

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Тұрақбай Ақжол Жасуланұлы

«5G байланысының QoS (қызмет көрсету сапасы) параметрлерін талдау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Алматы 2025 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

Е.Таштай

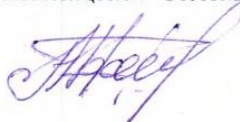
« 20 » 05 2025 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «5G байланысының QoS (қызмет көрсету сапасы) параметрлерін
талдау»

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Орындаған:



Тұрақбай А.Ж.

Пікір беруші

М.Тынышбаев атындағы АЛТ
университеті, PhD, «АКТ»
кафедрасының ассистент
профессоры

Мәдібайұлы Ж.
« 20 » 05 2025 ж.

Ғылыми жетекші

ҚазҰТЗУ, ф.м..ғ.к, Электроника,
телекоммуникация және ғарыштық
технологиялар кафедрасының
Қауымдастырылған профессоры

Жунусов Қ.Х.
« 20 » 05 2025 ж.

Алматы 2025 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

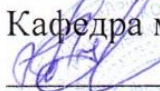
Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

6B06201 Телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

 Е. Таштай

« 31 » « 01 » 2025 ж.

Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушы Тұрақбай Ақжол Жасуланұлы

Тақырыбы «5G байланысының QoS (қызмет көрсету сапасы)
параметрлерін талдау»

Университет ректорының «29» қаңтар 2025 ж. №29-П/Ө бұйрығымен
бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «30» сәуір 2025 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері: 1) 5G байланысының QoS параметрлері. 2) Желі өткізу қабілеті: 500 Мбит/с. - 1 Гбит/с (нақты жағдайға байланысты өзгеруі мүмкін). 3) Кешігулер: 5-10 мс. 4) Рұқсат етілетін деңгей: 0.01% (10000 пакеттен 1-і). 5) Деректерді беру тұрақтылығы: 2 мс-5 мс. 6) Бағалау құралдары: Wireshark, iPerf3, немесе 5G арнайы мониторинг құралдары. 7) Бағдарламалық қамтамасыз ету: MATLAB негізінде деректерді талдау және визуализация.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі: а) 5G желісінің QoS параметрлерін анықтау және олардың қызмет көрсету сапасына әсерін талдау. б) 5G желісінің QoS параметрлерін бағалау әдістерін зерттеу. в) Желінің өткізу қабілеті мен кешігулерін тәжірибелік түрде зерттеу. г) Жүйенің сенімділігі мен тұрақтылығын сынау және талдау. д) 5G желісінің QoS параметрлерін басқа байланыс стандарттарымен (4G LTE) салыстыру.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 1) Adrian, K.; Bartosz, M.; Karol, K.; Paweł, K. Perspectives for resource sharing in 5G networks. J. Telecommun. Syst. 2019, 68, 605–619. 2) Anis, C.; Kaouther, N.; Ahmed, F. Very Fast C4.5 Decision Tree Algorithm. Int. J. Appl. Artif. Intell. 2018, 32, 119–137. 3) Baghani, M.; Parsaeefard, S.; Le-Ngoc, T. Multi-Objective Resource Allocation in Density-Aware Design of C-RAN in 5G. IEEE Access 2018, 6, 45177–45190. 4) Bajracharya, R.;

Shrestha, R.; Ali, R.; Musaddiq, A.; Kim, S.W. LWA in 5G: State-of-the-art architecture, opportunities, and research challenges. IEEE Commun. Mag. 2018, 56, 134–141.

дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер қарастырылатын мәселелер тізімі	атауы, Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	04.01.2025 - 01.02.2025	<i>орындау</i>
Теориялық ақпарат	01.02.2025 - 01.03.2025	<i>орындау</i>
Жабдықтар жұмысының есебі және жұмысты рәсімдеу	01.03.2025 - 30.05.2025	<i>орындау</i>

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

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Жунусов К.Х. ЭТЖҒТ каф. қауым.профессоры, ф-м.ғ.к.	13.03.2025	<i>Жун</i>
Теориялық ақпарат	Жунусов К.Х. ЭТЖҒТ каф. қауым.профессоры, ф-м.ғ.к.	29.04.2025	<i>Жун</i>
Норма бақылау	Досбаев Ж.М. ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы, PhD	19.05.2025	<i>Досбаев</i>

Ғылыми жетекшісі

Жунусов К.Х.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

Тұрақбай А. Ж.

Күні

«03» ақпан 2025 ж.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста 5G сымсыз байланыс желілеріндегі QoS (қызмет көрсету сапасы) параметрлерін талдау қарастырылады. Ақпараттық технологиялардың дамуы мен IoT құрылғылары санының артуы желі ресурстарын тиімді пайдалануды талап етеді. Жұмыста ресурстарды бөлудің дәстүрлі әдістерінің шектеулерін жеңу мақсатында Random Forest алгоритміне негізделген болжау жүйесі ұсынылады. Бұл жүйе пайдаланушы құрылғыларының нақты орналасуына қарай модуляция және кодтау схемаларын (MCS) анықтайды. Зерттеу нәтижелері ұсынылған тәсілдің өткізу қабілетін арттырып, энергия тиімділігін жақсартатынын көрсетті. Сонымен қатар, бұл әдіс QoS көрсеткіштерін жоғарылатуға мүмкіндік береді және 5G желілерінде ресурстарды бөлудің балама шешімі бола алады.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассматривается анализ параметров качества обслуживания (QoS) в сетях беспроводной связи 5G. Рост числа IoT-устройств и развитие информационных технологий требуют более эффективного распределения сетевых ресурсов. В работе предлагается система прогнозирования на основе алгоритма Random Forest, позволяющая определять схему модуляции и кодирования (MCS) в зависимости от координат пользовательских устройств. Результаты исследования показывают, что предложенный подход повышает пропускную способность и энергоэффективность, а также способствует улучшению показателей QoS. Метод может быть использован как альтернативное решение для распределения ресурсов в сетях 5G.

ABSTRACT

This thesis explores the analysis of Quality of Service (QoS) parameters in 5G wireless communication networks. The growing number of IoT devices and advancements in information technology demand more efficient allocation of network resources. A prediction system based on the Random Forest algorithm is proposed, which determines the modulation and coding scheme (MCS) based on the exact location of user equipment. The study results demonstrate that the proposed method improves both throughput and energy efficiency, while also enhancing QoS indicators. This approach offers a viable alternative for resource allocation in 5G networks.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Бесінші буындағы мобильді кең жолақты байланыс жүйелері	8
1.1 5G байланыс жүйелерін қолдану сценарийлері	8
1.2 5G-дің автономды емес желілері	11
1.3 5G жүйесіндегі пайдаланушы құрылғыларының энергоэффективтілігі	13
2 5G NR мобильді байланыс жүйелері үшін пайдаланушы құрылғыларының энергия үнемдеу әдістерін жетілдіру	15
2.1 5G NR мобильді байланыс жүйелік модель сипаттамасы	15
2.2 Мобильді сымсыз байланыс жүйелерінің жүйелік деңгейдегі модельдеу сценарийлері	16
2.3 Мобильді байланыс жүйелеріндегі трафик модельдері	17
3 5G желісінің QoS параметрлерін бағалау әдістерін зерттеу	19
3.1 Жоғары жылдамдықтағы желілерге шолу	19
3.2 5G желісінің QoS параметрлерін бағалау әдістеріне шолу	21
3.3 5G желісінің QoS параметрлері туралы мәліметтер мен жорамалдар	24
3.4 CRAN жүйесіндегі ресурстарды бөлу	26
3.5 5G орналасу координаталарын бағалау	27
3.6 5G желісінің QoS параметрлері модельдеуді талдауы	32
3.7 Энергия тиімділігін талдау	37
3.8 Итерация санының өзгерісіне байланысты өткізу қабілетін талдау	39
3.9 Ресурстарды бөлуді таралу функциясына (CDF) негіздеп талдау	40
3.10 5G NR бойынша QoS параметрлерін модельдеу	41
Қорытынды	48
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	49

КІРІСПЕ

Соңғы отыз жыл ішінде сымсыз мобильді байланыс жүйелері қарапайым аналогтық телефониядан бастап, қазіргі заманғы жоғары дамыған, кең қолжетімді коммуникациялық платформаға дейінгі үлкен жолдан өтті. Екінші буыннан (2G) бастап төртінші буынға (4G Long-Term Evolution, LTE) дейінгі мобильді байланыс жүйелерінің енгізілуі адам өмір сүру салтын түбегейлі өзгертті – жоғары дерек тарату жылдамдығы мен салыстырмалы түрде төмен кідіріс арқылы.

ITU-R (Халықаралық электрбайланыс одағының Радиобайланыс секторы) 2017 жылғы есебінде [1] 2020 жылға және одан кейінгі кезеңге арналған мобильді байланыс жүйелеріне қойылатын талаптар тізімін(International Mobile Telecommunications-2020, IMT-2020) жариялады. Төртінші буындағы LTE (Long Term Evolution) стандарты жаңа буындағы мобильді байланыс жүйелеріне қойылатын өткізу қабілеті, дерек таратудағы кідіріс уақыты және желіге қосылу тұрақтылығы бойынша жоғары талаптарды орындай алмайды [1].

5G сымсыз желісі ресурстарды тиімді басқару және сегменттеу үшін ұтымды тәсілді талап етеді. Бұл мақсатта орталықтандырылған радио қатынау желісі (Centralized Radio Access Network, CRAN) күрделі таралған желілерді басқару үшін қолданылады. Желілік инфрақұрылымға қатысты, мультикасттық байланыс деректерді сақтау мен ақпаратқа негізделген желіге қосылу өнімділігінде маңызды рөл атқарады.

Осы мақалада ресурстарды бөлудің (Resource Allocation, RA) күрделі мәселесін тиімді шешуге арналған оқытуға негізделген ресурстық сегменттеу (Resource Segmentation, RS) әдісін қолданатын өзгертілген RA схемасы ұсынылады. Бұл әдісте Signal Interference and Noise Ratio (SINR) және қолданушы координаттарынпайдалану арқылы соңғы қолданушылардың орналасу нүктелері анықталады.

Сонымен қатар, соңғы қолданушы құрылғысы мен қашықтағы радио блогы (Remote Radio Head, RRH) арасындағы байланысты орнату үшін модуляция және кодтау схемалары (Modulation and Coding Schemes, MCS) болжанады. Ұсынылған алгоритм антеннаның орналасуы мен бағытына байланысты SINR сияқты енгізу параметрлерінің дұрыстығын қамтамасыз ету үшін позициялық координаталардың нақтылығына тәуелді.

Модельдеу нәтижелері ұсынылған әдістің өткізу қабілеті мен энергия тиімділігі тұрғысынан тиімділігін көрсетеді.

1. Бесінші буындағы мобильді кең жолақты байланыс жүйелері

1.1 5G байланыс жүйелерін қолдану сценарийлері

4G-мен салыстырғанда, бесінші буындағы (5G) New Radio (NR) стандарты жоғары жиілікті диапазондарды және дамыған желілік технологияларды пайдалану арқылы әлдеқайда жоғары дерек тарату жылдамдығын және өте төмен кідірісті қамтамасыз етуі тиіс. LTE стандартымен салыстырғанда, NR стандарты пиктік дерек тарату жылдамдығын 20 есе арттыруға, ал уақыттық кідірісті 10 есе азайтуға бағытталған [2, 3]. Соның нәтижесінде, бесінші буындағы байланыс желілері пайдаланушылар тығыздығы жоғары аймақтарда да сенімді дерек тасымалын қамтамасыз ете алады.

Кесте 1.1 – 4G және 5G байланыс жүйелерінің негізгі сипаттамаларының салыстырмасы

Параметр	4G	5G
Пиктік дерек тарату жылдамдығы	1 Гб/с (төменгі арнада)	20 Гб/с (төменгі арнада)
Пайдаланушы күтетін дерек жылдамдығы	10 Мб/с	100 Мб/с
Спектр тиімділігі	–	3 есе жоғары
Бірлік ауданға шаққандағы өткізу қабілеті	0.1 Мб/с/м ²	10 Мб/с/м ²
Пакет таратудағы кідіріс	10 мс	1 мс
Құрылғы байланыс тығыздығы	100 000 құрылғы/км ²	1 000 000 құрылғы/км ²
Энерготиімділік	–	100 есе жоғары
Жиілік жолағының ені	20 МГц дейін	1 ГГц дейін
Пайдаланушының жылжу жылдамдығы	350 км/сағ дейін	500 км/сағ дейін

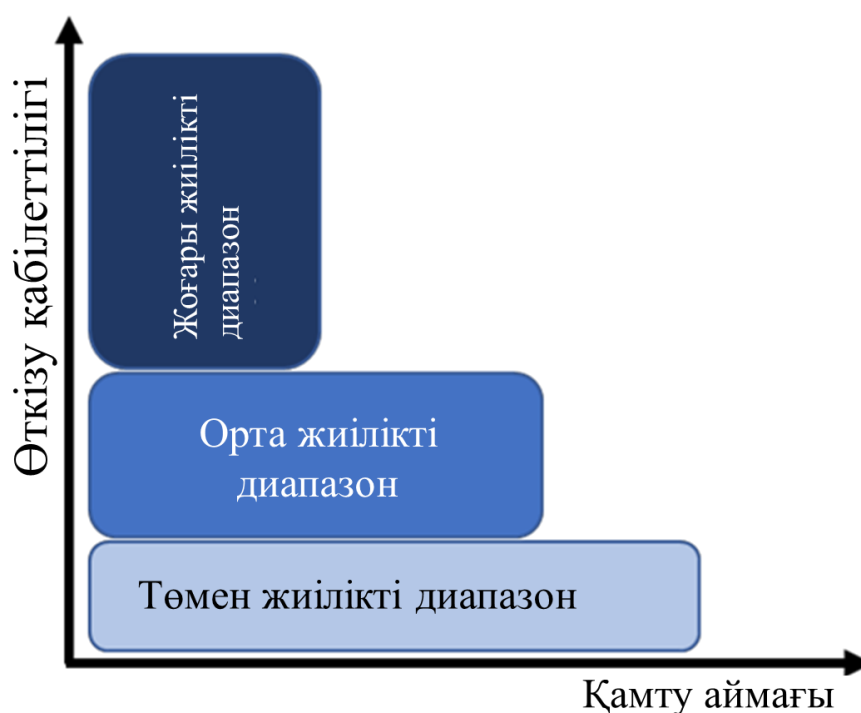
5G желілерінде жоғары жылдамдықтағы дерек тарату үшін жиілік диапазонын кеңейту қажет. Алайда бұл шешім пайдаланушы құрылғылары мен базалық станциялар тарапынан энергия тұтынудың артуына әкеледі. Жаңа 5G стандартындағы байланыс жүйелерінде қолданылатын жиілік диапазондары үш топқа бөлінеді:

1. Төменгі жиіліктегі диапазон – 1 ГГц-тен төмен (LTE стандартына ұқсас);
2. Орта жиіліктегі диапазон – 1 ГГц пен 6 ГГц аралығы, ол жабу аймағы мен өткізу қабілеті арасында баланс сақтауға мүмкіндік береді;
3. Жоғары жиіліктегі диапазон – 24 ГГц-тен жоғары миллиметрлік толқындар (mmWave). Бұл диапазон жоғары дерек тарату жылдамдығын және жүйенің үлкен өткізу қабілетін қамтамасыз етеді, бірақ жабу аймағы өте

шектеулі, себебі жоғары жиіліктердегі сигналдардың еркін кеңістікте таралуы кезінде әлсіреуі (затухание) жоғары болады.

1.1-суретте 5G жүйелеріндегі әртүрлі жиілік диапазондарының өткізу қабілеті мен жабу аймағы тұрғысынан айырмашылықтары диаграмма түрінде көрсетілген. Осы сипаттамалар негізінде:

- Жоғары жиілікті диапазон – тығыз қоныстанған қалалық аймақтар үшін,
- Орта жиілікті диапазон – орташа тығыздықтағы аймақтар үшін,
- Төмен жиілікті диапазон – бүкілұлттық қамту үшін ең қолайлы деп есептеледі.



1.1-сурет – 5G жүйесінде қолданылатын жиілік диапазондарының сипаттамалары

ITU-R ұйымының 5G жүйелеріне қойылатын талаптарын 1.1-кесте негізінде талдай отырып, бесінші буындағы мобильді кең жолақты байланыс жүйелерінің энерготиімділігі мен кедергіге төзімділік талаптарын қамтамасыз ету әдістерін әзірлеу және зерттеу тақырыбындағы дипломдық жұмыстың өзектілігі жоғары екені анық байқалады.

LTE байланыс стандартымен салыстырғанда, ол негізінен дауыс байланысы (Voice over LTE, VoLTE) немесе мобильді кең жолақты байланыс (Mobile Broadband, MBW) сияқты қызметтерді ұсынуға бағытталған болса, 5G NR стандарты тек бар технологияларды жетілдіріп, әлдеқайда жоғары деректерді беру жылдамдығы мен аз кідірісті қамтамасыз етіп қана қоймай,

сонымен қатар пайдаланушылар үшін жаңа мүмкіндіктер ашатын жаңа қызмет түрлерін де ұсынады.

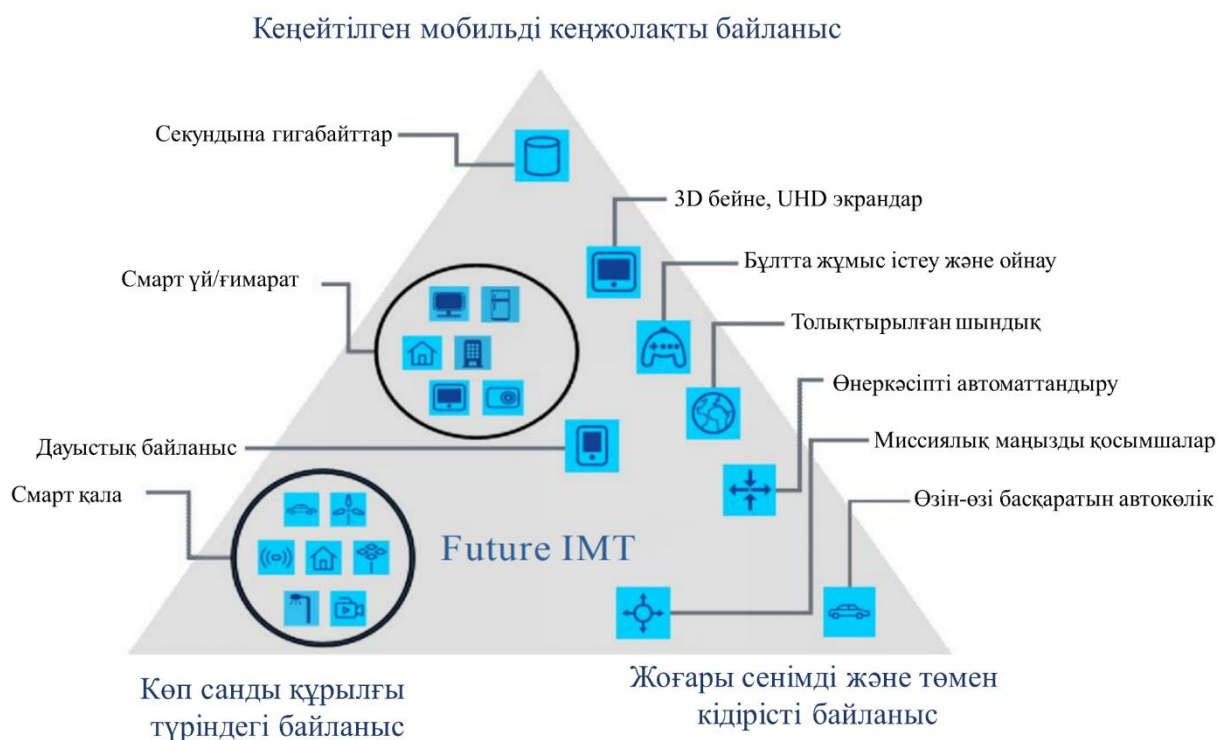
Халықаралық электрбайланыс одағы (МСЭ, ITU) әзірлеген IMT-2020/5G байланыс жүйелерінің тұжырымдамасы аясында олардың қолданылуының үш негізгі сценарийін айқындады [4]:

1. Жетілдірілген мобильді кең жолақты байланыс (enhanced Mobile Broadband, eMBB) – ғимарат ішінде және сыртында қолданылады.

2. Машиналық типтегі жаппай коммуникациялар (massive Machine Type Communications, mMTC) – бұған Интернет заттар (Internet of Things, IoT), «ақылды» ауыл шаруашылығы, «ақылды» қалалар және «ақылды» үйлер жатады.

3. Сенімділігі жоғары және кідірісі төмен байланыс (Ultra-Reliable Low-Latency Communications, URLLC) – автономды көліктер, өндірістік автоматтандыру және роботтандыру үшін арналған.

1.2-суретте көрсетілгендей, eMBB қызметі жоғары жылдамдықты деректерді жеткізуді қажет ететін қызметтерге, мысалы, ультра жоғары сапалы бейне (UHD-видео), виртуалды шындық (VR) немесе толықтырылған шындық (AR) сияқты сервистерге бағытталған. Ал URLLC – кідіріс уақытын талап ететін немесе аса маңызды қызметтерге, мысалы, автономды көліктер немесе қашықтан ота жасау сияқты жағдайларға арналған. Ал mMTC– «ақылды қала» немесе жаппай интернет заттар (Internet of Things, IoT) сияқты өте жоғары құрылғы тығыздығы бар байланыс қызметтерін қамтамасыз етуге бағытталады.



1.2-сурет – 5G байланыс жүйелерін қолдану сценарийлері

Бесінші буындағы байланыс жүйелерінің осы үш негізгі нұсқасы негізінде мобильді индустрияның қарқынды дамуына байланысты туындайтын жаңа қажеттіліктерді қанағаттандыруға арналған тар мамандандырылған кешенді шешімдердің көптеген түрлерін жасауға болады. 5G технологияларын енгізудің арқасында байланыс қызметтері кеңейіп, бұрын мобильді байланысқа қол жеткізе алмаған құрылғылардың жаңа санаттары ғаламдық коммуникациялық экожүйеге қатысу мүмкіндігіне ие болды.

Осылайша, бесінші буындағы байланыс жүйелеріне арналған NR жаңа стандарты – бұл жүйенің өнімділігі мен жалпы қызмет көрсету сапасына қойылатын көптеген (кейде бір-біріне қарама-қайшы) талаптарды қанағаттандыруға бағытталған біріздендірілген шешім, ол үзіліссіз сымсыз байланысты қамтамасыз етеді және осылайша, сымсыз желі арқылы қосылған барлық нәрсенің жұмыс істеуін қолдайды. Сондықтан, 5G жаңа буындағы сымсыз байланыс жүйелері пайдаланушы қай жерде және қай уақытта болмасын, ақпаратқа қосылу мен оған қол жеткізуді қамтамасыз етуі тиіс.

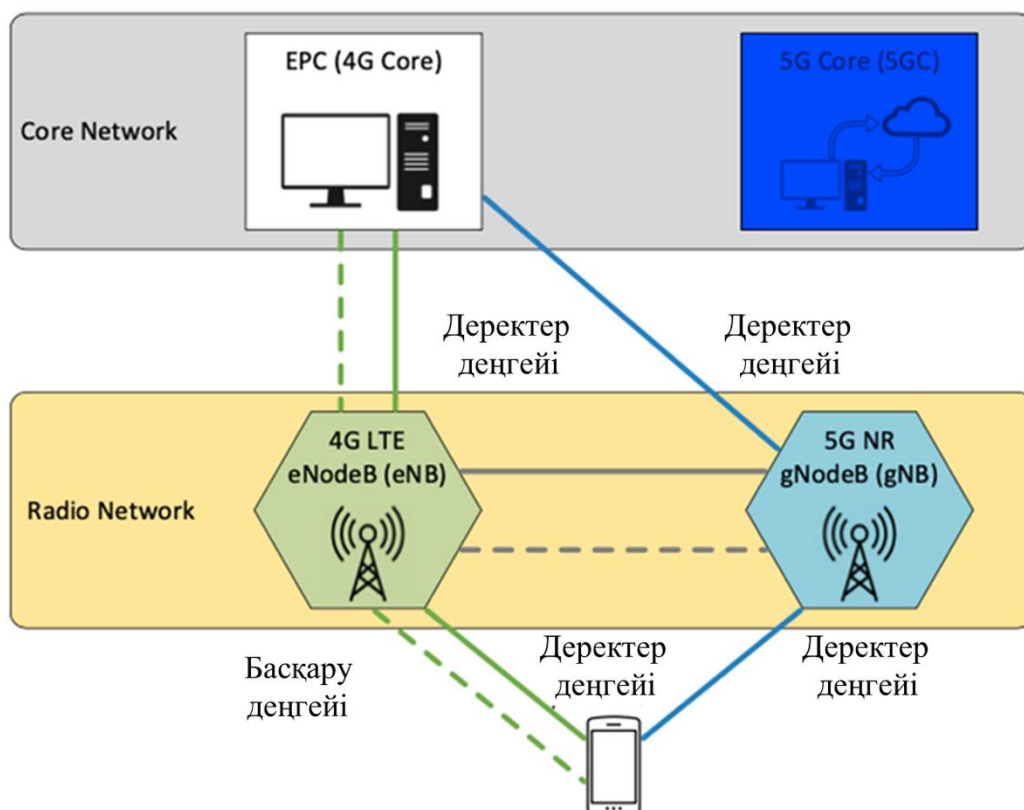
1.2 5G-дің автономды емес желілері

5G NR ұялы байланыс инфрақұрылымының бастапқы енгізілуі жоғары өткізу қабілеті мен сенімді байланысқамтамасыз ету үшін жақсартылған мобильді кең жолақты байланысқа (eMBB) бағытталған және ол екі жаңа радиожілік диапазонында жүзеге асырылады:

- орта жиілікте (1–6 ГГц аралығы)
- жоғары жиілікте (24 ГГц-тен жоғары)

5G NR байланыс желілері алғашқы кезеңде автономды емес (Non-Standalone, NSA) жүйелер ретінде енгізіледі, яғни олар бар 4G желілерінің инфрақұрылымын пайдалануға сүйенеді, бұл 1.3-суретте көрсетілген.

Осындай Non-Standalone жүйелерінде 5G желісін қолдайтын пайдаланушы құрылғылары деректерді жоғары өткізу қабілетімен жіберу үшін 5G жиілік жолағын қолданады, бірақ деректермен байланысты емес міндеттерде, мысалы базалық станциялармен немесе серверлермен байланыс орнатуда, 4G инфрақұрылымын пайдалана береді.



1.3-сурет – 5G автономды емес желілерін енгізу үлгісінің диаграммасы

5G байланыс жүйелерін алғашқы енгізу кезінде келесі бірқатар мәселелер анықталды:

1. Жоғары энергия тұтыну – бұл деректерді тасымалдаудың жоғары өткізу қабілеттілігі мен байланыс сенімділігін қамтамасыз ету үшін есептеу жүктемесінің артуымен байланысты. Бұл мәселе пайдаланушы құрылғылары үшін де, базалық станциялар үшін де өзекті болып шықты.

2. Базалық станция қабылдайтын сигнал қуатының төмендігі – 5G жүйелерінде қолданылатын жұмыс жиілігі 4G жүйелеріндегі орта жиіліктен (4 ГГц-ке дейін) 5G жүйелеріндегі орта жиілікке (6 ГГц-ке дейін) өту кезінде артқандықтан, бұл сигналдың әлсіреуіне себеп болады. Осыған байланысты кедергіден қорғану деңгейін сақтау үшін, пайдаланушы құрылғысынан базалық станцияға дейінгі дерек жолында пакеттік қателерді азайту шаралары қажет.

3. Пайдаланушы құрылғысындағы таратқышта туындайтын сигналдың сызықтық емес бұрмалануларын өтеу – 5G желілерінде дерек тарату үшін қолданылатын жиілік жолағы ұлғайған сайын, қуат күшейткіш (РА) күшейту режимін күшейтуге мәжбүр болады, бұл құрылғының энергия шығынын арттырады.

1.3 5G жүйесіндегі пайдаланушы құрылғыларының энергоэффективтілігі

Халықаралық электрбайланыс одағының Радиобайланыс секторы (ITU-R) энергоэффективтілікті IMT-2020 (International Mobile Telecommunications 2020) стандарты бойынша мобильді ұялы байланыс жүйелеріне арналған ең төменгі техникалық талаптардың бірі ретінде анықтайды.

ITU-R ұйымының есебіне [1] сәйкес, құрылғының энергоэффективтілігі екі негізгі өлшеммен бағаланады:

1. Байланыс жүйесіне жоғары жүктеме кезінде деректерді тиімді жеткізу;

2. Деректер жіберілмеген кезде энергия тұтынудың төмендігі.

Жүктеме жоғары кезінде тиімді дерек жеткізу орташа спектрлік тиімділікпен сипатталады. Ал дерек жіберілмейтін жағдайда энергияны аз тұтыну пайдаланушы құрылғысының ұйқы режимінде болған уақытының үлесі арқылы бағаланады.

Пайдаланушы құрылғысының автономды жұмыс істеу уақыты – бұл 5G жабдықтары мен қызметтерінің енгізілуіне әсер ететін маңызды фактор. Сондықтан 5G жүйесінің алғашқы релиздеріндегі құрылғылардың энергия тұтынуын зерттеп, оны жақсарту үшін тиімді әдістер мен қағидаларды анықтау қажет. Бұл 5G құрылғыларының энергоэффективтілігі кем дегенде 4G-дегі UE (User Equipment) деңгейінен төмен болмауын қамтамасыз етеді.

NR стандартына сай байланыс жүйелерінде пайдаланушы деректері әдетте пакеттік сипатқа ие және өте қысқа уақыт аралықтарында жеткізіледі. Сондықтан энергия үнемдеу үшін UE құрылғысын қажет болған сәтте ғана желіге қосуға мүмкіндік беру – ең тиімді тәсілдердің бірі болып табылады.

5G NR мен 4G LTE жүйелерінде пайдаланушы құрылғысы тұтынатын энергияның едәуір бөлігі желілік қолжетімділік режимінде (RRC_CONNECTED) жұмсалады. Бұл:

- жиіліктер жолағының толық спектрін өңдеумен,
- белсенді радиожіілік тізбектерінің жұмысымен,
- басқару ақпаратын үнемі бақылаумен,
- және энергияны үнемдеу режиміне ауысу/шығу процестерімен

байланысты.

5G жүйесінде деректер әдетте жеке пакеттермен қысқа уақыт аралығында жіберіледі. Сондықтан радиоқабылдағыш схемасын тек қажетті сәттерде қосу және базалық станциядан келетін басқару ақпаратына (Downlink Control Information, DCI) мониторинг жүргізу – энергияны үнемдеудің ең тиімді тәсілі.

Әдетте базалық станция пайдаланушыға үлкен көлемде дерек жібермейді, сондықтан UE құрылғысына арналған трафик құрылымының өзгеруіне динамикалық бейімделе алатын энергия үнемдеу схемасы қажет. Басқаша айтқанда, трафик кейде өте қарқынды болады, ал кейде ұзақ үзілістермен бірге жүреді.

Кідіріс тұрғысынан, базалық станциядан UE-ге дейінгі Downlink басқару сигналдарын әр слотта бақылау пайдалы, себебі бұл:

- Uplink grant (жоғары арнаға дерек жіберу рұқсатын),
- немесе downlink деректерді қабылдау рұқсатын дер кезінде алып,
- трафиктің өзгерісіне жылдам жауап қайтаруға мүмкіндік береді.

Алайда, мұндай үздіксіз мониторинг құрылғы үшін үлкен энергия шығынымен қатар жүреді, өйткені қабылдағыш схеманың тұтынатын энергиясы жалпы тұтынылатын энергияның басым бөлігін құрайды.

Энергияны басқару үшін LTE стандартында үзік-қабылдау схемасы (Discontinuous Reception, DRX) енгізілген болатын [1, 5]. Бұл схема кейіннен NR стандартына бейімделіп қабылданды [2], және 5G жүйелерінің жаңа нумерологиясын ескеретін түрде жетілдірілді.

Болашақта NR стандартындағы UE құрылғыларының энергоэффективтілігін арттырудың негізгі бағыты – осы DRX схемасын кешенді жетілдіру болып табылады [6–9].

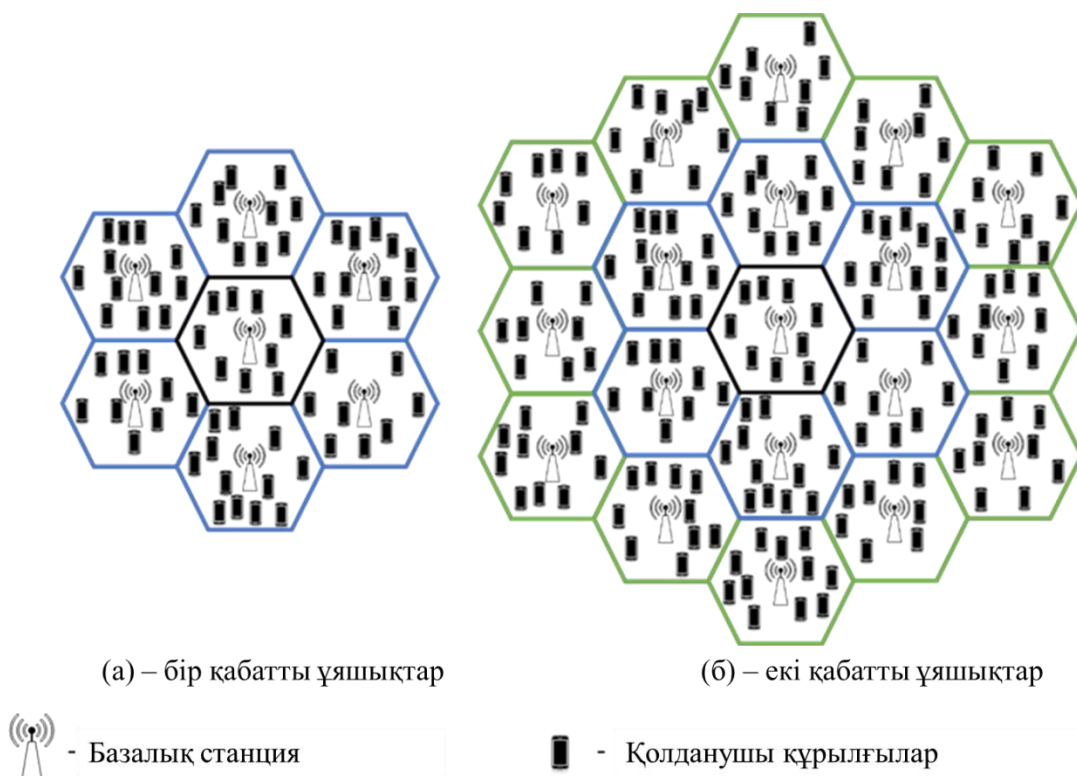
2 5G NR мобильді байланыс жүйелері үшін пайдаланушы құрылғыларының энергия үнемдеу әдістерін жетілдіру

2.1 5G NR мобильді байланыс жүйелік модель сипаттамасы

Бесінші буындағы байланыс желілерінде пайдаланушы құрылғыларының энергия үнемдеу схемаларын зерттеу үшін жүйелік деңгейдегі 5G симуляторы қолданылады. Бұл симуляторда келесі негізгі блоктар ерекшеленеді:

1. Желіні орналастыру:

- Базалық станциялардың орналасуын мобильді ұялы байланыс желісінің типтік құрылымына сәйкес үлгілеу;
- Пайдаланушылар координаттарын кездейсоқ түрде генерациялау (2.1-суретте көрсетілген);
- Әрбір пайдаланушы үшін базалық станциямен (base station, BS) байланыс орнату және инициализацияны жүзеге асыру.



2.1-сурет – Мобильді ұялы байланыс желісінің типтік құрылымы

2. Желі арнасының генерациясы – байланыс жүйесі моделінің жұмыс барысында жаңартылып отырады.

3. Арна жағдайы туралы пайдаланушыдан кері байланыс генерациясы.

4. DRX схемасының алгоритміне сәйкес пайдаланушы күйін өңдеу блогы.

5. Базалық станциядағы жіберу жоспарлаушы – пайдаланушыны (немесе MIMO схемасы үшін пайдаланушылар тобын), оптималды рангты (кеңістік

арналар саны) және бағыт диаграммасының конфигурациясын таңдайды, пропорционалды әділеттілікке негізделген көппайдаланушы алгоритмін қолданады.

6. Базалық станциялар арасындағы интерференцияны ескеретін блок.

7. MMSE қабылдағыш.

8. Арна жағдайын бағалау абстракциясы – бағалау кезінде қателіктерді модельдеу үшін қолданылады.

9. Физикалық деңгейдегі арна кодтау/декодтау абстракциясы – бұл NR стандартындағы төмен тығыздықтағы бақылау коды (LDPC) қолданылатын шуға төзімді кодтау схемасына негізделген.

2.2 Мобильді сымсыз байланыс жүйелерінің жүйелік деңгейдегі модельдеу сценарийлері

3GPP ұйымы төртінші және бесінші буындағы байланыс жүйелерін жүйелік деңгейде модельдеу үшін үш негізгі сценарийді әзірледі:

1. Urban Micro (UMi) – Ашық жер:

- Базалық станциялар қоршаған ғимараттардың шатыр деңгейінен төмен орнатылады.

- UMi ашық алаңы шынайы сценарийлерді бейнелеуге арналған, мысалы, қала немесе вокзал маңы.

- Ашық алаңның типтік ені – 50–100 м.

Мысал (нисходящий канал үшін):

- Базалық станция биіктігі: 10 м

- Қабылдағыш биіктігі: 1.5–2.5 м

- Желі ұяшығының географиялық өлшемі (ISD): 200 м

2. Urban Macro (UMa):

- Базалық станциялар ғимарат шатырларынан жоғары орнатылады.

Мысал (нисходящий канал үшін):

- Базалық станция биіктігі: 25 м

- Қабылдағыш биіктігі: 1.5–2.5 м

- ISD: 500 м

3. Ішкі орта (Indoor) сценарийі:

- Желі құрылымының кеңсе немесе сауда орталығы сияқты ішкі ортада орнатылуын сипаттайды.

- Кеңсе ортасы – ашық кеңістіктер, бөлмелер, дәліздер.

- Базалық станциялар 2–3 м биіктікте, төбе немесе қабырғада орнатылады.

- Сауда орталықтары 1–5 қабатты болуы мүмкін.

- Базалық станциялар дәліздерде немесе цехтарда 3 м биіктікте орналасады.

Кесте 2.1 – 5G жүйелерін модельдеу сценарийлерінің параметрлері

Сценарий	BS арақашықтығы, м	BS антенна биіктігі, м	UE ішкі ортада үлесі	UE горизонталды орналасуы	UE орны (ішкі/сыртқы)	Көріну желісі (LOS/NLOS)
UMi	200	10	80%	Біркелкі	Ішкі және сыртқы	Көрінетін және көрінбейтін
UMa	500	25	80%	Біркелкі	Ішкі және сыртқы	Көрінетін және көрінбейтін
Indoor	20	3 (төбеде)	100%	Біркелкі	Ішкі	Көрінетін және көрінбейтін

Қосымша параметрлер:

- Желі құрылымы: 3 сектордан тұратын 19 микроұяшықты алтыбұрышты тор
- Ғимарат өлшемі: $120 \times 50 \times 3$ м
- UE жылдамдығы (горизонталды): 3 км/сағ
- BS пен UE арасындағы минималды қашықтық:
 - UMi – 10 м
 - UMa – 35 м
 - Indoor – 0 м
- Ішкі ортадағы пайдаланушы биіктігі (hUT):
 - $h_{UT} = 3(n_{fl} - 1) + 1.5$
 - n_{fl} (қабат саны):
 - UE сыртта: $n_{fl} = 1$
 - UE ішінде: n_{fl} біркелкі таралған, (1, N_{fl}), мұнда $N_{fl} \in (4, 8)$

2.3 Мобильді байланыс жүйелеріндегі трафик модельдері

4G LTE сымсыз жүйесін әзірлеу алдында, трафик модельдері 3GPP TSG-RAN1#48 құжатында [5] ұсынылған. Онда физикалық деңгейде желі өнімділігін бағалау үшін әр түрлі қызмет түрлеріне арналған параметрлер мен мысалдар берілген.

Негізгі трафик түрлері:

- FTP
- Веб-браузинг
- Бейнеағын (Video streaming)

- Ойын (Gaming)
- VoIP (дыбыстық трафик)

Кесте 2.2 – Мобильді байланыс жүйесі пайдаланушыларының трафик түрлерінің үлестік бөлінісі

Модель	Трафик санаты	Пайдаланушылар үлесі
FTP	Гарантиясыз жеткізу қызметі	10%
Web Browsing	Интерактивті	20%
Video Streaming	Ағынды деректер жеткізу	20%
VoIP	Нақты уақыттағы байланыс	30%
Gaming	Нақты уақыттағы интерактивті трафик	20%

3 5G желісінің QoS параметрлерін бағалау әдістерін зерттеу

3.1 Жоғары жылдамдықтағы желілерге шолу

Технологиялық жетістіктер жоғары жылдамдықты әрі сенімді желі байланыстарына деген сұранысты арттырды. Бұл сұраныс дауыстық және бейне қоңыраулар, онлайн бейнеағындар, мәліметтерді жүктеу мен жіберу сияқты қызметтерді қамтиды [1]. Мұндай қажеттіліктерді қанағаттандыру үшін гетерогенді желіге негізделген 5G технологиясы мобильді форматта қолданылады. Бұл – пайдаланушыға немесе желіге бағытталған қызмет, сондай-ақ орталықтандырылған радио қатынау желісі (CRAN) деп те аталады [2].

Пайдаланушылар саны күннен күнге экспоненциалды түрде артып келеді. Сондықтан үлкен көлемдегі желілік трафикті тиімді басқару, сонымен қатар жоғары дерек тарату жылдамдығын сақтау қажеттілігі туындайды. Желілік трафиктің көбеюі 5G желісінің төмен кідіріс пен жоғары жылдамдықпен іске асырылуын талап етеді [3]. 5G технологиясы қазіргі буынмен салыстырғанда 1000 есе көп пайдаланушыға қызмет көрсетуге және кемінде 10 есе кідірісті азайтуға бағытталған [4].

Қолданушылар санының артуы соңғы құрылғылар (EU) мен қашықтағы радио модульдер (RRH) арасындағы үйлестіруді күрделендіреді. Мұндай жағдайда CRAN архитектурасы 5G үшін ең тиімді шешім болып табылады [5].

CRAN құрамына кеңінен таралған антенна жүйелерінен тұратын RRH құрылғылары кіреді. Бұл RRH құрылғылары орталық өңдеу блогынан (CPU) бөлек орнатылады. CPU бұл архитектурада базалық жиілік блогы (BBU) деп аталатын оқшауланған ортада орналасқан бұлтты негіздегі құрылғы [6,7]. Бірнеше BBU блогының жиынтығы BBU пулын құрайды. CRAN архитектурасында әрбір RRH оптикалық талшық арқылы BBU-мен тікелей байланысады.

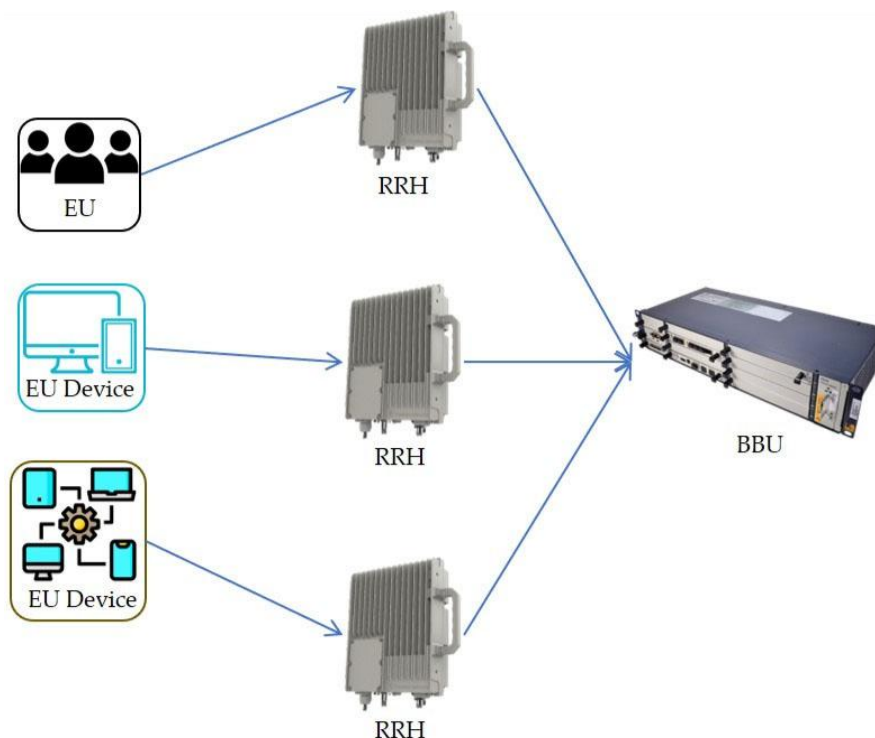
Белгілі бір географиялық аймақта тығыз орналастырылған RRH құрылғыларының желісі Ультра-тығыз желі (Ultra-Dense Network, UDN) деп аталады. UDN қолдану кідірісті азайтып, желі өнімділігін арттырады [8].

Желіге қосылатын құрылғылар саны әрқашан болжамсыз болады. Сондықтан, Long-Term Evolution (LTE) жүйесінде LTE Advanced-пен салыстырғанда кадр ұзақтығы қысқарып болып есептеледі. Көптеген соңғы құрылғылар ресурстарға ие болған кезде де, жүйенің өткізу қабілетін және жалпы тиімділікті сақтау маңызды болып қала береді.

Дәстүрлі ресурстарды бөлу (RA) әдісі байланыс арнасының күйі туралы ақпаратты (CSI) қолданады. Алайда, Mina және авторлар RA әдістерінде CSI қолдану жүйелік жүктемені арттыратынын және ресурстарды көп тұтынатынын атап өтті [9].

RA архитектурасы ақпаратты табу және жеткізуге негізделген, ол интернеттегі инфрақұрылымдық желіретінде қарастырылады. Бұл желі ақпаратты қауіпсіз өңдеуді және бағыттауды қамтамасыз етеді.

CRAN архитектурасы мен ресурстарды бөлу тәсілдеріне арналған көптеген ғылыми мақалалар жарық көрген [4–8]. CRAN архитектурасының құрылымдық сызбасы 3.1-суретте көрсетілген.



3.1-сурет – CRAN архитектурасы

Осы дипломдық жұмыста біз BBU пулындағы BBU блогтары арасында орын туралы ақпаратты пайдалана отырып, ең күрделі ресурстарды бөлу (RA) мәселелерінің бірін қарастырдық. 5G желісі жоғары жылдамдықтағы деректерді жеткізуді және төмен кідірісті қамтамасыз етуге бағытталған. Алайда, белсенді пайдаланушылар санының жалпы өсуі ресурстарды тиімді бөлу процесін жүзеге асыруда қиындық туғызады, әсіресе дәстүрлі RA техникасын қолданғанда.

Дәстүрлі RA техникасы арна күйі туралы ақпаратты (CSI) қолданады, ол көп жүйелік жүктемені қажет етеді, бұл процесті қымбатқа түсіреді [10]. Негізгі мақсат - 5G желілерінде ресурстарды сегменттеудің (RS) тетігін ұсыну. Бұл мәселені шешу үшін CRAN ішіндегі BBU блогтары арасында RA жүргізу үшін соңғы пайдаланушының (EU) орналасуын бағалауға негізделген шешімді әзірлеуге болады.

Операциялық шығындарды және қуат тұтынуды азайтуға назар аудардық. Біз орынға негізделген ресурстарды сегменттеу (RS) техникасын қолданатын, модификацияланған RA схемасын қарастыруға болады. Ол модификацияланған Random Forest алгоритмін (RFA), сигналдық кедергі мен шудың қатынасын (SINR) және EU координаттарын пайдаланады.

Жақсартылған RA ұсынылған сапа деңгейін (QoS) 5G сымсыз желілерінде қолдау үшін көмектеседі. Бұл RS техникасы энергия тиімділігі

және өткізу қабілеті сияқты әртүрлі параметрлерді енгізу ретінде алып, модуляция және кодтау схемаларын (MCS) болжайды. Ол EU құрылғысы мен RRH арасындағы байланысты орнатады. Ол негізінен 5G желісінің негізгі шығындарына (CAPEX) және операциялық шығындарына (OPEX) шоғырланады.

Модельдеу талдауы ұсынылған орынға негізделген модификацияланған RA схемасының өнімділігін көрсетті: пайдаланушылардың өзгерісі кезінде ол дәстүрлі CSI негізіндегі және оқытуға негізделген схемалармен салыстырғанда 2,5 Мбит/с өткізу қабілетін жақсартты. Сондай-ақ, ұсынылған CRAN энергия тиімділігін 2,65 bps/Hz/W дейін арттырды, ал бар H-CRAN жүйесінде бұл мән 2,5 bps/Hz/W болатын.

3.2 5G желісінің QoS параметрлерін бағалау әдістеріне шолу

4G LTE және Long-Term Evolution Advanced (LTE/A) интернет-протоколға (IP) негізделген пакеттік коммутацияны пайдаланады. LTE-нің басты мәселесі – географиялық аймақтағы ауыспалы пайдаланушыларды басқару. Желілік өзгерістер машиналық оқытуға (ML) негізделген бірнеше кіріс, бірнеше шығыс (MIMO) арқылы пайдаланушылар арасындағы ресурстарды алу негізінде арна болжау арқылы жүзеге асырылады.

Бұл CSI дәлдігін жақсартып, деректерді қысу және өңдеу кідірісін азайтуға көмектеседі [11], сондай-ақ CSI-дің толық еместігі кезінде арна жылдамдығына бейімделуге мүмкіндік береді [12]. Алайда, бұл әдіс 5G желілеріне қолданғанда тиімді емес, себебі трафик көлемі өте үлкен. Зерттеуде [13] авторлар соңғы пайдаланушыларды тиісті RRH-мен байланыстыратын жуықтау алгоритміне негізделген ресурстарды бөлу әдісін ұсынды.

Жуықтау алгоритмі белгілі бір RRH-ке қосылған соңғы пайдаланушылардың шамамен санын анықтады. Содан кейін ол соңғы пайдаланушы мен RRH және RRH пен BBU арасындағы байланысты орнатты. [14]-жұмыста авторлар жаңа радио мен LTE желісін біріктіретін ресурстарды бөлу схемасын нақты сипаттады, ол орталықтандырылған тәсілде есептеу күрделілігі мен артық сигнал мәселесін шешеді.

Ұсынылған HCCRRA негізінде қуат тұтыну және өткізу қабілеті пайдаланушылар пакеттерінің келу жиілігінің өзгерісіне қарай жақсарды. Сондықтан, келесі буындағы 5G желілерінде ресурстарды бөлу стратегиясы әртүрлі уақыт шкалаларында және тығыздықты басқару саясаттарына сәйкес қолданылуы мүмкін [15].

Нуан және басқалар [16] жұмысында миллиметрлік толқын (mmWave) сәуле бағыттау және 5G CRAN желілерінде жеке және бірнеше пайдаланушы жағдайлары үшін гибриді сәуле қалыптастыруға негізделген оңтайландырылған уақыт кідірісі қоры қарастырылды. [17]-де CRAN желісіндегі ресурстарға сұраныс негізінде желі трафигін ескере отырып ресурстарды ұсынуға негізделген энергия тиімді схема жасалды.

Ресурстарды бөлу мәселесін оңтайландыру және басқару үшін олар графтық конволюциялық желілерге (GCN) негізделген ресурстарды бөлу әдісін ұсынды [18]. Авторлар бұл әдіс сымсыз желілердегі байланыс күрделілігіне қатысты елеулі жақсартулар беретінін дәлелдеді [19]. Желі тығыз болғандықтан, көбірек ресурстар пайдаланылады, бұл процестің энергия тиімділігін арттырады.

[20]-да соңғы пайдаланушы айырмашылығына қарай энергия тиімділігін арттыру үшін су толтыру моделіне негізделген ресурстарды бөлу қолданылатын кооперативті модель ұсынылған.

Сол сияқты, [21]-жұмыста авторлар екілік классификатордан шыққан нәтижелерді тексеру үшін Random Forest алгоритмі мен жүйелік жоспарлаушыны қолданатын ресурстарды бөлу механизмін ұсынды. Алгоритм тұрақтылық тұрғысынан жақсы нәтиже бергенімен, зерттеу мен дамуы шектеулі. [22]-жұмыста авторлар бақыланатын машиналық оқыту стратегиясын қолдана отырып классификатор жасау үшін Random Forest алгоритмін қолдануды ұсынды.

Олар кіріс параметрлерін классификациялау үшін ID3 шешім ағашын қолдануды қарастырды. Сонымен қатар, ресурстарды бөлу кезінде SINR тұрақты болып қалды. Алайда, SINR мәні динамикалық түрде өзгеретіндіктен, ресурстарды оңтайлы бөлу мүмкін болмауы мүмкін.

CRAN ішіндегі BBU арасында ресурстарды бөлу тәсілдерін, соның ішінде RRH деңгейі, жоғары қуатты түйіндер (HPN) деңгейі және H-CRAN қарастырылғаннан кейін, дәстүрлі RA әдісі бесінші буындағы (5G) соңғы пайдаланушының (EU) CSI негізінде жүзеге асырылады. Алайда, жүйелік жүктеменің шамамен 25%-ға дейін артуына байланысты дәстүрлі RA схемасы 5G желісіне арналған CRAN-да қолдануға оңтайлы емес [23].

Дәстүрлі CSI негізіндегі RA схемасы жүйеде пайдаланушылар саны артқан кезде де оңтайлы нәтиже бере алмайды. Сонымен қатар, машиналық оқыту негізіндегі RA схемаларында MCS-ті болжауда қолданылатын шешім ағашы — ID3, ол үйрену немесе тестілеу деректерінде бос мәндер болған кезде тиімді емес. ID3 шешім ағаштары артық сәйкестендіру (overfitting) мәселесін шеше алмайды.

Машиналық оқыту кезінде деректерді алдын ала өңдеу мен классификациялау болжау процесінің дәлдігін жақсартыады [24]. Жоспарлауға негізделген ресурстық есептеулер деректердің сенімділігіне қарай ресурстарды басқаруға жол ашады [25]. [26]-жұмыста ресурстарды бөлудің тиімділігін басқаруда CRAN артықшылықтарын талқылайтын ресурстарды тиімді сегменттеу ұсынылған.

Содан кейін ұсынылған стратегия RRH мен MCS схемаларына қатысты бар Random Forest алгоритмін қолдануға негіз болды. Талдау пайдаланушылар саны мен тығыздық өзгерген кезде орташа өткізу қабілеті бойынша жүргізілді. Әртүрлі RA әдістері 3.1-кестеде жинақталған.

Автор бұл мәселелерді шешу үшін соңғы пайдаланушының (EU) орналасуын бағалауды пайдалануды ұсынады. EU орналасуының бағасы ұсынылған бақыланатын машиналық оқытуға негізделген RA схемасына

енгізу ретінде берілуі мүмкін, ол EU үшін MCS тағайындау үшін C4.5 шешім ағашын жасайды [27].

Сондықтан авторлар CRAN жүйесінде жүзеге асыру үшін 5G желісіне арналған тиімді RA схемасын ұсынуға мүмкіндік алады. Осылайша, біздің ұсынылған стратегия модификацияланған Random Forest алгоритмі арқылы шешім ағашын біріктіріп, ресурстарды тиімді бөлу мақсатын алға қояды [28,29].

Кесте 3.1 – Ресурстарды бөлуге негізделген қолданыстағы жұмыстар

№	Мақала атауы	Ұсынылған әдістеме	Зерттеу алшақтығы және болашақ жұмыс бағыттары
1	Виртуалды BBU серверді біріктіру және базалық станцияны ұйқы күйіне келтірумен энергия тиімді 5G бұлтты RAN [13]	Шағын ұяшықтарға негізделген орталықтандырылған RRH өшіру механизмі арқылы H-CRAN моделі ұсынылады. Бұл модель энергия тұтынуды азайту және үзілістер ықтималдығын төмендету үшін ресурстарға сезімтал қуат тұтынуына негізделген.	Мобильді ортадағы бұлттық есептеулерде энергия үнемдеу үшін тапсырмаларды аутсорсингке беруге болады.
2	5G CRAN желілеріне арналған RBF-SVM негізіндегі ресурстарды бөлу схемасы [14]	Ресурстарды бөлу үшін оқытуға негізделген радиалды базалық функциясы (RBF) және қолдау векторлары машинасы (SVM) ұсынылады. Ол пакет өлшемі мен ресурс блогына сүйене отырып пайдаланушының орнын болжайды.	Өткізу қабілеті мен классификация параметрлерін талдау үшін әртүрлі классификатор алгоритмдерін қолдануға болады.
3	Миллиметрлік толқындарда орталықтандырылған сәуле бағыттауды қамтамасыз ететін оптикалық нақты уақыт кідірісі пулына негізделген гибриді сәуле қалыптастыру [16]	OTTDP-HBF (Optical True Time Delay Pool-Based Hybrid Beamforming) схемасы орталықтандырылған сәуле қалыптастырумен және басқару блогындағы есептік өңдеумен жүзеге асырылады. Бұл бір пайдаланушы және көп пайдаланушы жағдайларына арналған әртүрлі прекодтау схемаларын талдауға мүмкіндік береді.	Бір және бірнеше пайдаланушы сценарийлері үшін спектрлік тиімділікке негізделген әртүрлі прекодтау әдістері зерттелуі мүмкін.

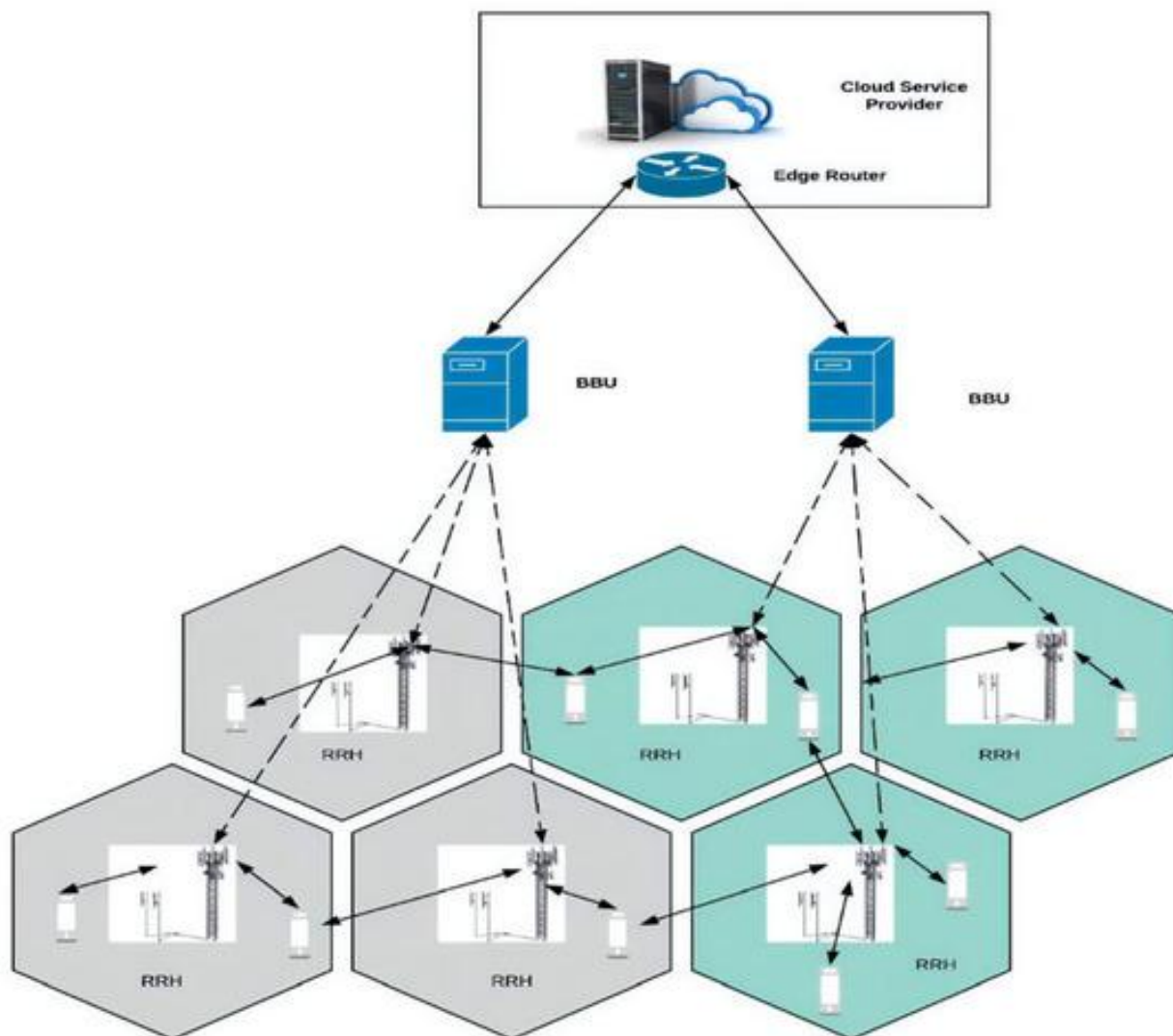
3.1-кестенің жалғасы

4	Тұманды радио қатынау желілерінде мазмұн таратуды жақсартуға арналған Deep Reinforcement Learning негізіндегі ресурстарды бөлу [30]	Радио қатынау желісіндегі ресурстарды бөлу мәселесін шешу және мазмұн таратуды жақсарту үшін терең күшейтуге негізделген оқыту әдісі (DRL) ұсынылады.	Кооперативтік желіге негізделген бағыттау шешімдері арқылы аутсорсинг схемаларын жүзеге асыруға болады.
5	Пайдаланушыға бағытталған базалық станциялар кооперациясы желілері үшін ресурстарды бөлу бойынша оқыту [31]	Үлкен масштабты желі үшін деректерді оқыту жүктемесін азайту мақсатында пайдаланушыға бағытталған кооперативтік желіге негізделген графтық теориялық тәсіл ұсынылады.	Ресурстарды бөлу мәселесі. Ұсынылған әдіс уақыт/жиілік арқылы ортогоналдылыққағидатына негізделіп қолданылуы мүмкін.

3.3 5G желісінің QoS параметрлері туралы мәліметтер мен жорамалдар

Дипломдық жұмыста қарастырылып отырған архитектураның негізгі идеясы – 5G желілері үшін ресурстарды сегменттеуге негізделген CRAN құрылымын енгізу, мұнда соңғы пайдаланушылардың нақты орналасу бағалауы BBU блогтары арасында ресурстарды бөлу үшін негіз ретінде қарастырылады. Бұл бөлімде алдымен CRAN архитектурасы мен оның негізгі құрамдас бөліктері сипатталады. Одан кейін ресурстарды бөлу процесі BBU негізінде жүзеге асады, мұнда EU (соңғы пайдаланушы) мен RRH (қашықтағы радио блогы) арасында дұрыс байланыс орнату арқылы SNIR және тарату қуаты бағаланады. Орналасу координаттары CRAN жүйесіндегі RRH арқылы пайдаланушының әрбір кадр бойынша кіруіне негізделе отырып есептеледі.

CRAN – 5G желісі үшін қолданылатын біріктірілген архитектура. Осы жүйенің кейбір негізгі құрамдас бөліктері 3.2-суретте көрсетілген.



3.2-сурет – Модификацияланған C-RAN архитектурасы

Base Band Unit (BBU) – бұл оқшауланған бұлтқа негізделген орталық процессор блогынан тұратын құрылым. Бұл процессор негізгі жиілік сигналдарын өңдеуге жауапты. Әрбір BBU бір немесе бірнеше RRH-ты бір уақытта басқара алады.

RRH (Remote Radio Head) – бұл қашықтан таралған антенна жүйесінің оқшау блогы. Бірнеше RRH-тың жиынтығы ультра-тығыз желі (UDN) деп аталады. Әрбір RRH арнайы оптикалық талшық арқылы BBU-мен байланысады.

N – соңғы пайдаланушы құрылғысын (EU) білдіреді. Әрбір EU RRH-пен сымсыз байланыс арнасы арқылы байланысқан.

RRH және EU құрылғыларында тарату және қабылдау антенналары бар, мұнда A_{Tx} – тарату антеннасы, ал A_{Rx} – қабылдау антеннасы ретінде белгіленеді. CRAN жүйесі антенна жүйесін кез келген биік құрылымға, мысалы, ғимарат, көше шамы және т.б. орнатуға мүмкіндік береді.

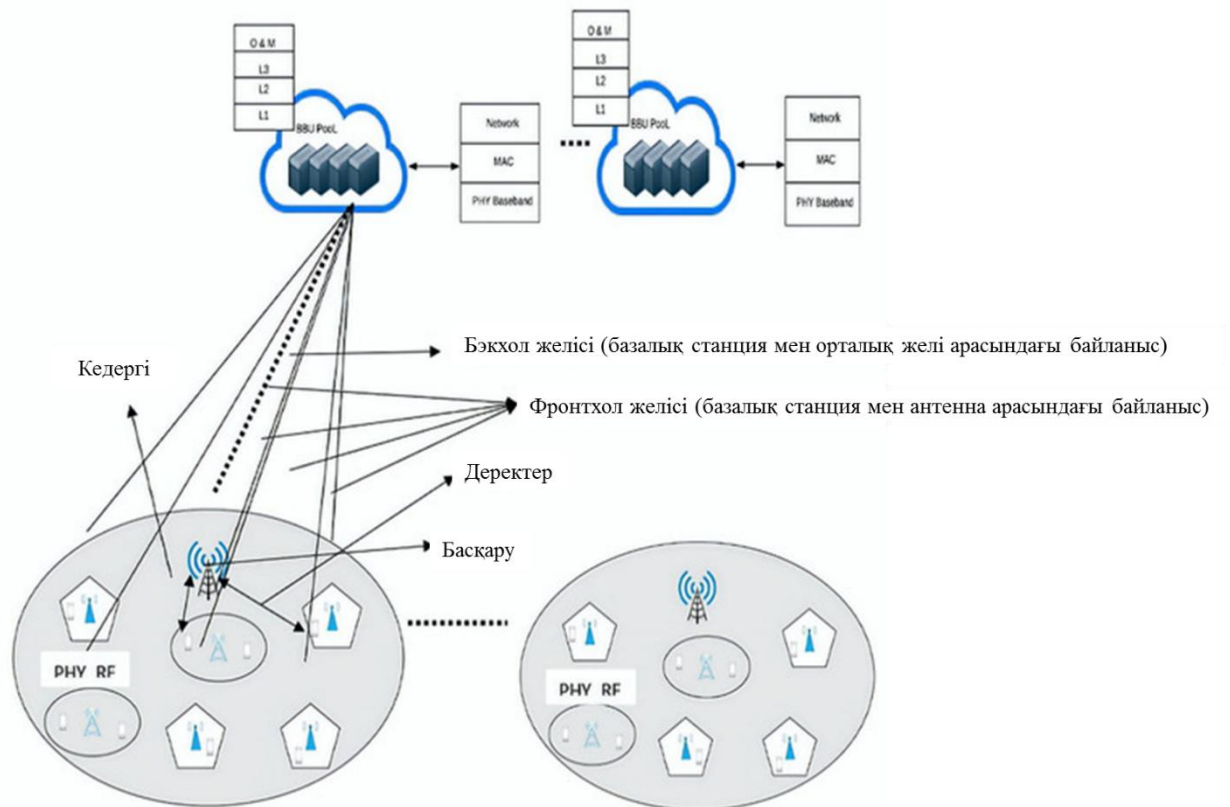
CRAN уақыты бойынша дуплекстік бөлу (TDD) және ортогоналды жиілік бөлгіш модуляция (OFDM)режимінде жұмыс істейді.

Белгілі бір сәтте тек бір ғана EU RRH-ке қосылған деп есептеледі.

3.4 CRAN жүйесіндегі ресурстарды бөлу

CRAN жүйесі бұлтқа негізделген орталық процессор блогы – BBU-дан тұрады. Бұл блок жүйе жаңа EU құрылғысын анықтағанда қажетті негізгі жиілік өңдеуін толық қамтамасыз етеді (3.3-суретке сәйкес).

Ресурстарды бөлу процесі кезінде алдымен EU әр кадр үшін тиісті RRH-ке тағайындалады. EU құрылғылары RRH-тарға бекітілгеннен кейін, тағайындау матрицасы құрылады және ол ω деп белгіленеді.



3.3-сурет – BBU мен RRH арасындағы ресурстарды сегменттеу

Белгілі бір t уақыт сәтінде EU мен RRH арасында байланыс орнатылған жағдайда, деректерді тарату тарату ортасындағы кедергі деңгейіне байланысты болады. Белгілі бір уақыттағы RRH және EU жұбы үшін, SINR (сигнал/кедергі мен шу қатынасы) келесі түрде беріледі — (3.1)-дегі (3.2) теңдеуді қолдану арқылы есептеледі.

$$\text{SINR}_q^t = \frac{P_{tp,q}^t}{\sigma^2 + \sum_{\substack{s=1, \\ s \neq p}}^R P_{s,q}^t} \quad (3.1)$$

мұндағы:

$TP_{tp,q}^t$ уақыт кадрында р-нші RRH-тен q-нші EU құрылғысына қабылданған жалпы сигнал қуатын білдіреді;

$TP_{s,q}^t$ – t уақыт кадрында s-нші RRH-тен q-нші EU құрылғысына қабылданған жалпы сигнал қуатын сипаттайды;

ал σ^2 – жалпы шу қуатын білдіреді.

Сондықтан, қабылданған жалпы сигнал қуаты келесі түрде беріледі:

$$TP_{tp,q} = TP_{tp} \cdot |T_{p,q}^t \cdot C m_{p,q}^t \cdot R_{p,q}^t|^2 \quad (3.2)$$

TP_{tp} – әрбір RRH үшін берілетін тарату қуатының мөлшерін білдіреді, ал $C m_{p,q}^t$ – t уақыт кадрындағы RRH_x пен EU арасындағы арна матрицасын (Channel Matrix) көрсетеді.

Арна матрицасының әрбір компоненті арналық импульсті сипаттайды. Арналық импульс [32] – бұл A_{Tx} (тарату антеннасы) мен A_{Rx} (қабылдау антеннасы) арасындағы бірнеше бөліктер арқылы пайда болған барлық импульстердің жиынтығы, және ол келесі түрде өрнектеледі:

$$K_{x, R_x^a, T,}^a(t, \alpha) = \sum_{m=1}^M \bar{k}_{m,x, R_x^a, T,}^a(t) \cdot e^{\frac{j_2 \pi b_m(t)}{\lambda}} \cdot \delta\left(\alpha - \alpha_{m,x, R_x^a, T,}^a(t)\right) \quad (3.3)$$

M – көпсәулелі (multipath) компоненттер саны, $\bar{k}_{m,x, R_x^a, T,}^a(t)$ – m-нші көпсәулелі жолдан пайда болған импульстік әсерді білдіреді, оған жолдағы өшу (path loss) та кіреді.

Толқын ұзындығы λ әрпімен белгіленеді, ал $b - t$ уақыт кадрында m-нші көпсәулелі жол арқылы жүріп өткен толық қашықтықты білдіреді.

$\delta\left(\alpha - \alpha_{m,x, R_x^a, T,}^a(t)\right)$ – дельта-функцияны, яғни арналық импульс жауаптарының әртүрлі көпсәулелі кідірістерге (delay) байланысты өзгеруін сипаттайды.

$\alpha - \alpha_{m,x, R_x^a, T,}^a(t)$ – m-нші көпсәулелі жолға тән кідіріс.

3.5 5G орналасу координаталарын бағалау

Жаңа пайдаланушы CRAN жүйесіне кірген кезде, ол бір RRH құрылғысына тағайындалады. Бұл тағайындау орналасу координаталарын бағалау негізінде жүзеге асады.

Бұл бағалау үшін жүйелік жүктемеге жататын арнайы модуль қажет. Мысалы, [33] еңбегінде көрсетілгендей, жалпы кадр ұзақтығы $t_f = 1$ мс деп алынған, ал әрбір кадр ұзақтығы t_{sub} болатын $S = 2$ ішкі кадрдан тұрады.

Әр ішкі кадрдың бастапқы бірліктері орналасу координаталарын бағалау үшін қолданылған, ал уақыт кадрының бірлігі (unit) тар жолақты маяктар (narrowband beacons) арқылы беріліп, орын анықтаудың негізі болған.

Кең жолақты маяктар (wideband beacons) дәстүрлі ресурстарды бөлу әдістеріне сүйене отырып, орналасу бағалауын жүргізуге қолданылған.

Жүйедегі барлық EU санына байланысты, орналасуды бағалау үшін қажет бірліктер саны анықталады. Белгілі бір уақыт кадрында пайдаланылмаған бірліктер беріліс арнасында деректерді жеткізу үшін пайдаланылуы мүмкін [34].

Жоғарыда сипатталған параметрлерге негізделі отырып, әрбір кадр бойынша орналасуды бағалау үшін қажет пайыздық жүктеме келесі формуламен есептеледі:

$$SO_{pos} = \frac{SY_{pos} \cdot f_{subc,pos}}{SY_{total} \cdot f_{subc,total}} \quad (3.4)$$

мұндағы:

SY_{pos} – CRAN жүйесінде соңғы пайдаланушының (EU) орналасуын бағалау үшін пайдаланылатын OFDM символдарының саны,

$f_{subc,pos}$ – орын анықтауға арналған барлық қосалқы тасымалдаушылардың саны,

SY_{total} және $f_{subc,total}$ – t_f уақыт кадрындағы жалпы OFDM символдары мен қосалқы тасымалдаушылардың саны болып табылады.

SO_{pos} есептелгеннен кейін, бұл мән бір MBS желісіндегі трафик сұранысын қанағаттандыру үшін жаңа RRH-ты қосу кезінде енгізу мәні ретінде алынған.

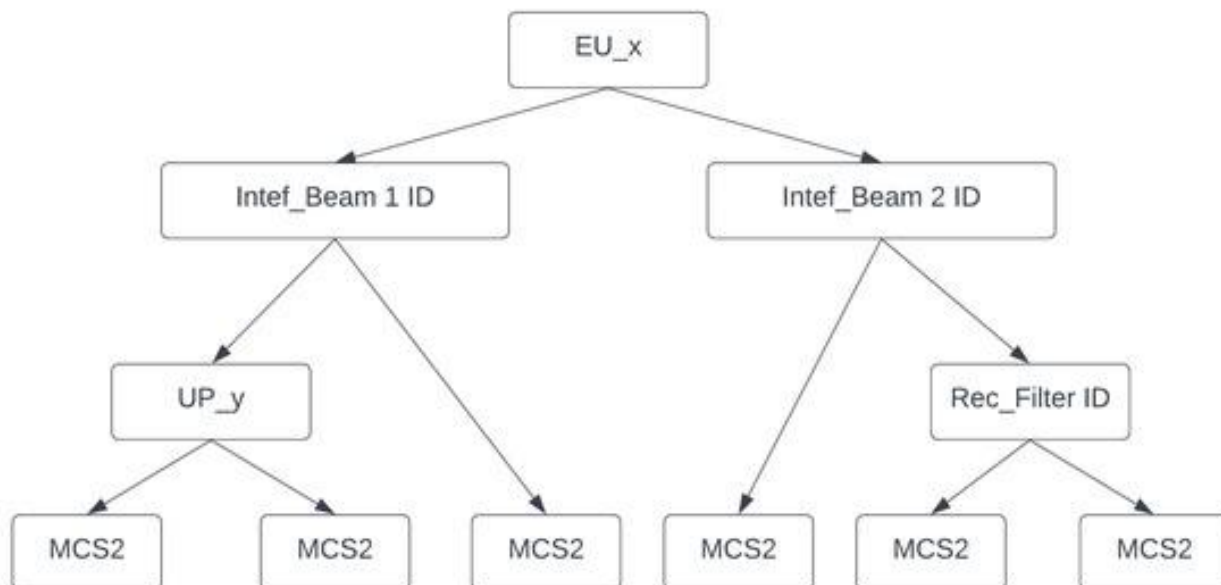
Бұл бөлімде біз EU-дің орналасуын бағалау арқылы модуляция және кодтау схемасын (MCS) болжауға арналған бақыланатын оқытуға негізделген RA схемасын ұсынамыз.

C4.5 шешім ағашына негізделі отырып [35], EU мен RRH арасындағы жоғары жылдамдықты дерек жеткізу үшін тиімді байланыс құру ұсынылды. Бұл тәсіл мәселе сипаттамасында көрсетілген қиындықтарды шешуге бағытталған (3.4-суретте көрсетілген).

Ұсынылған RA схемасы Random Forest алгоритміне (RFA) негізделген. Бұл алгоритм берілген енгізу параметрлері бойынша шешім қабылдайтын кездейсоқ екілік шешім ағаштарының орманын құруға мүмкіндік береді.

RFA жаттықтыру деректер жиынына тәуелді, бұл жиын екі бөліктен тұрады: енгізу белгілерінің векторы және шығыс мәндері. RFA енгізуді белгілер векторынан алады.

Осылайша, ол тереңдігі γ_d болатын C4.5 екілік ағаштарын (γ) құрады, бұл ағаштар жетіспейтін деректермен және артық сәйкестендіру (overfitting) мәселелерімен тиімді жұмыс істей алады.



3.4-сурет – EU-дің орналасуын MCS негізінде бағалау

Енгізу белгілері векторы (input feature vector) келесі элементтерден тұрады:

- $R_x \rightarrow$ Белгілі бір уақыттағы EU мен RRH арасындағы байланысқа арналған қабылдау сүзгісінің мәні
- $T_x \rightarrow$ Белгілі бір уақыттағы EU мен RRH арасындағы байланысқа арналған тарату сүзгісінің мәні
- SINR $\rightarrow$ Сигналдың кедергі мен шудың қатынасы мәні
- PE $\rightarrow$ 3.4-суретте көрсетілгендей, уақыт кадрындағы маяктардан алынған орналасу бағалауының мәні
- $ITB_y \rightarrow$ n-нші EU-ды q-нші RRH-ке тағайындау үшін пайдаланылатын кедергі келтіретін тарату сәулесінің мәні

Ұсынылған машиналық оқытуға негізделген модель түрлі телекоммуникация провайдерлерінен алынған нақты уақыт деректерінің үлгілері көмегімен жаттықтырылды. Жүйеге нақты EU мен RRH арасындағы байланыс, сондай-ақ олардың тарату сәулесі, қабылдау сүзгісі және MCS мәндері туралы деректер енгізілді.

Жүйе жаттықтырылғаннан кейін, модельдің дәлдігін тексеру үшін тест деректері қолданылды. Көптеген жаттықтыру және тексеру кезеңдерінен кейін, модель белгілі бір EU мен RRH арасындағы байланыс үшін модуляция және кодтау схемасын (MCS) болжау үшін қолданылды.

3.3-суретте Random Forest ішінен алынған C4.5 кездейсоқ екілік шешім ағашының мысалы көрсетілген. C4.5 шешім ағашын құру алгоритмі төменде 3.1-алгоритм түрінде берілген.

Алгоритм 3.1 – Модификацияланған C4.5

Кіріс: Мәліметтер жиыны D_s

Шығыс: Шешім ағашы DT , Түйіннің қателік мөлшері N

Бастау:

Түбір түйіні RT болатын ағаш түйіні T құрылады

Содан кейін $RT \rightarrow$ деректер жиынын жіктейді

Егер (T түйіні $\rightarrow$ Атрибуттар $\{1, 2, \dots, n\}$ болса):

$\rightarrow RT1 \rightarrow RT +$ тармақ B

$\rightarrow RT1$ мәнін қайтару

Әйтпесе егер (T түйіні — бос болса):

$\rightarrow$ Тармақ $B = N$

$\rightarrow N$ мәнін D класы ретінде тағайындау

$\rightarrow N$ мәнін қайтару

Әйтпесе егер (T түйіні — бірдей D категориясы болса):

$\rightarrow$ Жапырақ түйін $= N$

$\rightarrow N$ мәнін C класы ретінде белгілеу

$\rightarrow N$ мәнін қайтару

Әйтпесе:

$\rightarrow T$ түйініне жаңа тармақ қосу

$\rightarrow (i = 1\text{-ден } n\text{-ге дейін})$ қайталау

{

$\rightarrow$ Атрибуттың ақпараттық табысын (Information Gain) есептеу

}

$\rightarrow Ta \rightarrow$ Атрибутты тексеру

*$\rightarrow$ Ең үлкен ақпараттық табыс $\rightarrow Ta * N$*

Әрбір T ағашын бөлу кезінде:

Егер (T бос болса):

$\rightarrow$ Жапырақ түйін $\rightarrow N$ ішкі түйіні

Әйтпесе:

$\rightarrow$ Шешім ағашы $DT \rightarrow N$ ішкі түйіні

$\rightarrow$ Түйін N үшін қателік мөлшерін есептеу (Missing Rate)

$\rightarrow N$ мәнін қайтару

Соңы.

C4.5 шешім ағаштары MCS-ті енгізу параметрлерінен болжау үшін қолданылды.

C4.5 ағашы дәстүрлі Iterative Dichotomiser 3 (ID3) ағашынан артық деп танылды, себебі ол жетіспейтін деректермен тиімді жұмыс істей алады. Сонымен қатар, ол артық сәйкестендіру (overfitting) жағдайларында да жақсы нәтиже береді.

3.3-суретте көрсетілгендей, екілік ағаштың тереңдігі $\gamma_d = 3$. Сонымен қатар, бұл ағаш ең тиімді шешімді табу үшін зерттелуі (traversed) мүмкін.

Екілік шешім ағашындағы жапырақ түйіндер әртүрлі MCS мәндерін көрсетеді, бұл EU мен RRH арасындағы байланысты орнатуға мүмкіндік береді.

Жаттығу деректерін құру үшін енгізу параметрлерін анықтау кезінде мұқият іздеу әдісі қолданылды. Жаттығу кезеңі аяқталысымен тестілеу кезеңі басталады.

Random Forest алгоритмі – көпклассты классификаторлар құруда ең тиімді алгоритмдердің бірі, бұл 3.2-алгоритмде көрсетілгендей сипатталады. Кездейсоқ екілік шешім ағашынан болжаған MCS мәні алынғаннан кейін, жалпы тиімділік (sum goodput) келесі формула арқылы есептеледі:

$$g_{x,n}^t = \frac{1 - e_{mcs^t_{x,n}}(\tau_n^t) \cdot d_{mcs^t_{x,n}}}{T_f} \quad (3.5)$$

(3.5)-теңдеуде:

- $g_{x,n}^t$ – жалпы тиімділік (sum goodput) мәнін білдіреді;
- $e_{mcs^t_{x,n}}(\tau_n^t)$ – блоктық қателердің жалпы ықтималдығын (total block error rate) көрсетеді;
- $d_{mcs^t_{x,n}}$ – берілген MCS мәні үшін тасымалданатын дерек көлемін (payload) білдіреді.

(3.5)-теңдеу EU мен RRH арасындағы байланысты орнату үшін, сондай-ақ болжаған MCS мәніне сәйкес тиімділіктің жиынтық көрсеткішін (sum goodput) есептеу кезінде қажет болатын факторларды қамтиды.

3.2-кестеде енгізу белгілері векторындағы әрбір параметр атрибутының мәліметтер типі мен пайыздық үлесі туралы толық ақпарат берілген.

Кесте 3.2 – Енгізу атрибуттарының үлес салмағы мен деректер типі

Айнымалы атауы	Дерек түрі	Ауқымы	Айнымалы мәні (үлес салмағы, %)
SIR	Бүтін сан (Integer)	1–7	8.7%
End User_x	Нақты сан (Float)	270.5–283.5	10.3%
End User_y	Нақты сан (Float)	65–205	14.9%
Transmit Beam	Бүтін сан (Integer)	1–28	14.3%
Receive Filter	Бүтін сан (Integer)	1–7	15.5%
Interference Beam 1	Бүтін сан (Integer)	1–28	13.4%
Interference Beam 2	Бүтін сан (Integer)	1–28	10.8%
Interference Beam 3	Бүтін сан (Integer)	1–28	12.1%

Алгоритм 3.2 – Модификацияланған Random Forest

Кіріс: Шешім ағаштары DT деректер жиыны

Шығыс: Кездейсоқ екілік шешім ағашы

Бастау:

1. $T \rightarrow ST$ таңдау; // Ағаштар санын өсіру үшін

2. $S \rightarrow \text{bagging}$ (қайталамалы үлгілеу) деректерін инициализациялау;
 3. $S = 1$ -ден T -ге дейін қайталау
 4. Жаттығу деректері $TD \rightarrow S$ ішінен өлшемі N болатын үлгі S_a құру;
 5. *Random Forest* Ra әзірлеу үшін S қолдану;
 6. 4-6-қадамдарды қайталау;
 7. Минималды түйін мәніне жеткенше жалғастыру;
 8. S айнымалыларының ішінен кездейсоқ түрде Vr айнымалысын таңдау;
 9. Vr ішінен ең жақсы бөлінетін ағашты таңдау;
 10. Түйін N -ді екі жапырақты түйінге бөлу;
- Шығыс: Кездейсоқ екілік шешім ағашы
Соңы.

Кедергі келтіретін сәулелер 1, 2 және 3 әртүрлі EU құрылғыларының тарату сәулелерімен кедергіге түседі. EU_x және EU_y – бұл уақыт кадрындағы тар жолақты маяктардан есептеліп алынған EU құрылғысының координаталары.

Қабылдау сүзгісі (receive filter) және тарату сәулесі (transmit beam) енгізу белгілері векторындағы осы элементтердің пайыздық маңыздылығын білдіреді.

3.6 5G желісінің QoS параметрлері модельдеуді талдауы

Бұл бөлімде автор ұсынған орталықтандырылған радио қатынау желілеріндегі (CRAN) BBU блогтары арасында ресурстарды тиімді сегменттеуге арналған әдісті қолдауға бағытталған тәсіл қысқаша сипатталады.

Модельге қатысты барлық симуляциялар платформасында жүргізілді. Модельде:

- CRAN желісінде 100 RRH қолданылды
- Әр RRH үшін тарату қуаты – 25 dBm
- Пакет өлшемі – 1000 бит
- Желі ішіндегі тарату қашықтығы – 500 м
- Модуляция түрі ретінде OFDMA_QPSK_1/2 пайдаланылды

Трафик сұранысы кезінде 6.4 Мбит/с-тен 200 Мбит/с-ке дейінгі деректер қолданылды, ал желі жолағы (bandwidth) – 20 МГц болды.

Ұсынылған схема 2-алгоритмде көрсетілгендей Random Forest алгоритмінің өнімділігін бағалауды да көздейді. Бұл өнімділік талдауында ресурстарды бөлу параметрлері, яғни:

- Энергия тиімділігі
- Қызмет сапасын (QoS) қамтамасыз ету ұсынылған жүйеге сәйкес бағаланды.

Симуляциялық конфигурация негізінде ұсынылған жүйенің өнімділігі 3.3-кестеде келтірілген.

Кесте 3.3 – Симуляция конфигурациясы

Параметрлер	Мәні
Тарату ауқымы (Transmission Range)	500 м
Пакет өлшемі (Packet Size)	1000 бит
Модуляция түрі (Modulation Type)	OFDMA_QPSK_1/2
Пайдаланушылар таралуы (User Distribution)	Біркелкі (Uniform)
Жалпы жолағы (Total Bandwidth)	20 МГц
Трафик сұранысы (Traffic Demand)	6.4 Мбит/с ~ 200 Мбит/с
RRH саны (Number of RRH)	100
RRH максималды тарату қуаты	25 dBm
RRH антенна күшейтуі (Antenna Gain)	6 dB

3.6.1 Арнаны бағалау (Channel Estimation) талдауы

Random Forest алгоритмін енгізбестен бұрын, жаттықтыру үшін пайдаланылатын деректер жиынының тұтастығын тексеру қажет. Жаттықтырылған модельге тест жиыны енгізу ретінде беріледі, ол арқылы модельдің дәлдігі тексеріледі.

Жаттықтыру дәлдігі тест деректері арқылы алынған валидация нәтижесіне негізделіп бағаланды. Random Forest алгоритмінің тиімділігін бағалау бойынша бұрын зерттеулер жүргізілген.

OFDM жүйесінде пилоттық арналарға негізделген арна бағалауы (pilot channel estimation) қолданылады, мұнда пилоттық сигналдар OFDM символдарына біркелкі уақыт аралығында енгізіледі.

Least Square (LS) әдісімен алынған арналық мәндер негізінде минималды орташа квадраттық қате (MMSE) есептеледі. Бұл бағалау сигнал мен шудың қатынасы (SNR) арқылы орындалады.

$$\hat{h}_{LS,i}(n) = \hat{h}_i(n) + \hat{w}_i(n), 0 \leq n < N \quad (3.6)$$

мұндағы:

- $\hat{h}_{LS,i}^{LS}(n) \rightarrow \hat{w}_i(n)$ бойынша уақыт доменіндегі шудың (noise) әсері
- $\hat{h}_i(n) \rightarrow$ уақыт доменінде бағаланған арналық импульстік жауап (estimated channel impulse response)

Жолақты MMSE әдісін (linear MMSE) қолдану кезінде арналық корреляцияны жоюда шектеулер бар. Бұл әдіс арнадағы пилот жиіліктерін бағалауға және оларды интерполяциялауға мүмкіндік береді.

OFDM арнасын бағалау кезінде периодты уақыт аралығында дерек символдарын пилоттық арна негізінде алуға болады, өйткені барлық дерек қосалқы тасымалдаушылар пилот ретінде пайдаланылады.

Мұндай арна бағалаудың артықшылығы — қателік болмайды. Арна бағалау жылдам және баяу әлсіреу (fast and slow fading) негізінде орындалады.

Арнаны бағалау әдістері ортогоналды жиілік бөлгіш модуляция (OFDM) жүйесінің символдық қателік мөлшерін (SER) азайту арқылы өнімділігін арттырады, сондықтан арна бағалау дәлдігі жақсарады.

Дәстүрлі әдіспен салыстырғанда, ұсынылған модельдің өнімділігі 3.5-суреттегі графикте көрсетілген.

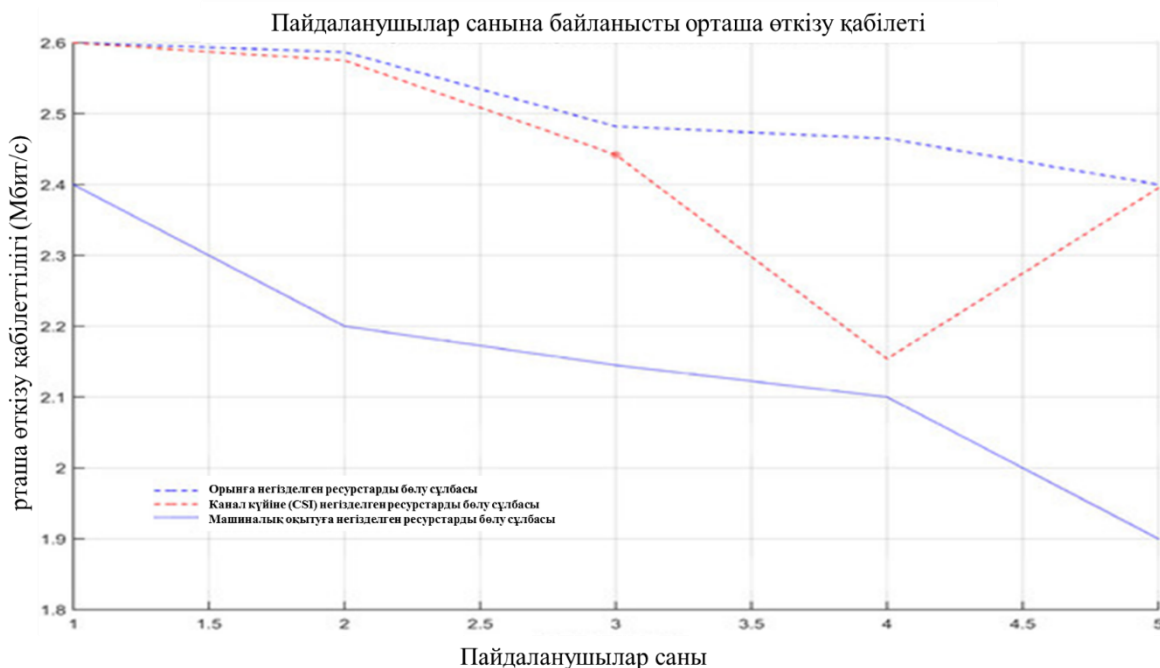
Ұсынылған алгоритм желідегі белсенді пайдаланушылар саны бірдей болған жағдайда, қазіргі қолданылып жүрген оқытуға негізделген және CSI-ге негізделген жүйелермен салыстырғанда желі өткізу қабілетін арттыруға көмектесті.

Желі өткізу қабілеті CSI-ге негізделген жүйемен салыстырғанда пайдаланушылар саны бірдей болғанда тұрақты жоғары мәндер көрсеткен.

Бастапқыда графикте екі қатар арасында айтарлықтай айырмашылық байқалмайды, алайда жүйедегі пайдаланушылар саны артқан сайын өнімділік артуы байқалды.

Графикте үш қатар арасындағы айырмашылық пайдаланушылар саны белгілі бір мәнге жеткенге дейін елеулі көрсетілген. Осыдан кейін барлық қатарлар бойынша орташа желілік өткізу қабілетінің төмендеуі байқалады.

Авторлар ұсынған алгоритмді дәстүрлі свертка (convolutional) стратегиясымен салыстырғанда жетілдірудеп қарастыруға болады.



3.5-сурет – Пайдаланушылар санына байланысты орташа желілік өткізу қабілеті

Сипатталған модификацияланған ресурстарды бөлу (RA) схемасына сүйене отырып, EU құрылғыларының орналасу координаталары есепке алынған. Осы мәліметтер негізінде орташа желілік өткізу қабілеті талданды және 3.5-суретте көрсетілді.

Координаттық орналасу ақпараты барлық RRH үшін генерацияланып, ол қолданыстағы оқытуға негізделген және CSI-ге негізделген RA схемаларымен салыстырылды.

3.6-суретте әрбір RA схемасы үшін желілік өткізу қабілеті мәндерінің қорытындысы және жүйелік жүктеме (overhead) көрсетілген.

Анализ нәтижесінде:

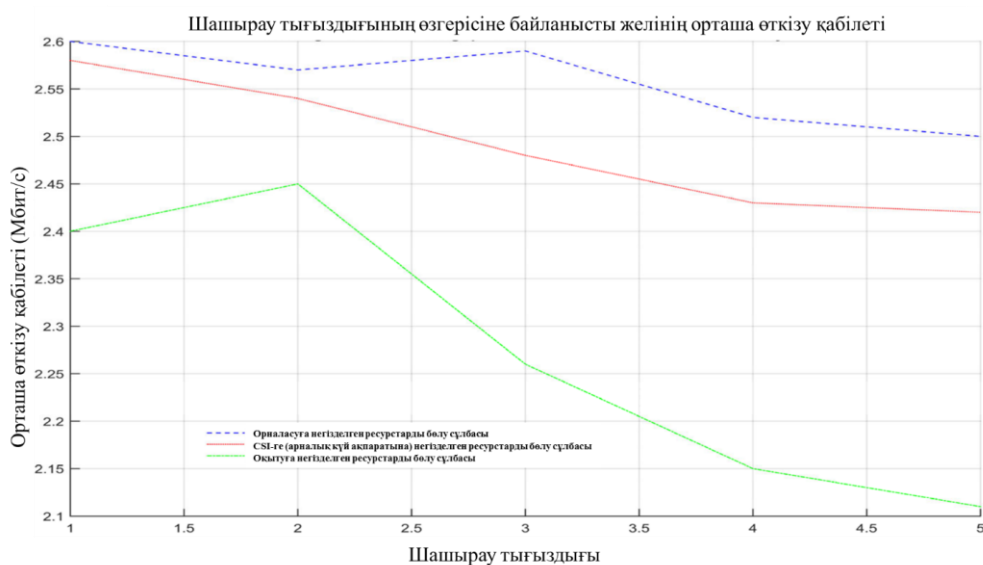
- CSI-ге негізделген RA схемасының орташа өткізу қабілеті – 2.45 Мбит/с,
- Ал оқытуға негізделген RA схемасы сәл жоғары нәтиже көрсеткен,
- Бірақ ұсынылған орналасуға негізделген модификацияланған RA схемасы – 2.5 Мбит/с өткізу қабілетін көрсетіп, CSI-негізді әдіспен салыстырғанда жақсартылған нәтижеге қол жеткізген.

Желі тығыздығы артқан сайын, кедергілерге байланысты нүктелердің таралу тығыздығында (scatter density) айтарлықтай өзгеріс байқалды. Бұл 3.6-суреттегі графикке ұқсас сипатталады.

График пайдаланушылар саны артқан сайын орташа желілік өткізу қабілетінің өзгерісін көрсетеді. Онда x-ось бойында таралу тығыздығына байланысты түрлі мәндер үшін орташа throughput көрсетілген.

Бұл график сондай-ақ авторлар ұсынған схеманың дәстүрлі CSI-ге негізделген әдіспен салыстырғанда жақсы нәтиже көрсеткенін айқындайды.

Екі графикте де орташа желілік өткізу қабілеті алдын ала болжанатын үрдіс көрсетпейді, дегенмен орналасуға негізделген RA схемасының өнімділігі дәстүрлі CSI-схемасынан жоғары екені байқалады.



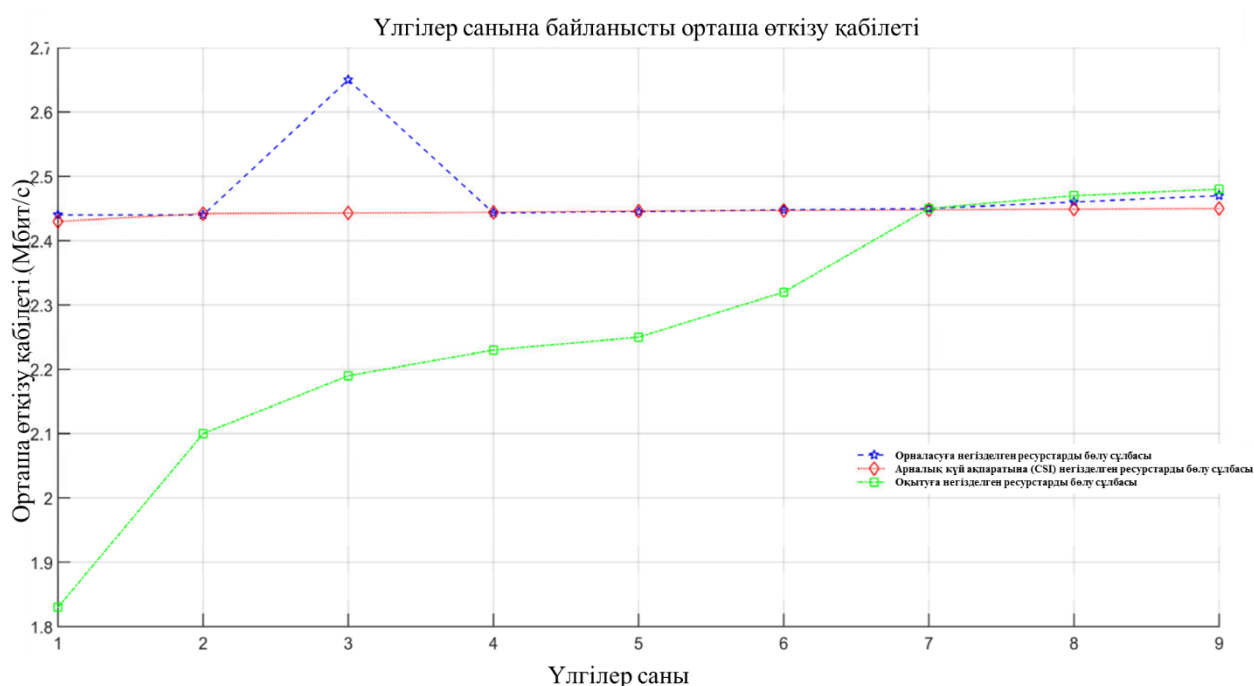
3.6-сурет – Нүктелердің таралу тығыздығы өзгерген кездегі орташа желілік өткізу қабілеті

3.7-суретте үлгілер санының өзгеруіне байланысты орташа желілік өткізу қабілетінің талдауы көрсетілген. Жалпы алғанда, CSI-ге негізделген RA схемасы оқытуға негізделген RA схемасымен салыстырғанда желі өткізу қабілеті бойынша жақсы нәтиже береді және айырмашылық тұрақтылығы жоғары.

Бұл схема орта есеппен 2.46 Мбит/с желілік өткізу қабілетін көрсетеді, ал CSI-ге негізделген RA схемасының көрсеткіші 2.44 Мбит/с құрады.

Симуляция барысында жүйе өнімділігін бағалау үшін 300 000 үлгі (sample) қолданылды.

Нәтижелер көрсеткендей, ұсынылған схема оқытуға және CSI-ге негізделген RA схемаларымен салыстырғанда жақсы өткізу қабілеттілігін қамтамасыз етеді.



3.7-сурет – Үлгілер санына (мың бірлікпен) байланысты орташа өткізу қабілеті

3.7 Энергия тиімділігін талдау

Соңғы құрылғылардың (UE) қызмет сапасын (QoS) қамтамасыз ету мақсатында үйлесімділігін, энергия тиімділігіне негізделе отырып талдау жүргізіледі.

Ұсынылған ресурстарды бөлу (RA) схемасы негізінде, UE және RRH арасындағы байланысты модуляция және кодтау схемасы (MCS) бойынша бағалау жүргізілді. Бұл үшін ресурстарды сегменттеу (RS) әдісі қолданылды.

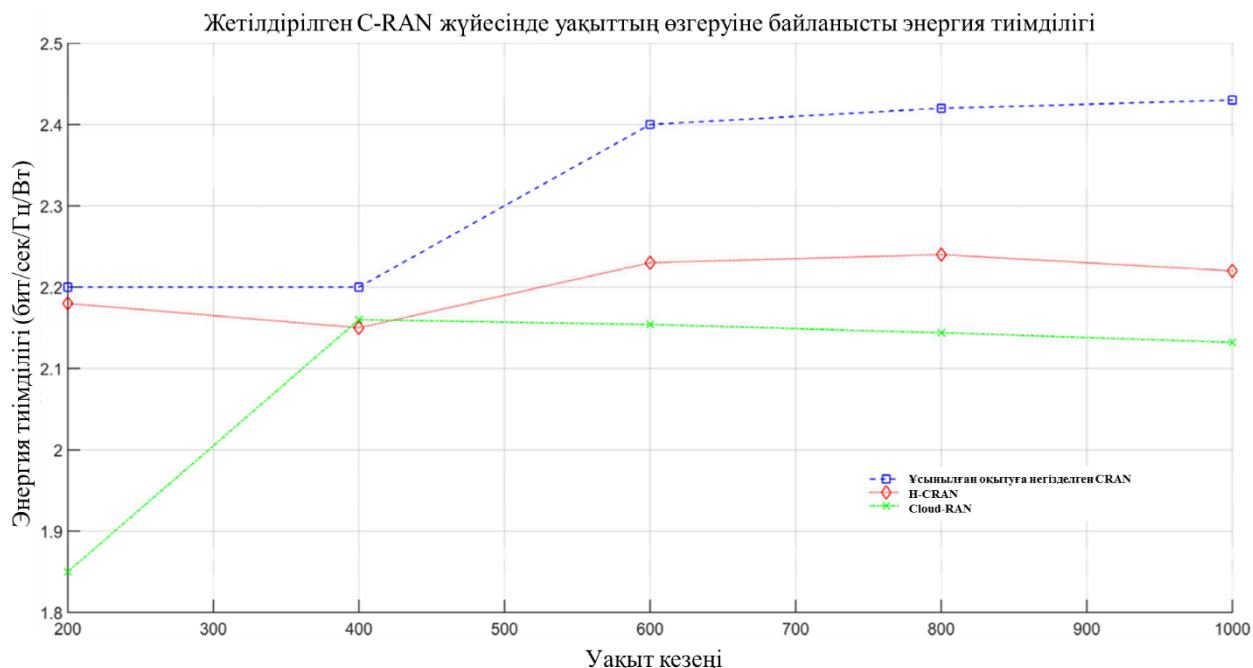
RS әдісі – Random Forest және C4.5 алгоритмдерін біріктіріп, бірнеше екілік шешім ағаштарын пайдалану арқылы жүзеге асады.

3.8-суретте ұсынылған жетілдірілген C-RAN схемасының басқа екі әдіспен салыстырмалы энергия тиімділігі көрсетілген.

Ұсынылған жүйе 2.38 bps/Hz/W мәніне дейін энергия тиімділікке қол жеткізді,

бұл RRH деңгейіндегі (RRH Tier) C-H-CRAN әдісіне қарағанда тиімдірек.

Авторлар UE жүйесінің үйлесімділігін SNIR шекті мәніне негізделген энергия тиімділікті есептеу арқылы зерттеді. SNIR мәні 0-ден 16-ға дейін өзгергенде, нәтиже 3.9-суретте көрсетілген.

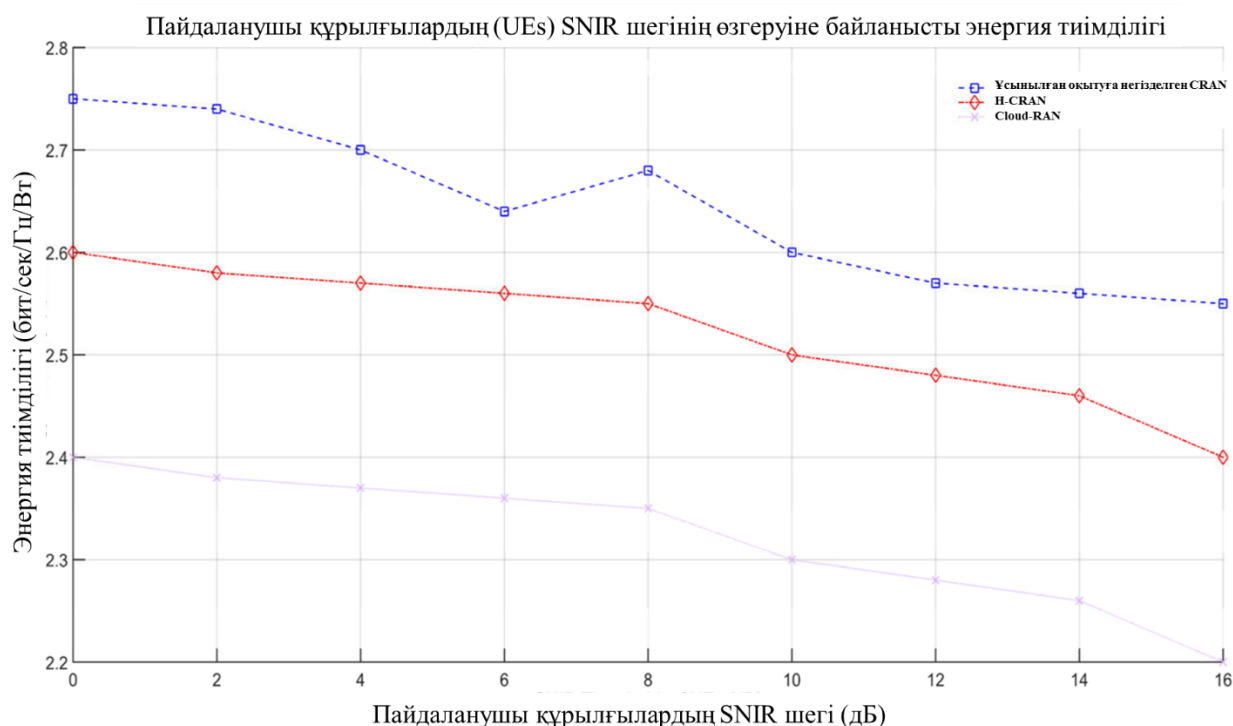


3.8-сурет – Уақыт бойынша өзгеріс жағдайындағы жетілдірілген C-RAN жүйесінің энергия тиімділігі

Бұл графикте жетілдірілген C-RAN схемасының уақыт өткен сайынғы энергия тиімділігінің өзгерісі көрсетілген. Графикте ұсынылған модель басқа әдістермен салыстырғанда жоғары энергия тиімділікті көрсетеді, атап айтқанда:

- Жетілдірілген C-RAN – ең жоғары мәнге дейін 2.38 bps/Hz/W көрсетеді;
- Бұл мән RRH Tier және C-H-CRAN секілді балама жүйелермен салыстырғанда жоғары;
- Талдау көрсеткендей, бұл схема уақыт өткен сайын энергияны тиімді пайдалануды қамтамасыз етіп, QoS сақтау мен желі жүктемесін оңтайлы бөлуге көмектеседі.

Жалпы, 3.8-сурет жетілдірілген архитектураның артықшылығын дәлелдеп, оны бұрыннан қолданыстағы әдістерге қарағанда энергия үнемдірек ететінін көрсетеді.



3.9-сурет – UE құрылғыларының SNIR шекті мәнінің өзгеруіне байланысты энергия тиімділігі

Бұл суретте SNIR мәнінің 0-ден 16-ға дейінгі өзгерісі жағдайында энергия тиімділіктің қалай өзгеретіні көрсетілген.

Ұсынылған жетілдірілген C-RAN жүйесі:

- SNIR мәні артқан сайын да жоғары тиімділікті сақтайды
- Ең жоғары энергия тиімділігі – 2.65 bps/Hz/W,
- Ал SNIR шегі ұлғайған кезде 2.58 bps/Hz/W деңгейіне дейін азайғанымен,
- C-H-CRAN, RRH Tier, және кеңсеге негізделген RRH құрылымдарынан жоғары көрсеткіш көрсетеді.

3.8 Итерация санының өзгерісіне байланысты өткізу қабілетін талдау

3.10-суретте итерация санының 2-ден 10-ға дейін өзгеруі жағдайында орташа өткізу қабілетінің (throughput) есептелуі көрсетілген.

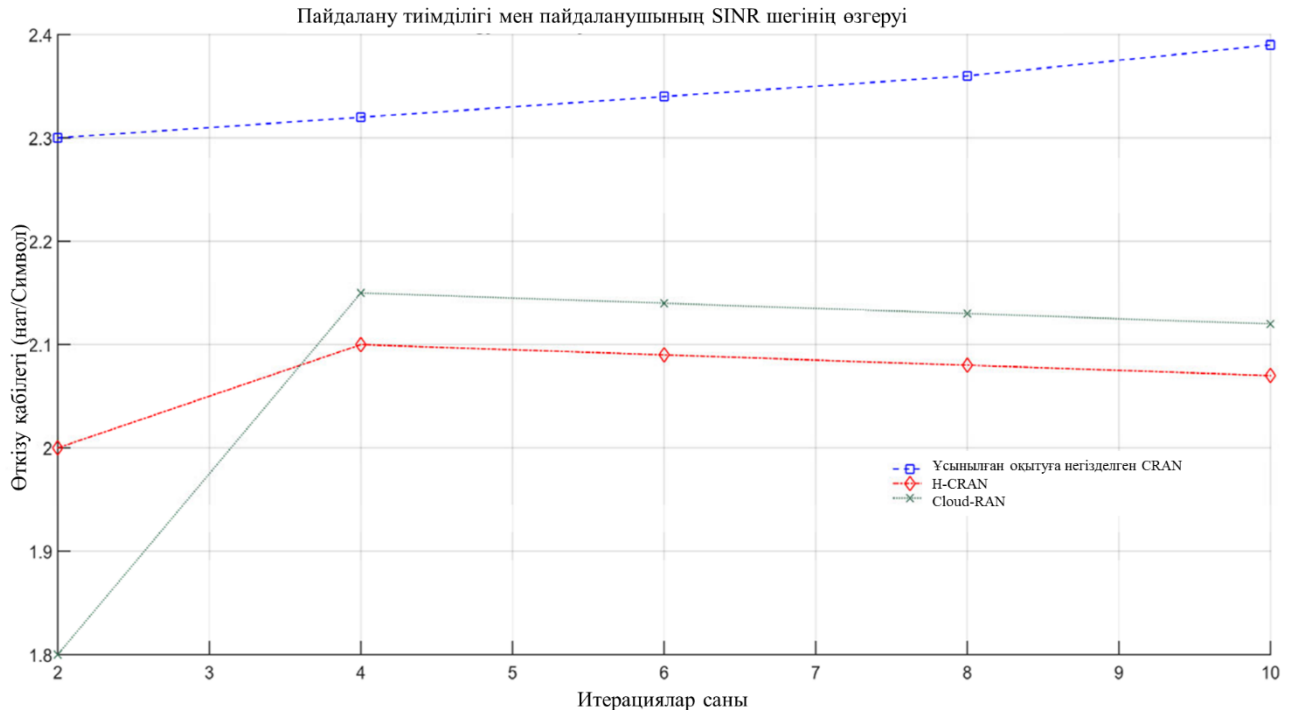
Авторлар барлық RRH үшін бірдей тарату қуатын және максималды тарату қуаты 0.5 Вт деп белгілеп, желінің өткізу қабілетін бағалаған.

Нәтижелерге сәйкес:

- Ұсынылған жетілдірілген C-RAN жүйесі басқа қолданыстағы әдістермен салыстырғанда өнімділікті тұрақты ұстап тұрады
- Орташа өткізгіштік 2.38 nats/symbol деңгейінде қалады
- Бұл мән келесі жүйелермен салыстырғанда жоғары:

- RRH Tier
- Классикалық C-RAN
- H-CRAN

Осылайша, 3.10-сурет ұсынылған жүйенің қайталанатын процестер кезінде де жоғары өнімділікті сақтайтынын көрсетеді.



3.10-сурет – Итерация санының өзгерісіне байланысты өткізу қабілетін талдау

Бұл график итерация санының 2-ден 10-ға дейін өзгеруіне қарай желінің орташа өткізу қабілетінің (throughput) қалай өзгередінін көрсетеді. Барлық RRH үшін бірдей тарату қуаты және максималды қуаты 0.5 Вт ретінде орнатылған.

Ұсынылған жетілдірілген C-RAN жүйесі басқа жүйелермен салыстырғанда тұрақты әрі жоғары өнімділік көрсетеді, атап айтқанда:

- Өткізу қабілеті: 2.38 nats/symbol
- Бұл мән RRH Tier, C-RAN, және H-CRAN жүйелерінен жоғары.

3.9 Ресурстарды бөлуді таралу функциясына (CDF) негіздеп талдау

Бұл бөлімде ресурстарды бөлу тиімділігі кумулятивті таралу функциясы (CDF) арқылы бағаланады.

Бағалау пайдаланушы құрылғылары (UE) 1000 ресурс блогы (resource block) негізінде қол жеткізген деректер жылдамдығы бойынша жүргізілді.

Талдау келесі табалдырық мәндер (threshold) бойынша жасалды:

- 2 Мбит/с

- 0.5 Мбит/с
- 4 Мбит/с

Нәтижелерге сәйкес, ұсынылған оқытуға негізделген CRAN жүйесі:

- Қолданыстағы Н-CRAN және классикалық Cloud-RAN әдістерінен асып түсті
- Бұл салыстырмалы нәтиже 3.4-кестеде көрсетілген.

Кесте 3.4 – Ресурстарды бөлу негізінде CDF арқылы есептелген деректер жылдамдығы

Рет саны	Кумулятивті таралу функциясы (CDF)		
	Cloud-RAN	Н-CRAN	Ұсынылған оқытуға негізделген CRAN
0	0.000	0.000	0.000
1	0.432	0.132	0.125
2	0.865	0.400	0.312
3	0.985	0.765	0.745
4	1.000	0.950	0.912

Талдау қорытындысы:

- Cloud-RAN бастапқыда жоғары көрсеткіштер бергенімен, соңғы деңгейде ұсынылған жүйеден төменнәтиже көрсетеді.
- Н-CRAN бүкіл диапазонда салыстырмалы түрде әлсіз көрсеткіш көрсетеді.
- Ұсынылған оқытуға негізделген CRAN жүйесі қолданыстағы әдістерге қарағанда жақсы жинақталған (cumulative) өнімділік көрсетеді, әсіресе жоғары деректер жылдамдығы табалдырықтарында.

Бұл кесте ұсынылған тәсілдің деректер таралу тиімділігі бойынша артықшылығын нақты дәлелдейді.

3.10 5G NR бойынша QoS параметрлерін модельдеу

Сымсыз желі - бұл құрылғылар арасында деректерді сымсыз арна арқылы жіберу және қабылдау үшін протокол қабаттарын, соның ішінде қолданбалы қабатты, ортаға қолжетімділікті басқару (MAC) қабатын, физикалық (PHY) қабатты және радиожілілік (RF) сигналдарын пайдаланатын байланыс желісі.

Сымсыз желілерде түйіндер (nodes) және байланыстар (links) болады, олар осы түйіндер арасындағы қосылымдарды білдіреді.

Сымсыз байланыс желілері әртүрлі ауқымда жасалады: жеке (personal), жергілікті (local), кең (wide) және жаһандық (global) аймақтық желілер, әрқайсысы өздерінің стандарттарын қолданады, мысалы: Bluetooth, Wi-Fi, 5G және спутниктік байланыс.

Сымсыз желіні жобалау барысында бірқатар қиындықтар кездеседі, олардың қатарына қамту аймағы мен қашықтық, кедергілер, өткізу қабілеті мен жолағы, қызмет сапасы (QoS) және кеңейтілу мүмкіндігі (scalability) жатады.

Бұл қиындықтарды шешу үшін инженерлерге сымсыз желінің архитектурасын дұрыс конфигурациялау, жоспарлау және жұмыс істеу хаттамаларын жобалау, сондай-ақ өткізу қабілеті (throughput), кідіріс (latency) және пакеттік қате көрсеткіші (packet error rate) секілді негізгі өнімділік көрсеткіштерін (KPI) қамтамасыз ету қажет.

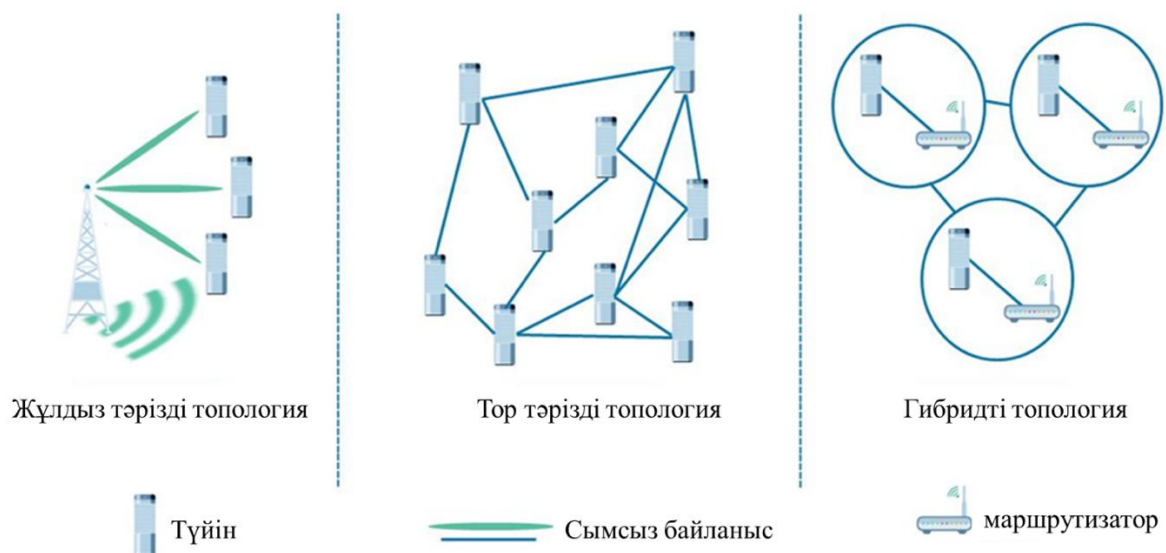
MATLAB® бағдарламасын пайдалану арқылы сымсыз желі кеңістігін зерттеп, модельдеп, талдау жасай аламыз. Бұл мыналарды қамтиды:

- Сымсыз желі топологиялары
- Протокол стектерімен жабдықталған сымсыз түйіндер
- MAC алгоритмдері, соның ішінде:
 - ресурстарды жоспарлау (scheduling),
 - трафикті басымдылыққа бөлу (traffic prioritization),
 - QoS қамтамасыз ету
- Түйіндердің орналасуы және олардың қозғалғыштығы
- Арна модельдері және олардағы бұзылыстар (impairments)

Сымсыз желінің топологиясын түсіну өте маңызды, себебі ол желідегі түйіндердің қалай орналасқанын және деректердің қандай жолмен тасымалданатынын сипаттайды. Бұл түйіндердің физикалық орналасуын және олар арасындағы дерек ағынын анықтайды.

MATLAB көмегімен келесі түрлі топологияларды модельдеп, талдай аламыз:

- Жұлдызша (Star) топологиясы: Нүктеден-нүктеге дейін архитектура, мұнда барлық түйіндер орталық қатынау нүктесімен тікелей байланысады.
- Торлы (Mesh) топология: Түйіндер бір-бірімен тікелей байланысты болатын peer-to-peer архитектура. Желінің әрбір түйіні бірнеше басқа түйіндермен жалғанған.
- Гибридті тор (Hybrid Mesh): Жұлдызша және торлы топологиялардың элементтерін біріктіреді. Әдетте, бұл қатынау нүктесіне жалғанған бірнеше торлы түйіндерден тұрады.



3.11-сурет – Әртүрлі сымсыз желі топологиялары, соның ішінде жұлдызша, торлы және гибридті

Топологияны таңдау желінің мақсатына, ауқымына және талап етілетін өнімділік сипаттамаларына байланысты болады.

Сымсыз желілерді жалпы алғанда гомогенді және гетерогенді түрлерге бөлуге болады. Бұл терминдер желілік инфрақұрылымның және оған қосылған құрылғылардың құрамына мен сипаттамаларына қатысты қолданылады.

- Гомогенді сымсыз желі - бірдей қолжетімділік технологиясын қолданатын түйіндерден тұрады, мысалы, тек қана сымсыз жергілікті желі (WLAN) компоненттерінен құралған желі.

- Гетерогенді сымсыз желі – бірнеше қолжетімділік технологияларын біріктіреді, мысалы, WLAN, Bluetooth және 5G комбинациясы.

3.10.1 Сымсыз желідегі түйіндер

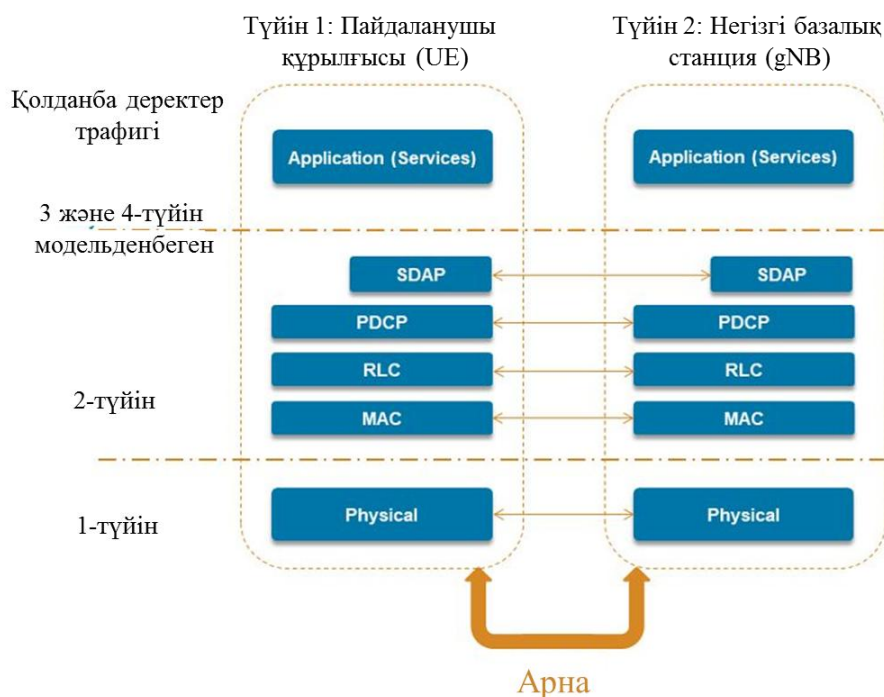
Сымсыз желідегі әрбір түйінде өзіне тән протоколдық стек болады, ол желілік хаттамалар мен бағдарламалық қабаттардың жиынынан тұрады және желі ішінде байланыс орнату мен қатысу үшін қолданылады.

Әрбір протоколдық стек қолданылып отырған байланыс стандартына байланысты өзгеруі мүмкін, алайда барлығы ашық жүйелердің өзара байланысы (OSI) моделінің негізгі құрылымына сәйкес келеді.

5G Toolbox™, WLAN Toolbox™ және Bluetooth Toolbox™ құралдарын пайдаланып, OSI эталондық моделінің хаттамалық стек құрылымы бойынша желілерді модельдеуге болады, бұл әр қабатта орындалатын функцияларды тереңірек түсінуге көмектеседі.

5G байланыс желісіндегі түйіндердің ішкі стек құрылымы келесі түрде модельденуі мүмкін:

5G түйіндерінің ішкі стегі



3.12-сурет – 5G байланыс желісіндегі тораптың ішкі типтік протокол стегі

Протокол стегі торапқа желілік архитектураның әртүрлі қабаттарында түрлі тапсырмаларды және функцияларды орындауға мүмкіндік береді. Бұл стек OSI үлгісіне (моделіне) негізделген – бұл желі ішіндегі әртүрлі протоколдар мен жүйелердің қызметтері мен өзара әрекеттесуін стандарттайтын тұжырымдамалық құрылым.

Әрбір байланыс торабында функциялар әртүрлі қабаттар деңгейінде жүзеге асырылады.

Міне, OSI протокол стекінің әртүрлі қабаттары мен олардың рөлдерінің сөзбе-сөз сипаттамасы:

- Физикалық қабат (Physical Layer): Модуляция, кодтау, радио толқындарды тарату және қабылдау сияқты міндеттермен айналысады.
- Каналдық қабат (Data Link Layer): Арнаға қолжетімділік (channel access), медиаға қолжетімділікті басқару (MAC), қателерді анықтау және түзету мәселелерін басқарады.
- Желілік қабат (Network Layer): Желі ішіндегі түрлі тораптар арасында дерек пакеттерін бағыттау (routing) және жеткізу (forwarding) міндеттерін атқарады.

Бұл қабатта IP-мекенжайлау, бағыттау протоколдары және желілік жүктемені басқару секілді функциялар орындалады.

- Транспорттық қабат (Transport Layer): Сегментация, ағынды басқару (flow control) және қателерді қалпына келтіру сияқты тапсырмаларды орындайды.

Бұл қабатта TCP (Transmission Control Protocol) және UDP (User Datagram Protocol) секілді протоколдар қолданылады.

- Сеанстық қабат (Session Layer): Сеансты синхрондау, бекіту нүктелерін жасау (checkpointing) және қалпына келтіруді басқарады.

- Тұсаукесер қабаты (Presentation Layer): Қосымшалар арасындағы деректер алмасуы екі тарапқа да түсінікті форматта жүруін қамтамасыз етеді.

- Қолданбалы қабат (Application Layer): Бұл қабатта пайдаланушы қосымшалары мен қызметтері желімен әрекеттеседі. Мұнда HTTP, FTP және SMTP секілді протоколдар қамтылады.

Сымсыз желіде арна (channel) — бұл сымсыз сигналдарды тарату және қабылдау үшін бөлінген сымсыз спектрдің нақты бір бөлігі мен физикалық ортасы.

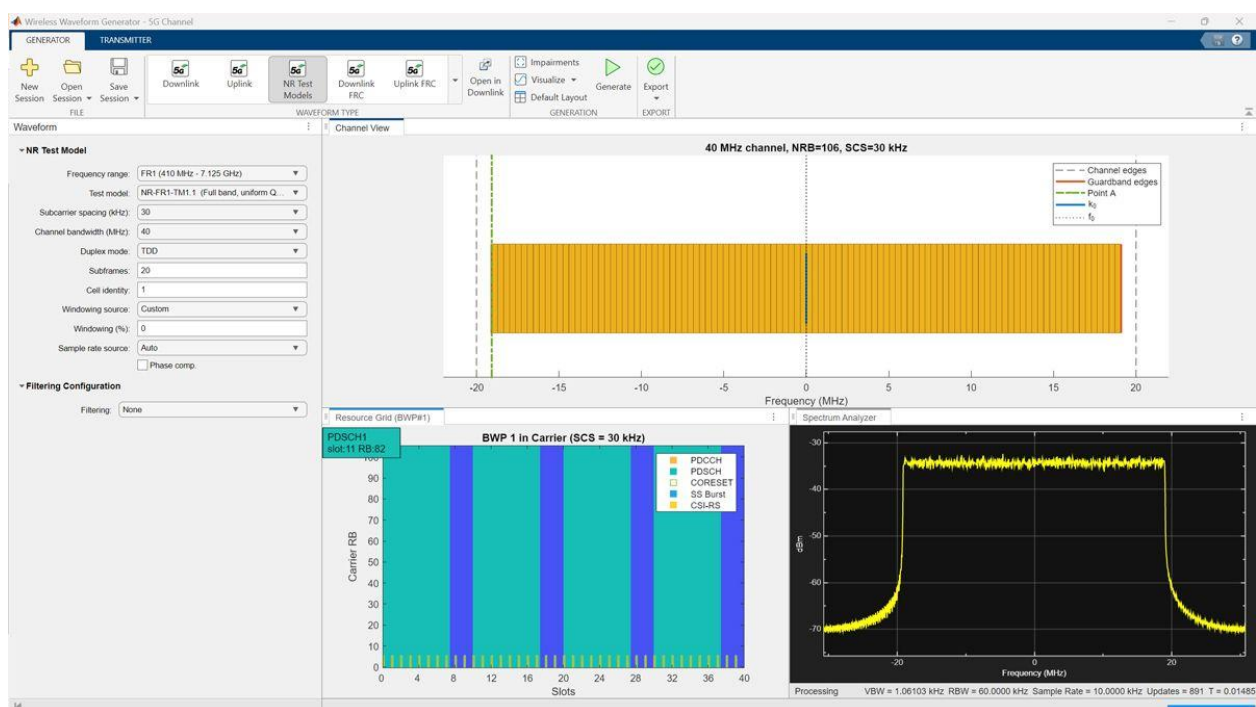
Арналарды бөлу (channel allocation) – қолжетімді жиілік спектрін кіші диапазондарға (жолақтарға) бөлу процесі.

Әрбір арна нақты бір орталық жиілікте жұмыс істейді және белгілі жиілік ауқымын (bandwidth) пайдаланады.

Мысалы:

- 2.4 ГГц диапазонында Wi-Fi арналар 5 МГц қашықтықпен орналасады.

- Ал 5 ГГц диапазонында арналар әдетте 20 МГц немесе одан да кең болады.



3.13-сурет – 5G NR 5 ГГц арнасы, ол Wireless Waveform Generator қосымшасын пайдалану арқылы модельденген және визуализацияланған

Арналар – бұл таратылған сигналға шу, бұзылулар (impairments) және кедергілер қосылатын орта. Сымсыз байланыс инженерлері MATLAB бағдарламасын арналарды модельдеу және өтемақы (compensation) әдістерімен жұмыс істеу үшін пайдаланады, мысалы:

- тасымалдаушы жиіліктегі ығысуға (carrier frequency offset) түзету енгізу,
- кедергілерді азайту,
- сымсыз желілер арасында қатар өмір сүруді (coexistence) қамтамасыз ету.

Кедергі – бірнеше сымсыз құрылғылар бірдей немесе қабаттасқан арналарда жұмыс істеген кезде пайда болады, бұл сигнал сапасының төмендеуіне және өнімділіктің нашарлауына әкеледі. Қатар өмір сүру (coexistence) – бұл бір ортада бірнеше сымсыз желілердің немесе құрылғылардың бір-біріне айтарлықтай кедергі келтірмей жұмыс істей алу қабілеті.

3.10.2 Сымсыз желінің негізгі өнімділік көрсеткіштері (KPI)

Сымсыз желілерді жобалау және оңтайландыру кезінде түйін және желі деңгейлерінде өнімділікті (KPI) тереңірек қарастыру қажет. MATLAB платформасы келесі көрсеткіштерді талдауға мүмкіндік береді:

- Өткізу қабілеті (Throughput): Берілген уақыт ішінде сымсыз желі арқылы таратылуы мүмкін деректер көлемі.
- Кідіріс (Latency): Деректерді беру басталған сәт пен оған жауап немесе растау келгенге дейінгі уақыт аралығы.
- Ресурстарды әділ бөлу (Resource allocation fairness): Сымсыз желіде бірнеше пайдаланушы немесе құрылғы арасында желі ресурстарын әділ үлестіру.
- Ресурстарды пайдалану (Resource utilization): Жалпы қолжетімді ресурстармен салыстырғанда нақты пайдаланылып жатқан ресурстардың пайыздық үлесі.
- Спектрлік тиімділік (Spectral efficiency): Белгілі бір жиілік диапазоны арқылы сенімді түрде таратылуы мүмкін деректер көлемі.
- Қол жетімді байланыс тығыздығы (Achievable connection density): Желіде бір мезгілде жұмыс істей алатын құрылғылар немесе пайдаланушылар саны.

```
% Simulation durations in terms of 10ms frames  
rng('default');  
numFrameSimulation = 100;
```

```
% Create simulator  
networkSimulator = wirelessNetworkSimulator.init();
```

```
%Create the gNB
```



```

gNB = nrGNB(TransmitPower=34, CarrierFrequency=2.6e9, ...
    ChannelBandwidth=5e6);

% Create the UEs
uePositions = [300 -400 0; 700 700 0; -1000 500 0; -1000 -500 0];
UEs = nrUE(Position=uePositions, TransmitPower=23);

% Form the NR cell by connecting UEs to gNB
connectUE(gNB, UEs, FullBufferTraffic="on");

% Add nodes to the simulator and run the simulation
addNodes(networkSimulator, gNB);
addNodes(networkSimulator, UEs);
run(networkSimulator, numFrameSimulation*1e-2);

% Read performance metrics
gNBStats = statistics(gNB)
ueStats = statistics(UEs);

```

ҚОРЫТЫНДЫ

Ақпараттық технологиялар саласындағы соңғы жетістіктер сенімді желі байланыстарына деген бұрын-соңды болмаған сұранысты туындатты. Бүгінде жоғары жылдамдықтағы дерек жеткізу - интернетті пайдаланушылардың негізгі қажеттілігіне айналды.

Алайда, IoT құрылғыларының орасан көптігін ескере отырып, тиімді ресурстарды бөлу стратегиясы қажет болды.

Дәстүрлі ресурстарды бөлу тәсілдері LTE және LTE-A жүйелерінде CSI (Channel State Information) негізінде жүзеге асырылды. Алайда, EU (пайдаланушы құрылғылары) санының күрт артуы келесі буын – 5G желілерін қолдану қажеттілігін тудырды.

5G желілерінде дәстүрлі әдістермен ресурстарды бөлу жеткілікті тиімді емес.

Ұсынылған RA әдісі 5G сымсыз желілерінде қауіпсіздікті арттыруға көмектеседі.

Бұл стратегия:

- Random Forest алгоритмін пайдалана отырып, көпклассты болжау жүйесін (classifier) құрады;
- Авторлар ұсынған схема EU құрылғыларының нақты координаталары негізінде MCS (модуляция және кодтау схемасын) болжайды;
- Random Forest — кездейсоқ C4.5 екілік шешім ағаштарынан тұратын «орман» жасайды;
- Әрбір ағаштың жапырақ түйіндері – белгілі бір EU мен RRH арасындағы байланыс үшін MCS мәндерін білдіреді.

Егер ағашта бір енгізу параметрлері үшін бірнеше MCS мәні болжауға мүмкіндік болса, онда олардың статистикалық моделі (мысалы, орташа мәні) пайдаланылады.

Модельді бағалау нәтижелері ұсынылған схеманың дәстүрлі, CSI негізіндегі әдістерден артық екенін көрсетті.

- Өткізу қабілеті мен энергия тиімділігі тұрғысынан да,
- Бұл модель QoS (қызмет сапасы) көрсеткіштерін жақсартады.

Сондықтан, ұсынылған стратегия ресурстарды бөлудің ең үздік шешімі болмауы мүмкін, бірақ BBU блогтары арасында ресурстарды бөлудің балама тәсілі ретінде өз орнын алады. Болашақта жетілдірілген оқыту әдістерін CRAN жүйелерімен біріктіру арқылы, 5G желілерінің жалпы өнімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік бар.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Adrian, K.; Bartosz, M.; Karol, K.; Paweł, K. Perspectives for resource sharing in 5G networks. *J. Telecommun. Syst.* 2019, 68, 605–619.
2. Anis, C.; Kaouther, N.; Ahmed, F. Very Fast C4.5 Decision Tree Algorithm. *Int. J. Appl. Artif. Intell.* 2018, 32, 119–137.
3. Baghani, M.; Parsaeefard, S.; Le-Ngoc, T. Multi-Objective Resource Allocation in Density-Aware Design of C-RAN in 5G. *IEEE Access* 2018, 6, 45177–45190.
4. Bajracharya, R.; Shrestha, R.; Ali, R.; Musaddiq, A.; Kim, S.W. LWA in 5G: State-of-the-art architecture, opportunities, and research challenges. *IEEE Commun. Mag.* 2018, 56, 134–141.
5. Chen, Z.; Hou, X.; Yang, C. Training Resource Allocation for User-Centric Base Station Cooperation Networks. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2016, 65, 2729–2735.
6. Da Silva, I.; Mildh, G.; Kaloxylou, A.; Spapis, P.; Buracchini, E.; Trogolo, A.; Zimmermann, G.; Bayer, N. Impact of network slicing on 5G Radio Access Networks. In *Proceedings of the European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, Athens, Greece, 27–30 June 2016.
7. Fang, C.; Xu, H.; Yang, Y.; Hu, Z.; Tu, S.; Ota, K.; Yang, Z.; Dong, M.; Han, Z.; Yu, F.R.; et al. Deep-Reinforcement-Learning-Based Resource Allocation for Content Distribution in Fog Radio Access Networks. *IEEE Internet Things J.* 2022, 9, 16874–16883.
8. Ferenc, M.; Péter, R.; Azra, P.; Zsófia, P.; István, T.; Pál, V.; Alija, P. Positioning in 5G and 6G Networks—A Survey. *Sensors* 2022, 22, 4757.
9. Hao, W.; Chu, Z.; Zhou, F.; Yang, S.; Sun, G.; Wong, K.-K. Green Communication for NOMA-Based CRAN. *IEEE Internet Things J.* 2019, 6, 666–678.
10. Huang, H.; Zhang, C.; Yang, M.; Zheng, W.; Peng, J.; Qiu, K. Optical true time delay pool based hybrid beamformer enabling centralized beamforming control in millimeter-wave C-RAN systems. *Sci. China Inf. Sci.* 2021, 64, 192304.
11. Jishnu, B.; Manoj, K.D. What Do We Know About Customer Churn Behaviour in the Telecommunication Industry? A Bibliometric Analysis of Research Trends, 1985–2019. *FIIB Bus. Rev.* 2021, 11, 280–302.
12. Kumar, N.; Ahmad, A. Cooperative evolution of support vector machine empowered knowledge-based radio resource management for 5G C-RAN. *Ad Hoc Netw.* 2022, 136, 102960.
13. Lalit, C.; Rabindranath, B. A Comprehensive Survey on Internet of Things (IoT) Toward 5G Wireless Systems. *IEEE Internet Things J.* 2020, 7, 16–32.
14. Li, Y. Predicting potential customers of 5G services via ADTree. In *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP)*, Xi'an, China, 9–11 April 2021.
15. Lilly-Abau, Y.O.; Yue-Yun, C. Throughput Enhancement Based on Optimized Regularized Particle Filter for H-CRAN. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2019, 68, 5672–5683.

16. Lin, X.; Wang, S. Efficient Remote Radio Head Switching Scheme in Cloud Radio Access Network: A Load Balancing Perspective. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Communications, IEEE INFOCOM, Atlanta, GA, USA, 1–4 May 2017.
17. Liu, Q.; Han, T.; Ansari, N. Energy-Efficient On-Demand Resource Provisioning in Cloud Radio Access Networks. *IEEE Trans. Green Commun. Netw.* 2019, 3, 1142–1151.
18. Loyola-González, O. Black-Box vs. White-Box: Understanding Their Advantages and Weaknesses from A Practical Point of View. *IEEE Access* 2019, 7, 154096–154113.
19. Muhammad, K.S.; Luca, R.; Stefan, W.; Mohamad, A. ML-Based Massive MIMO Channel Prediction: Does It Work on Real-World Data? *IEEE Wirel. Commun. Lett.* 2022, 11, 811–815.
20. Nagina, Z.; Anjali, A. Hybrid Radio Resource Management for Time-Varying 5G Heterogeneous Wireless Access Network. *IEEE Trans. Cogn. Commun. Netw.* 2021, 7, 594–608.
21. Namrata, S.; Swapnil, A.; Tanya, A.; Pavan, K.M. RBF-VM Based Resource Allocation Scheme for 5G CRAN Networks. In Proceedings of the 3rd International Conference and Workshops on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE), Jaipur, India, 22–25 November 2018.
22. Naveed, A.C.; Mudassar, A.; Saad, Q.; Muhammad, I.; Muhammad, N.; Qamar, F. Energy Efficient Resource Allocation for Energy Harvesting Aided H-CRAN. *IEEE Access* 2018, 6, 43990–44001.
23. Nazanin, M.; Mahnaz, S.; Paeiz, A.; Pin-Hsun, L.; Eduard, J. Cross Layer Resource Allocation in H-CRAN With Spectrum and Energy Cooperation. *IEEE Trans. Mob. Comput.* 2023, 22, 145–158.
24. Ramkumar, J.; Baskar, M.; Yash, H.; Aayush, G. Effective Resource Segmentation for Centralized-RAN in 5G Networks. *Int. J. Adv. Sci. Technol.* 2020, 29, 1836–1843.
25. Rashid, N.; Asif, A.; Kamlesh, K.; Shibin, D.; Munwar, A. Survey on Wireless Network Security. *Arch. Comput. Methods Eng.* 2022, 29, 1591–1610.
26. Rodríguez-Ruiz, J.; Monroy, R.; Medina-Pérez, M.A.; Loyola-González, O.; Cervantes, B. Cluster validation in clustering-based one-class classification. *Expert Syst.* 2019, 36, e12475.
27. Sahar, I.; Georgios, P.K.; Hadi, G.; James, G. Random forests for resource allocation in cloud radio access networks based on position information. *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.* 2018, 2018, 142.
28. Sahar, I.; Hadi, G.; Koudouridis, G.P.; James, G. Random Forests Resource Allocation for 5G Systems: Performance and Robustness Study. In Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), Barcelona, Spain, 15–18 April 2018.
29. Sajjad, A.K.; Ibraheem, S.; Mustafa, E.; Hafizal, M. Handover management over dual connectivity in 5G technology with future ultra-dense mobile heterogeneous networks: A review. *Eng. Sci. Technol. Int. J.* 2022, 35, 101172.

30. Tshiamo, S.; Yim, F.H.; Misfa, S. Energy-efficient 5G cloud RAN with virtual BBU server consolidation and base station sleeping. *Comput. Netw.* 2020, 177, 107302.
31. Wang, X.; Liu, W.; Jin, M. A Low Complexity Symbol-Wise ML Detection Algorithm for User-Centric C-RAN. *IEEE Commun. Lett.* 2022, 26, 1057–1061.
32. Xenofon, F.; Bozidar, R. Concordia: Teaching the 5G vRAN to share compute. In *Proceedings of the ACM SIGCOMM*, New York, NY, USA, 23–27 August 2021.
33. Xin, C.; Xie, B.; Shen, C.-C. A novel layered graph model for topology formation and routing in dynamic spectrum access networks. In *Proceedings of the First IEEE International Symp. on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*. DySPAN, Baltimore, MD, USA, 8–11 November 2005.
34. Zhang, X.; Jia, M.; Gu, X.; Guo, Q. An Energy-Efficient Resource Allocation Scheme Based on Cloud-Computing in H-CRAN. *IEEE Internet Things J.* 2019, 6, 4968–4976.
35. Zhao, Z.; Verma, G.; Rao, C.; Swami, A.; Segarra, S. Link Scheduling using Graph Neural Networks. *arXiv* 2022, arXiv:2109.05536.

Дипломдық жоба (жұмыс) бойынша

РЕЦЕНЗИЯ

Тұрақбай Ақжол Жасуланұлы

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: 5G байланысының QoS (қызмет көрсету сапасы) параметрлерін талдау

Орындалды:

а) Графикалық бөлім 3 парақтарда
б) түсіндірме жазба 50 беттерінде

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУЛЕР

Диплом жұмысы телекоммуникациялық технологиялар саласындағы өзекті мәселелердің бірін — 5G желілеріндегі қызмет көрсету сапасын (QoS) бағалау және ресурстарды бөлудің тиімділігін арттыруды қарастырады. Жұмыс құрылымы жағынан логикалық жүйеленген, теория мен тәжірибенің байланысы нақты мысалдармен көрсетілген.

Жұмыста CRAN архитектурасы, SINR, OFDM, TDD сияқты қазіргі заманғы 5G технологияларының негізінде модельдеу жүргізіліп, Random Forest және C4.5 алгоритмдерін қолдану арқылы модуляция схемалары болжау әдісі жасалған. Симуляциялық нәтижелер 5G желісінің QoS көрсеткіштерін дәстүрлі әдістермен салыстырғанда жақсартатынын көрсетеді.

Қолданылған әдебиеттер өзекті, заманауи зерттеулерге негізделген және ғылыми талаптарға толық сай. Графиктер мен кестелер мазмұнды, түсінікті түрде ұсынылған.

Кемшіліктері

- Жұмыстағы кейбір бөлімдер өте техникалық және көп көлемді болғанымен, қорытындылау мен талдау жағынан ықшамдауды қажет етеді.

- Зерттеу нәтижелерінің практикалық қолданылу аясы нақтырақ ашылса, жұмыс құндылығы арта түсер еді.

Дипломдық жұмыстың мазмұны терең, құрылымы мен безендірілуі талапқа сай. Зерттеу жаңалығы мен тәжірибелік маңыздылығы жоғары.

Жұмысты бағалау

Жалпы, дипломдық жұмысқа «өте жақсы» (95%) деген баға, ал студент Тұрақбай Ақжол Жасуланұлын 6B06201 – Телекоммуникация білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар бакалавры» дәрежесіне ұсынамын.

Рецензент

М.Тынышбаев атындағы
ALT университеті, PhD,
«АКТ» кафедрасының
ассистент профессоры

Мәдібайұлы Ж.
«20» 05 2025 ж.



Дипломдық жобаға (жұмысқа)

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Тұрақбай Ақжол Жасуланұлы

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: 5G байланысының QoS (қызмет көрсету сапасы) параметрлерін талдау

Бұл дипломдық жұмыста қазіргі заманғы телекоммуникациялық жүйелердің маңызды бағыты болып табылатын — бесінші буындағы (5G) сымсыз байланыс желілеріндегі қызмет көрсету сапасының (QoS) негізгі параметрлері жан-жақты талданған. Автор зерттеу барысында 5G жүйесінің архитектуралық ерекшеліктерін, атап айтқанда CRAN (Centralized Radio Access Network) жүйесін, ресурстарды бөлу (RA) мен сегменттеу (RS) механизмдерін терең зерттеген.

Жұмыстың практикалық бөлігінде MATLAB бағдарламалық ортасында симуляциялық модельдеу сәтті орындалған. Жасанды интеллекттің бірі — Random Forest алгоритмі мен C4.5 шешім ағашына негізделген ресурстарды тиімді бөлу моделі ұсынылып, оның артықшылықтары дәстүрлі әдістермен салыстырмалы түрде дәлелденген. Пайдаланушы құрылғыларының орналасу координаталарын қолдану арқылы модуляция және кодтау схемаларын болжау тәсілдері дұрыс негізделген.

Білім алушы тақырыптың өзектілігін түсініп, теория мен практиканы тиімді ұштастырған. Ғылыми әдебиеттерге дұрыс сілтемелер жасалған, құрылымдық мазмұны жүйелі, зерттеу әдістері ғылыми талаптарға сай орындалған. Студенттің өздігінен ізденіп, заманауи технологияларды игеруге деген ұмтылысы жоғары бағалауға лайық.

Студент, Тұрақбай Ақжол Жасуланұлы дипломдық жұмысты жазу барысында жетекші нұсқаулығымен өз бетінше жұмыс істеу қабілетін көрсетті. Дипломдық жұмыс «95/А/ өте жақсы» деп бағаланды, ал Тұрақбай Ақжол Жасуланұлын 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынамын.

Ғылыми жетекші
ЭТЖҒТ каф. қауымдастырылған
профессоры, физика-математика
ғылымдарының кандидаты

 Жунусов Қ.Х.
«20» 05 2025 ж.

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

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

Автор: Тұрақбай Ақжол Жасуланұлы

Тақырыбы: 5С байланысының QoS (қызмет көрсету сапасы) параметрлерін талдау

Жетекшісі: Канат Жунусов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.9

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.9

Дәйексөз (35): 2.1

Әріптерді ауыстыру: 102

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:

2025-04-23

Күні



Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Тұрақбай Ақжол Жасуланұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: 5С байланысының QoS (қызмет көрсету сапасы) параметрлерін талдау

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 2.9

Коэффициент Подобия 2: 1.9

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 102

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:

2025-04-23

Дата



Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Тұрақбай Ақжол Жасуланұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: 5С байланысының QoS (қызмет көрсету сапасы) параметрлерін талдау

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 2.9

Коэффициент Подобия 2: 1.9

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 102

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:

2025-04-23

Дата



Сұңғат Марксұлы

проверяющий эксперт