

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

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

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

ӘОЖ 622.746 (043)


Қолжазба құқығында

Әбдіжәлел Қуаныш Нұрмаханбетұлы

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін  
**МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ**

Диссертацияның атауы Траекториялары мен қозғалыс параметрлері негізінде ұшқышсыз  
ұшатын аппараттарды ұшуын басқару алгоритімін құру  
Дайындау бағыты 7М06201- «Телекоммуникация »

Ғылыми жетекші  
PhD докторы, қауым.профессор

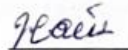
 Хабай А

«03» 06 2024ж.

Рецензент

Phd докторы,

ғылым жөніндегі проректор

 Д.С Жамангарин

«08» 06 2024ж.

Норма бақылаушы

т.ғ.м., ассистент

 Кенгесбаева С.С.

«03» 06 2024ж.

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**  
ЭТЖҒТ кафедра меңгерушісі  
т.ғ.к., қауым. профессор



Е.Таштай

«08» 06 2024ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ  
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті  
Автоматика және ақпараттық технологиялар институты  
«Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар»  
кафедрасы  
7М06201 – «Телекоммуникация»



Магистрлік диссертация орындауға  
ТАПСЫРМА

Магистрант: *Әбдіжәлел Қуаныш Нұрмаханбетұлы*

Тақырыбы: *«Траекториялары мен қозғалыс параметрлері негізінде ұшқышсыз ұшатын аппараттарды ұшуын басқару алгоритмін құру»*

Университет ректорының «23» қараша 2022 ж. №408-П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі: «31» май 2024 ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері: *Ұшқышсыз ұшу аппараты қалыптастыру траекториясын жоспарлау алгоритмдеріне шолу жасау.*

Диссертацияда өңделетін сұрақтар, диссертацияның қысқаша мазмұны:

*а) траекторияның екі түйіні арасындағы байланысты кешенді бағалау үшін қауіп төндіретін күштер мен жолдың ұзындығын қамтитын ұшу функциясы құру;*

*ә) ұшқышсыз ұшу аппаратының траекториясын жоспарлау мәселесін шешу үшін жаңа түйіндердің кеңеюін ынталандыру мақсатында ұшу функциясы мен ұшу шектеулеріне талдау жасау;*

*б) қауіп пен жолдың ұзындығын ескере отырып траекториялары мен қозғалыс параметрлері негізінде ұшқышсыз ұшатын аппараттардың ұшуын басқару алгоритмін құру және оны Matlab бағдарламасы ортасында модельдеуі;*

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

[1] Shirshikova, Z.A. Comparative Analysis of the US-China Artificial Intelligence Architecture and Effects of Autonomous UAVs on the Future of the Battlefield. Master's Thesis, Harvard University, Cambridge, MA, USA, 2022.



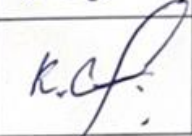
[7] Mohsan, S.A.H.; Khan, M.A.; Noor, F.; Ullah, I.; Alsharif, M.H. Towards the unmanned aerial vehicles (UAVs): A comprehensive review. Drones 2022.

[2] Shakhathreh, H.; Sawalmeh, A.H.; Al-Fuqaha, A.; Dou, Z.; Almaita, E.; Khalil, I.; Othman, N.S.; Khreishah, A.; Guizani, M. Unmanned aerial vehicles (UAVs): A survey on civil applications and key research challenges. IEEE Access 2019.	[8] B Yun, W.J.; Park, S.; Kim, J.; Shin, M.; Jung, S.; Mohaisen, D.A.; Kim, J.-H. Cooperative multiagent deep reinforcement learning for reliable surveillance via autonomous multi-UAV control. IEEE Trans. Ind. Inform. 2022.
[3] Xu, D.; Chen, G. The research on intelligent cooperative combat of UAV cluster with multi-agent reinforcement learning. Aerosp. Syst. 2022	[9] Zhao, C.; Liu, Y.; Yu, L.; Li, W. Stochastic Heuristic Algorithms for Multi-UAV Cooperative Path Planning. In Proceedings of the 2021 40th Chinese Control Conference (CCC), Shanghai, China, 26–28 July 2021
[4] Sun, W.; Hao, M. A Survey of Cooperative Path Planning for Multiple UAVs. In Proceedings of the International Conference on Autonomous Unmanned Systems, Shanghai, China, 26–28 July 2021	[10] Yang, X.; Bostel, N.; Dejax, P. A MILP model and memetic algorithm for the Hub Location and Routing problem with distinct collection and delivery tours. Comput. Ind. Eng. 2019
[5] Wu, Y. Qureshi, A.G. Yamada, T. Adaptive large neighborhood decomposition search algorithm for multi-allocation hub location routing problem. Eur. J. Oper. Res. 2022	[11] Dell'Amico, M.; Montemanni, R.; Novellani, S. Matheuristic algorithms for the parallel drone scheduling traveling salesman problem. Ann. Oper. Res. 2020,
[6] Tsouros, D.C.; Bibi, S.; Sarigiannidis, P.G. A review on UAV-based applications for precision agriculture. Information 2019,	[12] Woo, J.W.; An, J.-Y.; Cho, M.G.; Kim, C.-J. Integration of path planning, trajectory generation and trajectory tracking control for aircraft mission autonomy. Aerosp. Sci. Technol. 2021

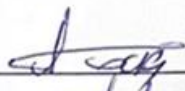
Магистрлік диссертацияны дайындау  
**КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Ұшақсыз ұшу аппараты қалыптастыру траекториясын жоспарлау алгоритмдеріне шолу	01.09.2023 - 13.12.2024	Орындалған
ҰҰА басқару траекториясы мен қозғалыс параметрлеріне талдау жасау	20.01.2023 - 25.02.2024	Орындалған
Күрделі кеңестіктегі ұшқышсыз ұшу аппараты үшін жақсартылған траекторияны жоспарлау алгоритмін құру	25.02.2023 - 24.04.2024	Орындалған
ҰҰА ұшу алгоритмін Matlab ортасында модельдеу	25.04.2023 - 28.05.2024	Орындалған

Диссертациялық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған бөлімдерге қойған қолтаңбалары

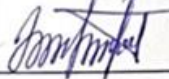
Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диссертация жұмысының тақырыбын талдау	Хабай А, ЭТЖҒТ каф. қаумдастрлған профессоры, PhD докторы	31.12.22	
Теориялық ақпарат	Хабай А, ЭТЖҒТ каф. қаумдастрлған профессоры, PhD докторы	30.06.23	
Норма бақылау	С.С. Кенгесбаева., ЭТЖҒТ каф. ассистентті, магистрант	12.08.24	

Ғылыми жетекші \_\_\_\_\_



Хабай А

Магистрант \_\_\_\_\_



Әбдіжәлел Қ.Н

Мерзімі

«23» 11 2022 ж.

## АНДАТПА

Бұл диссертациялық жұмыста күрделі үш өлшемді ортада ұшқышсыз ұшу аппараттарының қауіпсіздік талаптары мен ұшу шектеулерін қанағаттандыра отырып кеңейтілген жаңа алгоритм құру міндеті орындалды. Біріншіден, траекторияның екі түйіні арасындағы байланысты кешенді бағалау үшін қауіп төндіретін күштер мен жолдың ұзындығын қамтитын ұшу функциясы құрылады. Екіншіден, ұшқышсыз ұшу аппаратының траекториясын жоспарлау мәселесін шешу үшін жаңа түйіндердің кеңеюін ынталандыру мақсатында ұшу функциясы мен ұшу шектеулеріне талдау жасалынды. Үшіншіден, әзірленген функциялардың негізінде түйінді жаңарту алгоритмі жасалды.

Қауіп пен жолдың ұзындығын ескере отырып траекториялары мен қозғалыс параметрлері негізінде ұшқышсыз ұшатын аппараттардың ұшуын басқару алгоритімін құрып және оны Matlab бағыдарламасы ортасында модельдеп талдау жүргізілді.

## АННОТАЦИЯ

В этой диссертационной работе была выполнена задача создания нового алгоритма, расширенного в сложной трехмерной среде, удовлетворяющего требованиям безопасности и ограничениям полета беспилотных летательных аппаратов. Во-первых, для комплексной оценки взаимосвязи между двумя узлами траектории создается функция полета, которая включает угрожающие силы и длину пути. Во-вторых, для решения задачи планирования траектории беспилотного летательного аппарата был проведен анализ функции полета и ограничений полета с целью стимулирования расширения новых узлов.

На основе траекторий и параметров движения с учетом опасности и протяженности пути был разработан алгоритм управления полетом беспилотных летательных аппаратов и проведен его смоделированный анализ в среде программы Matlab

## ANNOTATION

In this dissertation work, the task of creating a new algorithm extended in a complex three-dimensional environment that satisfies the safety requirements and constraints of unmanned aircraft flight was accomplished. First, a flight function that includes threat forces and path length is created to comprehensively evaluate the relationship between two trajectory nodes. Second, to solve the trajectory planning problem of the unmanned aerial vehicle, the flight function and flight constraints were analyzed to encourage the expansion of new nodes.

Based on the trajectories and motion parameters considering threat forces and path length, a drone flight control algorithm was developed and its simulated analysis was carried out in Matlab software environment

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Ұшақсыз ұшу аппараты қалыптастыру траекториясын жоспарлау алгоритмдеріне шолу	10
1.1 ҰҰА қалыптастыру траекториясын алгоритмін жоспарлау	13
1.2 Дайкстра Алгоритмі	14
1.3 Дубинс Қисығы	16
1.4 Флойд Алгоритмі	17
1.5 Жылдам марш әдісі	18
1.6 Жол картасының ықтималдық алгоритмі	20
1.7 Интеллектуалды алгоритм	21
1.8 Жасанды потенциал өрісі	24
1.9 Динамикалық терезе тәсілі	25
1.10 Математикалық оңтайландыру алгоритмі	26
1.11 ҰҰА қалыптасуының физикалық шектеулері	28
1.12 ҰҰА болашақ зерттеулердің бағыты мен бағыдары	29
1.13 ҰҰА басқару траекториясы мен қозғалыс параметрлеріне талдау жасау	31
2. Қауіпсіздік проблемалары мен шешімдері	31
2.1 Жол ұзындығын шектеуін аңқтау	34
2.2 Жол сегментін және жер бедері шектеулері	35
2.3 Негізгі объектіні іздеу	36
2.4 Радарлық қауіп үлгісі	38
2.5 Күрделі кеңестіктегі ұшқышсыз ұшу аппараты үшін жақсартылған траекторияны жоспарлау алгоритмін құру	41
3.1 Бастапқы жолды құру	42
3.2 Көп мақсатты жолды жоспарлау алгоритмін құру	43
4 Matlab ортасында ҰҰА ұшуын алгоритмін модельдеу	49
4.1 ҰҰА ұшу алгоритмін Matlab ортасында модельдеу	51
4.2 Навигациялық алгоритмін сынау	55
4.3 ҰҰА басқару алгоритмі бойынша кеңестіктегі жолын моделдеу	56
Қортынды	62
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	63

## КІРСІПЕ

Ұшқышсыз ұшатын аппараттары (ҰҰА) зерттеу соңғы онжылдықтарда жақсы дамыды. ҰҰА ерекшеліктері мен агрономияда, бақылауда және қадағалауда табылған қолданбалардың кең өрісіне байланысты өсті [1]. Зерттеушілердің жүйелерінде автономды навигацияны құрудың жаңа әдістері бойынша жұмысы үш кезеңге бағытталған, негізінен мыналар: әртүрлі сенсорлар мен әдістемелердің көмегімен қоршаған орта туралы ақпарат алу; [2] локализация, карталау немесе оңтайландыру алгоритмі арқылы анықтамалық траекторияны алу үшін деректерді өңдеу [3]. Дронның биіктігін сақтау және сигнал сілтемесін қадағалау үшін ұшу диспетчерлерін енгізу [4]. Біріншісі камералар, жарықты анықтау және диапазон немесе инерциялық өлшем бірліктері сияқты көптеген сенсорларға байланысты жұмыстар жасуда. Екінші кезеңде объектіні анықтау және соқтығысуды болдырмау алгоритмдері, сондай-ақ ең жақсы траекторияны табу үшін бағытты оңтайландыру қолданылады. Үшінші кезең математикалық модель және кейбір басқару техникасы арқылы ұшқышсыз ұшу аппараты үшін қажетті позиция мен қалыпқа сілтеме жасауға бағытталған ұшу диспетчерін әзірлеуден тұрады.

Анықтаманы алудың бір жолы векторды генерациялауға негізделген, оның бастапқы нүктесі ҰҰА өз бағытын бастайтын позиция, ал соңғы нүкте анықтамада көрсетілгендей [5] жетуге болатын мақсат болып табылады, мұнда вектор жасалады. Фотометриялық техниканың көмегімен ұшқышсыз ұшу аппаратын бөлек ағаштар арасында жылжыту. Дегенмен, дрон жолына қоршаған ортадағы өзгерістер және соқтығыстар сияқты әртүрлі факторлар әсер етеді. Сондықтан ҰҰА траекториясы жаңартылған кезде кедергілерді анықтау және болдырмау әдістерін енгізу қажет болады [6]. Бұл жағдайда екі әдіс қарастырылады: қолмен және автоматты. Біріншісінде оператор ұшу режимін қосу үшін қашықтан басқару пультінен сигнал жібереді [7]. Екіншісінде траектория генераторының алгоритмі мен ұшу диспетчері біріктірілген [8]. Генераторды ҰҰА-дан немесе қашықтағы жұмыс станциясымен орындауға болады.

Траекторияны құру мәселесін шешу үшін екі негізгі әдіс қарастырылады. Офлайн және онлайн, Офлайн әдісте алгоритм ҰҰА ұшып көтерілгенге дейін жүйе бұрыннан белгілі шектеулері бар орынның статикалық кескінінен немесе моделінен тұратын алдын ала жүктеу сценарийін пайдаланып траекторияны талдайды және есептейді және контроллер үшін траекторияны есептейді. Қоршаған орта өзгермеуі керек, өйткені ол өзгерсе (қандай да бір нысан пайда болса), ұшқышсыз ұшу аппараты мен объектінің соқтығысу мүмкіндігінің жоғары болуына байланысты техника өзінің функционалдығын жоғалтады. Екінші жағынан, онлайн әдіс теңшелген траекторияны жасау үшін объектінің қозғалысын анықтай отырып, оның сенсорларының динамикалық талдауына негізделген алгоритмді пайдаланады [9]. Екі әдіс де қолданылады; дегенмен, әрбір әдістің

өз артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Мысалы, егер сценарий статикалық болса, онлайн әдіс тиімді болады, себебі ҰҰА траекториясы оның қозғалысы алдында есептелінеді, бірақ өзгертін сценарий үшін бұл әдісті қарастырмау керек, себебі ҰҰА мен нысанның соқтығысуы өте мүмкін. Сценарий объектінің қозғалысына немесе ҰҰА қозғалысына байланысты өзгерсе, траекторияны онлайн жасау ұсынылады, себебі ҰҰАтраекториясы сценарийді талдау негізінде жаңартылады. Алгоритмнің тиімділігі, алайда, деректердің күрделілігіне және орындалу уақытына байланысты. Әдебиеттер бұл кемшіліктерге қарсы тұру үшін әртүрлі әдістер мен құрылғыларды ұсынды. Кейбір жұмыстар геореференцияланған үш өлшемді домен үлгісіне негізделген GNSS үшін автоматтандырылған анықтаманы қамтитын көп сатылы жоспарды пайдалана отырып, көп ҰҰА маршруттау мәселесі үшін стратегиялық маршрутты жоспарлау көрсетілген [10] сияқты GPS көмегімен жол нүктелерін хабарлайды. , кедергісіз үміткер маршруттарын шығару, жол нүктелерін тағайындау және барлық ҰҰА үшін уақыт белгісі бар траекторияларды анықтау. Олардың мақсаты метрика ретінде таралатын ковариантты пайдалана отырып, жобаланған траекториялардың берілген орналасу дәлдігімен сенімді болуын қамтамасыз ету болып табылады. Екінші жағынан, авторлары жылдам есептеу жауабын беретін сызықтық интерполяцияны пайдалана отырып, жылдам есептеу траекториясын генерациялау алгоритмін жетілдіреді, сандық модельдеу нәтижелері көрсетіледі, сондай-ақ түзілген траекторияларды бақылау үшін сызықты емес ұшу контроллері әзірленген. Сонымен қатар, әртүрлі жұмыстарда [11] квадрокоптерге арналған көру негізіндегі контроллер ұсынылады, алдын ала анықталған сценарийлерде ең жақсы жолды алу үшін жасанды интеллект пен оңтайландыру әдістері қолданылады, бұл нейрондық желі арқылы қозғалатын нысананы бақылауға мүмкіндік береді, кескін мүмкіндіктерін алады.

Желідегі траектория жағдайлары үшін ең күрделі жағдай ҰҰА да, объектілер де бір уақытта қозғалған кезде орын алады. Мұнда алгоритм деректерді талдауға сәйкес динамикалық траекторияларды жоғары жылдамдықпен әзірлеуі керек. Жоғарыда аталған мәселелерді шешу үшін бірнеше авторлар әртүрлі әдістемелерді ұсынды. Мысалы, [12] авторлар кескіндерді, жолды жоспарлауды және оны FPGA-да жүзеге асыруды тану үшін конволюциялық нейрондық желіні пайдаланады. Анықтамада [24], авторлар ұшқышсыз ұшқыштың орналасқан жерін бақылау кезінде картаны құруға немесе белгісіз ортаны жаңартуға мүмкіндік беретін бір мезгілде локализация және карталау деп аталатын алгоритмді пайдаланады. Маршрутты жоспарлаушы қоршаған ортаның әртүрлі аймақтарын зерттеген кезде өзін жаңарту арқылы жасалады. Мұндай әдістер белгісіз сценарийлерде функционалды болуы мүмкін. Картаны үнемі жаңартып отыруға байланысты өңдеу тапсырмаларын орындау қиын. Біріктірілген GPU бар борттық жоғары жылдамдықты монокулярлы камераны пайдаланып, ҰҰА үшін тікелей визуалды қызмет көрсету жүйесін ұсынады. Бұл технология жасанды көру арқылы қоршаған ортаны танумен және бақылаушыға сигналдарды жіберумен

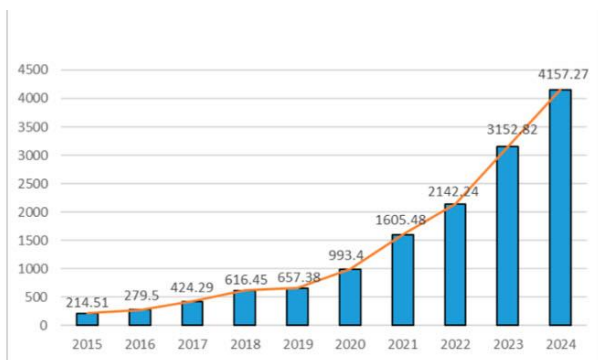


сипатталады, бұл кідірістерді азайтады. Дегенмен, бұл техника үшін пайдаланылатын жабдық қымбат және оның кеңістіктік ортасындағы объектілерді алдын ала білуді немесе бағалауды талап етеді. Квадротор навигациясы үшін көру арқылы басқарылатын автономды ұшу жүйесі ұсынылған. Оптикалық ағынға негізделген нақты уақыттағы кедергілерді болдырмау әдісін қолдана отырып, фронтальды кедергілерді анықтауға және квадратторды дұрыс бағытта бағыттауға болады. Осыған қарамастан, оптикалық ағынға нақты уақыт режимінде арзан аппараттық құралда қол жеткізу қиын. Екінші жағынан, құрылған траекторияларды жүзеге асыру ҰҰА роторларының жылдамдығын басқару арқылы аспанда қозғалуына мүмкіндік беретін ұшу диспетчерлерімен жүзеге асырылады. Ұшуды басқару жүйесі квадраттордың іргелі аспектісі болып табылады, әртүрлі басқару әдістері туралы хабарланған [13] сияқты ҰҰА зерттеулері мен дамуы үшін маңызды платформаға айналады. Одан басқа, Ньютон-Эйлер, Эйлер-Лагранж немесе кватерниондар контроллерлерде қолданылатын математикалық модельдердің мысалдарыда бар [14], олардың мақсаты ұшқышсыз авиацияның қалпын реттеу арқылы бақылау қатесін азайту арқылы сілтемені орындау болып табылады.

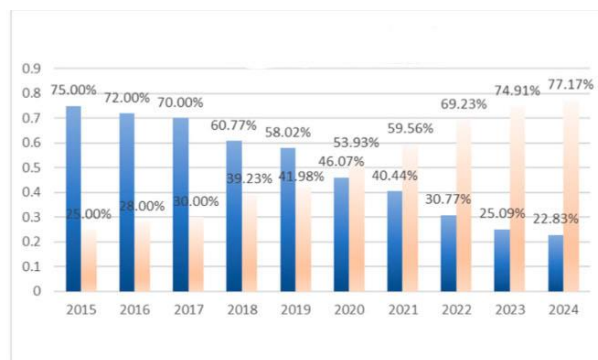
Бұл диссертациялық ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) траекториясын жоспарлау алгоритмдерінің жіктеу жүйесі енгізілген әдеби шолу жасалын. Олар бастапқы нүктеден мақсатты нүктеге дейін оңтайлы траекторияны табуға бағытталған алгоритмін құрып Matlab ортасында моделдеу.

## **1 Ұшақсыз ұшу аппараты қалыптастыру траекториясын жоспарлау алгоритмдеріне шолу**

1991 жылы Парсы шығанағы соғысындағы керемет нәтижелерден кейін Ұшақсыз ұшу аппараты (ҰҰА) Ауған соғысында, Ирак соғысында, Ислам мемлекеті террористік тобына қарсы күресте жақсы жетістіктерге жетті, 2011 жылы Нептун найзасының басын кесу операциясы және 2022 жылы Ресей-Украина қақтығысы. Олардың жетістігін әлем елдерін ҰҰА зерттеулеріне көптеген еңбек және қаржы ресурстарын инвестициялауға мәжбүр етті [15]. 1-уретте көрсетілгендей, Ондаған жылдар бойы дамығаннан кейін ҰҰА тек әскери салаларда ғана емес: барлау, бақылау, Байланыс релесі, радиоэлектрондық іс-қимыл, жауынгерлік жағдайды бағалау, қудалау, камуфляж, суастыға қарсы күрес, нысанаға шабуыл және т. б. Сонымен қатар, олар ауыл шаруашылығында [16], энергетикада [17], азаматтық салада [18] және басқа да өте маңызды салаларда кеңінен қолданылады. Алайда, тапсырманы бір ұшқышсыз орындау кезінде кейбір мәселелер туындайды. Мысалы, барлау тапсырмасын орындау кезінде бір ұшқышсыз ұшу аппараты көру бұрышымен шектелуі мүмкін және нысананың аумағын әртүрлі бағыттардан бақылай алмауы [19]. Ауқымды іздеу мәселесін шешу кезінде бір ұшқышсыз ұшу аппараты бүкіл барлау аумағын тиімді қамти алмауын көрсетті [20]. шабуыл кезінде өлшеу диапозоның аутқуы, жеңіліс радиусы, жойылу қабілеті және шабуылдың дәлдігі шектеулі, бұл бүкіл жауынгерлік тапсырманың сәтті орындалуына әсер етеді [21]. Егер бір ұшқышсыз ұшақ тапсырманың ортасында істен шықса, ол оны дереу тоқтатып, қайтып оралуы керек, бірақ соғыс жағдайында бұл ұшақтың кешігуіне және барлығының бұзылуына әкелуі мүмкін операция жоспары. Жауынгерлік іс-қимылдардың тиімділігін арттыру және жауынгерлік іс-қимылдарда жалғыз ұшқышсыз ұшу аппараттарының жетіспеушілігін толтыру үшін көп авиациялық кооперативтік формация (кластер) қолданылады.



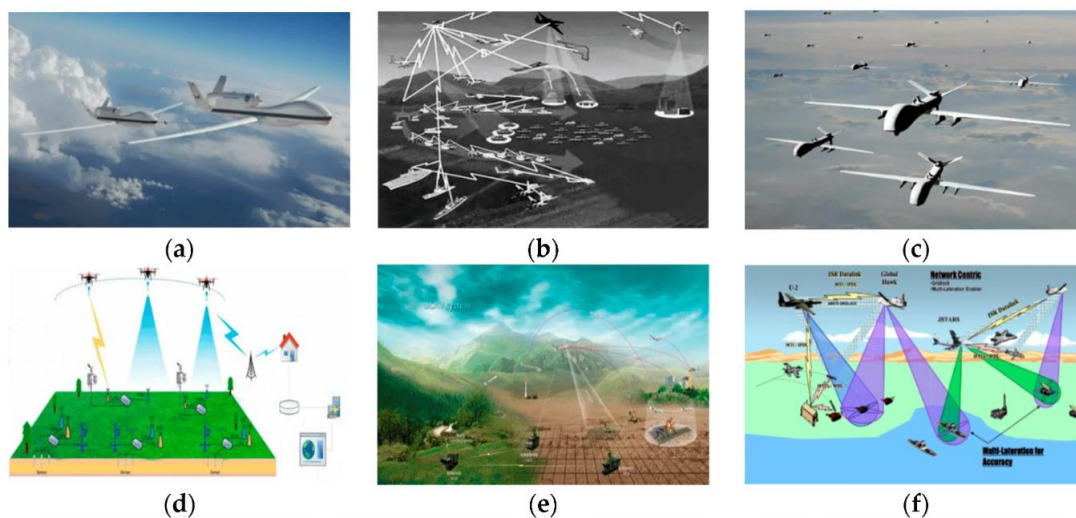
(а)



(ә)

1.1-сурет – 2015 жылдан 2024 жылға дейінгі әлемдік ұшқышсыз ұшу аппараттары нарығының статистикасы және болжамы (а) 2015-2024 жылдардағы ұшқышсыз ұшу аппараттарының жаһандық нарығы. Көк баған ҰҰА жаһандық инвестициялар; сары сызық - өсу тенденциясы); (ә) сегменттегі ұшқышсыз ұшу аппараттарының әлемдік нарығының үлесі, сары баған-өнеркәсіптік дрондардың үлесі

Ұшқышсыз ұшу аппаратын қалыптастыру бір ұшқыш басқаратын ұшу аппаратымен салыстырғанда теңдесі жоқ артықшылықтарға ие. Ауа-райының қолайсыздығында ұшқышсыз ұшуды қалыптастыру мүмкін болмаған кезде, әр түрлі құрылымдарды ұстап тұру ұшқышсыз ұшудың аэродинамикалық тиімділігін әр түрлі дәрежеде арттыра алады, осылайша ұшуға жалпы қарсылықты азайтады және отынды үнемдейді [22]. бұл жан-жақты барлауды немесе мақсатты бақылауды қамтамасыз ете алады, мысалы, жаудың нысанасын бақылау және барлау, ресурстарды барлау және т. б. мақсатты бақылау ауқымын айтарлықтай жақсарта алады; 0069t сонымен қатар миссияның бірнеше нысанасына бір уақытта соққы бере алады, жаудың жауынгерлік басқару жүйесін бұзады, өлім-жітім мен нысанаға жету жылдамдығын арттырады және 1.2-суретте көрсетілгендей жауынгерлік тиімділікті арттырады. Пайдалану барысында ҰҰА нақты уақыт режимінде көлік ортасын имитациялай алатын, өзінің орналасқан жерін анықтай алатын, ұшу күйін бақылай алады, тиімді траектория нүктелерін таңдай алатын және қауіпсіз траекторияны есептей алатын ақылды құрылғылармен жабдықталған. Бұл ұшқышсыз ұшу аппараттарының ұшып көтерілу сәтінен бастап нысаналы нүктеге жетуінің маңызды кепілдіктері, сондай-ақ ұшқышсыз ұшу аппараттарын қалыптастыру міндеттерін орындау үшін маңызды алғышарттар болып табылады. Сондықтан ұшқышсыз ұшу аппараттарының траекториясын жоспарлаудың қолайлы алгоритмін таңдау маңызды.



1.2-сурет – Ұшқышсыз ұшу аппараттары тапсырмаларды орындау үшін сапта ұшуы. (a) Ұшқышсыз ұшу аппараттарына ұшуы; (b) ұшқышсыз ұшу аппараттарына электронды күрес жүргізу (c) ұшқышсыз ұшу аппараттарына тапсырманы орындау (d) ұшқышсыз ұшу аппараттарына байланысты қайта тарату; (e) ұшқышсыз ұшу аппараттарына нысанаға соққы беру; (f) ұшқышсыз ұшу аппараттарына барлау

Ұшқышсыз ұшу аппараттарын құру траекториясын жоспарлаудың мақсаты нақты міндеттерге, радиосигналдық шағылысуға, ауа-райына және әрбір ұшқышсыз ұшу аппараттарының басқа экологиялық факторларына, сондай-ақ өзінің ұшу сипаттамаларына негізделген. Көптеген шектеулерді қанағаттандырудың алғышарттарына сүйене отырып, көрсетілген тиімділік көрсеткіші топтағы барлық ұшқышсыз ұшу аппараттары бастапқы нүктеден мақсатқа қауіпсіз жете алатындай етіп оңтайландырылуы немесе жақсартылуы мүмкін. Ұшқышсыз ұшу аппаратын қалыптастыру траекториясын жоспарлау көптеген шектеулер жағдайында оңтайландыру мен шешім қабылдаудың күрделі көп мақсатты міндеті болып табылады. Ұшқышсыз ұшу аппараттарының санының артуымен тапсырманың аналитикалық кеңістігі экспоненциалды түрде артады. Ұшу аппараттарының траекториясын жоспарлауды зерттеу кезінде алгоритм ұшу аппараттарының траекториясын жоспарлаудың жаны болып табылады, ол траекторияны жоспарлаудың тиімділігі мен нәтижелерімен тікелей байланысты. Бір ұшқышсыз ұшу аппараттарының траекториясын жоспарлаумен салыстырғанда ұшқышсыз ұшу аппараттарының қалыптасу траекториясын жоспарлаудың күрделілігі негізінен келесідей көрінеді:

1) Көптеген жағдайларда жоспарлау кеңістігінің көлемі үлкен және күрделі: мысалы, қазіргі поля алаңында әртүрлі кеңістіктік кедергілер мен динамикалық қауіптер бар;

2) Көптеген шектеулер бар. Жоспарланған ұшу траекториясының ұшқышсыз ұшудың нақты динамикалық және кинематикалық сипаттамаларына сәйкестігін қамтамасыз етіп қана қоймай, уақыт пен

кеңістіктің сәйкестігін, сондай-ақ траекторияның жасырындығын ескеру қажет;

3) Бірнеше ұшқышсыз ұшу аппараттарының траекториясын жоспарлау поле алаңындағы динамикалық өзгерістерге бейімделе алады және нақты уақыт режимінде траекторияларды реттей алады.

Ұшқышсыз ұшу аппараттарының траекториясын жоспарлау үшін көптеген жұмыстарда әртүрлі көзқарастар бойынша шешімдер ұсынылды, дегенмен әлі де көптеген шешілмеген мәселелер мен көптеген шектеулер бар, бұл зерттеулер мен оқуды жеңілдетпейтін жан-жақты және жүйелі жіктеусіз көптеген және күрделі жұмыстарға әкеледі.

Жұмыста [23] жүйесінің үш элементі (миссия, bla экипажы және қоршаған орта) және bla түзілуінің ұшу траекториясын бірлесіп жоспарлаудың үш элементі (bla ұшу траекториясы, мақсаты мен шектеулері) тұрғысынан әртүрлі bla құрылымдарының ұшу траекториясын бірлесіп жоспарлау жіктеледі және статистикалық талданады, бірақ ол ұшу траекториясын жоспарлау алгоритмін қарастырмайды БЛА қалыптастыру.

Стохастикалық эвристикалық Алгоритмдер [24] мақаласында қарастырылады, олардың кейбіреулерінің сипаттамалары, жетілдірулері, қолдану салалары, артықшылықтары мен кемшіліктері талқыланады, бірақ Алгоритмдер пайда болған ұшқышсыз ұшу траекториясын жоспарлау кезінде қарастырылмайды.

Анықтамалықта құрылған ұшқышсыз ұшу траекториясын жоспарлау алгоритмдері бес санатқа бөлінеді, соның ішінде оңтайлы алгоритм, графикалық теорияға негізделген жоспарлау әдісі, ақпаратқа негізделген эвристикалық жоспарлау алгоритмі, үйір интеллект алгоритмі және нейрондық желі алгоритмі. Содан кейін бұл санаттарға қарапайым сипаттама беріледі, бірақ нақты алгоритмдер қарастырылмайды.

Жұмыста үйір интеллект алгоритмдері соқтығысуды болдырмау, тапсырмаларды бөлу, траекторияны жоспарлау және үйірді қалыптастыру сияқты төрт аспектіде қарастырылады.

Бұл шолуда соңғы онжылдықтарда қолданылған ұшқышсыз ұшу аппараттарының қалыптасу траекториясын жоспарлау алгоритмдері егжей-тегжейлі жіктелген, осы алгоритмдердің негізгі принциптері сипатталған және салыстырылған, бұл ұшқышсыз ұшу аппараттарының қалыптасу траекториясын жоспарлау алгоритмдерінің кемшіліктерін анықтауға мүмкіндік береді. Алгоритмнің болашақ зерттеулерінің мәселелері мен бағыттары жинақталып, талданды, бұл ұшқышсыз ұшуды қалыптастыру мәселелерімен айналысатын зерттеушілер мен жұмысшыларға анықтама береді.

## 1.2 ҰҰА қалыптастыру траекториясын алгоритмін жоспарлау

Төменде екі элементті қамтитын ұшқышсыз ұшу аппараттарын құру траекториясын жоспарлау алгоритмін жіктеу жүйесі берілген: Ғаламдық жоспарлау және жергілікті жоспарлау.

Жаһандық траекторияны жоспарлау алгоритмі қолданыстағы картографиялық ақпаратқа негізделген траекторияны жоспарлауды жүзеге асыратын және бастапқы нүктеден мақсатты нүктеге дейін оңтайлы траекторияны іздейтін статикалық бағдарламалау алгоритмін білдіреді. Бұл мақалада жаһандық траекторияны жоспарлау алгоритмдері табиғи байланыстағы дәстүрлі алгоритмдер мен интеллектуалды алгоритмдерге бөлінеді; интеллектуалды алгоритмдер адамның немесе басқа жануарлардың мінез-құлқына еліктейтініне байланысты машиналық оқыту алгоритмдері мен эвристикалық алгоритмдерге бөлінеді. Жаһандық траекторияны жоспарлау алгоритмінің құрылымы [25] әдебиетте көрсетілген.

Жергілікті траекторияны жоспарлау алгоритмі динамикалық траекторияны жоспарлау алгоритмін білдіреді, яғни әуе кемесінің ұшқышы пилотсыз ұшу аппаратының сенсорына сәйкес нақты уақыт режимінде ағымдағы орналасқан жері мен жергілікті кедергілер туралы ақпаратты жинайды, содан кейін бастапқы нүкте мен соңғы нүкте арасындағы оңтайлы траекторияны алады. Жергілікті траекторияны жоспарлау алгоритмінің құрылымы 1.3-суретте көрсетілген.



1.3-сурет – Траекторияны жоспарлау алгоритмінің негізгі диаграммасы.

Дәстүрлі әдістер траекторияны жоспарлауды жүзеге асырмас бұрын мақсат үшін карта жасау ортасын құруы керек. Біріншіден, картографиялық орта графиктер ретінде іріктеліп алынды және іздеу алгоритмі арқылы ҰҰА қалыптасу траекториясын жоспарлауды аяқтау үшін мүмкін болатын

траекториялар жасалды. Қолданыстағы Алгоритмдер-Дайкстра алгоритмі, Дубинс қисығы, Флойд алгоритмі, Вороной графигі әдісі, ықтималдық жол карталары және жылдам зерттелетін кездейсоқ жағдайларға байланысты жолдар қарастырылады [26].

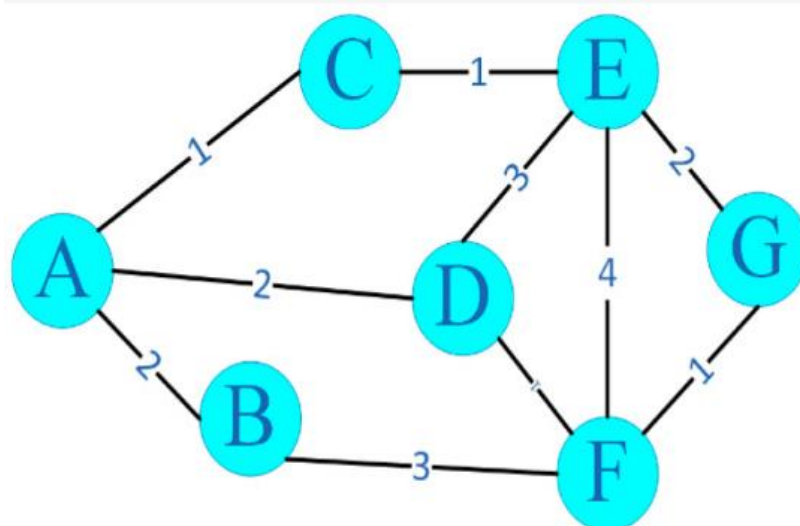
### 1.3 Дайкстра Алгоритмі

Дайкстра алгоритмі-геометриялық графика әдісіндегі ең қысқа траекторияның классикалық әдісі, онда шыңы траектория нүктелерін білдіреді, түйіндер арасындағы сызық жиек деп аталады және әрбір жиектің сәйкес жолы бар, ол қысқаша басатын жолы мен кедергілерді айналып өтудің екі өлшемді статикалық көріністеріне сәйкес келеді. Бұл алгоритмді пайдаланудың кілті-тиімді траектория нүктелерін таңдау, жоспарлау уақытын қысқарту, әр қадамда түйін үшін ең қысқа траекторияны табу, тіркелу үшін түйіннен ең аз қашықтықты таңдау, содан кейін көршілес түйінді айналып өту. Дайкстра алгоритмінің диаграммасы 1.4-суретте көрсетілген.

Dijkstra алгоритмі-теріс емес жиек салмақтары бар графиктегі бір бастапқы түйіннен барлық басқа түйіндерге дейінгі ең қысқа жолды табудың классикалық алгоритмі. Оны 1956 жылы информатик Эдсгер В.Дайкстра ойлап тауып, үш жылдан кейін басып шығарды. Алгоритм информатика және операцияларды зерттеу салаларында ең қысқа жол мәселесін тиімді шешу үшін өте маңызды.

Ағымдағы түйін үшін оның барлық бармаған көршілерін қарастырып, олардың ағымдағы түйін арқылы болжамды қашықтықтарын есептеу керек.

Ағымдағы түйіннің барлық көршілеріне барғаннан кейін, ең аз алдын ала қашықтықпен бармаған түйінге өтіңіз. Бұл жаңа "ағымдағы түйінге" айналады және процесс 2-қадамнан бастап қайталанады.



1.4-сурет – Дайкстра алгоритмінің шығындар диаграммасы (А–G: түйіндер, сызықтар, траекториялар, сандар және түйіндер арасындағы қашықтық).

Анықталмаған аймақты іздеу мәселесін шешуде белгісіз ортада мақсаттарды іздеу үшін ҰҰА үшін ең қысқа траекториясын К алгоритміне негізделген іздеу алгоритмін ұсынды. Бұл әрбір ұшқышсыз ұшу аппаратының батареяның қызмет ету мерзімінің талаптарын және ҰҰА базалық жұмыс станциясының орналасқан жерін қанағаттандырады, әрбір ҰҰШ іздеудің артықшылықтарын барынша арттыру үшін максималды белгісіздік аймағында іздеуге мүмкіндік береді.

Белгісіз ортадағы іздеу қажеттіліктерін қанағаттандыру және қозғалмалы мақсаттарды теңдестірілген бақылау үшін Дайкстра алгоритмін жетілдірді және доғаның белгісіздігін шешу үшін сенімді қысқа алгоритм ұсынды. Ақпараттық белгісіздік пен қоршаған ортаның өзгеруінің траекторияны жоспарлау алгоритміне әсері жойылады және сонымен бірге траектория тез қайта құра алды.

Уэно мен Квон оңтайлы және қысқа есептеу уақытының талаптарын қанағаттандыру үшін ең аз уақыт ішінде ұшқышсыз ұшу аппараттарының түзілуін қалпына келтіру үшін Дайкстра алгоритмін қолданды және қысқа уақыт ішінде жасалған траектория оңтайлы траекторияға жақын.

Аггарвал және басқалар. ұшқышсыз ұшу аппараттарының қауіпсіздік шектеулері орындалған жағдайда траекторияның шамамен ұзындығын жасау үшін шамамен траекторияны құру әдісін ұсынды. Бұл әдіс Лагранждың релаксация алгоритмінің жалпы құнына негізделген және өте жоғары температурадан туындаған ұшу кезінде қауіпсіздік пен қуат тұтыну мәселелерін шешетін шекаралық құнды өзгерту үшін Дейкстра алгоритмін итеративті түрде қолданады [27].

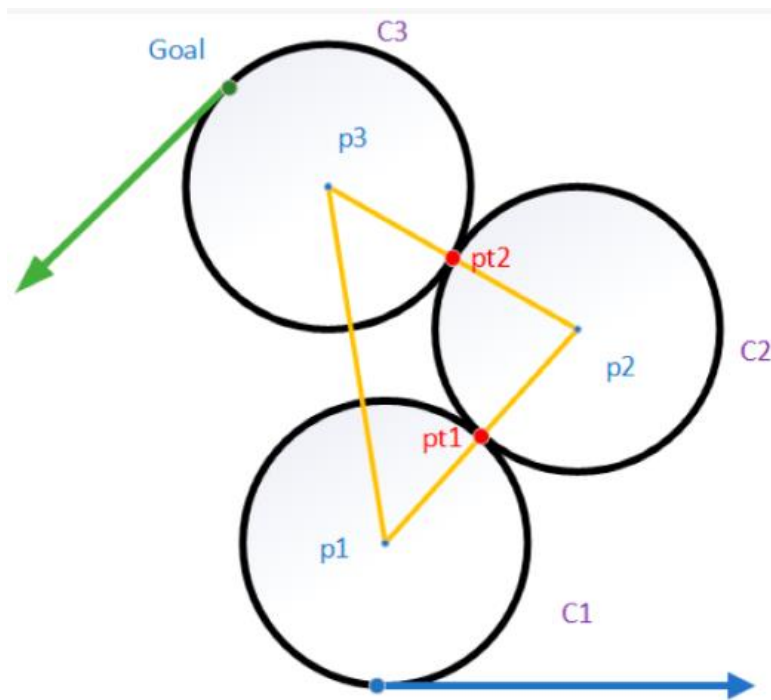


## 1.4 Дубинс Қисығы

Дубинс қисығы-бұл екі өлшемді жазықтықты (яғни X-Y жазықтығын) байланыстыратын ең қысқа учаске, егер қисықтық шектелсе және көрсетілген басталу мен аяқталудың жанама бағыттары орындалса болды. 1957 жылы Лестер Эли Дубинс кез-келген нүкте максималды қисықтық доғасынан немесе түзу сегменттен тұруы мүмкін екенін дәлелдеді (екі нүктенің арасында нүкте болуы керек). Басқаша айтқанда, екі нүктені байланыстыратын ең қысқа жол максималды қисықтық шеңберінің доғасынан және түзу сызықтың сегментінен түзіледі. Кез келген бастапқы нүктеден соңғы нүктеге дейінгі клубтар үш бастапқы қозғалыстан аспайды және үш бастапқы қозғалыстан пайда болған реттілік траектория түрі деп аталады. Екі үздіксіз және бірдей бастапқы қозғалыстарды бір бастапқы қозғалысқа біріктіруге болатындықтан, Дубинс оңтайлы траектория келесі алты комбинацияның біреуі ғана болуы. Шеңбердің түзу шеңберінің жолдары: оң түзу оң жолдар, оңға түзу солға жолдар, сол жақ түзу оң жолдар, сол жақ түзу сол жолдар. Жолдарын жазықтықтағы әрбір нүктесінде салуға болады, егер шеңберлер бір-бірімен қабаттасып жатса онда қатені қайталауы мүмкін, өйткені онда жолды салу мүмкін емес.

ҰҰА белгілі бір бағытта 4D жол нүктелеріне бағыттау көп өлшемді мақсатты ұшақты бағыттау мәселесі болып табылады. [d=Zu] Өнімділікті жақсарту және осы мәселені шешу үшін RL әдісін қарастырады.. [d=Zu] жақындау ҰҰА тренажеріндегі автопилотқа әуе кемесін сәйкесінше белгілі ендік, бойлық, биіктік, бағыт және келу уақытында 4D жол нүктелеріне бағыттауға мүмкіндік береді. Нақтырақ айтсақ, нейрондық желі құрылымын жеңілдету және күй өлшемдерін азайту үшін көп деңгейлі RL [d=Zu] әдісі ұсынылады. Потенциалды функция мен Дубин жолы әдісін қамтитын пішінді негізгі функциясы қолданылады. [d=Zu]Эксперименттік және модельдеу нәтижелері ұсынылған тәсіл Эксперимент жүргізілгенін және модельдеу нәтижелері ұсынылған әдіс конвергенция тиімділігі мен траектория өнімділігін айтарлықтай жақсарту алатынын көрсетеді. [d=Zu]Сонымен қатар, нәтижелер командалық ұшақты басқару тапсырмаларында қолданудың ықтимал перспективаларын көрсетеді, өйткені ұшақ белгілі бір үлгіде күтпестен мақсатқа тікелей жақындай алады, осылайша ағымдағы ҰҰА тренажерларының мәселесін жеңеді.

Кез келген екі конфигурация арасында Dubins жолы үшін ең қысқа жолды әрқашан үш қозғалыс примитивінен аспайтын комбинация ретінде көрсетуге болады . Әрбір қозғалыс примитиві белгілі бір уақыт аралығында тұрақты әрекетті қолданады. Сонымен қатар, ең қысқа жолдарды өту үшін қажет жалғыз әрекеттер . Примитивтер және олармен байланысты белгілер. Қарабайыр көлікті тура алға жүргізеді және примитивтері сәйкесінше солға және оңға мүмкіндігінше күрт бұрылады. Осы таңбаларды пайдалана отырып, ең қысқа жолдың әрбір ықтимал түрін примитивтердің қолданылу ретіне сәйкес келетін үш таңбаның тізбегі ретінде белгілеуге болады.



1.5-сурет – Дубинс қисығының траекториясының диаграммасы (қара шеңбер, шеңбердің қисаюы, сары сызықтар, траектория орталықтары арасындағы байланыс сызығы, көк сызық, ұшудың бастапқы бағыты; жасыл сызық, ұшудың соңғы бағыты, pt1–pt2, қисықтық қиылысу нүктесі, C1–C3: қисықтық атауы)

Маттей және Нотаро [28] ҰҰА шектеулі көріну графигіне негізделген әдісті қолдана отырып, таңдалған түйіндерді доғалар мен сегменттермен байланыстырып, кездесу нүктелерін қосу арқылы Дубинс көлігі ретінде модельдеді. Ол көптеген жерлерде қалыптасу формасын сақтай отырып, оңтайлы траекторияны табу үшін траектория нүктесінің орналасуын және ұшқышсыз ұшу аппаратының траекториясын барынша оңтайландыруға мүмкіндік беретін Стакельбергтің көшбасшы–Ізбасар моделінің екі қабатты ойын теориясының әдісіне негізделген.

### 1.5 Флойд Алгоритмі

Флойд алгоритмі, интерполяция әдісі деп те аталады, графикалық теорияның есептерін шешудің салыстырмалы түрде классикалық алгоритмі. Бұл берілген өлшенген графиктегі шындар арасындағы ең қысқа траекторияны шешуге арналған алгоритм және бағдарланған графиктердің ең қысқа траекториясы туралы есепті дұрыс шеше алады. Сонымен қатар, бұл динамикалық бағдарламалау алгоритмі және түйіндер арасындағы байланыстың салмағы оң немесе теріс болуы мүмкін; Дайкстра алгоритміне ұқсас, бірақ одан ерекшеленеді, өйткені Флойд алгоритмі кез-келген екі нүкте арасындағы қашықтықты табу үшін қолданылады, ол бірнеше көздерден ең

қысқа жол болып табылады және оны теріс салмақпен есептеуге болады, ал Дайкстра алгоритмі бір шыңнан бәріне дейінгі ең қысқа маршрутты табу үшін қолданылады. басқа шыңдар ең қысқа бір көзден алынған жолды және теріс салмақтағы тізбектерді есептеу мүмкін емес.

Уақыт терезелері, міндетті патрульдік тораптар, ұшқышсыз ұшу аппараттарының ұшу уақыты және кескін сенсорлары сияқты шектеулер жағдайында бірнеше ұшқышсыз ұшу аппараттарының патрульдік траекториясын бірлесіп жоспарлау мәселесіне тап болған Янг және т. б. [29] бастапқы траекторияны құру үшін Флойд алгоритмін қолдана отырып, бірлескен патрульдік траекторияны жоспарлаудың жаңа әдісін ұсынды, содан кейін оңтайлы траекторияны алу үшін жетілдірілген тікелей енгізу эвристикалық алгоритмін (PFH) қолданды.

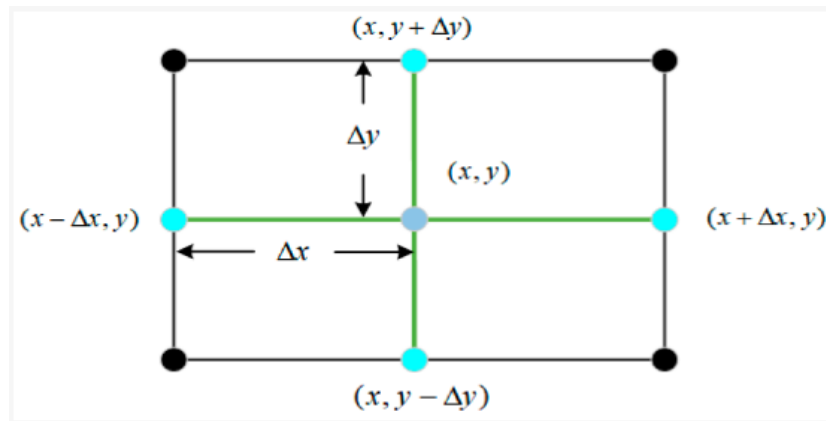
Чжоу және емес [30] іргелес шығындар матрицасы мен траектория матрицасын жаңарту үшін Флойд алгоритмін қолдана отырып, бірнеше ұшқышсыз ұшу аппараттары жүйелері үшін графикке негізделген траекторияны жоспарлау әдісін ұсынды және ұшқышсыз ұшу аппараттарының қалыптасу траекториясын жоспарлау мәселесін шешті.

## 1.6 Жылдам марш әдісі

Жылдам өңдеу әдісі - оптикалық жол функциясының теңдеуін (Эйконал теңдеуі) шешудің тиімді сандық алгоритмі және оптикалық жол функциясының теңдеуі келесідей:

$$|\nabla T(x,y)|V(x,y)=1 \quad (1.1)$$

мұндағы  $(x, y)$  - поза кеңістігіндегі есептеу нүктесінің координаты  $T(x,y)$  - интерфейс функциясы есептеу нүктесіне жететін уақыт,  $V(x, y)$  интерфейс функциясы берген таралу жылдамдығы және бұл тұрақты мән траекторияны жоспарлау. Оптикалық тракт функциясының шешім моделі 5-суретте көрсетілген.

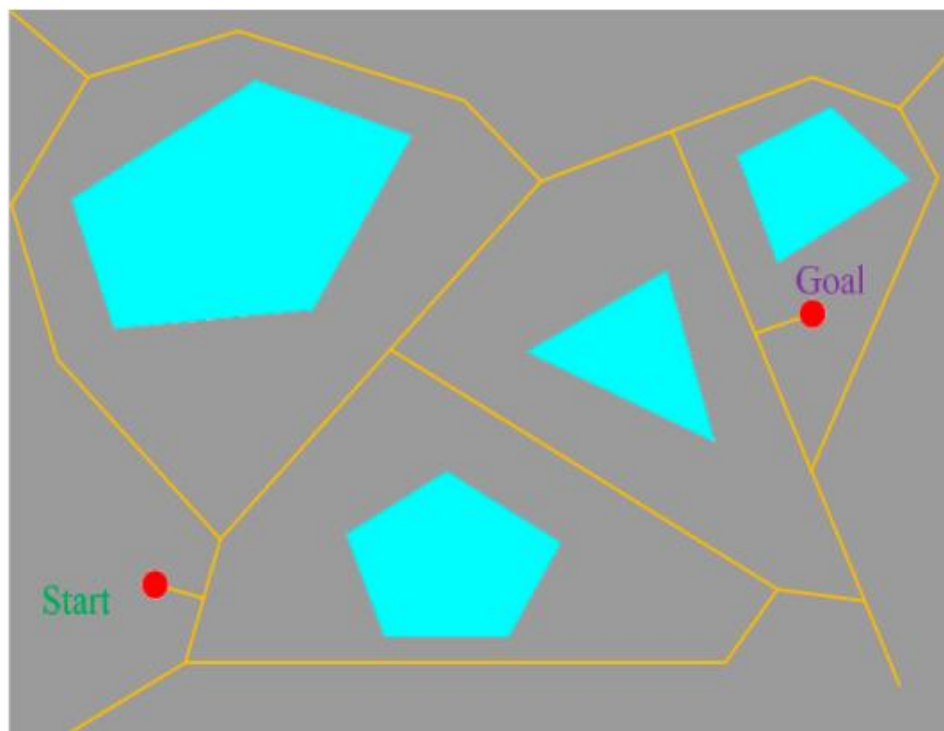


1.6-сурет – Оптикалық тракт функциясының шешім моделінің схемасы ( $\Delta x$  және  $\Delta y$ : дискретті кеңістіктегі  $x$  және  $y$  бағыттарындағы қашықтық).

Жылдам жылжыту әдісі алдымен уақыт мәндерін сақтау үшін растрленген кеңістікті жасайды, содан кейін уақыт шығындары жоспарлау кезінде қашықтық құнына айналады. Содан кейін біз қол жетімді және қол жетпейтін нүктелерді орнатамыз және қашықтық матрицасын алу үшін қашықтық құнын үнемі жаңартып отыру арқылы ең төменгі мәнді іздеу әрекетін аяқтаймыз. Біз оны потенциалды өрісті құру үшін қолданамыз, содан кейін пайда болған потенциалды өрістегі ең жылдам градиенттің түсу бағыты бойынша бастапқы нүктеден үздіксіз Итерация үшін градиентті түсіру әдісін қолданамыз, соқтығысусыз тегіс траектория аламыз.

3D ортасында дәстүрлі FM алгоритмі алған траектория кедергілерге тым жақын болады және траектория жеткілікті тегіс емес, Лопес және т. б. [31] жылдам жүру квадраты (FM2) алгоритмін ұсынды, ол FM алгоритмін кеңістіктегі таралу жылдамдығын толқын жолдың бағытын ұстануға ұмтылатындай етіп өзгерту арқылы жақсартады.

3D ортасында дәстүрлі FM алынған алгоритмі траекториясы кедергілерге тым жақын болады және траектория жеткілікті тегіс емес, Лопес және т. б. [32] жылдам жүру квадраты радиосигнал көмегімен (FM2) алгоритмін ұсынды, ол FM алгоритмін кеңістіктегі таралу жылдамдығын толқын жолдың бағытын ұстануға ұмтылатындай етіп өзгерту арқылы жақсартады.



1.7-сурет – Траектория диаграммасын құруға арналған Вороной диаграмма әдісі (көк аймақ: кедергілер, сары сызықтар мүмкін болатын траекториялар).

Ұшқышсыз ұшу аппараттарының топтары көп мақсатты жоспарлауды және бірлескен траекторияны жоспарлауды жүзеге асырған кезде сөзсіз апаттар немесе қоршаған ортаға араласу проблемалары туындайды. Бұл жағдайды шешу үшін Мэн және т. б. [33] күтпеген оқиғалар жағдайында бірнеше ұшқышсыз ұшу аппараттарының ұшу жолын көп тапсырмалы жоспарлауды шешу алгоритмін ұсынды. Әрбір ұшқышсыз ұшу аппараты өзінің бастапқы, оңтайлы немесе оңтайлы емес траекториясын жоспарлау үшін Вороной диаграммасын пайдаланады; содан кейін ол өзінің траекториясын кейбір күтпеген оқиғаларға сәйкес келетін жаңа көп тапсырмалы талаптарға сәйкес қайта реттейді.

Вороной, Чен және т. б. орташа бөлімдермен жабу мәселесін шешу үшін. [34] ұшқышсыз ұшу аппараттарының орташа бөлінуінің дөңес аймағын жабу үшін үлестірілген жабу алгоритмін ұсынды. Көршілермен жергілікті ақпарат алмасу арқылы Вороной бөлімі үздіксіз итеративті түрде жаңартылып отырады және ұшқышсыз ұшу аппаратының қозғалыс бағыты есептеледі. Теориялық тұрғыдан алгоритм ауданның нақты орташа қамтуына жету үшін ауданның айырмашылығын шексіз аз ете алады.

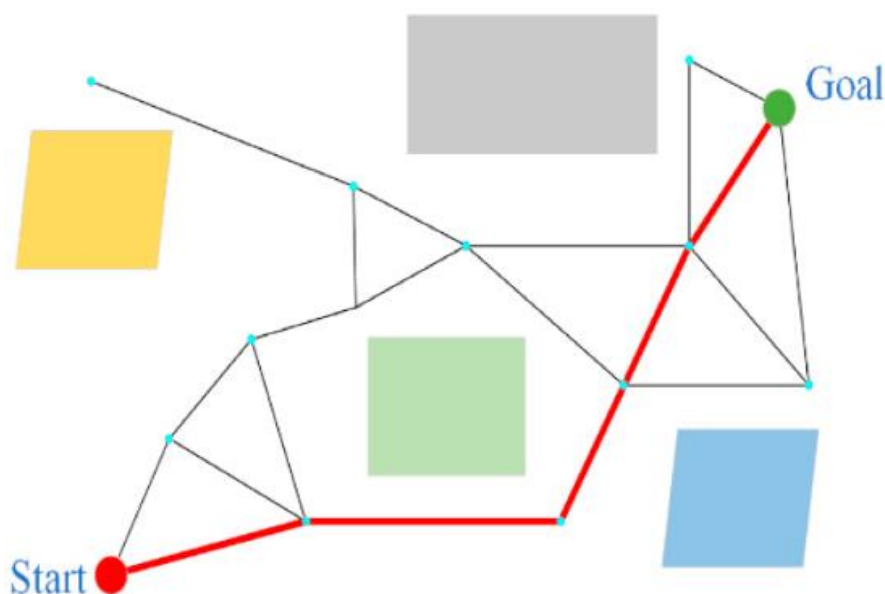
Чен және басқалар қауіп-қатер аймағын құру үшін Вороной диаграммасы әдісін қолданатын және бірнеше ұшқышсыз ұшу аппараттарының траекториясын жоспарлау үшін шығындар функциясын әзірлейтін консистенция теориясына негізделген әдісті ұсынды, осылайша бірнеше ұшқышсыз ұшу аппараттары бір уақытта ұшып, белгіленген нүктеге

жетіп, бірнеше ұшқышсыз ұшу аппараттарына шабуыл жасайтын ұшқышсыз ұшу аппараттарын құру мәселесін шеше алады. статикалық қауіп ортасындағы мақсаттар [35].

Ху және басқалар. [36] бүкіл кеңістікті қабаттаспайтын аймақтарға бөлу үшін Воронойдың бөліну теориясын қолдана отырып, Вороной мен дәстүрлі жасанды потенциалды өрісті бөлуге негізделген соқтығысуды қалыптастыру мен алдын-алудың таратылған әдісін ұсынды, әрі қарай мақсатты ауыстыру схемасын ұсынды; бұл әдіс жасанды потенциалды өріс қозғалысты басқару заңы ретінде қолданылған кезде жергілікті Оптимум мәселесін шешеді.

### 1.7 Жол картасының ықтималдық алгоритмі

Жол картасының ықтималдық алгоритмі - үздіксіз кеңістікті дискретті кеңістікке түрлендіретін графикалық іздеуге негізделген әдіс. Траекторияны жоспарлау негізінен екі кезеңге бөлінеді. Автономды оқыту кезеңінде роботтың орналасу нүктелерінің көп саны кездейсоқ таңдалады. Содан кейін іргелес түйіндерді іздейді және эталондық картаны құру үшін байланыстар орнатылады. Онлайн сұрау кезеңінде бастапқы нүктеге, мақсатты нүктеге және бағдарлар туралы картографиялық ақпаратқа негізделген эвристикалық іздеу алгоритмін қолдана отырып, бағдарлар картасы бойынша мүмкін траекторияны іздеу жүзеге асырылады. .1.7-суретте жол картасы алгоритмінің траекториясының диаграммасы көрсетілген.



1.8-сурет – Жол картасының ықтималдық алгоритмі траекториясының картасы (Түрлі-түсті аймақтар: кедергілер; қара сызықтар: мүмкін траекториялар; қызыл сызық: оңтайлы траектория).

Мадригано және басқалар үш түрлі режимді анықтау үшін параметрді орнату арқылы көп траекторлы PRM негізіндегі жоспарлау әдісін ұсынды, осылайша ұшқышсыз ұшу аппараттарының құрамындағы әртүрлі дрондар әртүрлі миссия мақсаттарына қол жеткізе алады [37].

## **1.8 Интеллектуалды алгоритм**

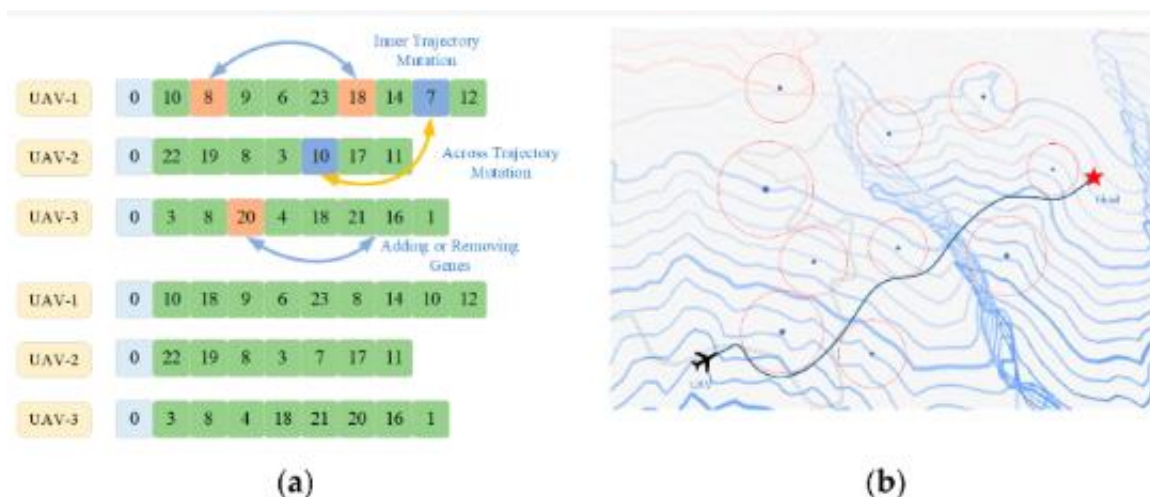
Интеллектуалды алгоритм кеңістіктегі оңтайлы шешімді бірлесіп табу үшін топтық биологиялық мінез-құлық процесін модельдеу арқылы бионикалық есептеу принципіне негізделген. Жоғары ендік, сызықтық емес бірнеше шектеулі оңтайландыру есептері үшін ол көбінесе бір уақытта ұшқышсыз ұшу аппараттарының қалыптасу траекториясын жоспарлау кезінде оңтайлы мәнге жақындауы мүмкін және бұл сонымен қатар ұшқышсыз ұшу аппараттарының қалыптасуындағы кедергілерді айналып өту мәселесін шешеді. Бұл мақалада интеллектуалды Алгоритмдер екі түрге бөлінеді: эвристикалық Алгоритмдер және машиналық оқыту алгоритмдері.

Эвристикалық алгоритмдердің көпшілігі оңтайландыру алгоритмдері болып табылады, олар проблемалардың шешімдерін табу үшін қолайлы есептеу шығындары бар шамамен оңтайлы шешімдерді іздейді. Бұл жауаптарды жүйелі түрде іздеу емес, тиімді әдістерді таңдау үшін алдыңғы тәжірибені пайдалану және бұл шешімнің жылдамдығы мен шешімдерді оңтайландыру дәрежесіне кепілдік бере алмайды. Қазіргі уақытта эвристикалық Алгоритмдер негізінен табиғи денеге ұқсас Алгоритмдер болып табылады. Ұшқышсыз ұшу аппараттарының қалыптасу траекториясын жоспарлау үшін қолданылатын эвристикалық алгоритмдерге Имитациялық жасыту алгоритмі (ИСА),  $a^*$  алгоритмі, эволюциялық алгоритм (ЭА), бөлшектер тобын оңтайландыру (БТО), Көгершін шабыттандырылған оңтайландыру (ШО), жеміс шыбындарын оңтайландыру алгоритмі (FOA), жасанды аралар колониясы,  $\text{salp}$  үйірі Алгоритм (SSA), құмырсқалар колониясын оңтайландыру алгоритмі, сұр қасқырды оңтайландыру алгоритмі (GWO), үйлесімділікті іздеу алгоритмі (ҮЗА) және т. Б [38].

### **1.8.1 Эволюциялық алгоритм**

Эволюциялық алгоритм - табиғаттағы биологиялық эволюция негізінде жалпыланған стохастикалық оңтайландыруды іздеу алгоритмі. Ең көп қолданылатын алгоритм-генетикалық алгоритм (ГА). Оның негізгі идеясы-алдымен ұшу кеңістігін растрлеу, кедергілермен жабылған немесе кедергілерге қайшы келетін аумақты табу, содан кейін картада кездейсоқ бастапқы нүктелерді жасау. Мақсатты нүктеге соқтығысусыз траекторияны қамтамасыз ету үшін траекторияны жоспарлау процесінде бастапқы нүктеден соңғы нүктеге дейінгі соқтығысусыз әрбір траектория жеке болып көрінеді

және әрбір жеке адамның хромосомаcы болады, сондықтан соқтығысусыз әрбір траектория да хромосомаға айналуы мүмкін. Траекторияның әрбір сегменті ген түрінде ұсынылған. Барлық индивидтердің жиынтығы, яғни бастапқы нүктеден мақсатты нүктеге дейін соқтығыспайтын барлық траекториялар популяция деп аталады. Біз популяциядан дұрыс адамдарды алып тастау үшін тиісті фитнес функциясын жасаймыз. Жоғары фитнес даралары элиталық даралар болып табы.



1.9-сурет. Әр түрлі вариациялармен жұмыс схемасы және кеңесші траекториясының диаграммасы. (а) кросс-мутация операциясының схемасы; (б) эволюциялық алгоритм траекториясының диаграммасы (ТД) (қызыл шеңберлер, кедергілер, көк сызық, оңтайлы траектория).

Тянь және басқалар генетикалық алгоритмнің икемділігі мен МББ болжау қабілетін біріктіретін белгісіз аймақтарды бірлесіп іздеу үшін бірнеше ұшқышсыз ұшу аппараттары үшін модельдік болжамды басқаруға (МББ) және генетикалық алгоритмге (ГА) негізделген алгоритмді ұсынды. Бұл комбинация іздеу процесі жергілікті оңтайлылыққа ауысқан кезде проблеманы болдырмайды [39].

Шен және басқалар генетикалық алгоритмге (ГА) негізделген әдісті бірнеше ұшқышсыз ұшақтармен бірлескен барлау миссиясын жоспарлау мәселесін шешу үшін ұсынды, хромосомаларды тұтас жолдар ретінде ұсынуды енгізді және барлауға рұқсат беру талаптарын қанағаттандыру үшін жаңа тізбекті қиылысу алгоритмін әзірледі. Олар сондай-ақ популяцияның әртүрлілігін арттыру үшін мутация операторларын алға тартты, бұл ұшқышсыз ұшу аппараттарының құрылымдары барлау миссияларын орындаған кезде барлауды шешу және уақыт аралығы мәселелерін шешеді.

Николос және басқалар b-сплайн қисықтарын, потенциалды өрістерді және дифференциалды эволюцияны (ДЭ) біріктіріп, ұшқышсыз ұшу аппаратының қалыптасу траекториясының қисығын Тегістеу арқылы қоршаған ортаның кедергілеріне тап болмас үшін өзара әрекеттесетін ұшқышсыз ұшу аппараттарының тобына сәйкес келетін траекторияны



жоспарлаушыны ұсынды, бұл ұшқышсыз ұшу аппаратының қалыптасу траекториясын белгілі әдіспен жоспарлау мәселесін шешеді. немесе белгісіз статикалық орта [40].

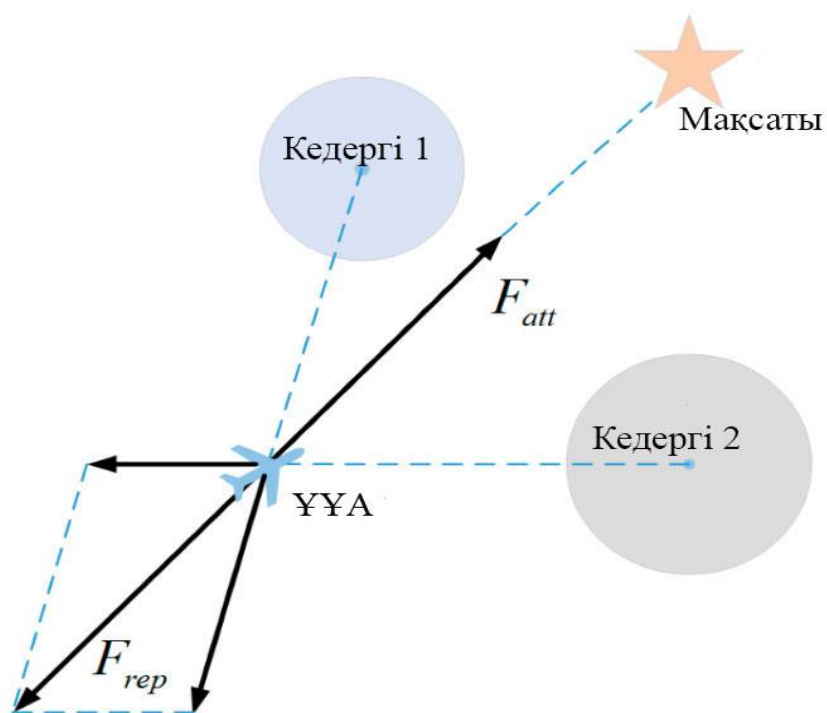
Ламонт және басқалар генетикалық векторлық маршрутизаторды (ГВМ) енгізетін траекторияны жоспарлау үшін көп мақсатты эволюциялық алгоритмді (МОЕА) ұсынды, бұл мүмкіндіктердің үйір сипаттамаларының әсеріне әсерін өлшеу үшін траекторияны бақылау мүмкіндіктерін үйірдің бар мінез-құлқымен біріктірді. Миссия талаптарына сәйкес келетін траекторияларды іздеу және құру кеңістігін ұлғайту үшін "иммигрант" тұрғындарының өкілдерін пайдалана отырып, олар үлкен аумақтардың рельефін зерттейтін және аймақтық траекторияларды жоспарлауға қауіп төндіретін ұшқышсыз ұшу аппараттарын құру мәселесін шешті [41].

### 1.8.2 Жергілікті траекторияны жоспарлау алгоритмі

Жергілікті траекторияны жоспарлау алгоритмі динамикалық бағдарламалау алгоритміне жатады. ҰҰА құрамасындағы ұшқышсыз авиациялық датчиктердің мәліметтері бойынша, бастапқы нүктеден мақсатты нүктеге дейінгі оңтайлы траекторияны динамикалық түрде жоспарлау үшін ағымдағы орналасу ақпараты және жергілікті кедергілер туралы ақпарат нақты уақыт режимінде жиналады. ҰҰА құрудың жергілікті траекториясын жоспарлау алгоритмдері әдетте жасанды әлеуетті өріс әдісін, динамикалық терезе әдісін, математикалық оңтайландыру алгоритмін және модельді болжауды басқаруды қамтиды.

### 1.9 Жасанды потенциал өрісі

Жасанды потенциалдық өріс әдісін алғаш рет Хатиб виртуалды күш әдісі ретінде ұсынған. Жасанды потенциалдық өріс әдісі әрбір ҰҰА жасанды потенциал өрісінде қозғалады деп болжайды. ҰҰА үшін мақсатты нүкте тартымды өрісті, ал кедергілер итеруші күш өрісін тудырады, гравитациялық өрістің және итеруші өрістің әсерінен ҰҰА потенциалдық өрістің бағыты бойынша мүмкін болатын траекторияны жасайды. Жалпы алғанда, есептеуді жеңілдету үшін гравитациялық потенциал функциясының теріс градиентін және итеруші потенциал функциясын есептей отырып, потенциалдық өрістегі ҰҰА-ға тартылатын және кері итеруші күштерді, содан кейін ҰАА-ға әсер етуші күшті алуға болады. Содан кейін, нәтиже күшіне сәйкес есептей отырып, әрбір ҰҰА кедергілерден аулақ болу және траекторияны жоспарлауды аяқтау үшін ұшқышсыз авиацияның құрамын бағыттау үшін қатынасты реттеу үшін қажетті бақылау мөлшерін жасайды. 1.9-сурет жасанды потенциалдық өріс күштерінің схемалық диаграммасы.



1.10-сурет – Жасанды потенциалдық өрістің схемалық диаграммасы

3D ортасында траекторияны жоспарлау әдісі жасанды әлеуетті далалық әдіске көп ұшқышсыз авиацияның үлестірмелі жұмысын және машина аралық байланысты қосады және апат аймақтарын барлау кезінде көп ұшқышсыз авиацияны үйлестіру және тапсырмаларды тағайындау мәселесін шешеді.

Жасанды потенциалдық өріс әдісімен Дубин қисығын біріктіретін траекторияны жоспарлау әдісі виртуалды көшбасшы ҰҰА құрамына енгізеді және оның траекториясын жоспарлау үшін Дубин қисығын пайдаланады. Содан кейін, ол қанаттың траекториясын жоспарлау үшін пайдаланады және виртуалды жетекшінің ұшу траекториясын шектеу арқылы ҰҰА құралымының траекториясын жоспарлауды аяқтайды. Ол жетекші ұшақтың басқарудан тыс ақауы болуы мүмкін және ҰҰА бұрылу радиусымен шектелген мәселені шешеді.

Оңтайландырылған жасанды потенциалдық өріс алгоритмін басқа ұшқышсыз ұшу аппараттарын динамикалық кедергілер ретінде имитациялайды және сонымен бірге бірнеше ұшқышсыз ұшу аппараттарының күрделі ғарыш жағдайларында дәстүрлі ҰА машина аралық соқтығыс және ұшу қадамының шамадан тыс ұзындығы мәселелерін шешетін ҰА-ға өрмелеу стратегиясы мен динамикалық қадамды реттеу әдісін сипаттайды.

Жақсартылған жасанды потенциал өрісі мен консенсус теориясына негізделген бірлескен қалыптастырудың бөлінген траекториясын жоспарлау әдісін ұсынды. Бұл әдіс ЖЖӨ-ға динамикалық модельді және байланыс желісінің топологиясын, координацияның күшею коэффициентін, итеру күшін және жоспарлау бұрышының әсер ету коэффициентін енгізеді. Содан кейін консенсус хаттамасындағы позиция мен жылдамдық айнымалылары 3D

кедергі ортасының траекториясын жоспарлауда ҰҰА қалыптастыру мәселесін және позиция-жылдамдық сәйкестігі мәселелерін шешу үшін жақсартылады.

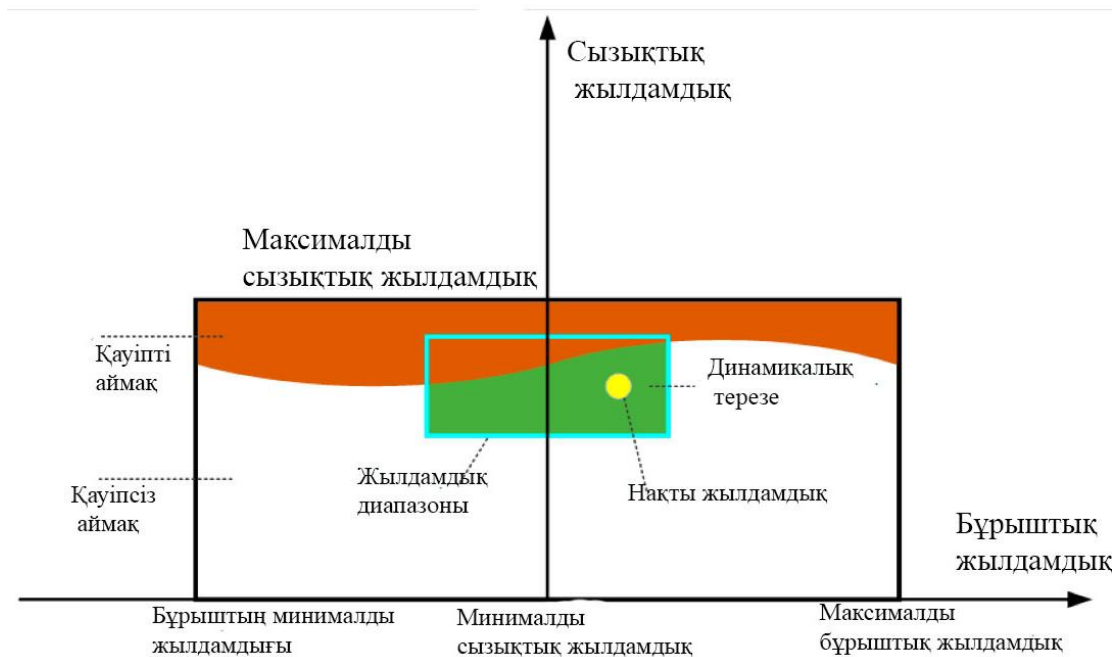
Көптеген ҰҰА жүйелері үшін жасанды потенциалдық функцияларға негізделген траекторияны жоспарлау әдісін ұсынды. Бұл әдіс айналмалы әлеуетті өрістің жетілдірілген жасанды потенциалдық функциясын енгізеді және сонымен бірге ұшқышсыз авиацияның қалыптасу траекториясын жоспарлау үшін көшбасшы. ҰҰА үлгісін қосады. Ол дәстүрлі ЖЗҚ жүйесіндегі нашар тұрақтылық, жергілікті минимум және тербеліс мәселелерін шешеді.

### **1.10 Динамикалық терезе тәсілі**

Динамикалық терезе әдісі ҰҰА жергілікті траекторияны жоспарлаудың классикалық алгоритмі болып табылады. Ол жылжымалы ұшқышсыз ұшу аппаратының ағымдағы жағдайы мен жылдамдық күйіне сәйкес жылдамдық кеңістігіндегі аппараттық шектеулерді қанағаттандыратын іріктеу жылдамдығы кеңістігін анықтайды және жергілікті траекторияны жоспарлау мәселесін кеңістіктегі қозғалысты шектеу мәселесіне айналдырады. Содан кейін ол осы жылдамдық жағдайында белгілі бір уақыт ішінде қозғалатын ұшқышсыз ұшақтың ҰҰА траекториясын есептейді және бағалау функциясы арқылы траекторияны бағалайды. Ол ең жақсы бағамен траекторияны және сәйкес жылдамдығын ҰҰА қозғалыс жылдамдығы ретінде таңдайды. Ақырында, қозғалыс шектеулері арқылы ол жергілікті оңтайлы траекторияны таңдайды және т.б. ҰҰА мақсатты нүктеге жеткенше. 10-сурет динамикалық терезе әдісі жылдамдығы векторлық кеңістігінің принципіалды диаграммасы.

Робототехниканың қозғалысын жоспарлауда динамикалық терезе тәсілі 1997 жылы Дитер Фокс , Вольфрам Бургард және Себастьян Трун әзірлеген мобильді роботтар үшін соқтығысуды болдырмаудың онлайн стратегиясы болып табылады. Басқа болдырмау әдістерінен айырмашылығы, динамикалық терезе тәсілі динамикадан тікелей алынған. роботтың шектелген жылдамдықтары мен үдеулерінен туындайтын шектеулерді шешу үшін арнайы әзірленген.

Ол екі негізгі компоненттен тұрады, біріншіден жарамды іздеу кеңістігін жасайды, екіншіден іздеу кеңістігінде оңтайлы шешімді таңдайды. Фокс және т.б. іздеу кеңістігі қысқа уақыт аралығында жетуге болатын және соқтығысусыз қауіпсіз айналмалы траекториялармен шектелген. Оңтайландыру мақсаты роботты кез келген кедергіден максималды тазарту арқылы мақсатқа жеткізетін бағыт пен жылдамдықты таңдау болып табылады.



1.11-сурет – Жақсартылған динамикалық терезе әдісіне жылдамдығының векторлық кеңістік диаграммасы.

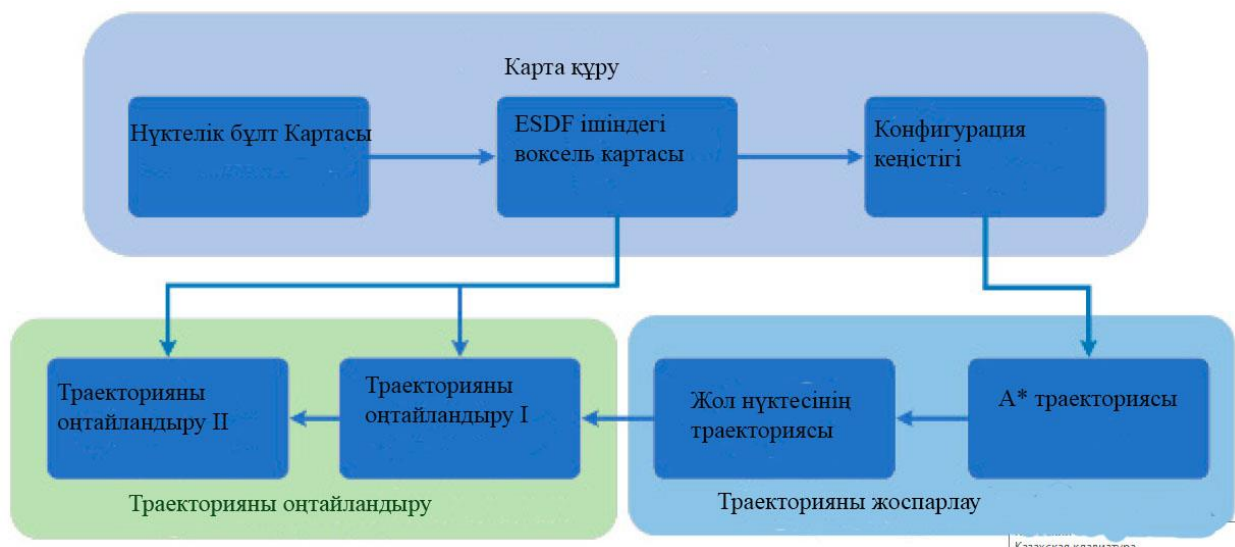
Жақсартылған динамикалық терезе әдісіне негізделген көп ҰҰА дәйекті қалыптасу траекториясын жоспарлау алгоритмі. Алгоритм ЖДА жақсарту үшін айналу құнын бағалаудың жаңа функциясын,  $A^*$  алгоритмін және азимутқа қатысты айнымалы салмақ факторларын енгізеді және соңында ҰҰА қалыптастыру траекториясын жоспарлау үшін көшбасшыға сәйкес келетін ҰҰА үлгісін қосады. Ол дәстүрлі ЖДА алгоритмінде жиі үлкен бұрышты айналдыру және төмен іздеу тиімділігі мәселелерін шешеді.

### 1.11 Математикалық оңтайландыру алгоритмі

Математикалық оңтайландыру алгоритмі оңтайлы басқару мәселесін шешу үшін сызықты емес оңтайландыруды, аралас бүтін сызықтық бағдарламалауды, аралас бүтін сызықтық емес бағдарламалауды және динамикалық бағдарламалауды пайдалана отырып, белгіленген ҰҰА траекториясын жоспарлау моделіне негізделген. ҰҰА қалыптастыру үшін мүмкін болатын траекторияларды жасау үшін оңай шешілетін модель. 11-суретте математикалық оңтайландыру алгоритмі үлгісі берілген.

ҰҰА қалыптастыру үшін бірлескен траекторияны жоспарлау әдісі болып табылатын CPLEX ұсынды. Бұл әдіс әрбір ұшқышсыз ұшу аппаратының істен шығу ықтималдығын таңдалған тапсырмамен біріктіреді және ұшқышсыз ұшу аппараттарының траекториясын жоспарлауда

жоғалтудан туындаған миссияның сәтсіздігі мәселесін шешу үшін жаңа формуланы ұсынады.



1.12-сурет – Математикалық оңтайландыру алгоритмінің моделі

Уақытша және кеңістіктік шектеулері бар 4D траекториясын жоспарлау әдісін ұсынды. Бұл әдіс келу уақытын күйге бейімделуге түрлендіреді және сонымен бірге бірлескен ену траекториясын жоспарлауды бір мақсатты оңтайландыру мәселесіне айналдырады. Содан кейін, ол мәселені шешу үшін көп жетекші іздеуді таратуды бағалау алгоритмін пайдаланады, ол ҰҰА кооперативтік енуінің траекториясын жоспарлау мәселесін шешеді.

Кедергілер ортасы үшін орталықтандырылмаған көп ҰҰБ траекториясын жоспарлау әдісін ұсынды. Бұл әдісте шектеулер жағдайында ҰҰБ кездесу траекториясын жоспарлау мәселесі дөңес емес оңтайлы басқару мәселесі ретінде модельденеді, содан кейін консенсус хаттамасы және дәйекті дөңес бағдарламалаудың екі қабатты бірлескен құрылымы ҰҰБ қалыптастыру траекториясын шешу үшін пайдаланылады. Ол есептеу тиімділігінің төмендігі және дәстүрлі ұшқышсыз ұшу аппаратының қалыптасу траекториясын жоспарлау әдісінің нашар бейімделу қабілеті мәселелерін шешеді.

Бірлескен оңтайландыру әдістерін, ажырату оңтайландыру әдістерін және ҰҰА түзілімдерін есептеу үшін гибриді әдістерді қолданатын гибриді жоспарлаушыны ұсынды. Олар уақыт шектеулері мен қосылымның екі түрлі талаптары бойынша мүмкін болатын траекторияларды құрды, бұл қосылым параметрлерін ауыстыру қиын және қалыптастыру тапсырмасында ресурстарды пайдалану деңгейі төмен болатын мәселені шешеді.

ҰАО құру траекториясын жоспарлау алгоритмінің мәселелері

Төмен әуе кеңістігіндегі реформаларды ілгерілетумен және жасанды интеллект пен ақпараттық технологиялардың инновациясымен [42], үйір интеллектіне қатысты жаңа теориялар мен жаңа жетістіктер пайда болуды

жалғастыруда және UAV қалыптастыру траекториясын жоспарлау алгоритмдерін жетілдіру көптеген қиындықтарға тап болады.

### **1.12 ҰҰА қалыптасуының физикалық шектеулері**

Траекторияны жоспарлау процесінде қабаттағы ҰҰА әдетте минималды бұрылу радиусы, айналу бұрышы және жүгіру күйіндегі басқа шектеулер сияқты өзіндік шектеулерді елемей, үш еркіндік дәрежесіне оңайлатылады. Нәтижесінде, ағымдағы траекторияны жоспарлау алгоритмі жоғары маневрлі ұшқышсыз ұшу аппаратына бейімделу қиынға соғады, нақты құрамдық ұшқышсыз ұшу аппараты тапсырманы орындаған кезде босату бағыты мен жоспарланған маршрут арасында қателер болады және орындау әсері де әсер етеді.

Ұшақсыз ұшу аппараттарын тасымалдаушы жабдықтың өнімділік мәселелері: ҰҰА қалыптасу траекториясын жоспарлау алгоритмінде ұшқышсыз ұшу аппаратының өзінің өнімділігі жеткіліксіз деп саналады. Тәжірибеде отын шығыны, жүктеме және борттық сенсор қателері сияқты мәселелерді жеткіліксіз қарастыру күрделі орталарды дәл анықтауды қиындатады және модельдеу арқылы қол жеткізуге болатын траекторияны жоспарлауды жүзеге асыру мүмкін емес немесе нақты ортада беріктігі нашар.

Күрделі ортаны модельдеу мәселесі: Ағымдағы қалыптасу траекториясын жоспарлау алгоритмдерінің көпшілігі гипотетикалық идеалды кедергілер болып табылады, бірақ ҰҰА-ның нақты жұмыс ортасы күрделі және әртүрлі, әсіресе күрделі ойыс кедергі орталары және тығыз динамикалық кедергілер сияқты көріністерді анықтау және сипаттау, олар әрі қарай зерттеуді қажет етеді.

Алгоритмнің нақты уақыттағы есептері: Шынайы қоршаған орта туралы ақпарат әдетте уақыт бойынша өзгереді. Белгісіз ортада ҰАО қалыптастыру траекториясын жоспарлауға қатысты, төтенше жағдайлар мен динамикалық орта жағдайында дәстүрлі алгоритмдер мен жергілікті траекторияны жоспарлау алгоритмдері қолданатын траекторияны жоспарлау стратегияларының сәттілігі төмен; сонымен қатар, есептеу көлемі үлкен, ал траектория оңтайлы емес. Дрондар үшін траекторияны нақты уақытта жаңартуды аяқтау қиын.

ҰҰА құру маршрутын жоспарлау алгоритмінің бейімділігі: Күрделі динамикалық ортада қалыптасу траекториясын жоспарлауды орындау кезінде ұшқышсыз ұшу аппараттары арасында көптеген ақпарат алмасу жүреді, бұл есептеулер көлемінің ұлғаюына әкеледі, ал интеллектуалды алгоритмдер өздерінде бар жергілікті оптимумдар сияқты мәселелерге бейім болады.

Ұшқышсыз авиацияның қалыптасуының байланыс мәселесі: Ғылым мен техниканың дамуымен болашақта дрондарды қолдану сценарийлері барған сайын күрделене түседі. Белгілі бір сценарийлерде байланыс кедергілері

проблемалары туындайды, бұл ҰҰА қалыпты жұмыс істемеуіне және тіпті қайтымсыз зақымға әкелуі мүмкін.

### **1.13 ҰҰА болашақ зерттеулердің бағыты мен бағыдары**

Нақты басқарудың беріктігін арттыру үшін модельдеуге алты еркіндік дәрежесі, ең аз бұрылу радиусы, айналдыру бұрышы және әрбір UAV борттық сенсор қатесі сияқты шектеулер қосылады. Күрделі ортаны модельдеу үшін күрделі ортадағы көптеген факторлардың траекторияны жоспарлау әсеріне әсерін ескеру қажет; сенімді және нақты деректер нақты өлшемдер немесе дәл 3D карталарын пайдалану арқылы алынуы керек және сонымен бірге модельдеу шындыққа жақындау үшін модельді тексеру үшін деректер пайдаланылуы керек. Оны болашақта нақты платформаға да жақсырақ қолдануға болады.

Нақты уақыттағы жоспарлау: Күрделі орталар мен тапсырмалар жағдайында жылдам оңтайлы шешім, есептеу күрделілігі, конвергенция жылдамдығы және ұтымдылық талаптарын қанағаттандыру үшін есептеу жады орынды бөлінеді. ұшқышсыз ұшу аппараттарының есептеу қуаты шектеулі болған жағдайда тиімді траекторияларды құру үшін траекторияны жоспарлау алгоритмдерін орындаудың күрделі ортадағы тапсырмаларды орындау үшін ұшқышсыз ұшу аппараттары үшін үлкен маңызы бар.

Fusion алгоритмі: Қолданыстағы жалғыз әдістердің ақаулары мен кемшіліктерін толтыру үшін траекторияны жоспарлау алгоритмдерінің әртүрлі түрлерін біріктіру маңызды қазіргі заманғы зерттеу үрдісі болып табылады.

Мысалы, жергілікті траекторияны жоспарлау әдісі бір-бірін толықтыру үшін машиналық оқыту арқылы ұсынылған жасанды интеллект технологиясымен біріктірілуі мүмкін. Бір жағынан, ол жергілікті траекторияны жоспарлау әдісінде жергілікті оптимумға оңай түсу мәселесін шеше алады, ал екінші жағынан, машиналық оқытуға негізделген жолды жоспарлау алгоритмінің нақты уақыттағы нашар өнімділігін өтей алады. белгілі бір дәрежеде. Сондай-ақ, алгоритмнің өнімділігін талдауға және алгоритмнің қолдану ауқымын кеңейтуге көмектесу үшін эвристикалық алгоритмдер мен машиналық оқыту алгоритмдерінің сипаттамаларын біріктіруге болады, олар бір-бірімен оңай біріктіріледі. Сонымен қатар, эксперименттер гибридті алгоритмнің бейімделгіштігі жақсы екенін көрсетеді.

Қазіргі уақытта қолданыстағы ҰҰА қалыптастыру траекториясын жоспарлау алгоритмдерінде азды-көпті ақаулар бар. Сондықтан есептеу талаптарын азайтатын, уақытты үнемдейтін, нақты уақытта жоспарлауға мүмкіндік беретін және энергия тұрғысынан тиімдірек алгоритмді әзірлеу де зерттеуге тұрарлық бағыт болып табылады.

Ақауларға төзімділік механизмі: Әрбір ұшқышсыз ұшу аппаратының маневр жасау аймағы өте аз болғандықтан, соқтығыс болғаннан кейін ол

көршілес ұшқышсыз ұшу аппараттарына әсер етеді және ұшқышсыз ұшу аппараттарының кластерлері арасында тізбекті әсер пайда болады, бұл миссияның сәтсіз аяқталуына әкеледі. Демек, ақауларға төзімді резервтеу механизмі ҰАО жүйесінің қауіпсіз жұмысын қамтамасыз ететін маңызды буын болып табылады. Қазіргі уақытта траекторияны жоспарлау алгоритмінің негізгі және әлсіз буындары үшін ақауларға төзімді механизмнің дизайны жоқ, осылайша ұшқышсыз құрамның ұшуының ақауларға төзімділік қабілетін жақсарту үшін. Болашақ зерттеулерде біз ұшқышсыз ұшу аппаратының қызметі бақыланбайтын оқиғалардан аулақ бола алмаған кезде ақауларға төзімді механизмді жобалауға назар аударуымыз керек.

Гибридті жақтау: Кең ауқымды ұшқышсыз ұшу аппараттарында миссияларды орындау процесінде мәселелерді шешу үшін орталықтандырылған негізді пайдалану шындыққа жанаспайды. Сондықтан гибридті құрылымды қабылдау керек; Қақтығыстарды шешудің сәйкес механизмін қалай құрастыру керек және мүмкін болатын ұшу траекторияларын құру үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарының қалыптасуының траекториясын жоспарлауды бірлескен бақылаумен қалай тиімді біріктіру керек - әрі қарай зерттеуге тұрарлық тақырыптар.

Жаһандық жоспарлаудың және жергілікті жоспарлаудың екі негізгі элементі тұрғысынан, бұл жұмыс ҰҰА қалыптастыру траекториясын жоспарлау алгоритмдерінің негізін ұсынады, алгоритмдердің әртүрлі түрлерін жан-жақты жіктейді және алгоритмдердің әртүрлі типтері мен олардың нұсқаларын біртұтас түрде сипаттайды. Содан кейін жіктеу негізінде шолу және статистикалық талдау жүргізілді. Біз ұшқышсыз ұшу аппараттарын құру траекториясын жоспарлау алгоритмі әдістерінің кемшіліктерін анықтап, алдағы зерттеулердің бағыты мен бағытын алға тарттық. Бұл зерттеушілер мен жұмысшылар үшін зерттеу жұмысының келесі қадамы үшін анықтамалық ақпарат береді. Біз әртүрлі теориялардың жаңашылдығымен және технологиялардың итеративті дамуымен ұшқышсыз ұшу аппараттарының қалыптасу траекториясын жоспарлау алгоритмі жаңа дәуірге енеді деп сенеміз.



## 2 ҰҰА басқару траекториясы мен қозғалыс параметрлеріне талдау жасау

### 2.1 Қауіпсіздік проблемалары мен шешімдері

Қауіпсіздік пен жеке өмірге қатысты мәселелер шағын ұшқышсыз ұшақтардың дизайнын қарастыруда сирек қарастырылады. ҰҰА жиі ашық, шифрланбаған және аутентификацияланбаған арналарды қолданатын борттық сымсыз байланыс модульдерін қамтиды, бұл оларды әртүрлі кибершабуылдарға ұшыратады. ҰҰА байланысын бұзғысы келетін зиянкестің зиянды мақсатын жүзеге асырудың бірнеше мүмкіндігі бар. Мысалы, шабуылдаушы көптеген брондау сұрауларын жіберуі, бақылау байланыстарын тыңдауы және/немесе деректерді бұрмалауы мүмкін. Дрондарды бұзу - деректерді жинау және сымсыз жеткізу үшін ҰҰА пайдаланудың тағы бір маңызды мәселелері. Әскери операцияларда ұшқышсыз ұшу аппараттары құпия ақпаратты қамтиды және зиянды шабуылдар мен деректерді ұрлаудың құрбаны болуы мүмкін. Хакерлер заңсыз әрекеттер, соның ішінде контрабанда, жеке өмірге қол сұғу және сақталған ақпаратты ұрлау үшін ҰҰА бақылауын тартып ала алады. ҰҰА жауапкершілігі жеке өмірге үлкен қауіп төндіреді. ҰҰА камералармен немесе суреттер мен бейнелерді түсіре алатын кез келген құрылғымен орнатылады; ол қауымдастықтардың немесе адамдардың жеке өмірін бұзуы мүмкін. АҚШ-тағы бұл мәселені шешу үшін Демократия және технологиялар орталығы (CDT) Федералдық авиация әкімшілігіне құпиялылықты қамтамасыз ету үшін белгілі бір ережелерді енгізу туралы хабарлады. Осыған байланысты, дизайн бойынша құпиялылық ұсынылды, ол қауіпсіздік пен құпиялылықты бұзуға қарсы шараларды ұсынады. PbD ережелері құпиялылыққа кіруді айтарлықтай шектейді. Сонымен қатар, үздіксіз ұшу ұшақтары мүдделі компаниялардың коммерциялық құпияларын ашуы мүмкін және олардың бизнесіне қатты әсер етуі мүмкін.

Қызмет көрсетуден бас тарту және таратылған DoS - бұл DoS/DDoS-қа төзімді механизмдердің болмауына байланысты туындайтын ұшқышсыз ұшу аппараттарына ең көп таралған шабуылдар. DoS шабуылдары қол жетімділікте күрделі қиындықтар туғызады, себебі шабуылдаушы ҰҰА желісінің кептелуін тудыратын бірнеше сұраулар жібереді. DoS шабуылдары үлкен үзілістерді тудыратын батареяларды тауыстырып, өңдеу блоктарын шамадан тыс жүктеу және байланыс сілтемелерін толтыру арқылы жүзеге асырылады. DDoS жүйесінде ҰҰА жүйелері қол жетімсіздік мәселелеріне тап болады, себебі шабуылдаушы оны бірнеше көздерден келетін трафик арқылы басып кетуі мүмкін. Сонымен қатар, ұрлау арқылы сигналды бұрмалау белгілі бір ұшқышсыз ұшу аппараттарының табиғатын бұзуы мүмкін. GPS сигналының жалғандық шабуылы 2.1- суретте көрсетілгендей қате жасаушының GPS арналары арқылы жалған деректерді енгізу немесе беру арқылы орындалуы мүмкін. Ұрлау кезінде шабуылдаушы қосымша пәрмендерді енгізу арқылы

ҰҰА-ны толық бақылауға алады. Сондай-ақ ұшқышсыз ұшу аппараттарының байланыс байланыстары сеанстарды ұрлаудан зардап шегеді. Бұл шабуылдарды келу бағытын анықтау, сигналдың бұрмалануын анықтау және күшті аутентификация арқылы азайтуға болады.

Ұшқышсыз ұшу аппараттары күрделі операцияларды орындайтын нақты ұшу жағдайындағы кедергілер мен қауіптердің көптеген түрлері, соның ішінде жергілікті жердегі қауіптер, радиолокациялық қауіптер, атқыш зеңбірек қауіптері және ұшуға болмайтын аймақ қауіптері жиі кездеседі. Қауіптердің әртүрлі түрлері әртүрлі тәсілдермен өңделеді. Сондықтан, ұшқышсыз ұшу жағдайларын шынымен қалпына келтіру үшін осы мақалада қауіптерді қамтитын күрделі орта модельденеді және осы ортада ұшқышсыз ұшу траекториясы жоспарланады.

Бұл күрделі экологиялық жағдайлар мен ұшқышсыз ұшу аппараттарының сипаттамалары ұшу жолын жоспарлауға көптеген шектеулер қояды. Ұшқышсыз ұшу траекториясын жоспарлау тапсырмаларының шектеулерін мұқият талдау олардың көпшілігі бөлінген маршрут нүктелерін пайдалану үшін геометриялық деңгейде шектелгенін көрсетеді (траекторияны жоспарлау әдетте динамикалық шектеулерді ескермейді). Бұл мақалада ұшудың Жаңа шектеулерін құрудан гөрі ұшқышсыз ұшу траекториясын жоспарлау мәселесіне назар аударылғандықтан, біз ұшқышсыз ұшу траекториясын жоспарлау кезінде өнімділіктің негізгі шектеулері мен күрделі экологиялық талаптарды ескеру үшін [43] қолданыстағы өкілдік шектеулерге негізделген осы мақалаға сәйкес келетін ұшу шектеулерінің жиынтығын тікелей таңдаймыз және шығарамыз.

Әртүрлі қауіпсіздік мәселелерінің арасында Ground Control System (GCS) шабуылдары өте қауіпті, өйткені шабуылдаушы арнайы бағдарламалық құралды пайдаланып компьютерді пайдалану арқылы ҰҰА-дан барлық деректерді ұрлай алады. Бұзылған GCS қарсыласқа зиянды және қате командаларды жіберуге мүмкіндік береді. Бұл шабуылдар әдетте негізгі тіркеушілер, вирустар және зиянды бағдарламалар арқылы жүзеге асырылады. Зиянды операциялық командалар кез келген жәбірленуші ұшқышсыз ұшу аппаратын бақылауға алу үшін орындалуы мүмкін. Бұл шабуылдар әлеуметтік, инженерлік және зиянды бағдарламалар, т.б. сияқты әртүрлі әдістер арқылы ұшқышсыз ұшу аппараттарының құпиялылығын бұзады. ҰҰА деректерінің рұқсат етілмеген процестерге, нысандарға және пайдаланушыларға ағып кетуіне жол бермеу үшін қажетті қарсы шаралар қажет. Оны бірнеше GCS аутентификациясын қолдану арқылы азайтуға болады.

Кейбір жағдайларда шабуылдаушылар ұшқышсыз ұшу аппараттарын адастыру үшін қате ескерту хабарламаларын жібереді. Ол ҰҰА үшін иллюзия жасайды және деректер кептелісін тудырып, ҰҰА желісінің өнімділігін төмендетуі мүмкін. Бұл шабуылдар жерүсті басқару станцияларын адастыратындықтан, бөлінген деректерді ұшқышсыз ұшу аппараттарына жіберуі мүмкін. Сонымен қатар, шабуылдаушы ұшқышсыз ұшу аппараттарының жұмысына әсер етуі мүмкін жалған ақпаратты жібере алады.

Бұл дұрыс аутентификация механизмдерінің болмауына байланысты орын алады. Мұндай шабуылдарда қарсыластар қате нұсқауларды немесе пәрмендерді жіберу үшін заңды пайдаланушы ретінде маскарад жасай алады. Аутентификация механизмдері болмаған жағдайда кез келген қарсылас ақпаратты ұрлау және заңды пайдаланушылардың байланыс байланысына кедергі келтіру үшін заңды пайдаланушы ретінде әрекет ете алады.



2.1-сурет – GPS спуфинг шабуылы

Кейбір шабуылдарда шабуылдаушы ҰҰА траекториясын бақылай алады және бұл орын туралы ақпаратты кез келген зиянды немесе заңсыз әрекет үшін пайдалана алады. Мұндай шабуылдар зардап шеккен ұшқышсыз ұшу аппараттарының айналасындағы ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолдана алады. Тағы бір маңызды мәселе - шифрлау сияқты қорғаныс механизмінің жоқтығынан пайда болатын тыңдау. Мұндай шабуылдарда ұшқышсыз авиацияның деректеріне қарсылас қол жеткізе алады. Бас тартуды түйінде нақты ақпарат шығаратынын растау үшін пайдалануға болады. Бұл механизм мінез-құлықтан бас тартуға жол бермейді және әртүрлі тапсырмаларды күшейтеді. Бұл механизмнің негізгі мақсаты – кез келген қауіпсіздік тәуекелінің пайда болуы туралы нақты ақпаратты сұрау. Деректердің үзіліссіз берілуін және алынған деректердің дәлдігін қамтамасыз ететін ұшқышсыз ұшу

аппаратының миссиясының тұтастығы өте маңызды. Тұтастықты қорғау механизмі болмаған жағдайда, зиянды шабуылдар бастапқы деректерді зақымдауы мүмкін және осылайша ол жарамсыз болады.

Маңызды мәселелердің бірі - оның мақсатты әрекетін өзгерту үшін ҰҰА аппараттық құралдарын бұзуы мүмкін зиянды аппараттық шабуыл [44]. Бұл шабуыл құпия деректерді ұрлау немесе ұшқышсыз ұшу аппаратының миссиясының сәтсіздігін тудыру мақсатында жасалады. Миссия параметрлерін өзгерту үшін ұшқышсыз авиацияның ұшуды басқару және байланыс байланыстарын үзу үшін кез келген шабуыл ұшуды басқару компьютерлік шабуылы ретінде белгілі. Бұл шабуылды борттық бағдарламалық және аппараттық механизмдер арқылы азайтуға болады. Ол нақты уақыттағы бақылауды, контроллерді лезде бағалауды, ескерту ескертуін және жоспарланған контроллер үлгісіндегі кез келген өзгерістерге шұғыл әрекетті қамтуы мүмкін. Кейбір шабуылдар борттағы навигациялық сенсорларды әдейі бұрмалаудан кейін UAV траекториясын бұрмалауы мүмкін. Бұл шабуылдар басқару жүйесіне ұшқышсыз ұшақтардың дәл орналасқан жері мен орнын жіберуде қателік тудыруы мүмкін.

## 2.2 Жол ұзындығын шектеуін анықтау

Траектория ұзындығы ұшқышсыз ұшу аппаратының ұшу қашықтығын көрсету үшін қолданылады.  $L_{\max}$  ұшқышсыз ұшу аппаратының максималды диапазоны болсын. Содан кейін жол ұзындығының шегі келесідей есептеледі

$$f_L = \sum_{t=0}^N \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2} \leq L_{\max} \quad (2.1)$$

мұндағы  $(x_i, y_i, z_i), i = 1, 2, \dots, N$  3D жоспарлау ортасындағы жолдың  $i$ -ші нүктесінің координатасын, ал  $N$  жол нүктелерінің жалпы санын білдіреді.

Айналу бұрышын және көтеріліп/түсу бұрышын шектеулері, айналу бұрышын шектеу үшін  $\phi_{\max}$  максималды айналу бұрышы енгізілетін траекторияның тегістігін ескереді.  $a_i$  векторы  $[(x_i - x_{i-1}, y_i - y_{i-1})]^T$  деп есептейік,  $a_i$  векторының нормасы  $\|a_i\|$ , Ұшқышсыз ұшу аппаратының айналу бұрышының шектелуі

$$\phi_i = \arccos \left( \frac{a_i^T a_{i+1}}{\|a_i\| \|a_{i+1}\|} \right) \leq \phi_{\max} \quad (2.2)$$

Көтерілу және түсу бұрышын шектеу. Бұрылу бұрышына ұқсас, көтерілу және түсу бұрышы келесідей есептелуі мүмкін

$$-\gamma_{\max} \leq \gamma_i = \arctan\left(\frac{z_i + z_{i-1}}{\|a_i\|}\right) \leq \gamma_{\max} \quad (2.3)$$

мұндағы  $\gamma_{\max}$ -максималды көтеру бұрышы,  $-\gamma_{\max}$  бұл ең аз түсу бұрышы.

### 2.3 Жол сегментін және жер бедері шектеулері

Ұшқышсыз ұшу аппараты ұшу бағытын өзгертпес бұрын немесе бұрылғаннан кейін тікелей қашықтықты сақтауы тиіс. Сонымен қатар, ұшқышсыз ұшу аппараттары навигациялық қателерді азайту үшін жиі бұрылыстар жасамауы керек. Сондықтан  $l_{\min}$  жолының ең қысқа бөлігінің ұзындығынан үлкен болу үшін көршілес жол нүктелері арасындағы жол сегменттерін шектеу керек. Жол сегментінің шегі келесідей көрсетілуі мүмкін

$$l_{\min} - \|p_{i+1} - p_i\| \leq 0 \quad (2.4)$$

мұндағы  $P_{i+1}$  дегеніміз  $(x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$  және  $P_i$  дегеніміз  $(x_i, y_i, z_i)$ ,  $P_{i+1}$  мен  $P_i$  бұл жолдың екі іргелес нүктесі.

Жер бедері шектері есептеу үшін тек жол нүктелерін пайдалану тиісті жол сегменттерінің жер бедерімен соқтығысуына әкелуі мүмкін нүктелер анықталып, жол сегменттерінің шектеулерін ескеру қажет. Сонымен,  $p_{i,j}$  траектория сегментіндегі кез-келген траектория нүктесі болсын  $(p_i, p_{i+1}; h_h; \text{ұшқышсыз ұшудың минималды қауіпсіз биіктігі, ал } z_{i,j}^{\text{map}} - p_{i,j} \text{ траекториясының нүктесіндегі жер бедерінің биіктігі. Жол нүктесінде [47])$

$$g_{i,j} = \begin{cases} 0 & p_{i,j} \geq H_{\text{safe}} + z_{i,j}^{\text{map}} \\ 1 & \text{басқа жағдайлар} \end{cases} \quad (2.5)$$

Біз әдетте жоспарланған жолдарды бағалау үшін жол ұзындығын шығындар функциясы ретінде қолданамыз. Дегенмен, ұшқышсыз ұшу аппаратының траекториясының қауіпсіздігіне күрделі экологиялық факторлардың әсерін қарастыратын бұл мақалада қауіпке тым жақын траекторияны жоспарлауды болдырмау үшін траектория мен қауіп аймағы арасындағы қашықтық қарастырылады, бұл траекторияның қауіп күші құнының функциясы арқылы көрсетіледі.

Бұл сегменттер жол желісі арқылы көлік қозғалысын басқару және жоспарлау үшін пайдаланылады. Әрбір жол сегменті жолдың ұзындығы, ені, жүретін жолақтар саны, қозғалыс бағыты және басқа да маңызды параметрлерімен анықталады.

Жер бедері шектеулері: Бұл жол жүйесін жоспарлауда және құрылысында маңызды рөл атқарады. Жер бедері шектеулері жергілікті рельефтің ерекшеліктеріне (таулы аймақтар, өзен аңғарлары, суайрықтар) байланысты болуы мүмкін, сонымен қатар топырақтың құрылымы, жер асты суларының деңгейі сияқты геотехникалық параметрлерді қамтиды.

## 2.4 Негізгі объектіні іздеу

Суретте көрсетілген ұшқышсыз ұшу аппараты қадағалау шеңберіндегі объектіні іздеу. Байланыс арнасының сапасын бақылай отырып ҰҰА арасындағы қашықтықты сақтай отырып объектке жақындайды алады. Сондықтан үйінді басқару функциясының кіріс деректерінің бірі ретінде орталығы мен объект нүктенің орны арасындағы айырмашылықты есептеу қажет.

$$C_t = \{x_t, y_t, z_t\} \quad (2.6)$$

$$x_t = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, y_t = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, z_t = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n}, \quad (2.7)$$

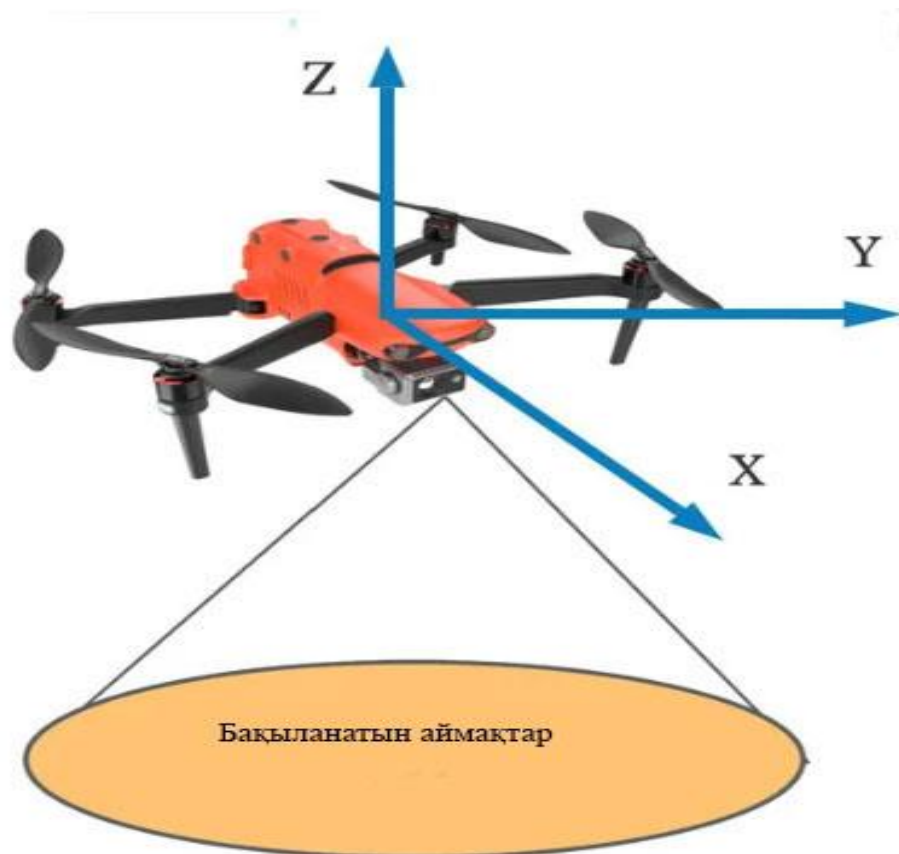
мұндағы  $n$ -үйір сандары,  $x_i$ - $x$  осі бойынша төмен биіктіктегі  $i$ -ші ұшқышсыз ұшу аппараттарының жағдайы,  $y_i$  - $y$  осі бойынша төмен биіктіктегі  $i$ -ші ұшқышсыз ұшу аппараттарының жағдайы,  $z_i$  бұл  $z$  осіндегі  $i$ -ші төмен биіктіктегі ұшқышсыз ұшу аппаратының орны. Негізгі объектіні келесідей болады.

Ауданды бағалау: іздеу жүргізілетін аумақтың көлемін, географиясын және ықтимал қиындықтарын түсіну. Бұған ауа-райы жағдайлары, заңды шектеулер және дрондардың ұшуына ықтимал кедергілер кіреді.

Тиісті дрондарды таңдау: қоршаған ортаға және тапсырмаға сәйкес келетін дрондарды таңдау. Үлкен ашық жерлерде бекітілген қанатты дрондар жерді тезірек жабады. Күрделі немесе кедергі келтіретін орталар үшін көп роторлы дрондар жақсырақ маневрлік және тұрақты қалықтау мүмкіндіктерін қамтамасыз етеді.

Қажетті технологиямен жабдықтаңыз. Камералар мен сенсорлар: көрнекі іздеу үшін дрондарды жоғары ажыратымдылықтағы камералармен жабдықтаңыз. Инфрақызыл немесе термиялық бейнелеу түнгі іздеулер үшін немесе тығыз жапырақтары бар жерлерде пайдалы.

GPS және навигациялық жүйелер: дрондарда дәл навигация мен бақылау үшін сенімді GPS жүйелерінің болуын қамтамасыз етіңіз. Автономды ұшу мүмкіндіктері: алдын ала белгіленген ұшу жолдарымен жүре алатын ұшқышсыз ұшу аппараттарын Пайдаланыңыз немесе іздеу үлгілерін жылдам бейімдеу үшін автономды шешім қабылдауды пайдаланыңыз.



2.2-сурет. ҰҰА қадағалау шеңберіндегі объектіні іздеу аймақтары

T уақыт нүктесіндегі үйінді центрі мен іздеу объекті арасындағы қашықтықты келесідей белгілеуге болады:

$$T = \{x_t, y_t, z_t\} \quad T = \|C_t - T\|_2 \quad (2.8)$$

Іздеу тиімділігін оңтайландыру үшін мақсатты нүкте мен үйір центрі арасындағы қашықтықты бағалау үшін жасанды потенциал функциясы жасалды.

$$\eta(r_{ct}) = -\delta(r_{ct}), \forall (i, j) \in n \quad (2.9)$$

Мақсатты нүктені іздеу контроллері объектіні іздеу шеңберіндегі аймақтан нақты мақсатты нүктені табуды мақсат етеді.

$$\arg \min x(r_{ct}) = \{r_{ct} | x(r_{ct}) = \min (r_{ct}^l)\} \quad (2.10)$$

Түйіндерді іздеу кеңістігінің өлшемдерінің ұлғаюынан туындаған есептеу күрделілігінің күрт өсуін болдырмай, іздеу кеңістігін іріктеу арқылы жуықтайды [25] стандартты траекторияны жоспарлау кезінде ұшқышсыз ұшу аппараттарының траекториясының қауіпсіздігіне кепілдік бере алмайтынын дәлелдеді. Сондықтан, күрделі жағдайларда ұшқышсыз ұшу аппараттарының

траекториясы мен ұшу шектеулерінің қауіпсіздігін ескере отырып, бұл мақалада ұшқышсыз ұшудың оңтайлы траекториясын табу үшін жаңа алгоритм ұсынылады. Біріншіден, ұшудың функциясы ҰҰА-на төнетін қауіп пен жол ұзындығын қолдана отырып жасалады; екіншіден, жаңа түйіндердің кеңеюін тікелей басқару үшін ұшуды шектеу функциясы қолданылады.

Ұшудың негізгі функциясы мен ұшуды шектеу функциясы көршілес аймақтардағы негізгі түйіндерді жаңартуды басқару үшін қолданылады. Бұл алгоритім бір уақытта қауіптің күші мен жолдың ұзындығын ескере отырып оңтайлы траекторияны жоспарлайды. Ол мүмкіндігінше қысқа, сонымен бірге күрделі жағдайларда әскери операцияларға арналған ұшқышсыз ұшу траекториясын жоспарлау талаптарын қанағаттандыру үшін қауіптен тиімді түрде аулақ болады.

## 2.5 Радарлық қауіп үлгісі

ҰҰА жолын жоспарлау ұрыс даласындағы қауіпті нүктені қарастырудан, радар мен зымырандардың таралуына сәйкес Вороной диаграммасын сипаттаудан, содан кейін ҰҰА ықтимал жолдарын анықтаудан басталады. Барлық қауіп нүктелерін радармен ауыстырады және радар теңдеуін пайдаланады. Зерттеу аймағындағы радар саны делік  $N$  және ҰҰА тұрақты ұшу биіктігіне ие, осылайша күрделі үш өлшемді кеңістік мәселесі екі өлшемді жазықтық мәселесіне жеңілдетілген [45].

$$J_{\text{Қауіп},i} = \frac{1}{3} L_i \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{d_{1/6,i,j}^4} + \frac{1}{d_{1/2,i,j}^4} + \frac{1}{d_{5/6,i,j}^4} \right) \quad (2.11)$$

мұндағы  $J_{\text{Қауіп},i}$  –  $i$ -нші  $L_i$  шетінің радар қауіпінің құны  $i$  жиегінің ұзындығы және  $d_i$  шетінен  $j$  радарына дейінгі қашықтық. Көріп отырғанымыздай.

Деректерді жинау: кедергілер, ұшуға тыйым салынған аймақтар және ықтимал қауіпті орындарды қоса, ұрыс алаңы туралы деректерді жинаймыз.

Вороной диаграммасының құрылысы: осы деректерден жазық Вороной диаграммасын жасаймыз. Диаграммадағы әрбір ұяшық ұрыс алаңын бірнеше сегменттерге тиімді түрде бөлетін ең жақын қауіп нүктесі басым аймақты білдіреді.

### 2.5.1 Қауіпті шабуылды анықтау

Қауіпті нүктелер: Вороной полигондарының ішкі нүктелері ретінде қызмет ететін қоршаған ортадағы негізгі қауіп орындарын анықтаңыз.

Қауіпсіздік шекаралары: ықтимал қауіптерге ҰҰА әсерін болдырмау үшін қауіп нүктелерінің айналасында қауіпсіздік буферлерін орнатамыз.



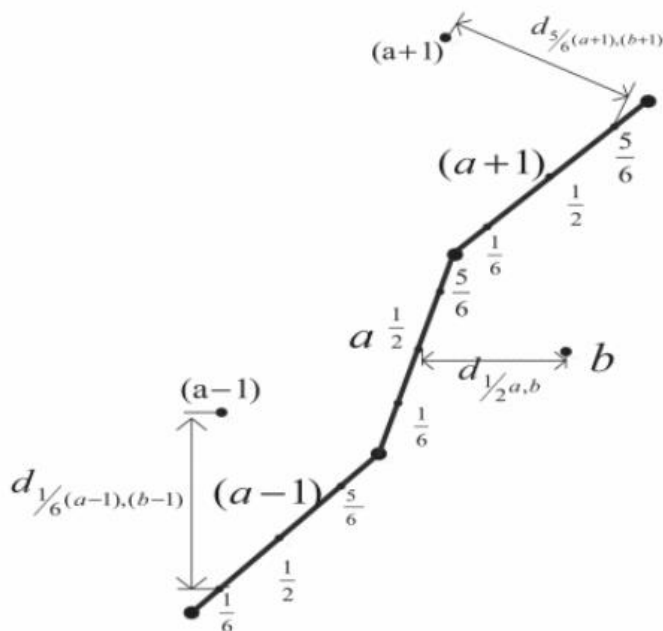
Жолды таңдау: Көпбұрыштың жиектері жолдар ретінде: Вороной көпбұрыштарының шеттерін ықтимал ұшу жолдары ретінде пайдаланыңыз. Бұл жиектер әртүрлі қауіп аймақтары арасындағы шекараларды білдіреді, көбінесе ең қауіпсіз бағыттарды қамтамасыз етеді, өйткені олар қауіптерден қашықтықты барынша арттырады.

Жолды оңтайландыру: отын тиімділігі, ұшу уақыты және тәуекелге ұшырау сияқты факторларды ескере отырып, әрбір UAV үшін ықтимал жолдарды есептеңіз.

Жолды оңтайландыру: Ең қысқа жолды есептеу: Вороной диаграммасының шектеулерінде әрбір ҰҰА үшін ең қысқа өміршең жолды анықтау үшін Dijkstra немесе A\* сияқты алгоритмдерді пайдаланыңыз.

Бірлескен жоспарлау: Ұшу кезінде соқтығысудың алдын алу және ұжымдық миссия мақсаттарының тиімді орындалуын қамтамасыз ету үшін ұшқышсыз ұшу аппараттары арасындағы жолдарды үйлестіру [46].

Модельдеу және түзетулер келесі бөлімде қарастырылады.



2.3-сурет – ҰҰА на радиолокациялық қауіп-қатердің есептеу кестесі

Ұшқышсыз ұшу аппараттарына қауіп төндіретін радиолокациялық жүйелердің негізгі параметрлерін талдау және анықтау. Оларға әдетте мыналар жатады:

Радар диапазоны: радар нысаналарды анықтай алатын максималды қашықтық.

Радар көлденең қимасы: Бұл ҰҰА өлшемі мен пішініне байланысты; бұл радар арқылы ұшқышсыз ұшақтың қаншалықты анықталатынына әсер етеді.

Жиілік: әртүрлі нысаналарды анықтау қабілетіне әсер ететін радардың жұмыс жиілігі.

Биіктік және азимут бұрыштары: оның қамту аймағын анықтайтын радар жұмыс істей алатын бұрыштар. Одан кейін ұшқышсыз ұшу аппаратының оның анықталуына және радарға осалдығына әсер ететін құжат сипаттамалары:

Өлшемі мен пішіні: Жасырын конструкциялары бар кішігірім ҰҰА-да төмен RF сигналдар. Радар толқындарын жұтатын немесе тарататын материалдар анықтау мүмкіндігін азайтады.

Биіктік пен жылдамдық: бұл радардың анықтау мүмкіндігіне әсер етеді, өйткені кейбір радарлар белгілі бір биіктіктегі немесе жылдамдықтағы нысандар үшін оңтайландырылған. Экологиялық факторлар: Радар жұмысына әсер ететін қоршаған орта факторларын қарастырыңыз, ауа райы жағдайлары: жаңбыр, тұман және басқа метеорологиялық жағдайлар радар тиімділігін төмендетуі мүмкін.

Жер бедері: таулар, ғимараттар және басқа да жер бедерінің ерекшеліктері радар сигналдарын жабуды қамтамасыз етуі немесе кедергі келтіруі мүмкін.

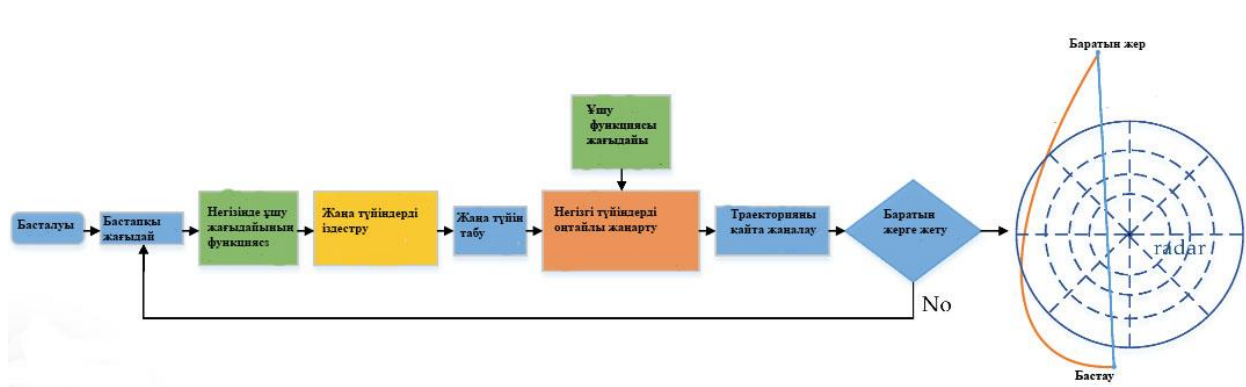
Жоғардағы сипатталған негізгі әсерлерге сүйене отырып есептік диаграмманы құрастырылады.

Операциялық жоспарлау кезінде оның дәлдігі мен пайдалылығын тексеру үшін әзірленген диаграмманы пайдаланып әртүрлі сценарийлерді имитациялаңыз. Модельді нақты деректер мен модельдеуден алынған кері байланыс негізінде реттеңіз.

Бұл кешенді тәсіл біздің ұшқышсыз ұшу аппараттарына радиолокациялық қауіпті тиімді бағалауға мүмкіндік береді және ықтимал радарларды анықтау мен келіссөздер туралы хабардар болуымен миссияларды жоспарлауға көмектеседі.

### 3 Күрделі кеңестіктегі ұшқышсыз ұшу аппараты үшін жақсартылған траекторияны жоспарлау алгоритмін құру

Осылайша, күрделі әскери операциялық жағдайларда ұшқышсыз ұшу траекториясын жоспарлау мәселелерін шешу үшін бұл мақалада сирек кездесетін және жақсартылған эволюциялық алгоритмдерге жаңа алгоритм ұсынамыз. Қашықтық шамасы мен қауіп құнын пайдаланатын ұшу құны мүмкіндігін әзірледік. Ағаш түйіндерін кеңейту кезінде біз ұшу құны мен ұшу шектеулерінің функциясын жан-жақты қарастырамыз және оларды ағаш түйіндерінің кеңеюіне басшылық ету үшін эвристикалық ақпарат ретінде пайдаланамыз. Осыдан кейін ата-аналық түйіндерді жаңартуды басқару үшін ұшу құны мен рейсті шектеу мүмкіндігі де қолданылады. Ұшу құнының функциясы мен ұшуды шектеуді екі рет салыстыра отырып, ұшу қауіпсіздігі талаптарын қанағаттандыратын ең қысқа ұзындығы бар оңтайлы маршрутты табу үшін алгоритм құрылады. Траектория әскери операцияларды жоспарлау талаптарын қанағаттандырады, мысалы, бақылау және болжау, жаудың атысын басу мүмкіндігі, поля даласынан тез кету мүмкіндігі және қауіп пен нысанадан кенеттен қорғану мүмкіндігі. Депозиттерді 1-суретте келесідей қорытындылауға болады:



3.1-сурет. Алгоритмінің блок-схемасы және нәтижелер диаграммасы.

Суретте жасыл жақтау 1 үлесті, сары жақтау 2 үлесті, ал қызғылт сары жақтау 3 үлесті білдіреді. Радиолокация басқа қауіпті аймақтар үшін жоғары қауіпсіздік траекториясын ала алатынын көрсетеді [47].

Күрделі жағдайларда ұшқышсыз ұшу қауіпсіздігін арттыру үшін қауіп күші мен траектория ұзындығын қамтитын ұшу құны функциясы орнатылды. Траектория қауіпсіздігі ұшқышсыз ұшу траекториясын жоспарлаудағы ең маңызды талаптардың бірі болып табылады. Демек, ол тек евклидтік қашықтықты қолдана отырып, жолды анықтауға бейімделмеген. Осы мәселені ескере отырып, ұшқышсыз ұшу аппаратының траекториясын жоспарлауды басқару үшін траектория ұзындығы мен қауіп күшін қамтитын ұшу құны функциясы ұсынылады. Бұл ұшқышсыз ұшқышқа қауіптерден тиімді түрде

аулақ болуға және қысқа жолды таңдау арқылы ұшу қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік береді.

Бұл дисертациялық жұмыста эвристикалық ақпаратты қолдана отырып, жаңа түйіндердің кеңеюін басқару тәсілі ұсынылады. ҰҰА траекториясын алдыңғы жағынан жоспарлау кезінде қауіп күші мәселесін шешу үшін жаңа түйінін кеңейту кезінде траекторияның ұзындығын да, қауіп күшінің құнын да, ұшу шектеулерін де ескеру қажет. Сондықтан біз ұшуға шектеулер енгізе отырып, түйіннің кеңеюін тікелей басқару үшін эвристикалық ақпарат ретінде ұшу құны функциясын қолданатын тәсілді ұсынамыз. Сонымен қатар, алгоритм құрылымы тиімділігін арттыру үшін оңтайландырылған. Осы тәсілді қолдана отырып, ұшқышсыз ұшу аппаратының траекториясының қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін жаңа түйіннің бастапқы кеңеюімен салыстырғанда траекторияға қауіп деңгейі төмендейді. Сонымен қатар жолды жоспарлау кеңістігінде үлгілердің аз таралуына әкеледі [47].

Бұл мақалада көршілес аймақтағы оңтайлы негізгі түйінін жаңартудың жаңа тәсілі ұсынылады. Жаңа түйін ұшу құны функциясын және ұшу шектеулерін басшылыққа алғаннан кейін, оңтайлы жолды іздеуді бағыттау үшін негізгі түйінді жаңарту үшін ұшу құны мен ұшу шектеулері функциясын енгізуден тұратын тәсіл ұсынылады. Бұл тәсіл ең қысқа жол ұзындығы бар негізгі түйіндерді таңдайды және қарсыластың анықталуын немесе кедергілерге тап болуын болдырмау және жол қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін негізгі түйінді жаңарту кезінде қауіптерден тиімді түрде аулақ болуға мүмкіндік береді [47].

### **3.1 Бастапқы жолды құру**

Қарастырылып отырған жолды жоспарлау мәселесін жазық жолды жоспарлау ретінде қарастыруға болады, өйткені ұшқышсыз ұшу аппараттарының ұшу биіктігі жеткілікті жоғары (әдетте 5 км-ден астам). Біз бұл жерлерді халықтың тығыздығы өте жоғары немесе табиғи апат (мысалы, жер сілкінісінің пайда болуы) орын алған қауіпті нүктелер деп санаймыз. Қауіпсіздік үшін ұшқышсыз ұшу аппараттары бұл нүктелерден алысырақ ұшуы керек. Қауіпті нүктелерді негізгі мақсатты нүкте ретінде пайдалана отырып, біз Вороной графигін ала аламыз. Бұдан басқа, бағытталған графигі Вороной диаграммасында (Voronoi diagram) бастапқы нүктелер мен мақсатты нүктелердің әрқайсысын тиісінше олардың ең жақын үш түйініне қосу арқылы оңай жасауға болады.

Алгоритм Вороной графигінің шетінде екі шығынды іздейді: жанармай құны және қауіп құны. Қауіптердің құны ұшқышсыз ұшу аппараттарына қауіп төндіретін дәрежені білдіреді. Бұл жерде біз дәреже тек ұшқышсыз ұшу аппараты мен қауіп нүктесі арасындағы қашықтыққа байланысты және Вороной диаграммасының шетімен ұшқан кездегі квадраттық қашықтыққа кері пропорционал деп болжаймыз. Бұл жерде біз Вороной графигінің

шетіндегі  $1/10$ ,  $3/10$ ,  $1/2$ ,  $7/10$  және  $9/10$  сегмент нүктелеріндегі қауіп құнын және бір шетке қатысты жалпы қауіп құнын есептейміз.

$$J_{t,i} = L_i \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{d_{\frac{1}{10},ij}^2} + \frac{1}{d_{\frac{3}{10},ij}^2} + \frac{1}{d_{\frac{1}{2},ij}^2} + \frac{1}{d_{\frac{7}{10},ij}^2} \right) \quad (3.1)$$

мұндағы  $J_{t,i}$  ҰҰА қауіпсіздікті бағалаудың мүмкін болатын саны,  $L_i$ , ол  $i$  қауіп төнетін мүмкіндіктің жалпы ұзындығы,  $n$ - қауіп нүктелерінің жалпы саны және ол  $d_{\frac{1}{10},ij}^2$  түрде жазылады.

Барлық ұшқышсыз ұшу аппараттары тұрақты жылдамдықпен ұшады делік. Сондықтан Вороной диаграммасының шетінен өту үшін қажет отын жиіктің ұзындығына пропорционалды. Біз  $L_i$  жиігі үшін жанармай құнын келесідей анықтай аламыз

$$J_{f,i} = L_i \quad (3.2)$$

Сәйкесінше шет бойымен ұшудың жалпы құны

$$J_i = kJ_{t,i} + (1 - k)J_{f,i} \quad 0 \leq k \leq 1 \quad (3.3)$$

Dijkstra алгоритмін [48] пайдалана отырып, біз Воронойдың бағытталған диаграммасын іздей аламыз және бастапқы нүктеден мақсатты нүктеге дейін минималды құны бар әрбір ҰҰА үшін жолды анықтай аламыз.

### 3.2 Көп мақсатты жолды жоспарлау алгоритімін құру

Мақсатты жиын  $t=\{1,2,\dots,N_T\}$  арқылы белгіленеді  $N_T$ -нысаналар саны.  $V=\{1,2,\dots, N_V\}$  Ұшқышсыз ұшу аппараттарының жиынтығын білдіреді, Мұндағы  $N_V$ -Ұшқышсыз ұшу аппараттарының саны.  $C=\{C_1,C_2,\dots, C_N\}$  мақсаттардың мәндерін білдіреді. Жердегі ұшқышсыз ұшу аппараттарының кірісі мен тұтынушысы  $U_i$  және  $B_i$  ретінде анықталады.

Көп миссияны бөлуге арналған жол ұзындығының теңдеуі деп аталатын әдіс талқыланды. Бұл әдісті Қолдана отырып, Бізде Суретте көрсетілгендей көп миссиялы жоспарлау алгоритмі бар. Суреттегі кіріс. 1-бастапқы нүктелердің, мақсатты нүктелердің және қауіп нүктелерінің позициялары.

$$U = \sum_{i=1}^{N_V} U_i = \sum_{j=1}^{N_T} U_j - \sum_{i=1}^{N_V} B_i \quad (3.4)$$

Көп миссияны бөлуге арналған жол ұзындығының теңдеуі деп аталатын әдіс талқыланды. Бұл әдісті Қолдана отырып, Бізде Суретте көрсетілгендей көп миссиялы жоспарлау алгоритмі 3.2-суретте көрсетілген. 1-бастапқы нүктелердің, мақсатты нүктелердің және қауіп нүктелерінің позициялары негізінде құрылған.

Вороной диаграммасын құру алгоритмі: Voronoi диаграммаларын құру үшін жиі қолданылатын алгоритмдердің бірі  $O(n \log n)$  уақытында жұмыс істейтін “ Fortune's Algorithm ” болып табылады, мұнда  $n$  – кіріс тұқымдарының саны.

Инициализация: Жылдам сұрыптау немесе Біріктіру сұрыптау сияқты сәйкес сұрыптау алгоритмін пайдаланып, тұқымдық нүктелерді сызық немесе жазықтық бойымен сұрыптаудан бастаңыз.

Оқиға кезегі: Оқиғаларды басқару үшін басым кезекті жасау. Оқиғалар торап оқиғалары немесе шеңбер оқиғалары болуы мүмкін (дәйекті үш негізгі нүктеден құралған шеңберлер). Бастапқыда оқиға кезегі әрбір негізгі нүкте үшін торап оқиғаларын қамтиды.

Sweep Line: Диаграмма бойынша солдан оңға қарай жылжитын тік сызу сызығын енгізу. Қарап шығу сызығы оқиғалармен кездесіп, оларды Вороной диаграммасын жаңартып өңдейді.

Жағажай сызығы: Вороной аймақтары арасындағы шекараларды білдіретін параболалық доғалар жиынтығы болып табылатын жағажай сызығын ұстаңыз.

Оқиғаны өңдеу: Тазалау сызығы сайт оқиғасымен кездескен кезде жағажай сызығына жаңа доға енгізіледі. Тазалау сызығы шеңбер оқиғасына тап болған кезде, сәйкес доға жағажай сызығынан жойылады.

Жағажай сызығын реттеу: Жағажай сызығы оқиғаларға байланысты реттеледі. Торап оқиғасына байланысты жаңа доға қосылғанда және ол бар доғаны бөлгенде.

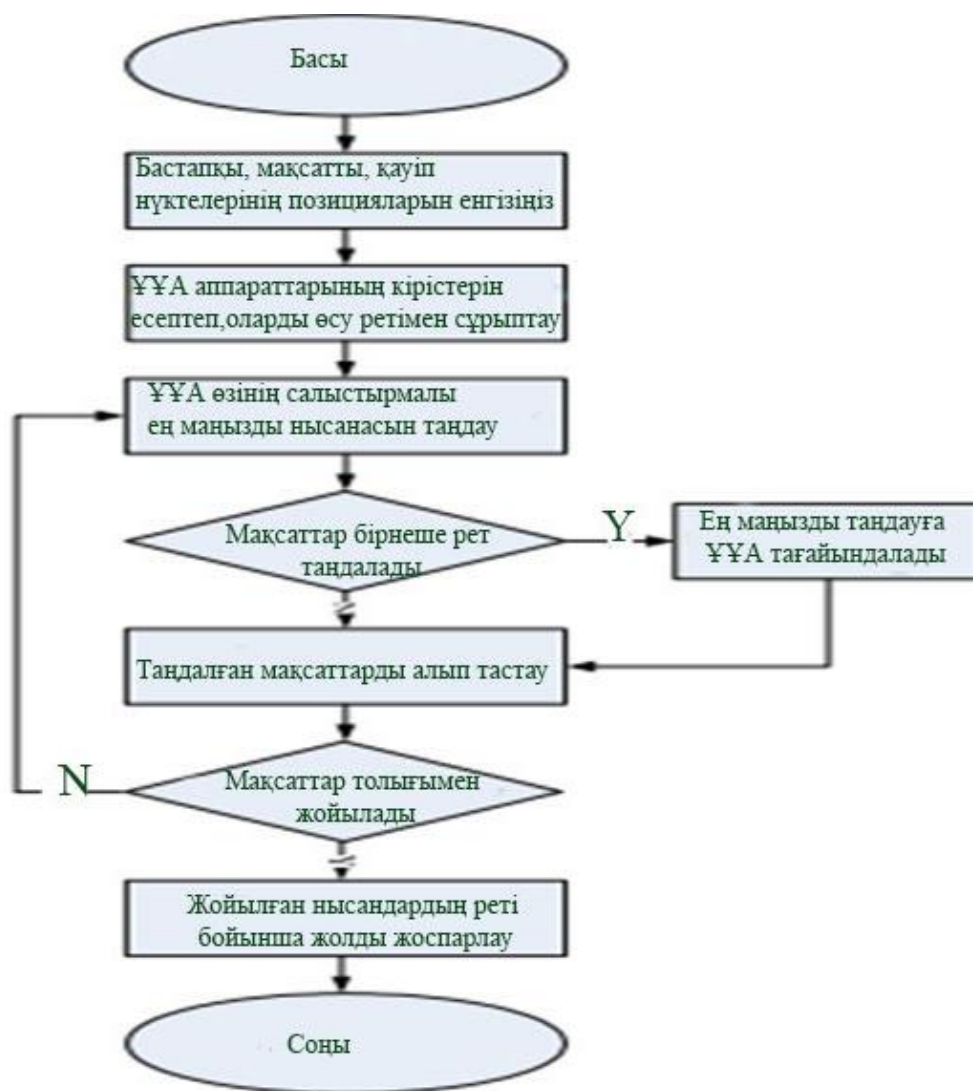
Ұяшықтарды құру: Тазалау сызығы алға жылжыған сайын Вороной ұяшықтары жағажай желісінің конфигурациясына негізделген.

Нәтижесі: Вороной диаграммасы сыпырушы сызығының өтуін аяқтаған кезде құрастырылған.

кедергілерді анықтау және болдырмау, траекторияны құру және камераны пайдалана отырып және мамандандырылған жоғары өнімді жабдықсыз автономды ұшқышсыз навигация үшін төмен есептеу ресурстары бар шешім ұсынылған. Ол ҰҰА-ға орналастырылған камерадан түсірілген бейне кадрлар және жұмыс станциясымен байланыс арқылы нақты уақыттағы талдауда жұмыс істейтін нысанды болдырмауға негізделген траекторияны генерациялау деп аталатын жаңа алгоритмді жүзеге асыруға бағытталған. Сонымен қатар, алгоритмімен құрылған векторды сілтеме ретінде пайдалана отырып, PI-тәрізді контроллер әзірленеді және имитацияланады. Ньютон-Эйлер математикалық моделін контроллер дронның қатты денесінің теңдеулерін көрсету үшін қарастырады.

Дрон камерасы ұшқышсыз ұшу аппаратының қозғалатын алдыңғы бөлігін бақылайды және ұшу кезінде бейне түсіреді. Бейне нақты уақыт режимінде Raspberry Pi көмегімен Wi-Fi арқылы жұмыс станциясына жіберіледі және беру жылдамдығы Wi-Fi сигналының өткізу қабілеттілігіне [32] және жұмыс станциясының адаптеріне байланысты. Бұл жағдайда қосылым 2,4 ГГц жиілікте 50–70 Мбит/с жылдамдықпен сымсыз тарату

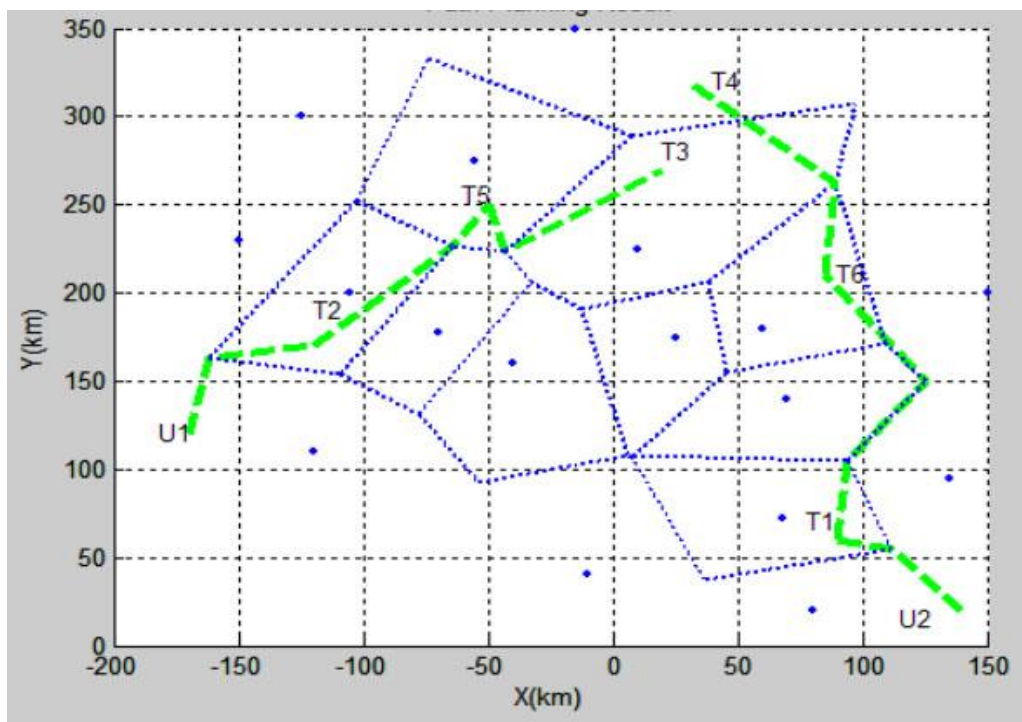
арқылы жүзеге асырылады. Одан кейін жұмыс станциясы бейне кадрларды келесі мақсаттарды ескере отырып талдайды: сахнада объектіні анықтау, соқтығысусыз аймақты есептеу және ұшу диспетчері үшін еркін соқтығыс траекторияларын құру.



3.2-сурет – күрделі жағдайда жолды жоспарлау алгоритмі

Бұл бөлімде алдыңғы бөлімде көрсетілген жолды жоспарлау стратегиясының шектеу функциялары пайдаланылады. Бастапқыда  $(-150,120)$  және  $(140,120)$  орналасқан екі  $U1$  және  $U2$  ҰҰА қарастырайық.  $T1 (90,60)$ ,  $t2 (-120,170)$ ,  $t3 (20,270)$ ,  $t4 (30,320)$ ,  $t5 (-50,250)$  және  $t6 (85,210)$  деңгейлерінде орналасқан алты мақсатты нүкте бар. 1 п мәні 1,4 мәніне орнатылған. Ұшқышсыз ұшу аппараттарының жылдамдығы 200 м/с. Нысаналардың мәні  $S = \{4,3,2,3,2\}$  ретінде белгіленеді. Модельдеуде біз күтпеген оқиғаларға байланысты миссияның әртүрлі өзгерістерін қарастырамыз.

Бастапқыда екі ҰҰА жолдары 3.3-суретте көрсетілгендей көп миссиялы жоспарлау алгоритмімен анықталады.



3.3-сурет – Бастапқы жоспарланған жол

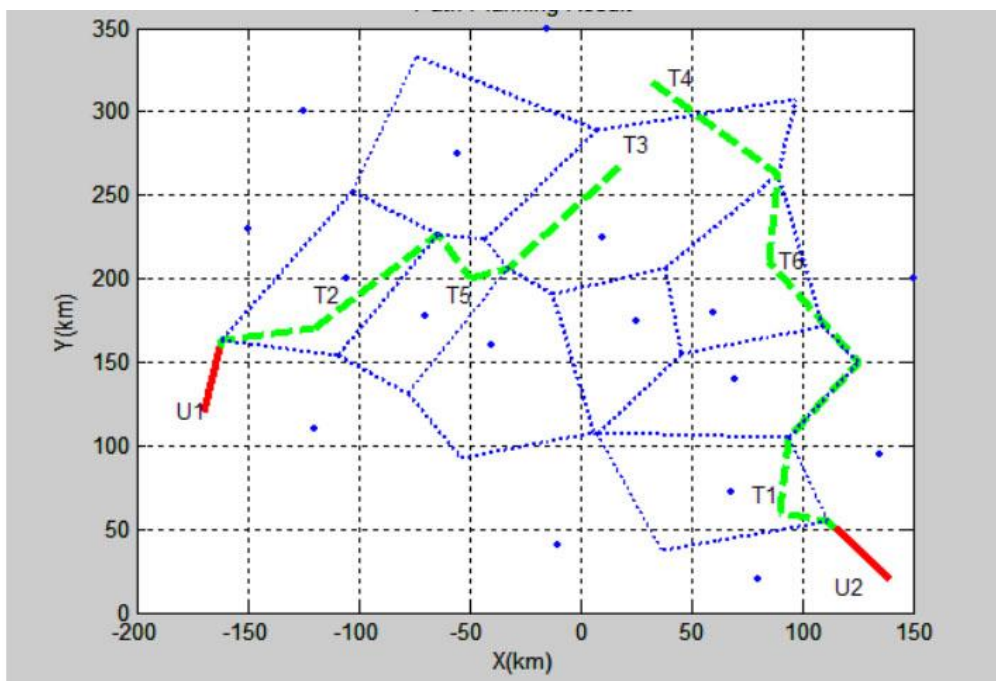
Келесі 3.4-сурет  $t = 200$  секундта басталады бұл жағдайда 5-мақсат T5-ке ауыстырылады (-50 200). Ұшқышсыз ұшу аппараттарының жолдары суретте көрсетілгендей анықталады.

2D жазықтықтағы тұқым нүктелерінің жиынтығын қарастырыңыз. Көк жолдар Вороной жиектерін білдіреді және әрбір көлеңкеленген аймақ тұқым нүктесіне сәйкес келетін Вороной ұяшығын білдіреді.

Тазалау сызығы солдан оңға қарай жылжиды және жағажай сызығы жаңа Вороной жиектері қалыптасады және Вороной ұяшықтары жасалады. Алгоритм Вороной құрылымын анықтау үшін торап оқиғалары мен шеңбер оқиғаларын өңдейді.

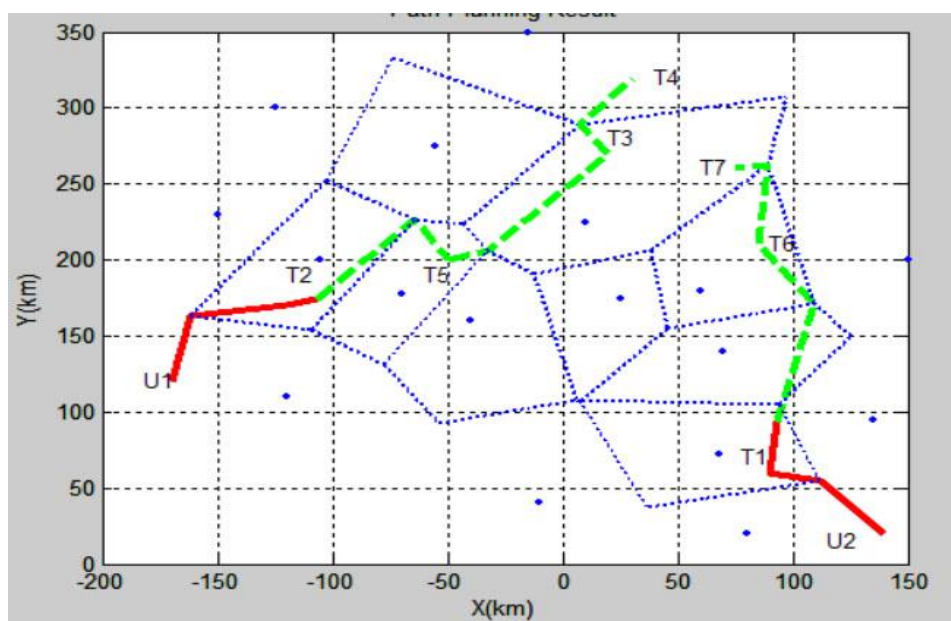
Sweep Line алгоритмін қолданатын Вороной диаграммасы: Sweep Line алгоритмі жазықтық бойымен тік сызықты сыпыру арқылы Вороной диаграммасын құрады. Өндеу сызығы Вороной шындары мен ұяшықтардың қиылысулары сияқты оқиғаларға тап болғандықтан, ол Вороной аймақтарын жаңартады.



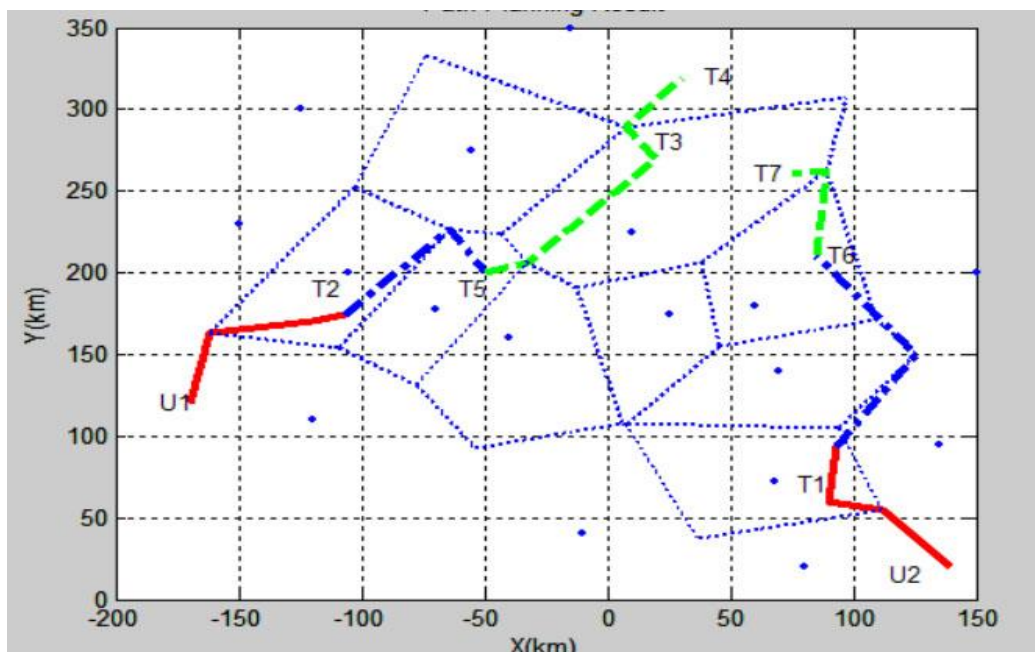


3.4-сурет - Миссияның күшін жою

Келесі суретте  $T = 500$  секунда түсірілген (3.5-сурет), сценарийде 7-мақсат (75, 260) қосылады. Мультимиссиялық жоспарлау алгоритмін қолдана отырып, біз төменде көрсетілгендей екі ұшқышсыз ұшу аппараттарының жолдарын ала аламыз. Нәтижесінде, planner ағымдағы нүктелерден сәйкесінше 5-мақсатқа және 6-мақсатқа дейінгі жолды үйлестіргісі келеді. Жолдың ұзындығы 136,7183 км және 92,9126 км, ал пропорциясы 1ден асады. 3.6-суретте екі ұшқышсыз Ұшу аппараттарының қайта құру жолдары көрсетілген, ал кооператив жолдары 136,7183 км және 97,8633 км құрайды.



3.5-сурет - Кооперативті жоспарлау



3.6-сурет - Кооперативті жоспарлау

Бұл бөлімде көп миссиялы ҰҰА аппараттарының траекториясын қайта жоспарлауды әзірлеу ұсынылды және күтпеген оқиғалар жағдайында қолайлы болып шықты.

Бұл әдістің негізгі күшті жақтары:

- 1) күтпеген оқиғаларға жолды қайта жоспарлау мүмкіндігі;
- 2) Ұшқышсыз Ұшу аппараттары көп миссиялық жоспарлауды жүзеге асырған кезде бірлескен жоспарлауды орындау мүмкіндігі.

Жаһандық жоспарлаудың және жергілікті жоспарлаудың екі негізгі элементі тұрғысынан, бұл жұмыс ҰҰА қалыптастыру траекториясын жоспарлау алгоритмдерінің негізін пайдаландық, алгоритмдердің әртүрлі түрлерін жан-жақты жіктейді және алгоритмдердің әртүрлі типтері мен олардың нұсқаларын біртұтас түрде сипаттайды. Содан кейін жіктеу негізінде шолу және статистикалық талдау жүргізілді. Біз ұшқышсыз ұшу аппараттарын құру траекториясын жоспарлау алгоритмі әдістерінің кемшіліктерін анықтап, алдағы зерттеулердің бағыты мен бағытын алға тарттық. Бұл жұмыс зерттеушілер мен жұмысшылар үшін зерттеу жұмысының келесі қадамы үшін анықтамалық ақпарат береді. Біз әртүрлі теориялардың инновациялары мен технологиялардың итеративті дамуымен ҰҰА қалыптастыру траекториясын жоспарлау алгоритмі жаңа дәуірге енеді деп сенеміз.

#### 4 Matlab ортасында ҰҰА ұшуын алгоритімін модельдеу

Дронды модельдеу – ұшқышсыз ұшақтың немесе ұшқышсыз ұшу аппаратының (ҰҰА) мінез-құлқын модельдеу және оның виртуалды ортадағы жұмысын бағалауды зерттеу.

Модельдеу – дрондарды дамытудағы маңызды қадам. MATLAB® және UAV Toolbox бізге келесі әрекеттерді орындау арқылы дронды модельдеуді қолдайды:

Ұшқышсыз ұшу динамикасын түсініп, прототиптерді жасамас бұрын өзара зерттеулерді орындаймыз.

Параметрлер мен модельдерді дронға жүктеп салмас бұрын реттеп аламыз. Дронға қауіп төндірмей, шеткі жағдайлар үшін үлгілер мен алгоритмдердің беріктігін тексереміз. Сынақ жағдайларына бейімделген виртуалды ортаны жасаймыз. Бірнеше сценарийлер мен сынақ жағдайларын жылдам іске қосамыз.

Дронды модельдеуді жасау әдетте Simulink® ішінде құрастырылуы мүмкін келесі компоненттерден тұрады [49] :

Дронның қозғалыс теңдеулерінен тұратын дрон динамикалық моделі (зауыт үлгісі). Ұшқышсыз ұшуды басқару моделі , ол ұшқышсыз басқару логикасын модельдейді. GPS және INS сенсоры сияқты дрондағы сенсорларды имитациялайтын сенсорлық модельдер. Қоршаған ортаны қабылдайтын және кедергілерді анықтайтын автономды алгоритмдер. Cuboid World және Unreal Engine® сияқты модельдеу ортасы, бұл алгоритмдерді тексеру және ұшу әрекетін визуализациялау үшін жасалған виртуалды орталар. Дронды модельдеу сіз сынап жатқан алгоритмдерге және әзірлеу процесінің кезеңіне негізделген әртүрлі дәлдік деңгейлеріне ие болуы мүмкін.

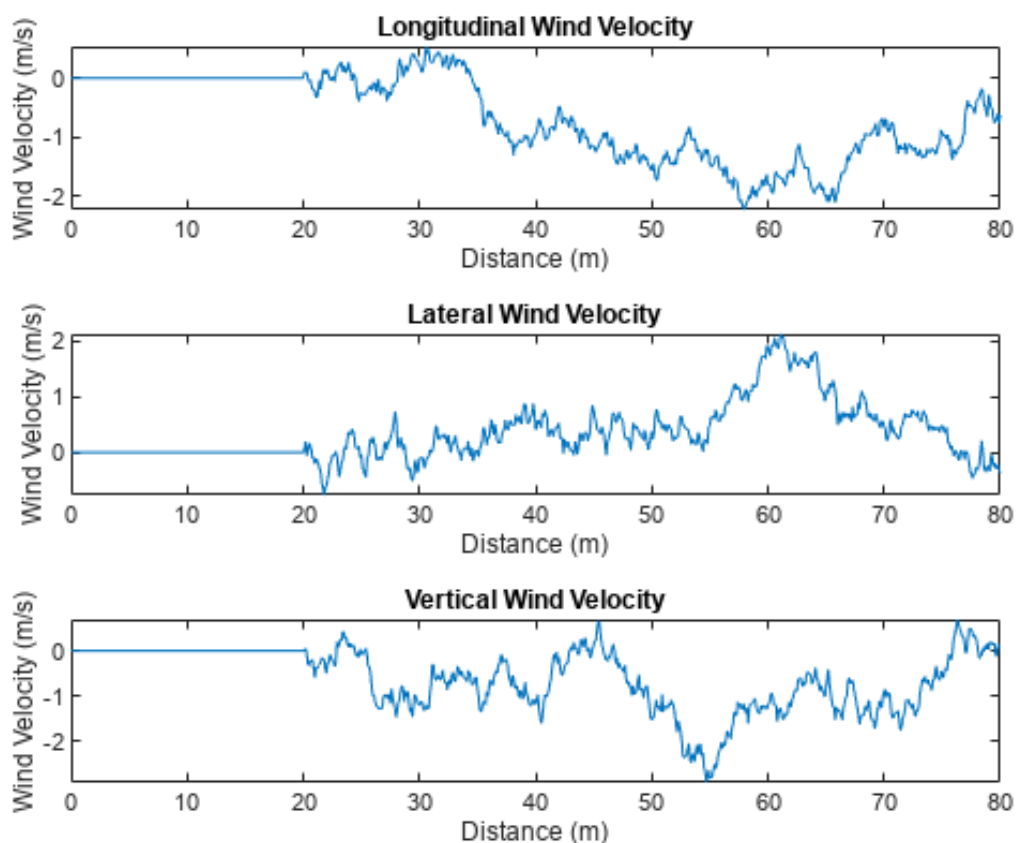
Дәлдігі төмен дрон модельдеулері әзірлеу процесінде өте ерте пайдаланылады, аз есептеу ресурстарын пайдаланады және жылдам жұмыс істейді. Оларды, мысалы, ұшуды басқару үлгілерін реттеу немесе жолды жоспарлау алгоритмдерін тексеру үшін пайдалануға болады .

ҰҰА қолданбаларын жобалау, модельдеу және орналастыру үшін төмендегі компоненттер керек. UAV Toolbox ұшқышсыз ұшу аппаратын және кеңейтілген әуе ұтқырлығы қолданбаларын жобалау, модельдеу, сынау және орналастыру үшін құралдар мен анықтамалық қосымшаларды ұсынады. Біз ұшу диспетчерлерін жобалай аласыз, автономия алгоритмдерін жасай аласыз және ҰҰА миссияларын жоспарлау үшін. Flight Log Analyzer қолданбасы 3D ұшу жолдарын пайдалануға болады, телеметрия ақпаратын және сенсор деректерін интерактивті түрде талдауға мүмкіндік береді.

Ұшу диспетчерлері мен автономия алгоритмдерін жұмыс үстеліндегі модельдеу және аппараттық құралдарды сынау үшін UAV сценарийлерін жасауға және модельдеуге болады. Фотореалистік 3D ортасында немесе 2.5D модельдеу ортасында камера, GPS сенсорының шығыстарын модельдеуге модельдейміз.

UAV Toolbox мультироторлы ҰҰА көмегімен автономды ұшқышсыз пакетті жеткізу және тік ұшып көтерілу және қону (VTOL) ұшақтары бар жетілдірілген әуе ұтқырлығы сияқты қолданбаларға анықтамалық мысалдарды ұсынады. Құралдар жинағы сонымен қатар жылдам прототиптеу, HIL сынағы және Pixhawk® Autopilot (енгізілген кодпен ® ) сияқты аппараттық құралға дербес орналастыру үшін C/C++ кодын жасауда қолданамыз [50].

ҰҰА WindSteady, uavWindGust немесе uavWindTurbulence нысандарын пайдаланып, ҰҰА платформасына жел нысанын қосу арқылы ҰҰА сценарийінде жел әсерлерін addWind терезесінде моделдейміз. windVelocity Сценарий симуляциясы іске қосылған кезде функцияны пайдалану арқылы ҰҰА платформасының корпусындағы жел жылдамдығын алыңыз. MATLAB® жүйесінде ҰҰА платформасы үшін жел үлгілерін жасау үшін Aerospace Toolbox негізінде орындалады .



4.1-сурет - Aerospace Toolbox негізінде алынған ҰҰА апаратының желге байланысты тұрақтылығы.

## 4.1 ҰҰА ұшуын модельдеу

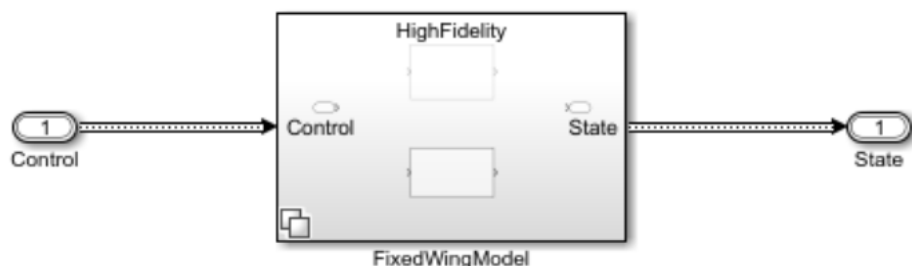
Модельдеу м әр түрлі даму кезеңдерінде әртүрлі дәлдік деңгейлерін қажет етеді. Жылдам прототиптеу кезеңінде біз әртүрлі автономды алгоритмдерді сынау үшін жылдам тәжірибе жасап, параметрлерді реттейміз. Біз алгоритмдерімізді сенімділікті арттыру моделін құруға тырысамыз. Төменде біз Нұсқаулық үлгі блогымен жоғары дәлдіктегі үлгіні жақындату әдісін көрсетеміз және оны навигация жүйесінен кейінгі жол нүктесін прототиптеу және реттеу үшін пайдаланамыз. Бекітілген ҰҰА үшін жол нүктесін белгілеп аламыз (математикалық талдаулар 2 және 3 бөлімдерде берілген). Бірдей навигациялық жүйе өнімділігін тексеру үшін жоғары дәлдіктегі модельдер сыналады.

Орта деңгейдегі кіріктірілген автопилоттан тұратын жоғары дәлдіктегі ұшқышсыз ұшу аппараты үлгісі пайдаланылады. Бұл модельде көптеген блок бар. Әзірлеу үдерісіндегі алғашқы қадам ретінде біз осы жоғары дәлдіктегі модель мен ҰҰА нұсқаулығы моделі блогы арасында ауыса алатын нұсқалық жүйені жасадық. Жоғары дәлдік үлгісі File Exchange жазбасынан, Simulink Drone анықтамалық қолданбасынан алынған.

Әртүрлі дәлдіктегі ҰҰА моделі  
uavModel = 'FixedWingModel.slx';  
ашық\_жүйе(uavModel);

Осы үлгімен байланысты деректер сөздігінде сақталған MATLAB® айнымалы манның өзгерту арқылы төмен және жоғары дәлдік үлгілері аралараласып аламыз.

```
plantDataDictionary =  
Simulink.data.dictionary.open( 'pathFollowingData.sldd' );  
plantDataSet = getSection(plantDataDictionary, 'Дизайн деректері' );  
% Тағайындаудың жоғары дәлдік үлгісіне ауысу  
(plantDataSet, 'useHighFidelity', 1);
```

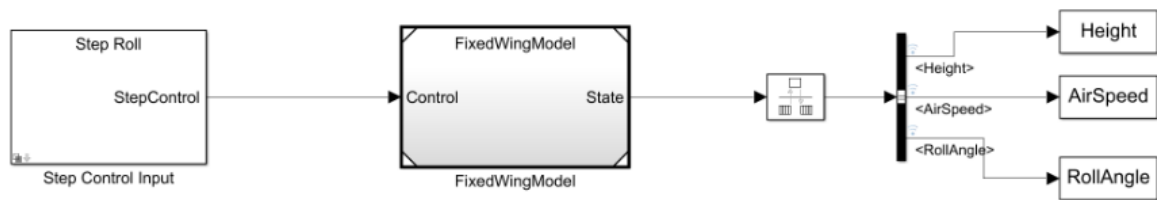


4.2-сурет – Жоғары дәлдік моделі

Төмен дәлдіктегі нұсқау үлгісі бар, ол жоғары дәлдіктегі бекітілген канат үлгісі. Дәлдігі жоғары үлгіні ҰҰА нұсқау үлгісі блогымен жуықтау үшін, үлгіге беру үшін қадамдық басқару сигналдарын жасаймыз және пәрмендерге

қадамдық RollAngle жауапты, снымен қатар Height, AirSpeed үлгілерін пайдаланамыз.

stepModel = 'stepResponse' ; ашық\_жүйе(қадам үлгісі)



4.3-сурет – ҰҰА ұшу процесінің моделі

Алдымен айналдыру бұрышын өзгертуге пәрмен беріңіз.

```
controlBlock = get_param( 'stepResponse/қадамды басқару енгізу' ,
'Нысан' );
```

```
controlBlock.StepControl = 'RollAngle қадамды басқару' ;
```

```
assignin(plantDataSet, 'useHighFidelity' ,1);
```

```
sim(stepModel);
```

```
### "stepResponse" үлгісінде сілтеме жасалған үлгілерді іздеу.
```

```
### Жаңарту үшін 2 үлгі сілтемесі табылды.
```

```
### Сериялық үлгі анықтамалық модельдеу құрастыруды бастау.
```

```
### Үлгі анықтамалық модельдеу мақсаты сәтті жаңартылды:
```

```
PlantModel
```

```
### Үлгі анықтамалық модельдеу мақсаты сәтті жаңартылды:
```

```
FixedWingModel
```

```
Түйіндеме құрастыру
```

```
Құрылған модельдеу мақсаттары:
```

```
Үлгі әрекетін қайта құру себебі
```

```
PlantModel коды жасалған және құрастырылған. PlantModel_msf.mеха64
```

жоқ.

```
FixedWingModel коды жасалған және құрастырылған.
```

```
FixedWingModel_msf.mеха64
```

```
Құрылған 2 үлгінің 2-і (0 модель қазірдің өзінде жаңартылған)
```

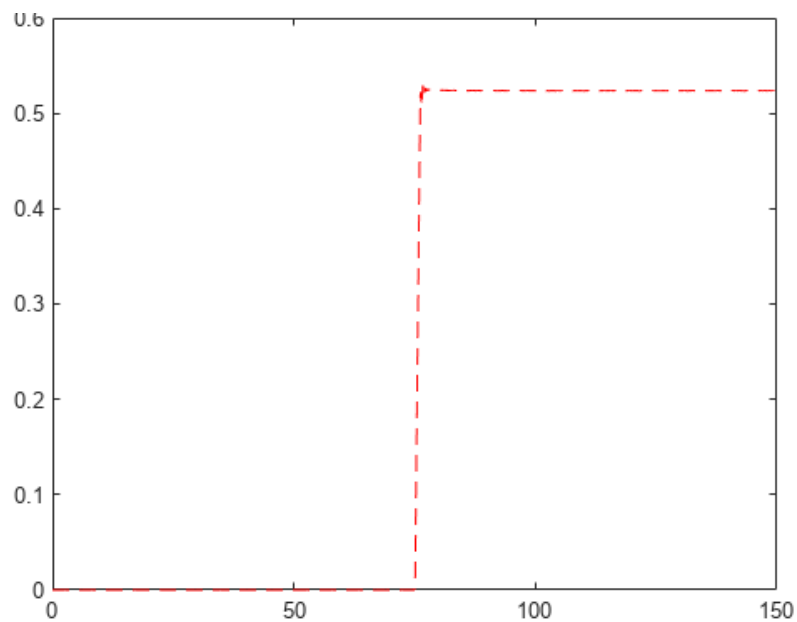
```
Құрылыс ұзақтығы: 0 сағ 2 мин 33,333 с
```

```
highFidelityRollAngle = RollAngle.Data(:);
```

```
highFidelityTime = RollAngle.Time; фигура()
```

```
сюжет(highFidelityTime, highFidelityRollAngle, '--r' );
```

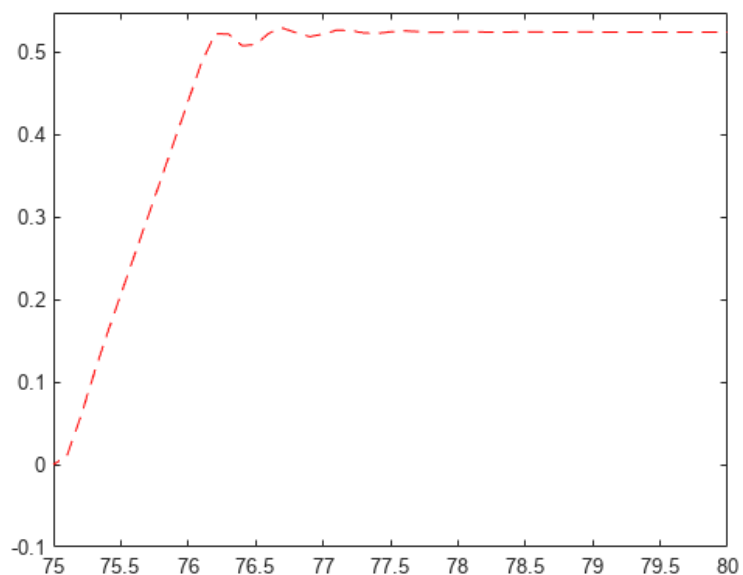
```
тақырып ( «Айналмалы бұрышқа қадамдық жауап» )
```



4.3-сурет – Айналмалы бұрышқа кадамдық жауап

Жоғарыдағы модельдеу нәтижесін үлкейте отырып, сіз дәлдігі жоғары үлгіге енгізілген орам бұрышы контроллерінің сипаттамаларын көресіз. Домалау бұрышының орнығу уақыты 2,5 секундқа жақын.

```
xlim([75 80])
ylim([-0,1 0,548])
```



4.4-сурет. 2,5 секундтағы Айналмалы бұрышқа кадамдық жауап

Екінші ретті PD контроллері үшін сыни демпингтік жүйемен осы реттеу уақытына қол жеткізу үшін, ҰҰА моделінің төмен дәлдіктегі нұсқасындағы ҰҰА нұсқаулығы үлгісі блогын конфигурациялау үшін келесі күшейтулерді

пайдалану керек. Бұл үшін ҰҰА нұсқаулығы үлгісі блогы бірнеше іске қосу үшін жылдамдықты арттыру код генерациясының көмегімен модельденеді.

Блок параметрлерін құрайық.

$zeta = 1,0$ ; % сыни демпацияланған

$ts = 2,5$ ; % 2 пайыз реттеу уақыты

$wn = 5,8335 / (\pi * zeta)$ ;

$newRollPD = [wn^2 \ 2 * zeta * wn]$ ;

Жаңа параметір орнатамыз және дәлдігі төмен үлгі үшін қадамдық жауапты модельдейміз. Оны бастапқы жауаппен салыстырдық.

жүктеу\_жүйесі (uavModel)

set\_param( 'FixedWingModel/FixedWingModel/LowFidelity/Fixed Wing UAV нұсқау үлгісі'PDRollFixedWing' ,strcat( '[' ,num2str(newRollPD), ']' ))

сақтау\_жүйесі (uavModel)

assignin(plantDataSet, 'useHighFidelity' , 0);

sim(stepModel);

### "stepResponse" үлгісінде сілтеме жасалған үлгілерді іздеу.

### Жаңарту үшін 1 үлгі сілтемесі табылды.

### Сериялық үлгі анықтамалық модельдеу құрастыруды бастау.

### Үлгі анықтамалық модельдеу мақсаты сәтті жаңартылды:

FixedWingModel

Түйіндеме құрастыру

Құрылған модельдеу мақсаттары:

Үлгі әрекетін қайта құру себебі

=====

FixedWingModel коды жасалған және құрастырылған. Үлгі немесе кітапхана FixedWingModel өзгертілді.

1 үлгінің 1-і құрастырылған (0 модель қазірдің өзінде жаңартылған)

Құрылыс ұзақтығы: 0сағ 0м 43,905с

lowFidelityRollAngle = RollAngle.Data(:);

lowFidelityTime = RollAngle.Time;

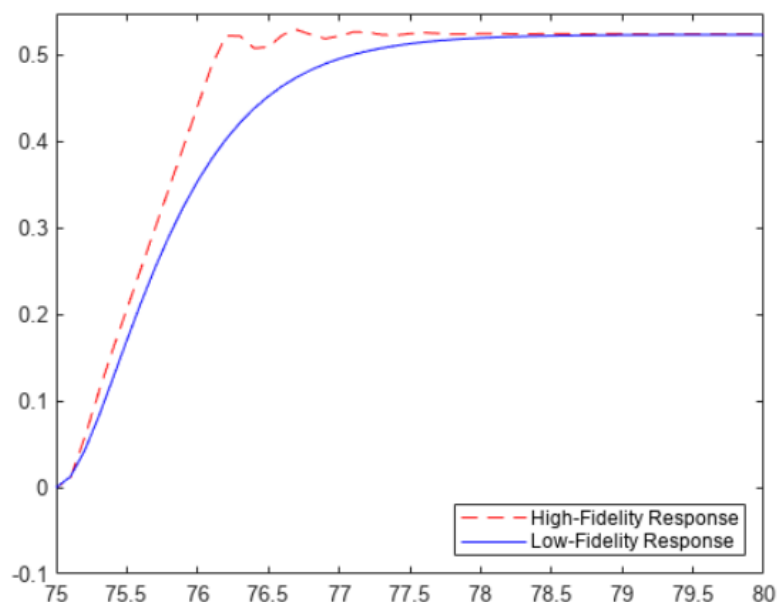
күте тұр ;

сюжет(lowFidelityTime, lowFidelityRollAngle, '-b' );

legend( 'Жоғары шынайылық жауап' , 'Төмен нақтылық жауап' , 'Орналасу' , 'оңтүстік-шығыс' );

Төмен дәлдік үлгісі ұқсас қадамдық жауапқа қол жеткізеді. Сол сияқты біз басқа екі басқару арнасын баптай аламыз: Heightжәне AirSpeed. Бұл жерде бақылау реакциясын визуалды тексерудің орнына бақылау көрсеткіштерін оңтайландыру үшін неғұрлым күрделі әдістерді қолдануға болады. Жоғары дәлдіктегі UAV моделінің әрекетін әрі қарай талдау үшін System Identification Toolbox® пайдалануды қарастырыңыз.





4.5-сурет. Айналымды бұрышқа кадамдық жауап пен ҰҰА айналуын салыстыру нәтижесі

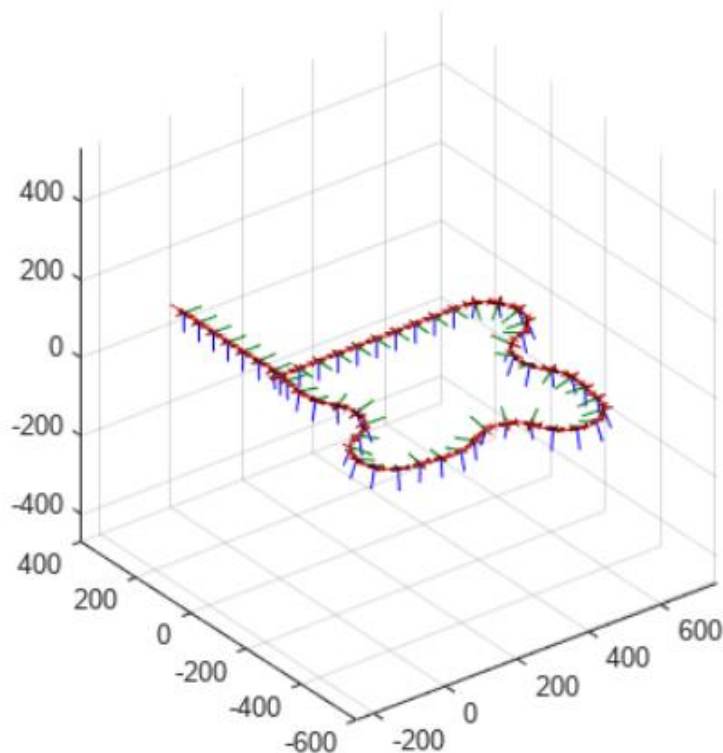
## 4.2 Навигация алгоритмін сынау

Енді біз жоғары дәлдіктегі модельді ҰҰА-ын Guidance Model блогымен жақындатқандықтан, оны Fixed-Wing UAV мысалында Tuning Waypoint Follower for UAV Guidance Model блогымен ауыстыруға болады. Әртүрлі дәлдіктегі осы үлгілерге қарсы қарау қашықтығы мен бағытты бақылау күштерінің әсерін тексереміз.

```

navigationModel = 'pathFollowing' ;
ашық_жүйе(навигация үлгісі);
assignin(plantDataSet, 'useHighFidelity', 0);
sim(навигация үлгісі);
### "pathFollowing" үлгісінде сілтеме жасалған үлгілерді іздеу.
### Жаңарту үшін 1 үлгі сілтемесі табылды.
### Сериялық үлгі анықтамалық модельдеу құрастыруды бастау.
### Үлгі анықтамалық модельдеу мақсаты сәтті жаңартылды:
FixedWingModel
Түйіндеме құрастыру.
Құрылған модельдеу мақсаттарын анықтау:
Осы негізде үлгі әрекетін қайта құру себебін көрсету.
FixedWingModel коды жасалған және құрастырылған. Нұсқаны басқару
useHighFidelity == 1 мән ақиқаттан жалғанға өзгертілді.
1 үлгінің 1-і құрастырылған (0 модель қазірдің өзінде жаңартылған)
Құрылыс ұзақтығы: 0сағ 0м 26.587с
фигура
visualizeSimStates(simStates);

```



4.6-сурет – Навигация алгоритмін сынау нәтижесі

Бұнда тұрақты қанатты ҰҰА-ның жоғары дәлдіктегі модельді мен жақындата алатынымызды көрсетеді. Қарама-қарсы тәсілді, сондай-ақ жоғары дәлдік үлгісі үшін автопилотты басқарудың артықшылықтарын таңдауға көмектесу үшін пайдалануға болады. Сіз алдымен әртүрлі сынақ сценарийлерінде төмен сенімділік үлгісін имитациялау арқылы автопилотты басқару реакциясының қолайлы сипаттамаларын шеше аласыз, содан кейін жоғары дәлдіктегі автопилот үлгісін сәйкесінше реттей аламыз.

### 4.3 ҰҰА басқару алгоритімі бойынша кеңестіктегі жолын моделдеу

Ұшқышсыз ұшу аппаратына (ҰҰА) арналған контроллерден кейінгі жол нүктесін жобалаймыз. Guidance Model және Waypoint Follower блоктары UAV нұсқау үлгісін имитациялайтын және келесі жол нүктелері үшін пәрмендерді жасайтын негізгі құрамдас бөліктер болып табылады.

Мысал әртүрлі басқару конфигурациялары арқылы қайталанады және тіркелген ҰҰА үшін кинематикалық үлгіні имитациялау арқылы ҰҰА ұшу әрекетін көрсетеді.

ҰҰА бағыттау моделі бекітілген қанатты аэродинамика мен автопилоттан тұратын тұйық жүйенің кинематикалық мінез-құлқын жақындатады. Бұл нұсқау моделі ұшқышсыз ұшу аппаратының тұрақты ұшу

жағдайына жақын төмен дәлдікте шағын ҰҰА ұшуларын модельдеу үшін жарамды. Біз бағдар үлгісін жол нүктесін бақылаушы басқаратын тұрақты қанаты бар ҰҰА-ның ұшу күйін модельдеу үшін пайдаландық.

Келесі Simulink® үлгісін қадамды басқару кірістеріне бекітілген қанатты бағыттау үлгісінің жауабын байқау үшін пайдалануға болады.

Waypoint Follower бағдарламасымен интеграциясы болғы қосымшада көрсетілген.

Модель fixedWingPathFollowing жол нүктесін бақылаушыны бекітілген қанатты бағыттау үлгісімен біріктіреді. Бұл модель нұсқаулық үлгісінің шығыс шинасы сигналынан қажетті ақпаратты алу және оларды жол нүктесінің ізбасарына беру жолын көрсетеді. Модель нұсқаулық үлгі блогы үшін басқару және орта кірістерін жинайды.

Waypoint Follower конфигурациясы, жол нүктесін бақылаушы контроллері екі бөліктен тұрады, ҰҰА Waypoint Follower блогы және тіркелген қанатты ҰҰА бағыты контроллері.

UAV Waypoint Follower блогы ағымдағы позаға, алдын ала қарау қашықтығына және жол нүктелерінің берілген жиынтығына негізделген ҰҰА үшін қажетті бағытты есептейді. Осы бағыттар бойынша ұшып бара жатқанда, ҰҰА тізімдегі әрбір жол нүктесіне (көрсетілген өту радиусы шегінде) барады.

Ұшуды басқару блогы - үйлестірілген ұшу жағдайында айналу бұрышын басқару арқылы ҰҰА бағытының бұрышын реттейтін пропорционалды контроллер.

UAV Animation блогы ҰҰА ұшу жолы мен қатынасын бейнелейді. Желсіз жағдайда бекітілген қанатты модельдеу үшін дененің еңіс бұрышы ұшу жолының бұрышы мен шабуыл бұрышының қосындысы болып табылады. Шағын қозғалмайтын қанаты бар ҰҰА үшін шабуыл бұрышы әдетте автопилотпен басқарылады және салыстырмалы түрде шағын болып қалады. Визуализация мақсатында біз ұшу бағытының бұрышымен еңісті бұрышты жуықтаймыз. Желсіз, нөлдік бүйірлік сырғанау жағдайында дененің иілу бұрышы бағыт бұрышымен бірдей.

Симуляция арқылы контроллерден кейінгі жол нүктесін реттеңіз

Модельді имитациялау. Келесі контроллердің жол нүктесін реттеу үшін жүгірткіні пайдаланыңыз.

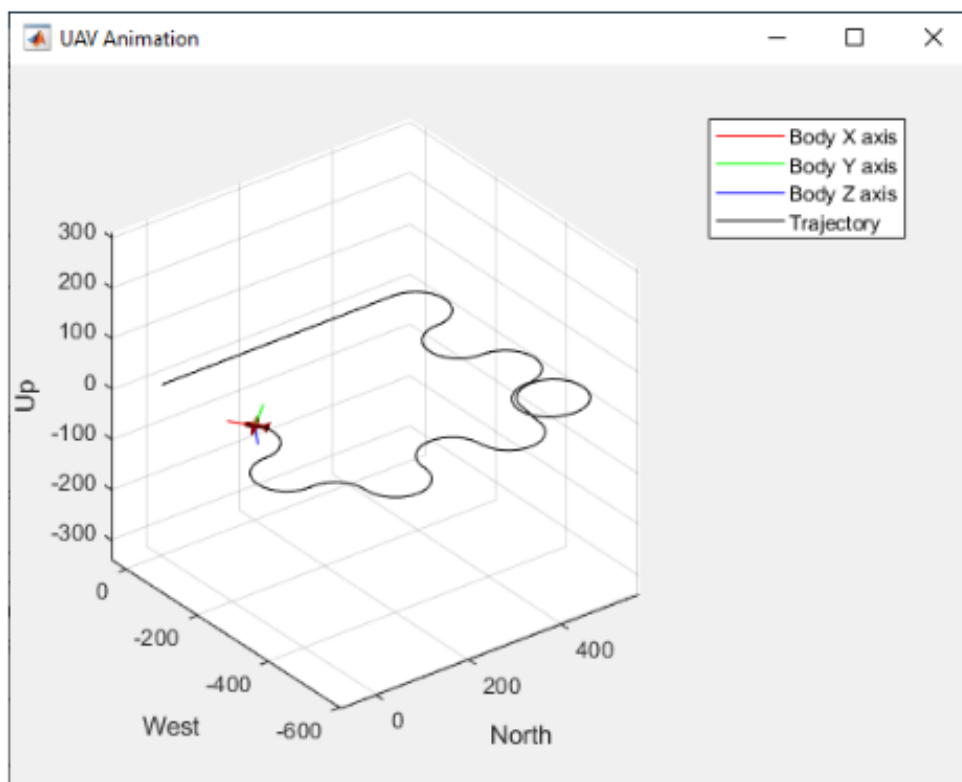
Бекітілген қанатты ҰҰА үшін жол нүктесінің ізбасарын баптау үшін бірнеше қадамдарды қарастыру керек. Мұндағы негізгі мақсат — ҰҰА-ты алдын ала анықталған жол нүктелері бойынша дәл ұшыру.

Жол нүктелерін орналастыру үшін миссия мақсаттары мен географиялық ақпаратты ескеру қажет. Мұны істеу үшін келесідей ақпараттар қажет болуы мүмкін: Жергілікті топография, Кедергілер мен қауіпті аймақтар

Метеорологиялық жағдайлар, Қауіпсіздік шаралары және әуе кеңістігін пайдалану ережелері, Навигациялық жүйені таңдау

Бекітілген қанатты ҰҰА үшін GPS навигациясы жиі қолданылады. Сондай-ақ, басқа да сенсорлар, мысалы, инерциалдық өлшеу бірліктері және барометрлік биіктік өлшеуіштер де қосымша дәлдік үшін қолданылады.

Автопилотты баптау: Автопилот жүйесін баптау өте маңызды, микроконтроллер, Бұл контроллерлер ҰҰА-тың бағытын, биіктігін және басқа да ұшу параметрлерін реттейді.



4.7-сурет – үлкен қашықтықты қарау және баяу бағытты басқару арқылы ұшу тәртібі көрсетілген.

Ұшудың негізгі функциясы мен ұшуды шектеу функциясы көршілес аймақтардағы негізгі түйіндерді жаңартуды басқару үшін қолданылады. Бұл алгоритм бір уақытта қауіптің күші мен жолдың ұзындығын ескере отырып оңтайлы траекторияны жоспарлайды. Ол мүмкіндігінше қысқа, сонымен бірге күрделі жағдайларда әскери операцияларға арналған ұшқышсыз ұшу траекториясын жоспарлау талаптарын қанағаттандыру үшін қауіптен тиімді түрде аулақ болады [47].

Шекту функциялары негізінде ҰҰА алгоритмін құру

Белгілеу: Тармақ жолдар  $T$ , Қоршаған орта  $\xi$

2:  $T.V \leftarrow \{\text{Бастапқы жағдай}\}; E \leftarrow \emptyset;$

3: for  $i=1$  to  $n$  do 4:  $T \leftarrow (V, E);$

5: Негізгі түйін  $\leftarrow$  бастапқы түйін ( $\xi$ );

6: Жаңа түйін  $\leftarrow$  Жол жағдайы  $\_cost(T.V, prand)$

7:  $T.V \leftarrow T.V \cup \{\text{жаңа жолдар}\};$

8: Қосымша жолдар  $\leftarrow Near(pnew, T.V, ri);$

9: for жаңа табылған түйінер арасындағы жолдар  $\in$  негізгі түйін do

10: қайталау\_алгоритім\*(жаңа түйін);

```

11:   for all  $p_{near} \in P_{near}$  do
12:       rewire_ImpRRT*(жаңа түйін);
13: return  $T=(V,E)$ 

```

Алгоритмде екі бөлікке ерекшеленеді: жаңа түйіндерді кеңейту және көршілес аймақтардағы негізгі түйіндерді жаңарту. Жаңа түйінді кеңейту үшін алдымен түйін үлгісіне ең жақын тармақ түйінін таңдайды. Содан кейін кеңейту қашықтығына сәйкес тармақ түйінінен үлгі Түйініне қарай жаңа түйін таңдалады. Түйінде соқтығысу болмаса, ол жаңа жол ретінде саналады [51]. Осы стандарт алгоритмі жаңа түйіндердің кеңеюін басқару үшін ұшу шектеулері функциясын қолданамыз. Бұл тәсіл қауіптің күшін, траектория ұзындығын және ұшу шектеулерін бір уақытта ескеретіндіктен, жоспарланған бағыттың қауіпсіздік талаптары мен траектория шектеулерін қанағаттандыратын оңтайлы болып табылады.

4.3.1-кестеде кейбір негізгі параметрлері келтірілген, мұнда 1-нұсқа, 2-нұсқа және 3-нұсқа сәйкесінше ұшу құнының функциясындағы әртүрлі салмақ мәндерін білдіреді. Сонымен қатар, радар, зениттік зеңбірек және мұнара үшін белгіленген параметрлер көрсетіледі [47].

4.3.1-кесте – Моделедеу параметр мәндері.

Параметр	Шамасы
$L_{th}$ $h$	20 m
$\delta$	70 m
$N_0$	15
$\phi_{max}$	45°
$\gamma_{max}$	30°
$l_{min}$	30 m
$I_{ter}$	2000
Басталу нүктесі	(40,40,30)
Траекториясы	(350,350,50)

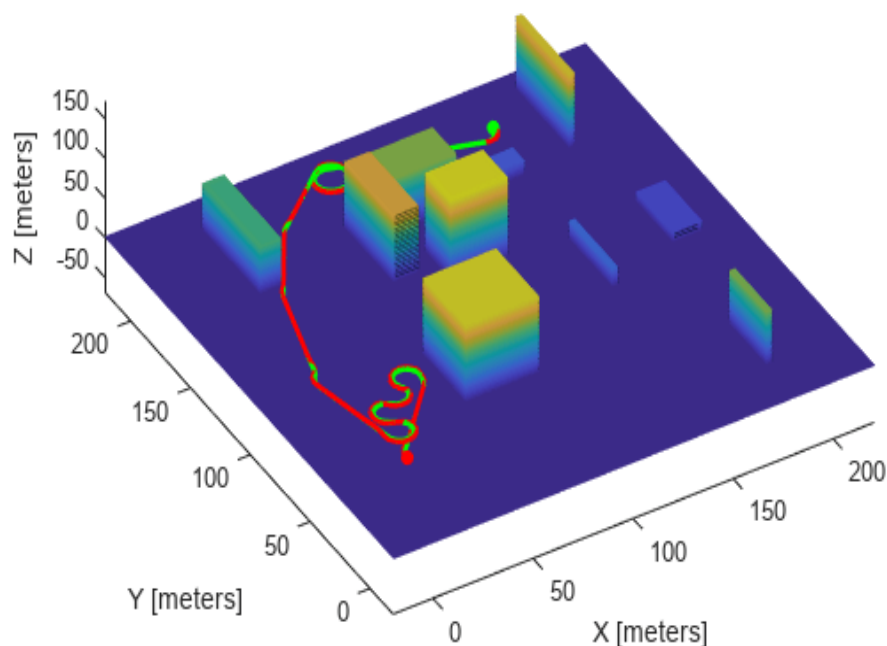
4.3.2-кесте – Радар координаталары

Радар	Ортасы	Радиус
	(100,80,0)	35
	(100,350,5)	35
	(170,230,20)	35
	(280,200,20)	35

#### 4.3.3-кесте – Әуе қорғанысы аймақтары

Әуе қорғанысы зеңбірек	Center	Радиусы	Биіктігі
	(70,170,0)	30	40
	(170,140,0)	30	40
	(300,100,0)	30	40
Басқару мұнарасы	(260,180,0)	25	40
	Center	Радиусы	Биіктігі
	(200,290,10)	15	50
	(100,275,10)	20	40

Бұл бөлімде орталықтандырылған және орталықтандырылмаған басқару схемасын қолдана отырып, MATLAB-та мақсатты нүктені іздеу және жол нүктелерін бақылау алгоритмдеріне негізделген модель модельденеді. Модельдеу нәтижелерін түсіндіру үшін кодтар берілген. Байланыс индикаторының мәні, агенттер арасындағы қашықтық және үйір орталығынан талап етілетін позицияға дейінгі қашықтық сияқты бағалау көрсеткіштері тұрақты анықталады және пайдаланылады. Модельдеу кезінде біз ауа-райы дронды басқару үшін өте қолайлы деп есептейміз, яғни жел ағыны дрон динамикасына әсер етпейді.



4.8-сурет. Matlab програмасы ортасында ҰҰА басқару траекториялары мен қозғалыс параметрлері функциялар негізінде құрылған алгоритім бойынша моделі

4.7-суретте уақыт қадамымен ұшқышсыз ұшу аппараттарының қозғалыс траекториясы көрсетілген. Әр жолы ҰҰА бірегей динамикалық мінез-құлыққа ие және байланыс арнасының тұрақтылығын сақтау үшін қашықтықты сақтай отырып, алға жылжиды. Ұшқышсыз ұшу аппараты платформасы берген түзу сызықты траекторияны тамаша орындай алады. Әрбір жол нүктесі арасындағы өтпелі уақыт жеткілікті болса болды.

Ұсынылған алгоритмінің тиімділігін жан-жақты бағалау үшін біз Имитациялық бағалау мен талдау жүргіземіз. Ұшқышсыз ұшу траекториясын жоспарлау кезінде экологиялық стандарттың жалпы қабылданған моделі жоқ. Үлгіге негізделген траекторияны жоспарлау әдістері үшін біз әдетте кедергілерді немесе қауіптерді көрсету үшін негізгі конфигурацияларды қолданамыз. Демек, бұл мақалада [44] сияқты қауіп моделін құру кезінде ескерту радиолокаторын және оның қауіп-қатер аймағын шамамен сипаттау үшін жарты шар моделі енгізілді, ал модель зениттік зеңбірек ғимаратын және оның шабуыл ауқымын шамамен сипаттау үшін цилиндрлік модельді қолданады. Конус моделі мұнараны шамамен сипаттау үшін пайдаланылды (мұнара анықтау немесе соққы беру қабілетіне ие болмағандықтан, ол ұшуға болмайтын аймақ ретінде қарастырылады). Дегенмен, негізгі конфигурацияны пайдалану рельеф туралы көптеген ақпараттың жоғалуына әкеледі. Сондықтан бұл мақалада жердегі қауіптер туралы ақпаратты шынымен көрсету үшін жер бедерін көрсету үшін нақты биіктік картасы салынды.

Объектіні болдырмауға негізделген траекторияны генерациялау (TGBOA) деп аталатын жаңа алгоритм көру сенсоры арқылы нысанды анықтаудан нақты уақыт режимінде ұшуды жоспарлауға қабілетті және UAV-дан жұмыс станциясына жіберілген бейнені өңдеу арқылы төмен есептеу ресурстары бар. Алгоритм ұшу кезінде объектілерді болдырмау үшін UAV контроллерінде анықтама ретінде пайдаланылуы мүмкін соқтығыспайтын траекторияларды жасай алады. Дегенмен, оңтайлы траектория табылған объектілерге, UAV позицияларына және соңғы нүктеге байланысты болады. Бейне талдау үшін суретте он үш аймақ анықталды. Бұл санды әр түрлі бағытта жасалған траекториялардың көбірек болуы үшін арттыруға болады; дегенмен, соның салдарынан талап етілетін есептеу операцияларының санына байланысты орындау уақыты артады. Бұл мәселені TGBOA алгоритмін үлкен есептеу қуаты бар электронды карталарда бағдарламалау және роботтық жүйелерге арналған әртүрлі платформаларды пайдалану арқылы шешуге болады. Квадрокоптердің позициясы мен бұрылуды басқару үшін PI тәрізді контроллер әзірленді. ҰАО динамикасы әрқайсысы басқарушы кіріс және шығыс айнималысы бар төрт ішкі жүйеге бөлінген. TGBOA алгоритмінен алынған сілтемелерді пайдалана отырып, ұшу диспетчері эксперименттерде қанағаттанарлық нәтижелерге әкелді, бұл нысандардың қай жерде орналасқандығына және әртүрлі аумақтарда қашып кетуіне және әрбір жағдай үшін сәйкес траекторияны таңдауына байланысты. Ұсынылған контроллерлердің сандық модельдеулері MATLAB 2022a математикалық бағдарламалық құралын қолдану арқылы жүзеге асырылды және нәтижелер

ұсынылған бақылау заңының жақсы өнімділігін көрсетеді, ұсынылған сілтемелерге 4 секундта жетеді. Болашақ жұмыс алгоритмді және басқа симуляциялық платформаларды және әзірлеу тақталарын пайдалана отырып, әртүрлі контроллерлерді енгізуге қатысты болады.



## ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл диссертациялық жұмыста ұшқышсыз ұшу аппараттарының күрделі тапсырмаларды қауіпсіз орындауға қабілетті болуын қамтамасыз ету үшін траектория ұзындығы мен траектория қауіпсіздігін жан-жақты қарастыратын ұшқышсыз ұшу аппараттарына арналған траекторияны жоспарлау алгоритмі құрылды. Біріншіден, біз жолдағы қауіп күшін де, жол ұзындығының да қамтитын ұшу функциясын әзірледік. Содан кейін алдыңғы қатарда жаңа түйіндердің кеңеюіне басшылық ақпарат ретінде ұшуды шектеулер функциясын қолданатын тәсіл ұсынылады, бұл жаңа түйіндерді ҰҰА қауіпсіздігі жоғары үлгі кеңістігіне дейін кеңейтуге мүмкіндік береді.

Әрине, бұл алгоритм қиын жағдайларда ұшқышсыз ұшу жолын жоспарлаудың жалғыз жолы емес. Генетикалық алгоритм сияқты интеллектуалды Алгоритмдер де бұған қабілетті, бірақ интеллектуалды Алгоритмдер әдетте өте күрделі. Демек, есептеу күрделілігі салыстырмалы түрде төмен алгоритм ретінде осы алгоритмді ұсынуға болады. Сонымен қатар, біз болашақ зерттеулерде осы алгоритмді теориялық жетілдіру және алгоритмнің нақты сынағы бойынша тереңірек зерттеулер жүргіземіз деп үміттенеміз, сондықтан біздің алгоритміміз жоғары қолданбалы мәнге ие болуы мүмкін.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Shirshikova, Z.A. Comparative Analysis of the US-China Artificial Intelligence Architecture and Effects of Autonomous UAVs on the Future of the Battlefield. Master's Thesis, Harvard University, Cambridge, MA, USA, 2022.
2. Norasma, C.; Fadzilah, M.; Roslin, N.; Zanariah, Z.; Tarmidi, Z.; Candra, F. Unmanned aerial vehicle applications in agriculture. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2019, 506, 012063.
3. Mohsan, S.A.H.; Khan, M.A.; Noor, F.; Ullah, I.; Alsharif, M.H. Towards the unmanned aerial vehicles (UAVs): A comprehensive review. Drones 2022, 6, 147. [Google Scholar] [CrossRef]
4. Shakhathreh, H.; Sawalmeh, A.H.; Al-Fuqaha, A.; Dou, Z.; Almaita, E.; Khalil, I.; Othman, N.S.; Khreishah, A.; Guizani, M. Unmanned aerial vehicles (UAVs): A survey on civil applications and key research challenges. IEEE Access 2019, 7, 48572–48634.
5. Yun, W.J.; Park, S.; Kim, J.; Shin, M.; Jung, S.; Mohaisen, D.A.; Kim, J.-H. Cooperative multiagent deep reinforcement learning for reliable surveillance via autonomous multi-UAV control. IEEE Trans. Ind. Inform. 2022, 18, 7086–7096.
6. Shi, Y.; Liu, Y.; Ju, B.; Wang, Z.; Du, X. Multi-UAV cooperative reconnaissance mission planning novel method under multi-radar detection. Sci. Prog. 2022, 105, 00368504221103785
7. Xu, D.; Chen, G. The research on intelligent cooperative combat of UAV cluster with multi-agent reinforcement learning. Aerosp. Syst. 2022, 5, 107–121.
8. Thibbotuwawa, A.; Bocewicz, G.; Radzki, G.; Nielsen, P.; Banaszak, Z. UAV mission planning resistant to weather uncertainty. Sensors 2020, 20, 515.
9. Zhang, H.; Xin, B.; Dou, L.-H.; Chen, J.; Hirota, K. A review of cooperative path planning of an unmanned aerial vehicle group. Front. Inf. Technol. Electron. Eng. 2020, 21, 1671–1694.
10. Zhao, C.; Liu, Y.; Yu, L.; Li, W. Stochastic Heuristic Algorithms for Multi-UAV Cooperative Path Planning. In Proceedings of the 2021 40th Chinese Control Conference (CCC), Shanghai, China, 26–28 July 2021; pp.
11. Sun, W.; Hao, M. A Survey of Cooperative Path Planning for Multiple UAVs. In Proceedings of the International Conference on Autonomous Unmanned Systems, Shanghai, China, 26–28 July 2021; pp.
12. Zu, W.; Fan, G.; Gao, Y.; Ma, Y.; Zhang, H.; Zeng, H. Multi-uavs cooperative path planning method based on improved rrt algorithm. In Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), Changchun, China, 5–8 August 2018;
13. Karimi, H. The capacitated hub covering location-routing problem for simultaneous pickup and delivery systems. Comput. Ind. Eng. 2018, 116, 47–58. [Google Scholar] [CrossRef]

14. Fontes, F.F.C.; Goncalves, G. A VNDS Approach for the Liner Shipping Transport in a Structure of Hub-and-Spoke with Sub-Hub. *IFAC-Pap.* 2018, 51, 247–252. [Google Scholar]
15. Yang, X.; Bostel, N.; Dejax, J. A MILP model and memetic algorithm for the Hub Location and Routing problem with distinct collection and delivery tours. *Comput. Ind. Eng.* 2019, 135, 105–119. [Google Scholar] [CrossRef]
16. Danach, K.; Gelareh, S.; Monemi, R.N. The capacitated single-allocation p-hub location routing problem: A Lagrangian relaxation and a hyper-heuristic approach. *EURO J. Transp. Logist.* 2019, 8, 597–631. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]
17. Wu, Y.; Qureshi, A.G.; Yamada, T. Adaptive large neighborhood decomposition search algorithm for multi-allocation hub location routing problem. *Eur. J. Oper. Res.* 2022, 302, 1113–1127. [Google Scholar] [CrossRef]
18. Murray, C.C.; Chu, A.G. The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 2015, 54, 86–109. [Google Scholar] [CrossRef]
19. Agatz, N.; Bouman, P.; Schmidt, M. Optimization approaches for the traveling salesman problem with drone. *Transp. Sci.* 2018, 52, 965–981. [Google Scholar] [CrossRef]
20. Ha, Q.M.; Deville, Y.; Pham, Q.D.; HoàngHà, M. On the min-cost Traveling Salesman Problem with Drone. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 2018, 86, 597–621. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]
21. Moshref-Javadi, M.; Hemmati, A.; Winkenbach, M. A truck and drones model for last-mile delivery: A mathematical model and heuristic approach. *Appl. Math. Model.* 2020, 80, 290–318. [Google Scholar] [CrossRef]
22. Dell’Amico, M.; Montemanni, R.; Novellani, S. Metaheuristic algorithms for the parallel drone scheduling traveling salesman problem. *Ann. Oper. Res.* 2020, 289, 211–226. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]
23. Wang, X.; Poikonen, S.; Golden, B. The vehicle routing problem with drones: Several worst-case results. *Optim. Lett.* 2017, 11, 679–697. [Google Scholar] [CrossRef]
24. Murray, C.C.; Raj, R. The multiple flying sidekicks traveling salesman problem: Parcel delivery with multiple drones. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 2020, 110, 368–398. [Google Scholar] [CrossRef]
25. Luo, Z.; Poon, M.; Zhang, Z.; Liu, Z.; Lim, A. The Multi-visit Traveling Salesman Problem with Multi-Drones. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 2021, 128, 103172. [Google Scholar] [CrossRef]
26. O’kelly, M.E. A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. *Eur. J. Oper. Res.* 1987, 32, 393–404. [Google Scholar] [CrossRef]
27. Corberán, Á.; Peiró, J.; Campos, V.; Glover, F.; Martí, R. Strategic oscillation for the capacitated hub location problem with modular links. *J. Heuristics* 2016, 22, 221–244. [Google Scholar] [CrossRef]

28. Mikić, M.; Todosijević, R.; Urošević, D. Less is more: General variable neighborhood search for the capacitated modular hub location problem. *Comput. Oper. Res.* 2019, 110, 101–115. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
29. Todosijević, R.; Urošević, D.; Mladenović, N.; Hanafi, S. A general variable neighborhood search for solving the uncapacitated r-allocation p-hub median problem. *Optim. Lett.* 2017, 11, 1109–1121. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
30. Tan, P.Z.; Kara, B.Y. A hub covering model for cargo delivery systems. *Networks* 2007, 49, 28–39. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)][[Green Version](#)]
31. Ernst, A.T.; Krishnamoorthy, M. Efficient algorithms for the uncapacitated single allocation p-hub median problem. *Locat. Sci.* 1996, 4, 139–154. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
32. Alzahrani, B.; Oubbati, O.S.; Barnawi, A.; Atiquzzaman, M.; Alghazzawi, D. UAV assistance paradigm: State-of-the-art in applications and challenges. *J. Netw. Comput. Appl.* 2020, 166, 102706. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
33. Tsouros, D.C.; Bibi, S.; Sarigiannidis, P.G. A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information* 2019, 10, 349. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[Green Version](#)]
34. Woo, J.W.; An, J.-Y.; Cho, M.G.; Kim, C.-J. Integration of path planning, trajectory generation and trajectory tracking control for aircraft mission autonomy. *Aerosp. Sci. Technol.* 2021, 118, 107014. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
35. Ahmed, F.; Jenihhin, M. A Survey on UAV Computing Platforms: A Hardware Reliability Perspective. *Sensors* 2022, 22, 6286. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
36. Ahmed, F.; Mohanta, J.C.; Keshari, A.; Yadav, P.S. Recent Advances in Unmanned Aerial Vehicles: A Review. *Arab. J. Sci. Eng.* 2022, 47, 7963–7984. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Gupta, A.; Fernando, X. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) and Data Fusion in Unmanned Aerial Vehicles: Recent Advances and Challenges. *Drones* 2022, 6, 85. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
38. Chen, Y.; Yu, J.; Mei, Y.; Zhang, S.; Ai, X.; Jia, Z. Trajectory optimization of multiple quad-rotor UAVs in collaborative assembling task. *Chin. J. Aeronaut.* 2016, 29, 184–201. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[Green Version](#)]
39. Li, L.; Sun, L.; Jin, J. Survey of advances in control algorithms of quadrotor unmanned aerial vehicle. In *Proceedings of the 2015 IEEE 16th International Conference on Communication Technology (ICCT)*, Hangzhou, China, 18–21 August 2015; pp. 107–111. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
40. Li, Y.; Song, S. A survey of control algorithms for Quadrotor Unmanned Helicopter. In *Proceedings of the 2012 IEEE Fifth International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI)*, Nanjing, China, 18–20 October 2012; pp. 365–369. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
41. Antonio-Toledo, M.E.; Sanchez, E.N.; Alanis, A.Y. Neural Inverse Optimal Control Applied to Quadrotor UAV. In *Proceedings of the 2018 IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence (LA-CCI)*, Guadalajara, Mexico, 7–9 November 2018; pp. 1–8. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

42. Guillén-Bonilla, J.T.; García, C.C.V.; Di Gennaro, S.; Morales, M.E.S.; Lúa, C.A. Vision-Based Nonlinear Control of Quadrotors Using the Photogrammetric Technique. *Math. Probl. Eng.* 2020, 2020, 5146291. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
43. Rahman, Y.A.A.; Hajibeigi, M.T.; Al-Obaidi, A.S.M.; Cheah, K.H. Design and Fabrication of Small Vehicle-Take-Off-Landing Unmanned Aerial Vehicle. *MATEC Web Conf.* 2018, 152, 02023. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[Green Version](#)]
44. Gupta, N.; Chauhan, R.; Chadha, S. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Parcel Delivery. *Int. J. Eng. Res. Technol.* 2020, 13, 2824–2830. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
45. Yang, H.; Lee, Y.; Jeon, S.; Lee, D. Multi-rotor drone tutorial: Systems, mechanics, control and state estimation. *Intell. Serv. Robot.* 2017, 10, 79–93. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
46. Eslamiat, H.; Li, Y.; Wang, N.; Sanyal, A.K.; Qiu, Q. Autonomous Waypoint Planning, Optimal Trajectory Generation and Nonlinear Tracking Control for Multi-rotor UAVs. In *Proceedings of the 2019 18th European Control Conference (ECC), Naples, Italy, 25–28 June 2019*. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
47. Shiller, Z. Off-Line and On-Line Trajectory Planning. In *Motion and Operation Planning of Robotic Systems. Mechanisms and Machine Science*; Springer: Cham, Switzerland, 2015; Volume 29, pp. 29–62. [[Google Scholar](#)]
48. Muñoz, J.; López, B.; Quevedo, F.; Monje, C.A.; Garrido, S.; Moreno, L.E. Multi UAV Coverage Path Planning in Urban Environments. *Sensors* 2021, 21, 7365. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
49. Youn, W.; Ko, H.; Choi, H.S.; Choi, I.H.; Baek, J.-H.; Myung, H. Collision-free Autonomous Navigation of A Small UAV Using Low-cost Sensors in GPS-denied Environments. *Int. J. Control Autom. Syst.* 2021, 19, 953–968. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
50. Chuang, H.-M.; He, D.; Namiki, A. Autonomous Target Tracking of UAV Using High-Speed Visual Feedback. *Appl. Sci.* 2019, 9, 4552. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[Green Version](#)]
51. Causa, F.; Fasano, G. Multiple UAVs trajectory generation and waypoint assignment in urban environment based on DOP maps. *Aerosp. Sci. Technol.* 2021, 110, 106507. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
52. Farid, G.; Mo, H.; Zahoor, M.I.; Liwei, Q. Computationally efficient algorithm to generate a waypoints-based trajectory for a quadrotor UAV. In *Proceedings of the 2018 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Shenyang, China, 9–11 June 2018*; pp. 4414–4419. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

## ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

диссертациялық жұмысқа

Әбдіжәлел Қуаныш Нұрмаханбетұлы

7M06201 – Телекоммуникации

Тақырыбы: Траекториялары мен қозғалыс параметрлері негізінде ұшқышсыз ұшатын аппараттарды ұшуын басқару алгоритімін құру

«Траекториялары мен қозғалыс параметрлері негізінде ұшқышсыз ұшатын аппараттарды ұшуын басқару алгоритімін құру» диссертациялық жұмыста күрделі үш өлшемді ортада ұшқышсыз ұшу аппараттарының қауіпсіздік талаптары мен ұшу шектеулерін қанағаттандыра отырып кеңейтілген жаңа алгоритм құру міндетін орындаған.

1-білімде ұшақсыз ұшу апараты қалыптастыру траекториясын жоспарлау алгоритмдеріне шолу жасалып қазіргі кездегі зерттеліп жатқан жұмыстарға талдаулар жүргізген. 2-бөлімде траекторияның екі түйіні арасындағы байланысты кешенді бағалау үшін қауіп төндіретін күштер мен жолдың ұзындығын қамтитын ұшу функциясын құрып ұшқышсыз ұшу апаратының траекториясын жоспарлау мәселесін шешу үшін жаңа түйіндердің кеңеюін ынталандыру мақсатында ұшу функциясы мен ұшу шектеулеріне математикалық модель құрастырған. 3-бөлімде әзірленген функциялардың негізінде түйінді жаңартудың жаңа алгоритімі құрылған. 4 бөлімде қауіп пен жолдың ұзындығын ескере отырып траекториялары мен қозғалыс параметрлері негізінде ұшқышсыз ұшатын аппараттардың ұшуын басқару алгоритімін Matlab бағыдарламасы ортасында модельдеп талдау жүргізген.

Әбдіжәлел Қуаныш Нұрмаханбетұлы магистрлік жұмысты жазу барысында жетекші нұсқаулығымен өз бетінше жұмыс істеу қабілетін көрсетті. Диссертациялық жұмыс "90/A/ өте жақсы" деп бағаланды, ал магистрант Әбдіжәлел Қуаныш Нұрмаханбетұлы 7M06201 «Телекоммуникациялар» білім беру бағдарламасы бойынша «техника ғылымдарының магистрі» академиялық дәрежесіне сай деп санаймын.



Ғылыми жетекші  
ЭТЖТ кафедрасының профессоры

PhD., докторы

HR Қызметі Хабай Анар

«10» 06 2024 ж.

7M06201 – «Телекоммуникация» мамандығының магистранты

Әбдіжәлел Қуаныш Нұрмаханбетұлы

магистрлік диссертациясына

## СЫН ПІКІР

Тақырыбы: Траекториялары мен қозғалыс параметрлері негізінде ұшқышсыз ұшатын аппараттарды ұшуын басқару алгоритімін құру

### ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Әбдіжәлел Қуаныш Нұрмаханбетұлы магистрлік диссертациясы қазіргі таңдағы өзекті және маңызды тақырыптардың бірі, магистрлік диссертациясы күрделі ортада ұшқышсыз ұшу аппараттарының қауіпсіздік талаптары мен ұшу шектеулерін қанағаттандыра отырып кеңейтілген жаңа алгоритм құру процесін зерттеу қазіргі таңда өзекті болып табылады.

Диссертация авторы қолданыстағы ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) траекториясын жоспарлау алгоритмдерінің жіктеу жүйесіне мұқият талдау жасап, екі түйіні арасындағы траекторияны кешенді бағалап, қауіп төндіретін күштер мен жолдың ұзындығын қамтитын ұшу функциясы құрып, бастапқы нүктеден максатты нүктеге дейінгі аралықтағы оңтайлы траекторияны табуға бағытталған алгоритімін Matlab ортасында модельдеп талдау жасаған.

Бұл диссертациялық жұмыста ұшқышсыз ұшу аппараттарының күрделі тапсырмаларды қауіпсіз орындауға қабілетті болуын қамтамасыз ету үшін траектория жан-жақты қарастырлған. Бұл жаңа түйіндерді ҰҰА қауіпсіздігі жоғары үлгі кеңістігіне дейін кеңейтуге мүмкіндік берген.

Сонымен қатар осы күрделі жағыдайды басқару алгоритімін жоғары қолданбалы мәнге ие болуы үшін осы алгоритімді теориялық жетілдіру және алгоритмнің нақты сынағы бойынша тереңірек зерттеулер жүргізу қажет болуы мүмкін.

### ЖҰМЫС БАҒАСЫ

Қуаныш Нұрмаханбетұлы магистрлік диссертациясы жақсы орындалған және ұшқышсыз ұшатын аппараттарды ұшуын басқару алгоритімін толық құрастрған. Жұмыс барлық талаптарға сай және адамдарға көмектесу үшін қосқан құнды үлесін білдіреді және жоғары бағаға лайық. Жұмыс кәсіби деңгейде орындалды және телекоммуникация саласындағы магистрлік диссертацияларға қойылатын барлық талаптарға сәйкес келеді.

Магистрлік диссертация **өте жақсы** (А, 95%) деп бағаланып, магистрант Қуаныш Нұрмаханбетұлы 7M06201 – Телекоммуникация мамандығы бойынша «техника ғылымдарының магистрі» академиялық дәрежесіне ұсынылады.



• Ф ҚазҰТЗУ 704-22. Рецензия

PhD доктор, ғылым жөніндегі проректор,  
Қазак технология және бизнес университеті,  
қауымдастырылған профессор  
Жамангарин Дусмат Саматұлы



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Әбдіжәлел Қуаныш Нұрмаханбетұлы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Магистерская диссертация

**Название работы:** Траекториялары мен қозғалыс параметрлері негізінде ұшқышсыз ұшатын аппараттарды ұшуын басқару алгоритімін құру

**Научный руководитель:** Сұңғат Марксұлы

**Коэффициент Подобия 1:** 4.3

**Коэффициент Подобия 2:** 0.9

**Микропробелы:** 46

**Знаки из здругих алфавитов:** 2

**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:

19.06.2024  
Дата



Заведующий кафедрой





## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Әбдіжәлел Қуаныш Нұрмаханбетұлы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Магистерская диссертация

**Название работы:** Траекториялары мен қозғалыс параметрлері негізінде ұшқышсыз ұшатын аппараттарды ұшуын басқару алгоритімін құру

**Научный руководитель:** Сұңғат Марқсұлы

**Коэффициент Подобия 1:** 4.3

**Коэффициент Подобия 2:** 0.9

**Микропробелы:** 46

**Знаки из других алфавитов:** 2

**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.

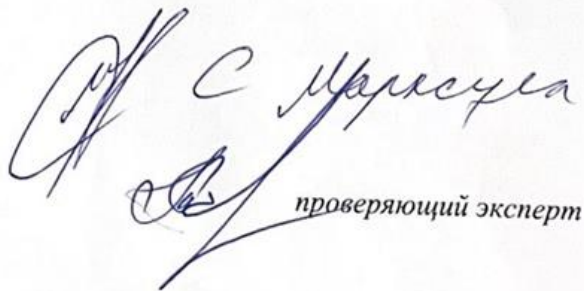
Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрыва 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:

14.06.2024

Дата

  
проверяющий эксперт

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор: Әбдіжәлел Қуаныш Нұрмаханбетұлы**

**Тақырыбы: Траекториялары мен қозғалыс параметрлері негізінде ұшқышсыз ұшатын аппараттарды ұшуын басқару алгоритімін құру**

**Жетекшісі: Сұңғат Марксұлы**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 4.3**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.9**

**Дәйексөз (35): 0.5**

**Әріптерді ауыстыру: 2**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеңістіктер: 46**

**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:**

14.06.2024  
Күні

Кафедра меңгерушісі

