

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Самбетов Азамат Бауыржанұлы

5G Сымсыз желісінің замануи технологиясындағы стандарттары

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

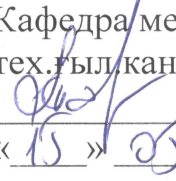
Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

тех.ғыл.канд, профессор

 Е.Таштай

« 15 » 2019 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы « 5G Сымсыз желісінің замануи технологиясындағы
стандарттары»

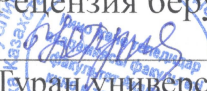
5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:



Самбетов Азамат Бауыржанұлы

Рецензия бергені

 Юсупова Г. М

Туран университеті

РЭТ каф., ассоц проф, PhD

« 13 » 2019 ж.



Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф. техн.ғыл.маг.,
ассистент

 Мамадияров М.М

« 13 » 05 2019 ж.

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

тех. ғыл. канд-ы

Е.Таштай

« 08 » 02 2019 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Самбетов Азамат

Тақырыбы: 5G Сымсыз желісінің замануи технологиясындағы стандарттары

Университет ректорының «16» қазан 2018 ж. №1162-б бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі « 24 » 08 2019 жыл.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын 5G технологиясының стандарттары қарастырылған.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

1) Ұялы жүйенің мобильдік радиобайланыс құрылу қағидалары;

2) 5G коммуникациясының технологияларының дамуы;

3) 5G желісінің даму сатысы;

4) D2D имитациондық моделін құру

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

Сызбалық материалдарда Қалалық орталықтардың телекоммуникациялық сызбасы көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер тізімі:

Бабаков В. Ю., Гельгор А. Л., Гольдштейн Б. С., Печаткин А. В.

дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Сымсыз байланыс стандарттарының дамуы	8.02.2019	<i>ЖОС</i>
5G технологиясының архитектурасы	22.03.2019	<i>ЖОС</i>
5G желісінде қолданылатын заманауи технологиялары	21.04.2019	<i>ЖОС</i>

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған

қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау	К.Н Тайсариева. PhD доктор, сениор лектор	<i>14.05.19</i>	<i>[Signature]</i>

Ғылыми жетекшісі _____

(қолы)

[Signature] М.М Мамадияров

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____

[Signature] А.Б Самбетов

Күні “*13*” *05* 2019 ж.

АҢДАТПА

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер: 5G архитектурасының дамуына шолу, 5G-ды жүзеге асыратын барлық жаңа технологиялар: миллиметрлі толқындар, massive MIMO антеннасы, MIMO байланыс арнасының 3D геометриялық моделі құрылды. Құрылғы-құрылғы коммуникациясында (D2D) эффективті инфрақұрылым жасалынды. D2D-байланысы көршілес абоненттердың ұялы және арнайы байланыс арналарын қолданатын құрылғылары арасында тіке байланысты орнатады, сонымен қатар ол спектрдің қолданысын, жүйенің өткізу қабілетін энергиялық тиімділігін жақсартады.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе рассмотрены вопросы: обзор развития архитектуры 5G, все новые технологии, реализующие 5G: миллиметровые волны, антенна massive MIMO, 3D геометрическая модель канала связи MIMO. В коммуникациях устройств (D2D) создана эффективная инфраструктура. D2D-связь устанавливает прямую связь между устройствами, использующими мобильные и специальные каналы связи соседних абонентов. При этом он также улучшает использование спектра, пропускную способность системы, энергоэффективность.

ANNOTATION

The thesis examines: a detailed review of the development of the architecture of 5G, all new technologies in the implementation of 5G, including millimeter waves and massive MIMO antennas, built a three-dimensional geometric model of the MIMO communication channel.

The device to device communications (D2D) in 5G networks has an efficient infrastructure. D2D communication provides direct communication between neighboring user devices using cellular or special communication channels, thereby improving spectrum utilization, system capacity and network energy efficiency.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Ұялы жүйенің мобильдік радиобайланыс құрылу қағидалары	10
1.1 Сымсыз байланыс стандарттарының дамуы	10
1.2 5G бесінші буынының коммуникациясының технологияларының дамуы	12
1.3 5G технологиясы	14
1.4 4G-дің 5G-ге дейін күшейтудегі (ұлғайтудағы) даму келешегі	16
1.5 Тапсырманың қойылымы	18
2 5G технологиясының архитектурасы	20
2.1 5G желісінің даму сатысы	20
2.2 5G желісінде қолданылатын заманауи технологиялары	22
3 Есептеу бөлімі	32
3.1 D2D Имитациондық моделін құру	32
3.2 Байланыс арнасының MIMO 3D математикалық моделі	35
3.3 Миллиметрлік диапазон (ММД) радиоарнасының модельдеу әдістемесі	39
Қорытынды	45
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	46
Қосымша А	47

КІРІСПЕ

Мобильдік құрылғыны жүйелеу бірнеше буындардан қалыптасады. Телефондағы алғашқы буын 1G деп аталады, көбіне оны «кірпіш» деген. Бұлар нарықтағы шынымен бірініші телефондар болды. Ары қарай екінші буын немесе 2G келді. Олардың пайда болуы аналогтік цифрлық технологияларға алып келді. Бұл буын пайда болғалы, біз мәтінді хабарламалар жібере алатын болдық. Үшінші буын немесе 3G кезіндегі ең басты артықшылығы – интернетке қосылудың және мәліметтерді жолдаудың жоғары жылдамдығы. Ал 2009 жылдың басында бейне қоңыраулардың пайда болуы 4G төртінші буынның арқасында жүзеге асты.

Сіздер байқағандай, әр жаңа буын біздің смартфондар үшін жоғары жылдамдық, көбірек қызмет түрлерін ұсынды. Ал жаңа телекоммуникацияның тынысы - 5G. 2020 жылы қайда, қай жерде болмасын мәліметтерге шексіз мүмкіндіктер беретін 5G ұсынылмақ. Оған қол жеткізу үшін қазіргі желіден жоғарырақ әртүрлі бағдарламалар мен құрылғылар кеңжолақты қолжетімділіктер керек.

5G-дің ауқымдылығы – қарапайым желілік технологиядан кеңірек. 5G-ді сымсыз қолжетімділік, адамдар арасындағы қарым-қатынас, әртүрлі сценарийлердің жиынтық құрылғысы ретінде қарауға болады. 5G желілік орталығы «Ғаламтор заты» (IoT – the Internet of Things), «Желілік қоғам» (the Networked Society), «машинаға бағытталған коммуникация» (M2M – machine-to-machine, D2D – device-to-device) ұғымдарымен байланысты. Осындай жиынтық бағдармалардың әсерінен 5G жеке технология емес, дамыған HSPA және LTE нұсқаларын, жаңа техноллогиялық радиоқожетімділікті, әртүрлі радиотехнологияны қиыстырушы болады. Бұл жердегі мәселе қазіргі технологияларды алмастыру жайында емес, керісінше қазіргі техниканың дамуы және жаңа технологиямен қамтылуы жайында. Бір сөзбен айтқанда, 5G туралы ұсыныс қазіргі стандарттың дамуы және жаңа технологияның дамуына алып келеді.

1 Ұялы жүйенің мобильдік радиобайланыс құрылу қағидалары

1.1 Сымсыз байланыс стандарттарының дамуы

1893 жылы Кевин Митник 33,5 кбит/с жылдамдықпен жұмыс істейтін модем көмегімен Пентагон желісін бұзды. 2017 жылдан бастап мегабиттен кіші жылдамдықпен Facebook желісін емін-еркін қарай алмасыңыз анық. Бүгінгі күні смартфондағы ғаламтордың үйдегі ғаламторға қарағанда анағұрлым жылдам істейтіні таң қаларлық жаңалық емес. Ендігі тоқталатын мәселе, ұялы деректердің қалай дамығандығы мен болашақта күтер жылдамдық шегі.

Бірінші буын 1G.

Саннан кейінгі тұратын «G» әрпі, мысалға, қазіргі таңда танымал форматтағы 4G, ағылшын тіліндегі «generation» сөзінің қазақ тіліндегі аудармасы сымсыз желінің «буыны» мағынасынан тараған. 1970 жылдан бері қарай төрт басты буынның пайда болғандығына күәміз, ал жақын болашақта бесіншісінің таралғанын да көретін боламыз.

Сымсыз байланыс дерегінің бірінші буыны 70-жылдардың басында пайда болды, ал 80-жылдардың аяғына қарай Nordic Mobile Telephone (NMT), American Mobile Phone System (AMPS) и Total Access Communication System (TACS) атты үш стандарт қолданысқа берілді.

Бірінші буын 1 G деректердің аналогты берілуін қамтамасыз етті, әрі өзіндегі модемнің көмегімен сымсыз байланыстың басты кедергісі саналған шуыл мен бұрмалауды жойды. Бұл буында тек хабардан өзге ешнәрсе берілмегенімен, байланыс дерегінің жалпы жылдамдығы шамамен алғанда 1,9 кбит/с құрады. Ұялы телефондардың бастапқы бағасы арзандағанымен, қатардағы қызметкер үшін әлі де болса қолжетімсіз еді.

1990 жылдарға қарай әлем бойынша желі қолданушылардың жалпы саны 20 миллион адамды құрады. Сол кезде желінің бірқатар кемшіліктері байқалды: дерек берілудің төмен жылдамдығы, әртүрлі мемлекеттердегі әртүрлі стандарттар, қоңырау шалудың қымбат болуы мен құрылғының қолжетімсіздігі.

2G: «аналог» әлде «цифр»?

90-жылдардың аяғына қарай мобильді байланыстың екінші буыны – 2 G дүниеге келді. Бұл жердегі басты жаңалық 80-ші жылдардың ортасынан бастап дайындала бастаған сандық технологиялар мен теориялық база болды. Желінің қарқынды түрде дамуы Америкадағы D-AMPS пен Еуропадағы GSM атты екі стандарттың пайда болуына ықпал етті. Бірақ екінші буын бар болғаны аналогты және сандық байланыстың гибриді ретінде ғана қолданылды.

Байланыстың жақсаруына, тұтынушылардың көбеюіне, қысқаша хабар алмасудың (SMS) пайда болуына қарамастан, басқа да қызметтерге қол жеткізу үшін, әсіресе «қоңырау шала» алу үшін стационарлы модемдердің қажеттілігі туындады. Дерек берілу жылдамдығы 14,4 кбит/с – ға дейін өсті.

Ал ең басты жаңалық 1997 жылы 2,5G немесе GPRS (General Packet Radio Service) стандартының енгізілуі еді. GPRS-тің басты ерекшелігі пакетті деректердің үздіксіз берілуі мен графикалық ақпараттармен алмаса алу мүмкіндігі болды. Енді ешкімге хабарласудың да қажеті шамалы еді: құрылғы үнемі ғаламторға қосылуы болды, бұд өз кезегінде операторларға қоңырауларды емес, үздіксіз дерек берілуді жеткізіп отырды. Ал жылдамдық болса 115 кбит/с-ға дейін өсті.

Даму болашағы бұлыңғырлау EDGE (Enhanced Data-rates for GSM Evolution) технологиясы болды. Оны кейде 2,75G классификациясына да жатқызады. Сапа бойынша айтарлықтай жаңалықтар әкелмесе де, 2,75G аппарат бөлімінің жылдамдығын еш қиындықсыз 384 кбит/с дейін өсірді.

3G: көптеген қолжетімділіктер мен SIM-карта.

2002 жылы келесі буын 3G пайда болуы жаңа технологиялар ұстанымына көшумен тығыз байланысты. Ең бірінші кезекте, бұл уақытша каналдармен (Time Division Multiple Access — TDMA) бөлінген көптеген қолжетімділік әдісінен код каналдары арқылы белгіленген көптеген қолжетімділік әдісіне көшу. Осы ауысудың арқасында телефон қоңырау түскен кезде де ғаламторға қосылуы мүмкіндігіне ие болды.

Технологиялар ауысымы аудио және видео хабарламаларды да жіберуге мүмкіндік берді. Ғаламторға қосылу жылдамдығы 145 кбит/с түсу қаупі бола тұра, максималды жылдамдық 3,6 Мбит/с жетті.

3,5G деп аталатын кезекті жаңару 2006-2007 жылдары қарқынды танымалдылыққа ие болды. Бұл буынға тән HSPA стандарты жылдамдықты дейін көтерді. Осы қарқынмен 3,5G буынын 4G буынымен алмастыруға да болар еді. Алайда қаржы жетіспеушілігінен бұл кейінге шегерілді.

4G: 500 есе көбейтілген жылдамдық.

Анығында, 4G буыны туралы ерте жарияланды. 2008 жылы шыққан буынның стационарлы модемге арналған жылдамдығы 1 Гбит/с деңгейінде, ал мобильді құрылғыға арналған жылдамдығы 100 Мбит/с болуы тиіс еді. Алайда, еш оператор бұл жылдамдыққа қол жеткізе алмады. Сондай-ақ, формалды түрде үшінші буынға тиісті HSPA+ стандартын төртінші буынға енгізді. Тек бес жыл уақыттан кейін ғана технологиялар көрсетілген параметрлерге жете бастады. Бұған LTE (Long Term Evolution) және WiMAX стандарттарының ықпалы болды. Бұл заманауи стандарттарға арналған жылдамдық 100 Мбит/с - тен 1 Гбит/с-ге дейін жетті. Бірақ бұл мемлекетке, қалаға және желі операторының жылдамдығына байланысты.

4G желілерінің бірқатар технологиялық ерекшеліктері болды: желі сыйымдылығының ұлғайтылған түрі, құрылғы трафиктерінің басымдылықтары, IP бейімділік, әртүрлі мемлекеттердегі стандарттылық. Сонымен қатар, жаңа буынның пайда болуы жаңа қызметтер мен құрылғыларды сатуда жақсы маркетингтік жарнама болды. Желі тұтынушылар көбінесе LTE — дан 4G немесе 3G+ - ке ауысқандарын сезбей қалады. Себебі жылдамдық сол қалпында сақталады.

5G — жақын болашақтағы технология.

Болашақта қол жеткізер жаңа буын 5G-ге жету жарнамалық қадамның шыңы болар еді. Төртінші буынға қол жеткізу арқылы сапалы технологияға қол жеткізілсе, 5G-ге арналған база мүлдем жоқ. Жаңа ауысымға қол жеткізу үшін жылдамдықты 100-500 есе көбейтіп, жылдамдық деңгейін 10-50 Гбит/с жеткізу керек. Бұндай жылдамдық көрсеткішіне жету үшін аппаратты да жаңарту керек. Бесінші буынның деректер базасы үшін не маңызды?

«Ақылды» антенналар. Қазіргі заманауи желілер дыбыс көрсеткішін ұлғайту мақсатында бірнеше антенналарды кіріктіре алады. Бірақ, белгіленген көрсеткішке жету үшін бұл аздық етеді. Ол үшін жекелеген қызметтерді атқаратын көптеген антенналарды біріктіру керек.

Жаңа толқындар. Қазіргі таңда диапазоны 3,5 ГГц толқындар қолданылады, ал жаңа желіні қолданысқа енгізу үшін бұдан да жоғары диапазонды толқындар қажет. Бұған толқындарды ондаған гигагерцқа жоғарылату арқылы қол жеткізу мүмкін. Ол үшін сигнал тасымалдаушы жаңа базалық станциялар керек. Ал операторлар станцияларды адам денсаулығына зиянын тигізбейтінде етіп қалай салады, бұл жағы беймәлім, бірақ бұл процесстің ұзақ әрі машақатты болары анық.

Энергия тұтыну. Егер де «ақылды» антенналарды кіріктіре отырып біріктіру мәселесі шешімін тапса, келесі сол антенналардың көлемі мен энергия тұтынуы мәселесін шешуге тура келеді. Яғни, жаңа буын 5G-дің энергия тұтынуын да жаңарту қажет.

Device-to-device. Жаңа буынның тағы бір ерекшелігі, бір құрылғыдан екінші құрылғыға ондаған метр қашықтықта тұрып ақпараттар жібере алу қасиеті. Өз кезегінде оператор тек «сигналды трафикті» ғана ала алады, ал нақты ақпараттар құрылғылар арасында ғана іске асады. Бұл жаңарудың Bluetooth технологиясының, тіпті NFC технологиясының орнын баса алуы екіталай, алайда көптеген қасиеттерімен ерекшеленері анық.

1.2 5G Бесінші буынның технологиялық коммуникация дамуы

Алғаш рет көптеген өңдеулердің арқасында заманауи адамдардың ажырамас бөлігіне айналған 5G бесінші буын желісі жайлы перспективалық қорғаныс зерттеу жобасының американдық агенттігі (Defense Advanced Research agency, DARA) ұсынды. Бұл ұсынысты NTT DoCoMo жапондық бірлестігі бірден қағып алып, ұялы қызмет байланысын қарқынды түрде дамытуға ат салысты. Көп ұзамай, Токиодан 50 шақырымдық жерде жайлы, теңіз жағасындағы табиғат аясында, 1200 адамнан тұратын DoCoMo шататын құрды. Бюджеттегі жылдық барлық кіріс осы жаңа жобаға жұмсалды. Бұл шамамен миллиард доллардан асып жығылады және операторлардың жалпы айналымның 3% құрады. Бұған қарап жапондықтардың бұл жағдайға қаншалықты маңызды ретінде қарағанын байқауға болады. 2004 жылдың наурызында NTT DoCoMo журналистерге зерттеулердің нәтижесін

таныстыруды шешеді. Сол кезде қандай айғаш-шу, дүрлікпе болғанын білесіздер ме?

Масс-медиа өкілдері лаборатория тұрмақ, қаланың өзіне кіргізбеді. Мүмкін содан болар, келесі күні зерттеу орталығындағы экскурсиядан кейін газет пен журналдардағы жаңалықтарға бұл жайлы жазуға тыйым салды. Шынымен, бірінші мақаладағы ұялы байланыстың мұндай төңкерістің шығатын уақыты өте асығыс болды, тіпті кейбір тілшілер 2007-2008 жылдары 5G-дің шығарылымы болады деп болжаған. Ал шын мәнінде тек 2010 жылы ғана енгізе бастады, ал жергілікті қолдану 2008 жылы. Қазір көптеген технология жағынан дамыған мемлекеттерде әлі күнге дейін 3G-4G, 3,5G қолдануда. Көптеген елдер 3G-4G-дан бірден 5G-ға секіремекші. Осындай желіге АҚШ, Жапония, Корея, Қытай, Никарагуа елдері көшпек. 2009 жылдың 14 желтоқсанында Шведтік телекоммуникация компаниясы әлемде бірінші рет коммерциялық байланыс төртінші буын стандарты LTE-ні Стокгольмде және Ослода өңдеді. LTE стандартын Қазақстан қалаларында бірінші рет қолдаған Казань. LTE мобильдік тариф хаттамасының техникалық негізгі айырмашылығы үшінші буын, төртінші буынның байланысына қарағанда 5G пакеттік деректері жіберу хаттамасына толықтай негізделген. 3G-4G өздеріне пакет және дауыстық трафик жіберуді қосады. 5G-да «Дауыс» үшін дауыстық қоңыраулар жасау және жылдам «пакеттік» деректерді жіберуді қабылдау VoLP технологиясында қарастырылған.

Халықаралық электробайланыс кеңесі және 5G Alliance 5G технологиясын 1 Гбит/с дейін деректерді қабылдай алатынына, 100 Мбит/с дейін деректерді жібере алатынына қолжетімді сымсыз телекоммуникацияның дамуы сатысы деп бағалауда. 5G технологиясы көбінесе абоненттерге көпсалалы телетрасляцияны жоғарғы нақтылықта көруге, мобильдік құрылғының арқасында үйдегі тұрмыстық техниканы басқаруға, қалааралық арзан ұялы қоңырау шалуға мүмкіндік береді.

Бұл жүйе үшін 3600MHz сантиметрлік толқын көлемдегі байланыс қолданылады. Бірақ 3G-4G жүйесіндегі дециметрлік толқындар сияқты ғимараттардан өте алмайды. Сантиметрлік толқындар жоғарғы деңгейдегі сингалдардың кесірінен биологиялық әсер етуі мүмкін, сондықтан болар Халықаралық электробайланыс кеңесінде 5G-ді стандарт ретінде қабылдамағандығы.

Ұялы байланыс операторы МТС бесінші буын байланысын 5G Өзбекстанның LTE базасында коммерциялық пайдалану жайлы шешім қабылдады. Байланыс Ташкенттің орталық бөлігінде 2ГГц көлемінде ашылды. МТС 2009 жылы Өзбекстандық көмпаниядан лицензия алды. Желінің құрылысына арналған жабдықтарды жеткізуші қытайлық компания Huawei Technologies болып табылды.

ИП ООО COSCOM (UCell) Өзбекстанның екінші ұялы байланыс операторы LTE хаттамасы мобильдік байланыс бесінші буынның шығарылымы жайлы мәлімдеді. Енді компания 100 Мбит/с дейінгі кеңжолақты қолжетімділікті ұсына алады.

Атап өткен жөн, Ucell - 2009 жылы стокгольмде және олода бірінші рет коммерциялық қызмет 5G-ді ұсынған TeliaSonera тобының бір бөлшегі. 2010 жылы TeliaSonera 25 қала мен Швециядағы демалыс орындарында, Норвегияның 4 қаласында 5G желісін таратуды жалғастырған. 2010 жылы TeliaSonera пилоттық 5G желісін Финлянда, Дания, Литва, Эстония және Лания жерлерінде клиенттері үшін қосқан.

GSA ғаламдық мобильдік техникаларды жеткізу ассоциациясы қазіргі таңда жүзден аса 5G /LTE қызметін тұтынушылар бар екенін жариялады. Жүздеген гаджеттер - 35 өндірушілердің жұмыстарының нәтижесі.

1.3 5G технологиясы

Жаңа буынның стандарттық түрі екіге бөлінеді: IP (Internet Protocol) хаттамасы және әртүрлі дәрежедегі 11 есептемелі желі peer-to-peer. IP хаттамасын кез келген интернет тұтынушысы жағсы біледі. Ал peer-to-peer-ге келсек, бұл жерде оның бірнеше ерекшеліктері бар. Әбір құрылғы осында бір уақытта көптеген қызмет түрін бірден ұсынады: қабылдағыш, таратқыш және хабарламаны бағдарлау сияқты. Олар қазіргі желінің кемшіліктерінен де құтылды. Мысалы, бір немесе бірнеше түйіннен желінің шығуы ұялы телефонның жалпы жұмыс қабілеттілігіне әсер етпейді. Қазіргі адамдар интернеттің барлық мүмкіндіктерін пайдалануда, бірақ барлығы мобильдік ортада қана қолданылуда. Peer-to-peer құрылысының мәні бұл шектеуден шығу. Демек қандай да бір тұтынушы желіге қосылса, ол автоматты түрде мобилдік бағдарлаудың инфоқұрылымына қосылады. Осы арқылы динамикадағы өзгерісті қадағалап отырады, мысалы сыйымдылық пен төсем сияқтыларды. Бұл жерде мынандай сұрақ туады. Ал егер өте кішкентай кеңістікке көптеген тұтынушылар қосылса, не болады?

Бірақ бұл туралы уайымдаудың қажеті жоқ, себебі 5G тарифінде өздігінен жүрктелген аймақты бос кеңістікке бағыттайды, осының арқасында көптеген сигналдардың қосымша жодары пайда болады. Қорыта келгенде, тұтынушылар сапалы желі мен деректерді жеткізуді пайдаланады. 5G –дің үлкен артықшылығы (3G, 4G стандартты буындардан қарағанда бес түрлі интерпретацияның болуы) сәйкестендіріліп жасалған. Демек алдын ала бір технологияда барлығы орналастырылған, желі қайда болса да тәуелсіз – Қытай, Африка, Австралия, Қазақстан болмасын. Айтпақшы 5G телефоны басқандай атпен нарыққа шықпақшы, тіпті айтқанда тілдің өзі бұратылатындай. Бірақ біраз уақытқа дейін 5G атауы құлақ тұндырар жетістіктерген жеткенінше пайдаланамыз. 2003 жылы халықаралық электробайланыс кеңесі жылдам әсер ететін стандарттарға сай болуын қамтамасыз етуге ниет білдірді. Жылжымайтын нысандарға 1 Гбит/с; ал жылжымалы, пойыздың жылмадығындайларға - 100Мбит/с секілді тиімді ұсыныс жасалынды. Қазірдің өзінде бұл шамаларға 12 өзгертулер енгізілді. NTT DoCoMo және NEC Жапондық компаниялары 5G-дің

негізін салушылар бұрынғы түрінің бірнеше есеге үлкейтілгендігі жайлы хабарлады. Көптеген лабораториялық зерттеулерден кейін 1-2,5 Гбит/с-на дейін жылдадығы өскен. Мұндай қалыңдық қарапайым қалалық мекендерде 20-30 км/сағ жылдамдықта қол жеткізуге болады. Flash-OFDM технология базасы кез келген жұмыс орындарында 3 ГГц –қа дейін қол жеткізу жағынан жұмыс жасауда. Деректерді жіберу тарифінің жылдамдығын көбейту үшін MIMO көпканалды антеннасы арқылы жүзеге аспақ. Тағы бір 5G-дің ерекшелігін айтуға болады, ол дауысты тарифсіз өте үлкен жылдамдықпен қамтамасыз ете алады. Деректерді жіберу, дауыстық хабарламалар IP телефоны сияқты пакеттермен жүреді.

Негізі жоғарғы жылдамдықтағы интернет қосылуға адамдар үйде, жұмыс орындарында, интернет кафелерінде ғана пайдаланады. Бірақ та бұл жерлерде олар қолжетімді болмауы мүмкін. Бірақ 4G буыны бізді шынайы кең жолақты мобильдік желілерге қосылуға мүмкіндік жасап бермекші. Бірақ бірінші 5G назар аударсақ, ол бесіншісі буынның қысқартылған атауы. Ол бізде сымсыз мобильдік құрылғылар, дауыстық хабарламалар, деректермен алмасу, ойын сервистерін, жоғарғы жылдамдықтағы мультимедиаға қол жеткізе алады. 5G – 2G мен 3G, 4G-лердің жалғасы. Бұлар бірінші желілер сандарға аналықтік жіберген, SMS пен email сияқтыларды бірінші болып мобильді сервистерге қосылған. Екінші желі ғаламдық роуминг, деректерді жіберудің жылдамдығын арттыу жағынан ерекшеленді. Екінші буын уақыт өткен сайын байи түсті, кеңейе түсті. 3G, 4G желілері көптеген бейнелерді бір уақытта көру, файлдар мен әуендерді жүктеп алу сияқты жұмыстарды 600Кбит/сек-нан 1,4 Мбит/сек-на дейін жылдамдықта атқара алды.

Бұдан басқа стандарттар мен технологиялар шыға бастады, мысалы: GSM6 cdmaOne, GPRS, EDGE6 CDMA2000, UMTS, HSDPA және тағы басқа. Бұлардың балығының ерекшеліктерін айтудың қажеті жоқ сияқты, оданда бірден қазіргі бізді қызықтырып отырған 5G-ге көшейік. Айта кеткен жөн, ITU (International Telecommunication Union) кеңесі әлі күнге дейін 5G-дің стандартты түрде мақұлдамаған. Бірақ қазіргі таңда оның орынына бәсекеге түскен бірнеше технологиялар бар, мысалы LTE және WiMAX. Көптеген қазіргі провайдерлер ақырында 5G терминін қолдануда. Бірақ олар 5G ұсынған 1 Гбит/с, 100Мбит/с жылдамдықтарын толықтай қолданбайды. LTE 1992 жылы GSM стандарты бойынша 3rd Generation Partnership Project немесе (3G-4GPP) сегізінші шығарылымы бойынша екі фундаментальді аспектісі құрылды. Бірінші аспект GSM-ді артқа қалдырып, all-IP желісіне көшу. Демек LTE барлығын жүзеге асырады, дыбыс қосу, деректерді жіберумен қоса. Келесі аспект көптеген антеналарды қосу арқылы жүзеге асады. Көптеген ғаламдық операторлар LTE-ны 5G-ге бәсекелестікке түсе алатын кандидат ретінде қарастырып отыр. 2010 жылы АҚШ-тағы Verizon Wireless компаниясы LTE-ны 100 миллиондай адам тұтынатыны жайлы хабарлады. Көп ұзамай, AT&T T-Mobile компаниясы 2011 жылдан бастан LTE тұтынатыны жайлы хабарлады. Қазіргі таңда екі компания да HSPA 7/2-ге көшті, ал AT&T T-Mobile компаниясы осы жылдан бастап HSPA+ көшпекші. Бұл желі 7,2 21 Мбит/сек

жылдамдықты қамтиды. Бірақ шын мәнінде олар 3G, 4G жылдамдықтарынан кішкене ғана жоғары. LTE қолдау себебі 3G, 4G-дан бірден көшу өте оңай. WiMAX LTE-сияқты стандарттарға жүгінуде. Әлемде жалпы дигиталдың кеңдігі бойынша Clearwire 5G секілді жетекші орынды бермей келеді. Бірақ бұл жағдай Verizon мен AT&T мүлдем алаңдатпайды, олар LTE тандап отыр. Оның үстіне 700 MHz 2,5GHz-тен де жоғары жылдамдықты ұстайды. Кейбір сарапшылар 2,5GHz-дан қарағанда 700 MHz төрт есе аз база станциясын талап етеді. Сіздер байқағандай LTE сияқты 5G уақыт өте бәсекелестікке түсе бастады. LTE ең үлкен жетік технологиялық және мобильдік құрылғыларды шығарушы компаниясын Intel, Cisco, Google-дандан қолдау табуда. Айта кеткен жөн, көптеген компаниялар екі желіні де қолдап отыр. WiMAX, LTE желілері 5G сияқты ITU –мен одақтасуды жоспарлап отырған жоқ. IMT Advanced 5G сияқты болу үшін мобильдік құрылғыларда 100Мбит/сек, ал үйдегі желілерде 1Гбит/сек жылдамдықты игеру керек. Екі технологияда ITU кеңесінен қолдау табуда, бірақ оларды жүзеге асырудың ауылы әлі алыста. Sprint Nextel Verizon Wireless компаниясы EV-DO желісін қолдап жатқанда, АҚШ-тағы AT&T, T-Mobile бірлестіктері UMTS және HSDPA/HSUPA желісіне көшкен. Олардың жалпы жылдамдығы 600 -1400 Кбит/сек. Қазіргі таңда Sprint компаниясы WiMAX қолдауда. WiMAX- тың 5G сияқты қасиеттерге ие болу үшін көп күш жұмсау керек.

1.4 4G-дің 5G-ге дейін күшейтудегі (ұлғайтудағы) даму келешегі

4G – ауқымды деректерді және дауыстық хабарламаларды жіберетін мобильдік байланыстың төртінші буыны. Төртінші буын технологиясы 100 Мбит/с жылдамдықты қамти алады. 4G сияқты Wi-Fi және WiMax желілері 1Гбит/с қабылдай алады. Салыстыра кетсек 2G – 240 Кбит/с, 3G – 10 Мбит/с жылдамдықты қамти алған. G деректерді жіберу пакетіне негізделген. Бұған IPv6 хаттамасы қолданылған. Деректерді жіберуге көбінесе 40 немесе 60 GHz қолданылады. 4G технологиясы Халықаралық телекоммуникация одағы екі мобильдік құрылғы арасында 1Гбит/с дейін деректерді қабылдауға, 100 Мбит/с дейін деректерді жіберуге мүмкіндігі бар деп баға берді. Егер желі әртүрлі болса, бұл олардың жұмысын жеңілдетеді. Бұлардың жұмысын жеңілдету үшін 40 немесе 60 GHz жылдамдығы қолданылады. 4G-ді шығарғандар, OFDM цифрлық мультиплекстеу технологиясын сынап көрді. Бұндай тәсіл желінің сигналдарын одан сайын нығайтады екен. Демек желі нөлде тұса да, біраз уақытқа дейін сақталық жұмыс жасауға мүмкіндік туады. Сигналдардың бір-біріне жіберілуі фазаларды жылжыту арқылы көп әліметтер біраз уақытқа дейін жіберіледі немесе каналдарға қосылуға мүмкіндік береді. Бұндай тип өзі мүмкіндігінше желіге тез қосылып, жұмыс өнімділігін арттырады. Сонымен қатар жұмыс тоқтамай ары қарай желіге бірден қосылуға мүмкіндік береді. LTE сияқты біргелік стандарттарды немесе оданда көп мобильдік байланыс

опреаторларын қабылдай алып, сонымен қатын жалпы стандарттарға сай дауыстық хабарламаларды жібереу және SMS жүзеге асырылады. Әртүрлі провайлер мен мобильдік құрылғылармен қамтамасыз ететін желігі AT&T, Orange, Telefonica, TeliaSonera, Verizon, Vodafone, Alcatel-Lucent, Ericsson, Nokia Siemens Networks, Nokia, Samsung Electronics, Sony компаниялары тұтынууда.

Барлығы бірдей стандартты қолдану олардың бірқалыпты роумингт қолдануға мүмкіндік береді. Бұл GSM, HSDPA желілерінен ақырындап көшуге қолайлы болды. Көптеген компаниялар қазірдің өзінде 362, 4 Мбит/сқабылдай алатын, 172, 8 Мбит/с жібере алатын бұл типтен жоғарғыларын тұтынууда. 5G технолгисына бәсекеге түсе алатын желілер:

- 1 LTE
- 2 TD-LTE
- 3 Mobile WiMAX
- 4 UMB
- 5 HSPA+

5G – 21 буынның түрлерін жалғастырушы, көптеген зерттеу жобаларында ресми түрде бекітілмей қолданып жүрген буын түрі. Демек 5G ресми түрде LTE сияқты мобильдік байланыс ретінде қабылданбаған, тек қазіргі таңда дамып жатқан стандартты буындардың бір бөлігі ретінде ғана қарастырылуда. Оның көптеген түрлі атаулары бар, бірақ 3G мен 4G жалғастырушы буыны ретінде «5G» деп атағанымыз жөн болар және қазіргі уақытқа бұл буынды әлем толықтай қолдануы мүмкін деген болжам бар. Қазірдің өзінде Кореяда 22 есе үлкен жылдамдықта деректерді жібере алатын ұялы байланыс технологиясын сәтті шығарды және бұны бесінші буын ретінде қабылдауы мүмкін. Бұл технология 3,6 Гбит/сек жүктей алады және бұл 4G технологиясының 1Гбит/сек жылдамдығынан әлде қайда жоғары. Бұл мобильдік жылдамдықтың жаңаруы. Дәстүрлі сымды желілер бұндай жағдайда тек қол қусырып қарап отырады, себебі оларға мұндай жылдамдық түсіне де кірмеген. Жаңа технология бірнеше секундтің ішінде толықметражды фильмдерді оп-оңай жүктей алады.

Әрине, бұл стандартқа көшу үшін 4G қолданып отырған компания көшу керек. Кім бірінші болып көшсе, сол үлкен жылдамдықтағы 5G технолгиясының көшбасшысы болады. ON World аналогтік компаниясы сымсыз сенсорлық желіні зерттеуге 2012 жылы 1,3 млрд доллар шығын кеткенін жариялады. АҚШ-та R&D электрәниясын бағыттап отыратын негізгі драйвер болып саналады. Клесі онжылдықта электрэнергиясын үнемдеу жағынан көптеген жұмыстар жүргізілуде. Ұлттық зерттеу қоры бірден 400 WSN жобаларымен жұмыс жасап, соңғы 5 жылда қаражатын көбейтті. Соңғы 5 жылда қаражаты жағынан R&D-дің ЕС, WSN бойынша 700%-ға көтерді. Негізгі зерттеу – медицина жағынан болды. Бұл жобаны келесі 5 жылда 1 млрд долларға қолдамақ. WSN жобасына шет елдегі Австралия, Канада, Қытай, Кореяда қамтамасыз етіп отыр. Бұндағы кіріс негізінен қоршаған ортаны қорғауға (30%), медицинаға (30%), халыққа орта транспорттарға, ішкі өнімге

жұмсалмақ. Әрине бұның бәрін жүзеге асыру үшін сымсыз желілердің маңызы өте жоғары, демек оларға да қаражатты жақсылап бөлу керек. Көптеген мобильдік желілерді жүзеге асыру сәтсіз аяқталды, сондықтан кей мемлекеттер бұл жағынан дамуды қолдамайды. Ал АҚШ болса, мобильдік желілерді спутниктік сегментермен байланыстыруды ары қарай дамытып, осыдан жарқын болашақты күтуде. 2008 жылы маусымда M2mi Corp. компаниясы LinkedData Planet конференциясында 23 инфоқұрылымы бар желі ұсынды және оны «5G» деген атау берді. Бұл желі ғаламды деректерді жіберуде кеңжолақты байланыспен қамтамасыз ете алатынына уәде берді.

M2mi Corp компаниясының директоры Джеффе Браунның айтуы бойынша, адамдардың, телекоммуникацияның немесе интернетке қосылудың көмегінсіз бір кеңістікте автоматты түрде қосылатын орта және ол Wi-Fi фрқылы жүзеге асады. «5G» жүйесі Wi-Fi көмегімен бейне, дауысты тез жылдамдықта жібере алады. Бұны құрастырғандар желінің мықтылығымен, жылдамдығымен, тұрақтылығымен ерекшеленеді дейді. 5G автоматты машиналарға да кіріктіруге болады. НАСАкомпаниясының ресми деректері бойынша 5G транспорттарға әсер ететіндей қабілеті болса, онда ол ғаламды топтасқан жаңа жылдамдықтағы заманауи телекоммуникацимен қамтамасыз ете алады деп жариялады. 2008 жылы сәуірдегі келісімшарт бойынша НАСА M2mi Corp. Компаниясымен бірігіп салмағы 5 кг-нан 50 кг-ға дейін баратын жаңабұынның компакттік наноспутниктерді шығарды. Сонымен 5G буыны басқа желілерден қарағанда бірнеше артықшылықтары бар:

- 1 Ғаламдық үлкен жолаққа қосылуға мүмкіндік;
- 2 Бұрынғылардан қарағанда бірнеше есе жылдамдықта жұмыс істеуі;
- 3 Желіге қосыла алмайтын мәселелерді шешу және бұл адамдардың қатысуынсыз жүзеге асады;
- 4 Абоненттің жұмысын арнайы бақылап, кез келген қиындықтарды шешіп беруге өз бетінше жасайды;
- 5 Жоғарғы сападағы қызмет;
- 6 Бір уақытта базалық станцияға 65 мың адам қосыла алады;
- 7 Қазіргі уақыттағы операторлардың тариф жөніндегі мәселелерін шешіп бере алады.

Сонымен қатар бір уақытта стадионда жиналған халықты желімен қамтамасыз ете алады, медициналық оталарда өз көмегін бермек [1].

1.5 Тапсырманың қойылымы

Бесінші және алдыңғы буындар желілерінің арасында қандай айырмашылық бар? Біріншісі және ең айқыны - жылдамдықтың артуы, кідірістерді азайту, желінің көлемін үлкейту, осының бәрі интернетке үнемі артып келе жатқан сұранысты қанағаттандыру үшін қажет. Қазіргі жағдай

тенденциясы келесідей: болашақта кез келген құрылғы желіге шыға алатын болады.

Екінші пункт ретінде желі моделін қарастыруға болады, онда негіз ретінде базалық станция емес, абонент болып табылады. Қолданыстағы желілерде абонент желіге бейімделуі керек, егер сигнал тым әлсіз болса, абонентке қозғалу қажет. Бесінші буын желілерінде ақылды антенналар қолданылатын болады, олар абоненттердің нақты жағдайлардағы қажеттіліктеріне қарай бағыттық диаграммасын өзгерте алады. Мысалы, егер бір абонентке белгілі бір уақытта ұяшық қызмет көрсетсе, онда оған арналған деректер тар бағытта жүретін арна бойынша жүреді, бұл сигнал/шуыл қатынасын арттырады және деректерді беру жылдамдығын арттырады.

Үшінші пункт – миллиметрлік толқындарға өту, MIMO технологияларын пайдалану, және бесінші буын жаңалығы device-to-device (D2D) жүзеге асыру.

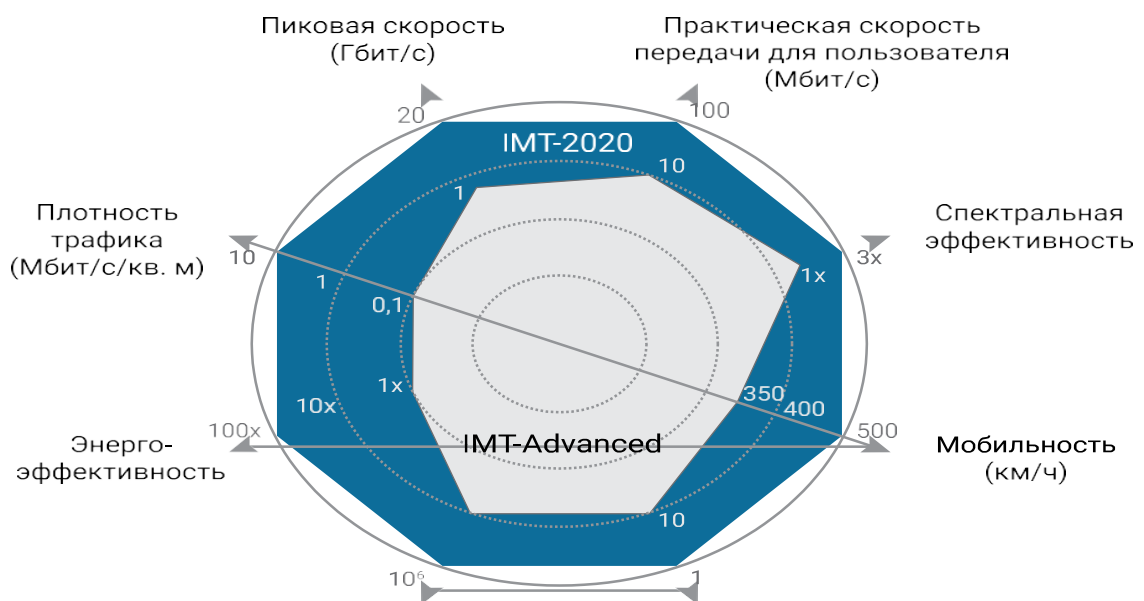
5G-ды жүзеге асыру алдындағы буындардан айтарлықтай 100 пайызға ерекшеленеді, және жоғарыда аталып өткен пункттерді есепке ала отырып, бұл дипломдық жұмыстың тапсырмасы 5G архитектурасын анықтаушы факторларын қарастыру, 5G жүзеге асыру үшін қолданылатын заманауи технологияларды толығымен зерттеу, соның ішінде: 5G жүзеге асырудың негізгі қағидалары, D2D-коммуникациясының имитациондық моделін құру, байланыс арнасының MIMO 3D математикалық моделін MatLab-та құру, миллиметрлік диапазон радиоарнасының модельдеу методикасын жасау, миллиметрлік толқындар технологиясында сигналдың өшуін, әлсіреуін зерттеу.

2 5G технологиясының архитектурасы

2.1 5G желісінің даму сатысы

2.1.1 5G желісін қандай бағытта дамытуға болатын технологиялық талаптар

Көптеген технологияның шешімі болып таылатын болашақ 5G мобильдік желісі тарифтерді ұлғайтуға және қызмет сапасын көтеруге мүмкіндік береді. 1.1-суретте LTE Advanced (IMT-Advanced) желісі мен 5G желісінің төменде көрсеткіштері берілген:



2.1 Сурет – LTE Advanced (IMT-Advanced) желісі мен 5G желісінің көрсеткіштері

5G желісінің техникалық мүмкіндіктері:

- 1 Деректерді жіберудегі ең жоғарғы жылдамдық – 20 Гбит/с;
- 2 Тұтынушылар үшін деректерді жіберу жылдамдығы – 100 Мбит/с;
- 3 Спектрде қолдану тиімділігі LTE-Advanced желісінен үш есе жоғары;
- 4 Мобильділік – 500 км/сағ;
- 5 Кідіріс (тоқтап қалу) – км квадратқа 1 млн
- 6 Энергиялық тиімділік – LTE-Advanced желісінен қарағанда 100 есе жоғары
- 7 Трафиктің жиілігі – бір метр квадратқа 10 Мбит/с

5G талаптарына қол жеткізу үшін радио қолжетімділік, базалық желі, транспорттық желі, абоненттік құрылғы, сонымен қатар әртүрлі техникалық

құрылғылардың жаңа технологиялық мәселердің шешімін табу керек. Қазірдің өзінде осындай көптеген мәселелерді шешу үшін көптеген зерттеулер, құрылғылар жасалуда.

Бірақ Ұлттық технология және желілер зерттеу институтының мәлімдеуі бойынша осы мәселелердің кішкене бөлігі шешілсе болғаны, 5G желісін жүзеге асыруға үлкен мүмкіндік туар еді.

2.1.2 5G архитектурасын анықтаушы факторлар

Келешек мобильдік байланыс 5G құрылымының дамуына келесі негізгі факторлар анықтай алады:

1. 5G желісі басқа желілерге қарағанда әлде қайда жоғары өнімдерді қамтамасыз ете алады және жүзеге асыруға, оны пайдалануға аз қаражат кетеді. Шеттен тыс қаражат көп қажет болғанның өзінде, басқа желілерге қарағанда арзанға түсері даусыз.

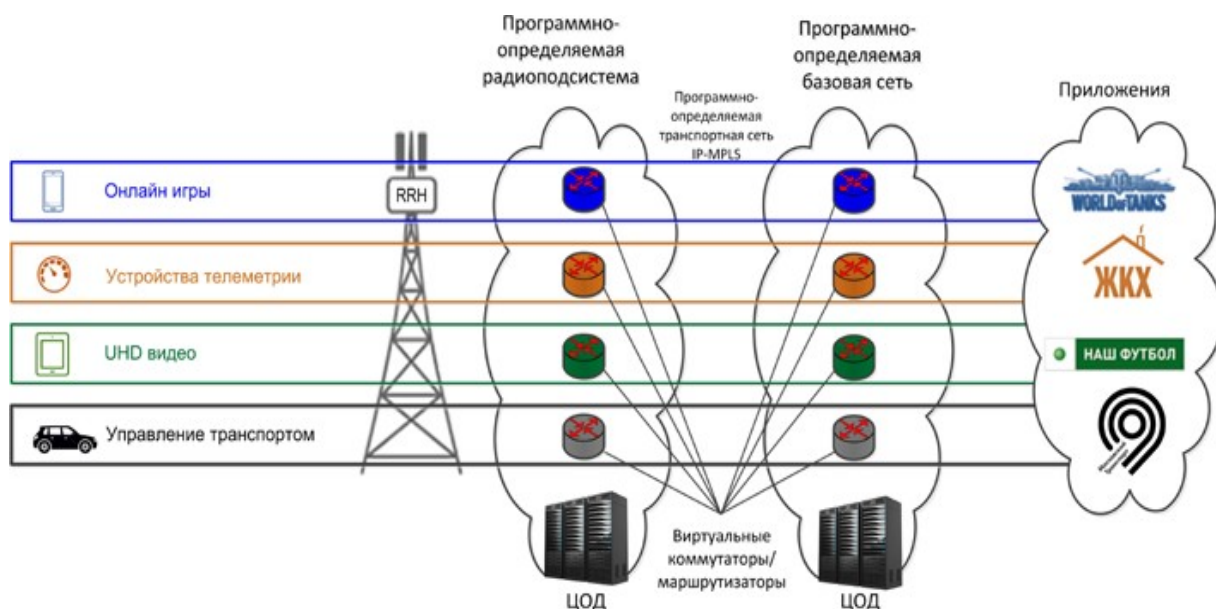
2. 5G барлық қызмет пен құрылғыларды аз жылдамдықтан бастап жоғары жылдамдықты қажет ететін әртүрлі сипаттағы тарифтерді сенімді түрде максималды жылдамдықпен мейлінше кедергісіз қамтамасыз ете алады. Сондықтан 5G желісін мүмкіндігінше желі ресурстарын тиімді пайдалануға болады.

3. Желіде әртүрлі диапазонда радио қолжетімділік және әртүрлі спектрлерде бір бағытта басқаруға мүмкіндік бар.

Демек 5G желісі өте жоғарғы икемділікке ие. 5G желісінің негізгі қызметтерінің арқасында жоғарғы икемділік қасиеттеріне ие. Желіні қолдану арқылы SDN желіні басқару деңгейлік құрылғысынан деректерді жіберу мен программалық құрылғыларды бөлек алып қарастырады. Негізгі ерекшелігі деректерді жіберу және оны басқаруды бөлек қарастырып, әмбебап цифрлық программалардың, физикалық желілік ресурстар арқылы басқару.

SDN желісі бірыңғай автоматтандырылған желілермен желілік операторларды және виртуалды қосымшаларды басқаруға мүмкіндігі бар. Осы арқылы операторларға жаңа қызмет түрлеріне ауысу үшін жаңа құрылғылардың қажеті болмайды. NFV қолдана отырып, физикалық желіні бірнеше бөліктен тұратын виртуалды желілерге бөлуге болады.

Осы арқылы керекті әртүрлі қызмет түрлеріне және оның талаптары мен мәселелерін шеше аламыз. Бұндай бөлшек Network Slicing (2.1-сурет) деп аталады. Әр бөлікке арнайы ресурстар бөлінген, мысалы виртуалды серверлердің ресурстары, желінің өту қабілеттілігі, қызмет түрінің сапалығы және тағы басқалары. Әр бөлік бір-бірінен бөлек орналасқан, сондық болар бірінен кеткен қателік екіншісіне әсер етпейді.



2.2 Сурет – 5G желісінің құрылымы

5G желісі дәстүрлі ұялы телефондарға ғана қызмет етпейді, сонымен қатар әртүрлі көлемдегі құрылғыларға M2M және Iot сияқты Network Slicing мобильдік желінің байланысын және беріліп отырған қызмет түрін арттыруға мүмкіндік береді.

5G (SDR, SDN) желісінің құрылымы желінің деңгейін құрылғылардан жеке алып, деректерді жіберуге, оны програмалармен қамтамасыз етуге, аппараттардағы әртүрлі жүркемелерді жеңілдетуге және оны пайдалалудың тиімділігі жағынан мүмкіндіктер береді.

2.2 5G желісінде қолданылатын заманауи технологиялары

2.2.1 5G жүзеге асырудың негізгі қағидалары

Сымсыз желінің әр жаңа буыны 10 жыл сайын сіздің мобильдік құрылғыларыңызды жоғарғы жылдамдықтағы қызмет түрімен қамтамасыз етуде. Сонымен ең бірінші буын 1G бізге бірінші рет ұялы телефонды алып келді, 2 G кезінде бір мәтіндік хабарламаларды жібере алдық, 3G кезінде онлайн ресурстары мен қызмет түріне қолжеткіздік, ал 4G тұсында деректерді жіберудің жылдамдығы артты, соның арқасында интернетке толықтай қолжеткіздік. Бесінші буынның желісі шамамен 2020 жылы нарыққа шығады және тарифтермен 1000 есе жоғары, қазіргі желілерден 4G LTE қарағанда 10 есе жылдамжұмыс істейтін дәрежеге жетеді. Елестетіп көріңізші, HD фильмін бірнеше секундтарға ғана жүктей салады. 5G желісі виртуалды әлемді шынайыға айналдырады және автоматтандырылған қалалардың негізі болады. Бірақ қандай технологиялар бесінші буынға негізделген?!

Қазір 6 технология 5G желісінің негізіне айналған:

1 Миллиметрлік толқындар

2 Small Cell

3 MIMO массиві

4 Beamforming

5 Full Duplex

6 Device to device (D2D)

Сіздің смартфондарыңыз және сымсыз құрылғылар көбінесе радиодиапазонның аздан 6 ГГц ғана қолданады. Бірақ соның өзі көп жағдайда толып кетеді, көп құрылғы болса интернеттен шығып кетеді, деректерді жіберу өте ақырын жылдамдықта барады. Бұл мәселенің шешімі жаңа жолақты шығару. Сондықтан қазір диапазоны 30-300 ГГц болатын өте қысқа миллиметрлік толқындарға тәжірибе жаса жатыр. Бұл нәрсе мбильдік құрылғыларға ешқашан орнатылмаған және бұл барлық сымсыз құрылғылар үшін үлкен мүмкіндік. Бірақ бұл жерде айта кететіні, толқындар су астында немесе жаңбыр жауғанда бір қабығадан екінші қарғаға өтуге күші жетпейді.

Сымсыз желінің бесінші буынында ұялы базалық станцияның радиусын мейлінше қысқартпақшы. Сондықтан бұл шешімді кішкентай ұялылар немесе Small Cell деп атаған. Заманауи желілерде ұялы байланыстар базалық станцияларда үлкен күшпен үлкен қаықтықтағы сигналдарға қосылу үшін қолдануда. Бірақ бұндай жоғары сапалы мллиметрлік тоқындар қалаларға әсер етеді және бәріі бірде желінің жоғалып кету қауіпі бар.

MIMO – толықтай multiple input. Multiple input бірнеше антеналардан тұратын желіліні жіберетін және қабылдайтын жүйе. Заманауи базалық станцияда 4G шамамен 10 шақты антеталар бар, бұлардың барлығы ұялыдағы бар тарифті жүзеге асырады. Бірақ 5G базалық станциясы келешекте MIMO массивті жүздеген антеналардан құрылатын болады. Ұялы базалық станциясындағы антеналар ақпаратты бірден барлық бағытта жібере алады, бұл желілінің жұмысын қиынтатуы мүмкін. Бірақ бұл проблеманы шешу үшін жаңа технологияны енгізуді ұсынып отыр.

Beamfoming, автоматты түрде диаграммалрды реттеп абоненттерге жіберіп отыру. Бұл технология ақпаратты барлық бағытта жібермейді тек бір бағытта абоненттке қана жіберетін тарифтік синализацияның жүйесі. Бұл кездергілерді жойып, базалық станцияның тиімді жұмыс жасауына көмек береді. Ол қалай жұмыс жасайтынын елестетейікші: Мысалы, жан- жағы ғимараттармен қоршалған жерде абонент қоңырау шалуға тырысады. Бұдан шыққан сигнал сол ауданда жүрген екінші сигналға қосылып, массив MIMO синалдардың қосылған уақытыныан бастап, қашан, қайда, қанша уақыт сөйлескенін бақылай алады. Осыдан кейін алгоритм сияқты олар ауа арқылы қай сигнал қай жерде сөйлескенін бақылап отыра алады. Базалық станция бір бағытта бағытталған абонеттердегі синалдарға кедергі жасамау үшін мұндай ұсыныстан да бастартуға боалды [2].

Ғалымдар абоненттен кері келетін толқындарды қабылдамайтын жоғарғы жылдамдықтағы тназисторлар ойлап шығарды. Бұл сигналдардың бір уақытта

бір бағытта қоңырау шалатын абоненттерге толқындар арқылы бір-бірлеріне кедергі жасамай өтіп кетуіне мүмкіндік жасайды.

Device-to-device. Он метрлік қашықтықта деректерді бірінен екіншісіне жіберетін бесінші буынның құрылғы болып саналады. осы арқылы оператордың өзі құрылғылар арасында қолданылатын тариф «сигналды тарифті» қолдана алады. Бұл құрылғы Bluetooth-ден бөлініп шығуы NFC үшін де белгісіз.

2.2.2 Миллиметрлік толқындардың келешегі

Инновацияның уақыт –өкен сайын жаңаруы технология жағынан жетістікке жеткен мемлекеттердің нарыққа шығуына үлкен мүмкіндіктер жасап отыр. Соңғы он жылда әлем технологиялық және дамыған мемлекеттермен көбейді. Біз әр ай сайын компьютерлердің, ұялы телефондардың, автокөліктердің, техникаларды тағы да басқа түлердің жаңа моделі шығып жатқанына үйреніп қалдық. Өмір сүру тепі уақыт өткен сайын артуда. Ақпарттар жиынтығын, деректерді жіберу үлкен қашықтықтарда жіберу үлкен жылдамдықта өсіп келе жатыр. Тек қана, әлі күнге дейін шемімін таппай келе жатқан мәселе ол деректерді жіберуде радиотолқындардың қолданылмауы. Бұған қарамастан радио спекторларда технологияның дамуы, құрылғылар мен антеналар тағы басқалары жақсы жұмыс жасауда.

Қазіргі уақытта негізгі мобильдік жүйенің байласынысы 4G бойынша 3ГГц-де дейін жұмыс жасайды. Сонымен қатар деректерді жіберу жылдамдығы 100Мбит/с. Бір жағыан бұл қазіргі тұтынушылар үшін өте тиімді, екінші жағынан сұраныстар жыл сайын артуда, келесі жылдарда бұл сұраныстарды қамтамасыз ете алмауы мүмкін. Міне сол кезде миллиметрлік толқындарды қолдануға сұраныстар атра түсуі мүмкін. Миллиметрлік радиотолқындардың ерекшелігі жүйеде кең қолдануға, навигациялар мен желілердің қабілеттерін арттыға болады. Сымсыз танспорттық желілерде өте үлкен жылдамдықта мобилтдік тарифті қолдану радиотолқындар арқылы диапазонды кеңейту қазіргі таңда сұранысқа ие. Бұндай желілер қазірдің өзінде қарапайым алгоритимдік тәсілдерді қолдану арқылы деректерді жіберуді 10Гбит/с жылдамдықта жіберуге болады. Қазіргі таңда Еуропада, жаңа стандартқа 5G сай құрылғыларды шығаруда. Жоспар бойынша 2020 жылы мұндай құрылғылар барлығында болып, қарапайым халыққа қол жетімді болмақ.

Аналогтік зерттеушілер Ресейде ОАО «Мегафон» компаниясы Қытайлық «Huawei» компаниясымен бірге еуропалық әріптестер шығарғанды бұлар да шығарып көрмек. «Huawei» сайтында: «жаңа буынның желісі 2018 жылы әлем Чемпионатында тәжірибеден өтпек» деп жариялады. Ал баршамыз білеміз бұл Чемпионат Ресейде өтеді. «Мегафон» үшін көптеген міндеттер жүктелуде. Тек қана екі үлкен алыптардың сәтті өткізуіне тілектес болу.

Барлық спекторлар 3-300 ГГц миллиметрлік толқындар диапазонында 1 ден 100-мм-ге дейін жасап шығаруға болады. Одан негізгі үш жолақ шығады: 71-76, 81-86, 92-95 ГГц бұл Е-диапазоны деп аталады. Бұндай спектор 60-тан 100 ГГц жасау үшін ойлап шығарылған. Жүргізілен зеректерге сүйенсек, «Миллиметрлік диапазондағы радиотолқындарының ерекшелігі» мақаласының авторы А.В. Тихомиров және Е.В. Омелянчуктың жазғаны бойынша: 2,5 мм (120ГГц), 5мм (60ГГц) толқындар кислород арқылы, 1,8 мм (167 ГГц), 13, 5 мм (22 ГГц) буланған суда жүзеге асады. Көмірсуланған газда, озон мен метандарда миллиметрлік радиотолқындар жүзеге аспайды. Бұндай толқындардың жетістіктері:

1 деректермен алмасу 10 Гбит/с жылдамдықта жүзеге асады, болашақта бұл көрсеткішті жүз есе арттыруды жоспарлауда.

2 көптеген антендік жүйелердің қысқартуына мүмкіндік жасайды. Минатюрлік антеналар желден келетін кедергілерді аз қабылдайды және желі үшін бұл арзанға түседі. Бұл антендердің миллиметрлік толқындардың кең көлемде қолдануға мүмкіндік береді.

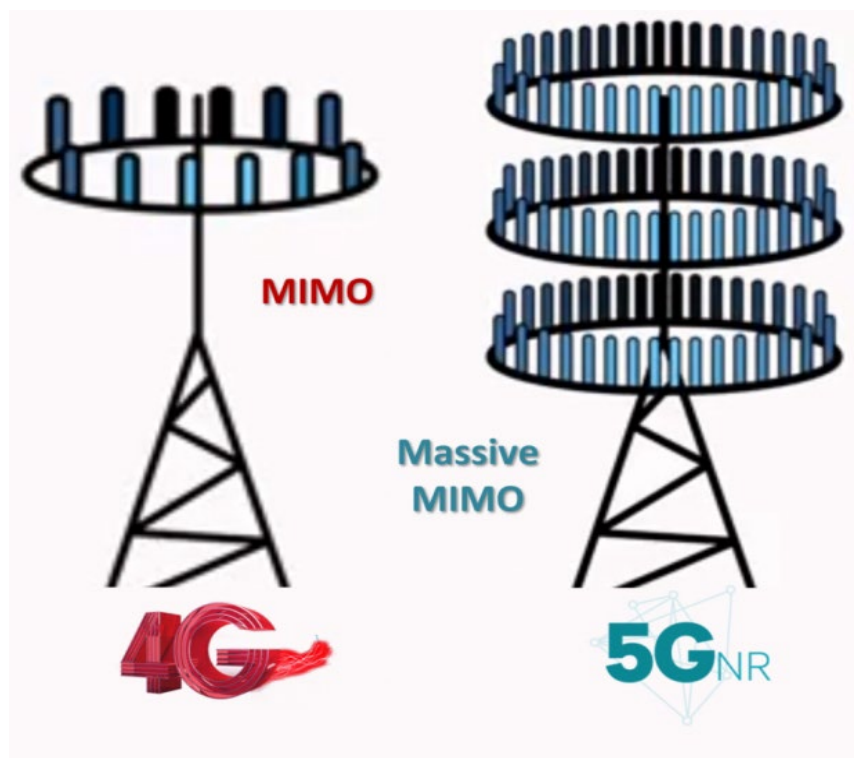
3 ММВ базалық станциялардың бір-біріне байланыса алмағаннан гөрі ММВ канал желілерінің әрекетін кеңейткені жөн болар. Антендердің бір-біріне максималдық бірнеше санитиметрлерде орналастырудың арқасында, көптеген жеке базалық станциялардың жұмыс істеуіне мүмкіндік ереді.

Кемшіліктері: ММВ сызықтары үшін көп дымқылдықтың болуы. Үлкен шел кезінде синалдары өшіру 30-50 дБ/км қашықтықта жүзеге асады. Бірақ мұндай көрсеткіш барлық жерде бола бермейді [3].

2.2.3 Сымсыз желілердегі ММО массиві

Төртінші буын 4G заманауи базалаық станцияларды антендер үшін ондаған порттар бар, бұл барлық тарифті жүзеге асырады: сезігі жіберуге және төртеуі қабылдауға. Бірақ 5G желісін шығарғандар базалық станцияда жүздеген және толық массивті антеналарын болу керек деген шешімге келді. демек бұл бесінші буынның станциялары деректерді жүздеген, мыңдаған есе тез жібере алады және қабылдй алады. Өткен жылы Бритольдтік университет 128-элементтен тұратын торлы антенаны шығарды.

Бұл технология Vfsive ММО деген ат алды. ММО технологиясын қолдану бір уақытта жіберілетін ақпатараттарды қабылдауға және жіберуге арналған ең тиімді шешім болды. Ондаған және жүздеген ММО антендерін бір массивке сыйыстыру арқылы, m-ММО концепсиясы жаңа деңгейге көтерді [4].



2.3 Сурет – MIMO мен Massive MIMO технологияларына салыстырмалы түрдегі суреті

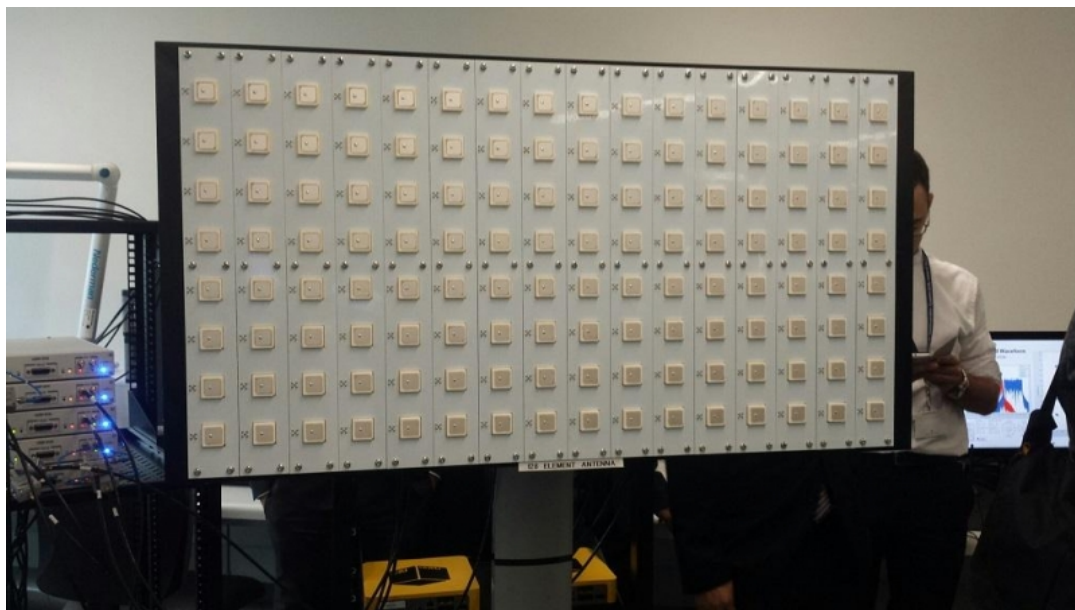
Көп антеналарды қолдану арқылы кішкентай кеңістікке желілердің толық баруы және артық энергияны үнемуге өте тиімді. IEEE Massive MIMO-ны пайдаланудың тағы бір артықшылығын көрсетіп берді, ол жеке антендік жүйені шығаруға әлде қайда арзанға шығады және MAC (OSI) деңгейіндегі жұмысты арттыруға байланыстың кедергілігі өте төмен болады.

Massive MIMO-ны жүзеге асыру үшін көп элементтік фазалық тордан тұратын антендерді (ФАР) қолдану керек. Жекеленген тордағы элементтер бір уақытта әртүрлі жердегі абонеттерге қызмет көрсете алады.

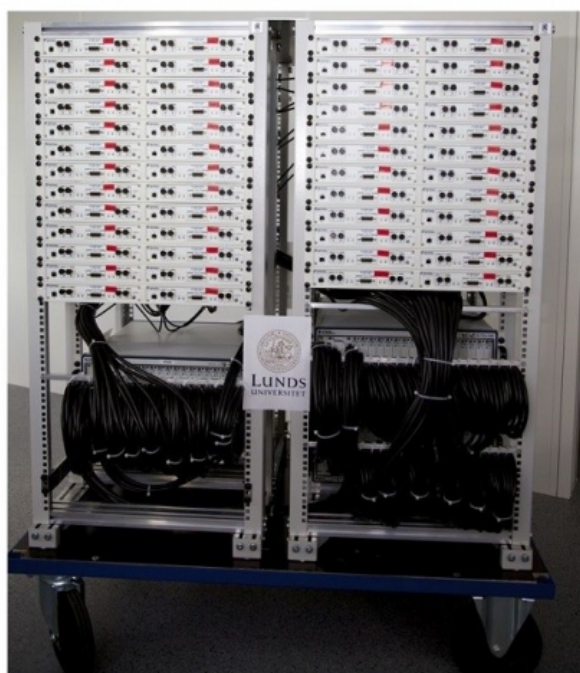


2.3 Сурет – Massive MIMO-ның жүзеге асу барысы

Ал төменгі 2.4 және 2.5 суреттерде Massive MIMO жүйесінің лабораториялық жұмыс барысы көрсетілген



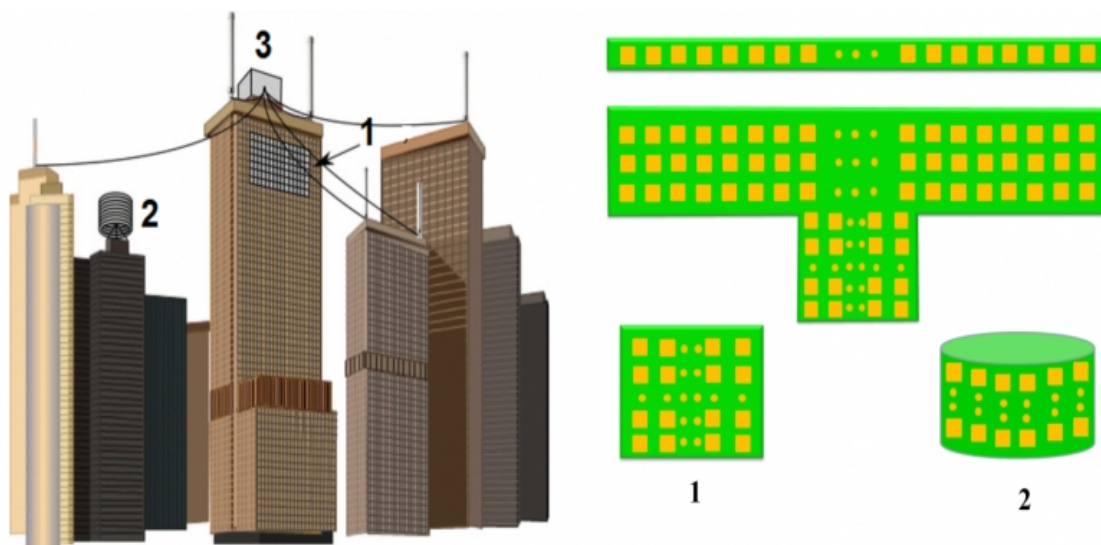
2.4 Сурет – Massive MIMO жүйесінің лабораториялық жұмыс барысы



2.5 Сурет – Шведциядағы Lund университетінің USRP RIO құрылғысының негізінде (сол жағы) антеналық торларды (оң жағы) шығару

Болашақта мегаполистерге біркелкі антендік жүйе орнатылмақ. 2.6 суретте планарлық үлгі (1) мен цилиндрлі торкөзді антенасы (2) біркелкі

антенa жүйесіне қосылған(3). Мұндай антеналар шатыр үстіне немесе биік ғимараттардың қосалқы бөлігінде кабелдер арқылы қосылады.

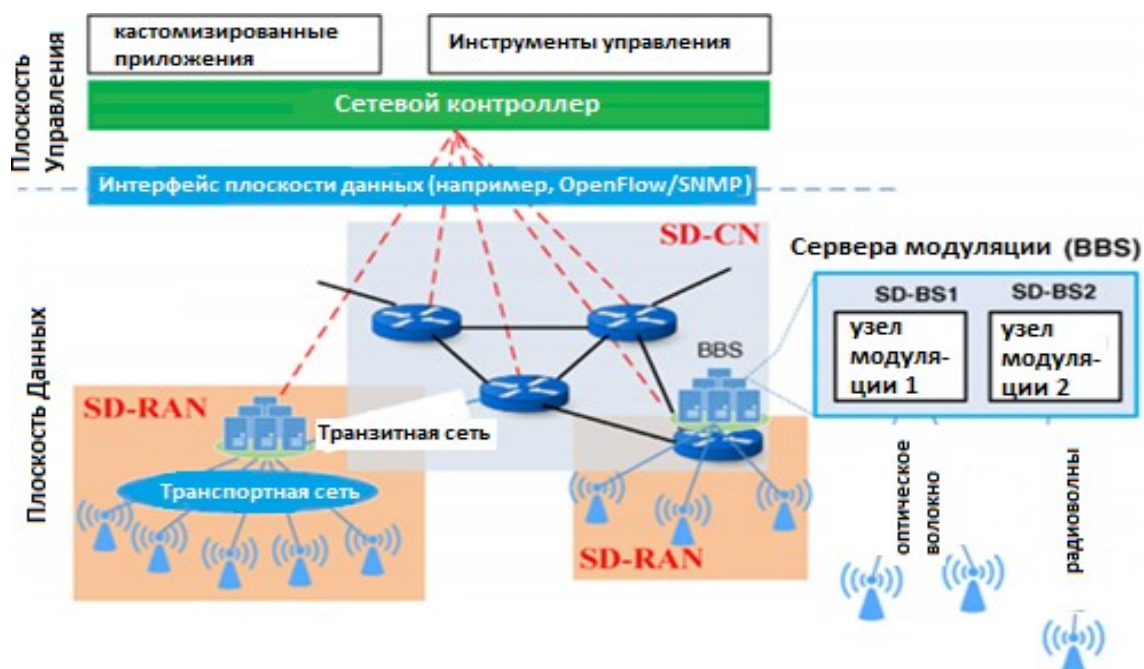


2.6 Сурет – Massive MIMO құрылымын (оң жағы) мегаполистерге (сол жағы) орнату

Massive MIMO инженерінің арқасында, 5G барлық смартфон тұтынушыларына, автономдық жолдар жүйесіне және тіпті деректерді жіберді өте сирек қолданатын тұтынушыларға да сымсыз желі құрмақшы. Қорытындылай келе Massive MIMO жүйесі шынымен жұмыс жасайды, тек оны іске қосу ғана қалды [5].

2.2.4 5G стандартындағы SDN архитектурасы

Қазіргі кезде таратылған RAN архитектуралары, мысалы, Cloud-RAN, негізінен қашықтағы серверлер мен деректер орталықтарына шоғырланған. Дегенмен, бұл елеулі шектеулер. Біріншіден, олар PHY / MAC деңгейіндегі виртуализацияны масштабтау дәрежесін жеткілікті қамтамасыз ете алмайды. Екіншіден, олар SD-CN сияқты желілік деңгейдегі виртуализацияны қолдамайды. Осы кемшіліктерді жою үшін, SD-RAN базалық станциялардың едәуір жақсартылған масштабталуы және жоғары ыдырауымен ұсынылады. Осы проблемаларды шешу үшін 5G желілеріне арналған SDG базалық станцияның жоғары деңгейдегі ыдыраудың жаңа тұжырымдамасын қабылдады, жиіліктер RPH-ге тағайындалады, ал қалған функциялар, мысалы, MIMO кодтау, бастапқы кодтау және MAC қабаты 2.7-суретте көрсетілгендей BSS-ге берілген.



2.7 Сурет – SDG базалық станциясының жоғарғы деңгейдегі ыдырауы

Бұл архитектура мобильді пайдаланушыларға қызмет көрсету желісінде сәтсіздікке жол бермей, түрлі сымсыз стандарттарға негізделген базалық станциялардың арасында навигацияға мүмкіндік береді.

Сондай-ақ, ортақ интерфейсті пайдалану OpenFlow, SDN қосқыштарында да, SDN базалық станцияларында да, негізгі желі мен радиоқабылдағыш интерфейс арасындағы мөлдір байланыстарды қамтамасыз етеді және барлық 5G желілері үшін SDN архитектураларға әмбебап басқару интерфейсін ұсынады.

2.2.5. Бесінші буынның желісіндегі D2D-коммуникациясы

D2D өте тар жерлерде белсенді түрде ұялы телефонның жұмыс жасауына мүмкіндік береді. D2D құрылымы жалпы қауіпсіздік жағынан біршама мәселелер тудыруда. Бұл жоғарғы дәрежеде қызмет қызмет көрсету жалпы қауіпсіздікпен тығыз байланысты. D2D мүмкіндігі шектеуді объектілердің арасында негізгі қызмет көзін қамтамасыз ететін коммуникациялық парадигма болып саналады. 5G желісінің негізгі міндеттерінің бірі ұялы телефондарды желілердің ең жоғарғы жылдамдықта икемделгіш қасиетке ие болу. Қкммерциялық ұлы желілердің жүйесі жабық түрде негізделген және құрылымын басқару өте қиын, радиоқолжетімділік және базалық желіні базалық аппараттармен қамтамасыз ету күрделі мәселелердің бірі.

Бұл мәселелер жаңа стандартты қабылдауға өз кедергісін жасауда, жаңа тәсілдерді жүзеге асыруға да кедергі болуда. D2D құрылымын пайдалану 5G үшін жаңа мүмкіндіктер ашуда: - қарқынды даму мен бейімделу; аппараттық

және программалық желілердің инфоқұрылымы жеңіл, тез әрі өңдеуге тәуелсіз жаңа технологиялық радиоқолжетімділікте мүмкіндік береді. Сонымен қатар, кең жолақты деректер динамикалық желілер ресурсын реттеуге және жаңа желілердің тарифтерін модульдеуге, қызмет көрсету сапасына сай(QoS) қамтамасыз ете алады.

Инфрақұрылым қызметі ретінде (IaaS): пайда болған желілік жүйелерге, коммуникациялық «машина-машина» (MVNO), ақылды қосымшаларға, виртуалды желілердегі мобильдік операторларға, сонымен қатар аты шулы контент-сервистерге сапалы желілермен қамтамасыз ете алады. – максималды спекторлық тиімділік: SDN 5G желілері үшін SDN станциялары серверлерде немесе ЦОД жүзеге асуы мүмкін. Мұнда олар мейлінше кең түрде ақпараттармен алмасуға, мобильдік деректермен, каналдың жағдайы жайлы ақпараттармен, жүйдегі тұтынушының әртүрлі әрекеттері туралы ақпараттарымен қамтамасыз ете алады. Сондай-ақ SDN бірге 5G желісін алгоритм бойынша телефондағы кедергілерді максималды төмендету оңай болады. Әлем уақыт өткен сайын дамып жатыр. Қазіргі желілердің жұмыс істеу қарқындылығы уақыт өткен сайын ескіруде жаңа желіліні қабылдауға итермелеуде. SDN құрылымын ашу арқылы 5G желісінің базалық жүйемен жұмыс жасауға мүмкіндік ашуда. – Энергиялық тиімдік. Желіде жүктемелердің болғандықтан, жүктемелерді SDN базалық станцияларына тиімді түрде бөліп береді. Осы арқылы базалар толықтай белсенді түрде жұмыс жасайды. Демек бұрынғыдай кей базалар ғана атқаратын жұмысты барлығына бірдей бөліп береді. Осы арқылы базалық станциялары жұмыс өнімділігін арттырады [6].

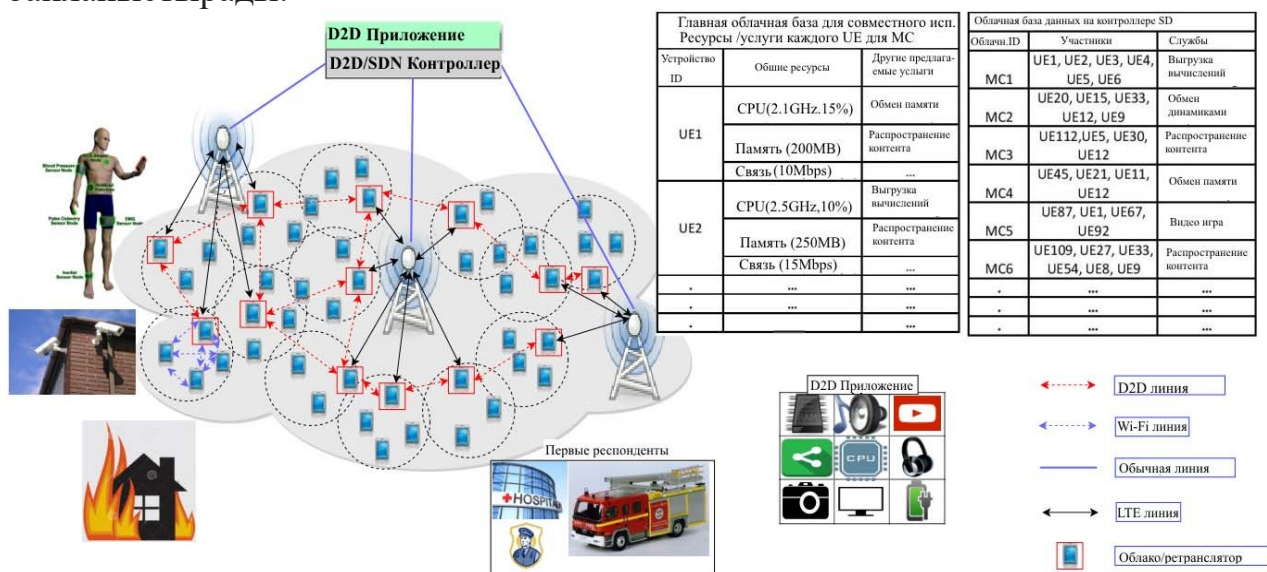
2.2.6 D2D-мен өзара әрекеттескендегі SDN архитектурасы

D2D байланыстары D2D құрылғылары жақындығын анықтау арқылы бір-бірімен өзара әрекеттесу кезінде жергілікті қызметтерді қамтиды. Бұл қызметтерге мыналар жатады: әлеуметтік қосымшалар, оны іске асыру шақырылған пайдаланушының жақындығына, жарнамаға, жергілікті ақпарат алмасуына байланысты; смарт-коммуникация (нақты, өлшенетін, қол жетімді және маңызды мақсатта «ақылды» байланыс). Басқа қолданбаларда D2D құрылғылары жергілікті желіге қосылуды, соның ішінде 5G инфрақұрылымының гетерогенді зақымдануы жағдайында ақпараттық қауіпсіздікті қолдауды қамтиды.

D2D-коммуникациялары кідірістер ұзақтығын қысқарту тұрғысынан ультра тығыз желілік сәулет артықшылықтарын сездіртуге мүмкіншілік беру керек, пайдаланушылардың жылдамдығын арттыру және қуат шығынын азайту керек. D2D-коммуникациялары, сондай-ақ жобалау мен қауіпсіздік облысында жаңа міндеттерді шешеді (2.8-сурет) Бұдан басқа, осы технологияның жетістігі негізінен пайдаланушылар жақын арадағы қарым-қатынаста болатын

сценарийлерге, сондай-ақ алдағы жылдарда дамитын қосымшаларға байланысты болады.

D2D-ді келесі заттар үшін қолдануға ұсыныс жасалынып жатыр: мобильді бұлт құрастыру (онлайн-ойындар үшін, ағынды видео), өтіп бара жатқан адамдар үшін жарнама, транспорт үшін интеллектуалды коммуникация. Екіншіден, архитектура LTE үшін қоғамдық қауіпсіздікті жақсарту үшін құрылып жатыр. 3GPP-дің негізгі идеясы D2D контроллерінің қосымшаларын және желідегі SDN контроллерлерінің иерархиясын қосу болып табылады, мобильді құрылғы бұлттарын орталықтандырылған басқару, ресурстарды бөлу және SDN-нен маршруттау функцияларын бөлу және басқаруды байланыстырады.



2.8 Сурет – Қоғамдық қауіпсіздік үшін D2D-дің бағдарламалы-анықтаушы архитектурасы

Бұлтты қалыптастыру процесі екі кезеңге бөлінеді. Бірінші кезеңде абоненттік құрылғы ұялы бұлттың қалыптасуын бастамашылық етеді, мысалы, Wi-Fi Direct, Bluetooth және т.б. технологияларды қолдана отырып, жақын маңдағы құрылғылардан сұрауды жібереді. UE-тің респонденттерінен алынған ақпарат негізінде мобильді бұлт қалыптасады және жаһандық SDN контроллерінде тіркеледі. Екінші кезеңде орталық SDN контроллері ұсынатын қызметтермен бірге барлық қызмет көрсетілетін бұлттардың жаһандық көрінісі болады. Осы сәтте ғаламдық контроллер пайдаланушы сұрауларына бұлтты теңшей алады. SDN контроллері UE, CHS және CHs арасындағы маршруттау жолдарын есептеу үшін қолдануға болатын қалдық батареялар арасындағы байланыс сапасын көре алады [7].

3 Есептеу бөлімі

3.1 D2D Имитациондық моделін құру

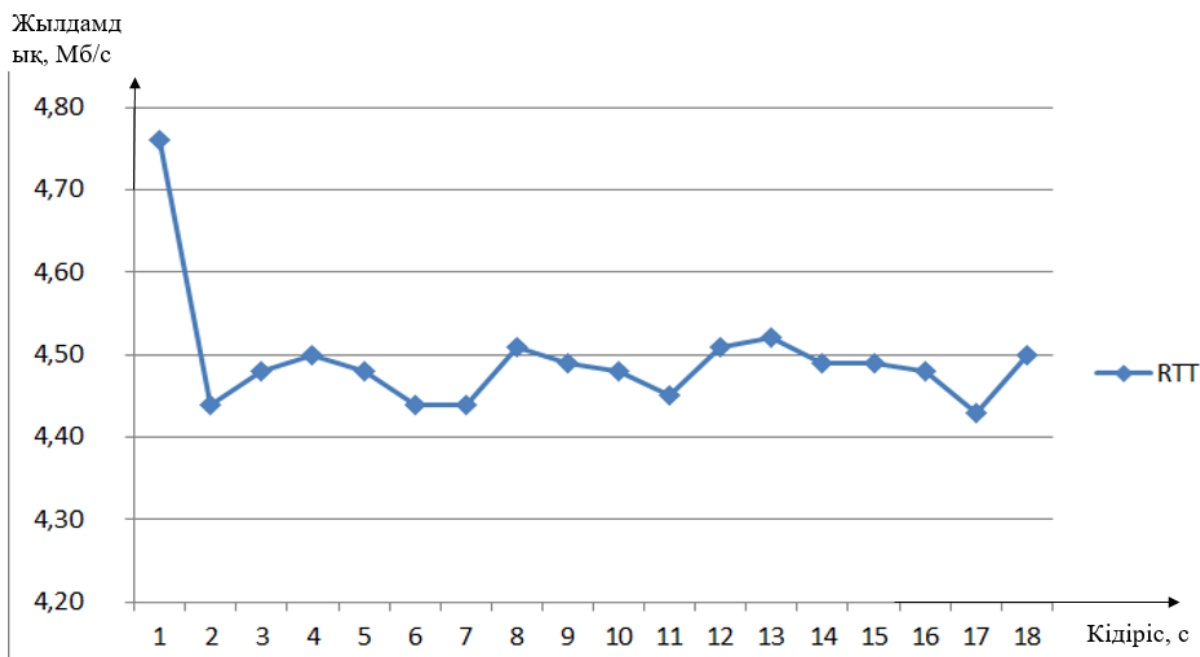
D2D коммуникациясын қолданатын SDN контроллерлерін тексеру үшін Mininet-WiFi эмуляторнына mesh желі құрылды. Iperf утилиті көмегімен осы желінің айналмалы кідірісі мен өткізу қабілеттілігі зерттелді. (3.1-сурет, 3.1-кесте, 3.2-сурет).

```
--- 10.0.0.13 ping statistics ---
14 packets transmitted, 14 received, 0% packet loss, time 13022ms
rtt min/avg/max/mdev = 4.434/4.812/8.898/1.134 ms
mininet-wifi> sta1 ping sta3 -c 20
PING 10.0.0.13 (10.0.0.13) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=1 ttl=64 time=4.76 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=2 ttl=64 time=4.44 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=3 ttl=64 time=4.48 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=4 ttl=64 time=4.48 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=5 ttl=64 time=4.50 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=6 ttl=64 time=4.48 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=7 ttl=64 time=4.44 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=8 ttl=64 time=4.44 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=9 ttl=64 time=4.51 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=10 ttl=64 time=4.49 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=11 ttl=64 time=4.48 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=12 ttl=64 time=4.45 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=13 ttl=64 time=4.51 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=14 ttl=64 time=4.52 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=15 ttl=64 time=4.48 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=16 ttl=64 time=4.49 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=17 ttl=64 time=4.49 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=18 ttl=64 time=4.48 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=19 ttl=64 time=4.43 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=20 ttl=64 time=4.50 ms
--- 10.0.0.13 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19031ms
rtt min/avg/max/mdev = 4.432/4.496/4.765/0.108 ms
mininet-wifi>
```

3.1-Сурет – Iperf утилитінде mesh-желінің RTT (айналмалы кідіріс уақыты)

3.1 Кесте – Айналмалы кідірістің уақытын алу

№ Өлшеу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RTT (сек)	4,76	4,44	4,48	4,5	4,48	4,44	4,44	4,51	4,49	4,48	4,45	4,51



3.2 Сурет – Iperf-тағы RTT графигі

Желінің өткізу қабілетін тестілеу кезіндегі пайда болған нәтижелер 3.3, 3.4, 3.5 суреттерде және 3.2, 3.3-кестелерінде көрсетілген.

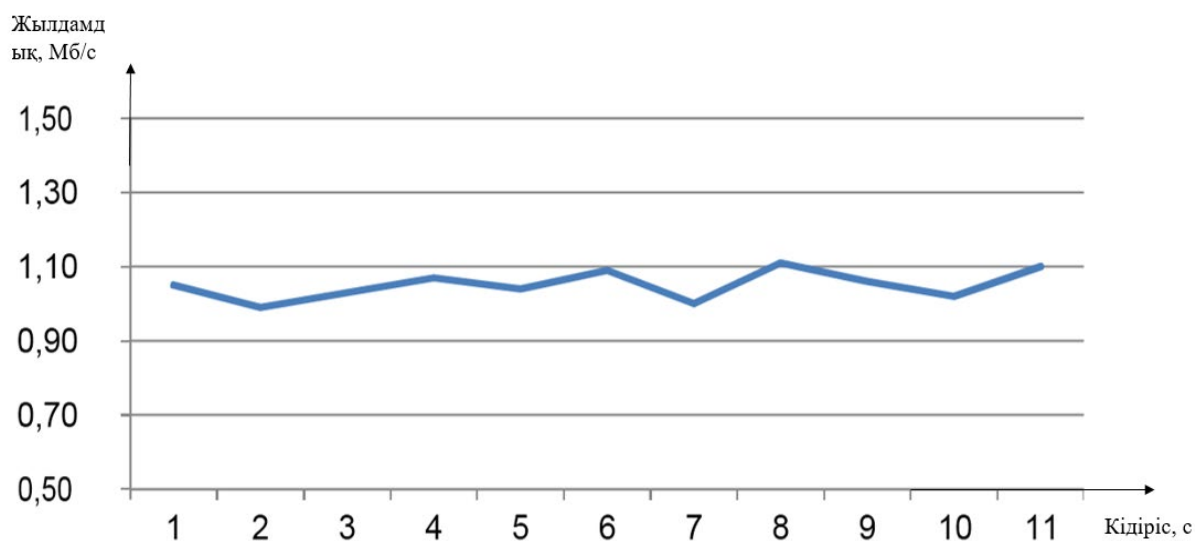
```
mininet-wifi> sta1 ping sta3 -c 20
root@SDNmininet:~/Downloads# iperf -c 10.0.0.11 -u
PING 10.0.0.13 (10.0.0.13) 56(84) bytes of data:
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=1 ttl=64 time=4.49 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=2 ttl=64 time=4.48 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=3 ttl=64 time=4.43 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=4 ttl=64 time=4.50 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=5 ttl=64 time=4.47 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=6 ttl=64 time=4.45 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=7 ttl=64 time=4.46 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=8 ttl=64 time=4.44 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=9 ttl=64 time=4.48 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=10 ttl=64 time=4.46 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=11 ttl=64 time=4.47 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=12 ttl=64 time=4.45 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=13 ttl=64 time=4.46 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=14 ttl=64 time=4.44 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=15 ttl=64 time=4.45 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=16 ttl=64 time=4.43 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=17 ttl=64 time=4.46 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=18 ttl=64 time=4.48 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=19 ttl=64 time=4.43 ms
64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=20 ttl=64 time=4.50 ms
--- 10.0.0.13 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19031ms
rtt min/avg/max/mdev = 4.432/4.496/4.765/0.108 ms
mininet-wifi> iperf -u
invalid number of args: iperf src dst
mininet-wifi> xterm sta1
mininet-wifi> xterm sta3
mininet-wifi>
```

3.3 Сурет – Iperf утилитінде Желінің өткізу қабілеті (UDP)

3.2 Кесте – UDP қолданып, желінің өткізу қабілетін алу

№ Өлшеу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пайда болған нәтижелер	1,05	0,99	1,03	1,07	1,04	1,09	1	1,11	1,06	1,02	1,10

Желінің өткізу қабілеті (UDP)



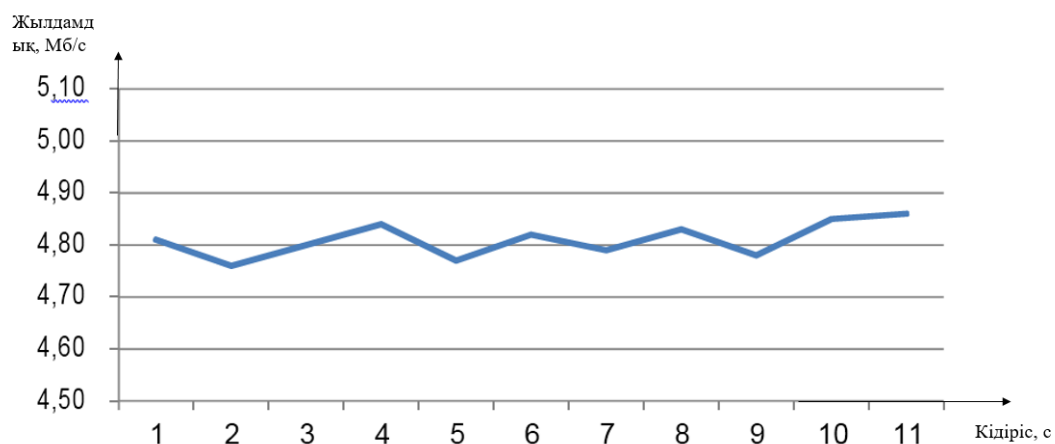
Өлшеу саны (UDP buffer size: 208kByte)

3.4 Сурет – UDP желісінің өткізу қабілеті

3.3 Кесте – TCP қолданып, желінің өткізу қабілетін алу

№ Өлшеу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пайда болған нәтижелер	4,81	4,76	4,8	4,84	4,77	4,82	4,79	4,83	4,78	4,85	4,86

TCP қолданатын желінің өткізу қабілеті



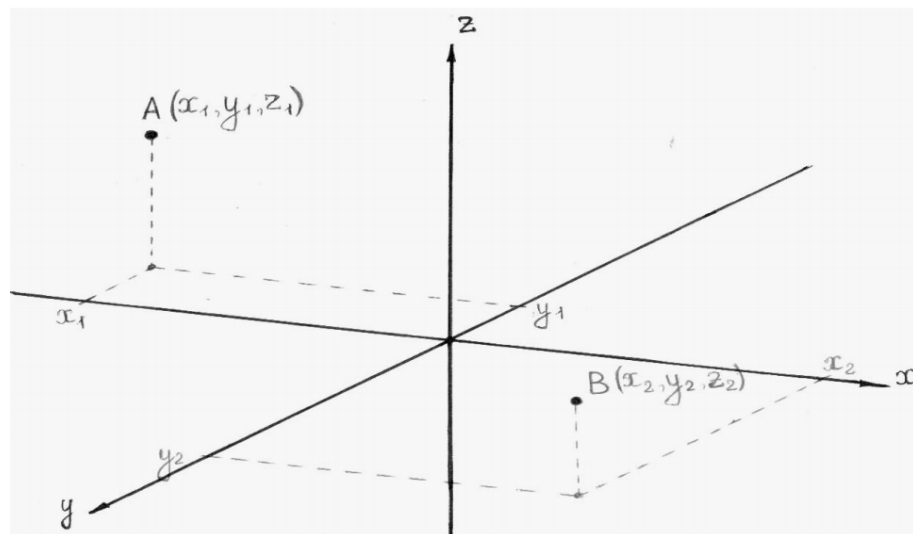
Өлшеу саны (TCP window size:85,3kByte)

3.5 Сурет – TCP желісінің өткізу қабілеті.

3.2 Байланыс арнасының MIMO 3D математикалық моделі

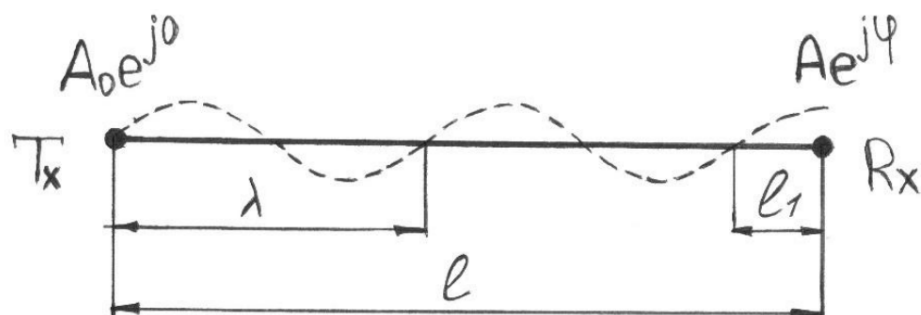
Арнаны модельдеу MatLab программасының көмегі арқылы жүзеге асырылды. Арнаны модельдеу кезінде қабылдағыштың координатасы ретінде Rx, таратқыштың координатасы ретінде Tx деп алып, шағылдырғыштарды да белгілі деп қарастырайық. Сонымен, үш өлшемді кеңістікте екі нүктенің арақашықтығын (3.6-сурет) келесі формуламен анықтауға болады:

$$AB = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (3.1)$$



3.6 Сурет – Үш өлшемді кеңістіктегі екі нүктенің арақашықтығы

Таратылып жатқан ақпарат тіке көріністе болған жағдайда (3.7-сурет), сигналды комплексті түрде $Ae^{j\varphi}$ көрсетуге болады.



3.7 Сурет – Толқынның таралуы

Толық периодты сигнал өткен кезде фаза 360 градусқа ауысады. Сигналдың бір периодта өткен арақашықтығы толқынның ұзындығына λ тең, мына формуламен анықталады:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (3.2)$$

мұндағы c – жарық жылдамдығы,
 f – орталық жиілік. Фазаны анықтау үшін, біз l_1 табуымыз қажет.

$$\frac{l_1}{\lambda} = \frac{\varphi}{2\pi} \rightarrow \varphi = 2\pi \frac{l_1}{\lambda} \quad (3.3)$$

$$\frac{l}{\lambda} = \frac{n\lambda + l_1}{\lambda} \rightarrow \frac{l_1}{\lambda} = \frac{l}{\lambda} - n, \quad (3.4)$$

мұндағы n – толық периодтың бөлігі.

Құрылған модельде $L_1 = \frac{l_1}{\lambda}$ – нормаланған өлшемсіз бірлік.

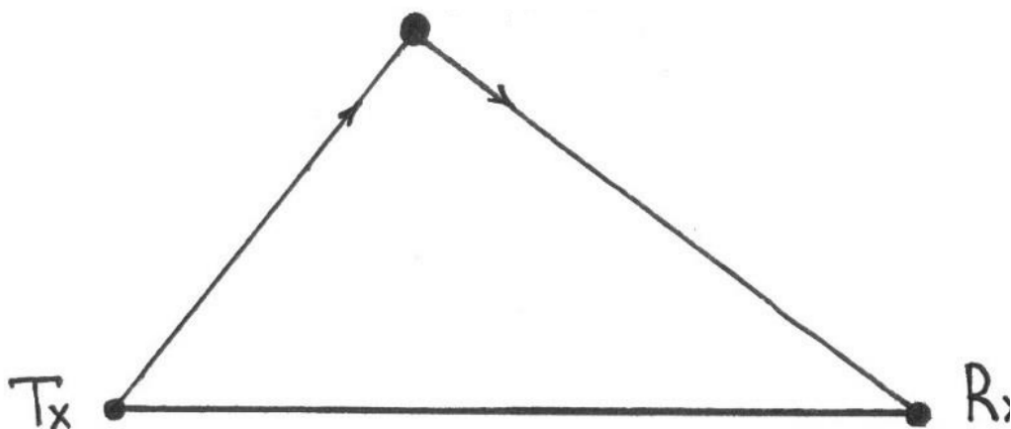
Қабылданған сигнал фазасын келесі формула арқылы есептеуге болады:

$$e^{j2\pi \frac{l_1}{\lambda}} = e^{j2\pi \left(\frac{l}{\lambda} - n\right)} = e^{j2\pi \frac{l}{\lambda}} e^{-j2\pi n} = e^{j2\pi \frac{l}{\lambda}}, \quad (3.5)$$

мұндағы $e^{-j2\pi n} = 1$ – сигналдың толық фазасы.

Тәжірибе жүзінде сигнал көптеген шағылдырғыштармен соқтығысады (ағаштар, үйлер, автомобильдер, биік ғимараттар) [8]. Сондықтан B_i шағылдырғышын енгізейік (3.8-сурет). Берілген модельде осы заттардың имитациясын шашыратқыш бұлттар жүзеге асырайды. Әр бұлттың өзінің орташа координатасы болады: $X_{sc} = \text{Cloud}(1)$, $Y_{sc} = \text{Cloud}(2)$, $Z_{sc} = \text{Cloud}$. Таратқыштан қабылдағышқа дейін екінші жол арқылы өткен сигналдың арақашықтығын l_2 деп белгілейміз. Енді қабылданған сигнал былай есептеледі:

$$Ae^{j\varphi} = A_0 e^{j2\pi \frac{l}{\lambda}} + A_2 e^{j2\pi \frac{l_2}{\lambda}}. \quad (3.6)$$

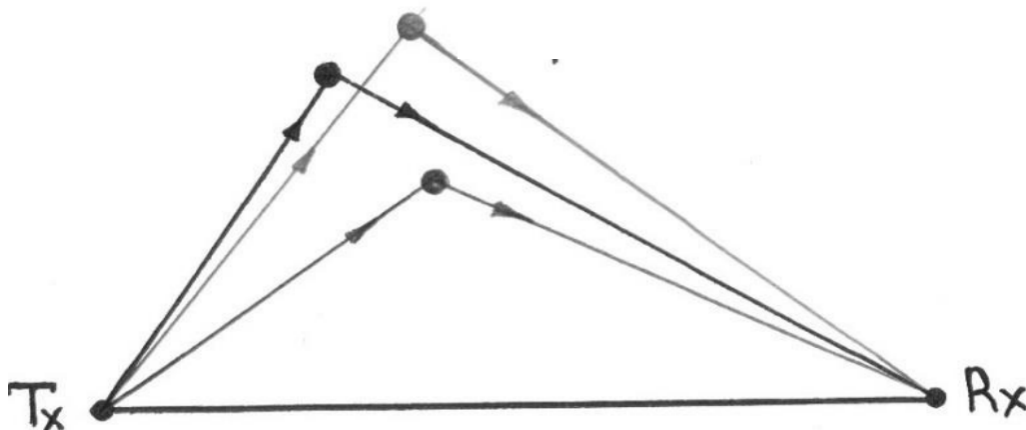


3.8 Сурет – Бір шағылдырғышы бар таратқыштан қабылдағышқа дейінгі сигнал жолы

Бірнеше шағылдырғыш болған жағдайда (3.9-сурет) сигналдың векторлық қосындысы:

$$Ae^{j\varphi} = \sum_i A_i e^{j2\pi \frac{l_i}{\lambda}} \quad (3.7)$$

мұндағы i – сигнал нөмірі, l_i – жол ұзындығы.



3.9 Сурет – Бірнеше шағылдырғышы бар таратқыштан қабылдағышқа дейінгі сигнал жолы

Біз идеалды модельді қарастырғандықтан, сигналдың өшуін, бөгеуіл мен шудың әсерін қарастырмағандықтан, амплитуданы бірлікке қалыпқа келтірдік. Сигналдың өшуі болған жағдайда амплитуда өзгеріп отырады. Сонда

$$A_i = Ae^{-\alpha l_i}, \quad (3.8)$$

мұндағы $\alpha = \text{const}$ – өшу декременті, қаншалықты тез өшетінін анықтайтын сандық сипаттама.

$$A_i e^{j\varphi} = A \sum_i e^{-\alpha l_i + j2\pi \frac{l_i}{\lambda}} \quad (3.9)$$

Арна нормаланған болғандықтан, амплитуданы ескермеуге болады:

$$A_i e^{j\varphi} = \sum_i e^{l_i(-\alpha + j2\pi \frac{1}{\lambda})} \quad (3.10)$$

мұндағы i – сигнал нөмірі, l_i – жол ұзындығы.

Шағылдырғыштар жоғалтуы бар сигналдарды қайтадан шағылдыратын жағдайды қарастырайық. Сол жағдайда әр сәуле үшін өшу декременті әртүрлі болады. Сигналдың өшу деңгейін PL логарифмдік нормалды модель арқылы өрнектеуге болады:

$$PL_k = K_0 PL_r(d) + \sum_{m=1}^m K_1 PL_i + P_{refl} \quad (3.11)$$

мұндағы $PL_r(d)$ – тіке көрімділігі бар компоненттер үшін, PL_i – m -ші бөлме қабырғасынан шағылған сәулелер үшін, P_{refl} – сигналдың деңгейінің төмендеуі есептеу кезінде пайда болған мән, K_0, K_1 – түзетуші коэффициенті, k – шағылдырғыш нөмірі [9].

Онда жалпы сигнал:

$$Ae^{j\varphi} = \sum_i e^{l_i(-\alpha PL + j2\pi \frac{l_i}{\lambda})} \quad (3.12)$$

MIMO арнаны сипаттау үшін $N \times M$ өлшемді арнаның коэффициенттерінен тұратын матрица енгізіледі:

$$H = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

Матрицаның әрбір h_{ig} элементі i -ші жіберілетін антенна мен j -ші қабылдайтын антенна арасындағы жіберілетін арнаның комплексті коэффициенті болып табылады.

Қабылдаушы жақтағы сигнал моделін векторлы түрде жазып алуға болады:

$$\vec{Y} = \vec{H}\vec{S} + \vec{\eta}, \quad (3.14)$$

мұндағы $\vec{H} = \{h_{ig}, i = 1 \dots N, j = 1 \dots M\}$ – $N \times M$ өлшемді комплексті арналы матрица, $\vec{S} = \{s, i = 1 \dots N\}$ – сәйкес антенналардың жіберілген комплексті символдардың векторы, $\vec{\eta} = \{\eta, \}$ – комплексті кездейсоқ гауссты шу векторы.

Арнаның негізгі сипаттамасы оның өткізу қабілеті болып табылады, мұнда біз оның ақпараттың таратылуының максималды жылдамдығын біле аламыз. MIMO жүйелерінің көмегімен байланыс арнасының өткізу қабілетін жоғарылатуға болады. Гауссты тәуелсіз шуы бар бірнеше арна арқылы ақпаратты жібергенде өткізу қабілеті әр арнаның өткізу қабілетінің қосындысына тең. Өткізу қабілетін есептеу үшін мына формуланы қолданамыз:

$$C = \log_2 \left(\frac{1}{S} H H' \right) \quad (3.15)$$

Әрбір қабылдағыш антеннада сигнал қуаты бірдей деп саналады, яғни сигналдың әлсізденуі есептелмейді, сонда сигнал/шу қатынасын былай табуға болады:

$$\gamma = \frac{E_s}{2\sigma^2}, \quad (3.16)$$

мұндағы E_s – қабылданатын сигналдың ортақ қуаты.

MatLab-та жасалынған процесстер Қосымша 1-ге бекітілген.

3.3 Миллиметрлік диапазон (ММД) радиоарнасының модельдеу әдістемесі

3.3.1 Методиканы құру жоспары

ММД радиоарнасының имитаторын құру үшін белгілі бір ретпен бірнеше тапсырманы орындау қажет. ММД радиоарнасының қасиеттерінің анализін өткізіп және миллиметрлік диапазонның радиотолқындарының таратылуы туралы әртүрлі елдердің теориялық және эксперименталдық зерттеулерін қолдана отырып, ММД радиоарнасының имитация методикасының құру жоспарын келесідей жасауға болады:

- миллиметрлік толқындардың (ММТ) әртүрлі жиіліктердегі сигналдардың әлсіреуін есептеу (нормалды атмосфералық жағдайдағы таралу);
- атмосферада гидрометеорлар (тұман, жаңбыр, қар және т.б.) болған жағдайдағы түзету коэффициентін анықтау;
- орман массивтерін өткен кездегі миллиметрлік толқындардың әлсіреуін анықтайтын түзетуші коэффициентін анықтау;
- байланыс трассасының профилінің біркелкі еместігін анықтау және типті профильдерде мүмкін болатын шағылысу нүктелерін анықтау;
- байланыс тарссасындағы әртүрлі шағылысу нүктелері үшін интерференцияланатын ММТ фазаларының ығысуын анықтау;
- таратылатын ММД сигналының қабылдайтын сәулелердің мүмкін болатын санын анықтау (трассаның біркелкі еместігін ескеру қажет);
- ММД сигналдарының әртүрлі шағылған сәулелер үшін әлсіреудің түзету коэффициенттерін анықтау;
- әртүрлі жылдамдықта қозғалып келе жатқан мобильді абоненттердің доплер жиілігің ауытқуы;
- әртүрлі жылдамдықтар үшін байланыс абонентінің тәуелділіктерінің өзгеруін анықтау.

3.3.2 Әдістемеге сәйкес сигналдың әлсіреуін есептеу

Ұсынылған әдістемеге сәйкес ММТ-ның әртүрлі жиіліктегі сигналдың әлсіреуін анықтайық. Оны ММД станциясының қабылдағыш және таратқыш антеннаның арасындағы арақашықтықты функция ретінде қарастырайық. Ол

үшін бос кеңістікте ММД сигналының әлсіреуін табамыз, және сигналдың тасушы жиіліктен тәуелділігін келесі өрнекті қолдана отырып құрамыз:

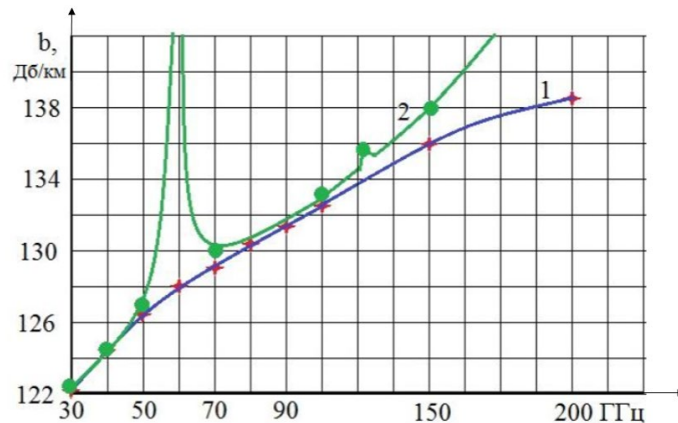
$$b = 20 \lg \left(\frac{4\pi R f}{c} \right), \quad (3.17)$$

мұндағы R – таратықыш пен қабылдағыш арасы,

c – жарық жылдамдығы,

f – тасушы жиілік

Есептеу нәтижесі 3.10-суретте көрсетілген.



3.10 Сурет – Бос кеңістіктегі 1 км қашықтықта ММТ әлсіреуі

Атмосфералық газдар графикке түзетулер енгізеді, 19-суреттегі 2-кисыққа түрленеді. 52 ГГц-тен 66 ГГц-ке дейін және 180 ГГц-тен 190 ГГц-ке дейін ММТ-ның жұту коэффициенті күрт өсуі байқалады. Бұл атмосфералық газдарда кездесетін оттегі молекулаларының және су молекулаларының теріс әсеріне байланысты.

Атмосферада гидрометеорлардың болуын есепке алатын түзету коэффициенттерін жұмыс кезінде алынған өрнек көмегімен анықтауға болады. Жаңбырда болатын сөнуді келесі формуламен анықтаймыз:

$$b_d = K_d Y^\alpha [\partial B / \text{км}], \quad (3.18)$$

мұндағы Y – жауын-шашын интенсивтілігі, K_d – жиілік, температура, поляризациядан тәуелді болатын параметр, α – жиілік, температура, поляризациядан тәуелді болатын өлшемсіз параметр [10].

Мм/сағ-пен берілген жұту коэффициенті мен жаңбырдың қарқындылығы арасындағы сызықтық байланыс барлық сантиметрлі және миллиметрлі толқындар диапазонында бар. Логарифмдік масштабта бұл байланыс 20 ГГц-қа дейінгі жиілікке сызықты, одан кейін қанығу аймағына өтеді.

Жауын-шашын интенсивтілігінің коэффициентінің классификациясы бойынша Қазақстан жаңбырлы зона Е-ға жатады. Қазақстан үшін түзету коэффициенті (3.18) өрнек бойынша есептеледі және 3.4-кестеде көрсетілген.

100 ГГц-тен көп жиіліктерде жаңбыр үшін жұту коэффициентінің күрт өсуі байқалады.

60 ГГц пен 120 ГГц жиіліктерінде атмосфераның ылғалдылығынан жер бетінде ММТ-ның сәулеленуі толық әлсіреп, 200 дБ-ға дейін жете алады. Бұл, өз кезегінде, ғарыш аппараттарынан рұқсатсыз ақпарат алу мүмкіндігін жоққа шығарады.

3.4 Кесте – Қазақстан үшін түзету коэффициенті

3.5

Жиілік, ГГц	Жыл мерзімінің проценті, %	Жауын-шашын интенсивтігі Y , мм/сағ	Жаңбырдағы сигналдың сөнуі, b_d , дБ/км
	1	0,6	0,1
	0,3	2,4	0,43
30	0,01	6,0	1,08
	0,003	12	2,18
	0,001	22	4,02
	1	0,6	0,63
	0,3	2,4	1,84
80	0,01	6,0	3,73
	0,003	12	6,35
	0,001	22	10,12
	1	0,6	0,7
	0,3	2,4	1,99
90	0,01	6,0	3,98
	0,003	12	6,7
	0,001	22	10,6

Тұмандағы ММТ-ның әлсіреуі оның көлеміндегі су өлшеміне байланысты. Әлсіреуді келесі формуламен анықтауға болады [11]:

$$b_T = L_T V_T [\text{дБ/км}], \quad (3.19)$$

мұндағы L_T – меншікті әлсіреу коэффициенті.

V_T – оптикалық көрініс бойынша анықталатын су құрамының коэффициенті.

Осы коэффициенттердің мәндері 3.5-кестеде кескінделген.

3.5 Кесте - L_T өлшемі

	18° С кезіндегі L_T өлшемі			
Жиілік, ГГц	30	42	60	150
L_T , дБм³/ГГц	0,438	0,876	1,65	7,14
		V_T өлшемі		
V_T , Г/м³	0,2	0,5	1	2
Оптикалық көрініс	200	80	50	30

ММТ-ның қарда жұтылуы қардың тығыздығы мен ылғалдылығына тәуелді болады. Құрғақ қар мен жауын-шашын интенсивтілігі 0,5 мм/сағ-тан аспайтын жаңбырдың ММТ-ның сөнуіне әсері бірдей, бірақ ылғалды қар жаңбырдың интенсивтілігі $Y=6,00$ мм/сағ-пен әсері бірдей.

Жапырақтағы ММТ-ның жұтылуы [13] жұмыстағы эмпирикалық формуламен есептеуге болады. Мысалы, ММД сигнал қалыңдығы 400 м-ден аспайтын жапырақтан өтсе, оның әлсіреуін келесі формуламен анықтауға болады:

$$b_{\pi} = 0,2 f_0^{0,3} R^{0,6} [\text{дБ}], \quad (3.20)$$

мұндағы f_0 – жиілік, МГц, R – жапырақ қабатының қалыңдығы, м.

ММД сигналдарының орманды массивтер мен өсімдіктерден өткенде ММТ-ның қосымша сөнуі байқалады, ол өсімдік түрі мен трасса ұзындығына байланысты болады. Қатты жел болғанда да стандартты ауытқу өседі. ММТ-ның ағаштармен жұтылу есебінен сөнудің есептеулері 3.6-кестеде көрсетілген.

3.6 Кесте – ММТ-ның сөнуі

r, м	Сөну, дБ			
	$f=30$	$f=50$	$f=70$	$f=90$
25	30,4	35,4	39,2	42,3
50	46	53,7	59,4	64
75	58,6	68,3	75,5	81,5
100	69,9	81,4	90,0	97,1
150	89,1	103,8	114,8	124

Байланыс трассасы өтетін жер біркелкі емес, және ол жер бетінен шағылған радиотолқындар санына әсер етеді. Жер бетінен шағылған кезде

сигнал энергиясы бірен-саран жоғалады, және осы сигнал поляризациясына тәуелді болатын жоғалуларды шағылу коэффициенті K арқылы табуға болады:

$$K = \frac{\sqrt{\varepsilon - \cos^2 \gamma}}{\varepsilon}, K = \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \gamma}, \quad (3.21)$$

Сәйкесінше вертикаль және горизонталь поляризациялары үшін. Мұндағы $\varepsilon \approx 15$, ол жер мен асфальт үшін орташа диэлектрик тұрақтысы; γ – шағылатын жазықтық үшін түсу бұрышы.

ММД сигналдары қатты денелерден де қиын өтеді. 3.7-кестеде ММТ-ның құрылыс материалдарында сөнуі туралы эксперименталды деректер [12] көрсетілген. ММД сигналдарының аса қатты әлсіреуі кірпіш пен бетонда болады, сол себепті ММТ-ны ұялы байланыс үшін қолдануды қиындатады, сондықтан ғимараттарды репетитер мен фемұяшықтармен жабдықтауды талап етеді.

3.6Кесте – ММТ-ның құрылыс материалдарында сөнуі

ММТ-ның материалдарда әлсіреу коэффициенті b_M , дБ				
Материал	Қалыңдығы, см	Жиілік, ГГц		
		3	40	60
Шыны	0,4	6,4	2,5	3,6
Гипсокартон	2,5	5,4	-	6,0
Ағаш	0,7	5,4	3,5	-
АЖТ	1,6	-	0,6	-
Сылау	1,5	-	2,9	-
Кірпіш	10	-	178	-
Бетон	10	17,7	175	-

ММД сигналдарының таратылуы кезінде олардың сөнуі туралы сұрақтардан басқа көпсәулелі қабылдау кезінде фазалардың мінісуін және абоненттердің қозғалысы кезіндегі доплер эффектінен тасушы жиіліктің өзгеруін анықтау керек.

Көпсәуледі қабылдау кезінде қабылдау нүктесіндегі сәулелердің арасындағы фазалар айырымы осы сәулелер арқылы таратылу кезіндегі фазалардың мінісуі ретінде анықталады:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta R = \frac{4\pi h^2}{\lambda R} = \frac{4\pi h^2 f}{RC}, \quad (3.22)$$

мұндағы λ – абоненттердің жұмыс толқынының ұзындығы, f – жұмыс жиілігі, C – радиотолқын жылдамдығы, R – қабылдағыш пен таратқыш арақашықтығы, h – шағылу нүктесінен таратқыш пен қабылдағыш антенналарын қостаын түзу сызыққа дейінгі биіктік.

Көпсәуелітен пайда болатын интерференциялық тынулардың (замирение) орташа ұзақтығын T_3 белгілі бір деңгейге T_0 байланысты келесі өрнек [14] табуға болады:

$$T_3 = \frac{\lambda}{\sqrt{2\pi V}} \frac{\sqrt{2}\sigma}{T_0} \left[\exp\left(\frac{T_0^2}{2\sigma^2}\right) - 1 \right] \quad (3.23)$$

Жиіліктің доплерлік жылжуы мына өрнек бойынша анықталады:

$$f = f_0 \left(\frac{1+V/C}{1-U/C} \right), \quad (3.24)$$

мұндағы f_0 – байланыс жүйесінің тасушы жиілігі, V, U – қабылдағыш пен таратқыштың қозғалу жылдамдықтары, C – радиотолқындардың таралу жылдамдығы.

Абоненттердің бір-біріне қарсы жаяу жүріс кезінде жиіліктің мінісуі проценттің бірнеше мыңдық үлесіне дейін жетпейді, яғни байланыс сапасына ешқандай әсер тигізбейді. Бірақ абоненттер автомобиль немесе поезд жылдамдығы сияқты техникалық құралдар арқылы қозғалса доплер эффектін еске алмауға болмайды. Абоненттер қабылдайтын сигнал жиілігінің өзгеруіне Қозғалатын абоненттің (ҚА) қозғалу жылдамдығы қалай әсер ететінін қарастырайық.

Мысал ретінде екі абонент бір-біріне қарама-қарсы келе жатсын, ал олардың радиостанциялары $f_0 = 28,5$ ГГц-те жұмыс істейді. Абоненттердің жылдамдықтарының қосындысына тәуелді есептеу нәтижелері 3.8-кестеде көрсетілген.

3.7Кесте – Абоненттердің жылдамдық қосындысына тәуелдігі

ҚА жылдамдық жиынтығы, км/сағ	f_0 -ден доплерлік ауытқу жиілігі, кГц
100	2,64
140	3,7
180	4,8
220	5,8
260	6,86
280	7,39

Осы мысалдан егер абонент жылдамдығы 200 км/сағ-тан асса жиіліктің ауытқуы 5 кГц-тен асады және қабылдағыш жоғарғыжылдамдықты авто-баптау жүйесіне немесе 10,0 кГц-ке үлкейтілген өткізу жолағына ие болу керек.

Тарату кезінде (48)-(52) өрнектері және 6-8 кестелер бойынша анықталатын ММТ сигналының өшу өлшемдері әртүрлі климаттық және

географиялық шарттарға байланысты сигналдың әлсіреуін бағалауға көмектеседі.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыс барысында сымсыз ұялы байланыстың бесінші буынын 5G қарастырдық. Осы жұмыста оның архитектурасын анықтайтын факторларына талдау жасалынды, 5G негізіне айналған 6 технологияға тоқталып өттім. Сымсыз желілердегі MIMO массивіне тоқталып, оның:

- 1) 3D математикалық моделін MatLab арқылы құрдық;
- 2) қабылданатын сигнал фазасының, сигналдың өшу деңгейінің формулаларын MatLab көмегімен өрнектедік;
- 3) өткізу қабілетін есептеу үшін матрицаны енгізіп, формуласын таптық.

D2D-коммуникациясының имитациондық моделін күйі кезінде Iperf утилиті арқылы:

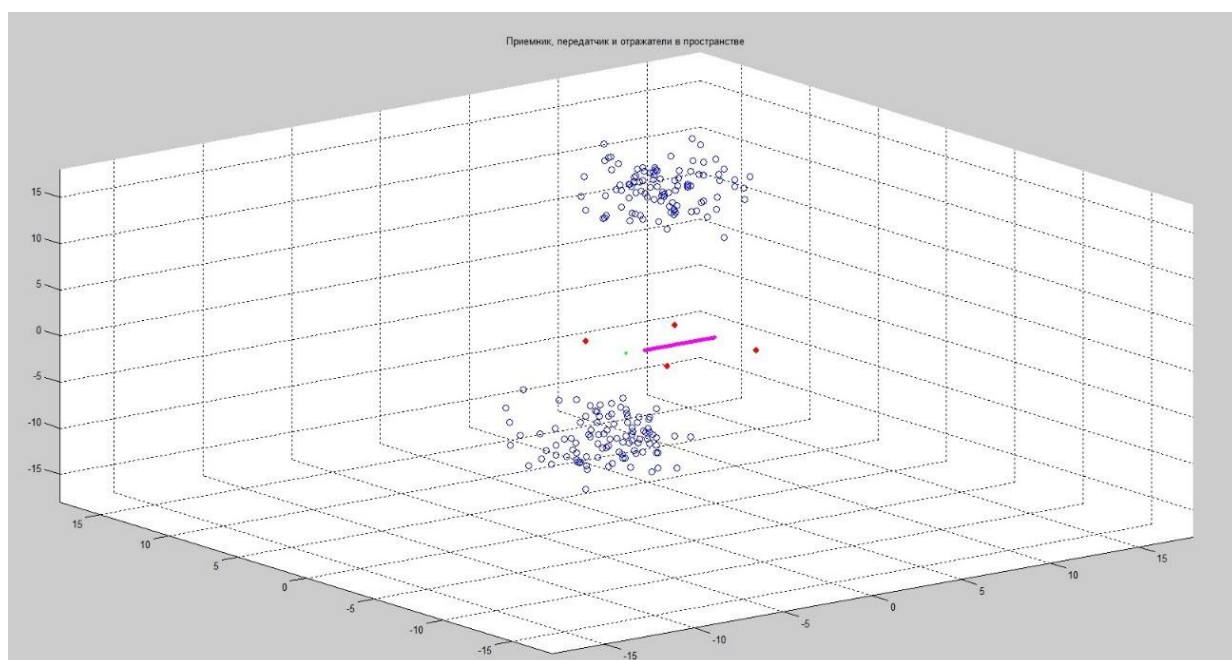
- 1) Айналмалы кідіріс уақытын (RTT);
- 2) Желінің өткізу қабілетін (UDP) есептедік.

Миллиметрлік диапазон радиорнасының модельдеу методикасын құрған кезде белгілі аналитикалық және эксперименталдық деректерге негізделіп, сигналдың әлсіреу коэффициентін, оның әлсіреуіне жаңбыр, тұман, қардың қалай әсер ететіні қарастырылды.

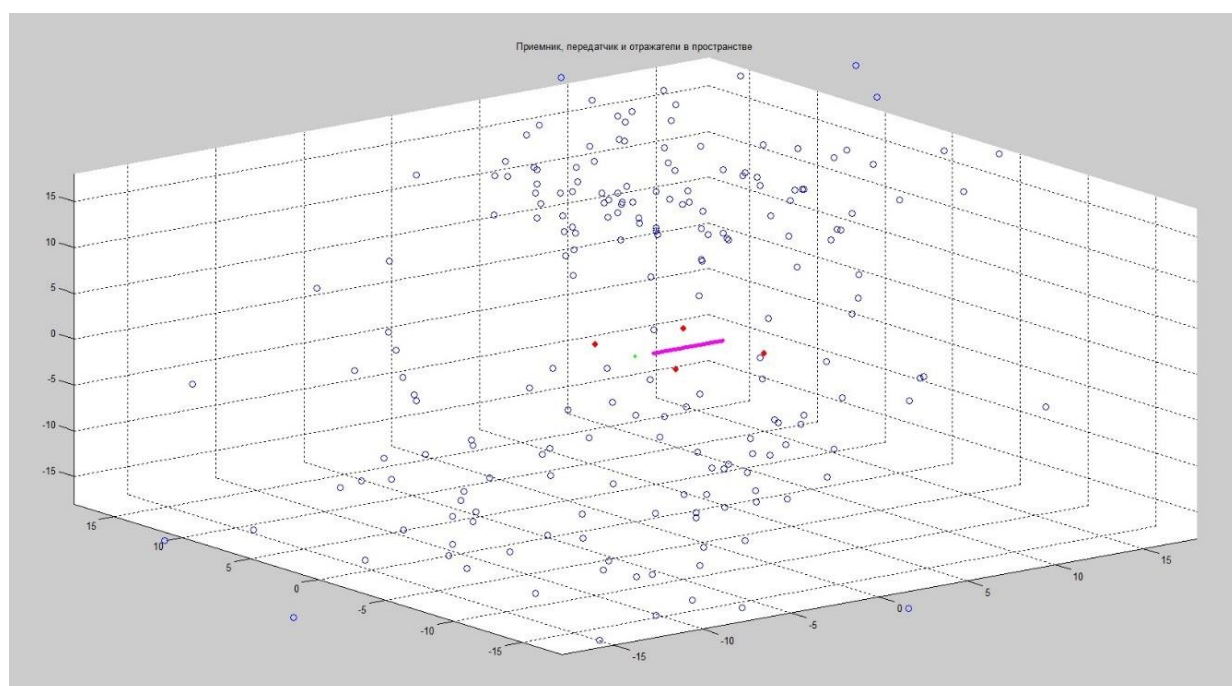
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Demestichas P., Georgakopoulos A., Karvounas D., Tsagkaris K., Stavroulaki V., Lu J., Xiong C., Yao J. 5G on the Horizon: Key Challenges for the Radio-Access Network // IEEE Vehicular Technology Magazine. 2013. Vol. 8. Iss. 3. pp. 47–53.
- 2 Granelli F., Gebremariam A. A., Usman M., Cugini F., Stamati V., Alitska M., Chatzimisios P. Software Defined and Virtualized Wireless Access in Future Wireless Networks: Scenarios and Standards // IEEE Communications Magazine, Communications Standards Supplement. 2015. Vol. 53. Iss. 6. pp. 26–34.
- 3 Xia W. et al. A Survey on Software-Defined Networking // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2015. Vol. 17. Iss. 1. pp. 27–51.
- 4 Гимадинов Р. Ф., Мутханна А. С., Кучерявый А. Е. Кластеризация в мобильных сетях 5G. случай частичной мобильности // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 2 (10). С. 44–52.
- 5 Greene K. 10 Emerging Technologies of 2009. Software Defined Networking. MIT Technology Review. 2009.
- 6 Kirichek R., Vladyko A., Zakharov M., Koucheryavy A. Model Networks for Internet of Things and SDN // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2016. pp. 76–79.
- 7 Muthanna A., Masek P., Hosek J., Fujdiak R., Hussein O., Paramonov A., Koucheryavy A. Analytical evaluation of D2D connectivity potential in 5G wireless systems // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870, pp. 395–403.
- 8 Kirichek R., Vladyko A., Zakharov M., Koucheryavy A., Model networks for Internet of Things and SDN // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2016. pp. 76–79.
- 9 Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Шумов А.П. Повышение скорости передачи информации и спектральной эффективности беспроводных систем связи // Цифровая обработка сигналов. Рязань, РГРТУ, 2006. №1. С. 2–12.
- 10 Коляденко Ю. Ю., Коляденко А. В. Математическая модель радиоканала для ММО-систем. // Журнал «Проблемы телекоммуникаций», 2012, №2(7).- С.91-109. 94
- 11 Ксендзов А. В. Оценка производительности мобильного ММО канала связи на основе трехмерной геометрической стохастической модели. // Радиотехника. Вып. 11-2016. – М.:Радиотехника, 2016. -С.60-67.
- 12 Жоюю Пи, Фарук Хан Введение в широкополосные системы связи миллиметрового диапазона / Электроника: наука, технологии, бизнес. - 2012, №3.- С.86-94.
- 13 C.R. Anderson and T.S. Rappaport. In-Building Wideband Partition Loss Measurements at 2.5 and 60 GHz/ IEEE Transactions Wireless Communications, May 2004, v.3, №3.
- 14 Справочник по радиорелейной связи / Под ред. С.В. Бородича. –М.: Радио и связь, 1981. – 415с.

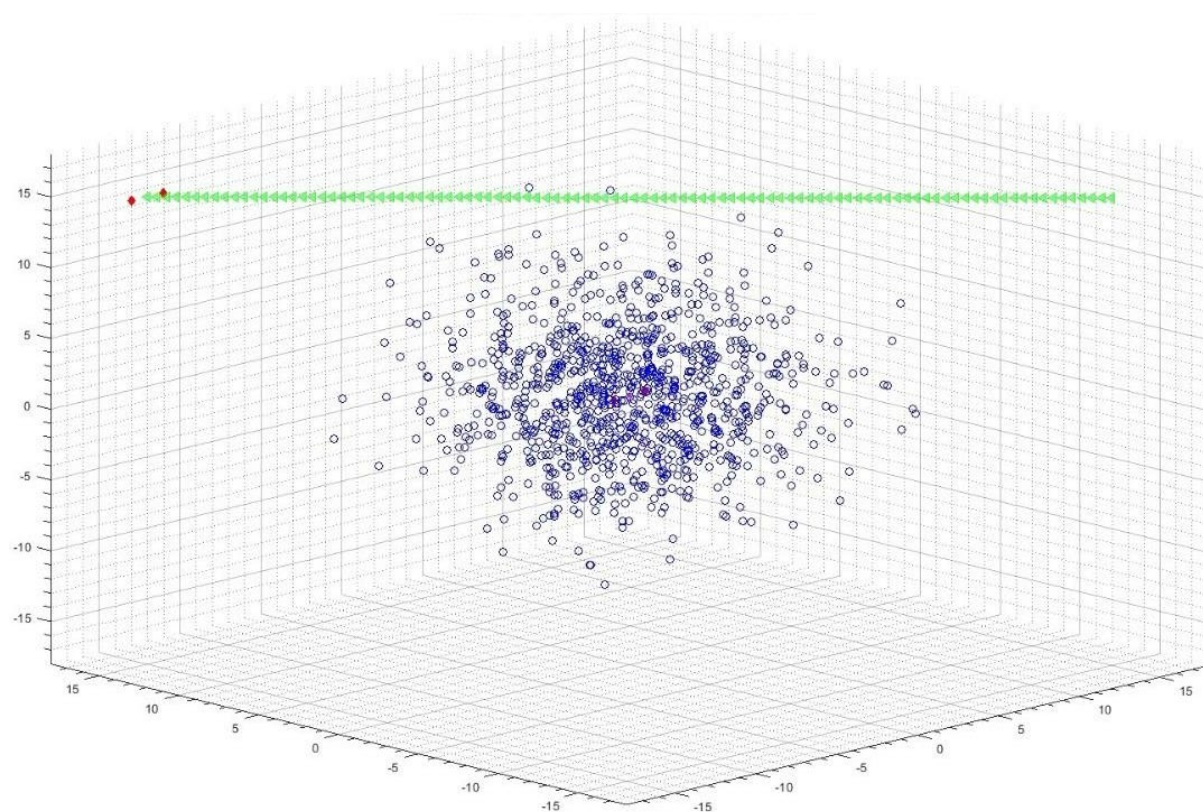
Қосымша А



Кеңістіктегі қабылдағыш, таратқыш, шағылдырғыш. Бұлттардың шашырауы=2



Кеңістіктегі қабылдағыш, таратқыш, шағылдырғыш. Бұлттардың шашырауы=8



Жерүсті станциясы бар әуе кемесінің байланыс арнасының үлгісі