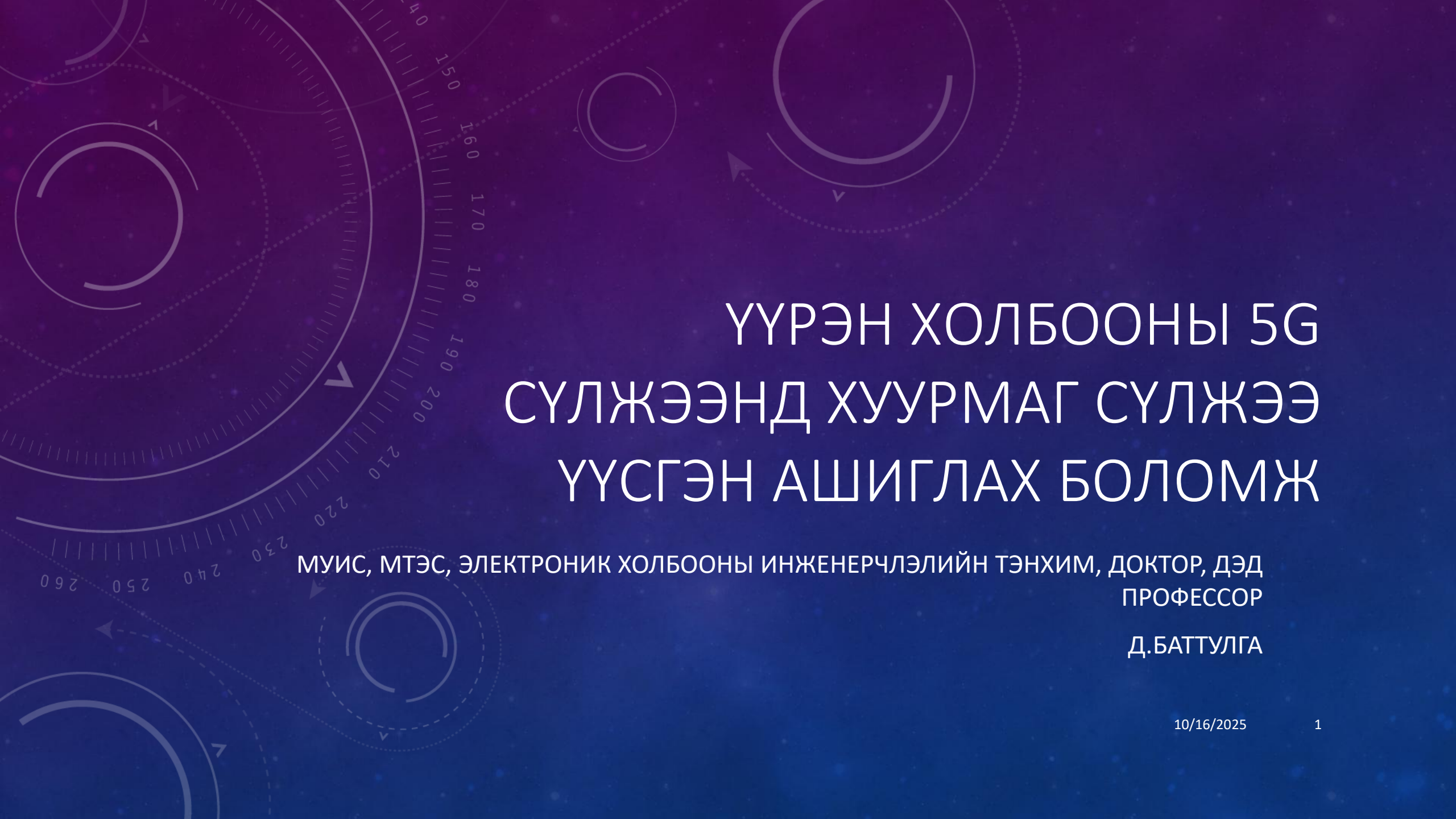




ҮҮРЭН ХОЛБООНЫ 5G СҮЛЖЭЭНД ХУУРМАГ СҮЛЖЭЭ ҮҮСГЭН АШИГЛАХ БОЛОМЖ

МУИС, МТЭС, ЭЛЕКТРОНИК ХОЛБООНЫ ИНЖЕНЕРЧЛЭЛИЙН ТЭНХИМ, ДОКТОР, ДЭД
ПРОФЕССОР

Д.БАТТУЛГА

СЭДЭВ

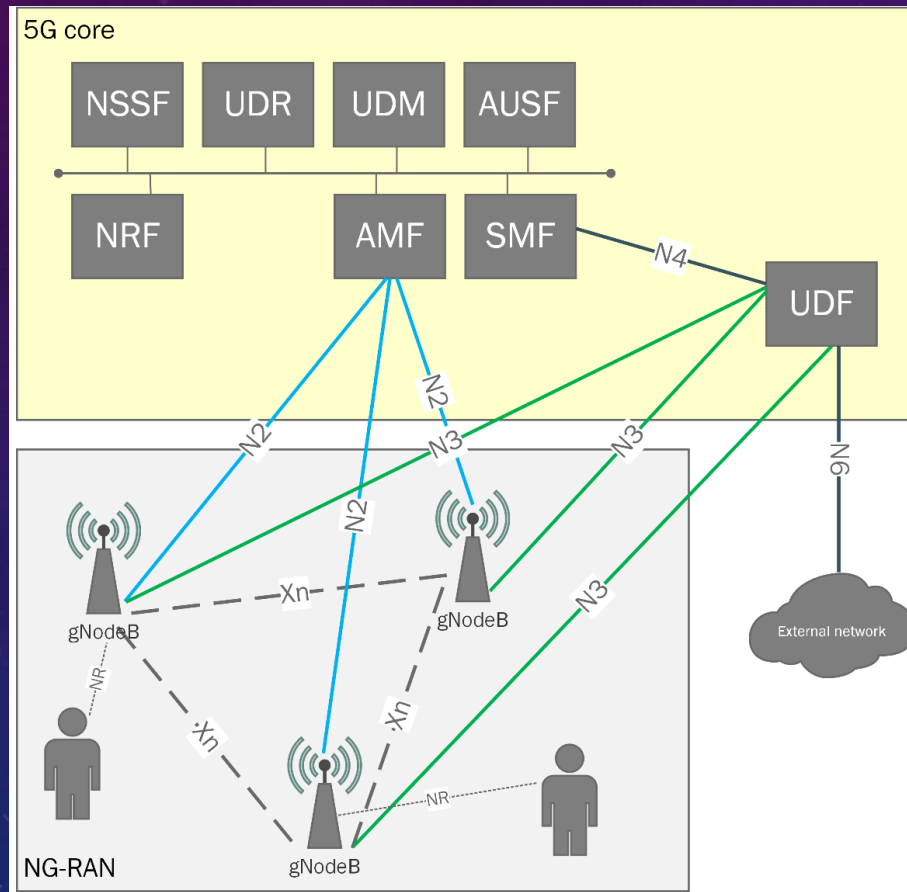
1. 5G радио хандалтын сүлжээн дэх виртуалчлал ба чиг хандлага
2. 5G сүлжээнд хуваалт хийх, SDN технологийг ашиглах талаар судалгаа
3. 5G сүлжээний хөдөлгөөнт байдлын менежмент, хэрэглэгч хуваалт хоорондын шилжихэд тулгарах асуудал ба шийдэл
4. Хувийн 5G сүлжээний олон улсын стандарт болон холбогдох технологийн баримт бичгүүд
5. Хувийн 5G сүлжээг хэрэглэх олон улсын чиг хандлага, зохицуулалт хийх талаарх зөвлөмж
6. Хувийн 6G сүлжээний онцлог

СҮЛЖЭЭНИЙ ВИРТУАЛЧЛАЛ

- Виртуалчлагдсан сүлжээний функцүүд (Virtualized network functions) нь сүлжээний функцүүдийг виртуал дэд бүтэц дээр программ хангамж байдлаар хэрэгжүүлнэ.
- 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.
- 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.

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

5G СҮЛЖЭЭ БА РАДИО ХАНДАЛТЫН СҮЛЖЭЭНИЙ БҮТЭЦ



- Уламжлалт радио хандалтын сүлжээ (RAN)
- Үүлэн радио хандалтын сүлжээ (Cloud-RAN)
- Нээлттэй радио хандалтын сүлжээ (O-RAN)
- 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

10/16/2025

5

5G СҮЛЖЭЭНИЙ ХӨДӨЛГӨӨНТ БАЙДЛЫН УДИРДЛАГА

1. Радио дохионы чадал буурах буюу бааз станцын захад ирэхэд хэрэглэгчийн холбогдсон байгаа бааз станц болох үйлчлэгч бааз станцаас хэмжилт хийх команд өгнө.
 2. Ирсэн командын дагуу хэрэглэгчийн төхөөрөмж радио хэмжилт хийж, радио дохиог нь хүлээн авч байгаа бүх бааз станцын мэдээллийг хариу болгон илгээнэ.
 3. Үйлчлэгч бааз станц хэмжилтийн үр дүнд үндэслэн дараагийн холбогдох бааз станцыг сонгох буюу шилжин орох боломжтой бааз станцыг тодорхойлно.
 4. Дараагийн холбогдох бааз станцтай хэрэглэгчийн шилжин ороход шаардлагатай радио нөөцийг хуваарилах үйлдлийг гүйцэтгэнэ.
 5. Гүйцэтгэх шатыг эхлүүлэх триггерийг тохируулах болон ажиллуулна.
- RLF гэдэг нь хэрэглэгч үйлчлэгч бааз станцаас дараагийн бааз станцад шилжих хэндоврийг эхлүүлсэн эсэхээс үл хамааран хэндоврийн гүйцэтгэх шатыг бүрэн биелүүлж дуусгаагүй.
 - 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.
 - 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.
 - Handover failures гэдэг нь радио хандалтын сүлжээний дээрх алдаануудаас тусдаа бэлтгэх, гүйцэтгэх шатнуудад бааз станц, цөм сүлжээдэх функцүүдийн алдаанаас үүдэн хэндовр амжилтгүй болсонг илэрхийлнэ.

5G БОЛОН ДАРААХ ҮЕИЙН СҮЛЖЭЭ ДЭХ ВИРТУАЛЧЛАЛ

- 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)**

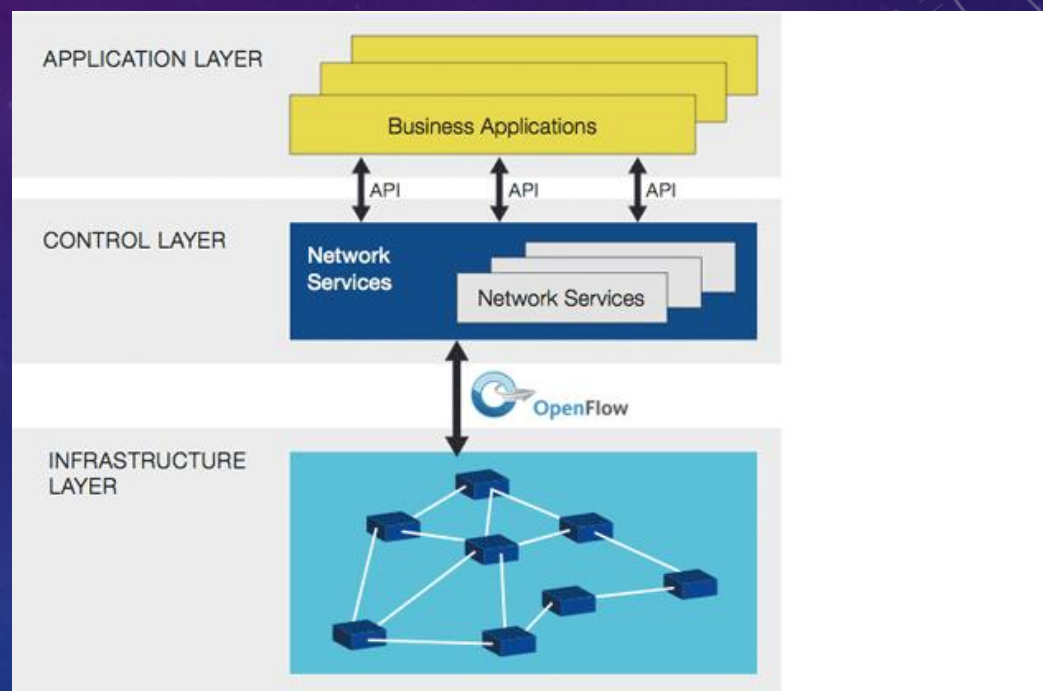
Стандартын байгуулга	Стандартын дугаар	Хүрээ
ITU-R	• M.2083-0	• IMT-2020 -ийн бүх зорилтууд болон фремворкийг тодорхойлсон • NFV болон SDN -д суурилсан тохиргоо хийх боломж өндөр, уян хатан сүлжээний зангилаа төхөөрөмжүүд
3GPP	• TR 22.891 • TR 23.799 • TR 23.707 • TR 23.711	• Үйлчилгээг босоо чиглэлтэйгээр 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

5G РАДИО ХАНДАЛТЫН СҮЛЖЭЭНИЙ ВИРТУАЛЧЛАЛЫН ЦААШДЫН ЧИГ ХАНДЛАГА

- 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.
- Edge Computing-тэй уялдах
 - Виртуалчлал ашигласан радио хандалтын сүлжээ нь захын тооцоололтой илүү уялдаатай ажиллахад тохиромжтой.
- 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.
- 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.
- 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.

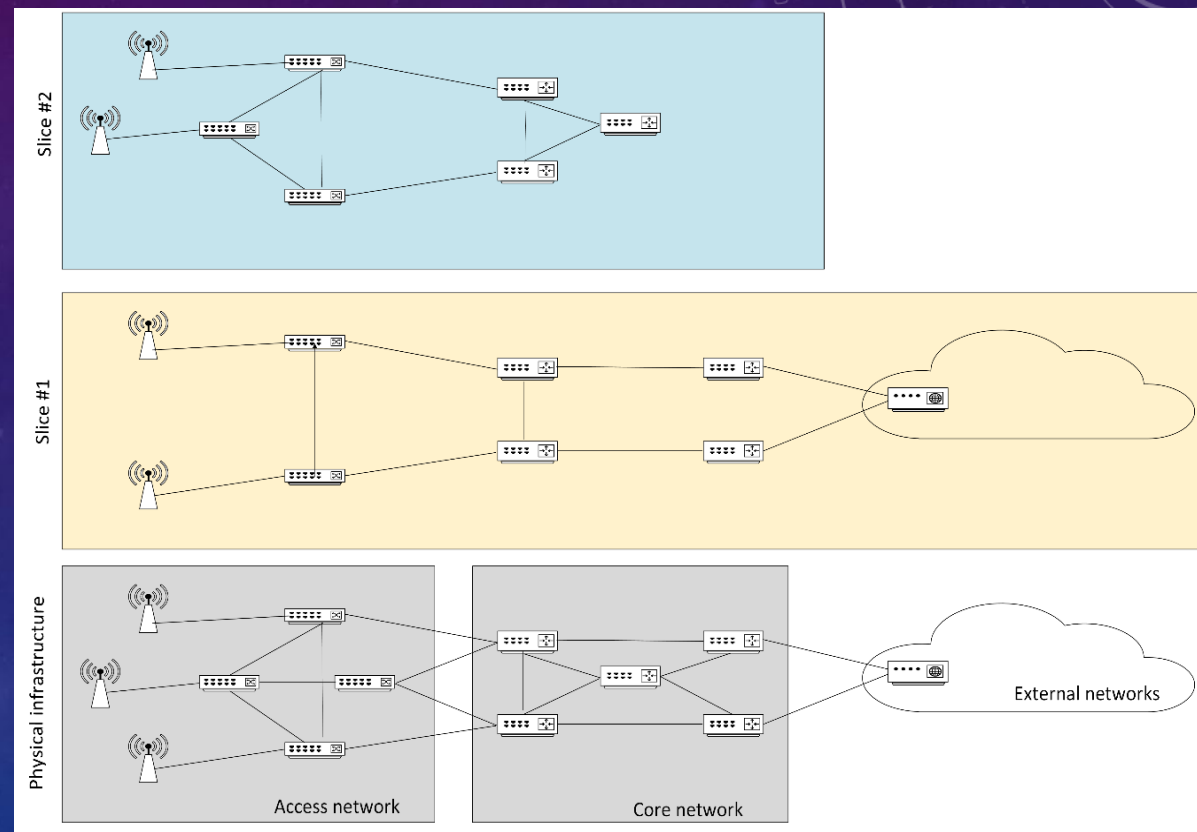
5G БОЛОН SDN

- 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



5G СҮЛЖЭЭНИЙ ХУВААЛТ

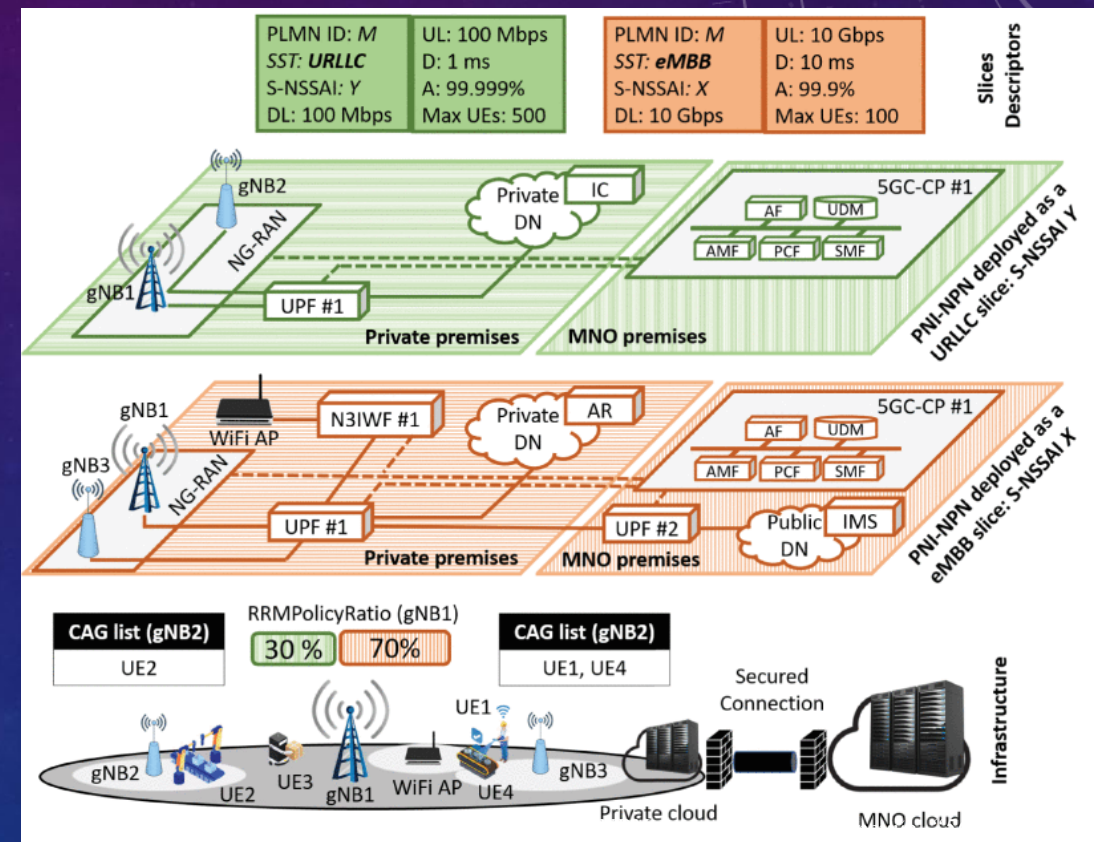
- “physical infrastructure” буюу хатуу дэд бүтэц нь баз станцууд болон свичүүдээс бүрдэх хандалтын сүлжээ, чиглүүлэгчид болон сүлжээний функцүүдийг агуулсан сүлжээний цөм, гадаад сүлжээ гэсэн 3 хэсгээс бүрдэж байна.
- Slice #1 буюу хуваалт №1 нь хандалтын сүлжээ болон цөмд байрлах төхөөрөмжүүдийн зармыг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



Зураг 2. 5G сүлжээний хуваалт

ХУВИЙН 5G СҮЛЖЭЭ БА ДАВУУ ТАЛ

- Өндөр хурд ба бага хоцролт
 - 5G-ийн гол давуу тал болох Gbps түвшний хурд, 1ms орчим бага хоцролтыг хувийн орчинд ашигласнаар үйлдвэрлэл, автоматжуулалт, робот, AR/VR-д тохиромжтой.
- Аюулгүй байдал ба хяналт
 - Сүлжээг байгууллага өөрөө удирдаж, гаднын хэрэглэгчдэд нээлтгүй тул мэдээллийн хамгаалалт илүү найдвартай. Дотоод дата гадна руу гардаггүй.
- Найдвартай, тогтвортой холболт
 - Нийтийн 5G шиг олон хэрэглэгчийн ачаалалд өртөхгүй, зөвхөн тухайн байгууллагын төхөөрөмжүүдэд зориулагддаг тул сүлжээний найдвартай байдал өндөр.
- Тусгайлан тохируулах боломж
 - Үйлдвэрлэл, эрүүл мэнд, уурхай, ложистик зэрэг салбарын онцлогт тохируулан зурвас өргөн, чанарын түвшинг (QoS) өөрчилж болно. Network slicing ашиглан өөр өөр хэрэглээнд зориулж хэсэгчлэн тохируулдаг.
- IoT болон Industry 4.0-д тохиромжтой
 - Маш олон төхөөрөмжийг нэгэн зэрэг холбож чадна (1 км² талбайд сая хүртэл төхөөрөмж). Ухаалаг үйлдвэр, автомат жолоодлого, ухаалаг агуулах, дрон удирдлага зэрэг шинэ хэрэглээнд тохиромжтой.
- Бие даасан ажиллагаа
 - Интернет тасарсан ч дотоод сүлжээ үргэлжлэн ажиллаж чаддаг.
- Зардлын хэмнэлт (урт хугацаанд)
 - Эхэндээ байгуулахад зардал өндөр ч урт хугацаанд операторын үйлчилгээний хураамж багасаж, байгууллага өөрийн онцлогт тохируулсан уян хатан шийдэлтэй болдог.



Networks: Standardization, Architectures and Challenges” өгүүлэгээс авав).

J. Prados-Garzon, P. Ameigeiras, J. Ordóñez-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>

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 танилцуулсан :
 - 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 бүс 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.

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

ХУВИЙН 5G СҮЛЖЭЭ

- 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.

5G СҮЛЖЭЭНИЙ 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 сайжируулахад 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 сайжууруулах 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.

ХУВИЙН 5G СҮЛЖЭЭНИЙ ЗОХИЦУУЛАЛТ

- 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.
- 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.
- 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

- 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

МАТЕРИАЛУД

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*

БАЯРЛАЛАА