

Александр Владиславович Солощенконың «6D071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін ұсынған
«Ұялы байланыс желілерінде қолданыстың түрлі сценарийлері үшін өздігінен ұйымдастырылатын желілер (SON) алгоритмдерінің тиімділігін зерттеу» тақырыбындағы диссертациясына

АҢДАТПА

3GPP құжаттарынан алынған мәліметтерге сәйкес, өзін-өзі ұйымдастыратын желі – бұл адамның осы процеске қатысуы болмаған кезде жұмысты жеңілдету және автоматтандыру үшін ұялы байланыс желісін бақылау және басқару жүйесі пайдаланатын желі.

Дүниежүзілік коронавирустық пандемия (COVID-19) жағдайында тек зардап шекпеген, бірақ қаржылық тұрғыдан өскен бірнеше саланың бірі телекоммуникация саласы, атап айтқанда ұялы байланыс болды. Карантин режимінің жаппай енгізілуіне байланысты трафиктің мұндай өсуі күтілмеген желілердің учаскелеріне жүктеме күрт өсті.

Ұялы байланыс операторларына күрт өсіп келе жатқан жүктемені жеңуге және өз желілерінің ресурстарын тез басқаруға не көмектесті?

Мұнда бірнеше фактор бар:

- 1) бастапқыда технологиялық тұрғыдан дұрыс радио желісін жоспарлау;
- 2) көлік желісінің өткізу қабілетін уақтылы арттыру;
- 3) желіні жедел басқару, әкімшілендіру және оңтайландыру үшін SON (Self-Organizing Networks) өзін-өзі ұйымдастыратын желілер алгоритмдерін қолдану.

3-факторға толығырақ тоқталайық. SON дамуы 3G стандартты желілерін енгізу кезеңінде басталды және бүгінгі күнге дейін үздіксіз жалғасуда. 3GPP консорциумы жасаған өзін-өзі ұйымдастыратын желілер (SON) мобильді сымсыз желілерді автоматтандыруды, операциялық тиімділікті және жеңілдетілген басқаруды қамтамасыз етеді. Осылайша, SON енгізу адамның минималды араласуымен желіде оңтайлы өнімділікті қамтамасыз етеді.

SON дамуының негізгі драйверлері:

- желілердің, тораптардың, элементтер мен параметрлердің саны мен күрделілігі;
- желіде технологиялық, көпбейінді және көпдеңгейлі операциялардың болуы;
- трафиктің өсуі және өткізу қабілетін басқару;
- қызметтердің тұрақты сапасы мен қолжетімділігі;
- интерактивті желілерге қажеттілік.

Барлық осы тапсырмаларды сәтті басқара білу, сайып келгенде, операциялық және капиталды үнемдеуге (OPEX және CAPEX), жоғары өнімділікке және клиенттердің оң тәжірибесіне әкеледі.

Бүгінгі таңда Қазақстанда телекоммуникациялық қызметтер нарығында дуополия қалыптасты. Халыққа мобильді және тұрақты байланыс қызметтерін ұсынатын екі негізгі ойыншы – Tele2, Altel, Kcell, Activ сауда маркаларымен «Қазақтелеком» АҚ және Beeline сауда маркасымен «КаР-Тел» ЖШС. Бұл мыңдаған базалық станциялар және ондаған мың антенналар. Өзін-өзі ұйымдастыратын желілік құралдарды (SON) пайдалану желіні басқаруды айтарлықтай жеңілдетеді. Қазақстан Республикасының аумағында операторларда өзін-өзі ұйымдастыру желілерінің құралдарын белсенді енгізу шамамен 7 жыл бұрын басталды. Бұл процесс өте ауыр және қиын, өйткені әр аймақта, қалада, ауылда өзіндік ерекшеліктер бар, мысалы, рельефтің, құрылыстың, халықтың тығыздығының ерекшеліктері. Барлық осы факторлар байланыс желілерін жоспарлауға және басқаруға әсер етеді.

SON шешімдерін байланыс операторларына сататын сатушылар нарықтық экономика жағдайында мүмкіндігінше көп құралдарды сатуға және максималды пайда алуға тырысады. Шын мәнінде, SON құралдарының көп мөлшерін пайдалану қажет емес, ең бастысы - ұялы байланыс операторын оңтайландыру және негізгі көрсеткіштердің бастапқы параметрлері (KPI) үшін SON құралдарын таңдау. Бұл зерттеуде жаңартылған әдістеме әзірленді және ұсынылды, оның ережелерін ұялы байланыс операторларының желілеріндегі SON-ның қолданылуын стандарттау және тиімділігін бағалау үшін пайдалануға болады.

Ұялы байланыс операторлары үшін өзін-өзі ұйымдастыратын желілер (SON) құралдарын қолдануды дұрыс алгоритмдеуді және олардың өз желілеріндегі жұмысының тиімділігін анықтауды үйрену өте маңызды.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі:

Пайдалану жағдайларының серпінді өзгеруі жағдайында (желідегі жүктемелер, метеорологиялық жағдайлар, жыл мезгілдері, жаһандық пандемиялар) ұялы байланыс желілерін техникалық пайдалану күрделілігінің өсуі. Мұның бәрі желі операторының қатысуынсыз желіні автоматтандырылған басқару мүмкіндіктерін арттыруды талап етеді. SON алгоритмдері 3GPP техникалық сипаттамаларында стандартталмаған, бұл басқару жүйелерінің негізсіз алуан түрлілігіне және желілерді пайдалану талаптарының сәйкес келмеуіне әкеледі.

4G ұялы байланыс технологиясы нарықтық жетілуге жеткен технологияға жатады және зертханалық емес, желіні пайдаланудың нақты жағдайларында зерттеулер жүргізуге мүмкіндік береді.

Тиімділік тек қызметтің нәтижесін ғана емес, оған қол жеткізілген сыртқы жағдайларды да қамтамасыз етеді.

SON желісін қолдану тиімділігі ретінде SON құралдары жұмысының алынған нәтижелері (көрсеткіштері) мен қаржылық немесе ресурстық шығындар арасындағы қатынас қабылданады. SON алгоритмдерін қолдану тиімділігін осы зерттеуде 4G желісі жұмысының келесі негізгі көрсеткіштерінің өзгерістері қарастырылады:

- LTE user throughput DL (MB/s) – «төмен» сызығындағы соңғы пайдаланушыға деректерді берудің орташа жылдамдығы, MB/s.

- LTE user throughput UL (MB/s) – «жоғары» сызығындағы соңғы пайдаланушыға деректерді берудің орташа жылдамдығы, MB/s.

- PS_Data_Vol (MB) – «төмен» және «жоғары» бағыттарының байланыс желілері берілген пакеттік деректер саны, MB.

- V_{k_4g_e_rab_dr} (%) - абоненттің бастамасы бойынша орнатылған қосылыстарды ажырату пайызы, %.

- V_{K_4G_LTE_Mobility_SR} – бір сектордың қызмет көрсету аймағынан басқа сектордың қызмет көрсету аймағына (Hard хэндоверлер) өту кезінде абоненттік терминалдарға қызмет көрсетудің табысты шығыс эстафеталық берілістерінің пайызы.

- DL_PRB_Usage_Rate (%) – ресурстық блоктарды «төмен» бағыты бойынша кәдеге жарату пайызы.

- UL_PRB_Usage_Rate (%) – ресурстық блоктарды «жоғары» сызық бағытында кәдеге жарату пайызы.

Ұсынылған диссертациялық жұмыс ұялы байланыс операторларының бірінің желісінде эксперименттер мен модельдеуді орындай отырып, ғылыми – зерттеу, әдістемелік және эксперименттік жұмыстар негізінде орындалды.

Зерттеу нысаны - ұялы желі кластері.

Зерттеу пәні ұялы байланыс желілерінде әртүрлі пайдалану сценарийлері үшін қолданылатын өзін-өзі ұйымдастыратын желілердің (SON) алгоритмдерінің тиімділігін бағалау болып табылады.

Жоғарыда аталған шарттар **диссертациялық зерттеудің мақсатын** қалыптастырады, ол келесі түрде тұжырымдалған: ұялы желілерде қолданудың әртүрлі сценарийлері үшін SON алгоритмдерінің тиімділігін бағалау әдістемесін жасау.

Диссертациялық жұмысты орындау барысында қойылған мақсатқа жету үшін **зерттеудің келесі міндеттері** орындалды:

- Ұялы байланыс желілерінде SON алгоритмдерін қолдану тиімділігін бағалауды талдау.

- SON алгоритмдерін интегралды индикатор түрінде қолдану тиімділігін кешенді, көп факторлы бағалауды есептеу мүмкіндігін зерттеу.

- Факторлық топтар мен параметрлік көрсеткіштер жиынтығын анықтау.

- Факторлық топтарға салмақ коэффициенттерін тағайындау.

- Алматы қаласындағы ұялы байланыс желісінің кластерінде SON жаңартылған алгоритмін қолданудың тиімділігіне эксперименттік зерттеу жүргізу.

- Menthum Planet радио жабынын модельдеу және есептеу үшін арнайы бағдарламалық жасақтаманы қолдана отырып, таңдалған ұялы желі кластеріндегі радио қамту аймағының өзгеруін бағалау.

- Орындалған зерттеулер нәтижелері негізінде бағдарламалық қамтамасыз ету түрінде ұялы байланыс желілерінде қолданудың әртүрлі сценарийлері үшін SON алгоритмдерінің тиімділігін бағалау әдістемесінің есептік модулін ресімдеу.

Диссертациялық жұмыстың **ғылыми жаңалығы** келесідей:

1. Ұялы байланыс желілерінде қолданудың әртүрлі сценарийлері үшін SON алгоритмдерін қолдану тиімділігін бағалау әдістемесі жасалды.

2. Алғаш рет ұялы байланыс желілерінде қолданудың әртүрлі сценарийлері үшін SON алгоритмдерін қолданудың тиімділігіне кешенді баға берілді.

3. Ұсынылған әдістеме негізінде ұялы байланыс желілерінде қолданудың әртүрлі сценарийлері үшін SON алгоритмдерін қолданудың тиімділігін есептеу үшін бағдарламалық жасақтама әзірленді.

4. SON құралының стандартты процедурасына түзету ұсынылды, бұл желіні оңтайландыруға қажетті уақытты едәуір азайтуға мүмкіндік береді.

5. Қазақстан Республикасының патенті алынды: «Ұялы байланыс желілерінде өзін-өзі ұйымдастыратын желілер (SON) алгоритмдерін қолдану тиімділігін бағалау жүйесі» 24.09.2021 ж. № 6455.

Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша қорғауға мынадай ережелер шығарылады:

1. Ұялы байланыс желілерінде қолданудың әртүрлі сценарийлері үшін SON алгоритмдерін қолдану тиімділігін бағалау әдістемесі, бұл интегралды индикатор түрінде тиімділікті бағалауға мүмкіндік береді.

2. Ұялы байланыс желілерінде қолданудың әртүрлі сценарийлері үшін SON алгоритмдерін қолданудың тиімділігіне кешенді баға берілді.

3. SON құралының стандартты процедурасына түзету ұсынылды, бұл желіні оңтайландыруға қажетті уақытты едәуір азайтуға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелерді апробациялау ұялы байланыс операторының желісіне SON енгізудің техникалық стратегиясын қалыптастыру кезінде жүргізілді. Жұмыс нәтижелері ұялы байланыс операторы «КаР-Тел» ЖШС енгізу актісімен тіркелді.

Зерттеулердің негізгі ережелері мен нәтижелері келесі **ҒЫЛЫМИ ЖАРИЯЛАНЫМДАРДА** көрсетілген: 8 ғылыми мақала мен баяндама халықаралық ғылыми-техникалық конференциялар мен ғылыми журналдарда, оның ішінде: ҚР БҒМ КОКСОН ұсынған тізімдегі отандық басылымдарда 3 ғылыми мақала; халықаралық ғылыми-техникалық конференциялар жинақтарында 3 ғылыми баяндама, оның ішінде жеке сөз сөйлеумен халықаралық ғылыми конференция; 1 мақала Ресей Федерациясы ЖАК журналында; 1 Transport and Telecommunication журналындағы ғылыми мақала (Scopus деректер базасында индекстеледі), жарияланған кезде «Жалпы инженерия» бөлімі бойынша 64% процентильмен. Негізгі автор ретінде ғылыми-зерттеу қызметінің нәтижелері Қазақстан Республикасының 24.09.2021 жылғы № 6455 «Ұялы байланыс желілерінде өзін-өзі ұйымдастыратын желілер (SON) алгоритмдерін қолдану тиімділігін бағалау жүйесі» патентінде тіркелді.

Зерттелетін мәселені шешуге **автордың жеке үлесі** анықталады:

1. Өзін-өзі ұйымдастыратын желілер (SON) алгоритмдерін ұялы байланыс желілерінде қолдану нәтижелерін зерттеу әдістемесін негіздеуде, тұжырымдауда және таңдауда.

2. Ұялы байланыс желілерінде қолданудың әртүрлі сценарийлері үшін SON алгоритмдерін қолданудың тиімділігін бағалау әдістемесін жасау, бұл интегралды индикатор түрінде тиімділікті бағалауға мүмкіндік берді.

3. Ұялы байланыс желісінде эксперименттік зерттеулер қою және іске асыру, сондай-ақ «Mentum Planet» мамандандырылған бағдарламалық кешенінің көмегімен үлгілеуді жүзеге асыру және қою арқылы жүзеге асырылады.

Диссертациялық жұмысты диссертация ресімдеудің, құрылымының және мазмұнының қолданыстағы талаптарына сәйкес орындады. Жұмыс 3 негізгі тараудан, нормативтік сілтемелерден, белгілеулер мен анықтамалардан, белгілеулер мен қысқартулардан, кіріспеден, қорытындыдан, пайдаланылған көздер мен қосымшалардың тізімінен тұрады.

Бірінші тарауда ұялы байланыс желілерінде өзін-өзі ұйымдастыратын желілер (SON) алгоритмдерін қолдану тиімділігін бағалау мәселесіндегі қазіргі жағдайға шолу берілген. Өзін-өзі ұйымдастыратын желілер (SON) функциясының ерекшеліктері және өзін-өзі оңтайландыратын ұялы байланыс желілерінің тұжырымдамасы қарастырылады. Ұялы байланыс операторларының желілерінде SON алгоритмдерін қолдану тиімділігін бағалау тәсілдеріне талдау жүргізілді.

Екінші тарау өзін-өзі ұйымдастыратын SON желілері алгоритмдерінің тиімділігін бағалау әдістемесін жасауға арналған. Бұл тарауда SON алгоритмдерін қолдану тиімділігін бағалау моделі үшін индикаторларға факторлық талдау жасалды. Өзін-өзі ұйымдастыратын желілер (SON) алгоритмдерінің тиімділігін бағалау үшін жаңартылған жүйесінің модульдерінің толық сипаттамасы берілген. Сараптамалық бағалау әдісін қолдана отырып, жүйені жалпы бағалауда әр модульге салмақ беріледі. Өзін-өзі ұйымдастыратын SON желілері алгоритмдерінің жұмыс істеу тиімділігін бағалау үшін әзірленген әдістеме негізінде жасалған бағдарламалық жасақтама ұсынылған.

Үшінші тарауда ұялы байланыс операторының желісінде өзін-өзі ұйымдастыратын желілер (SON) алгоритмдерін қолдануды эксперименттік зерттеу және модельдеу нәтижелеріне талдау жасалады. Сондай-ақ, үшінші тарауда ұялы байланыс желісінің кластерінде жаңартылған SON алгоритмі жұмыс істегенге дейін және одан кейін радио желісіндегі сигналдың жоғалуын есептеу келтірілген. Mentum Planet бағдарламалық жасақтамасының көмегімен радио жабу жағдайын модельдеу ұсынылған, жетілдірілген SON алгоритмі жұмыс барысында зерттелетін кластердегі базалық станциялардың радио жабылуының жоспарланған аймағынан асып кету мәселесін едәуір жойғанын көрсетті. Пирсон коэффициентін есептеу кезінде нәтижелерді тексеру модельдеу мен эксперименттің нәтижелері жоғары конвергенция мен төмен қателікке ие екенін көрсетті.

Қорытынды алынған зерттеу нәтижелерін және диссертациялық жұмыс бойынша негізгі қорытындыларды жинақтайды.

Қосымшаларда зерттеу нәтижелері бойынша келесі негізгі деректер жинақталған:

1. Әзірленген бағдарламалық қамтамасыз етудің листингі.
2. Желісінің тиімділігін бағалауға арналған факторлар топтарының және көрсеткіштердің құрылымдық схемасы.
3. SON алгоритмдерін қолдану тиімділігін бағалаудың түрлендірілген жүйесінің графикалық формасы.
4. Байланыс операторының шешімдер қабылдауы бойынша әзірленген ұсынымдар.
5. Жаңартылған SON алгоритмінің жұмысына дейін және одан кейін радио желісі кластерін модельдеу нәтижелерін сызу.
6. Ұялы байланыс операторының желісіне зерттеулердің негізгі нәтижелерін енгізу актісінің көшірмесі.
7. «Ұтқыр байланыс желілерінде өзін-өзі ұйымдастыратын желілер (SON) алгоритмдерін қолдану тиімділігін бағалау жүйесі» пайдалы моделіне Қазақстан Республикасының 24.09.2021 № 6455 патентінің көшірмесі.