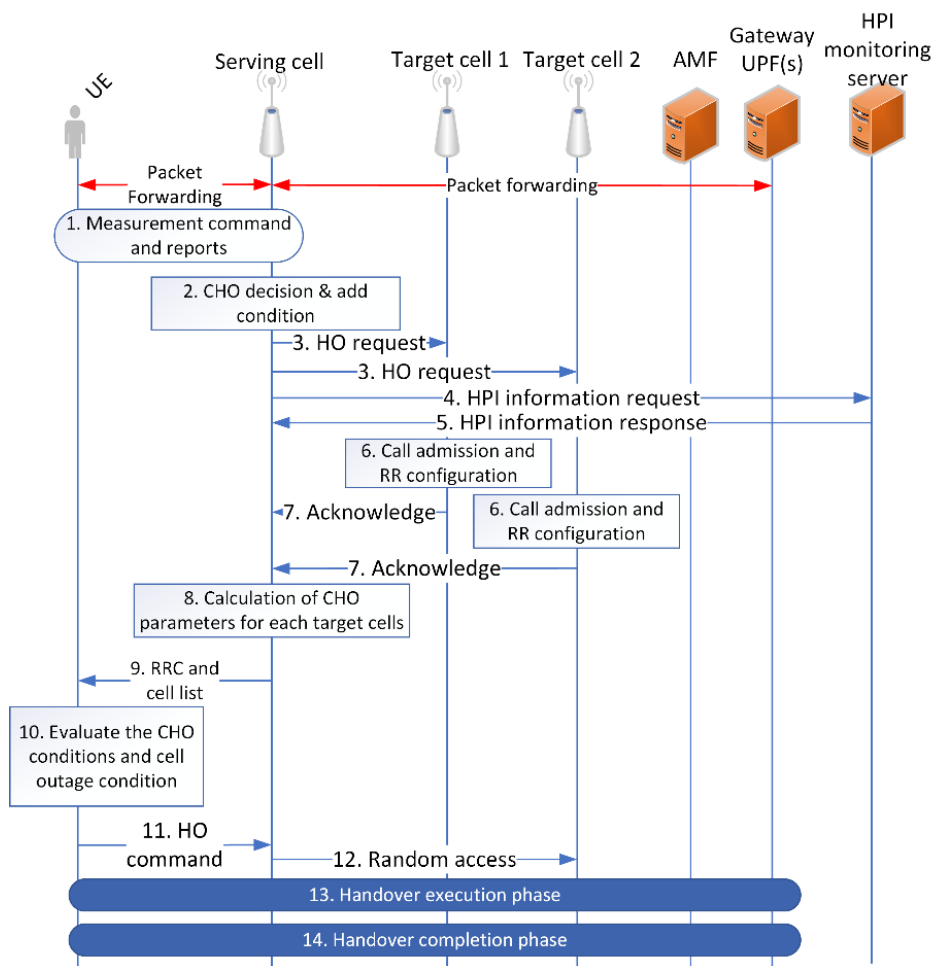
- Радио дохионы чадал буурах буюу бааз станцын захад ирэхэд хэрэглэгчийн холбогдсон байгаа бааз станц болох үйлчлэгч бааз станцаас хэмжилт хийх команд өгнө.
- Ирсэн командын дагуу хэрэглэгчийн төхөөрөмж радио хэмжилт хийж, радио дохиог нь хүлээн авч байгаа бүх бааз станцын мэдээллийг хариу болгон илгээнэ.
- Үйлчлэгч бааз станц хэмжилтийн үр дүнд үндэслэн дараагийн холбогдох бааз станцыг сонгох буюу шилжин орох боломжтой бааз станцыг тодорхойлно.
- Дараагийн холбогдох бааз станцтай хэрэглэгчийн шилжин ороход шаардлагатай радио нөөцийг хуваарилах үйлдлийг гүйцэтгэнэ.
- Гүйцэтгэх шатыг эхлүүлэх триггерийг тохируулах болон ажиллуулна.

Гүйцэтгэх шатанд 4G болон 5G -ийн стандарт тусгагдсан ихэнх хэндоврүүд үйлчлэгч бааз станцаас салах, өмнө ирсэн заавар буюу тохиргооны дагуу дараагийн холбогдох бааз станцтай холболт тогтоож нөөцөлсөн радио нөөцийг эзэмших зэрэг радио хандалтын сүлжээний тохиргоог өөрчлөх үйлдлүүдийг гүйцэтгэнэ. Энэ шатыг эхлэх үед гарцын төхөөрөмж хэрэглэгчийн датаг чиглүүлэхгүй түр санах ойд хадгалж эхэлдэг ба хэрэглэгчийн идэвхтэй үйлчилгээ зогсоно.

Дуусгах шатанд хэрэглэгчийн шилжин орсон бааз станцыг үйлчлэгч бааз станц болгон статусыг өөрчлөх, радио нөөцийн тохиргоонд үндэслэн дата зам буюу хэрэглэгчийн дата чиглүүлж эхэлнэ. Гарцын төхөөрөмж хэрэглэгчийн датаг түр санах ойноос шинэ дата замаар дамжуулна. Өөрөөр хэлбэл хэрэглэгчийн идэвхтэй үйлчилгээ эргэн сэргэнэ.

Уламжлалт хэндоврийг эдгээр 3 шатны бэлтгэх шат маш чухал юм. Учир нь бэлтгэх шатанд буруу бааз станц сонгох, триггерийг буруу тохируулах зэргээс хамаарч хэндоврийн алдаанууд гардаг. Хэндоврийн алдаануудыг доор жагсаан бичив.

- RLF гэдэг нь хэрэглэгч үйлчлэгч бааз станцаас дараагийн бааз станцад шилжих хэндоврийг эхлүүлсэн эсэхээс үл хамааран хэндоврийн гүйцэтгэх шатыг бүрэн биелүүлж дуусгаагүй байхад радио дохионы чадал мэдээлэл дамжуулах боломжгүй доод түвшинд хүрч сүлжээнээс бүрэн гарах үеийг хэлнэ.
- Ping-Pong Handover гэдэг нь хэрэглэгч хэндоврий бүх шатыг амжилттай дуусгаад дараагийн бааз станцад бүрэн шилжиж орсон боловч богино хугацааны дараа буцаад анхны үйлчлэгч бааз станц руу хэндовр хийхийг хэлнэ. Энэ үйлдэл олон давтагдах тусам хэрэглэгчийн авч буй үйлчилгээ удаашрах, тасалдах зэрэг асуудал үүсгэнэ. Хэрэв хэрэглэгч тасалдалтад тэсвэргүй үйлчилгээ буюу стрийминг төрлийн үйлчилгээ авч байвал үйлчилгээ тасардаг.
- Too early handover гэдэг нь RLF-д багтаагүй боловч хэндоврийг хэт оройтуулж эхлүүлснээс үүдэн дараагийн холбогдох бааз станц сонгох, гүйцэтгэх шатыг эхлүүлэхэд бага цаг зарцуулах зэрэг асуудал үүснэ. Энэ алдаанд мөн хэрэглэгч дараагийн бааз станцад шилжих гүйцэтгэх шатыг амжилттай гүйцэтгэсэн ч дуусгах шатны алдаанаас үүдэн үйлчлэгч бааз станц руу буцах ёстой болоход үйлчлэгч бааз станцын хамрах хүрээнээс гарсан тохиолдлыг хамруулан авч үзнэ.
- Handover failures гэдэг нь радио хандалтын сүлжээний дээрх алдаануудаас тусдаа бэлтгэх, гүйцэтгэх шатнуудад бааз станц, цөм сүлжээдэх функцүүдийн алдаанаас үүдэн хэндовр амжилтгүй болсонг илэрхийлнэ.



Зураг 3. Гүйцэтгэлийн үзүүлэлт ашигласан хэндоврын жишээ.

5. 5G сүлжээний хатуу дэд бүтэц

Харилцаа холбооны технологи гэсэн хязгаарлагдмал тодорхойлолтоос Интернэтийн дэд бүтцийн нэг болон хөгжиж буй мобайл сүлжээ (өөрөөр үүрэн холбооны сүлжээ) -ний Fifth Generation (5G) буюу тав дахь үеийн технологи бүхий сүлжээг маш хурдан нэвтрүүлж байна. Манай орны хувьд 4G сүлжээний хэрэглэгчийн тоо 2024 оны эцсийн байдлаар 5 сая гаруй байгаа нь нэвтрүүлэх үйл ажиллагаа төгсгөлийн шатандаа орсны илрэл юм⁸. Мөн Монголын үүрэн холбооны тусгай зөвшөөрөл эзэмшигч байгууллагууд 5G сүлжээг нэвтрүүлж эхлээд байна.

5G сүлжээний архитектурыг ерөнхийд нь радио хандалтын сүлжээ, сүлжээний цөм, гадаад сүлжээ гэсэн 3 хэсэгт хуваасан байдлаар Зураг 4-д үзүүлэв⁹. Мобайл хэрэглэгч нь NR гэсэн радио интерфэйс ашиглан баз станц gNodeB -тэй холбогдоно. Баз станцууд хоорондоо Xn интерфэйсээр холбогдож удирдлагын мессежүүдийн солилцоно. Харин баз станцууд N2 интерфэйс ашиглан AMF-тэй, N3 интерфэйс ашиглан UDF-тэй холбогдоно. UDF нь N6 интерфэйсээр гадаад сүлжээтэй холбогдож байгааг дээрх архитектурын зургаас харж болно. N4 интерфэйсийг UDF болон SMF -ийн хооронд холболт тогтооход ашиглана. Эдгээр интерфэйсүүдийг шууд физик

холболт гэж ойлгож болохгүй бөгөөд сүлжээний бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн хоорондын логик холболт юм.

6. Радио хандалтын сүлжээний бүтэц

5G сүлжээг нэвтрүүлэх өртөг өндөр боловч дагалдах боломжууд их өргөн юм. 5G сүлжээнд олон шинэ технологи багтдаг бөгөөд тэдгээр нь хэрэглээг дэмжих зорилготой юм. 3GPP байгуулга нь 5G сүлжээний стандартын гол хөгжүүлэгч бөгөөд 4G, Long Term Evolution (LTE) сүлжээнүүдээс ялгагдах New Radio (5G NR) гэх шинэ интерфэйс болон sub-6 GHz -ийн давтамж нэмж ашиглахаараа онцлогтой юм. Мобайл сүлжээний үйлчилгээ үзүүлэгч байгууллагууд одоогийн 4G -ийн суурь сүлжээгээ өөрчлөхгүйгээр 4G -ийнхээ Radio Access Network (RAN) болон NR -ийг хослуулан нэвтрүүлэх сонголтыг ихэвчлэн ашиглаж байна. 5G радио хандалтын сүлжээний боломжит дээд хурд 20 Gbps болж өмнөх үеийнхээс 20 дахин ихсэхээр 3GPP байгуулгаас тодорхойлсон. Ингэж хурдын эрс нэмэгдүүлэхийн тулд Давтамжийн хүрээ (FR) 1-д илүү өргөн спектрийн зурвас хэрэглэхээс гадна FR2 буюу mmWave давтамж дээр ажиллана.

Сүлжээний цөмд байрлах функүүд тус бүр өөрийн үйлчилгээг үзүүлж хамтран ажиллана. Харин бидний дэлгэрэнгүй авч үзэх хэсэг бол радио хандалтын сүлжээ юм. Радио хандалтын сүлжээ гэж өөр хоорондоо болон сүлжээний цөмтэй холбогдсон баз станцуудын цуглуулга бөгөөд радио хандалтын технологиудыг ашигласан хамрах хүрээ үүсгэдэг. Дэлхий дээр 5G радио хандалтын сүлжээг дараах 3 төрлөөр хөгжүүлж байна. Үүнд:

1. Уламжлалт радио хандалтын сүлжээ (RAN)

Уламжлалт радио хандалтын сүлжээ нь тархсан бүтцээр ажилладаг буюу баз станц бүр бие даан ажиллана. Нэг цамхагт байрлах радио удирдлагын төхөөрөмж (remote radio head) -ийг нэг тооцооллын нэгж (baseband unit) -тэй холбодож баз станцыг бүрдүүлнэ. Өөрөөр хэлбэл цамхагт байгаа баз станц бүр өөрийн удирдлага, радио зурвасын нэгжүүдтэйгээр бие даан ажиллаж шууд сүлжээний цөмтэй холбогдож ажилладаг.

2. Үүлэн радио хандалтын сүлжээ (Cloud-RAN)

Уламжлалт радио хандалтын сүлжээг өөрчилж 5G сүлжээний хурд, хэрэглэгчийн шаардлагыг хангах хэрэгтэй болсон. Ингэхдээ тооцооллын нэгжийг баз станцуудаас салгаж сүлжээний цөмд төвлөрүүлснээр радио удирдлагын төхөөрөмж зөвхөн радио хандалтын сүлжээнд үлдэнэ. Тооцооллын нэгжийг төвлөрүүлж багц үүсгэснээр баз станц дээрх тогтмол хэмжээтэй байршихгүй, үүлэн систем байдлаар ачаалал ихтэй баз станцад илүү тооцооллын нэгж хувиарлах боломжтой болно.

3. Нээлттэй радио хандалтын сүлжээ (O-RAN)

Программ хангамжаар тодорхойлогдсон интерфэйсээр ажиллах учир төхөөрөмж үйлдвэрлэгчээс хамааралгүй болсон архитектур юм. Ингэхдээ интерфэйсүүдийг

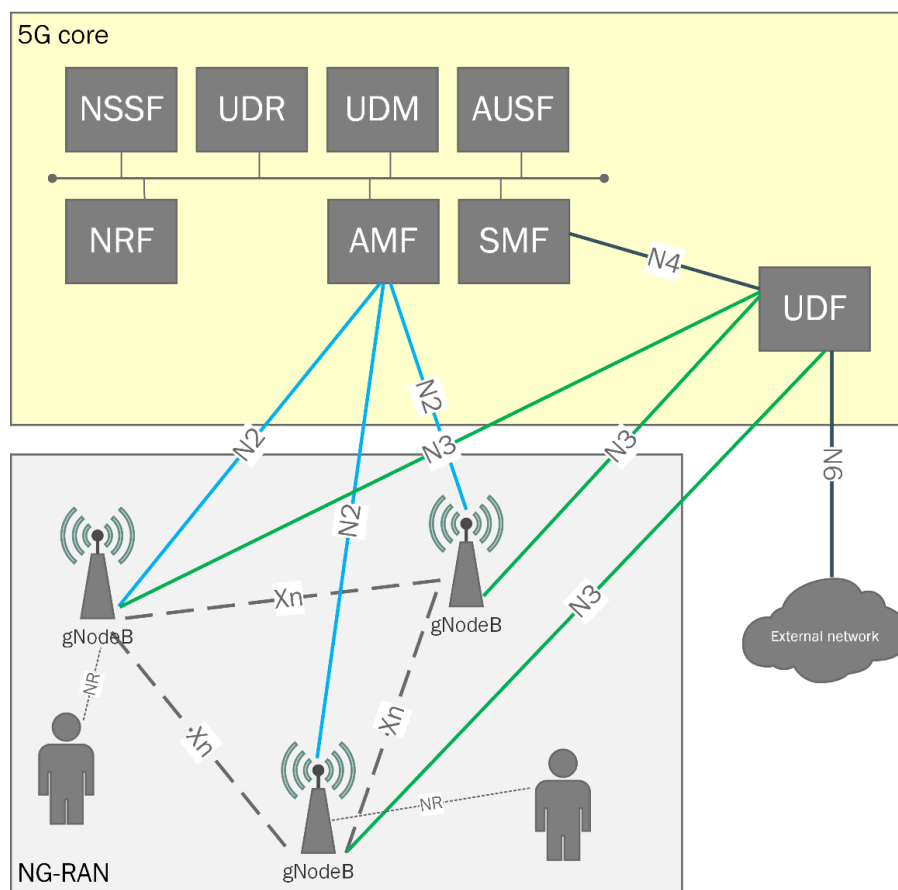
стандарчласан учир өөр өөр үйлдвэрлэгчийн төхөөрөмжүүд хоорондоо нийцтэй ажиллана. Мөн сүлжээний виртуалчлал, программаар тодорхойлогддог сүлжээ зэрэг технологиудыг бүрэн ашиглаж илүү уян хатан радио хандалтын сүлжээ үүсгэдэг.

5G радио хандалтын сүлжээний бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг дараах байдлаар тодорхойлно. Үүнд:

- Радио дохио хүлээн аваг болон илгээгч – Radio unit
- Өгөгдөл боловсруулагч – Distributed unit
- Өгөгдлийн удирдлага – Centralized unit
- Хоорондын холболт – fronthaul, midhual, backhual

Радио хандалтын сүлжээний шинэ боломжуудыг дараах байдлаар жагсаав. Үүнд:

- Олон антенна ашиглан өгөгдөл илгээх, хүлээн авах замыг нэмэгдүүлэх массив MIMO технологи
- Дохиог зөвхөн заасан хүлээн хэрэглэгчийн төхөөрөмжрүү чиглүүлэх Beamforming технологи
- Радио хандалтын сүлжээнд хуурмаг сүлжээ үүсгэх Network slicing технологи
- Сүлжээний захад илгээгч болон хүлээн авагч хоёрыг шууд холбож хоцрогдлыг бууруулах edge computing технологи



Зураг 4. 5G сүлжээний архитектур ба үйлчилгээнүүд

7. 5G болон дараах үеийн сүлжээ дэх виртуалчлал

Сүлжээний цөм дэх виртуалчлал

5G сүлжээний үндсэн хэсэг болох суурь сүлжээ буюу сүлжээний цөмийг виртуалчлах талаарх ойлголтыг 5G цөм сүлжээний виртуалчлал (5G Core Network Virtualization) гэж нэрлэдэг. Ингэхдээ программ хангамжийн түвшинд хэрэгжүүлж, уламжлалт техник хангамжаас хамааралгүй, уян хатан, өргөтгөх боломжтой болгох гол зорилготой юм. Мөн сүлжээний цөм нь хэрэглэгчийн өгөгдлийг удирдах, чиглүүлэх, аюулгүй байдлыг хангах, тооцоо хийх зэргийг гүйцэтгэдэг чухал хэсэг юм. Виртуалчлалын тусламжтайгаар нь тухайн сүлжээний үйлчилгээг програм хангамжийн түвшинд хувилан олон төрлийн сервер, үүлэн тооцоолол дээр ажиллуулахыг хэлнэ.

5G-ийн цөм сүлжээнд дараах бүрэлдэхүүнүүдийг хэсгүүд байдаг (Зураг 1 -аас харах):

- AMF (Access and Mobility Management Function) - Хандалт ба хөдөлгөөнт удирдлага
- SMF (Session Management Function) - Сешн удирдлага
- UPF (User Plane Function) - Хэрэглэгчийн өгөгдлийн урсгал
- AUSF (Authentication Server Function) - Баталгаажуулалт
- PCF (Policy Control Function) - Бодлогын удирдлага
- UDM (Unified Data Management) - Хэрэглэгчийн өгөгдлийн менежмент

Харин дээрх бүх хэсгүүдийг виртуал хэлбэрээр ажлуулж болдог. Ингэж виртуалчласнаар дараах давуу талууд үүснэ. Үүнд:

1. Уян хатан байдал: Хэрэгцээ шаардлага үүссэн үед өргөтгөх, нэмж ажлуулахад хурдан, буцааж өөрчлөлтийг өмнөх төлөвт оруулах боломжтой.
2. Зардал бууруулах: Физик төхөөрөмжийн шаардлагагүйгээр олон сервер дээр хувилж, хуваарилаж ажлуулж болно. Мөн өөр өөр байршилд ажлуулж болно.
3. Хөгжүүлэлтийг шуурхай хийх: Шинэ үйлчилгээ турших, нэвтрүүлэхэд хялбар.
4. Модульчлал: Сүлжээг хэсэгчилж болно. Ингэснээр хэсэгчилсэн байдлаар шинэчлэл, өргөтгөл хийхэд хялбар болно.

Сүлжээний цөмийг виртуалчлахад дараах технологиуд ашиглаж байна:

- NFV (Network Function Virtualization)
- SDN (Software Defined Networking)
- Cloud/Edge Computing
- Kubernetes, Docker (Cloud Native орчин)

- 5G SBA (Service-Based Architecture)**

Радио хандалтын сүлжээндэх виртуалчлал

5G сүлжээний виртуалчлал дахь стандартуудыг дараах байдлаар хүснэгтлэв.

Стандартын байгуулга	Стандартын дугаар	Хүрээ
ITU-R	M.2083-0	- IMT-2020 -ийн бүх зорилтууд болон фремворкийг тодорхойлсон - NFV болон SDN -д суурилсан тохиргоо хийх боломж өндөр, уян хатан сүлжээний зангилаа төхөөрөмжүүд
3GPP	- TR 22.891 - TR 23.799 - TR 23.707 - TR 23.711	- Үйлчилгээг босоо чиглэлтэйгээр сүлжээ хооронд үзүүлэх асуудлыг шийдэх сүлжээний хуваалт - Дараа үеийн сүлжээний архитектурт зориулсан виртуалчлалын шаардлагууд - Олон төрлийн үйлчилгээнд зориулсан сүлжээний цөмийн сайжруулалт - Хэрэглэгчийн төхөөрөмжийн мэдээлэлд хандах - Хөдөлгөөнт байдлын удирдлагад сүлжээ сонгох функцийн сайжруулалт
ETSI NFV	- GS NFV 001 - GS NFV-IFA 001	- NFV -ийн боломжит хэрэглээний нөхцлүүд - Мобайл сүлжээний цөмийн виртуалчлах хэрэгцээ, шаадлага, тулгарах асуудлууд - Layer 1 -ийн виртуалчлалын асуудлууд, тэдгээрийг шийдэх технологиуд

Хүснэгт 1. Радио хандалтын сүлжээтэй холбоотой стандартууд

8. 5G радио хандалтын сүлжээний виртуалчлалын цаашдын чиг хандлага

5G радио хандалтын сүлжээний виртуалчлал нь харилцаа холбооны технологид дэвшилтэт, уян хатан архитектур бүрдүүлэх үндсэн техникийн шийдлүүдийн нэг юм. Ирээдүйд виртуалчлалын чиг хандлагууд дараах байдлаар хөгжих төлөвтэй байна. Үүнд:

✓ vRAN (Virtualized RAN) ба O-RAN-ийн нэгдэл

vRAN нь радио сүлжээний нэгжүүд болох радио удирдлагын төхөөрөмж, тооцооллын нэгжүүдийг сервер дээр ажиллуулах боломж олгох шийдэл юм. Харин O-RAN нь үйлдвэрлэгчээс хараат бусаар бүхийл төхөөрөмжүүд стандарчлагдсан нээлттэй интерфэйсүүдийг ашиглан холбогдох боломжийг дэмжиж уян хатан архитектур бүрдүүлэх юм. Тэгвэл vRAN болон O-RAN хослон ажиллаж төхөөрөмж хангамжаас хамаарсан операторуудын өөр хоорондоо хамтран ажиллах хүндрэлтэй байдал багасч, хоорондоо нийцтэй төхөөрөмжүүдийг ашиглах боломжтой болно.

✓ Edge Computing-тэй уялдах

Виртуалчлал ашигласан радио хандалтын сүлжээ нь захын тооцоололтой илүү уялдаатай ажиллахад тохиромжтой. Үр дүнд нь хоцрогдол/латенси багасаж, бодит цагийн системүүдийн хэрэглээ нэмэгдэнэ. Жишээ нь автомат жолоодлоготой машин буюу жолоочгүй тээврийн хэрэгсэл, AR/VR, дрон зэргийг удирдлагын хэсгийн холболт сайжирна.

✓ AI/ML ашиглан сүлжээний автоматжуулалт

Виртуалчлал нь радио хандалтын сүлжээг программ хангамжаар удирдах боломжийг нээх бөгөөд SDN зэрэг төвлөрсөн удирдлагын серверийг хиймэл оюунтай нэгтсэнээр удирдлага, хяналт, оновчлол хийхэд тохиромжтой. Жишээ нь сүлжээний трафикийн ачааллыг урьдчилсан таамаглаж тохиргоог өөрчлөх, алдаа гарсан үед хурдан бөгөөд илүү найдвартай шийдэл гаргах, сүлжээг ажиллаж байхад доголдлын оношлогоо хийх ба түүнийг шууд засварлах боломж нэмэгдэнэ.

✓ Private 5G сүлжээ

Байгууллагууд өөрсдийн хэрэгцээ шаардлагад нийцүүлэн хувийн 5G сүлжээг (Private 5G) байгуулах боломж нэмэгдэнэ. Мөн операторууд хувийн 5G сүлжээнд өөрсдийн хатуу дэд бүтцийг түрээслэх зэрэг үйлчилгээ үзүүлж болно. Виртуалчлал ашигласан радио хандалтын сүлжээнд хувийн 5G сүлжээний шийдлүүд ашиглах тохиромжтой юм. Жишээ нь үйлдвэрлэлийн автоматжуулалт, ухаалаг үйлдвэр, логистик, эрүүл мэндийн салбарт, уул уурхай, хилийн боомт зэргээр өргөн хэрэглэгдэнэ.

✓ Cloud-native архитектурт шилжилт

Kubernetes, container зэрэг cloud-native технологиудыг ашиглан радио хандалтын сүлжээг илүү уян хатан, өргөтгөх боломжтой болгоно. Энэ нь "RAN-as-a-Service" зэрэг шинэ загваруудыг илүү хөгжүүлнэ.

✓ Хувийн болон нийтийн үүлэн орчны хослол

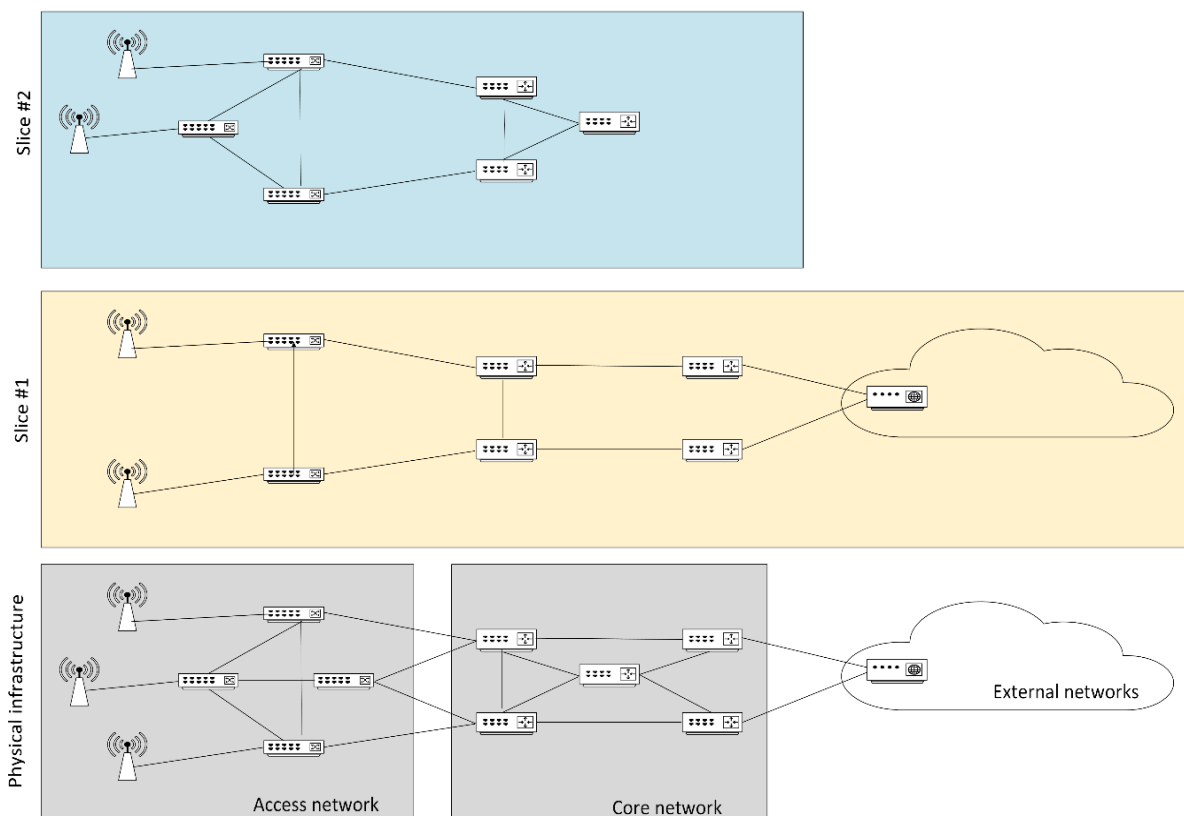
AWS, Azure, Google Cloud зэрэг нийтийн болон хувийн үүлэн тооцооллын орчныг хослуулан ашиглаж ашиглалтын болон сайжруулалтын зардлыг бууруулж, аливаа хүсэлтэнд хариу өгөх үйлдлийн хурдыг нэмэгдүүлнэ.

✓ Энергийн хэмнэлт, байгаль орчны хариуцлага

Виртуалчлал нь idle горим, динамикаар цахилгааны хангамжийг удирдах зэрэг аргаар хэрэглээг бууруулах боломжтой. Ингэснээр "Green 5G" гэсэн чиг хандлагатай нийцнэ. Операторуудад ESG (Environmental, Social, Governance) зорилтоо хангахад тусална.

9. 5G сүлжээний хуваалт

Энэ дэд бүлэгт 5G ба дараах үеийн сүлжээнүүдэд хэрэглэгдэх радио хандалтын сүлжээний шийдлүүдийг тайлбарлана. Сүлжээний хуваалт нь үүрэн холбооны технологийн хатуу дэд бүтцийн дээр үүсгэсэн олон тооны хуурмаг сүлжээний тохиргоо юм³. Сүлжээг виртуалчлан хуваахдаа хэрэглэгч, хэрэглээний нөхцөл, аппликейшн гэх зэргээр харгалзан үздэг. Жишээ нь өмнө дурьдсан eMBB, URLLC, mMTC зэргээр өөр өөр хэрэглээ, шаардлагад нийцүүлэн хуваалт үүсгэж болно. 5G сүлжээний орчинд хатуу дэд бүтэц дээр хоёр хуваалт хийсэн жишээг Зураг 5-т үзүүлсэн. Тэдгээрийн доорх байдлаар тайлбарлав.



Зураг 2. 5G сүлжээний хуваалт

- “physical infrastructure” буюу хатуу дэд бүтэц нь баз станцууд болон свичүүдээс бүрдэх хандалтын сүлжээ, чиглүүлэгчид болон сүлжээний функцүүдийг агуулсан сүлжээний цөм, гадаад сүлжээ гэсэн 3 хэсгээс бүрдэж байна.
- Slice #1 буюу хуваалт №1 нь хандалтын сүлжээ болон цөмд байрлах

төхөөрөмжүүдийн зармыг ашиглан гадаад сүлжээтэй холбогддог байхаар тохируулагдсан

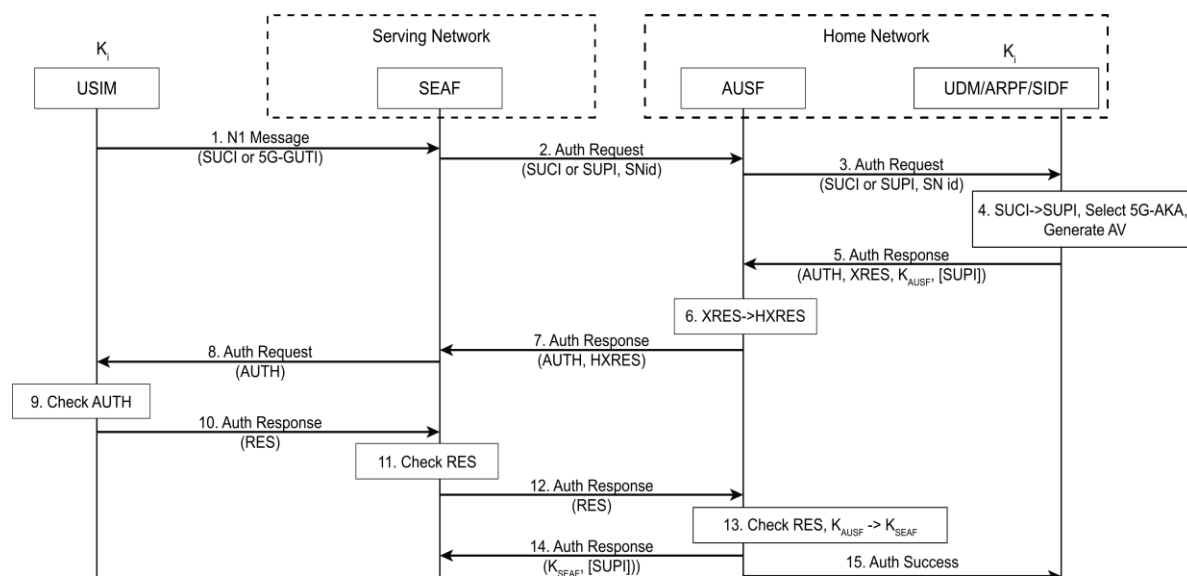
- Slice #2 буюу хуваалт №2 нь хандалтын сүлжээний тодорхой хэсгүүд, тэдгээрийн хооронд холбоход шаардлагатай сүлжээний цөмийн зарим төхөөрөмжүүдийн агуулан тохиргоо хийсэн байна.

Ингэж сүлжээний хуваалт хийхэд NFV, SDN гэсэн виртуалчлалын технологиос гадна удирдлагын талбарын автоматжуулалт, удирдлагын талбарын оркестржуулчлал, хуваалтын удирдлага, хуваалт сонголтыг удирдах функц зэргийг сайтар тохируулах шаардлагатай.

3GPP -ийн Release 15 гэсэн бүлэг стандартын TS 23.501 дугаартай техникийн тодорхойлолтонд хуваалт бүхий 5G сүлжээний архитектурыг багтаасан^{4,15}. Мөн TS 22.261 дугаартай техникийн тодорхойлолтонд хуваалтыг дангаар нь тодорхойлсон. Харин Release 18 -д хэрэглэгчийн тоо, ачаалал, цагийн хязгаар зэргээр хуваалтыг хийх боломжтой болсон¹².

Хуваалт хоорондын хэндоврийн үедэх хэрэглэгч баталгаажуулалт

Хэрэглэгчийн баталгаажуулалт нь зөвхөн зөвшөөрөгдсөн хэрэглэгчид болон төхөөрөмжүүдийг 5G сүлжээнд нэвтрүүлэх чухал үйл явц юм. Мобайл сүлжээ учир сим карт дээр мэдээллийг ашиглан хэрэглэгчийн төхөөрөмж сүлжээнд нэвтэрнэ. Энэ үед хэрэглэгчийг баталгаажуулах 5G-AKA механизмыг ашиглаж сүлжээний нууцлал, хамгаалалтыг хангахдаг [5G-AKA]. 5G-AKA механизмд AMF -тэй хамт байрлах SEcurity Anchor Function (SEAF) функцийг ашиглана (Зураг 3). Энэ функцийн зорилго нь ирсэн баталгаажуулах хүсэлтийг бариж авах, AUSF -д дамжуулах юм.



Зураг 3. 5G хэрэглэгчийн баталгаажуулалт хийх АКА механизм (Зургийг 3GPP 23.711¹⁰)

5G -ийн хэрэглэгч баталгаажуулалт нь бүртгэл буюу AMF хэрэглэгчийн хүсэлтийг AUSF-д цаашлаад UDR дамжуулснаар эхэлдэг. Мөн хариу, хандах, баталгаажуулах зэрэг бүлэг алхамуудыг хийж гүйцэтгэнэ 5G-AKA механизм нь сүлжээнд дараах алхмуудыг хийж гүйцэтгэнэ¹⁰. Үүнд:

1. Хэрэглэгчийн төхөөрөмж холбогдох хүсэлт илгээснийг SEAF хүлээн авна. Учир нь хэрэглэгч сүлжээнд нэвтрээгүй байгаа учир бусад функц, гарц зэрэгтэй холбогдохгүй.
2. SEAF нь AUSF -рүү хэрэглэгчийн баталгаажуулах хүсэлт илгээнэ. Энэхүү хүсэлтэнд хэрэглэгчийн төхөөрөмжөөс ирсэн сим картын мэдээлэл, түр ашиглах SUPI гэх ID зэрэг багтана.
3. Хүлээн авсан хүсэлтээ AUSF нь UDM -рүү илгээнэ. UDM дээр 5G-AKA алгоритмын дагуу *authentication token*, *xres token*, *KAUSF* буюу түлхүүр, SUPI гэсэн утгуудыг тооцоолно.
4. Тооцоолсон утгуудаа хэрэглэгчийн баталгаажуулалтын хариу мессеж болгон илгээнэ.
5. Баталгаажуулалтын хариу мессеж ирсний дараа AUSF дээр *xres* -ийн хаш утгыг бодож “hash of the expected response token (HXRES)” үүсгэнэ. *KAUSF* -ийг хадгалж үлдээгээд SEAF-д хариуг илгээнэ.
6. AUSF -аас SEAF -рүү хариу илгээнэ. Энэ нь *HXRES* -ийг баталгаажуулалтын тухай мэдэгдлийн хамт агуулсан байна.
7. SEAF нь хэрэглэгчийн төхөөрөмжрүү зөвхөн баталгаажуулалт хийх хүсэлт илгээнэ.
8. Баталгаажуулах хүсэлт ирэхэд хэрэглэгч шалгаад хариу болгож *RES token* агуулсан мессеж илгээнэ.
9. SEAF нь *RES token* -ийг шалгаад AUSF -руу дамжуулна.
10. AUSF дээр *RES token* -ийг шалгаад *KAUSF* -ийг *KSEAF* болгоно.
11. AUSF нь SEAF -рүү *KSEAF* -ийг илгээж баталгаажуулалт амжилттай болсныг мэдэгдэнэ.
12. Төгсгөлд нь AUSF мөн UDM -рүү баталгаажуулалт амжилттай болсныг мэдэгдэнэ.

Сүлжээний хуваалт хоорондын хэндоврт тулгах асуудал

Хуваалт хооронд хэрэглэгч шилжихэд шийдэх гол асуудал бол хэрэглэгчийг баталгаажуулах юм. Ингэхдээ хөнгөн, хурдан ажиллах хэрэглэгч баталгаажуулах механизм ашиглахгүй бол хоцрогдол/латенс нэмэгдэх эрсдэл учирна.

Хэрэглэгчийн баталгаажуулалт хийх алхмууд

Хэрэглэгчийн баталгаажуулалтад дараах дөрвөн нэгж оролцоно:

- 1) идэвхтэй хэрэглэгч

2) сүлжээний хуваалт үүсгэсэн баз станц

3) оператор

4) гадаад сүлжээ

Хэрэглэгч үндсэн сүлжээнээс хуваалтруу шилжих буюу хэндовр хийхдээ доорх алхмуудыг хийж гүйцэтгэнэ. Үүнд:

1) Хэрэглэгч үндсэн сүлжээнд нэвтрэхэд SIM-д агуулагдах түлхүүр ашиглан 5G -ийн үндсэн функцүүдээр баталгаажуулалт хийнэ.

2) Үндсэн функцүүдээс хуулбарууд руу хэрэглэгчийн мэдээллийг өгч хадгалуулна. Үүнд: хэрэглэгчийн баталгаажуулалт, өгөгдөл замын нууцлал, хэндоврын удирдлага багтана.

3) Хэрэглэгч боломжит хуваалтуудаас сонгоно. Үүнд тусгайлсан тохиргоо хийхгүй. Учир нь хэрэглэгч урьдчилан тохируулсан хуваалтруу шилжинэ.

4) Сонгосон хуваалтруу шилжих хүсэлтийг баз станцад илгээнэ.

5) Баз станц хэрэглэгчийн хүсэлтийг шалгаад баталгаажуулалт хийнэ.

6) Гадаад сүлжээний гарц руу хэрэглэгч хэндовр хийж байгаа тухай мэдээллийг баталгаажуулалтын хамт илгээнэ.

7) Гарцын төхөөрөмж хэрэглэгчийг өөрийн дотоод серверийн тусламжтай баталгаажуулж хариуг баз станцруу илгээнэ.

8) Хэрэв баталгаажуулалт амжилттай болвол хэрэглэгч рүү хэндоврыг эхлүүлэх команд өгнө.

9) Хэрэглэгч хэндоврыг гүйцэтгэж өгөгдлийн замыг шинэчилснээр хуваалт руу шилжиж дуусна.

Баз станц дахь нэмэлт функц

Бид баз станц дээр NRF, AMF, AUSF функцүүдээс гадна Гадаад Сүлжээний Баталгаажуулалт (EAUSF) -ийг байгуулсан. Энэ функц нь дараах алхмуудыг хийж гүйцэтгэнэ. Үүнд:

1) Мобайл операторын үндсэн функцүүдээс хуваалт руу шилжих хэрэглэгчийн мэдээллийг хүлээн авна. Үүнд хэрэглэгчтэй мэдээлэл солилцоход ашиглах тэгш хэмт түлхүүр багтана.

2) Гадаад сүлжээний гарц руу хэрэглэгчийн баталгаажуулахтай холбоотой тохиргоо хийнэ. Үүнд нийтийн болон нэг удаагийн түлхүүр багтана.

3) Хэрэглэгчээс нэвтрэх хүсэлт ирэхэд тэгш хэмт түлхүүр ашиглан нийтийн түлхүүр, нэг удаагийн түлхүүрийг хариу илгээнэ.

4) Хэрэглэгчээс нийтийн түлхүүрээр нууцалсан сейшн ID-ийг хүлээн авч гадаад сүлжээний гарц руу илгээнэ.

5) Гадаад сүлжээнд хэрэглэгчийн сейшн ID-г нэг удаагийн түлхүүрийн тусламжтай бататгаад хариу илгээнэ. Ингэхдээ хувийн түлхүүрээр нууцлал тайлна. Энэ хариунд мөн үйлчилгээнүүдтэй холбогдох тохиргоонуудыг багтаана.

6) Баз станц ирсэн тохиргооны дагуу хэрэглэгчийн хэндоврыг удирдан дуусгана.

7) Хэрэглэгч баз станц, баз станцаас гадаад сүлжээрүү гэсэн өгөгдлийн замыг эцэслэж үндсэн сүлжээнээс сална.

Хэрэглэгч одоо байгаа хуваалтад байхгүй үйлчилгээг авах хэрэгцээ үүсвэл шилжих шаардлагатай болно. Ингэхдээ эхлээд өөрийн холбогдсон байгаа баз станцруу хүсэлт илгээнэ. Ингэснээр хуваалт хоорондын хэндовр хийх юм.

Хуваалт хоорондын хэндовр

Өмнөх дэд бүлгүүдэд дурьдсаны дагуу хэрэглэгч үндсэн сүлжээнээс хуваалтруу хэндовр хийнэ. Энэ бүлэгт бид хуваалт хооронд хэндовр хийх алхмуудыг тодорхойлно. Хэрэглэгч нэг хуваалтаас боломжит өөр хуваалт руу хэндовр хийх дараах хувилбарууд байж болно. Үүнд:

а) Одоогийн болон сонгосон хуваалт нэг гадаад сүлжээ рүү чиглэсэн

Хэрэглэгч хэндовр хийх хүсэлтийг орох хуваалтын мэдээллийн хамт баз станц руу илгээнэ. Энэ нь 3.1 дахь хэндоврын дөрөв дэх алхамтай адил юм.

5) Баз станц хэрэглэгчийн хүсэлтийг хүлээн аваад өмнө хийсэн баталгаажуулалт байгаа эсэхийг шалгана. Баталгаажуулалт байгаа учир дахин батлах шаардлагагүй.

6) Гадаад сүлжээний гарц руу хэрэглэгч хуваалт солисон тухай мэдээллийг илгээнэ.

7) Хэрэглэгчийн холболтын шаардлагатай тохиргоог өөрчилнө. Жишээ нь хуваалтын гарц, ID зэрэг болно.

б) Одоогийн болон сонгосон хуваалт өөр өөр гадаад сүлжээрүү чиглэсэн

Хэрэглэгч хэндовр хийх хүсэлтийг орох хуваалтын мэдээллийн хамт баз станцруу илгээнэ (3.1-ийн дөрөв дэх алхам). Мөн

5) Баз станц гадаад сүлжээний гарц руу хэрэглэгч нэвтэрч орох хүсэлт илгээнэ.

6) Гадаад сүлжээний гарц баталгаажуулалт хийсний дараа хариу ирүүлнэ.

7) Хэрэв зөвшөөрсөн хариу ирсэн бол хэрэглэгчийн холболтын шаардлагатай тохиргоог өөрчилнө. Жишээ нь хуваалтын гарц, ID, гарц зэрэг болно.

в) Хуваалт нь өөр өөр баз станцад байрласан

Хэрэглэгч хэндовр хийх хүсэлтийг орох хуваалтын мэдээллийн хамт баз станц руу илгээнэ. Баз станц шилжин орох хуваалтын байрлаж буй баз станц руу хүсэлтийг

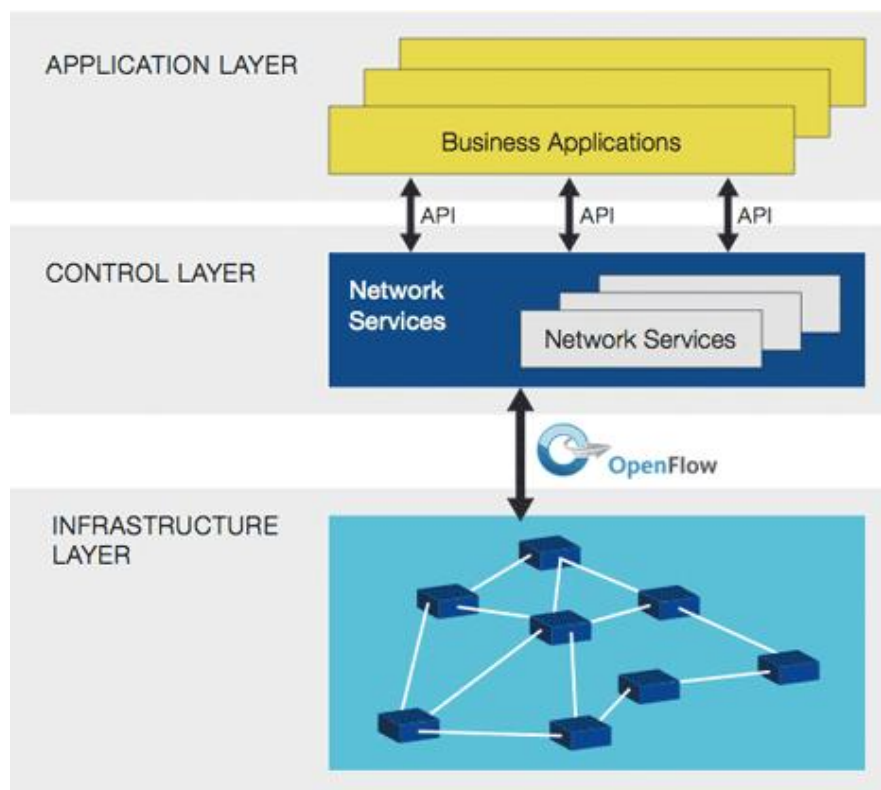
илгээнэ. Энэ үйлдэл нь 3.1-ийн дөрөв дэх алхмын оронд хийгдэх бөгөөд бусад 5-9 -р алхмуудыг адилхан хийж гүйцэтгэнэ.

d) Хуваалт нь өөр өөр мобайл операторт байрласан

Энэ тохиолдолд хэрэглэгч баз станцдаа сонгосон хуваалтын мэдээллийг хүсэлтийн хамт илгээнэ. Үүний дараа 3.1-ийн бүх алхмыг эхнээс нь хийнэ.

10. 5G болон SDN

Сүлжээний архитектурыг виртуалчлалд чиглэсэн хөгжлийн үе шатаар тодорхойлбол 3 үе шатад хуваан авч үзвэл: Уламжлалт сүлжээ: Уламжлалт сүлжээнд ихэвчлэн сүлжээний свич төхөөрөмжийг VLAN (Virtual Local Area Network) үүсгэх замаар виртуалчилдаг байсан. Виртуал сүлжээ: Уламжлалт сүлжээний хөгжлийн дараагийн үед галт хана, чиглүүлэгч, L2/L3 свич, ачаалал тэнцвэржүүлэг, IPS/IDS төхөөрөмжүүдийг тухайн физик төхөөрөмж дээрх тусгай протоколуудыг ашиглан виртуалаар олшруулж эхэлсэн. Энэ нь зардлын хувьд үр ашигтай шийдэл юм. Программд суурилсан сүлжээ: Энэ загвар нь сүлжээний урсгалыг удирдахад зориулалтын техник хангамжийн төхөөрөмж (жишээ нь: чиглүүлэгч, свич) ашигладаг уламжлалт сүлжээнүүдээс ялгаатай. SDN нь программ хангамжаар дамжуулан виртуал сүлжээ үүсгэж, уламжлалт техник хангамжийг удирдах боломжийг олгодог.



Зураг 1. Програмаар тодорхойлогддог сүлжээний архитектур [Open Networking Foundation¹¹]

Уламжлалт сүлжээний төхөөрөмж нь өгөгдөл зөөх болон хяналтын талбаруудын нэгдсэн зохион байгуулалтын тусламжтайгаар чиглэлийг тодорхойлох, дамжуулах үүрэг гүйцэтгэдэг. SDN-ийн үндсэн ойлголтын хувьд тухайн төхөөрөмж дээрх хяналтын болон өгөгдлийн талбаруудыг тусгаарлаж зохион байгуулсан архитектурын цогц шинэчлэл юм.

11. Хувийн 5G сүлжээ ба давуу тал

Нэгдсэн дэд бүтцээс хол эсвэл газарзүйн байрлал, үйл ажиллагааны онцлогоос хамаарч сүлжээний хатуу дэд бүтэц байгуулах боломжгүй байгуулгууд утасгүй сүлжээ ашиглах нь улам нэмэгдэж байна. Манай оронд уул уурхай, үйлдвэр зэргийн газарзүйн байрлалд зөвхөн тухайн компанид зориулан хамрах хүрээ өргөн, хангалттай хурдтай, гүйцэтгэл өндөр утасгүй сүлжээг байгуулан ажлуулах эрэлт хэрэгцээ байна. Энэхүү эрэлт хэрэгцээг хангах технологиудын нэг нь хувийн 5G сүлжээ юм. Өөрөөр хэлбэл тусгай зөвшөөрөл бүхий оператор компаний хатуу дэд бүтцийг хязгаарлагдмал газарзүйн хүрээнд гуравдахь компани түрээслэн ашиглан боломжтой юм. Ингэж ашиглахад хувийн 5G сүлжээний хэрэглээтэй холбоотойгоор зохицуулалтын асуудал хурцаар тавигдана. Иймд зохицуулалтын түвшинд сүлжээний төлөвлөлт, ашиглалт, гүйцэтгэлийн талаарх ойлголтыг хувийн 5G сүлжээний хувьд жигдлэх, тодорхойлох нь чухал юм. Мөн энэ талаарх олон улсын стандартууд, тодорхойлолтууд болон технологийн шийдлүүд байгаа ч улс орны хувьд зохицуулалт хийх шаардлагатай юм.

Хувийн 5G сүлжээг зохион байгуулах, ашиглах боломжийн талаарх судалгааны үр дүн нь цаашид оператор болон гуравдагч компаний хоорондын харилцааг зохицуулахад шаардлагатай дүрэм журам, эрх зүйн орчинг бүрдүүлэхэд суурь болж өгнө. Иймээс энэхүү технологийн талаар болон түүнтэй уялдаатай суурь судалгаа хийх, болон ашиглах боломжийг тодорхойлох нь чухал ач холбогдолтой.

Хувийн 5G сүлжээ нь байгуулгын тусгай шаардлагад нийцүүлэн тусгайлсан (dedicated) үүрэн холболтыг санал болгодог технологи юм. Жишээ нь үйлдвэрийн автоматжуулалт, агуулахын автоматжуулалт, эрүүл мэндийн үйлчилгээ, кампусын холбоо, уул уурхай, ачаа тээвэр зэрэг юм. Зөвхөн 5G гэлтгүй LTE сүлжээг ашиглан хувийн сүлжээ үүсгэж болох бөгөөд энэ зах зээл 2025 оны байдлаар 16 тэрбум долларын боломжтой болоод байна¹².

3rd Generation Partnership Project (3GPP) байгуулга нь хувийн буюу нийтийн бус сүлжээний техникийн тодорхойлолт болон протоколыг стандардчилсан. 2020 онд 3GPP Release 16¹³ -ийг танилцуулахад хувийн 5G сүлжээг хөгжүүлэх болон ашиглахад зориулсан шинэчлэлт, өөрчлөлтүүдийн багтаасан. Ингэхдээ 3GPP TS 22.261¹⁴ стандартаар хувийн сүлжээг тодорхойлох нарийвчилсан шалгууруудыг тогтоосон.

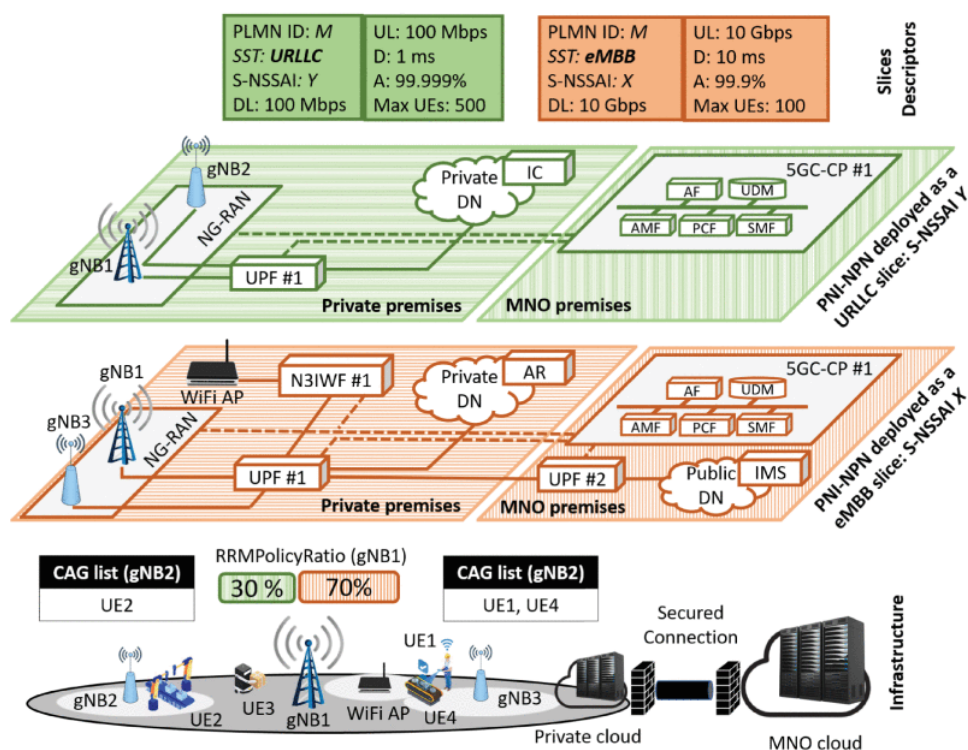
Хувийн сүлжээ нь нийтийн сүлжээ (shared network) -оос олон давуу талтай юм. Өөрөөр хэлбэл хувийн сүлжээ эзэмшигч нь барилга байгууламжийг хамарсан эсвэл кампус даяр тасалдалтгүй хамрах хүрээг ашиглах, лицензэд болон лицензгүй спектрийн зурваст үйл ажиллагаа явуулах, сүлжээний хандалт болон функц (DNS,

DHCP, NAT, routing, monitoring, AAA) -үүдийг нарийн удирдах зэрэг давуу талуудтай байна. Мөн хувийн 5G нь нийтийн сүлжээний шэйрэд хандалтаас үүсэх түгжрэлээс ангид байх буюу хамаарал багатайгаар цаг хугацаанд мэдрэмтгий, чухал ач холбогдолтой програмуудыг хоцролт бага, өндөр хурдаар хангах чадвартай юм. Аюулгүй байдал талаасаа хувийн 5G сүлжээнүүд төгсгөлийн төхөөрөмж хооронд түнэл үүсгэх, түүндээ шифрлэлт ашиглах байдлаар хамгаалдаг нэмэлт функцтэй юм¹⁵.

Сүлжээний архитектур

Одоо ашиглагдаж буй ихэнх холболтын болон төгсгөлийн төхөөрөмжүүд нийтийн 5G сүлжээнд операторын үүрэн холбооны дэд бүтэцрүү public land mobile network (PLMN) ID-г ашиглан нэвтрэнэ. Мобайл сүлжээний оператор (MNO) -үүд PLMN ID -ийг ашиглахдаа баталгаажуулах болон хялбар холболтыг хэрэглэнэ.

Харин хувийн 5G нь standalone non-public network (SNPN) ID -ийг ашиглаж шууд, аюулгүй холболтыг бий болгосноор MNO эсвэл зуучлагч байгууллыг тойрч, хоцролтыг багасгаж, төхөөрөмж болон програмын удирдлагыг оновчтой болгож, болзошгүй эмзэг байдлыг бууруулдаг.



Зураг 1. Хувийн 5G сүлжээний PNI-NPN архитектур. (Зургийг “5G Non-Public Networks: Standardization, Architectures and Challenges” өгүүллэгээс авав¹⁶).

Хувийн болон нийтийн 5G сүлжээнүүдийг хооронд нь холбох нэг чухал хэсэг бол public network integrated non-public networks (PNI-NPNs) сүлжээ юм. Нөгөө талаас MNO -ийн гарцаар дамжин тусгайлсан дата сүлжээнд холбогдох боломжийг PNI-NPN олгоно. Ингэхдээ user plane function (UPF) болон түүгээр дамжих internet protocol (IP) data networks, session management function (SMF) гэсэн функцүүдийг салгах бөгөөд

хувийн дата сүлжээнд зориулан UPF -ийг тохируулах, хянах боломжтой болно. Энд анхаарах нэг зүйл нь хувийн 5G сүлжээ нь гадаад дата сүлжээтэй тусгайлан холбогдож хувийн сүлжээний урсгал үүсгэж байгаа боловч үндсэн MNO -ийн сүлжээний цөм буюу нийтийн сүлжээгээр дамжин өнгөрч байгаа, түүний тохиргоо болон ачаалал зэргээс хамаарч магадгүй юм. Мөн зөвшөөлийн асуудлыг шийдхийн тулд 3GPP нь Release 16 дээр хаалттай хандалтын бүлгүүдийг (CAGs) гэсэн ойлголтыг нэвтрүүлсэн бөгөөд зөвхөн нэвтрэх эрх бүхий төхөөрөмжүүд эдгээр сүлжээнд холбогдох боломжтой болгосон.

Хувийн 5G сүлжээг байгуулахдаа MNO нь сүлжээний хуваалтыг ашиглах боломжтой юм. Жишээ нь MNO нь 3GPP сүлжээнд хуваалтыг үүсгэх, ашиглахдаа хуваалт бүр нь баз станц (gNodeB) -ийн central unit user plane (gNB-CU-UP), UPF, SMF, болон IP дата сүлжээ зэрэг бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг ашиглах тохиргоонуудыг агуулдаг бөгөөд тэдгээрийг зөвхөн хувийн сүлжээнийх гэж тодотгож өгнө. Ингэснээр баз станцаас хувийн дата сүлжээ хүртэл үүсгэсэн хуваалтаар IP чиглүүлэлт, сүлжээний урсгалын аюулгүй байдал зэргийг үндсэн сүлжээнээс тусгаарлагдан ажиллана. Энэхүү хуваалт үүсгэснээр физик дэд бүтэц дээгүүр олон тооны хуурмаг сүлжээг QoS, хэрэглэгчийн шаардлага, сүлжээний хурд, онцлог зэрэгт зориулан үүсгэж ашиглах боломжтой болгоно¹⁷.

Хувийн 5G сүлжээний загвар

Хувийн сүлжээг байгуулах олон боломжит хувилбар, тэдгээрт хамааралтай системийн шийдлүүд байна. Харин 5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G-ACIA) байгуулгаас дараах 4 төрлийн хувийн 5G сүлжээг хөгжүүлэх загвар байна гэж танилцуулсан¹⁸:

SNPN: энэхүү бие даасан (standalone) загвар нь нийтийн сүлжээнээс бүрэн тусгаарлагдсан, аюулгүй байдлыг дээд түвшинд хангах хувийн 5G сүлжээг бүрэн хянах боломжтой юм.

PNI-NPN with shared RAN: энэ загвар нь MNO -ийн радио хандалтын сүлжээ (RAN) -г хуваан хэрэглэх боловч бусад чухал функцүүдийг нийтийн сүлжээнээс тусдаа байгуулж, on-site байдлаар ажиллах юм.

Shared RAN and control plane: энэ загварыг ашиглах үед RAN болон сүлжээний удирдлагын функцүүдийг нийтийн сүлжээнээс авч ашиглах (хуваалцах) боловч дата дамжуулалтыг нийтийн бус сүлжээгээр гүйцэтгэнэ. Аюулгүй байдлыг access point names (APN) эсвэл сүлжээний хуваалт ашиглаж шийднэ.

NPN hosted by public network: нийтийн сүлжээний дэд бүтцийг бүхлээр нь ашиглах бөгөөд APN болон хуваалт ашиглаж тохиргоо хийгдэнэ.

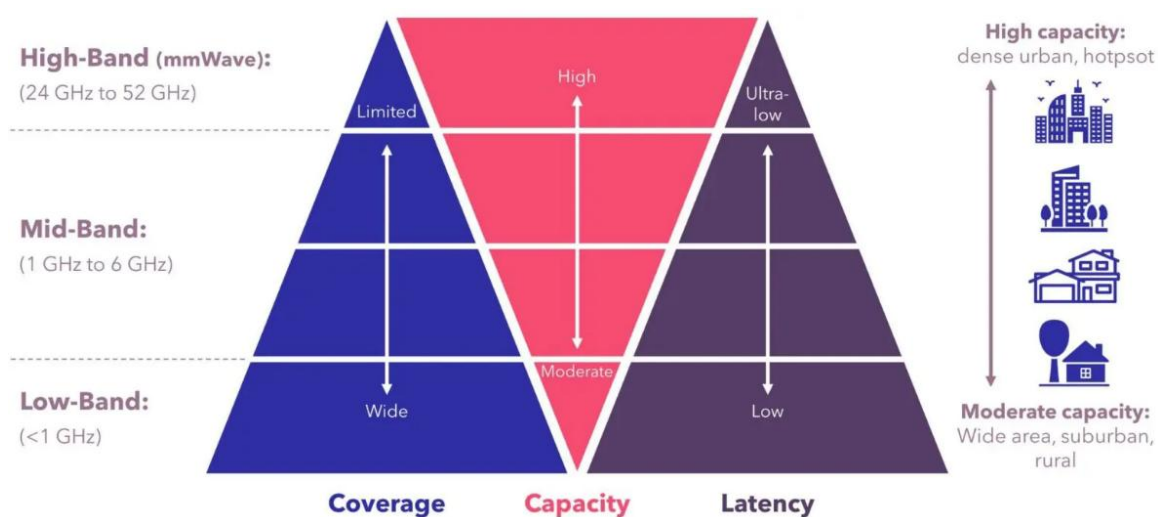
Хэрэглэх нөхцөл

Хувийн 5G сүлжээ нь найдвартай хамрах хүрээ, өндөр хурд, хоцрогдол бага гэсэн гүйцэтгэлийн өндөр үзүүлэлтийг санал болгох учир хэрэглээний хувьд олон төрлийн салбарт хамаарна. Мөн 5G сүлжээний үндсэн давуу тал болох шилэн кабелийн дэд бүтэц хүрэх боломжгүй газарт интернэтийн үйлчилгээг хүргэх боломжийг олгоно. Аж үйлдвэрийн салбарт онц чухал буюу тасалдалтгүй найдвартай холболт, хоцрогдолгүй дамжуулалт шаардлагатай бөгөөд робот буюу автомат угсах шугам бүхий үйлдвэр, автомат удирдлагатай тээврийн хэрэгсэл, нэвтрүүлэх байгууламжууд зэрэг олон төрлийн хэрэглээ байна. Харин хугацааны хувьд мэдрэмтгий буюу сүлжээний захын төхөөрөмжүүд, тэдгээрийн хяналт болон мөрдөх системүүдэд холболтын үүрэг гүйцэтгэнэ.

Эмнэлэг болон төсөөтэй тусгай зориулалтаар зайнаас өвчтөний мэдээлэлтэй ажиллах, мэс засал хийх зэргээр ажиллахдаа нийтийн сүлжээнээс бүрэн тусгаарлах байдлаар хувийн 5G сүлжээг ашиглах нь сүлжээний хурднаас end-to-end нууцлал хийх боломжтой болгоно. Цаашлаад камер, мэдрэгчийн удирдлага, AR болон VR, бодит цагийн хяналт, уул уурхайн автоматжуулалт, AI -ийг сүлжээний захад ашиглах боломж зэргээр хэрэглээний өргөн боломжтой юм.

Хувийн 5G сүлжээний хурд ба муж

Хувийн 5G сүлжээний муж (range) нь хэрэглээ түүний шаардлага, ашиглах давтамжийн зурвасаас хамааран өөр өөр байна. Жишээ нь 1 GHz-ээс доош давтамжтай, sub-300 Mbps -ээс бага хурдтай *Low-band* 5G сүлжээг маш өргөн хүрээг хамардаг хөдөө аж ахуйг автоматжуулах болон хянах, хөдөө орон нутгийн интернетийн хэрэглээг хангах зэргээр ашиглана. Зураг 2-т хэрэглээний нөхцлүүдийг харуулав.



Зураг 2. 5G-ийн low-band, mid-band, and high-band (mmWave) -ийн харицуулалт (Зургийг [dgtlinfra.com](https://www.dgtlinfra.com) -оос¹⁹).

Mid-band -д ажиллах хувийн 5G сүлжээ нь sub-6 GHz -ийн мужид ажиллах бөгөөд хамрах хүрээ болон хурдны хувьд хэрэглээ өргөнтэй юм. Жишээ нь хурдны хувьд Gbps -ээр хэмжигдэх бөгөөд суурийн газрын интернэт болон ухаалаг хот зэрэгт өргөн ашиглана.

High-band 5G буюу mmWave нь өндөр хурдыг хангах боловч хамрах хүрээний хувьд бага юм. Хэрэглээний жишээ нь VR, AR болон үйлдвэрийн автоматжуулалт зэргээр ойр зайд өндөр хурд шаардлагатай холболтуудад ашиглагдана.

12. Хувийн 5G сүлжээний олон улсын стандарт болон холбогдох технологийн баримт бичгүүд

Өнөөдөр хөгжүүлж байгаа болон хэрэглээнд нэвтрүүлсэн олон улсын стандартууд, тэдгээртэй холбогдох whitepaper -үүдийг дараах байгууллагууд гаргаж байна. Үүнд:

- ❖ ITU (International Telecommunication Union)
 - ITU нь 5G-ийн олон улсын стандарт тодорхойлолт болох IMT-2020 бичиг баримтыг боловсруулсан. Жишээлбэл IMT-2020-д 3GPP-ийн 5G SA, 5G NSA зэргийг тодорхойлсон байдаг. 5G нь өндөр хурд, бага хоцрогдол, хэт олон төхөөрөмжийг зэрэг холбох чадвартай бөгөөд аж үйлдвэрийн 4.0 хувилбар, IoT, ухаалаг хот зэргээр өргөн хэрэглээтэй.
- ❖ 3GPP (3rd Generation Partnership Project)
 - 5G-ийн технологи болон стандартын хөгжүүлэлтийг голлон гүйцэтгэж Release 15 эхлүүлэн 18 хүртэлх стандартуудыг шат дараатай гаргасан. Жишээ нь Release 16 нь бага хоцрогдол, хугацааны мэдрэмтгий сүлжээг нэгтэх талаар, Release 17 нь байршил, хоцрогдлыг оновчлох талаар, Release 18 нь AI/ML -ийн 5G -д ашиглах нэгтгэх болон 5G Advanced -ийн талаар тусгасан.
- ❖ GSMA Private 5G Industrial Networks
 - GSMA нь Private 5G Industrial Networks -ийн талаар тодорхойлсон. Ингэхдээ өөрийн whitepaper-д SNPN (Stand-alone Non-Public Network), PNI-NPN (Public Network Integrated Non-Public Network) зэрэг хувилбарт загваруудыг танилцуулсан. Цаашлаад үйлдвэрлэл, ложистик, автоматжуулалт, XR зэрэг салбаруудад зориулсан хэрэглээний боломжуудын талаар багтаасан.
- ❖ IEEE 5G and Beyond Technology Roadmap
 - энэхүү whitepaper-т 5G болон 6G технологийн чиг хандлага, архитектур, KPI, технологийн шийдлүүдийг багтаасан.
- ❖ Cisco & IDC – Private 5G Empowering Digitalization
 - Хувийн 5G нь дижитал шилжилтийг дэмжих чухал хэрэгсэл болох тухай тодорхойлсон. Мөн үйлдвэрлэл, эрчим хүч, төрийн байгууллагуудын хэрэглээний боломжууд багтаасан.
- ❖ 5G-CONNI – EU & Taiwan Joint Report

- Хувийн 5G сүлжээний архитектурын хувилбаруудыг бүрэн хувийн (Fully Private), мобайл хуурмаг сүлжээ (MVNO), хосолсон (Hybrid), мобайл суурь сүлжээ бүхий (MNO Core) зэргээр тодорхойлж дүгнэлт хийсэн. Цаашлаад демо архитектур танилцуулсан онцлогтой юм.

13. Хувийн 5G сүлжээг хэрэглэх олон улсын чиг хандлага

Хувийн 5G сүлжээний чиг хандлагыг зах зээл, судалгааны чиглэл, хэрэглээний салбар гэж хуваан авч үзэв. Энэхүү технологийн хөгжил нь маш хурдацтай өсч байгаа бөгөөд цаашид улам нэмэгдэнэ гэж үзэж байна. Судалгааны хөгжүүлэлтийн байгууллагуудын хувьд голлох R&D -ууд нь Ericsson, Nokia, Samsung, Huawei, ZTE, NTT зэрэг компаниуд бөгөөд энэхүү технологийн талаар судалгаа, туршилт, демо системүүдийг хөгжүүлж байна.

Зах зээлийн өсөлт ба хөрөнгө оруулалт

Хувийн 5G сүлжээний зах зээл нь 2028 он гэхэд 5 тэрбум доллар хүрнэ гэж ResearchAndMarkets.com -аас танилцуулсан²⁰. Мөн жил бүр хөрөнгө оруулалт 41% CAGR -тай өснө гэж танилцуулсан. Өөр нэг судалгааны байгуулгаас 2030 он гэхэд энэхүү зах зээл 36 тэрбум долларт хүрнэ гэж таамагласан байна²¹.

Судалгааны гол чиглэлүүд

- ✓ Edge Computing + AI: хувийн 5G нь захад ажиллах хиймэл оюун болон бодит цагийн аналитикийг дэмжих чухал дэд бүтэц болж байна. Үйлдвэрлэл, ложистик, эрүүл мэндийн салбарт хиймэл оюуны тусламжтайгаар автоматжуулалт, хяналт сайжруулахад суурь технологи болно.
- ✓ Industrial IoT (IIoT): хэт олон сенсор төхөөрөмжүүдийг нэгэн зэрэг холбох үүргийг хувийн 5G сүлжээний тусламжтай хоцрогдол, зурвасын өргөн, нэвтрүүлэх чадамж, аюулгүй байдал зэргийг ханган ашиглах боломжийг судалж байна.
- ✓ Мөн AGV, AMR, AR/VR зэрэг технологиудыг дэмжих, найдвартай сүлжээгээр хангах, гүйцэтгэлийг сайжрууруулах талын судалгаа хийгдэж байна.
- ✓ Сүлжээний хуваалт, түүний хэрэглээ, QoS -ийн талын судалгаа нь хувийн сүлжээний чиг хандлагад мөн хамаарч байна. Мөн critical болон non-critical холбооны хэрэглээг тусгаарлах байдлаар голлон судалгаа хийгдэж байна.
- ✓ Хувийн сүлжээний аюулгүй байдлыг хангах, хэрэглэгчийг баталгаажуулах, хувийн сүлжээ хооронд нэгтгэх, нэгдсэн удирдлагаар хангах, оновчлох талын судалгааг хиймэл оюунтай холбон судалж байгаа чиг хандлага байна.

Хэрэглээний салбарууд

Хувийн 5G сүлжээний хэрэглээг дараах Хүснэгт 1 -д тоймлов²². Товчоор авч үзвэл хэрэглээний нийт салбар нь 2023 оны байдлаар хувийн 5G IoT -д 1.28 сая

холболт бүртгэгдсэн, CAGR нь 2030 хүртэл 65% -ийн өсөлттэй байх бөгөөд үүний 13% нь IoT байна гэж танилцуулсан байна.

Салбар	Хэрэглээ
Үйлдвэрлэл	Smart factories, automation
Эрүүл мэнд	Remote surgery, patient monitoring
Ложистик	automated guided vehicles (AGV), real-time tracking
Уул уурхай	Autonomous vehicles, safety systems
Ухаалаг хот	Surveillance, traffic control

Хүснэгт 1. Хэрэглээний салбар ба голлох технологиуд

Өнөөдөр хэрэглэгдэж буй голлох салбар бол кампус байгууламж, боомтууд, нисэх буудал зэрэг юм. Эдгээр нь газарзүйн байршил, тусгай буюу нийтийн бус объект, аюулгүй байдлын өндөр шаардлага зэргээс гадна найдвартай, алдаагүй, тасалдалтгүй сүлжээнд хөдөлгөөнт төхөөрөмжүүд, тэдгээртэй хамааралтай сенсоруудыг олон тоогоор зэрэг холбох хэрэгцээнээс үүдэн хурдацтай нэвтэрч байгаагаараа онцлогтой юм²³²⁴.

14. Хувийн 5G сүлжээг байгуулах, зохицуулалт хийх талаарх зөвлөмж

Хувийн 5G сүлжээг зохион байгуулах, ашиглах, оператор болон хэрэглэгч байгуулга хоорондын харилцааг зохицуулахад дараах зүйлсийг анхаарах шаардлагатай. Үүнд:

Хувийн сүлжээний төрлүүд: SNPN (Stand-alone Non-Public Network), PNI-NPN (Public Network Integrated Non-Public Network) гэх мэтээр сүлжээний архитектур зохион байгуулалтаас хамаарсан зохицуулалт хийх эсэх багтана. Харин хосолсон сүлжээний архитектурыг түлхүү дэмжих хэрэгтэй. Энэ нь технологийн өртөг бууруулах боломжийг бий болгоход чухал юм. Мөн Mobile Country Code (MCC) -ийг хэрхэн тодорхойлох талаар операторуудтай хэлэлцэж нэгдсэн байдлаар шийдэх хэрэгтэй. Жишээ нь MCC 999 гэсэн кодыг ITU нь хувийн сүлжээнд зориулсан гэж тодорхойлсон байдаг. Хувийн сүлжээний хэрэглэгч нарт олгох дугаарлалт нь оператораас хамаарах эсэх, бүртгэлийг хаана хийх, ашиглах хязгаарыг тодорхойлох хэрэгтэй.

Спектрийн ашиглалт: лицензтэй, лицензгүй, болон дундын (shared) спектрийн зохицуулалт орно. Мөн хувийн сүлжээг хэрэглэх байгуулга нь MNO -ийн спектрийг ашиглах эсвэл өөрийн спектрийн тусгай зөвшөөрөл авах зэрэгт өөр өөр зохицуулалт шаардлагатай. Спектрийн зохицуулалт хийхдээ уян хатан, хямд, урт хугацаатай байхаар төлөвлөх нь зохимжтой. n77 (3400–4200 MHz) болон n78 (3300–3800 MHz) зурвасуудаас хувийн 5G-д ашиглах нь илүү зохимжтой. Зөвхөн хувийн сүлжээнд зориулсан давтамж гаргах эсэхийг нарийвчлан судлах шаардлагатай. Учир нь ХБНГУ-ийн харилцаа холбооны

зохицуулагч хувийн 5G сүлжээнд зориулан спектрийн зөвшөөрлийг тусад нь олгосноор операторууд болон үйлдвэрүүдийн хооронд өрсөлдөөн ширүүсч ойлгомжгүй байдал үүссэн жишээ байдаг.

Стандартууд: 3GPP Release 16-18 -д багтсан нийтийн биш сүлжээ, сүлжээний хуваалт, хэрэглэгч баталгаажуулалт, мультимедиа IP сүлжээ зэргийг хэрхэн ашиглах талаар тодорхойлох хэрэгтэй. Мөн энэ хэсэгт стандартаас гадна операторын ашиглаж буй төхөөрөмжүүд, шийдлүүдийн онцлог болон боломжийн талаар судлах шаардлагатай. Учир нь үйлдвэрлэгч болон худалдан авсан лицензээс хамааран технологийг бүрэн хэрэгжүүлэх боломж хязгаарлагдах магадгүй.

Хувийн 6G сүлжээ

6G технологийн талаарх стандартчлал 3GPP Release 21 -д багтах бөгөөд IMT-2030 -д тодорхойлсон техникийн нөхцөлүүдийг хангах юм. Хувийн 6G сүлжээний одоогийн судалгаа нь туршилт, шинжилгээний шатанд байгаа бөгөөд хувийн 5G -ийн одоогийн шийдлийг сайжруулахаар спектрийн хуваан ашиглалт, хиймэл оюун суурьт архитектур, аюулгүй байдлын цогц шийдэл, нэгтгэл (orchestration), оновчтой тохируулах боломж гэсэн чиглэлүүдээр хийгдэж байна. Мөн дараах онцлогтой байна гэж үзэж байна. Үүнд:

- ✓ Spectrum Sharing Native: 6G нь спектрийг хуваан ашиглахад зориулсан протоколыг дэмжих.
- ✓ AI-native Network: хиймэл оюун ашиглан сүлжээ өөрийгөө оновчтой, динамикаар хуваалт хийх боломжтой байх
- ✓ Security & Privacy: аюулгүй байдлыг хангахад зориулан одоо хөгжүүлэгдэж буй технологиудыг нэвтрүүлэх. Жишээ нь distributed ledger, quantum encryption, zero-trust architecture.
- ✓ Open Architecture: хатуу дэд бүтцийг сайжруулах, уян хатан болгох чиглэлээр хөгжүүлж буй технологиудыг нэвтрүүлнэ. Жишээ нь Open RAN, vendor-neutral платформууд юм.
- ✓ Integrated Sensing & Communication (ISAC): 6G сүлжээний голлох онцлогуудын нэг болох орчны мэдрэх, объектийг хянах (tracking) зэргийг ашиглах боломжтой байх

15. Ишлэгдсэн материалууд

¹ Richardson, T., Stafford-Fraser, Q., Wood, K. R., & Hopper, A. (2002). Virtual network computing. IEEE Internet Computing, 2(1), 33-38.

² Abdelwahab, S., Hamdaoui, B., Guizani, M., & Znati, T. (2016). Network function virtualization in 5G. IEEE Communications Magazine, 54(4), 84-91.

³ Zhang, S. (2019). An overview of network slicing for 5G. IEEE Wireless Communications, 26(3), 111-117.

⁴ 3GPP Release 15 <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-15>

⁵ IMT-2020 <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>

-
- ⁶ https://learning.dell.com/content/dam/dell-emc/documents/en-us/2022KS_Garg-Roadmap_to_5G.pdf
- ⁷ Bilen, T., Canberk, B., & Chowdhury, K. R. (2017). Handover management in software-defined ultra-dense 5G networks. *IEEE Network*, 31(4), 49-55.
- ⁸ <https://datareportal.com/reports/digital-2024-mongolia>
- ⁹ Bilen, T., Canberk, B., & Chowdhury, K. R. (2017). Handover management in software-defined ultra-dense 5G networks. *IEEE Network*, 31(4), 49-55.
- ¹⁰ <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2962>
- ¹¹ <https://opennetworking.org/sdn-definition/>
- ¹² ABI research report <https://www.abiresearch.com/press/private-lte-will-be-us163-billion-opportunity-2025-and-foundation-5g-services-end-vertical-markets>
- ¹³ 3GPP Release 16 Description; Summary of Rel-16 Work Items <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-16A> visited 2025-08-29
- ¹⁴ ETSI TS 122 261 v16.14.0 (2021-04) https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/122200_122299/122261/16.14.00_60/ts_122261v161400p.pdf visited 2025-09-29
- ¹⁵ ETSI TS 129 281 v15.3.0 GTP-U (GPRS Tunneling Protocol for the User Plane) https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/129200_129299/129281/15.03.00_60/ts_129281v150300p.pdf visited 2025-08-02
- ¹⁶ J. Prados-Garzon, P. Ameigeiras, J. Ordonez-Lucena, P. Muñoz, O. Adamuz-Hinojosa and D. Camps-Mur, "5G Non-Public Networks: Standardization, Architectures and Challenges," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 153893-153908, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3127482. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9611236>
- ¹⁷ 3GPP network slice management <https://www.3gpp.org/technologies/slice-management> visited 2025-09-29
- ¹⁸ <https://5g-acia.org/>
- ¹⁹ <https://dgtlinfra.com/5g-spectrum-explained/>
- ²⁰ <https://www.businesswire.com/news/home/20250918998013/en/Private-5G-Network-Deployment-Tracker-Forecasts-2025-2030-Private-5G-Networks-Poised-to-Overtake-LTE-with-%245-Billion-Market-by-2028-as-Global-Industry-Leaders-Drive-Industry-4.0-Adoption---ResearchAndMarkets.com>
- ²¹ <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/private-5g-network-market>
- ²² State of private 5G in 2024: Key growth trends, use cases, and forecast <https://iot-analytics.com/private-5g-2024-key-growth-trends-use-cases-forecast/>
- ²³ Ericsson – Private 5G in Ports <https://www.tocevents-europe.com/content/dam/markets/mart/toc-europe/2025/speaker-presentations/tech-toc/tech-toc-day-1/optimizing-port-equipment/Pres%20-%20Adam%20Schipper%20-%20Ericsson.pdf> visited 2025-09-20
- ²⁴ Ericsson – Airports Use Cases <https://www.ericsson.com/en/blog/2024/6/key-use-cases-for-private-5g-networks-in-airports> visited 2025-08-20