

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Тұрсынбай Жанель Сатыбалдықызы

«Ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) байланыс арнасындағы сигнал сапасын жақсарту мүмкіндіктерін талдау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Алматы 2025 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

Е.Таштай

«30» 05 2025ж.



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) байланыс арнасындағы сигнал сапасын жақсарту мүмкіндіктерін талдау»

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Орындаған:

Т.Т.Т.

Ж.С. Тұрсынбай

Пікір беруші

Алматы энергетика және

байланыс университеті

профессоры. т.ғ.к.,

Чезимбаева К.С.

Чезимбаева К.С.

«29» мамыр 2025 ж.

Ғылыми жетекші

ҚазҰТЗУ, Доктор PhD,

ЭТЖҒТ кафедрасының

қауымдастырылған профессор

Хабай А

«26» 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 ғарыш технологиялар кафедрасы

6B06201 –Телекоммуникация



ЭТЖЕТ Кафедра меңгерушісі

Е.Таштай

«03» 02 2025ж

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы **Тұрсынбай Жанель Сатыбалдықызы**

Тақырыбы **«Үшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) байланыс арнасындағы сигнал сапасын жақсарту мүмкіндіктерін талдау»**

Университет ректорының «29» қаңтар 2025 ж. №26 бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «30» сәуір 2025 ж.

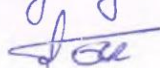
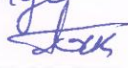
Дипломдық жұмысқа арналған бастапқы деректер: Үшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) әуе базалық станция ретінде қолдану арқылы сымсыз байланыс сапасын арттыру стратегияларын талдау; 1) ҰҰА мен жердегі пайдаланушылар арасындағы байланыс арналарының сипаттамаларын талдау 2) ҰҰА базалық станция сигналының камту аймағын анықтау; 3) Радиожиілік таралу модельдерін таңдау.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі: 1) Әуе базалық станция ретінде ҰҰА қолданудың артықшылықтары мен шектеулері; 2) ҰҰА сигналының камту радиусы, сонымен қатар геометриялық және радиотехникалық параметрлердің байланыс сапасына әсерін талдау; 3) Matlab бағдарламалық ортасында ҰҰА сигналының камту аймағын моделдеу, ұсынылған әдіс негізінде аз ҰҰА аппаратымен максималды пайдаланушыны камту әдісін анықтау.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 1) Choi, E.H. Intersection-related crashes: An on-scene analysis of contributing factors . Online Resource. Retrieved from <https://trid.trb.org/view/1083638> (Accessed on January 10, 2021).

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Үшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) байланыс арнасындағы сигнал сапасын жақсарту мүмкіндіктерін талдау	04.01.2025-01.02.2025	Орындалған 
Байланыстың сигнал сапасын жақсарту үшін ҰҰА базалық станция ретінде құру	01.02.2025-01.03.2025	Орындалған 
ҰҰА-ын әуе базалық станциялар ретінде орналастыруды онтайландыру Matlab ортасында модельдеу	01.03.2025-30.05.2025	Орындалған 

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

қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (АӨТ, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Хабай А, PhD., ЭТЖҒТ қауымдастырылған профессор	12.05.25	
Теориялық ақпарат	Хабай А., PhD., ЭТЖҒТ қауымдастырылған профессор	12.05.25	
Норма бақылау	Досбаев Ж.М. ЭТЖҒТ, PhD., аға оқытушысы	19.05.25	

Ғылыми жетекшісі



Хабай А

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Тұрсынбай Ж.С

«29» мамыр 2025 ж.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) әуе базалық станция ретінде сымсыз байланыс жүйелерінде қолдану мүмкіндіктеріне талдау жасалды. Жердегі пайдаланушылармен байланыс арналарының сипаттамалары, көрінетін/көрінбейтін арналардың ықтималдығы және таралу модельдері қарастырылды. Геометриялық және радиотехникалық параметрлердің, сигналдың қамту аймағының байланыс сапасына әсері бағаланды.

Matlab ортасында жүргізілген симуляция нәтижелері ҰҰА-ны пайдаланушылар шоғырланған аймақтарға бейімдеп орналастырудың тиімді екенін көрсетті. Сонымен қатар, зерттеу болашақта жүктеме теңгерімі, ресурстық шектеулер және интерференцияны ескеру қажеттігін көрсетті.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе исследуются возможности применения БПЛА в качестве воздушных базовых станций в беспроводных системах связи. Проанализированы характеристики каналов между БПЛА и наземными пользователями, вероятность наличия прямой/непрямой видимости и модели распространения сигнала. Оценено влияние геометрических и радиотехнических параметров на качество связи.

Результаты моделирования в Matlab показали эффективность размещения БПЛА в зонах скопления пользователей. Также выявлена необходимость учитывать баланс нагрузки, ограничения ресурсов и интерференцию при дальнейших исследованиях.

ABSTRACT

This thesis explores the use of UAVs as aerial base stations in wireless communication systems. It analyzes the characteristics of channels between UAVs and ground users, including LOS/NLOS probabilities and signal propagation models. The impact of geometric and radiotechnical parameters on signal quality is evaluated.

Matlab simulation results demonstrate the efficiency of deploying UAVs over densely populated user areas. The study also highlights the need to consider load balancing, resource constraints, and interference in future research.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) байланыс арнасындағы сигнал сапасын жақсарту мүмкіндіктерін талдау	9
1.1 ҰҰА-ларды орналастыруды оңтайландыру	9
1.2 Жекелеген ұшқышсыз ұшу аппараттары жүйелері	13
1.3 Көптеген ҰҰА жүйелері	15
1.4 Кооперативті ҰҰА на негізделген тапсырмаларды орындау	19
1.5 Оппортунистік ретрансляция желілері	21
1.6 Көпқабатты ҰҰА желілері	22
1.7 Бір мақсатта жұмыс жасайтын ҰҰА топтары	24
1.8 ҰҰА БС негізінде жердегі сымсыз сенсорлық желіні құру	26
1.9 ҰҰА желілілері жаһандық байланысты қамтамасыз етуге бағытталған	29
2 Байланыстың сигнал сапасын жақсарту үшін ҰҰА базалық станция ретінде құру	34
2.1 Байланыстың сигнал сапасын жақсарту үшін ҰҰА атқаратын қызметі	34
2.2 Күрделі жағдайларда байланысты қамтамасыз ету үшін ҰҰА орнату	36
2.3 ҰҰА тар арасындағы байланыстың арналарының моделі	37
2.4 ҰҰА шағын масштабтағы әлсіреу моделі	39
2.5 Бағытталған сигнал беру және арна жағдайына бейімделу әдістері	39
2.6 Аймақты тиімді толтыру және ҰҰА орналастыру стратегиясы	40
3 ҰҰА-ын әуе базалық станциялар ретінде орналастыруды оңтайландыру Matlab ортасында модельдеу	44
3.1 ҰҰА қамтамсыз етуге арналған желіге қатысты болжам	44
3.2 БА-ҰҰА орналасуын оңтайландыруға қатысты мәселенің сипаттамасы	46
3.3 Ұшқышсыз ұшу аппаратын базалық станция ретінде ресурстарын бөлу алгоритмін құру	48
3.4 ҰҰА БС ретінде құрылған модель нәтижесіне талдау жасау	51
Қортынды	56
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	57

КІРІСПЕ

Сымсыз байланыс саласында ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) ұялы желі қызметтерін жетілдіруге бағытталған маңызды технология ретінде де танылуда. Бұл әуе платформалар жоғары биіктікте орналасқан базалық станциялар ретінде жұмыс істей отырып, желі қамту аймағын кеңейтуге және өткізу қабілетін арттыруға елеулі үлес қосады. Әсіресе, жердегі инфрақұрылымы нашар аймақтарда мұндай құрылғылар тиімді болып табылады, өйткені олар сигнал таралуын оңтайландыру үшін оңай бағыттталып, жоғары сапалы қызмет ұсынуға мүмкіндік береді. ҰҰА-лар халық тығыз шоғырланған аумақтарда (мысалы, ірі іс-шаралар кезінде) немесе төтенше жағдайлар кезінде жердегі желілер істен шыққанда жедел әрі сенімді ұялы байланыс қызметін көрсете алады [1].

Соңғы жылдары дрондар индустриясы едәуір дамып, олардың түрлі салаларда қолданылу аясы кеңейді [2]. Сымсыз желілер контекстінде ҰҰА-лар ұшатын базалық станциялар (ҰБС) ретінде қызмет етіп, желі қамтылуын кеңейтіп, қызмет көрсету сапасын жақсартуда қолданылады [3]. ҰҰА-ның негізгі міндеті апаттар (жер сілкінісі, су тасқыны) кезінде немесе инфрақұрылым зақымданған жағдайда кең ауқымды желі қызметін қамтамасыз ету. Мұндай жағдайда олар тез әрі сенімді байланыс орната алады [4]. Сонымен қатар, олар жер үсті станцияларын орнату тиімсіз немесе мүмкін емес жағдайларда таулы, күрделі аумақтарда, сондай-ақ спорттық немесе мәдени шаралар кезінде қолданылады [5].

ҰҰА-лар бірқатар артықшылықтарға ие мәселен оларды орналастыру жеңіл әрі арзан, сонымен қатар, тікелей көріну ықтималдығы жоғары [6]. Олардың мобильділігі сапалық көрсеткіштерін жақсы, сигнал кедергілерін азайтуға мүмкіндік береді. Бұдан бөлек, қозғалыс еркіндігі желі қолданушыларының санын арттырып, жоғары деректер жылдамдығын қамтамасыз етеді [7].

Сымсыз желілерде ҰҰА қолданудың басты артықшылықтары мыналар: дәстүрлі инфрақұрылыммен салыстырғанда тез және шығынсыз орналастырылады; қолжетімсіз немесе қауіпті аймақтарда жұмыс істей алады, бұл төтенше жағдайлар мен апаттар кезінде байланыс орнатуға өте қолайлы; қажеттілікке қарай орын ауыстырып, желіге жүктеме түскен тұстарды тиімді қамтамасыз ете алады. Сонымен қатар, олар жоғары өткізу қабілетін қолдайды және желінің орнықтылығын арттыра отырып, балама байланыс арналарын ұсынады [8].

ҰҰА орналастыру ортасы — бұл көпқырлы әрі күрделі кеңістік. Бұл орта екі өлшемді және үшөлшемді кеңістікте сипатталады, бұл өз кезегінде ҰҰА-ны тиімді орналастыру мен маневр жасау стратегияларына әсер етеді. Әуе-жер байланыс арнасы моделі бұл контекстте негізгі рөл атқарады, өйткені ол ҰҰА мен

жердегі қабылдағыштар арасындағы сигнал таралу жолдарын анықтайды. Бұл сигналдың әлсіреуін, көлеңкелеу әсерін, көпсәулелі бәсеңдеуді және Дóпплер эффектiсiн, яғни ҰҰА мен жердегі құрылғылардың салыстырмалы қозғалысына байланысты өзгерістерді ескереді [9].

Әуе және жер байланыста сигналдың әлсіреу дәрежесі негізінен ҰҰА биіктігі мен қабылдағышқа дейінгі арақашықтыққа тәуелді. Жоғары биіктіктерде көрінбейтін жолды жақсартып сигналдың әлсіреуін азаяды, бірақ сонымен бірге бос кеңістіктегі сигнал жоғалуы артуы мүмкін. Көлеңкелеу әсері ғимараттар немесе ағаштар сияқты кедергілерден туындайды, ал көпсәулелі бәсеңдеу түрлі беттерден шағылған сигналдардың интерференциясынан болады [9].

ҰҰА әдетте аккумулятормен жұмыс істейді, сондықтан олардың энергия ресурстары шектеулі. Осыған байланысты оларды тиімді орналастыру және қозғалыс траекторияларын оңтайлы жоспарлау маңызды. 3D орнын анықтау мен траекторияны жобалаудан бөлек, ҰҰА-ны орналастыру кезінде сигналының күштілігіне байланысты туындайтын интерференция мен 5G желісіндегі арна модельдеу ерекшеліктерін де ескеру қажет [10]. Осыған байланысты дипломдық жұмыста келесі міндеттер қарастырылды:

- ҰҰА-ны орналастыру және траекторияны оңтайландыруға қатысты заманауи зерттеулерге жан-жақты шолу жасау.

- Қамту аумағын кеңейту, өткізу қабілетін арттыру және энергия тиімділігін қамтамасыз ету сияқты негізгі мақсаттар, интерференцияны азайту, кешігуді төмендету және шығындарды азайту сияқты қиындықтарды жіктеу.

- Арна модельдерін құрып мобильділік модельдері, желі архитектуралары мен шектеулерді талдай отырып, олардың шешімдерге әсерін талдау.

- Аналитикалық шешімдер, сандық модельдеу және тәжірибелік тесттер арқылы ҰҰА негізіндегі базалық станция оңтайландыру нәтижелерін бағалау тәсілдерін ұсыну.

- Ұялы желіні жеңілдету, апат кезіндегі байланыс, әуе базалық станциялар сияқты нақты қолдану жағдайларын сипаттау.

1 Ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) байланыс арнасындағы сигнал сапасын жақсарту мүмкіндіктерін талдау

1.1 ҰҰА-ларды орналастыруды оңтайландыру

Соңғы уақытта сымсыз желілердегі ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) орналастыру мәселесі ғылыми әдебиеттерде кеңінен зерттелуде. Жалпы алғанда, бұл зерттеулер бірнеше өлшем бойынша жіктеледі: сигналдың әлсіреу деңгейі, байланыс арнасының сипаттамасы (тікелей көрінетін немесе көрінбейтін мақсатты аймақта қолданылатын ҰҰА саны, энергия шектеулері және ұяшықтар арасындағы интерференция).

Сонымен қатар, нақты қолдану жағдайларында, әсіресе қалалық жерлердегі мобильді желі пайдаланушылары әртүрлі биіктіктерде орналасқан. Базалық станциялар мен ҰҰА-ларда орнатылған антенналардың биіктіктерін ескере отырып, пайдаланушылардың да орналасу биіктігі маңызды фактор болып табылады. Сондықтан бұл шолуда қосымша категория ретінде пайдаланушылардың биіктігі де қарастырылады.

Осыған байланысты, әрбір аталған категория аясында ғылыми мақалалар мен бұрынғы зерттеулерге жан-жақты талдау жүргізіліп, негізгі және маңызды еңбектер сараланып көрсетілді.

Пайдаланушылардың әртүрлі таралуын ескере отырып, үш өлшемді көп ҰҰА жүйесін орналастыру тәсілі ұсынылған, оның мақсаты қызмет көрсету сапасының талаптарын қамтамасыз ету. Бұл тәсіл арналық интерференция жағдайында барлық жердегі пайдаланушылар үшін қолжетімді сигнал қуатын барынша арттыруды көздейді. Бұл әдіс екі жеке алгоритмге бөлінеді.

Бірінші алгоритмде ҰҰА x және y координаталарын анықтау үшін mean-shift кластерлеу әдісі қолданылады. Бұл ретте пайдаланушылардың орналасуы туралы алдын ала ақпарат (мысалы, GPS мәліметтері) пайдаланылады. ҰҰА-лар максималды пайдаланушылар санымен байланыс орната алатындай етіп орналастырылады. Координаталар анықталғаннан кейін, биіктік және таратқыш қуаты бөлек оңтайландырылады. Бұл есеп дөңес емес оңтайландыру санатына жатады, сондықтан шектеулерді жуықтау үшін бірізді дөңестендіру әдісі қолданылады.

Екінші алгоритмде ҰҰА биіктігі мен қуат беруді бірлесіп оңтайландыру үшін блоктық координаталық градиент төмендету әдісі пайдаланылады. Алынған шектеулер нақты мәндерге жуықтатылып, есептің шешіміне жинақталатыны дәлелденеді [11].

БС ҰҰА желілерінің энергия тиімділігін арттыру мақсатында, көрінетін жарықпен байланыс технологиясымен жабдықталған ҰҰА-ын орналастыру мәселесі қарастырылған. Бұл модельде ҰҰА жердегі пайдаланушыларға бір мезгілде байланыс қызметін және жарықтандыруды қамтамасыз етеді. Алайда,

оптикалық сымсыз байланыс арналарының жұмысына қоршаған ортаның жарығы әсер ететіндіктен, ҰҰА тиімді орналастыру үшін мақсатты аймақтағы жарық таралуының ерекшеліктерін ескеру аса маңызды.

Аталған мәселе оңтайландыру есебі ретінде тұжырымдалып, ҰҰА орналастыру, пайдаланушыларды бөлу және энергия тиімділігін бірлесіп оңтайландыруды көздейді. Бұл ретте пайдаланушылардың байланыс пен жарықтандыруға деген талаптары да есепке алынады. Осы мақсатта авторлар нейрондық желілерін біріктіретін алгоритм ұсынады. Бұл әдіс ҰҰА ұзақ мерзімді және болашақтағы жарықтандыру үлгілерін модельдеуге және болжауға мүмкіндік береді.

Алынған болжаулар негізінде бастапқы дөңес емес оңтайландыру есебі екі ішкі есепке бөлінеді, олардың әрқайсысы төмен есептік күрделілігі бар итерациялық алгоритммен шешіледі. Осы тәсілдің негізінде дрондарды орналастыру және пайдаланушыларды үлестіру жүзеге асырылады, бұл жалпы сигнал беру қуатын минимизациялауға бағытталған [12].

ҰҰА-ны орналастыруды және сигналдың әлсіреу көрсеткішін бірлесіп оңтайландыру әдісі ұсынылады, мұнда үш өлшемді кеңістікте ҰҰА-лардың орналасу нүктелері анықталады. Сонымен қатар, қалалық емес жерлердегі түрлі биіктікте орналастыру жағдайларына сәйкес әлсіреу көрсеткішінің мәндері жеке-жеке оңтайландырылады. Зерттеулер өлшемді қамту және тапсырмаларды бөліп өңдеу мәселелерін бір мезгілде шешуді көздейді. Бұл жұмыс ҰҰА бұлттық инфрақұрылымын пайдалана отырып, заттар интернеті (IoT) қызметтерін белгілі бір кідіріс шектерінде қамтамасыз етуге бағытталған. Негізгі аралас бүтін санды есепті шешу үшін ион қозғалысына негізделген оңтайландыру алгоритмі пайдаланылған тиімді эвристикалық шешім ұсынылады. Ол тағы [13] еңбегінде ҰҰА орналастыру мен пайдаланушыларды үлестіру мәселесі қарастырылады, мұнда жүйелік жүктемені тең бөлу мақсаты қойылады. Алдымен ҰҰА орналастыру үшін кластерлеу әдісі енгізіледі, кейіннен пайдаланушыларды бөлу стратегиясы ұсынылады. Бұл стратегия әрбір ішкі аймақтағы ең жоғарғы трафикті азайтуға бағытталған. Тапсырма өткізу қабілетіне және ішкі аймақтардың геометриялық пішіндеріне байланысты шектеулермен шешіледі. ҰҰА орналастыру алгоритмі жүктемені қайта үлестіру үшін артқа іздеу әдісін пайдаланады. Соңында әрбір ҰҰА-ның биіктігі жүйелік энергия тұтынуды азайту үшін реттеледі. Қолданылған орналастыру мен үлестіру алгоритмдері негізінде алынған нәтижелер оңтайлы шешімге жақын.

Өртүрлі сапалық талаптары бар пайдаланушылар үшін ҰҰА қамту аумағын максимизациялайтын алгоритм ұсынылады [14]. Ал пайдаланушыларға ұсынылатын мәліметтер тарату жылдамдығының қосындысын максимизациялауға бағытталған. Бұл мақсат тікелей байланыс шектеулері мен әділдік талаптарын ескере отырып жүзеге асырылады. Сонымен қатар, жұмыста

дөңес емес математикалық модельді дөңеске жуықтау үшін арнайы алгоритм ұсынылған[15].

Заттар интернеті (IoT) құрылғыларына арналған сенімді әрі энергияны үнемдейтін байланыс жүйесін қамтамасыз ету мақсатында ҰҰА-ларды динамикалық орналастыру мен олардың қозғалысын басқаруға арналған құрылым ұсынылған [16]. Бұл жүйеде 1 км × 1 км аумақта біркелкі таралған IoT құрылғыларынан деректер жинау үшін төрт ҰҰА орналастырылады.

Оңтайландыру теориясының құралдарын пайдалана отырып, ҰҰА-лардың үш өлшемдегі оңтайлы орындары мен ҰҰА-құрылғы арасындағы тәуелділіктер анықталады. Жүйенің негізгі мақсаты жоғары сенімді байланысты қамтамасыз ете отырып, барлық құрылғылардың жоғарғы арна бойынша беретін сигнал қуатын минимизациялау.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, ҰҰА тиімді орналастыру арқылы энергияны үнемдейтін телекоммуникация жүйесін ұйымдастыруға болады. Бұл жүйеде сенсорлар әртүрлі уақыт аралықтарында белсендіріліп отырады, сондықтан ҰҰА жаңа оңтайлы позицияларын үнемі анықтап отыру қажеттілігі туындайды.

Сонымен қатар, жүйе құрылғылардың іске қосылу уақыттарын, жаңа нүктелерді есептеуге кететін уақытты және ҰҰА бір нүктеден екіншісіне қозғалу қабілетін де анықтайды. Жұмыстың бірінші фазасында ҰҰА оңтайлы позициялары екі кезеңмен анықталады: 1) алдымен ҰҰА бастапқы орны берілген деп есептеліп, құрылғылар жіктеледі және оларды энергия шығынын азайту қағидасы бойынша ҰҰА тіркейді. 2) Кейіннен бұл жіктелу сақтала отырып, ҰҰА үш өлшемдегі нақты орналасу координаталары оңтайландырылады. Бұл екі кезең қайталанып орындалады, яғни жүйе ҰҰА позициясын үнемі жетілдіріп отырады. Ал екінші фазада, әр түрлі уақыттарда алынған ҰҰА позициялары негізінде орнатылады олар арасындағы бағыттар (маршруттар) құрылады.

Ғылыми әдебиеттерде кейбір зерттеулер мәселені тек бір ҰҰА қолдану арқылы шешуді қарастырған. Мұндай жұмыстарда бүкіл жүйе бойында жалғыз ғана UAV орналастырылады, және сол бір дронның оңтайлы орнын анықтау арқылы максималды пайдаланушыны қамту мақсаты қойылады. Бір дронмен жұмыс істеу есебі, әдетте, бірнеше дронның орналасуын бір мезгілде анықтауға қарағанда айтарлықтай жеңіл болып келеді. Алайда, басқа зерттеулерде, мысалы [17] жұмысында, мәселе бірнеше ҰҰА қатысуымен шешіледі және бірден бірнеше дронның орналасу нүктелері анықталады. Көп ҰҰА қатысатын зерттеулер екі негізгі санатқа бөлінеді:

Төтенше жағдайларда пайдалануға арналған, қозғалыс қабілеті мен тиімділігі шектеулі бірнеше ҰҰА-ны сымсыз байланыс жүйесіне орналастыру мәселесі қарастырылады. Мұнда ҰҰА орналасу орындары, пайдаланушыларды үлестіру және жердегі пайдаланушылардың таратқыш қуаты бірлесіп

оңтайландырылады. Мақсат жердегі барлық пайдаланушылар үшін энергия тиімділігін барынша арттыру.

Сондай-ақ, UAV істен шыққан немесе батареясы таусылған жағдайда, басқа дрондардың энергия шығыны ең аз болатын қозғалыс стратегиясы да қарастырылады. Бұл оңтайландыру есептерін шешу үшін авторлар Successive Convex Approximation (SCA) әдісіне негізделген баламалы алгоритм ұсынады.

ҰҰА жердегі пайдаланушыларға арналған аэро базалық станциялар ретінде қолданылуы қарастырылған және жердегі тыңшыларға қарсы әрекет ету үшін ҰҰА джаммерлер арқылы кооперативті кедергі жасау ұсынылған. Бұл жұмыс ҰҰА траекторияларын, жіберу қуатын және джамминг қуатын оңтайландыру үшін көп агентті тереңдетілген күшейтетін оқыту (КАТКО) әдісін қолданды.

ҰҰА траекторияларын, пайдаланушылармен байланысты және жердегі қолданушылардың жіберу қуатын оңтайландыру арқылы әділдікке негізделген өткізу қабілетін арттыру мәселесі қаралған[18]. Бұл жұмыс ҰҰА базалық станциялар көмегімен жүзеге асырылатын байланыста әділдік пен өткізу қабілеті арасындағы тепе-теңдікті сақтау маңыздылығын атап өтіп, ҰҰА алгоритмін ұсынды. Бұл алгоритм де КАТКО негізінде құрылған. Сонымен қатар, шешім қабылдаудағы белгісіздікті азайту үшін нейрондық желілерді ортақ пайдалану тәсілі ұсынылды.

Еңбегінде энергия үнемді траекториялар зерттеліп, жүктемені теңестіру үшін күшейтілген оқыту әдісі қолданылған [19]. Бірнеше тыңшының қатысуындағы қауіпсіз байланыс мәселесін қарастырып ҰҰА джаммерлер мен жасанды шу сигналдарын қолдануды ұсынады [20].

Жұмысы өткізу қабілеті мен қамту аумағы қатарында әділдікті де ескеріп, әділ өткізу қабілетін оңтайландыруға арналған ҰҰАБ алгоритмін енгізді. Сонымен қатар, бөлінген шешім қабылдау үшін нейрондық желілерді бөлісу ұсынылды [21].

ҰҰА қозғалмалы реле ретінде қолданылып, жердегі пайдаланушылар мен макро базалық станция арасында байланыс орнату үшін траекторияны күшейтілген оқыту арқылы оңтайландыру тәсілі ұсынылды[22].

Жердегі тыңшылар тарапынан тыңдалу мәселесі қарастырылып, кооперативті кедергі жасау және көп агентті күшейтілген оқыту әдістері қарсы әрекет ретінде ұсынылды . ҰҰА көмегімен тиімді сымсыз байланыс құруды зерттеп, қамту аймағы, өткізу қабілеті және әділдік арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етуге бағытталған. ҰҰА арқылы қамту кезінде MADRL әдісі қолданылып, әділ өткізу қабілеті, қамту және ұшу күйі есепке алынған.

ҰҰА байланыс жүйелері мен оларды тереңдетілген оқыту және бөлінген тізбек (distributed ledger, DL) технологиялары арқылы оңтайландыру жөніндегі қазіргі ғылыми жұмыстармен қатар, көп агентті желілік қосымшалар саласындағы жетістіктер де маңызды. Бұл салада атап өтуге болатын

зерттеулердің бірі [23] жұмысында қарастырылған. Зерттеу көп агентті жүйелерде ұжымдық әрекеттерді орындау мүмкіндіктері мәселесін шешуге бағытталған. Онда уақыт бойынша үздіксіз агенттер желісіндегі шектеулер аясында ұстап тұру (containment) және келісімге келу (consensus tracking) мәселелері қарастырылған.

Осы зерттеулер ҰҰА көмегімен жүзеге асырылатын байланыс жүйелерінің тиімділігін, қауіпсіздігін және ауқымдылығын арттыруға бағытталған. Дегенмен, ҰҰА жерге дейінгі байланысты зерттеулерде бірқатар шектеулер бар: әділдіктің жеткіліксіз ескерілуі, күрделі құрылым, сенімділік, қауіпсіздік, құпиялылық және масштабталу мәселелері. Бұған қоса, төтенше жағдайларда бірнеше пайдаланушыны қолдауға бағытталған әдістердің жеткіліксіздігі байқалады. Мұндай жағдайларда тең дәрежелі қызмет көрсету қамтамасыз етілуі тиіс.

ҰҰА арасында инфрақұрылымға тәуелсіз тұрақты байланысты сақтау үшін инновациялық тәсілдер қажет. Қазіргі таңда қолданылып жүрген орталықтандырылған әдістер ауқымдылық пен күрделілік мәселелерін тудырады, сондықтан икемді және масштабталатын ҰҰА байланыс жүйелерін әзірлеу өзекті. Осыған байланысты, ҰҰА байланыс жүйелерін жетілдіру мақсатында терең оқыту (DL) және көп агентті күшейтілген оқыту (MADRL) әлеуеті зерттелуде.

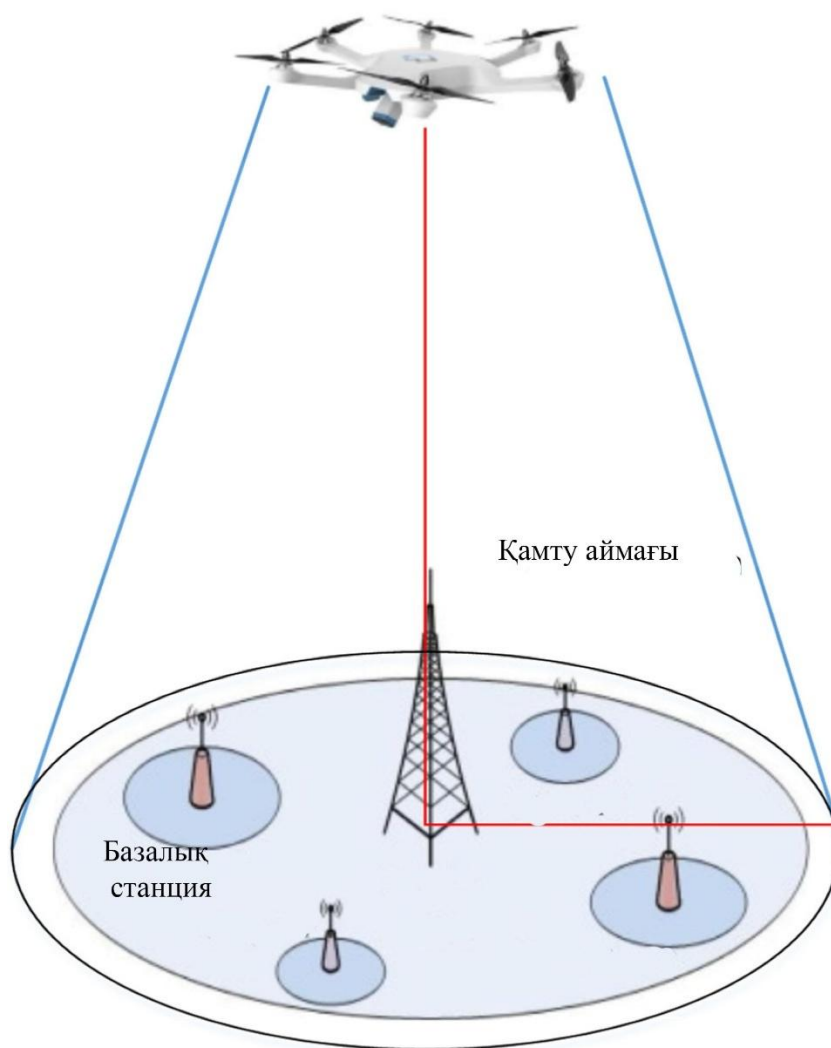
1.2 Жекелеген ұшқышсыз ұшу аппараттары жүйелері

Жекелеген ҰҰА жүйелері шалғайдағы нысандарды бақылау үшін навигация және басқару мақсатында пайдаланылады, әсіресе географиялық тұрғыда белгісіз аумақтар мен ұшу жағдайларында, ұшқыштардың жоғалу қаупін болдырмау үшін. Жекелеген ҰҰА жүйесі желіде тек бір ғана ҰҰА бар дегенді білдірмейді, бұл желіде бірнеше ҰҰА болуы мүмкін. Бұл жүйеде бұл 1.1-суретте базалық станциясы ретінде жұмыс жасайтын ҰҰА (БС ҰҰА) ұялы желі жасушаларын қамтитын қамту аймағының мысалы көрсетілген көрсетілген. Жердегі түйін орталықта орналасқан және ҰҰА онымен тікелей байланыса алады. Осылайша, бұл ҰҰА байланыс жүйесі тек қана ҰҰА мен инфрақұрылым арасындағы байланысқа негізделген.

Сонымен қатар, көптеген зерттеулер апаттан кейінгі көмек көрсетуге арналған. Мысалы авторлар ҰҰА мен жердегі көліктерге арналған желі архитектурасын ұсынды, онда ұшқышсыз аппараттар мен жердегі көлік құралдары әуе-жер байланысы арқылы өзара ақпарат алмаса алады. Бұл жүйедегі ҰҰА тек ақпарат жинаумен ғана шектелмей, сонымен қатар, жердегі көліктер арасындағы байланыс үзіліп қалған жағдайда релелік станция ретінде де жұмыс істей алады. Бұлтты есептеуге негізделген ҰҰА жүйесін қарастырып, ұшқышсыз жерүсті көліктерімен ынтымақтастықты жүзеге асыруға мүмкіндік

беретін сәйкестендірудің қайталанатын алгоритмін құрастырып, енгізді. Бұл схема ҰҰА тиімділігін арттырып, орташа кідірісті азайтуға мүмкіндік берді.

Ұшқышсыз ұшу аппаратына орнатылған базалық станция



1.1-сурет – Жекеленген БС ҰҰА станциямен байланысы

Хи және басқалар апат аймағынан ақпаратты жедел алуға мүмкіндік беретін ҰҰА жүйесінің үлгісін әзірледі; бұл жүйе түрлі ажыратымдылық параметрлерімен апат орнындағы суреттерді түсіре алады және ол қытайдың Сычуань провинциясындағы Лушаньда болған 7.0 балдық жер сілкінісі кезінде қолданылды[24]. Бұл жұмысында авторлар ҰҰА мен Заттар интернеті (IoT) құрылғыларының бірлескен өңдеуіне негізделген деректер жинау құрылымын сипаттайды. Ал байланыс инфрақұрылымы қолжетімсіз болған жағдайда, жергілікті желілерге қолдау көрсету үшін ҰҰА-ның мобильді байланыс және есептеу мүмкіндіктерін пайдалану арқылы, бірнеше кіру нүктелерінен тұратын шеткі есептеулер жүйесін құруды зерттеген. Қолданыстағы апаттан кейінгі көмек көрсету тәсілдерінен ерекшелігі – бұл зерттеуде біз инновациялық түрде SP

құрылғыларын көмекші есептеу құрылғылары ретінде қолдана отырып, ҰҰА-ға апаттан кейінгі құтқару жұмыстарының көп бөлігін орындауға жәрдемдесуді ұсынамыз.

ҰҰА арасындағы байланыс орнатуға болады, бірақ бұл тек инфрақұрылым арқылы жүзеге асады, сондықтан жекелеген ҰҰА жүйесінің мүмкіндіктері шектеулі. AR.Drone аппаратын пайдаланып, аз ғана аппараттық және бағдарламалық модификациялар арқылы автономды ұшуды қамтамасыз ететін жүйе ұсынылған [25]. Бұл жүйеде барлық сезу және есептеу процестері тікелей ҰҰА-ның бортында жүзеге асады, нәтижесінде жүйе базалық станцияға немесе қашықтан басқаруға тәуелсіз болады. Жоғары деңгейлі навигация, компьютерлік көру және басқару тапсырмалары сыртқы есептеу құрылғысында орындалып, ҰҰА-ны қажетті бағытқа бағыттайды.

ҰҰА бейнежазбалары негізінде жолды тиімді анықтау және бақылау әдісі ұсынылған [26]. Бастапқы кезеңде және бақылау процесінің ортасында қажетті жол аймағын дәл бөліп алу үшін граф негізіндегі анықтау тәсілі қолданылған. Сонымен қатар, жол аймағын автоматты түрде бақылауға мүмкіндік беретін жылдам гомографияға негізделген жолды қадағалау алгоритмі әзірленген.

Жекелеген ҰҰА жүйесін пайдалана отырып, нысанды жылдам анықтау әдісі ұсынылған [27]. Бұл әдісте ҰҰА күтілетін траектория бойымен ұшып өтіп, бірнеше нүктеден нысанды бақылай отырып, оның орнын бағалауға мүмкіндік береді. Нысанның биіктігін болжау үшін белгілі бір аймақтың ауданы минималды деп есептеліп, ең тік түсу әдісі қолданылған. Егер биіктік туралы ақпарат анықталса, нысанның нақты орны есептеледі.

Белгілі бір өлшемдегі аумақта бірнеше нысанды бақылауға арналған жекелеген ҰҰА жүйесінің өнімділігі зерттелген [28]. Нысандар сызықтық жылдамдық үлгісімен, алайда шуыл әсерімен бірге қозғалатыны ескерілген. Авторлар нысан орнын бағалаудағы қателік өзгерісінің өнімділік шегін есептеп шығарған. Бұл шек белгілі бір нысанға қаншалықты жиі бару қажет екенін анықтау үшін қолданылады, осылайша бағалаудағы қателік ықтималдығын басқаруға мүмкіндік туады.

1.3 Көптеген ҰҰА жүйелері

Қазіргі таңда көпшілік қоғамдық және азаматтық қолданбаларда көп ҰҰА жүйелері пайдаланылады. Мұндай жүйелерде ҰҰА шағын әрі арзанырақ болады және үйлестірілген түрде жұмыс істейді. Көп ҰҰА жүйелеріне тән ең басты жобалау мәселесі – бұл байланыс, өйткені ол ҰҰА арасындағы үйлесім мен бірлескен әрекет үшін шешуші рөл атқарады.

Егер барлық ҰҰА инфрақұрылыммен тікелей байланысты болса, онда олардың арасындағы байланыс сол инфрақұрылым арқылы жүзеге асырылады.

Алайда, егер ҰҰА динамикалық қоршаған орта жағдайларына, түйіндердің қозғалысына немесе жер бедеріне байланысты инфрақұрылымның қамту аймағынан тыс қалса, ол байланыстан ажырайды. Тек инфрақұрылымдық байланысқа негізделген архитектура көп ҰҰА жүйесінің мүмкіндіктерін шектейді. Сондықтан желінің сенімділігін арттыру үшін байланыс жүйесі ҰҰА мен инфрақұрылым арасындағы және ҰҰА мен ҰҰА арасындағы байланыстарға негізделуі тиіс.

Көп ҰҰА жүйесінің артықшылықтары келесідей сипатталады:

- Шығын: Бір ғана ҰҰА жүйесімен салыстырғанда көп ҰҰА жүйесі арқылы тапсырмалар төмен шығынмен орындалады [44].

- Масштабталу: ҰҰА-ның бірлескен жұмысы жүйенің өнімділігін арттыра алады. Көп ҰҰА жүйелері кең аумақты бақылауға және бірнеше нысанды бір уақытта қадағалауға мүмкіндік береді. Осылайша, бұл жүйелер жекелеген ҰҰА жүйелерімен салыстырғанда анағұрлым масштабталатын болып табылады.

- Тіршілік қабілеті: Егер бір ҰҰА істен шықса, қалғандары операцияны жалғастыра алады, яғни жүйе толық істен шықпайды.

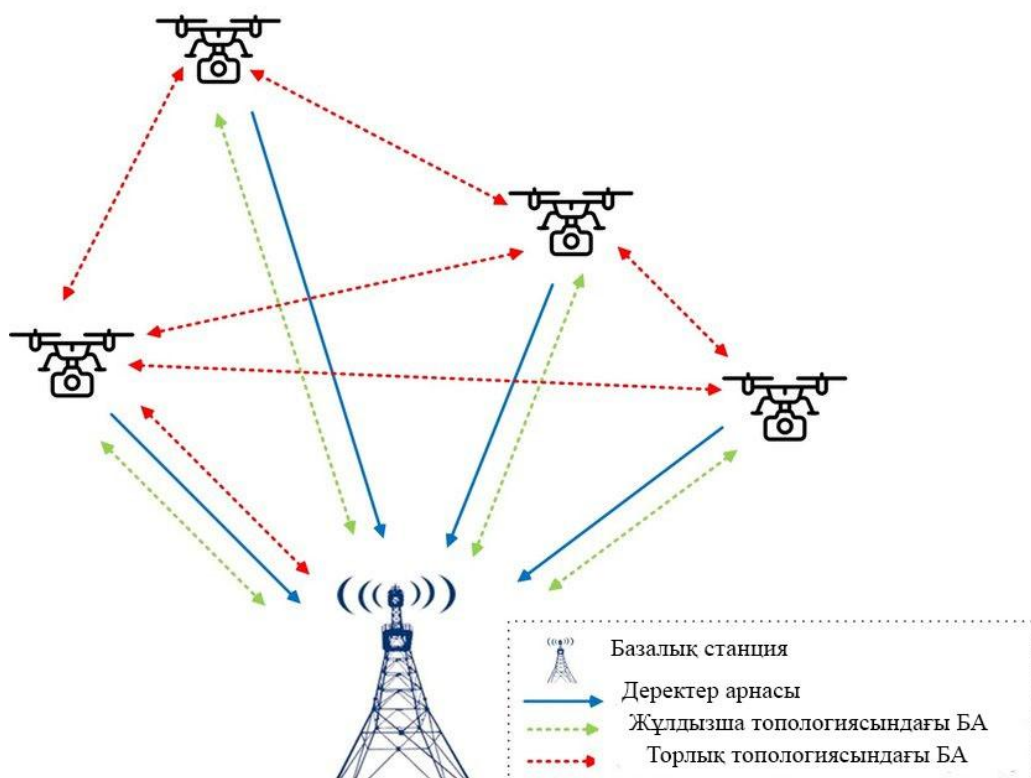
- Жылдамдық: Көп ҰҰА жүйесімен тапсырмалар әдетте бір ҰҰА жүйесіне карағанда жылдамырақ және тиімдірек орындалады [29].

Көп ҰҰА жүйелерінде құрылатын топологиялар жұлдызша, көп жұлдызша, тор және иерархиялық тор болуы мүмкін. Егер жұлдызша топологиясы қолданылса, онда бір жердегі түйін орталықта орналасады және барлық ҰҰА онымен тікелей байланысады. Мұндайда байланыс тек ҰҰА мен инфрақұрылым арасындағы түрде іске асады.

Көп жұлдызша топологиясы жағдайында (1.2-суретте көрсетілгендей), ҰҰА бірнеше жұлдызша құрылымын құруы тиіс, ал әрбір топтан бір түйін жердегі басқару станциясына қосылады. Жұлдызша конфигурациялары жоғары кідіріс уақытымен сипатталады, себебі төмен қарай байланыс ұзындығы ҰҰА арасындағы қашықтықтан ұзағырақ болады және барлық байланыс жердегі басқару станциясы арқылы өтуі тиіс. Егер жердегі басқару станциясымен байланыс болмаса, онда тапсырма сәтсіз аяқталады, өйткені ҰҰА арасында тікелей байланыс жоқ. Сонымен қатар, мұндай архитектура қымбатырақ жүктемелі арналарды талап етеді.

Ұшқышсыз ұшу аппараттарынан құралған желінің базалық станциямен және өзара байланысу құрылымы төменде суретте көрсетілген. Жүйе деректер арналары мен басқару арналары арқылы ұйымдастырылған. Сызбада екі түрлі басқару арнасының топологиясы қарастырылған: Жұлдызша топологиясы: Мұнда басқару сигналы әрбір ҰҰА-дан тікелей базалық станцияға жіберіледі. Бұл арна түрі жасыл пунктирлі сызықтармен белгіленген. Торлық топология құрылымда басқару сигналдары ҰҰА-лар арасында тікелей өзара беріледі, яғни бір дрон екіншісі арқылы хабар тарататын ретрансляция қағидасы қолданылады. Бұл арналар қызыл пунктирлі сызықтармен көрсетілген. Сонымен қатар, көк

тұтас сызықтар деректер арналары, яғни ҰҰА-лардан базалық станцияға деректерді тікелей жіберетін байланыс жолдары. Бұл арналар деректер тасымалын қамтамасыз етеді. Бұл схема гибриді архитектураның мысалы ретінде қарастырылады, мұнда ҰҰА базалық станциямен байланысып қана қоймай, бір-бірімен де ақпарат алмасады. Мұндай құрылым желі сенімділігін арттыруға, жүктемені үлестіруге және интерференцияны азайтуға мүмкіндік береді.



1.2-сурет – Көп жұлдызша конфигурациясындағы жүйе

Тор тәрізді топология желісі жағдайында ҰҰА өзара тікелей байланысады, және тек бір ғана ҰҰА басқару орталығына қосылуы мүмкін.

Иерархиялық торлы топологиялы желі жағдайында ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) бірнеше торлы желілер құруы тиіс, және әр топтан бір түйін басқа топтармен байланысады. Сондай-ақ, кейбір аз санды ҰҰА бақылау орталығына тікелей қосыла алады.

Иерархиялық торлы топологиялы желі жағдайында ұшқышсыз ұшу аппараттары бірнеше торлы желілер құруы тиіс, және әр топтан бір түйін басқа топтармен байланыс орнатады. Сондай-ақ, кейбір аз санды ҰҰА 1.3-суретте көрсетілгендей бақылау орталығына тікелей қосыла алады.

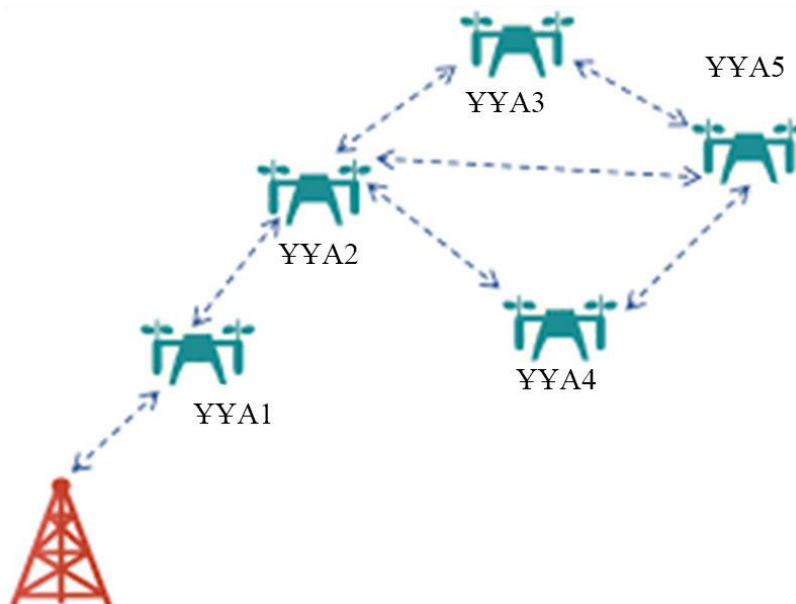
Ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) желілік жүйелерде орналастыруда көпсекірмелі байланысқа негізделген әдістер кеңінен қолданылады. Мұндай тәсілде ҰҰА-лар бір-бірімен торлы топология негізінде байланысып, орталық

базалық станциядан алыс орналасқан дрондар үшін жолақты арналарды ұйымдастыру мүмкіндігі артады. Бұл құрылым желінің кеңейтілген қамту аймағын және қаттылығын қамтамасыз етеді.

Кооперативті ретрансляция әдістері арқылы ақпарат аралық ҰҰА-лар арқылы бірнеше секіріс жасап жеткізіледі. Бұл тәсіл қоршаған орта кедергілерін айналып өтіп, сигнал сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, дрондар арасындағы өзара байланыс арқылы жүйе қайта конфигурацияланып, бір немесе бірнеше ҰҰА істен шыққан жағдайда да жұмысын жалғастыра алады.

Маршрутты оңтайландыру алгоритмдері жиі қолданылатын әдістердің бірі болып табылады. Бұл алгоритмдер ҰҰА-лардың арасындағы байланыс сапасын, арақашықтықты, энергия шығынын және арнаның өткізу қабілетін ескере отырып, тиімді деректер бағыттарын анықтайды. Мұндай шешімдер көбінесе граф теориясы, дәстүрлі маршрутизация немесе машиналық оқытуға негізделген тәсілдер арқылы жүзеге асырылады.

Сондай-ақ, динамикалық желі ұйымдастыру әдістері арқылы ҰҰА-лардың орналасуы мен байланыс құрылымы өзгермелі орталарға бейімделеді. Бұл әдістер мобильділік пен желі трафигінің өзгеруін есепке ала отырып, өздігінен ұйымдасатын UAV жүйелерін құруға мүмкіндік береді. Жалпы алғанда, мұндай архитектуралар қашықтағы пайдаланушыларға сенімді, кеңейтілетін және энергия тиімді байланыс қызметін ұсыну үшін тиімді болып саналады.



1.3-сурет – Иерархиялық үш бұрышты торлы желіні конфигурациялау жүйесі

Торлы топологиялы желіде түйіндер өзара байланысқан және дерек дестелері аралық түйіндер арқылы өтіп, кез келген бастапқы нүктеден кез келген

мақсатты нүктеге бірнеше секіріс арқылы жетуі мүмкін. Торлы желілер икемді, сенімді және жұлдызша топологиялы желілерге қарағанда өнімділік сипаттамалары жоғары. Сонымен қатар, торлы желілер ұшқышсыз ұшу аппараттары желілері үшін неғұрлым қолайлы, себебі олар өзін-өзі ұйымдастыру және қайта құрылымдану қасиеттерін қолдай алады. Осылайша, бір түйін істен шыққан жағдайда, қалған түйіндер өзара байланысып, желіні қайта конфигурациялай алады.

1.4 Кооперативті ҰҰА на негізделген тапсырмаларды орындау

Көп агентті ҰҰА жүйелерінің заманауи қолданыс бағыттарының бірі кооперативті (ынтымақтасатын) басқару мен тапсырмаларды орындау. Бұл тәсілде бірнеше ұшқышсыз аппарат ортақ мақсатқа жету үшін үйлестірілген әрекеттерді жүзеге асырады. Кооперативті ҰҰА жүйесі орталықтандырылмаған, дербес және бейімделгіш құрылымымен ерекшеленеді, бұл оны динамикалық, белгісіз немесе төтенше жағдайларда қолдануға тиімді етеді.

Апаттық жағдайларда (мысалы, жер сілкінісі, су тасқыны, өрт) дәстүрлі байланыс инфрақұрылымы істен шығуы мүмкін. Мұндай кезде ұшқышсыз ұшу аппараттары апат орындарында жылдам орналастырылып, деректер жинау, байланыс орнату және көмек көрсету шараларын үйлестіру үшін тиімді құрал ретінде қолданылады. Соңғы жылдары апат аймақтарында смартфондар арқылы ҰҰА тапсырмаларын басқару және жоспарлау тәсілдері зерттеушілердің назарын аударып отыр.

Ұшқышсыз ұшу аппараттары базалық станциялар ретінде қолданылатын сымсыз желі архитектурасы қазіргі таңда апат жағдайларында, шалғай аймақтарда және уақытша байланыс қажеттіліктері туындағанда тиімді шешім ретінде қарастырылады. Мұндай жүйелерде тапсырмаларды жоспарлау ҰҰА-лардың энергия тиімділігін, қызмет көрсету сапасын және желі өнімділігін қамтамасыз етудегі негізгі процестердің бірі.

Зерттеудің негізгі мақсаты смартфон қолданушылары мен ҰҰА арасындағы өзара әрекеттесу арқылы апатты аймақтарда тапсырмаларды тиімді жоспарлау мен орындау жүйесін әзірлеу. Бұл тәсіл апат кезінде тірі қалған адамдардан деректер жинауға, олардың орналасқан жерін анықтауға, қажетті медициналық немесе техникалық көмекті бағыттауға мүмкіндік береді.

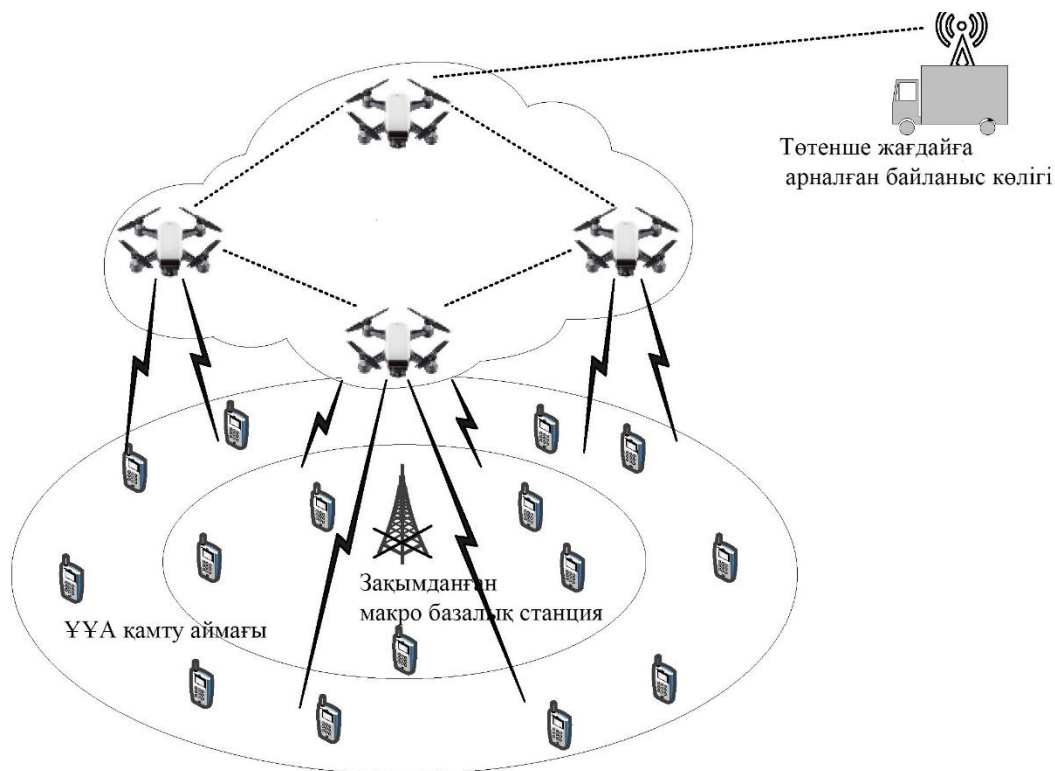
Кооперативті желі әрбір түйін басқа түйіннің рөліне сәйкес әрекет ететін арнайы граф құрылымы. Кооперативті ҰҰА негізделген тапсырмаларды орындау үйлестірілген жұмыс арқылы күрделі міндеттерді жүзеге асырады. Кооперативті ҰҰА желісі статикалық немесе динамикалық болуы мүмкін. Статикалық желіде функционалдықтар алдын ала анықталған. Ал динамикалық желіде түйіндердің

мінез-құлқы белгісіз болуы мүмкін және желі топологиясы өзгеріп тұрады, бұл оның өнімділігіне әсер етуі ықтимал.

Көп ҰҰА жүйелерін басқарудағы күрделі мәселелер зерттелген [46]. Зерттеушілер ҰҰА-лар арасындағы кооперативті әрекеттестіктерді модельдеу үшін графтар, жіктеу әдістері және тапсырмаларды бөлудің түрлі тәсілдерін қолданған.

ҰҰА мен жердегі құрылғылар арасында құрылатын желілер де зерттелген [47]. Мұндай желілер бағыттау карталарымен жабдықталып, сымсыз байланысты пайдалана отырып, бағалау және есептеу функцияларын орындай алатын виртуалды құрылымдар құрады.

Кейбір зерттеулерде кооперативті ҰҰА топтарының бір уақытта бірнеше операцияларды орындауына арналған оңтайлы ұшу траекториясын жоспарлау әдістері ұсынылған [48]. Бұл тәсілдерде интеллектуалды басқару және динамикалық бағдарламалау идеялары негізге алынып, мақсаттар санына қарай шешім қабылдау моделін құру үшін шартты ықтималдықтар қолданылады.



1.4-сурет – Төтенше жағдайдағы ҰҰА негізіндегі коммуникациялық жүйе архитектурасы

Бұл сурет төтенше жағдайлар кезінде ұялы байланыс инфрақұрылымын қалпына келтіруге арналған ұшқышсыз ұшу аппараттары негізіндегі коммуникациялық жүйенің құрылымын бейнелейді. Жердегі макро базалық станция зақымданған жағдайда, ҰҰА желіде уақытша байланыс тораптары

ретінде қызмет атқарады. Олар бұлт тәрізді құрылымда өзара байланысып, желі ішіндегі ақпарат алмасуды қамтамасыз етеді. Әр дрон жеке ұялы құрылғыларға сигнал таратып, қамту аймағында орналасқан қолданушыларға байланыс қызметін ұсынады. Сонымен қатар, жүйеде арнайы жабдықталған төтенше жағдайға арналған байланыс көлігі көрсетілген, ол негізгі желімен немесе ҰҰА жүйесімен қосылып, қосалқы басқару және үйлестіру қызметін атқарады. Бұл архитектура апат аймағында жылдам әрі икемді байланыс орнатуға мүмкіндік береді және болашақта оны көпагентті тереңдетілген оқыту мен таратылған тіркеу технологияларын қолдану арқылы одан әрі тиімді етуге болады.

1.5 Оппортунистік ретрансляция желілері

ҰҰА желілері жиі кездесетін байланыс үзілімдерімен сипатталады, сондықтан мұндай жағдайларда оппортунистік ретрансляция тәсілдерін қолдану қажет. Бұл әдіс желінің ресурстары мен параметрлерін тиімдірек пайдалануға мүмкіндік береді.

Мысалы, бір зерттеуде уақытша желілердің ерекше түріне арналған оппортунистік ретрансляция алгоритмі ұсынылған [49]. Бұл алгоритм басқарушы құрылымдар, көмекші модульдер, ресурстық резервтер және пайдалы қызметтік бағдарламалардан тұратын негізге сүйенеді.

Тағы бір жұмыста зерттеушілер ҰҰА желісіндегі түйіндерді қадағалау үшін виртуалды орта құрып, ресурстарды оппортунистік желілерде қалай тиімді тасымалдауға болатынын қарастырған [50]. Бұл тәсіл шеңберінде авторлар мақсатты объектіні анықтау жиілігі мен түйіндерді табуға кеткен уақыт негізінде OPNET симуляторы арқылы өз шешімдерінің тиімділігін бағалаған.



1.5-сурет – ҰҰА интеграцияланған желісіндегі оппортунистік берілу үдерісін жетілдіруге арналған диаграмма

Бұл зерттеулерде жұмысы біріктірілген ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) мен интеллектуалды көлік құралдары (ИКҚ) желісіндегі түйіндерді үш негізгі санатқа жіктейді. Бірінші санат – өзімшіл түйіндер. Оларға қоғамдық

қызмет атқармайтын жекеменшік көліктер жатады. Мұндай түйіндер жол кептелісі сияқты жағдайлар туындағанда ақпарат таратпайды және басқа түйіндерге деректерді бағыттамайды.

Екінші санат – қалыпты түйіндер. Бұл топқа такси немесе жолаушылар көліктері сияқты ішінара қоғамдық қызмет атқаратын интеллектуалды көлік құралдары кіреді. Олар қажеттілік туындағанда ғана жол қозғалысына қатысты ақпаратты жасайды немесе оны басқа түйіндерге жеткізеді.

Үшінші санат – ерікті түйіндер, олар қоғамдық қызметке бағытталған. Бұған мемлекеттік мекемелердің көліктері немесе қоғамдық ақпарат тарататын ұшқышсыз аппараттар жатады. Бұл түйіндер қозғалыс барысында жол жағдайына қатысты ақпаратты үздіксіз таратып отырады.

Бұл жерде түйіндердің желідегі кооперативтілік деңгейін бағалау үшін арнайы кооперация дәрежесі енгізіледі. Бұл көрсеткіш түйіннің өзімшілдік деңгейімен кері пропорционалды болады. Егер түйіннің кооперация деңгейі 0-ге тең болса, ол толық кооперациясыз, яғни мүлде ақпарат таратпайтын түйін ретінде қарастырылады. Ал кооперация деңгейі 100 болған жағдайда, ол барлық күтілетін әрекеттерді орындайтын, толық кооперативті түйін ретінде сипатталады.

1.6 Көпқабатты ҰҰА желілері

Көпқабатты ұшқышсыз ұшу аппараттары желілерінің архитектурасы әртүрлі технологиялық деңгейлермен өзара әрекеттесу негізінде құрылады. Бұл архитектурада ҰҰА желілері тек өзара ғана емес, сонымен қатар Заттар интернеті, сымсыз сенсорлық желілер немесе бұлттық есептеу жүйелерімен үйлестірілген түрде жұмыс істейді.

Мұндай интеграция ҰҰА желісінің мүмкіндіктерін кеңейтіп, мәліметтерді өңдеу, сақтау және тарату үдерістерін анағұрлым тиімді етуге жол ашады. Әрбір қабат белгілі бір функцияны атқарады: мысалы, төменгі деңгейде сенсорлар деректер жинаса, жоғарғы қабаттар бұл ақпаратты талдап, шешім қабылдау жүйелеріне жеткізеді. Осылайша, көпқабатты архитектура күрделі операцияларды орындауға мүмкіндік береді және әртүрлі салаларда (бақылау, экожүйені мониторингтеу, логистика) қолдануға бейімделген.

Желі архитектурасы — бұл терең оқыту моделінің құрылымы, ол модельдің қандай мақсатты орындайтынына және қандай мәліметтермен жұмыс істейтініне тікелей байланысты. Сондықтан, пайдаланылатын деректер жиынының түрі мен күтілетін нәтиже модель архитектурасын таңдауға және оның тиімділігіне айтарлықтай әсер етеді. Терең оқыту желілері архитектура жағынан — қабаттардың саны мен түрі, олардың орналасу тәртібі және құрылымдық ұйымдасуы тұрғысынан әртүрлі болуы мүмкін.

Балық мекендейтін ортаны бақылау саласында, егер сіз уақытқа тәуелді деректер тізбегімен (мысалы, балық суреттерінің реттілігі) жұмыс істеп жатсаңыз, DL архитектурасының дұрыс таңдалуы өте маңызды. Мысалы, егер мақсат бейнеге негізделген балық түрін жіктеу болса — CNN тиімді шешім. Ал егер тапсырма — уақытқа байланысты сипаттама жасау (мысалы, балық мекені туралы мәтін түрінде сипаттама құрастыру) болса — RNN неғұрлым жарамды.

Тапсырма анықталған соң, оған сәйкес келетін маңызды сипаттамаларды таңдауға кірісесіз. Мысалы, егер сізге балықтың пішіні мен орналасуын анықтау қажет болса, онда конволюциялық архитектураны таңдауға болады. Бұл таңдаған сипаттамалар жалпы деректер жиынындағы барлық фичалардың ішкі жиыны (subset) болуы тиіс. Мәселен, бейнелер негізінде объектілерді тануға арналған желіде балық түрі сияқты сипаттамалар алынады. Алайда, толық қамту үшін су түрі, фон ерекшелігі сияқты қосымша фичалар да ескерілгені жөн.

Бұрыннан бар желілік инфрақұрылымды талап етпеуі оларға өзгермелі қоршаған орта жағдайларына тез бейімделуге мүмкіндік береді. Оларды жауап берушілердің жетуі қиын аймақтарға жылдам орналастыруға болады, осылайша шалғайда немесе апаттан зардап шеккен жерлерде маңызды рөл атқарады. Бұл әсіресе құтқару және көмек көрсету жұмыстарын үйлестіру, сондай-ақ зардап шеккен қауымдастықтар арасында ақпарат алмасуды жеңілдету үшін өте маңызды. Бұл интеграция коммуникациялық инфрақұрылымдағы, әсіресе табиғи апаттар немесе төтенше жағдайлардан кейінгі кемшіліктерді жою үшін динамикалық және тиімді шешім ұсынады. 1.6-сурет апаттар кезіндегі желілік сценарийді көрсетеді.



1.6-сурет – Апат кезіндегі желілік ҰҰА байланыс беру жүйесі

Бірлескен ҰҰА желілерін дамыту сонымен қатар алдыңғы қатарлы байланыс және басқару жүйелерін, бөлінген алгоритмдерді және қауіпсіздік мәселелерін шешуді қажет ететін қиындықтар тудырады. Басқару жүйесі миссияның қауіпсіз және тиімді орындалуын қамтамасыз ете отырып, траекторияларды оңтайландыра отырып, көп ұшқышсыз авиациялық операциялардың күрделілігін шебер басқаруы керек. Қосымша қиындық түйін ақаулары, байланыс ақаулары, дұшпандық шабуылдар және қоршаған орта

жағдайларының өзгеруі сияқты әртүрлі жағдайларды басқаруға қабілетті автономияны сақтай отырып, ҰҰА бірлесіп жұмыс істеуге мүмкіндік беретін бөлінген алгоритмдерді әзірлеуде. Осылайша, тиімділікті, сенімділікті және қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін желінің барлық аспектілерін мұқият қарастыру қажет. Желі тұрғысынан бұл жұмыс апатты бақылау мен қадағалауға арналған көп ұшқышсыз авиациялық желілердің көптеген қырларын зерттейді, байланыс протоколдары, желі архитектурасы, топологиясы, жолды оңтайландыру, ақауларға төзімділік, маршруттау және қауіпсіздік саласындағы соңғы жаңалықтарды қамтиды[30].

1.7 Бір мақсатта жұмыс жасайтын ҰҰА топтары

Егер миссия аумағы кең болып, желіде көптеген ұшқышсыз ұшу аппараттары қолданылса, оларды бірнеше ройға бөліп ұйымдастыру орынды. Рой түрінде жұмыс істейтін ҰҰА-лар күрделі тапсырмаларды үйлесімді орындай алады және соқтығыстардың алдын алуы тиіс. Мұндай ортада тиімді жұмыс істеу үшін ҰҰА-лар бір-бірімен тұрақты байланыста болып, әрекеттерін үйлестіруі қажет.

Кейбір қолданбаларда ҰҰА-лардың жүк көтергіштігін жақсарту мақсатында оларды әртүрлі миссия аймақтарында әрекет ететін кластерлерге бөлу әдісі қолданылады. Әр кластерде бір жетекші түйін болады, ол өз кезегінде жердегі станциялармен, басқа ҰҰА-лармен немесе жерсеріктермен тікелей не жанама байланыс орнатады. Бұл жетекші түйін кластер ішіндегі ҰҰА-лардың өзара байланысын қамтамасыз етуге жауап береді.

Кластерлік ұйымдастыру құрылымы істен шығу ықтималдығы жоғары желілер үшін тиімді шешім болып саналады. [53]-зерттеуде бірнеше ҰҰА-ны пайдалану арқылы күрделі тапсырмаларды орындауға арналған рой құру әдісі ұсынылған. Авторлар бірлескен жұмыс режимінде топтасып ұшу мінез-құлқын талдап, өз тәсілдерінің тиімділігін бағалаған. Ал [54]-зерттеуде ҰҰА ройларына арналған құрылымдық шеңбер әзірленген. Бұл шеңбер ҰҰА-лардың сезу мүмкіндіктерін жақсартуға бағытталған және қарапайым параллель іздеу мен алға қарай жылжитын параллель шолуды қамтиды. Алгоритм ҰҰА істен шығу ықтималдығына негізделген жоғарғы және төменгі шектер арасында жұмыс істейді.

Суретте кооперативті ұшқышсыз ұшу аппараттарының ройлық құрылымы бейнеленген. Бұл құрылымда дрондар синхрондалған қозғалыспен бір бағытта ұшып барады, бұл олардың ұжымдық басқару немесе көп агентті басқару алгоритмдерімен жұмыс істейтінін көрсетеді. Мұндай жүйелер әдетте барлау, апаттық жағдайдағы іздеу-құтқару жұмыстары, кең ауқымды мониторинг және әскери мақсаттар үшін қолданылады. Дрондардың біркелкі орналасуы олардың

арақашықтықты сақтау арқылы соқтығысуды болдырмай, тиімді ақпарат алмасуын қамтамасыз ететінін аңғартады. Сурет көп агентті ҰҰА жүйелерінің ауқымдылығы мен үйлестірілген жұмысының көрінісі ретінде қарастырылады.



1.7-сурет – Ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) тобы

Ұшқышсыз ұшу аппараттарының тобы бұл бірнеше дронды біртұтас басқарылатын жүйеге біріктіру тәсілі. Көп агентті робототехникалық жүйелер жеке дрондармен салыстырғанда икемдірек, қауіпсіздігі жоғары және тиімділігі жағынан да басым. Бірлесе әрекет ететін дрондар тобы күрделі тапсырмаларды жекелеген аппараттарға қарағанда жылдамырақ орындай алады және олардың орындау ауқымы да кеңірек болады.

Үйірлік роботтар қарапайым әрі мамандандырылған көптеген аппараттардың өзара әрекеттесу арқылы күрделі міндеттерді тиімді шешуіне мүмкіндік береді. Drone Swarm ұғымы бұл ұшқышсыз ұшу аппараттары мен ройлық робототехниканың біріктірілген технологиялық шешімі болып табылады.

Ұшқышсыз ұшу аппараттары медиа саласында кеңінен қолданылады, әсіресе жабық кеңістікте ұшуды, топтық үйлесімділікті көрсету, ашық ауада ұшу алгоритмдерін демонстрациялау және визуалды жарық шоуларын ұйымдастыру үшін. Мұндай жүйелер, әсіресе, үй жағдайындағы зертханалық зерттеулерде жердегі роботтарға қарағанда артықшылықтарға ие. Атап айтқанда, ҰҰА үйірлері жоғары жылдамдықта қозғалу, маневр жасау және кедергілерден тиімді өту сияқты қабілеттерімен ерекшеленеді, бұл оларды зерттеу және тәжірибе жасау үшін оңтайлы етеді.

Бұл жүйе басқарылатын ортада ҰҰА-лардың нақты орнын анықтауға және траектория бойынша дәл қозғалуына мүмкіндік береді. Қозғалысты түсіру технологиясы нысандар мен объектілердің кеңістіктегі қозғалысын бақылауға

негізделген. Оптикалық сенсорлар арқылы алынған бейне деректерді өңдеу нәтижесінде, нысанның үшөлшемді (3D) координаталары есептеледі. Жоғары тиімділікке ие оптикалық жүйелер бағдарламалық қамтамасыз ету көмегімен дрондарды салыстырмалы орналасуы бойынша анықтай алады, бұл үшін бір жарықдиодты жоғары жиілікте жыпылықтату немесе бірнеше жарықдиодты бір уақытта қолдану әдістері пайдаланылады

ҰҰА мен басқару станциясы арасындағы деректер алмасу 2,4 ГГц жиілігінде жұмыс істейтін радиотолқындар арқылы жүзеге асады. Бұл жиілік дрондармен сенімді байланыс орнату үшін кең таралған және тұрақты сигнал алмасуын қамтамасыз етеді.

1.8 ҰҰА БС негізінде жердегі сымсыз сенсорлық желіні құру

Аэроғарыштық сенсорлар желісі түрлі аймақтарға таралған бірнеше дерек көздерінен және осы ақпаратты жинауға арналған ұшқышсыз ұшу аппараттарынан (ҰҰА) тұрады. ҰҰА қоршаған ортада қозғалып, орнатылған сенсорлар арқылы қажетті деректерді тіркейді және оларды жердегі басқару станциясына жібереді. Әдетте мұндай сенсорлар температура, ауа қысымы, жел жылдамдығы секілді қоршаған орта көрсеткіштерін өлшейді. Егер әртүрлі параметрлерді тіркеу қажет болса, әр түрлі сенсорлар әр түрлі ҰҰА-ына орнатылады. Мысалы, бір ҰҰА-да инфрақызыл камера болса, екіншісінде жоғары ажыратымдылықтағы бейнекамера болуы мүмкін.

Белгілі бір миссияны орындау үшін тек әуелік емес, сонымен қатар жердегі сенсорлар да қажет. Осыған байланысты сенсорлық желі екі қабаттан құрылады:

- ҰҰА қабаты (яғни әуе сенсорлар қабаты);
- Жердегі сымсыз сенсорлық желі.

Өртті анықтау мақсатында гетерогенді ҰҰА-тары үшін арнайы құрылымдық жүйе ұсынған[31]. Бұл жүйе инфрақызыл сенсорлар мен компьютерлік өңдеуге негізделген модульдерден алынған деректерді біріктіру арқылы жұмыс істейді. Ұсынылған әдіс өрт ошақтарын ҰҰА орналасуы мен камера бағытталуы негізінде дәл анықтауға мүмкіндік береді.

Бұл жүйенің байланыс архитектурасы тек типті ҰҰА-лар, сенсорлар және жердегі станция арасындағы өзара әрекетке негізделген. Зерттеушілер қызығушылық нүктелерін циклдік негізде тексеруді қамтамасыз ететін таратылған алгоритм әзірлеген. Бұл алгоритм кең таралған дерек көздері мен мүмкін болатын күшейтулерді ескереді.

Сенімді әрі тұрақты ірі көлемді мониторинг жүйесін жобалау үшін алдымен оның талаптары тексеріліп, расталуы қажет. Мұндай кооперативті жүйелерге тән негізгі қиындықтар ретінде келесілер қарастырылады: тапсырма мақсаттарына сәйкес келетін сенсорлық қамту аймағы, әртүрлі радио байланыс

түрлерін пайдалана отырып гибриді ҰҰА БС жүйесі арқылы байланыс қамтуын қамтамасыз ету (төмен қуатты және төмен жылдамдықты арналардан бастап, ұзақ қашықтыққа жоғары жылдамдықтағы ағындық беріліс арналарына дейін), энергия тиімділігі, сондай-ақ есептеу тиімділігі. Осы мақалада сипатталған егін алқабын бақылауға арналған децентрализованный архитектура жоғарыда аталған қиындықтарды еңсеруге бағытталған және деректердің алқап деңгейінде қалыптасу заңдылықтарын ескереді.

Ұсынылған деректерді біріктіру механизмдері мен кластер басшысы деңгейінде алқаптағы орталықтандырылған деректерді өңдеу мәліметтер көлемін азайтып, оқиғалар деңгейіне дейінгі ақпарат ағымын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, бұл мәліметтердің серверге жетуін қамтамасыз ету үшін деректер ағынына қосымша аралық деңгей қосылған. Осы мақсатта жүйеде қозғалыстағы агенттер мен бірнеше тұрақты агенттер жердегі сенсорлар қарастырылған. Жүйенің диаграммасы 1.8-суретте берілген. Қозғалыстағы агент келесі функцияларды орындай алады: мәліметтер жинау, бейне түсіру, ретрансляция және сенсорлық желінің күйін тексеру.

Ал тұрақты агенттер ауыл шаруашылығы алқабынан (топырақ пен ауа) деректерді жинайды, оларды жергілікті түрде өңдейді (маңызды деректерді бөліп алу, деректердің сәйкестігін қамтамасыз ету), кейін осы деректерді кластер басшылары арқылы ҰҰА-ына жібереді. Жүйе төрт негізгі өңдеу деңгейінен тұрады олар сенсор деңгейі, Тұманды есептеу деңгейі, Интернет/Бұлтты есептеу деңгейі және деректерді басқару және интерпретация деңгейі. Бұл — бірнеше сымсыз байланыс датчиктер және ҰҰА құрылымын біріктіретін көпдеңгейлі жүйе, әрі ол шешім қабылдауды қолдау үшін интернетке негізделген жүйелермен жоғары деңгейде біріктірілген.

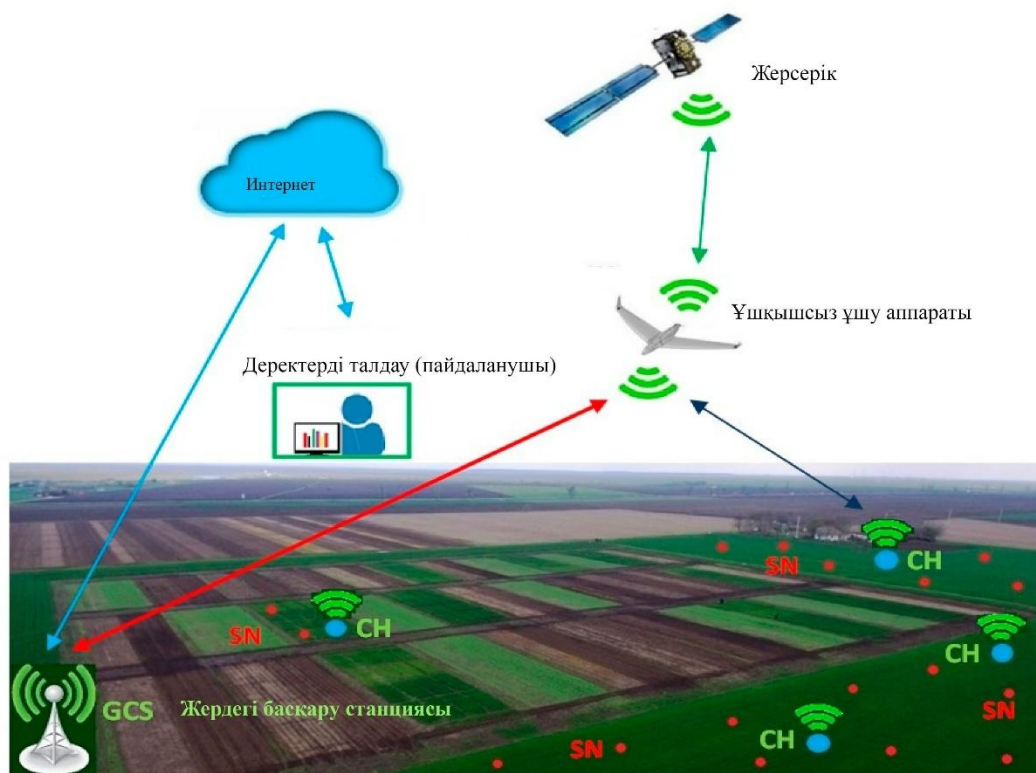
Сымсыз байланыс датчиктері жүйелерінен деректер ҰҰА арқылы жиналып, жердегі басқару станциясына жіберіледі, одан кейін интернет арқылы Деректер интерпретация модуліне жеткізіледі. Аналитикалық өңдеу функциялары қарапайым статистикалық көрсеткіштерден бастап, үрдістер мен оқиғаларды анықтауға, әрі қарай бақылауға алынған жер бетіндегі құбылыстардың дамуын болжауға қабілетті қарапайым статистикалық оқыту модельдеріне дейінгі диапазонды қамтиды.

Интеграцияланған жүйеге қойылатын тағы бір маңызды талап — жылжымалы немесе тұрақты болсын, сенсорлық агенттерден алынатын деректерді байланыстырып немесе өзара толықтырып интерпретациялау мүмкіндігі. Мысалы, топырақ ылғалдылығы тым жоғары болған кезде, топырақ сенсорлары максималды мән көрсетеді, бірақ бұл жағдайда су тасқынының болғанын нақты анықтау мүмкін емес. Мұндай жағдайды ҰҰА арқылы түсірілген әуе суреттері арқылы нақты анықтауға болады. Сонымен қатар, өсімдіктердегі ылғал деңгейі мен жапырақ массасының даму деңгейі жерден де,

әуеден де (суреттер негізінде) бақылануы мүмкін, ал екі деректер жиынын біріктіру (data fusion) арқылы неғұрлым дәл нәтиже алуға болады.

Ұқсас жүйелерге жүргізілген зерттеулер бірнеше роторлы ҰҰА топтарын пайдалануды да қамтиды. Бұл жүйелер деректерді жинау барысында нақты орналасу дәлдігін арттырады, алайда энергия тиімділігі мен автономдылық деңгейі төмендеуі мүмкін. Жердегі сенсорлық желіні орналастыру да жүйенің маңызды айырмашылықтарының бірі бола алады және бұл екі негізгі тәсілмен жүзеге асады: қызығушылық танытылған аймақта сенсор тораптарын кездейсоқ орналастыру, бұл кезде ең төменгі қажетті қамту тығыздығы ескеріледі; детерминирленген, торлы (grid-like) құрылым бойынша нақты орналастыру.

Сонымен қатар, алқап деңгейінен шешім қабылдау деңгейіне дейінгі аралықта деректерді өңдеу қадамдары желілік жүктемені теңестіру және байланыс кідірісін (latency) азайту үшін тиімді механизм ретінде кеңінен қолданылады және мойындалады.



1.8-сурет – ҰҰА БС негізін сымсыз байланыс датчиктері жүйесін ауыл шаруашылығы алқабын бақылаудың функционалдық архитектурасы

Сурет ақылды ауыл шаруашылығы жүйесінде ұшқышсыз ұшу аппаратын, сымсыз сенсорлық тораптарының кластерлік архитектураны және ғаламдық байланыс желілерін біріктіру арқылы мәлімет жинау, өңдеу және таратудың интеграцияланған моделін көрсетеді [32].

1.9 ҰҰА желілілері жаһандық байланысты қамтамасыз етуге бағытталған

Ұшқышсыз ұшу аппараттарының қолдану ауқымы күннен-күнге кеңейіп келеді. Олар сымсыз байланыс жүйелерінде әртүрлі перспективалы қолдану сценарийлері мен артықшылықтарды ұсына алады. Осы бөлімде біз ҰҰА негізінде құрылған желілік технологиялардың ғаламдық ауқымдағы байланысқа қосатын мүмкіндіктерін қарастырамыз.

ҰҰА желілердің байланыс аймағын кеңейтіп, тұрақты байланыс орнатуға көмектеседі. Олар әртүрлі типтегі (біртекті немесе әртекті) желілердегі тікелей байланыс орната алмайтын таратқыштар мен қабылдағыштар арасында сенімді байланысты қамтамасыз ете алады. Бұл түйіндер ретінде ҰҰА, көлік құралдары, сенсорлар және басқа да құрылғылар болуы мүмкін.

Дегенмен, мұндай желілерге ҰҰА орналастыру кезінде қозғалысты басқару, байланыстың үзіліссіздігі, бірлескен жұмыс, энергия тиімділігі сияқты бірқатар техникалық қиындықтар туындайды. Бұл мәселелерді шешу мақсатында зерттеушілер белсенді түрде алгоритмдік және архитектуралық шешімдер әзірлеп келеді.

Апат аймақтарында тірі қалғандарды іздеу және құтқару топтарының байланысын қамтамасыз ету үшін ҰҰА қолдану ұсынылған. Бұл үшін мақсаттарды белгісіз аймақтардан анықтайтын және көпдеңгейлі (multi-hop) сымсыз желіде құтқару топтары арасында байланысты сақтайтын таратылған алгоритм жасалды.

Көлік құралдары арасында бірлескен жұмыс пен деректерді жеткізудің сенімділігін қамтамасыз ететін «ad hoc» желісі үшін ҰҰА қолдану ұсынылған [33].

Желі үзілісі орын алған жағдайда байланысты қалпына келтіретін механизм ұсынылды. ҰҰА-лар тиімді байланыс арналарын орнату үшін оңтайлы позицияларды алдын ала анықтай алады. Зерттеушілері деректерді жинауға арналған байланыс ретрансляторлары ретінде жұмыс істейтін ҰҰА-ларды пайдаланып, өзін-өзі ұйымдастыратын байланыс және қадағалау құралын ұсынды. Бұл әдіс желі күрделілігін автоматты түрде талдап, оңтайландыруға мүмкіндік береді.

1.9.1 ҰҰА-ын әуедегі ұялы байланыс құрылғысы ретінде пайдалану

ҰҰА-тары жердегі пайдаланушылармен қатар ұялы желіге қосылған әуедегі пайдаланушы құрылғы ретінде әрекет ете алады. Бұл оларға бейнені тікелей тарату, аумақты бақылау, жүк жеткізу сияқты әртүрлі қолданбаларды жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Олардың артықшылықтарына мыналар жатады: Ұялы желінің жаһандық қолжетімділігі арқылы ұшуды қашықтан басқару мүмкіндігі.

Ауамен жер арасындағы байланыс пен әуе қозғалысын басқару жүйелерімен өзара әрекеттесу. Аутентификация, қауіпсіздік және өткізу қабілеті жағынан жоғары өнімділік сияқты бір қатар артықшылықтарға ие. Сонымен бірге бұл жаңа инфрақұрылым салмай-ақ қолданыстағы миллиондаған базалық станцияларды пайдалану арқылы шығынды азайту. Дегенмен, бұл жүйені енгізуде келесі техникалық мәселелер кездеседі. Ұшу биіктігі, қозғалыс пен handover басқару, интерференцияны азайту, киберқауіпсіздік, энергия тиімділігі, аутентификация жүйелері.

Зерттеушілері әуедегі пайдаланушы құрылғы ретінде ҰҰА қолданудың ұялы желі өнімділігіне әсерін зерттеген [66]. 100 метр биіктіктегі ҰҰА жер пайдаланушымен салыстырғанда өткізу қабілетін 10 есеге төмендетіп, қамту аумағын 76%-дан 30%-ға дейін азайтатынын көрсеткен. Осыған байланысты авторлар бағытталған антенналарды бейімдеу алгоритмін ұсынып, қамту аймағын 23%-дан 89%-ға, ал өткізу қабілетін 3.5 b/s/Hz-тен 5.8 b/s/Hz-ке дейін арттыруға қол жеткізген. Бұл әдіс аз және орташа тығыздықтағы желілер үшін тиімді, бірақ өте тығыз желілерде нәтиже нашарлайды.

Жер мен әуе пайдаланушылары арасында интерференцияны басқару және оптималды ресурс бөлуді көздейтін орталықтандырылған және кластерлік үлестірілген әдістер ұсынылған [34]. Бұл тәсілдер ресурстарды тиімді пайдаланып, ұялы желілердің өткізу қабілетін арттырады.

Бейнеағын тарату, жүк жеткізу, ақылды көлік жүйелері сияқты салаларда ҰҰА-ларға қатысты қауіпсіздік мәселелері қарастырылған. Авторлар жасанды нейрондық желілерге негізделген әдістерді ұсынып, қауіпсіз ресурстық пайдалану шешімдерін енгізген. Алайда, мұндай алгоритмдердің артық бағалауы кейде ресурстарды тиімсіз бөлуге немесе маршруты дұрыс таңдалмаған ҰҰА траекториясына әкеліп, желі өнімділігін төмендетуі мүмкін.

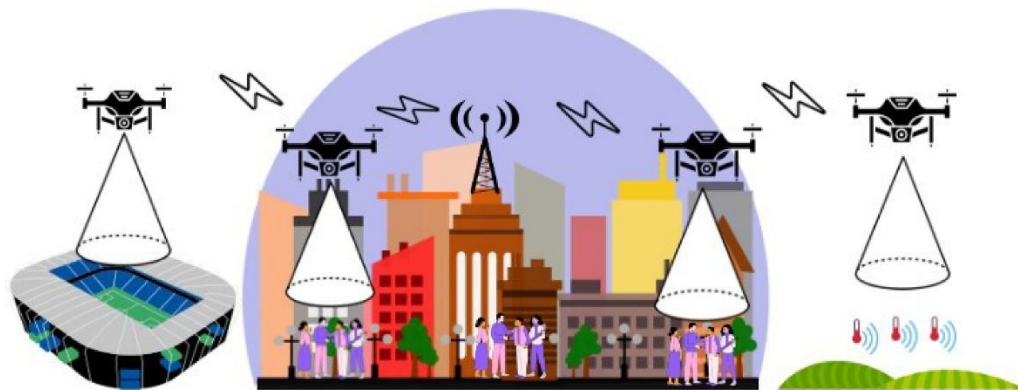
1.9.2 Ұшқышсыз ұшу аппараттарын базалық станция ретінде пайдалана отырып сигнал сапасын жақсарту

ҰҰА-базалық станциялары жердегі құрылғыларға сымсыз қосылуды қамтамасыз ету үшін орналастырылуы мүмкін, себебі олар әртүрлі биіктіктегі пайдаланушылар мен заттар интернеті (IoT) нысандарына қол жеткізуді ұсына алады. ҰҰА-лар әуе базалық станцияларын икемді орналастыруды қамтамасыз етудің тиімді құралы болып табылады [35].

ҰҰА бұл мобильді және динамикалық кіру нүктелері, олар жердегі базалық станциялар шамадан тыс жүктелгенде немесе апаттар мен пайдаланушылар ағымының артуы сияқты уақытша электр қуатының үзілу жағдайларында орналастырылады. Дереккөздерінде авторлар дәстүрлі

желілерге балама ретінде әуе базалық станциялары арқылы пайдаланушыларға қолжетімділік қамтамасыз ету тәсілдерін қарастырады.

ҰҰА-лар жердегі радиостансыларға сигналды қамту аймағын кеңейтуге және жоғары деректер жылдамдығына қол жеткізуге көмектесе алады, әсіресе сұраныс алдын ала болжау қиын болатын жағдайларда. Бұл жағдайды 1.9-суреттен көруге болады.



1.9-сурет – Жердегі пайдаланушылар мен IoT сенсорларына сигнал сапасын жақсарту мақсатында әртүрлі биіктіктерде орналасқан ҰҰА-базалық станциялары

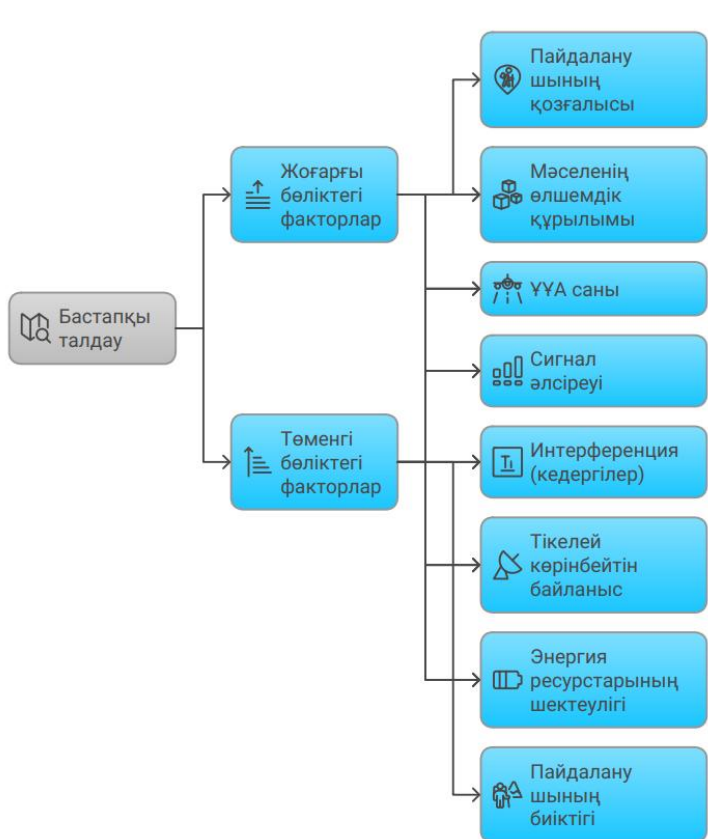
Ұзақ қашықтыққа бағытталған антеннамен жабдықталған ҰҰА-базалық станция (ҰҰА-БС) белгілі бір аумаққа сымсыз қамту аймағын қамтамасыз етеді. Сигналдың таралуы жердегі пайдаланушыларға арналған көрінетін және көрінбейтін бағыттар арқылы жүреді. Алайда, бұл электромагниттік таралу жол бойында жоғалуларға ұшырайды, нәтижесінде сигналдың әлсіреуі, жоғалуы және бұрмалануы сияқты мәселелер туындайды. Сондықтан жердегі пайдаланушылар үшін кем дегенде ең төменгі сапа деңгейін қамтамасыз ету үшін ұтымды орналасу нүктесі мен биіктікті табу маңызды.

Дереккөзінде көрсетілгендей, ҰҰА-БС-тың тарату қашықтығы оның биіктігіне тәуелді. Дегенмен, ең тиімді орналасу нүктесі мен биіктікті анықтау күрделі міндет болып табылады, себебі бұл факторлар сигналдың қамту аймағы мен жердегі пайдаланушылар қабылдайтын деректер жылдамдығына тікелей әсер етеді.

Бұл дипломдық жұмыста апат жағдайларында мобильді пайдаланушылар мен IoT сенсорларын қамту үшін әуе базалық станцияларын орналастырудың жаңа әдісін ұсынады. Дипломдық жұмыста пайдаланушылардың ең көп санын ең аз мөлшердегі ҰҰА-БС көмегімен қамтуды оңтайландырады. Осы мақсатта әрбір ҰҰА-БС үшін ең тиімді орналасу орны мен биіктікті анықтайтын эвристикалық әдіс қолданылады, бұл пайдаланушыларға қызмет көрсетуді,

сигналдың қамтуын, қызмет көрсету сапасын және энергия тиімділігін қамтамасыз етеді.

Суретте көрсетілгендей, осы дипломдық жұмыста ҰҰА-ны орналастыру және траекторияны жоспарлау тұрғысынан ғылыми еңбектерді салыстырмалы талдадық. Әрбір бөлімде талданған жұмыстар қарастырылып отырған орта жағдайларына сәйкес қарастырылды. Осыған байланысты, ҰҰА-ны орналастыру және траекторияны жоспарлау мәселелерінде ғылыми еңбектер мынадай критерийлер бойынша салыстырылды: мәселенің өлшемдік құрылымы, шешім қабылдауда қарастырылған ҰҰА саны, сигналдың әлсіреуі, интерференция тікелей көрінбейтін байланыс арналарының ескерілуі, энергия шектеулері және басқа да факторлар.



1.10-сурет – Әрбір категорияға сәйкес талданатын мәселелер

Дипломдық жұмыстың бөлімде ұшқышсыз ұшу аппараттарының сымсыз байланыс жүйелеріндегі рөлін, олардың тиімділігін, орналастыру стратегияларын, архитектуралық ерекшеліктерін және заманауи әдістермен оңтайландыру жолдарын кеңінен қарастырдық. Зерттелген жұмыстар негізінде ҰҰА-ны базалық станциялар ретінде немесе ретрансляциялық тораптар ретінде қолдану арқылы желі қамту аймағын кеңейтуге, интерференцияны азайтуға және деректер тарату сапасын жақсартуға болатыны көрсетілді.

2 Байланыстың сигнал сапасын жақсарту үшін ҰҰА базалық станция ретінде құру

2.1 Байланыстың сигнал сапасын жақсарту үшін ҰҰА атқаратын қызметі

Төтенше жағдайлар кезіндегі байланыста дәстүрлі байланыс инфрақұрылымының қатты зақымдануы коммуникацияның қолжетімділігі мен тиімділігіне айтарлықтай әсер етеді. Бұл жағдай апат аймақтарындағы құтқару жұмыстарына және зардап шеккен тұрғындарға үлкен қиындықтар туғызады. Алайда соңғы жылдары IoT үлкен деректерін талдау және ұшқышсыз ұшу аппараттары технологияларының жылдам дамуы төтенше жағдайлардағы байланыс мәселелерін шешуге тың мүмкіндіктер ұсынды. IoT үлкен деректерінің қуатты талдау мүмкіндіктері мен ҰҰА-лардың қозғалғыштығы мен икемділігін біріктіру арқылы төтенше байланыс жүйесін ұйымдастыруда жаңа тәсілдер пайда болды.

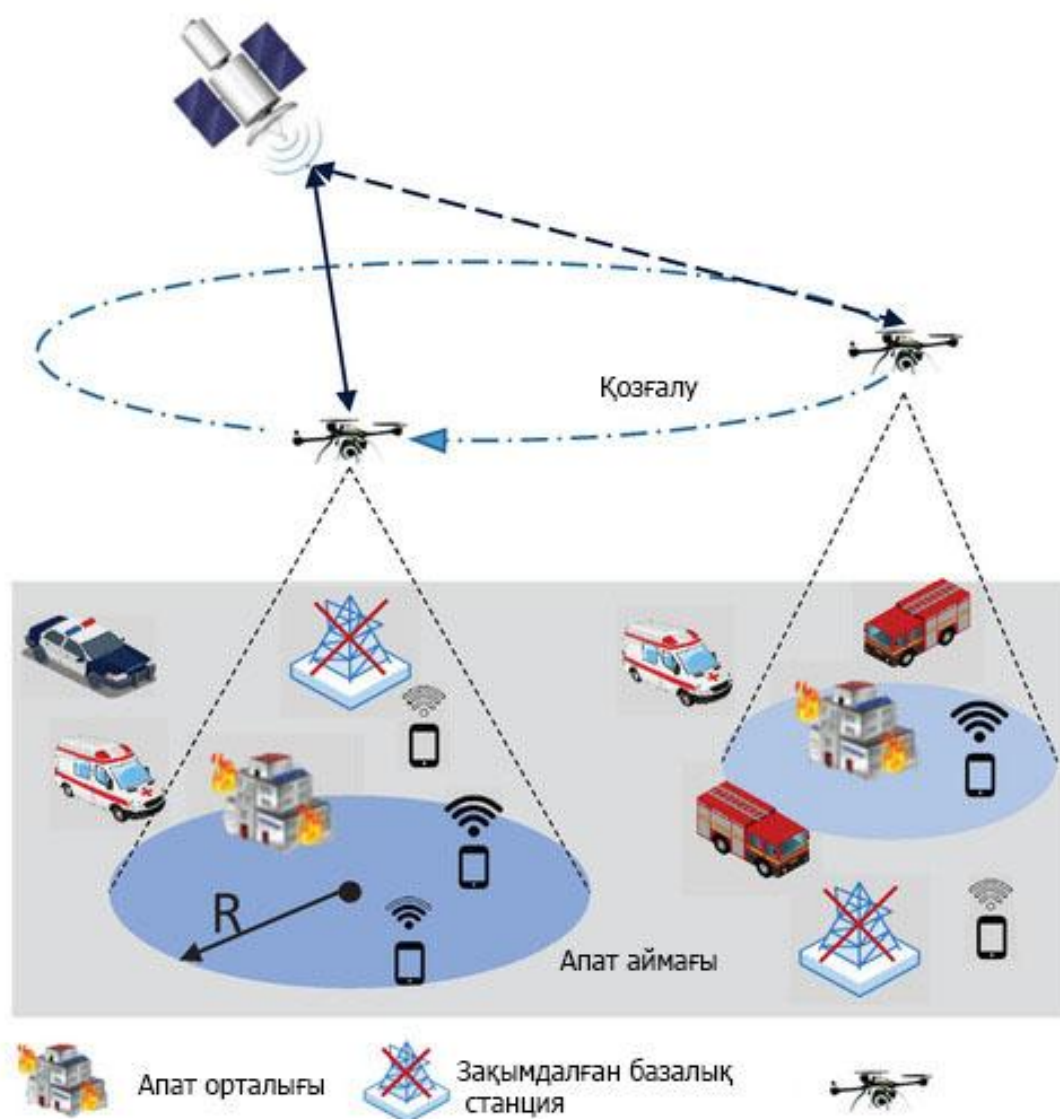
Екіншіден, IoT үлкен деректерін қолдану арқылы апаттан кейінгі байланыс желілерін жоспарлау мен оңтайландыруға болады. Желілік трафикті, пайдаланушылардың орналасуын, желі топологиясын және ресурстарды бөлу үлгілерін талдау арқылы байланыс аумағын кеңейтіп, ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік беретін оңтайлы желілік схемалар жасалады. Бұдан бөлек, IoT аналитикасы арқылы желідегі ақаулар мен аномалияларды бақылап, оларды тез анықтап, түзетуге жағдай жасалады, бұл өз кезегінде жүйенің тұрақтылығы мен сенімділігін арттырады.

Бұл дипломдық жұмыста IoT үлкен деректерін ұшқышсыз ұшу аппараттарымен біріктіру арқылы байланыс қамту аймағындағы олқылықтардың орнын толтырып, уақытша байланыс арналарын тез орнатуға болады. ҰҰА-лардың маневрлік қабілеті мен икемділігі олардың апаттан зардап шеккен аймақтарға жедел жеткізіліп, жылдам орналастырылуына мүмкіндік береді. Байланыс жабдықтарымен жабдықталған ҰҰА-лар мобильді реле станциялары ретінде жұмыс істей алады, бүлінген инфрақұрылымды толықтырып, байланыс желісінің тұтастығын сақтайды.

ҰҰА-лар төтенше жағдайларда байланыс қызметін қамтамасыз етуде әмбебап әрі икемді платформа ретінде танылады. Оларға орнатылған реле құрылғылары арқылы дәстүрлі инфрақұрылымы істен шыққан немесе жұмыс істей алмайтын аймақтарда уақытша сымсыз байланыс желілерін құруға болады, бұл байланыс қызметінің ауқымын кеңейтіп, қолжетімділігін арттырады. ҰҰА және IoT үлкен деректерін талдау технологияларын біріктіру олардың байланыс қажеттіліктерін басымдыққа қарай реттеп, жағдайдың өзгеруіне бейімделуіне, сондай-ақ тиімді байланыс қамтуын қамтамасыз етуіне жол ашады.

Көп ҰҰА жүйелерінің кооперативті әрекеттері, траекторияны жоспарлау, энергия тиімділік және әділдік қағидаларын сақтау арқылы күрделі тапсырмаларды тиімді шешу мүмкіндіктері талданды. Сонымен қатар, ҰҰА көмегімен құрылатын желілерде жұлдызша, тор және иерархиялық торлы топологиялар арқылы сенімді және масштабталатын байланыс ұйымдастырудың артықшылықтары сипатталды.

Қорытындылай келе, ҰҰА негізіндегі байланыс жүйелерін жетілдіру – қазіргі және болашақтағы төтенше жағдайлар, ауыл шаруашылығы, ақылды қала және IoT салаларында жоғары сапалы, сенімді және энергия үнемдейтін байланыс қызметтерін қамтамасыз етудің маңызды қадамы болып табылады

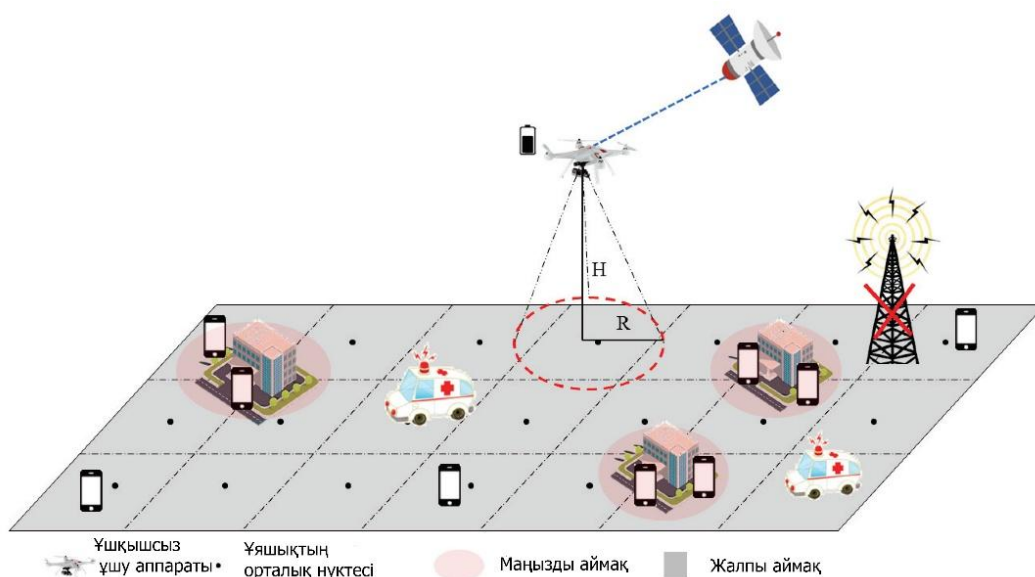


2.1-сурет – Төтенше жағдайлар кезіндегі байланыс жүйесі ҰҰА байланысты жақсарту үшін жұмыс істеу принципіалды схемасы

2.1-суретте ұсынылған ҰҰА көмегімен төтенше жағдайлардағы байланыс жүйесінің үлгісі апат жағдайында базалық станциялар істен шыққанда немесе толықтай бұзылғанда, ҰҰА-лардың жылдам іске қосылып, стратегиялық түрде қайта орналастырылуы арқылы зардап шеккен аймақтарда байланыс қызметін тиімді қамтамасыз етуге болатынын көрсетеді. ҰҰА-лар байланыс құрылғыларын алып жүру арқылы уақытша байланыс арналарын құрып, апаттан зардап шеккен аймақтарға жедел байланыс қызметін ұсынуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ҰҰА-лар сенсорлардан алынған деректерге сүйене отырып өз позицияларын динамикалық түрде өзгерте алады, бұл байланыс қамту аймағын кеңейтуге және тұрақты қолдауға септігін тигізеді.

2.2 Күрделі жағдайларда байланысты қамтамасыз ету үшін ҰҰА орнату

Табиғи апат салдарынан жерүсті базалық станция істен шыққан жағдайда, ұшқышсыз ұшу аппараттары әуедегі базалық станция ретінде қолданылып, жердегі пайдаланушылар үшін байланыс жүйесін жедел түрде қалпына келтіруге мүмкіндік береді. 2.2-суретте апаттан кейінгі күрделі жағдайларда байланыс қамтуын жүзеге асыру үшін ұшу үстіндегі ҰҰА-ның әрекет принципі ұсынылған. Бұл жағдайда пайдаланушылар әртүрлі орындарға таралып орналасқанымен, олардың көпшілігі мектептер мен эвакуациялық орталықтар сияқты қауіпсіз аймақтарда шоғырланған, ал кейбіреулері нысан аумағы бойынша сирек кездейсоқ нүктелерде орналасқан.



2.2-сурет. ҰҰА көмегімен байланыс аумағын қамту моделі (қамту аймағында ұшу арқылы)

Сондықтан нақты әрі сенімді түрде тек қауіпсіз аймақтар сияқты негізгі орындардың ($g \in G$) координаттарын ғана алуға болады, ал қалған пайдаланушылардың нақты орналасу деректерін анықтау мүмкін емес. Мақсатты аймақ өлшемі $L \times M$ (м) болатын тіктөртбұрышты апат аймағы деп есептеледі. Осы аймақты қамту үшін айналмалы қанатты ҰҰА тұрақты биіктікте $H(m)$ ұша отырып, уақытша әуе базалық станция ретінде пайдаланылады. ҰҰА-ның жердегі қамту аймағы радиусы $R(m)$ болатын шеңберлік формада болады. Байланыс қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін ҰҰА спутниктік жүйелермен байланыс арналарын орнатады.

ҰҰА қажеттілікке байланысты қамту радиусын өзгерту үшін жіберу қуатын икемді түрде реттей алады.

Суреттегі ҰҰА арқылы сигнал тарататын аймақтардың иерархиялық құрылымын сипаттайды. Орталық нүкте бұл ҰҰА-ның негізгі сигнал тарататын орталығы, мәліметтерді жинау мен таратудың ядросы көрсетілген. Байланыс үшін жоғары жиілік қолданады, шектеулі аумақты қамтиды, бірақ жоғары дәлдікпен жұмыс істейді. Орталық нүктеге тікелей байланысты, критикалық инфрақұрылымдар орналасқан (мысалы, басқару пункті, қауіпсіздік объектілері).

2.3 ҰҰА тар арасындағы байланыстың арналарының моделі

ҰҰА уақыт бойынша орын ауыстыруы жолдағы шығынға, көпсәулелі таралуға және қабылданатын сигнал қуатына елеулі әсері қарастырылады, сондықтан байланыс сапасын сақтау үшін нақты уақыттағы бейімделулерді қажет етеді.

Теориялық модель жолдағы сигнал жоғалуы мен көпсәулелі таралу сияқты маңызды факторларды қамтиды. Алайда, ҰҰА байланысын практикалық тұрғыда жүзеге асыру нақты кеңестікте бірқатар шектеулерге тап болады, бұл өз кезегінде жүйені мұқият жобалауды және бейімдеуді талап етеді.

Ұшқышсыз ұшу аппараттары жергілікті немесе халықаралық реттеуші органдар белгілеген жиілік диапазондары шегінде жұмыс істеуі тиіс. Жиілік қолжетімділігі мен рұқсат етілген тарату қуаты аумақтар арасында әртүрлі болуы мүмкін, бұл өз кезегінде байланыс бюджетіне және қамту аймағына тікелей әсер етеді.

Сонымен қатар, қалалық ортада ҰҰА ұшулары үшін жиі түрде биіктік шектеулері немесе белгіленген кеңестік дәліздеріне енгізіледі. Мұндай құқықтық шектеулер ҰҰА ұшу биіктігін азайтуы немесе оларды тікелей көріну траекторияларымен шектей отырып, еркін кеңістіктегі немесе сигналдың әлсіреу модельдерінің қолдану мүмкіндігін шектейді.

ҰҰА операторлары қауіпсіздік талаптарын (мысалы, соқтығысудың алдын алу, аккумулятор резерві) міндетті түрде орындауы тиіс. Сонымен қатар, халық тығыз орналасқан аудандарда деректерді жинау процесі құпиялық туралы заңдармен реттелуі мүмкін. Бұл техникалық емес шектеулер ҰҰА әуеде қалу уақытына немесе пайдалануға рұқсат етілген антенналар мен технология түрлеріне жанама түрде әсер етуі мүмкін.

Әрекеттегі шынайы шектеулерді ескере отырып, ҰҰА-лар арасындағы байланыс арналарын және олардың қозғалысын модельдеу келесі тәсілмен жүзеге асырылады. Қалалық ортаға тән сипаттамаларды ескеретін көпсәулелі таралу мен сигналдың әлсіреуін сипаттайтын классикалық үлгілер қолданылады. Бұл әдіс тікелей көрінетін және тікелей көрінбейтін жағдайларды бірдей қарастырып, тығыз құрылыс салынған аймақтарда байланыстың сенімділігін нақты бағалауға мүмкіндік береді.

Қозғалыс профилі яғни ҰҰА орналасу координаттары (x_i, y_i, h_i) уақытқа байланысты өзгеріп отырады. Бұл өзгерістер ұшу дәліздерін немесе кездейсоқ бағыттармен қозғалуды имитациялайды. Осының нәтижесінде, ҰҰА арасындағы арақашықтықтар $d_{i,j}(t)$ уақыттың функциясы бойынша сипатталады, биіктік пен көлденең жылдамдықтың қабылданған сигнал қуатына байланысты түрде сипатталады.

ҰҰА арасындағы байланыс қашықтығы $h_{i,j}$ кешенді арналық коэффициенті арқылы сипатталады. Бұл коэффициент үлкен масштабтағы сигналдың жету жолындағы жоғалулар және шағын масштабтағы интерференция мен көпсәулелі таралу негізде сипатталған.

$$h_{i,j} = \sqrt{\beta_{i,j} \cdot h_{\text{шағын аумақ}}} \quad (2.4)$$

Бұл коэффициент нақты уақыттағы байланыс сапасын сипаттайды және ол қашықтыққа, қоршаған ортаның ерекшеліктеріне, және қозғалыс динамикасына тәуелді болады. $\beta_{i,j}$ бұл үлкен масштабтағы жолдағы жоғалуды білдіреді, ол ҰҰА-лар арасындағы қашықтыққа және қоршаған ортаның әлсірету әсеріне тәуелді. $h_{\text{шағын аумақ}}$ шағын масштабтағы көпсәулелі таралуды (small-scale fading) сипаттайды және ол күрделі Гаусс процесі ретінде үлгіленеді. $h_{\text{шағын аумақ}} \sim CN(0,1)$ нөлдік математикалық күтімі және бірлік дисперсиясы бар кешенді Гаусс (нормаль) таралуы. Уақыт бойынша өзгеріп отыратын желіде, яғни ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) бір-бірімен салыстырғанда үнемі қозғалыста болатын жағдайда, жиынтық жол бойынша сигнал жоғалуы келесідей өрнектеледі:

$$\beta_{i,j} = \int_{t_0}^t \left(\frac{\lambda}{4\pi d_{i,j}} \right)^2 \exp(-ad_{i,j}) dt \quad (2.5)$$

мұндағы $\lambda = \frac{c}{f}$ Сигналдың толқын ұзындығы;

c - жарықтың таралу жылдамдығы;

$ad_{i,j}$ ҰҰА апараттары арасындағы қашықтық;

α қоршаған ортаның әлсірету коэффициенті.

Уақытқа тәуелді желі жағдайында, яғни ҰҰА-лар арасындағы қашықтық уақыт бойынша өзгеріп отыратын жағдайда, жиынтық жолдағы жоғалу келесідей өрнектеледі.

d_{ij} екі ҰҰА арасындағы қашықтық, (x_i, y_i, h_i) және (x_j, y_j, h_j) олардың үш өлшемді кеңістіктегі координаталары, мұндағы h_i және h_j — тиісінше $ҰҰА_i$ және $ҰҰА_j$ ларының биіктіктері. Бұл модель биіктік деңгейлері әртүрлі болатын ҰҰА байланыс жағдайларында маңызды болып табылатын көлденең және тік қашықтықтарды қатар ескеріп көрсетеді.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (h_i - h_j)^2} \quad (2.6)$$

мұнда h_i және h_j сәйкесінше U_i және U_j ұшқышсыз ұшу аппараттарының биіктіктерін білдіреді. Бұл модель ұшу аппараттарының әртүрлі биіктікте орналасуына байланысты байланыс кезінде маңызды рөл атқаратын көлденең және тік қашықтықтарды қамтиды[38].

2.4 ҰҰА шағын масштабтағы әлсіреу моделі

Шағын масштабтағы сигнал әлсіреуі (фейдинг) ЛоС (тікелей көру) жолының бар-жоғына байланысты Релея немесе Райс үлестірімдерімен сипатталады. Егер тікелей көру жолы болмаса, Релея әлсіреу орын алады, мұндай жағдайда әлсіреу коэффициентінің амплитудасы келесі заңдылыққа бағынады.

$$f_{|h_{i,j}|}(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \quad x \geq 0, \quad (2.7)$$

мұндағы σ^2 – әлсіреу огибациясының дисперсиясы.

Ал Райс типті әлсіреу жағдайында ықтималдық тығыздығының функциясы келесі түрде беріледі:

$$f_{|h_{i,j}|}(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + \nu^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{x\nu}{\sigma^2}\right), \quad (2.8)$$

мұндағы ν – тікелей көру жолының шың амплитудасы;

I_0 - бірінші ретті түрлендірілген Бессель функциясы.

2.5 Бағытталған сигнал беру және арна жағдайына бейімделу әдістері

Байланыс сенімділігін арттыру мақсатында әрбір ұшқышсыз ұшу аппараты (ҰҰА) сәулені бағыттау (beamforming) үшін біркелкі тікбұрышты антенна торын қолданады. М-элементтен тұратын тікбұрышты антенна торын массиві үшін басқарушы вектор келесі түрде анықталады:

$$a_{\text{ҰҰА}}(\theta, \phi) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{M_x=0}^{M_x-1} \sum_{M_y=0}^{M_y-1} e^{j2\pi \frac{M_x d}{\lambda} \sin\theta \cos\phi} e^{j2\pi \frac{M_y d}{\lambda} \sin\theta \sin\phi} \quad (2.9)$$

мұндағы m_x және m_y сәйкесінше көлденең және тік бағыттағы массив элементтерінің индекстері;

θ - және ϕ жіберілген сигналдың көтерілу және азимут бұрыштары,
 d - массивтегі элементтер арасындағы арақашықтық.

Сәуле бағыттаумен алынатын қуат. Сәуле бағыттауды ескере отырып, Y_i ұшу аппаратынан Y_j ұшу аппаратына жететін қабылданған қуат келесі үлгі бойынша сипатталады:

$$P_{r_{i,j}(t)} = P_{t_i} \left| \int_{t_0}^t h_{i,j}^H(t') a_{\text{ҰҰА}}(t') dt' \right|^2 \quad (2.10)$$

мұндағы P_{t_i} , Y_i ұшқышсыз ұшу аппаратының жіберу қуаты $h_{i,j}(t')$ уақытқа тәуелді арнаның сипаттамалық матрицасы;

$a_{\text{ҰҰА}}(t')$ бейімделген басқарушы вектор.

Қозғалыс және динамикалық бейімделу негізінде ұшқышсыз ұшу аппараттарының қозғалысы үздіксіз траектория теңдеулерімен сипатталады.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ h_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_h \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

мұндағы v_x , v_y және v_h — сәйкесінше x , y және биіктік (h) бағыттарындағы жылдамдық компоненттері. Ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) нақты уақыттағы сигнал/шудың қатынасына (СШҚ) негізделіп отырып, тиімді байланыс сапасын сақтау мақсатында сәуле бағыттау бұрыштары мен қуат бөлінісін үздіксіз түрде бейімдейді.

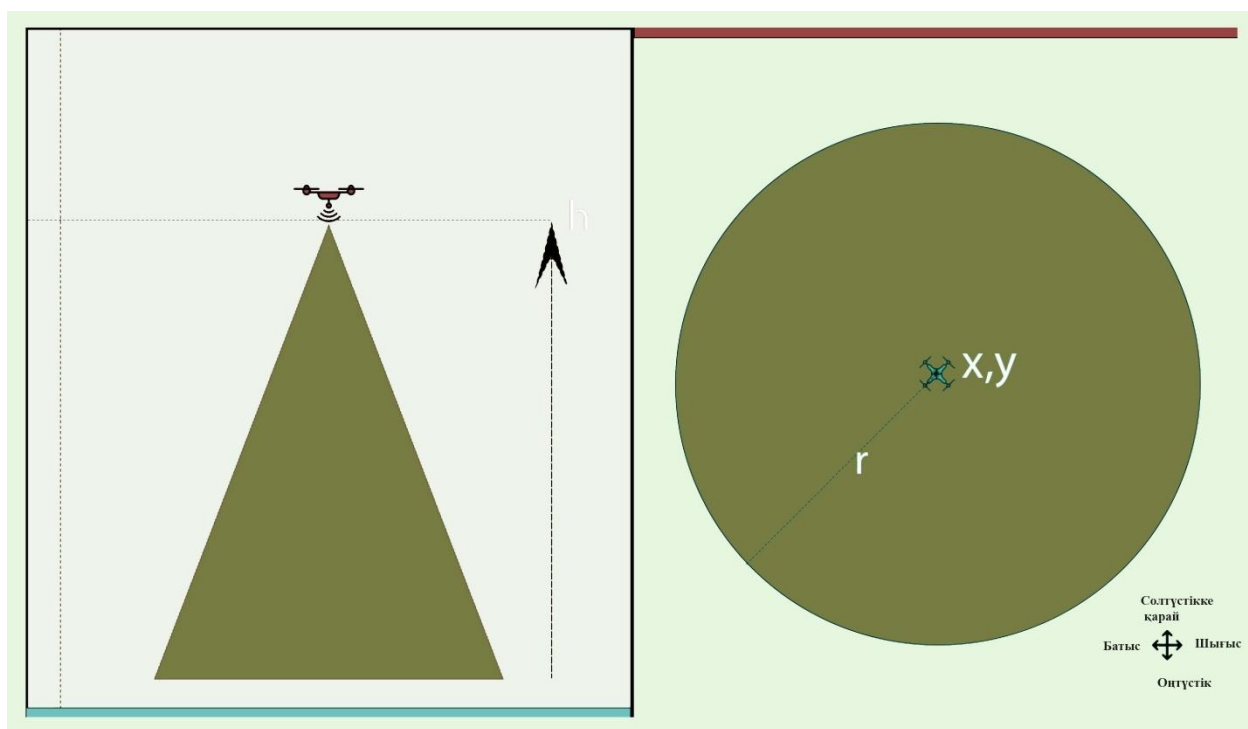
$$\text{СШҚ}_{i,j} = \frac{P_t G_t G_r}{N_0 B \beta_{i,j}(t)} \quad (2.12)$$

мұндағы G_t және G_r сәйкесінше таратқыш пен қабылдағыштағы антенна күшейткіштері (пайдасы). Ұсынылған бұл модель ақылды қалалар желісінде қозғалмалы ұшқышсыз ұшу аппараттарының өзара байланысын талдауға арналған теориялық негіз ұсынады.

2.6 Аймақты тиімді толтыру және ҰҰА орналастыру стратегиясы

Аймақты толтыру ҰҰА орналастыру үдерісінің негізгі бөлігі болып табылады. Бұл бөлімде біз тікбұрышты аймақты қамту үшін әртүрлі радиустардағы шеңберлерді пайдалану арқылы ешқандай желілік қамтусыз бос кеңістіктер қалдырмайтын орналастыру стратегиясын жүзеге асырамыз. Әрбір шеңбер нақты бір ұшқышсыз ұшу аппаратының қамту аймағын білдіреді. Белгілі бір биіктікте орналасқан дронның қамту аймағы конус пішіндес болып есептеледі (3.1-сурет).

Көп жағдайда тікбұрышты аймақты шеңберлер арқылы толтыру барысында олардың арасында бос аймақтар яғни қамтылмаған бөліктер қалып қояды. Алайда, бұл кемшілікті болдырмау мақсатында біз қабаттасатын шеңберлерді қолданамыз. Бұл тәсіл арқылы аймақ толық қамтылғанымен, кейбір бөліктерде желілік қамтудың артық қабаттасуы немесе қайталануы орын алуы мүмкін. Мұндай артықшылықтар жабын тиімділігін төмендетіп, ресурстардың ысырап болуына әкелуі ықтимал. Сол себепті, біз артық қамтуды мүмкіндігінше азайтуға, сондай-ақ ұшқышсыз аппараттардың қажетті санын оңтайландыруға бағытталған тиімді алгоритмдік тәсілдерді қолданамыз.

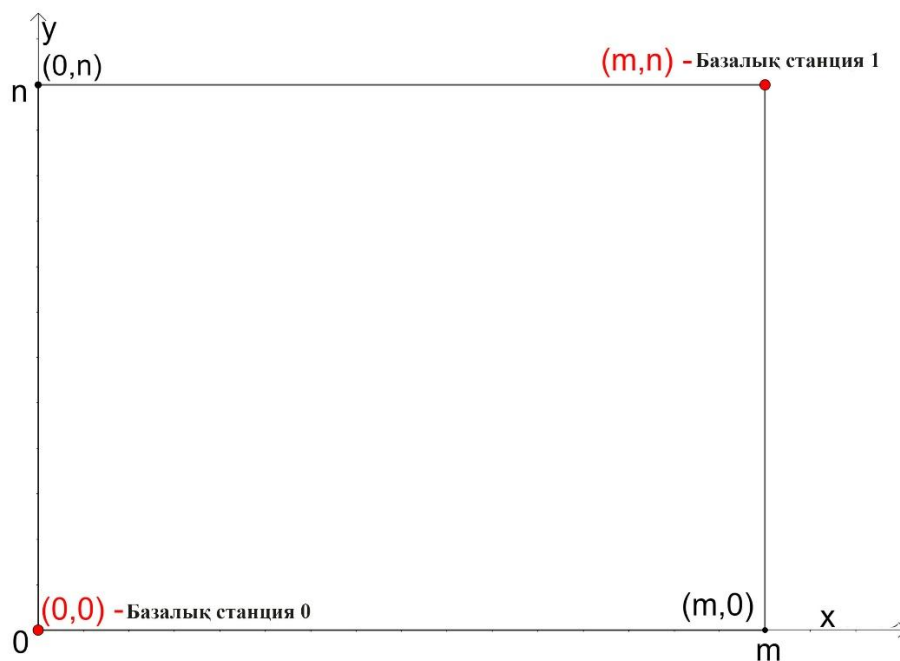


2.3-сурет – Белгілі бір биіктікте орналастырылған дронның желілік қамту аймағының алдыңғы және үстіңгі көрінісі

H_{max} ҰҰА орналастыруға болатын ең жоғарғы биіктік ретінде анықтаймыз, мұнда оған қосылған кез келген мобильді құрылғы жеткілікті желі күшіне ие болуы тиіс. Сонымен қатар, H_{max} бүкіл аймақтағы ең биік кедергіден жоғары болуы керек. Аймақты толтыру алгоритмі қамтуды екі өлшемде жүзеге

асырғанымен, дрондарды іс жүзінде орналастыру үшін әртүрлі нүктелердегі жер бедері деректерін біріктіреді.

ҰҰА тиісті базалық станциялардан іске қосылады. Қажетті базалық станциялар санын және олардың орналасуын анықтау қажет. Базалық станцияларды алдын ала анықталға түрде бекіту үшін оларды әрқашан тікбұрышты аймақтың бұрыштарына орналастыру стратегиясын қолданамыз. Сондықтан тікбұрышты аймақ үшін бір, екі, үш немесе төрт базалық станция болуы мүмкін. Базалық станциялар санын арттыру ҰҰА қажеттілігін азайтады, өйткені базалық станцияларға жақын орналасқан ҰҰА биікке орналастырылып, соның нәтижесінде қамту аумағы артады. Алайда, біздің талдаулар көрсеткендей, базалық станциялар санын екіден артық көбейту айтарлықтай артықшылық бермейді. Сондықтан біз екі базалық станцияны қарама-қарсы бұрыштарға орналастырып, олардың санын екіге бекітеміз. Бір базалық станция $(0, 0)$ нүктесінде, ал екіншісі (m, n) нүктесінде орналасқан деп есептеледі (2.4-суретке сәйкес).

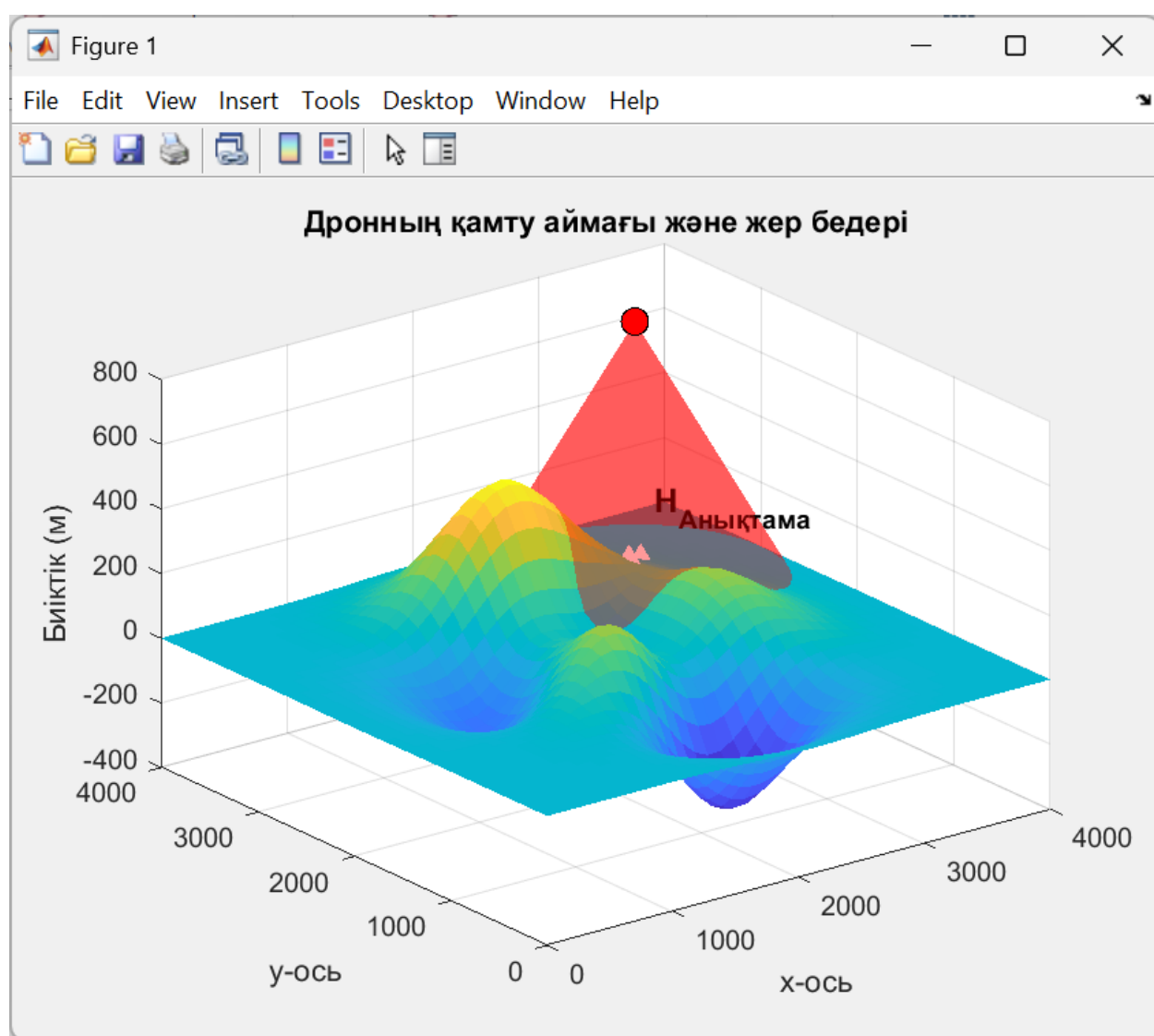


2.4-сурет – Базалық станциялар диагональ бойынша қарама-қарсы бұрыштарда орналасқан.

Аймақтардағы ҰҰА БС қамтуымен, нақтырақ айтқанда шеңберлермен толтыруды бастау, бастапқы нүктеден $(0, 0)$ басқа бұрышқа қарай. Бұл бүкіл аймақ толық қамтылғанға дейін әрбір итерацияда x бағыты және y бағыты бойынша ішкі қабаттарды толтыру арқылы жүзеге асырылады. Алгоритм дрон объектісі d келесі сипаттамаларын қарастырады: (x, y) ҰҰА орналасқан нүктенің x және y координаталары, r конус тәріздес желі қамту радиусы, h конус тәріздес желі қамту биіктігі, b ҰҰА қай базалық станцияға тиесілі екенін көрсететін индикатор; 0 мәні дронның базалық станциясы $(0, 0)$ нүктесінде екенін, ал 1 мәні

дронның базалық станциясы (m, n) нүктесінде екенін білдіреді. е дрон өз базалық станциясынан тағайындалған орнына жеткен кезде қалған энергия мөлшері. h_{ref} зардап шеккен аймақтың жер бедеріне бейімделу үшін қажетті, әр дронға қатысты анықталған тірек нүктелерінің ішіндегі ең биік нүктенің биіктігі, оңтүстік, солтүстік, шығыс, батыс дронның солтүстіктегі, оңтүстіктегі, батыстағы және шығыстағы көршілес дрондары көрсетеді.

h_{ref} дронға қатысты тірек нүктесінің биіктігін білдіреді. Әр дрон объектісіне бірнеше тірек нүктелер тиесілі болуы мүмкін. Бұл нүктелер шеңбердің басқа шеңберлермен, x осімен немесе y осімен қиылысу нүктелері болуы мүмкін. Сондықтан, h_{ref} белгілі бір дронға қатысты барлық тірек нүктелерінің биіктіктерінің ең үлкен мәнін білдіреді. h_{ref} және тірек нүктелерінің көрінісі 2.5-суретте көрсетілген.



2.5-сурет – Ұшқышсыз ұшу аппаратының (ҰҰА) қамту аймағы мен рельефтік бедердің үшөлшемді моделі

Бұл моделде тікбұрышты аймақты қабат-қабатымен толтырады, бұл үдеріс $(0,0)$ нүктесіндегі базалық станциядан басталып, (m, n) нүктесіндегі базалық станцияға қарай жылжиды және әрбір дронды ең жақын базалық станцияға тағайындайды. Біз алдымен шеңберлерді x осі бойымен, содан кейін y осі бойымен толтыру тәсілін қолданамыз. Жүйенің жұмыс істеу тиімділігіне ықпал ететін шынайы орта факторлары, мысалы, жиілік шектеулері, рұқсат етілген тарату қуаты, ұшу дәліздері мен қауіпсіздік талаптары ескерілді. Әсіресе, қала жағдайында нақты кеңістік пен рельефтің әсері, қозғалыстағы ҰҰА-лар үшін арналардың динамикасы, қозғалыс траекториясы мен сигнал/шудың қатынасы негізінде модельдеу жолдары ұсынылды.

Суретте көрсетілген модельдеу – ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА немесе дрон) сымсыз байланыс жүйесіндегі қамту аймағын және нақты жер бедерімен өзара әрекеттесуін сипаттайды. Мұндай визуализация дронның базалық станция ретінде қолданылуы кезіндегі географиялық кедергілер мен қамту тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Жұмыстың негізгі мақсаты – дрон биіктігі мен орналасуының сигнал таралу аймағына әсерін, сондай-ақ көрінетін (LoS – Line-of-Sight) және көрінбейтін (NLoS – Non-Line-of-Sight) арналар ықтималдығын талдау арқылы байланыс сапасын бағалау болып табылады.

Бұл үшөлшемді визуализация MATLAB ортасында құрылған, мұнда X және Y жазықтығы (x -ось, y -ось) жергілікті координаттар жүйесін сипаттайды, ал Z -ось (биіктік) дронның орналасу биіктігін және рельефтің абсолюттік биіктігін көрсетеді. Модельдегі түрлі түсті беткей – нақты немесе синтетикалық жер бедерін білдіреді. Жердің әртүрлі биіктік нүктелері таулы және ойпатты аймақтардың болуын көрсетіп тұр.

Қызыл түсті конус тәріздес аймақ – дронның байланыс сигналын тарата алатын қамту аумағын көрсетеді. Бұл аймақ қамту радиусы және дронның ұшу биіктігіне (H) тәуелді болады. Қызыл нүкте – дронның нақты координаттық орналасу нүктесі, ал қара күңгірт аймақ – жер бетінің көлеңкелі бөліктері немесе NLoS аймақтары.

Осындай үшөлшемді модельдеу – дронды базалық станция ретінде тиімді орналастыруды жоспарлауда маңызды құрал. Қалалық жерлерде ғимараттармен, ал ауылдық немесе таулы жерлерде рельефпен байланысты көру аймағының шектелуі дроннан пайдаланушыға дейінгі арна жағдайын айтарлықтай нашарлатуы мүмкін. Сондықтан LoS ықтималдығын және қамту сапасын алдын ала бағалау – желіні жоспарлаудың алғашқы әрі маңызды кезеңі.

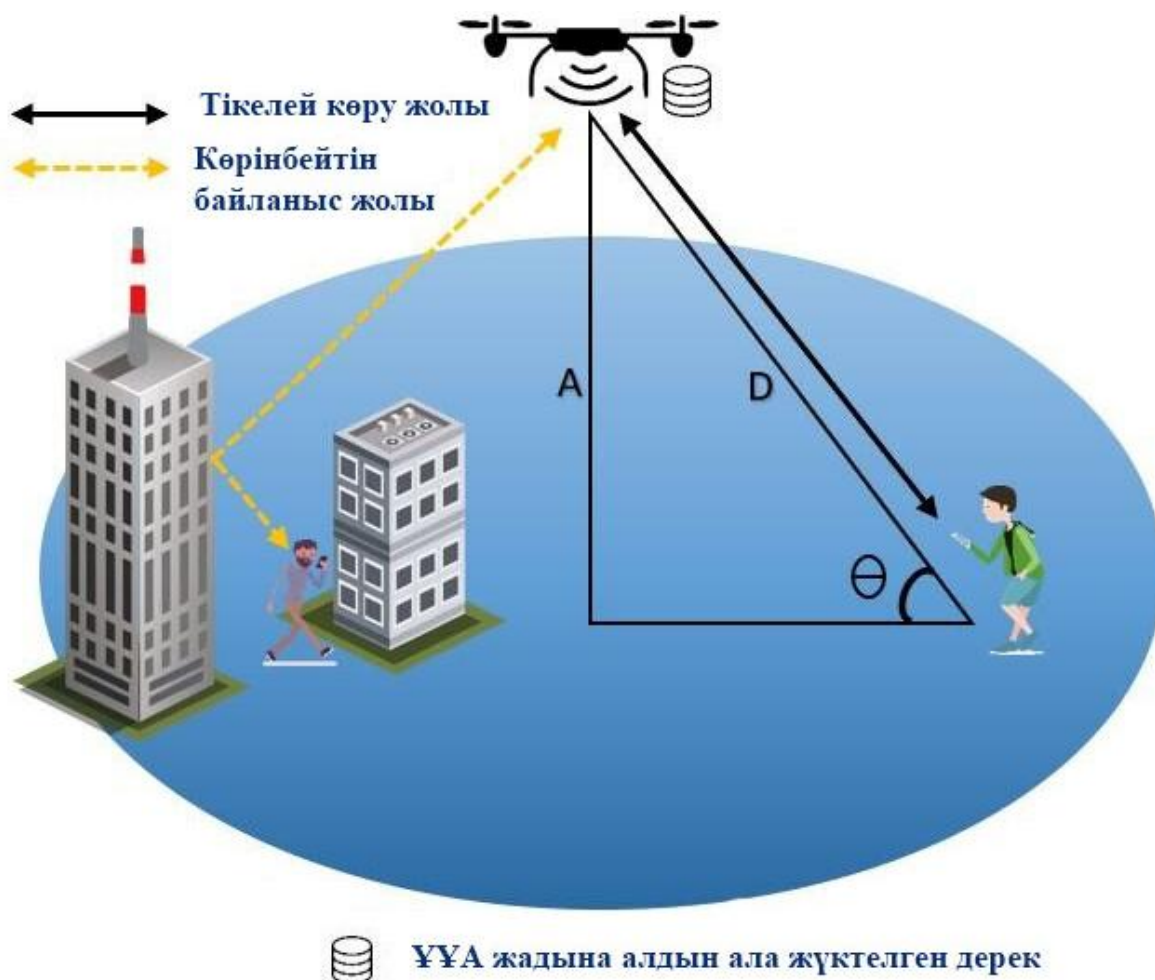
Қорытындылай келе, берілген сурет – дрон базалық станцияларының қамту аймағын нақты рельеф жағдайында бағалауға арналған тиімді модельдеу нәтижесі болып табылады. Бұл визуализация сымсыз желілерді жоспарлау, тиімді орналастыру стратегияларын таңдау, сондай-ақ LoS ықтималдығын арттыруға бағытталған шешімдерді қабылдауда қолдануға өте қолайлы. Бұндай модельдер — заманауи UAV-assisted байланыс жүйелерінде маңызды аналитикалық және инженерлік құрал болып саналады.

3 ҰҰА-ын әуе базалық станциялар ретінде орналастыруды оңтайландыру Matlab ортасында модельдеу

3.1 ҰҰА қамтамсыз етуге арналған желіге қатысты болжам

Бұл модельде ҰҰА-ның қозғалыс жылдамдығы, байланыс және сақтау мүмкіндіктері шектеулі деп болжанған. Соңында, әрбір ҰҰА жердегі пайдаланушыларға қызмет көрсетуге жеткілікті энергияға ие деп есептеледі. Әрбір ҰҰА тұрақты батарея сыйымдылығымен жұмыс істейді деп қабылданады.

Мобильді байланыс жүйелері кең жиілік диапазонында радиотолқын үлгілерін пайдаланады. Бұл жүйе мобильді желіні жоспарлау мен қамтуда, сондай-ақ оның жұмысын жедел болжауда көмектеседі. Мұнда ұшқышсыз ұшу аппараттарының базалық станцияларына қатысты бірқатар параметрлер ескерілді. Бұл төмендегі диаграммада көрсетілген бағытталған антенна арқылы бейнеленген 3.1-суретке көрсетілген.



3.1-сурет – ҰҰА базалық станция негізінде жұмыс жасағанда көрінетін және көрінбейтін байланыс жолдары.

Бұл модельде ҰҰА екі түрлі байланыс арнасына ие: 1) ҰҰА мен жердегі пайдаланушы арасындағы байланыс, 2) ҰҰА мен жерүсті базалық станция арасындағы байланыс. Сондықтан, біз жер терминалы ретінде $g \in H \cup BC$ белгілейміз, мұнда $h \in H$ жердегі пайдаланушы, ал BC жерүсті базалық станция. ҰҰА $u \in U$ мен жер терминалы g g арасындағы байланыс арнасы келесі факторларға тәуелді: тасымалдаушы жиілікке, көрінетін байланыс пен көрінбейтін байланыс ықтималдығына, көрінетін және көрінбейтін мүмкіндік байланыс арналарындағы сигнал әлсіреу коэффициенттеріне. Қалалық ортада ҰҰА мен жер терминалы арасындағы байланысты бөгейтін кедергілер болуы мүмкін. Суретте ҰҰА мен екі түрлі пайдаланушы арасындағы көрінетін және көрінбейтін байланыс арналар көрсетілген: біреуі ешқандай кедергісіз тікелей байланыс, ал екіншісі сигналды шағылысу арқылы қабылдайтын байланыс. Сондықтан жердегі пайдаланушы үшін уақыттың t сәтіндегі көрінбейтін ықтималдығы келесі түрде өрнектеледі [39].

ҰҰА мен пайдаланушы арасындағы көтерілім бұрышы маңызды рөл атқарады:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{H}{D} \right) \quad (3.1)$$

мұндағы H ҰҰА-ның жерден биіктігі (м);

D ҰҰА мен пайдаланушы арасындағы көлденең қашықтық (м);

θ көтерілу бұрышы (градус).

Жер бедері мен көтерілу бұрышына байланысты көрінетін ықтималдығы келесі формуламен анықтауға болады.

$$P_{\text{көр}} = \frac{1}{1 + a \cdot \exp(-b(\theta - a))} \quad (3.2)$$

a, b орта типіне (қалалық, ауылдық, ашық аймақ) байланысты коэффициенттер, θ жоғарыда есептелген көтерілім бұрышы.

$$P_{\text{көрінбейтін}} = 1 - P_{\text{көр}} \quad (3.3)$$

Сонымен қатар халықаралық электр байланысы одағы ұсынған таралу моделіне сүйенілді. Бұл модель қалалық және қала маңындағы ортада қолдануға қолайлы және есептеулердің дәлдігін арттыру үшін әртүрлі параметрлерді қамтиды. Ауа мен жер арасындағы байланысқа арналған жалпы жолдағы жоғалтулар моделі пайдаланылды. Бұл модельде көрінетін және көрінбейтін байланыс жолдары ескеріледі. Мұнда f тасымалдаушы жиілікті білдіретін

айнымалы, d қашықтықты (метрмен) білдіретін айнымалы, c жарық жылдамдығын білдіретін тұрақты шама.

$$P_{\text{жалпы жол жоғалу}} = 20 \log \left(\frac{4\pi f d_{ij}}{c} \right) + \eta_{\text{жоғалу}} P_{r\text{көрінбейтін ж}} \quad (2.1)$$

Төмендегі теңдеу пайдаланушы мен ҰҰА-базалық станциясы арасындағы қашықтықты есептеу формуласын көрсетеді, мұнда D екі нүктенің арасындағы қашықтықты білдіреді. X нүктесі бірінші нүктенің координаталарын, ал y нүктесі екінші нүктенің координаталарын білдіреді [26].

$$D_i = \sqrt{(x + x_i)^2 + (y + y_i)^2} \quad (2.2)$$

ҰҰА-базалық станциясы жердегі пайдаланушылар мен IoT сенсорларына қызмет көрсету үшін жиілікті бөлу арқылы көпқолдаңбалы қатынау (Frequency Division Multiple Access) әдісін қолданады. FDMA әрбір пайдаланушыға жеке байланыс арнасын қамтамасыз ете отырып, бірнеше жиілік жолағын бөледі. Пайдаланушыға қолжетімді деректер жылдамдығы төмендегі формуламен өрнектеледі, мұнда B – бір пайдаланушыға бөлінген жиілік жолағы, P ҰҰА-БС тарататын қуат, N шу қуаты, G – бағытталған антеннаның күшейту коэффициенті [27].

$$R = B \log \left(1 + \frac{P_u G}{N_0 B} \right) \quad (3.3)$$

Таратқыш антеннаның орналасуын немесе бұл жағдайда – ҰҰА-БС-тың тік және көлденең бағыттағы орны оңтайлы ету міндеті оның күрделілігіне байланысты оңтайландыру есебі ретінде қарастырылады. ҰҰА-БС саны қаржылық шектеулерге байланысты шектеулі екенін және әрбір дронның ұшуына шығын кететінін ескере отырып, оларды барынша аз пайдалану арқылы мәселені шешетін шешімді табу қажет.

3.2 БА-ҰҰА орналасуын оңтайландыруға қатысты мәселенің сипаттамасы

Жетілдірілген жұмыс тиімділігі үшін таратқыш антеннаның орналасуын, нақты айтқанда, ұшақсыз ұшу апаратын базалық станция ретінде пайдалану үшін құрылғыларының тік және көлденең бағыттағы орнықтыруын анықтау күрделі болғандықтан оңтайландыру мәселесі ретінде қарастырылады. БС ҰҰА құрылғыларының саны шектеулі болуы және әрбір ҰҰА ұшуына кететін

қаржының болуы бұл процесті шектейді. Сол себепті, дрондарды барынша аз пайдаланып, мәселені тиімді шешетін жолды қарастру қажет.

Қарастырылып отырған мәселенің бірнеше жергілікті оптималды шешімі болуы мүмкін және бұл есеп қиын талдаулар санатындағы есептерге жатады [29,30,31]. Бұл талдауларды БС ҰҰА құрылғыларын тиімді орналастыруға мүмкіндік беретін әдісті әзірлеуге тырысамыз. Эвристикалық тәсіл ретінде бұл әдіс шектелген есептеу ресурстарымен және уақытымен жақын оптималды шешімдер табуға қабілетті. Жердегі қолданушыларды ескере отырып БС ҰҰА санын азайтуды көздейтін математикалық үлгі төменде берілген:

$i(i = 1, 2, \dots, n)$ секторға орнатылатын ҰҰА-БС құрылғыларының x_i минималды саны. h_i – i -сектордағы ҰҰА-БС құрылғысының ұшу биіктігі, мұндағы $i(i = 1, 2, \dots, n)$ секторлар саны. Мақсат функциясы былай жазылады.

$$Z_{min} = \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.4)$$

Қолданыушыларды ескере отырып шектеу шарттарын құрамыз

$$\sum_{i=1}^n (N_{uj} \cdot x_i) \leq C_t \text{ әрқайсы сектор } j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_i \geq 1 \text{ үшін } i = 1, 2, \dots, n$$

$$h_i \geq 30 \text{ үшін } i = 1, 2, \dots, n$$

$$h_i \leq 100 \text{ үшін } i = 1, 2, \dots, n$$

$$x_i, h_i \geq 0 \text{ үшін } i = 1, 2, \dots, n$$

Z ҰҰА-БС құрылғыларының жалпы санын барынша азайтуды көздейтін мақсат функциясы. x_i – i -секторға орнатылатын ҰҰА-БС құрылғыларының саны. h_i – i -сектордағы ҰҰА-БС құрылғыларының ұшу биіктігі. n жалпы секторлар саны. N_{uj} – j -сектордағы пайдаланушылар саны. C_t бір ҰҰА БС құрылғысының сыйымдылығы, яғни бір C_t қызмет көрсете алатын максималды пайдаланушы саны.

Ұсынылған әдіс негізінде шешімдерді жуықтап анықтауға болады. ұсынылып отырған бұл салыстырмалы әдіс негізінде жердегі пайдаланушыларға тиімді қызмет көрсету үшін қажетті ҰҰА БС құрылғыларының минималды санын және олардың жұмыс істеуі тиімді болатын ұшу биіктігін анықтайтайды. Бұл әдіс ҰҰА негізделген басазалық станция санына байланысты бірнеше рет қайталанатын итерациялар арқылы жүзеге асырылады: құрылғылар саны біртіндеп көбейтіліп отырады, осылайша тиімді шешім табуға мүмкіндік туады.

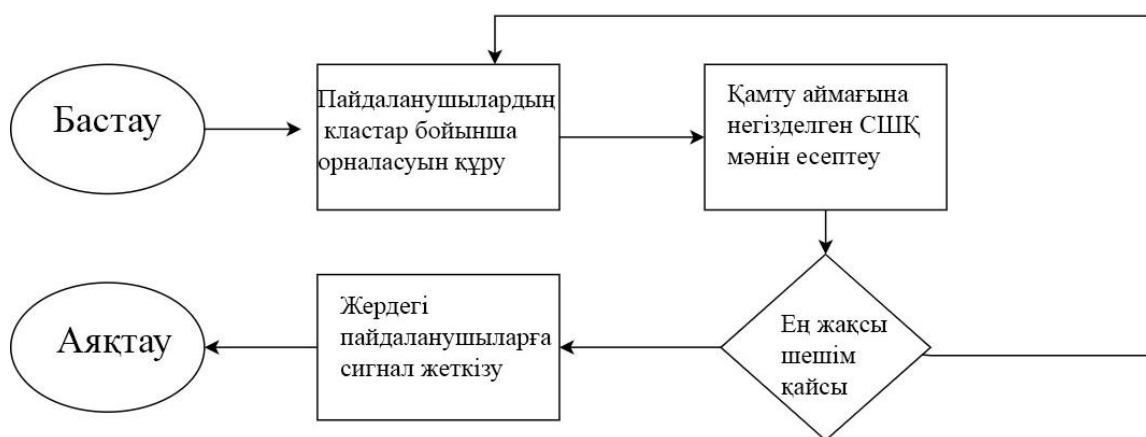
Эвристика барлық шектеулер орындалған сәтте және ҰҰА құрылғыларын пайдаланушыларға тағайындау мүмкін болған жағдайда тоқтайды.

Бұл әдіс негізгі төрт кезеңі қамтылады:

- Пайдаланушыларды ды бөліктерге бөлу;
- алгоритмін қолдана отырып, пайдаланушыларды топтарға бөлу;
- Пайдаланушыларды ең жақын ҰҰА негізіндегі базалық станция

құрылғысына тағайындау және қызмет көрсету сапасын тексеру;

- Қамтылған пайдаланушылар санына қарай ең тиімді шешімді бағалау;
- Жердегі пайдаланушыларға байланыс қолжетімділігін беру.



3.2-сурет – Жалпы ҰҰА базалық станция негізінде құру алгоритмі

Ұсынылған әдіс ҰҰА БС құрылғыларының минималды санын және олардың тиімді биіктіктерін анықтауға бағытталған. Бұл әдіс бірнеше реттік итерациялық кезеңдер арқылы жүзеге асады.

3.3 Ұшқышсыз ұшу аппаратын базалық станция ретінде ресурстарын бөлу алгоритмін құру

- 1: Кіріс: пайдаланушы сипаттамалары (x, y, dr, prb, cqi, sinr, vel, prx, distance)
- 2: Кіріс: UAV-BS сипаттамалары (x, y, rb, fr, band, ptx, cob, h, channel)
- 3: Ең үздік нәтиже = 0
- 4: Шешім = 0
- 5: Цикл саны (итерация) = 300
- 6: Пайдаланушылардың орналасу координаттарын құру
- 7: Пайдаланушы орнын кездейсоқ таңда: User = random(x, y)
- 8: while (шешім ≤ цикл саны) do
- 9: UAV орталықтарын кластер ретінде құру
- 10: Кластерді анықтау: cluster = kmeans(Пайдаланушылар / IoT сенсорлары)

11: Пайдаланушылардан кластер орталығына дейінгі максималды арақашықтықты есептеу

12: for i = 1 to кластер саны do

13: MaxDistance = Кластерге дейінгі барлық пайдаланушылар/сенсорлар арасы

14: end for

15: Әрбір кластерге UAV орналастыруды тексеру

16: for i = 1 to UAV-BS саны do

17: for j = 1 to Пайдаланушылар саны do

18: Егер (пайдаланушы UAV-ға дейінгі арақашықтық $\leq$ рұқсат етілген)
және (пайдаланушының SINR мәні $<$ UAV-BS үшін рұқсат етілген максимум)
және (интерференция $<$ рұқсат етілген шек) болса

19: пайдаланушыны осы UAV-BS-ке тағайындау

20: UAV_i = {пайдаланушы_j, ..., пайдаланушы_n}

21: end if

22: end for

23: end for

24: Желіде тағайындалған пайдаланушылардың жалпы санын есептеу

25: Егер (барлығы $\geq$ ең үздік нәтиже) болса

26: UAV пайдаланушылары = {user1, user2, ..., userN}

27: Ең үздік нәтиже = ағымдағы нәтиже

28: end if

29: Итерацияны арттыру: цикл = цикл + 1

30: end while

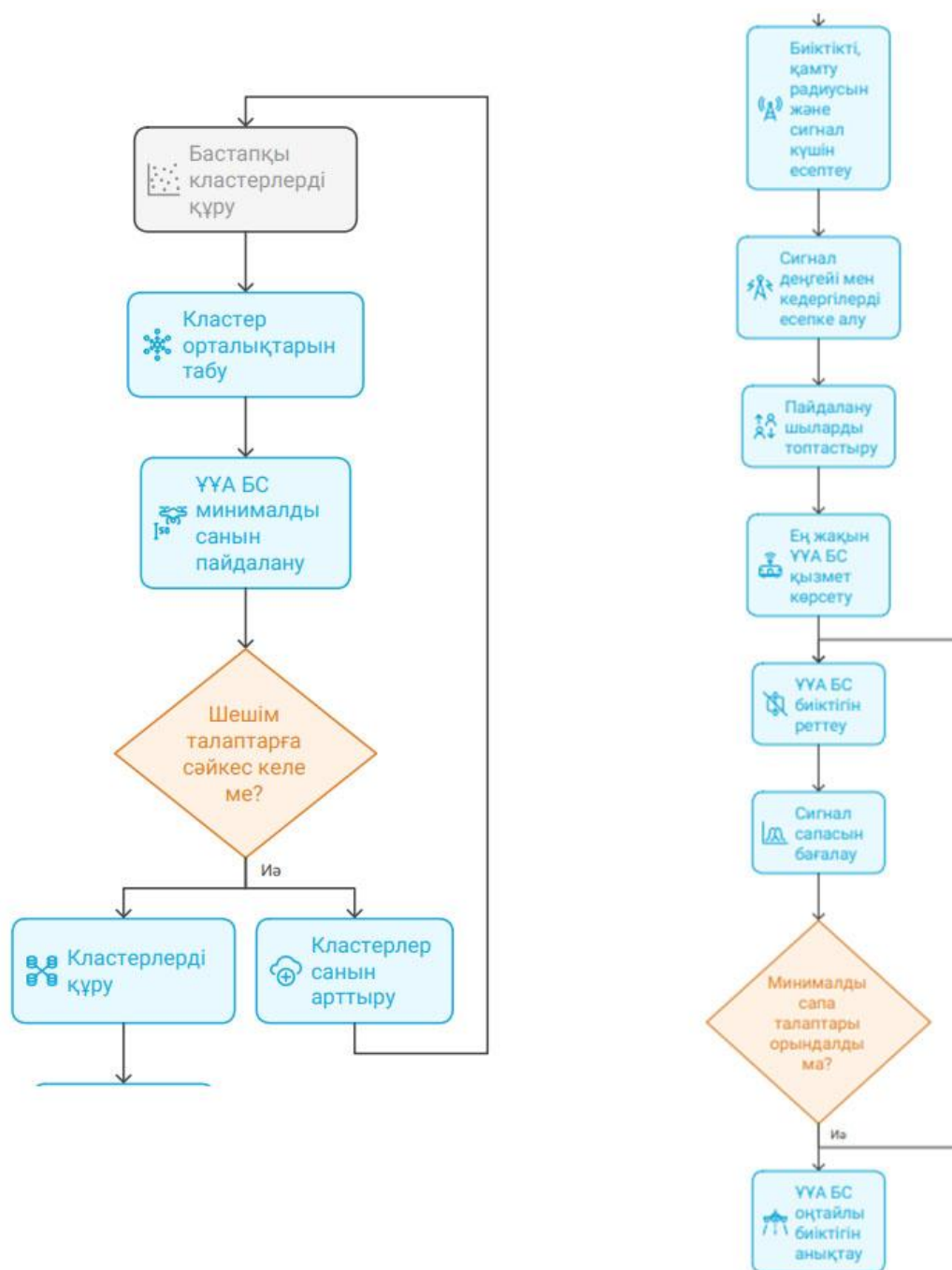
31: Шешім іздеу барысын визуализациялау (график арқылы көрсету)

ҰҰА негізіндегі әуе байланыс станциясын орналастыру алгоритмі пайдаланушыларды топтастыру арқылы ең қолайлы орынды анықтауды көздейді. Бұл талдауда кластерлеу үшін кеңінен қолданылатын және есептеу тиімділігі мен қарапайымдылығы арқасында танымал k-means алгоритмі пайдаланылды.

Аталған әдісте кластерлер санына тең k орталықтағы кездейсоқ таңдау. Осыдан кейін алгоритм әр кластердің орталығын табуға ұмтылады. Жердегі пайдаланушыларды бастапқы қамтумен қамтамасыз ету үшін ҰҰА БС минималды саны пайдаланылады.

Кластерлер құрылғаннан кейін, әрбір топ үшін биіктік, қамту радиусы және сигнал күші есептеледі. Егер алынған шешім қойылған талаптарға сәйкес келмесе, Step 01 деп аталатын цикл орындалады - бұл кезеңде кластерлер саны ұлғайтылады. Бұл процесс мәселенің шектеулері орындалғанша қайталанады.

Сигнал деңгейі мен кедергілерге қатысты алгоритм ҰҰА БС орналастыру кезінде осы параметрлерді есепке алады. Ол пайдаланушыларды жерге орналастыру кезеңінде сигнал қуаты мен ҰҰА ішіндегі кедергіні ескере отырып, қолжетімді дронды тағайындайды. Бұл параметрлер 1-алгоритмнің 18-жолында сипатталған.



3.3-сурет – ҰҰА БС орналастыру алгоритмі

Қақтығыстар тұрғысынан алғанда, бұл зерттеу ҰҰА БС ретінде қолданғанда оңтайлы орналасуына назар аударады және оларда компьютерлік көру тәрізді кедергілерді анықтайтын және олардан айналып өтетін технологиялар алдын ала орнатылған деп есептеледі. Алгоритм мақсатты функцияны қанағаттандыратын шешім табылғанға дейін жұмысын жалғастырады.

Пайдаланушыларды әртүрлі топтарға бөлу үшін келесі стратегия қолданылды. Бастапқыда олар жиындарға бөлінді: мобильді пайдаланушылар мен IoT сенсорларының жиыны $u = \{1, 2, \dots, u\}$, кластерлеу жиыны $g = \{1, 2, \dots, g\}$, және ҰҰА жиыны $d = \{1, 2, \dots, d\}$ деп белгіленді. Пайдаланушылар топтастырылғаннан кейін, оларды ең жақын ҰҰА БС қызмет көрсетеді.

Әрбір кластердің қамту аймағы мен пайдаланушылар қабылдайтын қуатқа байланысты ҰҰА БС биіктігі реттелді. Бұл сигнал сапасының сақталуын қамтамасыз етеді. Алгоритм ҰҰА БС кластер ішіндегі әр пайдаланушыға беретін сигналын бағалайды, бұл процесс барлық кластерлер үшін қайталанады. Егер минималды сапасын жақсарту талаптары орындалса, ҰҰА БС оңтайлы биіктігі анықталады.

Бастапқы кезеңде пайдаланушылардың нақты географиялық (ендік/бойлық) координаталары және талап етілетін деректерді беру жылдамдығы белгіленді. Осыдан кейін ҰҰА БС жүйелері жиілік диапазоны, жұмыс жиілігі, биіктік және қолжетімді ресурстар сияқты параметрлермен конфигурацияланды. Бұдан соң, k-means кластерлеу әдісі арқылы ҰҰА БС биіктігі анықталып, қамту аймағы мен арақашықтық белгіленіп, дрон кластер орталығына орналастырылды.

Осыдан кейін қызмет көрсету сапасы бағаланып, дрон арқылы мүмкіндігінше көп пайдаланушыға қызмет көрсету қамтамасыз етілді. Соңында алынған шешім нақты қолданылып, бұл алгоритім 3.2-суретте көрсетілг.

3.4 ҰҰА БС ретінде құрылған модель нәтижесіне талдау жасау

Статистикалық дәлдікке қол жеткізу мақсатында модельдеу 40 рет әртүрлі кездейсоқ мәндерімен қайталанды және әрбір модельдеу 100 секундқа созылды. Бұл процестер ҰҰА БС құрылғыларының 30–120 метр биіктікте жұмыс істеуі тиіс деген ережелерге сәйкес жүргізілді. Модельдеу Matlab 2022 орталарында іске асырылды.

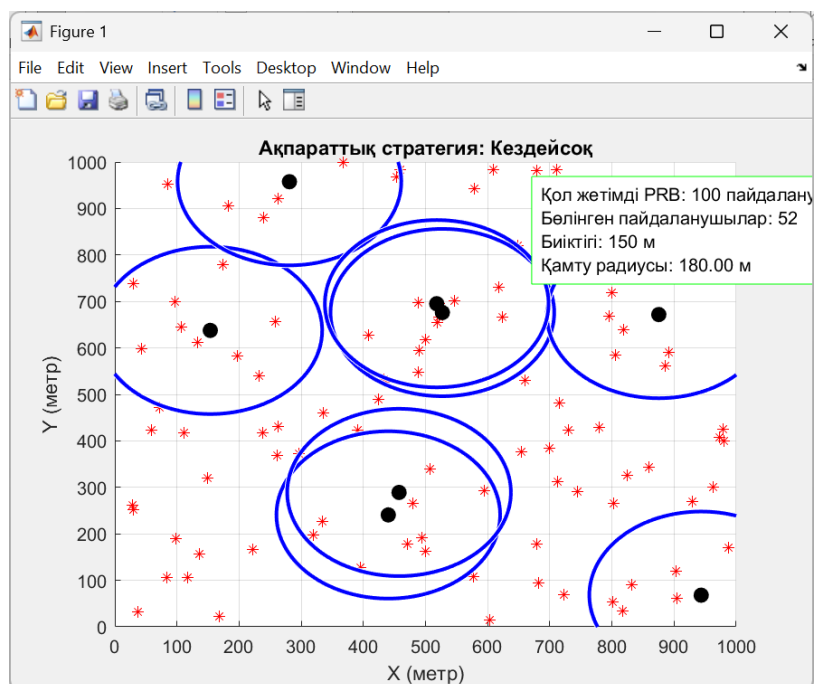
Таңдалған сценарий табиғи апат салдарынан базалық станция істен шығып, мобильді пайдаланушылар мен IoT сенсорлары желіге қосыла алмайтын жағдайға негізделген. Пайдаланушылар біркелкі таралу үлгісіне сәйкес модельденді және олардың желіге қойылатын талаптары 1-3 Мбит/с аралығында болды деп жобалаймыз. Географиялық өлшемі 1000×1000 метр болатын аймақта 100 стационарлық пайдаланушы таңдалды.

Желі ретінде LTE стандарты пайдаланылды, ал ҰҰА құрылғыларының өткізу жолағы 20 МГц болды, ресурстық блоктар саны 100-мен шектелді. Әрбір дрон 40 Мбит/с өткізу қабілеті бар макрожасушаға қосыла алады. Барлық параметрлер 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 3.1– Модельдеу параметрлері

Параметр	Сипаттама	Мән
Xмин	ҰАА-ның бастапқы биіктігі	30 м
Bw	ҰАА өткізу қабілеті	20 МГц
Ptr	ҰҰА БС тарату қуаты	23 дБм
Cmin	Минималды арна сыйымдылығы	3 Мбит/с
UAVtU	PL үлгісі	Лос және Нлос
Лос	$l o$ слос	1,3 дБ
Нлос	$n l o s$ слос	23 дБ
BS	Базалық станция	1
Sc	Сценарийлер	3
Біз	Пайдаланушылар	100

Әрбір қолданылған әдіс бойынша соңғы пайдаланушыны бөлу нәтижелері суреттерде көрсетілген. ҰҰА БС құрылғыларының биіктігі мен орташа қамту радиусы келесідей айқын көрсетілген: (а) Кездейсоқ әдіс биіктігі 150 м, қамту радиусы 150 м; (ә) Бекітілген әдіс биіктігі 200 м, қамту радиусы 200 м; (б) Динамикалық әдіс орташа биіктігі 130 м және қамту радиусы 350 м.

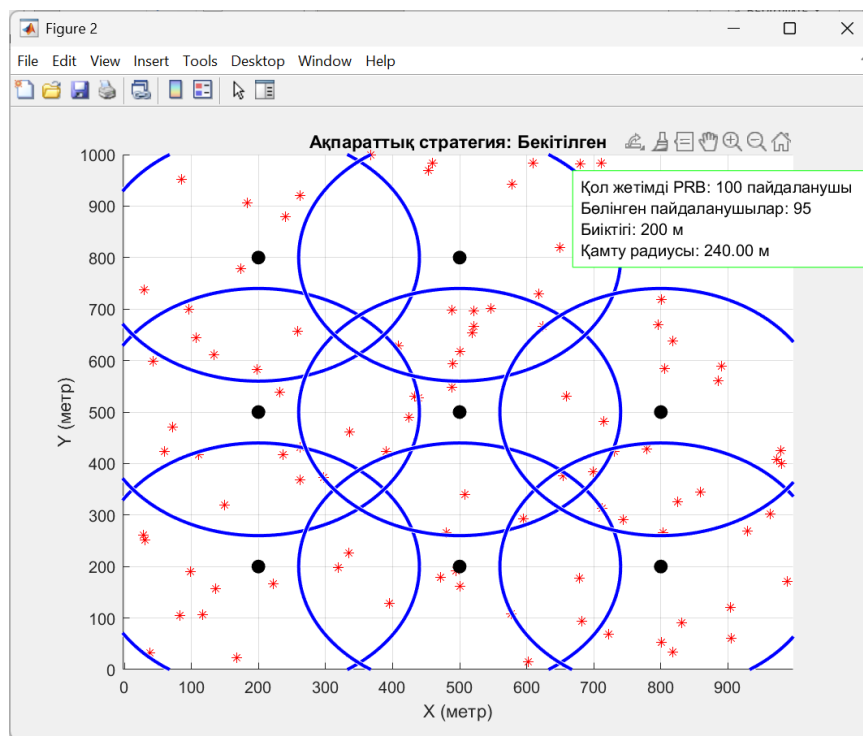


3.4-сурет – ҰҰА базалық станцияларын кездейсоқ орналастыру стратегиясы.

Бұл графикте 1000×1000 метрлік аймақта орналасқан 100 пайдаланушы (қызыл жұлдызшалар) мен 8 ҰҰА базалық станциясы (қара нүктелер) көрсетілген. Бұл кездейсоқ орналастыру стратегиясы – базалық станциялардың

координаталары пайдаланушы таралуын есепке алмай, біркелкі кездейсоқ үлестірім бойынша таңдалады.

Әрбір базалық станцияның биіктігі 150 м болғандықтан, қамту радиусы 180 м-ге тең. Стратегия нәтижесінде 52 пайдаланушы қамтылған, яғни жалпы қамту деңгейі төмен..



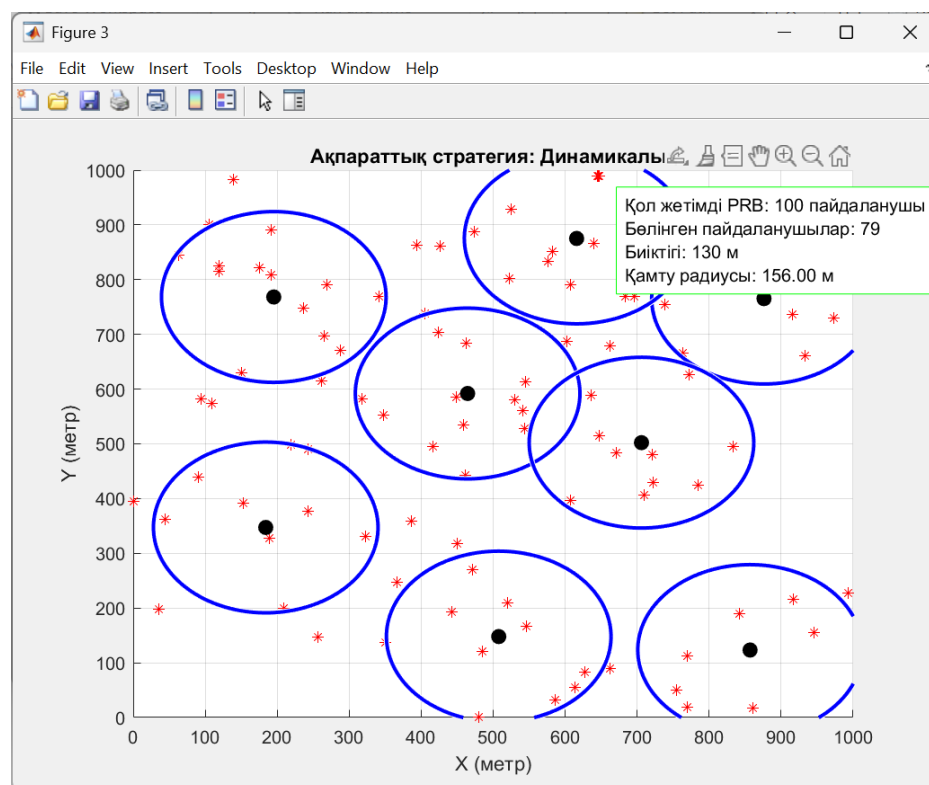
3.5-сурет – ҰҰА базалық станцияларын бекітілген торлы орналастыру стратегиясы

Бұл график 1000×1000 метрлік аймақта 100 пайдаланушыны (қызыл жұлдызшалар) және 9 ҰҰА базалық станциясын (қара нүктелер) көрсету арқылы бекітілген орналастыру стратегиясын бейнелейді. ҰҰА базалық станциялары жүйелі түрде торлы құрылымда (grid-based) орналастырылған, яғни пайдаланушылардың нақты таралуын ескермейді.

Төменде графикте 1000×1000 метрлік аймақта орналасқан 100 пайдаланушы (қызыл жұлдызшалар) мен 8 ҰҰА базалық станциясы (қара дөңгелектер) көрсетілген. Базалық станциялар пайдаланушылардың шоғырланған аймақтарына K-Means кластерлеу алгоритмі арқылы бейімделіп орналастырылған. Әрбір көк шеңбер – сәйкес ҰҰА базалық станциясының қамту радиусын білдіреді, ол биіктікке (130 м) байланысты 156 м болып есептелген

Берілген симуляция нәтижелері ҰҰА базалық станцияларын орналастыру стратегияларының пайдаланушыларды қамту тиімділігіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Үш түрлі тәсіл – кездейсоқ, бекітілген және динамикалық – салыстырылып, олардың әрқайсысының артықшылықтары мен шектеулері

талданды. Кездейсоқ орналастыру әдісі қарапайым болғанымен, ҰҰА базалық станциялары пайдаланушы тығыздығын ескермей бейберекет орналасуы салдарынан қамту деңгейі төмен болды.



3.6-сурет – ҰҰА базалық станцияларын динамикалық орналастыру стратегиясы (K-Means кластерлеу)

Бекітілген торлы әдіс біркелкі орналастыру арқылы қамту тиімділігін сәл арттырғанымен, ол да нақты пайдаланушы таралуын ескермейді. Ең жоғары нәтижеге динамикалық, яғни K-Means кластерлеу негізіндегі стратегия қол жеткізді, себебі ол ҰҰА базалық станцияларын нақты пайдаланушы шоғырланған аймақтарға бағыттау арқылы максималды қамтуды қамтамасыз етті. Бұл әдіс әуе кеңістігіндегі ресурстарды тиімді үлестіруге мүмкіндік береді. Алайда барлық стратегияларда ҰҰА базалық станцияларының жүктеме теңгерімі, PRB (ресурстық блоктар) шектеулері және кедергі әсері ескерілмеген, бұл болашақта жүйені одан әрі жетілдіру қажеттігін көрсетеді. Жалпы, симуляция ҰҰА базалық станцияларын ақылды түрде жоспарлау арқылы сымсыз байланыс желісінің тиімділігін едәуір арттыруға болатынын дәлелдеді. Келесі кезеңдерде көп агентті оқыту (MADRL) мен блокчейн сияқты технологияларды интеграциялау арқылы ҰҰА желілерінің әділеттілігін, сенімділігін және масштабталуын жақсарту бағытындағы зерттеулерді жалғастыру маңызды.

ҚОРТЫНДЫ

Бұл жұмыста ұшқышсыз ұшу аппараттарының байланыс арнасындағы сигнал сапасын жақсарту мүмкіндіктерін талдау негізгі мақсат ретінде қарастырылды. ҰҰА әуе базалық станция ретінде қолдану мүмкіндіктері, олардың құрылымдық ерекшеліктері және түрлі орналастыру стратегиялары зерттелді. Радиобайланыс арнасының көрінетін және көрінбейтін компоненттері, сонымен қатар сигналдың таралуына әсер ететін геометриялық және ортаға байланысты параметрлер қарастырылды. Қамту радиусы сияқты сапа көрсеткіштерін оңтайландыруға бағытталған эвристикалық әдістер мен кластерлеу алгоритмдері қолданылды. Өртүрлі сценарийлер мен орналастыру стратегиялары (кездейсоқ, бекітілген және динамикалық) салыстырылып, сигнал сапасына және пайдаланушыларды қамту тиімділігіне әсері бағаланды.

Атап айтқанда, динамикалық стратегияны қолдану арқылы минималды ҰҰА санымен максималды пайдаланушыны қамту және сапалы сигнал жеткізу мүмкін болғаны дәлелденді. Бұл ҰҰА орналастыру биіктігі мен орнының дұрыс таңдалуы жалпы желі өнімділігін едәуір арттыратынын көрсетеді.

Ұшқышсыз ұшу аппараттарының байланыс арнасындағы сигнал сапасын арттыру үшін тиімді орналастыру, интеллектуалды басқару және бейімделетін алгоритмдерді қолдану арқылы жүзеге асырылатын, қазіргі заманғы сымсыз жүйелер үшін өзекті және шешуші бағыт екені дәлелденді. Бұл жұмыс қойылған ғылыми мақсатты толық ашып, ҰҰА-ны болашақтағы телекоммуникациялық инфрақұрылымның негізгі құрамдас бөлігі ретінде қарастыруға негіз қалады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Choi, E.H. Crash Factors in Intersection-Related Crashes: An On-Scene Perspective. National Highway Traffic Safety Administration, 2010. [DOI: 10.1037/e621942011-001](https://doi.org/10.1037/e621942011-001)
- 2 Wang, H., Ding, G., Gao, F., Chen, J., Wang, J., & Wang, L. Power Control in UAV-Supported Ultra Dense Networks: Communications, Caching, and Energy Transfer. IEEE Communications Magazine, 2018, 56(6), 28–34. [DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700925](https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700925)
- 3 Lee, W., Lee, H., & Choi, H.H. Deep Learning-Based Network-Wide Energy Efficiency Optimization in Ultra-Dense Small Cell Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2023, 72(6), 8244–8249. [DOI: 10.1109/TVT.2023.3237551](https://doi.org/10.1109/TVT.2023.3237551)
- 4 Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M., Nam, Y.H., & Debbah, M. A Tutorial on UAVs for Wireless Networks: Applications, Challenges, and Open Problems. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2019, 21(3), 2334–2360. [DOI: 10.1109/COMST.2019.2902862](https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2902862)
- 5 Qiao, J., He, Y., Shen, X.S., Mark, J.W., & Lei, L. Proactive Caching for Mobile Video Streaming in Millimeter Wave 5G Networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2016, 15(10), 7187–7198. [DOI: 10.1109/TWC.2016.2598748](https://doi.org/10.1109/TWC.2016.2598748)
- 6 Haghray, A., Niya, J.M., & Ghaemi, S. Handover Triggering Estimation Based on Fuzzy Logic for LTE-A/5G Networks with Ultra-Dense Small Cells. Soft Computing, 2023, 27(22), 17333–17345. [DOI: 10.1007/s00500-023-08063-6](https://doi.org/10.1007/s00500-023-08063-6)
- 7 Naous, T., Itani, M., Awad, M., & Sharafeddine, S. Reinforcement Learning in the Sky: A Survey on Enabling Intelligence in NTN-Based Communications. IEEE Access, 2023, 11, 19941–19968. [DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3236801](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3236801)
- 8 Zhu, Q., Zheng, J., & Jamalipour, A. Coverage Performance Analysis of a Cache-Enabled UAV Base Station Assisted Cellular Network. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2023, 22(11), 8454–8467. [DOI: 10.1109/TWC.2023.3308775](https://doi.org/10.1109/TWC.2023.3308775)
- 9 Song, K., Wang, J., Wang, Y., & Wang, S. Energy-Efficiency for IoT System with Cache-Enabled Fixed-Wing UAV Relay. IEEE Access, 2020, 8, 117503–117512. [DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3004577](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3004577)
- 10 Chen, M., Zhang, Y., Li, Y., & Leung, V.C.M. Caching in the Sky: Proactive Deployment of Cache-Enabled Unmanned Aerial Vehicles for Optimized

Quality-of-Experience. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2017, 35(5), 1046–1061. [DOI: 10.1109/JSAC.2017.2680898](https://doi.org/10.1109/JSAC.2017.2680898)

11 Chen, M., Saad, W., & Yin, C. Liquid State Machine Learning for Resource Allocation in a Network of Cache-Enabled LTE-U UAVs. In: GLOBECOM 2017 - IEEE Global Communications Conference, 2017, pp. 1–6. [DOI: 10.1109/GLOCOM.2017.8254431](https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2017.8254431)

12 Ji, J., Wang, Y., Li, Y., & Wang, M. Joint Cache Placement, Flight Trajectory, and Transmission Power Optimization for Multi-UAV Assisted Wireless Networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2020, 19(8), 5389–5403. [DOI: 10.1109/TWC.2020.2994525](https://doi.org/10.1109/TWC.2020.2994525)

13 Chai, S., & Lau, V.K.N. Online Trajectory and Radio Resource Optimization of Cache-Enabled UAV Wireless Networks with Content and Energy Recharging. IEEE Transactions on Signal Processing, 2020, 68, 1286–1299. [DOI: 10.1109/TSP.2020.2969671](https://doi.org/10.1109/TSP.2020.2969671)

14 Khuwaja, A.A., Gohar, M., & Jadoon, T. Performance Analysis of Hybrid UAV Networks for Probabilistic Content Caching. IEEE Systems Journal, 2020, 15(3), 4013–4024. [DOI: 10.1109/JSYST.2020.3001263](https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.3001263)

15 Sun, Z., & Nakhai, M.R. An Online Mirror-Prox Optimization Approach to Proactive Resource Allocation in MEC. In: ICC 2020 - IEEE International Conference on Communications, 2020, pp. 1–6. [DOI: 10.1109/ICC40277.2020.9149314](https://doi.org/10.1109/ICC40277.2020.9149314)

16 Kang, S.W., Thar, K., & Hong, C.S. Unmanned Aerial Vehicle Allocation and Deep Learning Based Content Caching in Wireless Network. In: 2020 International Conference on Information Networking (ICOIN), 2020, pp. 793–796. [DOI: 10.1109/ICOIN48656.2020.9016506](https://doi.org/10.1109/ICOIN48656.2020.9016506)

17 Kalantari, E., Yanikomeroglu, H., & Yongacoglu, A. Wireless Networks with Cache-Enabled and Backhaul-Limited Aerial Base Stations. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2020, 19(11), 7363–7376. [DOI: 10.1109/TWC.2020.3018574](https://doi.org/10.1109/TWC.2020.3018574)

18 Jiang, B., Wang, Y., & Li, Y. Multimedia Data Throughput Maximization in Internet-of-Things System Based on Optimization of Cache-Enabled UAV. IEEE Internet of Things Journal, 2018, 6(2), 3525–3532. [DOI: 10.1109/JIOT.2018.2876343](https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2876343)

19 Lillicrap, T.P., Hunt, J.J., Pritzel, A., et al. Continuous Control with Deep Reinforcement Learning. arXiv preprint arXiv:1509.02971, 2015. [DOI: 10.48550/arXiv.1509.02971](https://doi.org/10.48550/arXiv.1509.02971)

20 Schulman, J., Wolski, F., Dhariwal, P., et al. Proximal Policy Optimization Algorithms. arXiv preprint arXiv:1707.06347, 2017. [DOI: 10.48550/arXiv.1707.06347](https://doi.org/10.48550/arXiv.1707.06347)

- 21 Schulman, J., Levine, S., Abbeel, P., Jordan, M., & Moritz, P. (2015). Trust Region Policy Optimization. *Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning*, 37, 1889–1897. [DOI: 10.48550/arXiv.1502.05477](https://doi.org/10.48550/arXiv.1502.05477)
- 22 Zheng, K., Sun, Y., Lin, Z., & Tang, Y. (2020). UAV-assisted online video downloading in vehicular networks: A reinforcement learning approach. *Proceedings of the 2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)*, 1–5. [DOI: 10.1109/VTC2020-Spring48590.2020.9128613](https://doi.org/10.1109/VTC2020-Spring48590.2020.9128613)
- 23 Çiçek, C. T., Gültekin, H., Tavlı, B., & Yanikomeroglu, H. (2019). UAV base station location optimization for next generation wireless networks: Overview and future research directions. *2019 1st International Conference on Unmanned Vehicle Systems-Oman (UVS)*, 1–6. [DOI: 10.1109/UVS.2019.8658313](https://doi.org/10.1109/UVS.2019.8658313)
- 24 Sun, Y., Jiang, M., Zhao, C., & Ruan, M. (2019). An Iterative Receiver for Polar-Coded Massive MU-MIMO Systems. *2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)*, 1–5. [DOI: 10.1109/VTCFall.2019.8891345](https://doi.org/10.1109/VTCFall.2019.8891345)
- 25 Chen, M., Saad, W., & Yin, C. (2019). Echo-liquid state deep learning for 360° content transmission and caching in wireless VR networks with cellular-connected UAVs. *IEEE Transactions on Communications*, 67(9), 6386–6400. [DOI: 10.1109/TCOMM.2019.2917440](https://doi.org/10.1109/TCOMM.2019.2917440)
- 26 Kazmi, S. M. A., Tri Nguyen Dang, & Joo, Y. (2021). A novel contract theory-based incentive mechanism for cooperative task-offloading in electrical vehicular networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(7), 8380–8395. [DOI: 10.1109/TITS.2021.3078913](https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3078913)
- 27 Beister, F., Dräxler, M., Aelken, J., & Karl, H. (2014). Power model design for ICT systems—A generic approach. *Computer Communications*, 50, 77–85. [DOI: 10.1016/j.comcom.2014.02.007](https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.02.007)
- 28 Fotouhi, A., Qiang, H., Ding, M., Hassan, M., Giordano, L. G., Garcia-Rodriguez, A., & Yuan, J. (2019). Survey on UAV cellular communications: Practical aspects, standardization advancements, regulation, and security challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(4), 3417–3442. [DOI: 10.1109/COMST.2019.2906228](https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2906228)
- 29 Maboudi, M., Ghamisi, P., & Benediktsson, J. A. (2023). A review on viewpoints and path planning for UAV-based 3-D reconstruction. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 16, 5026–5048. [DOI: 10.1109/JSTARS.2023.3265066](https://doi.org/10.1109/JSTARS.2023.3265066)
- 30 Falkenberg, R., Heimann, K., & Wietfeld, C. (2017). Discover your competition in LTE: Client-based passive data rate prediction by machine learning. *GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference*, 1–7. [DOI: 10.1109/GLOCOM.2017.8254775](https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2017.8254775)
- 31 Abeywickrama, H. V., Jayakody, D. N. K., & Ylianttila, M. (2019). An adaptive UAV network for increased user coverage and spectral efficiency. *2019 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 1–6. [DOI: 10.1109/WCNC.2019.8885984](https://doi.org/10.1109/WCNC.2019.8885984)
- 32 Wu, C., Zhao, N., & Ding, Z. (2020). Deep reinforcement learning-based content placement and trajectory design in urban cache-enabled UAV networks.

Wireless Communications and Mobile Computing, 2020, 1–12. [DOI: 10.1155/2020/8842694](https://doi.org/10.1155/2020/8842694)

33 Wang, Y., Zhao, N., Ding, Z., & Wang, M. (2023). Caching placement optimization in UAV-assisted cellular networks: A deep reinforcement learning-based framework. *IEEE Wireless Communications Letters*, 12(8), 1359–1363. [DOI: 10.1109/LWC.2023.3282583](https://doi.org/10.1109/LWC.2023.3282583)

34 Maale, G. T., Zhao, N., Wang, Y., & Ding, Z. (2023). DeepFESL: Deep federated echo state learning-based proactive content caching in UAV-assisted networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 72(9), 12208–12220. [DOI: 10.1109/TVT.2023.3307893](https://doi.org/10.1109/TVT.2023.3307893)

35 Wang, R., Zhao, N., Ding, Z., & Wang, M. (2016). Mobility-aware caching for content-centric wireless networks: Modeling and methodology. *IEEE Communications Magazine*, 54(8), 77–83. [DOI: 10.1109/MCOM.2016.7550273](https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.7550273)

36 Yang, J., Zhao, N., Ding, Z., & Wang, M. (2020). Cache-enabled unmanned aerial vehicles for cooperative cognitive radio networks. *IEEE Wireless Communications*, 27(2), 155–161. [DOI: 10.1109/MWC.001.1900312](https://doi.org/10.1109/MWC.001.1900312)

37 Zhang, T., Zhao, N., Ding, Z., & Wang, M. (2020). Cache-enabling UAV communications: Network deployment and resource allocation. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 19(11), 7470–7483. [DOI: 10.1109/TWC.2020.3018575](https://doi.org/10.1109/TWC.2020.3018575)

38 Fu, S., Zhao, N., Ding, Z., & Wang, M. (2023). Joint power allocation and 3D deployment for UAV-BSs: A game theory based deep reinforcement learning approach. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 23(1), 736–748. [DOI: 10.1109/TWC.2023.3282584](https://doi.org/10.1109/TWC.2023.3282584)

39 Zhang, T., Zhao, N., Ding, Z., & Wang, M. (2020). Caching placement and resource allocation for cache-enabling UAV NOMA networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(11), 12897–12911. [DOI: 10.1109/TVT.2020.3018576](https://doi.org/10.1109/TVT.2020.3018576)

ҚОСЫМША А

MATL 3D визуализацияда дронның қамту аймағы (қызыл конус), жер бедері (торланған бет), және тірек нүктелері бейнеленген моделдің коды

```
clc; clear; close all
% 1. Жер бедерін генерациялау (төмен етіп)
[X, Y] = meshgrid(0:100:4000, 0:100:4000);
Z = 50 * peaks(size(X,1)); % Жер бедерінің биіктігі төмен
% 2. Жер бедерін салу
surf(X, Y, Z, 'EdgeColor', 'none');
colormap(parula)
hold on
% 3. Дронның орналасуы
x0 = 3000;
y0 = 3000;
h = 800; % Дрон биіктігі
plot3(x0, y0, h, 'ko', 'MarkerSize', 10, 'MarkerFaceColor', 'r');
% 4. Қамту аймағы – конус
theta = linspace(0, 2*pi, 50);
r = 1000; % Қамту радиусы
cone_x = r * cos(theta) + x0;
cone_y = r * sin(theta) + y0;
cone_z = zeros(size(theta)); % Жер беті
% Қамту конусын салу
fill3([cone_x x0], [cone_y y0], [cone_z h], 'r', 'FaceAlpha', 0.4, 'EdgeColor', 'none');
% 5. Анықтама нүктелері (Reference Points)
ref_x = [2800 3200];
ref_y = [2800 3200];
ref_z = interp2(X, Y, Z, ref_x, ref_y);
plot3(ref_x, ref_y, ref_z, 'w^', 'MarkerSize', 8, 'MarkerFaceColor', 'w');
% 6. Href – анықтама биіктігі
Href = max(ref_z);
text(x0+150, y0, Href+100, 'H_{Анықтама}', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold');
% 7. Ось атаулары мен тақырып қазақша
xlabel('x-ось');
ylabel('y-ось');
zlabel('Биіктік (м)');
title('Дронның қамту аймағы және жер бедері');
% Көрініс пен тор
grid on
view(3)
```

ҚОСЫМША Б

ҰҰА базалық станция ретінде кластерлеу және визуализация

```
clc; clear; close all;
% Алғашқы параметрлер
numUsers = 100;
areaSize = 1000; % 1000x1000 метрлік аймақ
numUAVs = 8;
PRBs_available = 100;
% Пайдаланушылардың позицияларын генерациялау
users = [rand(numUsers,1)*areaSize, rand(numUsers,1)*areaSize];
% UAV-BS стратегиялары
strategies = {'Кездейсоқ', 'Бекітілген', 'Динамикалық'};
for s = 1:length(strategies)
    strategy = strategies{s};
    % Стратегияға сәйкес параметрлер
    switch strategy
        case 'Кездейсоқ'
            UAV_pos = [rand(numUAVs,1)*areaSize, rand(numUAVs,1)*areaSize];
            height = 150;
            radius = 150;
        case 'Бекітілген'
            [X, Y] = meshgrid(linspace(200, 800, 3), linspace(200, 800, 3));
            UAV_pos = [X(:), Y(:)];
            UAV_pos = UAV_pos(1:numUAVs, :);
            height = 200;
            radius = 200;
        case 'Динамикалық'
            [clusterIdx, UAV_pos] = kmeans(users, numUAVs);
            height = 130;
            radius = 350;
    end
    % Пайдаланушыларды UAV-BS-ке бөлу
    userAllocation = zeros(numUsers, 1);
    for i = 1:numUsers
        for j = 1:size(UAV_pos,1)
            d = norm(users(i,:) - UAV_pos(j,:));
            if d <= radius
                userAllocation(i) = 1;
                break;
            end
        end
    end
    allocatedUsers = sum(userAllocation);
    % График салу
    figure(s);
    hold on;
    scatter(users(:,1), users(:,2), 'r*');
    for j = 1:size(UAV_pos,1)
        viscircles(UAV_pos(j,:), radius, 'Color', 'b');
        plot(UAV_pos(j,1), UAV_pos(j,2), 'ko', 'MarkerSize', 8, 'MarkerFaceColor', 'k');
    end
    title(['Ақпараттық стратегия: ', strategy]);
    xlabel('X (метр)');
```

```

ylabel('Y (метр)');
axis([0 areaSize 0 areaSize]);
grid on;
% Қазақша ақпараттық терезе
info = {'Қол жетімді PRB: ', num2str(PRBs_available), ' пайдаланушы'], ...
        ['Бөлінген пайдаланушылар: ', num2str(allocatedUsers)], ...
        ['Биіктігі: ', num2str(height), ' м'], ...
        ['Қамту радиусы: ', num2str(radius), ' м']};
annotation('textbox',[.65 .7 .3 .2],'String',info,'FitBoxToText','on',...
            'BackgroundColor','white','EdgeColor','green','FontSize',10);
End

```

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы студенті
Тұрсынбай Жанель Сатыбалдықызы
Дипломдық жұмысқа
СЫН-ПІКІР

Тақырыбы: «Ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) байланыс арнасындағы сигнал сапасын жақсарту мүмкіндіктерін талдау»

Дипломдық жұмыс заманауи телекоммуникациялық технологиялардың маңызды бағытына сай жазылған. Ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) байланыс арнасындағы сигнал сапасын жақсарту максатында пайдалану мүмкіндіктерін талдауға арналған. ҰҰА әуе базалық станциялар ретінде қолдану арқылы сымсыз желілерде сигнал сапасын жақсартуға болатынын талдау жасап жергілікті пайдаланушылармен байланыс арналарының камту ықтималдығын, радиотолқындардың таралу ерекшеліктерін, және сигналдың камту радиосына талдау жасаған. Дипломдық жұмыста байланыс сапасына әсер ететін геометриялық параметрлер, радиотехникалық факторлар, олардың сигнал сапасына әсер ету дәрежесі сипатталған. ҰҰА-ның динамикалық орналастырылуы стратегиясы арқылы байланыс арнасын оңтайландыруды Matlab бағдарламасында модельдеп минималды ҰҰА саны арқылы максималды пайдаланушыны камтуға мүмкіндік беретін әдіс ұсынылған, осы нәтижесінде сигнал сапасы мен желі тұрақтылығы едәуір арттыру көзделген.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТК талабына сәйкес жазылған. Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғары дәрежеде жазылған.

Жалпы, дипломдық жұмысқа «өте жақсы» (95%) деген баға, ал студент Тұрсынбай Жанель Сатыбалдықызы 6B06201 Телекоммуникация білім беру бағдарламасының «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар бакалавры» дәрежесіне лайықты деп санаймын.

Пікір беруші

Алматы энергетика және
байланыс университеті
профессоры. т.ғ.к.,
Чезимбаева К.С.

«29» мамыр 2025 ж.

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю

Чезимбаева
К.С.

«29» 05

2025 ж.

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы студенті
Тұрсынбай Жанель Сатыбалдықызы
Дипломдық жұмысқа
СЫН-ПІКІР

Тақырыбы: **«Ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) байланыс арнасындағы сигнал сапасын жақсарту мүмкіндіктерін талдау»**

Дипломдық жұмыс заманауи телекоммуникациялық технологиялардың маңызды және перспективалы бағытына ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) сымсыз байланыс жүйелеріндегі сигнал сапасын арттыру мақсатында қолдану мүмкіндіктеріне арналған. Тақырыптың өзектілігі – ұтқыр базалық станциялар ретінде ҰҰА пайдалану арқылы байланыс арналарының қамту аймағын ұлғайтып, сигнал сапасын жақсарту мүмкіндігімен тікелей байланысты.

Жұмыста студент ҰҰА көмегімен радиоқамтуды қамтамасыз етудің тиімділігін арттыру үшін геометриялық және радиотехникалық факторларға кешенді талдау жүргізіп, олардың сигнал сапасына әсерін бағалаған. Радиотолқындардың таралу ерекшеліктері, қамту ықтималдығы және пайдаланушылармен тұрақты байланысты қамтамасыз ету жолдары жан-жақты зерттелген. Дипломдық жұмыстың тәжірибелік бөлімінде Matlab бағдарламалық ортасында ҰҰА-ның динамикалық орналастырылуы модельденіп, минималды аппарат санымен максималды пайдаланушыны қамтуға мүмкіндік беретін оңтайлы стратегиясын ұсынылған. Бұл тәсіл байланыс арнасының сенімділігін және сигнал сапасын едәуір арттыруға мүмкіндік беретіні дәлелдеді.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТК талаптарына сәйкес рәсімделген. Жұмыстың теориялық және практикалық құндылығы жоғары, қойылған мақсаттар мен міндеттер толық орындалған.

Жалпы, дипломдық жұмысқа «өте жақсы» (95%) деген баға қоюға толық негіз бар деп есептеймін. Студент Тұрсынбай Жанель Сатыбалдықызы 6B06201 – «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар бакалавры» академиялық дәрежесіне толықтай лайықты.

Пікір беруші:

Ғылыми жетекші,
қауымд.профессор, PhD

Хабай А.

« 26 »

2025 ж.

ҚазҰТЗУ 706-17 У. Ресми



**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: Тұрсынбай Жанель Сатыбалдықызы

Тақырыбы: Ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) байланыс арнасындағы сигнал сапасын жақсарту мүмкіндіктерін талдау

Жетекшісі: Сұңғат Марксұлы

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.2

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.5

Дәйексөз (35): 0.3

Әріптерді ауыстыру: 8

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:

2025-05-18

Күні



Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Тұрсынбай Жанель Сатыбалдықызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) байланыс арнасындағы сигнал сапасын жақсарту мүмкіндіктерін талдау

Научный руководитель: Сұңғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 2.2

Коэффициент Подобия 2: 0.5

Микропробелы: 7

Знаки из других алфавитов: 8

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:

2025-05-18

Дата



Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Тұрсынбай Жанель Сатыбалдықызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) байланыс арнасындағы сигнал сапасын жақсарту мүмкіндіктерін талдау

Научный руководитель: Сұңғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 2.2

Коэффициент Подобия 2: 0.5

Микропробелы: 7

Знаки из других алфавитов: 8

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:

2025-05-18

Дата



Сұңғат Марксұлы

проверяющий эксперт