

ӘОЖ 004.021
FTAMP 28.23.27

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2025-22-3-176-185>

¹**Құсайын Д.Р.,**

бакалавр, бағдарламалық жасақтама инженері, ORCID ID:0009-0001-2680-5443,
e-mail: diac.kusain@gmail.com

^{1,2}**Мухамедиев Р.И.,**

и.ғ.д., профессор, қолданбалы машиналық оқыту зертханасының меңгерушісі,
ORCID ID: 0000-0002-3727-043X,
e-mail: ravil.muhamedyev@gmail.com

^{2*}**Еримбетова А.С.,**

PhD, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, жетекші ғылыми қызметкер,
ORCID ID: 0000-0002-2013-1513,
*e-mail: aigerian@mail.ru

²**Кучин Я.И.,**

магистр, аға ғылыми қызметкер, ORCID ID: 0000-0002-5271-9071,
e-mail: ykuchin@mail.ru

²**Сымагулов А.,**

магистр, бағдарламалық жасақтама инженері,
ORCID ID: 0000-0001-9974-3215,
e-mail: asmogulove00@gmail.com

¹Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан

²Ақпараттық және есептеу технологиялары институты,
Алматы қ., Қазақстан

ҰШАҚ МАРШРУТТАРЫН ТИІМДІЛЕУ АЛГОРИТМІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЕНГІЗУ

Аңдатпа

Бұл зерттеу ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) үшін бағытты тиімділеу алгоритмін әзірлеуге және енгізуге бағытталған. Мақсат – қоршаған орта мен ауылшаруашылық салаларында ҰҰА-дан деректерді жинау және талдау процесін автоматтандыру үшін пайдалануға болатын жүйені құру. Жүйе Python, QGroundControl және MAVLink байланыс протоколы арқылы құрастырылған. Әзірленген жүйе қоршаған ортаны бақылау және картаға түсіру тапсырмаларының тиімділігін арттыру мақсатында ҰҰА-ның ұшу бағыттарын тиімділеуге бағытталған. Ол қоршаған орта мен ауыл шаруашылығы жерлерінің жай-күйі туралы нақты және дер кезінде ақпарат алуға мүмкіндік беретін деректерді жинау және талдау процесін автоматтандырады. Жүйені сынау нәтижелері оның нақты жағдайда жоғары тиімділігін көрсетеді. Осы зерттеудің нәтижелері ұсынылған маршрутты тиімділеу алгоритмін әртүрлі экологиялық және ауылшаруашылық жағдайларда сәтті қолдануға болатынын көрсетеді. Сондай-ақ жұмыста жүйені одан әрі дамыту оның мүмкіндіктерін кеңейту және басқа салаларда пайдалану ұсынылады.

Тірек сөздер: ҰҰА, генетикалық алгоритм, қоршаған ортаны бақылау, MAVLink хаттамасы, Scoop.

Кіріспе

Ауыл шаруашылығы, карта жасау, қоршаған ортаны бақылау және ойын-сауық сияқты әртүрлі салаларда ҰҰА пайдалану қарқынды түрде кеңейіп келеді. Сонымен қатар, адамның араласуынсыз кең ауқымды тапсырмаларды орындай алатын автономды жерүсті көліктеріне сұраныс артып келеді. Бұл тенденция әртүрлі ҰҰА мен жердегі құрылғылар арасында тиімді

үйлестіруді және синхрондауды қамтамасыз ету үшін озық басқару жүйелерін әзірлеуді талап етеді [1, 3–5]. Ұшқышсыз ұшу аппараттары мен жерүсті жабдықтарын басқарудың қолданыстағы әдістері көбінесе бұл жүйелерді бөлек бағыттайды, бұл олардың бірге жұмыс істеу мүмкіндігін шектейді. Бүгінде мұндай нәтижелер операторға тәуелділікті дәне автономия деңгейінде еместігін көрсетеді [2, 4, 5]. Бұл факторлар динамикалық және күрделі нақты орталарда жұмыс істегенде осы жүйелердің тиімділігі туралы сұрақтар тудырады [2, 7].

Бұл зерттеудің мақсаты – Python, QGroundControl және MAVLink байланыс хаттамасын пайдалана отырып, ұшқышсыз ұшатын аппараттарды (ҰҰА) және жерүсті көліктерін басқарудың интеграцияланған жүйесін әзірлеу. Ұсынылып отырған жүйе ҰҰА мен жерүсті жабдықтарының автономды өзара әрекеттесуін қамтамасыз етуге, генетикалық алгоритмді пайдаланады. Ол сондай-ақ маршруттарды тиімділеуге және әр түрлі қоршаған орта жағдайларына бейімделуге арналған [1, 3, 4]. Бұл жұмыста келесідей тапсырмаларды орындау қарастырылған: 1. MAVLink хаттамасын зерттеу және оны ұшқышсыз ұшу аппараттарын басқаруда қолдану; 2. ҰҰА басқару платформасы ретінде QGroundControl функционалдығын бағалау; 3. ҰҰА және жерүсті жабдықтардан тұратын кешеннің басқару жүйесінің архитектурасын әзірлеу; 4. Маршрутты тиімділеудің генетикалық алгоритмін жүзеге асыру; 5. Әртүрлі сценарийлерде әзірленген жүйенің тиімділігін сынау және бағалау. Бұл зерттеудің нәтижелері ҰҰА-ны және жерүсті аппараттарын үйлестірілген басқаруды қажет ететін әртүрлі салаларда әлеуетті түрде қолданылуы мүмкін. Олардың қатарында логистика, ауыл шаруашылығы, іздестіру-құтқару жұмыстары және интеллектуалды көлік жүйесін дамыту сияқты салалар бар.

Материалдар мен әдістер

Осы мақсаттарға қол жеткізу үшін зерттеуде келесі материалдар мен әдістер қолданылды: ҰҰА байланыс және басқару үшін негіз ретінде қызмет ететін MAVLink хаттамасын зерделеу және талдау; ұшқышсыз ұшатын аппараттарды басқарудың негізгі құралы ретінде QGroundControl бағдарламалық қамтамасыз ету мүмкіндіктерін талдау, оның ішінде оны орнату және конфигурациялау [9]; негізгі құрамдас бөліктерді және өзара әрекеттесу интерфейстерін сәйкестендіруді қоса алғанда, ҰҰА-ның және жердегі басқару жүйесінің құрылымы мен архитектурасын жобалау; ҰҰА-ның бағыттарын тиімділеудің генетикалық алгоритмін енгізу және конфигурациялау, оның ішінде уақыт пен энергия шығындарын барынша азайту үшін әлеуетті маршруттарды құру және бағалау әдістемесін әзірлеу; әзірленген жүйені әртүрлі жағдайларда сынақтар мен апробациялау, соның ішінде имитациялық және далалық сынақтар, содан кейін жүйенің тиімділігі мен сенімділігін бағалау осы материалдар мен әдістер ҰҰА-ын басқару жүйелерін әзірлеуді және зерттеуді қолдау үшін таңдалды. Әртүрлі қолданбалы аймақтарда автономды өзара әрекеттесу мен маршрутты тиімділеуге қол жеткізу үшін ҰҰА және жерүсті көліктері қоршаған орта мен ауылшаруашылық мониторингін жеңілдетуге бағытталған ұшқышсыз және жерүсті көлік құралдарын басқару жобасы үшін әртүрлі құралдар мен әдістемелер таңдалды. Олардың әрқайсысы бірегей және біздің мақсаттарымызға жетуге үлес қосады [6]:

1. QGroundControl: Бұл ұшқышсыз ұшуларды жоспарлауға арналған үлкен карта сияқты. Оның пайдалану оңай түймелері бар, дрондардың бірнеше түрін қолдайды және нақты уақытта дрондарды басқаруға мүмкіндік беретін MAVLink протоколын пайдаланады.

2. Python: Бұл жобада қолданатын негізгі бағдарламалау тілі. Өте қарапайым, икемді және есептеулер мен деректерді талдау үшін көптеген кітапханаларды қамтиды. Python көмегімен деректер туралы ғылым бағдарламаларын оңай жаза алуға және интеллектуалды алгоритмдер жасай алуға болады.

3. Numpy және Pandas: Бұл кітапханалар деректермен жұмыс істеуге көмектеседі. Numpy сандардың үлкен массивтерімен жұмыс істеу үшін жақсы, ал Pandas деректермен манипуляциялауды және уақыт серияларын талдауды жеңілдетеді.

4. Django: Бұл веб-сайттарды жасауға арналған құрылым. Оны жобаны басқару жүйесін құру және деректерді компьютер экранында көрсету үшін қолданамыз. Django қауіпсіз және масштабталатын веб-қосымшаларды жылдам әзірлеуге мүмкіндік береді [10].

5. DEAP (Distributed Evolutionary Algorithm Package): Бұл ҰҰА үшін тиімді маршруттарды табу сияқты күрделі тиімділеу мәселелерін шешуге көмектесетін генетикалық алгоритмдерді құру құралдарын ұсынатын кітапхана. Кітапхана эволюциялық алгоритмдермен жұмыс істеуге арналған және есептердің кең ауқымын шешу үшін пайдаланылуы мүмкін.

6. Scoop: Бұл кітапхана Python-да күрделі есептеулерді жылдамдату үшін пайдаланылады, бұл ҰҰА үшін маршруттарды тиімділеу сияқты уақытты қажет ететін мәселелерді шешуді жеңілдетеді.

7. Random: Кездейсоқ модуль генетикалық алгоритмдердің жұмыс істеуі үшін қажет кездейсоқ сандарды жасайды.

8. JSON (JavaScript Object Notation): JSON әртүрлі жүйе құрамдастары арасында деректер алмасу үшін пайдаланылады, бұл деректерді тасымалдауды және алуды жеңілдетеді.

9. SQLite: Бұл жеңіл дерекқор Python қолдайтындықтан және деректерді сақтау мен басқаруда жақсы өнімділікті қамтамасыз ететіндіктен таңдалды. [13].

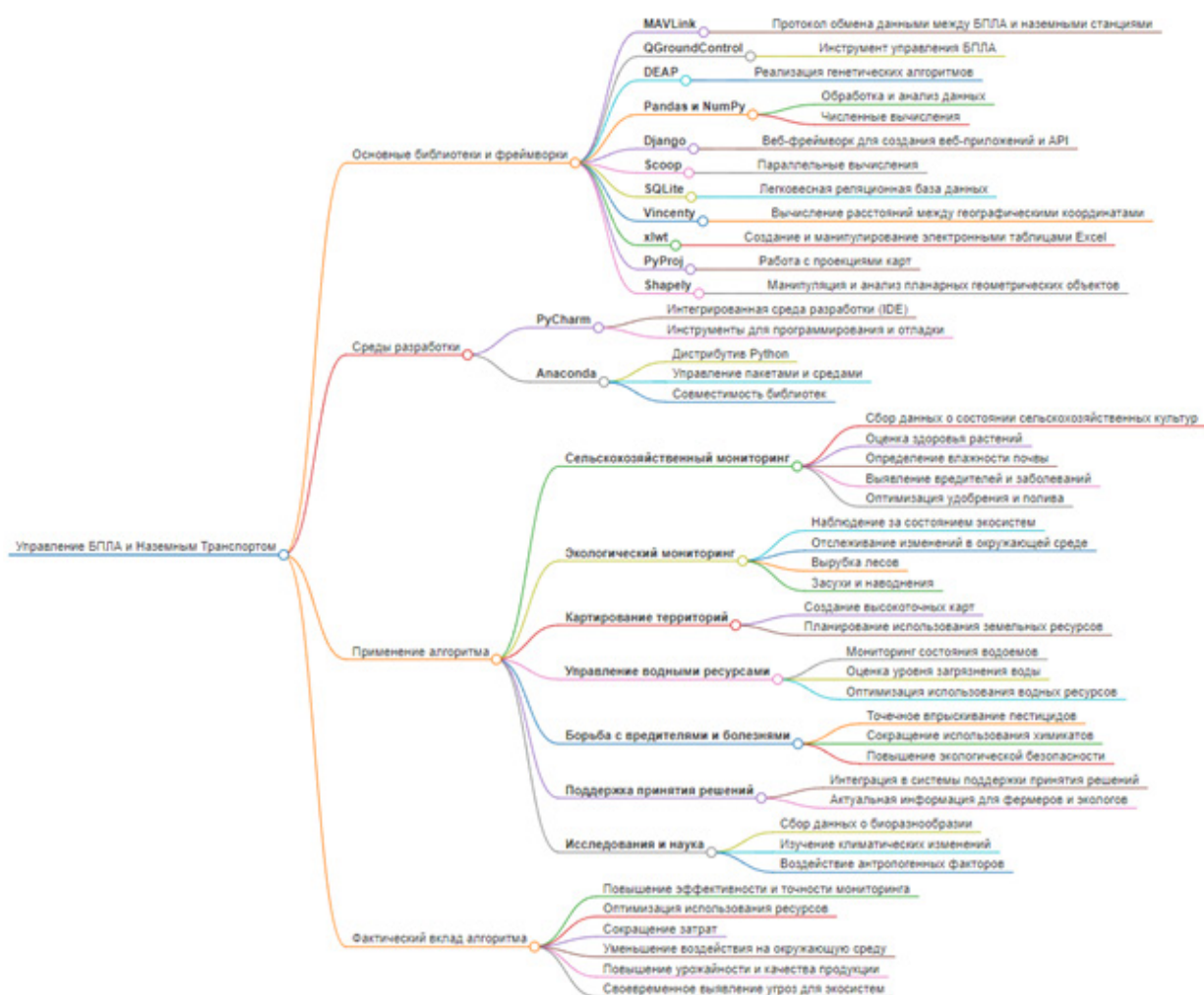
Бұл құралдар мен тәсілдердің барлығы жобаны қуатты және икемді ету үшін біріктірілген. Олар деректерді жинауға, өңдеуге және талдауға, сондай-ақ ұшқышсыз ұшу аппараттарының бағыттарын тиімділеуге көмектеседі. QGroundControl-дің MAVLink-пен интеграциясы миссияларды сәтті аяқтау үшін қажетті ҰҰА-ны сенімді басқаруды және нақты уақыт режимінде бақылауды қамтамасыз етеді. Басқару жүйесі бірнеше құрамдас бөліктерден тұрады: ҰҰА-ны басқару модулі, жердегі жабдықты басқару модулі және маршрутты тиімділеу модулі. Бұл компоненттер жүйенің әртүрлі элементтерінің әрекеттерін үйлестіреді, оның автономиясы мен тиімділігін арттырады. Бұл жобада жүйені ұшуды жоспарлау, нақты уақыт режимінде ұшуды бақылау және ҰҰА-ны қашықтан басқару мүмкіндігін толығымен пайдалану үшін біріктіретін боламыз. Маршрутты тиімділеу алгоритмі генетикалық алгоритмдерге негізделген. Сондай-ақ параметрлер анықталады, шешімдердің бастапқы жиынын генерацияланады, популяцияға кроссовер және мутация операторлары қолданылады, содан кейін жиынтықтан ең жақсы шешімдер таңдалынады. Бұл процесс тиімді жол табылғанша қайталанады [9].

1. Ортаны импорттау және орнату. Бірінші қадам генетикалық алгоритмдер мен параллельді есептеулер үшін қажетті кітапханалар мен модульдерді қосуды қоса алғанда, жұмыс ортасын дайындауды қамтиды. Содан кейін Django құрылымы дерекқордан деректерге қол жеткізу үшін конфигурацияланады [10]. Бұл алгоритмде қолданылатын миссиялар мен дрондар туралы ақпарат алу үшін маңызды. Орта Django үлгілеріне қатынасты қамтамасыз ету және дерекқор нысандарымен тікелей жұмыс істеу үшін конфигурацияланған.

2. Пәрмен жолы аргументін талдау. Argparse кітапханасы пәрмен жолы параметрлерін талдау үшін пайдаланылады, яғни олар: міндет идентификаторы, популяция өлшемі, міндетті аяқтаудың ең көп уақыты, рұқсат етілген орындау уақыты, максималды жылдамдық, ұрпақтар саны, мутация ықтималдығы, нәтижелерді сақтау үшін файл атауы.

3. Бағалау функциясы. Бағалау сатысы қойылған мақсаттарға жетудегі әрбір жеке шешімнің тиімділігін бағалайды. Бұл процесс бірнеше қадамдарды қамтиды: таңдалған адам негізінде миссияны орындау үшін ұшқышсыз ұшақтарды таңдау, берілген маршруттау функцияларын пайдалана отырып, бағытты есептеу, жалпы қашықтықты, ұшу уақытын, ұшу құнын және көрсетілген шектеулерден кез келген ауытқулар үшін айыппұлдарды анықтау.

4. Арақашықтық (distance): ұшқышсыз ұшуды басқару нүктелері арасындағы барлық қашықтықтардың қосындысы.



Сурет 1 – Зерттеудің негізгі құрамдас бөліктері радиалды түрде алшақтайтын жоба құрылымы

Әрбір дрон үшін оның жүріп өткен жолы Евклидтік қашықтық формуласы арқылы есептеледі:

$$distance = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(lat_{i+1} - lat_i)^2 + (lon_{i+1} - lon_i)^2}$$

Ұшу уақыты (time): дронның максималды жылдамдығы мен қашықтығына байланысты. Дронның ұшу уақыты максималды жылдамдық пен жүріп өткен қашықтыққа байланысты есептеледі:

$$time = \frac{distance}{max_speed}$$

Ұшу құны (drone_price): дронды басқару құны мен оператордың жалақысын қамтиды. Ұшу құнына дронды басқару құны мен операторлардың жалақысы кіреді. Шығындарды есептеу формуласы:

$$drone_price = distance \times cost_per_km + time \times hourly_cost$$

Уақытты асырғаны үшін айыппұл (penalty): ұшу уақыты рұқсат етілген шектен асып кетсе қосылады. Ұшу уақыты рұқсат етілген уақыттан асып кетсе, айыппұл салынады. Айыппұлды есептеу формуласы:

$$penalty = \begin{cases} 0 \\ (time - borderline_time) \times penalty_rate \end{cases}$$

егер уақыт ≤ шекаралық_уақыт

егер уақыт > шекаралық_уақыт

5. Мутация функциясы. Мутация функциясы популяциядағы әртүрлілікті арттырудың белгілі бір ықтималдығы бар әрбір жеке адамның қасиеттерін өзгертеді. Ол мыналарды өзгерте алады:

- ♦ дрон қозғалысының бағыты;
- ♦ бастапқы нүкте;
- ♦ дрондардың тізімі;
- ♦ көлік қозғалыс нүктелері.

Бұл өзгерістер кездейсоқ түрде жасалады, бұл алгоритмге әртүрлі ықтимал шешімдерді зерттеуге және тиімділерін табуға мүмкіндік береді.

6. Генетикалық алгоритмді инициализациялау. Бұл кезеңде миссия деректері дерекқордан дайындалады. Содан кейін генетикалық алгоритмнің компоненттері анықталады:

- ♦ Фитнес құндылықтарын және индивидуумдарды сақтау үшін кластар құрылады.
- ♦ Функциялар жеке тұлғалардың атрибуттары үшін бастапқы мәндерді жасау үшін анықталған.

♦ Алгоритмде пайдалану үшін бағалау, кроссовер, мутация және таңдау функциялары жазылады.

7. Орындау функциясы. Бұл функция генетикалық алгоритмді іске қосады:

- ♦ Бастапқы популяция инициализацияланады.
- ♦ Әрбір ұрпақта қиылысу және мутация операторларын қолдану арқылы жаңа ұрпақтар жасалады.
- ♦ ұрпақтар бағалау функциясы арқылы бағаланады.
- ♦ келесі ұрпақ үшін ең жақсы шешімдер таңдалады.
- ♦ барлық ұрпақ нәтижелерін одан әрі талдау мақсатында файлға жазу жүргізіледі.

8. Негізгі блок. Бұл блок сценарийді тікелей іске қосқан кезде орындау функциясын іске қосады. Ол инициализациядан бастап нәтижелерді жазуға дейінгі бүкіл процестің орындалуын қамтамасыз етеді.

9. Пакеттің орындалуы. Бірнеше миссияларды өңдеу үшін берілген параметрлермен әрбір тапсырма үшін алгоритмді іске қосатын цикл пайдаланылады. Бұл әртүрлі деректер жиындары мен шарттары үшін алгоритмнің орындалуын автоматтандыруға мүмкіндік береді, бұл процесті тиімдірек және масштабтауға мүмкіндік береді.

Нәтижелер

Бізге белгілі бір аумақты зерттеуді қажет ететін бірнеше дрондарды қамтитын миссия бар делік. Генетикалық алгоритмнің мақсаты - жалпы шығындарды, соның ішінде ұшқышсыз ұшу құнын, оператордың жалақысын және белгіленген уақыттан асып кеткені үшін айыппұлдарды азайту. Алгоритм әлеуетті шешімдердің кездейсоқ құрылған жиынтығынан басталады және оларды қиылысу және мутация процестері арқылы біртіндеп жетілдіреді. Әрбір итерацияда жаңа итерацияларды жасау үшін ең тиімді шешімдер таңдалады, бұл алгоритмге тапсырманы орындау үшін тиімді жолдарды және ресурстарды бөлуді біртіндеп анықтауға мүмкіндік береді [9].

Бұл генетикалық алгоритм қоршаған ортаны бақылау жүйесінде ҰҰА бағдарлау және жоспарлау, нақты мәселелерді шешу үшін тиімділеу әдістерін қолдануды көрсетеді. Негізгі

тұжырымдама генетикалық алгоритм операциялары арқылы потенциалды шешімдерді интерактивті түрде жақсарту, соның ішінде бағалау, қиылысу, мутация және таңдау.



Сурет 2 – Тиімділеуге дейінгі және одан кейінгі ұшу миссиясы

Берілген 2-сурет негізінде дрон ұшу маршруттарын тиімділеу алдындағы және кейінгі салыстыруды келесі кесте түрінде сипаттайық:

Кесте 1 – Дрон ұшу маршруттарының кестелік талдауы.

Сипаттамасы	Тиімділеуге дейін	Тиімділеуден кейін
Ұшу бағытының сипаты	Әртүрлі бұрыштағы хаотикалық қисық жолақтар; бағытталуы кездейсоқ.	Бір бағыттағы параллель түзулі жолақтар жүйелі, бірдей бағытталған.
Қамтылған аумақ пайызы	Орташа (~80%) – кейбір аймақтар қамтылмаған.	Жоғары (~100%) – барлық аумақ толық қамтылған.
Жолақтар құрылымы мен параллельдігі	Әр жолақ әртүрлі бұрышта орналасқан, параллельдігі жоқ.	Барлық жолақ бір-біріне параллель, тең аралықты түзулі жолақтар.
Қайталанатын ұшу траекторияларының болуы	Иә – кейбір жолақтар қабаттасып немесе екі рет өтеді.	Жоқ – әр аймақ тек бір рет қамтылған, қайталанулар жоқ.
Ұшу тиімділігі (төмен/жоғары)	Төмен – көп қайталаулар мен қосымша бұрылыстар бар.	Жоғары – қайталану жоқ, бұрылыс азайған, тиімді маршрут.

Сол жақ суретте дронның ұшу траекториялары оңтайландыруға дейінгі кезеңде көрсетілген. Бұл жолақтар бір-біріне әр түрлі бұрышта бағытталып, ретсіз орналасқан: олардың бірқатары қиылысып, кейбір учаскелер екі рет қамтылып тұр. Нәтижесінде ұшу жолы күрделі әрі тиімді емес болып тұр, бірнеше аймақ бірнеше рет қамтылып, ал кейбірі мүлде зерттелмей қалған. Оң жақ суретте - оңтайландырылған маршрут. Мұнда ұшу жолақтары бір бағытта біркелкі параллель жайғасқан: дрон алдымен аймақ шекарасын айналып өтеді, сосын ішкі ауданды жан-жақты параллель жолақтармен қамтиды. оң жақтағы маршрут оптимизацияның нәтижесі ретінде құрылып, дронның ұшу тиімділігін айтарлықтай жақсартқан.



Сурет 3 – Дрон маршрутының тиімділеуге дейінгі және кейінгі көрсеткіштері

Диаграмма нәтижесі көрсеткендей, маршрутты оңтайландыру дрон ұшу тиімділігін айтарлықтай арттырды: қамтылу аумағы ұлғайып, қайталанған ұшулар саны мен жалпы маршрут ұзындығы азайды, бұл өз кезегінде уақыт пен энергия ресурстарын үнемдеуге мүмкіндік берді.

Талқылау

Зерттеу көрсеткендей, бұл жүйе дрондар тобы үшін маршруттарды өңдеу және тиімділеу бойынша тамаша жұмыс істейді. Бұл жүйені кез келген әртүрлі салаларда қолдануға болады. Мысалы атап өтетін болсақ:

Ауыл шаруашылығы: Жүйе егістіктердің жағдайын бақылауға және техника мен ресурстарды тиімді пайдалануға көмектеседі, бұл [2, 3] зерттеулермен расталған.

Қоршаған ортаның мониторингі: Жүйе табиғатты бақылайды және [1] көрсетілгендей экожүйедегі өзгерістерді бақылайды.

Іздеу және құтқару операциялары: Жүйе әрекеттерді үйлестіреді және ресурстарды таратады, бұл үлкен аумақтарда дұрыс орындарды жылдам табуға мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында бұл жүйенің қаншалықты жақсы жұмыс істейтінін тексеру үшін көптеген зерттеулер жүргізілді. Нәтижелер жүйенің дұрыс жұмыс істейтіні және тиімді екенін, әртүрлі жағдайларда жұмыс істей алатынын көрсетті. Басқа жүйелермен салыстырғанда бұл жүйе өнімді, икемді және ауқымды болып шықты.

Осылайша, дрондар мен жерүсті көліктер тобының бағыттарын тиімділеуге арналған бұл жүйе өзінің жоғары тиімділігін және әртүрлі салаларда қолдану мүмкіндігін көрсетті. Заманауи технологиялар мен құралдар арқылы өте қабілетті үлкен жүйені құруға мүмкіндік бар екеніне көз жеткізе алдық. Болашақта бұл жүйені жетілдіруді, оны одан да жақсырақ және сенімдірек ету үшін жаңа әдістер мен технологияларды зерттеуді жоспарланып отыр. Бұл жақсартулар жүйенің мүмкіндіктерін кеңейтіп, оның әртүрлі салалардағы практикалық өзектілігін арттырады.

Қорытынды

Бұл жұмыста жерүсті көліктерін пайдалана отырып, ҰҰА тобының маршруттарын оңтайландыру жүйесі әзірленді. Жұмыстың негізгі мақсаты – ауыл шаруашылығы жұмыстары

мен қоршаған ортаны бақылау сияқты түрлі тапсырмаларды орындау үшін бірнеше дрон мен жерүсті көліктердің іс-әрекеттерін тиімді үйлестіретін жүйе құру болды.

Әзірлеу барысында бірнеше маңызды мәселелер шешілді: MAVLink хаттамасы зерттелді, QGroundControl мүмкіндіктері талданды, басқару жүйесінің архитектурасы құрылды, маршруттарды оңтайландырудың генетикалық алгоритмі енгізілді, жүйе әртүрлі жағдайларда сыналды [8].

Маршруттау алгоритмін әзірлеу негізгі міндеттердің бірі болды. Ең тиімді жолдарды табуға көмектесетін генетикалық алгоритмдер қолданылды. Ол үшін DEAP және SCOOP кітапханалары пайдаланылды. Нәтижесінде дрондар мен жерүсті көліктердің әрекеттерін тиімді үйлестіретін, ең жоғары нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік беретін маршруттарды оңтайландыру алгоритмі жасалды.

QGroundControl бағдарламасымен өзара әрекеттесу ұшқышсыз басқару жүйесі үшін маңызды қадам болды. QGroundControl миссияны жоспарлауға, ұшуды бақылауға және ұшқышсыз басқаруға арналған пайдаланушыға ыңғайлы GUI ұсынады. MAVLink хаттамасы сенімді деректер алмасу үшін қолданылды. Ол ұшқышсыз ұшақтар мен жерүсті станциялары арасында қауіпсіз әрі тұрақты байланысты қамтамасыз етті. Бұл жүйені өзгерістерге бейімделетін етіп құруға мүмкіндік берді.

Жүйені дамыту үшін заманауи технологиялық стек пайдаланылды. Ол әртүрлі кітапханалар мен құралдарды қамтыды. Атап айтқанда, PyCharm және Anaconda орталары әзірлеу және сынау процесін жеңілдетті. Numpy мен Pandas кітапханалары деректерді талдау және өңдеу үшін пайдаланылды. Сонымен қатар, API кітапханасы құрылды [10]. Нақты географиялық координаттарды есептеу үшін ruproj, vincenty және shapely кітапханалары қолданылды. Бұл дрондарды сәтті бағыттау және үйлестіру үшін маңызды болды.

Қорытындылай келе, бұл жоба тұрақты дамуға және табиғи ресурстарды тиімді пайдалануға жәрдемдесіп, ауыл шаруашылығы технологиялары мен экологиялық мониторингті дамытуға айтарлықтай үлес қоса алады.

Қаржыландыру туралы ақпарат. Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен №AP23488745 «Төмен биіктіктегі ұшқышсыз ұшу платформаларын қолдана отырып, топырақтың тұздылығын жедел бағалау», №BR21881908 «Қала агломерациясын экологиялық қолдау кешені» жүзеге асырылды.

ӘДЕБИЕТТЕР

1 Mangewa, Lazaro J., Patrick, A. Ndakidemi, and Linus K. Munishi. Integrating UAV technology in an ecological monitoring system for community wildlife management areas in Tanzania. *Sustainability*, 11 (21), 6116 (2019). URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/21/6116>.

2 Zhang, Haidong, et al. A review of unmanned aerial vehicle low-altitude remote sensing (UAV-LARS) use in agricultural monitoring in China. *Remote Sensing*, 13 (6), 1221 (2021). URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/6/1221>.

3 Mabhaudhi, T., Chibarabada, T.P., Modi, A.T. Prospects of improving agricultural and water productivity through unmanned aerial vehicles (UAVs). *Agriculture*, 10 (7), 256 (2020). URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/7/256>.

4 Xu, Y., Lan, Y., Zheng, X., & Zhang, H. Progress in agricultural unmanned aerial vehicles (UAVs) applied in China and prospects for Poland. *Agriculture*, 12 (3), 397 (2022). URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/3/397>.

5 Toscano, F., Fiorentino, C., Capece, N., Erra, U., Travascia, D., Scopa, A., ... & D'Antonio, P. Unmanned Aerial Vehicle for Precision Agriculture: A Review. *IEEE Access* (2024). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10531194>.

6 Yuan, S., Li, Y., Bao, F., Xu, H., Yang, Y., Yan, Q., ... & Lin, J. Marine environmental monitoring with unmanned vehicle platforms: Present applications and future prospects. *Science of The Total Environment*, 858, 159741 (2023). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722068413>

- 7 Motlagh, N.H., Kortoçi, P., Su, X., Lovén, L., Hoel, H.K., Haugsvær, S.B., ... & Tarkoma, S. Unmanned aerial vehicles for air pollution monitoring: A survey. IEEE Internet of Things Journal (2023). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10167736>
- 8 QGroundControl. URL: <https://qgroundcontrol.com> (access date: 05.04.2025).
- 9 SwarMown. URL: <https://github.com/uavkz/SwarMown/tree/dependabot/pip/django-3.2.24/mainapp> (access date: 18.03.2025).
- 10 Django. URL: <https://github.com/django/django> (access date: 12.04.2025).
- 11 DEAP. URL: <https://github.com/DEAP/deap> (access date: 05.04.2025).
- 12 SCOOP. URL: <https://github.com/ScoopInstaller/Scoop> (access date: 18.03.2025).
- 13 Argparse. URL: <https://github.com/python/cpython/blob/3.12/Lib/argparse.py> (access date: 15.03.2025).

¹Кусайын Д.,

бакалавр, инженер-программист, ORCID ID: 0009-0001-2680-5443,
e-mail: diac.kusain@gmail.com

^{1,2}Мухамедиев Р.И.,

д.и.н., профессор, заведующий лабораторией прикладного машинного обучения,
ORCID ID: 0000-0002-3727-043X,
e-mail: ravil.muhamedyev@gmail.com

^{2*}Еримбетова А.С.,

PhD, к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник, ORCID ID: 0000-0002-2013-1513,
*e-mail: aigerian@mail.ru

²Кучин Я.И.,

магистр, старший научный сотрудник, ORCID ID: 0000-0002-5271-9071,
e-mail: ykuchin@mail.ru

²Сымагулов А.,

магистр, инженер-программист, ORCID ID: 0000-0001-9974-3215,
e-mail: asmogulove00@gmail.com

¹Satbayev University, г. Алматы, Казахстан

²Институт информационных и вычислительных технологий,
г. Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТОВ БПЛА

Аннотация

Данное исследование посвящено разработке и внедрению алгоритма оптимизации маршрута для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Цель состоит в том, чтобы создать систему, которая может быть использована для автоматизации процесса сбора и анализа данных с беспилотных летательных аппаратов в экологических и сельскохозяйственных приложениях. Система построена с использованием Python, QGroundControl и коммуникационного протокола MAVLink. Разработанная система направлена на оптимизацию маршрутов полета беспилотных летательных аппаратов с целью повышения эффективности задач экологического мониторинга и картографирования. Она автоматизирует процесс сбора и анализа данных, позволяя получать более точную и своевременную информацию о состоянии окружающей среды и сельскохозяйственных угодий. Результаты тестирования системы демонстрируют ее высокую эффективность в реальных условиях. Выводы из этого исследования позволяют предположить, что предложенный алгоритм оптимизации маршрутов может быть успешно применен в различных экологических и сельскохозяйственных ситуациях. Предлагается дальнейшее развитие системы для расширения ее возможностей и использования в других областях.

Ключевые слова: БПЛА, генетический алгоритм, мониторинг окружающей среды, протокол MAVLink, Scoop.

¹Kusain D.,

Bachelor, Software Engineer, ORCID ID: 0009-0001-2680-5443,

e-mail: diac.kusain@gmail.com

^{1,2*}Mukhamediev R.I.,

Dr.Eng.Sc., Professor, Head of the Applied Machine Learning Laboratory,

ORCID ID: 0000-0002-3727-043X,

e-mail: ravil.muhamedyev@gmail.com

^{2*}Yerimbetova A.S.,

PhD, Cand.Tech.Sc., Associate Professor, Leading Researcher,

ORCID ID: 0000-0002-2013-1513,

*e-mail: aigerian@mail.ru

²Kuchin Y.I.,

Master, Senior Researcher, ORCID ID: 0000-0002-5271-9071,

e-mail: ykuchin@mail.ru

²Symagulov A.,

Master, Software Engineer, ORCID ID: 0000-0001-9974-3215,

e-mail: asmogulove00@gmail.com

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Information and Computational Technologies,
Almaty, Kazakhstan

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A ROUTE OPTIMIZATION ALGORITHM FOR UAVS

Abstract

This study focuses on the development and implementation of a route optimization algorithm for unmanned aerial vehicles (UAVs). The goal is to create a system that can be used to automate the process of collecting and analyzing data from UAVs in environmental and agricultural applications. The system is built using Python, QGroundControl, and the MAVLink communication protocol. The developed system aims to optimize UAV routes in order to improve the efficiency of environmental monitoring and mapping tasks. It automates the process of data collection and analysis, allowing for more accurate and timely information about the state of the environment and agricultural land. Results from testing the system demonstrate its high level of effectiveness in real-world scenarios. The conclusions from this study suggest that the proposed route optimization algorithm can be successfully applied to various environmental and agricultural use cases. Further development of the system is proposed to enhance its capabilities and expand its use in other areas.

Keywords: UAV, genetic algorithm, environmental monitoring, MAVLink protocol, Scoop.

Мақаланың редакцияға түскен күні: 30.01.2025