

6D071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар мамандығы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін ұсынылған диссертациялық жұмысына

## АНДАТПА

МУХАМЕДЖАНОВА АЛЬМИРА ДАЛЕЛХАНКЫЗЫ

Машинааралық өзара әрекеттесу және Заттар Интернеті (M2M/IoT) технологияларының трафигін модельдеу және талдау

### **Диссертациялық зерттеу тақырыбының өзектілігі.**

XXI ғасырдағы байланыс желілері олардың алдындағы жалғасы ғана емес, олар түбегейлі жаңа байланыс желілері болып табылады. Байланыс желілеріне қойылатын жаңа талаптар Заттар интернеті тұжырымдамасының пайда болуынан туындайды.

Заттар Интернетінің тұжырымдамасы (Internet of Things, IoT) M2M (Machine to Machine) машинааралық өзара әрекеттесу технологиясының негізгі қағидаларына негізделген. IoT және M2M құрылғылары қазіргі уақытта көптеген пайдалану жағдайларын қамтиды. M2M/IoT қосымшаларына зияткерлік көлік жүйелері, логистика және жабдықтау тізбегін басқару, зияткерлік өлшеулер, электронды денсаулық сақтау, бейнебақылау және қауіпсіздік, ақылды қалалар және үйді автоматтандыру кіреді. Атап айтқанда, көптеген ақылды құрылғылар автомобиль жасау, қауіпсіздік, электрондық денсаулық сақтау және логистика салаларында кеңінен қолданысқа ие болады деп күтілуде.

Телекоммуникациялық желілерді жобалау және пайдалану кезінде негізгі мәселелердің бірі деректерді беру сапасын қамтамасыз ету болып табылады. Арналар коммутациясы принципі бойынша құрылған телефон желілері сияқты ақпаратты тарату жүйелері үшін бұл мәселені шешу телетрафик теориясының ережелері қамтамасыз етті, онда Пуассон ағыны шақырыстар ағынының моделі болып табылады. Жоғары технологиялардың қарқынды дамуының қазіргі кезеңі деректер ағынының моделі пуассондық емес және классикалық телетрафик теориясының ережелері қойылған мәселелерді шешуді қамтамасыз етпейтін дестелік деректерді беру желілерінің пайда болуына және кең таралуына әкелді.

M2M (machine to Machine) машинааралық өзара әрекеттесу технологиясының принциптеріне негізделген Заттар интернеті (Internet of Things, IoT) тұжырымдамасының пайда болуы байланыс желілеріне жаңа талаптар қойды. M2M/IoT желісінде қолданылатын қосымшалар деректерді беру сапасын жақсартуды, атап айтқанда уақыт кідірістерін және дестелердің шығын болуы ықтималдығын азайтуды талап етеді.

Бұл мәселелерді шешу үшін желілік трафикті математикалық модельдеу қажет. M2M/IoT желісі дестелік деректер желісі болғандықтан, желілік трафикті модельдеу кезінде оның пуассондық емес екенін ескеру қажет.

Жоғарыда айтылғандарға байланысты машинааралық өзара әрекеттесу және Заттар интернеті (M2M/IoT) технологияларының дестелік трафигін модельдеу, талдау және болжау мәселелерін шешуге бағытталған жұмыс тақырыбы өзекті болып табылады.

**Жұмыстың мақсаты.** Машинааралық өзара әрекеттесу және Заттар Интернеті (M2M/IoT) дестелік трафигінің модельдерін әзірлеу және зерттеу.

**Зерттеудің мәселелері.** Қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін және зерттеу нысанына сәйкес диссертациялық жұмыс шеңберінде келесідей міндеттер шешіледі:

1. Нақты трафикті статистикалық өңдеу және талдау және оның өз-өзіне тәріздес дәрежесін анықтау негізінде LoRaWAN желісінің желілік серверіне келіп түсетін дестелік трафиктің компьютерлік моделін әзірлеу;

2. LoRaWAN желілік серверіне келіп түсетін желілік дестелік трафиктің болжау моделін әзірлеу;

3. Әзірленген компьютерлік модельді пайдалана отырып, желілік сервердің M2M/IoT дестелік трафигіне қызмет көрсету сапасының көрсеткіштерін бағалау;

4. Желілік сервер буферінің көлемінің келіп түсетін дестелік трафиктің көлеміне және оның өз-өзіне тәріздес дәрежесіне тәуелділігін әзірленген компьютерлік модельді қолдана отырып анықтау.

**Зерттеу нысаны:** Дестелік деректерді қолданатын машинааралық өзара әрекеттесу және Заттар Интернеті желісі (M2M/IoT) болып табылады.

**Зерттеу пәні:** Машинааралық өзара әрекеттесу және Заттар Интернеті (M2M/IoT) дестелік трафигі болып табылады.

**Зерттеу әдістері.** Зерттеу әдістері ретінде жаппай қызмет көрсету жүйесінің теориясы, ықтималдықтар теориясы және математикалық статистика, телетрафик теориясы әдістері қолданылды. Компьютерлік модельдеу құралдары ретінде Statistica, Simulink бағдарламалық пакеті (Matlab ортасындағы пакет) қолданылды, сонымен қатар Matlab–та бағдарламалау модельдеу нәтижелерін өңдеу үшін қолданылды.

**Зерттеудің ғылыми жаңалығы:**

1. Matlab ортасында шектеулі буферлік сыйымдылығы бар LoRaWAN желісінің серверіне берілген өз-өзіне тәріздес дәрежесі бар өз-өзіне тәріздес дестелік трафиктің компьютерлік моделі жасалды.

3. Желілік дестелік трафикті болжау моделі ұсынылды, оны құру кезінде Браун әдісі қолданылды.

4. LoRaWAN желісіндегі трафикке қызмет көрсету сапасының көрсеткіштері ретінде дестенің уақыт кідірісі және дестенің шығын болу ықтималдығы бағаланды.

5. Алынған трафиктің көлемі мен өз-өзіне тәріздес дәрежесіне байланысты буферлік жады көлемін және шығын болу ықтималдығын анықтау үшін 3D моделі алынды.

**Зерттеудің теориялық құндылығы:** Зерттеу нәтижелерінің теориялық құндылығы ретінде келесілерде қолданыла алады:

—Жаңа буын 4G және 5G байланыс желілерінде M2M/IoT желілік трафигіне қызмет көрсету сапасын анықтау модельдері мен алгоритмдерін әзірлеу үшін;

—Қызмет көрсету сапасының деңгейін арттыруға арналған, желілік технологияларды талдау және жобалау кезінде;

—M2M/IoT желілік трафигінің жылдам өсуінің байланыс желілеріндегі басқа трафик ағындарының қызмет көрсету сапасына әсерін бағалау.

#### **Зерттеудің тәжірибелік маңыздылығы:**

1. Әзірленген M2M/IoT желілік трафигінің компьютерлік моделін машинааралық өзара әрекеттесу және Заттар интернеті желілерін жобалау кезеңінде қолдануға болады.

2. Алдағы уақыт кезеңдеріне арналған трафиктің мәндерін болжау телекоммуникация операторларына келіп түсетін трафикке қызмет көрсету үшін қажетті ресурстарды бөлу бойынша басқарушылық шешімдерді уақтылы қабылдауға мүмкіндік береді.

3. Желілік трафикті эксперименттік зерттеу нәтижелерін келесі мақсаттарда пайдалануға болады:

а) трафиктің қызмет көрсету сапасының көрсеткіштерін бағалау;

б) трафикке қызмет көрсететін желілік құрылғылардың буферлерінің қажетті өткізу қабілеті мен мөлшерін бағалау.

#### **Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер:**

1. Matlab жүйесінде жасалған Парето үлестірімін қолдана отырып, өз-өзіне тәріздес ретінде ұсынылған желілік серверге келіп түсетін біріктірілген M2M/IoT трафигінің компьютерлік моделі;

2. M2M/IoT трафигін болжау моделі, оны пайдалану кезінде ең дәл болжам алынды;

3. Компьютерлік модельді қолдана отырып, кезек ұзындығы шектеулі жаппай қызмет көрсету жүйесі ретінде ұсынылған желілік сервердегі M2M/IoT трафигінің қызмет көрсету сипаттамаларын есептеу әдістемесі;

4. Компьютерлік модельді қолдана отырып, келіп түсетін трафиктің көлемі мен өз-өзіне тәріздес дәрежесіне байланысты, M2M/IoT келіп түсетін трафиктің желілік сервер буферінің мөлшерін анықтау әдістемесі.

**Автордың жеке қосқан үлесі.** Диссертацияда көрсетілген барлық зерттеу нәтижелері автордың тәжірибелер нәтижелерін өңдеу, эксперименттік зерттеуге қатысуымен алынған.

**Диссертация нәтижелерін апробациялау.** Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері: «Ғылым мен индустриядағы цифрлық технологиялар – 2019» V Халықаралық ғылыми конференциясында (Алматы, 2019), «Информатика және қолданбалы математика» IV Халықаралық ғылыми–практикалық конференциясында (Алматы, 2019), «Жаһандану жағдайындағы ғылым мен білімнің даму тенденциялары мен перспективалары» халықаралық ғылыми интернет–конференциясында (Украина, 2020), «Еуропа және түркі әлемі: Ғылым, техника және технологиялар», V Халықаралық ғылыми–практикалық конференциясында (Түркия, 2020), «Энергетика, Инфокоммуникациялық технологиялар және жоғары білім» XI Халықаралық

ғылыми–техникалық конференциясында (Алматы, 2020), «Энергетика, Инфокоммуникациялық технологиялар және жоғары білім» XII Халықаралық ғылыми–техникалық конференциясында (Алматы, Казань, 2022) баяндалып, талқыланды.

**Нәтижелерді енгізу.** Диссертациялық жұмысты зерттеу нәтижелері: «Желі сервері үшін буферлік жадының оңтайлы көлемін анықтау» тақырыбы бойынша ҚР авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтардың мемлекеттік тізілімге мәліметтерді енгізу туралы куәлік №31349 22.12.2022 ж. алынды, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университетінде, ЖШС «Uni Grand Engineering» жүргізілді.

Диссертациялық жұмыстың практикалық маңыздылығы оқу үрдісінде қолдану және өндіріске енгізу нәтижелері болып табылады.

Диссертацияда ұсынылған математикалық модель қызмет көрсету сапасының параметрлерін бағалау құрылыс–монтаждық жобалау жұмыстарын есептеуде қолданылды, бұл алынған нәтижелердің сенімділігін арттыруға мүмкіндік берді және өндіріске енгізілді (ЖШС «Uni Grand Engineering»). Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» білім беру бағдарламасының магистранттары үшін «Заттар Интернеті және М2М желілері мен қызметтері» пәні бойынша дәріс, практикалық, зертханалық сабақтар өткізу кезінде оқу процесіне енгізілді.

**Жарияланымдар.** Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері 16 басылымда жарияланды, оның ішінде ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласында сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынатын ғылыми басылымдар журналдарда 7 мақала, Scopus базасында индекстелінетін шетелдік ғылыми басылымдар мәліметтер базасында енгізілген журналдарда 3 мақала; халықаралық ғылыми–практикалық конференцияларда 6 мақала жарияланды. 22.12.2022 ж. №31349 «Желі сервері үшін буферлік жадының оңтайлы көлемін анықтау» ҚР авторлық куәлігі алынды.

**Диссертацияның көлемі мен құрылымы.** Диссертациялық жұмыс кіріспеден, анықтамалардан, белгілеулерден және қысқартулардан, төрт бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан, 113 атаудағы библиографиялық тізімнен тұрады және 119 беттен, 51 сурет пен 14 кестеден тұрады.

**Кіріспеде** ғылыми жұмыстың өзектілігі ашылып, зерттелетін мәселе баяндалған. Негізгі идея, ғылыми жаңалық, зерттеу нәтижелері мен жарияланымдардың апробациясы, автордың жеке қосқан үлесі келтірілген.

**Бірінші бөлімде** Заттар интернеті (IoT) және машинааралық өзара әрекеттесу (M2M) технологияларын дамытудың қазіргі жай–күйіне талдау берілген. Бұл технологиялар қолдану аясын едәуір кеңейтетіні, бұл M2M/IoT трафиінің айтарлықтай өсуіне әкелетіні атап өтілді.

Байланыс желісінің тиімді сипаттамаларын анықтау, ұялы байланыс желісінде қызмет көрсету сапасының (QoS) параметрлерін бағалау және желі ресурстарын пайдалануды бағалау үшін математикалық модельдеуді қолдану

кажет. Бұл ретте M2M трафиінің математикалық моделін әзірлеу маңызды рөл атқарады. Жұмыс барысында әзірленген трафик модельдерінің көптеген түрлеріне салыстырмалы талдаулары жасалды.

Диссертацияда LoRaWAN желісінің желілік серверіне келіп түсетін кіріс трафикті зерттеу қарастырылады. Кіріс трафиінің қасиеттері мен сипаттамалары нақты деректер бойынша зерттеледі, ал дестелердің кідірісі және шығын болу ықтималдығы сияқты қызмет көрсету сапасының көрсеткіштерін бағалау үшін математикалық модельдер жасалатыны айқындалды.

**Екінші бөлімде** M2M трафиігін математикалық модельдеу әдістеріне талдау жасалды. Онда телекоммуникациялық жүйелер мен желілердің өсіп келе жатқан күрделілігі олардың сипаттамаларына сенімді баға алу үшін тиісті есептеу әдістерін әзірлеуді талап етеді. Бұл есептерді шешуде тиімді құрал математикалық модельдеу болып табылады.

Өз–өзіне тәріздес трафикті модельдеу үшін Парето үлестірімі моделін таңдау негізделген, өз–өзіне тәріздес трафик үшін үлестірімнің басқа түрлері қарастырылған және қазіргі мобильді желілердегі трафик модельдеріне (M2M/IoT) талдау жасалды.

**Үшінші бөлімде** модельдеу, желіні жоспарлау, M2M/IoT трафиіктің мобильді байланыс желісінің қызмет көрсету сапасына (QoS) әсерін талдау кезінде қажет болатын зерттеулер жүргізілді. Бұл бөлімде желілік трафиікті статистикалық талдау әдістеріне талдау жасалады.

LoRaWAN желісіндегі нақты трафикке талдау жасалды. Барлық құрылғылардан желілік серверге келіп түсетін кіріс біріктірілген трафик қарастырылды. M2M/IoT дестелік трафиікті модельдеу үшін статистикалық сипаттамаларды анықтаудан басқа, оның өз–өзіне тәріздестігі бағаланды. Трафиіктің өз–өзіне тәріздес қасиетін анықтау үшін Херст параметрлері есептелді. Statistica бағдарламалар пакетінің негізінде статистикалық талдау жүргізілді және экспоненциалды тегістеу әдісімен нақты M2M/IoT трафиігін қысқа мерзімді болжау жасалды.

**Төртінші бөлімде** LoRaWAN желісіндегі желілік трафиікті модельдеу үшін MatLab бағдарламалық пакетінен SimEvents блоксетімен Simulink ортасын пайдалану ұсынылады. Модельдеу объектісі ретінде желілік серверге кіретін желілік трафик қарастырылады, ол өз–өзіне тәріздес. Simulink ортасында берілген Херст параметрі бар өз–өзіне тәріздес трафиіктерді генерациялайтын кіші жүйелер әзірленді. Желілік сервердің моделі Simulink–те P/M/1/K типті ЖҚЖ ретінде ұсынылған.

Алынған трафиіктің көлемі мен өз–өзіне тәріздес дәрежесіне байланысты буферлік жады көлемін және шығын болу ықтималдығын анықтау үшін 3D моделі алынды.

**Қорытындыда** диссертациялық жұмыс бойынша негізгі нәтижелер мен қорытындылар көрсетілген.