

White Paper

O-RAN Дэмжигч 5G Хувийн Сүлжээ

Цагаан ном: 2025 оны 2-р сар

Оролцсон байгууллагууд:

JMA Wireless
Tillman Digital Cities
ITRI
Accelleran
Solid
Mavenir
NEC
IS.Wireless
AsiaInfo
Highstreet technologies
Verizon

Анхааруулга

Энэхүү баримт бичгийн агуулга нь дээр дурдсан зохиогчдын үзэл бодлыг илэрхийлэх бөгөөд O-RAN ALLIANCE хамтын нийгэмлэгийн албан ёсны байр суурийг тусгаагүй болно. Баримт бичигт багтсан материал болон мэдээллийг дээрх зохиогчид бэлтгэсэн ба зөвхөн мэдээллийн зориулалтаар ашиглахад зориулагдсан.

Дээр дурдсан зохиогчид нь энэхүү баримт бичгийг ашигласнаас үүдэн гарах аливаа хохирол, түүнчлэн шууд, шууд бус, онцгой, эсвэл үр дагавартай хохиролд хариуцлага хүлээхгүй. Хуулиар заавал хүлээх ёстой хариуцлагын нөхцөлийг эс тооцвол, баримт бичгийн мэдээлэл нь “ямар нэгэн баталгаа өгөхгүйгээр, тухайн байдлаар нь” өгөгдөж байгаа бөгөөд аливаа тодорхой зориулалттай нийцэх эсэх талаар баталгаа өгч байгаа гэж үзэхгүй.

© Зохиогчийн эрх

Энэхүү баримт бичгийн агуулгыг дээр дурдсан зохиогчид бүрдүүлсэн болно. Зохиогчдын урьдчилсан бичгээр зөвшөөрөлгүйгээр энэхүү баримт бичгийн бүхэлдээ болон хэсэгчлэн хуулбарлах, аль нэгэн бүтээлд ямар ч хэлбэрээр оруулахыг хориглоно.

Удиртгал / Хураангуй

O-RAN ALLIANCE-аас боловсруулсан нээлттэй интерфэйсийн техникийн тодорхойлолтууд нь олон салбарын үйлдвэрлэлийн орчинд өргөнөөр нэвтэрч байгаа бөгөөд энэ нь харилцан уялдаа холбоо, уян хатан байдал, инновац, мөн зардлын бууралт, өргөтгөх боломж, сайжруулсан аюулгүй байдал зэрэг олон давуу талыг авчирч байна.

Тодруулбал, Хувийн 4G/5G сүлжээнүүд нь төрөл бүрийн үйлчилгээний ангилалд зориулсан олон төрлийн боломж, хэрэглээний тохиолдлыг нээж өгдөг. Эдгээр нь бүрэн тохируулж болохуйц, өргөтгөх боломжтой тул байгууллагын онцлог хэрэгцээнд нийцсэн, уян хатан, зардал хэмнэх, хараат бус сүлжээний архитектур бүрдүүлэх боломжийг олгодог.

Хувийн сүлжээ гэдэг нь тодорхой байгууллагын хэрэгцээнд зориулагдсан утасгүй харилцаа холбооны тусгай систем бөгөөд тухайн байгууллагын хэрэглээний шаардлагад нийцүүлэн зориулалтын, удирдлагатай орчин бүрдүүлдэг.

Энэхүү цагаан ном нь голчлон 5G Хувийн Утасгүй Сүлжээ (5G PWN)-г авч үзсэн хэдий ч, шаардлагатай тохиолдолд 4G хувилбаруудыг мөн хамруулах боломжтой. GSA-ийн тайланд дурдсанаар, олон байгууллагын хувийн сүлжээг LTE технологид суурилан хэрэгжүүлж байгаа нь онцлог юм.

5G PWN нь өндөр гүйцэтгэл, найдвартай байдал, аюулгүй байдал зэрэг шинжээрээ бизнесийн орчинд улам бүр сонирхол татах болсон. Энэ утгаараа, O-RAN архитектурын 5G хувийн сүлжээнд үзүүлэх хувьсгалт нөлөө улам бүр тодорч байна. O-RAN нь нээлттэй, модулиар, олон нийлүүлэгчид дэмжих архитектур-аар дамжуулан байгууллагад өргөтгөх боломжтой, аюулгүй, зардал хэмнэх сүлжээг олон нийтийн телеком үйлчилгээ үзүүлэгчдээс хамааралгүйгээр байгуулах боломжоор хангадаг. Ийнхүү нээлттэй интерфэйс ба тохируулгатай шийдлүүдийн хослол нь O-RAN-ийг ирээдүйн харилцаа холбооны уян хатан, найдвартай экосистемийн гол түлхүүр болгон байршуулж байна.

Нийтийн сүлжээнээс ялгаатай нь, хувийн сүлжээ нь тодорхой газарзүйн хүрээнд байгууллагын үйл ажиллагааны шаардлагыг хангахаар тусгайлан төлөвлөгдөж, найдвартай байдал, гүйцэтгэл, аюулгүй байдал, нууцлалын өндөр түвшинг баталгаажуулдаг. Байгууллага өөрийн сүлжээний хамрах хүрээг удирдаж, лицензтэй, хуваалцсан эсвэл лицензгүй спектр ашиглан бизнесийн зорилгод нийцсэн, зориулалтын шийдлийг бий болгож чадна. 5G хувийн сүлжээг бие даан эсвэл нийтийн сүлжээтэй хамтран ашиглах боломжтой бөгөөд энэ нь уян хатан нэвтрэх боломж ба сүлжээний нөөц дээрх илүү нарийн хяналтыг байгууллагад өгдөг.

Энэхүү цагаан ном нь 5G хувийн сүлжээнд зориулсан O-RAN архитектурын хэрэглээг дэлгэрүүлэн судалж, нээлттэй байдал, ухаалаг систем, автоматжуулалтын давуу талуудыг онцолсон. Мөн байгууллагын хэрэглээний тохиолдол болон техникийн шаардлагууд, тэдгээрийг O-RAN хэрхэн хангаж чадахыг тайлбарласан. Үүнд Shared O-RU (нейтрал хост орчинд), Shared Cell (хамрах хүрээ төвтэй шийдлүүд) зэрэг голлох технологиуд багтах бөгөөд эдгээр нь чадавхыг нэмэгдүүлэх, үр ашгийг сайжруулахад чухал үүрэгтэй.

Эцэст нь, энэхүү цагаан ном нь O-RAN-д суурилсан хувийн сүлжээний өргөжин хөгжих боломж болон сураг тулгарч болох сорилтууд-ыг онцолж байна. Байгууллагууд зориулалтын 5G шийдлийг эрэлхийлж буй энэ үед, O-RAN-ийн модулиар болон уян хатан загвар нь төрөл бүрийн технологи, төхөөрөмжтэй саадгүй нийцэх боломжийг бүрдүүлдэг. Мөн O-RAN-ийн нээлттэй шинж чанар нь нийлүүлэгчээс хараат бус байдлыг дэмжиж, шинэчлэл, инновац, зардал бууруулах боломж, хиймэл оюун ухаан болон үүлэн шийдэлд суурилсан оновчлол зэргийг авчирч, сүлжээний бүтээмжийг улам сайжруулна.

Товчлолын жагсаалт

AGV	Automated Guided Vehicles
CBRS	Citizens' Broadcast Radio Spectrum
COTS	Commercial Off-The-Shelf
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
FH	Front-Haul
FHM	Front-Haul Multiplexer
HMTC	High-Performance Machine-Type Communications
IoT	Internet of Things
HMTC	High-Performance Machine-Type Communications
MNO	Mobile Network Operator
MOCN	Multi-Operator Core Network

¹ GSA Report: <https://gsacom.com/paper/gsa-2024-a-year-in-review/>

MORAN	Multi-Operator Radio Access Network
MSP	Mobile Service Provider
NPN	Non-Public Network
O-CU	O-RAN Central Unit
O-DU	O-RAN Distributed Unit
O-RAN	O-RAN ALLIANCE
O-RU	O-RAN Radio Unit
PNI-NPN	Public Network Integrated NPN
PWN	Private Wireless Networks
RAN	Radio Access Network
SNPN	Stand-alone NPN
SMO	Service Management and Orchestration
RIC	RAN Intelligent Controller
RRU	Remote Radio Unit
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communications
ZTA	Zero Trust Architecture

Талархал

Энэхүү цагаан номын бүтээлд хувь нэмрээ оруулсан дараах хүмүүст гүн талархал илэрхийлье. Үүнд:
Удирдагч:

- Сесилиа Мариа Корби (JMA Wireless)
Хамтран удирдагч:
- Гопал Гагада (TDC)

Редактор:

- Сесилиа Мариа Корби (JMA Wireless)
Хамтран редактор:
- Линзи Ван (ITRI)

Хувь нэмэр оруулагчид:

- Сесилиа Мариа Корби, Алессандро Колаццо (JMA Wireless)
- Гопал Гагада (Tillman Digital Cities)
- Герман Кастелланос (Accelleran)
- Ён Хүн Кан (Solid)
- Яо Ю. Танг, Линзи Ван (ITRI)
- Жон Бэйкер (Mavenir)
- Кевин Сванк (Commscope)
- Марко Бабович (NEC)
- Рафал Санецки (IS.Wireless)
- Лимэн Ма (AsiaInfo)

Хянагчид:

- Сесилиа Мариа Корби, Алессандро Колаццо (JMA Wireless)
- Гопал Гагада (Tillman Digital Cities)
- Герман Кастелланос (Accelleran)
- Жон Бэйкер (Mavenir)
- Марко Бабович (NEC)
- Алфонс Миттермайер (Highstreet technologies)
- Марк Уаттс (Verizon)

Table of contents

Удиртгал хураангуй.....	2
Товчилсон үгс.....	3
Талархал.....	4
Агуулга.....	6
Танилцуулга.....	7
Цагаан номын хамрах хүрээ.....	7
Хувийн утасгүй сүлжээ гэж юу вэ !.....	7
1 Байгууллагын үндсэн хэрэглээ ба шаардлагууд.....	9
1.1 Хэрэглээний тохиолдлуудын тайлбар.....	9
1.2 Хэрэглээ ба O-RAN-ий хамаарал.....	11
2 Архитектурын онцлог.....	11
3 Дэмжигч технологиуд.....	12
3.1 O-RAN Shared O-RU – Нейтрал хост хэрэглээ.....	12
3.2 O-RAN Shared Cell – Хамрах хүрээ төвтэй хэрэглээ.....	13
4 Боломж ба сорилтууд.....	13
4.1 Үндсэн сорилтууд.....	13
4.2 Боломжууд.....	14
5 Дүгнэлт.....	14
6 Эшлэл.....	15

Танилцуулга

Харилцаа холбооны сүлжээний технологийн хувьд зах зээлийн хэрэгцээ, салбар бүрийн онцлог нь харилцан адилгүй тул ганц технологи бүгдэд тохирох боломжгүй. Харин шийдэл нь “нэгдмэл (converged)” хэлбэртэй байх ёстой бөгөөд O-RAN нь Хувийн сүлжээ, Wi-Fi, 4G/5G-ийн нэгдсэн шийдлийг дэмжих шаардлагатай платформ-ыг бүрдүүлж өгдөг.

5G технологи нь найдвартай байдал, аюулгүй байдал, хэт бага хожуу хугацаа, олон тооны IoT төхөөрөмж дэмжих чадвар, өндөр хурдтай мобайл дата зэрэг шинэ, сайжруулсан чадамжуудыг дэмждэг хүчирхэг технологи юм. Гэсэн хэдий ч 5G нь 3GPP бус технологид нэвтрэх тал дээр хязгаарлагдмал байсаар байна. Харин 3GPP (стандартын) болон 3GPP бус (бусад төрлийн) технологийн уялдаа нь хувийн болон нийтийн бус сүлжээг өргөжүүлэх, байгууллагын боломжийг нэмэгдүүлэх үндсэн түлхүүр нь болж байна.

Энэхүү цагаан ном нь голчлон 5G хувийн утасгүй сүлжээ (5G PWN)-д төвлөрч буй ч, шаардлагатай нөхцөлд 4G хувилбаруудыг мөн хамруулах боломжтой.

Цагаан номын хамрах хүрээ

Энэхүү цагаан ном нь O-RAN архитектурын нээлттэй байдал, ухаалаг байдал, автоматжуулалт зэрэг онцлогийг онцолж, 5G хувийн сүлжээний нэгдэл дээр гарч ирэх аюулгүй байдал, харилцан ажиллах чадварын шаардлагуудыг мөн авч үздэг.

Мөн дараах дэмжигч технологиудыг тусгасан:

- “O-RAN Shared O-RU” – Нейтрал хост орчны хэрэглээний тохиолдол
- “O-RAN Shared Cell” – Хамрах хүрээ төвтэй хэрэглээний тохиолдол

Цаашид, O-RAN архитектурын нэвтрэлттэй холбоотой ойрын ирээдүйн сорилт, боломжууд, 5G PWN орчны хөгжлийн чиг хандлага-д хэрхэн нөлөөлөхийг энэ баримт харуулна.

Хувийн утасгүй сүлжээ (Private Wireless Network) гэж юу вэ?

Салбар бүрийн зах зээл болон үйлдвэрлэлийн чиглэлүүд нь хоцролтыг бууруулах, гүйцэтгэлийг сайжруулах, хурд нэмэгдүүлэх, аюулгүй байдал болон үр ашиг талаасаа олон давуу талыг ашиглах зорилгоор өөрсдийн хувийн утасгүй сүлжээг (PWN) байгуулах сонирхолтой байна. Эдгээр боломжууд нь тухайн зах зээл, хэрэгжүүлэх архитектураас хамааран өөр өөр байдаг.

Хувийн утасгүй сүлжээ (PWN) нь лицензтэй мобайл сүлжээний операторууд (MNO)-аас санал болгодог олон нийтэд зориулсан үүрэн холбооны сүлжээтэй төстэй боловч гол ялгаа нь PWN нь байгууллагын хэрэглээнд чиглэсэн, эхнээсээ дуустал зориулалтын гүйцэтгэлийг хангахад төвлөрдөг. Үнэн хэрэгтээ, PWN нь тухайн байгууллага, төрийн байгууллага, хувийн компани зэрэг хувийн этгээдийн эзэмшилд байж болох бөгөөд тэдний тусгай хэрэгцээ, тодорхой зорилгод зориулан ашиглагддаг. Ингэхдээ техник хангамж нийлүүлэгч, системийн интегратор, үйлчилгээ үзүүлэгчдийн өргөн хүрээтэй экосистемд тулгуурладаг.

Сүүлийн жилүүдэд PWN-ийн эрэлт нэмэгдэх болсон шалтгаануудын нэг нь зах зээлийн боломжууд нэмэгдсэн явдал юм. Үүнд CBRS гэх мэт нээлттэй спектрийн ашиглалтыг зөвшөөрсөн шинэ бодлого, 5G-ийн хөгжингүй боломжууд багтана.

Олон нийтийн сүлжээнүүд нь ихэвчлэн засгийн газрын зохицуулалтаар лицензтэй, арилжааны үйлчилгээ үзүүлэгчид (жишээлбэл, MNOs)-ийн хяналтад байдаг бол, хувийн сүлжээ (PWN) нь лицензтэй, хуваалцсан, эсвэл лиценз шаардлагагүй утасгүй спектр болон LTE, 5G технологиудыг ашиглан тухайн байгууллагын тодорхой нутаг дэвсгэр (үйлдвэр, кампус г.м)-т зориулсан орон нутгийн сүлжээ (LAN) хэлбэрээр үүсгэгддэг.

Товчхондоо, PWN гэдэг нь тодорхой хэрэглэгчид ба хэрэглээний тохиолдолд зориулан байршуулж болох тусгай зориулалттай сүлжээ бөгөөд шаардлагатай тохиолдолд олон нийтийн сүлжээнээс

хэрэглэгч хүлээн авах боломжийг ч олгодог. PWN-ийн үндсэн архитектур болон техникийн үзүүлэлтүүд нь MNO-оор удирдуулдаг олон нийтийн үүрэн холбооны сүлжээнд ойролцоо боловч, хамрах хүрээ, функц, төхөөрөмж болон хэрэглэгчийн хандалтын түвшинд ялгаатай байдаг.

Хувийн 4G/5G сүлжээнүүд нь олон төрлийн хэрэглээ, үйлчилгээний ангилалд уян хатан, бүрэн өөрчлөгдөх боломжтой, өсгөх боломжтой, мөн бизнесийн хэрэгцээг тусгасан хэмнэлттэй, хараат бус сүлжээний архитектур-ыг бий болгох замаар шинэ боломжуудыг нээж өгдөг. Ийм сүлжээг амжилттай нэвтрүүлэхэд спектрийн боломж зайлшгүй шаардлагатай байдаг.

1-р хүснэгт нь ITU-гийн Дэлхийн Радио Харилцааны бага хурал болон бүс нутгийн зохицуулах байгууллагууд (жишээлбэл, АНУ-ын FCC, ЕХ-ны СЕРТ)-аас тогтоосон байдлаар сүлжээний экосистем дэх спектрийн боломжуудын тоймыг харуулж байна.

FR1 Спектрийн төрөл	Онцлог шинжүүд	Жишээ
Лицензтэй (Licensed)	LTE-д зориулан дэлхий даяар 70 гаруй зурвасыг онцгой ашиглах эрхтэйгээр ашиглаж буй нь салбарын тэргүүлэх чиглэл хэвээр байна.	PCS, AWS, C-Band

Хуваалцсан (Shared)	Спектрийн хуваарилалт ба удирдлагыг олон хэрэглэгчийн дунд зохицуулах зорилготой Spectrum Access System (SAS) болон бусад хуваалцах технологийн тусламжтайгаар ашигладаг.	АНУ (FCC) – CBRS (3550–3700 МГц буюу 3.5 ГГц зурвасыг хуваалцсан арилжааны зориулалтаар ашиглах)
Лиценз шаардлагагүй (Unlicensed)	Спектр нь нийтэд нээлттэй бөгөөд ашиглахад тусгай лиценз шаардлагагүй.	Wi-Fi – 2.4 ГГц, 5 ГГц, 6 ГГц

Хүснэгт 1. FR1 спектрийн ашиглалтын төрөл ба шинж чанарууд

Ашиглалтын загвараас буюу сүлжээний хөрөнгийг хэн өмчлөх, хэн удирдах зэргээс хамааран 4G/5G хувийн утасгүй сүлжээ (PWN)-г хэрэгжүүлэхэд янз бүрийн сэдэл ба хэрэглээний тохиолдлууд гарч ирдэг.

3GPP Release 16-аас эхлэн 5G-ийн Phase 2 техникийн тодорхойлолтод 5G нийтийн бус сүлжээг (NPN) функц болон удирдлагын түвшинд дэмжих шаардлага ба шийдлүүдийг тодорхойлсон байдаг. 3GPP TS 22.261 тодорхойлолтод 5G NPN-ийг дараах хоёр үндсэн ангилалд хуваан тодорхойлсон байна:

- **Бие даасан NPN (SNPN – Stand-alone NPN):** Энэхүү төрлийн сүлжээ нь нийтийн үүрэн холбооны сүлжээнээс (PLMN) хамааралгүйгээр ажилладаг. Гэхдээ шаардлагатай тохиолдолд хэрэглэгч төхөөрөмж нь нийтийн сүлжээнд бүртгүүлж болно.
- **Нийтийн сүлжээнд нэгтгэсэн NPN (PNI-NPN – Public Network Integrated NPN):** Энэ төрлийн сүлжээ нь нэг эсвэл хэд хэдэн нийтийн үүрэн холбооны сүлжээ (PLMN)-ийн дэмжлэгтэйгээр хэрэгждэг. Тусгай дата сүлжээ эсвэл сүлжээний хуваалт (network slice) хэлбэрээр ажиллаж болно. Хандалтыг Closed Access Groups (CAGs) буюу хаалттай хандалтын бүлгүүдээр удирддаг бөгөөд эдгээр нь тодорхой газарзүйн бүсэд хандалтыг хязгаарладаг.

NPN-үүдийг хэрэгжүүлэхдээ тухайн дэмжих хэрэглээ, зохицуулалтын орчин зэргээс хамааран олон янзын конфигураци ашиглах боломжтой.

Жишээ нь, "Холбогдсон Үйлдвэрлэл ба Автоматжуулалтын 5G холбоо" (5G-ACIA) холбооноос NPN хэрэгжилтийн 4 үндсэн хувилбарыг тодорхойлсон бөгөөд эдгээрийг доорх Хүснэгт 2-т харуулсан болно.

Deployment Scenario	3GPP NPN Type	Description
Shared RAN and Control Plane	PNI-NPN	Тодорхой байрлал дахь радио хандалтын сүлжээг хувийн (Non-Public) болон нийтийн (public) сүлжээ хамтран ашигладаг бөгөөд бүх сүлжээний хяналтын үйл ажиллагааг нийтийн сүлжээ тогтмол гүйцэтгэдэг.
NPN hosted by the public network	PNI-NPN	Нийтийн болон хувийн (Non-Public) сүлжээний өгөгдлийн урсгалыг тухайн байрлалаас гадна талд удирдаж, тус тусдаа сүлжээнд хамаарах мэтээр боловсруулдаг.
Isolated NPN	SNPN	Аж ахуйн нэгжийн харилцагч нь бүх 5G системийн үйл ажиллагааг эзэмшдэг бөгөөд эдгээрийг өөрийн байгууллагын байрлалд байршуулсан байдаг.
Shared RAN	SNPN	Тусгаарлагдсан хувийн сүлжээний (Isolated NPN) сайжруулсан хувилбар нь радио хандалтын сүлжээ (RAN)-г хамтран ашиглах боломжийг багтаасан бөгөөд ингэснээр gNB нь хувийн болон нийтийн хэрэглэгчдэд зэрэг үйлчлэх боломжтой болно.

Table 2. NPN deployment scenarios

Эдгээр 3GPP-д суурилсан хувилбарууд нь боломжит бүх хэрэглээний загварыг бүрэн хамардаггүй. Үнэндээ, хувийн утасгүй сүлжээг (PWN) ажиллуулах загваруудыг [2] ба [3]-т заасны дагуу дараах үндсэн ангиллуудаар ангилж болно:

1. Байгууллага өөрөө өмчилж, өөрөө ажиллуулдаг
2. Байгууллага өмчилдөг, Managed Service Provider (MSP) буюу менежмент үйлчилгээ үзүүлэгч байгууллага ажиллуулдаг
3. Байгууллага өмчилдөг, үүрэн холбооны оператор (MNO) ажиллуулдаг (*энэ тохиолдолд MNO нь MSP-гийн үүргийг гүйцэтгэдэг*)
4. Төвлөрсөн, гуравдагч этгээд буюу “нейтрал хост” өмчилж, ажиллуулдаг
5. Үүрэн холбооны оператор (MNO) өмчилж, ажиллуулдаг
6. Үүрэн холбооны оператороос санал болгож буй сүлжээний таслал (network slice)

Хувийн сүлжээнүүд нь дэвшилтэт технологи, уян хатан байршуулалтын загвар, тусгайлан тохируулсан тохиргоо зэргийг хослуулсан уян хатан шийдэл бөгөөд байгууллага, салбарын онцгой, өндөр шаардлагатай хэрэгцээг хангах чадавхтай. Тиймээс тэдгээр нь шинэ үеийн харилцаа холбооны экосистемийн зайлшгүй чухал бүрэлдэхүүн болоод байна.

1. Байгууллагын үндсэн хэрэглээ ба шаардлагууд

5G хувийн утасгүй сүлжээ (PWN) нь аюулгүй, өндөр гүйцэтгэлтэй утасгүй холболт бүхий дэд бүтцийг байгууллагын үйл ажиллагааны онцгой хэрэгцээнд нийцүүлэн бий болгосноор салбар бүрийг шинэчлэн өөрчилж байна.

Эдгээр сүлжээнүүд нь хяналт, аюулгүй байдлыг сайжруулах, URLLC (хэт найдвартай, бага хожуу хугацаатай холбоо) болон eMBB (сайжруулсан мобайл өргөн зурвас) зэрэг боломжуудыг бүрдүүлдэг тул үйлдвэрлэл, эрчим хүч, эрүүл мэнд, ложистик зэрэг салбарын анхаарал төвд байдаг, алдаа тэвчдэггүй хэрэглээнд тохиромжтой болгодог.

O-RAN архитектуртай хослуулснаар, 5G PWNs нь илүү уян хатан, хоорондоо уялдаатай, өргөтгөх боломжтой болдог. Эдгээр нь орчин үеийн үйлдвэрлэлийн динамик шаардлагыг хангахад зайлшгүй чухал гол онцлогууд юм.

Жишээлбэл, үйлдвэрийн талбайд байршуулсан 5G хувийн сүлжээгээр удирддаг автоматжуулсан тээврийн хэрэгслүүд-ийн хувьд, O-RAN нь тээврийн хэрэгсэл ба хяналтын системүүдийн хооронд бодит цагийн мэдээлэл дамжуулах боломжийг олгосон. Энэ нь ложистикийн үр ашгийг мэдэгдэхүйц нэмэгдүүлж, шуурхай, тасралтгүй өгөгдлийн солилцоо-г хангаж өгсөн тухай [4]-т тодорхой дурдсан байдаг.

Ерөнхийдөө, Open RAN (нээлттэй RAN) зарчим нь хувийн 5G шийдлүүдийг төрөл бүрийн төхөөрөмжүүдтэй уян хатан, хялбар уялдуулах, мөн хэмжээг өргөжүүлэх боломжтой болгосноор үйлдвэрлэлийн төвөгтэй хэрэглээнд дасан зохицох бүрэн боломжтойг харуулж байна.

O-RAN архитектур нь модульчилсан, нээлттэй загвартай тул үйлдвэрлэлийн зориулалттай 5G PWN-д дараах үлэмж давуу талуудыг олгодог. Үүнд:

- Сүлжээг хэрэгцээнээс хамааран хялбар өргөтгөх
- Өөр өөр төрлийн төхөөрөмжүүдтэй уялдуулах
- Ирээдүйд чиглэсэн уян хатан дэд бүтэц бий болгох

Энэхүү модульчлагдсан, өргөтгөх боломжтой шинж чанар нь байгууллагад шинэлэг хэрэглээний тохиолдлыг хэрэгжүүлэх боломжийг олгож, дэд бүтцийн өртөг болон ашиглалтын үр ашгийг нэмэгдүүлдэг.

Ийнхүү O-RAN архитектурт суурилсан 5G хувийн сүлжээг нэвтрүүлснээр, байгууллагууд:

- Үйл ажиллагааныхаа үр ашгийг нэмэгдүүлж
- Өөрчлөгдөж буй технологийн орчин, өсөж буй эрэлт хэрэгцээнд дасан зохицох
- Өрсөлдөх чадвартай, тохируулгатай, уян хатан сүлжээний экосистем бий болгох

боломжтой болж байна.

Энэхүү баримтад үзүүлсэн Зураг 1-д 5G хувийн сүлжээг байршуулан хэрэгжүүлэх үед хамгийн нийтлэг тохиолддог шаардлагуудыг ангилсан болно.

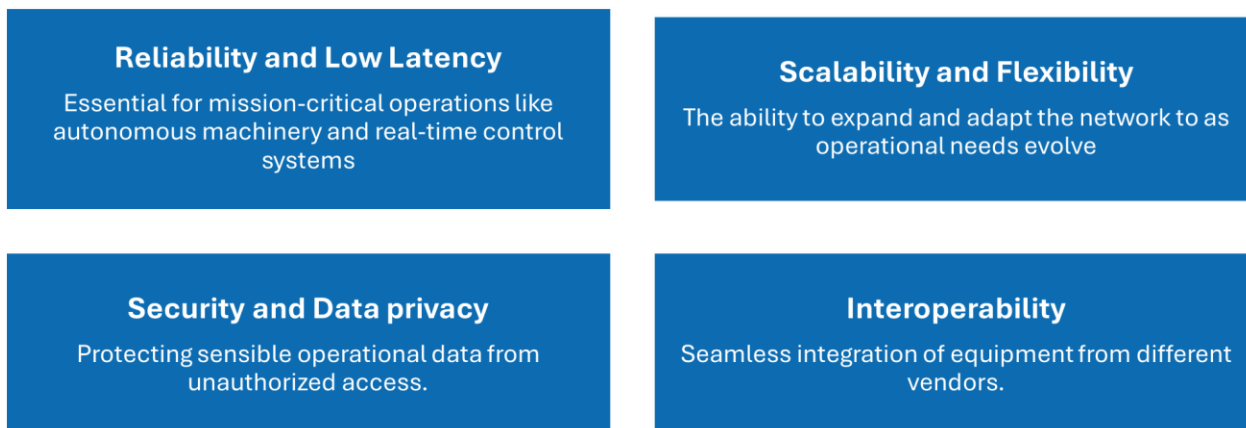


Figure 1. General 5G PWN requirements.

1.1 Хэрэглээний тохиолдлуудын тайлбар

Өмнөх хэсгүүдэд тайлбарласны дагуу, хувийн утасгүй сүлжээ (PWN) нь тусгайлсан спектр, бие даасан хяналт, нийтийн холбооны оператороос хамааралгүй ажиллах боломж зэргийг санал болгодог тул URLLC, eMBB, HMTC зэрэг өндөр шаардлага бүхий чадамжийг хэрэгжүүлэх шаардлагатай салбаруудад хамгийн тохиромжтой шийдэл болж байна.

Бид [6], [7] зэрэг олон эх сурвалжаас нэгдүүлэн, нийт долоон гол хэрэглээний тохиолдлыг тодорхойлсон бөгөөд эдгээр нь 5G PWN хэрхэн салбар бүрийн үйл ажиллагааг хувьсгаж чадахыг харуулж байгаа юм:

Хэрэглээний тохиолдол 1: Үйлдвэрлэлийн автоматжуулалт, ухаалаг эрчим хүчний сүлжээ, баялаг олборлолт

Автоматжуулалт болон эрчим хүчний салбар нь URLLC (хэт найдвартай, бага хожуу хугацаатай холбоо)-д өндөр хамааралтай. Үйлдвэрүүд нь робот техник, автомат жолоодлогот тээврийн хэрэгсэл (AGV) болон үйлдвэрлэлийн системүүдийг бодит цагийн хяналттай байлгах шаардлагатай. Ухаалаг эрчим хүчний сүлжээ нь цахилгаан ачааллыг тэнцвэржүүлэх, гэмтэл доголдлыг илрүүлэхийн тулд агшин зуурын өгөгдөлд тулгуурладаг. Үүний зэрэгцээ, баялаг олборлох талбайн (жишээлбэл, уурхай) орчинд хүнд машин механизмд алсаас найдвартай хяналт тавих нь хөдөлмөрийн аюулгүй байдалд онцгой чухал ач холбогдолтой байдаг.

5G хувийн утасгүй сүлжээ нь эдгээр төвөгтэй хэрэгцээг хангах шаардлагатай дэд бүтцийг бүрдүүлж, тасралтгүй харилцааг хангах тусгай спектрийг олгодог. Ийнхүү сааталгүй, жигд холболт нь үйл ажиллагаанд хоцрогдол гарвал осол гарах эрсдэлтэй, эсвэл доголдол нь ноцтой үр дагавартай байж болох салбаруудад маш их тус болдог. Үйлдвэрлэлийн автоматжуулалтад өндөр зурваст холболт болон URLLC нь робот техникүүдийн уялдаа ажиллагаа, бодит цагийн өгөгдлийн дүн шинжилгээ, урьдчилан сэргийлэх засвар үйлчилгээг жигд гүйцэтгэх нөхцөлийг хангаж өгдөг. Үүний адилаар, ухаалаг эрчим хүчний сүлжээ болон баялаг олборлолтын салбаруудад ч энэ төрлийн шуурхай, найдвартай өгөгдөл дамжуулалт нь үйл ажиллагааны тогтвортой байдал, аюулгүй ажиллагаанд шийдвэрлэх үүрэгтэй.

Хэрэглээний тохиолдол 2: Ухаалаг хот, нийтийн үйлчилгээ, барилга, хөдөө аж ахуй

Ухаалаг хотууд, нийтийн үйлчилгээ, барилгын талбай, хөдөө аж ахуйн үйл ажиллагаа нь мэдрэгч, IoT төхөөрөмж, бодит цагийн дүн шинжилгээний платформ зэрэг олон төрлийн эх үүсвэрээс үүссэн их өгөгдлийг боловсруулж, удирдах чадвартай найдвартай, өргөтгөх боломжтой сүлжээ шаарддаг. Замын хөдөлгөөний удирдлага, нийтийн аюулгүй байдал, дэд бүтцийн хяналт зэрэг нь үйл ажиллагааг оновчтой зохион байгуулахын тулд бодит цагийн мэдээлэл шаарддаг. Нийтийн үйлчилгээ нь байнгын холболтод түшиглэн нөөцийн хяналт, удирдлага хийх, барилгын талбай нь дрон болон IoT төхөөрөмжөөр хяналт тавих, хөдөө аж ахуй нь нарийвчлалтай тариалалтын хүрээнд усалгаа, мал амьтны хяналтыг гүйцэтгэдэг. 5G сүлжээ нь бага саатал, өндөр зурваст холболтоор бодит цагийн өгөгдөл боловсруулах, автоматжуулалтыг дэмждэг.

Хэрэглээний тохиолдол 3: Боомт, нисэх буудал, тээвэр, замын хөдөлгөөний удирдлага

Боомт, нисэх буудал, тээврийн системүүд нь хамгийн нарийн төвөгтэй, өгөгдөлд суурилсан орчинд тооцогддог. Эдгээр төвүүд нь бараа, тээврийн хэрэгсэл, зорчигчдын урсгалыг хянахын тулд сааталгүй, найдвартай холболт шаарддаг. Боомтын орчинд ачааны менежмент, гааль, чингэлэг хяналтын уялдаа ажиллагаа орно. Нисэх буудал нь тээшний хяналт, нислэгийн хуваарь, зорчигчийн үйлчилгээг бодит цагт зохицуулдаг. Хот даяарх замын хөдөлгөөний системүүд нь автомашины хөдөлгөөний мэдээлэлд тулгуурлан гэрлэн дохиог ухаалгаар зохицуулах хэрэгцээтэй. 5G хувийн сүлжээ нь URLLC болон өндөр багтаамжийн холболтоор автомат тээврийн хэрэгсэл, дрон, IoT мэдрэгчийн уялдаа ажиллагааг дэмждэг.

Хэрэглээний тохиолдол 4: Олон нийтийн аюулгүй байдал, батлан хамгаалах, онцгой байдал

Эдгээр хэрэглээнүүд нь урьдчилан таамаглах боломжгүй орчинд өндөр найдвартай, аюулгүй холбоо шаарддаг. Нийтийн сүлжээ саатах эсвэл ачааллаа давах үед ч холбоо тасралтгүй үргэлжлэх шаардлага тавигддаг. Дрон хяналт, талбайн багууд болон командын төвийн хоорондох бодит цагийн өгөгдлийн солилцоо зэрэг нь зайлшгүй чухал. 5G хувийн сүлжээ нь тусгай зориулалтын, хамгаалалттай холбооны сувгийг бүрдүүлж, осол, гамшгийн нөхцөлд нэгдүгээр хариулагчид болон хамгаалалтын албаныханд найдвартай холболт олгодог.

Хэрэглээний тохиолдол 5: Боловсрол ба шинжлэх ухааны судалгаа

Боловсролын салбар нь онлайн сургалтын платформ, ухаалаг танхим, кампусын хэмжээнд холбогдсон сүлжээ зэрэг дижитал шийдлүүдийг улам ихээр нэвтрүүлж байна. Сургуулиуд, их дээд сургууль, судалгааны байгууллагуудад бодит цагийн видео дамжуулалт, харилцан үйлдэлтэй сургалтын хэрэгсэл, холбогдсон төхөөрөмжүүдийг дэмжих өндөр зурвас, бага сааталтай сүлжээ шаардлагатай. Мөн төхөөрөмж болон өгөгдлийн урсгалын хэмжээ нэмэгдэж буйтай уялдуулан сүлжээ нь хамгаалалттай, өргөтгөх боломжтой байх ёстой. 5G хувийн сүлжээ нь тасралтгүй онлайн хичээл, виртуал сургалтын орчин, бодит цагийн хамтын ажиллагааг саадгүй хэрэгжүүлэх боломж олгодог. Ухаалаг анги танхим нь IoT төхөөрөмжийг холбож, сургалтын чанар, үр нөлөөг сайжруулдаг.

Хэрэглээний тохиолдол 6: Ухаалаг эрүүл мэнд

Эрүүл мэндийн салбар нь телемедицин, бодит цагийн өвчтөн хяналт зэрэг чухал үйлчилгээг хүргэхэд улам бүр дижитал технологид тулгуурлаж байна. Эдгээр хэрэглээнүүд нь хувийн шинжтэй мэдээллийг төхөөрөмжүүдийн хооронд найдвартай, хурдтайгаар дамжуулах URLLC чадамж шаарддаг. Эмнэлгүүд, эмнэлгийн үйлчилгээ үзүүлэгчид нь IoT-д суурилсан төхөөрөмжөөр өвчтөний байдлыг хянаж, тоног төхөөрөмжийн ашиглалтыг хянадаг. 5G хувийн сүлжээ нь бодит цагийн хяналт, алсын мэс засал, IoT төхөөрөмжийн интеграцлал зэрэг өндөр хурд, бага саатал шаардсан хэрэглээг дэмждэг. Сүлжээний аюулгүй байдал нь өвчтөний мэдээллийг хувийн нууцын хууль, стандартын дагуу хамгаалдаг.

Хэрэглээний тохиолдол 7: Жижиглэн худалдаа, зугаа цэнгэл, санхүүгийн үйлчилгээ

Эдгээр салбарууд нь олон төрлийн өндөр хурд, хамгаалалттай сүлжээнд тулгуурласан хэрэглээтэй. Жижиглэн худалдаанд ухаалаг касс, бодит цагийн бараа хяналт, IoT-д суурилсан хэрэглэгчийн туршлагыг дэмжих системүүд багтдаг. Зугаа цэнгэлийн салбарт AR/VR технологи, шууд дамжуулалт нь багассан саатал, өндөр зурвас шаарддаг. Санхүүгийн салбар нь гүйлгээний найдвартай байдал, залилангаас сэргийлэх зорилгоор хамгаалалттай, бодит цагийн холбоог шаарддаг. 5G хувийн сүлжээ нь эдгээр хэрэглээнд шаардлагатай хурд, найдвартай байдал, аюулгүй байдлыг бүрэн хангаж өгдөг. Жишээлбэл, жижиглэн худалдаачид хэрэглэгчийн туршлагыг сайжруулах IoT систем нэвтрүүлэх, зугаа цэнгэлийн газрууд бага сааталтай AR/VR туршлага хүргэх боломжтой болдог.

2. Архитектурын онцлог

O-RAN архитектур нь нээлттэй байдал, уян хатан бүтэц, автоматжуулалт ба сүлжээний ухаалаг хяналт-ыг дэмждэг тул хувийн утасгүй сүлжээ (PWN)-г нэвтрүүлэхэд онцгой хамааралтай байж чадна. Өмнөх 1-р бүлэгт дурдсан олон төрлийн хэрэглээний тохиолдлууд, шаардлагууд нь O-RAN-ийг нэвтрүүлснээр олон нийлүүлэгчийн орчинд нээлттэй, уян хатан, найдвартай шийдлүүд-ийг авч хэрэгжүүлэх боломжтой.

O-RAN-ийн логик архитектур-ыг Зураг 2-т харуулсан бөгөөд энэхүү бүтэц нь төрөл бүрийн бүрэлдэхүүн хэсэг болон интерфэйсүүдээс бүрддэг.

O-RAN архитектурын гол онцлогууд:

- Нээлттэй байдал ба олон нийлүүлэгчтэй уялдах чадвар

O-RAN нь RAN (Radio Access Network) бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг нээлттэй интерфэйсүүдээр салгаж өгдөг тул өөр өөр үйлдвэрлэгчийн шийдлүүд хоорондоо уялдан ажиллах боломж бүрддэг. Ингэснээр байгууллагууд зөвхөн нэг нийлүүлэгчээс бүрдэх иж бүрэн системд хамааралгүйгээр, өөрсдийн хэрэгцээнд нийцсэн шийдлийг чөлөөтэй сонгох боломжтой болно.

- Модуляр архитектур ба уян хатан байдал

O-RAN нь модуляр сүлжээний архитектур-ыг нэвтрүүлдэг ба үүгээр дамжуулан тус бүрдээ бие даан хөгжүүлж, байршуулж болох функциональ модулиуд-ыг ашигладаг. Энэхүү модуляр байдал нь байгууллагууд өөрсдийн сүлжээний хэрэгцээнд тулгуурлан тодорхой модулийг солих, шинэчлэх боломж-той болгодог бөгөөд системийг бүхэлд нь өөрчлөх шаардлагагүй.

- Аюулгүй байдлын сайжруулалт

O-RAN систем дэх аюулгүй байдал, нууцлалын шаардлагыг тодорхойлох, архитектур ба протоколуудыг боловсруулах үүргийг WG11 гүйцэтгэдэг. O-RAN нь ухаалаг, автомат хаалттай хяналт, сүлжээний зүсэлт (slicing) зэрэг дэвшилтэт үйлдлүүдийг дэмждэг нь үйлчилгээний түвшний гэрээ (SLA)-г хангахад дэмжлэг болдог.

Мөн O-RAN нь Zero Trust Architecture (ZTA) буюу “Итгэлцэлгүй” загварыг дэмждэг — энэ нь ялгаатай аюулгүй байдлын түвшинтэй олон нийлүүлэгчийн бүрэлдэхүүн-ийг хамт ажиллуулах үед чухал ач холбогдолтой. ZTA-г ашигласнаар байгууллагууд дотоод ба гадаад аюул заналын эсрэг интерфэйс болон сүлжээний функцуудыг хамгаалах боломж-той болно.

- Хиймэл оюун ухаан / машин сургалт (AI/ML)-д суурилсан оновчлол

O-RAN архитектур нь WG1-д заасны дагуу хиймэл оюун ухаан (AI) болон машин сургалт (ML)-ын загваруудыг агуулдаг бөгөөд үүгээр сүлжээг ухаалаг, бодит цагийн хяналтаар удирдах боломжтой. SMO (Service Management and Orchestration) болон RIC (RAN Intelligent Controller) зэрэг бүрэлдэхүүнүүд нь автомат оновчлол, динамик нөөц хуваарилалт, сүлжээний өөрөө оновчлол зэрэг чухал үйлдлүүдийг байгууллагын орчинд хэрэгжүүлэх боломжийг бий болгодог. Ингэснээр ажиллагааны төвөгшлийг бууруулж, үр ашгийг нэмэгдүүлдэг.

- Динамик нөөцийн хуваарилалт

O-RAN нь дистрибьют хийсэн бүрэлдэхүүнүүдийг (жишээ нь, O-DU, O-CU) уян хатан хуваарилж, бодит цагийн хэрэгцээний дагуу техникийн болон програм хангамжийн түвшинд нөөцийг үр ашигтай хуваарилах боломж олгодог. Энэ нь саатлыг бууруулж, хөдөлгөөнт байдал өндөртэй болон их нөөц шаардсан орчинд хэрэглэгчийн туршлагыг сайжруулна.

- Спектрийн уян хатан байдал

O-RAN-ийн нээлттэй Front Haul интерфэйс (Open FH) нь байгууллагуудад өөрсдийн PWN-ийн хэрэгцээнд тохирсон давтамжийн зурвас болон чадлын түвшинг дэмждэг радио нэгжүүд (O-RU)-ийг сонгох боломжийг олгодог. Ингэснээр байгууллага бүр өөрийн зориулалтад хамгийн тохирсон тоног төхөөрөмжийн сонголт хийж, спектр ашиглалтыг оновчтой болгох боломжтой болно.

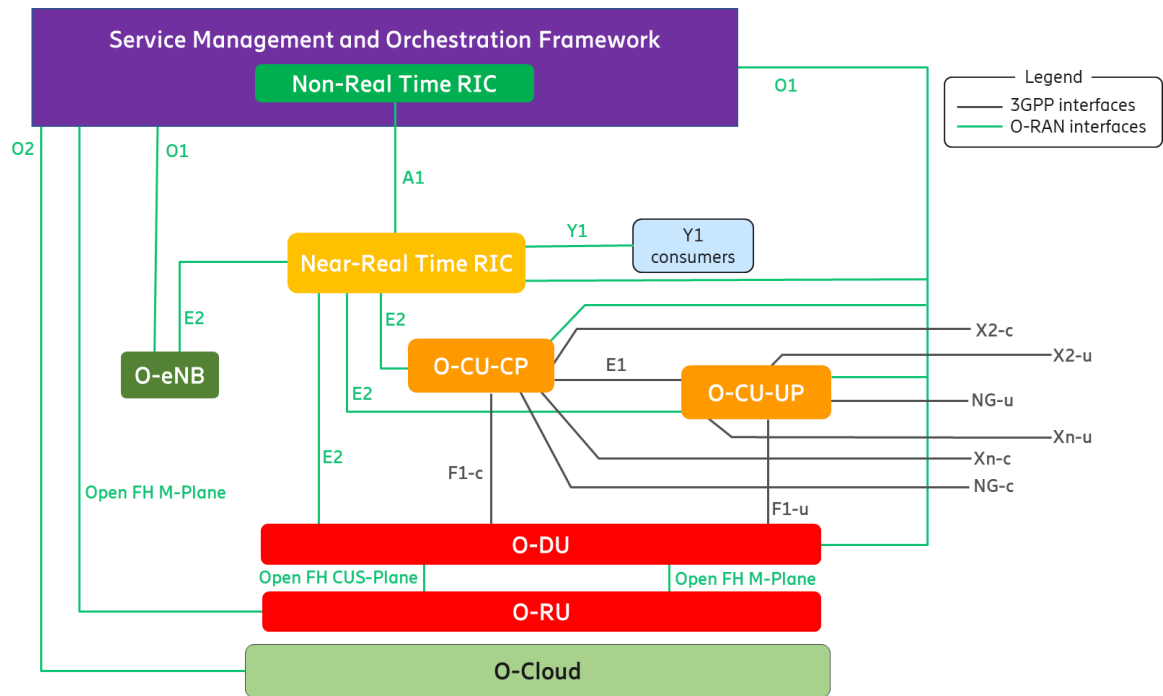


Figure 2. Logical Architecture of O-RAN

1 О-RAN-ийг дэмжигч технологиуд

O-RAN нь тодорхой хувийн хэрэглээний тохиолдлуудад зориулан оновчтой, үр ашигтай шийдлийг хангах бүрдүүлэгч технологиудыг агуулдаг. Дараах хэсэгт O-RAN Alliance-аас тодорхойлсон хувийн сүлжээний хоёр үндсэн технологийн шийдлийг тайлбарласан болно.

1.1 Neutral Host хэрэглээнд зориулсан O-RAN Shared O-RU

Байгууллагууд хувийн сүлжээг байршуулж буй тохиолдолд, зориулалтын хэрэглэгчдэд зориулсан SIM карт эсвэл гар утас/терминал шаардлагагүй байх нь давуу талтай. Энэхүү interoperability буюу нийцтэй байдал, хүртээмжийг хангахын тулд хувийн сүлжээнүүд нь Neutral Hosting-ийг дэмжих шаардлагатай бөгөөд энэ нь нийтийн хэрэглэгчид дуут үйлчилгээг хувийн сүлжээнд хандаж ашиглах боломжийг олгодог. Neutral Host боломжийг дэмждэг олон технологи байгаа. Үүний нэг нь MOCN (Multi-Operator Core Network) бөгөөд үүгээр MNO-ууд бүхэл RAN-ийг (түүний дотор спектрийг ч хамтад нь) хуваалцаж ашигладаг. PLMN жагсаалтад бүх операторууд бүртгэгдсэн байдаг тул аль ч операторын хэрэглэгч холбогдож болно. Гэвч энэхүү шийдэл нь спектрийн хуваалцалтаас шалтгаалан хүчин чадлын хувьд хязгаарлагдмал байж болох юм. Бас нэг шийдэл бол MORAN (Multi-Operator RAN) бөгөөд энэ нь RAN-ийг хуваалцдаг ч спектрийг хуваалцдаггүй. MORAN-д хэд хэдэн хувилбар бий:

- Baseband (үндсэн зурвас) тоног төхөөрөмж ба программ хангамжийг RU-уудтай хамт хуваалцах
- Зөвхөн RU-уудыг хуваалцах

O-RAN архитектур нь Shared O-RU гэсэн онцлог бүхий функцийг хуваалттай архитектураар MORAN-ийн дээрх 2 хувилбарыг дэмждэг. Shared O-RU гэдэг нь нэг RU-д олон O-DU холбогдох

боломж бүхий шийдэл юм. Энэ нь нэг оператор ч бай, эсвэл олон оператор ч бай хамаагүй ажиллаж чадна. Энэхүү Shared O-RU схем нь гибрид болон шаталсан архитектур-ыг дэмждэг. O-RAN-аас тодорхойлсон бас нэг өвөрмөц боломж нь — хувийн, бие даасан Shared O-RU Host юм. Энэ нь MNO-оос тусдаа, гуравдагч талын оператор (ЗРО) эсвэл өөр нэг байгууллага Neutral Host MORAN сүлжээг удирдах боломжтой болох нөхцөлийг бүрдүүлдэг

1.2 Хамрах хүрээний хэрэгцээнд зориулсан O-RAN Shared Cell

Зарим хэрэглээний хувьд өргөн хамрах хүрээ шаардагдах ч хэрэглэгч цөөнтэй, эсвэл хүчин чадлын шаардлага бага байж болно. Жишээлбэл, IoT-д зориулагдсан байгууллагын дотор байршуулсан PWN эсвэл цөөн хэрэглэгчтэй байгууллагын үйлчилгээ. Ийм тохиолдолд олон cell ашиглах нь зардал, гүйцэтгэлийн хувьд үр ашиггүй байдаг.

Энэ тохиолдолд нэг O-RU = нэг cell байх шаардлагагүй. Нэг O-DU-ийн нөөцийг олон O-RU хамтран ашиглавал зардлыг бууруулж, front-haul интерфэйсийн ачааллыг багасгаж чадна. Түүнчлэн downlink чиглэлд интерференц (өөр хоорондоо давхцах дохио) буурч, сүлжээний ажиллагаа оновчтой болно.

O-RAN Alliance энэхүү зориулалтаар Shared Cell-ийн боломжийг тодорхойлсон байдаг. Нэг O-DU-ийн downlink дохиог олон RU руу хуулж илгээнэ, харин олон RU-аас ирсэн uplink дохиог нэгтгэн O-DU руу дамжуулна. Ингэснээр нэг cell-ийг олон RU-ээр дамжуулан өргөн цар хүрээнд бүрдүүлж, зардал багатай cell бүтэц бий болгоно.

Shared Cell шийдлийг дараалсан (cascading), эсвэл Front-Haul Multiplexer (FHM) ашиглан од хэлбэрийн (tree/star topology) холбоос бүхий олон RU-ийн дунд хэрэгжүүлж болдог.

2 Боломж ба Сорилтууд

O-RAN архитектур нь RAN-ийн бүрэлдэхүүнүүдийг задалж, нээлттэй, хэвтээ бүтцийн олон нийлүүлэгчийн орчин бүрдүүлэх гол платформ болж байна. Энэ нь үйлдвэрлэлийн бэлэн серверүүд (COTS hardware) дээр суурилсан программ хангамжийн архитектурыг ашиглан зардлыг бууруулах, хамаарлыг багасгах нөхцөл бүрдүүлж байна.

Гэсэн хэдий ч, O-RAN санаачилга нь гүйцэтгэл ба найдвартай байдлын тэнцвэрийг бүрэн нотолж хараахан амжаагүй байна. Дараах нь 5G хувийн сүлжээнд O-RAN-ийг ашиглахад хамаарах зарим ашиг тус болон бэрхшээлүүдийн товч дүгнэлт юм:

2.1 Гол сорилтууд

- MNO-уудаас хүлээн зөвшөөрөгдөхөд хүндрэлтэй : Ихэнх операторууд O-RAN-ийг зөвхөн нийтийн 5G сүлжээнд анхаарч байгаа. Гэвч хувийн 5G сүлжээгээр эхэлж, дараа нь өргөтгөх боломж илүү практик байж болох юм.
- Салбар бүрийн мэдлэг дутмаг байдал : 5G хувийн сүлжээний үр ашигт итгэх хандлага нэмэгдэж байгаа ч, олон байгууллага энэ төрлийн шийдэл хэрэгцээг нь хангаж чадах талаар мэдлэггүй байна.
- Нийцтэй байдал ба интеграцийн төвөгшил : Олон нийлүүлэгчтэй бүрэлдэхүүнүүдийн хооронд seamless уялдааг бий болгох нь хүндрэлтэй. O-RAN Alliance үүнийг шалгах тусгай Testing Specification боловсруулсан.
- Стандартын хөгжлийн шат : O-RAN бол хөгжлийн шатандаа яваа стандарт. Гэсэн ч уламжлалт RAN-тай харьцуулахад технологийн зөрүү багасч байна.
- Нийлүүлэгчдийн экосистем бүрэн төлөвшөөгүй : Нээлттэй RAN экосистемийг зарим MNO-ууд боломжтой гэж үзэж байгаа ч, энэ систем одоо л бүрэлдэж байна.
- Аюулгүй байдал : Шинэ интерфэйс, салангид функцууд нэмэгдэх нь эмзэг байдал үүсгэж болзошгүй. WG11 аюулгүй байдлын шаардлагыг боловсруулж буй.
- Эрчим хүчний үр ашиг : O-RU-ууд нь нийт RAN-ийн цахилгаан хэрэглээний 80%-ийг эзэлдэг тул уламжлалт шийдлийн түвшинд хүрэх шаардлагатай. O-RAN нь үүнд shutdown функц зэрэг хэмнэлтийн шийдлүүд багтаасан.

2.2 Боломжууд

- Нийлүүлэгчдийн олон төрөл ба түүнээс хамаарал багасгах – олон нийлүүлэгчийн уялдаа холбоог хангадаг нээлттэй интерфэйсийн ачаар хэрэгждэг. Өөр өөр нийлүүлэгчийн бүрдэл хэсгүүдийг хослуулан ашигласнаар зардлыг бууруулж, зах зээлийн өрсөлдөөн нэмэгдэнэ.
- Инноваци ба хэрэглээнд нийцүүлэн өөрчлөх боломж – хоорондоо нийцтэйгээр ажиллах гуравдагч талын шийдлүүдийг багтаасан өрсөлдөөнт экосистемийг бүрдүүлнэ. O-RAN дахь салангид бүтэц (disaggregation) нь нээлттэй, стандартад нийцсэн интерфэйс ашиглан гүйцэтгэлийг нэмэгдүүлж, хэрэглэгчийн туршлагыг сайжруулснаар илүү олон сонголт гаргах боломж олгодог.
- Cloud-н орчинд шилжүүлэх ба сүлжээний виртуалчлал – RAN-ийн салангид бүтэц нь програм хангамжийг ердийн төхөөрөмж, үүлэн платформ ашиглан cloud-native үйлчилгээнүүд хэлбэрээр ажиллуулах боломжийг олгодог. Энэ нь байгууллагын 5G хувийн сүлжээг байгууллагын дотоод IT системтэй хялбар уялдуулах боломжийг бүрдүүлдэг.
- Edge computing болон локал үйлчилгээнүүд – сүлжээний функцуудыг уян хатан байрлуулах боломжтой, жишээлбэл O-DU-г хэрэглэгчийн объектод, физик байршилд ойрхон буюу орон нутгийн/edge дата төвд байрлуулах боломжтой.
- Сүлжээний автоматжуулалтыг сайжруулах – SMO, RIC болон олон төрлийн xApp/rApp-уудын тусламжтайгаар хиймэл оюун ухаан (AI), машин сургалтын (ML) хэрэгслүүд, ухаалаг, програмчлагдах бодлогуудаар сүлжээний үйл ажиллагааг оновчтой болгодог. Энэ нь хувийн сүлжээнд шаардлагатай үед ашиглагдаж болох чухал чадамж юм. Үүний зэрэгцээ, O-RAN нь Нийтийн бус тээврийн удирдлагын функц (Non-Public Transport Management Functions)-ийг нэгтгэхээр ажиллаж байгаа ба энэ нь WG1, WG5, WG6, WG10, WG11 гэх мэт олон ажлын хэсэгт нөлөөлөх ажлын хүрээ бөгөөд бүхэл бүтэн O-RAN холбоосын гүйцэтгэл, уялдааг сайжруулах зорилготой.
- 5G болон түүнээс цаашхийг дэмжих – O-RAN Alliance-ийн nGRG Focus Group нь O-RAN-ийн талаарх олон хөгжлийн чиглэлийг судлан ажиллаж байна.

3 Дүгнэлт

5G хувийн сүлжээнд O-RAN-ийг нэвтрүүлэх нь нээлттэй, өргөтгөх боломжтой, зардал багатай холбооны шийдэл рүү хандсан шинэчлэлийн томоохон алхам болж байна. O-RAN-ийн нээлттэй интерфэйс, модуляр бүтэц, олон нийлүүлэгчийн орчин нь байгууллагуудад өндөр гүйцэтгэлтэй, уян хатан, хамгаалалттай хувийн сүлжээ байгуулах боломж олгож байна.

Технологийн дэвшил, хэрэглэгчийн өсөн нэмэгдэж буй хэрэгцээнд нийцүүлэн инноваци, автоматжуулалт, AI, cloud шийдлүүд-ийг уялдуулахад O-RAN чухал түлхүүр болж байна. Байгууллагууд илүү хараат бус, ирээдүйд тэсвэртэй харилцаа холбооны системд шилжихийн хэрээр, O-RAN нь эдийн засаг, ажиллагаа, аюулгүй байдлын төв шийдэл болж гарч ирж байна.

4 References

- [1] 5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G-ACIA), “5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios,” July 2019. [Online]. Available: https://5gacia.org/wpcontent/uploads/2021/04/WP_5G_NPN_2019_01.pdf
- [2] Tillmann Digital Cities (TCD) <https://www.tillmandc.com/solutions>
- [3] OnGo Alliance: <https://ongoalliance.org/>
- [4] GSMA Private 5G Industrial Networks Report: An Analysis of Use Cases and Deployment. June 2023. <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/internet-of-things/wp-content/uploads/2023/06/GSMA-Private-5G-Industrial-Networks-Report-June-2023.pdf>
- [5] 5G Private Networks-architecture, use cases, challenges, and solutions- <https://5ghub.us/5g-private-networks-architecture-use-cases-challenges-and-solutions/>
- [6] CISCO - 5G private networks and 5G use cases networks of the future. Jun 2024. <https://outshift.cisco.com/blog/5g-private-networks-and-5g-use-cases>
- [7] Ericsson – Matt Addicks - Private 5G Use Cases for Smart Cities, Manufacturing, Education, and Beyond - <https://cradlepoint.com/resources/blog/private-5g-use-cases-for-smart-cities-and-beyond/>
- [8] O-RAN.WG1.OAD-R003-v12.00, “O-RAN Architecture Description 12.0”
- [9] O-RAN.WG4.CUS.O-R003-v15.00, “Control, User and Synchronization Plane Technical Specification 15.0”.
- [10] O-RAN.WG4.MP.O-R003-v15.00, “Management Plane Technical Specification 15.00”.
- [11] 3GPP TS 23.251 (SA2): Network sharing; Architecture and functional description
- [12] O-RAN WP O-RAN Empowering Vertical Industry: Scenarios, Solutions and Best Practice <https://mediastorage.o-ran.org/white-papers/O-RAN.WG1.Vertical-Industry-White-Paper-2023-12.pdf>
- [13] Orange et al, “Major European operators accelerate progress on Open Ran maturity, security and energy efficiency”, February 2023 [Online]. Available: <https://newsroom.orange.com/major-european-operators-accelerate-progress-on-open-ran-maturity-security-and-energy-efficiency/>
- [14] O-RAN WG11 – Security Work Group, <https://public.o-ran.org/display/SFG/Introduction>
- [15] GSMA - <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/external-affairs/wp-content/uploads/2023/02/Mobile-Net-Zero-%e2%80%93-State-of-the-Industry-on-Climate-Action-2023.pdf>
- [16] Gabriel Brown, “The open RAN ecosystem is diverse and well-backed, but don't take it for granted”, October 2024 [Online]. Available: <https://www.lightreading.com/open-ran/the-open-ran-ecosystem-is-diverse-and-well-backed-but-don-t-take-it-for-granted>