

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар
кафедрасы

Қожаназар Сабина Ержанқызы

«Қалалық ортадағы интеллектуалды телекоммуникация желілерінің
архитектурасын зерттеу және талдау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Алматы 2025 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және телекоммуникациялық технологиялар институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

техн. ғыл. кандидаты

 Е.Таштай

«30» 05 2025 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Қалалық ортадағы интеллектуалды телекоммуникация
желілерінің архитектурасын зерттеу және талдау»

6B06201 – «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

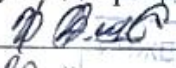
Орындаған: Қожаназар Сабина



Пікір беруші

ҚазҰАЗУ, доктор PhD.,

қауымд. профессоры

 Әлібек Н.Б.

«20» 05 2025 ж.

Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф. қауымд. профессор,

доктор PhD

 Тайсариева К.Н.

«15» 05 2025 ж.

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ 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

«26» 01.2025 ж. 2025 ж.

Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушы Қожаназар Сабина

Тақырыбы «Қалалық ортадағы интеллектуалды телекоммуникация желілерінің архитектурасын зерттеу және талдау»

Университет ректорының «26» 01.2025 ж. 197/0 бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «30» сәуір 2025 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

- 1) Қалалық ортадағы интеллектуалды телекоммуникация желілерінің диапазоны 30-дан 300 ГГц-ке;
- 2) Интеллектуалды телекоммуникация желілерінің толқын ұзындығы: 0,1-ден 1 мм-ге дейінгі;
- 3) Деректер жылдамдығы: 0,3 Кбит/с-тен 50 Кбит/с-ке дейінгі жылдамдықтағы заманауи телекоммуникациялық технологиялар;
- 4) Желілердің деректерді жіберу жылдамдығы 1 Гбит/с;

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- 1) IoT құрылғыларының сенімді жұмысын қамтамасыз ететін LPWAN, Wi-Fi және Bluetooth стандарттары қарастыру;
- 2) Жиналған деректерді талдау және шешім қабылдауға арналған болжамды модельдер құру;
- 3) Киберқауіпсіздік стандарттарын қарастыру (ISO/IEC 27001)
- 4) Деректерді өңдеу үшін жасанды интеллект және машиналық оқыту алгоритмдері қолдану.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер:

1. European Telecommunications Standards Institute (ETSI). Smart Cities and IoT Standards. <https://www.etsi.org>
2. Park, J., Hee, S. 5G Network Architecture for Smart Cities: Challenges and Future Directions. IEEE Communications Magazine, 2019.
3. Schaffers, H., Komninos, N., Pallot, M., et al. Smart Cities and the Internet of Things: Innovation and the Use of ICT for Sustainable Development. Springer, 2024.

Дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Интеллектуалды желінің негізгі компоненттері мен инфрақұрылымын зерттеу	04.01.2025 - 01.02.2025	орындалды
Заманауи технологиялар (IoT, 5G, LPWAN, Big Data) және оларды қолдану тәсілдерін зерттеу	01.02.2025 - 01.03.2025	орындалды
Зерттеу нәтижелері бойынша қорытынды есеп жазу және ұсыныстар дайындау	01.03.2025- 30.05.2025	орындалды

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	Тайсариева К.Н., PhD., ЭТжҒТ, қауымдастырылған профессор	13.03.25	
Теориялық ақпарат	Тайсариева К.Н., PhD., ЭТжҒТ қауымдастырылған профессор	29.04.25	
Норма бақылау	Досбаев Ж.М. ЭТжҒТ, PhD., аға оқытушысы	23.05.25	

Ғылыми жетекшісі



Тайсариева К.Н.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Қожаназар С

Күні « 2 » ақпан 2025ж

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста қалалық ортадағы интеллектуалды телекоммуникация желілерінің архитектурасын зерттеу және талдау жасалды. IoT құрылғыларының сенімді жұмысын қамтамасыз ететін LPWAN, Wi-Fi және Bluetooth стандарттары қарастырылды. Жиналған деректерді талдау және шешім қабылдауға арналған болжамды модельдер құрылды. Деректерді өңдеу үшін жасанды интеллект және машиналық оқыту алгоритмдері қолданылды. Нәтижесінде жүйе ретінде ұшатын сенсорлық желі және жаппай қызмет көрсету желісі таңдалып AnyLogic имитациялық модельдеу пакеті арқылы орындалды. Модель пакеттердің базалық станцияға дейін жеткізілу санымен беру кідірістерін деректерді беру жылдамдығына тәуелділігін сипаттады. Имитациялық модельді LPWAN модулдерінің жұмыс параметрлерін қолдану арқылы жасалды.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе было проведено исследование и анализ архитектуры интеллектуальных телекоммуникационных сетей в городской среде. Были рассмотрены стандарты LPWAN, Wi-Fi и Bluetooth, обеспечивающие надежную работу IoT-устройств. Разработаны прогнозные модели для анализа собранных данных и принятия решений. Для обработки данных использовались алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения. В результате в качестве системы была выбрана летающая сенсорная сеть и сеть массового обслуживания, реализованная с помощью пакета имитационного моделирования AnyLogic. Модель описывает зависимость количества доставленных пакетов до базовой станции и задержек передачи от скорости передачи данных. Имитационная модель была создана с использованием рабочих параметров модулей LPWAN.

ABSTRACT

This thesis focuses on the research and analysis of intelligent telecommunication network architectures in urban environments. The study examines LPWAN, Wi-Fi, and Bluetooth standards that ensure reliable operation of IoT devices. Predictive models were developed for data analysis and decision-making, utilizing artificial intelligence and machine learning algorithms for data processing. As a result, a flying sensor network and a mass service network were selected as the system framework, implemented using the AnyLogic simulation modeling package. The model characterizes the relationship between the number of packets successfully delivered to the base station, transmission delays, and data transfer rates. The simulation model was built using operational parameters of LPWAN modules.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе		
1	XXI ғасырдағы телекоммуникация технологияларын талдау	9
1.1	Сымсыз сенсорлық желілер	9
1.2	Сымсыз сенсорлық желілерге арналған трафик модельдері	11
1.3	Заттар интернетінің тұжырымдамасы	12
1.4	Тактильді интернет тұжырымдамасы	14
1.5	Тактильді интернет қосымшалары	17
1.6	Бесінші буын байланыс желілері	20
2	Ортақ пайдаланылатын байланыс желілерінің жаңа түрі - ұшатын сенсорлық желілер	24
2.1	Ұшатын сенсорлық желілердің пайда болуының алғышарттары	25
2.2	Ұшатын сенсорлық желінің типтік құрылымы	29
2.3	Ұшатын сенсорлық желілердің архитектурасы	31
2.4	Ұшатын желілерді зерттеу бойынша халықаралық қызметті талдау	33
2.5	Зерттеулердің теориялық және практикалық бағыттары ұшатын сенсорлық желілер	34
3	Жүйе ретінде ұшатын сенсорлық желі және жаппай қызмет көрсету желісі	38
3.1	Ұшқышсыз ұшу аппараты жаппай қызмет көрсету жүйесі ретінде	38
3.2	Қызмет көрсету жүйесі ретіндегі ұшқышсыз аппараттар тобы	48
3.3	Деректерді беру үшін ұшатын сенсорлық желі фрагментінің моделі	54
3.4	Ұшатын сенсорлық желінің имитациялық моделі	58
3.5	ҰҰА базасында гетерогенді шлюздерді ұйымдастыру	62
Қорытынды		66
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі		67

КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта технологиялық прогрестің негізгі қозғалтқыштарының бірі телекоммуникация және ақпараттық технологиялар салалары, ал негізгі салалары ақпараттық қоғамды дамыту аспектілері-ақпараттандыру және интернеттендіру. Соңғы жылдары осы екі аймақтың жақындасуы соншалықты тығыз және шекаралардың бұлыңғыр болғаны соншалық, зерттеушілер мен инженерлер арасында "инфокоммуникация" сияқты термин танымал болды, ақпараттық технологияларды телекоммуникациясыз қарастыру мүмкін емес. Инфокоммуникацияға мұқият назар аударудың нәтижесі интеграция іс жүзінде адам өмірінің барлық салаларына қатысты болып отыр. Байланыс желілерін дамытудың қазіргі кезеңі жаңа эволюциялық кезеңге - бесінші және кейінгі ұрпақ желілерін енгізуге көшумен байланысты түбегейлі өзгерістермен сипатталады. Болашақ ұрпақтың ішкі желілері перспективалы алтыншы буын (6G) желілерін де, 2030 жылға болжамды желілерді де білдіреді. Айырмашылықтарға қарамастан, бұл желілер 5G негізгі сипаттамаларын сақтайды, соның ішінде, тораптарды орналастырудың өте жоғары тығыздығы және деректерді берудің өте төмен кідірістері. Желілердің жоғары тығыздығының қалыптасуы 5G инфрақұрылымында Заттар интернеті (IoT) тұжырымдамасын енгізудің тікелей салдары болды. қазіргі стандарттар қазірдің өзінде бір шаршы километрге 1 миллион құрылғыға дейін қосылу тығыздығын қарастырады, бұл, желілерді жобалаудың түбегейлі жаңа тәсілдерін талап етеді. Құрылғылар арасындағы қашықтық соншалықты аз болған кезде жағдай жасайды, тіпті желінің ағымдағы жүктемесі де олардың жұмысына әсер ете бастайды. 6G технологияларына көшкен кезде құрылғылардың орналасу тығыздығы 1 текше метрге 100 құрылғыға дейін артады. Мұндай экстремалды параметрлер инфрақұрылымның түбегейлі жаңа класына - өте тығыз желілерге көшуді білдіреді.

5 G және перспективалы ұрпақ желілеріндегі өте төмен кідірістер тактильді интернет технологиясын іске асырудың арқасында мүмкін болды. Бұл технологияның негізгі талабы-1 мс аспайтын кідірісті қамтамасыз ету, бұл, қазіргі 4G желілерімен салыстырғанда екі реттік (100 есе) аз нақты уақыттағы түбегейлі жаңа қызметтер үшін мүмкіндіктер ашады желілік инфрақұрылым архитектурасын толық қайта қарауды талап етеді. Бесінші және одан кейінгі байланыс желілерінде көрсетілген талаптарды іске асыру үшін ұрпақтар үшін шекаралық және тұманды есептеулер, олардың басты ерекшелігі-орналастыру желінің есептеу ресурстары пайдаланушыға (құрылғыға) мүмкіндігінше жақын. Тағы мұндай технологияның орындалуын қамтамасыз ете алатын ең маңызды технологияның бірі желілер мен байланыс жүйелеріне қатаң талаптар, қамтамасыз ету болып табылады желінің базалық станциясының қатысуынсыз пайдаланушылар және / немесе құрылғылар арасындағы тікелей өзара іс-қимыл. Бұл өзара әрекеттесулер D2D құрылғысы (device-to-Device) деп аталады және көптеген жағдайларда жоғары тығыздық пен ультра төмен кідіріс талаптарын орындауға мүмкіндік береді.

Соңғы жылдардың тағы бір маңызды оқиғасы - Заттар Интернеті (IoT) және өзін-өзі ұйымдастыратын желілердің пайда болуы мен одан әрі дамуы болды. Бұл бағыттың алғашқы кезеңі ретінде қоршаған ортадағы заттар мен құбылыстар туралы нақты ақпаратқа қол жеткізуге мүмкіндік беретін сенсорлық желілердің пайда болуын атауға болады. Байланыс желілері саласындағы мұндай сандық өзгеріс әлемдік ғылыми қоғамдастықты «Заттар интернеті» концепциясын жүзеге асыру кезінде желілердің өзін-өзі ұйымдастыратынын түсінуге жетеледі. Бұл соңғысы желілерді жобалау мен зерттеу үлгілері мен әдістерін қайта қарауды талап етті, олардың көпшілігі сымсыз сенсорлық желілерді енгізу кезеңінде сынақтан өткен. Дипломдық жұмыста, бұрынғы зерттеулерден айырмашылығы, жалпы пайдалану үшін арналған ҰҰА негізінде құрылған ұшатын сенсорлық желілерге арналған модельдер мен әдістердің кешені әзірленіп, зерттелуде. Бұл модельдер ZigBee, 6LoWPAN, Thread, RPL сымсыз сенсорлық желілерінің хаттамалары және LPWAN отбасына жататын аз энергия тұтынатын желілердің хаттамалары негізінде жасалған.

1 XXI ғасырдағы телекоммуникация технологияларын талдау

1.1 Сымсыз сенсорлық желілер

Сымсыз сенсорлық желілер, кіріспеде айтылғандай, Заттар Интернеті концепциясының пайда болуына технологиялық негіз болды. Сонымен қатар, бейсанды сенсорлық желілерді құрудың модельдері мен әдістері, әрине, ұшатын сенсорлық желілердің жердегі сегментін құруда кеңінен қолданылады. Сондықтан дипломдық жұмыстың аналитикалық бөлігін сымсыз сенсорлық желілерді жан-жақты қарастырудан бастаймыз.

Сымсыз сенсорлық желілер туралы алғаш рет жарияланған мақаладан бері 10 жылдан астам уақыт өтті, бұл байланыс желілерінің жаңа құрамдас бөлігі ретінде жалпы пайдаланылатын желілерде жаңа қадам жасауға мүмкіндік берді. Бұл кезеңде отандық ғалымдар сымсыз сенсорлық желілерді зерттеуде үлкен жетістіктерге жетті, атап айтқанда, бас узелді таңдау алгоритмдерін, мұндай желілер үшін трафик модельдерін, сондай-ақ сымсыз сенсорлық желіні жалған оқиғалар ағынынан қорғау модельдері мен әдістерін әзірлеуде. Осы зерттеулердің нәтижелері негізінде XXI ғасырдың екінші онжылдығының басында Заттар Интернеті саласында жұмыстар жүргізіліп жатыр [16]. Қазіргі уақытта жаңа Заттар Интернеті қолданбалары бойынша жұмыстар жүргізілуде олар сымсыз сенсорлық желілердің эволюциясының жаңа кезеңінде - ұшатын түрінде және наноәлем жағдайында дамуын көрсетеді.

1.1.1 Сымсыз сенсорлық желілердегі бас түйінді таңдау алгоритмдері

Сымсыз сенсорлық желілер - бұл өздігінен ұйымдасатын желілер [14], олар көптеген миниатюрлы сенсорлық түйіндерден тұрады, бұл түйіндер қоршаған ортадағы құбылыстарды, процестерді, сипаттамаларды және т.б. бақылауды қамтамасыз етеді. Сымсыз сенсорлық желі орналасқан жазықтықты жиі сенсорлық алаң деп атайды. Тек бір ғана осындай алаңдағы сенсорлық түйіндердің саны соншалықты үлкен болуы мүмкін (ZigBee хаттамасының спецификацияларына сәйкес, 64 мыңнан астам), сондықтан қазіргі инфрақұрылымдық желілерді ұйымдастыру әдістері сымсыз сенсорлық желіні жүзеге асыру үшін жарамсыз. Өздігінен ұйымдасу сенсорлық түйіндерді тек қажетті кезде пайдалану мүмкіндігін береді, яғни бұл түйіндер қандай да бір оқиғаны анықтаған кезде немесе желіні қайта конфигурациялау кезінде жүзеге асады.

Қалған уақыт сенсорлық түйіндер ұйқы режимінде болады, бұл олардың энергетикалық мүмкіндіктерін сақтауға мүмкіндік береді, ал бұл мүмкіндіктер шектеулі және көбінесе толықтырылған емес. Энергияны үнемдеу тапсырмасы сымсыз сенсорлық желілерде өте маңызды болып табылады, себебі ақпаратты беру мен қабылдау үшін энергияның аз жұмсалуды сенсорлық желінің жұмыс істеу уақытын ұзартуға мүмкіндік береді, немесе, сенсорлық желілер бойынша зерттеулерде айтылғандай, сымсыз сенсорлық желінің өмірлік циклын ұзартады.

Бір сенсорлық алаңдағы сенсорлық түйіндердің өте үлкен саны зерттеушілерге сенсорлық желінің өмірлік циклын ұлғайту үшін оның кластерлік ұйымдастырылуын қолдану қажеттілігін көрсетеді.

LEACH базалық алгоритміне негізделген сымсыз сенсорлық желілердің кластерленуі сенсорлық желінің өмірлік циклын кластерленбеген Пуассон сенсорлық алаңымен салыстырғанда 7 есе ұлғайтуға мүмкіндік берді [3].

Жоғарыда айтылғандай, сымсыз сенсорлық желілер жиі «барлық жерде бар» деп те аталады [12]. Сондықтан олардың қолданбалары өте көп және әлі күнге дейін барлық мүмкін қолданбалар мен модельдер үшін оптималды кластерлеу алгоритмі табылған жоқ. Жаңа кластерлеу алгоритмдерін әзірлеу әлемнің көптеген ғылыми орталықтарында жүргізілуде, және олардың кейбіреуін егжей-тегжейлі қарастырамыз.

Зерттеуде гетерогенді сенсорлық желілер үшін ұзақ уақыт бойы ең жақсы жабуды қамтамасыз ететін алгоритм ұсынылған. Сенсорлық желінің гетерогенділігі сенсорлық түйіндердің барлығы бірдей бастапқы энергияға, әрекет ету радиусына және т.б. ие емес екенін білдіреді. Ең жақсы жабу метрикасы тікелей сымсыз сенсорлық желінің өмірлік циклын анықтаумен байланысты. Шынында да, сенсорлық желілер әдетте белгілі бір аумақта мониторинг жүргізу үшін қолданылады. Егер бастапқы кезеңде сенсорлық желілер саласындағы зерттеулерде сымсыз сенсорлық желінің өмірлік циклі соңғы сенсорлық түйіннің энергия ресурсы таусылған кезде оның өлімімен аяқталатыны қабылданса, онда принципті түрде дұрыс көзқарас басқа: сенсорлық желінің өмірлік циклі желі өзінің функцияларын әрі қарай орындау мүмкіндігі болмаған кезде, мысалы, бақылау аумағының жабылу үлесі $k\%$ -ке дейін азайған кезде аяқталады.

Әзірленген алгоритм сол уақытқа дейін белгілі болған алгоритмдерден, оның ішінде LEACH алгоритмінен, ұзақ уақыт бойы қажетті жабу үлесін қамтамасыз ету бойынша айтарлықтай артықшылығы бар.

Сымсыз сенсорлық желілер мобильді сенсорлық түйіндерден де тұруы мүмкін, бұл бас түйінді таңдау және кластердің тұрақтылығы мәселесін желі жұмыс істеген кезде едәуір қиындатады. Типтік модельдер бойынша сенсорлық түйіннің қозғалыс жылдамдығы 2 м/с-тан аспайды, бірақ осындай жылдамдықта да сенсорлық түйіннің бас түйіннің әрекет ету аймағынан деректерді жинау және жіберу аяқталмай тұрып шығуы мүмкін.

Бұл мобильді сенсорлық желілер үшін болжамды алғашқы алгоритм болды. Бұл алгоритм кейінірек әлемде көптеген болжамды алгоритмдердің негізі болып, мобильді түйіндері бар сымсыз сенсорлық желілер үшін әзірленген [20]. DCA алгоритмі сол уақытқа дейін белгілі болған LEACH-M [алгоритмінен айтарлықтай артық болды, себебі ол сымсыз сенсорлық желінің өмір сүру циклі мен k -қамту көрсеткіші бойынша әлдеқайда тиімдірек еді. Сонымен қатар, қарапайым нүктелік болжаушыны қолдану ең жақсы нәтижелерді алуға мүмкіндік берді. Тек 2014 жылдың соңында DCA алгоритмінің қасиеттері жаңартылып, MACA (Mobility Adaptive Clustering Algorithm) жаңа алгоритмі әзірленді. Бұл алгоритм DCA-ның болжамдық қасиеттерін басшылық түйінді

таңдау кезінде сақтай отырып, кластер мүшелерін таңдауды MBC (Mobility-based Clustering) алгоритмінің қосылу қабілеттілігі мәні негізінде жүзеге асырады [14].

Сымсыз сенсорлық желілердің әртүрлі салаларда қолданылуы 21-ші ғасырдың екінші онжылдығының басында басшы түйінді таңдау алгоритмдерін үшөлшемді кеңістікте әзірлеу қажеттілігін өзекті етті. LEACH және басқа да екіөлшемді сенсорлық өрістер үшін әзірленген алгоритмдердің үшөлшемді кеңістікте қолданылуы объектінің биіктігін ескермеуі себепті, мысалы, қойма ғимараттарында мониторинг жүргізу кезінде тиімсіз болды. Әзірленген MCA (Maximum Coverage Algorithm) алгоритмі қазіргі уақытта үшөлшемді кеңістікте стационарлы түйіндері бар сымсыз сенсорлық желілер үшін басшы түйінді таңдау алгоритмдері арасында ең жоғары тиімділікке ие [19].

1.2 Сымсыз сенсорлық желілерге арналған трафик модельдері

Сымсыз сенсорлық желілерде трафик ағындарының сипаттамаларын зерттеу бойынша ауқымды жұмыстарда тек телеметрия, медициналық желілер, мақсатты бақылау желілері, сенсорлық желілер арқылы бейнемазмұнды жіберу сияқты көптеген қолданбалар үшін олардың өзін-өзі ұқсас сипатын анықтап қана қоймай, әрбір қолданба үшін Херст параметрінің мәнін анықтау мүмкіндігі болды [6]. Сонымен қатар, сымсыз сенсорлық желілердегі трафик ағындарының ерекше қасиеті ретінде, жүктеме кезінде Херст параметрінің мәнінің өзгеруі табылды [2]. Бұл нәтиже трафиктің басқа зерттеулерімен де корреляцияланады, онда Херст параметрінің мәні мен бейне сапасын субъективті бағалау арасында байланыс орнатылды. Сонымен бірге, мақсатты бақылау желілерінде трафикті зерттеу барысында, трафик генерациялау үшін ON/OFF әдісі қолданылған кезде, Херст параметрі мен деректерді беру жылдамдығы арасындағы тәуелділік анықталды. Бұл Херст параметрі мен ұзақ мерзімді тәуелділігі бар трафик генерациялау процесін едәуір жеңілдетуге мүмкіндік береді.

M2M желілеріндегі трафиктің антиперсистентті қасиеттерін анықтау, әсіресе трафик ағындарын өзара тәуелді құрылғылардың генерациялау жағдайында, тек ғылыми тұрғыдан маңызды нәтижелердің бірі болып қана қоймай, сондай-ақ осындай ағындар жасалатын желілермен жұмыс істеу үшін жаңа теорияны қалыптастыруды талап етеді.

Сымсыз сенсорлық желілердің, M2M желілерінің кеңінен енгізілуі және гетерогенді қызмет көрсету аймақтарының пайда болуы жағдайында, осы желілер арқылы өндірілетін трафиктің телекоммуникациялық дәстүрлі қызметтердің сапасына (дауыс, бейне, деректер) әсер ету мүмкіндігі туындайды. Мысалы, смартфон мен LTE базалық станциясы арасындағы қызметтік трафик абоненттің дауыс трафиінен бірнеше есе көп болып шығады [18]. Сондықтан жақын және орта мерзімді перспективада осындай трафикті тегістеу әдістерін әзірлеу негізгі міндеттердің бірі болып табылады. Осы бағыттағы негізгі жұмыс болып [9] табылады, онда M2M трафиігін оңтайлы кесте негізінде қызмет көрсету арқылы тегістеу әдісі ұсынылған.

Жоғарыда атап өтілгендей, бұл зерттеу бағытындағы маңызды міндеттердің бірі - антиперсистентті ағындармен жұмыс істейтін желілерде трафикті қызмет көрсету теориясын және практикалық ұсыныстарды жасау. Сонымен қатар, сенсорлық желілердің, оның ішінде ұшатын сенсорлық желілердің кең таралуын ескере отырып, жақын және орта мерзімді перспективада төмен қуат тұтынатын байланыс желілерінде дауыс және бейне беру хаттамалары арқылы жұмыс жасау бағытында жұмыстар жүргізілуде [1,3].

Сымсыз сенсорлық желілердің ерекшеліктері осы желілерге жасалатын шабуылдардың да өзіндік ерекшеліктеріне алып келеді. Шынында да, энергетикалық жүйенің әлсіздігі және оның өмір сүру циклінің ұзақтығына тікелей тәуелділігі сымсыз сенсорлық желілерге жасалатын шабуылдарды тартымды етеді. Бұл шабуылдар сенсорлық желінің өмір сүру циклін қысқартуға әкелуі мүмкін, өйткені олар энергияны бақылауды қажет етпейтін, бірақ желі жауап беруге мәжбүр болатын оқиғалар арқылы тартып алады. Жалған оқиғалар ағынының моделі әзірленіп, оның зерттеулері сенсорлық желінің өмір сүру циклінің ұзақтығы ағының сипатына тікелей байланысты екенін, сондай-ақ сенсорлық түйіндерге 2 м/с жылдамдықпен мобильділік қосу арқылы өмір сүру циклін ұлғайту мүмкіндігін көрсетті. Сенсорлық желілерді жалған оқиғалар ағындарынан қорғаудың тағы бір әдісі, түйіндерге мобильділік қосумен қатар, сенсорлық түйіндердің тығыздығын сенсорлық алаңда қайта бөлу болып табылады.

Сенсорлық түйіндердің миниатюралануы мен олардың өте төмен бағасы нәтижесінде, сенсорлық желілерге жасалатын шабуылдардың тағы бір түрі - желіні және оның элементтерін көшіру, яғни, өздігінен ұйымдасатын легитимді сенсорлық түйіннің клонирленген сенсорлық түйінмен басқа заңды түйінмен өзара әрекеттескендей әрекет етуі.

Бұл жұмыстар сонымен қатар сымсыз сенсорлық желілер мен ұшатын сенсорлық желілерге әсер ететін қасақана электромагниттік әсерлерді зерттеу саласына да қатысты, мұнда зерттеулер бар ғылыми негіздерге сүйене отырып жүргізіледі [8].

1.3 Заттар интернетінің тұжырымдамасы

Заттар интернеті концепциясы, жаңа бағыт ретінде телекоммуникациялық желілер, жүйелер мен құрылғыларды дамытуда, 21-ші ғасырдың екінші онжылдығының басында Халықаралық электробайланыс одағының (ХЭО-Т) Телекоммуникацияларды стандарттау секторының Y.40xx/Y.206x ұсыныстары негізінде әзірленді [12]. Оған дейін «Заттар интернеті» термині 1999 жылдан бастап кофеқайнатқыш, тоңазытқыш сияқты құрылғылардың Интернетке қосылуын білдіретін сөз ретінде қолданылып келген. ХЭО-Т әзірлеген Заттар интернеті концепциясы заттарды байланыс желілерінің тең құқықты терминалдары ретінде кеңінен пайдалануды ұсынды. Бұл концепцияда физикалық заттар мен виртуалды заттар [15] анықталды, соңғыларымен

ақпараттық әлемдегі заттар, мысалы, контент, белгіленді. Интернет заты ретінде анықталған негізгі түсінік - бұл желіде адресі бар және желімен интерфейсі бар зат, бұл қай заттардың Заттар интернеті концепциясына кіреді деп нақты анықтауға мүмкіндік берді. Ескерте кетейік, осы анықтамада адресінің тек Интернет желісінде болуы керектігі туралы нақты талап жоқ, бұл ZigBee хаттамасы [11] және басқа да IP емес протоколдар [18] негізінде жұмыс істейтін көптеген сенсорлық түйіндерді Заттар интернетіне қосуға мүмкіндік береді.

Қазақстан Республикасында Заттар интернеті концепциясы және оның байланыс желілеріне әсері алғаш рет қазіргі түрінде кітабында ұсынылып, кейін кітаптарында одан әрі дамытылды. Бүгінгі таңда Заттар интернеті концепциясы телекоммуникациялық желілер, жүйелер мен құрылғыларды орта мерзімді және ұзақ мерзімді перспективаларда дамыту үшін жалпы қабылданған бағыт болып табылады.

Медициналық желілер саласындағы бастапқы зерттеулер, Интернет заттары зертханасында жүргізілген, уақыт өте келе нано-желілер, соның ішінде электромагниттік және молекулалық желілер саласында жаңа бағыттың пайда болуына алып келді. Интернет заттары концепциясын жүзеге асыру байланыс желілерінің клиенттік базасында принципіалды өзгерістерге алып келеді. Егер бұрын байланыс желілерін құру кезінде клиенттік база миллиардтаған пайдаланушыларға бағытталса, Интернет заттары концепциясын жүзеге асыру кезінде желі терминалдарының саны бірнеше рет артып, белгілі мамандардың бағалауы бойынша желіге қосылған заттардың шекті саны 50 триллионға жетуі мүмкін. Бұл ретте құрылғылардың аумақтық тығыздығы едәуір өзгереді, және бастапқыда тығыз, кейіннен сверхтығыз желілер туралы терминдер пайда болады. Бұл жағдай жаңа, бесінші буын байланыс желілерін құру қажеттілігін туындататын бір себеп болып табылады, оның аббревиатурасы 5G болып, 3GPP және ИМТ-2020 жұмыстарында ХЭО-Т-де қарастырылған.

Алайда, тек тығыз желілердің пайда болуы ғана Интернет заттары концепциясын енгізудің себебі емес. Интернет заттары концепциясының медицинада және роботталған жүйелерде қолданылуы қызмет көрсету үшін принципіалды басқа кідірістерді талап етті, яғни - 100 мс орнына 1 мс кідіріс. Бұл қызметтер тактильді сезімдерді беру негізінде құрылды және Интернет заттары концепциясының тағы бір жаңа қолданбасы - Тактильді Интернеттің пайда болуына алып келді. Тактильді Интернет ультраз кідірістері бар желілердің құрылуына себеп болады, бұл жоғары тығыздық талаптарымен бірге жаңа буын желілеріне көшу қажеттілігін одан әрі күшейтеді. Заттар интернеті концепциясының тағы бір жаңа қолданбасына - көтерілген шындыққа арналады. Бұл қолданба негізінен Заттар интернеті концепциясындағы (пайдаланушы - зат) өзара әрекеттесуінде байланыс желілерінің пайдаланушыға жаңа мүмкіндіктер ұсынуымен анықталады. Бұрын қол жетімсіз болған қызметтер, мысалы, механизмнің құрылымы туралы ақпаратты беру, егер маман немесе маман емес адам затты қалпына келтіру немесе ауыстыру жұмыстарын жүргізуге қажеттілік туындаса, немесе пайдаланушының қала немесе басқа аумақтағы заттар

кеңістігінде бағыт-бағдарын анықтау, енді Көтерілген шындық технологияларын қолдану арқылы мүмкін болады [8].

Заттар интернеті концепциясы салалар аралық сипатқа ие, бұл, әрине, физикалық және виртуалды заттардың адам мен қоғамның кез келген саласында қолданылуымен түсіндіріледі. Сонымен қатар, Заттар интернеті концепциясын енгізу негізінде өнімдерді сәйкестендірудің тағы бір маңызды салалар аралық мәселесі туындайды [14], бұл контрафакт өнімдермен күрес мүмкіндіктерін едәуір кеңейтеді. Заттар интернеті концепциясы өзінің тағы бір жаңа қолданбасын тудырды - ұшатын сенсорлық желілер. Ұшатын желілер, FANET деп аталып, бейнебақылау және мақсаттарды іздеу үшін пайдаланылған, салыстырмалы түрде жақында, 21-ші ғасырдың алғашқы онжылдығының ортасында пайда болды [13]. Ал Заттар интернеті концепциясын ескеріп, ұшқышсыз ұшатын аппараттардың технологиялық ерекшеліктерін ескере отырып, жаңа қолданба ретінде ұшатын сенсорлық желілерді құру мүмкіндігі пайда болды, бұл қолданба жоғарыда аталған Заттар интернетінің жаңа қолданбалар кешеніне тығыз байланысты және табиғи түрде кіретін болды.

1.4 Тактильді интернет тұжырымдамасы

Осы бөлімде байланыс желілерін дамытудың ең жаңа концепцияларының бірі - Тактильді Интернет талқыланады. Тактильді Интернет пайдаланушыларға тактильді сезімдермен ақпарат алмасу қызметтерін ұсынуға арналған [6]. Бұл байланыс желілеріне қатысты жаңа талаптарды, әсіресе деректерді беру кідірістеріне қойылатын талаптарды алға тартты, бұл жаңа типтегі желілердің пайда болуына әкелді - ультроаз кідірістерге ие байланыс желілері. Келесі бөлімдерде біз деректерді беру жылдамдығына қойылатын талаптардың эволюциясын қарастырып, Тактильді Интернет концепциясының осы процеске әсерін бағалаймыз және жаңа концепцияның ықтимал қолданбаларын анықтаймыз.

21-ші ғасырдың екінші онжылдығы байланыс желілері мен жүйелерінің саласында Интернет заттары концепциясының қалыптасуымен және оның қолданбаларын кеңінен енгізумен ерекшеленді. Осылайша, бес жыл - жаңа концептуалдық даму бағытының пайда болуы үшін жеткілікті уақыт болды. Бұл бағыт, әрине, тағы да Интернетпен байланысты, бірақ оның атауы «Тактильді Интернет» деп өзгерді [7].

Тактильді Интернет концепциясының пайда болуына негіз болған технологиялық жетістіктер байланыс желілерінің дамуы бағытында алдымен кішігірім кідірістері бар желілерді, содан кейін ультроаз кідірістерге ие желілерді құру мүмкіндігін қарастырды [12]. Байланыс желілерінің кідірістерге қойылатын талаптардағы өзгерістер эволюциясы, пайдаланушыларға қызмет көрсету кезінде бұрын қол жетімсіз болған тактильді сезімдерді пайдалану мүмкіндігін туғызды. Осылайша, Тактильді Интернет концепциясы пайда болды,

оның ерекшеліктері мен байланыс желілерінің сипаттамаларына әсері осы бөлімде қарастырылған.

1.4.1 Желілер мен байланыс жүйелеріндегі кідірістердің эволюциясы

Байланыс желілерінде кідірулерге ерекше көңіл бөлу көпшілікке арналған пакетпен коммутация жасайтын желілерді, яғни келешектегі ұрпақ желілерін (NGN — Next Generation Networks) құру кезеңінде басталды. Дыбыс және бейне байланысынан ақпарат беру интерактивті байланыс режимін талап етті, яғни желі мен пайдаланушы арасындағы өзара әрекеттесуді және кідірулерге қойылатын талаптарды анықтау қажеттілігі туындады. Кідірудің өзгергіштігі (джиттер) деп аталып, ол дыбыс пен бейне ақпаратты беру сапасына айтарлықтай әсер етті.

Пайдаланушыға телефон байланысы желілеріндегі сапамен салыстырылады деп саналатын қызмет көрсету сапасын қамтамасыз ету үшін кідіру 100 мс-тан аспауы тиіс еді [11]. Бұл күрделі мәселе шешілді, және қазіргі таңда VoIP (Voice over IP) пакет арқылы берілетін дауыстық трафик жалпы дауыстық трафиктің 50%-дан астамын құрайды. Сонымен қатар, кідіру параметрлерін анықтаған кезде, байланыс желілерін құру тәжірибесінде ақпаратты беру жылдамдығына қатысты физикалық шектеулерді ескеру қажеттілігі алғаш рет туындады. Халықаралық электрбайланыс одағының (ХЭО-Т) телекоммуникация саласындағы стандарттау секторы осы шектеулерді 5 мкс/км деп есептеуді ұсынады. Сондықтан байланыс желілеріндегі кідіруді есептеу формуласы келесідей болады:

$$T = R \times \tau + \Theta \quad (1.1)$$

мұндағы R - қашықтық,

τ - ақпаратты берудегі физикалық шектеулерге байланысты кідіріс (Километрге 5 мкс),

Θ - желінің техникалық құралдарымен енгізілген кідіріс.

NGN желілерін енгізу кезеңінде ақпаратты беру бойынша физикалық шектеулер салдарынан 100 мс кешігу талаптарын әрқашан орындау мүмкін еместігі түсінікті болды. Сондықтан ХЭО-Т ұсынған ұсыныстарда [6,7] 100 мс кешігу талаптарының АҚШ пен Еуропадағы ең үлкен диагональдер үшін орындалуы тиіс екені көрсетілді. АҚШ үшін бұл диагональ Дейтона-Бич (Флорида) - Сиэтл болса, Еуропада бұл диагональ Лиссабаон - Алматы болып белгіленді. Бұл көрсетілген қашықтықтардан асып кететін жағдайларда қабылданатын кешігу 400 мс болуы керек деп белгіленді, бұл, әрине, сөйлеу мен бейнемазмұнды жеткізу сапасына әсер етті және әлі де әсер етуде.

Дегенмен, бұл жалпы алғанда байланыс желілерін құру негіздеріне әсер етпеді, өйткені технологиялық жетістіктер қызмет көрсету орталықтарын орталықтандыру және IMS платформаларын мен деректерді өңдеу орталықтарын кеңінен қолдану жолымен шешім қабылдауға мүмкіндік берді [13].

Джиттерге қатысты айтатын болсақ, пакеттер ағынын басқару әдісінің, яғни (Token Bucket) әдісінің [20] пайда болуымен буферлерді джиттеризациялау мүмкіндігі пайда болды, және джиттердің қажетті деңгейін қамтамасыз ету мәселесі өзекті болмай қалды.

Соңғы жылдары кешігулерді талап ететін жаңа қосымшалар пайда болды, әсіресе сөйлеу арқылы беру кешігуінен әлдеқайда аз кешігулерді қажет ететін медициналық желілер қосымшалары. Мұнда нақты уақыт режиміндегі қызметтер үшін кешігу талаптары 10 мс шамасында болуы тиіс. Мұндай желілер кішігірім кешігулері бар желілер деп аталды, және олардың егжей-тегжейлі зерттелуі [14] жұмысында көрсетілген. Бұл жағдайда маңызды болып табылатын нәрсе — тек жоғары жылдамдықтағы қол жетімділікті талап ету емес, сонымен қатар (1.1) формуласында желі құрылысы тұрғысынан бірінші қосылыс мәні негізгі рөл атқарады. Бұл, өз кезегінде, байланыс желілерін пайдалану кезінде қызметтерді орталықтандыруды талап етеді, бұл желі құрылымының өзгеруіне әкеледі.

Кесте 1.1 – әртүрлі желілер үшін кідіріс мәндері

Желі атауы	Кідіріс мәні, мс
NGN	100
Медициналық желілер	10
Тактильді Интернет	1

Кешігулердің эволюциясындағы келесі қадам Тактильді Интернетке қатысты болады. Тактильді Интернет адамның тактильді сезімдерін беру мүмкіндігін қамтамасыз етеді, бұл ақпаратты беру кешігуді 1 мс деңгейіне дейін төмендетуді талап етеді. Кешігуі кішігірім желілермен салыстырғанда біз бұл желілерді ультра төмен кешігуі бар желілер деп атадық. Ультра төмен кешігулі желілерде қызметтерді одан әрі орталықтандыру жүреді. Сонымен қатар, (1.1) формуласындағы Θ мәні жоғары жылдамдықты жүйелердің талаптарына байланысты $R \times \tau$ мәнімен салыстырғанда нөлге жақындайды деп санауға болады. Әр түрлі желілер үшін кідіріс мәндері 1.1-кестеде келтірілген.

NGN желілерінде ең прогрессивті шешімдердің бірі кеңжолақты қол жеткізу болды. Арнайы жағдайларға байланысты кеңжолақты қол жеткізу сымсыз немесе сымды болуы мүмкін. Сонымен қатар, Қазақстан Республикасында 2015 жылға қарай қалаулылардың жылдамдық мақсаттары ретінде, мысалы, ірі қалалар үшін 127 Мбит/с және 100 мың адамнан астам тұрғындары бар қалалар үшін 70 Мбит/с қарастырылды [16]. Осылайша, NGN концепциясын енгізу аясында қол жеткізу жылдамдығының ондаған және жүздеген Мбит/с болуы жеткілікті деп есептеледі. Сонымен қатар, байланыс желілерінің магистральдық деңгейінде негізінен ондаған және жүздеген Гбит/с жылдамдықтарымен беру жүйелері қолданылады.

1.4.2 Берілу жылдамдығына қойылатын талаптардың эволюциясы

Кешігулері аз желілердің пайда болуы қол жеткізу жылдамдығының Мбит/с деңгейінде болмауы жаңа қызметтерді ұсыну үшін жеткіліксіз екенін дәлелдеді [14]. Мұндай желілерде қол жеткізу желілерін гигабиттік желілер негізінде құру орынды, бұл трафик ағындарын агрегациялау кезінде магистральдық желі бөлімдерінде терабиттік беру жүйелерін қолдануды қажет етеді [4].

Екінші жағынан, Интернет заттары концепциясының көптеген қосымшалары ақпаратты беру үшін 100–200 кбит/с жылдамдықтағы төмен жылдамдықты желілерді талап етеді. Мұның бәрі желілер мен байланыс жүйелерінің жаңа стандарттарында да көрініс тапты. Атап айтқанда, IEEE 802.11ac, IEEE 802.11ad және IEEE 802.11ah стандарттары сәйкесінше 3,2 және 7,0 Гбит/с жылдамдықтарымен пайдаланушыларға қызмет көрсете алады. Сол уақытта IEEE 802.11ah жаңа стандарты 1 км радиусында едәуір үлкен аумақты қамти отырып, ақпаратты бірнеше жүздеген Гбит/с жылдамдықпен беруге арналған, бұл Интернет заттары қосымшаларының көпшілігі үшін жеткілікті. Желілердің гигабиттік және төмен жылдамдықты болып бөлінуі орын алады. Бұл, сондай-ақ, LTE (Long Term Evolution) жүйесінің ұзақ мерзімді эволюциясын дамытудың экономикалық жүйесін жасауға деген талпыныспен расталады [5].

Тактильді Интернеттің пайда болуы және оның жүзеге асырылуы үшін асатөмен кешігулері бар байланыс желілерінің пайда болуы жоғарыда қарастырылған желілердің дифференциация процесін одан әрі күшейтеді [13]. Шынымен де, 1 мс кешігу терабиттік жүйелерді қол жеткізу деңгейінде қолдануды талап етеді, бұл трафик ағындарын магистральдық желілерде агрегациялау кезінде осы деңгейдегі желіде петабиттік жүйелерді қолдануды қажет етеді. Әр түрлі желілер үшін ақпарат беру жылдамдықтарының мәндері 1.2-кестеде келтірілген.

Кесте 1.2 – Әртүрлі желілер үшін беру жылдамдығының мәндері

Желі атауы	Қол жеткізу жылдамдығы	Магистральдағы жылдамдық учаскесінде
NGN	Мбит/с	Гбит/с
Шағынбайланыс желілері кідірістер	Гбит/с	Тбит/с
Тактильді интернет	Тбит/с	Пбит/с

1.5 Тактильді интернет қосымшалары

Тактильді интернет концепциясы соншалықты жаңашыл, қазіргі уақытта тек айқын қолданбалар ғана бар, бірақ олар алғашқы қарауда-ақ өте қызықты болып көрінеді.

Біріншіден, бұл қосымша шындық (AR) қолданбалары, олар үшін ультра-аз кешігуі бар желілерді пайдалану Интернет заттар әлемін мүмкіндігінше шынайы етуге мүмкіндік береді. Әрине, тактильді сезімдерді беру жаңа медициналық желілер үшін қолданбалардың пайда болуына әкеледі. Сондай-ақ, төтенше жағдайлар жағдайында қолданылатын қосымшалар да айқын көрінеді. Аталған үш бағыттың өзі тактильді интернет концепциясын байланыс жүйелері мен желілерін дамытудың жаңа бағыты ретінде қарауға жеткілікті.

Заттар интернеті (Internet of Things, IoT) - ақпараттық қоғам үшін ғаламдық инфрақұрылым, ол физикалық және виртуалды заттарды бір-бірімен байланыстыру арқылы күрделі қызметтер көрсету мүмкіндігін қамтамасыз етеді, бұл қазіргі және дамып келе жатқан функционалды үйлесімді ақпараттық-коммуникациялық технологияларға негізделген [15]. IoT үйде де, өндірістік кәсіпорындарда да қолданылады, онда құрылғылар интернетке қосылып, олардың мүмкіндіктерін кеңейтуге және пайдалылығын арттыруға бағытталған. Қосымша шындықты (ҚШ) Заттар интернеті құрылғылары мен объектілерімен бірге қолдану идеясы жаңалық емес. ҚШ көмегімен роботты қашықтан басқару арқылы қауіпті жерлерге енуге немесе желімен байланыс орнатуды, күрделі құрылғылар мен сенсорларды талап ететін тапсырмаларды орындауға болады. Қосымша шындық нақты әлем мен виртуалды әлемді біріктіріп, оқыту және ойын-сауық мақсаттарында, сондай-ақ күрделі жүйелерді пайдалану мен қызмет көрсету кезінде қолданылуы мүмкін.

Қосымша шындықтың негізі - үшөлшемді виртуалды әлемді ойлап табу, модельдеу және арнайы жүйеде өңдеу болып табылады, мұндай жүйені «движок» (ағылш. engine) деп атайды. Бұл процесс бейне және компьютерлік ойындар жасаумен ұқсас. Негізінен, бұл - пайдаланушының басты кейіпкер болып табылатын бейнеойын, онда ойыншы тек кейіпкерді басқару мүмкіндігіне ие. Ойындармен ұқсастықтарға байланысты ҚШ құруда 3D ойын движоктері кеңінен қолданылады. Видеоойындардың танымалдылығы мен сұранысы, әзірлеушілер үшін Unity3D, Unreal Engine, Unigine сияқты ойын движоктерінің әртүрлілігімен түсіндіріледі.

Әрбір қозғалтқыштың негізгі міндеті - GUI (Graphical User Interface — графикалық пайдаланушы интерфейсі) басқару, виртуалды әлемнің сахналарын құру және оларды визуализациялау, сахнадағы объектілер арасындағы байланыс (яғни, пайдаланушы объектілермен қалай әрекеттеседі), оқиғаларды (мысалы, соқтығыстарды) басқару және сценарийлерді орындау. Кейбір движоктер әзірлеушілерге клиент пен сервер арасындағы желілік өзара әрекеттесуді қамтамасыз етуге көмектеседі.

1.5.1 Толықтырылған шындық технологиясын қолдану заттар интернетінің бөліктері

Интернет заттары мен Қосымша шындықты біріктіру жаңа бағытты - заттардың виртуалды ортасын (ағылш. Virtual Environment of Things) анықтауға мүмкіндік береді. Jih-Wei Wu өзінің заттардың виртуалды ортасы туралы

мақаласында нақты әлемнің ақылды заттары мен виртуалды әлем объектілерін компьютерлік виртуалды ортада интеграциялау концепциясын ұсынды. Бұл ортада екі әлемдегі объектілердің бір-бірімен өзара әрекеттесуі нақты уақыт режимінде жүзеге асады [15]. Бұл Қосымша шындықтың дамуына жаңа серпін береді: виртуалды орта, оны сыртқы объектілер өзгерте алатын, және виртуалды әрекеттер, олар біздің нақты әлемімізге өзгерістер енгізеді.

«Ақылды қалалар» концепциясы белсенді түрде дамып келеді, оның мақсаты - қалалық қызметтердің сапасын және өнімділігін арттыру, ресурстарды тұтыну шығындарын азайту және қала тұрғындарымен тиімді өзара әрекеттесуді қамтамасыз ету. Бұл Интернет заттарының санының артуы және олардың адамдарға қолжетімділігінің жоғарылауы арқасында мүмкін болды. Бұл, өз кезегінде, қалаларда мәліметтерді жинақтауға және оларды талдауға мүмкіндік береді [17]. Мұндай жүйелердің келесі қадамы олардың виртуалды ортаға интеграциялануы болуы тиіс. Бұл интеграция тек қаланың өткен және қазіргі күйі туралы шынайы түсінік беріп қана қоймай, болашақта мүмкін болатын сценарийлерді болжауға мүмкіндік береді. Мұндай жүйенің мысалы Қытайда әзірленген, онда датчиктерден алынған мәліметтерді жинақтап, виртуалды және нақты әлемді біріктіруге арналған платформа Қосымша шындықта жұмыс істейді. Бұл платформа өрттерді бақылауға және табиғи апаттардың салдарын модельдеуге бағытталған, соның нәтижесінде төтенше жағдайларға тиімді жауап беру жөнінде ұсыныстар беріледі (Сурет 1.1).

Тағы бір осындай жоба Жапонияда Токио қаласындағы жолдардағы қозғалысты модельдеу және трафик туралы мәліметтерді интеграциялау үшін іске асырылды. Бұл жоба OpenStreetMap ашық ресурсының мәліметтерін пайдаланып, 3D форматында виртуалды көлікті басқару моделін симуляциялау үшін қолданылуда (Сурет 1.2).



1.1-сурет – Төтенше жағдайларды модельдеу бойынша жоба жұмысының мысалы



1.2-сурет – Жолдардағы қозғалысты модельдеу бойынша жоба жұмысының мысалы

Бұл қосымша шындықты пайдалану арқылы жүзеге асырылатын жобалар төтенше жағдайлар мен табиғи апаттарды модельдеуде жаңа мүмкіндіктер ашады, бұл құтқару қызметтерін даярлауға, сондай-ақ зардаптарды азайтуға және жоюды алдын алуға мүмкіндік береді, соның нәтижесінде адам шығынын қысқартуға болады.

1.6 Бесінші буын байланыс желілері

Жаңа телекоммуникациялық технологиялардың көптеп пайда болуы, осы тараудың алдыңғы бөлімдерінде қарастырылғандай, байланыс желілерінің эволюциясына айтарлықтай әсер етті [9]. XXI ғасырдың екінші онжылдығының басында жалпы пайдалануға арналған пакеттік байланыс желілерін зерттеу, әзірлеу және енгізу саласында едәуір жетістіктерге қол жеткізілді, яғни, келешектегі желілер деп аталатын NGN (Next Generation Networks) желілерінің дамуы жүзеге асты [15]. Бұл желілерді іске асыру халықаралық электр байланыс одағының телекоммуникация стандарттау секторының ұсынымдары, IETF әзірлеген сигнализациялау хаттамалары, IEEE стандарттары негізінде жүзеге асқан кең жолақты сымсыз қатынау арқылы жалпы пайдалануға арналған жаңа бүкіләлемдік пакеттік байланыс желісін құруға мүмкіндік берді [19].

Төртінші буын ұялы байланыс желілерін дамыту 3GPP стандарттары негізінде осы желілердің артта қалуын жеңуге мүмкіндік берді, бұл үшінші буын жүйелерін арналарды коммутациялау принциптеріне негізделген жүйелердің іске асырылуымен байланысты болатын мәселелерді шешуге мүмкіндік берді. Бұл принциптер ұялы байланыс желілерінің мүмкіндіктерін айтарлықтай шектеді, соған қарамастан HSPA (High Speed Packet Access) және HSPA+

технологияларын енгізу арқылы жоғары жылдамдықты деректерді жіберу талпыныстары жасалды [4].

Төртінші буын желілерін енгізу LTE (Long Term Evolution) пакеттік коммутация жүйесі негізінде ұялы байланыс желілерінің эволюциясында елеулі қадам алға жасалды, бұл тек қолжетімділік жылдамдығын айтарлықтай арттыруға ғана емес, сондай-ақ қосылу кезінде кідірістерді азайтуға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, LTE жүйесі бойынша эволюциялық даму алғаш рет гетерогенді желілерді құруға мүмкіндік берді, мұнда LTE базалық станциясының қызмет көрсету аймағына тек дәстүрлі ұялы байланыс терминалдары ғана емес, сонымен қатар сымсыз сенсорлық желілер, автомобильдік желілер және басқа да жүйелер енгізілді [8].

Төртінші буын байланыс желілерін дамыту кезеңінде ғылыми зерттеулерде гетерогенді желілер және кооперативті беру салаларында айтарлықтай жетістіктерге қол жеткізілді.

Алайда, елеулі жетістіктерге қарамастан, стационарлық және ұялы желілердің эволюциялық дамуы, сонымен қатар Заттар интернеті, Тактильді интернет, Қосымша шындық және басқа да жаңа технологиялардың кең ауқымда енгізілуі [16], ғылыми-зерттеу жұмыстарын және кейіннен тәжірибелік-конструкторлық жұмыстарды байланыс желілерін құрудың жаңа әдіснамасын әзірлеуге қажеттілікке алып келді. Бұл әдіснама жаңа технологиялардың талаптарына сай ультра кідірістік және жоғары сапа деңгейінде қызмет көрсетуге кепілдік беретін желілердің интеграциясына негізделген болуы тиіс. Бұл әдіснама физикалық пайдаланушылар үшін де, байланыс желілерінің клиенттік базасын құрайтын құрылғылар үшін де жұмыс істейтін болады.

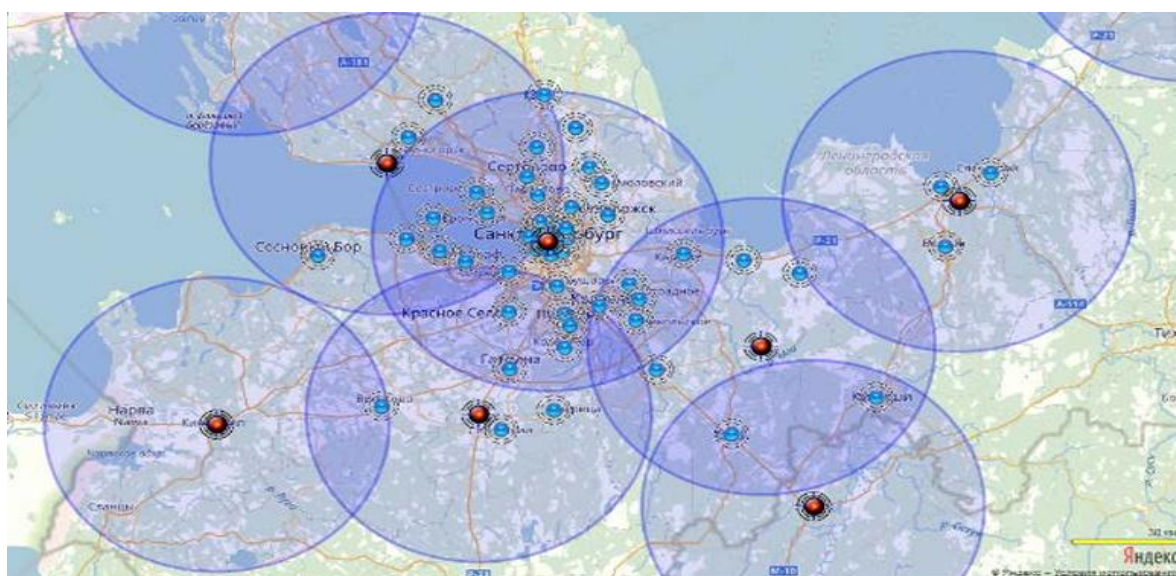
Осыған байланысты, байланыс желілерін құрудың жаңа концепциясы әзірленіп, 3GPP және ХЭО-Т-де 5G байланыс желілері деп аталды. Енді 5G - бұл тек радио қолжетімділік желісі емес, ол барлық мүмкін ресурстарды біріктіретін интеграцияланған желі, ол стационарлық және ұялы байланыс желілерін қамтиды [6].

Бұл тұжырымдаманың иллюстрациясы ретінде 5G желілерінің құрылымы [3] көрсетілген, ол осы байланыс желілерінің мүмкіндіктерін біріктіреді. Сурет 1.3-те 5G байланыс желілерінің көпдеңгейлі бұлттық жүйе ретінде құрылуы бойынша соңғы ұсыныстар негізінде жүзеге асқан құрылым көрсетілген. Бұл жүйе микро – бұлттар терминал деңгейінде, мини-бұлттар базалық станция деңгейінде, ал макро- бұлттар операторлық желілер деңгейінде орналастыруды ұсынады. Мұндай шешім 5G байланыс желілерінің іске асырылуы кезінде қолайлы кідірістерді қамтамасыз етуі мүмкін. Көпдеңгейлі жүйенің архитектурасы Сурет 1.3-де көрсетілген [18].



1.3-сурет – Тактильді интернет қызметтерін енгізу жағдайындағы бесінші буын байланыс желілері үшін көпдеңгейлі бұлттық инфрақұрылым жүйесі

Байланыс желілерінің бесінші буынының қасиеттері мен ультракешігу талаптары осы желілерде жаңа типтегі өзара әрекеттесуді ұйымдастыруға әкеледі, яғни «құрылғы - құрылғы» (Device-to-Device, D2D) өзара әрекеттесуін [5]. Мұндай өзара әрекеттесу екі құрылғы арасында жүзеге асырылуы мүмкін, олар пайдаланушылардың терминалдары да, Заттар интернетінің құрылғылары да болуы мүмкін, және ол базалық станцияның қатысуынсыз іске асуы мүмкін. Бұл өз кезегінде, әсіресе, желінің энергия тұтынуын айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік береді. Бұл фактор қазіргі заманғы байланыс желілерін жүзеге асыру үшін өте маңызды, себебі қазіргі уақытта 1 шаршы километрге 1 миллион құрылғы тығыздығы бойынша бағалаулар бар.



1.4-сурет – Тактильді интернет қызметтерін ұсыну кезінде желіні қашықтық критеріі бойынша кластерлеу мысалы

Энергия үнемдейтін жүйелер қазіргі заманғы байланыс желілерінде барған сайын кеңінен қолданылуда. Соңғы уақыттарда IEEE аясында үлкен қашықтықта жұмыс істейтін, төмен энергия тұтынатын желілер үшін LPWAN (Low Power Wide Area Networks) стандарттар жинағы әзірленді [4]. LPWAN технологиясын бесінші буын желілерінде пайдалану өте маңызды, себебі бұл технология осы желілерге қашықтағы пайдаланушы топтарын қосуға (мысалы, ауылдық жерлердегі сенсорлық алаңдарды) мүмкіндік береді, сондай-ақ қажетті байланыс деңгейін қамтамасыз ету үшін де қажет, мысалы, тез қозғалатын объектілер үшін, мұнда базалық станция аймағында осындай объектілер үшін қалыптасатын кластерлер олардың жылдам қозғалуы себебінен тұрақты болмайды [6].

Қазіргі уақытта бесінші буын байланыс желілерін іске асыру үшін барлық жаңа технологиялық жетістіктерді қолдану қарастырылуда, мақсат – интеграцияланған желі құру. ХХІ ғасырдың ең маңызды технологиялық жетістіктерінің бірі – ұшқышсыз ұшақтар аппараттарын (ҰҰА) жасау және кеңінен тарату болып табылады. Бүгінгі таңда ҰҰА жалпы пайдалануға арналған аппараттық-бағдарламалық құралдар ретінде маңызға ие болып отыр, бұл өз кезегінде байланыс желілері тарапынан оларға қатысты арнайы көзқарасты талап етеді. Шынында да, қазіргі заманғы ҰҰА, физикалық тұлғаларға да қолжетімді, желі тұрғысынан Интернет заты ретінде қарастырылуы мүмкін, себебі ол желіде міндетті түрде мекенжай мен интерфейске ие болумен қатар, өзінің кейбір ерекше сипаттамаларына ие: ол ұшып, жердегі басқа Интернет заттарымен және аспандағы басқа ҰҰА - тармен желілер құра алады.

Дипломдық жұмыста, бұрынғы зерттеулерден айырмашылығы, жалпы пайдалану үшін арналған ҰҰА негізінде құрылған ұшатын сенсорлық желілерге арналған модельдер мен әдістердің кешені әзірленіп, зерттелуде. Бұл модельдер ZigBee, 6LoWPAN, Thread, RPL сымсыз сенсорлық желілерінің хаттамалары және LPWAN отбасына жататын аз энергия тұтынатын желілердің хаттамалары негізінде жасалған. Мұндай тәсіл ұшатын сенсорлық желілер деген жаңа класс туралы айтуға мүмкіндік береді, олар АКЖОП (ақпараттық-коммуникациялық жүйелердің орталықтандырылған платформалары) бөліктері болып табылады және жаңа қызметтерді АКЖОП пайдаланушылары мен ұшатын желілер құрылғыларына, сондай-ақ Заттар Интернеті және бесінші буын байланыс желілері концепциясын іске асыру барысында M2M (Machine-to-Machine) өзара әрекеттесу кезінде ұсынады.

Ұшатын сенсорлық желі жағдайында жердегі және ұшатын сегменттердің өзара әрекеттесуінде жаңа тапсырмалар туындайды, бұл жердегі сегменттің жұмысын жақсартуға мүмкіндік береді, мысалы, ҰҰА - ты VANET (Vehicular Ad Hoc Networks) желісі түйіндерінің байланысын жақсартатын элемент ретінде қолдану. Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, дипломдық жұмыста ұшатын сенсорлық желілер үшін модельдер мен әдістерді әзірлеу және зерттеу барысында жердегі сегменттің сипаттамаларын кешенді пайдалану арқылы жақсарту мәселелері шешіледі.

2 Ортақ пайдаланылатын байланыс желілерінің жаңа түрі - ұшатын сенсорлық желілер

Соңғы жиырма жылда коммуникациялық және желілік технологияларда жылдам даму нәтижесінде ұшқышсыз ұшатын аппараттарды (ҰҰА) қоғамның барлық салаларында қолданудың бірегей мүмкіндігі пайда болды. Алғашында ҰҰА әскери мақсаттар үшін жасалған болатын, бірақ олар белсенді түрде азаматтық салада да қолданылатын болды. Бұл шағын құрылғылар әртүрлі сенсорлар мен байланыс құралдарымен жабдықталған және құқық қорғау органдарында, жол саласында, ауыл шаруашылығында, құрылыс саласында, БАҚ-та және тағы басқа салаларда кеңінен қолданылады. 2015-2025 жылдар аралығында ҰҰА жалпы пайдалануға сұраныс бөлуі Еуропалық одақ ұйымдарының құжаттарына сәйкес келесідей көрсетілген (2.1сурет) [5].



2.1-сурет – Жалпы пайдаланымдағы ҰҰА сұранысын бөлу диаграммасы

Ұшатын сенсорлық желілерді белсенді түрде игеріп жатқан бағыттардың бірі - дәнді дақылдар және басқа да егістіктердің үлкен алаңдарын бақылау. Үлкен аумақтарды ұшып өтіп, сенсорлық алаңдардан деректер жинай отырып, ҰҰА топырақтың жағдайы туралы ақпарат алып, ауыл шаруашылығын жақсартуға көмектесе алады, тыңайтқыштар таратуға, өсімдіктерді зиянкестер мен құстардан қорғау құралдарын қолдануға, сондай-ақ жинақталған ақпарат негізінде өнімділік туралы болжамдар жасап, деректер жинау жиілігі мен қажеттілігін анықтай алады. «Геоскан» компаниясының бағалаулары бойынша, ұшқышсыз ұшатын аппараттар нарығының ең үлкен сегменті ауыл шаруашылығы болады, себебі жақын болашақта тек осы салада бірнеше ондаған мың ҰҰА қажет болады.

2.1 Ұшатын сенсорлық желілердің пайда болуының алғышарттары

Ұшатын сенсорлық желілер (FUSN - Flying Ubiquitous Sensor Network) - бұл сымсыз немесе барынша таралған сенсорлық желілердің (WSN/USN) бір класы. Бұл желілердің технологиясы төмен қуат тұтынатын әртүрлі датчиктерді біріктіріп, оларды қиын қолжетімді жерлерге орналастыру принципіне негізделген [1]. Деректер ZigBee, Bluetooth, 6LoWPAN сияқты протоколдар арқылы беріледі.

Сенсорлық желілердің пайда болуы XX ғасырдың екінші жартысына, яғни 1980 жылы басталды, сол кезде американдық қорғаныс агенттігі DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) «Таралған сенсорлық желілер» (DSN - Distributed Sensor Networks) бағдарламасын қолға алған болатын. Бұл бағдарламаның негізгі мақсаты - ARPANET жүйесінде алғаш рет енгізілген машиналар арасындағы өзара әрекеттесу үшін жаңа тәсілді тексеру. DARPA зерттеушілеріне деректерді тәуелсіз түрде алмасатын, арзан, автономды жұмыс істейтін және бір-бірінен тәуелсіз жұмыс істейтін зоналық түрде таралған датчиктерден тұратын желіні жобалау тапсырылды [9]. Бұл талаптар қазіргі сенсорлық желілерді жобалау кезінде әлі күнге дейін қолданылуда.

Сол кезеңде аппараттық база сенсорлық желілерді іске асыру үшін жеткілікті дамымаған және кемшіліктері болғандықтан, DNS бағдарламасының қатысушылары тек сенсорлық желілер мен сенсорлардың концепциясын анықтап қана қоймай, сонымен қатар техникалық дамытуды жүзеге асыруға тура келді. DNS әзірлеушілерінің пікірінше, сенсорлық желілерді зерттеудегі маңызды бағыттар ретінде сигналдарды өңдеу, таралған есептеулер және сымсыз байланыс арналары арқылы ақпарат тасымалдау анықталды.

1980-жылдардың соңында бірнеше сенсорлық желілердің түрлері пайда болды, олар мыналар болды:

- 1981 жылы Карнеги-Меллон университетінде (АҚШ) басқару жүйесі Asscent негізінде жұмыс істейтін сенсорлық желі.

- 1984 жылы Массачусетс технологиялық институтында (АҚШ) тікұшақтардың ұшу маршруттарын бақылау үшін қолданылған акустикалық сенсорлық желі.

- 1986 жылы Advanced Decision Systems (АҚШ) компаниясы тарапынан таралған есептеу алгоритмдерімен күрделендірілген сенсорлық желі.

Сенсорлық желілердің пайда болуы - коммуникациялық саладағы маңызды технологиялық жетістік. Осы идеяның әрі қарай дамуы мен жетілдірілуі, ол ақпаратты беру жүйелерінде кеңінен қолданылуына әкелді, ал бұл жаңа коммуникациялық желілердің пайда болуына себеп болды. Мұндай желілердің атауы - «Ad-Нос желісі» немесе «мақсатты желі». Бұл желінің ерекшелігі - оның динамикалық, тұрақты құрылымы жоқ топологиясы, яғни автономды жұмыс істейтін түйіндерден тұрады, олар көрші түйіндермен байланыс орнату және өзін-өзі ұйымдастыратын желіге бірігу мүмкіндігіне ие. Егер бір немесе бірнеше түйіндер істен шықса, қалған түйіндер жаңа маршруттарды орнатып, қажетті ақпаратты дұрыс жеткізуге мүмкіндік алады. Ad-Нос желілері қоғамның барлық

салаларында белсенді түрде қолданылып, бірнеше түрге бөлінді: мобильді мақсатты желілер (MANET - Mobile Ad-Hoc Network), автомобильді мақсатты желілер (VANET - Vehicular Ad-Hoc Network) және ұшатын мақсатты желілер (FANET - Flying Ad-Hoc Network) 2.2 сурет.



2.2-сурет – MANET, VANET және FANET мақсатты желілерінің құрылымы

2.1.1 Manet мобильді мақсатты желілері

Мобильді мақсатты желілер (MANET - Mobile Ad-Hoc Network) - бұл өздігінен ұйымдасатын, теңдестірілген сымсыз желілер, оларда тұрақты топология жоқ және инфрақұрылымның айқын құрылымы болмайды. Бұл желілер қозғалып жүретін байланыс түйіндері арасында өзара байланысты қамтамасыз ету үшін арналған. Мобильді желіде әрбір түйін кез келген траектория бойынша қозғалуы мүмкін, және осы өзгерістердің барлығы топологияны дұрыс сақтап, деректерді басқа түйіндер арасында дұрыс маршрутизациялау үшін қалған түйіндерге берілуі тиіс [7].

MANET желісінің қатысушыларына барлық түрлі мобильді құрылғылар мен гаджеттерді, сондай-ақ оларды жер үстіндегі, әуедегі және судағы көлік құралдарында орналастыруға болады. Мұндай желілер инфрақұрылымды құру тиімді немесе мүмкін емес жерлерде орналастыруға болады. Мобильді мақсатты желілер сондай-ақ табиғи апаттар немесе апаттардан кейінгі құтқару жұмыстарында да таптырмас құрал болып табылады.

2.1.2 Vanet автомобиль мақсатты желілері

Автомобильдік мақсатты желілер (VANET - Vehicle Ad-Hoc Network) — бұл сымсыз сенсорлық желілердің бір түрі болып табылады және жолдарда қауіпсіздікті қамтамасыз ету мен қолдауға арналған. VANET желілері көлік құралдарының өзара деректер алмасуына мүмкіндік береді, бұл V2V-коммуникациясы (Vehicle-to-Vehicle) арқылы немесе жақын маңдағы тұрақты инфрақұрылыммен байланысу арқылы жүзеге асырылады (V2I - Vehicle-to-Infrastructure).

VANET желілерін қолданудың негізгі мақсаттары мыналар:

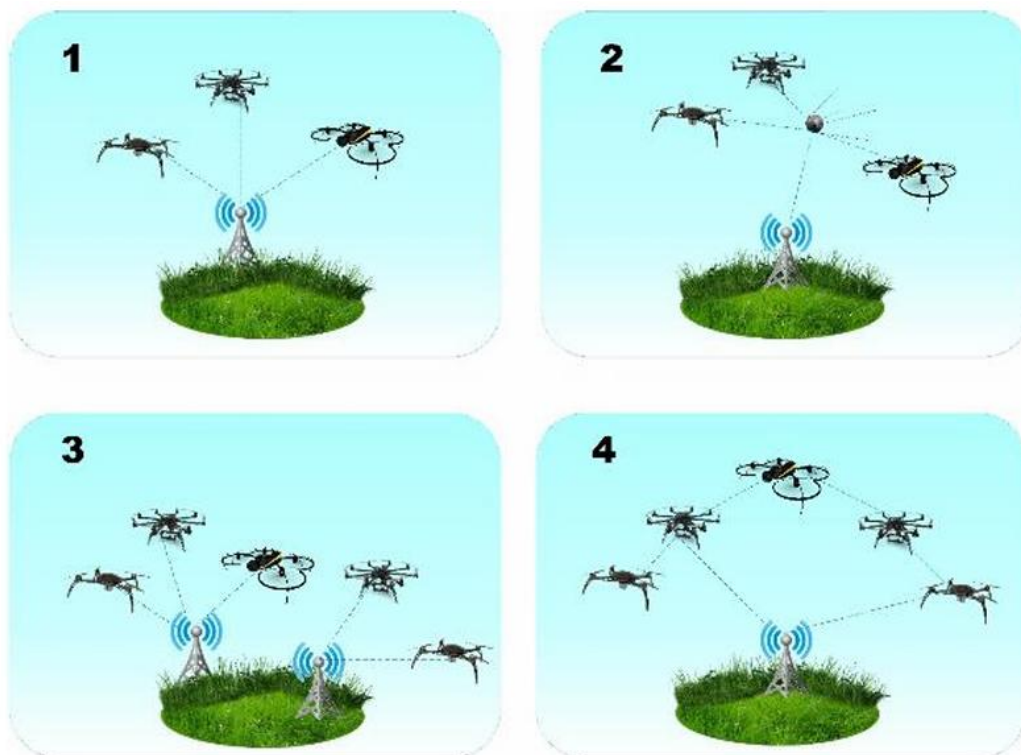
1. Жүргізушілерге көмек көрсету (навигация, апаттардың алдын алу);
2. Хабарландырулар (жөндеу жұмыстары, полиция посттары, жылдамдықтың төмендеуі туралы);
3. Ескертулер (жол жағдайы немесе жолдағы кедергілер туралы).

2.1.3 FANET ұшатын мақсатты желілері

XX ғасырдың соңында FANET (Flying Ad-Hoc Network) деп аталатын ұшатын мақсатты желілерді құру идеясы пайда болды, өйткені ұшқышсыз ұшатын аппараттар (ҰҰА) пайда болып, олар бірден Еуропа мен АҚШ елдерінде танымал және өзекті бола бастады. Бұл желілер - өзін-өзі ұйымдастыратын және жалпы қолданыстағы желілермен өзара әрекеттесу үшін шағын ҰҰА және/немесе арнайы мақсаттағы ҰҰА қолдануға арналған. FANET желісінің құрылымы таратылған сымсыз болып табылады, ол тораптар арасында инфрақұрылымсыз байланыс орнатуға мүмкіндік береді [3].

Бұл желіде ҰҰА бір-бірімен байланыс жасамайды, тек жер үсті станциясымен байланысады (сурет 2.3 (1)). Ұшқышсыз ұшатын құрылғылардың бір желіде саны артқан сайын, тиімді желілік архитектураны жобалау маңызды мәселе бола бастайды, әрі ҰҰА ең жер үсті станциясы арасындағы байланыс диапазонының шектеулі болуы қиындық тудырады. Қысқа қашықтық мәселесін шешу үшін ұшқышсыз ұшатын аппаратты спутникке қосуға болады, бірақ бұл жағдайда әр ҰҰА-да спутникпен байланыс құралдарын орнату қажет болады, бұл желіні қызмет көрсету құнын айтарлықтай арттырады. Сонымен қатар, нашар ауа райы жағдайында мұндай желінің жұмыс істемеуі мүмкін (сурет 2.3(2)).

Екі жер үсті станциясымен және бірнеше ҰҰА - тан тұратын архитектураны қолдануға болады (сурет 2.3(3)). Қашықтықты шектеуді шешу үшін ұшқышсыз ұшатын аппараттар арасында байланыс арналары ұйымдастырылуы мүмкін. Бұл жағдайда кейбір ҰҰА жер үсті станциясымен немесе спутникпен байланыса отырып деректер алады, ал басқа ҰҰА жер үсті станциясымен тікелей байланыссыз, тек көршілес құрылғылар арқылы деректерді қабылдай алады (сурет 2.3(4)).

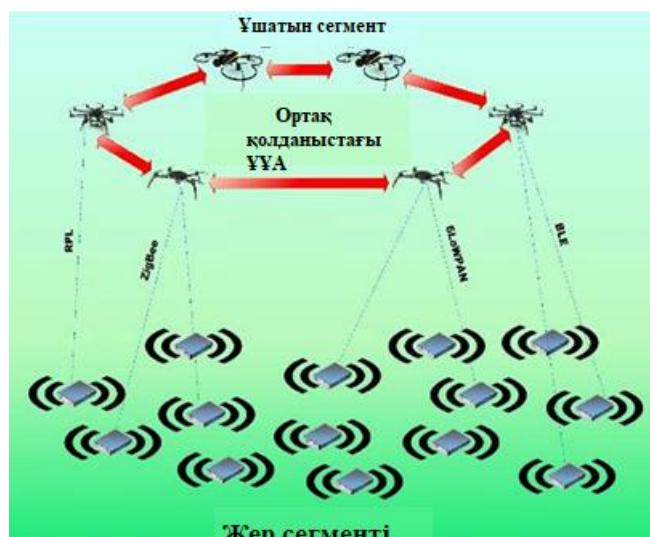


2.3-сурет – FANET желілерінің құрылымдары

ҰҰА-тың жер үсті станцияларымен өзара әрекеттесуінің әртүрлі архитектураларын құру жаңа типтегі ұшатын желілердің пайда болуына себеп болды. Бұл желілерде ҰҰА ғана емес, сонымен қатар жер үсті түйіндері арасында да өзара байланыс орнату қарастырылады, олардың саны күннен-күнге артып келеді. Мұндай желілер "летающие сенсорные сети" немесе FUSN (Flying Ubiquitous Sensor Network) деп аталды.

2.2 Ұшатын сенсорлық желінің типтік құрылымы

Ұшатын сенсорлық желі екі өзара әрекеттесетін сегменттен тұрады: ұшатын және жер үсті (сурет 2.4). Ұшатын сегмент ретінде бір немесе бірнеше жалпы қолданылатын ҰҰА пайдаланылады. Типтік жалпы қолданылатын ҰҰА әртүрлі ұшу платформалары негізінде жүзеге асырылуы мүмкін. Ұшқышсыз ұшу аппараттары, пилотты ұшақтар сияқты, ұшақ түрінде (ұшақтар, планерлер, ұшатын қанаттар және басқалар) және тікұшақ түрінде (тікұшақтар мен мультикоптерлер - төрт немесе одан көп роторлы көтергіш винттері бар ұшу аппараттары) болады. Жер үсті сегментінің рөлін аймаққа орнатылған сенсорлық түйіндер атқарады [12].



2.4-сурет – Ұшатын сенсорлық желінің архитектуралық көрінісі

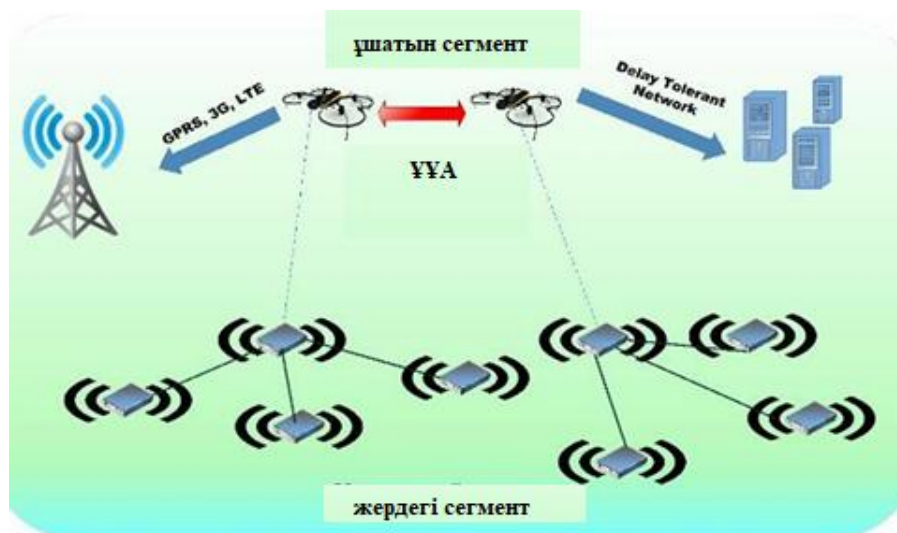
Бұл түйіндер ақпаратты жинайды және қажет болған жағдайда қашықтан басқарылатын объектіні басқара алады. Олар автономды режимде жұмыс істейді, шағын өлшемде болады және ұзақ уақыт ұйқы режимінде болуы мүмкін. Олар ылғалдылық, температура, шу, қысым, жарықтандыру және басқа да параметрлер туралы деректерді жинай алады. Сенсорлық түйіндер сенсорлық алаңдар құрайды, олар сенсорлар негізінде әртүрлі физикалық процестерді қадағалауға мүмкіндік береді.

Барлық ақпарат ұшып келе жатқан ҰҰА - қа жеке түйін немесе IEEE 802.11s стандартына сәйкес біріктірілген сенсорлар тобы арқылы берілуі мүмкін. Бұл стандарт IEEE 802.11 құрамына кіреді және сымсыз иерархиялық Ad-Hoc желілерін ұйымдастыруға мүмкіндік береді [11].

Жеке сенсорлық түйін RFID таңбасын пайдалану арқылы ҰҰА - қа деректерді бере алады, бұл таңба ақпаратты өңдеу және сақтау үшін арналған интегралды схема мен сигналдарды қабылдау және беру үшін антеннадан тұрады. Деректерді оқу үшін максималды қашықтық 300 м дейін жетуі мүмкін.

Екі сегмент арасындағы байланыс ZigBee, 6LoWPAN, Thread, RPL, BLE және басқа протоколдар арқылы қолдау табады. Ұшатын түйіндер жер үсті датчиктерінен ақпаратты тарату және жинау үшін топтарға бірігуі керек, сондықтан бір ҰҰА істен шыққан жағдайда желінің бүтіндігі бұзылып, жинақталған деректер жоғалмауы үшін.

Ұшқышсыз ұшу аппараттары алдын ала бағдарламаланған маршрут бойынша ұшуы керек және сенсорлардан алынған деректерді базалық станцияға немесе деректерді сақтау және өңдеу серверіне мобильді желілер арқылы немесе IEEE 802.15.4 стандарттары бойынша заманауи протоколдар арқылы жібереді: ZigBee, 6LoWPAN, Thread, RPL (Сурет 2.5).

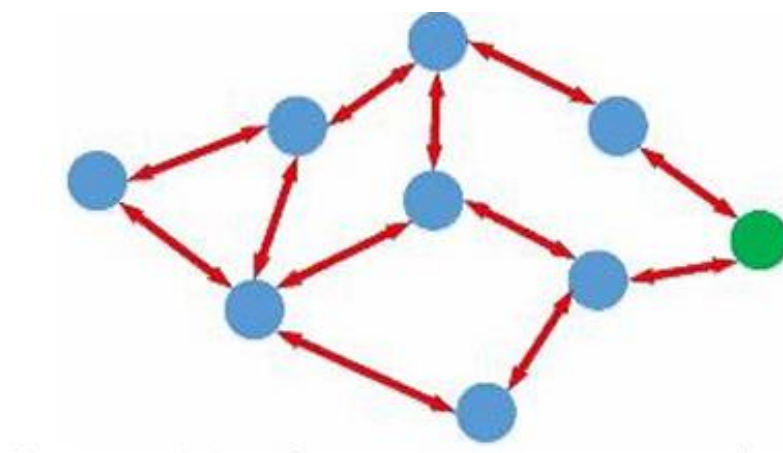


2.5-сурет – Ақпаратты LSS-ке беру схемасы

2.3 Ұшатын сенсорлық желілердің архитектурасы

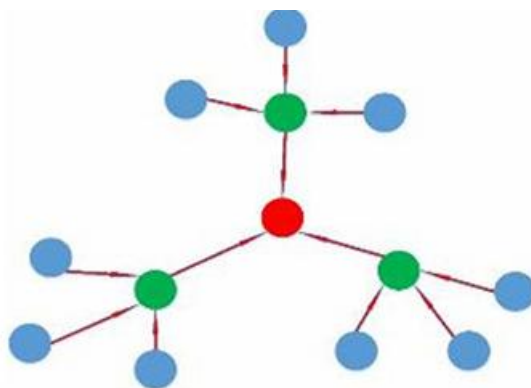
Бұрын атап өткеніміздей, ұшатын сенсорлық желілер - бұл сымсыз сенсорлық желілердің бір түрі, сондықтан олардың архитектурасын біртектес және иерархиялық (кластерлік) желілерге бөлуге болады. Ұшатын сенсорлық желілер (ҰСЖ) екі сегменттен тұратынын ескерсек (ұшатын және жердегі), олардың әрқайсысы екі архитектурамен де ұсынылуы мүмкін.

Біртектес желілер деп сол желілерді айтады, олар түйіндердің өзара ұйымдасуы арқылы жана желі құрылымын қалыптастыра алады, бұл желінің жұмысын түйіннің істен шығуы жағдайында да сақтауға мүмкіндік береді. Біртектес желі жасушалық құрылымға ие. Бұл желінің барлық түйіндері функционалды мүмкіндіктері жағынан бірдей, бірақ бір орталық түйінді таңдау қажет, ол барлық деректерді қабылдап, өңдеп, оларды желіге қайта өңдеуге жіберетін болады (Сурет 2.6).



2.6-сурет – Тең-теңімен желісінің құрылымы

Иерархиялық желі деп кластерлерге бөлінетін желіні айтады. Әрбір кластерде маршрутизатор болады, ол бас түйіннің рөлін атқарады, ал датчиктер тек желі мүшелері болып табылады (Сурет 2.7). Маршрутизатор кластердегі барлық сенсорлардан жинаған ақпаратты жинап, өңдеп, жіберу функциясын атқарады, сондықтан ол жиі қуат жеткіліксіздігі салдарынан тез істен шығуы мүмкін. Иерархиялық желіні құру кезінде бас түйіннің энергетикалық тәуелсіздігін қамтамасыз ету қажет [6].



2.7-сурет – Иерархиялық желінің құрылымы

2.3.1 Түйін түрлері

Сымсыз сенсорлық желінің архитектурасы, ол ұшатын желіде ұсынылған, үш типтегі түйіндерден тұрады:

1. Координатор - желідегі міндетті және жалғыз құрылғы. Ақпаратты беру үшін маршруттарды анықтайды, желінің параметрлерін орнатады, желіге қосылған құрылғыларды басқарады, қажетті жиілік арналарын таңдайды, сондай-ақ сыртқы желіге шығуды қамтамасыз ету үшін шлюз рөлін атқарады. Қосымшаларға байланысты әртүрлі қосымша функцияларды орындауы мүмкін, мысалы, ол концентратор немесе желілік менеджер болып, таңдалған арнадағы кедергілер деңгейін бақылай алады және барлық желіні басқа жиілік арнасына ауыстыра алады.

2. Маршрутизатор - түйіндер арасындағы ақпаратты қабылдау, сақтау және беру үшін жауапты құрылғы. Бұл құрылғы соңғы құрылғыларды желіге қосуға мүмкіндік береді және координатордан алған параметрлерімен пакеттерді оларға жібереді.

3. Сенсорлық түйін (соңғы құрылғы) - температура, ылғалдылық, шаңдылық және т. б. сияқты деректерді жинайтын сенсор немесе датчик. Қажет болса, ол қашықтағы объектіні басқаруы мүмкін. Сенсорлық құрылғы кішкентай өлшемде, төмен қуат тұтынумен және ұзақ уақыт ұйықтау режимінде болу мүмкіндігімен жабдықталуы тиіс. Бұл барлық құрылғылар сенсорлық алаңды қалыптастырады, ол мониторинг жасалатын орын болып табылады.

2.3.2 Желі топологиялары

Тең желілер «жұлдыз» немесе «нүкте - нүкте» (P2P) топологиясы түрінде бейнеленуі мүмкін. «Жұлдыз» топологиясын қолданғанда байланыс соңғы түйіндер мен координатор арасында орнатылады.

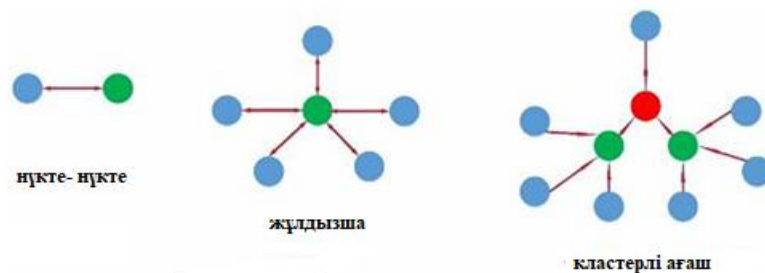
«Нүкте - нүкте» топологиясында әрбір құрылғы радиоканал шегінде басқа құрылғылармен деректер алмасу мүмкіндігіне ие.

Иерархиялық желі кластерлік ағаш түрінде іске асырылуы мүмкін.

Соңғы құрылғылар маршрутизатор қызметін атқаратын түйінге қосылады, ол өз кезегінде координаторға қосылған. Координатор бірнеше кластерлік топтармен байланыс орнатуы мүмкін (Сурет 2.8).

2.4 Ұшатын желілерді зерттеу бойынша халықаралық қызметті талдау

IEEE Communication Magazine журналының бір бөлімі ҰҰА әртүрлі телекоммуникация желілерінде, соның ішінде ұшатын сенсорлы желілерді терең қарастырады [7].



2.8-сурет – Сенсорлық желі топологиялары

Сонымен, HAP (high-altitude platforms, мысалы, аэростат) жоғары биіктіктегі платформаларды LTE (AeNB - әуе базалық станциясы) базалық станциясы ретінде қолдану мүмкіндігі қарастырылады. Аэростатты қолдану оның 150 м биіктікте 5 сағат бойы зарядсыз жұмыс істей алу мүмкіндігімен негізделген. Базалық станцияның жабдықтарының басым бөлігі төмен жиіліктегі базалық станцияның бөлігінде (ENB-BB) орналасады, ал радиоқұрылғылар антеннаға мүмкіндігінше жақын орналасқан қашықтықтағы радио модульдерде (RRH — Remote Radio Head) болады. RRH ENB-BB-пен оптикалық талшықты кабель арқылы байланысады, бұл коаксиалды желілердің жоғалтуларын азайтады. Осылайша, AeNB құрылымы келесіден тұрады:

- ауадағы әртүрлі биіктіктерде жұмыс істейтін әуе сегменті (RRH және антенналар);

- жердегі стационарлық сегмент (ENB-BB және таралған пакет желісінің ядросы).

Мақалада сонымен қатар пайдаланушы терминалдарын (UE) базалық станцияға қосу мәселелері, аэростаттың LTE желісінде оңтайлы орналасуын таңдау, желінің өзін-өзі ұйымдастыруы, UE кластеризациясының желілік қамту мен энергия тұтынуға әсері және басқа да мәселелер қарастырылған.

ҰҰА қолданудың нұсқалары, осы шешімнің негізгі артықшылықтары мен кемшіліктері, ҰЛЖ (Летучие Линк Системасы) мүмкін архитектуралары, радиоарналардың негізгі параметрлері, жобалау кезінде ескеру қажет негізгі критерийлер және басқа мәселелер қарастырылады.

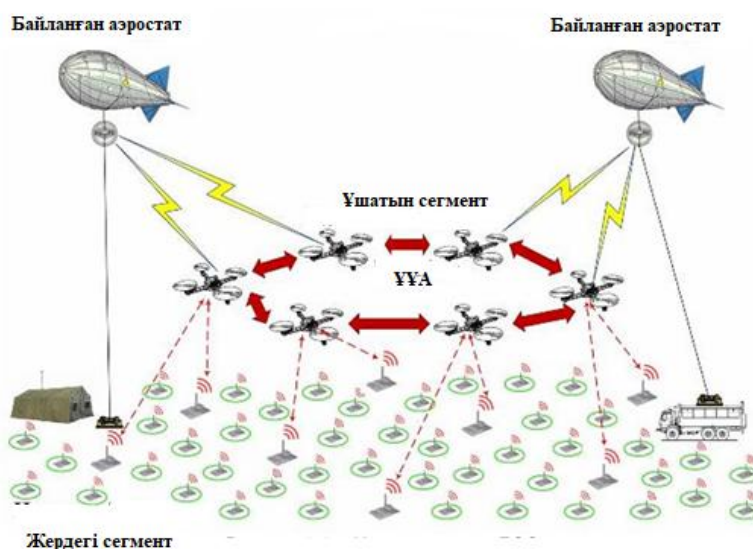
ҰҰА - ты LTE желісінің бөлігі ретінде пайдалану мәселесі қарастырылған, бірақ [315]-тен айырмашылығы, бұл зерттеу жұмысы ҰҰА -тан/құрылғылар арасындағы және LTE жер сегменті түйіндері арасындағы радиосигналдардың өзара әсерін, сигнал/шум қатынасының өзгерісін және басқа да мәселелерді зерттейді.

Н. Ахмед, С. Канхири, С. Дха "Летучих платформалар үшін арналық сипаттамалар, сенсорлық желілерді қызмет көрсету" (Link characterization for Aerial Wireless Sensor Networks // IEEE Communications Magazine. 2016. Volume: 54, Issue: 5. P. 52-57.) атты мақаласында ҰҰА - тың AWSN (aerial wireless sensor networks — әуе сымсыз сенсорлық желілер) желісінде қолдану кезінде радиосигналдардың параметрлерін зерттеу қарастырылған. Жұмыста AWSN құрамында бірнеше ҰҰА бар екені болжамдалған; әр ҰҰА-да ZigBee стандарты бойынша төмен қуатты қабылдағыш пен таратқыш орнатылған, ол құрылғылардың төмен жылдамдықта жұмыс істеп, энергияны аз тұтынуын қамтамасыз етеді. Зерттеу нәтижелері екі бөлікке бөлінген. Біріншіден, қоршаған орта, қабылдағыш/таратқыш антенналардың бағыты, жер бетінің шағылысуынан болатын көп сәулелі бұзылулар сияқты факторлардың байланыс сапасына әсері және олардың өзара ықпалы қарастырылған. Екіншіден, жұмыста жоғарыда аталған кедергілердің әсерін азайту тәсілдері ұсынылған.

Зерттеудің басты мақсаты ҰҰА мен мобильді түйіндерден тұратын желі түйіндерінің энергияны тиімді пайдалану мәселесі болды. ҰҰА - ты екі нүкте ретінде пайдалану арқылы сымсыз желінің қолжетімділік нүктелері ретінде қызмет ету (жоба шеңберінде ҰҰА әртүрлі байланыс операторларына тиесілі деп болжанады). Энергия шығынын азайту тәсілі ретінде мақалада ҰҰА - тың сымсыз желі арқылы бейтараптандыру мақсатында маяк жіберу жиілігін анықтау ұсынылады. Бұл міндетті шешу үшін авторлар ойындар теориясын (әсіресе кооперативті ойындар теориясын) және Нэш тепе-теңдігі тұжырымдамасын қолданған (екі және одан да көп ойыншының стратегиялар жиынтығы, мұнда бір ойыншының стратегиясын өзгерту оның ұтысын арттыруға әкелмейді, егер басқа ойыншылар да өз стратегияларын өзгертпесе).

2.5 Зерттеулердің теориялық және практикалық бағыттары ұшатын сенсорлық желілер

Жоғарыда әуе сенсорлық желілерінің иерархиясыз құрылымдары қарастырылды, оларда бір немесе бірнеше көп мақсатты ұшқышсыз ұшу аппараттары (мысалы, квадрокоптерлер) болады, олар шамамен бір деңгейде ұшып жүреді. Осы кезде жердегі желіде 1-ден m -ге дейін сенсорлық өрістер орналасады. Соңғы жылдары байланыс жоқ, алыста орналасқан аудандарды қамтамасыз ету үшін [7] немесе әскери мақсатта жоғары биіктіктегі телекоммуникациялық платформалар (High Altitude Platform, HAP) жаңа буыны, атап айтқанда жерге байланған аэростаты пайдалану ұсынылды, олар жердегі инфрақұрылыммен жоғары жылдамдықты кабельмен (арналармен) байланысады. Мұндай шешім телефон байланысын, деректерді жіберуді және бейнемониторингті үлкен аумақтағы пайдаланушыларға қамтамасыз етуге мүмкіндік береді, бірақ сол аумақта орналастырылған сенсорлық өрістерден ақпарат жинауға қабілетсіз. ҰҰА-ның ұшу уақытын шектеу ескеріле отырып, HAP пен ұшатын сенсорлық желінің интеграциясы мәселесі туындады. Осылайша, ұшатын сенсорлық желі иерархиялық құрылымы пайда болды, оның ең қарапайым нұсқасы екі деңгейлі иерархиямен ұшатын сегменттің ҰСЖ-сі 2.9-суретте көрсетілген. Бұл құрылымдар қазіргі уақытта іс жүзінде зерттелмеген және оларды зерттеу барысында кем дегенде иерархия деңгейлерінің санын және әр деңгейдегі ҰҰА санын таңдаудың рационалды шешімін табу, сондай-ақ жердегі сенсорлық өрістерден ақпарат жинау және ҰҰА-ны биіктіктегі байланған платформаның басқа міндеттерінде қолдану үшін сандық бағалаулар қажет.



2.9-сурет – Иерархиялық LSS

2.5.1 LSS және жаппай қызмет көрсету жүйелері

ҰҰА - ты буферлі қызмет көрсету жүйесі ретінде қарастыру желі жағдайында, кідірістерге төзімді (DTN), принципіалды түрде ЛСС-тің сипаттамаларын және қызмет көрсету сапасы мен қабылдану параметрлерін есептеу үшін қазіргі телетрафик теориясының жетістіктерін қолдану мәселесін шешті. Алайда, ұшатын сенсорлық желілер міндеттерін шешу үшін бірнеше ҰҰА - тың және кідірістерге төзімді желілерде көптеген сенсорлық өрістердің болуы, осы салада ауқымды теориялық зерттеулер жүргізуді талап етеді.

2.5.2 Жердегі және ұшатын сегменттерді кластерлеу. Деректерді жинау бағытын оңтайландыру

Сенсорлық өрістер өте көп сенсорлық түйіндерден тұруы мүмкін болғандықтан, әдетте сымсыз сенсорлық желінің жұмысын ұйымдастыру үшін кластерлеу әдісі қолданылады. Сенсорлық өрістердегі бас түйіндерді таңдау үшін көптеген алгоритмдер бар, олар стационарлы және мобильді сенсорлық түйіндер үшін арналған. Дегенмен, бұл бағыттағы жұмыстар әлі де жалғасуда, және жаңа алгоритмдердің пайда болуы жердегі сенсорлық өрістердің сипаттамаларын жақсарты алады [14]. Үш өлшемді кеңістіктегі сенсорлық желілер үшін бас түйіндерді таңдау алгоритмдері аз. Үш өлшемді кеңістікте ҰҰА арқылы ақпарат жинаудың қиындықтарын ескере отырып, кластерлердің бірдей көлемде болуы керек деген идея өнімді болып көрінеді, бұл деректерді жинау тапсырмасын жеңілдетуі мүмкін.

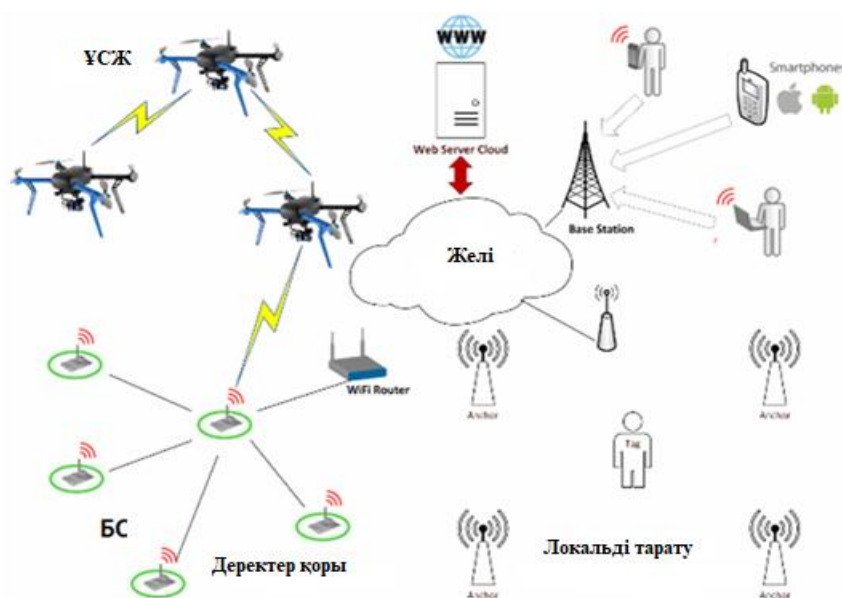
ҰҰА, негізінен, жер бетіне ең жақын, кейде жалғыз ұшатын сегмент құру үшін қолданылатындықтан, олардың ұшу уақытында едәуір шектеулер бар. Сондықтан ақпарат жинаудың рационалды маршрутын таңдау өте маңызды міндет болып табылады. Алғашқы нәтижелер мұндай тапсырманы шешу үшін коммивояжер мәселесін шешу әдістерін қолдану тиімді болатынын көрсетеді [2], бұл, әрине, айтарлықтай есептеу жұмыстарының көлемімен байланысты.

Жақында атап өтілген энергия ресурстары шектеулі жердегі сенсорлық өрістер мен ҰҰА үшін есептеу жүктемесінің әлеуетті үлкен көлемі, иерархиялық ЛСС деңгейлері арасында функцияларды рационалды тарату үшін бағдарламалық басқарылатын желілер (SDN, Software Defined Networks) саласындағы жетістіктерге жүгінуді қажет етеді. Шынында да, кластерлер үшін уақытша бас узел функциясын ҰҰА орындай алады, ал күрделі есептеулер, мысалы, NAP арқылы орындалуы мүмкін, бұл кезде SDN контроллерін орналастыру мәселесі (Controller Placement Problem) [5] шешіледі. Бұдан басқа, ЛСС үшін SDN қауіпсіздік басқару жүйелерінің құралдарын пайдалану мүмкіндігі бар.

ЛСС-те басқару тапсырмаларының тағы бір үлкен тобы сенсорлық өрістердегі сенсорлық түйіндерді орналастыру, ҰҰА арқылы сенсорлық түйіндерді ауыстыру және/немесе жердегі желінің сенсорлық түйіндерін қуаттандыруға қатысты.

2.5.4 Модельдік желі және LSS тестілеу

Практикалық тұрғыдан алғанда, ЛСС-ті және басқа байланыс желілерін енгізуді қамтамасыз ету үшін сәйкестік пен үйлесімділікті тексеру мақсатында модельдік желі құру орынды болады [4]. ЛСС - бұл Заттар интернетінің (IoT) құрамдас бөлігі болғандықтан, мұндай модельдік желі СПбГУТ-те Заттар интернеті зертханасында құрылған. Модельдік желінің бастапқы құрылымы 2.10-суретте көрсетілген.



2.10-сурет – Шешімдерді практикалық тексеруге арналған модельдік желі
Заттар интернеті үшін

Дәстүрлі тестілеу түрлерінен, мысалы, сәйкестік, үйлесімділік, бенчмаркинг, ЛСС-ті тестілеуге екі жаңа түрі қосылады. Бұл - кідірістерге төзімді тестілеу және заңдылықты тексеру.

ҰҰА сенсорлық өрістің үстінде болған кезде ақпарат жинаумен қатар, ол желінің жердегі сегментін немесе оның бөлігін қалдық энергия параметрлері бойынша тестілей алады. Мұндай тестілеу, кідірістерге төзімді желілермен ұқсас болып, кідірістерге төзімді тестілеу деп аталады.

Екінші жаңа тестілеу түрі барлық жерде таралған сенсорлық желілерде жиі кездесетін қорқынышты шабуыл түрлерінің бірі - сенсорлық түйіндерді көшірумен байланысты. [7]. Сондықтан, летающий сенсорлық желі фрагменті белгілі бір уақыт аралығында жердегі летающий сенсорлық желінің фрагментін құрайтын сенсорлық түйіндердің заңдылығын тексеру функциясын орындауы мүмкін.

Қойылған мақсатқа жету үшін дипломдық жұмыста келесі міндеттерді кезең-кезеңімен шешу көзделеді:

- Заттар интернеті (IoT) және қазіргі телекоммуникациялық технологиялар концепциясын талдау, сондай-ақ жалпы пайдалануға арналған жаңа байланыс желілерінің түрі - ұшатын сенсорлық желілерді құру қажеттілігін дәлелдеу;
- Ұшатын сенсорлық желілер саласындағы теориялық және практикалық зерттеулер бағыттарын анықтау;
- Заттар интернеті саласындағы теориялық және практикалық міндеттерді шешу әдістемесін әзірлеу, оның ішінде ұшатын сенсорлық желілер үшін модельдік желілерді қолдану арқылы;
- Ұшқышсыз ұшу аппаратын (ҰҰА) жаппай қызмет көрсету жүйесі ретінде модельдеу әдісін әзірлеу;
- Ұшатын сенсорлық желілерге электромагниттік әсерлердің алдын ала жоспарланған әсерлерінің модельдерін әзірлеу, оларды анықтау және қорғау әдістерін жасау;
- ҰҰА арқылы ақпарат жинау әдісін әзірлеу, оның ішінде энергияны аз тұтынатын кең ауқымды желі хаттамаларын қолдану.

3 Жүйе ретінде ұшатын сенсорлық желі және жаппай қызмет көрсету желісі

Қалалық ортадағы интеллектуалды телекоммуникация желілерінің архитектурасын зерттеу және талдау. Ұшқышсыз ұшу аппараттарының және ақылды қалалар инфрақұрылымының дамуы, көптеген жаңа теориялық және практикалық міндеттерді туындатады. Оның бірі - барлық жерді қамтитын сенсорлық желіні кідірістерге төзімді желі ретінде құру, онда ҰҰА - тар деректерді жеткізу құралдары ретінде қолданылады. Бұл міндет БСС түйіндерінің ҰҰА байланыс құралдарымен өзара әрекеттесуін ұйымдастыруды көздейді, сонымен қатар олардың қозғалысының ерекшеліктері ескеріледі.

Базалық станция (БС) түйіндері белгілі бір түрде, әдетте кездейсоқ, қызмет көрсетілетін аумақта таратылады. Алаңда кластерлеу жоқ деп болжайық, ал ҰҰА алдын ала белгіленген траектория бойынша қозғалады. Мұндай желінің тиімділігінің негізгі көрсеткіші, яғни деректерді жинау және жеткізу уақыты, ұшу аппаратының жылдамдығына тәуелді болады. Қозғалу жылдамдығын таңдау, бір жағынан, ұшатын аппараттың техникалық сипаттамаларымен, екінші жағынан, ҰҰА мен БС түйіндері арасындағы деректер (хабарламалар) алмасу процесінің ықтималды уақыттық сипаттамаларымен шектеледі.

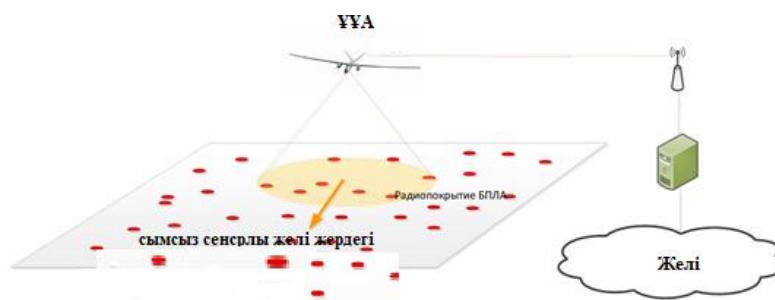
ҰҰА - тың деректер жинау міндетін орындау кезінде қозғалыстың әртүрлі нұсқаларын болжауға болады: тұрақты жылдамдықпен және жылдамдығы желі түйіндерінің таралу сипатына байланысты өзгертін жылдамдықпен қозғалу. Екінші нұсқа жалпы сипатқа ие және желі түйіндерімен өзара әрекеттесуге қатысты әртүрлі талаптарды қамтамасыз етуі мүмкін. Бұл талаптар әртүрлі болуы мүмкін және жалпы жағдайда олар желі түйінінен деректерді оқып алу ықтималдығы арқылы анықталады.

3.1 Ұшқышсыз ұшу аппараты жаппай қызмет көрсету жүйесі ретінде

LSS желісінің сенсорлық түйіндері, мысалы, бас, ұшқышсыз ұшқышта орналассын, сенсорлық өріс аумағын айналып өтетін (жердегі сымсыз және жердегі сенсорлық түйіндерден мәліметтер жинайды (3.1-сурет).

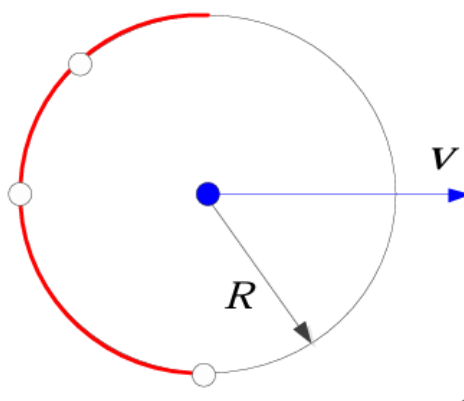
Міндетті қою. ҰҰА қозғалысының траекториясын таңдау алгоритмі оның желі түйінімен деректер алмасу уақыты ішінде қозғалысының былайша анықталатынын болжайды:

$s = \tau \cdot v$, мұндағы τ - бір түйінмен өзара әрекеттесу уақыты, v - ҰҰА жылдамдығы, R - қызмет көрсету аймағының радиусымен салыстырғанда өте кіші. Яғни, $\frac{\tau \cdot v}{R} \rightarrow 0$.



3.1-сурет – Сенсорлық желі түйіндерінен деректерді жеткізу

Шектелген R кезінде бұл шарт барлық желі түйіндері үшін, олар қызмет көрсету аймағында орналасса, тек $v \rightarrow 0$ немесе $\tau_0 \rightarrow 0$ жағдайында орындалады, яғни УҰА деректерді алу нүктесінде қозғалмайтын немесе деректерді бірден оқып алатын жағдайда. Егер $v > 0$ және $\tau_0 > 0$ болса және қызмет көрсету аймағының шекарасында (Сурет 3.2) қозғалыс бағытына қарама-қарсы жақта желі түйіндері орналасқан болса, олар қызмет көрсетілмейді, себебі олардың аймақта болу уақыты t_s нөлге тең болады.

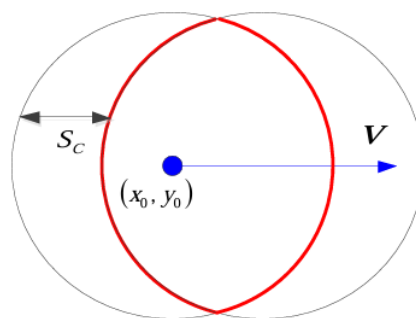


3.2-сурет – $v > 0$ кезінде УҰА қызмет көрсету аймағының шекарасындағы қызмет көрсетілмеген тораптар

Түйіннің қызмет көрсету аймағында болу уақытынан шығатын болсақ, біз УҰА қозғалысының берілген жылдамдығында түйіннің қызмет көрсету аймағының шекарасын анықтайаламыз. Минималды уақыт τ_0 қызмет көрсету уақытына тең болғандықтан, шекараға дейінгі қашықтық келесідей болады:

$$S_c = v \cdot \tau_0(3)$$

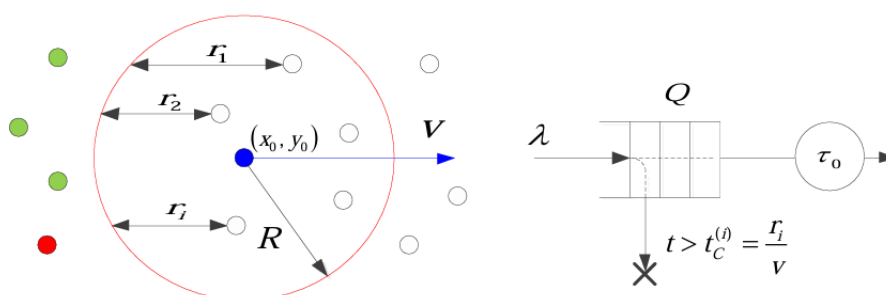
Түйініне уақыт ішінде қызметкөрсетуге болатын аймақ τ_0 , сурет 3.3 көрсетілген.



3.3-сурет – $v > 0$ кезінде ұшқышсыз ұшу аппараттарына қызмет көрсету аймағы

Демек, егер белгілі бір уақыт t кезінде ҰҰА байланыс сеансын жүргізуі қажет болса, онда ол көрсетілген аймақтан түйінді таңдау керек. Осы аймақтың сол жағында орналасқан түйін қызмет көрсетілмейді. Келтірілген тұжырымдар бір түйінді қарастыру кезінде дұрыс болады. Егер ҰҰА - тың қызмет көрсету аймағында бірнеше түйін болса, онда олардың қызмет көрсетуі үшін τ_0 -дан көп уақыт қажет болады, бұл жеке талдауды талап етеді

Көптеген түйіндерді қызмет көрсету кезінде ҰҰА - ты жаппай қызмет көрсету жүйесі ретінде қарастыруға болады, оған сұраныстар (қызмет көрсету аймағына кірген түйіндер) келіп түседі, олар қолжетімділік аймағында болған уақыт ішінде қызмет көрсетуді күтуі мүмкін. Қызмет көрсетілмеген сұраныстар (түйіндер) қабылданбайды. Ағынның қарқындылығы қызмет көрсету аймағының радиусына, түйіндер тығыздығына және ҰҰА қозғалыс жылдамдығына байланысты. Түйінді қызмет көрсету үшін ҰҰА белгілі бір уақытты жұмсайды, және бұл қызмет көрсету кезеңінде түйін қолжетімділік аймағында болу керек (Сурет 3.4).



3.4-сурет – Ұшқышсыз ұшу аппараттары жаппай қызмет көрсету жүйесі

Көптеген түйіндерді қызмет көрсетуді екі типтік жағдай үшін қарастыру орынды.

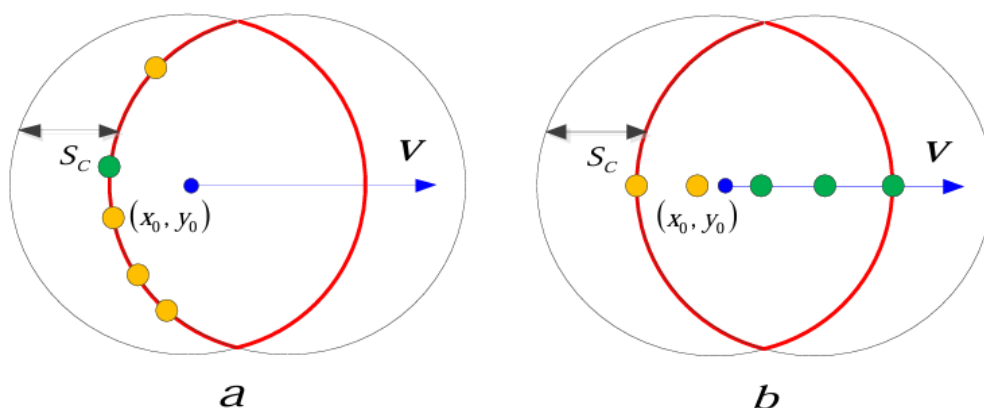
Бірінші жағдайда, түйіндердің координаттары белгілі. Бұл жағдайда жүйеге детерминирленген сұраныс ағыны түседі. Мұндай жүйенің жұмысын оңтайландыру түйіндерді қызмет көрсету ережесін (кестесін) таңдауға келіп тіреледі.

Екінші жағдайда, түйіндердің координаттары белгісіз. Жүйеге кездейсоқ сұраныс ағыны түседі. Мұндай жүйенің жұмыс режимін таңдау үшін қызмет көрсетуден бас тарту ықтималдығының оның параметрлеріне тәуелділігін анықтау қажет.

Белгілі түйін координаттарындағы шешім (детерминирленген ағын өтінімдер). Моментте, белгілі бір уақыт мезгілінде қызмет көрсету аймағында бірнеше түйіндер бар болса, онда жылдамдығы v кезінде, потенциалды түрде қызмет көрсетуге болатын ең көп түйіндердің саны ҰҰА -тың R қашықтыққа жылжу уақытымен анықталады.

$$K_{max} = \left\lceil \frac{R}{v \cdot \tau_0} \right\rceil \quad (3.1)$$

Дегенмен, бұл тек потенциалды мүмкін болатын сан. Мысалы, егер барлық осы түйіндер көрсетілген аймақтың сол жақ шекарасында орналасқан деп болжасак, онда тек біреуін ғана қызмет көрсетуге болады (3.5a сурет). Бірақ егер олар қызмет көрсету аймағының ортасы арқылы өтетін және ҰҰА-ның қозғалыс бағытымен сәйкес келетін түзуде орналасса, сондай-ақ аралықтар арқылы орналасқан болса $s = v \cdot \tau_0$, одан кейін барлық осы түйіндерге қызмет көрсетуге болады (3.5 b-сурет).



3.5-сурет – Қызмет көрсету аймағында түйіндердің әртүрлі орналасуы

Әрине, бұл тек соңғы, яғни қызмет көрсету аймағының сол жақ шекарасына ең жақын түйіннен бастап қызмет көрсету жағдайында ғана мүмкін. Егер қызмет көрсетуді бірінші (оң жақтағы ең шеткі) түйіннен бастаса, онда қызмет көрсетілген түйіндер саны аз болады, өйткені олардың кейбіреуі бірінші және кейінгі түйіндерді қызмет көрсету уақытында қызмет көрсету аймағынан шығып кетеді. Осылайша, қызмет көрсетілген түйіндер саны олардың аймақта болу уақытына, яғни орналасуына және қызмет көрсету кезегіне тәуелді болады.

Облыста k түйіндері болса, бұл ретте олардың әрқайсысының болу уақыты оған тең:

$$t_i = \frac{r_i}{v} \quad (3.2)$$

мұндағы r_i - түйіннен i – ге түйін аймағының шекарасына дейінгі қашықтық.

Әрбір түйінге қызмет көрсету үшін τ_0 уақыт қажет. Қызмет көрсету тәртібін таңдау керек, оның нәтижесінде қызмет көрсетілген түйіндер саны максималды болады. Қызмет көрсету уақытын $t = 0$ деп аламыз, және бір уақытта тек бір түйінге қызмет көрсетуге болады. Осы кезде, j - шы түйінге қызмет көрсету уақыты $t_j = (j - 1) \cdot \tau_0$ болады.

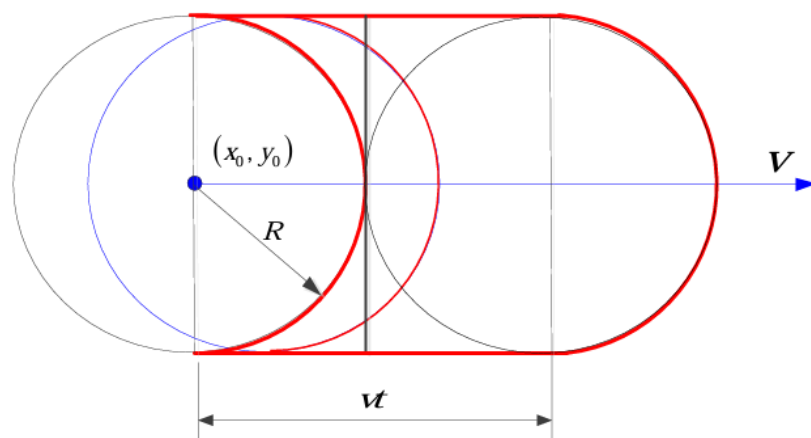
Бұл тапсырманы шешу үшін түйіндерге қызмет көрсету тәртібін анықтау қажет, оның нәтижесінде қызмет көрсетілген түйіндер саны максималды болады. Бұл тапсырманы тағайындау мәселесіне айналдыруға болады. Оның шешімі $O(n^3)$ уақытты қажет етеді, бұл шынайы жағдайда (қызмет көрсету аймағындағы түйіндер саны үшін) толықтай қабылданады.

Түйіннің белгісіз координаттарындағы шешім (кездейсоқ өтінімдер ағыны). Белгісіз түйіндердің координаттары кезінде жүйеге кездейсоқ өтінімдер (түйіндер) ағыны түседі. Бұл ағынның қасиеттері сенсорлық алаңның қасиеттерімен (түйіндердің бетке орналасуы), ҰҰА - тың қызмет көрсету радиусымен және оның жылдамдығымен анықталады. Келесі болжамдарды жасаймыз:

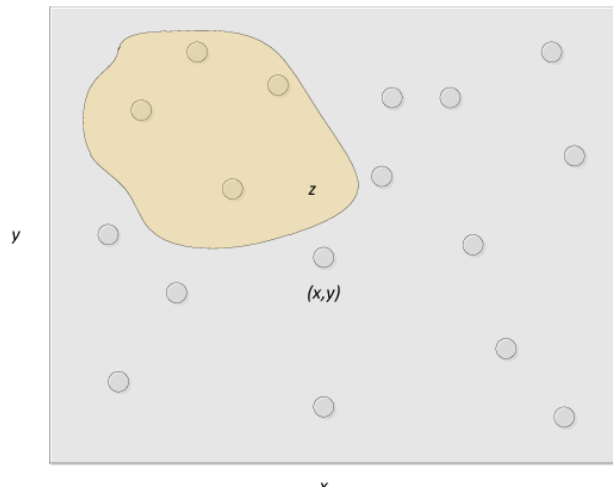
- сенсорлық алаң пуассондық алаң болып табылады;
- ҰҰА - тың тікелей сызықпен және тұрақты жылдамдықпен v қозғалып жатқанына сенеміз;
- қызмет көрсету аймағы R радиусы бар шеңбер болып табылады.

1. Келіп түсетін өтінімдер ағынының таралу функциясы

Келіп түсетін өтінімдер ағынының таралу функциясын анықтайық. Ол үшін уақыттың 0 мезетіндегі және уақыттың t мезетіндегі ҰҰА - тың қызмет көрсету аймағын қарастырайық. Уақыт t ішінде жүйеге өтінімдер (түйіндер) түседі, олар 3.6-суретте көрсетілген аймақта орналасқан. Пуассондық алаңның қасиеттеріне сәйкес, белгілі бір аймақта n нүкте (түйін) болу ықтималдығы Пуассон таралуымен анықталады және тек осы аймақтың ауданына тәуелді болады (3.7-сурет).



3.6-сурет – N түйіндерінің s аймағына ену ықтималдығы



3.7-сурет – Сенсорлық түйіндер орналасқан аймақтың көрінісі

Өтінімдердің (түйіндердің) s аймағында m болу ықтималдығы

$$p_m = \frac{a^m}{m!} e^{-a} \quad (3.3)$$

мұндағы $a = p \cdot S$;

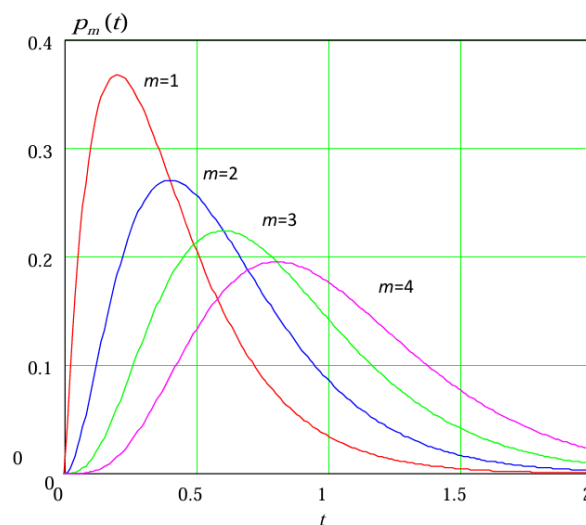
p – аудан бірлігіне шаққандағы нүктелер (түйіндер) саны;

$S(t)$ – облыс аумағы.

$$p_t(t) = \frac{(p \cdot S(t))^m}{m!} e^{-p \cdot S(t)} \quad (3.4)$$

3.8-суретте көрсетілген аймақтың ауданы:

$$S(t) = 2R \cdot vt. \quad (3.5)$$



3.8-сурет - Өтінімдер санын бөлу функциясы

Ағынның қарқындылығы, яғни уақыт бірлігіндегі өтінімдердің орташасы:

$$\lambda = p \cdot 2R \cdot v. \quad (3.6)$$

Келесі кезекте өтінімдер арасындағы уақыт аралығының таралуын талдаймыз.

Қосымша кездейсоқ шама T - екі көрші оқиғалар арасындағы уақыт аралығы - және оның таралу функциясын табамыз.

$$F(t) = P(T < t.) \quad (3.7)$$

Содан кейін t ұзындығының учаскесінде m өтінімдерінің түсу ықтималдығы:

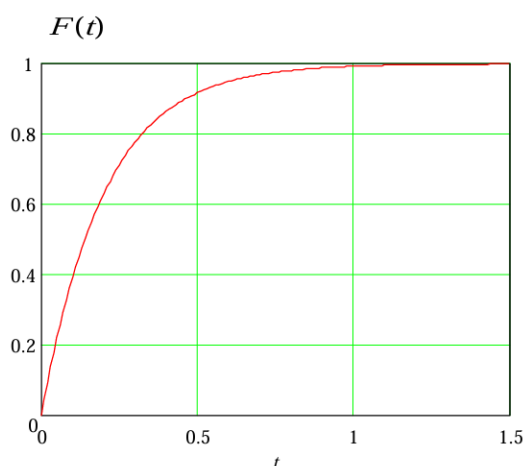
$$P(T \geq t) = 1 - F(t) \quad (3.8)$$

Сондықтан ықтималдықты формула бойынша есептеуге болады:

$$P(T \geq t) = p_0(t) = e^{-p \cdot 2R \cdot vt} \quad (3.9)$$

Өтінімдер арасындағы уақыт аралығын бөлу функциясы келесідей көрініс (3.9-сурет):

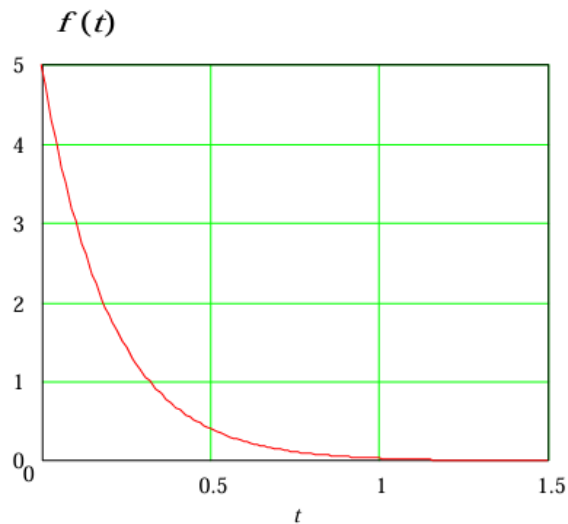
$$F(t) = 1 - e^{-p \cdot 2R \cdot vt}. \quad (3.10)$$



3.9-сурет – Өтінімдер арасындағы уақыт аралығын бөлу функциясы

Дифференциалдау (10), ықтималдық тығыздығын табыңыз (3.10-сурет):

$$f(t) = 2 pRv \cdot e^{-p \cdot 2Rv \cdot t}. \quad (3.11)$$



3.10-сурет – өтінімдер арасындағы уақыт аралығының ықтималдық тығыздығы

Осылайша, қарапайым ағын, интервалдар жүйенің кірісіне түседі экспоненциалды заң бойынша бөлінген өтінімдер арасындағы орташа уақыт:

$$a = \frac{1}{p \cdot 2R \cdot v} \quad (3.12)$$

және дисперсия:

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{4(p \cdot 2R \cdot v)^2} \quad (3.13)$$

Егер түйіннің қызмет көрсету аймағында болу уақыты шектелмейді деп есептесек, шығындар мөлшерін бағалау үшін белгілі қатынасты қолдануға болады [12]

$$P = \frac{1-p}{1-p^{\frac{2}{c_a^2+c_b^2}K+1}} p^{\frac{2}{c_a^2+c_b^2}K} \quad (3.14)$$

мұнда $p = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda \cdot t_0$;

C_a – өтінімдер арасындағы уақыт аралығының өзгеру коэффициенті;

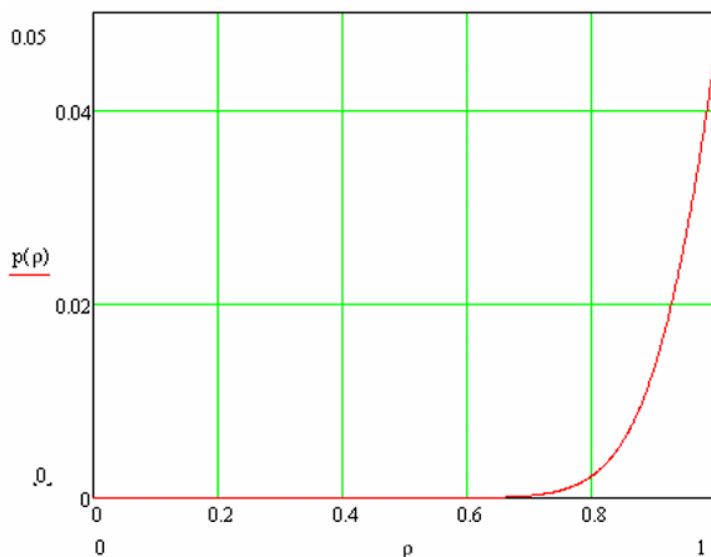
C_b – қызмет көрсету уақытының өзгеру коэффициенті;

K – кезектегі күту орындарының саны.

Бұл жағдайда $C_a = 1$, ал $C_b = 0$, осыны ескере отырып

$$P = \frac{1-p}{1-p^{2 \cdot K+1}} p^{2 \cdot K} \quad (3.15)$$

3.11-суретте жердегі түйіндердің таралу тығыздығының әсері көрсетілген шығындар ықтималдығы үшін желілер.

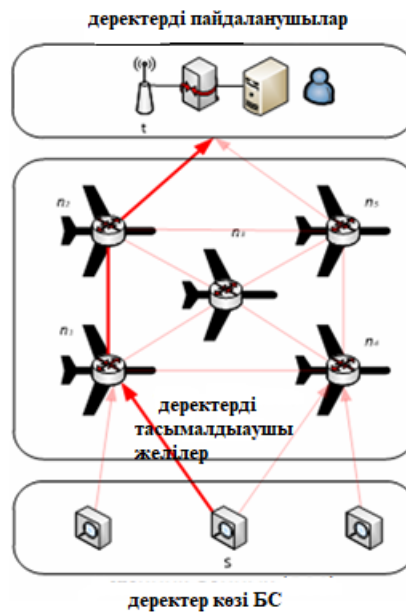


3.11-сурет – Түйін тығыздығының жоғалту ықтималдығына әсері

Жоғарыда келтірілген талдаулар көрсеткендей, егер сенсорлық желі түйіндерінің орналасуы пуассондық алаңмен сипатталса, ҰҰА мен БСС арасындағы өзара әрекеттесу моделі біріктірілген қызмет көрсету тәртібі бар СМО моделінің көмегімен сипатталуы мүмкін (күту және жоғалту), оған қарапайым өтінімдер ағыны түседі. Жалпы жағдайда, түйіндердің орналасуының еркін сипаты кезінде түйіндерге қызмет көрсету сапасын (жоғалту ықтималдығын) сипаттау үшін өтінімдер арасындағы уақыт аралықтары (түйіндердің ҰҰА-ның әсер ету аймағына түсу сәттері) мен өтінімдерді қызмет көрсету уақыты (деректерді беру уақыты) бойынша өзгеріс коэффициенттерін бағалау қажет. Қызмет көрсету уақыты экспоненциалды деп санайды үлестіру, қарастырылып отырған модель ретінде жазылуы мүмкін $M(p, R, v) / M / 1$.

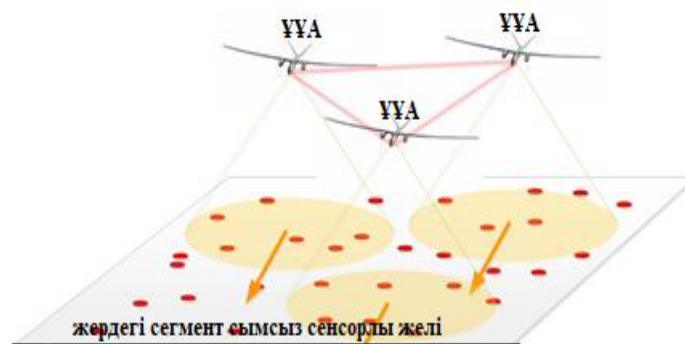
3.2 Қызмет көрсету жүйесі ретіндегі ұшқышсыз аппараттар тобы

Сенсорлық түйіндерден деректер жинау мәселесін қарастырғанда, үлкен аумаққа орналасқан түйіндер үшін ҰҰА тобы немесе тобын қолдану мүмкіндігін қарастыру орынды (3.12-сурет). Осы суретте сымсыз сенсорлық желінің түйіндері - дерек көздері, ұшатын Ad-Нос желілері (қабылдау-жөнелту құрылғысы ҰҰА-да орналасқан) - деректерді жеткізу желісі, ал деректер тұтынушылары ұшатын сегментпен шлюз арқылы өзара әрекеттеседі.



3.12-сурет – LSS- те ұшқышсыз ұшу аппараттарын ұсыну

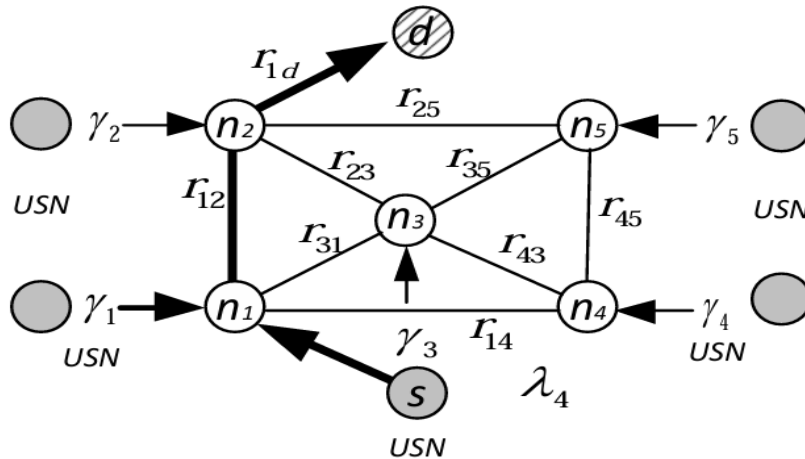
ҰҰА тобы берілген жылдамдықпен қозғалады. Осы кезде жердегі сегментпен өзара әрекеттесу уақыты ҰҰА қозғалысының жылдамдығына тікелей пропорционал болып табылады. 3.13-суретте типтік сенсорлық алаңды айналып өтетін ҰҰА роясының құрылымы көрсетілген.



3.13-сурет – Ұшқышсыз ұшу аппараттарының сенсорлық өрісін айналып өту

ҰҰА топтарын массалық қызмет көрсету жүйесі ретінде қарастырайық [20]. Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, әрбір ҰҰА u_i түйініне келетін өтінімдер ағыны (хабарламалар) ең қарапайым өтінімдер ағынының қасиеттеріне ие. Белгілі бір жағдайларда (әдетте сенсорлық алаңдарда жүздеген немесе мыңдаған сенсорлық түйіндер болады, мысалы, ZigBee жүйесінде түйіндер саны 64 000-ға дейін болуы мүмкін), сенсорлық алаңды пуассондық алаң моделімен сипаттау мүмкін болмаған кезде, түйіндерге келетін ағындар қарапайым өтінімдер ағынынан айырмашылығы болуы мүмкін, сонымен қатар олар өз-өзін

ұқсастық немесе антиперсистенттілік қасиеттеріне ие болуы мүмкін, бұл кейінірек атап өтіледі. Белгілі бір жердегі сенсорлық алаңнан хабарламалар ағынынан бөлек, басқа түйіндерден де ағындар келуі мүмкін. Келесіде, ij түйінінен шыққан хабарламалардың шығатын ағынының ықтималдығымен басқа түйіннің кірісіне келетінін болжаймыз. Ықтималдықпен $1 - \sum_{j=1}^n r_{ij}$ өтінімдер кетеді түйін i және сыртқы ортаға, яғни шлюзге жіберіледі (3.14-сурет).



3.14-сурет – Дереккөз (s) арасындағы деректерді жеткізу маршрутының моделі және алушы (t)

Жалпы жағдайда хабарламаны өңдеу уақыты маршрут t бөлігінде екі негізгі құрамдас бөліктен тұрады: хабарламаны арнаның арқылы беру уақыты t және арнаның дайындық күйін күту уақыты, олар жалпы жағдайда кездейсоқ болады. Арнаның күйінің өзгеруі көптеген тәуелсіз факторлардың (оқиғалардың) әсерінен болатын кездейсоқ процесс болып табылады, мысалы, байланыс аймағына кіру және шығу, белгіленген қозғалыс траекториясынан кездейсоқ ауытқулар, басқа жүйе элементтерінде орналасқан беру құрылғыларынан келетін кедергілер және басқалар. Мұндай тәуелсіз оқиғалардың саны жеткілікті үлкен болған жағдайда, арнаның дайындық интервалдары экспоненциалды таралуға жақын болатынын күтуге болады, сондықтан дайындық күйін күту уақыты да ұқсас таралумен болады. Егер хабарламаны арна арқылы беру уақыты t экспоненциалды таралу мен жақын болса, онда хабарламаны өңдеу уақытының t экспоненциалды таралуы туралы болжам жасау толығымен орынды. Егер жоғарыда көрсетілген желі жұмыс істеу шарттарын хабарламаларды өңдеудің экспоненциалды уақыты туралы болжаммен күшейтсе, онда сипатталған шарттар Джексон желісі [3] жұмыс істеу шарттарымен сәйкескеледі.

[3] көрсетілгендей, мұндай желідегі орташа жеткізу уақытын келесідей бағалауға болады:

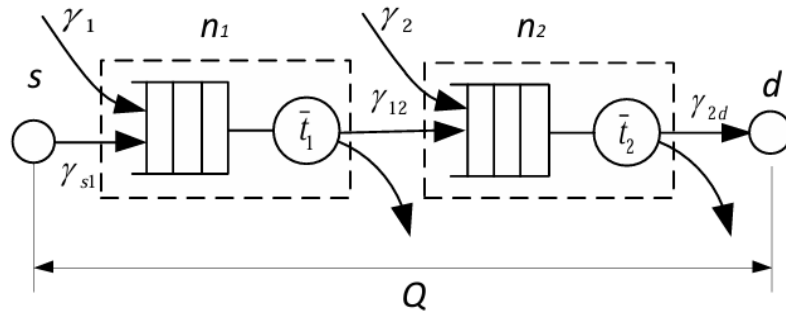
$$T = \sum_{j=1}^M \frac{\lambda_j}{\gamma} T_j, \quad (3.16)$$

мұндағы M – арналар саны;
 n - желі түйіндерінің саны;
 T_j - j -ші арнадағы кідіріс;
 $\gamma = \sum_{i=1}^n \gamma_i$ - байланыс желісінің жиынтық трафигі;
 λ_j – j -ші арнада қызмет көрсетілетін жалпы трафик.
 шамасы,

$$T_j = \frac{1}{\mu_j - \lambda_j}, \quad (3.17)$$

мұнда $\mu_j = \frac{1}{t_j}$ - j -ші арнадағы қызмет қарқындылығы.

Нақты маршрут бойынша жеткізу уақытын Джексон желісінің қасиеттерін пайдалана отырып бағалауға болады. Белгілі болғандай, осындай желінің әрбір түйіні тәуелсіз М/М/1 КМО ретінде қарастырылуы мүмкін, ал бүкіл маршрут - тәуелсіз М/М/1 КМО-ның тізбегі (Сурет 3.15).



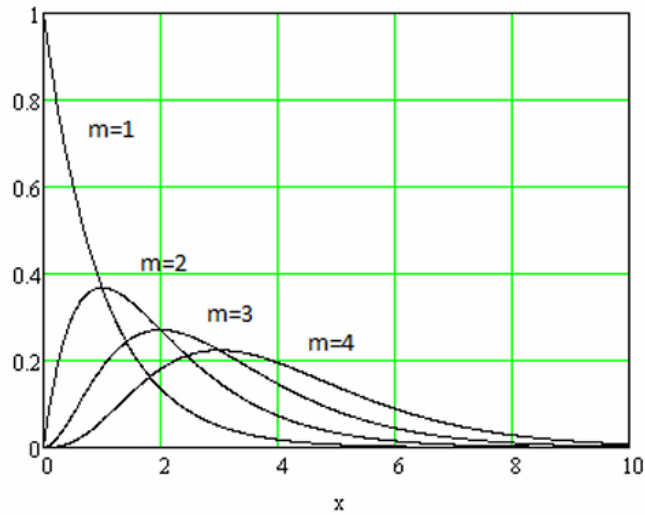
3.15-сурет – Дереккөз (s) арасындағы деректерді жеткізу маршрутының моделі және алушы (t)

Маршрут бойынша хабарламаны жеткізу уақытын бөлу функциясы келесідей жүйені Эрлангтың таралуы арқылы сипаттауға болады. Барлығы тең болған кезде $\lambda_i = \lambda$ және $\mu_i = \mu$, $t_i = t = 1, i = 1, \dots, m$, орташа мәнмен $m \cdot t$, ол маршрут бойынша хабарламаны жеткізудің орташа уақыты:

$$\theta_k = m_k \cdot t,$$

мұнда m_k - k -М маршруттағы арналар саны.

$$s(x, m) = \frac{m \cdot \mu \cdot (m \cdot \mu \cdot x)^{m-1}}{(m-1)!} e^{-m \cdot \mu \cdot x} \quad (3.18)$$



3.16-сурет – Жеткізу уақытының ықтималдық тығыздығы ұзындығы $m = 1, 2, 3, 4$ секіру бағыты бойынша

Бұл жағдайда m - реті транзиттер (секірулер) санын білдіреді, егер әрбір транзит тежа барламаныберу (қызметкөрсету) уақыты бірдей

Джексон желісінің моделі бойынша қарастырылған желінің аппроксимациясы, көбінесе n -ның мөлшері үлкен болған сайын және қызмет көрсету уақытының таралуы экспоненциалды таралуға жақындаған сайын дәл болатыны ықтимал. Егер түйіндер саны n және маршруттар саны аз болса, желінің қасиеттері Джексон желісінің қасиеттерінен айтарлықтай ерекшеленуі мүмкін. Мұндай жағдайда маршруттың моделі көпфазалы жүйе $G/G/1$ ретінде сипатталуы мүмкін. Осы жағдайда жеткізу уақытының таралу функциясын алу қиын болуы мүмкін. Дегенмен, маршруттың j -шы арнасы үшін орташа жеткізу уақытынбағалаудыңжуықтапесептелуі мүмкін, бұл [8]-де көрсетілген.

$$T_j \approx \frac{p_j \cdot t_j}{2(1-p_j)} \left(\frac{\sigma_{a_j}^2 + \sigma_{t_j}^2}{t_j^2} \right) \left(\frac{t_j^2 + \sigma_{t_j}^2}{a_j^2 + \sigma_{t_j}^2} \right) \quad (3.19)$$

мұндағы $p_j = \lambda_j t_j$;

$\sigma_{a_j}^2$ - хабарламалар арасындағы интервалдардың дисперсиясы;

$\sigma_{t_j}^2$ - қызмет көрсету уақытының дисперсиясы;

t_j - арнадағы қызмет көрсету уақыты;

$a_j = \frac{1}{\lambda_j}$ - арнадағы хабарламалар арасындағы интервалдың орташа мәні.

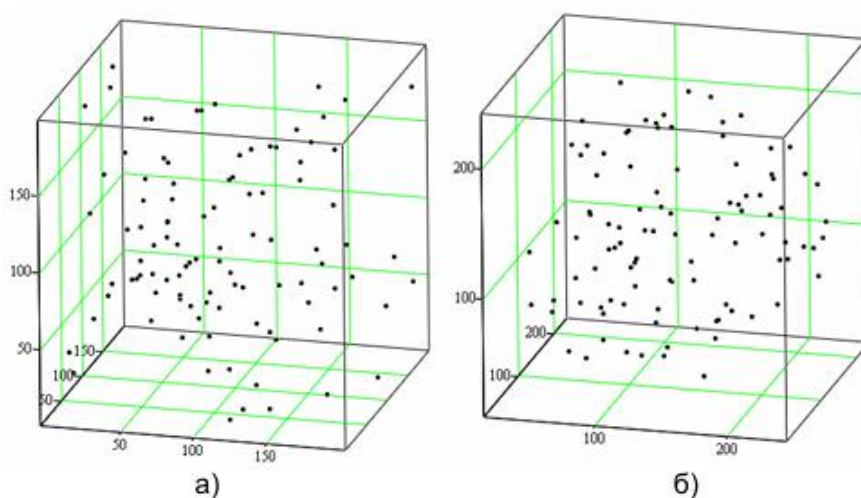
Онда маршрут бойынша жеткізу уақыты тең болады:

$$\theta_k = \sum_{j=1}^{m_k} T_j \quad (3.20)$$

m_k - k -М маршруттағыарналар саны.

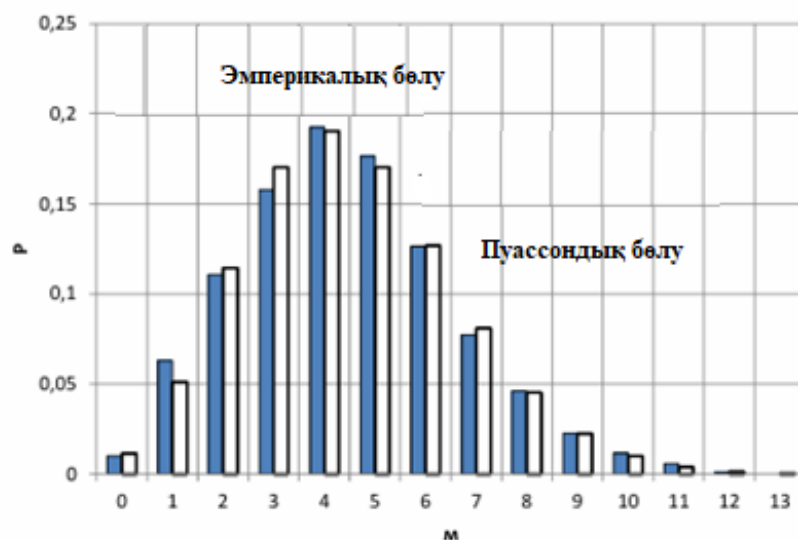
Айта кету керек, маршрут бойынша орташа жеткізу уақытын бағалаулар (4) және (5) соғұрлым дәл болады, егер хабарлар ағынының қарқыны λ_j жоғары болса және әрбір арнаның кірісіне хабарлардың келу уақыттары мен қызмет көрсету уақыты арасындағы тәуелділік аз болса.

Әрине, жеткізу уақытының маңызды факторларының бірі - маршруттағы «секірістер» саны (арналар) m . Бұл сан пайдаланылатын маршрут таңдау әдістеріне байланысты [9]. Логикалық түрде, ең қысқа маршрут (ең аз «секірістері» бар) таңдалады деп болжауға болады. 3.17-суретте $200 \times 200 \times 200$ м көлеміндегі кубпен шектелген кеңістіктегі (а) және көлемі тең шарда (б) желі түйіндерінің кездейсоқ таралуының жүзеге асырылуы көрсетілген.



3.17-сурет – $200 \times 200 \times 200$ м (а) текшеде және сферада 100 түйінді кездейсоқ орналастыру теңкөлем (б)

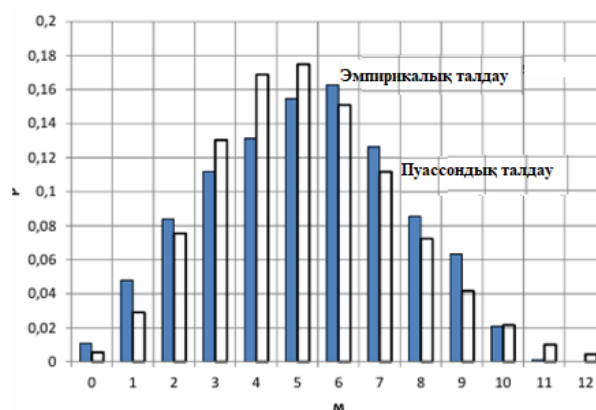
3.18 - суретте желідегі ең қысқа жолдардың ұзындығын бөлу көрсетілген, тораптың байланыс радиусы 50 м болатын текшеде орналасқан түйіндерден пайда болған.



3.18-сурет – 100 түйін желісіндегі ең қысқа жолдардың ұзындығын бөлу
 $200 \times 200 \times 200$ м

Аталған тарату имитациялық модельдеу әдісімен алынған. Ең қысқа маршрут минималды «секірістер» санымен таңдалды. Орташа жол ұзындығы 4,47 секіріс болды. Салыстыру үшін сол суретте орташа мәні 4,47 болатын Пуассон таратылуы көрсетілген. Байланыс ықтималдығы 0,98-ге тең болды.

3.19-суретте радиусы 50 м болатын байланыс ауқымында 100 түйін орналасқан желіде ең қысқа жолдардың таралуы көрсетілген.



3.19-сурет – Сферадағы 100 тораптан тұратын желідегі ең қысқа
жолдардың ұзындығын бөлудің көлемі

Орташа жол ұзындығы 5,18 секіріс болды. Салыстыру үшін сол суретте орташа мәні 5,18 болатын Пуассон таратылуы да көрсетілген. Бұл жағдайда желінің байланыс ықтималдығы 0,94 болды.

Байланыс ықтималдығын кез келген радиустағы шарға кемдегенде бір түйін түсетін ықтималдық ретінде анықтауға болады. Пуассон өрісінің қасиеттеріне сәйкес, бұл ықтималдық мынаған тең:

$$P_{\geq 1} = 1 - e^{-a}, \quad (3.21)$$

P , a – сферадағы нүктелер санын математикалық күту.

$$a = V \cdot p, \quad (3.22)$$

мұнда $V = \frac{4}{3} \pi \cdot x^3$ - радиус сферасының көлемі x ;

p - түйіндердің тығыздығы (текшеметрге түйіндер саны).

Содан кейін байланыс ықтималдығының желі түйінінің тығыздығы мен байланыс радиусына тәуелділігі тең:

$$P = 1 - e^{-\frac{4}{3} \pi \cdot x^3 \cdot p} \quad (3.23)$$

негізінде модельденген желі үшін ол 0,999-ға тең.

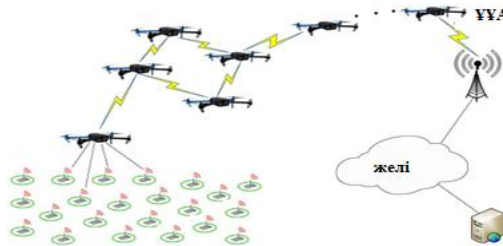
Моделдеу нәтижелері бойынша алынған байланыс мәндері таңдау көлемінің шектеулі болуына байланысты болатын қателік шеңберінде жатыр. Айта кету керек, (3.23) өрнегі шексіз Пуассон өрісі үшін байланыс ықтималдығын береді. Бұл жағдайда өріс белгілі бір көлеммен шектелген. Шектеулер болған жағдайда «шеткі әсер» орыналады, яғни шекараға жақын орналасқан түйіндер үшін байланыс ықтималдығы шекараның ортасына жақын орналасқан түйіндерге қарағанда төмен болады. Бұл шекарадағы түйінді қарастырғанда айқын көрінеді. Оның жанындағы көрші түйін тек аймақ ішінде орналасуы мүмкін. Егер шекара жазықтық болса, көрші түйінмен байланыс болуы мүмкін көлем екі есе аз болады, ал егер түйіннің байланыс радиусы аймақтың өлшемдерінен аз болса, онда ол аймақтың ортасына жақын орналасқан түйін мен салыстырғанда. Осыған байланысты байланыс ықтималдығының (3.23) бағасы жоғарыдан болатындығын күтуге болады. Сонымен қатар, желінің байланыс мәні (3.23) ықтималдығын анеғұрлым жақын болады, егер шектеуші фигураның көлемі оның бетінің ауданына қатынасы үлкен болса. Айқын, геометриялық өлшемдер ұлғайған сайын бұл қатынас өсетін болады.

Келтірілген суреттерден көріп отырғанымыздай, егер қарастырылатын кеңістік куб пен шектелген болса, ең қысқа жолдың ұзындығы Пуассон таратылуымен жақсы сипатталады. Ал кеңістік шар мен шектелген жағдайда ең қысқа жолдардың ұзындығы Пуассон таратылуынан айтарлықтай ерекшеленеді. Куб және шар жағдайларындағы орташа ең қысқа жол ұзындығы (секірістерде), күтілгендей, әртүрлі болады.

3.3 Деректерді беру үшін ұшатын сенсорлық желі фрагментінің моделі

Ұшатын сенсорлық желілер құрылымдарының типтік жобаларын талдау негізінде ұзақ қашықтыққа деректер беру желісінің архитектурасы жасалды (3.23-сурет), ол мыналардан тұрады:

1. Сенсорлық түйіндерден тұратын және сымсыз сенсорлық желіге біріктірілген;
2. ұшатын сегмент, оған кіретіндер:
 - ұшқышсыз ұшатын аппарат (ҰҰА-шлюз BC-LPWAN), ол жергілікті сегменттен деректер жинап, оларды LoRa технологиясы негізінде жіберу функциясын орындайды [8]; шын мәнінде, ҰҰА-дағы жабдық 6LoWPAN — LoRa шлюзі рөлін атқарады;
 - деректерді LoRa технологиясы негізінде қайталаушы ҰҰА топтары, олар деректерді қайталап, шлюзге IP желісі арқылы жеткізуге арналған;
3. LPWAN желісінің базалық станциясы — Интернет (LoRa-IP базалық станциясы).



3.23 - сурет - Деректерді алыс қашықтыққа жіберуге арналған LSS архитектурасы

Осы архитектурада ұшқышсыз ұшатын аппаратта орнатылған құрылғы шлюз рөлін атқарып, жергілікті сегменттен деректер жинайтын түйін болып табылады. Ұшқышсыз ұшатын аппараттың жалпы қолдануға арналған ұшу уақытының қысқалығы және LoRa-IP базалық станциясына дейінгі қашықтықтың үлкендігіне байланысты нақты уақыттағы деректерді беру арнасын ұйымдастыру қажет. Мұндай арнаны ұйымдастыру үшін ҰҰА-шлюз BC-LPWAN мен LoRa-IP базалық станциясы арасындағы әртүрлі нүктелерде орналасқан аралық ҰҰА пайдаланылады. ҰҰА - gateway BC-LPWAN, шлюз рөлін атқара отырып, БСС деректерін түрлендіреді және оларды ең жақын қайталаушы түйінге, яғни ҰҰА - қайталағышқа жібереді. Содан кейін деректер ретрансляциялайтын ҰҰА желісі арқылы LoRa-IP базалық станциясына жеткізіледі, бұл ҰҰА қайталаушылары радиоарна арқылы LPWAN модульдері арқылы біріктірілген [9].

Жергілікті сегменттің ұшатын желілер үшін деректерді беру технологиясы ретінде сенсорлық алаңдардан ақпарат жинауда ең көп қолданылатын IEEE 802.15.4 стандарты қарастырылған. Мысал ретінде IEEE 802.15.4 стандарты

негізінде жұмыс істейтін хаттамаларды келтіруге болады: ZigBee, 6LoWPAN, Thread, RPL және басқалар. Деректерді ретрансляциялау хаттамасы ретінде IEEE 802.15.4g технологиясына негізделген LPWAN ұзақ қашықтыққа деректерді беру хаттамалары таңдалды.

IEEE 802.15.4g негізінде жұмыс істейтін протоколдарға мысал ретінде LoRa, SigFox, және басқаларды айтуға болады [18].

Жалпы жағдайда, осы деңгейде сигналдың таралу жағдайларына әсер ететін процестерді қарастыру қажет, мысалы, таралу ортасындағы әлсіреу, арнадағы сигналдың әлсіреуі және таралу жағдайларына әсер ететін әртүрлі кедергілер. Моделді оңайлату үшін осы деңгейде арнадағы деректерді беру жылдамдығын тек түйіндер арасындағы қашықтықпен байланыстырамыз.

Қашықтық факторы

LoRaWAN спецификациясына [17] сәйкес, деректерді беру жылдамдығы қабылдағышқа келіп түсетін сигнал деңгейіне тәуелді, бұл 3.1-кестеде көрсетілген.

Қабылдағыштың кірісіндегі сигнал деңгейі қалай сипатталады:

$$P_{RX} = P_{TX} - A(d) \text{ дБм}, \quad (3.24)$$

мұндағы P_{TX} - таратқыш шығысындағы қуат (дБм);

$A(d)$ - сигналдың әлсіреуінің қашықтыққа тәуелділігі (дБ).

Әлсіреу моделі ретінде біз [50] моделін таңдаймыз.

$$A(d) = 20 \lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \text{ дБ}, \quad (3.25)$$

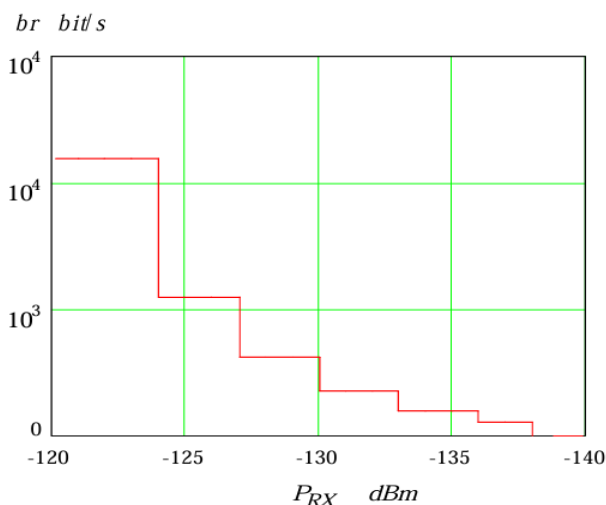
мұндағы λ - толқын ұзындығы (м);

d - қабылдағыш пен таратқыш арасындағы қашықтық (м).

3.1 – кесте - беру жылдамдығының қабылдағыш кірісіндегі сигнал деңгейіне тәуелділігі

Сигнал деңгейі, дБм	Модуляция түрі	Деректерді беру жылдамдығы, бит / с
-122	GFSK	50 000
-120	LoRA	10 937
-123	LoRA	5468
-126	LoRa	3125
-129	LoRa	1757
-132	LoRa	976
-135	LoRa	537
-137	LoRa	292

Қолданылатын антенналар бірлік күшейту коэффициентіне ие деп есептейік (0 дБ). Сонда, 3-ші кестеге сәйкес, сигнал деңгейіне тәуелді беру жылдамдығының функциясы 3.24-суретте көрсетілгендей баспалдақ тәрізді болады.



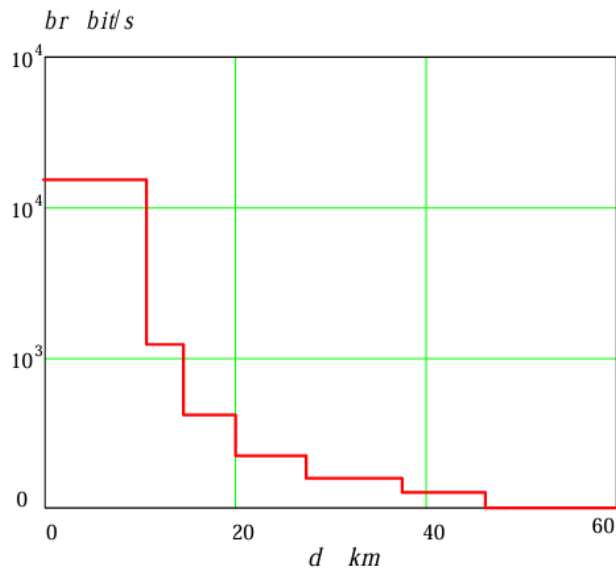
3.24-сурет – Беру жылдамдығының қабылдағыш кірісіндегі сигнал деңгейіне тәуелділігі

LoRa радиоқабылдағыш құрылғысының сезімталдығы, техникалық сипаттамаға сәйкес, сигналдың төмен деңгейін (−137 дБм) қабылдауға мүмкіндік береді, ал сигналдың әлсіреуі (3.26) формуласымен бағаланады. Сондықтан сигналды беру үшін әлеуетті қашықтықтар соншалықты үлкен, оны есепке алу кезінде жердің доғалығы мен антенналық құрылғылардың (ҰҰА ұшу биіктігі) биіктігін ескеру қажет. Тікелей көріну қашықтығы мынадай түрде анықталуы мүмкін:

$$d_{max} = 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})_{\text{м}}, \quad (3.26)$$

h_1 және h_2 - антенналардың биіктігі (м).

Арналардағы жылдам тұншықтыруларды ескере отырып, әлсіреу коэффициентінің эмпирикалық мәні $\gamma = 1.1$ деп енгіземіз. Сонда және енгізілген коэффициентті ескере отырып, беру жылдамдығының қашықтыққа тәуелділігі 3.25-суретте көрсетілгендей болады.



3.27-сурет – Беру жылдамдығының қабылдағыш арасындағы қашықтыққа тәуелділігі және таратқышпен (антенналардың биіктігі $H_1 = h_2 = 100$ м)

Осылайша, ұсынылған модель байланыс түйіндеріндегі пакеттерді қызмет көрсету уақытын (арналар арқылы беру уақытын), күту кезегіндегі кідірістермен пакеттердің жоғалу ықтималдығын маршрут параметрлеріне (түйіндер арасындағы қашықтық және транзиттер саны) тәуелділігін анықтауға мүмкіндік береді.

3.4 Ұшатын сенсорлық желінің имитациялық моделі

Жоғарыда сипатталған архитектура негізінде сенсорлық желіден Интернетке деректерді беру процесінің имитациялық моделі әзірленді. Алдынала зерттеулер негізінде модельдік желіде имитациялық модельді әзірлеу үшін бастапқы деректер алынған. Мысалы, сенсорлық желіден берілетін деректердің көлемі 10 Мбайт. Бұл деректерді ұшатын сенсорлық желілер арқылы 120 км қашықтыққа беру қажет. Модельде ұшатын сенсорлық желі қызметкөрсету жүйесі ретінде көрсетілген [3]. Жұмыс AnyLogic имитациялық модельдеу пакеті арқылы орындалды. Модель пакеттердің базалық станцияға дейін жеткізілу санымен беру кідірістерін деректерді беру жылдамдығына тәуелділігін сипаттайды. ҰҰА жұмыс уақытын шектеу ескерілмейді.

Имитациялық модельде LPWAN модульдерінің жұмыс параметрлері, Semtech SX1272 [4], қолданылған.

Semtech SX1272 модулі келесі сипаттамаларға ие:

Өткізу қабілеттілігі (LoRa модуляция режимінде): 240–32 600 бит/с.

Қамту ауқымы: ашық жерлерде 20 км-ге дейін (жеткізілу расталмаған жағдайда).

Қабылдаушы-таратушы сезімталдығы (RSSI): –117...–137 дБм.

Қабылдаушы-таратушы қуаты: 10–20 дБм.

Деректер пакеті көлемі: 30–256 байт.

Жұмыс жиілігі: 860–1020 МГц.

Жоғарыда келтірілген сипаттамалар LPWAN ретранслятор құрылғысының моделін құру үшін қолданылды. Атап айтқанда, RSSI мен қашықтық арасындағы тәуелділік және деректерді беру жылдамдығы мен RSSI арасындағы тәуелділік алынды.

Дамыған имитациялық модель келесі элементтерден тұрады (3.20-сурет):

source - жер үсті сегментінің жұмысын имитациялайтын сұраулар көзі.

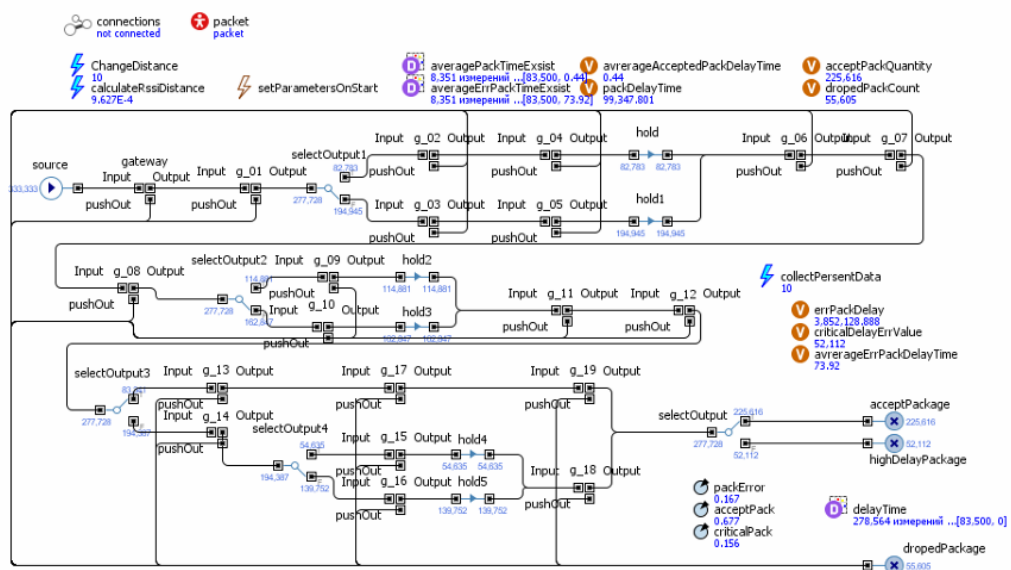
gateway - BSS-LPWAN шлюзының жұмысын имитациялайтын агент.

module802_15_4g - LPWAN ретранслятор құрылғыларының жұмысын имитациялайтын агент.

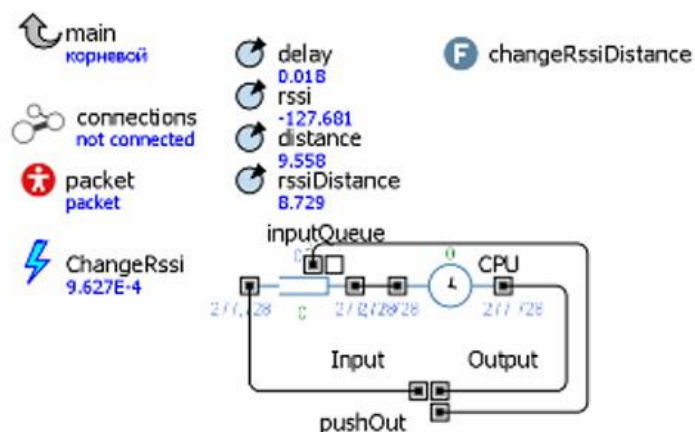
sink - сұраулардың нүктесі, базалық станцияның рөлін атқарады.

Модельде сонымен қатар select Output элементтері (select Output1 - select Output4) қолданылады, олар LPWAN байланыс арнасын таңдау процесін имитациялау үшін, буфердің жүктемесі және көрші құрылғының RSSI көрсеткіштерін негізге ала отырып таңдау жүзеге асырылады. Бұл критерийлердің есептелуі «module802_15_4g» агентінде жүргізіледі (3.28-сурет).

Бұл модельде «module802_15_4g» құрылғылары LPWAN ретранслятор құрылғыларының жұмысын имитациялайтын 19 объектінің тізбегіне біріктірілген (3.29-сурет). Деректер пакеті жүйеге түскен сәттен бастап, базалық станцияға жеткенге дейін 12 «module802_15_4g» түйінін өтеді. Пакет көлемі 30 байт ретінде таңдалды. Құрылғылар арасындағы қашықтық динамикалық шама болып табылады және бастапқы координаттардан 1 км-ге дейін өзгереді. Бұрын айтылғандай, деректерді жіберу қашықтығы 120 км құрайды. Беру жылдамдығы барлық беру уақыты бойында тұрақты. Деректерді беру режимі: растамасыз және қайта сұраусыз.



3.28-сурет – LSS модельдеу моделі



3.29-сурет - "module802_15_4g" агентінің модельдеу моделі

LPWAN релелік құрылғыларына арналған RSSI көрсеткішін есептеу үшін формула (3.27)

$$RSSI = 10 \log \left(P * \left(\frac{\alpha}{4\pi d} \right) \right), \quad (3.27)$$

мұндағы RSSI - қабылданатын сигнал деңгейінің көрсеткіші (дБм);

P - қабылдағыштағы сигналдың шығыс қуаты (дБм);

α - сигналдың толқын ұзындығы (м);

d - қашықтық (м).

Компьютерлік тәжірибелер бастапқы ағынның өткізу жолағының он түрлі көрсеткіштері үшін LPWAN модулінің өткізу жолағының шекті мәндеріне сәйкес жүргізілді. 10 Мбайт жадыға сәйкес келетін жіберілген пакеттер саны 333 333 пакетті құрайды. Компьютерлік тәжірибелер сериясының нәтижелері төменде көрсетілген (Кесте 3.2).

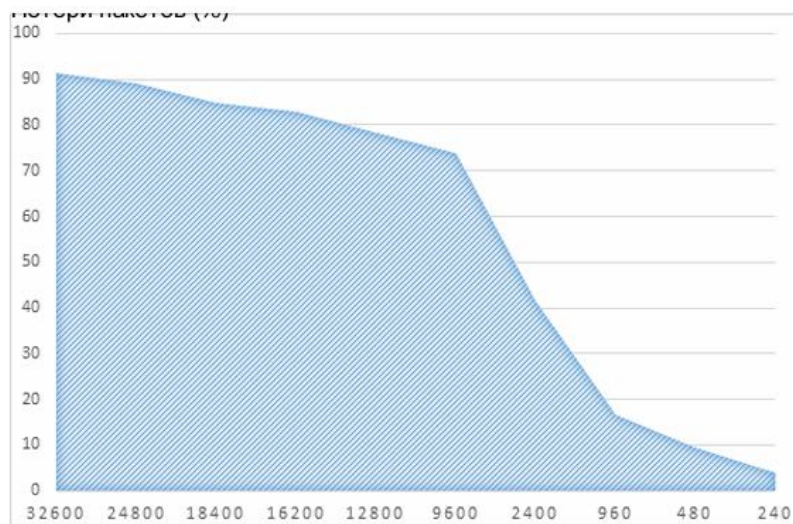
3.2-кесте – Имитациялық модельдеу нәтижелері

№	Беру жылдамдығы деректер, бит / с	Қабылданған пакеттер, %	Жоғалған пакеттер, %	Кідірістер, с	Жұмысуақыты модельдер, с
1	32 600	8,78	91,22	18,44	2491
2	24 800	10,95	89,05	19,31	3332
3	18 400	15,27	84,73	18,43	4412
4	16 200	17,12	82,88	18,72	5010
5	12 800	21,54	78,46	18,89	6280
6	9600	26,29	73,71	20,68	8431
7	2400	58,50	41,50	19,56	33 380
8	960	83,32	16,68	14,23	89 417
9	480	90,41	9,59	13,74	166 720
10	240	96,06	3,94	12,67	333 354

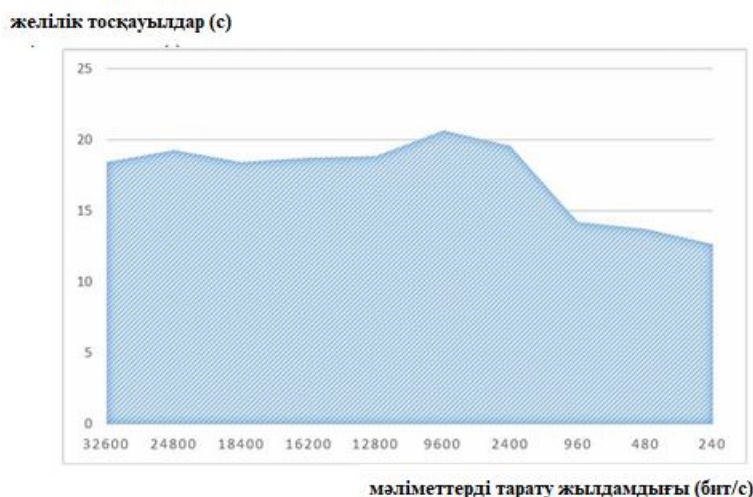
3.30-суретте деректерді жіберу жылдамдығы мен жоғалтулар арасындағы тәуелділік көрсетілген. Осы графикке сәйкес, осы архитектуралы желілер үшін деректерді жіберудің оңтайлы жылдамдығы 240 - 480 бит/с құрайды, бұл деректерді қабылданған жоғалту деңгейімен (IEEE 802.15.4g құрылғылары үшін) жіберуге мүмкіндік береді. Жоғалту деңгейі көп узелдердің болуымен және LPWAN құрылғылары үшін өткізу қабілетінің үнемі өзгеруімен байланысты, ол өз кезегінде құрылғылар арасындағы қашықтықтың өзгеруімен және RSSI параметрінің мәнімен байланысты.

3.31-суретте пакеттерді жеткізу кезінде желілік кідіріс жылдамдығының деректерді жіберу жылдамдығына тәуелділігі көрсетілген. Осы графикке сәйкес, желілік кідіріс деңгейі деректерді жіберу жылдамдығы 240 - 960 бит/с кезінде ең төмен болады, бұл LPWAN құрылғыларының буферіндегі пакеттердің кідіріс уақытын азайтумен байланысты. Желілік кідірісті азайту үшін LPWAN модулінің имитациялық моделіне тайм-аут уақытын енгізуге болады, бұл жоғалту деңгейін арттырады, бірақ орташа желілік кідірісті азайтады. Осы жағдайда желі кідірістерге төзімді деп санауға болады [310, 332], себебі желі арқылы деректерді жіберуге қатысты нақты талаптар анықталмаған.

Қол жеткізілген нәтижелерге сәйкес, жоғарыда сипатталған архитектура мен жұмыс сценарийі үшін ең оңтайлы деректерді жіберу жылдамдығы 240 - 480 бит/с болып табылады. Осы жылдамдықтарда деректерді жіберу кезінде ең аз кідіріс (11–14 с) және қабылданған жоғалту деңгейімен (3–10 %) пакеттердің жоғалуы байқалады.



3.30-сурет – Пакет шығындарының (%) деректерді беру жылдамдығына тәуелділігі графигі (бит / с)



3.31-сурет – Желілік кідірістің (с) деректерді беру жылдамдығына (бит/с) тәуелділігі

3.5 ҰҰА базасында гетерогенді шлюздерді ұйымдастыру

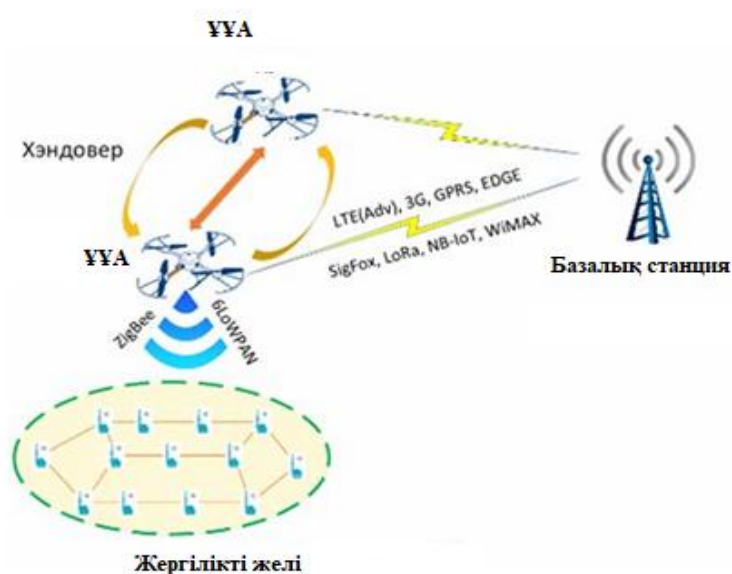
Халықаралық телекоммуникация Одағының болжамына сәйкес, 2020 жылдан бастап бесінші буын (5G, IMT) желілерін кеңінен пайдалану басталады-2020) [2]. 5G/IMT-2020 тұжырымдамасы құрылғылар арасында үздіксіз байланыс орнатуды көздейді. Өртүрлі технологиялар негізінде өзара әрекеттесетін заттар интернеті. Мұндай байланысты қамтамасыз ету үшін көптеген құрылғылары бар жер бедерін толық қамту қажет.

Осы мақсаттарға жету үшін және электрмен жабдықтау технологиясының дамуымен бірге ұшқышсыз ұшу аппараттары 2 - 3 сағатқа дейін жұмыс істей алады [3], осыған байланысты көптеген деректер технологияларын қолдай алатын мобильді гетерогенді шлюз ретінде борттағы шлюзі бар ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану керек, мысалы. Мұндай шлюз абоненттер (құрылғылар, ұялы телефондар және т.б.) мен жалпыға ортақ пайдаланылатын байланыс желісі арасындағы байланыс рөлін атқарады [7].

Жоғарыда сипатталған міндеттермен келісемін, бортында шлюзі бар ҰҰА үшін ұшқышсыз ұшу аппараттары негізінде жылжымалы гетерогенді шлюздерді ұйымдастырудың екі әдісі көзделеді [12]. Бірінші әдіс-сенсорлық түйіндері бар қозғалмайтын жер үсті желісі үшін, ал екінші әдіс - мобильді құрылғылары бар жылжымалы жер үсті желісі үшін.

Сенсорлық түйіндері бар қозғалмайтын жер үсті желісіне арналған әдіс ұшқышсыз ұшу аппараттары базалық станциялардан жеткілікті қашықтықта орналасқан сенсорлық өрістен деректерді жинап, SSOP-пен байланыс арнасын қамтамасыз еткен жағдайда қолданылады (3.32-сурет). Кезінде ұсынылған әдісті қолдану кезінде келесі мәселелер туындауы мүмкін. Біріншіден, ұшқышсыз ұшу аппараттарында батареяның жеткілікті қуатына байланысты беру технологиялары мен хаттамалары қалай таңдалатынын есептеу керек.

Екіншіден, ұшқышсыз ұшу аппараттары деректерді жинағаннан кейін қайта зарядтау станциясына (шлюзге) оралады бұдан әрі ССОП-қа деректерді беру. Оның орнына жаңа ұшқышсыз ұшу аппараттары келеді және ауысым кезінде қолмен жұмыс жасау керек. Айтуынша, ұшқышсыз ұшу аппараттарының көпшілігі тек деректерді жинайды, сондықтан өңдеу уақыты соншалықты маңызды емес. Мұндай желіні кідіріске төзімді желі ретінде қарастыра отырып, жоғарыда аталған факторлардың айтарлықтай әсерінен аулақ болуға болады.



3.32-сурет – Сенсорлық түйіндері бар қозғалмайтын жер үсті желісіне арналған әдіс



3.33-сурет – Мобильді құрылғылармен жылжымалы жер үсті желісіне арналған әдіс

Бұқаралық іс-шаралар (мерекелер, концерттер, митингілер және т.б.) өткізілген жағдайда, абоненттерге дауыстық байланыс қызметтерін және Интернетке қолжетімділікті қамтамасыз ету қажет болғанда, көбінесе осы ауданға қызмет көрсететін базалық станцияның сыйымдылығы жетіспейді. Бұл жағдайда бортында мобильді BS бар ұшқышсыз ұшақтарды пайдалану ең жылдам және тиімді (3.33-сурет).

Сол сияқты, бірінші әдіс сияқты, кейбір мәселелер туындауы мүмкін. Біріншіден, тарату технологиялары мен хаттамалары қалай таңдалатынын есептеу керек кестеде ұшатын гетерогенді шлюз негізінде жүзеге асырылуы мүмкін байланыс технологиялары қарастырылады [10]. Қазіргі уақытта қазіргі уақытта 5G/IMT-2020 желілерін іске асыруға дайын сымсыз жоғары жылдамдықты деректерді беру технологиялары жоқ. Ол үшін 10 Гбит/с дейін беру жылдамдығын қамтамасыз ететін технологиялар қолданылады. Екіншіден, базалық станция жердегі желіден өте алыс болған кезде және деректерді беру қажет болғанда, әрбір қосымша элемент кідіріс жасайды. Бұған жол бермеу үшін жаппай қызмет көрсету жүйесінің моделін жасау керек есептеулер. Үшіншіден, ұшқышсыз ұшу аппараттарында батарея бар, ол ұшып бара жатқанда таусылады базаға оралу. Осы кезде байланыс үзіліп, сыни болып табылады абоненттер байланысты жоғалтпауы немесе осыған байланысты байланыстың нашарлауын байқамауы тиіс хандовер уақыты өте маңызды [12].

3.3-кесте – Әртүрлі деректерді беру технологияларын салыстыру

Параметрлер/ технологиялар	LTE (Adv)	3G (UMTS)	EDGE	GPRS	SigFox	LoRa	NB- IoT	WiMAX
Макс. дерек беру жылдамдығы	1 Гбит/с	384 кбит/с	217,6 кбит/с	53,6 кбит/с	100 кбит/с	50 кбит/с	250 кбит/с	350 Мбит/с
Қамту ауқымы, км	100	100	100	35	50	15	35	50
Өткізу қабілеті	100 МГц	5 МГц	200 кГц	200 кГц	100 Гц	125 кГц	180 кГц	40 МГц
Кідіріс	5 мс	150 мс	710 мс	320 мс	секунд	-	-	10 мс
Қуатты тұтыну	1 күн	1 күн	1 күн	1 күн	10 жыл	10 жыл	10 жыл	7 күн

Қазіргі уақытта жоғарыда сипатталған міндеттер кешені халықаралық телекоммуникация Одағының отырыстарында белсенді талқылануда, бұл осы тақырыптың өзектілігін растайды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмысымды қорытындылай келе, бірінші бөлімде жаңа типтегі желі - ұшатын сенсорлық желілерді анықтау, сондай-ақ осы желілер үшін модельдер мен әдістер кешенін зерттеу және әзірлеу. Келесі тарауда ұшатын сенсорлық желілер дегеніміз не екенін анықтап, қойылған мақсатқа жету үшін қажетті тапсырмалар тізімін құрастырдым.

FANET желілерін және ұшатын сенсорлық желілердің ерекшеліктерін талдау нәтижесінде келесі қорытындыға келдім. Ұшатын сенсорлық желі деп, жалпы пайдалануға арналған ҰҰА-ларды пайдалану негізінде ZigBee, 6LoWPAN, Thread, RPL хаттамалары мен LPWAN отбасына жататын аз энергия тұтынатын желілер хаттамалары арқылы құрылған желіні айтады. Бұл желі сымсыз сенсорлық және объектілердің байланыс желісі құрамдас бөлігі болып табылады және жаңа қызметтерді ұсынуға арналған, сондай-ақ M2M (машинадан машинаға) өзара әрекеттесу негізінде заттар интернеті (IoT) концепциясын іске асыру мен бесінші буын байланыс желілерінде қолдануға арналған. Ұшатын сенсорлық желілердің теориялық және практикалық зерттеулері үшін жаңа бағыттар анықталды, олар осы желілерді заттар интернеті концепциясының базалық қолданбаларының бірі ретінде қарастыруды ескереді.

Зерттеу нәтижелері бойынша үшінші тарауда модельдік желілерді пайдалану негізінде теориялық және практикалық есептер кешенін шешудің әдістемесі жасалды, ол құрылған модельдік желіде белгілі болғаннан ерекшеленеді елдегі алғашқы Заттар интернеті зертханасы заттар интернетінің қосымшалары үшін, соның ішінде сенсорлық желілер, ұшатын сенсорлық желілер, тактильді интернет үшін заттай және имитациялық модельдеу жүргізу мүмкіндігі бар.

Модельде ұшатын және жердегі LSS сегменттерінің өзара әрекеттесуін автоматтандырылған тестілеуге арналған бағдарламалық-аппараттық кешен жасалды. Заттар интернеті зертханасының желілері. Жалпыға ортақ пайдаланылатын ҰҰА негізінде ұшатын сенсорлық желінің фрагментін тестілеу жүргізілді және деректерді жинау үшін сенсорлық өрістен жоғары ҰҰА ұшу биіктігінің ұтымды мәні анықталды.

Жердегі желілерден деректерді берудің әртүрлі технологияларының үйлесімділігін қамтамасыз ету үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарының бортында гетерогенді шлюздерді ұйымдастыру әдістері ұсынылды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Абакумов, П. А. Алгоритм выбора головного узла кластера сенсорной сети в трехмерном пространстве / П. А. Абакумов. // Электросвязь. — 2014. — № 4. — С. 17–19.
- 2 Акбашев, Б. Б. Защита объектов телекоммуникаций от электромагнитных воздействий: монография / Б. Б. Акбашев, Н. В. Балюк, Л. Н. Кечиев. — М.: Грифон, 2014. — 472 с.
- 3 Аль Балюши, М. М. Исследование параметров программно-конфигурируемых сетей для реализации приложений Тактильного Интернета / М. М. Аль Балюши, Р. В. Киричек // 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио. — СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2017. — С. 207–208.
- 4 Аль Бахри, М. С. Обзор внедрения технологии SigFox в государстве Оман / М. С. Аль Бахри, Р. В. Киричек // 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио. — СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2017. — С. 172–173.
- 5 Аль Бахри, М. С. Обзор методов децентрализованного хранения данных для Интернета вещей / М. С. Аль Бахри, Р. В. Киричек // 71-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио. — СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2016. — С. 190–191.
- 6 Аль Бахри, М. С. Исследование взаимодействия фрагмента беспроводной сенсорной сети с сетью связи общего пользования на базе шлюза LTE / М. С. Аль Бахри, Р. В. Киричек // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей в 2 томах. — СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 2015. — С. 174–178.
- 7 Аль-Наггар, Я. М. Алгоритм выбора головного узла кластера для всепроникающих сенсорных сетей с использованием нечеткой логики и диаграмм Вороного / Я. М. Аль-Наггар // Электросвязь. — 2014. — № 9. — С. 14–18.
- 8 Амелянович, А. В. Исследование централизованного управления архитектурной D2D-коммуникации на базе SDN / А. В. Амелянович, М. Н. Шпаков, А. С. А. Мутханна, Р. В. Киричек, А. Г. Владыко // Информационные технологии и телекоммуникации. — 2017. — Т. 5. — № 2. — С. 13–24.
- 9 Андреев, Д. В. Модельные сети для тестирования технических средств сетей связи следующего поколения. Рекомендация МСЭ-Т Q.3900 / Д. В. Андреев, Д. В. Тарасов, А. Е. Кучерявый // Электросвязь. — 2007. — № 12. — С. 12–15.
- 10 Атака дронов. Беспилотные летательные аппараты — безопасность или угроза? [Электронный ресурс] / Security News. — 2013. — Режим доступа: <http://www.secnews.ru/articles/19210.htm#axzz46abfZXXc>.

- 11 Ахмед, А. А. Образ и сравнительный анализ технологии X-Ethernet с существующими технологиями передачи данных / А. А. Ахмед, Р. В. Киричек, А. Е. Кучерявый // 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио. — СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2017. — С. 202–203.
- 12 Бакланов, И. Г. Методы измерений в системах связи / И. Г. Бакланов. — М.: Эко-Трендз, 1999. — 195 с.
- 13 Балюк, Н. В. Защита объектов информатизации от мощных электромагнитных воздействий: проблемы и решения / Н. В. Балюк, Б. Б. Акбашев, Л. Н. Кечиев // Инновационные информационные технологии. — 2013. — Т. 3. — № 2. — С. 172–179.
- 14 Балюк, Н. В. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты / Н. В. Балюк, Л. Н. Кечиев, П. В. Степанов. — М.: ООО «Группа ИДТ», 2009. — 478 с.
- 15 Барсуков, В. С. Безопасность: технологии, средства, услуги / В. С. Барсуков. — М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2001. — 496 с.
- 16 Баталов, Л. А. Исследование влияния сверхкоротких электромагнитных импульсов на процесс передачи данных в сетях Ethernet / Л. А. Баталов, Р. В. Киричек // 9-й Международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии: труды. — СПб.: СПбГЭТУ. — 2011. — С. 223–225.
- 17 Баталов, Л. А. Механизмы и последствия преднамеренных электромагнитных воздействий на передачу данных / Л. А. Баталов, М. И. Жуковский, Р. В. Киричек, Б. Н. Лазарев // Научно-технический вестник ИТМО. — 2012. — № 2 (78). — С. 103–108.
- 18 Бахтин, А. А. Метод локального восстановления маршрута в эпизодических сетях / А. А. Бахтин, В. А. Меркушев // Инженерный вестник Дона. — 2011. — Т. 17. — № 3. — С. 78–83.
- 19 Берж, К. Теория графов и ее применения. М.: Издательство иностранной литературы, 1962. — 311 с.
- 20 Zeng, Y. Wireless Communications with Unmanned Aerial Vehicles: Opportunities and Challenges / Y. Zeng, R. Zhang, T. J. Lim IEEE Communications Magazine. — 2016. — Vol. 54. — № 5. — P. 36–42.

СЫН ПІКІР
дипломдық жұмысқа

Қожаназар Сабина

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: «Қалалық ортадағы интеллектуалды телекоммуникация желілерінің архитектурасын зерттеу және талдау»

Орындалды:

а) графикалық бөлім 3 парақ;
б) түсініктеме 70 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Студенттің диплом жұмысы заманауи ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың өзекті бағыттарының біріне – ұшатын сенсорлық желілерге (FANET) арналған. Жұмыста FANET желілерінің теориялық негіздері, құрылымы, жұмыс істеу принциптері, сондай-ақ IoT (Заттар интернеті) пен бесінші буын байланыс жүйелеріндегі қолдану мүмкіндіктері жан-жақты зерттелген.

Бірінші бөлімде зерттелетін желілердің негізгі сипаттамалары беріліп, FANET технологиясының ZigBee, 6LoWPAN, RPL, LPWAN сынды хаттамалармен өзара әрекеттесу қабілеті дұрыс сипатталған. Жұмыстың теориялық бөлігі терең талдау мен салыстырмалы сипатта орындалған, бұл зерттеу ауқымының кеңдігін көрсетеді.

Екінші бөлімде студент FANET желілерін IoT экожүйесінің маңызды компоненті ретінде қарастырып, оларды қолданудың практикалық маңыздылығын негіздеген. Қойылған мақсатқа жету үшін нақты міндеттер қойылып, олар бірізді түрде шешілген.

Үшінші бөлімде модельдік зерттеулер мен тәжірибелік сынақтар жүргізілген. Бұл жұмыстың ерекшелігі – модельдеу нәтижелерінің нақты техникалық құрылғылар арқылы тексерілгені және автоматтандырылған тестілеуге арналған бағдарламалық-аппараттық кешеннің жасалуы. Сонымен қатар, зерттеу барысында жердегі және әуедегі сегменттердің өзара әрекеттесуінің тиімділігі де қарастырылып, практикалық нәтижелер алынған.

Жұмысты бағалау

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

Рецензент

ҚазҰАЗУ, доктор PhD.,

қауым профессоры

Әлібек Н.Б.

«20» 05 2025 ж. ЖАЛПЫ
ФАКУЛЬТЕТІ

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ
дипломдық жұмысқа

Қожаназар Сабина

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: «Қалалық ортадағы интеллектуалды телекоммуникация желілерінің архитектурасын зерттеу және талдау»

Ұсынылып отырған диплом жұмысы заманауи ақпараттық-коммуникациялық технологиялар саласындағы өзекті бағыттардың бірі — ұшатын сенсорлық желілер (FANET) тақырыбына арналған. Зерттеу барысында FANET желілерінің теориялық негіздері, архитектуралық ерекшеліктері, жұмыс істеу принциптері және оларды IoT (заттар интернеті) пен бесінші буын (5G) байланыс жүйелерінде қолдану мүмкіндіктері жан-жақты талданған.

Жұмыстың бірінші бөлімінде FANET технологиясының негізгі сипаттамалары мен протоколдарымен (ZigBee, 6LoWPAN, RPL, LPWAN) өзара әрекеттесу мүмкіндіктері ғылыми тұрғыдан негізделген. Бұл бөлімде жүргізілген салыстырмалы талдаулар мен теориялық пайымдаулар зерттеудің тереңдігі мен тақырыпты толық игерілгенін көрсетеді.

Екінші бөлімде FANET желілерінің IoT экожүйесіндегі орны мен оларды қолданудың практикалық маңыздылығы қарастырылған. Студент тарапынан нақты мақсаттар қойылып, соларға сәйкес міндеттер жүйелі түрде шешілген. Бұл зерттеу барысында автордың техникалық-аналитикалық ойлау қабілетінің жоғары екендігін көрсетеді.

Үшінші бөлім жұмыстың ең маңызды және практикалық бөлігін құрайды. Бұл бөлімде модельдік зерттеулер жүргізіліп, олардың нәтижелері нақты техникалық құрылғылар көмегімен тексерілген. Сонымен қатар, автоматтандырылған тестілеуге арналған бағдарламалық-аппараттық кешеннің жасалуы зерттеудің қолданбалы бағытын айқындай түседі.

Жұмысты бағалау

Студент Қожаназар Сабина дипломдық жұмысты жазу барысында жетекші нұсқаулығымен өз бетінше жұмыс істеу қабілетін көрсетті. Дипломдық жұмыс "95/A+/ өте жақсы" деп бағаланды, ал Қожаназар Сабина 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасының "Ақпараттық және коммуникациялық технологиялар" саласының бакалавры дәрежесіне сай деп санаймын.

Ғылыми жетекші
ЭТЖҒТ каф. қауымд. профессоры
PhD.

 К.Н.Тайсариева
«28» 05 2025 ж.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Қожаназар Сабина

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Қалалық ортадағы интеллектуалды телекоммуникация желілерінің архитектурасын зерттеу және талдау

Научный руководитель: Кырмызы Тайсариева

Коэффициент Подобия 1: 6.9

Коэффициент Подобия 2: 3.3

Микропробелы: 7

Знаки из других алфавитов: 3

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

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

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-05-02

Дата



Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Қожаназар Сабина

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Қалалық ортадағы интеллектуалды телекоммуникация желілерінің архитектурасын зерттеу және талдау

Научный руководитель: Кырмызы Тайсариева

Коэффициент Подобия 1: 6.9

Коэффициент Подобия 2: 3.3

Микропробелы: 7

Знаки из других алфавитов: 3

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

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

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-05-02

Дата

Сүңғат Марқсұлы

проверяющий эксперт

**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: Қожаназар Сабина

Тақырыбы: Қалалық ортадағы интеллектуалды телекоммуникация желілерінің архитектурасын зерттеу және талдау

Жетекшісі: Кырмызы Тайсариева

1-ұқсастық коэффициенті (30): 6.9

2-ұқсастық коэффициенті (5): 3.3

Дәйексөз (35): 0.8

Әріптерді ауыстыру: 3

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 7

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:

2025-05-02

Күні



Кафедра меңгерушісі

