

АҢДАТПА

**Нұрахов Едиль Сергазиевичтың ғылыми дәрежесін алу үшін философия докторлары (phD) білім беру бағдарламасы бойынша
8D06102 – Компьютерлік инженерия
тақырып бойынша: " «5G Standalone желілерінде сапа көрсеткіштерін болжау әдістерін машиналық оқыту арқылы әзірлеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына**

Зерттеу тақырыбының өзектілігі.

Бесінші буын 5G Standalone (5G SA) желілері бағдарламалық қамтамасыз етуді басқарудың жоғары деңгейімен, желілік функцияларды виртуалдандырумен және қызметке бағытталған архитектураны кеңінен қолданумен сипатталатын телекоммуникациялық жүйелерді дамытудың жаңа кезеңін білдіреді. Ұялы байланыстың алдыңғы буындарынан айырмашылығы, 5G SA архитектурасы желілік ресурстарды икемді басқаруға, жұмыс параметрлерін динамикалық бейімдеуге және желіні бақылау мен басқарудың интеллектуалды механизмдерін нақты уақыт режимінде жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Функционалдық мүмкіндіктердің кеңеюімен бір мезгілде желі әрекетінің күрделілігі айтарлықтай артады. 5G SA күйі белсенді пайдаланушылар санын, генерацияланатын трафик сипатын, радиоресурстарды бөлуді, көлік желісінің параметрлерін және басқару механизмдерін қоса алғанда, көптеген факторлардың бірлескен әсерімен анықталады. Нәтижесінде деректерді берудің кешігуі, өткізу қабілеттілігі және пакеттердің жоғалуы сияқты желі сапасының көрсеткіштері сызықты емес түрде өзгеруі мүмкін, ал өнімділіктің нашарлауы көбінесе күрделі өтпелі процесс ретінде дамиды.

3GPP TS 23.501 және TS 38.300 техникалық сипаттамаларына сәйкес желінің жай-күйін бақылау 5G System архитектурасының ажырамас бөлігі болып табылады және кешігу параметрлерін, деректерді беру жылдамдығын, кептелістер туралы ақпаратты және қызмет көрсетудің басқа көрсеткіштерін бақылауды қамтиды. Open RAN тұжырымдамаларын және бағдарламалық жасақтамамен анықталған желіні дамыту желілік деректерді өндірудің рөлін одан әрі күшейтеді, өйткені заманауи архитектуралар желінің бақыланатын күйіне негізделген автоматтандырылған шешім қабылдау және адаптивті басқару механизмдерін пайдалануды көздейді.

Соңғы жылдары машиналық оқыту әдістері телекоммуникациялық жүйелердің әрекетін талдау мен болжаудың перспективалы құралы ретінде белсенді түрде қарастырылуда. Зерттеулердің едәуір бөлігі желі сапасының, желілік трафиктің және жүктеменің жеке көрсеткіштерін болжауға арналған. Дегенмен, бар жұмыстардың көпшілігі бақыланбайтын факторлардың үлкен санын қамтитын тасымалдаушы желілерінің деректеріне немесе нақты 5G Standalone бағдарламалық құралының стекінің жұмыс істеу ерекшеліктерін әрқашан қайталай бермейтін модельдеу үлгілеріне негізделген.

Коммерциялық желі деректерін пайдалану қайталанатын эксперименттерді жүргізу және жүйе параметрлері мен бақыланатын сапа көрсеткіштері арасындағы себеп-салдарлық байланыстарды анықтау мүмкіндігін шектейді. Өз кезегінде симуляциялық модельдер көбінесе тасымалдау қабатының жұмыс істеу механизмдерін, буферлеуді,

ресурстарды бөлуді және желі құрамдастарының өзара әрекеттесуін жеңілдетеді, бұл нәтижелердің сенімділігін төмендетеді.

Осыған байланысты, бірдей жағдайларда желіні бірнеше рет зерттеуге, жүктеме параметрлерін басқаруға және жүйенің әрекетін талдау үшін сенімді эксперименттік деректерді алуға мүмкіндік беретін бақыланатын, қайталанатын эксперименттік орталарды құру ерекше өзектілікке ие болуда. . Open5GS және srsRAN ашық бағдарламалық платформаларының дамуы қымбат мамандандырылған жабдықты пайдаланбай-ақ осындай зерттеу стендтерін құру мүмкіндігін жасайды, бұл 5G Standalone желілерінің әрекетін зерттеуге жаңа мүмкіндіктер ашады.

Динамикалық процесс ретінде желінің күйін зерттеу қосымша ғылыми қызығушылық тудырады. Көптеген жұмыстарда сапаның жекелеген индикаторлары болжанады, ал желінің жай-күйінің интегралды көрінісін қалыптастыру, әртүрлі жұмыс режимдері арасындағы ауысуларды зерттеу және осы күйлердің болжамдылығын талдау міндеттері шектеулі түрде ұсынылған. Сонымен қатар, бұл интеллектуалды мониторинг жүйелерін құрудың және келесі буын желілерін басқарудың негізгі алғышарттарының бірі болып табылатын шамадан тыс жүктемені немесе деградацияны алдын ала анықтау мүмкіндігі болып табылады.

Осылайша, диссертациялық жұмыстың өзектілігі бақыланатын қайталанатын эксперименттік деректер негізінде 5G SA желісінің күйін талдау және болжау әдістерін әзірлеу, көп пайдаланушылық жүктеме жағдайында желінің деградация заңдылықтарын зерттеу және желінің күйін қысқа мерзімді болжау үшін машиналық оқыту әдістерін қолдану мүмкіндіктерін анықтау қажеттілігімен байланысты. .

Диссертациялық жұмыстың мақсаты

Бақыланатын эксперименттік ортада алынған деректерді пайдалана отырып, машиналық оқытуға негізделген 5G SA желісінің сапа көрсеткіштерін болжау әдістерін әзірлеу.

Зерттеудің міндеттері:

- Әртүрлі жүктеме режимдерінде желінің жұмыс істеуін қайталанатын зерттеуді қамтамасыз ететін бақыланатын эксперименттік 5G SA ортасын әзірлеу
- 5G SA желісінің сапа көрсеткіштерін анықтау және олардың жүктеме параметрлері мен желінің жұмыс жағдайларына тәуелділігін зерттеу
- Үлгілерді кейіннен талдауға және оқытуға жарамды желі параметрлері мен сәйкес сапа көрсеткіштерін қамтитын тәжірибелік деректердің құрылымдық жинағын қалыптастыру
- Машиналық оқытуға негізделген 5G SA желісінің сапа көрсеткіштерін болжау әдістерін әзірлеу және зерттеу және динамикалық жүктеме сценарийлерінде желі күйінің деградациясын анықтау мүмкіндігін бағалау

Зерттеу әдістері:

Жүйелі әдебиеттерге шолу, 3GPP және O-RAN стандарттарын талдау, қайталанатын 5G автономды эксперименттік ортаны құру, желіні өлшеу және бақылау, уақыттық қатарларды талдау, статистикалық деректерді талдау, машиналық оқыту, регрессиялық модельдер, жіктеу әдістері, уақыт тізбегін өңдеуге арналған нейрондық желілер, желі күйін болжау.

Зерттеу объектісі

5G Standalone желілері және олардың өзгертмелі көппайдаланушылық жүктеме жағдайындағы күйі.

Зерттеу пәні

Бақыланатын эксперименттік деректер мен машиналық оқыту әдістеріне негізделген 5G Standalone желілерінің күйі мен сапа көрсеткіштерін болжау әдістері.

Алынған нәтижелердің ғылыми жаңалығы:

1. Желі күйін зерттеу үшін бақыланатын эксперименттердің қайталанатын ортасы жүзеге асырылды 5G Standalone.
2. Тәжірибелік параметрлерді, желі сапасының көрсеткіштерін және желі күйінің жиынтық индикаторын қоса алғанда, желі күйін талдау және болжау үшін деректер жинағын қалыптастыру тәсілі ұсынылады
3. Алынған эксперименттік мәліметтер негізінде желінің жай-күйінің болжамдылығы анықталды 5G Standalone болжамның жұмыс көкжиегі анықталды, бұл желінің деградациясының дамуын сыни жағдайға көшкенге дейін анықтауға мүмкіндік береді.

Қорғауға шығарылатын ережелер:

4. Қайталанатын эксперименттік жағдайларда 5G Standalone желісінің күйін зерттеуге мүмкіндік беретін бақыланатын эксперименттердің қайталанатын ортасы жүзеге асырылды.
5. Деректер жиынтығын қалыптастыру тәсілі ұсынылады, оның ішінде желі күйінің жиынтық көрсеткіші және желі күйлерінің классификациясы, әртүрлі күйлер арасындағы желілік ауысуларды қайталанатын зерттеуді қамтамасыз етеді.
6. 5G Standalone желісінің күйі мен желі күйінің жиынтық индикаторының болжамды екендігі анықталды, болжаудың жұмыс көкжиегі желі параметрлерінің өзгеру динамикасының сипатына байланысты.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы

Теориялық маңыздылығы

Бұл зерттеу бақыланатын эксперименттік деректер негізінде 5G SA желілерінің күйін талдау және болжау әдістерін дамытуға үлес қосады. Жұмыста желі динамикалық жүйе ретінде қарастырылады, оның күйі көп пайдаланушы жүктемесінің, конфигурация параметрлерінің және жұмыс жағдайларының әсерінен қалыптасады. Желінің күйін оның жұмысының әртүрлі режимдері арасындағы ауысуларды зерттеуге мүмкіндік беретін жиынтық түрде көрсету тәсілі ұсынылады. Алынған нәтижелер 5G SA желілерінің өнімділігінің деградация заңдылықтары және бақыланатын эксперимент жағдайында олардың жай-күйінің болжамдылық ерекшеліктері туралы түсініктерін кеңейтеді. Зерттеу нәтижелері жаңа буын желілерін интеллектуалды бақылау, болжау және басқару әдістерін одан әрі дамытуға негіз бола алады.

Практикалық маңыздылығы

Жұмыстың практикалық маңыздылығы Open5GS, srsRAN Project және ZeroMQ негізіндегі қайталанатын 5G Standalone эксперименттік ортасын әзірлеуде жатыр, бұл бақыланатын көп пайдаланушы эксперименттерін қамтамасыз етеді мамандандырылған радиожилік жабдығын пайдаланбай. Әзірленген орта жүктеме параметрлерінің желі

сапасының көрсеткіштеріне әсерін зерттеуге, тәжірибелік деректер жиынын құруға және желінің нақты жұмысына жақын жағдайларда машиналық оқыту әдістерін бағалауға мүмкіндік береді.

Әзірленген талдау және болжау әдістерін Open RAN бағдарламалық жасақтамасымен анықталған желілерде және архитектураларында желі күйін бақылау жүйелерін, шешімдерді қабылдаудың интеллектуалды құралдарын және перспективалық басқару механизмдерін құруда пайдалануға болады. Алынған нәтижелерді ғылыми зерттеулерде, білім беру мақсаттарында және 5G желілерін және ұялы байланыстың кейінгі буындарын зерттеуге арналған тәжірибелік платформаларды әзірлеуде де пайдалануға болады.

Диссертациялық жұмыстың көлемі мен құрылымы

Диссертация кіріспеден, төрт негізгі тараудан, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыстың жалпы көлемі шамамен 110 беттерді, соның ішінде кестелерді, суреттерді және формулаларды. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі 50-ден астам атаудан тұрады.

Диссертация кіріспеден, төрт негізгі тараудан, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады.

Бірінші тарауда 5G Standalone желілерінің архитектурасына, Open RAN тұжырымдамасына, желі сапасының көрсеткіштеріне және телекоммуникациялық жүйелердің күйін талдау мен болжаудың заманауи әдістеріне шолу берілген. Қолданыстағы тәсілдерге талдау жасалды, зерттеудің өзектілігі негізделді және жұмыстың негізгі ғылыми міндеттері тұжырымдалды.

Екінші тарауда Open5GS, srsRAN Project және ZeroMQ негізінде әзірленген қайталанатын 5G Standalone эксперименттік ортасы сипатталған. Стендтің архитектурасы, көп пайдаланушыны эмуляциялау әдістері, телеметрия жинағын ұйымдастыру және тәжірибелік деректер жинағын қалыптастыру қарастырылады.

Үшінші тарауда ауыспалы жүктеме жағдайындағы желінің әрекетін зерттеу нәтижелері келтірілген. Жүйелік параметрлер мен желінің сапалық көрсеткіштері арасындағы тәуелділіктерге талдау жасалды, желінің жай-күйін жиынтық түрде ұсынуға тәсіл ұсынылды және өнімділіктің деградациялық процестері зерттелді.

Төртінші тарауда машиналық оқыту негізінде желінің күйін болжау әдістері қарастырылады. Болжаудың әртүрлі үлгілері салыстырылды, әртүрлі жұмыс режимдеріндегі желі күйінің болжамдылығы зерттелді және бақыланатын және стохастикалық сценарийлер үшін қысқа мерзімді болжаудың жұмыс көкжиектері анықталды.

Қорытындыда зерттеудің негізгі нәтижелері келтіріліп, қорытындылар тұжырымдалып, әрі қарайғы зерттеулердің бағыттары айқындалады.

Жұмысты сынақтан өткізу

Жұмыс нәтижелері әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ақпараттық технологиялар және жасанды интеллект факультетінің ғылыми семинарларында талқыланып, халықаралық конференцияларда таныстырылды:

- Казахстан математиктерінің бірінші конгресі (Алматы, Казахстан, 2025);

Жарияланымдар.

Диссертация тақырыбы бойынша 6 ғылыми жұмыс жарияланды, оның ішінде 5 мақала Scopus және Web of Science халықаралық деректер базасында индекстелген рецензияланған ғылыми журналдарда және 1 мақала Қазақстан Республикасының ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚК ұсынған журналда жарияланды.

– Nurakhov, Y., Mukhanbet, A., Aibagarov, S., & Imankulov, T. (2025). A Machine Learning Approach to Investigating Key Performance Factors in 5G Standalone Networks. *Electronics*, 14(19), 3817. <https://doi.org/10.3390/electronics14193817>

– Nurakhov, Y., Kassymbek, N., Marlambekov, D., Mukhanbet, A., & Imankulov, T. (2026). Bridging the Semantic Gap in 5G: A Hybrid RAG Framework for Dual-Domain Understanding of O-RAN Standards and srsRAN Implementation. *Applied Sciences*, 16(7), 3275. <https://doi.org/10.3390/app16073275>

– Nurakhov, Y., Aibagarov, S., Kassymbek, N., Mukhanbet, A., Kumalakov, B., & Imankulov, T. (2026). The Impact of Generative AI on 6G Network Architecture and Service. *Electronics*, 15(7), 1345. <https://doi.org/10.3390/electronics15071345>

– Nurakhov, Y., Kyzirkanov, A., Otarbay, Z., & Lebedev, D. (2025). Adaptive Software-Defined Network Control Using Kernel-Based Reinforcement Learning: An Empirical Study. *Applied Sciences*, 15(23), 12349. <https://doi.org/10.3390/app152312349>

– Kyzirkanov, A. E., Nurakhov, Y. S., Otarbay, Z., & Lebedev, D. V. (2026). Log-Driven Proximal Policy Optimization for Adaptive Traffic Control in Software-Defined Networks. *Applied Sciences*, 16(9), 4424. <https://doi.org/10.3390/app16094424>

– Nurakhov, Y., & Marlambekov, D. (2025). Implementation of a Reproducible 5G Standalone Testbed Using Open-Source Components. *Journal of Problems in Computer Science and Information Technologies*, 3(4), 39–47. <https://doi.org/10.26577/jpcsit202544>