

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 (043)

Қолжазба құқығында

Кенгесбаева Сара

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертацияның атауы

5G желісінде IoT енгізу тиімділігін бағалауды зерттеу

Дайындау бағыты

7M06201 – «Телекоммуникация»

Ғылыми жетекші

PhD докторы, аға оқытушы

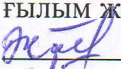
 Қ.Н. Тайсариева

« 31 » 05 2023 ж.

Рецензент

PhD докторы,

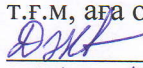
ғылым жөніндегі проректор

 Д.С. Жамангарин

« 31 » 05 2023 ж.

Норма бақылаушы

т.ғ.м, аға оқытушы

 Ж. Досбаев

« 01 » 06 2023 ж.

КОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
ЭТЖҒТ каф. меңгерушісі
т.ғ.к., қауым. профессор
 Е. Таштай
« 06 » 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»



Магистрлік диссертацияны орындауға арналған
ТАПСЫРМА

Магистрант *Кенгесбаева Сара*

Тақырыбы: *«5G желісінде IoT енгізу тиімділігін бағалауды зерттеу»*

Университет ректорының *«05» желтоқсан 2022 жылғы №1850-м* бұйрығымен бекітілген

Аяқталған диссертацияны тапсыру мерзімі: *«22» мамыр 2023 ж.*

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері: *5G-IoT жүйелері, 5G-IoT архитектурасы, желілік трафик, математикалық және имитациялық модельдер.*

Магистрлік диссертацияда қарастырылатын сұрақтар, диссертацияның қысқаша мазмұны:

- а) 5G желілерінде Заттар Интернетінің құрылу принциптерін талдау;*
- ә) 5G-IoT жүйесінің бес деңгейлі архитектурасын тұрғызу;*
- б) Пакеттік коммутациялық желілерде желінің кешігуінің себептерін зерттеу;*
- в) 5G кейінгі буын желісіндегі Заттар Интернетінің трафиктік сипаттамаларын математикалық зерттеу және талдау;*
- г) 5G-IoT жүйесін компьютерлік модельдеу.*

Графикалық материалдар тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):
жұмыс презентациясы 16 слайдпен көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер:

1 S. Painuly, P. Kohli, P. Matta and S. Sharma, "Advance Applications and Future Challenges of 5G IoT," 2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), Thoothukudi, India, 2020, pp. 1381-1384, doi: 10.1109/ICISS49785.2020.9316004.

2 L. Chettri and R. Bera, "A Comprehensive Survey on Internet of Things (IoT) Toward 5G Wireless Systems," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 1, pp. 16-32, Jan. 2020, doi: 10.1109/IJOT.2019.2948888.

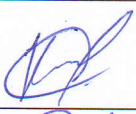
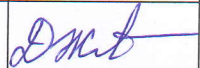
3 Patel, K.K. and Patel, S.M. (2016) Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. International Journal of Engineering Science and Computing, 6, 6122-6131.

4 Jordi Salazar, Santiago Silvestre, "Internet of things", Czech Technical University of Prague, Faculty of electrical engineering, 1st Edition, 2017, 978-80-01-06232-6.

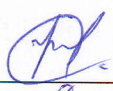
Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
5G-IoT жүйелерінің құрылу принциптері мен архитектурасы	12.12.2022 - 27.01.2023	орындалды
5G-IoT жүйесінің функционалды көрінісі және болашақ технологиялық әзірлемелері	01.02.2023 - 02.03.2023	орындалды
5G желісі негізінде IoT жүйесін енгізудің математикалық және имитациялық моделі	15.03.2023 – 25.04.2023	орындалды

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

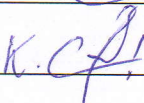
Бөлімдердің атаулары	Кеңесшілер (тегі, аты, әкесінің аты, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диссертация жұмысының тақырыбын талдау	Тайсариева Қ.Н., ЭТЖҒТ каф. аға оқытушысы, PhD докторы	16.01.2023 ж.	
Теориялық ақпарат және тәжірибелік бөлім	Тайсариева Қ.Н., ЭТЖҒТ каф. аға оқытушысы, PhD докторы	25.04.2023 ж.	
Норма бақылау	Досбаев Ж., ЭТЖҒТ каф. аға оқытушысы, т.ғ.м	01.06.2023 ж.	

Ғылыми жетекші



Тайсариева Қ.Н.

Магистрант тапсырманы орындауға алды



Кенгесбаева С.С.

Күні

« 10 » 12 2022 ж.

АНДАТПА

Бүгінгі күні Интернет әлемнің барлық жерінде таралып, жер шарының кез-келген түкпіріне дерлік әсер етті, сондай-ақ әлі де адам өміріне ойға келмейтіндей әсер етуде. Біз қазір Интернетке көптеген құрылғылар қосылатын бұдан да кең таралған қосылу дәуіріне, яғни Заттар Интернеті (IoT) дәуіріне қадам басудамыз. Ал, IoT қауіпсіздік шараларының нашарлығы, техникалық қызмет көрсетудің жоғары шығындары және сенімділіктің төмендігі сияқты көптеген мәселелерге тап болуда. Бұл жұмыста осы мәселелерді шешу үшін 5G жаңа технологиясы ұсынылады. 5G ультра тығыз желіні қолдау, жоғары сенімділік және әлемдік деңгейдегі қауіпсіздік шаралары сияқты мүмкіндіктерге ие. Бұл озық технологияларды қолдана отырып, жаңа құрылғыларды өте үнемді әрі тиімді өндіруге болады.

АННОТАЦИЯ

Сегодня Интернет распространился по всему миру, затронул практически все уголки земного шара и продолжает невообразимым образом влиять на человеческую жизнь. Сейчас мы вступаем в эру еще более широкого подключения, эру Интернета вещей (IoT), когда к Интернету будет подключаться все больше и больше устройств. Между тем IoT в настоящее время сталкивается со многими проблемами, такими как плохие меры безопасности, высокие затраты на обслуживание и низкая надежность. В данной диссертационной работе предлагается новая технология 5G для решения этих проблем. 5G отличается такими функциями, как поддержка сверхплотной сети, высокая надежность и меры безопасности мирового класса. Используя эти передовые технологии, новые устройства могут производиться очень экономично и эффективно.

ANNOTATION

Today, the Internet has spread all over the world, has affected almost every corner of the globe, and continues to affect human life in an unimaginable way. We are now entering an era of even more widespread connectivity, the era of the Internet of Things (IoT), where more and more devices will be connected to the Internet. Meanwhile, IoT is facing many problems, such as poor security measures, high maintenance costs, and low reliability. This thesis will present a new 5G technology to solve these problems. 5G has features such as ultra-dense network support, high reliability and world-class security measures. Using these advanced technologies, new devices can be manufactured very economically and efficiently.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	6
1 Интернет заттарының жалпы көрінісі мен негізгі жұмыс істеу принципі	11
1.1 IoT жүйесі және оны қолдайтын технологиялар	11
1.2 Интернет заттарының архитектурасы	15
1.3 IoT жүйесінің функционалды көрінісі және болашақ технологиялық әзірлемелер	18
1.4 IoT жүйесі негізіндегі өзара үйлесімділік	21
1.5 IoT жүйесінің мәселелері мен олардың шешімдері	26
2 5G желісі негізінде Заттар Интернетін енгізу	29
2.1 Ұялы байланыс желілерінің бесінші буыны – 5G	29
2.2 5G-IoT жүйесінің архитектурасы	34
2.3 5G-IoT жүйесінің әртүрлі деңгейлерінде технологиялық драйверлерді қосу	37
2.4 5G-IoT жүйесін іске асырудың математикалық моделі	52
3 Matlab & Simulink бағдарламасында 5G-IoT жүйесін математикалық модельдеу	58
3.1 LTE кедергісі бар 5G NR радиожилік қабылдағышын модельдеу	58
3.2 5G-IoT жүйесінде бірінші және екінші функционалды сценарийлерді іске асырудың Matlab & Simulink бағдарламасындағы моделі	69
3.3 Matlab & Simulink бағдарламасында алынған 5G-IoT жүйесінің моделін талқылау	71
Қорытынды	73
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	74

КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта жоғары жылдамдықты Интернет байланысы және деректерді беру жылдамдығы жоғары сымсыз байланыс қоғамда үлкен сұранысқа ие. Өйткені, бұл қоғам мен әлемді интеллектуалды дамыту мен цифрландырудың негізгі факторы болып табылады. Сондай-ақ, бүгінгі күні Интернет арқылы бір-бірімен байланысатын қосымшалар айтарлықтай тез жылдамдықты және сенімді байланысты қамтамасыз етеді. Интернетке деген сұраныс пен пайдаланушылар санының артуы 5G желісінің әзірленуіне алып келді. 5G әлем нарығында үлкен назар аудартты, өйткені жоғары жылдамдық, энергияны аз тұтыну және қауіпсіздік қазіргі байланыс технологияларының ең негізгі міндеті болып табылады. 5G желісі осы қажеттіліктерді ескере отырып, жоғары жылдамдықта, аз кідіріспен, аз энергия тұтынып және ақпарат қауіпсіздігін сақтай отырып деректерді беруді қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, 5G ұялы байланыс желілері IoT технологияларын кеңінен қолдануға да мүмкіндік береді.

IoT – бұл интеллектуалды тануды, позициялауды, бақылауды және басқаруды қамтамасыз ету үшін ақпарат алмасу және жинау жабдығы көмегімен белгіленген протоколдар негізінде заттарды Интернетке қосуға арналған желі түрі. IoT технологияларын енгізуде 5G желісін қолдану ең перспективалы шешім болып табылады. Себебі, бір уақытта мыңдаған пайдаланушыға қызмет көрсете алатын, өте жоғары жылдамдықта деректерді тасымалдай алатын, сонымен қатар өте аз кідіріс пен жоғары өткізу қабілеттілігін қамтамасыз ете алатын 5G желілері IoT жүйесінің негізгі талаптарын толықтай қанағаттандыра алады. Қазіргі таңда 5G желісі әлемнің көптеген дамыған елдерінде іске қосылғанымен, Қазақстанда әлі толық іске қосылған жоқ. 5G негізіндегі IoT технологияларын жасау еліміздің экономикалық дамуына да, әлемдік ірі нарыққа шығуына да үлкен үлесін тигізеді. IoT енгізу үшін, бұл жұмыста ұсынылған 5G-IoT архитектурасын қолдану тиімді болып табылады. Өйткені, ол шығынды көп қажет етпейді, энергияны аз тұтынады, деректерді өте жоғары жылдамдықта аз кідіріспен бере алады.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты: 5G желісінде IoT енгізу тиімділігін бағалау, 5G-IoT архитектурасын тұрғызу және IoT технологиялары үшін 5G байланыс желілерінің басқа байланыс жүйелерінен артықшылығын зерттеу, сонымен қатар 5G-IoT жүйесінің математикалық және имитациялық модельдерін алу және осы модельдерді Matlab & Simulink бағдарламасында компьютерлік модельдеу.

Зерттеу жұмысының өзектілігі: 5G – бұл әлемдік тренд, онсыз заманауи технологиялар дами алмайды. Шын мәнінде, 5G желілерін енгізудің басты бенефиті адамдар үшін емес, роботталған пилотсыз платформаларға арналған. Өйткені, 4G пайдаланушы-адамдарға жеткілікті дәрежеде жоғары қызмет көрсете алады. Дегенмен, қазіргі қолданыстағы 4G желілері IoT

технологиясының негізгі талаптарын қанағаттандыра алмайды. Ал, 5G желілері өте жоғары жылдамдықта ақпараттарды тасымалдау, аз кідіріс, үлкен сыйымдылық және жоғары өткізу қабілеттілігі сияқты, артықшылықтарымен IoT негізгі сипаттамалары мен талаптарын дерлік толықтай орындай алады. Яғни, 5G желісі – IoT пазлының маңызды деталі. IoT технологиясы ақылды қала, ақылды үй, ақылды машина, ақылды электр желілері сияқты басқа да интеллектуалды заттардың жұмыс істеуін қамтасыз ететін заманауи технология болып табылады. IoT технологиясын қолданысқа енгізу ҚР цифрландыру саласында маңызды рөл атқарады, сонымен қатар ел экономикасының дамуына да үлкен үлесін қосады. Өйткені, цифрлық трансформациялау, инновациялық экономиканы дамыту әлемдік бәсекеге қабілетті елдер қатарына енудің негізгі құрамдас бөлігі болып табылады. Сондықтан да, әлем елдері бәсекеге қабілетті болу мақсатында өздерінің цифрлық даму стратегияларын ұсынып, оларды қолданысқа енгізуі қажет.

5GURLLC және 5.0 индустриясына сәйкес Интернетке қол жетімділік Big Data және IoT үлкен деректерін талдаумен бірге цифрлық экономиканы дамытуға арналған. Зерттеу нәтижесі Қазақстан Республикасы мен цифрлық саланың ақпараттық-коммуникациялық технологияларын дамыту тұжырымдамасын бекіту туралы қаулыда қойылған көптеген міндеттерді шешуге негізделген. Жоғарыда айтылғандарды ескеретін болсақ, 5G желісінде IoT енгізу диссертациялық жұмыстың өзектілігін көрсетеді.

Зерттеуге бағытталған проблема: Жыл сайын ұялы желілермен өңделетін деректер трафигі өсіп келеді, бұл әдеттегі деректерді өңдеу өнімділігінің төмендеуіне әкелуі мүмкін. Сондықтан белгілі бір смарт жүйені қарастырған кезде трафик жиынтығын қарастырған жөн. Атап айтсақ, VoIP-тен бастап M2M құрылғыларына дейін. Трафиктердің сипаттамаларын болжау желі ішінде ең басты мәселе болып келеді. Шынында да, байланыс желілерінің жұмыс істеу тиімділігі қызмет көрсету үшін желілік ресурстарды бөлуге өте тәуелді трафикті қамтамасыз етеді және виртуалды түрде желінің тиімді жұмысына қол жеткізеді. Дәстүрлі әдістермен нақты уақытта IoT құрайтын нысандар туралы барлық ақпаратты тиімді басқара алмаймыз. Трафик сипаттамаларын білмей өзгерістерді болжау мүмкін емес және бұл мәселе бүгінгі таңда ғылыми - техникалық қоғамдастықта ең басты проблемалардың бірі болып тұр.

Зерттеулер жүргізудің негізгі тәсілдері: 5G желісінде Заттар Интернетін енгізу барысында өткізу қабілетін жақсарту мен кідірістердің болуының алдын алуға әртүрлі әдістері пайдалану арқылы оның тиімділігін зерттеу.

Зерттеуге бағытталған тапсырмалар:

- 5G желілерінде Заттар Интернетінің құрылу принциптерін талдау;
- Пакеттік коммутациялық желілерде желінің кешігуінің себептерін зерттеу;
- 5G-IoT жүйесі үшін тиімді бес деңгейлі архитектураны тұрғызу;

- 5G кейінгі буын желісіндегі Заттар Интернеті трафик сипаттамаларын математикалық зерттеу және талдау;
- 5G-IoT жүйесіндегі функционалды сценарийлердің компьютерлік моделін алу.

Әдебиеттерге шолу: Цифрлық әлем нарығында 5G және IoT технологиялары сымсыз байланыс жүйелерін зерттеудегі ең күрделі, ауқымды әрі қызықты тақырыпқа айналды. Қазіргі таңда 5G желісі әлемнің көптеген елдерінде іске қосылғанымен, әлі де шешілуі керек мәселелері мен қойылған тапсырмалары бар. Әлемнің алпауыт коммуникациялық компаниялары да, жеке зерттеуші ғалымдар да бұл зерттеу саласына үлкен қызығушылық танытуда. Өйткені, 5G-IoT адамдардың өмір сүру сапасын түбегейлі өзгертеді, ақпараттарға қол жеткізудің көптеген жаңа мүмкіндіктерін береді. Сондай-ақ, білім беру, қауіпсіздік, денсаулық сақтау және көлік саласындағы қызметтердің нақты әрі сапалы түрлерін ұсынады. Екінші жағынан, IoT технологиясы тұтынушылардың қажеттіліктеріне сәйкес кең таралған жергілікті смарт құрылғылар желісін және жаңа қызметтерді ұсына отырып, бизнес өнімділігін арттырудың кілті болып табылады.

Автор Сакши Паинули өз мақаласында [1] IoT жүйесіне арналған қосымшаларды әзірлеу және құру үшін ұялы желілер мен сымсыз желілерді пайдалануға арналған 5G-IoT технологиясын қарастырған. Автордың айтуы бойынша, 5G-IoT технологиясы 100 миллиард құрылғыны байланыстыра алады және жаңа 5G желісі көмегімен деректерді өте жоғары жылдамдықта бере алады. 5G тек ұялы байланыстың ғана емес, IoT деректерін беру тиімділігін де арттыратын мүмкіндіктерге ие.

Лалит Четтри, Кейюр Пател, Шань Лю еңбектері [2, 3, 4] IoT архитектурасы мен қосымшаларына, 5G желісінің артықшылықтары мен мүмкіндіктеріне, сондай-ақ 5G-IoT жүйесіндегі мәселелер мен оларға қойылған тапсырмаларға негізделген. Авторлар қазіргі LTE (4G) желісі бірнеше құрылғылардың қосылу талаптарын және жоғары деректер жылдамдығын, өткізу қабілеттілігін, техникалық қызмет көрсету сапасын (QoS) аз кідіріс және аз кедергілермен қамтамасыз ету үшін жеткілікті әрі тиімді емес деп санайды. Сол себепті, IoT енгізуде 5G желілерін қолдануды ұсынады.

Даррелл Уэст өз еңбегінде [5] 5G желісінің алдыңғы буын технологияларынан (3G, 4G) артықшылықтары мен ерекшеліктерін көрсетеді, сондай-ақ денсаулық сақтау саласындағы жаңа қосымшаларды талқылап, 5G-IoT әзірлемелерінде медициналық көмектің жаңа құрылымын ұсынады.

Автор Сатъендра Вишвакарма зерттеу жұмысында [6] әлемнің кез-келген жерінен үй жабдықтарына қол жеткізуге және басқаруға болатын ақылды үйді автоматтандыру жүйесін ұсынса, Амит Саксена жұмысы [7] студенттердің оқу үлгерімін, сабаққа қатысуын бақылайтын IoT негізіндегі жүйені ұсынған. Бұл

жүйе студенттерді оқыту бағыттарына қарай жіктеуге және таңдалған оқу бағытына сәйкес тапсырмалар беруге негізделген.

Пьерфранческо Беллини мақаласында [8] ақылды қалаларды дамыту үшін IoT технологияларын енгізудің негізгі тенденциялары мен ашық мәселелерін анықтау қарастырылған. Автордың пікірінше, IoT жаңа жетістіктері ақылды қалалар үшін негізгі технологиялар жиынтығын ұсыну және қаланың әртүрлі мүдделі талаптары үшін инновациялық қызметтер мен озық қосымшаларды шығару және автоматтандыру жаңа мүмкіндіктерге жол ашады.

Надим Джаваид өз зерттеу жұмысында [9] 5G және IoT технологияларына қатысты мәселелер мен олардың шешімдерін ұсынады. Ол Киплинг әдісі тұрғысынан IoT негізіндегі 5G желілерінде жасанды интеллект қажеттілігін талқылайды. Сонымен қатар, спектрді толық дуплексті және когнитивті хабар тарату технологиялары арқылы пайдалануды қарастырады.

Автор Неха Гупта мақаласында [10] ең алдымен 5G-IoT архитектурасын, содан кейін бағдарламалық жасақтамамен анықталатын желілер (SDN), бұлтты есептеу және желілік функцияларды виртуалдандыру (NFV) сияқты негізгі технологияларды қарастырған. Ұсынылған архитектура аз кідірісті, жылдамдығы жоғары, кең ауқымды қамтитын және өнімділігі жоғары деректерді қауіпсіз тасымалдауға арналған 6 өзара байланыс деңгейден тұрады. Сондай-ақ, автордың зерттеулері жылдам модуль мен талдауға арналған бірнеше негізгі технологиялар жеке деңгейлерді қосу арқылы жүзеге асырылатынын көрсетеді.

Вячеслав Ковтун жұмысында [11] IoT құрылғылары мен 5G-IoT экожүйесіндегі базалық станциялар арасындағы ақпараттық өзара әрекеттесу процесінің математикалық модельдері ұсынылған. Бұл жұмыста автор жүйелік ресурстардың қажетті көлеміне жаңа кіріс сұрауларының ағыны және қабылданған кіріс сұрауларына бөлінген жүйелік ресурстардың көлемін қайта анықтайтын қызметтік сигналдар ағыны бар жаппай қызмет көрсету жүйесін зерттеген.

Ахмед Абд эль-Латиф өз зерттеу жұмысында [12] 5G-IoT технологиялары үшін блоктық шифрлау әдістерінде маңызды рөл атқаратын S-box әдісін құру үшін кванттық жүріс мүмкіндіктерін пайдалануды ұсынған. Сондай-ақ, бұл жұмыста 5G-IoT парадигмасында құпия файлдарды қауіпсіз тасымалдау үшін жаңа шифрлау стратегиясын әзірлейтін кванттық жүріске негізделген протокол ұсынылған. Автор жүргізген зерттеулер нәтижесі ұсынылған жүйенің сенімді әрі қауіпсіз екенін, сондай-ақ криптографиялық сипаттамалары бойынша тиімді екенін дәлелдеді.

Автор Хуа Чжао жұмысы [15] көп деңгейлі аутентификациядан кейін көршілес терминалдардың таралуы туралы ақпарат алуға негізделген терминалдың құпиялылық талаптарын ұсына алатын алгоритмді ұсынады, сондықтан 5G-IoT терминалдарына бірлесіп жұмыс істеу үшін жеткілікті терминалдарды қауіпсіз және жылдам табуға көмектеседі. Автор ұсынған тәсіл

оның "ортадағы адам" шабуылдарынан аулақ бола алатынын және бір уақытта 520 мс-қа қарағанда байланыс шығындары мен іздеу уақытын азырақ қажет ететінін көрсетеді.

Александр Пастух жұмысында [16] 5G-IoT желілері мен 6425-7125 МГц диапазонындағы нүктеден нүктеге тұрақты байланыс қызметтері арасындағы үйлесімділік бойынша зерттеулер ұсынылған. Ал, Мань-Зунг Нгуен жұмысы [17] H2020 SPATIAL жобасы аясында жүргізіліп жатқан аномалияларды анықтау және олардың негізгі себептерін 5G-IoT контекстінде талдау үшін AI негізіндегі модульдерді әзірлеу және бағалау болып табылады.

Снигдхасвин Кар өз жұмысында [18] болашақ IoT жүйелеріне келесі буын қолданбаларын қолдауға мүмкіндік беру үшін Simu5G желілік симуляторын пайдаланып жаңа 5G-IoT архитектурасын ұсынса, Д. Рой жұмысында [19] соңғы құрылғылар үшін жылдам, үнемді және сенімді кең қамтуды қамтамасыз ету үшін шлюз арқылы торлы желімен біріктірілген 5G-IoT архитектурасын ұсынған. Ал, Онкар Арора өз жұмысында [20] Cisco Packet Tracer (модельдеу бағдарламалық құралы) бағдарламасының ең соңғы нұсқасын пайдалана отырып, 5G-IoT негізіндегі смарт тұрғын үйді жобалауды және енгізуді ұсынады. Автоматтандыру үшін қашықтықтан бақылау мен басқаруға мүмкіндік беретін әртүрлі ақылды IoT құрылғылар қолданылған.

Әлемдік деңгейдегі зерттеуші ғалымдардың жұмыстарына шолу жасай отырып, IoT жүйесіндегі әлі де шешілмеген мәселелердің шешімін табу және де бүгінгі таңда ғылыми - техникалық қоғамдастықта ең басты мәселелердің бірі болып тұрған IoT жүйесіндегі қауіпсіздік, құпиялылық және трафик жиынтығы мәселелерін шешу мақсатында, бұл диссертациялық жұмыста, IoT технологияларын тиімді енгізу үшін 5G желілерін қолдану әдісі ұсынылып отыр.

1 Интернет заттарының жалпы көрінісі мен негізгі жұмыс істеу принципі

Заттар Интернеті (Internet of Things, IoT) – бұл физикалық объектілер желісі, Интернеттегі жаңа революция. Ол интеллектуалды тануды, позициялауды, бақылауды, мониторинг жасауды және басқаруды қамтамасыз ете алады. Сонымен қатар, объект өзін тани алады және өзі туралы ақпарат бере алады, басқа объектілер біріктірген ақпаратқа қол жеткізе алады. Бұл трансформация бұлтты есептеу мүмкіндіктерінің пайда болуымен және Интернеттің IPv6 протоколына ауысуымен байланысты болып келеді [3].

IoT мақсаты – әрқашан, әр жерде, кез-келген нәрсемен және кез-келген адаммен түрлі жолды / желіні, кез-келген қызметті пайдалану арқылы заттарды қосу мүмкіндігін қатамасыз ету.

1.1 IoT жүйесі және оны қолдайтын технологиялар

IoT – қауіпсіздік пен құпиялылықты сақтай отырып, жаһандық деңгейде тауарлар мен қызметтерді алмасуды жеңілдететін, Интернетке негізделіп дамып келе жатқан әлемдік техникалық архитектура.

IoT тұжырымдамасын алғаш рет 1999 жылы Америка Құрама Штаттарындағы Массачусетс технологиялық институтының автоматты сәйкестендіру зертханасы ұсынды. Бұл терминнің авторы – Auto-ID Labs зерттеу тобының негізін қалаушы Кевин Эштон. Алайда, IoT технологиясы 2008-2009 жылдардан бастап қолданысқа ене бастады. 2010 жылы Интернетке қосылған күнделікті физикалық нысандар мен құрылғылар саны шамамен 12.5 миллиардты құрады. Қазіргі таңда бұл көрсеткіш 50 миллиардқа жуықтаса, алдағы уақытта, 2030 жылға қарай Интернетке қосылатын пайдаланушылар мен құрылғылар саны 80 миллиардқа жетеді деп болжануда [2,4,13].

Миллиардтаған нысандар ақпаратты қабылдай алатын, тарата алатын және өзара байланыса алатын әлемді елестетіп көріңіз, олардың барлығы жалпыға ортақ немесе жеке Интернет протоколы (Internet Protocol, IP) желілері арқылы өзара байланысты. Бұл өзара байланысты нысандарда жүйелі түрде жиналатын, талданатын және жоспарлау, басқару, шешім қабылдау мақсатында кеңінен ақпарат беретін әрекеттерді бастау үшін пайдаланылатын деректер бар. Бұл – Заттар Интернеті (IoT) әлемі [3].

IoT адамдардың өмір сүру сапасын түбегейлі өзгертеді, ақпараттарға қол жеткізудің көптеген жаңа мүмкіндіктерін береді. Сондай-ақ, білім беру, қауіпсіздік, денсаулық сақтау немесе көлік саласындағы қызметтердің нақты әрі сапалы түрлерін ұсынады. Екінші жағынан, IoT технологиясы тұтынушылардың қажеттіліктеріне сәйкес кең таралған жергілікті смарт құрылғылар желісін және

жаңа қызметтерді ұсына отырып, бизнес өнімділігін арттырудың кілті болып табылады. Заттар Интернеті активтер мен өнімдерді басқару мен қадағалауды жақсартудың артықшылықтарын ұсынады, ақпараттың көлемін арттырады және жабдықтар мен ресурстарды пайдалануды оңтайладыруға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде шығындарды азайтуға, үнемдеуге әкеледі. Сонымен қатар, бұл жаңа интеллектуалды өзара байланысты құрылғыларды құруға және жаңа бизнес модельдерін зерттеуге мүмкіндік береді [5].

IoT үш санатқа бөлінеді, яғни IoT – бұл үш нәрсенің Интернеті: 1) адамдардың адамдармен, 2) адамдардың машинамен/заттармен; 3) машинаның/заттардың машинамен/заттармен Интернет арқылы өзара әрекеттесуі. IoT жалпы көрінісі 1.1-суретте көрсетілген.



1.1-сурет – Заттар Интернетінің жалпы көрінісі

IoT сымсыз және сымды байланыстар мен бірегей адрестік схемалар арқылы бір-бірімен өзара әрекеттесуге және жаңа қосымшалар жасау үшін басқа заттармен/нысандармен бірігуге қабілетті көптеген заттардың/нысандардың қоршаған ортада болуын қарастыратын тұжырымдама мен парадигма болып табылады. Бұл тұрғыда «ақылды» әлемді құруға бағытталған зерттеулер мен әзірлемелердің міндеттері орасан зор. Энергия, көлік, қала және басқа да көптеген салаларды интеллектуалды ететін «ақылды» ортаны құру үшін нақты, цифрлық және виртуалды біріктірілетін әлем [3].

IoT қолданыстағы және дамып келе жатқан үйлесімді ақпараттық-коммуникациялық технологиялар негізінде (физикалық және виртуалды) нысандарды біріктіру арқылы озық қызметтерді ұсынатын ақпараттық қоғамның жаһандық инфрақұрылымы болып табылады.

IoT көмегімен байланыс Интернет арқылы бізді қоршап тұрған барлық заттарға таралады. Машинааралық байланыс, сымсыз сенсорлық желілер, 3G/4G желілері, RFID, Wi-Fi, WiMAX, GPS, Bluetooth, Zigbee, Sigfox, микроконтроллер, микропроцессор сияқтылардың барлығы IoT қосымшаларын мүмкін ететін көмекші технологиялар ретінде қарастырылады.

IoT қолдайтын технологияларды үш санатқа топтастыруға болады:

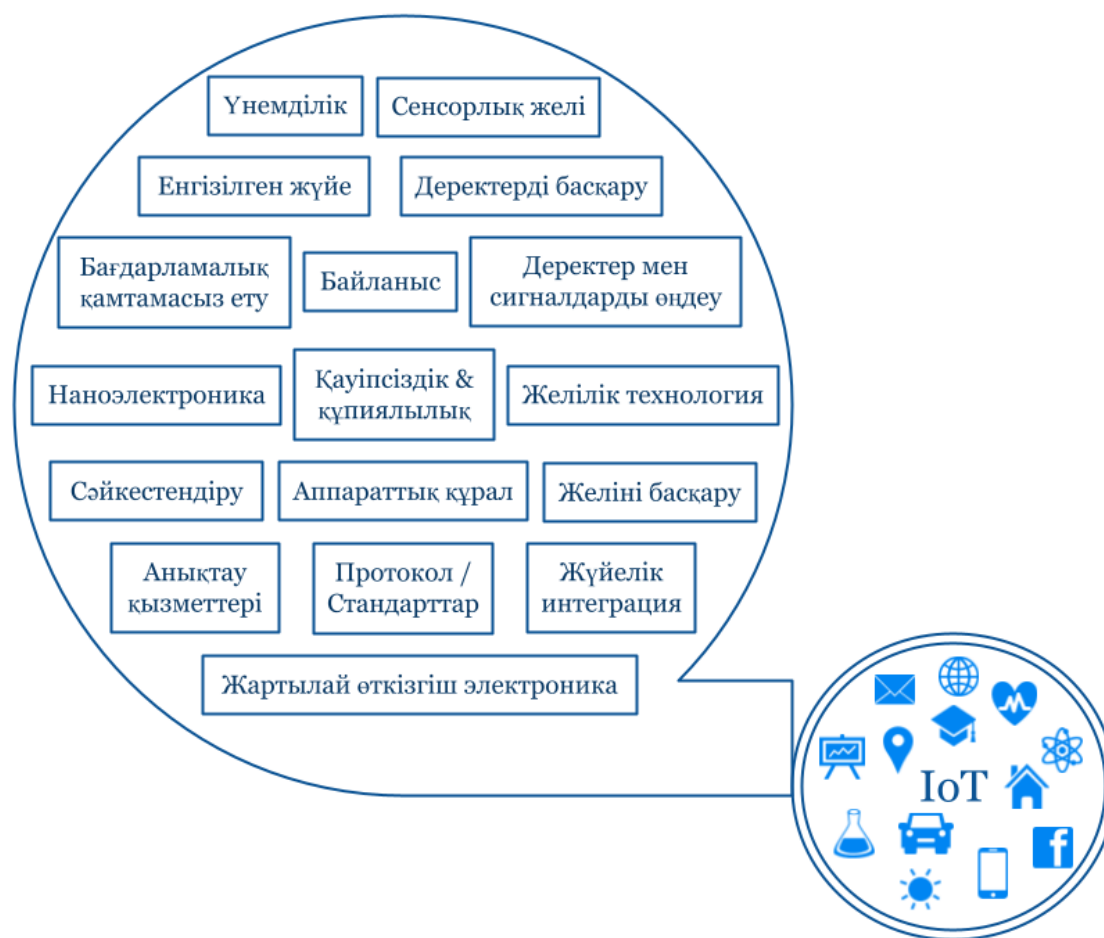
- 1) «заттарға» контексттік ақпарат алуға мүмкіндік беретін технологиялар;
- 2) «заттарға» контексттік ақпаратты өңдеуге мүмкіндік беретін технологиялар;

- 3) қауіпсіздік пен құпиялылықты жақсартуға арналған технологиялар.

Бірінші және екінші санатты «ақылды» «заттарға» (“intelligence” into “things”) айналдыру үшін қажет функционалды құрылыс блоктары деп түсінуге болады, олар IoT жүйесін әдеттегі Интернеттен ерекшелендіретін функциялар болып табылады. Үшінші санат функционалды емес, нақты талап болып табылады, онсыз IoT енгізу тиімділігі айтарлықтай төмендейді.

IoT – бұл біртұтас немесе жеке технология емес, әртүрлі аппараттық және бағдарламалық жасақтама технологияларының қоспасы. IoT деректерді сақтау, қабылдау және өңдеу үшін пайдаланылатын аппараттық және бағдарламалық жасақтамаға, сондай-ақ жеке адамдар немесе топтар арасындағы байланыс үшін пайдаланылатын электрондық жүйелерді қамтитын байланыс технологияларына қатысты ақпараттық технологияларды біріктіруге негізделген шешімдерді ұсынады.

Энергия тиімділігі, жылдамдық, қауіпсіздік және сенімділік сияқты IoT қосымшаларының қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін бейімделуі керек байланыс технологияларының гетерогенді жиынтығы бар. Бұл тұрғыда әртүрлілік деңгейі IoT қосымшаларының қажеттіліктерін қанағаттандыратын, нарық қабылдаған бірқатар басқарылатын байланыс технологияларына дейін кеңейтілуі мүмкін. Олар қазірдің өзінде мықты технологиялық альянстың қолдауымен жұмыс істейтіндігін дәлелдеді. Осы санаттардағы стандарттардың мысалдары Ethernet, Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, WiMAX сияқты сымды және сымсыз технологиялар болып табылады. IoT дамуына ықпал ететін негізгі технологиялар 1.2-суретте көрсетілген [3].



1.2-сурет – Заттар Интернетінің мүмкіндіктері

IoT негізгі сипаттамалары келесідей:

1) Өзара байланыс: Заттар Интернетіне келетін болсақ, кез-келген зат жаһандық ақпараттық-коммуникациялық инфрақұрылыммен өзара байланысты болуы мүмкін.

2) Заттарға қатысты қызметтер: IoT құпиялылықты қорғау, физикалық заттар және олармен байланысты виртуалды заттар арасындағы семантикалық үйлесімділік сияқты заттардың шектеулері аясында заттарға қатысты қызметтерді ұсына алады. Заттардың шектеулері аясында заттарға қатысты қызметтерді ұсыну үшін физикалық әлемде де, ақпараттық әлемде де технологиялар өзгереді.

3) Гетерогенділік: IoT құрылғылары гетерогенді, өйткені олар әртүрлі аппараттық платформалар мен желілерге негізделген. Олар әртүрлі желілер арқылы басқа құрылғылармен немесе қызмет көрсету платформаларымен өзара әрекеттесе алады.

4) Динамикалық өзгерістер: құрылғылардың күйі динамикалық түрде өзгереді. Мысалы, ұйықтау және ояту, қосу және/немесе ажырату,

құрылғылардың контексті, оның ішінде орналасқан жері мен жылдамдығы. Сонымен қатар, құрылғылардың саны динамикалық түрде өзгеруі мүмкін.

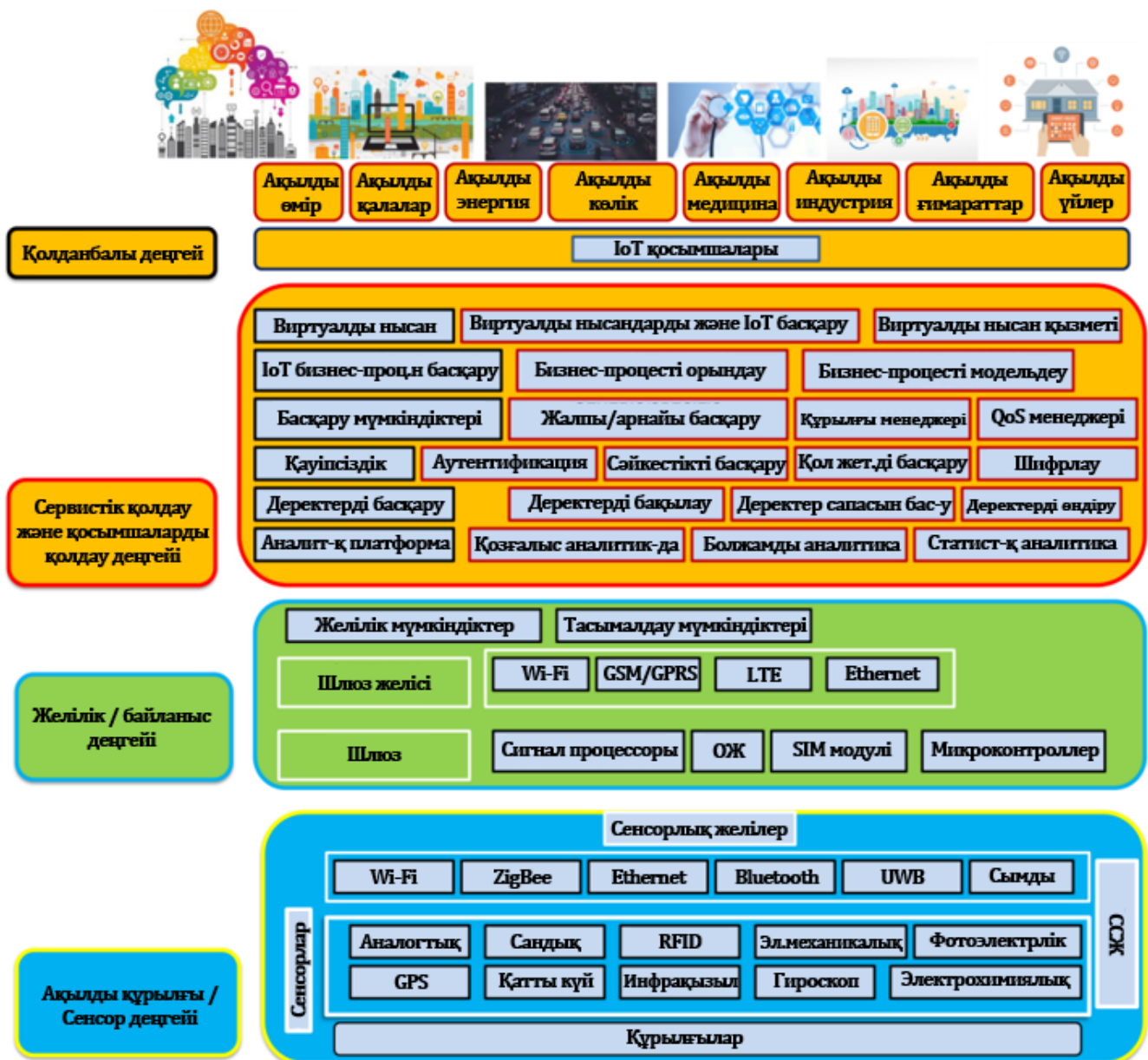
5) Үлкен ауқым (масштаб): басқаруды қажет ететін және бір-бірімен өзара әрекеттесетін құрылғылардың саны қазіргі Интернетке қосылған құрылғыларға қарағанда көп. Жасалған деректерді басқару және оларды қолданбалы мақсаттар үшін түсіндіру одан да маңызды болады. Бұл деректер семантикасына, сондай-ақ деректерді тиімді өңдеуге қатысты.

6) Қауіпсіздік: IoT артықшылықтарын ала отырып, қауіпсіздік туралы ұмытпауымыз керек. IoT жасаушылары да, оны пайдаланушы ретінде біз де қауіпсіздікті ескеруіміз қажет. Бұл біздің жеке деректеріміздің сақталуын және физикалық әл-ауқатымыздың қауіпсіздігін қамтиды. Соңғы нүктелердің, желілердің және олардың барлығы бойынша қозғалатын деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету масштабталған қауіпсіздік парадигмасын құруды білдіреді.

7) Қосылу мүмкіндігі: қосылу мүмкіндігі желінің қол жетімділігі мен үйлесімділігін қамтамасыз етеді. Қол жетімділік – бұл желіге қосылу, ал үйлесімділік деректерді тұтыну мен өндірудің жалпы қабілетін қамтамасыз етеді.

1.2 Интернет заттарының архитектурасы

IoT архитектурасы IoT қолдайтын технологиялардың әртүрлі деңгейлерінен тұрады. Бұл әртүрлі технологиялардың бір-бірімен қалай байланысатынын және әртүрлі сценарийлерде IoT орналастырудың ауқымдылығы, модульділігі және конфигурациясы туралы хабарлау үшін иллюстрация ретінде қызмет етеді. 1.3-суретте IoT жүйесінің егжей-тегжейлі архитектурасы көрсетілген.



1.3-сурет – Заттар Интернетінің архитектурасы

Әр деңгейдің функционалдығына сипаттама берейік.

1) Ақылды құрылғы / сенсор (датчик) деңгейі. Ең төменгі деңгей сенсорлармен біріктірілген ақылды (смарт) нысандардан тұрады. Сенсорлар нақты уақыт режимінде ақпаратты жинауға және өндеуге мүмкіндік беретін физикалық және цифрлық әлемдердің өзара байланысын қамтамасыз етеді. Өртүрлі мақсаттарға арналған сенсорлардың өртүрлі түрлері бар. Датчиктердің температура, ауа сапасы, жылдамдық, ағын, қозғалыс, ылғалдылық, қысым, электр энергиясы және т.б. сияқты өлшемдерді қабылдау мүмкіндігі бар. Кейбір жағдайларда олар белгілі бір өлшемдерді жазуға мүмкіндік беретін белгілі бір

жадқа ие болуы мүмкін. Датчик физикалық сипатты өлшеп, оларды құрылғы түсінетін сигналға айналдыра алады. Датчиктер қоршаған орта датчиктері, дене датчиктері, тұрмыстық техника датчиктері, автокөлік телематикасының датчиктері және т.б. сияқты бірегей мақсаттарына қарай топтастырылған.

Көптеген датчиктер датчиктік шлюздерге қосылуды қажет етеді. Бұл Ethernet және Wi-Fi қосылымдары сияқты жергілікті желі (Local Area Network, LAN) немесе ZigBee, Bluetooth және ультра кең жолақты (Ultra Wideband, UWB) сияқты жеке аймақтық желі (Personal Area Network, PAN) түрінде болуы мүмкін. Датчик агрегаторларына қосылуды қажет етпейтін датчиктер үшін олардың ішкі серверлерге / қолданбаларға қосылуын GSM, GPRS және LTE сияқты жаһандық желі (Wide Area Network, WAN) арқылы қамтамасыз етуге болады. Төмен қуатты қосылымды және төмен деректер жылдамдығын пайдаланатын датчиктер әдетте сымсыз сенсорлық желілер (Wireless Sensor Networks, WSNs) деп аталатын желілерді құрайды. Сымсыз сенсорлық желілер өте танымал, өйткені олар батареяның қызмет қызмет ету мерзімін сақтай отырып және үлкен аумақтарды қамти отырып, әлдеқайда көп сенсорлық түйіндерді сақтай алады.

2) Шлюздер мен желілер. Бұл кішкентай датчиктер үлкен көлемдегі деректерді шығарады және бұл тасымалдаушы (маршрутизатор) ретінде сенімді және жоғары өнімді сымды немесе сымсыз желі инфрақұрылымын қажет етеді. Көбінесе әртүрлі хаттамалармен (протокол) байланысты заманауи желілер машинааралық (M2M) және олардың қосымшаларын қолдау үшін қолданылады. Сұраныс жоғары жылдамдықты транзакциялық қызметтер, контекстке тәуелді қосымшалар және т.б. сияқты IoT қызметтері мен қосымшаларының кең спектріне қызмет көрсету үшін қажет болғандықтан, гетерогенді конфигурацияда бір-бірімен жұмыс істеу үшін әртүрлі технологиялар мен қол жеткізу протоколдары бар бірнеше желілер қажет. Бұл желілер жеке, жалпыға ортақ немесе гибриді үлгілер түрінде болуы мүмкін және өткізу қабілеттілігі, кідіріс немесе қауіпсіздік үшін байланыс талаптарын қолдау үшін жасалған. Әртүрлі шлюздер (микроконтроллер, микропроцессор, т.б.) және шлюз желілері (Wi-Fi, GSM, GPRS) 1.2-суретте көрсетілген.

3) Басқару қызметінің деңгейі. Басқару қызметі аналитика, қауіпсіздікті бақылау, процесті модельдеу және құрылғыны басқару арқылы ақпаратты өңдеуге мүмкіндік береді. Басқару қызметі деңгейінің маңызды функцияларының бірі – бизнес ережелері мен процесстерінің механизмдері.

IoT тауарлардың температурасы, ағымдағы орналасу жері және жол қозғалысы туралы мәліметтер сияқты оқиғалар немесе контекстік деректер түріндегі ақпаратты қамтамасыз ететін нысандар мен жүйелердің байланысы мен өзара әрекетін біріктіреді. Бұл оқиғалардың кейбіреулері мерзімді сенсорлық деректерді жинау сияқты өңдеуден кейінгі жүйелерге фильтрді немесе бағыттауды қажет етеді, ал басқалары пациенттің денсаулығына байланысты төтенше жағдайларға жауап беру сияқты жедел жағдайларға жауап беруді талап

етеді. Ережелерді әзірлеу тетіктері шешім қабылдау логикасын тұжырымдауды қолдайды және жауап беретін IoT жүйесін құруға мүмкіндік беретін интерактивті және автоматтандырылған процестерді іске қосады.

Аналитика саласында шикі деректердің үлкен көлемінен тиісті ақпаратты алу және оны әлдеқайда жылдамырақ өңдеу үшін әртүрлі аналитикалық құралдар қолданылады. Жад аналитикасындағы сияқты аналитика деректердің үлкен көлемін физикалық дискілерде сақтаудың орнына жедел жадта (Random Access Memory, RAM) кәштеуге мүмкіндік береді. Жадтағы аналитика деректерді сұрау уақытын қысқартады және шешім қабылдау жылдамдығын арттырады. Ағындық аналитика – бұл қозғалыстағы деректер ретінде қарастырылатын деректерді талдауды нақты уақыт режимінде орындау қажет болатын аналитиканың тағы бір түрі, сондықтан шешімдер бірнеше секунд ішінде қабылдануы мүмкін.

Деректерді басқару – бұл деректердің ақпараттық ағынын басқару мүмкіндігі. Басқару қызметі деңгейіндегі деректерді басқару арқылы ақпаратқа қол жеткізуге, оны біріктіруге және басқаруға болады. Жоғары деңгейлі қосымшалар қажет емес деректерді өңдеу қажеттілігінен қорғалуы және деректер көзі туралы құпия ақпаратты ашу қаупін азайтуы мүмкін. Деректерді анонимдеу, деректерді біріктіру және деректерді синхрондау сияқты деректерді филтрлеу әдістері ақпараттың мәліметтерін жасыру үшін қолданылады. Сонымен бірге, тиісті қосымшалар үшін қолдануға болатын маңызды ақпаратты ғана ұсынады. Деректерді абстракциялауды пайдалану арқылы икемділікті арттыру және әртүрлі домендерде қайта пайдалану үшін деректердің жалпы бизнес көрінісін қамтамасыз ету үшін ақпаратты алуға болады.

Қауіпсіздік интеллектуалды нысандар деңгейінен бастап қолданбалы деңгейге дейінгі IoT архитектурасының барлық өлшемдерінде қамтамасыз етілуі керек. Жүйенің қауіпсіздігі жүйенің бұзылуына және рұқсат етілмеген қызметкерлердің компаға келуіне жол бермейді, осылайша тәуекелдердің ықтималдығын азайтады.

4) Қолданбалы деңгей. IoT қосымшасы көлік, қала, ғимарат (құрылыс), өмір салты, бизнес, ауыл шаруашылығы, жабдықтау тізбегі, зауыттар, денсаулық сақтау, төтенше жағдайлар, пайдаланушылардың өзара әрекеттесуі, мәдениет және туризм, қоршаған орта және энергетика сияқты салалардағы «ақылды» орталарды / кеңістіктерді қамтиды.

1.3 IoT жүйесінің функционалды көрінісі және болашақ технологиялық әзірлемелер

IoT тұжырымдамасы Интернетке ұқсас құрылымдағы виртуалды көріністерімен және бірқатар компоненттерді қамтитын IoT шешімдерімен біржақты анықталатын заттарды білдіреді. Мысалы, 1) Жергілікті IoT

құрылғыларымен өзара әрекеттесу модулі. Бұл модуль бақылау деректерін жинауға және оларды талдау мен тұрақты сақтау үшін қашықтықтағы серверлерге жіберуге жауап береді. 2) IoT құрылғылары көмегімен алынған бақылауларды жергілікті талдауға және өңдеуге арналған модуль. 3) Интернет арқылы қашықтықтағы IoT құрылғыларымен тікелей өзара әрекеттесуге арналған модуль. Бұл модуль бақылау деректерін жинауға және оларды талдау мен тұрақты сақтау үшін қашықтықтағы серверлерге жіберуге жауап береді. 4) Белгілі бір қосымшаның деректерін талдауға және өңдеуге арналған модуль. Бұл модуль барлық клиенттерге қызмет көрсететін қосымша серверінде жұмыс істейді. Ол мобильді және веб-клиенттердің сұраныстары мен тиісті IoT бақылауларын кіріс ретінде қабылдайды, деректерді өңдеудің тиісті алгоритмдерін орындайды және кейінірек пайдаланушыларға ұсынылатын білім түрінде нәтиже шығарады. 5) Пайдаланушы интерфейсі (веб немесе мобильді): берілген контекстегі өлшемдердің визуалды көрінісі (мысалы, карта) және пайдаланушы тәжірибесі, яғни пайдаланушы сұрауларын анықтау.

Жартылай өткізгіш электроника, байланыс құралдары, смартфондар, датчиктер, бұлттық желілер, ендірілген жүйелер, желілік виртуалдандыру және бағдарламалық қамтамасыз ету сияқты озық технологияларды дамыту физикалық құрылғылардың өзгермелі жағдайларда жұмыс істеуі және үнемі әрі барлық жерде қосылуы үшін маңызды болады.

IoT архитектурасы деңгейлерге бөлінсе де, IoT технологиясы негізінен үш топқа жіктеледі.

IoT технологияларының бірінші тобы құрылғыларға, микропроцессорлық чиптерге әсер етеді:

- энергетикалық тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін төмен қуатты датчиктер;
- сыртта (далада, көшеде) датчиктерді интеллектуалды пайдалану;
- чипсет миниатюризациясы;
- датчиктерді қосуға арналған сымсыз сенсорлық желі.

Екінші топқа желіні бөлісуді қолдайтын және өткізу қабілеттілігі мен кідіріс мәселелерін шешетін технологиялар кіреді:

- бағдарламалық жасақтамамен анықталған радиостанциялар және когнитивті желілер сияқты желіні бөлісу технологиялары;
- LTE, LTE-A және 5G сияқты өткізу қабілеттілігі мен кідіріс мәселелерін шешетін желілік технологиялар.

Үшінші топ IoT қосымшаларын қолдайтын басқару қызметтеріне әсер етеді:

- контекстке тәуелді есептеу қызметі, болжамды аналитика (талдау), күрделі оқиғаларды өңдеу және мінез-құлық аналитикасы сияқты шешімдер қабылдаудың интеллектуалды технологиялары;

- жедел жад және ағындық аналитика сияқты деректерді өңдеу технологияларының жылдамдығы.

Төмендегі 1.1-кестеде IoT архитектураларын енгізу үшін болашақ әзірлемелер мен зерттеу қажеттіліктері көрсетілген [3].

Кесте 1.1 – Болашақ әзірлемелер мен зерттеу қажеттіліктері

Технология	Болашақ әзірлемелер	Зерттеу қажеттіліктері
Аппараттық құрылғылар	- нанотехнология; - чипсет миниатюризациясы; - өте төмен қуат схемалары	- арзан модульдік құрылғылар; - EPROM/FRAM ультра төмен қуат тұтынуы; - автономды схемалар
Датчик (сенсор)	- ақылды датчиктер (биохимиялық); - қосымша сенсорлар (кішкентай сенсорлар); - төмен қуатты датчиктер; - сенсорларды қосуға арналған сымсыз сенсорлық желі	- дербес қуат датчиктері - датчиктердің интеллектуалдылығы
Байланыс технологиясы	- кіріктірілген антенналар; - кең спектр және протоколдар; - кең спектрге арналған бірыңғай протокол; - көп функциялы қайта конфигурацияланатын чиптер	- функционалдық үйлесімділікті қамтамасыз ететін протоколдар; - көп протоколды чиптер; - шлюздердің конвергенциясы; - чиптік желілер; - үлкен диапазон (жоғары жиіліктер – ГГц-тің оннан бір бөлігі); - 5G саласындағы әзірлемелер
Желілік технология	- өзін-өзі тану және өзін-өзі ұйымдастыру желілері; - өзін-өзі оқытатын, өзін-өзі емдейтін желілер; - IPv6 қолдауымен масштабтау; - IPv6 негізіндегі Заттар Интернетін кеңінен енгізу	- тор / бұлтты желі; - бағдарламалық жасақтамамен анықталған желілер; - қызметке негізделген желі; - қажеттіліктерге негізделген желі
Бағдарламалық жасақтама және алгоритмдер	- мақсатты бағдарламалық қамтамасыз ету; - таратылған интеллект, мәселелерді шешу - пайдаланушыға бағытталған бағдарламалық жасақтама	- контекстті ескеретін бағдарламалық жасақтама; - дамып келе жатқан бағдарламалық жасақтама; - өзін-өзі қайта пайдалануға арналған бағдарламалық жасақтама

1.1-кестенің жалғасы

		- Автономды заттар; - өзін-өзі теңшеу; - өзін-өзі емдеу; - өзін-өзі басқару
Деректер мен сигналдарды өңдеу технологиясы	- контекстті ескере отырып, деректерді өңдеу және оларға жауап беру; - когнитивті өңдеу және оңтайландыру; - Интернет Заттарының деректерін кешенді талдау; - Интернет Заттарының деректерін интеллектуалды визуализациялау; - энергия мен жиілік спектрін ескере отырып деректерді өңдеу	- сенсорлардың жалпы онтологиясы; - таратылған энергияны үнемдейтін деректерді өңдеу; - автономды есептеу
Анықтау және іздеу жүйелерінің технологиялары	- маршрутты автоматты түрде белгілеу және сәйкестендіруді басқару орталықтары; - сұраныс бойынша қызметтерді анықтау / біріктіру	- объектілерді қызметтерге қосу үшін масштабталатын анықтау қызметтері
Қауіпсіздік және құпиялылық технологиялары	- пайдаланушыға бағытталған контекстке негізделген құпиялылық саясаты; - құпиялылықты ескере отырып, деректерді өңдеу; - қауіпсіздік және құпиялылық қажеттіліктеріне негізделген қауіпсіздік және құпиялылық профильдерін таңдау	- арзан, қауіпсіз және өнімділігі жоғары сәйкестендіру/аутентификация құрылғылары; - ақпаратты оқшаулау арқылы құпиялылықты қамтамасыз етудің орталықтандырылмаған тәсілдері

1.4 IoT жүйесі негізіндегі өзара үйлесімділік

IoT байланыс және ақпарат алмасу құралы ретінде Интернетті пайдалану арқылы физикалық әлемді виртуалды әлеммен біріктіруге бағытталған. Дегенмен, негізгі құрылғылар мен байланыс технологияларының гетерогенділігі және құрылғылардың байланысы мен үздіксіз интеграциясынан бастап IoT ресурстары арқылы жасалған деректердің өзара үйлесімділігіне дейінгі әртүрлі

деңгейлердегі өзара үйлесімділік жалпы IoT шешімдерін жаһандық ауқымда кеңейту үшін қиындық тудырады.

IoT жүйесіне келетін болсақ, болашақ желілер әлі де гетерогенді, бірнеше жеткізушілер, бірнеше қызметтер негізінен таралған. Сондықтан үйлесімсіздік қаупі артады.

Өзара үйлесімділік IoT саласындағы басты әрі негізгі мәселе болып отыр. Бұл IoT жүйесінің ішкі құрылымына байланысты:

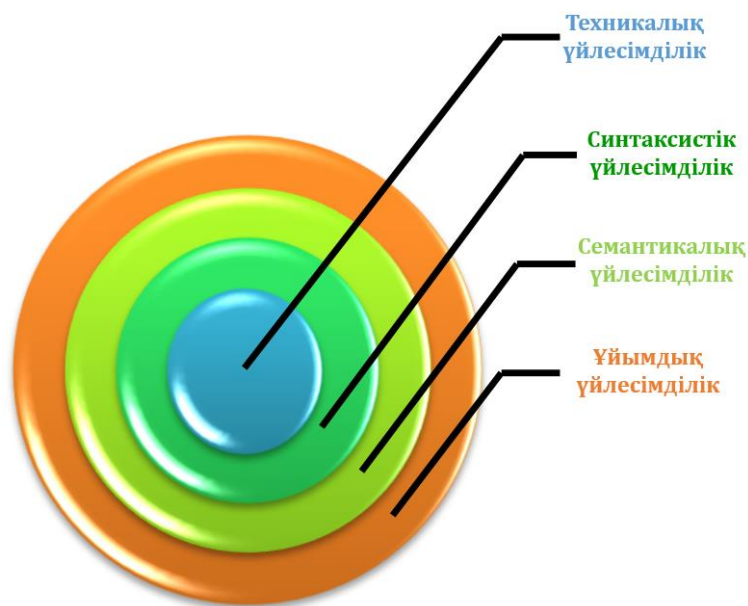
1) байланыс пен ақпарат алмасуды қажет ететін ортада көптеген жүйелердің (құрылғылар, датчиктер, жабдықтар және т.б.) бірге болуымен жоғары өлшемді;

2) жоғары гетерогенді, мұнда бұл ауқымды жүйелерді көптеген өндірушілер әзірлеген, олар әртүрлі мақсаттарға арналған және әртүрлі қосымшаларға бағытталған. Бұл жаһандық келісімдер мен жалпы қабылданған сипаттамаларға қол жеткізуді қиындатады;

3) динамикалық және сызықты емес, жаңа заттар (тіпті іске қосу кезінде қарастырылмаған) қоршаған ортаға үнемі еніп (оны тастап кететін) және жаңа күтпеген форматтар мен хаттамаларды қолдайтын, бірақ IoT жүйесінде деректерді бөлісуді қажет ететін;

4) әртүрлі тілдерде сипатталған, бірдей модельдеу принциптерін бөлісе алатын және бір-бірімен көптеген жолдармен өзара байланысты болуы мүмкін көптеген деректер форматтарының болуына байланысты сипаттау / модельдеу қиын. Бұл IoT жүйесіндегі өзара үйлесімділікке күрделі сипаттағы мәселе ретінде баға береді.

Үйлесімділік дегеніміз – бұл екі немесе одан да көп жүйелердің немесе компоненттердің деректермен бөлісу және ақпаратты пайдалану мүмкіндігі. Бұл өзара үйлесімділік ақпарат алу, деректермен алмасу, ақпаратты түсіну және өңдеу үшін пайдалану сияқты көптеген қиындықтар тудырады. Өзара үйлесімділіктің бірнеше түрлері бар: техникалық өзара үйлесімділік, синтаксистік өзара үйлесімділік, семантикалық өзара үйлесімділік, ұйымдық өзара үйлесімділік. Өзара үйлесімділіктің қарапайым көрінісі 1.4-суретте көрсетілген.



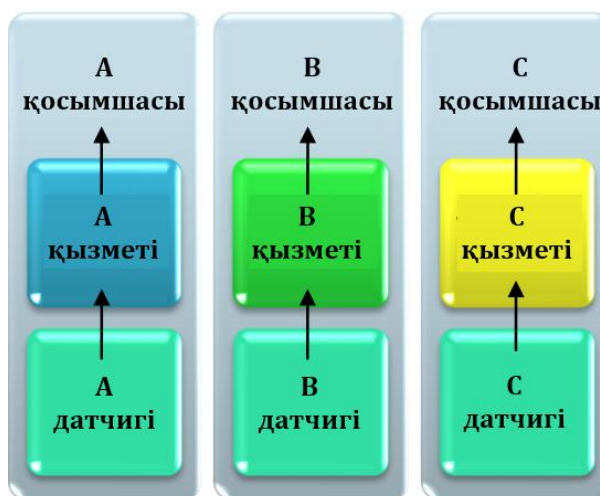
1.4-сурет – Өзара үйлесімділік аспектілері

Техникалық үйлесімділік әдетте машинааралық байланысты қамтамасыз ететін аппараттық / бағдарламалық жасақтама компоненттерімен, жүйелермен және платформалармен байланысты. Өзара үйлесімділіктің бұл түрі көбінесе (байланыс) протоколдарға және осы протоколдардың жұмыс істеуі үшін қажетті инфрақұрылымға бағытталған.

Синтаксистік үйлесімділік әдетте деректердің форматтарымен байланысты. Әрине, байланыс протоколдары арқылы берілетін хабарламалар тек биттік кестелер түрінде болса да, нақты анықталған синтаксис пен кодтауға ие болуы керек. Дегенмен, көптеген протоколдар деректерді немесе мазмұндаманы тасымалдайды және бұл HTML, XML немесе ASN.1 сияқты жоғары деңгейлі тасымалдау синтаксистерін пайдалану арқылы ұсынылуы мүмкін.

Семантикалық үйлесімділік әдетте мазмұндама анықтамасымен байланысты және мазмұндама машиналық интерпретациялаудан гөрі адамға қатысты. Осылайша, бұл деңгейдегі өзара үйлесімділік адамдар арасында алмасатын мазмұндаманың (ақпараттың) мәні туралы жалпы түсініктің болуын білдіреді.

Ұйымдық өзара үйлесімділік, аты айтып тұрғандай, ұйымдардың әртүрлі географиялық аймақтар мен мәдениеттер бойынша кең әртүрлі инфрақұрылымдар арқылы әртүрлі ақпараттық жүйелерді пайдалануына қарамастан деректерді тиімді байланыстыру және тасымалдау мүмкіндігі. Ұйымдық өзара үйлесімділік техникалық, синтаксистік және семантикалық өзара үйлесімділікке байланысты [3].



1.5-сурет – Өзара үйлесімді емес IoT

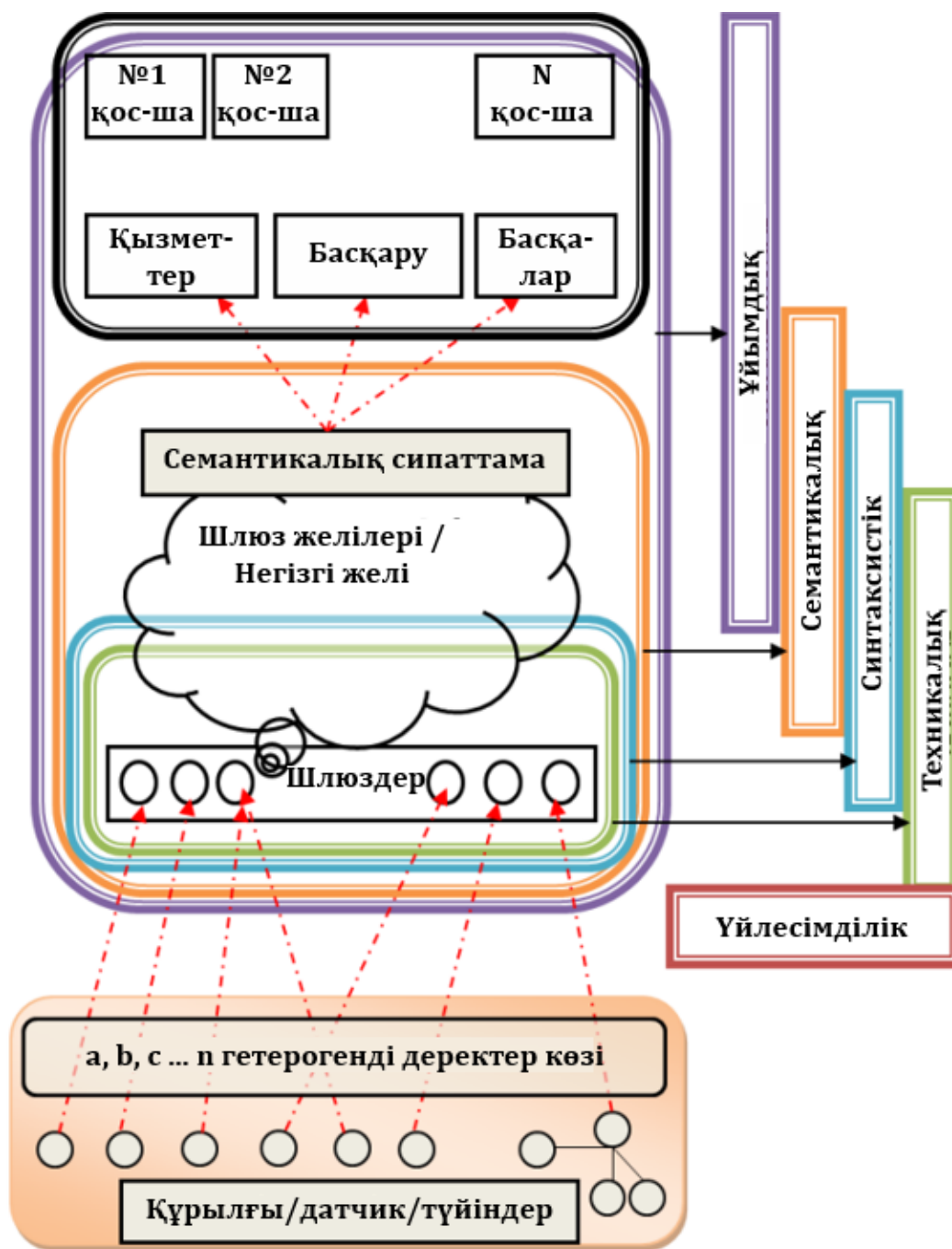


1.6-сурет – Өзара үйлесімді IoT

1.5 және 1.6 суреттерде өзара үйлесімді емес және өзара үйлесімді IoT арасындағы айырмашылық көрсетілген.

Техникалық өзара үйлесімділік тек биттердің дұрыс берілуіне кепілдік береді, бірақ бұл биттердің мәні және олар не туралы, тіпті дауыстық, бейне немесе деректер екендігі туралы да ештеңе айтпайды. Бұл белгілі бір

қызметтердің синтаксисін анықтайтын синтаксистік деңгейдегі стандарттардың міндеті. Техникалық және синтаксистік өзара үйлесімділік стандарттары мазмұндамаға тәуелсіз деректер алмасуды қамтамасыз етсе, семантикалық өзара үйлесімділік белгілі бір қолданбаға тәуелді, сондықтан қызметке тән мазмұндамаға байланысты. Төмендегі 1.7-суретте әртүрлі IoT деңгейлеріндегі өзара үйлесімділіктің рөлі көрсетілген.



1.7-сурет – IoT қосымшалары мен қызметтері үшін өзара үйлесімділіктің рөлі

Толық өзара үйлесімді ортада кез-келген IoT құрылғысы кез-келген басқа құрылғыға немесе жүйеге қосылып, қажетінше ақпарат алмаса алады. Практикалық тұрғыдан алғанда, өзара үйлесімділік күрделі процесс болып табылады. IoT құрылғылары мен жүйелері арасындағы өзара үйлесімділік құрылғылар арасындағы байланыс протоколдарының әртүрлі деңгейлерінде әртүрлі дәрежеде жүреді. Техникалық өзара үйлесімділік негізгі қосылымды қамтамасыз етеді: жүйелер арасында физикалық және логикалық байланыс орнату механизмі, желілік өзара үйлесімділік: әртүрлі желілер бойынша бірнеше жүйелер арасында деректер алмасу. Синтаксистік өзара үйлесімділік жүйелер арасында деректер алмасу кезінде мәліметтер құрылымын түсінуге мүмкіндік береді. Ал, семантикалық өзара үйлесімділік деректер құрылымындағы тұжырымдаманы түсінуді қамтамасыз етеді [3].

1.5 IoT жүйесінің мәселелері мен олардың шешімдері

Бүгінгі таңда IoT жаппай енгізу алдында шешілуі керек негізгі мәселелер мен қиындықтар бар.

1) Құпиялылық және қауіпсіздік. IoT болашақ Интернеттің негізгі элементіне айналғандықтан және кең ауқымды, маңызды жүйелер үшін IoT пайдалану сенім мен қауіпсіздік функцияларын қатар шешу қажеттілігін тудырады. Құпиялылық пен сенімділікке қатысты жаңа міндеттер: көптеген қосымшаларда қайта пайдалану мүмкіндігін қамтамасыз ету үшін жалпы ақпараттық үлгілердегі ақпараттың сенімділігі мен сапасын қамтамасыз ету; IoT құрылғылары мен олардың ақпаратын тұтынушылар арасында деректердің қауіпсіз алмасуын қамтамасыз ету; осал құрылғыларды қорғау механизмдерін қамтамасыз ету.

1.2-кестеде IoT жүйесінің әртүрлі деңгейлеріндегі әртүрлі қауіпсіздік пен құпиялылық талаптары көрсетілген.

Кесте 1.2 – Заттар Интернетінің әртүрлі деңгейлеріндегі қауіпсіздік талаптары

IoT деңгейі	Қауіпсіздік талаптары
Қосымша	- нақты қолданбаға байланысты деректерді азайту; - құпиялылықты қорғау және саясатты басқару; - аутентификация; - рұқсат, кепілдік; - қолданбаға тән шифрлау, криптография

Қызметтік (сервистік) қолдау	- қорғалған деректерді басқару және өңдеу (іздеу, біріктіру, корреляция, есептеу); - деректерді криптографиялық сақтау; - қауіпсіз есептеу, желідегі деректерді өңдеу, деректерді біріктіру, бұлтты есептеу
Желілік деңгей	- сенсорлар мен бұлттардың қауіпсіз өзара әрекеттесуі; - доменаралық деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету; - байланыс және байланыс қауіпсіздігі
Ақылды объект / сенсор	- түйінге қол жеткізуді басқару; - жеңіл шифрлау; - деректер форматы және құрылымы; - сенім якорьлері және сертификаттау

2) Бағасы мен пайдалану мүмкіндігі. IoT физикалық нысандарды Интернетке қосу үшін белгілі бір технологияны қолданады. IoT қабылдаудың өсуі үшін датчиктер, бақылау және басқару механизмдері сияқты мүмкіндіктерді қолдау үшін қажетті компоненттердің бағасы алдағы жылдары салыстырмалы түрде арзан болуы керек.

3) Өзара үйлесімділік. Дәстүрлі Интернетте өзара үйлесімділік ең негізгі құрамдас бөлік болып табылады. Интернетке қосылудың бірінші талабы – «қосылған» жүйелер протоколдар мен кодтаулардың «бір тілде сөйлей алуына» мүмкіндік беру. Бүгінгі таңда әртүрлі салалар өздерінің қосымшаларын қолдау үшін әртүрлі стандарттарды қолданады. Көптеген дерек көздері мен гетерогенді құрылғылар болған кезде, осы әртүрлі нысандар арасындағы стандартты интерфейстерді пайдалану маңызды болып келеді. Бұл әсіресе ұйымдық және әртүрлі жүйелік шекараларды қолдайтын қосымшаларға қатысты. Осылайша, IoT жүйелері өзара үйлесімділіктің жоғары деңгейін қамтамасыз етуі керек.

4) Деректерді басқару. Деректерді басқару IoT жүйесіндегі маңызды аспект болып табылады. Бір-бірімен байланысқан және ақпараттың барлық түрімен үнемі алмасып отыратын нысандар әлемін қарастырған кезде, алынған мәліметтер көлемі және осы деректерді өңдеуге қатысты процестер өте маңызды.

5) Құрылғы деңгейінің қуат (энергия) мәселелері. IoT жүйесінің маңызды міндеттерінің бірі – байланыс құрылғыларындағы ең көп энергияны қажет ететін тапсырма екенін біле отырып, энергия шектеулерін ескере отырып, «заттарды» өзара үйлесімді түрде өзара байланыстыру.

Жоғарыда атап өткендей, IoT негізіндегі жүйелерді енгізу кезінде әртүрлі технологиялар мен протоколдар қолданылады. Қазіргі уақытта қолданыстағы IoT қолдайтын технологияларға Bluetooth, радиожиілікті сәйкестендіру технологиясы (RFID), Wi-Fi, WiMAX, Zigbee, Sigfox жатады. Ал, 5G желісі

аталған технологиялардың қол жеткізе алмайтын мүмкіндіктерін ұсынатын жаңа технология болып табылады.

Bluetooth – бұл жеке желілерге арналған, аз қуатты сымсыз байланыс технологиясы. Bluetooth 10 метрге дейінгі қашықтықта ғана мобильді құрылғылар арасында төмен өткізу қабілеттілігі бар деректерді тасымалдауға жарамды [8]. Яғни, Bluetooth көмегімен алыс қашықтыққа ақпарат жібере алмаймыз.

RFID деректерді беру үшін радиожеліліктерді пайдаланады, әдетте объектілерді, адамдарды, көлік құралдарын және т.б. бірегей сәйкестендіру үшін қолданылады.

Wi-Fi IEEE 802.11 стандартына негізделген және шектеулі қашықтықта (100 м-ге дейін) жоғары жылдамдықты Интернет байланысын (1 Мбит/с-тан 6.75 Гбит/с-қа дейін) қамтамасыз ету үшін сымсыз желіліктерді (2.4, 5 және 60 ГГц) пайдаланады. Wi-Fi сымсыз жергілікті желілерге (WLAN) арналған [8].

WiMAX IEEE 802.16 стандартына негізделген, 2 – 66 ГГц жиілік диапазонында жұмыс жасайды және 1.5 Мбит/с-тан 1 Гбит/с-қа дейінгі деректер жылдамдығын қамтамасыз етеді. WiMAX стационарлық станциялар үшін 50 км-ге дейін және мобильді станциялар үшін 5 – 15 км-ге дейін кең жолақты сымсыз қолжетімділікті қолдай алады [8].

Zigbee протоколы 2.4 ГГц жиілікте жұмыс жасайды және шамамен 250 Кбит/с деректер жылдамдығын қамтамасыз етеді, 10 – 100 м қашықтықта хабар тарата алады [8].

Sigfox – бұл деректерді алыс қашықтыққа жіберуге арналған тар жолақты байланыс жүйесі (40 км-ге дейін). Sigfox тар жолақты сигналдарды қолданғанымен, геолокациялық қызметтер мен басқару хабарламалары сияқты көптеген қосымшаларға жарамды болып келеді [8].

Қазіргі қолданыстағы бұл технологиялар IoT негізгі талаптарын толығымен орындай алмайды. Бірі алыс қашықтыққа хабар тарата алмаса, бірі деректерді жоғары жылдамдықта бере алмайды, тағы бірі энергияны көп тұтынады. Осы сияқты мәселелердің шешімін табу мақсатында ұялы байланыс желілерінің бесінші ұрпағы – 5G технологиясы әзірленді.

2 5G желісі негізінде Заттар Интернетін енгізу

IoT байланыс желілерінің кез-келген түрімен қосыла (connect) алады. Бірақ, 5G желісі ұсынатын жоғары өткізу қабілеттілігі, жоғары байланыс тығыздығы, жоғары сенімділік, аз кідіріс, аз қуат тұтыну сияқты артықшылықтар IoT мүмкіндіктері мен қызмет көрсету сапасын арттырады. 5G – бұл жай ғана 3G, 4G желілерінің кеңейтілген нұсқасы емес, ол – 4G, Wi-Fi, миллиметрлік толқын және басқа да сымсыз қол жеткізу технологияларын біріктіретін гетерогенді желіні қамтитын трансформациялық экожүйе [5].

5G – ұялы желілердің бесінші буыны, ол өте аз кідіріс (1 мс-тан аз), деректерді жоғары жылдамдықта беру (10 Гбит/с), жоғары өткізу қабілеттілігі, энергияны аз тұтыну сияқты артықшылықтарға ие. Сонымен қатар, 5G лицензияланған және лицензияланбаған спектрді де қолдана алады. 5G желісі орналасқан жері мен уақытына қарамастан, Интернетке өте көп құрылғыларды қосуға мүмкіндік береді [8].

2.1 Ұялы байланыс желілерінің бесінші буыны – 5G

Ұялы байланыс күнделікті өмірімізді жеңілдететіп, әрі экономикамыздың дамуын жеделдете отырып, қоғамымыздың ажырамас бөлігіне айналды. Ұялы байланыс технологиялары бірінші буыннан (1G) қазіргі қолданыстағы 4G байланыс парадигмасына дейін дамыды. Ал, 5G – бұл қазіргі таңда қолданысқа еніп жатқан, жетілдірілген жаңа технология. Ол сымсыз байланыс және қолданбалар саласында жаңа мүмкіндіктер мен қызметтерді ұсынады. Нақты 5G сипаттамаларына анықтама беретін болсақ, бұл ұялы байланыс технологиясының эволюциясымен де, желілік түйіндер мен архитектурадағы, қызметтердегі және пайдалану жағдайларындағы жойқын өзгерістерден туындаған революциямен де түсіндіріледі.

Сымсыз байланыстың қазіргі тенденциялары 5G көптеген серпінді және дәстүрлі технологиялардың интеграциясы болатынын көрсетеді. 5G технологиясының нақты сипаттамалары Халықаралық телекоммуникация одағының радиобайланысты стандарттау секторымен (ITU-R) келісіліп, 5G үшін Халықаралық ұялы телекоммуникация 2020 (IMT-2020) талаптары қойылды. 5G желісіне арналған IMT-2020 талаптарына тоқталсақ, IMT-2020 үш түрлі пайдалану жағдайын қамтиды: кеңейтілген мобильді кең жолақты байланыс (enhanced mobile broadband, eMBB), массивтік машина түріндегі байланыс (massive machine type communication, mMTC) және өте сенімді төмен кедергі байланысы (ultra-reliable low-latency communication, URLLC). Төменде IMT-2020 нәтижелері туралы негізгі статистика берілген.

Деректер жылдамдығы: бұл талап сәйкесінше 10 Гбит/с және 20 Гбит/с-қа дейін жоғары байланыс (uplink, UL) және төмен байланыс (downlink, DL) үшін eMBB деректер жылдамдығын қолдайды. Пайдаланушы тәжірибесі бойынша күтілген деректер жылдамдығы UL және DL арналары үшін сәйкесінше 50 Мбит/с және 100 Мбит/с құрайды. Сонымен қатар, қол жеткізілген спектрлік тиімділік UL және DL үшін сәйкесінше 15 бит/с/Гц және 30 бит/с/Гц құрайды. Ал, ауданы бойынша трафик сыйымдылығы 10 Мбит/с/м² болуы тиіс.

Кідіріс: eMBB және URLLC қолдауы үшін пайдаланушы жазықтығындағы кідіріс eMBB қызметтері үшін 4мс және URLLC қызметтері үшін 1 мс аралығында болуы керек. Басқару жазықтығындағы кідіріс қызметтердің екі түрі үшін де 20 мс шегінде болуы керек. Алайда, қолдаушылар оны 10 мс-ке дейін қысқартуды ұсынады.

Тығыздық: mMTC эволюциясын қолдау үшін белгілі бір қызмет көрсету сапасына (QoS) қойылатын талаптарды қамтамасыз ететін қосылым тығыздығы (бір шаршы шақырымға арналған құрылғылардың жалпы саны) белгіленеді. Ең аз байланыс тығыздығы 1 000 000 құрылғы/км² құрайды [9].

Энергия тиімділігі: 5G желілерінің экологиялық таза перспективаларын жүзеге асыру үшін энергия тиімділігі екі аспектіде қарастырылады:

- 1) жүктелген жағдайларда энергияны үнемдейтін деректерді беру;
- 2) ұйқы коэффициентімен және ұйқы ұзақтығымен сипатталатын бос жұмыс сценарийлерінде энергияны аз тұтыну.

ИМТ-2020 басқа талаптары – жоғары сенімділік, жоғары жылдамдықтағы (120 – 500 км/сағ) көлік құралдарының ұтқырлығын қолдау және қозғалыстағы кідіріс уақыты. Енді жоғарыда аталған талаптарды қанағаттандыру кезінде туындайтын қиындықтар мен ықтимал тәсілдерге тоқталайық.

ИМТ-2020 талаптарын орындау кезінде көптеген техникалық мәселелер туындайды. Деректер жылдамдығы мен ұяшық сыйымдылығын арттыру үшін шағын ұяшықтарды тығыз орналастыру, mMIMO, сәулені қалыптастыру және mmWave толқынындағы байланыс негізгі технологиялар болып табылады. Миллиметрлік толқындардың (mmWave) таралу сипаттамалары оны қысқа қашықтықта қолдануды талап етеді. Сонымен қатар, шағын ұяшықтар санын көбейту жиілікті қайта пайдалану арқылы спектрдің тиімділігі мен ұяшықтың өткізу қабілеттілігін (сыйымдылығын) арттырады. Осылайша, миллиметрлік толқындар көмегімен шағын ұяшықтарды орналастыру өнімділікті одан әрі жақсартып алады. Миллиметрлік толқындарға тән таралу мәселелерінен басқа, шағын ұяшықтарда жиі өшу, күшейтілген ұяшық аралық кедергілер және бірнеше радиоқабылдау технологияларымен (Radio Access Technologies, RATs) байланыс сияқты қиындықтар бар. Пайдаланушы жазықтығы мен басқару жазықтықтарын бөлу, макробазалық станцияларға (base station, BS) сигнал беру (дабыл) және басқаруды тағайындау, сондай-ақ шағын BS деректерін беру жиі өшу мәселесін жеңілдетеді. mMIMO-ның кеңінен талқыланған

артықшылықтарына қарамастан, бұл технологияның кейбір қиындықтары бар. Ең айқын мәселе – пилоттық сигналдың ластануы, яғни бірнеше терминалдар кедергі тудыратын бірдей пилоттық тізбекті қолданады. Сонымен қатар, төмен жиіліктегі mMIMO антенналары үлкен физикалық архитектураны қажет етеді, бұл барлық жерде мүмкін болмауы мүмкін. Миллиметрлік толқындар жүйесінде сәуле қалыптастыру үшін көптеген антенналар (көлемі кішірек) қажет болғандықтан, mmWave және сәуле түзілуімен mMIMO комбинациясын ақылға қонымды физикалық архитектураға орнатуға болады. mMIMO және mmWave көмегімен сәулеленуді гибриді қолдану зерттеудің жаңа бағыты болып табылады. Спектрлік тиімділікті ортогональді емес көп реттік қолжеткізу (Non-orthogonal Multiple Access, NOMA), көп жолақты көп тасымалдаушы фильтр және біртұтас көп тасымалдаушы фильтр сияқты жетілдірілген көп қатынасты және көп тасымалдаушы схемаларын қолдану арқылы жақсартуға болады. Кідірісті азайту үшін құрылғылар арасындағы (құрылғыдан құрылғыға, device-to-device, D2D) жолақ немесе жолақтан тыс байланыс перспективалы шешім болып табылады. NOMA технологияларының кідірісі олардың ортогональді аналогтарына қарағанда аз. Бұдан басқа, есептеу және өңдеу қызметтерін желінің шетіне ауыстыру да кідірістерді азайтуға көмектеседі. Осыған байланысты танымал тұманды есептеу парадигмасын (fog computing paradigm) да қолдануға болады.

Деректерді беру жылдамдығының әртүрлі талаптары бар көптеген құрылғыларды қолдау үшін пайда болған CR парадигмасы қолдайтын спектрді бөлісудің озық тәсілдерін қолдану жақсы шешім болар еді. Әртүрлі қызметтерді қолдау үшін бағдарламалық жасақтамамен анықталған желілер (software defined networks, SDNs) және желілік функцияларды виртуалдандыру (network functions virtualization, NFV) қолдайтын желілік бөлу (network slicing, NS) тұжырымдамасы маңызды рөл атқарады. Жетілдірілген мобильді есептеу парадигмасы негізгі желіні IoT құрылғыларының көптігі тудыратын үлкен трафик көлемін босату үшін де маңызды.

Қарастырылатын тағы бір аспект – болашақ сымсыз желілердің экологиялық таза перспективасы. Қазіргі уақытта базалық станциялар трафиктің ең жоғары жүктемесіне сәйкес келетін қуатпен (энергиямен) жұмыс істейді, бұл радиоқабылдау желілеріндегі (radio access networks, RANs) желінің қуат тұтынуының 90 % тудырады. Радио жиілік сигналдары мен басқа да жаңартылған энергия көздері арқылы қоршаған ортадан энергия жинау тұжырымдамалары батарея сыйымдылығы шектеулі құрылғылардың қызмет ету мерзімін ұзарту үшін де қажет [9].

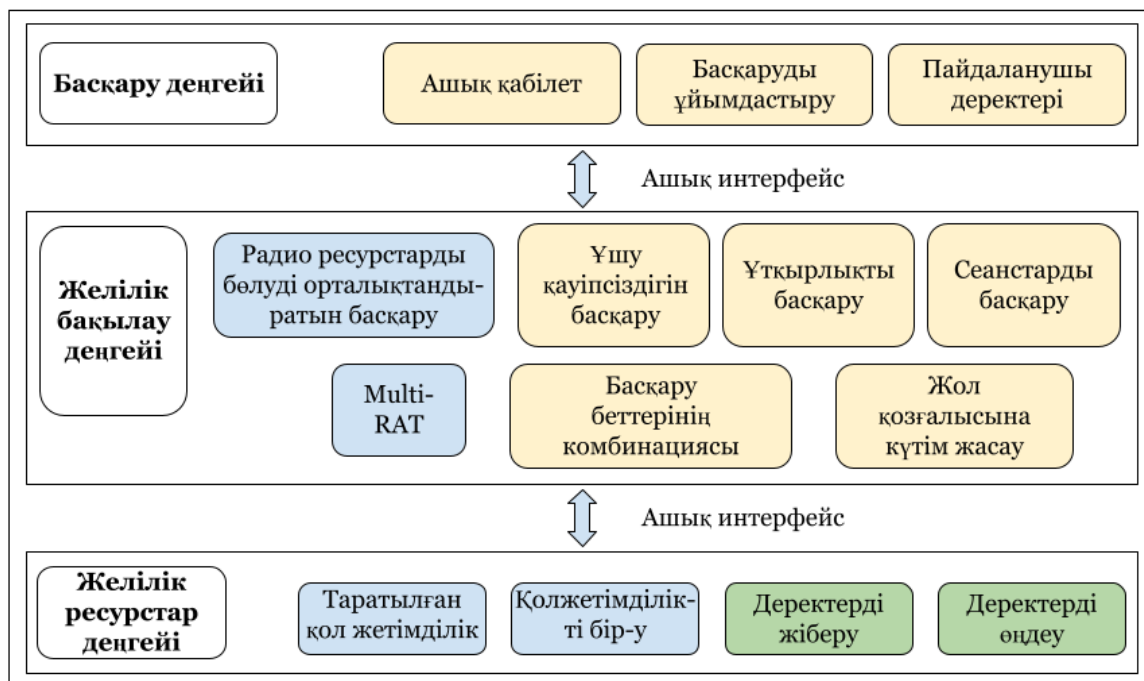
5G желісі үш негізгі функционалды жазықтықтан тұрады. Олар қол жеткізу (доступ) жазықтығы, басқару жазықтығы және бағыттау жазықтығы.

1) Қол жеткізу жазықтығы тиімді қол жеткізу желісін құру үшін бірнеше сайттарды, бірнеше қосылым механизмін және бірнеше жүйенің конвергенция технологиясын пайдалануға жауап береді.

2) Басқару жазықтығы сұраныс бойынша қол жетімділікті, ұтқырлықты және кешенді оңтайландыруды қамтамасыз ететін қайта конфигурацияланатын желілік мүмкіндіктерге негізделген.

3) Бағыттау жазықтығы динамикалық байланыстыру параметрлерін басқаруға және пакеттерді өңдеу мен жіберуді қамтамасыз етуге жауапты деректерді жіберуге негізделген.

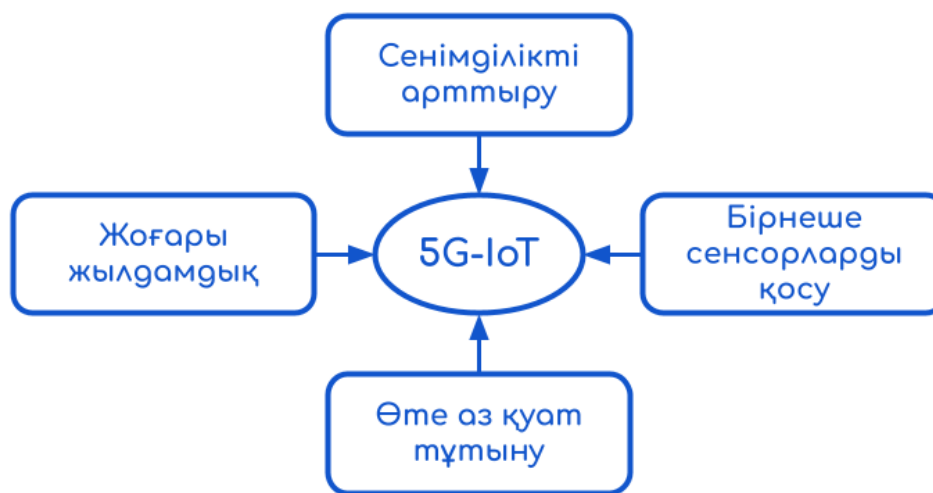
5G архитектурасының бөлігі ретінде модульдік схеманы басқару жазықтығы арнайы қолданбалар үшін арнайы логикалық желіні жобалау және құру үшін пайдаланылады, мысалы машиналарды қашықтықтан басқару. Басқару жазықтығы 5G желілік архитектурасының негізгі құрамдас бөлігі болып табылады. Сондай-ақ, ол желілік қызметтерді жобалауға, қол жеткізу жазықтығы мен бағыттау жазықтығын пайдалануға арналған. 5G желісінің архитектурасы 2.1-суретте көрсетілгендей, үш деңгейден (басқару деңгейі, желілік бақылау деңгейі және желілік ресурстар деңгейі) тұрады [14].



2.1-сурет – 5G желісінің функциялық көрінісі

Қызмет икемділігі мен сапасын одан әрі жақсарту үшін 5G таратылған блок (Distributed Unit, DU), орталықтандырылған блок (Centralized Unit, CU) және негізгі желілер (5GC) деп аталатын үш деңгейлі желі архитектурасын да қолдайды [14].

5G әлемнің алпауыт державаларында іске қосылғанымен, Қазақстанда әлі толықтай қолданысқа енгізілген жоқ. Сондықтан да, операторлардың тиісті орналастырулары үшін диапазондарды қалай бөлетінін алдағы уақытта көре жатармыз. 5G желісі – бұл қоғам үшін үлкен өзгерістер тудырып, адамдарға, бизнеске және т.б. үшін жаңа мүмкіндіктер беретін мобильді технологиялардың бесінші буыны. Осы уақытқа дейін ақылды желі, көлік, үй қосымшалары, өндірістік операцияларды IoT жүйесіне қосып, ұялы телефон технологиясын IoT технологияларына қолданды. IoT жүйесіне арналған 5G ұялы желілерінің мүмкіндіктері өлшемі, құны, қуаты және батареяның қызмет ету мерзімі бойынша оңтайландырылған Интернет технологияларын пайдаланатын желілерге қосылуға мүмкіндік береді. IoT пайдалану жағдайында LPWA (Low Power Wide Area) желілері IoT қосымшаларын қолдауға арналған. 5G және IoT біздің қалай жұмыс істейтінімізді, өмір сүретінімізді, саяхаттайтынымызды және бизнес жүргізетінімізді анықтайтын үйлесімді технологияларды өзгертеді. 5G желісінің пайда болуы 2G және 3G желілерін қолданыстан алып тастайды, өйткені 5G олар алатын спектрді басқа мақсаттарға босатады. Келесі буынмен алдағы эволюция әлдеқайда ауқымды болады және тиімділіктің артуына, деректер жылдамдығының жоғарылауына және кеңейтілген қызметтерге алып келеді. Сондай-ақ, жетілдірілген қызметтер 5G желісінің мобильді IoT құрылғыларының жылдамдығының әртүрлі диапазонын қоллауын және IoT құрылғыларының ұзақ қызмет етуін қамтамасыз етеді. 5G желісінің нақты мақсаттары 2.2-суретте көрсетілген.



2.2-сурет – 5G-IoT мақсаттарының жалпы көрінісі

5G желісі жақсартылған мобильді кең жолақты байланыс, IoT, жеке желілер, аз қуат тұтыну және қауіпсіздік сияқты негізгі қолданбаларға үлкен әсер етеді.

Жақсартылған мобильді кең жолақты байланыс: 5G Интернет байланысы мобильді технологияларды, жиіліктерді және спектрді айтарлықтай жақсарту үшін ұялы байланыс пен IoT жүйесіне 4G желісінен 20 есе тез жылдамдықпен кідіріссіз әсер етеді.

IoT: 5G желісі кеңейтілген мобильді кең жолақты байланысты қоса алғанда, IoT пайдалану жағдайларының кең ауқымын қосу және қолдау үшін әзірленген. Сонымен қатар, 5G мобильді құрылғыға 5 миллисекундтан аз 4G кідірісінің 5 пайызын құрайтын қуатты есептеу ресурстарын ұсына отырып, шеткі құрылғылардың кідірісін айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді.

Жеке желілер: ортақ немесе бөлінген спектрді қолдана отырып орналастырылған кезде, 5G желілерінің қолданысқа енуі қоғамдық қауіпсіздікті, ұялы байланыс индустриясын және инфрақұрылымды қамтамасыз ету үшін қолданыстағы желілермен біріктірілген маңызды сымсыз байланыс болып табылады. Бұл жеке 5G желілері бизнес кәсіпорындары, компаниялар, денсаулық сақтау, өндіріс және IT компаниялары сияқты нарықтарға арналған виртуалды ұялы элементтер болып табылады. АҚШ-тағы The Citizens Broadband Radio Service (CBRS) спектрі 5G жүйесінде осындай жеке желілерді қосуға көмектеседі.

Аз қуат тұтыну: 5G желілерінің артықшылығы – 5 есе аз қуат тұтынуы және 5 есе үнемді болып келуі. IoT құрылғылары батареясыз, аккумуляторсыз және техникалық қызмет көрсетусіз, қуатты аз тұтыну арқылы IoT түйіндерін құруды жеңілдетеді.

Қауіпсіздік: қазіргі таңда барлық ірі, орта және тіпті шағын бизнесті қорғау нарықтың тұрақтылығын, бәсекеге қабілеттілігін және тиімділігін арттырады. Осылайша, бұл IoT жүйесі, 5G желісі немесе екеуінің қосындысы екенін аңғарып, қауіпсіздік мәселелеріне сыни тұрғыдан назар аудару керек. IoT және 5G қауіпсіздігі деректер қауіпсіздігіне бағытталған. Сымсыз технологияның жетістіктері нақты уақыт режимінде маңызды деректерді алуға, тасымалдауға және өңдеуге мүмкіндік береді [1].

2.2 5G-IoT жүйесінің архитектурасы

IoT – зерттеудің кең саласы және ол IoT жүйесін басқаратын 5G желісіндегі барлық тиісті технологияларды қамтуы керек. 5G-IoT бес деңгейлі архитектураға негізделеді. Желілік архитектураның жалпыланған түрі құрылғылар арасындағы өзара әрекеттесуді және ресурстарды тиімді бөлісуді қамтамасыз ететін 5G желісіндегі IoT үшін әзірленуі керек. Желілердің жалпыланған түрі күрделілік пен шығындарды төмендетуі мүмкін.

Қазіргі технологиялық дәуірде Интернет адамның араласуынсыз күнделікті өмірде қолданатын әртүрлі құрылғылар мен машиналарды байланыстыруда

маңызды рөл атқарады. 5G-IoT – бұл ауқымды, маңызды байланыс пен желілік технологияларды қамтитын кең технология. 5G қолданыстағы технологиялармен салыстырғанда әлдеқайда жоғары жылдамдықта жұмыс істейтіндіктен және сенімді әрі қауіпсіз байланыс орната алатындықтан, көптеген құрылғылар бір уақытта бір желіге қосыла алады.

5G желісіндегі IoT негізінен 2.3-суретте көрсетілгендей бес деңгейлі архитектурадан тұрады және құрылғылар мен байланыс желісі арасында деректерді жинау, өңдеу, талдау және ақпарат алмасу операцияларын қамтиды.

1) IoT жүйесінің сенсорлық деңгейі: бұл деңгей ақылды сенсорлар, құрылғылар сияқты физикалық деңгей жүйесінен тұрады және желілік деңгеймен байланысады.

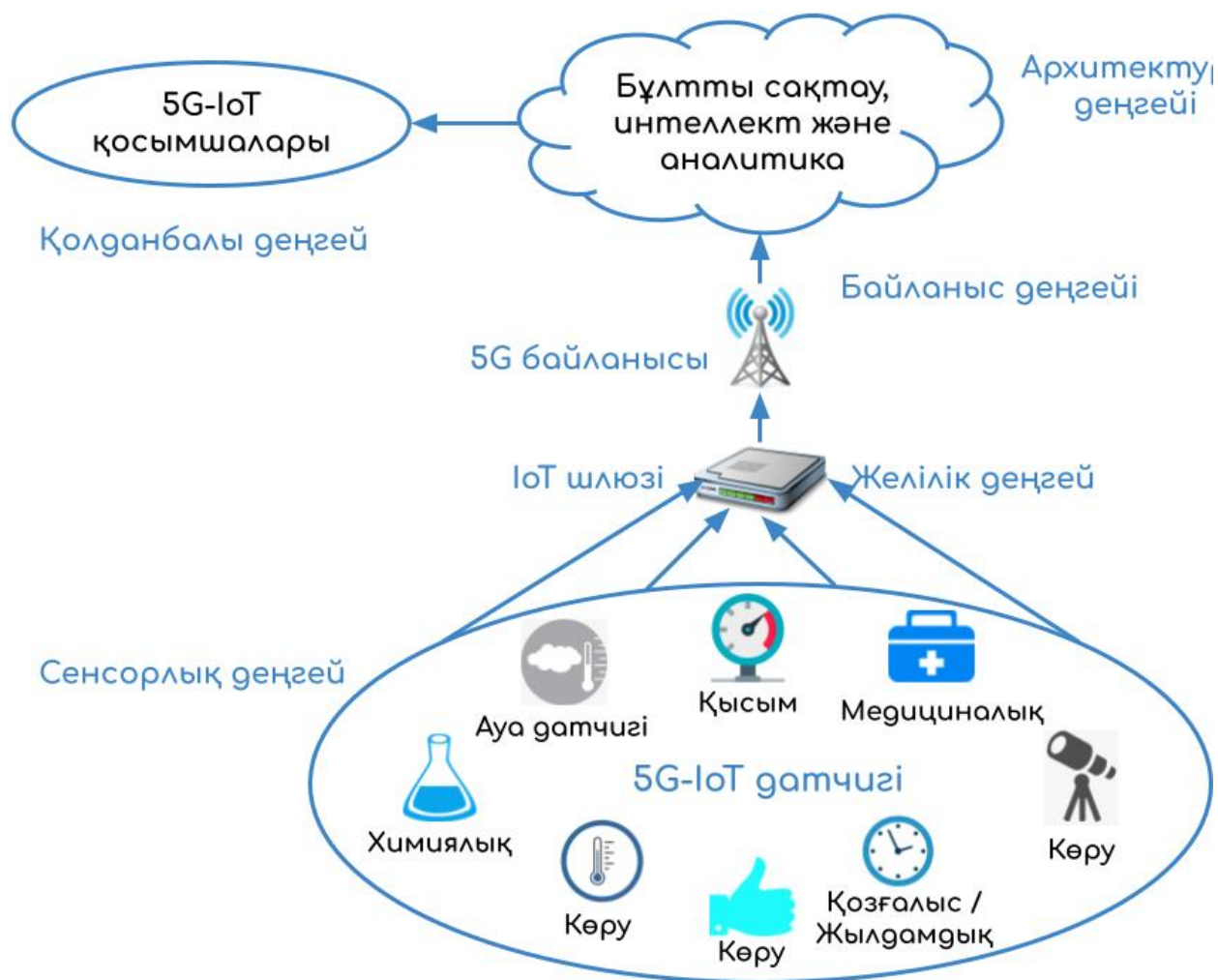
2) Желілік деңгей: IoT жүйесіндегі желілік деңгей Sigfox, LoRa, ZigBee, NB-IoT сияқты төмен қуатты ғаламдық желілерді (Low Power Wide Area Network, LPWAN) қамтиды.

3) Байланыс деңгейі: бұл деңгейді IoT архитектурасының негізі ретінде қарастыруға болады, өйткені ол барлық ақпаратты деңгейлер ішінде тасымалдайды.

4) Архитектура деңгейі: бұл деңгей архитектураны, бұлтты есептеулерді және үлкен деректерді талдауды (Big Data Analytics) қарастыратын IoT негізі.

5) Қолданбалы деңгей: бұл деңгейде ақылды зауыттар, ақылды үйлер, ақылды ауыл шаруашылығы, ақылды көлік және т.б. сияқты IoT қосымшаларын жүзеге асыруға болады. Сондай-ақ, бұл деңгей барлық құрылғы сенсорлары мен ақпаратты Интернет арқылы сымсыз байланыс көмегімен біріктіреді.

5G-IoT архитектурасының графикалық көрінісі 2.3-суретте көрсетілген.



2.3-сурет – 5G-IoT жүйесінің 5 деңгейлі архитектурасы

Бұл архитектурада әртүрлі қосымшаларға арналған интеллектуалды IoT сенсорлары IoT шлюзіне Sigfox, LoRa немесе NB-IoT сияқты ұзақ қашықтыққа арналған байланыстар үшін пайдаланылатын төмен қуатты желілер арқылы қосылған. Бұл тиімді шлюз IoT құрылғыларынан барлық ақпаратты жинайды және жиналған ақпараттарды 5G байланыс арнасы арқылы 5G базалық станцияларына жібереді. 5G байланыс желілерін тиімді таңдау және миллиметрлік толқындық байланыс технологиясы бар жаңа 5G Radio технологияларын қолдану арқылы жобалауға болады. Әрі қарай, IoT сигналдары сәуле қалыптастыру және кеңістіктік мультиплекстеу мүмкіндігіне ие MIMO (Multiple Inputs Multiple Output) антеннасы бар 5G ұялы байланыс базалық станциясы арқылы өңделеді. 5G миллиметрлік толқындардағы байланыс технологиялары 6 ГГц-тен жоғары жиіліктердегі радио сигналдарын жіберуге көмектеседі. Бұл 80 ГГц-ке дейінгі жоғары жиіліктерде жұмыс істеуге мүмкіндік беретін миллиметрлік толқындардағы байланыстың артықшылығын арттырады.

Сондай-ақ, ол жаңа CRAT үшін гетерогенді желі деп аталатын микро және макро базалық станциялары бар қосылған утилиталардың максималды санын қолдай алады. IoT қолданудың әртүрлі салаларын 5G Radio технологияларын қолдану арқылы жүзеге асыруға болады [2].

2.3 5G-IoT жүйесінің әртүрлі деңгейлерінде технологиялық драйверлерді қосу

Жоғарыда көрсетілген архитектураға негізделген IoT жүйесі 5G желісін қолдайтын бірнеше технологияны қолдану арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Әр деңгейдегі мәселелер мен олардың жетілдірілген техникалық технологияларын ескере отырып, бес деңгейлі архитектураны талқылайық.

2.3.1 Сенсор деңгейі

Бүгінгі күні қайда қарасақ та, бізді технологиялық эволюция қоршап тұр. Жартылай өткізгіш өнеркәсібінің, электронды құрылғылардың және автоматтандыру шешімдерінің дамуы ақылды сенсорлар нарығының өсуіне ықпал етеді. Ақылды сенсорлар датчиктер (сенсорлар) мен интерфейстік блоктың тіркесімі болып табылады. Ақылды сенсорлар датчиктер мен желілік деңгейлер арасында екі жақты байланыс орнатуға, олардың өзара әрекеттесуіне және шешім қабылдауға қабілетті. IoT жүйесіндегі сенсор деңгейі машина түріндегі байланысты (a machine type communication, MTC) орындайды және желі деңгейімен өзара әрекеттеседі. Ақылды сенсорлар әдеттегі сенсорларға қарағанда көптеген артықшылықтарға ие, мысалы:

- құрылғылар, сенсорлар және желілік протоколдар арасындағы ақылды байланыс;
- кабельдік байланыс санының аз болуы;
- орнату және техникалық қызмет көрсетудің оңай болуы;
- икемді байланыс;
- бағасының арзандығы мен энергияны аз пайдалануы;
- жоғары сенімділік және тиімді өнімділік.

Әртүрлі IoT қосымшаларында қолданылатын смарт сенсорлар 2.1-кестеде көрсетілген.

Кесте 2.1 – Әртүрлі қосымшаларда қолданылатын 5G-IoT сенсорлары

IoT қосымшалары	5G-IoT сенсорлары
Ақылды үйлер	- жарық (IR, көрінетін); - температура;

2.1-кестенің жалғасы

	- химиялық зат (CO₂); - энергияны тұтыну
Ақылды транспорт	- радарлардың лазерлік сәулесі; - ультрадыбыстық сенсор; - жол қозғалысы сенсоры; - позиция сенсоры; - жақындық
Электрондық денсаулық сақтау	- температура; - қысым; - SpO₂; - электронды киюге жарамды рентген аппараты
Ақылды жүйелер	- гироскоп; - Холл эффектісі; - температура; - қысым
Ақылды зауыттар	- жақындық сенсоры; - ауа сапасының сенсоры; - талшықты-оптикалық сенсор; - бүтін сенсоры
Қоршаған орта	- ылғалдылық; - температура; - жарық (IR, көрінетін); - химиялық
Қауіпсіздік және қоғамдық қауіпсіздік	- гироскоп; - жарық (IR, көрінетін); - температура; - химиялық; - радар сенсорларының орналасуы

2.3.2 Желілік деңгей

5G желісінде желілік деңгейдегі талап IoT қосымшаларында төмен қуатты және ұзақ қашықтыққа қосылуды қамтамасыз ету болып табылады. Төмен қуатты ғаламдық желілер (LPWAN) арқылы масштабталатын IoT және маңызды IoT байланысына қол жеткізу үшін бірнеше байланыстар болуы мүмкін. LPWA технологиялары негізінен кең аумақты қамту, аз қуат тұтыну, энергия тиімділігін арттыру және жоғары деректер жылдамдығы сияқты бірегей сипаттамаларына байланысты IoT қосымшаларында қолданылады. 5G-IoT технологиясында қолдануға болатын кейбір маңызды LPWA технологиялары төменде талқыланып, 2.2-кестеде жинақталған.

1. Sigfox. Sigfox – бұл төмен қуатты француз желісі, ол қолдау көрсетілген құрылғылардың көмегінсіз құрылғылар мен хабар тарату деректерінің үлкен көлемін байланыстыруға арналған массивтік машиналық типтегі бұқаралық

коммуникациялардың алғашқы ғаламдық IoT желісі болып табылады. Sigfox қосылған құрылғылардың қуат тұтынуы мен бағасын төмендететін бағдарламалық жасақтама негізіндегі байланыс шешімін ұсынады. Ол 915 МГц – 928 МГц аралығындағы жиілік диапазонында 100 МГц арна өткізу қабілеттілігімен жұмыс істейді. Бұл лицензияланбаған спектрлік жолақтарды пайдаланатын радиоқабылдау желісі және бұл ұлттық ережелерге сәйкес өзгереді. Sigfox ультра тар жолақты технологияны қолдайды және лицензиясыз спектр диапазонында жұмыс істейді. Ол IoT төмен өткізу қабілеттілігі үшін шешімді анықтайтын ұялы желі байланыс түрін қамтамасыз етеді. Бұл желідегі шағын ұяшықтар ауылдық жерлерде орташа есеппен 30 – 50 км қашықтықта орнатылады, ал қалалық жерлерде желілік кедергілер мен диапазондағы Интернет пайдаланушыларының көбеюіне байланысты 7 – 10 км-ге дейін қысқарады. Тұтастай алғанда, Sigfox қуатты аз тұтыну кезінде желінің жоғары өткізу қабілеттілігін қамтамасыз етеді.

2. LoRa. LoRa – бұл төмен қуатты 5G желілеріндегі тағы бір технология. LoRa технологиясы ұзақ қашықтықты, төмен қуатты тұтынуды және деректерді қауіпсіз беруді қамтамасыз етеді. Бұл технологияны қолданатын қоғамдық және жеке желілер басқа қолданыстағы ұялы байланыс технологияларымен салыстырғанда үлкен диапазонды қамтамасыз ете алады. Ол 125 МГц, 250 МГц немесе 500 МГц арнаның өткізу қабілеттілігімен 868 МГц – 915 МГц аралығындағы жиілік диапазонында жұмыс істейді. Сондай-ақ, ол қолданыстағы инфрақұрылымға оңай қосылады және аз қуатты батареялармен жұмыс істейтін IoT қосымшалары бар желілерге қызмет көрсету шешімін ұсынады. Кірісті дыбыстық сигналдардың санын білдіретін таңбалардың айнымалы саны ретінде орнатуға болады. Егер LoRa демодуляторында дұрыс жиілікте тұрақты твиттер болса, деректерді беру M-ARY-PSK таңбалары арқылы жұмыс істейтін таңбалар сериясынан басталады.

3. Wi-Fi. Wi-Fi – бұл IEEE 802.11 стандартына негізделген жергілікті желі құрылғысы. Ол IoT сенсорлары туралы ақпаратты 100 м радиустағы шлюздерге жіберу үшін машина типті байланыс жүйелерінде қолданылады. Машина типтегі байланыс жүйелеріндегі Wi-Fi мүмкіндіктерін жергілікті желі (local area network, LAN) деп аталатын қысқа қашықтықтағы байланыс үшін пайдаланады. Ол 2.4 ГГц – 5 ГГц жиілік диапазонында жұмыс істейді. Wi-Fi қысқа қашықтықтағы байланыстарға негізделген.

4. ZigBee. Бұл IoT байланысы үшін қолданылатын төмен қуатты ғаламдық желі. Бұл барлық OSI деңгейлері бар IEEE 802.15.4 стандартының кеңейтілген нұсқасы. IoT технологиясында ZigBee пайдалану басқа желілерге қарағанда бірқатар артықшылықтары бар, себебі ол қарапайым әрі арзан. ZigBee тарату қашықтығы – 100 метр. ZigBee желілері үйді автоматтандыру, денсаулық сақтау және өнеркәсіптік IoT саласында қолданылады.

5. Тар жолақты Заттар Интернеті (NB-IoT). NB-IoT (Narrowband Internet of Things) – бұл LPWAN жүйесіндегі жаңа және перспективалы технология. Ол 3GPP 13 шығарылымын стандарттауға енгізілген. NB-IoT қолжетімді спектрде ауқымды IoT орналастыру үшін қолданылады. Ол жоғары және төмен байланыс желісі бойынша 180 кГц жүйелік өткізу жолағында жұмыс істейді. NB-IoT монохроматикалық және көп модалы берілісті қолдайды. Сондақ-ақ, ол үш жұмыс режимінде орналастырылған:

- өткізу жолағы LTE тасымалдаушысындағы ресурстарды пайдаланады;
- LTE тасымалдаушысының қорғаныс жолағы шегінде пайдаланылмаған 180 кГц жиілік жолағын пайдаланатын қорғаныс жолағы режимі;
- оқшауланған режим, ол арнаны қайта конфигурациялауға немесе GSM тасымалдаушы жиілігін қайта пайдалануға негізделген.

Сонымен, NB-IoT – бұл жаңа IoT қосымшаларында қолдануға болатын 5G New Radio (NR) әзірлеудегі инновациялық технология. Ол төмен қуатты қосымшаларды қолдана отырып, болашақ ұрпақтың сымсыз байланыс технологиясын құруға үлкен үлес қосады және оны ақылды үйлер, қауіпсіздік жүйелері, автономды жарықтандыру жүйелері және т.б. сияқты МТС қосымшаларында қолдануға болады.

Кесте 2.2 – 5G-IoT жүйесінде қолданылатын LPWAN қысқаша сипаттамасы

Технология	Жиілік диапазоны (МГц)	Ара қашықтық	Деректерді берудің максималды жылдамдығы	Арнаның өткізу қабілеттілігі	Модуляция	Стандарттау
Sigfox	868 ж/е 915-928 МГц	20+ км	100 кбит/с	250 н/е 500 кГц	BPSK	ETSI ынтымақтастығы
LoRa	915-928 МГц	15 км	50 кбит/с	100 Гц	CSS	LoRa бірлестігі
ZigBee	902-928 МГц, 2.4 ГГц	1 км-ден аз	250 кбит/с	2 МГц	BPSK (902-928МГц), QPSK (2.4 ГГц)	ZigBee бірлестігі
Wi-Fi	2.4-60 ГГц	100 м	10 Мбит/с	20 н/е 40 МГц	DSSS	IEEE 802.11
NB-IoT	700, 800, 900 МГц	1 км (қала), 10 км (ауыл)	200 кбит/с	200 кГц	QPSK	3GPP

2.3.3 Байланыс деңгейі

Байланыс деңгейінде 5G-IoT қосымшалары радиоқабылдау технологиясын (radio access technology, RAT) қолданады. 5G New Radio (NR) – бұл 3GPP бірлестігінің келесі буын сымсыз байланыс технологиясына арналған стандартты әзірлеу процесі. 5G NR 3GPP 15 шығарылымы мен 16 шығарылымын стандарттау бойынша көрсетілген. 5G жаңа радиотехнологиясы LTE және 5G NR желілерінен тұратын радиоқабылдау технологиясының (RAT) бөлігі болып табылады. 5G NR технологиясы 6 ГГц және 20-100 ГГц (толқын қашықтығы мм) төмен толқын диапазонында жұмыс істейді. NR қолдайтын IoT сияқты әртүрлі күрделі технологияларды, соның ішінде ауқымды MIMO, толқын пішіндері мен кадр құрылымы, миллиметрлік толқындардағы кодалау және радиожиіліктерді қарастыру қажет. Радио қолжетімділік RAN құрылымының мүмкіндіктерін де, күрделілігін де қамтамасыз етеді, әсіресе IoT платформасындағы ақылды зауыттар, маңызды қызметтер және басқа да қосымшаларда. 5G NR қол жеткізу технологиясы шағын базалық станцияларға, пикоұяшықтар мен фемтоұяшықтары сияқты шағын ұяшықтарға және әртүрлі IoT қосымшаларына арналған ақылды сенсорларға нарықтық мүмкіндіктерді кеңейтеді. 5G NR екі негізгі технологияға ие, атап айтқанда:

- сигнал формасының дизайны, нумерология және кадр құрылымы;
- MIMO және миллиметрлік толқынды радиожиілік технологиясы.

5G NR жүйесіне қатысты технология төменде талқыланады.

1) Сигнал формасы, нумерология және кадр құрылымы

3GPP мәліметтеріне сәйкес, 5G желісінде енгізілген сигнал (толқын) формасы LTE технологиясымен салыстырғанда кейбір жаңартулармен OFDM технологиясына негізделген. FBMC, GFDM және UFMC сияқты сигнал формасының әртүрлі нұсқалары 5G-ге қатысты зерттелді. Зерттеулер нәтижесі масштабталатын және мультиплекстелетін нумерология 5G NR үшін сигнал формасы ретінде ең қолайлы технология екенін көрсетті. Нумерология жаңа радиобайланыста маңызды контекст болып табылады, нумерологияның басты артықшылығы OFDM-ді тиімдірек пайдалану болып табылады. Ол төмен сигнал формасында CP-OFDM, ал жоғары сигнал формасында CP-OFDM және DFTs-OFDM екеуін де қолданады. NOMA – 5G NR желісіндегі ең қолайлы көп қолжетімділік технологиясы. NOMA бірнеше пайдаланушылар үшін бірдей тасымалдау қуатын пайдалануға мүмкіндік береді, бұл аз кідіріс пен тиімділікті арттырады. NR масштабталатын нумерологияны және аралас нумерологияны қолданады, мұнда тасымалдаушы аралығы мына формуламен анықталады:

$$\Delta f = 2^{\mu} \times 15 \text{ кГц} \quad (2.1)$$

мұндағы μ – нумерология.

Бұл пайдаланушыларға қызмет көрсетуге қойылатын талаптардың түріне байланысты болатын бүтін сан. Нумерологияның мәні -2-ден 4-ке дейін болады. Масштабталатын нумерологияда аралас нумерологиядағы сияқты нумерологияны бірнеше рет қолдануға байланысты қосалқы тасымалдаушылар арасындағы интервал мәселесі туындаған кезде бір нумерология мәнін пайдалану есебінен қосалқы тасымалдаушылар арасындағы интервал интерференциясы айтарлықтай төмендейді. Аралас нумерология 3GPP 15 – шығарылымында көрсетілген және пайдаланушыларға бірнеше жиілікті мультиплекстеу арқылы бір уақытта DL қабылдауды немесе UL физикалық арналарын беруді қажет етпейді. 5G NR жүйесінде OFDM символының ұзақтығы, циклдік префикстің ұзақтығы және OFDM символы, соның ішінде CP нумерологиялық мәндерінің жоғарылауымен азаяды. Қосалқы тасымалдаушылар арасындағы интервал 15 кГц, 30 кГц және 60 кГц кезінде 6 ГГц-тен төмен жиілікте, ал 120 кГц, 240 кГц және 480 кГц кезінде 6 ГГц-тен жоғары жиілікте (миллиметрлік толқындағы байланыс) қолданылады. Машина түрінде қолдану үшін қосалқы тасымалдаушылар арасындағы қашықтық мәні мүмкіндігінше аз болуы керек. 3.75 кГц қосалқы тасымалдаушы аралығы бар -2 шағын нумерологиялық мәні тар жолақты IoT (NB-IoT) жүйесінде оңай іске асырылуы мүмкін. Төмен тасымалдаушы аралығы IoT қосымшалары үшін пайдаланылады, ал жоғары қосалқы тасымалдаушы аралығының мәндері eMBB және маңызды байланыс жүйелерінде пайдаланылады. 4G мен 5G арасындағы негізгі айырмашылық – 4G желісінде Δf мәні бекітілген, бірақ 5G желісінде ол IoT қызметіне қойылатын талаптарға байланысты өзгереді. Мұнда өткізу қабілеттілігінің әртүрлі бөліктеріндегі (bandwidth parts, BWPs) қосалқы тасымалдаушылар арасындағы қашықтықтың әртүрлі мәндері қолданылады. Қосалқы тасымалдаушылар арасындағы кіші интервалда қолданылатын циклдік префикс қалыпты болып болып табылады және қосалқы тасымалдаушылар арасындағы үлкен интервалда кеңейеді. 15 кГц және 30 кГц қосалқы тасымалдаушылар арасындағы интервалмен 0 және 1 нумерологияны машиналық типтегі қосымшаларда қолдануға болады. 5G желісінде қолданылатын модуляция схемасы 5G жүйесінің жұмысына жауап беретін негізгі фактор болады. PAPR, спектрлік тиімділік және кедергі 5G NR жүйесінде ескерілетін негізгі факторлар болып табылады. PAPR жүйе өнімділігіне (жұмысына) айтарлықтай үлкен әсер етеді, PAPR неғұрлым жоғары болса, жұмыс тиімділігі соғұрлым аз болады. 5G желісі жүйенің өнімділігін арттыру үшін төмен PAPR деңгейін қамтамасыз етуі керек. Спектрлік тиімділікке миллиметрлік толқындағы байланыс пен Когнитивті Радионы қолдану арқылы қол жеткізіледі. 5G жүйесіндегі кедергілерді MIMO антеннасын пайдалану арқылы азайтуға болады. 5G NR коммуникациялық технологияларында қолайлы модуляция әдісі ретінде 5G APSK (Амплитудалық-фазалық манипуляция) қиындықтарды жеңу үшін қабылданған [2].

Слоттарға негізделген жоспарлау кезінде 5G NR бір ұяшыққа 14 символды пайдаланады. Қосалқы кадрдың анықтамалық кезеңі нумерология мәндерінің жоғарылауымен азаяды. Слот ұзындығын мына формуламен есптеуге болады:

$$l_c = \frac{1\text{мс}}{2\mu} \quad (2.2)$$

Шағын слот өте төмен кідірісті пайдалану жағдайын, яғни URRLC бөлігін қолдау үшін пайдаланылады. Шағын слот ұяшықтағы бірдей немесе әртүрлі пайдаланушылардан жоспарлаудың сызықтық TDM қолдауға мүмкіндік береді, әсіресе тарату сәулесінің қуатын 6 ГГц-тен жоғары таратқан жағдайда. Шағын ұяшық лицензиясыз спектрде жұмыс істеуге жарамды болуы мүмкін. Слот форматы пайдаланушыларға OFDM символының төмен байланыс арнасы, жоғары байланыс арнасы және икемді екенін көрсетеді. 5G NR нумерологиясында ресурс элементтері физикалық ресурстар блогына (physical resource block, PRB) топтастырылған, мұнда әрбір PRB 120 кГц жиілікте қол жеткізілген 12 қосалқы тасымалдаушыдан тұрады. 5G NR жүйесі LTE үшін көрсетілгендей PSS және SSS-тен тұрады.

2) Болашақ 5G гетерогенді желілері үшін MIMO және миллиметрлік толқынды радиожиілік технологиялары

MIMO антеннасы сандық доменде антенна торының барлық конфигурациясы орындалатын интеллектуалды жүйе ретінде анықталады. 5G сымсыз технологиясы гибриді сәулені қалыптастыру, сәулені бақылау, қадағалау және кеңістіктік мультиплекстеу мүмкіндігі бар ақылды антенналар үшін MIMO антеннасын пайдаланады. Көп антенналы технологияда таратқыш та, қабылдағыш та MIMO антеннасымен жабдықталған, өйткені ол кедергілерді жою қабілетіне және жоғары спектрлік тиімділікке ие. MIMO антеннасын пайдаланған кезде кідірістердің таралуын айтарлықтай азайтуға болады. Бұл жіберу кезінде аз қуат тұтынумен айтарлықтай өткізу қабілеттілігін қамтамасыз ететін перспективалы технология. Үлкен көлемдегі ақпартты еш кедергісіз беру, жоғары тиімділік және қауіпсіз байланыс 5G-IoT үшін негізгі талаптар болып табылады және бұған MIMO конфигурациясындағы антенна торларының санын көбейту арқылы қол жеткізуге болады. Әдетте, интеллектуалды антенна – бұл спектр мен орынды анықтайтын Когнитивті Радио. Когнитивті Радионың негізгі мақсаты – екінші пайдаланушының толық пайдаланылмаған спектрін тану. 5G байланыс жүйесінде құрылғылар базалық станцияның төмен байланыс сигналдары түрінде бос спектрді іздей алады және ұялы жүйеден командалар ала алады. Ұялы жүйе өте күрделі және жоғары спектрлік тиімділікті қамтамасыз етеді. 5G жүйелері анықтау және болдырмау (detect and avoid, DAA), динамикалық жиілікті таңдау сияқты спектрді динамикалық бөлісуге негізделген. MIMO интеллектуалды антенналары сәулені қалыптастыруға және

оны бақылауға қабілетті. MIMO антеннасының екі ерекше қасиеті бар: ауыспалы бағыт диаграммасы және адаптивті антенна торы. Ауыстырылатын сәулелі антеннаның бағыты диаграммасында пайдаланушы саны максимумға жетеді және антенна сәулесін ауыстыру арқылы кедергілер бақыланады. Интеллектуалды антенналардың бұл бірегей қасиеті кедергілерді азайтуға және спектрлік тиімділікті арттыруға көмектеседі. Ауыстырылған адаптивті антенна торында талап етілетін пайдаланушы максимумға және кедергі нөлге тең болады.

5G желісінде миллиметрлік толқындағы радиожиіліктерді пайдаланудың негізгі себебі – олар төменгі жиіліктермен салыстырғанда тиімді зондтау арқылы пайдаланылмаған спектр жолақтарын пайдаланудың үлкен мүмкіндіктерін ұсынады. Сымсыз байланыстағы жоғары жиілік спектрді жақсы тануға және жиіліктің бөлінуіне әкеледі. Бұл технология гибриді сәулені қалыптастыруға мүмкіндік береді және лазер шамының өлшемімен сәулені шығарады. Сонымен қатар, бірнеше және қайта конфигурацияланатын поляризацияны және ең қолайлы көп пайдаланушы байланысын қамтамасыз етеді. Миллиметрлік толқын технологиясындағы ең перспективалы диапазондар 6 ГГц, 28-30 ГГц, 38-40 ГГц, лицензияланбаған диапазон 60 ГГц және E диапазоны 71-76 ГГц және 81-86 ГГц, олар 300 ГГц жиілік диапазонын қолдайды. Миллиметрлік толқын технологиясының негізгі проблемасы – таралу, бұл тасымалдаушы жиіліктің жоғарылауына байланысты байланыс жолының жоғалуына әкеледі. Сонымен қатар, шу қуатының әсері жоғары өткізу қабілеттілігін пайдаланудан туындайды. Жолдағы шығындар f_T тасымалдаушы жиілігіне қатты тәуелді, тасымалдаушы жиілігінің ұлғаюы антенна өлшемінің $\lambda^2/4\pi$ есе азаюына әкеледі, ал бос кеңістіктегі жолдағы шығындар f_c^2 есе артады. Демек, 30 ГГц-тен аз жиілікте қуат шығыны таратқыш пен қабылдағыш арасындағы қашықтықты ескермей, 20 дБ-ге көп болады. Сондықтан, 5G NR жүйесінде миллиметрлік толқындағы байланыс технологиясында жоғары жиілік диапазонын пайдалану ұсынылады. Бұғаттау миллиметрлік толқын технологиясындағы тағы бір мәселе болып табылады және таралу негізінен көру сызығы аймағында (Line of Sight, LOS) орын алады. Бұл мәселені таралу шығындарын өтеу үшін қосымша күшейтуді қамтамасыз ететін MIMO сәулесін қалыптастыру арқылы шешуге болады. Жеткілікті күшейтуді қамтамасыз ету үшін MIMO әлдеқайда үлкен масштабта жүзеге асырылуы керек. 5G NR технологиясы жылдам өзгертін арна жағдайларына тез бейімделуі керек. Қоршаған ортадағы кішігірім өзгерістерге байланысты арнадағы кедергілер бүкіл жүйенің жұмысын өзгерте алады. 5G ортасындағы миллиметрлік толқын технологиясы гетерогенді желілер (HetNets) деп аталатын тығыз желіні қажет етеді. 5G NR лицензияланған көмекші қол жетімділікті (licensed assisted access, LAA) және шағын ұяшықтарды орналастыруды қолдайды. Миллиметрлік толқын және MIMO базалық станциясын қолданатын гетерогенді желілер 2.4-суретте көрсетілген [2].



2.4-сурет – MIMO және миллиметрлік толқындағы байланыс технологияларын қолданатын 5G гетерогенді желілері

5G сымсыз технологиясы бұлтты миллиметрлік толқындар мен микротолқынды байланыс технологияларына негізделіп, біріктірілген байланыс желілерін тудырады. Гетерогенді желі 2.4-суретте көрсетілгендей жүйенің жаңа архитектурасын жасайды. Миллиметрлік толқындағы байланыс жүйесі шағын ұялы базалық станцияны пайдаланады және деректерді қысқа қашықтыққа жібереді. Шағын ұялы байланыстың базалық станциялары 1-2 км радиуста шам бағанының көлеміндей етіп орнатылады және деректерді тасымалдаушы жиілігі 3.5 ГГц құрайды. Екінші жағынан, үлкен MIMO бар макробазалық станциялар 28 ГГц және одан жоғары тасымалдаушы жиілікте бірнеше шақырым қашықтықта орнатылады. Бұл біріктірілген байланыс жүйелері қос байланыс деп аталады. Бөлу мәселесі екі рет қосылған кезде пайда болады және оны негізгі жолақты бұлт технологиясын пайдалану арқылы шешуге болады. Бұлтқа негізделген RAN (CRAN) пайдаланушы мен басқару жазықтығы арасындағы бөлуді қарастырады, осылайша 5G ұялы желілерінде икемділік пен тиімділікті қамтамасыз етеді. Басқару және пайдаланушы сигналдары түйіндер арқылы бағытталады және гетерогенді желілерде әртүрлілікті қамтамасыз ету үшін лицензияланған және лицензияланбаған спектрлік жолақтарды қарастырады. Бұлтқа негізделген гетерогенді желі технологиясында CP және UP екеуі де бұлтқа жіберіледі және

оларға микротолқынды байланыс базалық станцияларында қол жеткізіледі, содан кейін олар жеке бөлек процессорға жіберіледі. Гетерогенді желі қос байланысында спектр тиімділігі массивтік МІМО және жетілдірілген қабылдағышты пайдалану арқылы қол жеткізіледі. Спектрді миллиметрлік толқындағы байланыс пен ғаламдық желіні пайдалану арқылы кеңейтуге болады. Тұтастай алғанда, бұл перспективалы технология компьютерлік байланыс деп аталатын технологияны тудырады. Миллиметрлік толқындардағы байланыс жүйелерімен байланысты зерттеу міндеттері сигналды генерациялау және түсіру болып табылады. Миллиметрлік толқындардың жиілік диапазондарын таңдау, ультра кең өткізу қабілеттілігі, көп арналы, ағындық және деректерді сақтау, арна параметрлерін бағалауды өңдеу, калибрлеу және синхрондау, сондай-ақ миллиметрлік толқын байланысының кейбір артықшылықтары оны арнаның импульстік өнімділігін, байланыс жолының кідіріс профилін, AoA/AoD және Доплерлік ығысуды өлшеу үшін оңай пайдалануға болады. Пикоэлементтер, фемтоэлементтер және микроэлементтер (ұяшықтар) сияқты шағын ұяшықтарды пайдалану желінің өткізу қабілеттілігін, қамтуын және энергия тиімділігін арттырудың өте маңызды технологиясы болып табылады. Радиоресурстарды басқару гетерогенді желілерді енгізуде шешуші рөл атқарады.

5G желісіндегі гетерогенді желілер өткізу қабілеттілігін, тасымалдау қуатын арттыру және пайдаланушылар үшін қызмет көрсету сапасын (QoS) қамтамасыз ету мақсатында қолданылады. Миллиметрлік толқын және МІМО 5G гетерогенді желілеріндегі әртүрлі тапсырмаларды шеше алады. Таратқыш пен қабылдағышта МІМО антеннасын орнату желі сыйымдылығын арттырады. Миллиметрлік толқындардың жиілік диапазоны (30-300 ГГц) зондтау және тарату арқылы толық пайдаланылмаған спектрді пайдалануды қамтамасыз ете алады. Миллиметрлік толқындар өте қысқа толқын ұзындығына ие, ол шағын аумаққа көптеген антенна торларын орналастыруға мүмкіндік береді, бұл базалық станцияда және пайдаланушы терминалында МІМО жүзеге асыруға көмектеседі. Ол ішкі жоғары жылдамдықты сымсыз қосымшаны қолдай алатын сыртқы нүкте-нүкте магистралі ретінде әрекет ете алады. Сондықтан, миллиметрлік толқындағы байланыс технологиясы гетерогенді желілерді 5G-IoT жүйесінде орналастырудың негізгі технологиясы ретінде қарастырылады. 5G гетерогенді желілер жүйесіндегі жиілік диапазонын анықтау үшін реттеу мәселесі, IoT қолдану және жиілік диапазонының сипаттамалары сияқты бірнеше факторларды ескеру қажет. Бұл микротолқынды байланыстың (МІМО базалық станциясы) орналастырылуына әкеледі. Миллиметрлік толқын диапазонында (30-300 ГГц) жиілікті таңдау қолдану, сіңіру және бітелу сияқты факторларға байланысты. Осылайша, миллиметрлік толқындардың жиілік диапазоны кері байланыс желілерінде, ішкі және көру жолағындағы (LOS) қысқа қашықтықтағы байланыста тиімді болады. 2.4-суретте көрсетілген МІМО және миллиметрлік толқынды гетерогенді желілер архитектурасы толық дуплексті байланыс ретінде

де жобалануы мүмкін. Архитектура сонымен қатар базалық станцияларды талшықты-оптикалық немесе сымсыз кері байланыс арқылы үйлестірілген көп нүктелі байланысты (Coordinated Multipoint, CoMP) қолдайды. Сондай-ақ, 5G гетерогенді желілер ұяшықтарды виртуалдандыру тұжырымдамасымен енгізуге болады, мұнда виртуалды ұяшықты бұлтты радиоқабылдау желісі (CRAN) ретінде орналастыруға болатын желіге бағытталған немесе пайдаланушыға бағытталған деп анықтауға болады [2].

2.3.4 Архитектура деңгейі

5G-IoT жүйесінде бұлтты архитектураға көбірек басымдылық беріледі, өйткені бұлтты технология IoT жүйесіндегі ең кең таралған технология болып табылады. Сондай-ақ, ақпараттық технологиялар қызметтерімен байланысты және енгізілген жүйелерді бағдарламалауға дейін кеңейту мүмкіндігі бар. Компьютерлер, смартфондар, ноутбуктер және хост машиналары сияқты бұлтты архитектуралық құрылғылар бұлтқа орналастырылған. IoT жүйесіндегі бұлтты технологиялар – бұл барлық жерде қолданылатын қызметтерге арналған архитектура, оларды пайдаланушыларға минималды басқару кезінде үлкен тиімділікпен ұсынуға болады. IoT үлкен деректер көлемін қамтиды және оларды басқару бұлт арқылы жүзеге асырылады. Бұл серверлер, деректерді сақтау, кіру, пайдаланушы интерфейсі, аутентификация және қолданбалар сияқты қызметтер бұлтты Интернет арқылы қамтамасыз етілетін Интернет есептеулері. Әдетте, бұлтты есептеудің үш негізгі моделі бар, олар:

- Қызмет ретіндегі инфрақұрылым (IaaS)

Бұл модельде қызметтер сенсорлар, құрылғылар, серверлер, желі және жад сияқты физикалық құрылғыларды орнатуды қамтиды. Бұл модель серверді орнату, бағдарламалық қамтамасыз ету, техникалық қызмет көрсету және қорғалған құпиялылық сияқты кейбір маңызды талаптарды орындауды талап етеді.

- Қызмет ретіндегі платформа (PaaS)

Бұл модельде бұлт қолданбалы инфрақұрылымнан тұрады және қолданбаларды бұлтқа орналастыруға мүмкіндік береді. Қызметке аралық бағдарламалық жасақтама, мәлліметтер базасы және әзірлеу құралдары кіреді. Бұл модель бағдарламалық интерфейстері бар енгізілген жүйелерді жүзеге асырады. Жеткізушілер қолданбалар платформасын басқарады және әзірлеушілерге қуат тұтыну мен оның қолжетімділігін әзірлеуге және бақылауға арналған құралдарды ұсынады.

- Қызмет ретіндегі бағдарламалық жасақтама (SaaS)

Бұл модель пайдаланушының талаптарын орындауды қамтиды. Бұл модельде конфигурацияны тұтынушылар орындайды және пайдаланушы басқарады. Сондай-ақ, ол браузермен іске қосылған қолданбалы бағдарламалық

жасақтама құралын қамтиды. Бұл модель қолданбалы инфрақұрылымды қолдау, техникалық қызмет көрсетуді азайту және персоналға қойылатын талаптарды азайту сияқты бейінді (негізгі) емес функцияларға жауап береді.

Бұлтты IoT үш режимде орналастырылуы мүмкін: жалпыға ортақ бұлт, жеке бұлт және гибриді бұлт.

Жалпыға ортақ бұлтты пайдалану көпшілікке оңай қолжетімді болып келеді. Бұл қызметтер ұйымға, бұлттық қызмет провайдерлеріне және коммерциялық бизнес компанияларының кейбір комбинациясына тиесілі және солармен басқарылады. Бұл режим көп пайдаланушы ортасында жұмыс істейді және пайдаланушы ресурстарға сандық деңгейдің жоғарғы жағындағы абстракция деңгейі арқылы қол жеткізеді. Жалпыға ортақ бұлттардың көптеген артықшылықтары бар және олардың кейбіреулері төменде талқыланады.

Коммуналдық тарифтер: пайдаланушылар тұтынылатын ресурс үшін пайдаланушының талаптарына сәйкес көбейтіп немесе азайтып төлей алады. Бұл жағдайда бұлтқа қосылуға арналған жабдықты қоспағанда, есептеу шығындары болмайды және физикалық жабдық сатып алынбайды.

Икемділік: пайдаланушылар нақты уақыт режимінде трафиктің өсуіне жауап бере алады. Сондай-ақ, пайдаланушылар ең жоғары жүктемелерді өңдеу үшін ресурстарды динамикалық түрде ұлғайту немесе азайту үшін бағдарламалық шешімдерді конфигурациялай алады.

Негізгі құзыреттілік: деректер орталығы мен инфрақұрылымды басқару бұлттың басты артықшылығы болып табылады.

Жеке бұлт ұйымның корпоративтік ортасында орналастырылады және оны ұйымның өзі басқарады. Бұл режимде бұлтты орналастыруды кәсіпорын жасайды, бақылайды және орындайды. Ол бір ғана клиенттік ортада орналастырылады және басқа клиенттермен біріктірілмейді. Бұл реттеу мәселелерін азайтады. Бұл жалпыға ортақ бұлтты бөлісуге қарағанда қымбатырақ болғанымен, басқару жүйесі жалпыға ортақ бұлтпен салыстырғанда тиімдірек болып келеді.

Гибриді бұлт – бұл жалпыға ортақ және жеке бұлттардың қосындысы. Басқару жауапкершілігі екі модельге де бөлінеді.

IoT жүйесінде бұлтты технологияны пайдаланудың кейбір негізгі қиындықтары:

- бұлтқа ақпарат беру кезінде жүйенің істен шығу ықтималдығы;
- қолданбаны бұлтқа тасымалдау;
- бұлттық қауіпсіздік және оны жоспарлау туралы жалған ақпарат;
- таңдаулы және қолайлы жеткізушілерді таңдау;
- IoT нарығындағы бизнес мүмкіндіктері;
- тапсырыс берушінің талаптарын түсіну;
- орналастыру үнемді болуы керек.

IoT физикалық деңгейде тиімді өңдеуді оңтайландыру және IoT ортасында деректерді бөлісу үшін деректерді талдау шешімімен пайдалануға дайын және үлкен деректерді талдау арқылы цифрлық трансформацияны қамтамасыз етеді. Үлкен деректерден (Big Data) алынған ақпарат әртүрлі өнеркәсіптік IoT жүйесінде қолданылады. Үлкен деректердегі деректерді талдаудың IoT шеңберінде 4 негізгі артықшылығы бар, олар:

1) сипаттамалық аналитика: ол күрделі ақпаратты түрлендіру және есептер базасындағы сенсорлық деректерді визуализациялау үшін қолданылады;

2) диагностикалық аналитика: ол интенсивті деректерді іздеуді, деректерді өңдеуді және көп деңгейлі талдауды жүзеге асырады;

3) болжамды аналитика: ол ақаулық немесе тоқтап қалу қаупін азайту үшін жабдықтың немесе өнімнің технологиялық процесінде ауытқуларды болжауға мүмкіндік береді;

4) нұсқаулық аналитика: ол адамның араласуынсыз шешімдерді енгізуге мүмкіндік беретін машиналық оқыту арқылы процестерді оңтайландырады.

Үлкен деректерде деректер аналитикасын қолданудың тағы бір нұсқасы – нақты уақыт режимінде кез-келген жерде активтерді дұрыс бағалау, басқару және бақылау арқылы 360° форматындағы операцияларды қарау. Нақты уақыттағы автоматтандырылған мониторинг үлкен деректер аналитикасында SMS, электрондық пошта немесе ұялы қосымшаларды қамтитын автоматтандырылған бақылау алгоритмінің арқасында мүмкін болады. Үлкен деректер аналитикасы болашақ аппараттық ақауларды анықтауға және болжауға, активтерді пайдалануды жақсартуға және жабдықтың қуат тұтынуын бақылауға қабілетті жетілдірілген аналитикада қолданылады. Деректер аналитикасын қолданудың жетілдірілген нұсқасы технологиялық процесті талдау және алдын-ала басқару, ықтимал процестерді бақылау және анықтау, талдауларды қадағалау сияқты операцияларды пайдалану болып табылады.

Веб сенсор деректерді талдауға арналған қолданбалы бағдарламалық жасақтама құралын орнықтырады. Ол ағынды және жаппай тасымалдау арқылы ауқымды деректерді жүктеп салуды қолдауға қабілетті болуы керек. Деректер нақты уақыттағы желіде, тәуелсіз операциялық жүйеде және тәуелсіз бағдарламалау тілінде қолжетімді болуы керек, яғни пайдаланушылар Python, C#, C++ немесе Java сияқты деректерді импорттау үшін кез-келген бағдарламалық сценариймен деректерді жүктей алады. Веб-сервер IoT желісінде деректерді қауіпсіз тасымалдау және деректерді кибершабуылдар мен зақымданудан қорғау үшін HTTP пайдалануы керек. Бұл үлкен деректер аналитикасын орнату IoT жүйесінде масштабталуды, жоғары өнімділікті және деректер қауіпсіздігін қамтамасыз етеді [2].

2.3.5 Қолданбалы деңгей

5G-IoT қолданудың кең спектрін ұсынады. Болашақ ұрпақтың сымсыз технологияларында машиналар мен құрылғылар арасындағы байланыс адамның араласуынсыз жүзеге асырылады. Деректер жылдамдығының жоғарылауы, кідіріс және бірнеше құрылғыға қосылу сияқты технологияларды қарастыратын кең қолданбалы қосымшалар бар. 5G-IoT жүйесінің кейбір перспективалы қосымшалары 2.5-суретте көрсетілген.



2.5-сурет – 5G-IoT қосымшалары

Ақылды қалалар. Әлем әлемді тек бір сымсыз технологиямен жақындату үшін кез-келген жерде және кез-келген уақытта кез-келген нәрсеге қосылу мүмкіндігін іздейді. 5G және болашақ ұрпақтың ұялы байланыс технологиясы 2 Гбит/с дейінгі жылдамдықты қамтамасыз етеді, бұл құрылғылар арасындағы интеллектуалды байланыс пен жоғары жылдамдықты Интернет байланысын қамтамасыз ететін қолданыстағы технологиядан 10 есе көп. Болашақта «ақылды қала» қызметтер сапасын (QoS) қамтамасыз ету үшін қоғамдық ресурстарды тиімдірек пайдаланады. Ақылды қалалар – бұл ақылды үйлер, ақылды желі, ақылды көлік, қалдықтарды басқару, ақылды жарықтандыру және т.б. сияқты көп деңгейлі IoT қосымшалары және осы қосымшалардың барлығы ақылды қалаларды құру үшін біріктіріледі. Барлық IoT қосымшалары гетерогенді желілер деп аталатын бірыңғай байланыс желісінде сақталуы керек. 5G және болашақ ұрпақтың ақылды қаласында 24/7 сымсыз байланыс болады, сондай-ақ ақылды байланыс құралдары арқылы ұялы және Интернет пайдаланушыларының саны артады.

Ақылды үйлер. 5G-IoT жүйесінің тағы бір негізгі қолданбасы – «ақылды үйлер». 5G және болашақ ұрпақтың сымсыз технологиясы тұрмыстық техниканы бір-бірімен байланыстыруға мүмкіндік береді. 5G технологиясы адамның араласуынсыз машиналар мен құрылғылар арасындағы байланысты қамтамасыз етеді. Тоңазытқыш, кондиционер, теледидар және барлық электронды құрылғылар сияқты құралдар үздіксіз және тиімді жұмыс істеу үшін Интернетке қосылған. Болашақ үйлер ақылды терезелер және есіктермен салынады, олар Интернет қосылымымен және ақылды сенсорлар мен қашықтықтан басқару сияқты электронды жабдықтармен жұмыс істейді. Жалпы алғанда, 5G технологиясы үй ішінде жоғары жылдамдықты Интернет байланысын қамтамасыз етеді және әрбір құрылғы өзара әрекеттеседі, біз оны «ақылды үй» деп атаймыз.

Электронды денсаулық сақтау. Денсаулық сақтау саласы – бұл барынша назар аударуды қажет ететін тағы бір маңызды сектор. «Денсаулық – байлық» деген сөзді ескеретін болсақ, телемедицина денсаулық сақтау саласындағы жақсартуларды қамтамасыз ететін ең маңызды әрі танымал технология болып табылады. 5G сымсыз технологиясы денсаулық сақтау саласына 5G қалааралық байланысы арқылы ақылды болуға мүмкіндік береді. 5G телемедицина жүйесі шалғай аудандардағы пациенттерді тиімді бақылауды қамтамасыз етеді. ЭКГ, SpO_2 , температура және қысым сияқты пациенттің өмірлік көрсеткіштері шалғайдағы ауруханалардан 5G байланыс арнасы арқылы ірі ауруханаларға беріледі. Ірі ауруханалар жоғары деректер жылдамдығы мен жақсырақ Интернет байланысын қамтамасыз ететін заманауи электроникамен және сымсыз құралдармен жабдықталған. Ірі ауруханаларда пациенттің өмірлік маңызды көрсеткіштерін сәтті алғаннан кейін дәрігерлер диагноз қойып, нәтижелерін сол байланыс арнасы арқылы қайта жібереді. Сайып келгенде, 5G байланыстары толық дуплексті байланыс жүйесіне айналуы керек және емдеу ірі ауруханалар жіберген диагностикалық нәтижелерге сәйкес шалғайдағы ауруханаларда жүргізіледі. Болашақ электрондық денсаулық сақтау қызметтерінде ауруханалар әлемнің кез-келген бұрышында үздіксіз жұмыс істеу және бірінші дәрежелі медициналық қызметтерді ұсыну үшін ауруханалар, дәрігерлер, дәріханалар және әкімшілік арасындағы байланыспен жоғары жылдамдықты Интернет қосылымымен қамтамасыз етіледі.

Ақылды көліктер. Халық арасында ақылды көлік жүйелері (ITS) деп аталатын ақылды көлік 5G-IoT типтік қосымшаларының бірі болып табылады. Болашақ ақылды көлікті басқару, басқару жүйесі және байланыс желілері сенімді, тиімді және қауіпсіз көлік жүйелерін құру үшін біріктірілген. Болашақ көлік жүйелерінде әрбір ақылды көлік құралы интеллектуалды датчиктермен, көлік құралын бақылау және басқару үшін электронды басқару блогымен жабдықталған. Ақылды көліктер соқтығысудың алдын алу жүйелері (collision avoidance systems, CAS) мен автоматты тежеу жүйелерін (automatic brake system,

ABS) қамтамасыз ететін, тұман мен жаңбыр кезінде таралатын миллиметрлік толқын технологиясын пайдаланатын 5G радиолокаторын дамытады. Осы байланыс интерфейстерінің көмегімен радиолокациялық байланыс арқылы көлік құралының көлік құралына (vehicle to vehicle, V2V) және көлік құралының кез-келген затқа (vehicle to anything, V2X) байланысы жүзеге асырылады. Осылайша, IoT желілеріндегі әрбір көлік құралы жол қозғалысы жағдайы мен жол жағдайлары туралы ақпарат алмасу үшін ақылды көлік жүйелеріне қосылған. Бұл үлкен апаттардың алдын алады және жолаушыларға қауіпсіз сапарларды қамтамасыз етеді. Сондықтан да, ақылды көлікті енгізу үшін бұлтты C-RAN гетерогенді желілерінен тұратын 5G технологиясын қолдану керек.

Ақылды зауыттар. «Ақылды зауыт» – бұл IoT жүйесінің тағы бір маңызды қосымшасы. Бұл төртінші өнеркәсіптік революция ретінде тұжырымдалған және ол барлық қызмет цифрлық технологиялармен басқарылатынын көрсетеді. Ақылды зауыттарды құруға қойылатын кейбір талаптарға ақылды өндіріс, ақылды ғимараттар, ақылды көлік, ақылды машиналар және өнеркәсіптік роботтар жатады. Біз ақылды зауыттарды тек ақылды машиналармен және өндіріспен ғана емес, сонымен қатар қуатты аз тұтынатын желілік протоколдар, бағдарламалық жасақтама алгоритмі және өндіріс процесі арқылы өзара әрекеттесетін озық технологиялармен жабдықталған толық архитектурамен де байқай аламыз. 4.0 өнеркәсіптік революциясын енгізу компаниялар, үкімет және ғылыми ұйымдар арасындағы ынтымақтастық сияқты маңызды факторларды қажет етеді. Киберфизикалық жүйе (Cyber physical system, CPS) IoT индустриясын сәтті енгізудің кілті болып табылады. Ақылды зауыт – бұл үнемді бастама, өйткені ол жұмысшылар, техниктер және инженерлер сияқты адам ресурстарын азайтады. Ақылды зауыттар келесідей негізгі техникалық тенденцияларды талап етеді:

- озық сенсорлық технологиялар;
- жасанды интеллект;
- бұлтты робототехника;
- когнитивті роботты Интернет.

2.4 5G-IoT жүйесін іске асырудың математикалық моделі

5G-IoT жүйесі кез-келген уақытта субъект (IoT құрылғысы) пен жүйенің өзара әрекеттесуінің N -нен аспайтын активті сеанстарын қолдай алады деп болжайық. Жүйелік ресурстардың жалпы көлемі белгілі және R -ге тең. Соңғы IoT құрылғысынан базалық станцияның алдыңғы интерфейсіне әрбір кіріс сұрауында r , $0 \leq r \leq R$ тең жүйелік ресурстардың кездейсоқ мөлшерін бөлу қажеттілігі бар қызметтік сигнал бар делік. Егер кіріс сұрауы кезінде 5G-IoT жүйесіндегі субъектінің жүйемен өзара әрекеттесуінің активті сеанстарының саны N -нен аз

болса және кіріс сұрауы үшін $r \leq R$ теңсіздігі орындалса, онда кіріс сұрауы қабылданады және субъектінің жүйемен өзара әрекеттесуінің жаңа сеансы басталады. Әйтпесе, кіріс сұрауы қабылданбайды және жоғалады. Жоғарыда келтірілген тұжырымдаманы $N < \infty$ арналары және $R < \infty$ қолжетімді ресурстары бар жаппай қызмет көрсету жүйесі ретінде қабылдайық. Бұл жүйенің кірісіне қарқындылығы λ болатын кіріс ақпараттық сұрауларының Пуассондық ағыны жіберіледі.

Керісінше, алынған кіріс сұрауларының өмірлік циклі μ параметрі бар экспоненциалды заңмен сипатталады. $r_i \geq 0$ бөлу қажеттілігімен i -ші сұраныстың жаппай қызмет көрсету жүйесіне кіру жағдайы p_{r_i} ықтималдығымен сипатталады. i -ші кіріс сұрауын алған кезде зерттелетін жүйе $r_\Sigma = \sum_{j=1}^k r_j$ жібереді делік, ал $k < N$ бұрын алынған кіріс сұрауларын қолдау үшін жүйелік ресурстар болып табылады. Содан кейін, егер $r_i \leq R - r_\Sigma$ болса, онда i -ші кіріс сұрауы қабылданады, ал керісінше болған жағдайда қабылданбайды [11]. Алынған әрбір сұраныс субъект пен жүйенің өзара әрекеттесу сеансын бастау кезінде бөлінген жүйелік ресурстардың көлемі сәйкес соңғы IoT құрылғысын қанағаттандыруды тоқтататын сәтті сипаттайтын γ қарқындылығы бар қызметтік сигналдардың Пуассондық ағынын тудырады. Бұл жағдайда субъект пен жүйенің өзара әрекеттесуінің активті сеанстарын қолдау үшін бөлінген жүйелік ресурстардың мөлшері қайта анықталуы керек.

2.4.1 5G-IoT жүйесінде бірінші функционалды сценарийді іске асырудың математикалық моделі

$t > 0$ уақытында 5G-IoT жүйесінің базалық станциясының ақпараттық ортасы субъект-жүйенің өзара әрекеттесу $\varepsilon(t)$ сеанстарын қолдайды деп есептейік, олардың әрқайсысы $\eta_1(t), \dots, \eta_{\varepsilon(t)}(t)$ тұтынады, мұндағы $\eta(t)$ – жүйелік ресурстар. Бұл жағдайда келесі функционалды тәуелділік 5G-IoT жүйесінің жұмыс істеу процесі ретінде сипатталады: $X(t) = (\varepsilon(t); \eta_1(t), \dots, \eta_{\varepsilon(t)}(t))$. Құрылған модельдің параметрлік кеңістігінің өлшемін азайту үшін стохастикалық процесте $X(t)$ жүйелік ресурстарды мақсатты бөлу функцияларының жиынтығын t уақытындағы пайдаланылатын жүйелік ресурстардың жалпы көлемінің операциясымен алмастырамыз: $\delta(t) = \sum_{i=1}^{\varepsilon(t)} \eta_i(t)$. Әрі қарай, $X(t) = (\varepsilon(t), \delta(t))$ түріндегі стохастикалық процесті зерттейміз.

Бірінші жуықтауда $X(t)$ стохастикалық процесінің динамикасын сипаттаймыз. 5G-IoT жүйесі белгілі бір уақытта тұрақты күйде (k, r) делік, мұндағы $k < N$ – субъект пен жүйенің өзара әрекеттесуінің активті сеанстарының саны, ал $r < R$ – оларға жұмсалған жүйелік ресурстардың саны.

p_j ықтималдығымен базалық станцияның интерфейсіне j жүйелік ресурстарды бөлу қажеттілігі бар кіріс сұранысын алуы мүмкін. Егер $j \leq R - r$ теңсіздігі орындалса, онда кіріс сұраныс қабылданады, ал егер орындалмаса, ол жоғалады.

Ресурстар жүйеге қызмет көрсетуге қатысатын субъект пен жүйенің өзара әрекеттесуінің активті сеансының соңында шығарылады. Алайда, зерттелетін стохастикалық процестің құрылымында $X(t)$ қолданылатын жүйелік ресурстардың саны $\delta(t)$ интегралды функциясымен сипатталады, сондықтан белгілі бір субъект пен жүйенің өзара әрекеттесу сеансы аяқталған кезде жүйелік ресурстардың қанша мөлшері бөлінетінін анықтау мүмкін емес. Осылайша субъект пен жүйенің өзара әрекеттесу сеансының аяқталуы i шығарылады деп

болжаймыз, жүйелік ресурстар ықтималдығы тең болады: $\frac{p_i \cdot p_{r-i}^{k-1}}{p_r^{(k)}}$, мұндағы

$p_r^{(k)}$ дегеніміз – $\{p_i\} i \geq 0$ таралуының k көптік үлестірімінің еселігі. $p_r^{(k)}$ мәні аяқталған субъект пен жүйе өзара әрекеттесу сеансының i пайдалану

ықтималдығын сипаттайды. Кіріс сұранысын алған кезде субъектінің $\frac{p_i \cdot p_{r-i}^{k-1}}{p_r^{(k)}}$

ықтималдығы бар жүйемен өзара әрекеттесуінің активті сеанстарының бірі аяқталады және i шығарады. $p_j / \sum_{s=0}^{R-r+i} p_s$ ықтималдығымен j жүйелік ресурстары өзара байланысты болып келеді. Бірақ, бұл кіріс сұранысының қабылдануына кепілдік бермейді. Өйткені, субъект пен жүйенің активті өзара әрекеттесу сеанстарын қолдау басымдырақ болып келеді.

Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, 5G-IoT жүйесінің кеңістігі $\tilde{X} = \cup_{k=0}^N \tilde{X}_k$ жиынымен сипатталады, мұндағы $\tilde{X}_k = \{(k, r): 0 \leq r \leq R, p_r^{(k)} > 0\}$.

Пайдаланылған жүйелік ресурстардың көлемі ұлғайған сайын $\{\tilde{X}_k\}$ жиынының элементтерін реттейміз және реттелген $\{\tilde{X}_k\}$ жиынындағы күй реттік нөміріне (k, r) тең $I(k, r)$ индекс функциясын енгіземіз.

$\tilde{X}(t)$ стохастикалық процестің $A = [a((i, j), (k, r))]$ ауысу қарқындылықтарының матрицасы $\psi_0, \psi_1, \dots, \psi_N$ диагональды блоктары бар үш диагональды матрица болып табылады, диагональды блоктардың үстінде $\Lambda_1, \dots, \Lambda_N$ және $M_0, M_1, \dots, M_N$ ішкі диагональ блоктары, $\{\psi_n\} \forall_n = \overline{1, N}, \{\Lambda_n\} \forall_n = \overline{1, N}, \{M_n\} \forall_n = \overline{1, N}$ элементтері бар. Олар тепе-теңдік теңдеулер жүйесі ретінде ұсынылған кезде, олардың шешімі стационарлық ықтималдықтар болып табылады. Стационарлық ықтималдықтар мына формуламен анықталады:

$$\begin{aligned} q_0 &= \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\varepsilon(t) = 0\}, \\ q_k(r) &= \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\varepsilon(t) = k, \delta(t) = r\}, \\ &\quad (k, r) \in \tilde{X}_k \end{aligned} \quad (2.3)$$

Стационарлық ықтималдықтардың (2.3) сандық мәндерін тепе-теңдік теңдеулер жүйесінің LU-ыдырауы көмегімен есептеуге болады, ол үшін соңғы теңдеуді матрицалық түрде береміз:

$$\begin{aligned} q^T \cdot A &= 0^T, \\ q^T \cdot I &= 1 \end{aligned} \quad (2.4)$$

мұндағы I — сәйкес өлшемнің бірлік матрицасы [11].

2.4.2 5G-IoT жүйесінде екінші функционалды сценарийді іске асырудың математикалық моделі

Белгілі бір уақытта барлық соңғы IoT құрылғылары базалық станцияға қатысты синхронды қозғалысты жүзеге асырады деп болжайтын 5G-IoT жүйесінде екінші функционалды сценарий іске асырылған жағдайда $X(t)$ стохастикалық процесін зерттейік. Оқиғалардың мұндай дамуы зерттелетін жүйенің ақпараттық ортасындағы субъект пен жүйенің өзара әрекеттесуінің барлық активті сеанстарына бір мезгілде әсер етеді, бұл олардың әрқайсысын қолдау үшін пайдаланылатын жүйелік ресурстардың мөлшерін қайта анықтау қажеттілігін тудырады. Субъект пен жүйенің активті өзара әрекеттесу сеанстарының мерзімінен бұрын аяқталуын болдырмау үшін қайта анықтауды жүзеге асыру қажет екенін ескеру керек.

2.4.1 бөлімде ұсынылған 5G-IoT жүйесіндегі бірінші функционалды сценарийді жүзеге асырудың математикалық моделін негізге алайық. Біз оны белгілі бір уақытта базалық станцияның сыртқы интерфейсі γ қарқындылығымен қызметтік сигналдардың Пуассондық ағынын қабылдайды деп болжай отырып жасадық. Оны алу жүйелік ресурстарды субъект пен жүйенің өзара әрекеттесуінің барлық активті сеанстары арасында қайта бөлу сценарийін бастайды. Бұл процесті $X^*(t) = (\varepsilon(t), \delta(t))$ деп белгілейік, мұндағы $\varepsilon(t)$ — t уақытындағы 5G-IoT жүйелеріндегі субъект пен жүйенің өзара әрекеттесуінің активті сеанстарының саны, оларды қолдау үшін жалпы $\delta(t)$ жүйелік ресурстары қатысады.

$X^*(t)$ стохастикалық процесінің кеңістік күйі $\tilde{X}(t)$ стохастикалық процесі үшін 2.4.1 бөлімде көрсетілгенмен бірдей. Жаңа кіріс сұрауларына қызмет көрсету және $X^*(t)$ мен $\tilde{X}(t)$ стохастикалық процестеріндегі субъект пен жүйенің активті өзара әрекеттесу сеанстарын аяқтау да ұқсас. Бұл стохастикалық процестердің арасындағы айырмашылық қабылданған кіріс сұрауларға арналған қызметтік сигналдардың Пуассондық ағыны γ қарқынды болған кезде пайда болады. Осы уақытта 5G-IoT жүйесінде $p_r^{(k)} / \sum_{i=0}^R p_i^{(k)}$ ықтималдығы бар (k, j) күйінен (k, r) күйіне ауысу орын алады. Бұл оқиға $X^*(t)$ стохастикалық

процестің тепе-теңдік теңдеулер жүйесінде сәйкесінше көрсетіледі, оның шешімі стационарлық ықтималдықтар болып табылады:

$$\begin{aligned} q_0^* &= \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\varepsilon(t) = 0\}, \\ q_k^*(r) &= \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\varepsilon(t) = k, \delta(t) = r\}, \\ (k, r) &\in \widetilde{X}_k \end{aligned} \quad (2.5)$$

Егер (2.5) өрнекті тепе-теңдік теңдеулер жүйесіне ауыстырсақ, онда аналитикалық түрлендірулер тізбегінен кейін мынаны аламыз:

$$q_0^* = \frac{1}{G(N, R)}, \quad q_k^*(r) = q_0 \cdot p^k \cdot p_r^{(k)} \cdot \frac{1}{k!} \quad (2.6)$$

мұндағы $G(N, R) = \sum_{k=0}^N \sum_{r=0}^R p^k \cdot p_r^{(k)} \cdot \frac{1}{k!}$ – қалыпқа келтіру тұрақтысы [11].

(2.6) өрнек 5G-IoT жүйелеріндегі екінші функционалды сценарийдің орындалуын сипаттайтын жаппай қызмет көрсету жүйесінің стационарлық ықтималдығы γ қарқындылығына тәуелді емес екенін көрсетеді. Бұл $X^*(t)$ стохастикалық процестің бірінші кезекте алынған кіріс сұрауларын қолдауға бағытталғанын дәлелдейді.

2.4.3 5G-IoT жүйесін іске асыруда алынған математикалық модельдің нәтижелері

2.4.1 бөлімде ұсынылған математикалық модель негізінде 5G-IoT жүйесінде бірінші функционалды сценарийдің орындалуын қарастырайық. Тепе-теңдік теңдеулер жүйесін шешу арқылы стационарлық ықтималдықтарды (2.3) табамыз. Белгілі стационарлық ықтималдықтар (2.3) үшін 5G-IoT жүйесінде бірінші функционалды сценарийді іске асыру процесі үшін кіріс сұрауларының жоғалу ықтималдығы B және пайдаланылған жүйелік ресурстардың орташа көлемін жоғалту ықтималдығы b келесідей анықталады [11]:

$$B_1 = 1 - \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{r: (k,r) \in \widetilde{X}_k} q_k(r) \sum_{j=0}^{R-r} p_j, \quad (2.7)$$

$$b_1 = 1 - \sum_{k=0}^N \sum_{r: (k,r) \in \widetilde{X}_k} r q_k(r) \quad (2.8)$$

Осы сияқты 2.4.2 бөлімде ұсынылған математикалық модель негізінде 5G-IoT жүйесінде екінші функционалды сценарийді іске асыру процесін де қарастырайық:

$$B_2 = 1 - \frac{1}{G(N, R)} \sum_{j=0}^R p_j G(N, R - j), \quad (2.9)$$

$$b_2 = \frac{1}{G(N, R)} \sum_{j=1}^R p_j G(N, R - j) \quad (2.10)$$

5G-IoT жүйесіндегі ағымдағы трафикті талдау негізінде әрі қарай базалық станцияның жаңа кіріс сұрауын қабылдау ықтималдығы Геометриялық $GEM(p)$ немесе Биномдық $BIN(r, p)$ үлестірім заңдарына сәйкес бөлінеді деп болжаймыз.

$\psi, \Lambda, M \in A$ матрицалық элементтерді есептеу үшін (2.3) тепе-теңдік теңдеулер жүйесін шешу қажет, ол үшін k кіріс сұрауларын алу ықтималдығын сипаттайтын $p_r^{(k)}$ барлық k еселік конволюцияларын анықтаймыз. $p_r^{(k)}$ конволюциясын таралу заңының түріне байланысты аналитикалық түрде өрнектермен сипаттайтын боламыз [11]:

1) Биномдық үлестіру заңы үшін: $p_j^{(k)} = \binom{kr}{j} p^j \cdot (1 - p)^{kr-j}$;

2) Геометриялық үлестіру заңы үшін: $p_j^{(k)} = \binom{k+j-1}{k} p^j \cdot (1 - p)^k$.

Тәжірибе жағдайында қолданылған формулалардағы есептеулер бойынша, 5G-IoT жүйесінің базалық станциясы барлық жүйелік ресурстардың 100 %-на дейін қолдау үшін $N = 1000, R = 100$ қатысатын 1000 субъект пен жүйенің өзара әрекеттесу сеанстарына бір уақытта қызмет ете алады. Субъект пен жүйенің өзара әрекеттесу сеансының орташа ұзақтығы $\mu = 60$ с, ал базалық станцияның интерфейсіне келіп түсетін сұраулардың орташа саны 16 болды.

3 Matlab & Simulink бағдарламасында 5G-IoT жүйесін математикалық модельдеу

Бұл бөлімде Matlab & Simulink бағдарламасы негізінде алынған 5G-IoT жүйесіндегі субъектілер жиынтығы (IoT құрылғылары) мен базалық станциялар арасындағы ақпараттық өзара әрекеттесу процесінің математикалық модельдеуі ұсынылды. Зерттелетін процесс жүйелік ресурстардың қажетті көлеміне қажеттіліктері бар жаңа кіріс сұрауларының ағыны және қабылданған кіріс сұрауларына бөлінген жүйелік ресурстардың көлемін қайта анықтауға бастайтын қызметтік сигналдар ағыны бар жаппай қызмет көрсету жүйесімен қамтамасыз етілген. Құрылған жаппай қызмет көрсету жүйесіндегі басқарылатын параметр жаңа кіріс сұрауларын қабылдау немесе қабылдамау болып табылады.

3.1 LTE кедергісі бар 5G NR радиожилік қабылдағышын модельдеу

Бұл модельдеу 5G NR сигналдарын қабылдаған кезде LTE сигналдары тудыратын кедергілердің әсерін сипаттайды. Модельдеу кезінде негізгі жолақты сигналдар 5G Toolbox™ және LTE Toolbox™ көмегімен жасалды, ал РЖ (радиожилік) қабылдағышы RF Blockset™ көмегімен модельденді. Кедергілердің әсерін бағалау үшін мына өлшемдер қолданылады:

- қате векторының шамасы (error vector magnitude, EVM): идеалды (берілетін) сигнал мен өлшенген (қабылданған) сигнал арасындағы белгілі бір уақыттағы векторлардың айырмашылығы. В қосымшасы және С қосымшасы TS 38.104 сәйкесінше FR1 және FR2-де EVM есептеудің балама әдісін анықтайды;

- көршілес арнаның ағып кету коэффициенті (adjacent channel leakage ratio, ACLR): көршілес арналарға ағып жатқан қуат мөлшерінің өлшемі. Ол тағайындалған арнаның жиілігіне бағытталған фильтрленген орташа қуаттың көрші арнаның жиілігіне бағытталған фильтрленген орташа қуатына қатынасы ретінде анықталады;

- өткізгіштік: белгіленген арна жиілігінде орталықтандырылған жалпы интеграцияланған сигнал қуатының 99% қамтитын өткізу қабілеттілігі;

- арна қуаты: берілген арна жиілігінде орталығы бар фильтрленген орташа қуат.

Фазалық шу және күшейткіштің сызықтық емес болуы сияқты қабылдағыштың РЖ нашарлауының әсері де ескеріледі. Мысалы, ішкі кадрға негізделген және осы қадамдарды орындау үшін Simulink моделін қолданады:

- 5G Toolbox функциялары арқылы негізгі жиілік диапазонының NR толқын пішінін жасаймыз;

- LTE Toolbox функциялары арқылы негізгі жиілік диапазонының (кедергі) LTE толқын пішінін жасаймыз;

- Sample-Rate Match блогын пайдаланып екі сигналдың іріктеу жиілігін салыстырамыз;
- Спектрлік қайта өсуді түсіру үшін FIR Interpolation блогын пайдаланып 4 немесе 5 коэффициентімен толқын пішіндерін қайта таңдаймыз;
- Негізгі жиілік диапазонының сигналдарын RF Blockset блоктары арқылы жүзеге асырылатын RF Receiver Subsystem блогына импорттаймыз. Модель RF Blockset-те негізгі жиілік диапазоны туралы ақпаратты тасымалдайтын әрбір толқын пішіні үшін РЖ жиілігін қамтамасыз етеді;
- RF Receiver Subsystem блогын пайдаланып NR сигнал жиілігін аралық жиілікке төмендету арқылы түрлендіру әсерлерін модельдейміз. Бұл блок RF Blockset блоктарын қолдана отырып, РЖ қабылдағышымен енгізілген бұрмалануларды модельдейді;
- ACLR/ACPR өткізу қабілеттілігін және арна қуатын Spectrum Analyzer блогымен есептейміз;
- FIR Interpolation блогы жасаған күшейтетін іріктеуді өтеу үшін FIR Decimation блогын пайдаланып NR толқын пішінінің үлгісін төмендетеміз;
- Sample-Rate Match блогы жасаған кез-келген күшейтетін іріктеуді өтеу үшін FIR Rate Conversion блогын пайдаланып NR толқын пішінін іріктеуді төмендетеміз;
- Деректер таңбаларын шығарып, EVM-ді негізгі жолақ сигналын демодуляциялау арқылы өлшейміз.

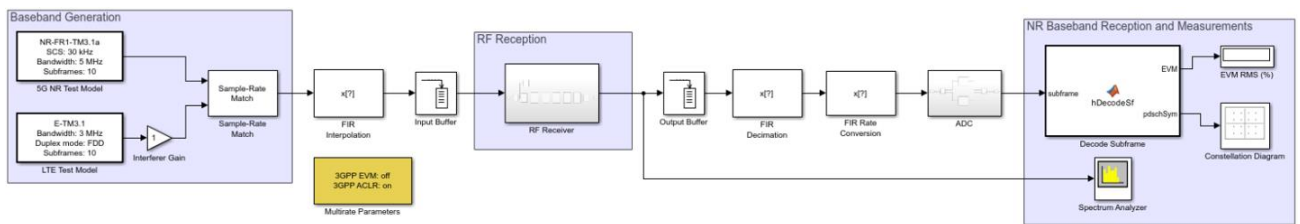
Simulink моделі 5G Toolbox, LTE Toolbox және DSP System Toolbox™ мүмкіндіктерін негізгі жиілік диапазонының сигналдарын өңдеу үшін пайдаланады (1 – 4 және 7 – 10 қадамдар) және РЖ қабылдағышын модельдеу үшін RF Blockset блоктарын пайдаланады (5 және 6 қадамдар). Бұл модель Normal және Accelerator модельдеу режимдерін қолдайды.

Simulink моделінің құрылымы үш негізгі бөліктен тұрады:

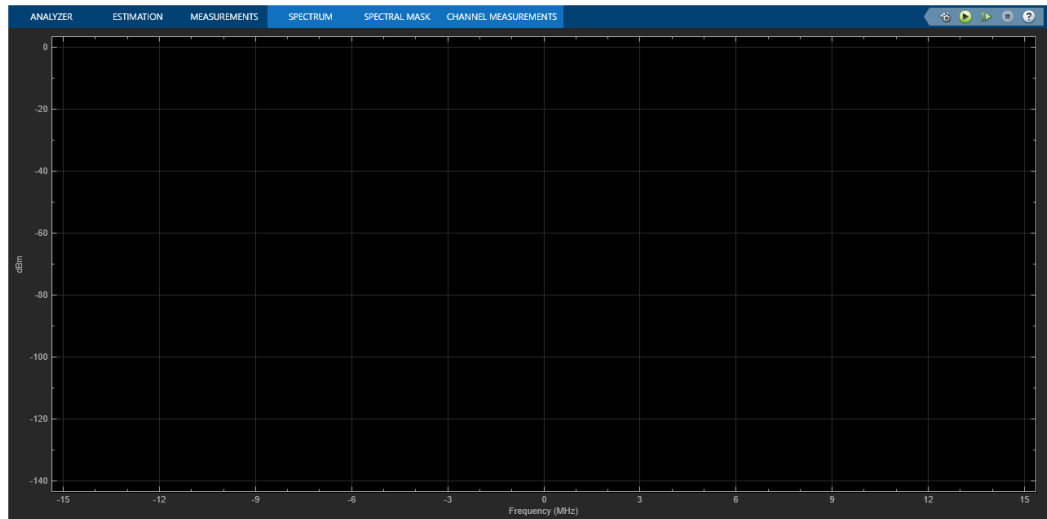
- 1) негізгі жиілік диапазонын құру: NR және LTE негізгі жиілік диапазонының сигналдарын жасайды;
- 2) РЖ қабылдау: РЖ аймағындағы сигналдардың екі түрін біріктірудің және NR сигнал жиілігін аралық жиілікке дейін төмендету арқылы түрлендірудің әсерін модельдейді;
- 3) NR негізгі жиілік диапазонын қабылдау және өлшеу: РЖ өлшемдерін орындайды және NR негізгі жиілік диапазонының сигналын демодуляциялау арқылы EVM есептейді.

Төменде 3.1-суретте LTE кедергісі бар 5G NR радиожіілік қабылдағышын модельдеу сұлбасы келтірілген. Бұл жерде

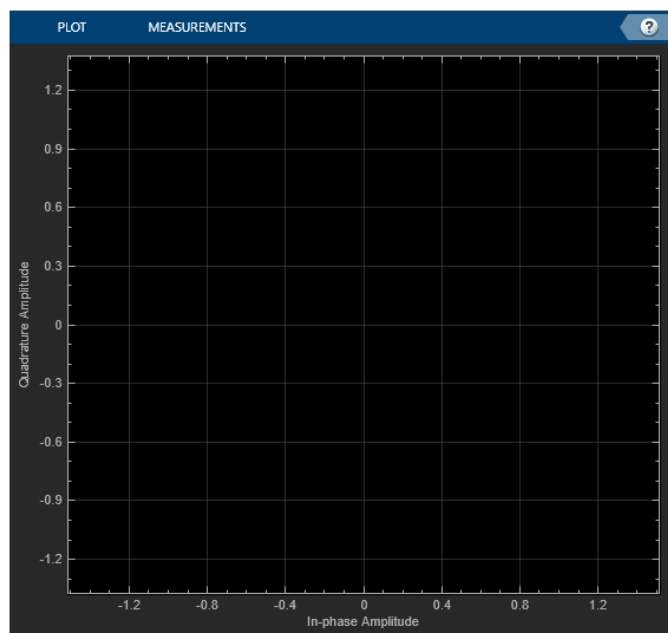
- кіріс сигналы: NR тестілеу моделі;
- кедергі көзі: LTE тестілеу моделі;
- тестілеу: EVM, ACLR, бос өткізу қабілеттілігі және арна қуаты.



3.1-сурет – LTE кедергісі бар 5G NR радиожилік қабылдағышын модельдеу сұлбасы



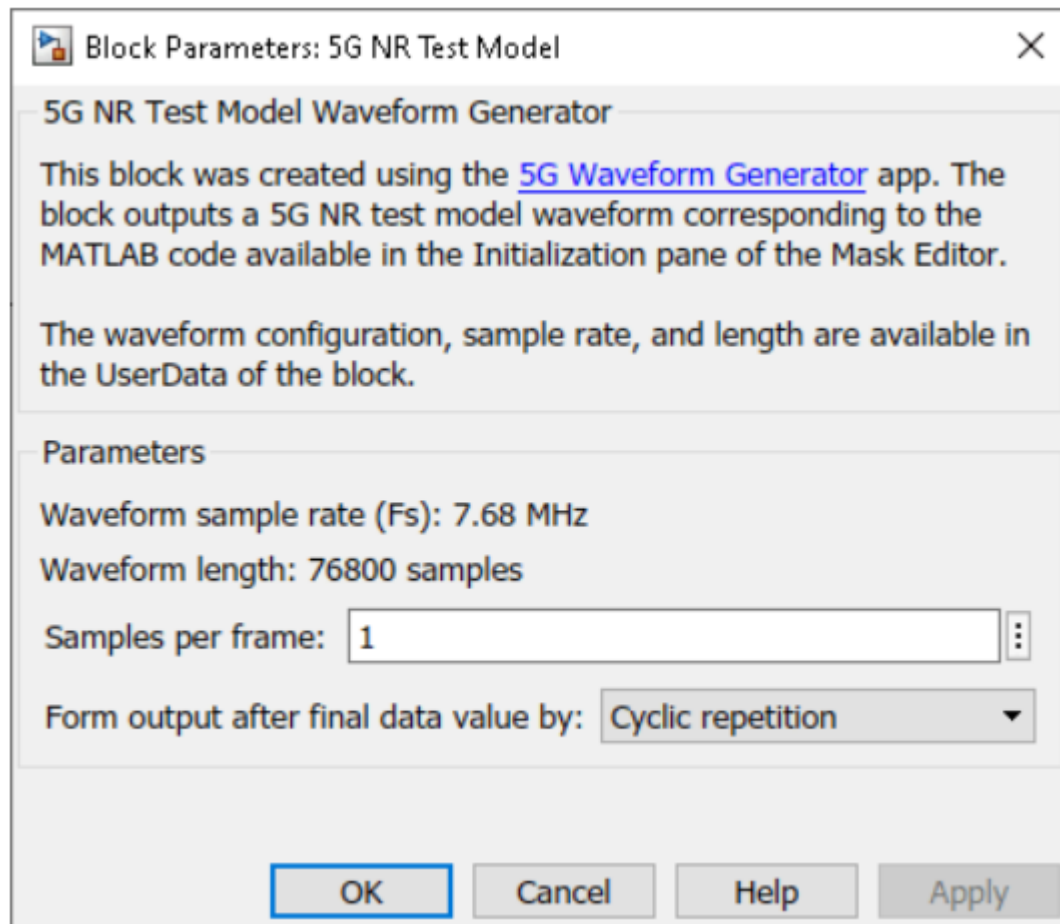
3.2-сурет – 5G NR үшін негізгі жиілік диапазонын құру



3.3-сурет – LTE үшін негізгі жиілік диапазонын құру

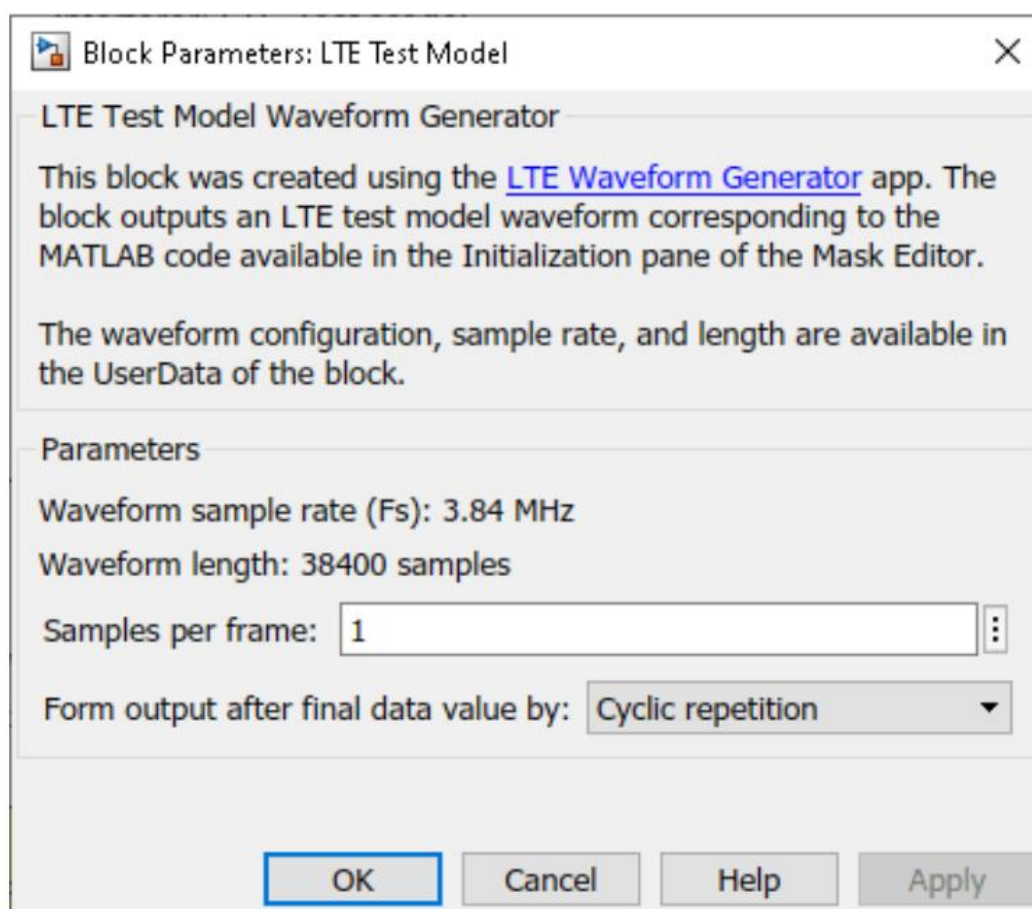
Негізгі жиілік диапазонын құру

5G NR тестілеу моделінің блогы TS 38.141-1-де көрсетілгендей 1 (FR1) ішінара диапазоны үшін стандартты 5G NR 3.1 (NR-TM3.1) тестілеу моделінің стандартты нұсқасы болып табылады. Бұл блок 5G сигнал генераторы арқылы жасалады. Таңдамалы блок деректерінде сигнал конфигурациясының параметрлеріне қол жеткізуге болады. Бұл жұмыста InitFcn құрылымды сақтау үшін модельді кері шақыруда, қол жетімді пайдаланушы деректерінде негізгі жұмыс кеңістігінің айнымалысында қолданылады. 5G NR тестілеу моделінің блок параметрлері 3.4-суретте көрсетілген.



3.4-сурет – 5G NR тестілеу моделінің блок параметрлері

Осы сияқты LTE тестілеу моделінің блогы TS 36.141-де анықталғандай LTE тестілеу моделі 3.1 (E-TM3.1) стандартына сәйкес келетін сигнал пішінін жібереді. Бұл блок LTE Waveform Generator (LTE Toolbox) қосымшасы арқылы жасалады. LTE тестілеу моделінің блок параметрлері 3.5-суретте көрсетілген.



3.5-сурет – LTE тестілеу моделінің блок параметрлері

Кедергі көзін күшейту блогы LTE кедергі деңгейін басқарады. Бұл кірісті 0-ге орнату арқылы кедергілерді өшіруге болады.

Іріктеу жиілігін сәйкестендіру блогы басқа сигналдың іріктеу жиілігіне сәйкес келу үшін төменгі іріктеу жиілігімен сигналдың іріктеу жиілігін арттырады. РЖ қабылдағышының блогында сигналдарды біріктіру кезінде сигналдардың іріктеу жиілігі бірдей болуы керек. Іріктеу жиілігін сәйкестендіру блогы сонымен қатар сигналдың екі формасын көлденеңінен біріктіреді.

Спектрді қалпына келтіруді бекіту үшін FIR Interpolation блогы сигналдың екі түрін де іріктеп, фильтрлейді. Multirate параметрлері блогы FIR Interpolation және Decimation блоктарының параметрлерін реттеуге арналған интерфейсін ұсынады. Multirate параметрлері блогы 3.6-суретте көрсетілген.

Block Parameters: Multirate Parameters

Multirate Parameters

Parameters to configure the FIR Interpolation and Decimation blocks. These blocks resample and filter the waveform to allow you to see the effect of the high power amplifier on the out of band spectral emissions. If the 3GPP ACLR measurement is enabled, then the oversampling factor is calculated during run time according to the 3GPP specifications.

Common Parameters

☒ Perform 3GPP ACLR measurement

Oversampling factor calculated during run time.

FIR Interpolation Parameters

Filter order: 45

Maximum passband error: 5e-3

Maximum stopband error: 1e-4

FIR Decimation Parameters

Filter order: 45

Maximum passband error: 5e-3

Minimum passband error: 1e-4

OK Cancel Help Apply

3.6-сурет – Multirate параметрлері блогы

Multirate параметрлері блогы сонымен қатар, 3GPP TS 38.141-1 ACLR тестілеуін қосуға немесе өшіруге мүмкіндік береді. Спектрді қалпына келтіруді визуализациялау үшін ACLR тестілеуі сигнал пішінін қайта таңдайды. Егер Multirate параметрлері блогындағы ACLR Perform 3GPP өлшеу параметрі

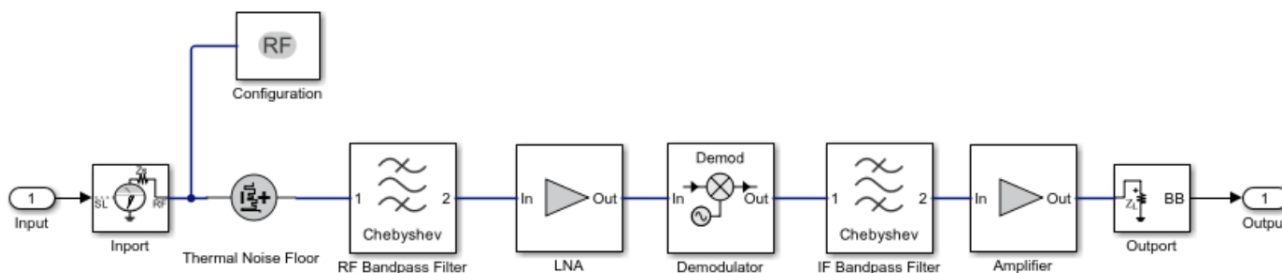
қосылса, қайта іріктеу коэффициенті сигнал пішінінің конфигурациясына байланысты болады және жасалған сигнал бірінші және екінші іргелес арналарды көрсете алатындай етіп орнатылады. Қайта іріктеу коэффициентін көрсету үшін 3GPP ACLR тестілеуін өшіру керек. Параметр қайта іріктеу коэффициенті FIR Interpolation блогындағы интерполяция коэффициентін және FIR Decimation блогындағы жұқару коэффициентін анықтайды.

Радиожиилікті қабылдау

РЖ қабылдағыштың ішкі жүйесі супергетеродинді қабылдағыштың архитектурасына негізделген. Бұл архитектура осы радиожиилік компоненттерін сипаттай отырып, NR сигналының аралық жииілікке төмен түрленуінің әсерін модельдейді:

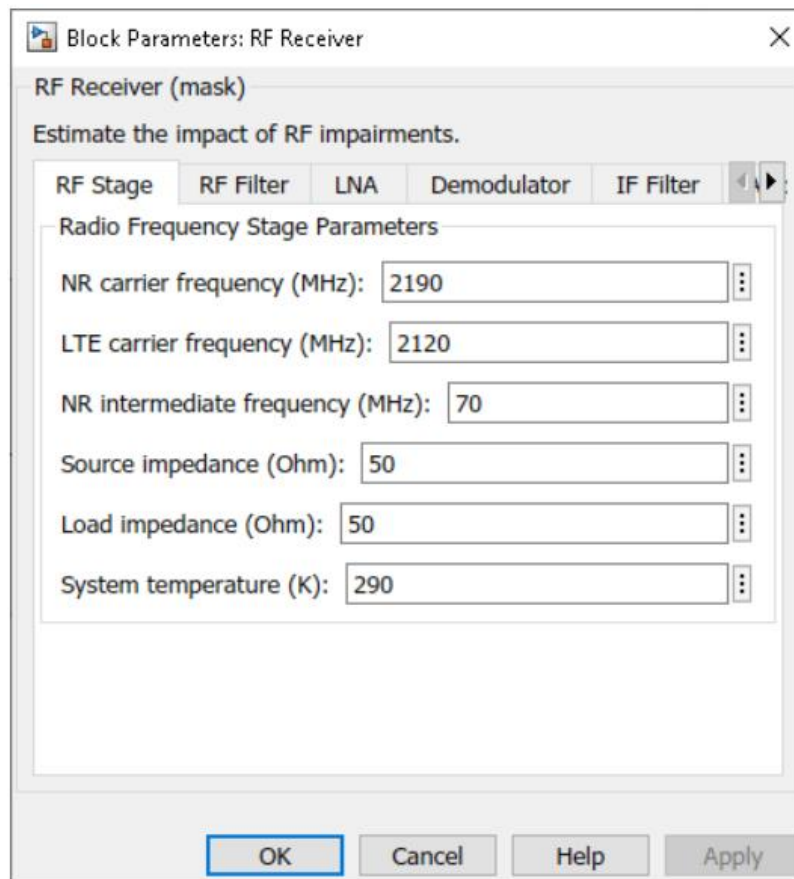
- жолақты сүзгілер;
- төмен шу күшейткіштері;
- араластырғыштардан, фазалық ауыстырғыштан және гетеродиннен тұратын демодулятор.

3.7-суретте РЖ супергетеродинді қабылдағышының сұлбасы келтірілген. Бұл архитектура толқын пішінін 70 МГц аралық жииілікке түрлендіреді және сигналды жазбас бұрын РЖ фильтрін және күшейткішті қолданады.



3.7-сурет – РЖ супергетеродинді қабылдағышының сұлбасы

Радиожиилік қабылдағышының ішкі жүйесінің блогына бір уақытта бір модельді жіберу үшін кіріс буферінің блогын пайдаланамыз. РЖ қабылдағышының ішкі жүйесі блогының ішіндегі енгізу блогы негізгі жииілік диапазонындағы Simulink кешенді сигналдарының екі біріктірілген формасын радиожиилік блоктары жиынтығының конверттік сұлбасын модельдеу ортасына түрлендіреді. Inport тасымалдаушы блогының жииілік параметрі RF Blockset доменіндегі тасымалдаушылардың орталық жииілігін анықтайды. Outport блогы радиожиилік жиынтығының сигналдарын Simulink кешенді базалық жолағына қайта түрлендіреді. Радиожиилік қабылдағышының ішкі жүйесінің блок маскасын пайдаланып, радиожиилік қабылдағышының компоненттерін реттеуге болады. РЖ қабылдағышының блок параметрлері 3.8-суретте көрсетілген.



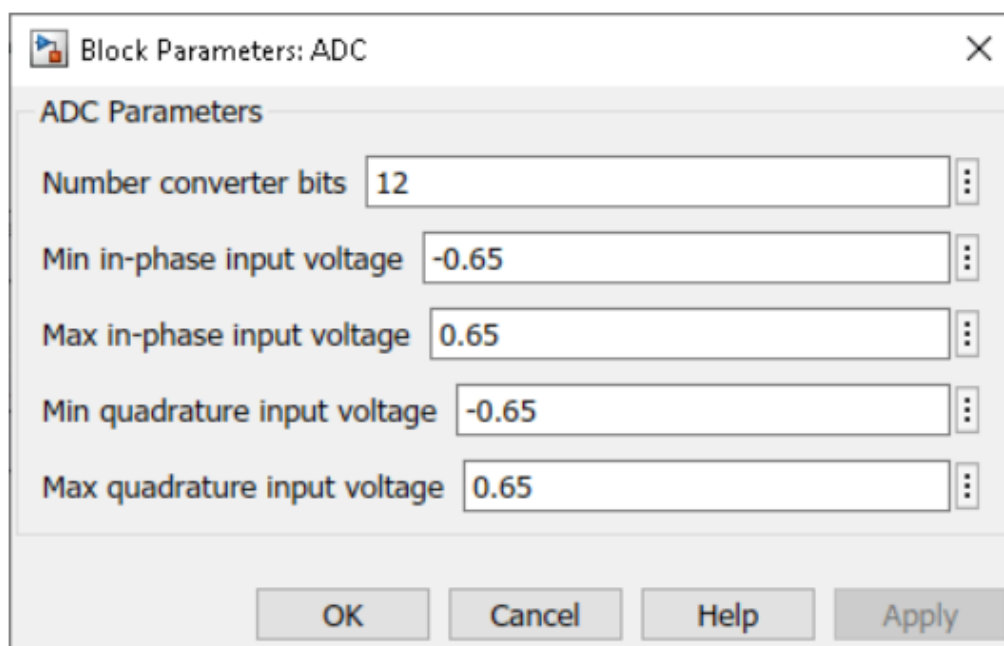
3.8-сурет – РЖ қабылдағышының блок параметрлері

Радиожилікті қабылдағыштың ішкі жүйесінің блогы типтік бұзылуларды модельдейді, соның ішінде:

- фазалық шу генератордың белсенді құрылғыларындағы жылу шуымен тікелей байланысты екінші әсер ретінде;
- күшейткіш қанықтыру аймағында жұмыс істеген кезде тұрақты ток қуатының шектелуіне байланысты күшейткіштің сызықтық еместігі;
- сигналдың шағылысуына немесе қуаттың тиімсіз берілуіне әкелетін кедергінің сәйкессіздігі.

Модельдерді декодтау ішкі кадр блогына жібермес бұрын, шығыс буфері (радиожилік қабылдағышынан кейін) ішкі кадр ішіндегі барлық модельдерді буферлейді. Шығу буферінің шығысында FIR Decimation және FIR Rate Conversion блоктары NR сигналының іріктеу жиілігін бастапқы іріктеу жиілігіне дейін төмендетеді.

ADC ішкі жүйесінің блогы сигналды цифрландыру әсерін модельдейді. ADC ішкі жүйесі блогының ішіндегі блок параметрлерін оның маскасын пайдаланып өзгертуге болады. 3.9-суретте ADC блок параметрлері көрсетілген.



3.9-сурет – ADC блок параметрлері

Модельде буферлерді пайдалану уақыттың кешігуіне әкеледі. Кідіріс ұзақтығы ішкі кадрдың берілуіне тең болғандықтан, ішкі кадрдың декодтау блогы бірінші қабылданған ішкі кадрды демодуляцияламайды.

NR негізгі жиілік диапазонында қабылдау және өлшеу

Ішкі кадрды декодтау блогы біріктірілген диаграммада PDSCH таңбаларын қалпына келтіру және құру үшін қабылданған ішкі кадрдың OFDM демодуляциясын, арнаны бағалауды және туралауды орындайды. Бұл блок сонымен қатар EVM-ді уақыт пен жиілік бойынша орташалайды және сол мәндерді графикке шығарады:

- OFDM таңбасына EVM: әрбір OFDM таңбасы бойынша орташаланған EVM;
- Бір ұяға EVM: ұяшықтағы арнайы PDSCH таңбалары бойынша орташаланған EVM;
- Қосалқы тасымалдаушыға арналған EVM: қосалқы тасымалдаушының ішіндегі арнайы PDSCH таңбалары бойынша орташаланған EVM;
- Жалпы EVM: барлық берілген PDSCH таңбалары бойынша орташаланған EVM.

TS 38.104-ке B және C қосымшалары сәйкесінше FR1 және FR2-де EVM есептеудің балама әдісін анықтайды. Бұл әдісті Multirate Parameters блогындағы Perform 3GPP EVM measurement опциясын қосу арқылы қосуға болады.

Спектрлік анализатор блогы ACLR (ACPR) және өткізу қабілеттілігі сияқты жиілік аймағындағы өлшемдерді қамтамасыз етеді. Егер біз Multirate Parameters блогындағы ACLR Perform 3GPP өлшеу параметрін өшірсек, қайта

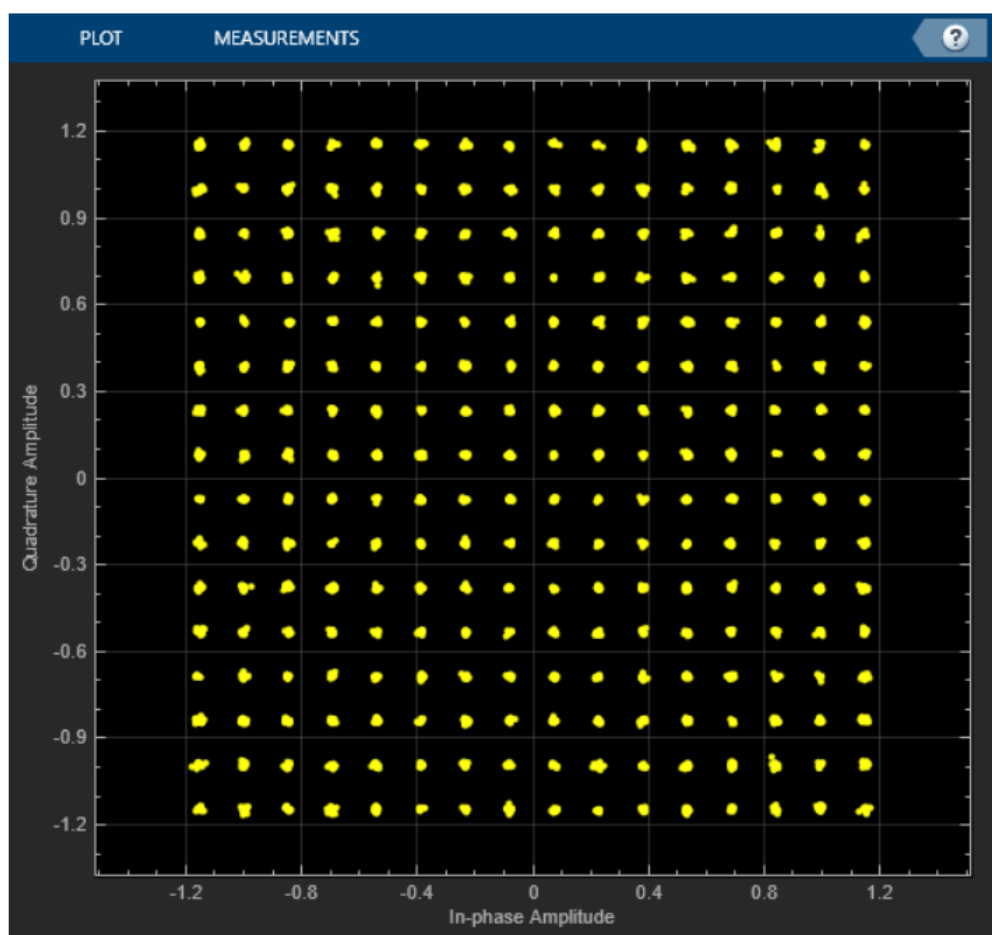
іріктеу коэффициентін тандай аламыз және спектр анализаторының блогы бос емес өткізу қабілеттілігін өлшейді.

Ішкі кадрды декодтау блогы өңдеудің кешігуіне байланысты бірінші қабылданған ішкі кадрды (1 мс) тастайды. Сондықтан, бір кадрды алу үшін біз FDD үшін 11 мс модельдеуіміз керек (кадр үшін 10 мс және бастапқыда тасталған ішкі кадр кезеңі үшін 1 мс). Егер модельдеу уақыты 11 мс-ден асса, 5G NR тестілеу моделінің блогы сол NR жақтауын циклдік түрде жібереді. Сол сияқты, LTE тестілеу моделінің блогы бірдей LTE жақтауын айналып өтеді.

Модельдің өнімділігі

LTE кедергісінің NR қабылдауына әсерін сипаттау үшін EVM және ACLR нәтижелерін екі түрлі жағдайда салыстыруға болады: LTE кедергісіз NR беру және LTE кедергісімен NR беру.

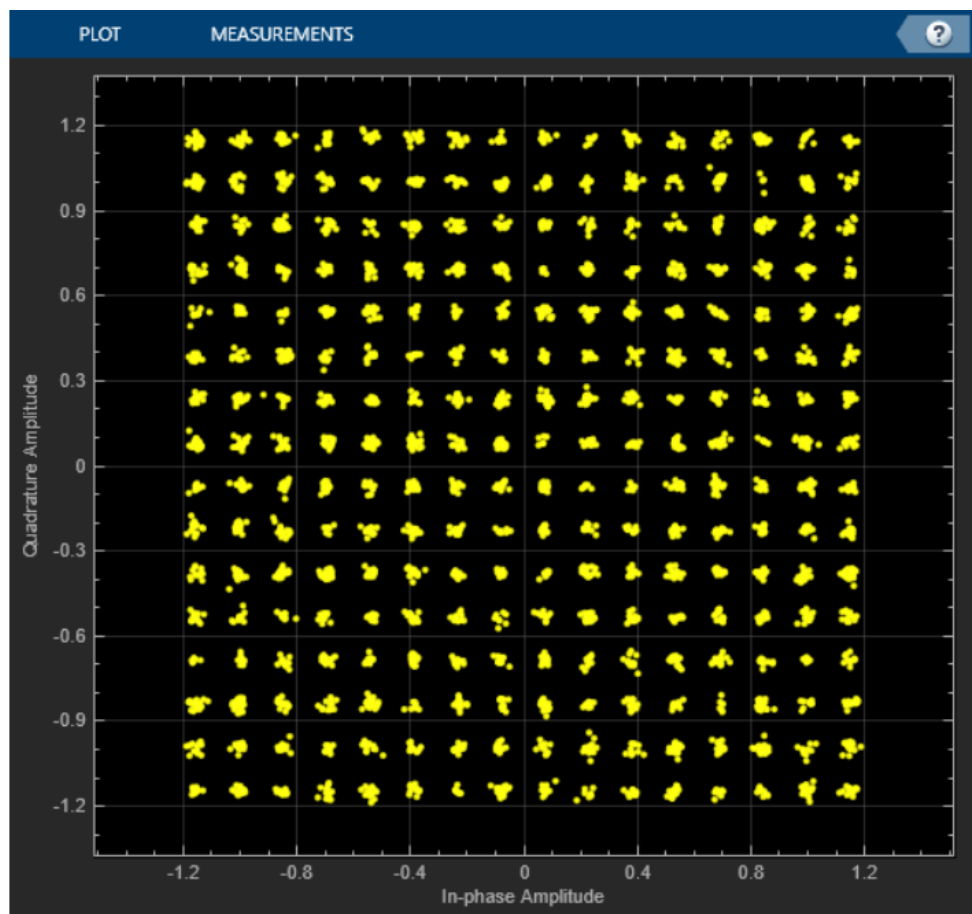
1) LTE кедергісіз (кедергі көзін күшейту = 0). LTE кедергісін жою үшін кедергі көзін күшейту параметрін 0 етіп орнатамыз. Мысалы, 4 ішкі кадрды (5 мс) түсіру үшін модельдеуді іске қосамыз. Модельдеу кезінде модель EVM және ACLR өлшемдерін, сондай-ақ шокжұлдыз диаграммасын көрсетеді.



3.10-сурет – LTE кедергісіз NR сигналдарын қабылдау

LTE кедергісі болмаса, ACLR мәндері шамамен 50 дБ және 87 дБ құрайды, ал жалпы EVM шамамен 0,9% құрайды.

2) LTE кедергісімен (кедергі көзін күшейту = 1). LTE кедергісін белсендендіру үшін кедергі көзін күшейту параметрін 0-ден басқа мәнге орнатамыз. Мысалы, 1 таңдаймыз.



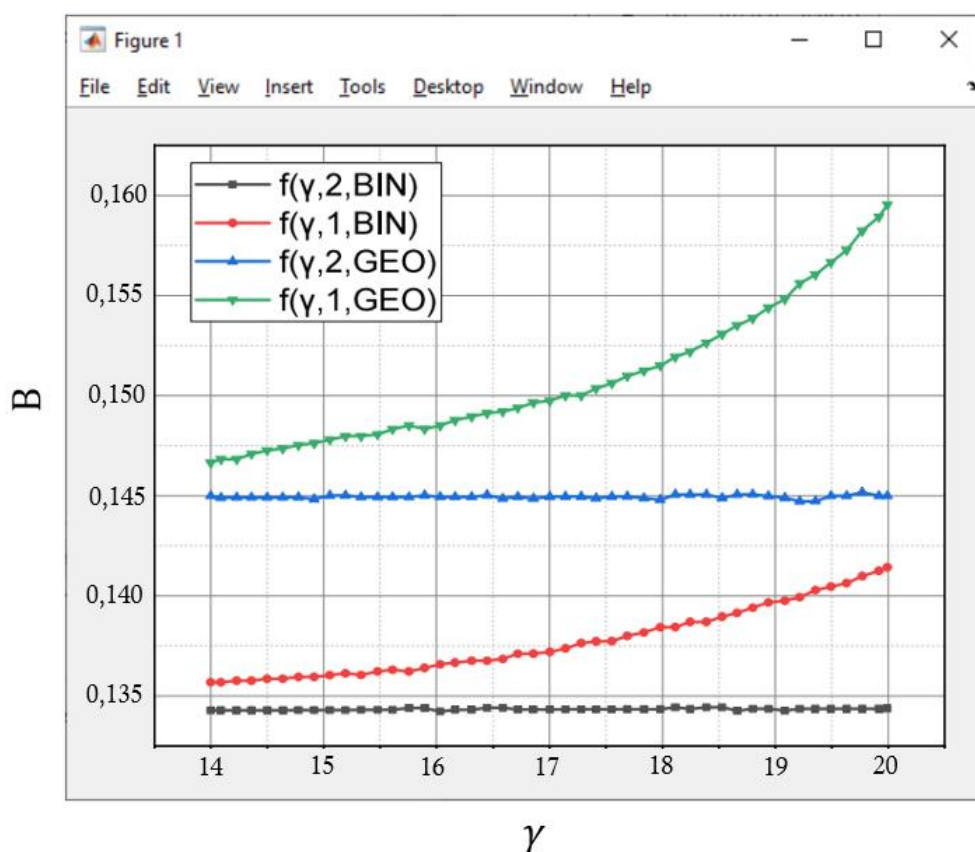
3.11-сурет – LTE кедергісімен NR сигналдарын қабылдау

Алдыңғы жағдаймен салыстырғанда шокжұлдыз диаграммасы бұрмаланған, ал спектрлік өсу жоғарырақ. Өлшемдерге келетін болсақ, ACLR мәндері шамамен 46 дБ және 82 дБ, ал жалпы EVM шамамен 2% құрайды.

Радиожиілік қабылдағышы 5G NR тестілеу моделі мен LTE тестілеу моделі блоктарында таңдалған сигнал пішінінің конфигурацияларымен, сондай-ақ сәйкесінше 2190 МГц және 2120 МГц жиіліктерінде орталықтандырылған NR және LTE тасымалдаушыларымен жұмыс істеу үшін конфигурацияланған. Бұл тасымалдаушылар NR N65, TS 38.101-1 жұмыс жолағында және E-UTRA 1, TS 36.101 жұмыс жолағында орналасқан.

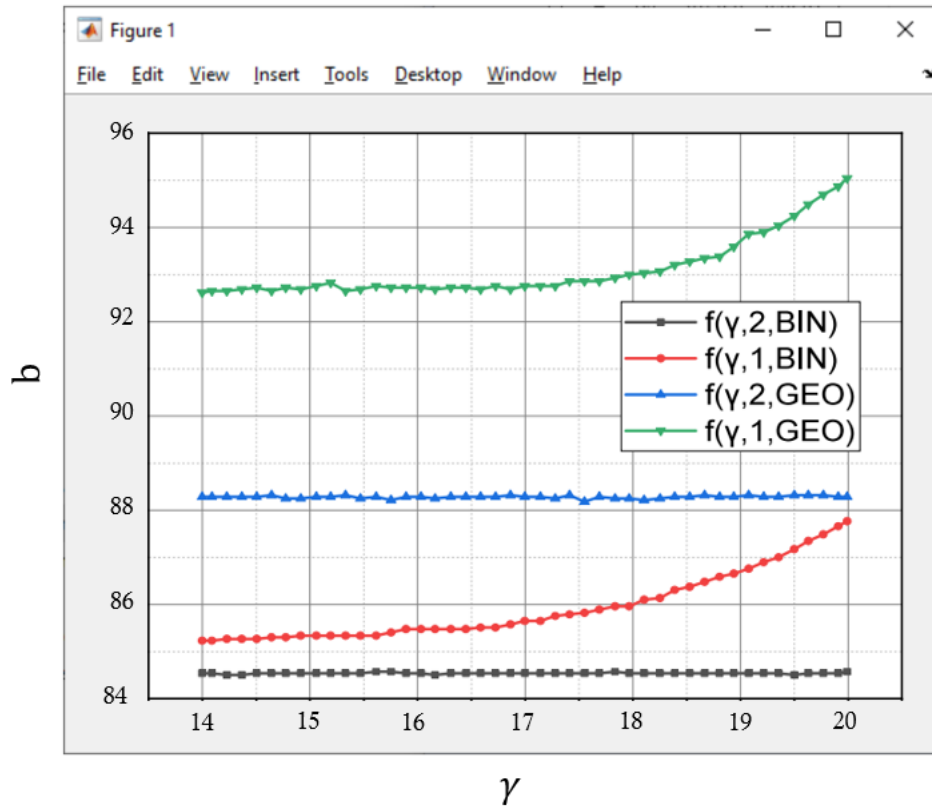
3.2 5G-IoT жүйесінде бірінші және екінші функционалды сценарийлерді іске асырудың Matlab & Simulink бағдарламасындағы моделі

Жоғарыда ұсынылған 5G-IoT жүйесіндегі бірінші және екінші функционалды сценарийлердің математикалық модельдерін Matlab & Simulink бағдарламасында модельдедік. 3.12-суретте эмпирикалық түрде алынған $\{B_1^{BIN}, B_1^{GEO}, B_2^{BIN}, B_2^{GEO}\} = f(\gamma)$ функционалды тәуелділігі көрсетілген. Бұл жағдайда: γ – қабылданған кіріс сұраулары үшін қызметтік сигналдардың қарқындылығы; B – жаңа кіріс сұрауының жоғалу ықтималдығы; $\{1, 2\}$ – зерттелетін 5G-IoT жүйесінде тиісті функционалды сценарийді іске асыру моделінің номері; $\{BIN, GEO\}$ – p стохастикалық шамасының таралу заңының түрі.



3.12-сурет – Эмпирикалық жолмен алынған $\{B_1^{BIN}, B_1^{GEO}, B_2^{BIN}, B_2^{GEO}\} = f(\gamma)$ функционалды тәуелділігі

Сәйкесінше, эмпирикалық түрде алынған $\{b_1^{BIN}, b_1^{GEO}, b_2^{BIN}, b_2^{GEO}\} = f(\gamma)$ функционалды тәуелділігі 3.13-суретте көрсетілген, мұндағы b – пайдаланылатын жүйелік ресурстардың орташа көлемі.



3.13-сурет – Эмпирикалық жолмен алынған $\{b_1^{BIN}, b_1^{GEO}, b_2^{BIN}, b_2^{GEO}\} = f(\gamma)$ функционалды тәуелділігі

Тәжірибелік бөлімді практикалық жоспарлау теориясының парадигмасындағы 2.4 бөлімде ұсынылған модельдерді тексеру арқылы жалпылаймыз. Кіріс сұрауының жоғалуына әкелуі мүмкін кіріс әсерлерінің белгілі бір жиынтығын құрамыз: $X^k = \{x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k\}$ және $X^{\bar{k}} = \{x_1^{\bar{k}}, x_2^{\bar{k}}, \dots, x_m^{\bar{k}}\}$. Модельде жүйенің X^k жиынтығынан кіріс әсерлеріне реакциясы болжанады. Сондықтан, мұндай жағдайларда енгізу туралы сұраныс жоғалмауы керек. $X^{\bar{k}}$ жиынтығының кіріс әсерлері құрылымдық жағынан жалпыланған X^k жиынтығымен бірдей, бірақ жүйені жобалау кезеңінде белгіленген шектерден асатын мәндермен ерекшеленеді. Берілген $X^{\bar{k}}$ мәнінен кіріс әсеріне жүйенің реакциясы енгізу сұрауының жоғалуы болуы мүмкін. X^k және $X^{\bar{k}}$ жиындарындағы элементтер саны сәйкесінше $n = 200$ және $m = 700$ болады. Тәжірибелер жүйенің X^k және $X^{\bar{k}}$ жиындарының ($B_e^k = (B_{ij}^k), i = \overline{1, n}$ және $B_e^{\bar{k}} = (B_{ij}^{\bar{k}}), i = \overline{1, m}$ матрицалық түрінде) кіріс әсеріне реакциясын бекіту арқылы жүргізіледі. i -ші кіріс әсері үшін кіріс сұрауының жоғалу жағдайын іске асырудың дисперсиясын есептейміз: $s_i^2 = M^{-1} \sum_{j=1}^M (B_{ij} - B'_{ij})^2$, мұндағы B_{ij} – модельде анықталған күй, B'_{ij} – нақты күй. Енді барлық кіріс әсерлері үшін

дисперсияның орташа мәнін есептейік: $s^2 = N^{-1} \sum_{i=1}^N s_i^2$. Фишер критерийінен s^2 елеулі ауытқуларын s_i^2 бағалау барлық ауытқулар кестелік мәндерден аспайтынын көрсетті, бұл ұсынылған математикалық аппараттың сәйкестігін растайды.

3.3 Matlab & Simulink бағдарламасында алынған 5G-IoT жүйесінің моделін талқылау

Зерттеу нәтижелерін талдау (3.12, 3.13-суреттер) келесі тұжырымдарды көрсетеді. (6) өрнекте бейнеленген гипотеза өзінің тәжірибелік растауын тапты. Бұл 5G-IoT жүйелеріндегі екінші функционалды сценарийдің орындалуын сипаттайтын жаппай қызмет көрсету жүйесінің стационарлық ықтималдығы γ қарқындылығына тәуелді емес екендігін білдіреді. Бұл $X^*(t)$ стохастикалық процестің жаңа кіріс сұрауларын қабылдағанға дейін алынған сұрауларды тікелей қолдауға бағытталғанын көрсетеді. $B = f(\gamma, 2, \{BIN, GEO\})$ және $b = f(\gamma, 2, \{BIN, GEO\})$ функцияларының графиктері қызметтік сигналдар ағынының γ қарқындылығының өзгеруіне тәуелді емес екенін көрсетеді. Сонымен қатар, бұл функциялардың мәні зерттелетін 5G-IoT жүйесінің бастапқы параметрлеріне және базалық станцияның жаңа кіріс сұрауын қабылдау ықтималдығын сипаттайтын p стохастикалық параметрінің таралу заңының түріне байланысты. Тағы бір назар аударарлық жайт, екінші функционалды сценарийдің қабылданған кіріс сұрауларын қолдауға бағытталғанына қарамастан, базалық станция жаңа кіріс сұрауларын қабылдау үшін тұрақты қол жетімді болып қалады. Осылайша, екінші функционалды сценарий x86 және x64 процессорларына негізделген заманауи операциялық жүйелердің қауіпсіз режиміне ұқсас болуы мүмкін. Атап айтқанда, екінші сценарийді бірнеше соңғы IoT құрылғыларынан базалық станцияға DDoS шабуылына күдік туындаған кезде қолдануға болады. Мұндай шабуылдың белгісі γ параметрі мәнінің күрт өсуі болуы мүмкін.

5G-IoT жүйесіне тән бірінші функционалды сценарий жағдайларында алынған кіріс сұраулары үшін субъектінің жүйемен активті өзара әрекеттесу сеанстарын қолдау үшін бөлінген жүйелік ресурстардың мөлшерін қайта анықтау талаптары кең таралған. Дегенмен, 2.4.1 және 2.4.2 бөлімдерде ұсынылған математикалық модельдердің жаңа кіріс сұрауларын қабылдағанға дейін алынған кіріс сұрауларын тікелей қолдауға бағдарлануы $B = f(\gamma, 1, \{BIN, GEO\})$ және $b = f(\gamma, 1, \{BIN, GEO\})$ функцияларының сызықтық емес өсетін графиктерінде байқалады.

Бұл графиктердің сызықтық емес сипатын (2.7) және (2.8) өрнектерде $q_k(r)$ стационарлық ықтималдықтарын есептеу кезінде LU тепе-теңдік теңдеулер жүйесінің матрицалық көрінісі негізінде қадамдық есептеу амалдары

қолданылатындығымен түсіндіруге болады. 3.13-суретте көрсетілген $b = f(\gamma, 1, \{BIN, GEO\})$ графиктерінен γ қызметтік сигналдар ағынының қарқындылығы бастапқы мәнге қатысты 40%-ға ұлғайған кезде жұмыспен қамтылған жүйелік ресурстардың көлемі 3%-ға артады. 3.12-суретте көрсетілген $B = f(\gamma, 1, \{BIN, GEO\})$ графиктеріне сәйкес, жаңа кіріс сұрауын жоғалту ықтималдығы $\gamma = 14$ бастапқы мәніне қатысты орта есеппен 10%-ға артады. γ мәні ұлғайған сайын B жаңа кіріс сұрауын жоғалту ықтималдығы 5G-IoT жүйесінде бос жүйелік ресурстар таусылғанға дейін бірлікке жетеді деп айтуға болады. Сондай-ақ, $B = f(\gamma, 1, \{BIN, GEO\})$ және $b = f(\gamma, 1, \{BIN, GEO\})$ графиктерін талдай отырып, жаңа кіріс сұрауларының стохастикалық мәнінің таралу заңы p барлық зерттелетін γ мәндері үшін $\{B, b\}$ метрикасының сапалық параметрлерінің мәндеріне айтарлықтай әсер етеді деп айтуға болады. $BIN(r, p)$ ықтималдылық мәндерінің Биномдық үлестірімі r белгіленген мәннен жүйелік ресурстардың қажетті көлемінің i жаңа кіріс сұрауында көрсетілген ауытқуын қарастырады. Осылайша, 5G-IoT жүйесіндегі базалық станция жаңа кіріс сұрауларын қабылдауға бағытталған. i параметрінің мәні көрсетілген r мәніне жақын болып келеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл диссертациялық жұмыс 5G желісінде IoT енгізу тиімділігін зерттеуге бағытталды. Зерттеу барысында 5G-IoT жүйесінің бес деңгейлі архитектурасы тұрғызылды, математикалық есептеулер жүргізіліп, Matlab & Simulink бағдарламасында компьютерлік моделі алынды. Математикалық есептеулер мен тәжірибе барысындағы мәндер сәйкес келді. Нақтырақ айтатын болсақ, бұл жұмыста IoT құрылғылары мен 5G-IoT жүйесіндегі базалық станция арасындағы ақпараттық өзара әрекеттесу процесінің математикалық және компьютерлік модельдерін ұсындық. Қызмет көрсету сигналы базалық станцияның алдыңғы интерфейсіне келгенде асинхронды немесе синхронды түрде ерекшеленетін екі функционалды сценарийді қарастырдық. Жасалған тәжірибе мен алынған нәтижелерді ескере отырып, мынадай қорытындыға келдік:

1) 5G-IoT жүйесінің базалық станциясы бір уақытта барлық жүйелік ресурстардың 100 %-на дейін қолдау үшін $N = 1000, R = 100$ қатысатын 1000 IoT құрылғысы мен жүйенің өзара әрекеттесу сеанстарына қызмет ете алады;

2) IoT құрылғысы пен жүйенің өзара әрекеттесу сеансының орташа ұзақтығы 60 с, ал базалық станцияның интерфейсіне келіп түсетін сұраулардың орташа саны 16 болды;

3) 5G-IoT жүйесі денсаулық сақтау, көлік, өндіріс және басқа да әртүрлі салаларға үлкен мүмкіндіктер беретінін көрсетті. 5G жоғары деректер жылдамдығын, аз кідірісті және үлкен желі сыйымдылығын қамтамасыз етеді, бұл көптеген құрылғылар мен сенсорларды қосуға және күрделі байланыс жүйелерін құруға мүмкіндік береді;

4) 5G-IoT технологияларын сәтті енгізу үшін желінің қауіпсіздігіне, құпиялылығына және басқарылуына байланысты әлі де кейбір мәселелерді шешу қажет;

5) Жалпы, 5G-IoT технологиясы – бұл әр түрлі қызмет салаларында өнімділік пен тұтынушылық тәжірибені едәуір жақсартатын перспективалы технология. Алайда, оны жүзеге асыру мұқият дайындықты, қызмет провайдерлері мен өнеркәсіптік компаниялар арасындағы серіктестікті және IoT саласындағы инфрақұрылым мен стандарттарды үнемі дамытуды қажет етеді.

Қорытындылайтын болсақ, зерттеу жұмысына қойылған нақты тапсырмалар орындалды, қолданылған әдістер тиімді екенін көрсетті. Бұл диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер мен тұжырымдамалар ЖОО оқу бағдарламаларында интеллектуалды жүйелер мен сымсыз байланыс курстарын жетілдіру мақсатында, сондай-ақ ҚР телекоммуникациялық компаниялары мен операторларында 5G және IoT жүйесін енгізуде қолданыла алады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 S. Painuly, P. Kohli, P. Matta and S. Sharma, "Advance Applications and Future Challenges of 5G IoT," 2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), Thoothukudi, India, 2020, pp. 1381-1384, doi: 10.1109/ICISS49785.2020.9316004.
- 2 L. Chettri and R. Bera, "A Comprehensive Survey on Internet of Things (IoT) Toward 5G Wireless Systems," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 1, pp. 16-32, Jan. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2019.2948888.
- 3 Patel, K.K. and Patel, S.M. (2016) Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. International Journal of Engineering Science and Computing, 6, 6122-6131.
- 4 S. Liu, L. Liu, H. Yang, K. Yue and T. Guo, "Research on 5G technology based on Internet of things," 2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), 2020, pp. 1821-1823, doi: 10.1109/ITOEC49072.2020.9141671.
- 5 Darrell M. West, "How 5G technology enables the health internet of things", Center for Technology Innovation at Brookings, July 2016.
- 6 S. K. Vishwakarma, P. Upadhyaya, B. Kumari and A. K. Mishra, "Smart Energy Efficient Home Automation System Using IoT," 2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU), Ghaziabad, India, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/IoT-SIU.2019.8777607.
- 7 A. Saxena, K. Shinghal, R. Misra and A. Agarwal, "Automated Enhanced Learning System using IOT," 2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU), Ghaziabad, India, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/IoT-SIU.2019.8777711.
- 8 Pierfrancesco Bellini, Paolo Nesi* and Gianni Pantaleo, "IoT-Enabled Smart Cities: A Review of Concepts, Frameworks and Key Technologies", Appl. Sci. 2022, 12, 1607. <https://doi.org/10.3390/app12031607>.
- 9 N. Javaid, A. Sher, H. Nasir and N. Guizani, "Intelligence in IoT-Based 5G Networks: Opportunities and Challenges," in IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 10, pp. 94-100, OCTOBER 2018, doi: 10.1109/MCOM.2018.1800036.
- 10 N. Gupta, S. Sharma, P. K. Juneja and U. Garg, "SDNFV 5G-IoT: A Framework for the Next Generation 5G enabled IoT," 2020 International Conference on Advances in Computing, Communication & Materials (ICACCM), Dehradun, India, 2020, pp. 289-294, doi: 10.1109/ICACCM50413.2020.9213047.
- 11 V. Kovtun, I. Izonin and M. Gregus, Mathematical models of the information interaction process in 5G-IoT ecosystem: Different functional scenarios, ICT Express (2021), <https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.11.008>.

12 A. A. A. El-Latif, B. Abd-El-Atty, W. Mazurczyk, C. Fung and S. E. Venegas-Andraca, "Secure Data Encryption Based on Quantum Walks for 5G Internet of Things Scenario," in *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 17, no. 1, pp. 118-131, March 2020, doi: 10.1109/TNSM.2020.2969863.

13 Jordi Salazar, Santiago Silvestre, "Internet of things", Czech Technical University of Prague, Faculty of electrical engineering, 1st Edition, 2017, 978-80-01-06232-6.

14 Haojun Huang, Wang Miao, Geyong Min and Chunbo Luo, "Mobile Edge Computing for 5G Internet of Things", ResearchGate, Chapter, May 2019, DOI: 10.1201/9780429199820-7.

15 H. Zhao, M. Xu, Z. Zhong and D. Wang, "A fast physical layer security-based location privacy parameter recommendation algorithm in 5G IoT," in *China Communications*, vol. 18, no. 8, pp. 75-84, Aug. 2021, doi: 10.23919/JCC.2021.08.006.

16 A. Pastukh, E. Deviatkin, V. Tikhvinskiy and A. Kulakaeva, "Compatibility Studies between 5G IoT Networks and Fixed Service in the 6425-7125 MHz Band," 2021 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), Vienna, Austria, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/EMCTECH53459.2021.9619176.

17 M. -D. Nguyen, V. H. La, R. Cavalli and E. M. de Oca, "Towards improving explainability, resilience and performance of cybersecurity analysis of 5G/IoT networks (work-in-progress paper)," 2022 IEEE International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops (ICSTW), Valencia, Spain, 2022, pp. 7-10, doi: 10.1109/ICSTW55395.2022.00016.

18 S. Kar, P. Mishra and K. -C. Wang, "5G-IoT Architecture for Next Generation Smart Systems," 2021 IEEE 4th 5G World Forum (5GWF), Montreal, QC, Canada, 2021, pp. 241-246, doi: 10.1109/5GWF52925.2021.00049.

19 D. Roy, S. Sadhu and S. Nandi, "Advantages of 5G-IoT over LTE-M or Nb-IoT Enhancing Next Generation Technologies," Michael Faraday IET International Summit 2020 (MFIIS 2020), Online Conference, 2020, pp. 296-301, doi: 10.1049/icp.2021.1172.

20 O. Arora and K. K. S. Yadav, "Implementation of 5G-IoT based Smart Residential Buildings using Cisco Packet Tracer 8.1 and Analysis of its Security Framework," 2022 8th International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC), Noida, India, 2022, pp. 137-143, doi: 10.1109/ICSC56524.2022.10009169.

Кенгесбаева Сараның
«5G желісінде IoT енгізу тиімділігін бағалауды зерттеу» тақырыбындағы
Магистрлік диссертациясына
ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ
СЫН-ШІКІРІ

7M06201 – Телекоммуникация

Диссертациялық жұмысқа 5G-IoT жүйесін тиімді енгізу үшін бес деңгейлі архитектураны тұрғызу, 5G-IoT жүйесінің математикалық және имитациялық модельдерін, Matlab & Simulink бағдарламасында компьютерлік моделін алу мақсаты қойылған.

Қойылған мақсатқа сәйкес диссертациялық жұмыс көлемінде келесі тапсырмалар орындалған:

- 5G желілерінде Заттар Интернетінің құрылу принциптерін талдау;
- Пакеттік коммутациялық желілерде желінің кешігуінің себептерін зерттеу;
- 5G-IoT жүйесі үшін тиімді бес деңгейлі архитектураны тұрғызу;
- 5G кейінгі буын желісіндегі Заттар Интернеті трафик сипаттамаларын математикалық зерттеу және талдау;
- 5G-IoT жүйесіндегі функционалды сценарийлердің компьютерлік моделін алу.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты, тапсырмалары және ұсынған әдістері нақты, сондай-ақ, бұл жұмыс өте ауқымды әрі өзекті мәселелерді шешуге негізделеді.

Бұл диссертациялық жұмыс жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғары дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер сымсыз байланыс, интеллектуалды жүйелер және ақпаратты өңдеп тарату технологияларындағы ғылыми бағытқа жауап береді.

Магистрант диссертациялық жұмысты жасауда өздігінен жұмыс істеу қабілетін көрсете алды. Жұмысқа қойылған техникалық тапсырмаларды орындап, инженерлік есептерді шеше алатынын және әдебиеттермен жұмыс істей алатынын көрсетті.

Жұмыс бағасы

Жалпы, диссертациялық жұмыс “өте жақсы” (А, 98%) деген бағаға, ал магистрант Кенгесбаева Сара 7M06201 – Телекоммуникация мамандығы бойынша «техника ғылымдарының магистрі» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Ғылыми жетекші

PhD докторы, ЭТЖҒТ каф.

аға оқытушысы

Қ.Н. Тайсариева

«31» 05 2023 ж.



Кенгесбаева Сараның
«5G желісінде IoT енгізу тиімділігін бағалауды зерттеу» тақырыбындағы
Магистрлік диссертациясына

РЕЦЕНЗИЯ

7M06201 – Телекоммуникация

Диссертациялық жұмыста Кенгесбаева Сара 5G желісі негізінде Заттар Интернетін (IoT) тиімді енгізуді зерттеген. Диссертациялық жұмыс келесі бөлімдерден тұрады:

Бірінші бөлімде IoT негізгі сипаттамаларына, олардың жұмыс істеу принциптеріне шолу жасалынып, қолданыстағы технологиялардың артықшылықтары мен кемшіліктері, сонымен қатар қолдану аясы мен ұсынатын қызмет түрлері келтірілген.

Екінші бөлімде жаңа буын 5G желілерінің негізгі сипаттамалары, 5G-IoT жүйесінің бес деңгейлі архитектурасы ұсынылған. Сондай-ақ, 5G-IoT жүйесінің математикалық есептеулері қарастырылған.

Үшінші бөлімде 5G-IoT жүйесінде бірінші және екінші функционалды сценарийлердің математикалық модельдеріне Matlab & Simulink бағдарламасында компьютерлік модельдеу жүргізген, сондай-ақ зерттеу нәтижелері мен талқылаулары келтірілген.

Бұл диссертациялық жұмыс жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғары дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер сымсыз байланыс, интеллектуалды жүйелер және ақпаратты өңдеп тарату технологияларындағы ғылыми бағытқа жауап береді.

Қорыта айтқанда, диссертациялық жұмыстың мақсаты, тапсырмалары және ұсынғат әдістері нақты, сондай-ақ, бұл жұмыс өте ауқымды әрі өзекті мәселелерді шешуге негізделеді.

Жұмыс бағасы

Жалпы, диссертациялық жұмыс “өте жақсы” (А, 97%) деген бағаға, ал магистрант Кенгесбаева Сара 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 Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Кенгесбаева Сара

Тақырыбы: 5G желісінде IoT енгізу тиімділігін бағалауды зерттеу

Жетекшісі: Кырмызы Тайсариева

1-ұқсастық коэффициенті (30): 1.9

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1

Дәйексөз (35): 0.5

Әріптерді ауыстыру: 3

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

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.

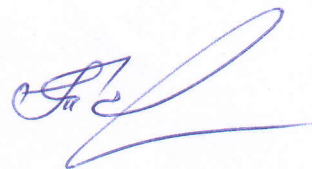
☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

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

Негіздеме:

5.06.2023
Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Кенгесбаева Сара

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: 5G желісінде IoT енгізу тиімділігін бағалауды зерттеу

Научный руководитель: Кырмызы Тайсариева

Коэффициент Подобия 1: 1.9

Коэффициент Подобия 2: 1

Микропробелы: 0

Знаки из здругих 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.

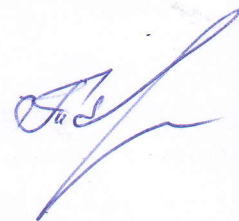
☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ 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:

5.06.2023
Дата

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Кенгесбаева Сара

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: 5G желісінде IoT енгізу тиімділігін бағалауды зерттеу

Научный руководитель: Кырмызы Тайсариева

Коэффициент Подобия 1: 1.9

Коэффициент Подобия 2: 1

Микропробелы: 0

Знаки из здругих 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:

5.06.2023
Дата

Маркетис С. О. А.
проверяющий эксперт