

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

“Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті” коммерциялық  
емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

ӘОЖ 621.39:004

Қолжазба құқығында

Оспанова Арайлым Айдарханқызы

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін  
**МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ**

Диссертацияның атауы

5G желісіндегі қолданбалы параметрлерді зерттеу

Дайындау бағыты

7M06201 – «Телекоммуникация»

Ғылыми жетекші

PhD докторы, аға оқытушы

 Қ.Н. Тайсариева

«31» 05 2023 ж.

Рецензент

PhD докторы,

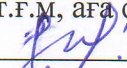
ғылым жөніндегі проректор

 Д.С. Жамангарин

«31» 05 2023 ж.

Норма бақылаушы

т.ғ.м, аға оқытушы

 Ж. Досбаев

«01» 06 2023 ж.

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

ЭТЖҒТ каф. Менгерушісі

Т.ғ.к., қауым профессор

 Е. Таштай

«07» 06 2023 ж.



Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

“Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті” коммерциялық  
емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

7M06201 – «Телекоммуникация»



Магистерлік диссертацияны орындауға арналған  
ТАПСЫРМА

Магистрант *Оспанова Арайлым*

Тақырыбы: *«5G желісіндегі қолданбалы параметрлерді зерттеу»*

Университет ректорының «5» желтоқсан 2022 ж. №1850-м бұйрығымен бекітілген

Аяқталған диссертацияны тапсыру мерзімі «22» мамыр 2023 ж.

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері: *Ұялы байланыс жүйесі, байланыс технологиялары мен параметрлері, математикалық модельдер.*

Магистрлік диссертацияда әзірлеуге жататын мәселелер тізімі:

- a) *5G дамуын салыстырмалы талдау*
- ә) *Келесі ұрпақ үшін қарастырылатын мәселелер*
- б) *5G-дегі қызмет көрсету сапасы (QoS)*
- в) *5G ұялы ядросы*
- г) *SDR қабылдағышымен 5G-де ультра төмен кідіріс алу.*

Графикалық материалдар тізімі: 12 слайдпен көрсетілген

Ұсынылатын негізгі әдебиет: 1) T. S. Rappaport, W. Roh, and K. Cheun, “Wireless engineers long considered high frequencies worthless for cellular systems. They couldn’t be more wrong,” IEEE Spectr., vol. 51, no. 9, pp. 34–58, Sep. 2014. 2) H. Holma, A. Toskala, and T. Nakamura, “5G technology: 3GPP new radio,” Wiley, Dec. 2019. 3) Newsletter of the MIC, Japan, “Announcement of the Local 5G implementation guidelines – Institutional development for Local



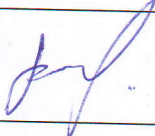


5G implementation,” Dec. 2019. 4) Government of Japan, “The 5th Science and Technology Basic Plan,” Jan. 2016. 5) H. Sasaki, D. Lee, H. Fukumoto, Y. Yagi, T. Kaho, H. Shiba, and T. Shimizu, “Experiment on over-100-Gbps wireless transmission with OAM-MIMO multiplexing system in 28-GHz band,” IEEE GLOBECOM2018, Dec. 2018.

магистрлік диссертацияны дайындау  
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
5G дамуын салыстырмалы талдау	5.12.2022-20.01.2023	орындалды
5G архитектурасы және параметрлері	20.01.2023-25.03.2023	орындалды
SDR қабылдағышымен 5G-де ультра төмен кідіріс алу	25.03.2023 – 26.05.2023	орындалды

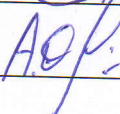
Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қатысты бөлімдердегі диссертациялар кеңесшілері мен норма бақылаушысының қойған қолдары

Бөлімдердің атаулары	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диссертация жұмысының тақырыбын талдау	Тайсариева К.Н., ЭТЖҒТ каф. аға оқытушысы, PhD докторы	25.11.2022 ж.	
Теориялық ақпарат	Тайсариева К.Н., ЭТЖҒТ каф. аға оқытушысы, PhD докторы	24.01.2023 ж.	
Норма бақылау	Досбаев Жандос., ЭТЖҒТ каф. оқытушысы, PhD докторы	01.06.2023 ж.	

Ғылыми жетекші

 \_\_\_\_\_ Қ.Н. Тайсариева

Магистрант тапсырманы орындауға алды

 \_\_\_\_\_ А.А. Оспанова

Күні

« 10 » 12 2022 ж

## **АНДАТПА**

Бұл диссертация 5G желісінің қолданбалы параметрлеріне, сонын ішінде ультра төмен кідіріс пен энергия тиімділігін талдауға арналды. Сонымен қатар, 5G архитектурасы мен өнімділік қызметін арттыратын қызмет көрсету сапасына (QoS) шолу жасалынды. Тәжірибелік жұмыс SDR радиоқабылдағыш көмегімен 5G кідіріс мәндері анықталды.

## **АННОТАЦИЯ**

Данная диссертационная работа посвящена прикладным параметрам сетей 5G, включая анализ сверхнизкой задержки и энергоэффективности. Кроме того, для повышения производительности был проведен обзор архитектуры 5G и качества обслуживания (QoS). Экспериментальные значения задержки 5G определялись с помощью радиоприемника SDR.

## **ANNOTATION**

This dissertation is devoted to the application parameters of 5G networks, including the analysis of ultra-low latency and energy efficiency. In addition, a review of the 5G architecture and quality of service (QoS) was conducted to improve performance. Experimental 5G latency values were determined using an SDR radio receiver.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	6
1 5G Дамуын салыстырмалы талдау	7
1.1 Ұялы байланыстағы технологиялардың дамуы	7
1.2 5G-ге қойылған мәселелер	10
1.3 6G үшін қарастырылатын мәселелер	12
1.4 Әлеуметтік мәселелерді шешу	14
1.5 Адамдар мен заттар арасындағы байланыс	14
1.6 Киберфизикалық синтездің күрделілігі	15
1.7 Сымсыз тарату технологияларын одан әрі жетілдіру	17
1.8 Жаңа желі топологиясы	18
1.9 Айнымалы сымсыз технологиялардың кеңейтілген интеграциясы	20
1.10 Мобильді желінің барлық жерінде көп функциялы және AI	21
2 5G архитектурасы және қолданбалы параметрлері	22
2.1 5G ұялы ядросы	22
2.2 Жиіліктерді кеңейту және спектрді пайдалануды жақсарту	26
2.3 Қызмет көрсету сапасы (QoS)	27
2.4 5G-дегі жаппай MIMO технологиясы	31
2.5 Спектр тиімділігі (SE)	35
2.6 5G-ге қатысты ультра төмен кідіріс	38
2.7 Энергия тиімділігі	41
3 SDR қабылдағышымен 5G-де ультра төмен кідірісті алу	44
Қорытынды	55
Қысқартылған сөздер	56
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	59

## КІРІСПЕ

Смарт құрылғылардың танымалдығы артып келе жатқандықтан, қазіргі уақытта IP негізіндегі барлық төртінші буын LTE желілері күнделікті өмірдің бір бөлігіне айналды. Нәтижесінде мобильді бейнеконференциялар, ағынды бейнелер, электрондық денсаулық сақтау және онлайн ойындар сияқты пайдаланушыға арналған мобильді мультимедиялық қосымшалар жиынтығы пайда болады.

Сымсыз желілердің соңғы статистикасы әлемдік мобильді трафик шамамен 70%-ға өскенін көрсетеді [1]. 2014 жылы смартфондардың тек 26%-ы мобильді деректер трафиінің жалпы көлемінің 88%-на жауап береді [1]. 2020 жылғы есеппен орташа мобильді пайдаланушы жыл сайын шамамен 1 терабайт деректерді жүктейді [2]. Деректер мен қосылымдарды пайдаланудың осындай үлкен және жылдам өсуін қолдау қазіргі заманғы 4G LTE ұялы байланыс жүйелерінде өте қиын жүктеме болып табылады. 4G ұялы байланыс технологиялары әуе интерфейсінде 10 мс кідіріс жасағанымен, пайдаланушы бүгінгі күні 30-50 мс диапазонында жалпы ұялы желілердің көпшілігінде кідіріске ұшырайды.

5G ультра төмен кідіріс байланысын қамтамасыз етуге және өте жоғары гигабиттік жылдамдықпен деректерді сенімді тасымалдауға бағытталған. 5G екі жаққа да 1 мс-тан аз беру кідірісін қамтамасыз ете алады. Алдыңғы мобильді желілерде (негізінен 3G және 4G) қауіпсіздік шешімдері көптеген аспектілер мен ықтимал шабуылдарды қамтығанымен, олардың негізгі бағыты аутентификация және тұтастық шешімдеріне бағытталған. Бұл талдау 5G желілері үшін әлі де маңызды және өзекті, бірақ жаңа факторларды ескерген: Қызмет көрсету сапасына (QoS) өте қатаң талаптарға кепілдік беру керек. 5G өнімділік қызметі кеңейтілген мобильді кең жолақты байланыс (eMBB), массивтік машина түріндегі байланыс (mMTC) және өте сенімді төмен кідіріспен байланыс (URLLC) болып үш санатқа бөлінеді.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты: 5G желісіндегі негізгі қолданбалы параметрлерді зерттеу, математикалық модельдерін құру және алынған математикалық модельдердің тәжірибемен сәйкестігін тексеру.

Тақырыптың өзектілігі: Деректер мен қосылымдарды пайдаланудың жылдам өсуінен 4G LTE ұялы байланыс жүйелеріне өте қиын жүктеме түсіреді. Демек, басты міндет-пайдаланушылардың өткізу қабілеттілігі мен мобильді кең жолақты трафиктің экспоненциалды өсуін қанағаттандыру болып табылады.

Жұмыстың жаңашылдығы: Мобильді желілерде қызмет көрсету сапасына (QoS) өте қатаң талаптарға кепілдік беруі және 5G қызметтері (URLLC, eMBB және mMTC) желідегі ресурстардың көп бөлігін тұтынуы.

## **1 5G Дамуын салыстырмалы талдау**

### **1.1 Ұялы байланыстағы технологиялардың дамуы**

Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation (NTT) 1979 жылдың желтоқсанында әлемдегі алғашқы ұялы байланыс қызметін бастағаннан бері ұялы байланыс технологиясы әр онжылдықта дамып, жаңа буын жүйелеріне қарай дамып келеді.

- 1G: Аналогтық ұялы желілер: Бірінші буын ұялы телефондарын алдыңғы ұрпақтан ерекшелендіретін негізгі технологиялық даму бірнеше ұялы сайттарды пайдалану және сөйлесу кезінде пайдаланушы ұяшықтар арасында саяхаттаған кезде қоңырауларды бір сайттан келесі сайтқа ауыстыру мүмкіндігі болды. Бірінші коммерциялық автоматтандырылған ұялы желі (1G ұрпақтары) Жапонияда 1979 жылы NTT арқылы іске қосылды. Орталықтан басқарылатын базалық станцияларды пайдаланатын заманауи коммерциялық ұялы технологияны әзірледі. Ұяшық орындары ұяшықтар ішінара қабаттасатындай етіп орнатылады. Ұялы жүйеде базалық станция (ұяшық сайты) мен терминал (телефон) арасындағы сигнал екеуінің арасында жету үшін жеткілікті күшті болуы керек, сондықтан бір арнаны әртүрлі ұяшықтардағы бөлек сөйлесулер үшін бір уақытта пайдалануға болады. Жүйе кеңейіп, сыйымдылыққа жақындаған сайын, беру қуатын азайту мүмкіндігі жаңа ұяшықтарды қосуға мүмкіндік берді, нәтижесінде ұяшықтар көбірек, кішірек және осылайша сыйымдылық артады.

- 2G: Сандық желілер: 1990 жылдары «екінші буын» (2G) ұялы телефон жүйелері пайда болды, ең алдымен GSM стандарты қолданылады. Бұл 2G телефон жүйелері алдыңғы буыннан аналогтық таратудың орнына цифрлық берілістерді қолдануымен, сондай-ақ жетілдірілген және жылдам телефоннан желіге сигнализацияны енгізумен ерекшеленді. 2G нәтижесінде ұялы телефонды пайдаланудың өсуі жарылыс болды және бұл дәуір де алдын ала төленген ұялы телефондардың пайда болуын көрді. Екінші буын коммуникацияның жаңа нұсқасын енгізді, себебі SMS мәтіндік хабар алмасу бастапқыда GSM желілерінде және соңында барлық цифрлық желілерде мүмкін болды. Көп ұзамай SMS жастардың басымдылықпен сөйлесу әдісіне айналды. Бүгінгі таңда көптеген озық нарықтарда көпшілік дауыстық қоңырау шалудан гөрі мәтіндік хабарламаларды жіберуді жөн көреді. Сандық сигналдар батарея қуатын аз тұтынуды қажет етеді, сондықтан мобильді батареялардың ұзақ қызмет етуіне көмектеседі. Сандық кодтау дауыстың анықтығын жақсартады және желідегі шуды азайтады. Сандық сигналдар қоршаған ортаға зиянсыз деп саналады. Сандық шифрлау деректер мен дауыстық қоңыраулардың құпиялылығы мен қауіпсіздігін қамтамасыз етті. 2G технологиясын пайдалану ұялы телефондардың дұрыс жұмыс істеуіне көмектесетін күшті цифрлық сигналдарды қажет етеді.

GPRS (General Packet Radio Service) технологиясын пайдаланатын «2.5G» — оның алдындағы 2G және оның мұрагері 3G арасында жасалған ұялы сымсыз технология болып табылады. GPRS 56 кбит/с-тен 115 кбит/с дейінгі деректер жылдамдығын қамтамасыз ете алады. Оны Wireless Application Protocol (WAP) қатынасы, Мультимедиялық хабар алмасу қызметі (MMS) сияқты қызметтер үшін және электрондық пошта және World Wide Web қатынасы сияқты Интернет байланыс қызметтері үшін пайдалануға болады.

- 3G: жоғары жылдамдықты IP деректер желілері: 3G технологиясын 2G технологиясынан ерекшелендіретін негізгі технологиялық айырмашылық деректерді беру үшін тізбекті ауыстырудан гөрі пакеттік коммутацияны пайдалану болып табылады. 3G технологиясының жоғары қосылу жылдамдығы саладағы трансформацияға мүмкіндік берді: алғаш рет радио және тіпті теледидар мазмұнын 3G телефондарына медиа ағыны мүмкін болды.

2000 жылдардың ортасында 3G технологиясының эволюциясы жүзеге асырыла бастады, атап айтқанда, HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access). Бұл жоғары жылдамдықты пакеттік қолжетімділік (HSPA) отбасындағы жетілдірілген 3Gmobile телефония байланыс протоколы, сонымен қатар әмбебап мобильді телекоммуникация жүйесіне (UMTS) негізделген желілерге деректерді беру жылдамдығы мен сыйымдылығының жоғары болуына мүмкіндік беретін 3.5G, 3G+ немесе турбо 3G болып табылады. . Ағымдағы HSDPA орналастырулары 1,8, 3,6, 7,2 және 14,0 Мбит/с төмен сілтеме жылдамдығын қолдайды. Жылдамдықты одан әрі ұлғайту HSPA+ көмегімен қол жетімді, ол 3GPP стандарттарының 42 Мбит/с төмен және 84 Мбит/с 9 шығарылымымен жылдамдықты қамтамасыз етеді.

- 4G: Мобильді кең жолақты байланыстың өсуі: Сала деректерге оңтайландырылған 4-буын бұл жылдамдықты қолданыстағы 3G технологияларына қарағанда 10 есеге дейін қызметін атқарады. Бұл негізінен 3G технологиясындағы өткізу қабілеттілігі мен 3G қызметтерін ұсынатын кеңейтім болып табылады. 4G технологиясының күтілетіні негізінен Интернет протоколы арқылы жоғары сапалы аудио/бейне ағыны болып табылады. 4G ретінде есептелген алғашқы екі коммерциялық қолжетімді технология WiMAX стандарты және LTE стандарты болды. 4G-нің 3G-ден технологиялық жағынан ерекшеленуінің негізгі жолдарының бірі оның орнына толық IP желісін пайдалану арқылы тізбекті ауыстыруды жою болды. Осылайша, 4G VoIP арқылы интернеттен, LAN немесе WAN желілерін пакеттік коммутациялау арқылы ағынды аудио медианың кез келген басқа түрі сияқты дауыстық қоңырауларды өңдеуді бастады. 4G LTE деректерді беру жылдамдығы ең жоғары жүктеуге 100 Мбит/с, жүктеп салудың ең жоғары жылдамдығы 50 Мбит/с жетеді, WiMAX 128 Мбит/с төмен және 56 Мбит/с жоғары деректерді беру жылдамдығын ұсынады.

Ұялы байланыстың дамуын қысқаша түсіндіргенде, бірінші ұрпақтан (1G) екінші ұрпаққа (2G) дейін дауыстық қоңыраулар негізгі байланыс



құралы болды, қарапайым электрондық пошта мүмкін болды. Дегенмен, үшінші буыннан (3G) «i-mode» сияқты деректер байланысы және фотосуреттер, музыка және бейне сияқты мультимедиялық ақпарат мобильді құрылғылар арқылы байланысуы мүмкін. Төртінші буыннан (4G) смартфондар Long Term Evolution (LTE) көмегімен 100 Мбит/с асатын жоғары жылдамдықты байланыс технологиясы арқылы кеңінен танымал болды және көптеген мультимедиялық байланыс қызметтері пайда болды. 4G технологиясы LTE-Advanced түрінде дамуын жалғастыруда және қазір 1 Гбит/с-қа жуық максималды байланыс жылдамдығына жетті. NTT DOCOMO 2020 жылдың көктемінде технологиялық жағынан жетілдірілген жүйе болып табылатын бесінші буын (5G) ұялы байланыс жүйесіне негізделген қызметтерді бастауды жоспарлап отыр [3]. 5G болашақты қолдайтын негізгі технология ретінде жаңа құндылық береді деп күтілуде. Өнеркәсіп пен қоғам, жасанды интеллект (AI) және заттар интернеті (IoT), сондай-ақ жоғары жылдамдық, жоғары сыйымдылық, төмен кідіріс және жаппай қосылу сияқты техникалық мүмкіндіктері бар мультимедиялық байланыс қызметтерін одан әрі жаңартулар енгізілуде. 1.1-суретте көрсетілгендей, ұялы байланыс жүйесі техникалық жағынан әр онжылдықта дамып келеді, ал ұялы байланыс қызметтері шамамен 20 жыл циклдерінде айтарлықтай өзгерді. Сондықтан, 5G бастаған «Үшінші толқын» 5G эволюциясы және алтыншы буын (6G) технологиясы арқылы үлкен толқынға айналады және 2030 жылдары өнеркәсіп пен қоғамға қолдау көрсетеді деп күтілуде.



1.1-сурет – Ұялы байланыстағы технологиялар мен қызметтердің эволюциясы

## 1.2 5G-ге қойылған мәселелер

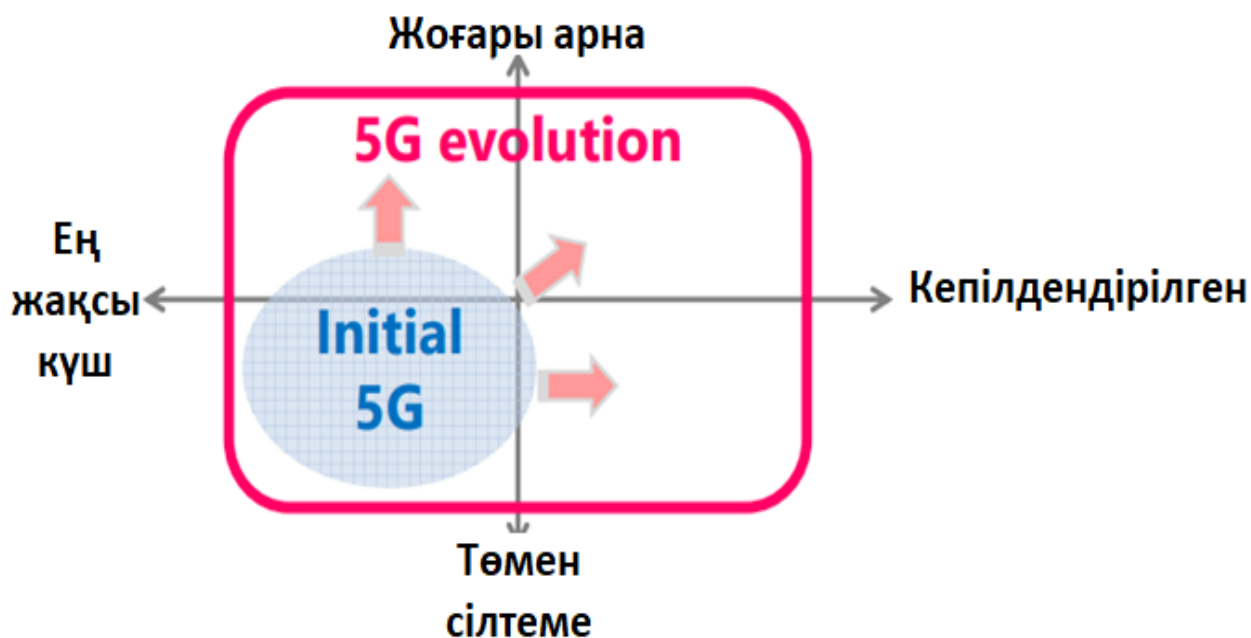
Бүкіл әлемде 5G коммерциялық енгізу басталды. NTT DOCOMO 5G алдын ала қызметін 2019 жылдың қыркүйегінде бастады және 5G коммерциялық қызметін 2020 жылдың көктемінде жоспар бойынша бастады. 5G-де өзектілендіруді қажет ететін кейбір техникалық мәселелер мен одан әрі күтулер қазірдің өзінде табылды, сонымен қатар 5G жүйесінде одан әрі технологиялық жақсартулар бар. 1.2-суретте 5G алдында тұрған ағымдағы техникалық қиындықтар көрсетілген. 5G – 10 ГГц-тен асатын миллиметрлік толқын диапазоны сияқты жоғары жиілікті жолақтарды қолдайтын бірінші буын мобильді байланыс жүйесі және ол секундына бірнеше гигабит болатын ультра жоғары жылдамдықты сымсыз деректер байланысын бірнеше жиілік өткізу жолағын пайдалана отырып жүзеге асыратын технология. 100 мегагерц, бұл бұрын қол жеткізілгеннен айтарлықтай кең. Дегенмен, ұялы байланыстағы миллиметрлік толқын технологиясын болашақта жетілдіруге көп орын бар. Атап айтқанда, көзге көрінбейтін (NLOS) орталардағы қамтуды және жоғары байланыс өнімділігін жақсарту 5G-ге қатысты сынақтардан көрінетін мәселелер болып табылады. 5G болашақ индустрия мен қоғамды қолдайтын технология ретінде көпшіліктің назарын аударды, әсіресе өнеркәсіптік пайдалану жағдайларында арнайы талаптар мен жоғары өнімділік жиі талап етіледі [4]. Болашақта 5G технологиясын одан әрі жетілдіру өнеркәсіптік пайдалану жағдайларында осындай кең талаптарға икемді сәйкес келу үшін қажет болады.



1.2-сурет – 5G нақты мәселелері бойынша техникалық қиындықтар

Бастапқы 5G-де, яғни NR Release 15, 3GPP стандартталған радиотехнологиялары кеңейтілген мобильді кең жолақты (eMBB) және өте сенімді және кідіріссіз байланыстардың (URLLC) бөлігіне бағытталған. LTE-дегі сияқты, төмен байланыс деректерінің жылдамдығына назар аударатын ең тиімді қызметтер негізінен өзекті болды. 5G эволюциясы жағдайында, 1.3-суретте көрсетілгендей, өнеркәсіптік қолданбалар үшін жоғары сенімді радиотехнологияны ілгерілету бағыты жоғары байланыс өнімділігін жақсарту кезінде қарастырылады. Атап айтқанда, сурет деректерінің үлкен көлемін жүктеп салу болжанатын және қызметте кепілдік берілген деректер жылдамдығы талап етілетін кейбір салалық жағдайлар бар. Ал жоғары байланыс жақсартулары мен өнімділікке кепілдік беру технологиясы жалпы пайдаланушылар үшін байланыс қызметінен маңыздырақ болып табылады.

Қазіргі уақытта үлкен деректер мен AI-ның танымал болуымен киберфизикалық синтезге қызығушылық арта түсті [5]. 1.4-суретте көрсетілгендей, AI киберкеңістікте нақты әлемді жаңғыртады және оны нақты әлемнің шектеулерінен тыс еліктейді, осылайша «болашақ болжамы» мен «жаңа білім» ашылуы мүмкін. Оны нақты әлемдегі қызметтерде пайдалану арқылы әлеуметтік мәселелерді шешу сияқты әртүрлі құндылықтар мен шешімдерді ұсынуға болады. Бұл кибер-физикалық біріктірудегі сымсыз байланыстың рөлі жоғары сенімділік пен төмен кідіріспен басқару сигнализациясы арқылы шынайы әлем кескіндерін және сезіну ақпаратын жоғары сыйымдылықты және төмен кідіріспен беруді және нақты әлемге кері байланысты қамтиды деп болжанады.



1.3-сурет – 5G эволюциясына өнімділікті арттыру бағыты

Адамның ұқсастығын қарастырғанда, киберфизикалық біріктірудегі радиобайланыстар ми, яғни жасанды интеллект және әрбір орган, яғни көздер

мен аяқ-қолдар сияқты құрылғы арасындағы ақпаратты тарататын жүйе жүйесінің рөліне сәйкес келеді. Осылайша, жоғары байланысқа сәйкес келетін миға түсетін ақпарат саны басым түрде артады деп елестету оңай. Сондықтан 1.4-суретте көрсетілген өнімділікті жақсарту бағыты осы жағдайға жарамды деп саналады.



1.4-сурет – Киберфизикалық синтез және сымсыз байланыс

### 1.3 6G үшін қарастырылатын мәселелер

Талаптарды зерттеу үшін 6G қолдану жағдайларын, технологиялық эволюцияны, қоғамды және 2030 жылдардағы 6G енгізілетін дүниетанымды зерттелуі қажет. 5G-де күтілетін пайдалану жағдайлары мен проблемалық шешімдер негізінен 2020-шы жылдары өзектелінді және сол жерден кеңейді. 2030 жылдары одан әрі дамудың бір түрі ретінде кеңірек және тереңірек диффузия қажет болады деп саналады. Бұған қоса, сигналдарды өңдеуді жеделдету және әртүрлі құрылғылардың эволюциясы сияқты жетілдірілген қызметтерге, бірнеше пайдалану жағдайларын біріктіруге және жаңа пайдалану жағдайларына қажеттілік болады.

5G орналастыруларында әлі толық аяқталуын ескере отырып, неге 6G қажет деген сұрақ туындауы мүмкін. Оның негізгі бағыты адам, машина және қоршаған орта түйіндері арасында көпір салу арқылы 4-ші өнеркәсіптік революцияны қолдау болып табылады. 5G-ден асып түсумен қатар, 6G



машиналық оқыту (ML) және жасанды интеллект (AI) арқылы байланыстырылған құрылғылар үшін жаңа буын сымсыз байланыс желілерін құру үшін бірқатар бірегей мүмкіндіктерге ие болады. Бұл смартфондар мен мобильді желі қолданушыларына қоса, ақылды қалалар, жүргізушісіз көліктер, виртуалды шындық және толықтырылған шындық сияқты дамып келе жатқан технологияларға да пайда әкеледі.

Ол үлкен деректерді талдаумен терең оқыту сияқты әртүрлі технологияларды біріктіреді және өзара байланыстырады. 6G және өнімділігі жоғары есептеулер (HPC) арасындағы елеулі корреляция байқалды. Кейбір IoT және мобильді деректер шеткі есептеу ресурстары арқылы өңделуі мүмкін болғанымен, оның негізгі бөлігі әлдеқайда орталықтандырылған HPC сыйымдылығын қажет етеді, бұл 6G-ді маңызды құрамдас етеді.



1.5-сурет – 6G дәуіріндегі дүниетаным бейнесі

## **1.4 Әлеуметтік мәселелерді шешу**

Елімізде 5G-де күтілетін көптеген әлеуметтік мәселелер мен қажеттіліктер 2025 жылдары шешіледі деп күтілуде. Аймақтық құру, туу, картаю деңгейінің төмендігі сияқты әлеуметтік мәселелерді шешу үшін қашықтан жұмыс істеу, қашықтан басқару, телемедицина, жұмыс күші тапшылығы, қашықтықтан білім беру және әртүрлі жабдықтарды, соның ішінде автомобильдерді автономды басқару сияқты әртүрлі шешімдер жоғары жылдамдықты және аз кідіріспен байланыс желілерімен қамтамасыз етіледі деп күтілуде. 2030 жылдардағы шешімдерді одан әрі танымал ету және жетілдірілген хат алмасу мәселені толық шешуді және дамытуды талап етеді. Әлем барлық адамдарға, ақпаратқа және тауарларға кез келген жерде өте шынайы тәжірибеде қол жеткізуге болатын және жұмыс орны мен уақытының шектеулері толығымен жойылатын орынға айналады деп күтілуде. Бұл ауыл мен қала арасындағы әлеуметтік және мәдени айырмашылықтарды күрт жояды, адамдардың қалада шоғырлануын болдырмайды және жергілікті дамуға ықпал етеді. Бұл сонымен қатар адамдардың өмірін стресстен арылтады.

## **1.5 Адамдар мен заттар арасындағы байланыс**

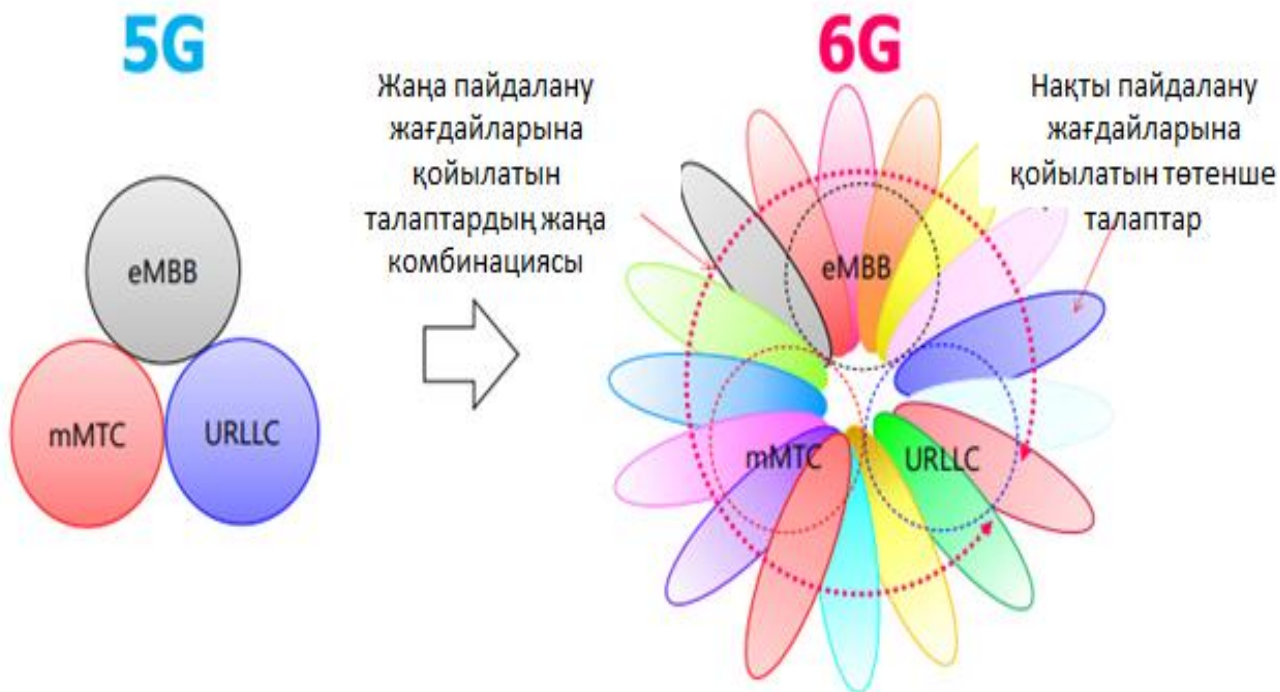
XR (VR, AR, MR) құрылғыларын қоса алғанда, киетін құрылғылардың жетілдірілген функциялары, 8K-ден асатын жоғары ажыратымдылықтағы кескіндер мен голограммалар және тактильді сезімді қоса алғанда, жаңа бес сезім байланыстары көбейеді және адамдар, адамдар мен заттар арасындағы байланыс өте шынайы болады. Нәтижесінде инновациялық ойын-сауық қызметтері мен ойын, спортты көру және т.б. бойынша кәсіпорын қызметтері уақыт пен орын шектеусіз көрсетіледі. IoT қызметтерін жылдам танымал ету және дамыту арқылы заттардың коммуникацияларына сұраныс өте үлкен болады. Байланыс үшін адам мүмкіндігінен әлдеқайда асатын жоғары жылдамдық пен төмен кідіріс өнімділігі қажет болады, өйткені жоғары ажыратымдылықтағы кескіндерді қоса алғанда, үлкен деректерді өңдеу және өте төмен кідіріспен жабдықты басқару машиналар арқылы жүзеге асырылады.

Байланыс қазір бізді қоршаған ауа сияқты барлық жерде және электр мен су сияқты өмірлік маңызды. Сондықтан пайдаланушыларға байланыс параметрлері мен байланыс қызметінің аймағын білу қажет емес. Адамдар мен заттардың әрекет ету аймағының кеңеюімен барлық жерде коммуникациялық орта қажет болады. Биік ғимараттар, дрондар, ұшатын машиналар, ұшақтар, тіпті ғарыш кеңістігі табиғи белсенділік аймағы болады, тек жер ғана емес, аспан мен ғарыш та таптырмас коммуникация алаңдары болады. Теңіздегі және теңіз астындағы коммуникациялық аймақтарға қажеттілік артып келеді. Әртүрлі сенсорлық желілердің,

ұшқышсыз зауыттардың және ұшқышсыз құрылыс алаңдарының қажеттіліктеріне байланысты адамсыз ортада байланыс аймағын салу қажет. Нәтижесінде жердегі, аспандағы, теңіздегі әрбір жер коммуникация аймағына айналады.

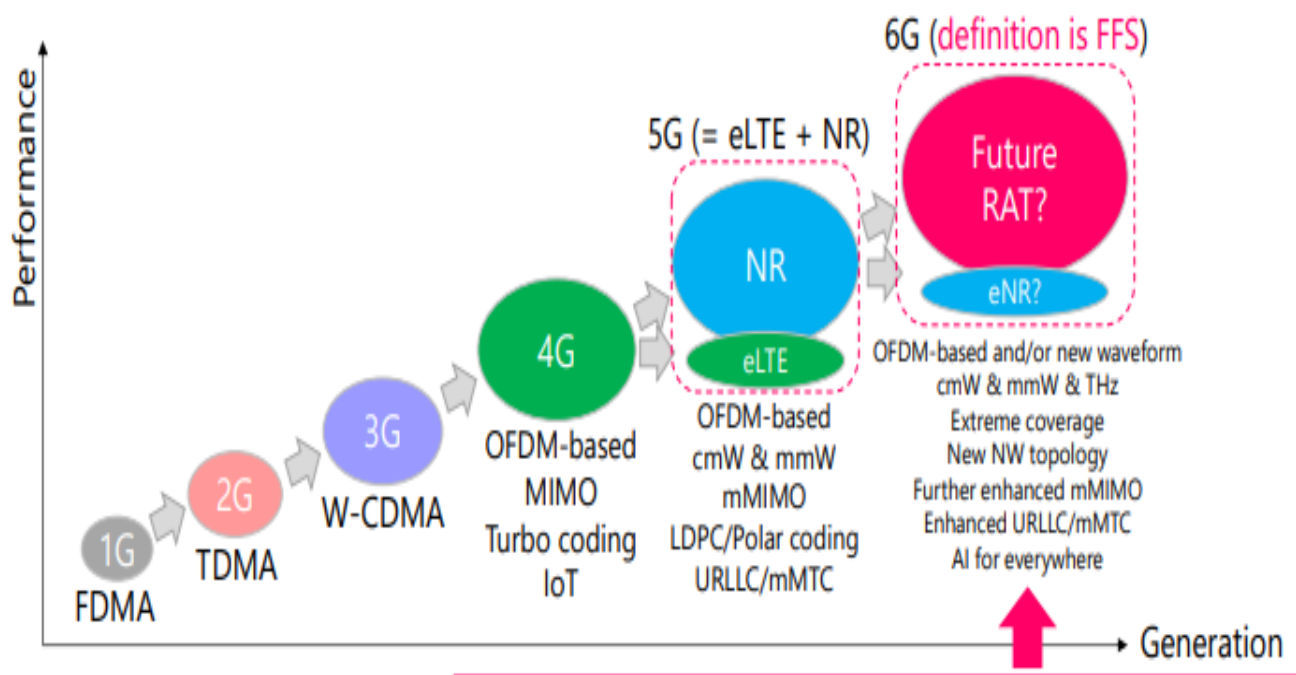
## 1.6 Киберфизикалық синтездің күрделілігі

Киберфизикалық синтезді пайдаланатын көптеген қызметтер 2020 жылдары жасалына бастады және олар іс жүзінде барлық орталарда пайдаланылады, бірақ 2030 жылдары жетілдірілген киберфизикалық біріктіру қажет болады. Киберкеңістік пен физикалық кеңістік арасындағы үлкен көлемдегі ақпаратты кідіріссіз беру және өңдеу арқылы екі кеңістік арасындағы тығыз ынтымақтастыққа қол жеткізіледі және сайып келгенде, кеңістіктер арасындағы алшақтықсыз біріктіру өзекті болады. Адамдар үшін киберкеңістік адам денесіне орнатылған киетін құрылғылар мен микроқұрылғылар арқылы нақты уақытта адамның ойы мен әрекетін қолдауға мүмкіндік береді. Көліктер, құрылыс машиналары, станоктар, бақылау камералары және әртүрлі сенсорлар сияқты көлік құралдарының барлық түрлері киберкеңістікте байланыстырылады. Олар қауіпсіздік пен қауіпсіздікті, әлеуметтік мәселелерді шешуді және адамдардың бай өмірін қолдайды.



1.6-сурет – 6G-ге қарай технологиялық дамудың бейнесі

1.6-суретте жоғарыда аталған тұжырымдаманы жүзеге асыру үшін 6G-ге қарай технологиялық дамудың бейнесі көрсетілген. Болашақта тіпті 5G қол жеткізе алмайтын экстремалды өнімділікті талап ететін пайдалану жағдайлары, сондай-ақ 5G үш санатына жатпайтын талаптардың жаңа комбинациялары болады: eMBB, URLLC және массивтік машина түріндегі байланыс (mMTC).



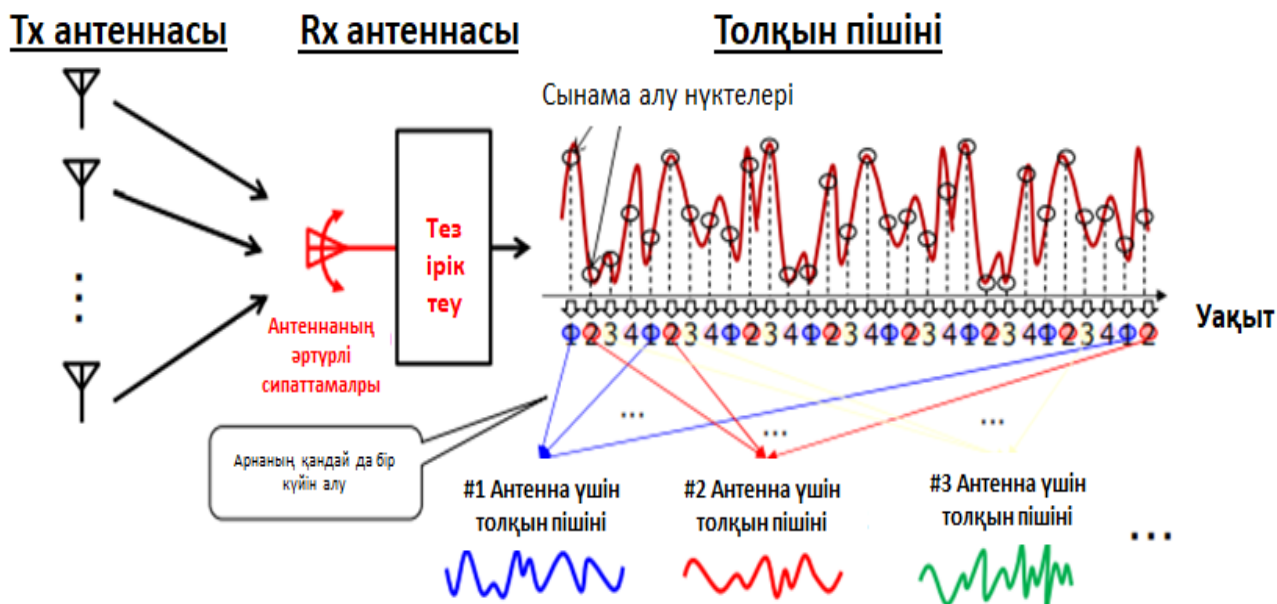
1.7-сурет – Өткен ұялы байланыстың ұрпақтарынан 6G-ге дейінгі технологиялық эволюция

1.7-суретте өткен ұялы байланыстың ұрпақтарынан 6G-ге дейінгі технологиялық эволюцияның бейнесі көрсетілген. Алдыңғы ұрпақтарда әр ұрпақта бір өкілдік технология болды. Дегенмен, 4G-ден бері радиоқабылдау технологиясы (RAT) ортогональды жиілікті бөлу мультиплексирлеуіне (OFDM) негізделген бірнеше жаңа технологиялардың комбинациясын қамтиды және 6G-де техникалық өрістер әртараптандырылады деп есептеледі. Бұл Шеннон шегіне жақын байланыс сапасына OFDM негізіндегі технология арқылы қол жеткізілгендіктен, сонымен бірге алдыңғы тарауда сипатталғандай талаптар мен пайдалану жағдайлары одан әрі кеңейтілетін болады. Сондықтан, 6G-де алдыңғы тарауда сипатталғандай жоғары деңгейлі талаптар көптеген технологияларды біріктіру арқылы қанағаттандырылады. Сонымен қатар, 6G RAT анықтамасын да нақтылау қажет. 5G және 6G эволюциясына үміткер ретінде қарастырылатын техникалық өрістер төменде сипатталған.



## 1.7 Сымсыз тарату технологияларын одан әрі жетілдіру

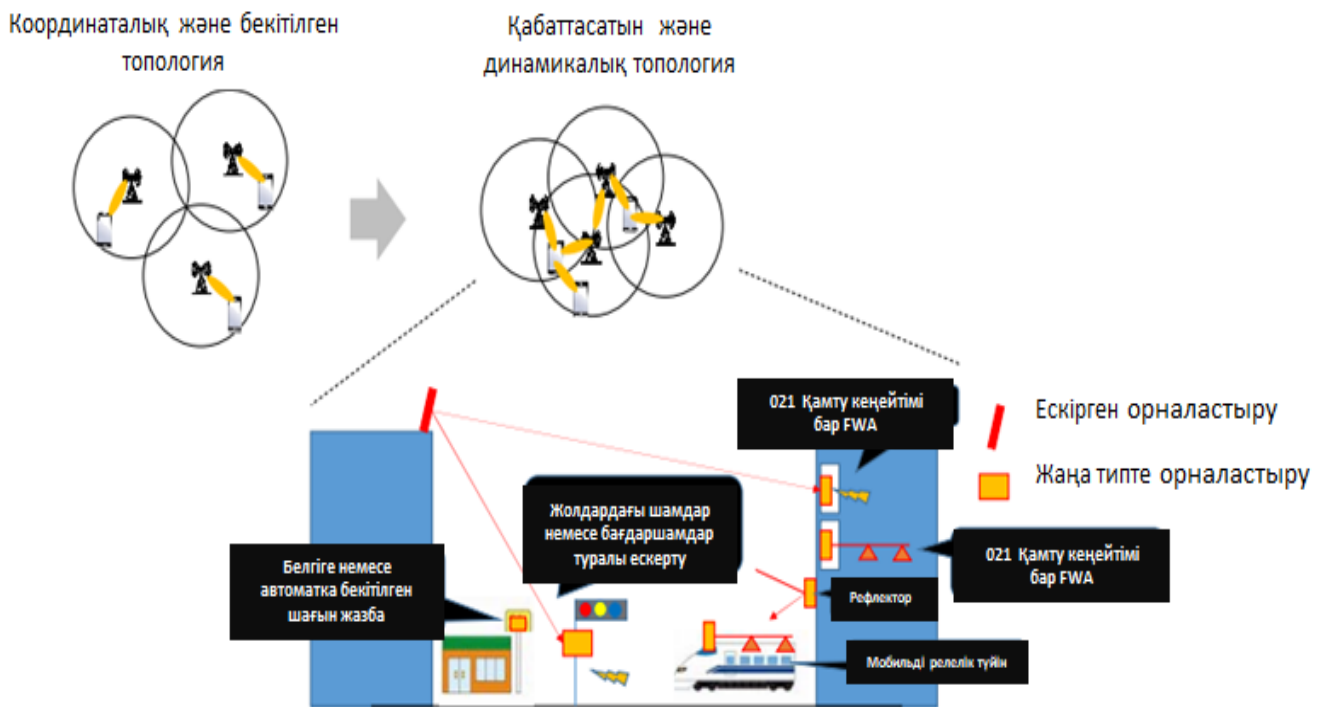
5G-де бірнеше антенна элементтерін пайдаланатын жаппай MIMO (mMIMO) технологиясы, әсіресе миллиметрлік толқындарды тиімді пайдалану технологиясы ретінде кілттердің бірі болды [3]. 5G және 6G эволюциясында антенна элементтері, қабаттары көп mMIMO сияқты одан әрі ілгерілеу күтілуде [6]. Радиоқабылдау технологиясына қатысты OFDM-негізделген технологиядағы Шеннон шегіне дерлік жетеді, Nyquist (FTN) сигнализациясынан жылдамырақ, ол сигналдарды уақыт доменіндегі жиілік өткізу жолағынан жылдамырақ таңдау жылдамдығын пайдалана отырып, ортогональды емес қысады, жібереді, және зерттеледі. Белгілі бір өткізу жолағында белгілі бір таралу жолын қарастырған кезде FTN пайдалану арқылы да Шеннон шегінен асып кету қиын, бірақ ең жоғарыдан орташа қуатқа қатынасы (PAPR) сияқты басқа факторларды қарастырғанда FTN артықшылықтар бере алады [7]. Сонымен қатар, 1.8-суретте көрсетілгендей, виртуалды массивтік (VM)-MIMO технологиясы бір антеннамен mMIMO эквивалентті кеңістіктік мультиплекстеу күшейтуге қол жеткізу технологиясы ретінде ұсынылған [8]. VM-MIMO техникасында, FTN сияқты, алынған іріктеу жылдамдығы жиілік өткізу жолағынан жылдамырақ. Антенна сипаттамалары өте жоғары жылдамдықпен және мезгіл-мезгіл виртуалды антенналардың көп санын жасау және кеңістіктік мультиплекстеу үшін қабаттар санын көбейту үшін өзгереді. Ол Шеннонның шекті шарттарымен шектелмегендіктен, нақты ортада қолданылатын шарттар мен орындылығы сияқты мәселелер сақталса да, үлкен пайда алу үшін теориялық әлеуеті бар деп саналады.



1.8-сурет – Жиілік өткізу қабілетінен жылдамырақ іріктеу жылдамдығын пайдаланатын ортогональды емес беру (мысалы, VM-MIMO)

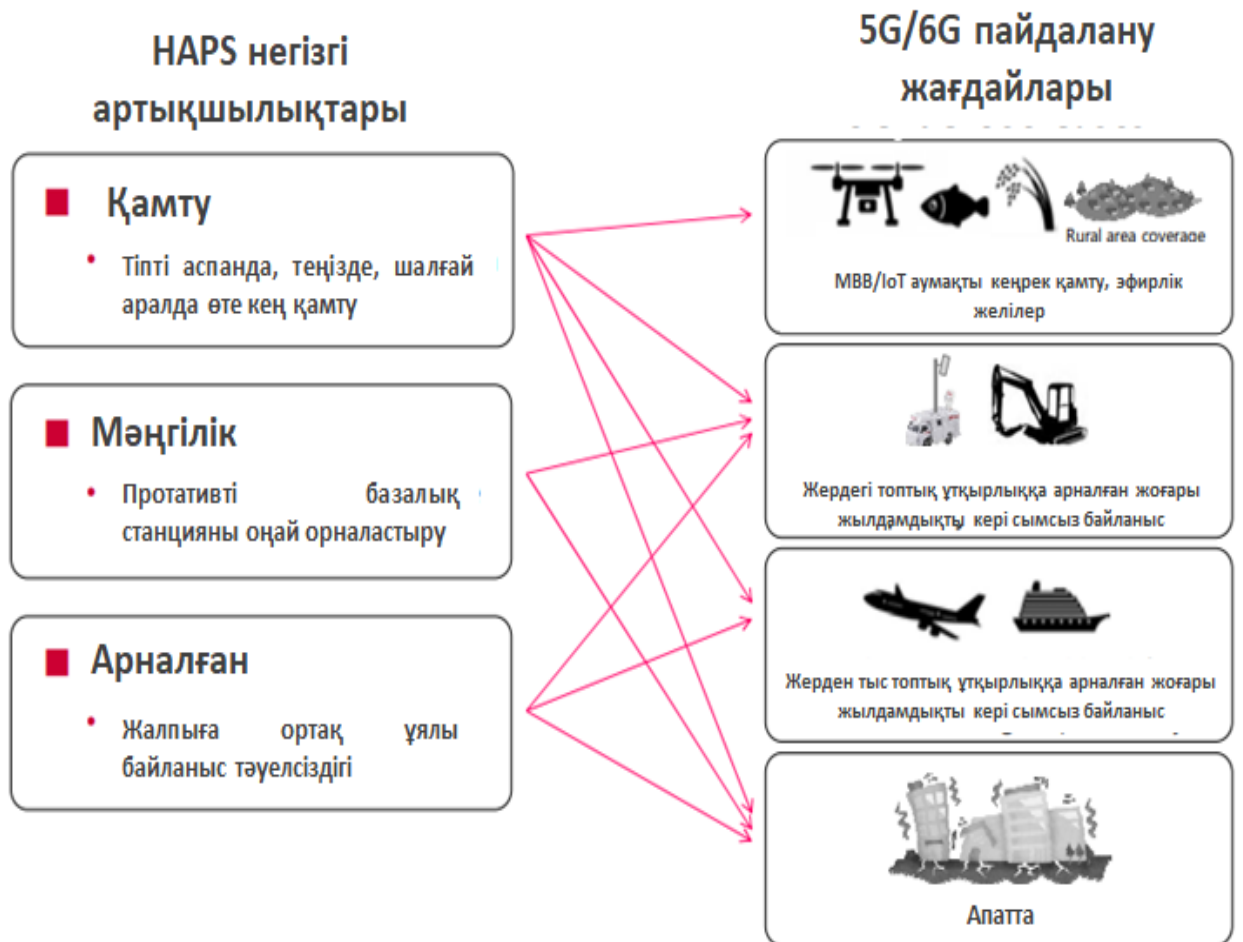
## 1.8 Жаңа желі топологиясы

Өте жоғары жылдамдықты, жоғары сыйымдылықты және сымсыз байланыстың сенімділігін жақсартуды көздейтін болсақ, мүмкіндігінше жақын қашықтықта және кедергісіз ортада байланыс орнату және жол таңдау үміткерлерін арттыру үшін мүмкіндігінше көп байланыс жолдары керек. Бұған қол жеткізу үшін кеңістік доменінде таратылатын желі топологиясы қажет. Алдыңғы ұрпақта жасушалар бір-біріне кедергі жасамайтындай етіп алтыбұрышты ұяшықтармен ұялы желіні құру өте қолайлы деп саналды; дегенмен, жолды таңдауды ұлғайту үшін 1.9-суретте көрсетілгендей ұяшықтар тұжырымдамасынан бас тарту арқылы кеңістіктік ортогональды емес бөлінген желілердің топологиясы жүргізілетін болады. Мұндай үлестірілген желінің топологиясы жоғары жиілік диапазоңдарының дамуымен, сымсыз датчиктермен және сымсыз қоректендірумен таныс болып саналады. Екінші жағынан, кәдімгі санаға сәйкес, бұл жаңа желі топологиясы жақсы желі конфигурациясы емес, өйткені ұяшық аралық кедергілер орын алады және көптеген артық антенналар орнатылған. Кедергілерді сәулені басқару және жолды таңдау арқылы техникалық түрде болдырмауға болатын сияқты, бірақ оған төмен бағамен қалай жетуге болатыны туралы негізгі мәселе қалады. Әртүрлі тәсілдер қарастырылады, бірақ шешім әдеттегі базалық станция антенналарын пайдаланбайтын болады. Шыны антенналарды [9, 10], рефлекторларды [11] пайдалану, сенсорлар мен байланыс антенналарын біріктіру, терминалдар арасындағы ынтымақтастық, терминал тәрізді базалық станциялар, жаңа оптикалық талшықты тарату және оптикалық тарату технологиясы, ол бөлінген желі топологиясын, интеграцияланған қол жеткізуді және кері тасымалдауды (IAB) қоса алғанда, алдыңғы және кері тасымалдау технологиясын кеңейтуге мүмкіндік береді. [12]. Желінің жаңа топологиясының қызметін тиімдірек және тиімді ету үшін топологияны басқару және AI-ді пайдалана отырып басқару технологиясы және т.б. маңызды элемент болады.



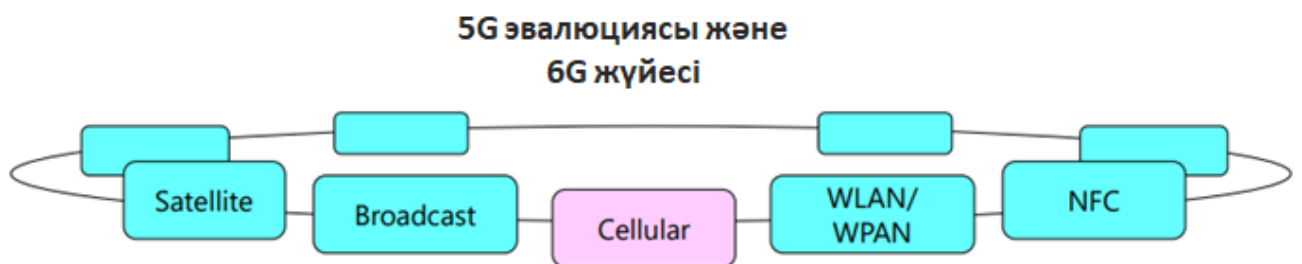
1.9-сурет – Қамту аймағын кеңейту, оның ішінде жерүсті емес желі

Дрондарға, ұшатын машиналарға, кемелерге және ғарыш станцияларына қызмет көрсету үшін қамтуды кеңейту технологиясы қажет, өйткені олардың аспан, теңіз және ғарыш сияқты қызмет көрсету аймақтары кәдімгі ұялы байланыс желілерімен толық қамтылмаған. Сондықтан жаңа желі топологиялары тік бағытты қоса алғанда үш өлшемді түрде зерттелуі керек. Бұған қоса, бірнеше ондаған километрден астам қалааралық сымсыз таратуға қол жеткізетін технология негізінен сымсыз кері байланыс және IAB қолданбасы болжамында қажет болып саналады. Өте қамтуды кеңейту кезінде геостационарлық жерсеріктерді (GEO), төмен орбиталық спутниктерді (LEO) және жоғары биіктіктегі жалған спутниктерді (HAPS) пайдалануды ескере отырып, таулы және шалғай аймақтарды, теңізді және ғарышты қамтуға және жаңа аймақтарға байланыс қызметін көрсетуді қамтиды [13]. Атап айтқанда, HAPS шамамен 20 км биіктікте бекітілген жерде орналаса алады және құрлықта ұяшық радиусы 50 км-ден асатын кең қамту аймағын құра алады. 1.10-суретте көрсетілгендей, жоғарыда аталған кең қамтудан басқа, HAPS портативті базалық станцияларды уақтылы және қарапайым түрде кері тасымалдауды қамтамасыз ету және жердегі байланыс желілерінен (қоғамдық желілер) тәуелсіздікті қамтамасыз етудің артықшылықтарына ие. HAPS тек апатқа қарсы шара ретінде ғана емес, сонымен қатар 5G және 6G эволюциясында күтілетін көптеген салалық пайдалану жағдайлары үшін тиімді болып саналады.



1.10-сурет – HAPS артықшылықтары мен қолдану жағдайлары

### 1.9 Айнымалы сымсыз технологиялардың кеңейтілген интеграциясы



1.11-сурет – Айнымалы сымсыз технологиялардың кеңейтілген интеграциясы

Ұялы байланыстың техникалық өрісі кеңірек пайдалану жағдайларын қолдау үшін кеңейтілген кезде, әртүрлі қолданыстағы қолданбаларға мамандандырылған ұялы байланыстардан басқа сымсыз технологиялармен ынтымақтастық пен интеграцияны қарастыру қажет. 5G сияқты, ынтымақтастық сымсыз LAN сияқты лицензиясыз жолақты сымсыз



байланыстармен жалғасуы керек. Сонымен қатар, су астындағы акустикалық байланыстар сияқты радиотолқындардан басқа толқындарды пайдаланатын сымсыз байланыстармен ынтымақтастық та қарастырылады [14]. Бұдан басқа, лицензиялық көмекші қол жеткізу (LAA) және кіру сілтемелері мен кері байланыстарды кешенді пайдалану, яғни IAB, ұялы байланыс жүйесіне әртүрлі сипаттамалар мен жиіліктерді пайдалана отырып, сымсыз технологияларды біріктіру тәсілі де болып табылады [15]. Бұл пайдалану жағдайларының кең ауқымын қолдайтын экожүйені құруға көмектеседі.

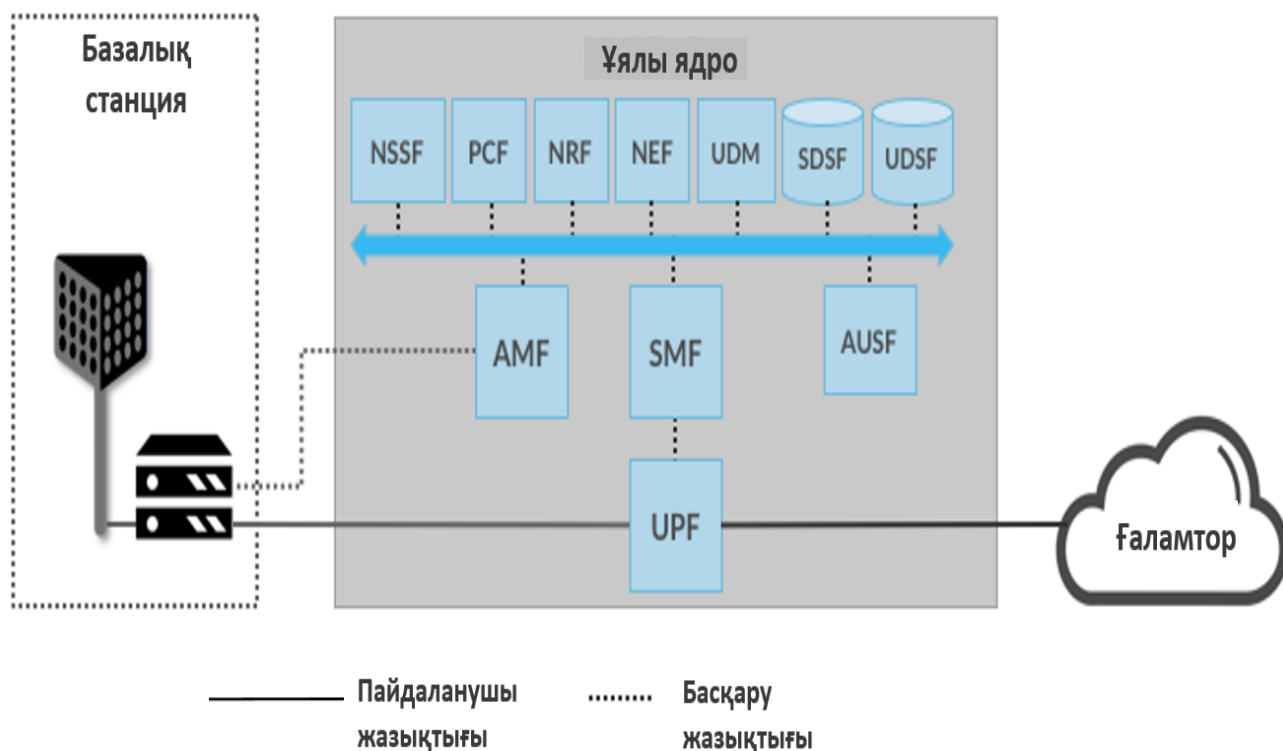
### **1.10 Мобильді желінің барлық жерінде көп функциялы және AI**

Кибер-физикалық синтезде кескіндер мен әртүрлі зондтау ақпараттары IoT құрылғылары арқылы желілерге беріледі. Сондықтан кейбір техникалық өрістер мұндай ақпаратты AI арқылы талдау және оны сәулені басқару және таралу жолын бағалау сияқты радиобайланысты басқаруды жаңартуға қолдану үшін қарастырылады. Мысалы, AI пайдалану ортогональды емес көптік қолжетімділіктің (NOMA) кідірісі мен сенімділігін арттыру үшін қарастырылады [16]. Өзгеретін ортаны болжау және тасымалдауға болатын базалық станцияларды барлық уақытта оңтайлы жерде автономды түрде ұйымдастыруды қамтамасыз етеді [17]. Ақпаратты беруден басқа әртүрлі қолданбалар үшін сымсыз байланыстың радиотолқындарын пайдалану эволюциясы да перспективалы болып табылады және позициялау, нысанды анықтау, сымсыз қуат беру технологиясы қарастырылады [20]. Атап айтқанда, миллиметрлік толқын және терагерц толқын жолақтары сияқты жоғары жиілік диапазондары жоғары жылдамдықты және жоғары сыйымдылықты байланыстар үшін ғана емес, сонымен қатар жоғары дәлдіктегі позициялау мен сезінуге қол жеткізу үшін қолайлы. Әсіресе позициялауды зерттеу тіпті 5G эволюциясында да жетілдірілген және кейбір орталарда бірнеше сантиметрлік қателікпен өте жоғары дәлдіктегі позициялауға қол жеткізуге болады деп күтілуде. Бұл жерде AI технологиясын пайдалану маңызды. Ол радиобайланыс жүйесінің барлық салаларында және болашақта радиоинтерфейстің өзін жобалауда қолданылуы мүмкін [18, 19].

## 2 5G архитектурасы және қолданбалы параметрлері

### 2.1 5G ұялы ядросы

Mobile Core-дің негізгі функциясы-мобильді абоненттердің Интернетке қосылуын, аутентификациялануын қамтамасыз ету болып табылады. Олар бақылайтын қызмет сапасы жазылым деңгейіндегі келісімдерге сәйкес келеді. Mobile Core-дің маңызды аспектісі-ол барлық абоненттердің соңғы орналасқан жерін қызмет көрсететін базалық станцияға дейін қадағалайды. 5G мобильді ядросына бұлттың микросервистік архитектураға ауысуы қатты әсер етеді. Тек дауыстық және кең жолақты қосылымды қолдаудың орнына, 5G мобильді ядросы, кідіріс пен пайдалану схемасына түбегейлі басқа талаптары бар заттардың жаппай интернетін қолдау үшін дами алады.



2.1-сурет – 5G мобильді ядросы (NG-Core)

3GPP NG-Core деп атайтын 5G мобильді ядросы микросервис тәрізді архитектураны пайдаланады. Өйткені 3GPP спецификациясы бұл бөлшектеу деңгейін сипаттағанымен, ол функционалды блоктар жиынтығын тағайындайды. Функционалды блоктар жиынтығы микросервиске негізделген жүйені жобалау кезінде қолданылатын инженерлік шешімдер жиынтығынан айтарлықтай ерекшеленеді. 2.1-суретте көрсетілген компоненттер жинағын микросервистер жиынтығы ретінде қарау жақсы жұмыс үлгісі болып табылады.

Төменде функционалды блоктар жиынтығы үш топқа бөлінеді. Бірінші топ басқару жазықтығында (CP) орындалады және EPC-де аналогы бар болады.

- AMF: қосылым мен қол жетімділікті басқаруға, ұтқырлықты басқаруға, қол жетімділіктің аутентификациясы мен авторизациясына және орналасу қызметтеріне жауап береді. Ұтқырлыққа байланысты MME EPC аспектілерін басқарады.

- SMF: әрбір UE сеансын, соның ішінде IP мекенжайын бөлу, байланысты UP функциясын таңдау, QoS басқару аспектілері және UP маршруттауды басқару аспектілерімен қамтамасыз етеді.

- PCF: саясат ережелерін басқарады, содан кейін оларды басқа CP функциялары қолданады.

- UDM: аутентификация үшін тіркелгін деректерін генерациялайды және пайдаланушы идентификациясын басқарады.

- AUSF: негізінен аутентификация серверінің қызметін атқарады.

Екінші топ басқару жазықтығында (CP) орындалады, бірақ EPC-де тікелей аналогы жоқ:

- SDSF: құрылымдық деректерді сақтау үшін қолданылатын көмекші қызмет болып табылады. Микросервистерге негізделген жүйеде «SQL дерекқоры» арқылы жүзеге асырылады.

- UDSF: құрылымданбаған деректерді сақтау үшін қолданылатын көмекші қызмет. Микросервистерге негізделген жүйеде «кілттер/мәндер қоймасы» арқылы жүзеге асырылады.

- NEF (Network Exposure Function): ішкі және сыртқы деректер көріністері арасындағы аударманы қоса, үшінші тарап қызметтеріне таңдау мүмкіндігін беру құралы болып табылады. «API сервері» микросервистерге негізделген жүйеде жүзеге асырылуы мүмкін.

- NRF (NF сақтау функциясы): қол жетімді қызметтерді іздеу құралы. Микросервистерге негізделген жүйеде «анықтау қызметі» арқылы жүзеге асырылады.

- NSSF: берілген UE қызметіне арналған желілік бөлімді таңдау құралы болып табылады. Желілік фрагменттер-бұл әр түрлі пайдаланушыларға көрсетілетін қызметті саралау мақсатында желілік ресурстарды бөлу тәсілі ретінде қарастырамыз. Бұл 5G-дің басты ерекшелігі болып есептеледі.

Үшінші топқа пайдаланушы жазықтығында орындалатын бір компонент кіреді:

- UPF (UI функциясы): EPC ішіндегі S/PGW комбинациясына сәйкес келетін RAN және интернет арасындағы трафикті қайта бағыттайды. Пакеттерді жіберуден басқа, ол саясатты қолдануға, заңды ұстауға, трафикті пайдалану туралы есеп беруге және қызмет көрсету сапасын бақылауға жауап береді.

Әрбір базалық станция мобильді ядроға қорғалған жеке желі арқылы сенімді қосылады. GTP/UDP/IP туннелі пайдаланушы ядросының жазықтығына (Core-UP) және SCTP/IP туннелі ядроны басқаруға жазықтығында байланыс орнатылады. Екіншіден, әрбір UE-де оператор ұсынған SIM картасы бар, ол абонентті бірегей түрде анықтайды және сол оператордың базалық станцияларымен байланысу үшін қажетті радиобайланыс параметрлерін орнатады. SIM картасы сонымен қатар UE аутентификация үшін пайдаланатын құпия кілтті қамтиды. 2.2-суретте әр құрылғының қосылу реті көрсетілген.

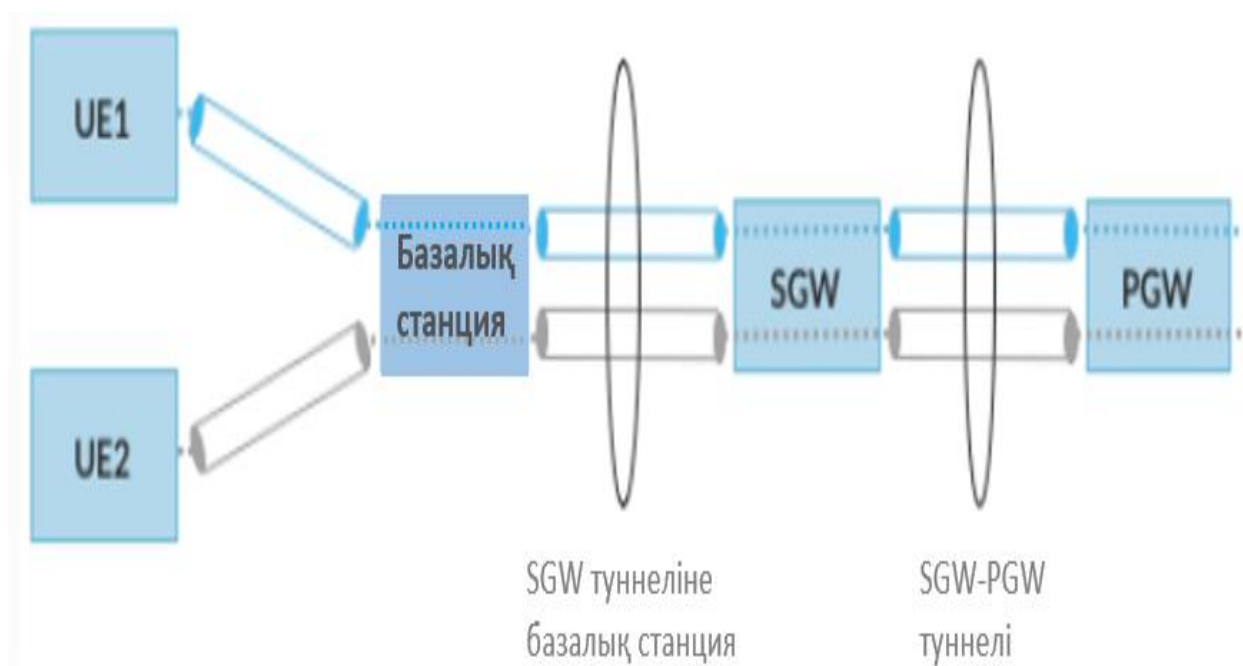


2.2-сурет – Қауіпсіз басқару арналары мен пайдаланушы интерфейсін орнатуға арналған қадамдар тізбегі

UE алғаш рет белсенді болған кезде, ол жақын жердегі базалық станциямен уақытша (аутентификацияланбаған) радио желісі арқылы байланысады (1-қадам). Базалық станция қолданыстағы туннель арқылы Core-CP сұрауын жібереді, ал Core-CP UE-мен аутентификация хаттамасын бастайды (2-қадам). 3GPP аутентификация және шифрлау опцияларының жиынтығын анықтайды, мұнда нақты протоколдар іске асыруды таңдау болып табылады. Кеңейтілген шифрлау стандарты (AES) шифрлау нұсқаларының бірі болып табылады. Бұл аутентификация алмасу бастапқыда ашық, өйткені базалық станция мен UE арасындағы байланыс әлі қорғалмаған. UE және Core-CP бір-бірін сәйкестендіруге қанағаттанғаннан кейін, Core-CP басқа компоненттерге UE қызметіне қажет параметрлер туралы хабарлайды (3-қадам). Бұған мыналар кіреді: (а) базалық станцияға пайдаланушы жазықтығын инициализациялауға нұсқау беру (UE IP



мекенжайын тағайындау және сәйкес QCI параметрін орнату); (b) базалық станцияға UE үшін шифрланған арнаны орнатуға нұсқау беру; және (c) UE симметриялы кілтін беру ол үшін базалық станциямен шифрланған арнаны пайдалану қажет болады. Симметриялық кілт ашық UE кілті арқылы шифрланады (оны тек UE өзінің құпия кілтін қолдана отырып шеше алады). Аяқтағаннан кейін UE Core-UP арқылы пайдаланушының жазықтық арнасын қолдана алады (4-қадам).

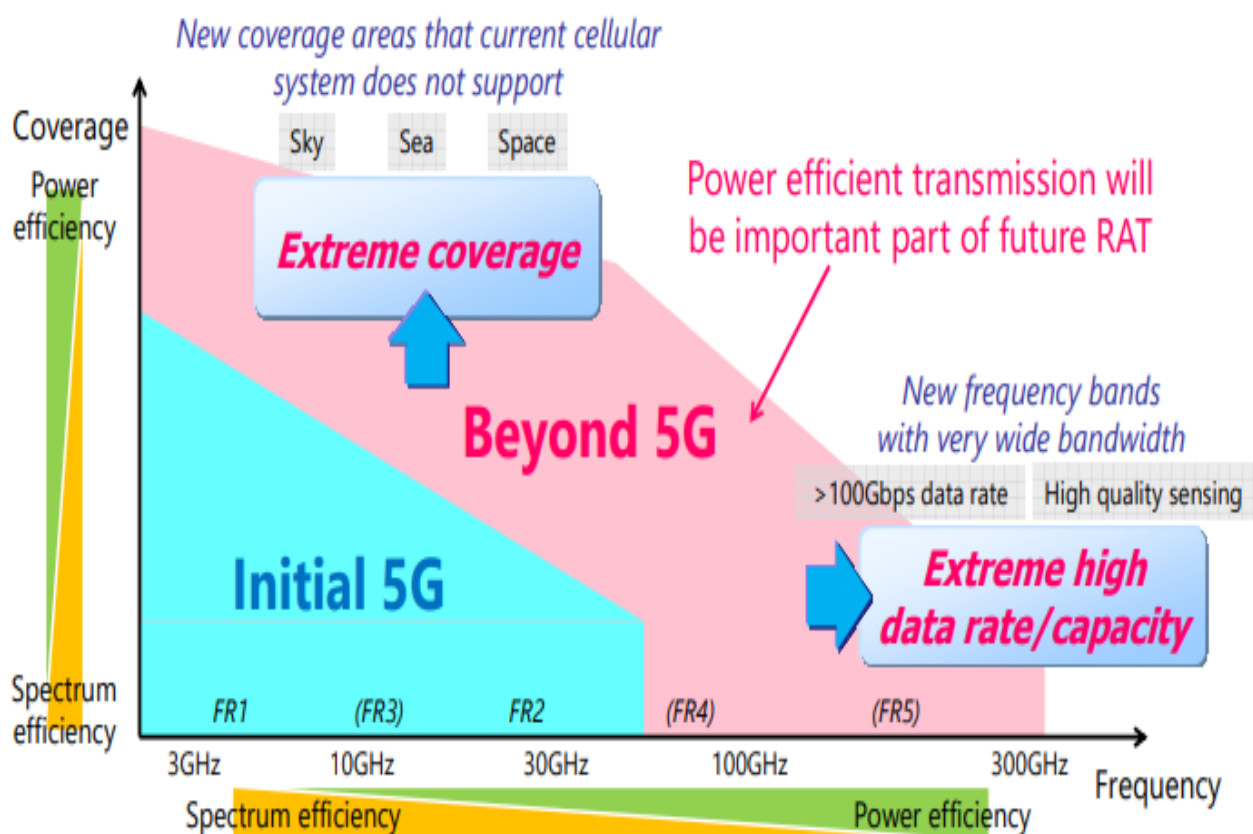


2.3-сурет – Пайдаланушы жазықтығының каналына тартылған әр өтуге арналған туннельдер тізбегі

Пайдаланушы жазықтығының алынған арналары логикалық түрде өтпелі болғанымен, олардың әрқайсысы 2.3-суретте көрсетілгендей әр өтуге арналған туннельдер тізбегі ретінде жүзеге асырылады. Бұл жолдағы әрбір компонент берілген UE үшін бір жергілікті идентификаторды пайдаланып, төмен түсетін туннельді аяқтайды және сол UE үшін екінші Жергілікті идентификаторды пайдаланып жоғары туннельді бастайды дегенді білдіреді. Іс жүзінде әр ағынға арналған бұл туннельдер көбінесе біртұтас интеркомпоненттік туннельге біріктіріледі. Бұл кез-келген нақты UE каналына қызмет көрсету деңгейін ажырата алмайды. Ұялы желінің ерекшеліктерінің бірі-мобильді ядроның пайдаланушы жазықтығы (5G-дегі UPF) жіберілген кезде деректерді буферлейді, жойылған пакеттер мен кейінгі қайта жіберулерден аулақ болады.

## 2.2 Жиіліктерді кеңейту және спектрді пайдалануды жақсарту

5G NR жүйесінде 52,6 ГГц-ке дейінгі жиілік диапазонына қолдау көрсетіледі және болашақта шығару үшін шамамен 100 ГГц-ке дейін кеңейту қарастырылады. Сонымен қатар, АҚШ-тың FCC 95 ГГц-тен 3 ТГц-ке дейінгі 5G-ден жоғары жиіліктерді 6G үшін қарастыруды ұсынады [21]. Миллиметрлік толқын диапазонының жоғарғы бөлігінен «терагерц толқыны» диапазонына дейінгі осындай жоғары жиілікті диапазондарда тіпті 5G-мен салыстырғанда өте кең жиілік жолағын пайдалануға болады және 100 Гбит/с асатын өте жоғары деректер жылдамдығына қол жеткізу үшін зерттеу жүргізілуде. [22]. Қазіргі уақытта, 2.4-суретте көрсетілгендей, біз 6G үшін тексеру диапазонында шамамен 300 ГГц-ке дейінгі радиотолқындар қарастырылады деп есептейміз. Дегенмен, «терагерц толқындары» радиотолқынның түзу сызықты қасиеті миллиметрлік толқынға қарағанда жоғары және алысқа таралмайтындығымен байланысты. Жоғарыда аталған жаңа желі топологиясына негізделген радиожиілік (РЖ) құрылғыларының технологиясын дамыту және пайдалану сияқты технологиялық сараптама қажет. 2.4-суретте жоғары жиілікті жолақтардың дамуын және аспан, теңіз және ғарышты қоса алғанда, жоғарыда аталған қамтудың кеңеюін ескеретін сымсыз қосылу технологиясының тұжырымдамасы көрсетілген. Бұл дамудың әртүрлі бағыттары болғанымен, спектрдің тиімділігіне қарағанда қамту және қуат тиімділігі маңыздырақ болатыны мағынада жалпы техникалық мәселелер бар. Радиотехнологияға келетін болсақ, OFDM-мен салыстырғанда бір тасымалдаушының сигналдық толқын пішіні басым болады және болашақта радиотехнологияларды қолдану аймағы IAB-ті қоса алғанда кеңейтілгендіктен, қуатты үнемдейтін жалғыз тасымалдаушы тұрғысынан радиотехнологияның маңыздылығы артуы мүмкін [23]. Бұған қоса, бар жиілік диапазонына миллиметрлік толқын және терагерц толқыны сияқты жаңа жиілік диапазоны қосылғанда, бұрынғымен салыстырғанда өте кең жиілік жолақтары пайдаланылады. Сондықтан, қолданбаға сәйкес бірнеше жолақтардың таңдалған қолданбасын оңтайландыру, ұяшықтар арасындағы жиілікті қайта пайдалану әдісін қайта қарау, жоғары және төмен байланыста дуплекстеу әдісін жаңарту және төменгі жолақтарды пайдалану әдісін қайта қарау сияқты көптеген байланысты зерттеу өрістері бар.

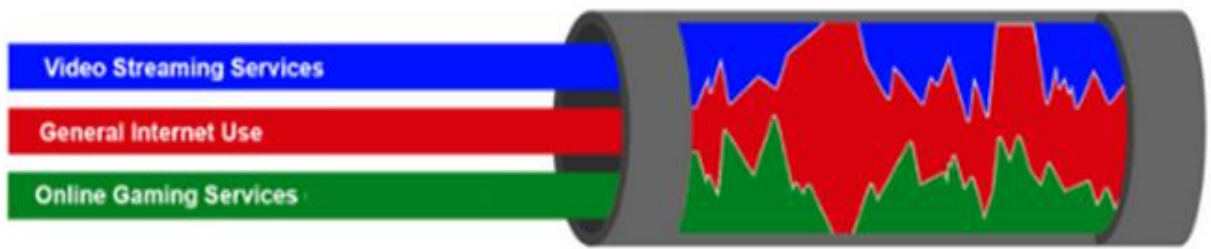


2.4-сурет – Жаңа жиілік пен қамтуды пайдалану үшін радиоқабылдау технологиясын кеңейту

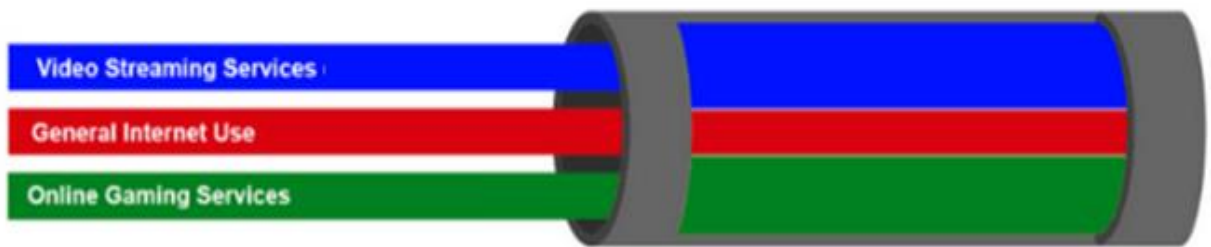
### 2.3 Қызмет көрсету сапасы (QoS)

Қызмет көрсету сапасы (QoS) желі пайдаланушылары көрген қызметтің жалпы өнімділігін өлшеуді білдіреді. QoS пакетінің жоғалуын сандық түрде өлшеу үшін қызмет көрсетудің қатысты аспектілері, бит жылдамдығы, өткізу қабілеті, беру кідірісі, қолжетімділік, діріл және т.б. қарастырылады. 2.5-суретте QoS бар және онсыз арна өткізу қабілетінің (BW) өнімділігі көрсетілген.

## QoS жоқ BW



## QoS қолданылған BW



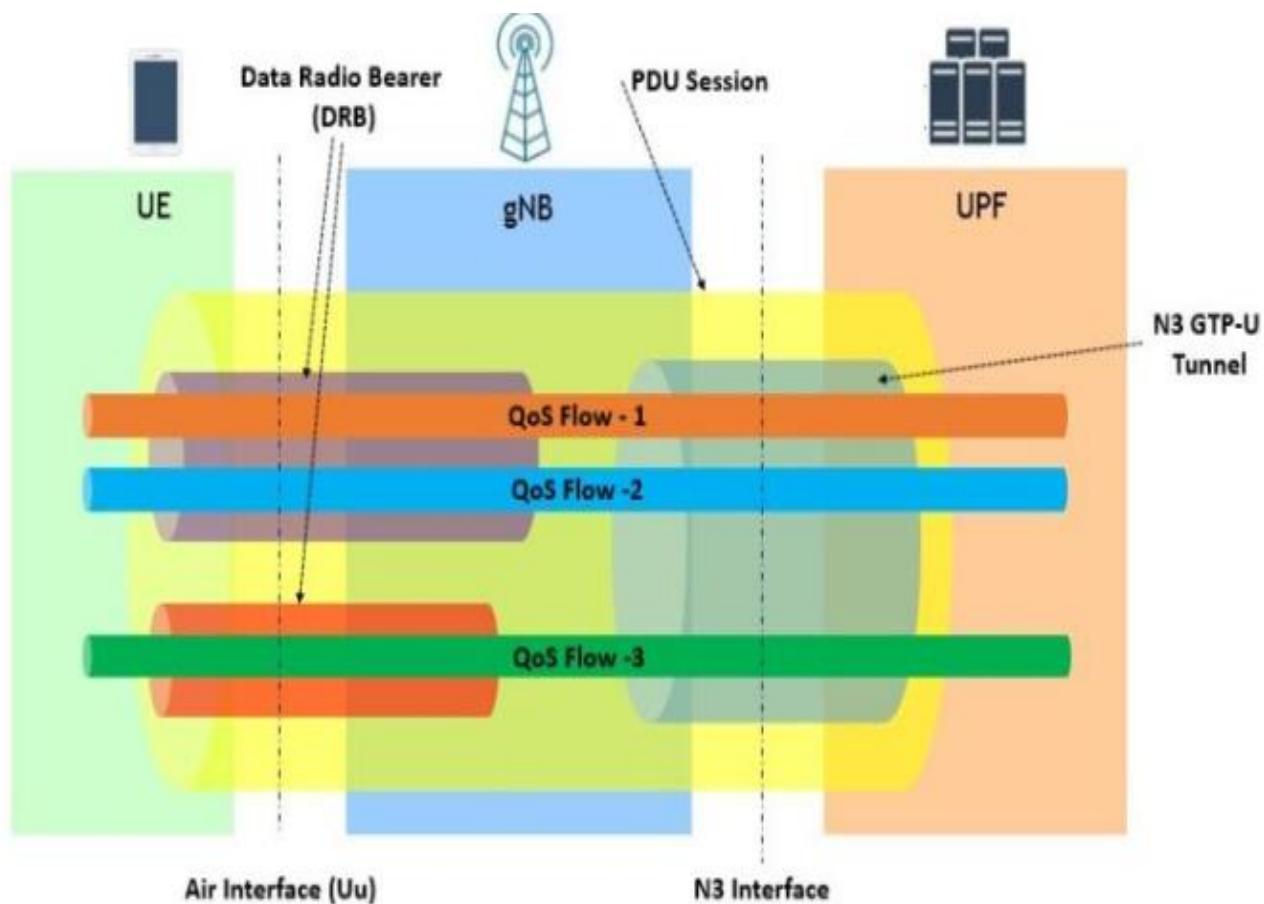
2.5-сурет – QoS бар және онсыз арна өткізу қабілетінің (BW) өнімділігі

QoS қызметтің жауап беру уақыты, жоғалту, сигналдың шуылға қатынасы, айқаспалы сөйлесу, жаңғырық, үзілістер, жиілік реакциясы, дыбыс деңгейі сияқты қосылымның барлық аспектілеріне қойылатын талаптарды қамтиды. QoS сонымен қатар қолданбалы бағдарламалық жасақтамамен трафик келісімін жасауға және желі түйіндеріндегі резервтік сыйымдылыққа мүмкіндік беретін желі протоколы ретінде анықталуы мүмкін.

Әрбір QoS ағынының пакеттері QoS Flow Identifier (QFI) арқылы жіктеледі және белгіленеді. 5G QoS ағындары 4G-ге қарағанда, DRB-ге (деректер радиосын тасымалдаушыларына) қол жеткізу желісінде салыстырылады, мұнда салыстыру EPC және радио тасымалдаушылар арасында бір-бірден жүзеге асырылады.

5G QoS архитектурасы QoS ағынының келесі түрлерін қолдайды:

- Кепілдендірілген бит жылдамдығын талап ететін GBR QoS ағыны;
- Кепілдендірілген бит жылдамдығын қажет етпейтін GBR емес QoS ағыны;
- Критикалық QoS ағынын кешіктіру, Критикалық тапсырма үшін кепілдік берілген бит жылдамдығы.



2.6-сурет – QoS архитектурасы [24]

5G, 5G RAN жүйесіндегі QoS архитектурасы 2.6-суретте көрсетілгендей 5G ядросына қосылған. Мұнда біз келесілерді көре аламыз:

- 5G Core әрбір UE үшін бір немесе бірнеше PDU сеанстарын орнатады;

- 5G-RAN PDU сеансымен бірге кем дегенде бір Деректер Радиосын тасымалдаушыларын (DRB) орнатады және сол PDU сеансының QoS ағындары үшін қосымша DRB(лар) кейін әрбір UE үшін конфигурациялануы мүмкін;

- 5G-RAN әртүрлі PDU сеанстарына жататын пакеттерді әртүрлі DRB-ге салыстырады;

- UE және 5G ішіндегі NAS деңгейінің пакеттік сүзгілері UL және DL пакеттерін QoS ағындарымен байланыстырады;

- UE және 5G-RAN жүйесіндегі AS деңгейін салыстыру ережелері UL және DL QoS ағындарын DRB-мен байланыстырады.

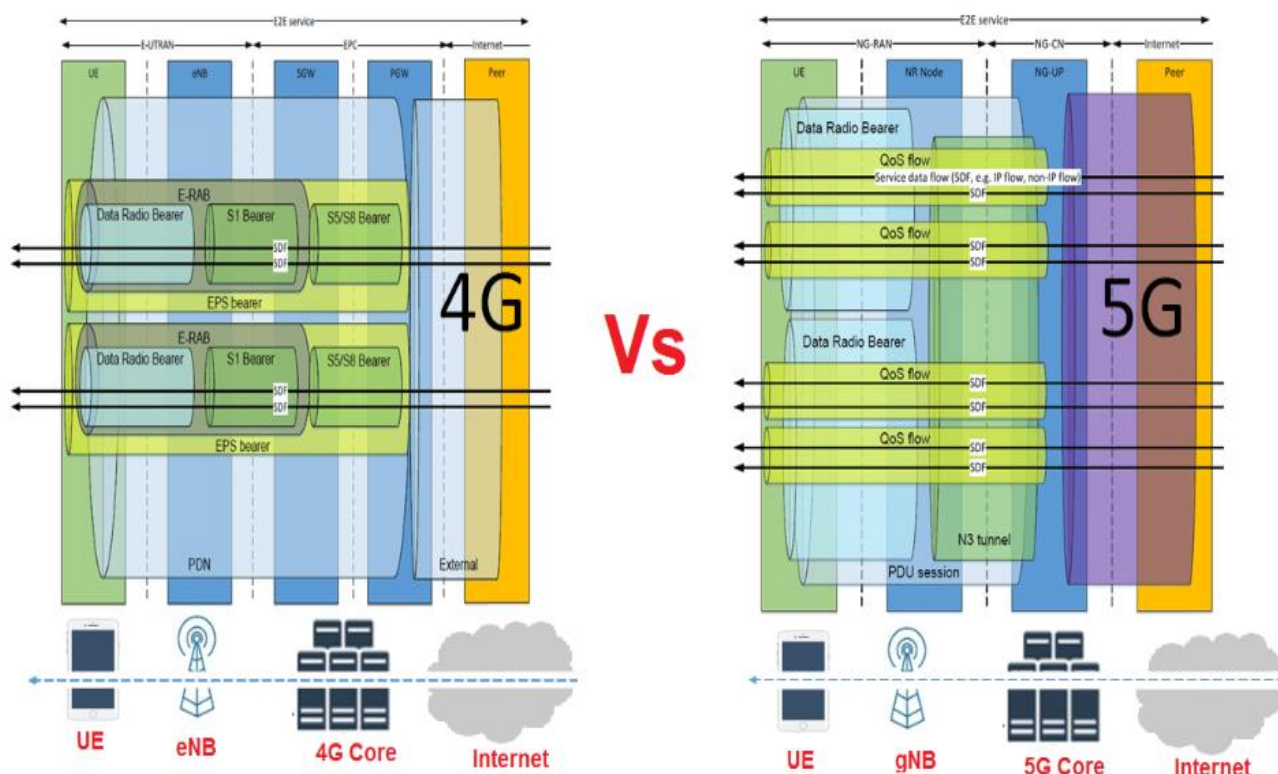
5G-RAN және 5G-Core пакеттерді сәйкес QoS ағындары мен DRBs салыстыру арқылы қызмет көрсету сапасын қамтамасыз етеді. Осылайша, IP ағындарының QoS ағындарына (NAS) және QoS ағындарынан DRBs (Access Stratum) ағындарының 2 сатылы картасы бар.

QoS ағыны PDU сеансында QFI арқылы анықталады. QoS ережелері пайдаланушы жазықтығы жоғары байланыс трафигі мен UE-ге QoS ағындары арасындағы салыстыруды белгілейді.

Access Stratum деңгейінде деректерді радиотасымалдаушы (DRB) радиоинтерфейстегі (Uu) пакеттік өңдеуді анықтайды. DRB пакеттерді қайта жіберу режимі бірдей пакеттерге қызмет көрсетеді.

Пакетті қайта жіберудің әртүрлі өңдеуін қажет ететін QoS ағындары үшін бөлек DRB орнатылуы мүмкін немесе бір PDU сеансына жататын бірнеше QoS ағындары бір DRB ішінде мультиплекстелуі мүмкін.

2.7-сурет пен 2.1-кесте 5G және 4G QoS параметрлеріне қатысты жоғары деңгейді көрсетеді [24].



2.7-сурет – 5G және 4G-дегі QoS [24]

Кесте 2.1 – 5G және 4G-дегі QoS параметрлері

Параметрлер	5G	4G
QoS идентификатор	5G QI (QoS идентификатор)	QCI (QoS классикалық идентификатор)
IP деректер ағыны	QoS ағын	EPC тасымалдаушы
Ағын/тасымалдаушы идентификатор	QFI (QoS ағын идентификатор)	EBI(EPS ID)
Рефлексиялық QoS	RQI (Рефлексиялық QoS ID)	Қолданба емес
Деректер сеансы	PDU сеенсы	PDN байланыс



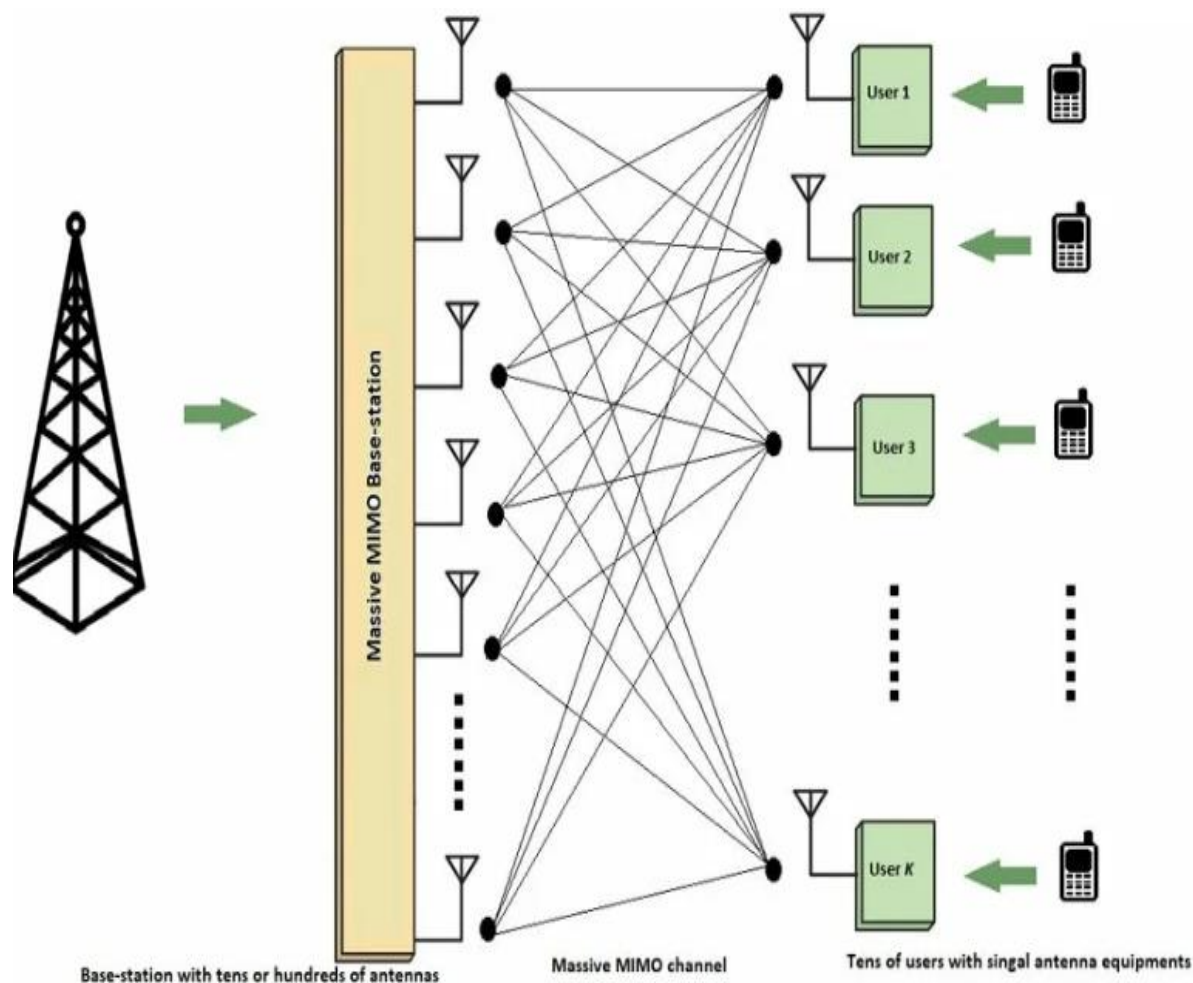
## 2.4 5G-дегі жаппай MIMO технологиясы

Сымсыз байланыс жүйесі деректерді берудің жоғары жылдамдығына және жоғары жүйе сыйымдылығына жауап беруі керек, ал байланыс жүйесі өткізу қабілеттілігі ресурсын тиімді пайдалануы керек. Спектр ресурсының тапшылығына байланысты жүйенің спектрін пайдалануды жақсарту өте маңызды. Дәстүрлі MIMO технологиясы пайдаланушылардың жүйе өнімділігіне деген сұранысын қанағаттандыру үшін шектеулі спектр ресурсын пайдалана алады. Бірақ дәстүрлі MIMO жүйесінің базалық станциясында антенналар аз және оның жүйе өнімділігі шектеулі.

Кесте 2.2 – MIMO технологиясын стандарттау процесі

Стандарт	MIMO технологиясы	Көліктің 4 қабатына дейін сипаттамалық қолдау
Rel-8	Берілетін әртүрлілік	Тек бір қабатты тасымалдауды қолдау
	кеңістіктік бөлу мультиплекс сәулесін қалыптастыру	
Rel-9	MU-MIMO	ЕО 1-ші дәрежелі екіге дейін
	Екі ағынды сәулені қалыптастыру	SU/MU икемді қосқыш Арнаның өзара әрекеттесуіне негізделген кері байланысты қолдау
Rel-10	Жоғары ретті MIMO	8 қабатқа дейін тасымалдауды қолдайды
		Екі деңгейлі көп бөлшекті код кітапшасына негізделген жоғары дәлдік кері байланыс
	Жоғары сілтеме MIMO	Тасымалдаудың 4 қабатына дейін қолдау көрсетеді
Rel-11	CoMP	Көп ұяшықты үйлестіру MIMO
Rel-12	CoMP/3DMIMO	Көп ұяшықты үйлестіру MIMO/3D
Rel-13	3DMIMO	Үш өлшемді (3D) антенна массивіне кеңейтілді

Жаппай MIMO технологиясы базалық станцияның көптеген антенналармен, әдетте жүз немесе бірнеше жүз антенналармен жабдықталғанын білдіреді. Бұл қолданыстағы байланыс жүйесіндегі антенналар санынан бірнеше рет жоғары. Ол бір уақытта бірнеше пайдаланушыларға бір уақыт жиілік ресурсында қызмет көрсетеді және мобильді терминалдар әдетте бір антеннаны қабылдаудың байланыс режимін қабылдайды. Массивті MIMO негізгі моделі 2.8-суретте көрсетілген [33].



2.8-сурет – Массивті МІМО негізгі моделі

Жаппай МІМО технологиясының негізгі артықшылықтары:

- Антенна тұтынатын қуат өте төмен. Ең дұрысы, белгілі бір жалпы таратушы қуат жағдайында әрбір антенна пайдаланатын жіберілетін қуат антенналар санына кері пропорционал, ал белгілі бір таратушы сигналдың шуға қатынасы жағдайында жалпы тарату қуаты кері пропорционал болады. Сондықтан әрбір антеннаға қажетті тарату қуаты антенналар санының квадратына кері пропорционал. Осылайша, жаппай МІМО қолданбасында тұтынылатын қуат тиімді түрде азаяды;

- «қатайту» арналары. Жолдар саны шексіздікке ұмтылған кезде арна матрицасын кездейсоқ матрица теориясын қолдану арқылы талдауға болады. Арна матрицасының сингулярлық мәні белгілі асимптотикалық үлестірімге, ал арна векторы ортогональды болуға бейім болады. Сигналдарды өңдеудің ең қарапайым әдісі асимптотикалық оңтайлы болып табылады;

- Жылулық шудың және кішігірім масштабтағы өшудің әсерлері жойылады. Сызықтық сигналды өңдеу әдісімен термиялық шудың және шағын масштабты өшудің жүйенің жұмысына әсері антенналар санының ұлғаюымен азаяды, ал кедергімен салыстырғанда термиялық шудың және шағын масштабты жасушалар арасында сөнудің әсерін елемеуге болады;

- Кеңістіктік ажыратымдылық жақсартылған. Массивті МІМО жүйесінде базалық станция антенналарының санының көбеюімен сәулені қалыптастыру жіберілетін сигналдарды кеңістіктегі нүктеге шоғырландыра алады, яғни базалық станция әрбір пайдаланушыны дәл ажырата алады, осылайша кеңістіктік рұқсатты жақсартады.

Жаппай МІМО және дәстүрлі МІМО арасындағы өнімділікті салыстыру 3GPP жүйесінде МІМО технологиясы әдетте бір пайдаланушылық МІМО, көп пайдаланушы МІМО және желілік МІМО эзирлеу барысында дамиды. Дәстүрлі МІМО технологиясымен салыстырғанда, жаппай МІМО технологиясының өнімділігі көптеген аспектілерде көрінеді. Дәстүрлі МІМО мен жаппай МІМО арасындағы өнімділікті салыстыру 2.3-кестеде берілген.

Кесте 2.3 – Дәстүрлі МІМО мен жаппай МІМО арасындағы өнімділікті салыстыру

Технология мазмұны	Дәстүрлі МІМО	Жаппай МІМО
Антенна нөмірі	$\leq 8$	$\geq 100$
Арнаның бұрыштық доменінің мәні	Белгісіз	Белгілі
Арна матрицасы	Төмен талап	Жоғары талап
Арна сыйымдылығы	Төмен	Жоғары
Өртүрлілік алу	Төмен	Жоғары
Байланыстың тұрақтылығы	Төмен	Жоғары
Шуға төзімділік	Төмен	Жоғары
Массив ажыратымдылығы	Төмен	Жоғары
Антеннаның корреляциясы	Төмен	Жоғары
Муфта	Төмен	Төмен
SER	Жоғары	Төмен
Пилоттық ластану	жоқ	иа

Жаппай МІМО қолданбасының сценарийі макроұяшық пен микро ұяшық 5G массивті антенна массивінің қолданбалы сценарийінде бірге жұмыс істейді. Желі негізінен біртекті және гетерогенді желіге бөлінеді, ал сценарийлер ішкі және сыртқы сценарийлерге бөлінеді. Жаппай МІМО арналарын ішкі немесе сыртқы пайдаланушылар үшін микро ұялы базалық станцияға және ішкі немесе сыртқы пайдаланушылар үшін макро ұяшық базалық станциясына бөлуге болады. Сонымен бірге микро ұяшық ақпаратты жіберу үшін релелік базалық станция ретінде пайдаланылуы мүмкін, ал арнаны макро ұяшық базалық станциясы және микро ұяшық базалық станциясы деп бөлуге болады. Базалық станцияның антенналарының санын шексіз көбейтуге болады, ұяшықтағы ұялы пайдаланушы антенналарының санын да көбейтуге болады.

Жаппай МІМО арнасын өлшеу Массивті МІМО жүйесінің теориялық арна үлгісін нақты сымсыз байланыс ортасында арнаны өлшеу арқылы тиімді

тексеруге болады және нақты арнаны өлшеу арқылы бүкіл байланыс жүйесінің өнімділігін жақсартуға болады.

- Бөлінген MIMO арнасы 2,6 ГГц микро ұяшық жағдайында өлшенеді. Өлшеу әдісі негізінен үш базалық станцияны бөлінген MIMO астындағы антенна қондырғыларының төрт тобымен жабдықталған болуы үшін пайдалану болып табылады, осылайша оның кеңістігінің биіктігі тең бағытты поляризация шартына сәйкес келеді. Соңғы базалық станция антенна бөлігін конфигурациялау үшін пайдаланылады. Мобильді платформа 64 жұп қос поляризациялық антенна қондырғылары бар біркелкі цилиндрлік массивтен тұрады. Әртүрлі базалық станциялар арасындағы байланыс байланыстарының массивтік әлсіреуінің айқаспалы корреляциясын талдау арқылы әртүрлі орындардағы арналардың жаппай өшетін мәндері алынады.

- 128 бірлігі бар сызықтық массивтің өлшеу әдісі. Жоғарыда көрсетілген конфигурация бойынша ауқымды MIMO арнасын тексеру арқылы кейбір көрінбейтін шашыраңқы немесе өте айнымалы шашыраңқы қуат мәндері болған кезде массивтік антенна массиві сымсыз байланыс арнасы екенін және жалпылама стационарлық процесс ретінде қарастырылмайтынын білуге болады. Дегенмен, антенна массивінің стационарлық еместігі және жақын өрістің әсері пайдаланушылар арасындағы корреляцияны жояды, осылайша салыстырмалы түрде тұрақты және төмен кедергісі бар арна ортасын қамтамасыз етеді.

#### 2.4.1 Жаппай MIMO арнасын модельдеу

5G технологиясының қарқынды дамуына байланысты MIMO арналарын жаппай модельдеу кейбір жаңа мүмкіндіктерді көрсетеді. Мысалы, базалық станция терминалында массивтік антенна массивін орналастыру кезінде жазық толқындарды ауыстыру үшін сфералық толқындарды пайдалану керек және арна энергиясы шектеулі кеңістікте шоғырлануы керек. Арна енді тәуелсіз және бірдей таратылмайды. Базалық станция терминалындағы антенна массивінің ұлғаюымен тек әртүрлі антенна қондырғылары әртүрлі шашыратқыштарды көре алады, ал сөну статикалық емес сипаттамалармен сипатталады.

Ұялы желілердегі мобильді пайдаланушылар (әдетте бір антенна) мақсатты базалық станцияға пилоттық сигналды қабылдау арқылы ортогоналды пилоттық сигналдарды базалық станция терминалына жібереді. Арнамен бағаланатын жоғары сілтеменің CSI мәніне сәйкес, TDD жүйесінің жоғары және төмен байланысының өзара әрекеттестігі пайдаланылады, ал төмен байланыстың CSI жоғары сілтеменің CSI конъюгаттық транспозициясымен сипатталады. Осылайша, жоғары сілтеме сигналын анықтау және төмен байланысты алдын ала кодтау жіберіледі. Ұялы байланыс пайдаланушыларының саны өскен кезде арнамен есептелген пилоттық шығындар да артады, әсіресе орташа және жоғары жылдамдықты ұялы байланыс жағдайында, пилоттық шығындар көп уақытты алады.

Сондықтан, TDD беру режимінің пилоттық жиілігі шектеулі болғанда, массивті MIMO-ның CSI технологиясын зерттеудің үлкен практикалық мәні бар. FDD режимімен салыстырғанда, TDD режимі CSI алудың тамаша әдісін қамтамасыз ете алады.

#### 2.4.2 Жаппай MIMO жүйелік сигналды анықтау алгоритмі

Базалық станция әртүрлі пайдаланушыларға уақыт жиілік ресурстарын таратады және көптеген пайдаланушыларға қызмет көрсетеді. Көп ұялы және көп пайдаланушының массивті MIMO жүйесінде ұяшық терминалы тасымалданатын сигналды ұялы базалық станцияға жібергенде, базалық станция ғарыштық қолтаңбамен қабылданған жоғары байланыс сигналын анықтай алады.

1. Сызықты анықтау Ұяшық базалық станциясы массивтік антенна массивімен жабдықталған кезде, MRC қабылдағышының өнімділігі төменгі сигналдың кедергіге плюс шу қатынасының (SINR) шарты қанағаттандырылған жағдайда оңтайлы сызықтық қабылдағыш (OLR) өнімділігіне жетуі мүмкін, бірақ ол жоғары SINR жағдайында OLR төмен. Үлкен кедергі болған жағдайда OLR өнімділігі әдеттегі MMSE қабылдағыш жүйесімен салыстырғанда оңтайландырылатын болады.

2. Сызықты емес анықтау.

- Ағаш құрылымына негізделген алгоритм (ТБ). Сфералық декодтау (SD) типтік сызықтық емес анықтау алгоритмі деп айтуға болады. Ал SD шын мәнінде максималды ықтималдық (ML) декодер болып табылады. SD алгоритмінің кемшілігі ол белгілі бір радиустағы нүктелерді ғана есепке алады және кез келген сигналдық нүктені табу үшін радиусты кеңейтуі керек. Қолданыстағы күрделілігі төмен ТБ-да тек ең құнды түйіндерді қосу іздеу күрделілігін тиімді түрде азайтады [33].

- Кездейсоқ қадам (RS) әдісі. Алгоритмнің принципі: бірінші бастапқы векторды таңдайды, оның шеткі векторын  $N_{\text{Neigh}}$  бағалап, шарт ретінде MSE алады және ең кіші вектор ретінде MSE таңдап, жоғарыдағы процесті  $N_{\text{iter times}}$  қайталайды.

#### 2.5 Спектр тиімділігі (SE)

OFDM, FBMC, SC-FDMA, GFDM және UFMC сияқты көп тасымалдаушы модуляция схемалары [25], SE жарылыс уақытына тәуелді емес және FFT өлшеміне, модуляция тәртібіне және модуляция параметрлеріне байланысты. OFDM және SC-FDMA сияқты анықталған спектрлік тиімділікке ие:

$$\eta_{\text{OFDM}} = \eta_{\text{SC-FDMA}} = m \times \frac{N_{\text{FFT}}}{(N_{\text{FFT}} + N_{\text{CP}})} \quad (2.1)$$

USMC үшін пішіндеу сүзгісінің уақытша күйіне байланысты SE жоғалтады. UFMC SE келесі түрде көрсетіледі:

$$\eta_{UFMC} = m \times \frac{N_{FFT}}{(N_{FFT}+L-1)} \quad (2.2)$$

Қағаздың қалған бөлігінде UFMC және OFDM арасында бірдей SE болуы үшін  $L=N_{CP}+1$  таңдаймыз.

GFDM үшін CP кірістіру әр таңба үшін орындалады және SE келесі түрде көрсетіледі:

$$\eta_{GFDM} = \frac{m \times K \times M}{m \times K + N_{CP}} \quad (2.3)$$

UFMC және OFDM спектрлік тиімділігі (SE) бірдей, ал GFDM SE FFT өлшеміне байланысты [26]. FBMC SE жарылыс ұзақтығы бойынша анықталады, егер жарылыс ұзақтығы әрқашан 3 мс-тен жоғары болса, UFMC және OFDM қарағанда SE жақсырақ [27].

Кесте 2.4 – Спектр тиімділіктерінің модельдеу параметрлері

Жалпы параметрлері		
FFT өлшемі	$N_{FFT}$	1024
Символдар үшін бит	$M$	2
Ресурс блогының өлшемі	$N_{RB}$	12
RBs номері	$N_{Re}^{-1}$ $N_{Re}^{-2}$	UE1 үшін 3 UE2 үшін 9
Іріктеу жиілігі	$F_c$	15.36 МГц
OFDM және S-FDMA		
CP	$N_{CP}$	72 іріктеу
UFMC		
Сүзгі ұзындығы	$L$	73
Тоқтату жолағын әлсірету	40 dB	
GFDM		
Қосалқы таңбалар	$P$	15
FFT өлшемі	$M$	1024
Фактор орамы	$A$	0.1
FBMC		
Тарату факторы	$K$	4
Асинхронды қол жеткізу		
Күзетші тасымалдаушылар	[1,2,4,5]	
Уақытты ауыстыру	[-0,25; 0,25]	
CFO	0:10 %	



Егер GFDM және OFDM SE көрсеткіштерін салыстырсақ:

1. GFDM SE егер жиілік торы бекітілген болса (яғни, деректер тасымалдаушысының бірдей саны және бірдей FFT өлшемі) OFDM SE-ден жоғары. Әрбір GFDM нышаны модуляцияланған күрделі үлгілерді қамтиды және GFDM ішкі таңбасының өлшемі OFDM таңбасының өлшеміне тең (CP кірістіріусіз). GFDM үшін SE жоғарылауы әрбір M ішкі таңбасына бір CP пайдаланумен байланысты.

2. Егер тұрақты деректер блогының өлшемін қарастырсақ, GFDM SE OFDM SE-ге ұқсас болады. Мұндай жағдайда GFDM таңбасының өлшемі OFDM өлшемімен бірдей (осылайша ішкі таңба өлшемі OFDM таңбасының өлшемімен салыстырғанда  $1/M$ ) және жиілік аралығы M есе жоғары.

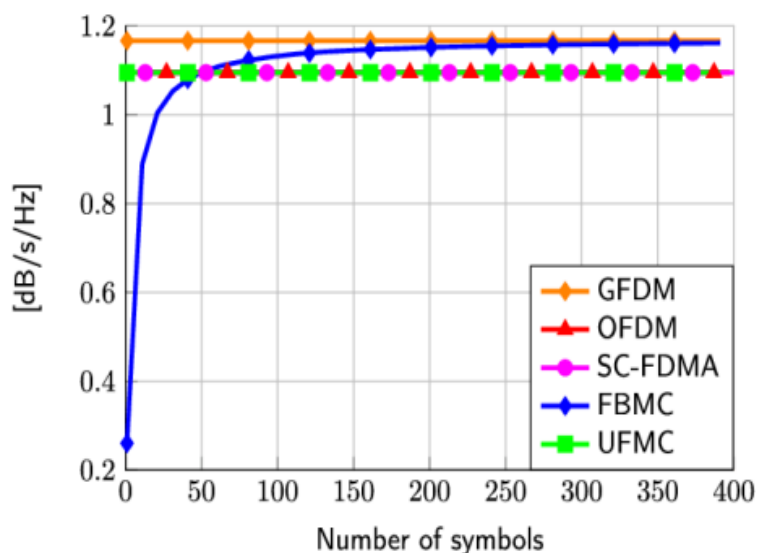
Бұл жағдайда біз жиілік торын бекіттік, яғни GFDM SE осылайша OFDM SE-ден жоғары. FBMC үшін SE кадр ұзақтығына байланысты. SE жоғалуы жаһандық пішіндеу сүзгісінің өтпелі күйіне байланысты. Осылайша, бір таңбада тұрақты жоғалту болмайды және SE модуляция ретіне тең асимптотикалық деңгейге жету үшін жарылыс ұзақтығымен бірге артады.

FBMC SE келесі түрде көрсетіледі:

$$\eta_{FBMC} = \frac{m \times s \times N_{FFT}}{\frac{(2s-1)N_{FFT}}{2} + N_{FFT}K} = \frac{ms}{s+K-\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

мұндағы S символдар санын білдіреді.

Әртүрлі толқын пішіні SE-н жарылу ұзақтығына қарсы есептелінеді. Нәтижелер  $m=2$  арқылы 2.9-суретте көрсетілген. UFMC және OFDM бірдей SE, GFDM OFDM және UFMC салыстырғанда жақсырақ SE болатыны көрсетілген. GFDM үшін SE шығыны төмен, өйткені CP бір символға бір рет қосылады, бұл OFDM-мен салыстырғанда GFDM үшін CP-ден M есе аз екенін білдіреді. Сонымен қатар, FBMC SE уақыт ұзақтығына байланысты және жарылу ұзақтығы 3,5 мс-ден ұзақ болса ( $K=4$  және  $m=2$  болған кезде) OFDM және UFMC қарағанда жақсырақ деп есептелінеді.



2.9-сурет – Спектрлік тиімділік символдар санына қарсы

## 2.6 5G-ге қатысты ультра төмен кідіріс

Тактильді Интернеттің коммуникациялық технологиялары жоғары сенімділік пен қауіпсіздік шектеулері жағдайында өте төмен кідірістің үйлесіміне қол жеткізуі керек. Өнеркәсіп форумдары 2020 жылдан кейінгі келесі буын ұялы байланыс жүйелері үшін нөлдік кідіріспен гигабит тәжірибесін болжайды. Өткізу қабілетін/қуатын арттырудан және құрылғылардың құны мен қуат талаптарын азайтудан басқа, кідіріс пен сенімділік талаптары негізгі өнімділік көрсеткіштерінің (KPI) бірі болып табылады. Ұялы 4G технологиялары әуе интерфейсінде 10 мс кешігуге арналған болса да, бүгінгі күні көпшілікке арналған ұялы желілердің көпшілігінде пайдаланушының тәжірибесі кідіріс 30-50 мс диапазонында. Бұл 4G желілеріндегі дауыстық және деректер қызметтерінің талаптарын қанағаттандыруы мүмкін болғандықтан, 5G сымсыз байланыс жүйелеріне кәсіпорын қызметтерінің мүлдем жаңа түрін енгізеді. Өте төмен кідіріс пен сенімділік өнімділігі тұрғысынан кәсіпорын қызметтері үшін қызмет көрсету сапасына (QoS) байланыс жүйесінің барлық деңгейлерінде соңына дейін жету керек. Критикалық байланыс (MCC) жүйелері – машинадан машинаға (M2M) және машина түріндегі байланыс (MTC) салаларында жаңа қолданбаларға бағытталған жаңа 5G қызмет бөліктерінің бірі болып табылады. QoS талаптарын 1 мс-тен төмен кідірістері бар өте төмен кідіріс талаптарымен, сондай-ақ блок қателерінің минималды жылдамдығымен қорытындылауға болады.

Таратқыш пен қабылдағыш арасындағы кідіріс талаптары мен максималды байланыс жоғалтуына (MCL) байланысты, разрядтық жылдамдықта төмен кідірістерге қол жеткізу үшін жалпы радио жақтау

құрылымы мен қосалқы тасымалдаушы аралығы өзгертілуі керек. Өнеркәсіптік коммуникация жүйелері көбінесе өте жиі жеткізілетін байт және кбайт диапазонында өте қысқа командалық және басқарушы хабарламаларды тасымалдайды [32].

Бұл мәселені жеңілдету үшін екі шектеуге байланысты энергияны тұтынуды азайтуға бағытталған энергияны кешіктіруді басқару құрылымы (EDMF) ұсынылды. Бірінші шектеу – биттік қателік жылдамдығы (BER) арқылы, ал екіншісі – кешіктіру мерзімі арқылы жүзеге асырылады.

EDMF жүйеге негізделген шектеулі жартылай бақыланатын Марков шешімі (CPOMDP) ретінде тұжырымдалған.

Марков шешім процесі (MDP) – ағымдағы күй толығымен бақыланатын кезде жүйе өнімділігін оңтайландыруға арналған күшейтетін оқыту (RL) әдісі болып табылады. MDP және POMDP жүйе өнімділігін марапаттау функциясы болып табылатын бір мақсат үшін оңтайландыруға бағытталған. Екінші жағынан, көп мақсатты оңтайландыру функцияларын сәйкесінше толық немесе ішінара бақыланатын ағымдағы күйде шектеулі-MDP (CMDP) немесе CPOMDP ретінде тұжырымдауға болады. Бұл құжат ішінара бақыланатын күй үшін BER және кідіріс шектеулеріне байланысты энергияны үнемдеуді барынша арттыруды зерттейді. Демек, зерттеу мәселесі CPOMDP ретінде тұжырымдалған.

EDMF жүйелік моделі 5G end-to-end (E2E) архитектурасына негізделген және келесідей қорытындылауға болады:

1) Радио және кадр үлгілері: Әр түрлі нумерологиялар үшін  $\mu$ , әрбір кадрға арналған ұяшықтар жиыны  $N = \{1, \dots, N_f \text{ game ұяшықтары} \}$  арқылы көрсетіледі. Сонымен қатар, бірнеше жоғары/төмен байланыс (UL/DL) қосқыштарының жақтау құрылымы қарастырылады. UL/DL қосқышының қорғау жолағы 16 мксек-тен аз деп есептеледі. Сонымен қатар, 3GPP 5G үшін бірнеше модуляция схемаларын қарастырады, соның ішінде BPSK, 64QAM, 256QAM және т.б. BPSK модуляция схемасы үшін бит қатесінің ықтималдығы келесі түрде берілген:

$$P_c(BPSK) = Q(\sqrt{2\gamma}) \quad (2.5)$$

мұндағы  $Q()$  – стандартты Гаусс күйрық функциясы. Бұл ретте, M-QAM үшін  $P_e$  келесімен берілген:

$$P_e(M - QAM) = \frac{4(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M}} Q\left(\sqrt{\frac{3\gamma}{M-1}}\right) \quad (2.6)$$

мұндағы  $M$  – шокжұлдыз коэффициенті.

2) HARQ үлгісі: жіберілген пакеттерге немесе физикалық төмен байланысты ортақ арнаға (PD SCH) арналған ACK/NACK HARQ  $K_1$  кідірісімен физикалық жоғары байланысты басқару арнасында (PUCCH) жіберіледі. Сонымен бірге физикалық жоғары байланысты ортақ арнаға

(PUSCH) арналған HARQ физикалық төмен байланысты басқару арнасында (PDCCH)  $K_4$  кідірісімен қабылданады.  $K_1$  және  $K_4$  бағалауы қарастырылады. HARQ растау күйлері  $H = \{0, 1\}$  арқылы көрсетіледі, мұнда  $H = 1$  ACK және  $H = 0$  NACK болып табылады.

3) Сымсыз арна үлгісі: 5G радиоқабылдау желісіндегі (RAN) түйіндер арасындағы сымсыз арна Rayleigh өшуі ретінде қабылданады. Сымсыз арнаның CPOMDP ішіндегі әсерін қарастыру үшін Рэйлейдің өшетін арнасы ақырлы күй Марков тізбегі (FSMC) ретінде ұсынылған. SNR күйлерінің жиынын  $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k\}$  арқылы көрсетуге болады, мұндағы  $K - \gamma$  күйлерінің саны.  $\Gamma_k$  үшін ағымдағы  $k$  күйін қарастыра отырып,  $k$  күйінен көршілес  $k - 1$  және  $k + 1$  күйлеріне өту ықтималдығы сәйкесінше  $P_{k,k-1}$  және  $P_{k,k+1}$  ретінде қарастырылады. Бұл кезде сол күйде қалу ықтималдығы  $P_{k,k} = 1 - P_{k,k-1} - P_{k,k+1}$ . Демек,  $P_{k,k-1}$  және  $P_{k,k+1}$  бағалауға болады.

4) Энергия динамикасының үлгілері: Түпкі пайдаланушы түйіндері жиналған энергия батареяда сақталатын энергия жинағыштар болып есептеледі. Энергияны жинау үлгісі тәуелсіз және бірдей бөлінген Бернуллі моделі ретінде қабылданады  $e^h$  энергия мөлшерін жинау ықтималдығы  $p_h$  немесе  $1 - p_h$ .  $T$  уақытындағы жинақталған энергия мөлшерін  $e_t^{st}$  ретінде қарастыра отырып, жинақталған энергияны  $e_{t+1}^{st}$  келесідей жаңартуға болады:

$$e_{t+1}^{st} = \min((e_t^{st} - e_t^c) + e_t^h, B) \quad (2.7)$$

Ұсынылған алгоритм саясатын бағалауға арналған модельдеу параметрлері 51 күйі,  $\mu = 0$  және ұяшықтары  $N_{\text{frame}} = 10$ , HARQ үшін екі күй және алты SNR шегі бар  $e^{st}$  қарастырады. Мұнда параметрлер Рэйлейдің өшуі үшін FSMC көрсету үшін қолданылады. Минималды және максималды қуат беру сәйкесінше 20 және 23 дБм деп қабылданады. Орташа шек  $-4$  дБ және процессор жиілігі 2,7 ГГц деп қабылданады.  $\sum e$ ,  $\sigma t$  және  $\sigma b$  үшін ұйқы режиміндегі сыйақылар сәйкесінше  $-1$ , 100 және  $-1$  эвристикалық мәндері болып есептеледі. Алгоритм  $b_0$  бастапқы сенімімен іске қосылды және 100 сенім жаңартуы үшін конвергенцияға дейін қайталаынады. Энергия үнемдеуді барынша арттыруға арналған EDMF саясаты дисконттау коэффициенті  $\beta = 0,9$  бойынша бағаланады.

## 2.7 Энергия тиімділігі

Бесінші ұрпақта (5G) сымсыз ұялы желілер, смартфон батареясының тиімділігі және қуатты оңтайлы пайдалану маңызды мәселеге айналды. Мобильді құрылғылардағы энергияны үнемдеу стратегиясымен бірге энергияны үнемдейтін желілер мобильді революцияда маңызды рөл атқарады. Энергия тиімділігінің мақсаты, оның экологиялық құндылығынан бөлек, ұялы байланыс операторларының операциялық шығындарын

азайтумен, сондай-ақ батареяның қызмет ету мерзімін ұзарту арқасында тұтынушылардың үлкен қанағаттануымен байланысты. Смартфондар қазіргі уақытта жетілдірілген технологиялық желі мүмкіндіктерімен және интерфейстермен жабдықталғанын ескерсек, батарея мен қуат маңызды мәселелердің саласы болып табылады. Бұл мүмкіндіктер шешім қабылдау және ең жақсы пайдаланушы тәжірибесін қамтамасыз ету үшін құрылғылар мен желілер арасында ақпаратты тасымалдау үшін бір уақытта көп қуатты қажет етеді. Сонымен қатар, талаптарды қанағаттандыру үшін деректер сыйымдылығын, деректер жылдамдығын арттыру және қызмет көрсетудің ең жақсы сапасын қамтамасыз ету үшін энергияны үнемдейтін архитектураларды қабылдау қажет. Жаңа стратегиялар қуаттың көп бөлігін тұтынатын сымсыз базалық станцияларға ғана назар аударып қана қоймай, сонымен қатар болашақ мобильді байланыс желілері үшін басқа қуат тұтыну элементтерін, соның ішінде Пайдаланушы жабдықтарын (UE) ескеруі керек. Соңғы дәлелдер АКТ секторының өзі жаһандық электр энергиясының 4,7% тұтынатынын көрсетеді. D2D концепциясын пайдалану арқылы құрылғылардың жақындығына байланысты жіберу қуатын айтарлықтай азайтуға болады, осылайша желіні энергияны тиімді етеді. Жасыл коммуникация тақырыбы соңғы кездегі белсенді бағыттардың бірі болып табылады [28].

Энергия тиімділігі жіберілген бит үшін тұтынылатын энергияға қарама-қарсы немесе тұтынылатын энергияның әрбір бірлігі үшін берілетін биттердің саны ретінде анықталады.

Huawei деректеріне сәйкес, әдеттегі 5G торабының қуат қажеттілігі 11,5 киловаттан асады, бұл 2G, 3G және 4G радиоларының қоспасын орналастыратын базалық станциядан 70%-ға жуық жоғары. 5G макро базалық станциялары микротолқынды немесе миллиметрлік толқын қабылдағыштарды, өрісте бағдарламаланатын қақпа массивтерін (FPGA), жылдамырақ деректерді түрлендіргіштерді, жоғары қуатты/ аз шуыл күшейткіштерді және біріктірілген бірнеше кірісті бірнеше шығысты қоса алғанда, бірнеше жаңа, қуатты қажет ететін компоненттерді қажет етуі мүмкін [31].

5G неғұрлым жетілдірілген және энергияны үнемдейтін ұйқы режимдерін қосуға мүмкіндік беру үшін трафиктік емес жағдайларда трансмиссиясыз уақыт слоттарын конфигурациялауды қамтамасыз етеді. Берілмейтін интервалды 5-100 мс диапазонына орнатуға болады, бірақ бұл пайдаланушы оны байқамай-ақ, терминалдың ұяшыққа ілінуі үшін көбірек уақыт алуы мүмкін дегенді білдіреді.

Жаппай MIMO антенналары мен базалық станция жүйелері қашықтағы клиенттермен бағытталған сәулені пайдаланып байланысатындықтан, сымсыз протоколдар байланыс үшін қажетті ең аз қуатты есептей алады. Бұл базалық станция үшін де, клиенттік құрылғылар үшін де сымсыз энергияны тасымалдау үшін қуат тұтынуды азайтады. Нәтижесінде, сәулеленуді



қолданатын 5G желілері салыстырмалы 4G желілеріне қарағанда шамамен төрт есе аз қуат тұтынады.

D2D байланысының EE үшін максимизациялау әдістері кең қызығушылық тудырды.

D2D k-ші жолағындағы энергия тиімділігін мына түрде көрсетуге болады [29]:

$$EE_{d,k} = \frac{F_k}{P_{d,k}} \log_2(1+G_{d,k}) \exp(-S_{d,k}[\lambda_{c,k}(\frac{P_{c,k}}{P_{d,k}})]^{\frac{2}{\alpha}} + \lambda_{d,k}) \quad (2.8)$$

мұндағы  $F_k$  k-ші жолақтың BW мәнін білдіреді,  $G_{d,k}$  k-ші жолақтағы DU-ның SIR шегін білдіреді,  $\lambda_{d,k}$  және  $\lambda_{c,k}$  сәйкесінше D2D пайдаланушыларының және ұялы байланыс пайдаланушыларының тығыздығын білдіреді.  $S_{d,k}$  параметрін ретінде жазуға болады [29]:

$$S_{d,k} = \pi G_{d,k}^{\frac{2}{\alpha}} D_{d,k}^2 \Gamma(1 + \frac{2}{\alpha}) \Gamma(1 - \frac{2}{\alpha}) \quad (2.9)$$

Кеңістіктің қысқалығы үшін үзіліс ықтималдығының өрнегін өткізіп жіберіледі. Осылайша, D2D жалпы энергия тиімділігін k-ші жолақ үшін ретінде жазуға болады [30]:

$$EE_d = \sum_{k=1}^n EE_{d,k} \quad (2.10)$$

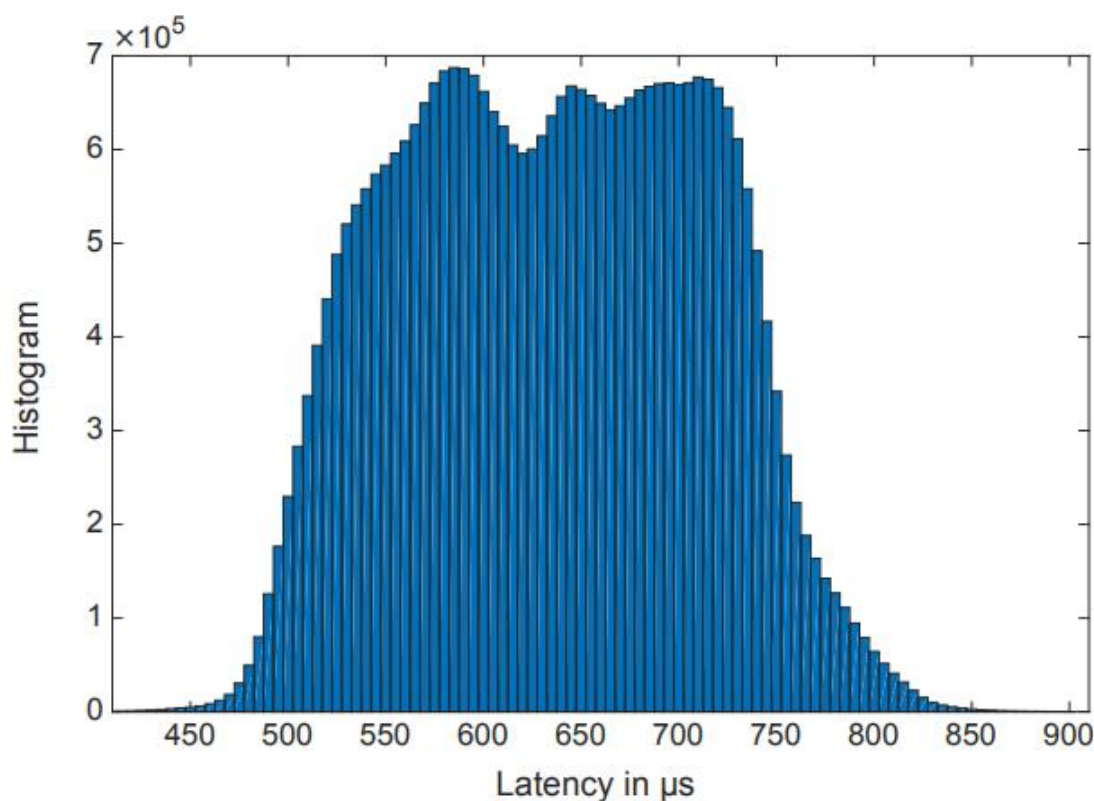
Модельдеудің маңызды параметрлері 2.5-кестеде көрсетілген.

Кесте 2.5 – Модельдеу параметрлері

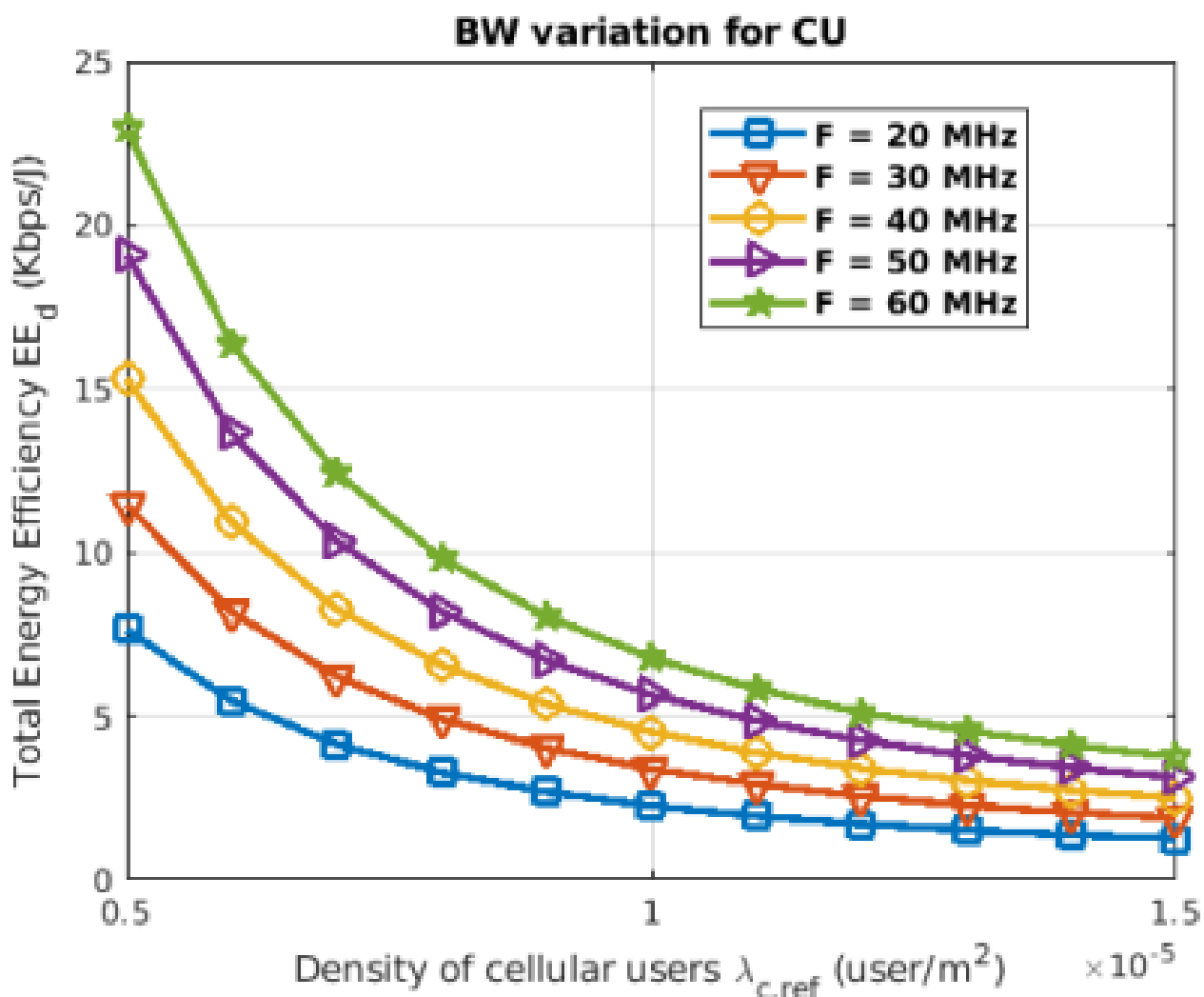
Белгілеу	Параметрлері	Мәні
K	Жолақтар саны	5
$F_k$	K-ші жолақтағы BW	20, 30, 40,50, 60МГц
$\alpha$	Жол жоғалту көрсеткіші	2.5 3 3.5 4
$D_c$	BS пен CU арақашықтығы	[50, 60, 70, 80, 20] m
$D_d$	BS пен DU арақашықтығы	[10, 20, 30, 20, 10] m
$\lambda_c$	Ұялы пайдаланушылар тығыздығы	[10, 1, 10, 10, 10]x10 <sup>-5</sup> user/m <sup>2</sup>
$\lambda_d$	D2D тығыздығы	[10, 1, 10, 10, 10]x10 <sup>-4</sup> user/m <sup>2</sup>
$P_{c,k}$	CU-дің Tx қуаты	300, 325, 350, 400, 425mW
$P_{d,k}$	DU-дің Tx қуаты	40, 50, 60, 70, 80 mW
$P_{d,1up}$	Жоғары байланыс жиілігі	20 mW
$Z_{d,k}$	D2D пайдаланушысының тоқтау шегінің мәні	0.1, 0.3, 0.5

### 3 SDR қабылдағышымен 5G-де ультра төмен кідірісті алу

SDR нақты уақытта іске асыру: өте төмен кідіріс үшін 5G прототипін жасау қуатты бағдарламалық құралмен анықталған радио (SDR) платформаларын қажет етеді. Нақты уақытта іске асыру үшін пайдаланылатын кірістірілген платформа көп ядролы DSP платформасына жоғары жылдамдықпен өзара қосылған өте икемді MIMO радио модулінен тұрады. Радио басы синхрондалған 8 антеннаға дейін қолдайды, ал ағымдағы енгізу 2 антеннаны пайдаланады. Радио модуль мен негізгі жолақты сигналды өңдеу платформасы арасындағы интерфейс әр қабылдағыш үшін бастапқы I/Q деректерін тасымалдайтын көп гигабиттік байланыс болып табылады. Негізгі жолақтан қолданбалы деңгейге деректер ағыны қолданбаның соңғы нүктесіне жоғары оңтайландырылған Ethernet кадрларын тасымалдайтын стандартты Gigabit Ethernet шинасы арқылы жүзеге асырылды. Таңдалған базалық жолақ процессорлары екі TI C6670 көп ядролы DSP (Keystone I) болып табылады, олар 50 Гбит/с шинасы арқылы қосылған, жалпы сигналды бірлескен өңдеу үшін C66x сегіз ядросы пайдаланылады. Таңдалған көп тасымалдаушы толқын пішіні стандартты конфигурацияға 4 есе жылдамдатылған PHY және MAC өңдеуі бар LTE тәрізді MIMO-OFDMA толқын пішіні болып табылады.

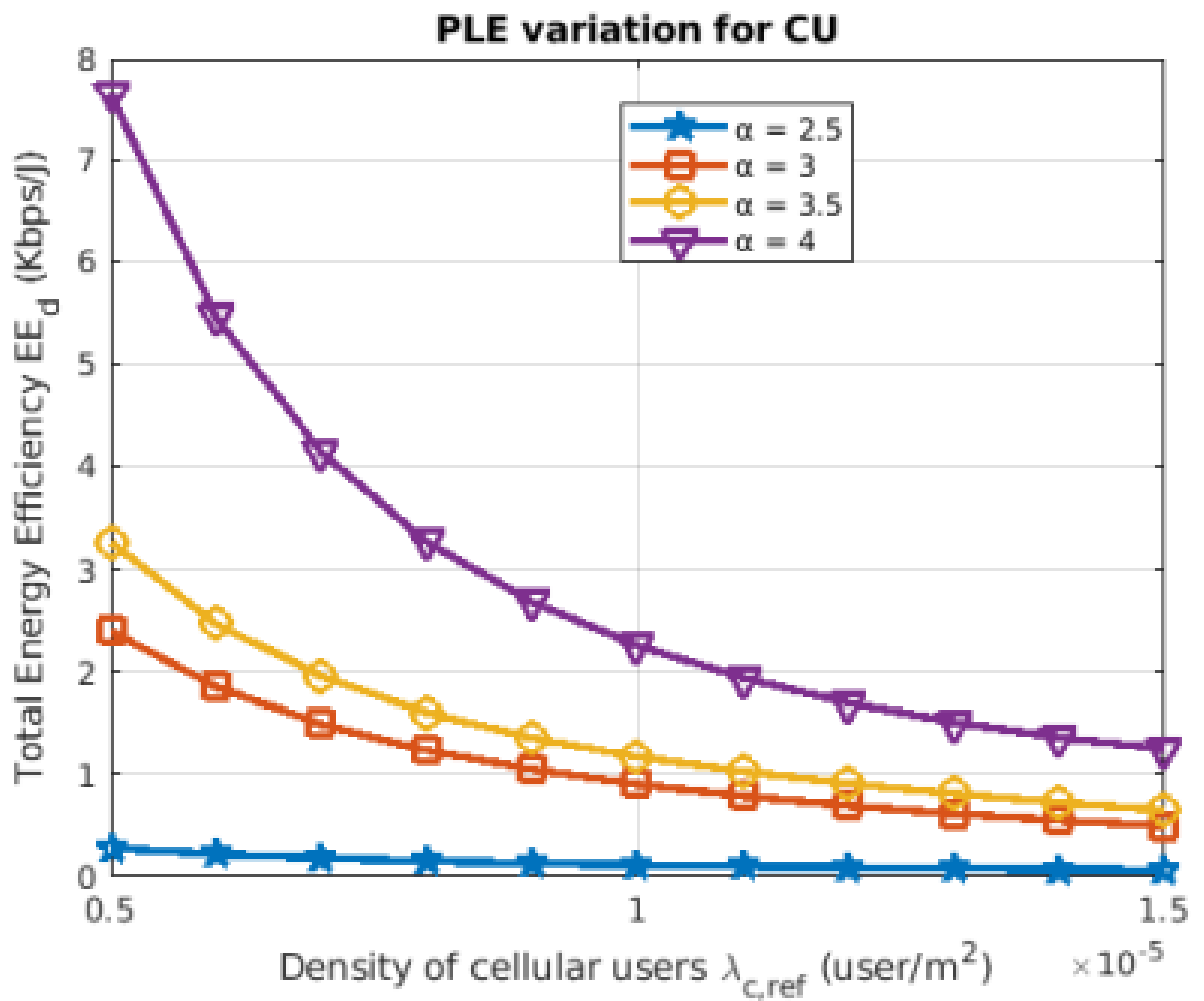


3.1-сурет – Тікелей көрсетілімде көрсетілген кідіріс гистограммасы



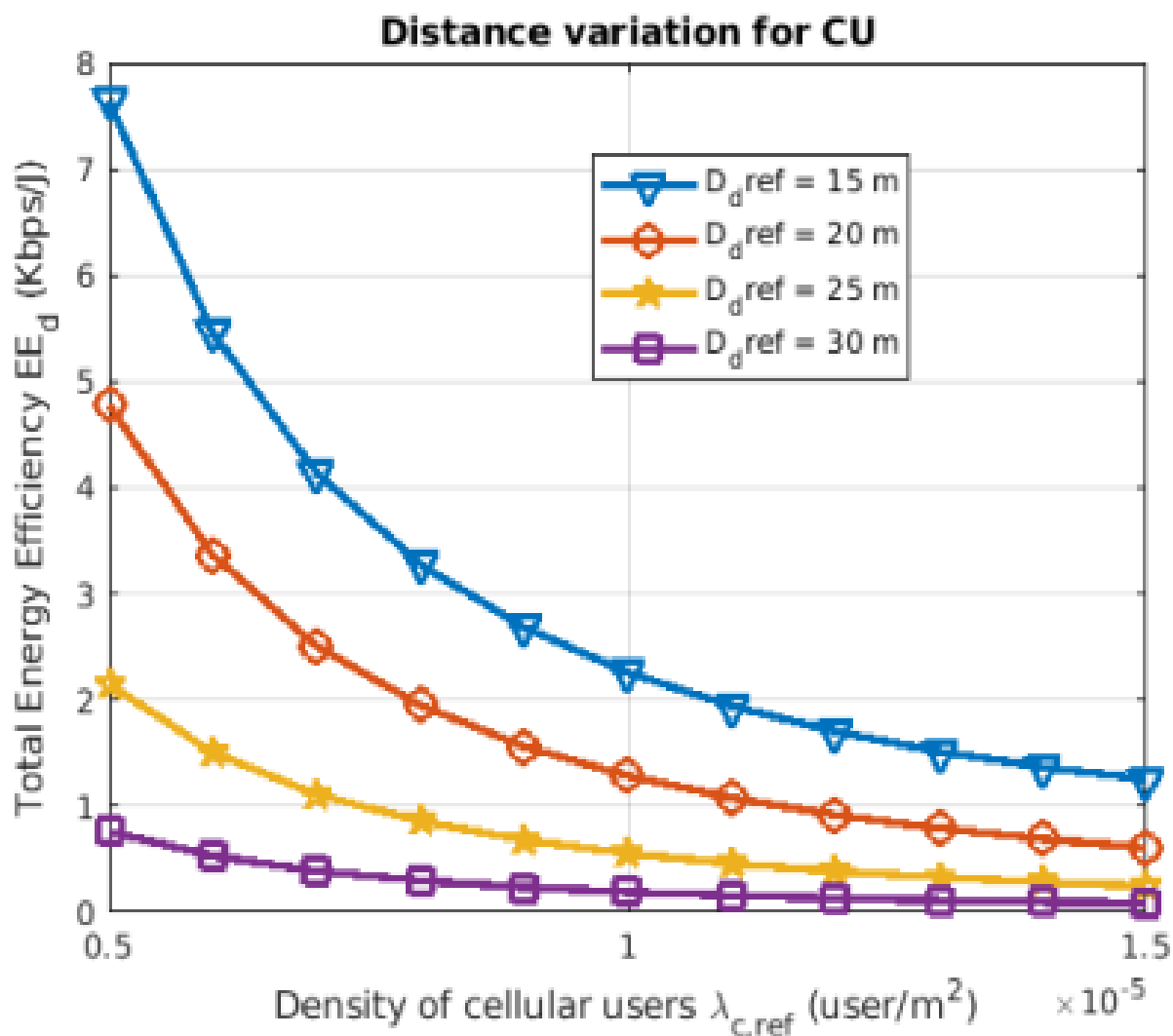
3.2-сурет – өткізу қабілеттілігінің өзгеруі үшін КО тығыздығына қарсы D2D энергия тиімділігі

Өртүрлі ұялы пайдаланушы тығыздығына қарсы жалпы энергия тиімділігі 3.2, 3.3, 3.4 және 3.5-суреттерде көрсетілген. Өртүрлі D2D пайдаланушы тығыздығына негізделген EE 3.5, 3.6, 3.7 және 3.8 – суреттерде көрсетілген. 3.2-сурет k-ші жолақтағы өткізу қабілеттілігі  $F_k$  параметрі және жолды жоғалту көрсеткіші ( $\alpha$ ) үшін ұялы пайдаланушы тығыздығына қарсы EE төмендеуін көрсетеді. Жоғары BW және PLE үшін жалпы EE жоғары болады.



3.3-сурет – Вариациялық жолды жоғалту көрсеткіші үшін КО тығыздығына қарсы D2D энергия тиімділігі

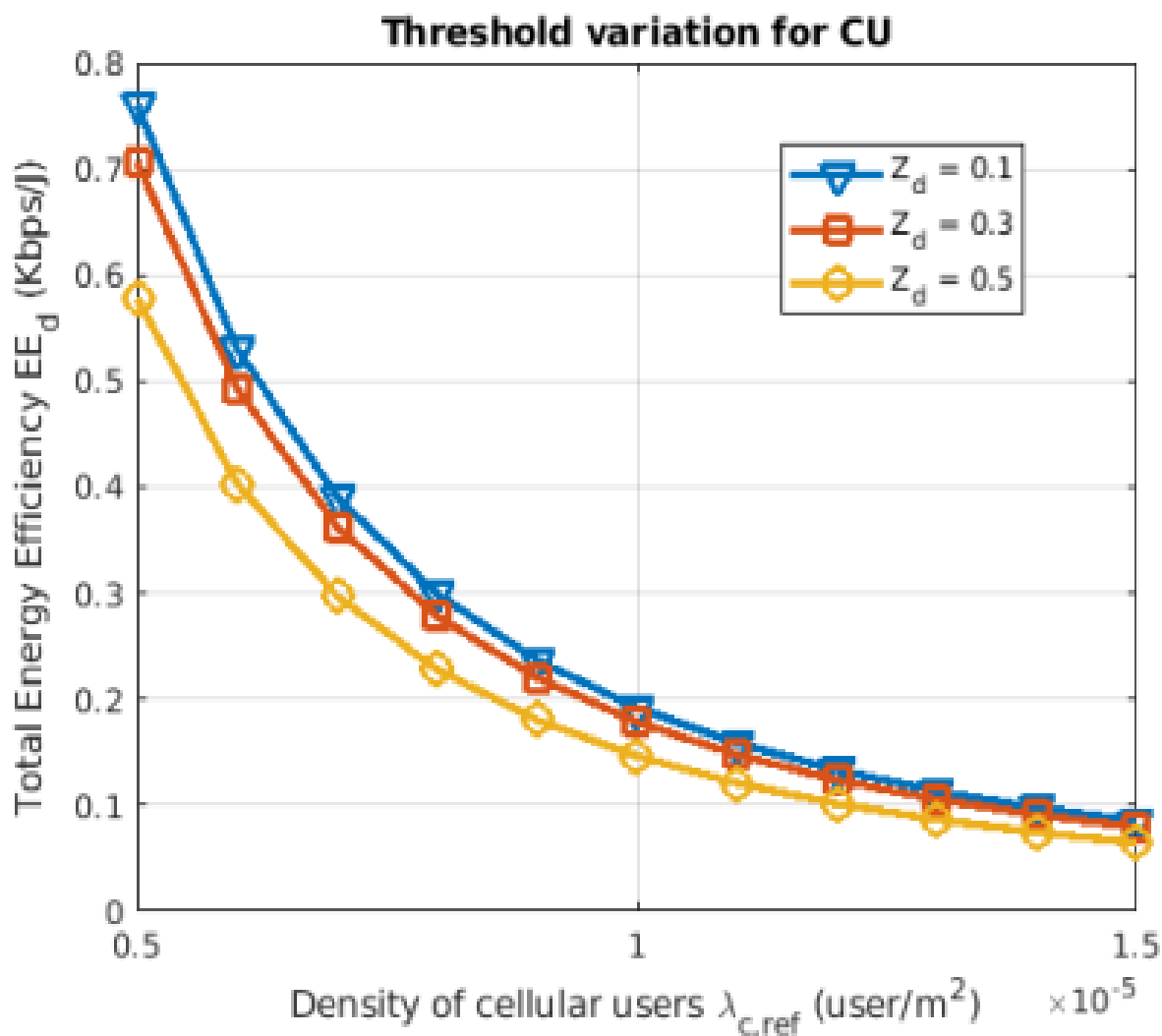
Ұялы байланыс пайдаланушысының ұялы байланысының жоғары тығыздығы үшін кедергі ұлғаяды және осылайша D2D байланысы үшін көбірек тұтынылатын қуат жоғарылаған кедергіні азайту үшін пайдаланылады.



3.4-сурет – Анықтамалық қашықтықтардың өзгеруі үшін КО тығыздығына қарсы D2D энергия тиімділігі

3.4-сурет D2D қабылдағышы мен D2D таратқышы арасындағы әртүрлі анықтамалық қашықтық үшін ЕЕ төмендеуінің айқын себебін көрсетеді. Қашықтық жоғарылаған сайын тиімділік төмендейді. Мұның себебі-қашықтықтың ұлғаюымен Рэйлейдің әлсіреуі күрделі мәселеге айналады.

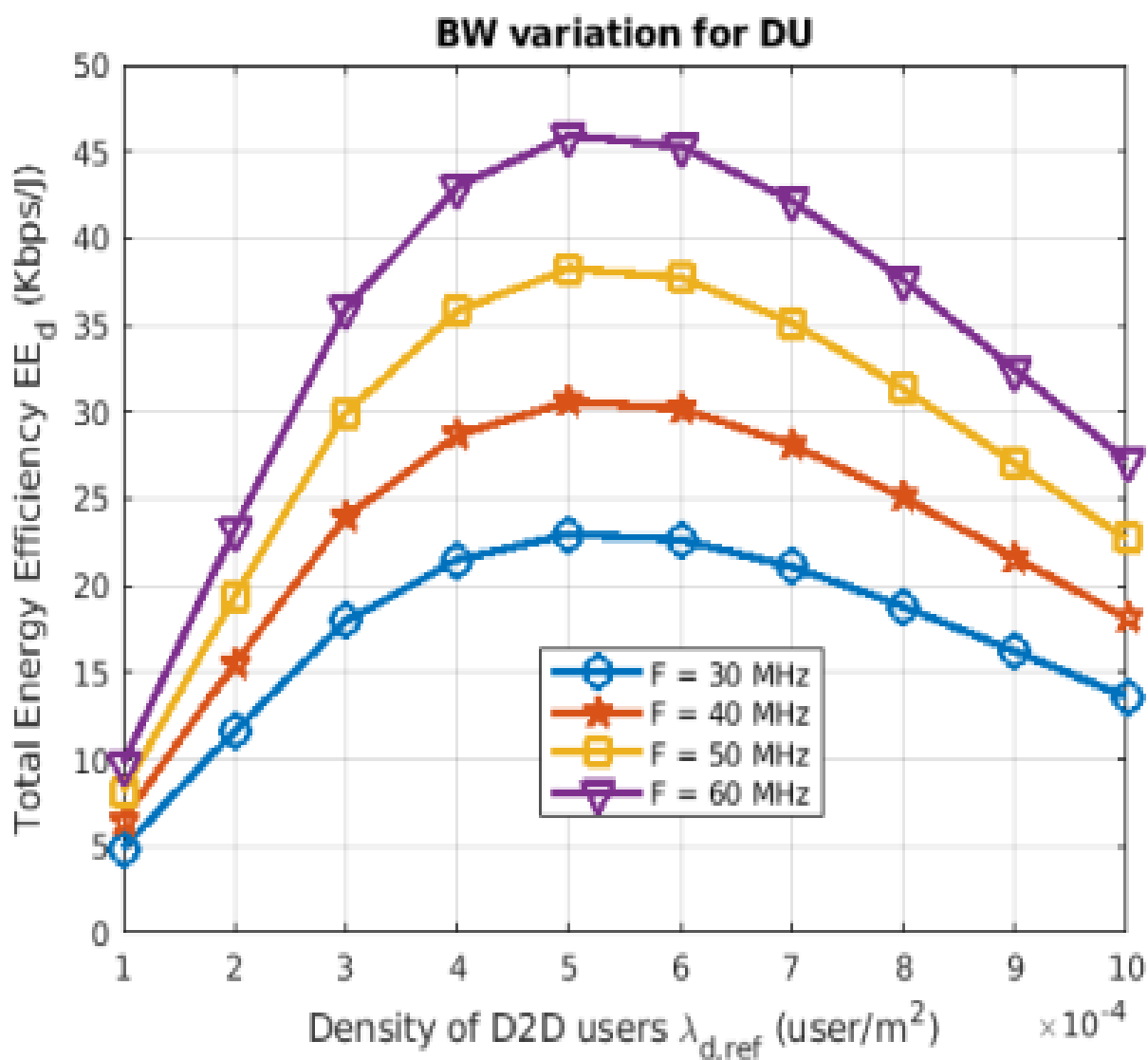




3.5-сурет – D2D үшін үзіліс табалдырығындағы өзгерістер үшін КО тығыздығына қарсы D2D энергия тиімділігі

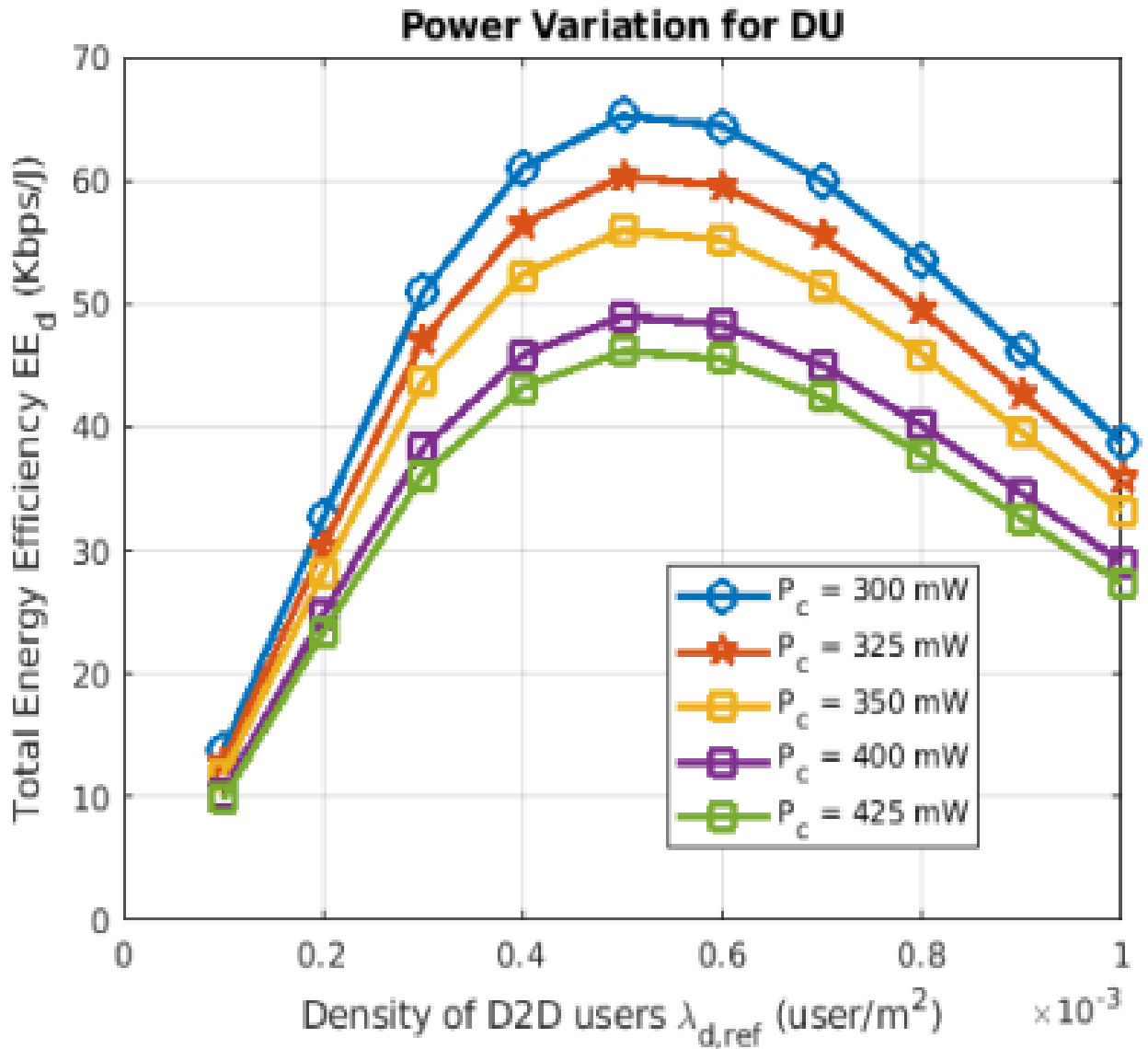
Егер D2D байланысы жоғары шекті қажет етсе, EE төмендейтіні анық. 3.5-сурет мәлімдемені дәлелдейді.

3.6-сурет жоғары өткізу қабілеттілігі үшін жоғары тиімділікті суреттейді және ұялы байланыс пайдаланушысы арасында тасымалдау үшін төмен қуат қажеттілігі жоғары энергия тиімділігіне әкеледі деген шешімді дәлелдейді.



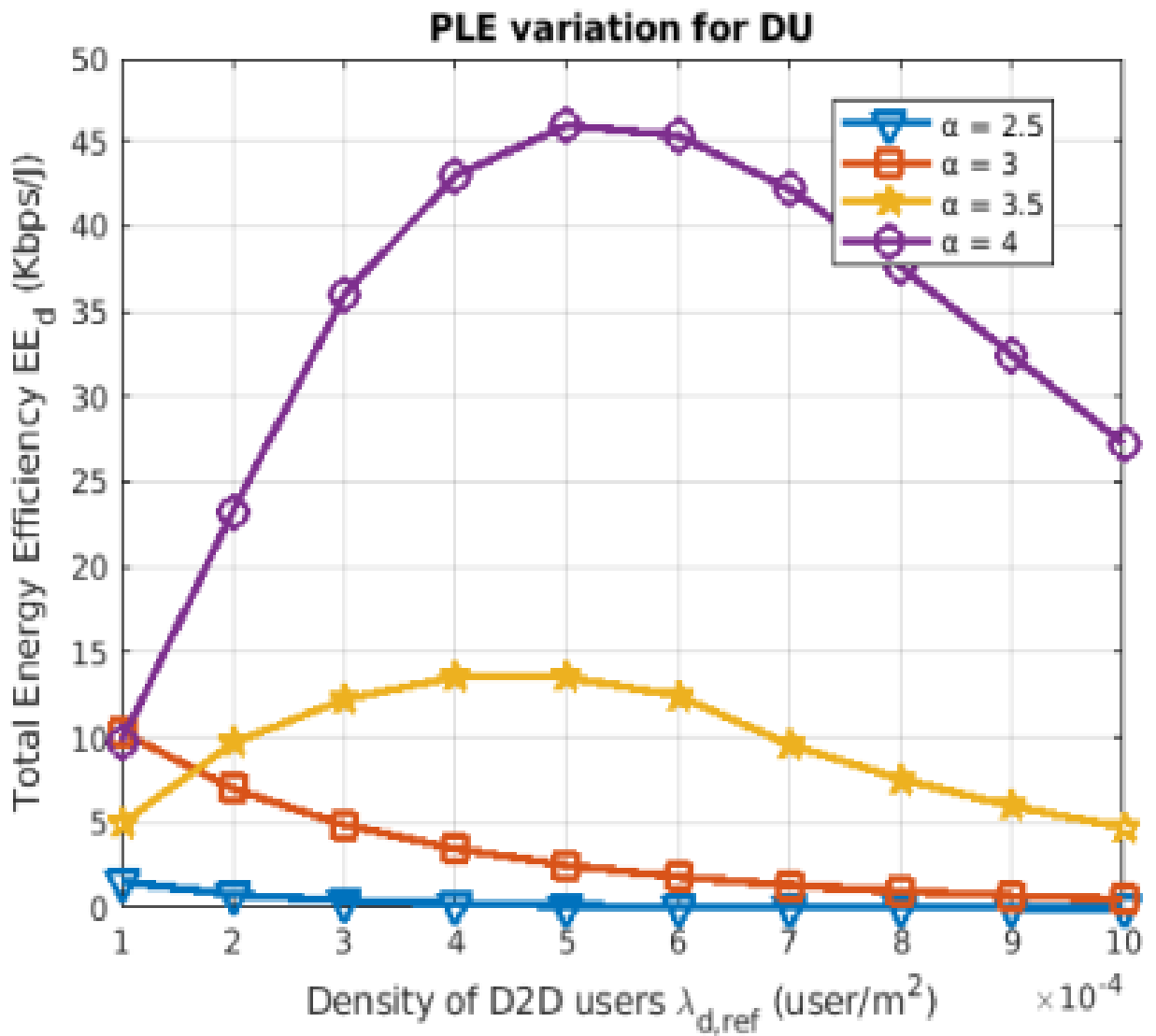
3.6-сурет – Өткізу қабілеттілігінің өзгеруі үшін DU тығыздығына қарсы D2D энергия тиімділігі

3.7-сурет ұялы байланыс пайдаланушылары үшін тарату қуатының ұлғаюымен EE төмендеуіне әкелетінін көрсетеді. Ұялы байланыс пайдаланушысына жұмыс істеу үшін көбірек қуат қажет болса, D2D пайдаланушыларын басқару үшін қуат тапшылығы, осылайша D2D тиімділігі төмен болады.



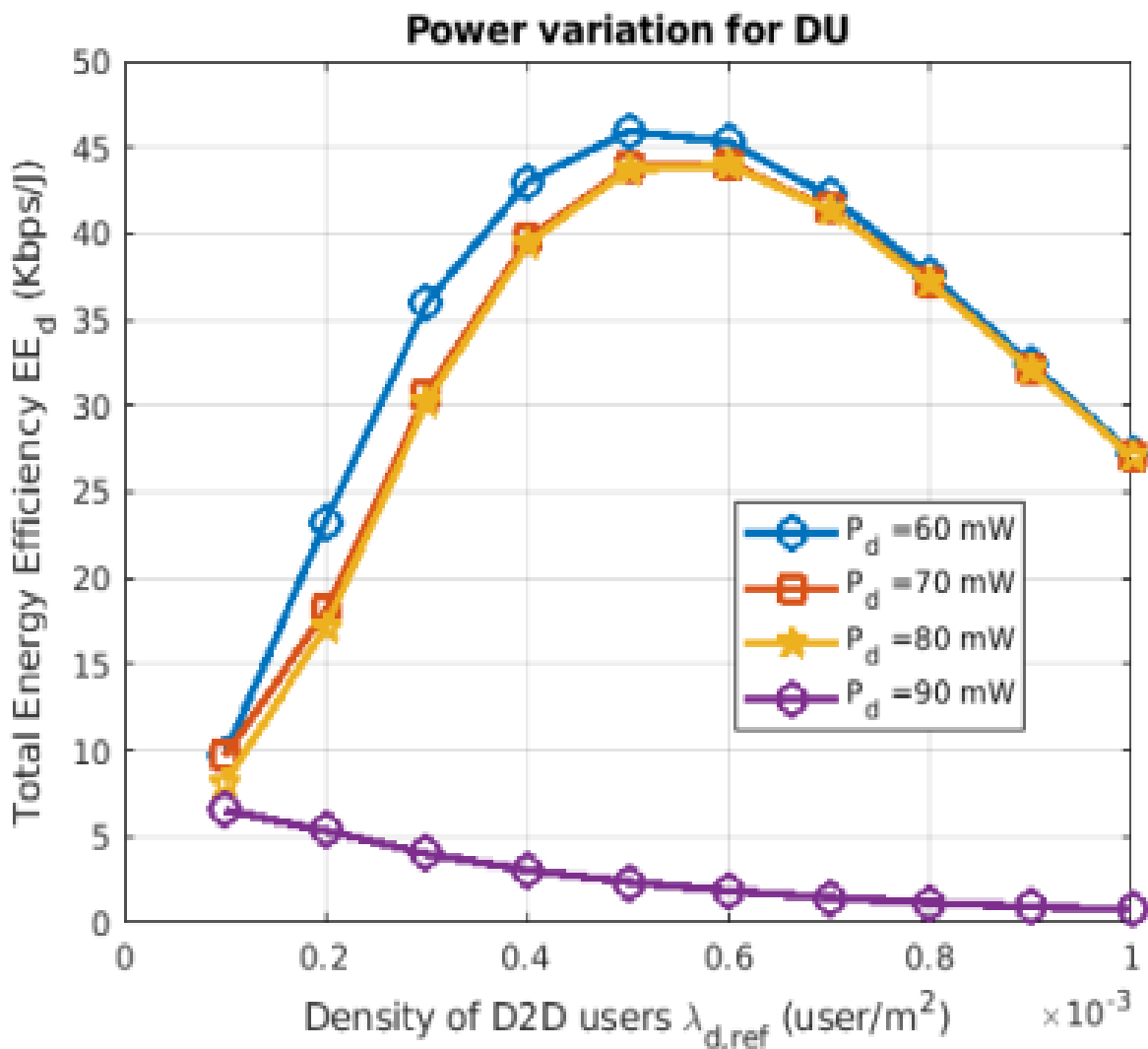
3.7-сурет – Ұялы байланыс пайдаланушылары үшін тарату қуатының өзгеруі үшін DU тығыздығына қарсы D2D энергия тиімділігі

DU тығыздығын ескере отырып, алдымен  $EE$ -де өсу болатыны анық, бірақ белгілі бір уақыттан кейін  $EE$  төмендей бастайды. Жалпы құбылыс интерференцияға тәуелді. Алдымен, тығыздықтың жоғарылауымен кедергі азаяды. Осы себепті  $EE$  жоғарылайды. Бірақ біраз уақыттан кейін тығыздық өскен сайын кедергі күшейе түседі. Осы жоғары кедергіні азайту үшін көбірек тұтынылатын D2D қуаты пайдаланылады. Сондықтан  $EE$  төмендей бастайды. Бірақ кейбір ерекшеліктер де бар.



3.8-сурет – Жолды жоғалту көрсеткішінің өзгеруі үшін DU тығыздығына қарсы D2D энергия тиімділігі

3.8-суретте жолды жоғалту көрсеткішінің бөлшек мәні үшін сипаттамалық қисық алдыңғы түсініктемемен ұқсастықты көрсететіні байқалады.



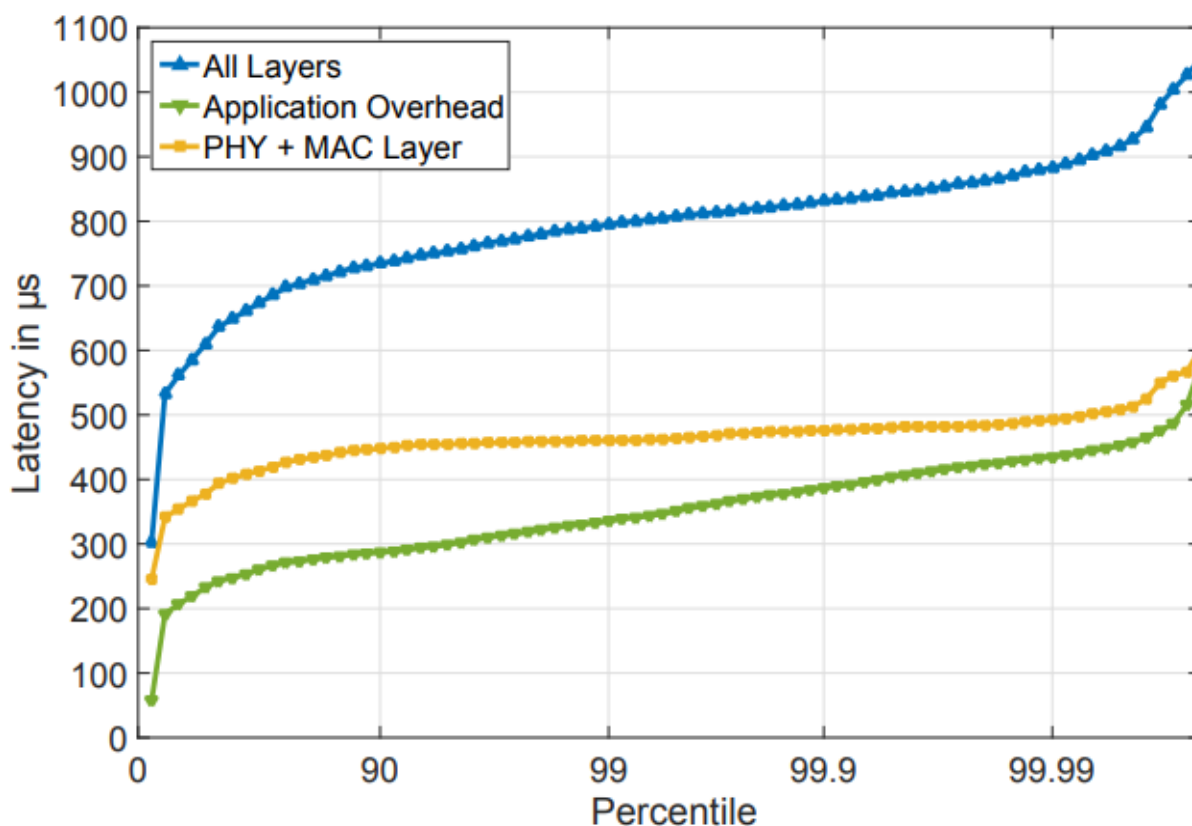
3.9-сурет – D2D пайдаланушылары үшін тарату қуатының өзгеруі үшін DU тығыздығына қарсы D2D энергия тиімділігі

Бірақ бүтін мән үшін EE басынан бастап D2D пайдаланушы тығыздығының ұлғаюымен төмендей бастайды.

Соңында, 3.9-суретте жолды жоғалту көрсеткіші сияқты сипаттама көрсетілген. D2D пайдаланушысы үшін талап етілетін төмен тарату қуаты үшін жоғарырақ энергия тиімділігі. 90 мВт қуат қажеттілігі үшін EE басынан бастап төмендей бастайды. Мұндай құбылыстың себебі, қуат қажеттілігінің мөлшері басынан бастап кедергіні жеңе алмайтындай жоғары және ол экспоненциалды түрде төмендей бастайды.

Кідіріс өнімділігін бағалау үшін соңына дейін өлшеу қажет. Бірнеше кезек пен буфер, сондай-ақ РНУ және MAC деңгейлерінің ауқымынан тыс жоспарлау операциялары тартылғандықтан, барлық қабаттарда мұқият бағалау жүргізілуі керек. Өлшеу жүйесі нақты уақыт ядросы бар стандартты Linux операциялық жүйесімен (OS) жұмыс істейтін Intel Core i7 процессорында жүзеге асырылды. Уақыт белгілері операциялық жүйеден

алынды және Linux стандартты ұяшығының API интерфейсі әрқайсысы 32 байт пайдалы жүктеме өлшемі бар UDP пакетін тасымалдайтын қысқа Ethernet кадрларын ағынмен жіберу үшін пайдаланылды. Ағынды және бағалау модульдері бірдей уақыт негізіне ие болу және синхрондау мәселелерін болдырмау үшін бір жүйеде жүзеге асырылды. Кешіктірілген тексеру үшін пайдаланылатын UNIX уақыт белгілері  $\mu\text{s}$ -дәлдігі бар дәлдікке мүмкіндік береді. Негізгі өнімділік көрсеткіштері (KPI): Өлшенетін негізгі KPI өткізу қабілеті мен кідірісі болып табылады. Мұнда кідіріс жазбаларына және пакеттік статистиканы офлайн бағалауға назар аударылды. Өлшемдер бір сымсыз байланыс арқылы ешқандай кедергісіз орындалды. Бірнеше өлшеулер бойынша кідіріс гистограммасы 3.1-суретте көрсетілген. Пакетті таратудан сенімділік өлшемдері желіден тыс есептелді. Атап айтқанда, кідіріс нәтижелерін бағалау үшін жалпы жіберілген пакеттердің процентильдерін қолданамыз. Бір пакеттің жоғалуы жалпы кідіріс статистикасына үлкен әсер ететінін ескеру керек. Бұл сенімді өте төмен кідіріс талаптары бар сымсыз байланыс жүйелері үшін жүйе дизайнын қиындатады. Linux-те кідірістің үстеме шығынын шығару үшін кері цикл өлшемдері орындалды. Өлшеу нәтижелері: 3.2-суретте сәйкесінше 99,9%- және 99,99% үшін 500мкс төмен кідіріспен кідіріс процентильдерінің нәтижелері көрсетілген. Осылайша, бұл жүйе конфигурациясымен 1 мс екі жақты кешігуге қол жеткізуге болады.

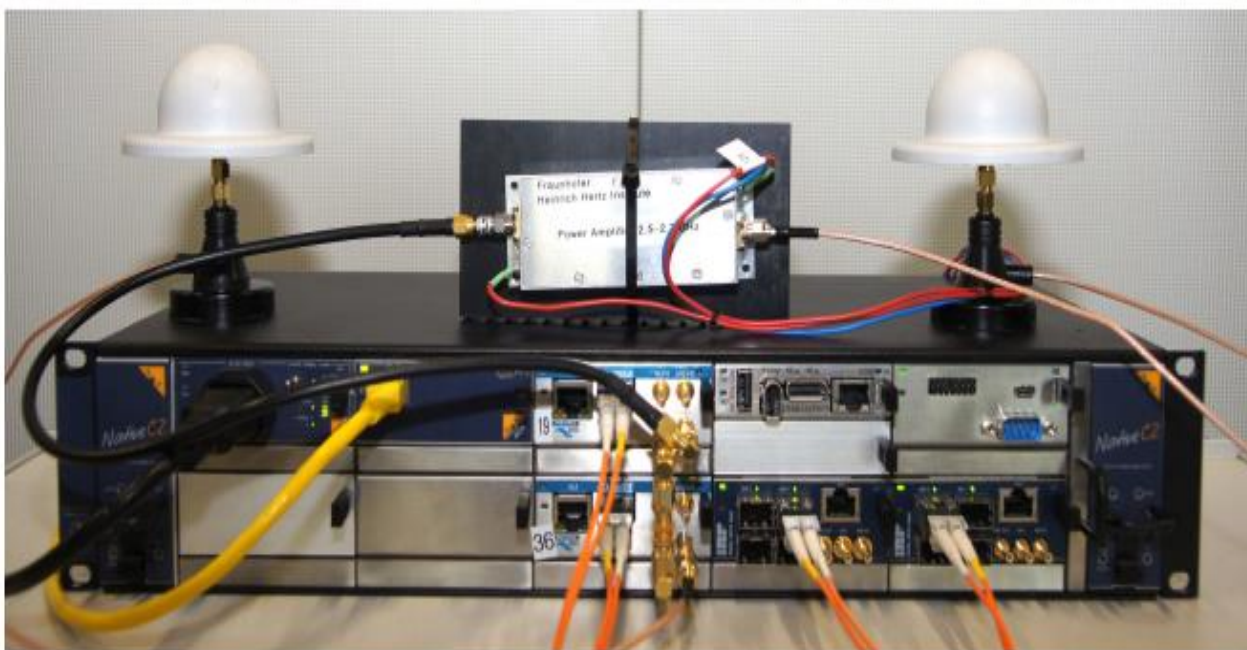


3.10-сурет – Бір жақты кідірістерді өлшеу



20 МГц өткізу қабілеттілігін пайдаланатын сымсыз кең жолақты байланыс жүйесі 1 мс-тен төмен айналу кідірісіне қол жеткізе алады. Кешіктіруді өлшеу ауадағы екі соңғы нүкте арасында орындалады. Жүйе көп ядролы DSP платформасында іске асырылған PHY және MAC сигналдарын өңдеу алгоритмдері бар икемді Software Defined Radio (SDR) құралдар жинағына негізделген.

Демонстрацияда көрсетілетін тікелей эфирлік таратуға арналған SDR жүйесі 3.11-суретте көрсетілген. Жиілік жолағын ISM диапазонында немесе кабельдік-РЖ арқылы жүзеге асыруға болады. Жүйе кешігу гистограммаларын көрсететін кідіріс статистикасын тікелей бағалауға, сондай-ақ UDP пакеттерін жіберуге мүмкіндік береді. Тікелей гистограмма шамамен статистиканы түсіреді. Қайта есептеу алдында 4000 деректер пакеті беріледі.



3.11-сурет – MicroTCA шассиіне біріктірілген таратқыш және қабылдағыш радиобастары және сигналды өңдеу платформасы бар SDR аппараттық құралын орнату

## ҚОРЫТЫНДЫ

Болашақта 5G әртүрлі өнеркәсіп салаларында қолданылады деп күтілсе де, нарықтық тенденцияларды, қажеттіліктерді, әлеуметтік проблемаларды және технологиялық эволюцияны қарастыра отырып, 5G-нің болашағына бағытталған зерттеулер мен әзірлемелерді жүргізу қажет. Аймақтық құру, туу, картаю деңгейінің төмендігі сияқты әлеуметтік мәселелерді шешу үшін қашықтан жұмыс істеу, қашықтан басқару, телемедицина, жұмыс күші тапшылығы, қашықтықтан білім беру және әртүрлі жабдықтарды басқару сияқты әртүрлі шешімдер жоғары жылдамдықты және аз кідіріспен байланыс желілерімен қамтамасыз етіледі деп күтілуде. 2030 жылдары әлем барлық адамдарға, ақпаратқа және тауарларға кез келген жерде өте шынайы тәжірибеде қол жеткізуге болатын және жұмыс орны мен уақытының шектеулері толығымен жойылатын орынға айналады деп күтілуде. Бұл ауыл мен қала арасындағы әлеуметтік және мәдени айырмашылықтарды күрт жояды, адамдардың қалада шоғырлануын болдырмайды және жергілікті дамуға ықпал етеді. Бұл сонымен қатар адамдардың өмірін стресстен арылтады. 5G технологиясы пайдаланушыларға ультра жоғары жылдамдықты, жоғары сыйымдылықты, жоғары сенімді, аз кідіріспен және жаппай құрылғыны қосу мүмкіндіктерін жақсартуды жалғастырады.

Магистрлік диссертацияның бірінші тарауында 5G желісінің ағымдағы жағдайына талдау берілген. Бесінші буынның байланыс желілері мен қолданыстағылары арасындағы негізгі айырмашылықтары мен дамуына шолу жасалынды.

Екінші тарауда 5G архитектурасына, ұялы ядросына сипаттама берілген. 5G желісінің параметрлеріне жеке-жеке шолу жасалынған. Спектрлік тиімділік пен энергия тиімділіктеріне математикалық модель ұсынылған. MATLAB бағдарламалық жасақтамасындағы энергия спектрлері алынған.

Үшінші тарауда SDR радиоқабылдағыш көмегімен 5G сигналдарын алып оны MATLAB бағдарламалық жасақтамасында өндеген. Кідіріс өнімділігін бағалау үшін жалпы жіберілген пакеттердің процентильтері қолданылған. Өлшеу жүйесі нақты уақыт ядросы бар стандартты Linux операциялық жүйесімен жүзеге асырылды.

Нәтижелерді талдауда 5G бұл жүйе конфигурациясымен 1 мс екі жақты кешігуге қол жеткізуге болады деген қорытынды шығады.

## Қысқартылған сөздер

**LTE** – ұзақ мерзімді эволюция;  
**QoS** – Қызмет көрсету сапасы;  
**ms** – миллисекунд;  
**eMBB** – кеңейтілген мобильді кең жолақты байланыс;  
**mMTC** – массивтік машина түріндегі байланыс;  
**URLLC** – өте сенімді төмен кідіріспен байланыс;  
**NTT** – Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation;  
**AI** – жасанды интеллект;  
**IOT** – заттар интернеті;  
**mmW** – миллиметрлік толқын;  
**NR Release** – жаңа радио шығарылымы;  
**GPP** – тиісті дәріханалық практика стандартты;  
**XR** – толықтырылған шындық;  
**VR** – вертуалды шындық;  
**AR** – толықтырылған нақтылық;  
**MR** – шеткі ннақтылық;  
**RAT** – радиоқабылдау технологиясы;  
**OFDM** – ортогональды жиілікті бөлу мультиплексирлеу;  
**MIMO** – сигналдың кеңістіктік кодтау әдісі;  
**mMIMO** – массивті MIMO;  
**FTN** – желіден тыс желі технологиясы;  
**PAPR** – Ең жоғарыдан орташа қуатқа қатынасы  
**VM-MIMO** – виртуалды массивтік MIMO;  
**IAB** – кері тасымалдау;  
**GEO** – геостационарлық жерсеріктер;  
**LEO**-төмен орбиталық спутниктер;  
**HAPS**-жоғары биіктіктегі жалған спутниктер;  
**LAN** – ынтымақтастық сымсыз;  
**LAA** – лицензиялық көмекші қол жеткізу;  
**NOMA** – ортогональды емес көптік қолжетімділік;  
**WLAN** – сымсыз жергілікті желі;  
**WPAN** – сымсыз жеке желілер;  
**NG-Core** – келесі ұрпақтың басқару ұшағы;  
**AMF** – аутентификацияны басқару өрісі;  
**SMF** – қызметті басқару құралы;  
**VE** – көлемдік тиімділік;  
**IP** – интернет протоколы;  
**PCF** – саясат ережелерін басқару;  
**CP** – басқару жазықтығы;  
**UDM** – пайдаланушы деректерінің модулі;  
**AUSF** –  
**EPC** – электр қуатын басқару;

**SDSF** – жүйені көрсету және іздеу құралы;  
**UDSF** – құрылымсыз деректерді сақтау функциясы;  
**NEF** – желіге әсер ету функциясы;  
**NRF** – NF сақтау функциясы;  
**NSSF** – желілік бөлімді таңдау құралы;  
**UPF** – UI функциясы;  
**UI** – пайдаланушы интерфейсі;  
**RAN** – радиоқабылдау желісі;  
**SIM** – абонентті сәйкестендіру модулі;  
**AES** – кеңейтілген шифрлау стандарты;  
**QCI** – QoS класс идентификаторы;  
**ГГц** – Гигагерц;  
**АҚШ** – Америка құрама штаты;  
**FCC** – Федералдық байланыс комиссиясы;  
**РЖ** – радиожиліктер;  
**BW** – кең жолақты сымсыз қол жеткізу;  
**QFI** – QoS ағын идентификатор;  
**DRB** – Деректер Радиосын тасымалдаушылары;  
**EPC** – электр қуатын басқару;  
**RAN** – радиоқабылдау желісі;  
**PDU** – қуат дистрибьюторы;  
**NAS** – желіге қосылған сақтау орны;  
**AS** – автономды жүйе;  
**DRBs** – таратылған репликацияланған блок құрылғысы;  
**EVI** – бит ағынының соңы;  
**FBMC** – сүзгі банк мультитасымалдаушы;  
**SC-FDMA** – бір тасымалдаушы жиілікті бөлу көп қол жеткізу;  
**GFDM** – жалпыланған жиілікті бөлу мультиплексирлеу;  
**UFMC** – әмбебап сүзгіленген мультитасымалдаушы;  
**SE** – спектр тиімділігі;  
**FFT**-жылдам Фурье түрлендіруі;  
**MCC** – сатушы санатының коды;  
**M2M** – машинадан –машинамен байланыс;  
**MTC** – машина түріндегі байланыс;  
**MCL** – максималды байланыс жоғалтуы;  
**EDMF** – энергияны кешіктіруді басқару құрылымы;  
**BER** – биттік қателік жылдамдығы;  
**CPOMDP** – шектеулі жартылай бақыланатын Марков шешімі;  
**MDP** – Марков шешім процесі;  
**RL** – оқытуды күшейту;  
**E2E** – соңына дейін (сынақ түрі);  
**BPSK** – екілік фазалық манипуляция;  
**QAM** – квадратура-амплитудалық модуляция;  
**NARQ** – гибритті автоматты қайталап тарату үдірісі;

**PUSCH** – физикалық жоғары байланысты басқару арнасы;  
**PUSCH** – физикалық жоғары байланысты ортақ арнасы;  
**ACK** – мойындау (ASCII басқару таңбаларының бірі);  
**NACK** – мойындамау (ASCII басқару таңбаларының бірі);  
**FSMC** – икемді статикалық жад контроллері;  
**D2D** – құрылғыдан құрылғыға(сынақ түрі);  
**FPGA** – өрісте бағдарламаланатын қақпа массивтер;  
**BS** – базалық станция;  
**DU** – дискіні пайдалану;  
**EE** – энергия тиімділігі;  
**PLE** – жеке оқу ортасы;  
**SDR** – Software Defined Radio, қуатты бағдарламалық құралмен анықталған радио;  
**I/Q** – квадратуралық іріктеу;  
**MAC OS** – Apple корпорациясының жеке меншік операциялық желі топтамасы;  
**UNIX** – дәстүрлі желілік операциялық жүйе;  
**KPI** – негізгі өнімділік көрсеткіштері.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Cisco, «Visual Networking Index,» White paper, Feb. 2015 [Online]. Available: [www.Cisco.com](http://www.Cisco.com).
2. T. S. Rappaport, W. Roh, and K. Cheun, “Wireless engineers long considered high frequencies worthless for cellular systems. They couldn’t be more wrong,” *IEEE Spectr.*, vol. 51, no. 9, pp. 34–58, Sep. 2014.
3. H. Holma, A. Toskala, and T. Nakamura, “5G technology: 3GPP new radio,» Wiley, Dec. 2019.
4. Newsletter of the MIC, Japan, “Announcement of the Local 5G implementation guidelines – Institutional development for Local 5G implementation,» Dec. 2019
5. Government of Japan, “The 5<sup>th</sup> Science and Technology Basic Plan,» Jan. 2016.
6. H. Sasaki, D. Lee, H. Fukumoto, Y. Yagi, T. Kaho, H. Shiba, and T. Shimizu, “Experiment on over-100-Gbps wireless transmission with OAM-MIMO multiplexing system in 28-GHz band,» *IEEE GLOBECOM2018*, Dec. 2018.
7. J. A. Lucciardi, N. Thomas, M. L. Boucheret, C. Poulliat, and G. Mesnager, “Trade-off between spectral efficiency increase and PAPR reduction when using FTN signaling: Impact of non linearities,» *IEEE ICC2016*, May 2016.
8. T. Murakami, R. Ohmiya, T. Nakahira, K. Ishihara, and T. Hayashi, “Proposal of virtual massive MIMO (VM-MIMO),» *IEICE General Conference 2019*, B-1-123, Mar. 2019.
9. DOCOMO Press Release, “DOCOMO, AGC and Ericsson achieve world’s first 5G communication using glass antenna for 28 GHz,» May 2019.
10. DOCOMO Press Release, “DOCOMO conducts world’s first successful trial of transparent dynamic metasurface,» Jan. 2020.
11. DOCOMO Press Release (in Japanese), “DOCOMO conducts world’s first successful trial of expanding 5G coverage using meta-material reflector for 28 GHz,» Dec. 2018.
12. O. Teyeb, A. Muhammad, G. Mildh, E. Dahlman, F. Barac, and B. Makki, “Integrated access backhauled networks,» *IEEE VTC2019-Fall*, Sept. 2019.
13. T. Onizawa, T. Tatsuda, N. Kita, and F. Yamashita, “Recent research and developments focusing on fixed wireless and satellite communication systems,» *IEICE Tech. Rep.*, RCS2019-32, pp. 53-58, May 2019.
14. Y. Fujino, H. Fukumoto, M. Nakano, T. Tsubaki, and K. Sakamoto, “Challenge to Mbps-class high-speed acoustic communication for wireless remote operation of underwater vehicles,» *IEICE Tech. Rep.*, RCS2019-232, pp. 163-168, Nov. 2019.
15. H. Harada, D. Murayama, and S. Nagata, “3GPP study on 5G NR based access to unlicensed spectrum,» *IEICE Tech. Rep.*, SRW2018-70, pp. 61-65, Mar. 2019.
16. N. Ye, X. Li, H. Yu, A. Wang, W. Liu, and X. Hou, “Deep learning aided grant-free NOMA toward reliable low-latency access in tactile internet of



17. things,” IEEE Trans. On Industrial Informatics, vol. 15, no. 5, pp. 2995-3005, 2019.
18. T. Arai, D. Goto, M. Iwabuchi, T. Iwakuni, and K. Maruta, “AMAP: adaptive movable access point system for offloading efficiency enhancement,” IEICE Tech. Rep., RCS2016-43, pp. 107-112, May 2016
19. T. Murakami, M. Miyazaki, S. Ishida, and A. Fukuda, “Wireless LAN based CSI monitoring system for object detection,” MDPI Electronics, vol.7(11), no.290, Nov. 2018.
20. T. Murakami, S. Otsuki, T. Hayashi, Y. Takatori, and K Kitamura, “Wildlife detection system using wireless LAN signals,” NTT technical review, vol.17, no.6, pp.45-48, Jun. 2019.
21. J N. Zhao, S. Zhang, F. R. Yu, Y. Chen, A. Nallanathan, and V. C. M. Leung, “Exploiting interference for energy harvesting: a survey, research issues, and challenges,” IEEE Access, vol. 5, pp. 10403–10421, May 2017.
22. FCC News Release, “FCC takes steps to open spectrum horizons for new services and technologies,” Mar. 2019.
23. T. S. Rappaport, “Wireless beyond 100 GHz: opportunities and challenges for 6G and beyond,” IEEE COMCAS Keynote, Nov. 2019.
24. M. Taromaru, “A view of digital modulation technologies beyond 5G – Are we still to use IFFT/FFT-based modulations for the new radio?,” IEICE Society Conference 2018, BS4-3, Sept. 2018.
25. 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; System Architecture for the 5G System; Stage 2 (Release 15) 3GPP TS 23.501 V15.4.0 (2018-12)
26. A.Sahin, I. Guvenc, and H. Arslan, “A Survey on Multicarrier Communications: Prototype Filters, Lattice Structures, and Implementation Aspects”, IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 16, no. 3, pp. 1312–1338, March 2014.
27. Huawei, HiSilicon, “5G waveform: requirements and design principles,” 3GPP Standard Contribution (R1-162151), Busan, Korea, Apr. 11-15 2016.
28. B. Farhang-Boroujeny and H. Moradi, “OFDM Inspired Waveforms for 5G”, IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 18, no. 4, pp. 2474–2492, Fourthquarter 2016
29. M. A. Hassan Mitul and M. Munjure Mowla, "Investigation of Energy Efficiency in Underlaid D2D Assisted 5G Cellular Network," 2019 3rd International Conference on Electrical, Computer & Telecommunication Engineering (ICECTE), Rajshahi, Bangladesh, 2019, pp. 81-84, doi: 10.1109/ICECTE48615.2019.9303542.
30. Z. Zhou, M. Dong, K. Ota, J. Wu and T. Sato, "Energy Efficiency and Spectral Efficiency Tradeoff in Device-to-Device (D2D) Communications," in IEEE Wireless Communications Letters, vol. 3, no. 5, pp. 485-488, Oct. 2014, doi: 10.1109/LWC.2014.2337295.

31. Y. Zhang, Y. Yang and L. Dai, "Energy Efficiency Maximization for Device-to-Device Communication Underlying Cellular Networks on Multiple Bands," in *IEEE Access*, vol. 4, pp. 7682-7691, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2623758.

32. Shurdi O., Ruci L., Biberaj A. & Mesi G. (2021). 5G Energy Efficiency Overview. *European Scientific Journal*, ESJ, 17(3), 315.

33. J Pilz, M. Mehlhose, T. Wirth, D. Wieruch, B. Holfeld and T. Haustein, «A Tactile Internet demonstration: 1ms ultra low delay for wireless communications towards 5G,» 2016 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), San Francisco, CA, USA, 2016, pp. 862-863, doi: 10.1109/INFCOMW.2016.7562198.

34. Jiarui Wu «Research on Massive MIMO Key Technology in 5G» (2018) *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 466(1):012083 DOI:10.1088/1757-899X/466/1/012083

**«7M06201 – Телекоммуникация» мамандығы бойынша техника ғылымдарының магистрі дәрежесін алу үшін ұсынылған Оспанова Арайлымның «5G желісіндегі қолданбалы параметрлерді зерттеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына ғылыми жетекшінің**

### **СЫН-ПІКІРІ**

Оспанова Арайлымның диссертациялық жұмысы 5G желісіндегі қолданбалы параметрлерді зерттеуге арналған.

Зерттеу тақырыбының маңыздылығы қазіргі таңдағы ғылым мен технологияда ұялы жүйелердің кеңінен пайдалануымен байланысты.

Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелерін алу мақсатында келесі міндеттер қойылып, орындалған:

- 1) 5G дамуын салыстырмалы талдау жасалынған;
- 2) 5G архитектурасы және параметрлеріне сипаттама беріліп шолу жасалынған;
- 3) SDR қабылдағышымен 5G-де ультра төмен кідіріс нәтижелері алынған;
- 4) Тәжірибеден алынған нәтижелері теория қорытындысымен салыстыру жұмыстары жүргізілген. Зерттеу нәтижесінде эксперименттік мәліметтердің нәтижелері теориялық нәтижелерімен сәйкестігі анықталған.

Диссертацияның негізгі зерттеу нәтижесі бойынша «5G желілердегі ұяшықтардың орналасу тығыздығын талдау» және «Энергияны анықтау негізіндегі радио жиіліктердің спектрлерін талдау» тақырыптарында 2 мақала шығарылды.

Жұмыс нәтижесі бойынша барлық қойылған міндеттер орындалған, зерттеу жұмысының өзектілігі, ғылыми жаңалығы және практикалық маңыздылығы диссертациялық жұмыста толығымен ашылып, сенімді дәлелденген.

### **Жұмыс бағасы**

Жалпы, диссертациялық жұмыс “өте жақсы” (А, 95%) деген бағаға, ал магистрант Оспанова Арайлым Айдарханқызы 7M06201 – Телекоммуникация мамандығы бойынша «техника ғылымдарының магистрі» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

**Ғылыми жетекші**

**PhD докторы, ЭТЖТ каф. аға оқытушысы**

**Тайсариева К.Н.**

**«31» шілде айы 2023 ж**





## Магистрлік диссертацияға РЕЦЕНЗИЯ

**Магистрант:** Оспанова Арайлым Айдарханқызы

**Білім беру бағдарламасы:** 7M06201 – «Телекоммуникация»

**Магистрлік диссертация тақырыбы:** «5G желісіндегі қолданбалы параметрлерді зерттеу».

Диссертациялық жұмыста 5G және келесі буын сымсыз байланыс желілері, сонымен қатар қолданбалы параметрлерін зерттеу қарастырылады.

Диссертациялық жұмыстың өзектілігі: қазіргі заманауи технологиялардың талаптарына – жоғары жылдамдық, аз кідіріс, кең ауқымды қамту сияқты негізгі талаптар жатады. Мобильді желілерде қызмет көрсету сапасына (QoS) өте қатаң талаптарға кепілдік беруі және 5G қызметтері (URLLC, eMBB және mMTC) желідегі ресурстардың көп бөлігін тұтынады. Бұл талаптардың барлығын 5G және келесі буын желілері қамтамасыз етеді.

Қысқаша айтқанда, Смарт құрылғылардың танымалдығы артып келе жатқандықтан, қазіргі уақытта IP негізіндегі барлық байланыс желілері күнделікті өмірдің бір бөлігіне айналды. 5G ультра төмен кідіріс байланысын қамтамасыз етуге және өте жоғары гигабиттік жылдамдықпен деректерді сенімді тасымалдауға бағытталған. 5G және келесі буын сымсыз желілерін зерттеу өзекті мәселелердің бірі болып отыр.

Бірінші бөлімде әдебиеттерге шолу, 5G және келесі буын сымсыз желілерін алдығы ұрпақтармен салыстырылды, олардың негізгі жұмыс істеу принциптері қарастырылды.

Екінші бөлімде 5G архитектурасы мен қолданбалы параметрлерін қамтыды. Параметрлерінің әрқайсысына жеке талдаулар жасалынған. Аз кідіріс пен энергияны тиімді пайдалану параметрлеріне терең шолу жасалынды, математикалық моделі ұсынылды.

Үшінші бөлімде SDR радиоқабылдағышының көмегімен 5G-дегі ультра төмен кідірістің энергияны тиімді пайдалану арқылы 1 мс нәтижесі алынған. Математикалық моделі мен тәжірибе нәтижелері салыстырылған.

### Жұмыс бағасы

Жалпы, диссертациялық жұмыс “өте жақсы” (А, 95%) деген бағаға, ал магистрант Оспанова Арайлым Айдарханқызы 7M06201 – Телекоммуникация мамандығы бойынша «техника ғылымдарының магистрі» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

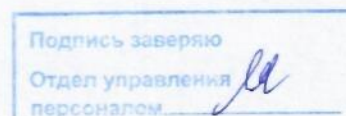
### Рецензент

PhD докторы,

ҚазТБУ оқу-әдістемелік  
жұмыс жөніндегі проректоры

*Жамангарин* Д.С. Жамангарин

«31» 05 2023 ж





**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор: Оспанова Арайлым Айдарханқызы**

**Тақырыбы: 5G желісіндегі қолданбалы параметрлерді зерттеу**

**Жетекшісі: Кырмызы Тайсариева**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 3.5**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 2.5**

**Дәйексөз (35): 1.1**

**Әріптерді ауыстыру: 3**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеңістіктер: 33**

**Ақ белгілер: 0**

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

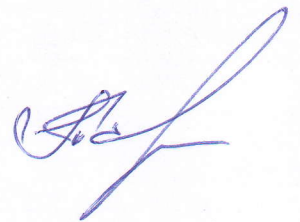
Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

6.06.2023

Күні

Кафедра меңгерушісі



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Оспанова Арайлым Айдарханқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: 5G желісіндегі қолданбалы параметрлерді зерттеу

Научный руководитель: Кырмызы Тайсариева

Коэффициент Подобия 1: 3.5

Коэффициент Подобия 2: 2.5

Микропробелы: 33

Знаки из других алфавитов: 3

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

6.06.2023

Дата

Заведующий кафедрой





## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Оспанова Арайлым Айдарханқызы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Магистерская диссертация

**Название работы:** 5G желісіндегі қолданбалы параметрлерді зерттеу

**Научный руководитель:** Қырмызы Тайсариева

**Коэффициент Подобия 1:** 3.5

**Коэффициент Подобия 2:** 2.5

**Микропробелы:** 33

**Знаки из других алфавитов:** 3

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрыва плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

6.06.2023  
Дата

Мария С. Сид  
проверяющий эксперт