

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Метод маршрутної корекції рою drones

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи СПМ-22-3
Черевко В.Г.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системне програмування
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Піскарьов О.М.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

(підпис)

Коваленко А.А.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-наукова _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Системне програмування _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту _____ Черевку Володимиру Геннадійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод маршрутної корекції рою drones

затверджена наказом по університету від “ 01 ” квітня 2024 р. № 257Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15 червня 2024р.

3. Вхідні дані до роботи 1) провести аналіз роботи датчика-доплерівського вимірювача швидкості drone; 2) провести дослідження методу Савельєва - Козко; 3) провести аналіз інерційної навігаційної підсистеми drone; 4) провести аналіз супутникових навігаційних систем; 5) провести аналіз кореляційно-екстремальних систем.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

1) огляд літератури за темою роботи;

2) аналіз предметної області;

3) вибір та обґрунтування методики дослідження;

4) проведення експериментальних досліджень;

5) висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____

Слайд-презентація – 23 слайди

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою роботи	02.04.24 - 08.04. 24	
2	Вибір та обґрунтування методики дослідження	09.04.24 - 16.04.24	
3	Вибір інструментальних засобів	17.04.24 - 22.04.24	
4	Розробка моделей протоколів	23.04.24 - 06.05.24	
5	Проведення експериментів	07.05.24 - 23.05.24	
6	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	24.05.24-03.06.24	
7	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	04.06.24- 07.06.24	
8	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	08.06.24- 12.06.24	

Дата видачі завдання 01 квітня 2024 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Лебедєв О.Г.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 65 с., 30 рис., 1 дод., 14 джерел.

УПРАВЛІННЯ РУХОМ, МЕТОД САВЕЛЬЄВА-КОЗКО, АЛГОРИТМ, SWARM-DRONES, ФІЗИЧНЕ НЕОРГАНІЗОВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження методу Козко для розробки на його основі алгоритму маршрутної корекції польоту swarm-drone.

У ході виконання кваліфікаційної роботи досліджується можливість застосування методу Козко, на базі якого розроблено алгоритм маршрутної корекції польоту swarm-drone. Автоматичні системи цього типу можуть реалізувати різні алгоритми роботи. Так, автоматичне управління рухом swarm-drones по карті заданого курсу може бути організовано безперервно на всій траєкторії руху. У цьому не потрібна карта місцевості всього маршруту, лише карта місцевості у районах корекції. Система, що реалізує цю обробку, розташовується на верхньому рівні ієрархічної системи керування drone і називається кореляційною. За допомогою обчислювальних пристроїв визначаються лінійні та кутові неузгодженості зображень еталонного та поточного, що використовуються потім для управління swarm-drones.

ABSTRACT

Master's thesis: 65 pages, 30 figures, 1 appendices, 14 sources.

TRAFFIC CONTROL, SAVELIEV-KOZKO METHOD, ALGORITHM,
SWARM-DRONES, PHYSICAL DISORGANIZED ENVIRONMENT

The purpose of the qualification work is to study the Kozko method to develop, on its basis, a swarm-drone flight route correction algorithm.

During the qualification work, the possibility of using the Kozko method based on the swarm-drone flight route correction algorithm is being investigated. Automatic systems of this type can implement different operating algorithms. Yes, automatic control of the movement of swarm-drones according to a map of a given course can be organized continuously along the entire trajectory of movement. In this case, a terrain map of the entire route is not required, but only a terrain map in the correction areas. The system that implements this processing is located at the top level of the hierarchical drone control system and is called correlation. Using computing devices, linear and angular inconsistencies between reference and current images are determined, which are then used to control swarm-drones.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП	8
1 ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ЄДИНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ DRONE	10
1.1 Сучасні типи drones	10
1.2 Огляд підсистем drone	14
1.2.1 Аналіз роботи датчика доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу drone.....	14
1.2.2 Аналіз інерційної навігаційної підсистеми drone.....	18
1.3 Аналіз супутникових навігаційних систем	23
1.4 Аналіз похибок супутникових навігаційних систем	27
2 МАРШРУТНА КОРЕКЦІЯ SWARM-DRONES	30
2.1 Аналіз геофізичних полів, що використовуються при функціонуванні системи корекції drone.....	33
2.2 Оцінювання похибки роботи інерційної навігаційної підсистеми drone.....	37
3 ПРОВЕДЕННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МАРШРУТНОЇ КОРЕКЦІЇ SWARM-DRONES.....	41
ВИСНОВКИ.....	50
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	51
ДОДАТОК А ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	54

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

БІНП – безплатформні інерційні навігаційні підсистеми

ГА – генетичний алгоритм

ГСП – гіростабілізована платформа

ЕЗ – еталонне зображення

ІНП – інерційна навігаційна підсистема

ПНП – платформні інерційні навігаційні підсистеми

ПС – підсистема стабілізації

ВСТУП

В даний час вирішення завдань моніторингу physical unorganized environment, доставки корисного навантаження у задану точку та інші складні завдання здійснюється за допомогою застосування платформи «Swarm-bot» - system. Drones, що входять до складу такої платформи, здійснюють політ по рельєфу місцевості. При управлінні такими drones доводиться вирішувати ряд складних завдань через високі вимоги до точності управління. Підсистеми керування drone виробляють сигнали керування на основі вимірювальної інформації, отриманої від різних датчиків. Одна з таких підсистем – навігаційна підсистема drone, яка має похибки під час роботи і, для підвищення точності роботи, її поєднують з іншими підсистемами в єдину навігаційну систему – ЄНС drone. Як правило, основою в єдиній навігаційній системі drone є інерційна навігаційна підсистема (ІНП), а в якості зовнішньої по відношенню до інерційної навігаційної підсистеми використовують:

- супутникову навігаційну систему – GPS;
- різноманітні радіолокаційні системи – РЛС.

Вимірювальні сигнали цих підсистем мають похибки, які зумовлені конструктивними особливостями та умовами функціонування drones, зокрема пасивними перешкодами. Найбільш поширена схема алгоритмічної корекції навігаційних підсистем та єдиної навігаційної системи drone передбачає спільну обробку сигналів від інерційної навігаційної підсистеми drone та зовнішнього датчика за допомогою алгоритму оцінювання. Алгоритми оцінювання застосовують для компенсації похибок у вихідному сигналі єдиної навігаційної системи drone. Точність алгоритмічної корекції великою мірою залежить від характеристик інерційної навігаційної підсистеми та зовнішніх датчиків навігаційної інформації, від достовірності апріорної інформації про об'єкт оцінювання, його стохастичних

характеристиках. Алгоритмічне забезпечення високоточної єдиної системи навігації drone включає нелінійні алгоритми оцінювання, зокрема нелінійний фільтр Калмана. За відсутності достовірної інформації про модель процесу, що оцінюється, точність нелінійного фільтра Калмана істотно знижується, тому застосовуються адаптивні модифікації лінійного фільтра Калмана.

На сьогоднішній день дослідження кореляційно-екстримальних методів для розробки на їх основі алгоритмів маршрутної корекції drone є актуальним науковим завданням при розробці високоточних drones.

1 ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ЄДИНОЇ НАВИГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ DRONE

1.1 Сучасні типи drones

На сучасному етапі розвитку техніки розширюється використання drones, що входять до складу однієї платформи «Swarm-bot» - system (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Приклад платформи «Swarm-bot» - system

Ці drones мають різні:

- класи;
- конструкції;
- цільове призначення.

Одне з американських дослідницьких агенцій, ще у квітні 2005 року провело успішні випробування платформи «Swarm-bot» - system, до якої

входили три високоточні drones. В рамках цих досліджень було виконано кілька групових польотів високоточних drones, які виконали поставлене перед ними завдання по дослідженню physical unorganized environment. Такі drones здатні здійснювати різноманітні розвідувальні місії physical unorganized environment протягом однієї години. Управління drones реалізується двома операторами та мобільним обладнанням. Багато країн світу на сьогоднішній день стали проводити дослідницькі роботи зі створення високоточних drones (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Приклад високоточного drones

В даний час існують різні класифікації drones, які ранжуються за такими критеріями:

- масі drone;
- часу польоту drone без висадки;
- висотою польоту drone;
- способу реалізації керування drone;
- цільовим призначенням drone;

- вартістю.

Широко використовуються автономні drones, наприклад:

- телекеровані;
- радіокеровані;
- здійснюючі польоти за заздалегідь розробленою програмою та ін.

Існують drones:

- одноразового використання;
- багаторазового використання.

Наприкінці 90-х років у США був створений високоточний drone Predator. На основі конструкції та ідей, які були використані при його створенні, розроблені різноманітні модифікації цього drone (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Приклад високоточного drone Predator

Стрімкий розвиток технологій у всіх сферах призвів до створення нових концептуальних напрямків використання drones:

- синтезу перспективних конструкторських рішень;
- шляхів подальшого вдосконалення;
- синтезу нових науково-технічних комплексів дронів;
- створенню перспективних видів систем управління;
- вимірювальних комплексів та технологій застосування drones

вузькоспеціалізованого та багатоцільового характеру.

Сфери застосування drones стають все більш різноманітними. В даний час drones знайшли широке застосування в:

- інтересах силових структур;
- для контролю прикордонних та важкодоступних територій та об'єктів;
- при організації екологічного моніторингу;
- боротьбі за життя людей та запобіганні катастрофам.

США активно застосовують drones для контролю наркотрафіку у прикордонних областях, у боротьбі з нелегальною імміграцією (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Приклад роботи високоточного drone

Також активно ведеться розробка створення надзвукових drones з великою дальністю польоту (рисунок 1.5). За допомогою drones вирішуються завдання розвідувального характеру physical unorganized environment. Активно ведуться дослідження з розвитку drones у США, що передбачають створення систем, призначених для виявлення людей на дистанції в кілька кілометрів.

Такі drones повинні здійснювати безшумні та тривалі польоти, перебувати в повітрі протягом кількох тижнів без проміжних посадок. Приклад наведено на рисунку 1.6.



Рисунок 1.5 – Приклад надзвукового drone



Рисунок 1.6 – Приклад drone із тривалим ресурсом польоту

1.2 Огляд підсистем drone

1.2.1 Аналіз роботи датчика доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу drone

Підсистеми керування drone виробляють сигнали керування на основі вимірювальної інформації, отриманої від різних датчиків. В якості зовнішніх датчиків вхідної інформації для інерційної навігаційної підсистеми зазвичай

використовуються:

- датчик-GPS (рисунок 1.7);
- датчик-доплерівський вимірювач швидкості та кута зносу (ДВШЗ) та інше (рисунок 1.8).

Зовнішні датчики вхідної інформації для інерційної навігаційної підсистеми піддаються дії пасивних та активних деструктивних впливів.



Рисунок 1.7 – Приклад GPS - датчика



Рисунок 1.8 – Приклад датчика- доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу

Це може впливати на точність інформації, яку вони видають. Тому необхідно враховувати особливості роботи таких датчиків. Похибки роботи датчика-доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу залежать від різноманітних перешкод та обурюючих факторів. Наприклад, до виникнення помилок у вихідній інформації приводять похибки показань датчика-доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу, що були викликані деструктивним впливом на нього, наприклад, з поверхні над якою в даний момент пролітає drone. Також похибки роботи датчика-доплерівського вимірювача швидкості та кута знесення можуть виникати безпосередньо від *physical unorganized environment*. Наприклад, може виникати неоднакове відображення сигналу від поверхні, над якою пролітає drone. У цьому випадку передбачено перемикач режимів польоту:

- поле-вода;
- ліс-гори;
- ліс-поле.

При польотах drone над льодовими полями та великими водними просторами похибки роботи датчика-доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу принципово залежать від стану поверхні, його здатності відбивати радіохвилі (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Приклад польоту drone над водним простором

Особливо несприятливі ситуації для роботи датчика-доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу виникають коли drone пролітає над рівними льодовими полями та гладкою водною поверхнею. Відображення сигналу датчика-доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу від поверхні води або рівного льоду супроводжується розтіканням сигналу по поверхні, що відбиває. Наприклад, при відображенні радіохвиль від водної поверхні, з'являються великі перешкоди і прийом корисного сигналу супроводжується виникненням похибок, обумовлених:

- хвилями на водній поверхні;
- брижами на водній поверхні;
- течіями;
- зміщенням верхніх шарів водної поверхні під впливом вітру і т.д.

При проектуванні датчика-доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу розробники проектують його таким чином, що прийом корисного сигналу має обмеження по висоті польоту drone. Зникнення сигналу датчика-доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу виникає при виході drone із зони стійкої роботи цього датчика, що може призвести до похибок у визначенні швидкості drone. Пасивні перешкоди, що призводять до похибки роботи датчика-доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу, з'являються при відображенні сигналів від дощових фронтів. У цій ситуації з'являються помилки при визначенні достовірної інформації, що видається датчиком-доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу при польоті drone в зоні дощу. Тоді швидкість drone може обчислюватися по відношенню до дощової хмари. Наявність вітру змінює щільність атмосфери в області польоту drone, що також може зумовлювати похибку роботи датчика-доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу. Виходячи з проведеного огляду перешкод можна судити про необхідність точних показань датчика-

доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу, а також про ефективність застосування цього датчика в drone. Оцінка сумарного рівня вищезгаданих похибок роботи датчика-доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу дозволяє зробити висновок про умови його застосування в drone. При виконанні проектних робіт розробниками виконується емітаційне моделювання над моделлю drone та вплив цих перешкод оцінюється розробниками як «білий шум».

1.2.2 Аналіз інерційної навігаційної підсистеми drone

Як уже було зазначено, у кваліфікаційній роботі основою в єдиній навігаційній системі drone являється інерційна навігаційна підсистема – ІНП (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Приклад інерційної навігаційної підсистеми для drone

Інерційна навігаційна підсистема drone являє собою автономну навігаційну підсистему, яка не залежить від зовнішньої інформації. Інерційна навігаційна підсистема drone взаємодіє безпосередньо з physical unorganized

environment.

Основний принцип роботи інерційної навігаційної підсистеми drone полягає в отриманні інформації про:

- швидкість drone;
- кути (тангаж, курс, крен) drone;
- місцезнаходження drone.

Конструкція інерційної навігаційної підсистеми drone може припускати наявність гіростабілізованої платформи – ГСП. Такі підсистеми у науковій літературі називаються – платформні інерційні навігаційні підсистеми – ПІНП. Широке застосування останнім часом отримали безплатформні інерційні навігаційні підсистеми drone – БІНП (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Приклад безплатформної інерційної навігаційної підсистеми drone

Залежно від вимог щодо точності та способу використання інформації від зовнішніх навігаційних датчиків, інерційні навігаційні підсистеми drone поділяються на:

- автономні;
- демпфовані зі зміною частоти власних коливань та без зміни цієї частоти;
- кориговані.

На drones, призначених для здійснення тривалих польотів у безпосередній близькості від поверхні Землі та залежно від постановки задачі та цільового використання drones, широкого поширення набули:

- автономні інерційні навігаційні підсистеми drone;
- кориговані інерційні навігаційні підсистеми drone.

Безплатформні навігаційні підсистеми drones складаються з:

- акселерометрів, які жорстко кріпляться на корпусі drone;
- вимірювачів кутових швидкостей.

Перевагами безплатформних навігаційних підсистем drones у порівнянні з платформними навігаційними системами drones є:

- велика надійність;
- простота експлуатації;
- велика гама чутливих елементів із великим діапазоном точностей;
- менша вартість.

У безплатформних навігаційних підсистемах drones до елементів пред'являють більш жорсткі вимоги до точнісних характеристик акселерометрів та гіроскопів, що зумовлено умовами їх експлуатації (рисунок 1.12).

Чутливі елементи безплатформних інерційних навігаційних підсистем drones жорстко закріплені безпосередньо на корпусі високоточного drones, тому вони функціонують у більш жорстких умовах експлуатації порівняно з платформними навігаційними підсистемами drones.

В даний час традиційною схемою застосування безплатформних

інерційних навігаційних підсистем drones є класична схема призначена для високоточних drones, яка побудована на шести акселерометрах і двох триступневих гіроскопах.

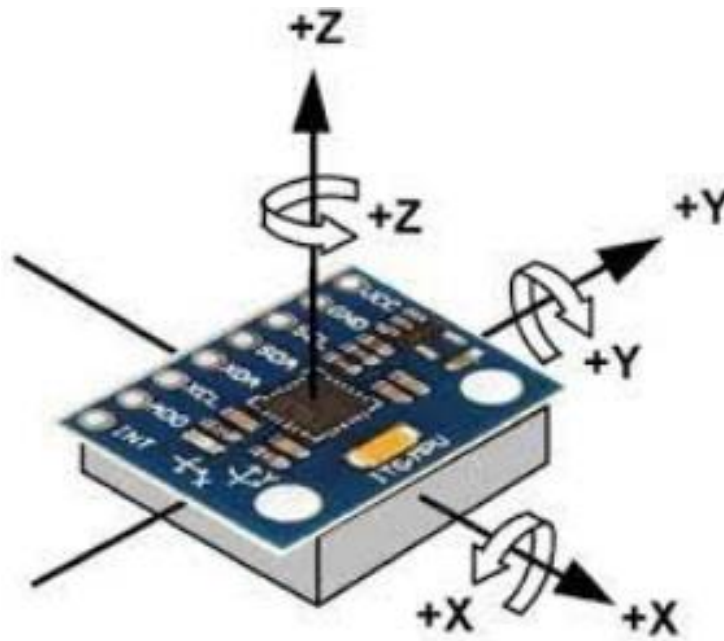


Рисунок 1.12 – Приклад роботи гіроскопа

Для зменшення виникнення похибок роботи безплатформних навігаційних підсистем drones, розробники використовують акселерометри та гіроскопи високої точності та програмне забезпечення, яке прошивається до бортових високошвидкісних спеціалізованих мікроконтролерів drones.

Для побудови безплатформних інерційних навігаційних підсистем drones використовуються різні типи гіроскопів:

- лазерні;
- волоконно-оптичні;
- з електростатичним підвісом;
- п'єзоелектричні та інші типи.

До складу безплатформних інерційних навігаційних підсистем drones, наприклад, можуть входити чутливі елементи:

- три акселерометра;
- три гіроскопи, що утворюють інерційний вимірювальний блок drone – ІВБ.

Інерційний вимірювальний блок drone формує первинні виміри кінематичних параметрів, за якими відбувається:

- обчислення координат знаходження drone;
- обчислення вектора швидкості drone;
- обчислення кутів орієнтації drone.

Осі чутливості кожної тріади датчиків ортогональні та утворюють осі власної системи координат інерційного вимірювального блоку drone. Таким чином, на вхід безплатформних інерційних навігаційних підсистем drones надходить наступна інформація:

- вектори прискорення, що здається, у власній системі координат;
- вектори кутової швидкості у власній системі координат.

Вимірювання надходять через певні проміжки часу із певним періодом дискретизації. При виконанні вимірювань виконується апаратна компенсація похибок роботи датчиків, яка включає в себе:

- масштабування;
- ортогоналізацію осей чутливості по кожному датчику.

Вихідними параметрами безплатформних інерційних навігаційних підсистем drones є:

- геодезична широта – B ;
- геодезична довгота – L ;
- геодезична висота – H ;
- вектор швидкості в локальній системі координат – V ;
- кут крену – R ;
- кут тангажу – P ;
- кут нишпорення – Y .

Модель помилок вимірювання інерційного вимірювального блоку drone необхідна при синтезі алгоритмів комплексної обробки інформації. Вибір тієї чи іншої моделі визначається з одного боку технологією виготовлення інерційних датчиків, а з іншого боку – вимогами до алгоритму. Все частіше в інерційно-супутниковій навігаційній системі використовуються інерційно вимірювальні блоки, засновані на технології мікроелектромеханічних систем. Висока популярність обумовлена низькою вартістю таких інерційно-вимірювальних блоків, малими розмірами та низьким енергоспоживанням. Недоліком мікроелектромеханічних систем є низька точність. Зокрема, датчики мікроелектромеханічних систем характеризуються високим рівнем шуму та низькою стабільністю нуля.

1.3 Аналіз супутникових навігаційних систем

В якості позиційних датчиків інформації широко використовуються радіопеленгатор. Однією з найвідоміших радіонавігаційних систем, що використовуються в морській та авіаційній навігації, є система типу «Лоран». На частині траєкторії, що проходить у зоні дії системи типу «Лоран», може бути забезпечено отримання безперервної інформації про місцезнаходження та її використання у комбінації з вихідними сигналами інерційної навігаційної підсистеми drones. Також активно використовується система GPS.



Рисунок 1.13 – Приклад системи GPS

Система GPS призначена для:

- визначення місцезнаходження (рисунок 1.14);
- визначення швидкості руху (рисунок 1.15);
- обчислення точного часу багатьох динамічних об'єктів, зокрема високоточних drones.

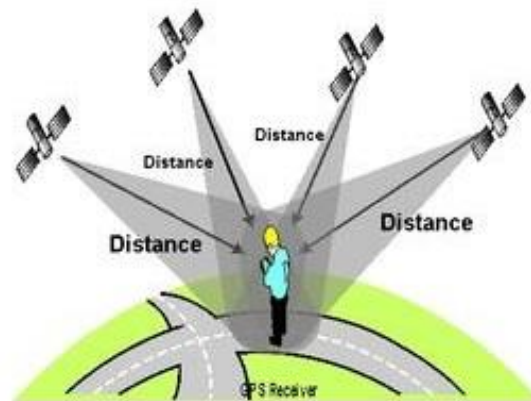


Рисунок 1.14 – Приклад визначення місцезнаходження за допомогою GPS - системи



Рисунок 1.15 – Приклад визначення швидкості за допомогою GPS-системи

Штучні супутники землі – ШСЗ, знаходяться на кругових орбітах висотою 19100 км і забезпечують безперервне та повне покриття земної поверхні та навколосемного простору навігаційним полем. Результатом обробки вимірювальних сигналів від штучних супутників землі є три координати drone, три складові вектора швидкості drone.

Система-GPS вимірює псевдодальність та радіальну псевдошвидкість, а їх радіотехнічними аналогами є затримка навігаційного сигналу та збільшення фази його несучої частоти на заданому інтервалі часу. Високоточні drones як стандартний об'єкт отримують дані про планові координати з точністю до 15 м для GPS-системи.

Слід зазначити, що в даний час Європейський проект EGNOS, який використовує сигнали GPS-системи, дозволяє отримувати точність визначення координат на території Європи на рівні від 1,5 до 3 м (рисунок 1.16).



Рисунок 1.16 – Європейський проект EGNOS

Підвищити ефективність супутникової навігаційної системи можна за допомогою застосування мережі наземних станцій та диференціального режиму функціонування GPS-системи. Цей диференціальний режим здійснює виконання вимірювань двома приймачами. Перший встановлюється на борту високоточного drone, а другий встановлений на базовій станції, що знаходиться на землі, і координати її вважають відомими. Якщо дистанція від штучного супутника землі до приймачів високоточних drones і наземної станції значно більша за відстань між самими приймачами, то умови прийому сигналів, що випромінюються двома приймачами, практично однакові. За цих умов величини похибок будуть практично однакові. У диференціальному режимі GPS-системи вимірюють не абсолютні координати першого приймача, а його положення щодо базового приймача. У диференціальному режимі поправки передаються від базового приймача, що знаходиться на наземній станції, до визначаємого, який знаходиться на високоточному drone. При цьому існують і застосовуються два методи

коригування інформації. Супутникові навігаційні системи мають недоліки і переваги, тому їх популярність складно переоцінити, але все-таки для отримання максимально можливої точності навігаційних визначень високоточного drone здається доцільним доповнити інерційно-навігаційну підсистему drone астро-навігаційною підсистемою.

Вплив заломлення світла та випадкового сигналу на астро-навігаційну підсистему drone. Заломлення променів відбувається при їх проходженні через прозорі середовища з різною щільністю. Так як стрибки ущільнення, які виникають на звукових або надзвукових швидкостях, є насправді середовищем із щільністю, відмінною від щільності незбуреного потоку, то розсіювання променів світла, спричинене стрибками ущільнення, може обмежити швидкість drone, що використовують астросистеми. Однак це обмеження швидкості може мати місце лише при контрольних вимірах зірок.

Вихідна напруга приладів, що вимірюють швидкість, містить шум або випадковий сигнал. Шум, представлений у вигляді деяких сплесків, добре фільтрується фільтрами з великими постійними часу. Однак постійний шум (помилки) таким чином не фільтрується. Якщо в сигналі, що зображує вимірювану швидкість, є деяка постійна помилка, то в цьому випадку вихід всього обчислювача буде містити цю помилку. Потрібний додатковий фільтр, який не пропускав би помилку, але пропускав інші сигнали.

Такий ланцюг повинен мати характеристики високочастотного фільтра, що пропускає змінний струм будь-якої частоти. Створити подібний фільтр неможливо. Однак за допомогою оригінального поєднання підсилювальних елементів можна досягти бажаних результатів.

Характеристики необхідного високочастотного фільтра можуть бути отримані під час використання підсилювача постійного струму з інтегруючим зворотним зв'язком. За допомогою демпфування накопичення

помилку вимірювання швидкості drone, зменшується.

1.4 Аналіз похибок супутникових навігаційних систем

Чинник втрати точності буває наступних типів:

- геометричний;
- позиційний;
- горизонтальний;
- вертикальний;
- тимчасовий.

Точність GPS-системи залежить від різноманітних факторів. Природа цих помилок дуже різна. Розглянемо приклад.

Помилка № 1. Неточне визначення часу. Еталони часу штучних супутників Землі мають дуже високу точність, але при цьому через похибку апаратури, яка використовується при обчисленні шкали часу, виникає систематична помилка визначення координат drone, що становить практично приблизно 0,6 м.

Помилка № 2. Помилки обчислення орбіт. Прогноз та розрахунок ефемерид штучних супутників Землі має неточність. Помилки прогнозування відбуваються в апаратурі приймача і зумовлюють помилки визначення параметрів об'єкта. Ця похибка також систематична, що призводить до помилки визначення координат об'єкта приблизно 0,6 м.

Помилка № 3. Інструментальна помилка приймача. Шумові перешкоди в електронному тракті приймача призводять до інструментальних помилок. Ця похибка спричиняє помилку у визначенні координат близько 1,2 м.

Помилка № 4. Багатопутність поширення сигналу. Похибка виникає внаслідок вторинного відображення сигналу супутників Землі від перешкод,

розташованих в безпосередній близькості від приймача пролітаючого drone. Помилка, викликана цією причиною, становить величину, що досягає 2 м.

Помилка № 5. Іоносферні затримки сигналу. Іонізований шар атмосфери на висотах 50 – 500 км містить вільні електрони. Такі електрони при проходженні сигналів через шар атмосфери викликають затримку поширення сигналу штучних супутників Землі. Величина залишкової іоносферної затримки може зумовлювати похибку визначення псевдодальності десь близько 10 м.

Помилка № 6. Тропосферні затримки сигналу. Затримку викликає тропосферний шар атмосфери на висоті 8 – 13 км. Розповсюдження радіосигналу залежить від метеопараметрів у районі знаходження штучних супутників Землі та від висоти знаходження штучних супутників Землі, а також від розташування штучних супутників Землі щодо площини горизонту. Тропосферні затримки викликають помилки виміру псевдодальностей завбільшки 1 м.

Помилка № 7. Геометричне розташування супутників. Положення робочого сузір'я супутників впливає точність визначення місця розташування об'єкта. Величина похибки залежить від взаємного розташування супутників та приймача. У практичних додатках сумарні похибки GPS системи описуються процесом типу «білий шум».

2 МАРШРУТНА КОРЕКЦІЯ SWARM-DRONES

При своєму функціонуванні drone, що входить до складу swarm-drones, здійснює інтенсивне маневрування. Найбільші зміни drone відбуваються у вертикальній площині. Тому найбільші складнощі при керуванні drone виникають при появі тангажу (рисунок 2.1).

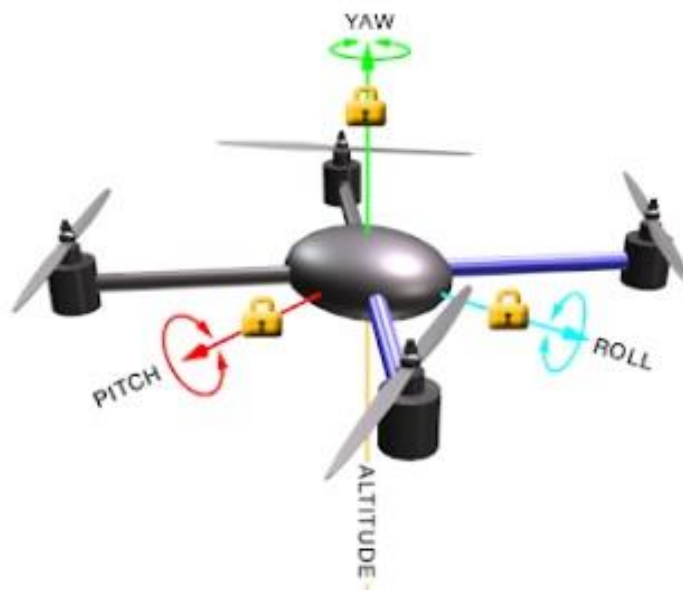


Рисунок 2.1 – Приклад тангажу (pitch), нишпорення (yaw) та крену (roll) drone

При дослідженні стійкості drone на траєкторії польоту необхідно вирішувати завдання працездатності підсистеми стабілізації – ПС. При проведенні проектних робіт, підсистеми стабілізації drone широко використовується лінеаризовані стаціонарні рівняння руху. Для вибору коефіцієнтів стабілізації одним із поширених підходів є інженерний підхід, заснований на методі D-розбиття в площині параметрів, що шукаються. Досліджуються не всі поліноми, а лише найгірший поліном з точки зору стійкості. Таким чином, розробники вибирають коефіцієнти для найгіршого

полінома і будують область стійкості в площині параметрів.

Завданням № 1 при керуванні drone, що входить до складу swarm-drones, є завдання його стабілізації (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Стабілізація drone у просторі

Завданням № 2 при управлінні drone, що входить до складу swarm-drones, є завдання виведення swarm-drones в задану область простору з максимально можливою точністю (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Приведення drone у задану область простору

Під час вирішення Завдання № 2 були проведені дослідження:

- маршрутна корекція swarm-drones на основі порівняльного аналізу інформаційних навігаційних полів;
- алгоритми селекції;
- алгоритми розпізнавання зображень на основі силуетного методу.

Однією з основних задач swarm-drones є ефективне функціонування у physical unorganized environment (рисунок 2.4).

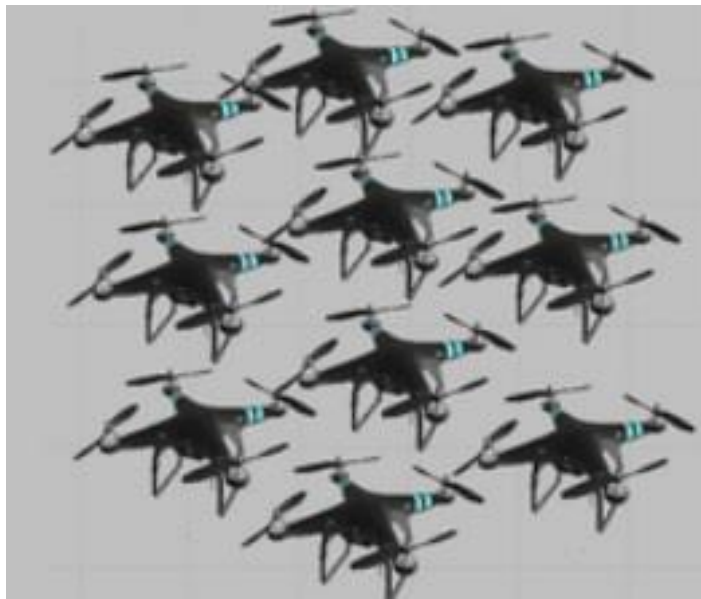


Рисунок 2.4 – Swarm-drones, що функціонують у physical unorganized environment

Для досягнення поставленої мети політ drone, що входить до складу swarm-drones, по заданому маршруту здійснюється за сигналами від інерційної навігаційної підсистеми drone.

При роботі інерційної навігаційної підсистеми drone можуть виникати помилки, які накопичуються з часом польоту, що може призвести до неточності прибуття swarm-drones в задану область.

Для боротьби з такими помилками необхідно:

- зробити порівняльний аналіз алгоритмів корекції інерційної

навігаційної підсистеми drone;

- обґрунтувати вибір найкращого комплексу алгоритмів.

2.1 Аналіз геофізичних полів, що використовуються при функціонуванні системи корекції drone

Для аналізу геофізичних полів, придатних до використання в підсистемі корекції drone, що входить до складу swarm-drones, зазвичай розглядають домінуючі фактори:

- радіус кореляції геофізичних полів, від якого залежить точність прибуття drone у задану область;
- стабільність характеристик геофізичних полів;
- реєстрованість геофізичних полів за допомогою датчиків drone.

Принципово можливі геофізичні поля повинні мати здатність синтезу векторного інформаційного параметра drone. Геофізичні поля зазвичай ранжують на два типи:

- поверхневі, що містять нормальні та аномальні польові компоненти;
- аномальні геофізичні поля. Наприклад, при польотах над великими водними просторами аналізуються магнітні поля, що містять сітку аномальних пучностей у кутах сітки.

У світовій практиці активно застосовують датчики, які використовують такі геофізичні поля:

- поле № 1 – рельєф Земної поверхні;
- поле № 2 – видимого та інфрачервоного діапазону;
- поле № 3 – радіотеплове, радіолокаційне поле;
- поле № 4 – аномальне магнітне поле;
- поле № 5 – гравітаційне та аномальне електромагнітне поле.

Поле № 1 – рельєф Земної поверхні, що характеризується перепадом висот на підстилаючій поверхні (рисунок 2.5). Інформаційний параметр цього поля є найбільш вивченим, стабільним та часто застосовуваним.



Рисунок 2.5 – Приклад поля № 1 – рельєф Земної поверхні

Можлива точність прибуття drone у задану ділянку з використанням такого геофізичного поля становить до 500 м.

Поле № 2 – видимого та інфрачервоного діапазону характеризується для видимого діапазону довжин хвиль сформованим відображенням сонячного світла, у якого область спектру 0,4...0,8 мкм від різноманітних природних та штучних об'єктів (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Приклад поля № 2 – видимого та інфрачервоного діапазону

Радіус кореляції становить величини близько одиниць метрів. Оптичні системи при їх використанні дозволяють drone досягати точності прибуття в задану область з точністю в середньому до 50 м.

Для інфрачервоного випромінювання:

- випромінюванням ґрунту;
- випромінюванням води;
- випромінюванням рослинності;
- випромінюванням штучними спорудами видимими в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль (1...12 мкм).

Інфрачервоні системи при їх використанні дозволяють drone досягати точності прибуття в задану ділянку з точністю в середньому до 10 м.

Поле № 3 – радіотеплове, радіолокаційне поле. Являє собою природне електромагнітне випромінювання різноманітних об'єктів (рисунок 2.7).

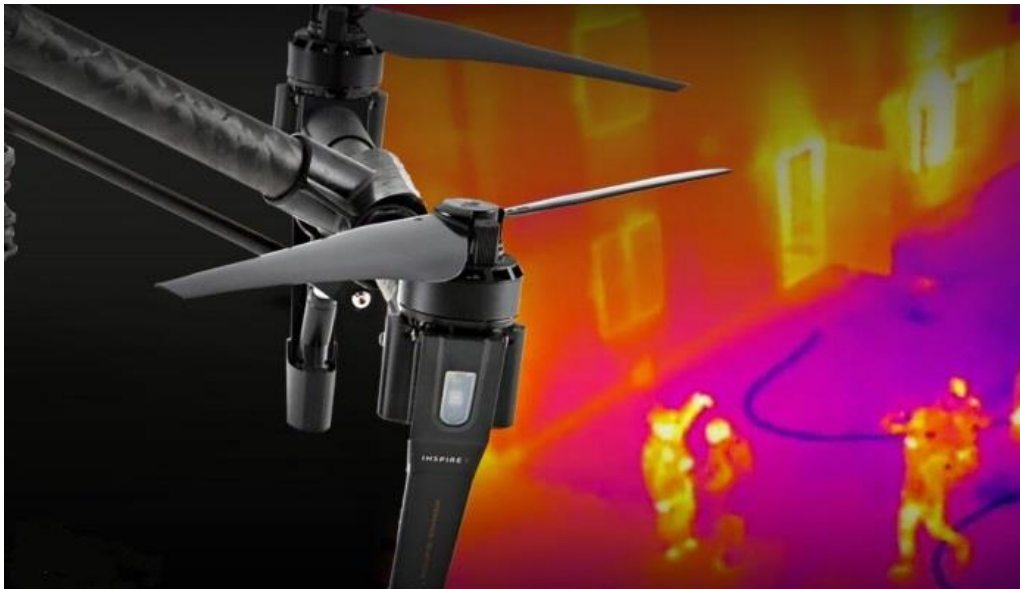


Рисунок 2.7 – Приклад поля № 3 – радіотеплове, радіолокаційне поле

Це випромінювання виконується у міліметровому та сантиметровому діапазоні довжин хвиль. Ці поля характеризуються різною здатністю об'єктів випромінювати електромагнітне поле. При синтезі інформаційного параметра цього геофізичного поля використовують спектральні, а також поляризаційні характеристики сигналу, що приймається на борту drone. Ці поля при їх використанні дозволяють drone досягати точності прибуття в задану ділянку з точністю в середньому до 40 м.

Поле № 4 – аномальне магнітне поле Землі, має високу тимчасову та просторову стабільність (рисунок 2.8).

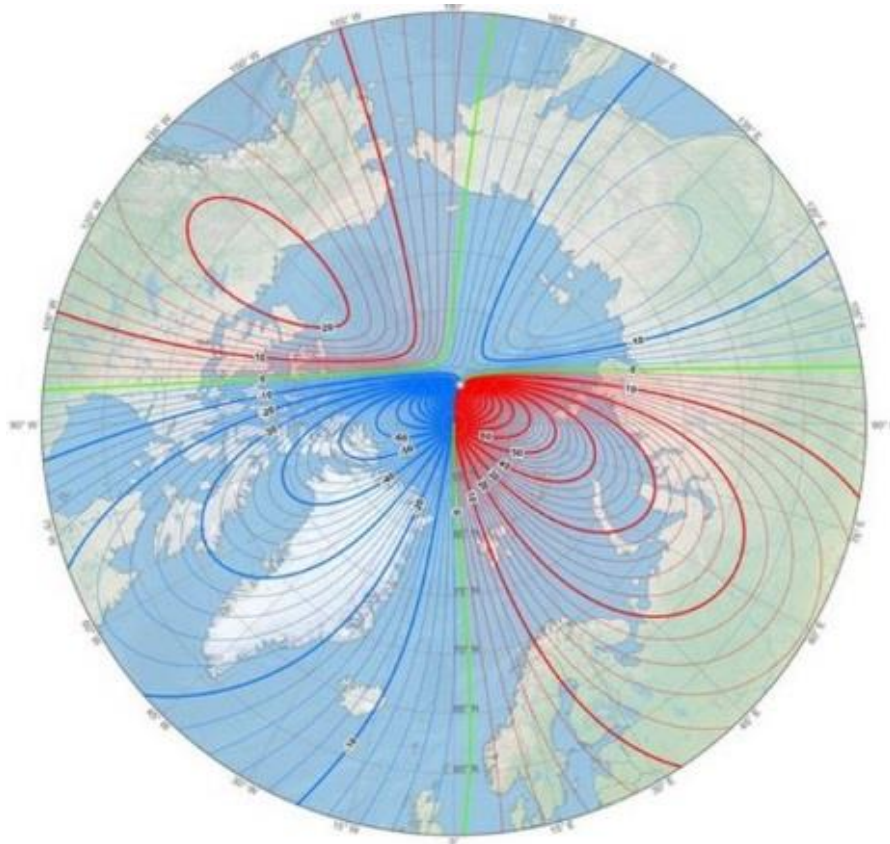


Рисунок 2.8 – Приклад поля № 4 – аномальне магнітне поле Землі

Володіє високою варіабельністю. Це поле при його використанні дозволяє drone досягати точності прибуття в задану ділянку з точністю в середньому до 1000 м.

Поле № 5 – гравітаційне поле Землі, створене силою тяжіння у повітряному просторі (рисунок 2.9). Це поле використовує нормальну та аномальну складові гравітаційного поля Землі. Це поле при його використанні дозволяє drone досягати точності прибуття в задану область з точністю в середньому до 5000 м.

Виходячи з проведеного аналізу найкращим геофізичним полем для маршрутної корекції drone є поле № 3 – радіотеплове, радіолокаційне поле.

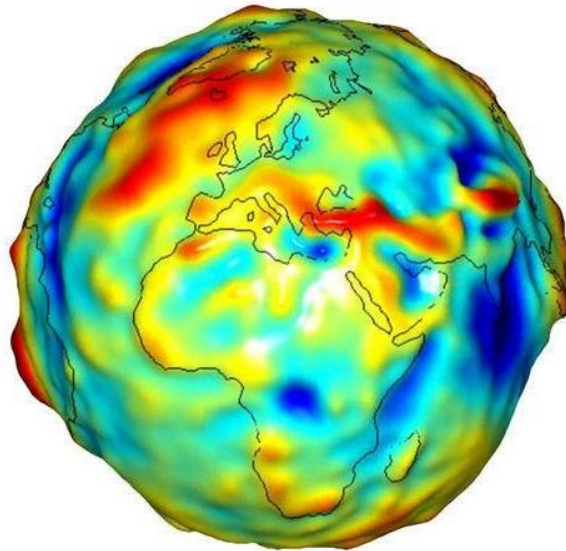


Рисунок 2.9 – Приклад поля № 5 – гравітаційне поле Землі

2.2 Оцінювання похибки роботи інерційної навігаційної підсистеми drone

Схема корекції інерційної навігаційної підсистеми drone, що входить до складу swarm-drones від GPS-системи, передбачає використання алгоритму оцінювання – АО для обчислення похибок при роботі інерційної навігаційної підсистеми drone, які потім компенсуються у вихідному сигналі інерційної навігаційної підсистеми drone. У якості алгоритма оцінювання часто використовуються різні алгоритми сімейства фільтрів Калмана, а також різні їх модифікації. До сучасних високоточних drones пред'являються жорсткі точні вимоги. Тому для підвищення точності оцінювання в інерційній навігаційній підсистемі drone використовуються нелінійні фільтри Калмана у різноманітних модифікаціях.

Найбільш популярні способи реалізації нелінійного фільтру Калмана. Нехай рівняння для вектора стану має вигляд:

$$x_k = K_k \cdot (x_{k-1}) + w_k, \quad (2.1)$$

де: x_k – вектор стану;

$K_k(x_{k-1})$ – нелінійна матриця моделі;

w_k – дискретний аналог гаусівського «білого шуму» з нульовим математичним очікуванням.

Передбачається, що шуми не корельовані між собою. Провівши деякі математичні перетворення, отримаємо рівняння фільтра Калмана у вигляді:

$$P_k = I - K_k \cdot (x_{k-1}) \cdot H_k. \quad (2.2)$$

де: P_k – коваріаційна матриця помилок оцінювання;

I – одинична матриця;

H_k – матриця вимірів.

Відомі численні підходи, в рамках яких реалізація фільтра Калмана зведена до вирішення стохастичного диференціального рівняння у часткових похідних, у формі Стратоновича, розширений фільтр Калмана, сигма-точковий фільтр Калмана, адаптивні спостерігачі Крассельмайера та Льюнга, а також багато інших алгоритмів.

Всі ці алгоритми оцінювання мають свої переваги та недоліки. Однак загальною особливістю практично всіх алгоритмів тією чи іншою мірою є відсутність адекватної моделі процесу, яка оцінюється, що призводить до зниження точності оцінювання, а іноді і до розбіжності процесу оцінювання. Тому при оцінюванні похибок роботи інерційної навігаційної підсистеми drone, що входить до складу swarm-drones, нелінійними алгоритмами оцінювання, особливо алгоритмами з використанням складних нелінійних моделей, необхідно здійснювати ідентифікацію параметрів, а часто і структури моделі в процесі польоту swarm-drones.

Найбільш повно врахувати в моделі всі особливості характеру зміни похибок роботи інерційної навігаційної підсистеми drone, що входить до

складу swarm-drones i , що особливо важливо, моделі конкретної інерційної навігаційної підсистеми drone в умовах кожного конкретного польоту зі своїми особливостями зовнішніх збурень, можливо через побудову нелінійної моделі за допомогою одного з еволюційних алгоритмів.

Одним з варіантів побудови такого алгоритму оцінювання з нелінійною моделлю, яка використовується як еталонна модель у схемі корекції та призначена для забезпечення адекватності моделі нелінійного фільтра Калмана та реального процесу зміни похибок роботи інерційної навігаційної підсистеми drone, що входить до складу swarm-drones, є нелінійний фільтр Калмана з генетичним алгоритмом (ГА). На рисунку 2.10 представлена схема корекції інерційної навігаційної підсистеми drone, що входить до складу swarm-drones з використанням ГА.

У структуру фільтра Калмана необхідно включити критерій, який є індикатором розбіжності процесу оцінювання. В якості алгоритмів, які використані для модифікації, застосовується алгоритм самоорганізації, нейронна мережа та генетичний алгоритм.

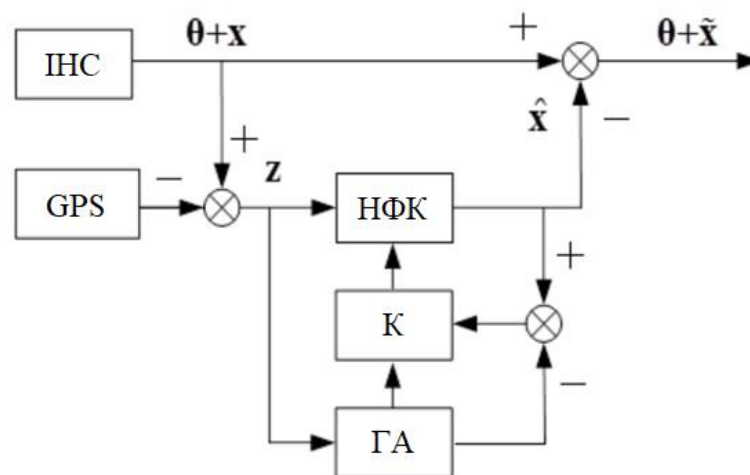


Рисунок 2.10 – Схема корекції інерційної навігаційної підсистеми DRONE з використанням генетичного алгоритму

На рисунку 2.10 прийнято наступні позначення. ІНС – інерційна навігаційна підсистема drone, GPS – система глобального позиціонування, НФК – нелінійний фільтр Калмана, ГА – генетичний алгоритм, K – критерій індикатора розбіжності процесу оцінювання, θ – справжня навігаційна інформація, x – вектор похибок інерційної навігаційної підсистеми drone, z – вектор вимірів, \hat{x} – оцінка вектора, \tilde{x} – помилки оцінювання похибок інерційної навігаційної підсистеми drone.

3 ПРОВЕДЕННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МАРШРУТНОЇ КОРЕКЦІЇ SWARM-DRONES

Відомо, що робота кореляційно-екстремальних систем базується на розпізнаванні об'єкта та визначенні його шуканих характеристик шляхом обробки інформації, представленій у вигляді реалізацій випадкових функцій (полів). Термін кореляційно-екстремальні системи пояснюється тим, що за принципом дії переважна більшість відомих кореляційно-екстремальних систем є системами екстремального управління, в яких для побудови екстремальної залежності використовується властивість кореляційної функції одного або декількох аргументів досягати найбільшої величини при нульовому значенні аргументів.

У функціональній схемі кожної кореляційно-екстремальної системи присутні три основні блоки:

- блок моделей, що генерують еталонну інформацію;
- блок обчислення (формування) функціоналу порівняння (зокрема, взаємно-кореляційної функції – ВКФ) еталонної та поточної інформації від датчиків;
- блок визначення екстремуму цього функціоналу.

Загальні принципи побудови кореляційно-екстремальних систем можуть бути використані для обробки даних від датчиків поточної інформації будь-якої фізичної природи. В даний час на основі цих принципів створюються системи обробки даних від вимірювачів характеристик поверхневих та просторових фізичних полів Землі, випромінювань небесних тіл, які можуть бути представлені у вигляді карти зоряного неба та штучних радіополів. Дані принципи побудови кореляційно-екстремальних систем покладено основою оптимальної обробки інформації від датчиків зовнішньої візуальної інформації drone.

Основне завдання кореляційно-екстремальних систем полягає у визначенні поточних координат розташування drone та їх коригуванні за необхідності (рисунок 3.1).

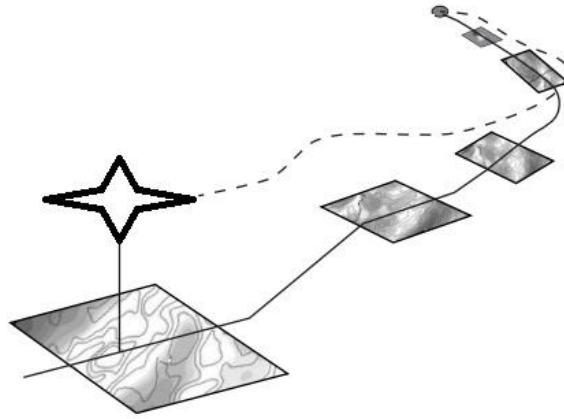


Рисунок 3.1 – Приклад руху drone по траєкторії маршруту під час використання інформації про рельєф місцевості в районах корекції

Під час першого польоту фіксується зображення місцевості. Воно служить еталоном для подальших польотів, при яких керування drone проводиться так, щоб еталонне та поточне зображення збігалися. У цьому полягає ідея корекції руху swarm-drones за заданим курсом із використанням карт місцевості.

Автоматичні системи цього типу можуть реалізувати різні алгоритми роботи. Так, автоматичне управління рухом swarm-drones за «картою заданого курсу» може бути організовано безперервно на всій траєкторії руху. Іноді доцільно лише періодично коригувати цю траєкторію в окремих районах навігації. При цьому не потрібна карта місцевості всього маршруту, а лише карта місцевості у районах корекції. Система, що реалізує цю обробку, розташовується на верхньому рівні ієрархічної системи керування drone і називається кореляційною. У кореляційно-екстремальній системі в якості еталонної інформації використовується еталонне зображення (ЕЗ)

об'єкта або робочого інструменту в необхідному (програмному) положенні, поточна інформація подається у вигляді поточного зображення (ПЗ) того ж об'єкта або робочого інструменту в поточному дійсному положенні. Таким чином, ЕЗ є моделлю довкілля, що відбиває з точністю до параметрів стан зовнішнього середовища. За допомогою обчислювальних пристроїв визначаються лінійні та кутові неузгодженості зображень еталонного та поточного, які використовуються потім для управління swarm-drones. Наприклад, поточне зображення описується функцією – $F_1(x_1, y_1)$, еталонне зображення описується функцією – $F_2(x_2, y_2)$, як:

$$\begin{aligned} x_1 &= (x_2 - \xi) \cdot \cos \alpha + (y_2 - \eta) \cdot \sin \alpha, \\ y_1 &= (y_2 - \eta) \cdot \cos \alpha + (x_2 - \xi) \cdot \sin \alpha, \end{aligned} \quad (3.1)$$

де ξ та η – лінійні неузгодженості одного зображення щодо іншого;

α – кутове неузгодження одного зображення щодо іншого.

Тому в кореляційній площині буде відтворюватися зображення порівнюваних зображень поточного зображення та еталонного зображення:

$$J(\xi, \eta, \alpha) = \int_S F_1(x_1, y_1) \cdot F_2(x_2, y_2) ds, \quad (3.2)$$

де S – площа зображень.

У кореляційно-екстремальній системі здійснюється аналіз поточного зображення та еталонного зображення. Визначаються координати ξ_i , η_i , α_i головного максимуму взаємно-кореляційної функції, що є оцінками лінійних та кутових неузгодженостей поточного зображення та еталонного зображення. Пошук координат головного максимуму взаємно-кореляційної функції здійснюється за допомогою алгоритмів адаптації на основі оптичного корелятора Берджера (рисунок 3.2).

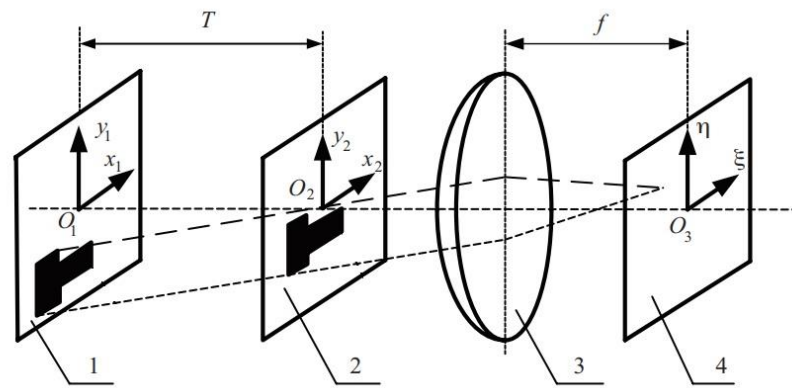


Рисунок 3.2 – Отримання взаємно-кореляційної функції за допомогою оптичного корелятора Берджера, де: 1 – поточне зображення; 2 – еталонне зображення; 3 – лінза; 4 – отримання взаємно-кореляційної функції; T – відстань (по оптичній осі) між площинами поточного та еталонного зображень; f – фокусна відстань лінзи

У кваліфікаційній роботі під час виконання маршрутної корекції польоту drone досліджується метод Савельєва-Козко, відомий також як метод Козко. Цей метод є важливим підходом у корекції траєкторій дронів, зокрема для swarm-drones, завдяки його здатності ефективно обробляти та аналізувати зображення, отримані під час польоту.

Метод Козко базується на аналізі взаємно-кореляційної функції між поточним зображенням, отриманим дроном у реальному часі, та еталонним зображенням місцевості. Це дозволяє точно визначити відхилення траєкторії дрона та здійснити корекцію його маршруту.

Однією з ключових операцій методу є визначення координат головного максимуму кореляційної функції. Це забезпечує високу точність виявлення відхилень від заданого маршруту та дозволяє оперативно коригувати траєкторію.

Використання методу Козко у контексті swarm-drones дозволяє підвищити координацію та синхронізацію між окремими дронами у рої. Це особливо важливо для виконання складних завдань, таких як пошук і

рятування, моніторинг великих територій та виконання військових операцій.

Метод Козко демонструє високу стійкість до шумів та перешкод, що робить його надійним інструментом для роботи у складних умовах навколишнього середовища, таких як міські райони з високим рівнем радіо- та електромагнітних перешкод. Також метод дозволяє здійснювати обробку зображень та корекцію траєкторії у реальному часі, що є критично важливим для завдань, де необхідна швидка реакція на зміни умов польоту.

У кваліфікаційній роботі під час виконання маршрутної корекції польоту drone досліджується метод Козко:

$$F(x,y) = \sum_{i,j \in H} (l \cdot (i+x, j+y) - h \cdot (i,j)) \cdot p. \quad (3.3)$$

де, $l \cdot (i+x, j+y)$ – елемент поточного зображення;

$h \cdot (i, j)$ – елемент еталонного зображення об'єкта;

p – обчислювана величина, $p \in [0,1]$.

Замість опорної ділянки місцевості в алгоритмі як зразок використовується поле кодів, яке визначає належність досліджуваного елемента до окремої однорідної зони. У більшості кореляційних алгоритмів зображення опорної ділянки місцевості апіорно невідоме, оскільки змінюється яскравість. У процесі функціонування алгоритму відбувається переміщення зразка по всьому зображенню (зміщення складає 1 піксель) (рисунок 3.3).

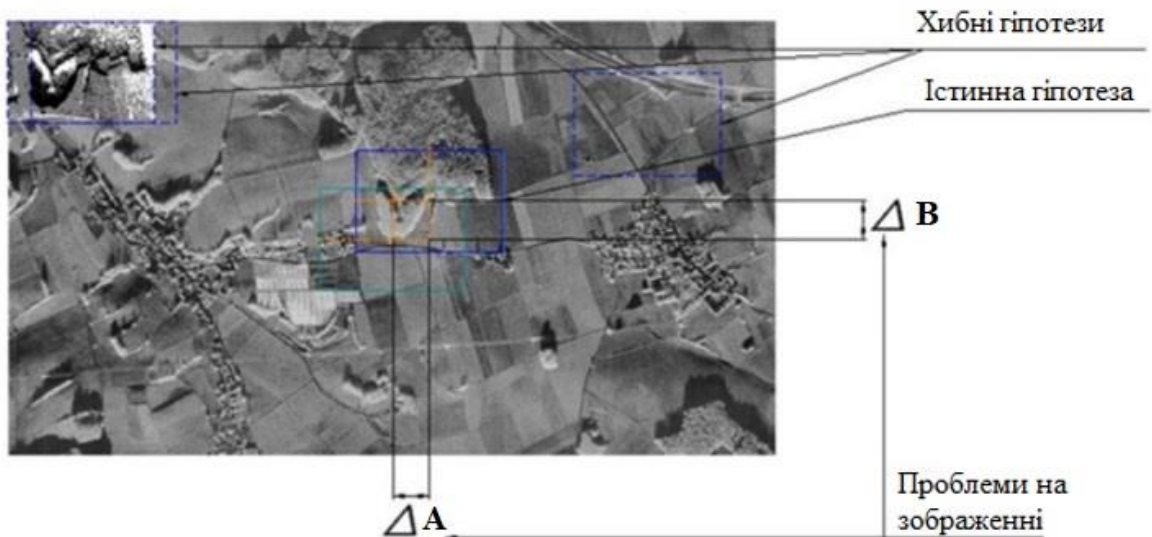


Рисунок 3.3 – Карта місцевості, вид з drone

Під час обробки поточного зображення із дрону можуть виникати певні проблеми:

- шуми та спотворення. Дрони можуть знімати зображення в умовах недостатнього освітлення, під час дощу або туману, що призводить до виникнення шумів та спотворень на зображеннях. Аномалії на сенсорах камери можуть також викликати додаткові артефакти;

- невідповідність масштабу. Зображення можуть мати різні масштаби через зміни висоти польоту дрона. Перспективні спотворення, що виникають при зніманні під різними кутами, ускладнюють порівняння з еталонними зображеннями;

- рух об'єктів. Люди, транспортні засоби та інші рухомі об'єкти можуть з'являтися на зображеннях, створюючи додаткові складнощі для кореляційного аналізу;

- освітлення. Зміни в умовах освітлення, такі як тіні, відблиски від сонця, можуть суттєво впливати на якість зображення та його подібність до еталонного.

Ці проблеми впливають на точність і ефективність методів обробки

зображень, таких як взаємно-кореляційний аналіз, який використовується для корекції траєкторії дронів. Врахування цих факторів є важливим для забезпечення надійності та точності імітаційного моделювання маршрутною корекції.

Для підвищення надійності корекції траєкторії, рекомендується використовувати додаткові методи попередньої обробки зображень, такі як фільтрація шумів, нормалізація освітлення та корекція геометричних спотворень.

Кожне досліджуване становище еталона на зображенні є гіпотезою. Справжня гіпотеза характеризується екстремумом вирішальної функції (рисунок 3.4). Екстремум визначає місце розташування опорного об'єкта.

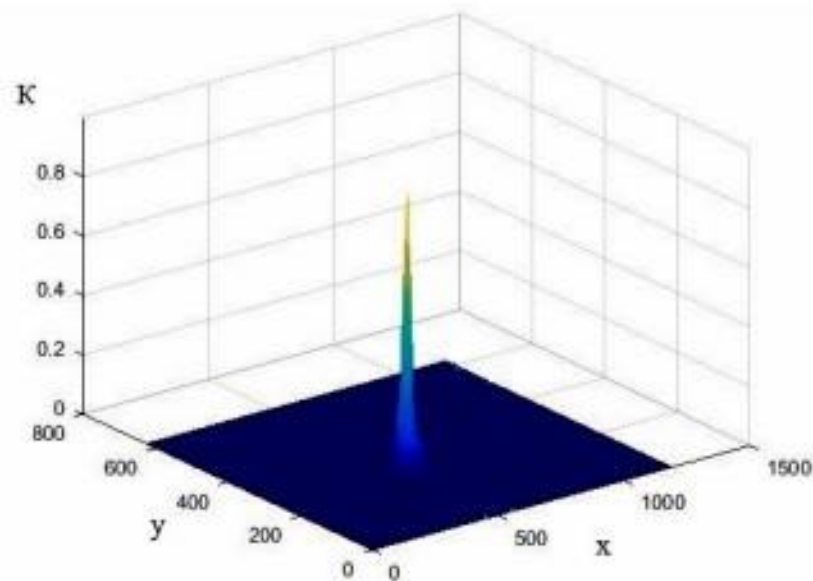


Рисунок 3.4 – Екстремум вирішальної функції

Обчислювальний експеримент проводився за допомогою імітаційного моделювання в середовищі моделювання MATLAB, що обумовлено його функціональністю. На базі цього методу розроблено алгоритм.

Алгоритм складається з наступних кроків:

- крок № 1. Обчислюються можливі значення кутів тангажу, курсу та

крену drone на траєкторії у кожній точці візування;

- крок № 2. Обчислюються ракурси візування шляхом обробки інформації про точки кроку № 1;

- крок № 3. Створюється прогноз зображення на основі тривимірної моделі у спектральному діапазоні;

- крок № 4. Спрогнозовані зображення трансформуються в еталони, ґрунтуючись на алгоритмі розпізнавання з урахуванням drone, що застосовується на борту;

- крок № 5. Ракурс візування визначає формування геоприв'язки стандарту;

- крок № 6. Розроблені в процесі виконання алгоритму зразки заносяться до спеціалізованої бази даних спеціально створеної для зберігання еталонів.

Частина області пошуку, для якої значення критеріальної функції виявиться мінімальним, приймається за зображення об'єкта, що спостерігається на поточному кадрі. При розрахунку значення критеріальної функції даний алгоритм не враховує точки (пікселі) частини області пошуку, яскравість яких занадто сильно відрізняється від яскравості відповідних точок еталонного зображення (абсолютне значення різниці яскравостей перевищує заданий поріг T): вважається, що такі точки належать об'єкту, що заслоняє пряму видимість. Чим більше точок зображення відкидається, тим менше інформації використовується для визначення положення об'єкта на зображенні - тим менш достовірні результати. У випадку, коли не враховується занадто багато точок, критеріальна функція може набути помилкового мінімального значення.

Цей алгоритм має високий ступінь надійності та високу точність. Щоб підвищити стійкість алгоритму до впливів, що обурюють, і змін зображення об'єкта внаслідок його наближення або повороту, проводиться постійне коригування еталонного зображення, а саме, отримання усередненого зображення об'єкта за допомогою попереднього еталонного зображення і

зображення об'єкта на поточному кадрі.

У обчислювальних експериментах метод Козко продемонстрував ряд переваг. Так завдяки використанню взаємно-кореляційного аналізу, метод має високу точність корекції траєкторії, зменшуючи відхилення до мінімальних значень, навіть при наявності значних перешкод, ефективність залишається на високому рівні. Завдяки такій точній корекції траєкторії, swarm-drones можуть оптимізувати енергоспоживання, що призведе до збільшення тривалості їх автономної роботи.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було досліджено метод Козко для розробки на його основі алгоритму маршрутної корекції польоту swarm-drone.

У кваліфікаційній роботі досліджується можливість застосування методу Козка для побудови алгоритму маршрутної корекції польоту swarm-drone. Автоматичні системи цього типу можуть реалізувати різні алгоритми роботи. Так, автоматичне управління рухом swarm-drones по карті заданого курсу може бути організовано безперервно на всій траєкторії руху. При цьому не потрібна карта місцевості всього маршруту, а лише карта місцевості у районах корекції. Система, що реалізує цю обробку, розташовується на верхньому рівні ієрархічної системи керування drone і називається кореляційною. За допомогою обчислювальних пристроїв визначаються лінійні та кутові неузгодженості зображень еталонного та поточного, що використовуються потім для управління swarm-drones.

Загалом, метод Козко є важливим інструментом для підвищення ефективності та надійності swarm-drones у виконанні складних завдань у різноманітних умовах експлуатації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ткачов В.М., Токарев В.В., Радченко В.О., Лебедев В.О. Проблема передачі даних типу BIG DATA у мобільній системі «Мультикоптер-сенсорна мережа» / В.М. Ткачов, В.В. Токарев, В.О. Радченко, В.О. Лебедев // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2017. №2(42). - сс.154-157
2. Пат. 118921 Україна, МПК H04W 64/00. Спосіб передачі цифрових даних мультикоптерною системою між сегментами розподіленої сенсорної мережі та базовою станцією / В.М. Ткачов, В.В. Токарев - № u201704085; заявл. 24.04.2017; опубл. 28.08.2017. Бюл. № 16. 5с.
3. Радченко В.А., Токарев В.В., Ткачев В.М. Мобільна система передачі даних на базі динамічно реконфігурованих мультикоптерних пристроїв / В.О. Радченко, В.В. Токарев, В.М. Ткачов // Проблеми інформатизації: тези доповідей V - наук. - техн. конф., 13 - 15 лист. 2017р. - Харків, 2017. - сс.36.
4. Створення науково-методичних основ забезпечення живучості мережевих систем обміну інформацією в умовах зовнішнього впливу потужного НВЧ випромінювання: звіт про НДР (заключ.) № держреєстрації 0117U003916.: Ф76/109-2017 / Харків. нац. ун-т радіоелектроніки; керівник Г. И. Чурюмов. – Харків, 2017. – 116 с.
5. Ruban I.V., Churyumov G.I., Tokarev V.V., Tkachov V.M. Provision of Survivability of Reconfigurable Mobile System on Exposure to High-Power Electromagnetic Radiation / I.V. Ruban, G.I. Churyumov, V.V. Tokarev, V.M. Tkachov // Selected Papers of the XVII International Scientific and Practical Conference on Information Technologies and Security: (ITS 2017). CEUR Workshop Processing., 30 nov. 2017 y. - Kyiv, 2017. - pp. 105-111.
6. Serkov A., Kravets V., Yakovenko I., Churyumov G., Tokariev V., Nannan W. Ultra Wideband Signals in Control Systems of Unmanned Aerial Vehicles / A. Serkov, V. Kravets, I. Yakovenko, G. Churyumov, V. Tokariev, W.

Nannan // The 10th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies: (DESSERT'2019)., 5-7 June, 2019 y. - Leeds, 2019. - pp.26 - 29.

7. Серков О. А., Пустовойтов П. Є., Яковенко І. В., Лазуренко Б. О., Чурюмов Г. І., Токарев В. В., Наннан Ванг. Надширокосмугові технології в системах управління мобільними об'єктами. / О. А. Серков, П. Є. Пустовойтов, І. В. Яковенко, Б. О. Лазуренко, Г. І. Чурюмов, В. В. Токарев, Ванг Наннан // Сучасні інформаційні системи. - 2019. - Т.3, №2. - сс.22-27.

8. Серков О.А., Князев В.В., Лазуренко Б.О., Яковенко І.В., Чурюмов Г.І., Токарев В.В. Надширокосмугові технології в задачах забезпечення електромагнітної сумісності рухомих об'єктів / О.А. Серков, В.В. Князев, Б.О. Лазуренко, І.В. Яковенко, Г.І. Чурюмов, В.В. Токарев // Проблеми електромагнітної сумісності перспективних бездротових мереж зв'язку (ЕМС-2019):збірник наукових робіт четвертої міжн. наук.-техн. конф., 24 жовт. 2019 р. - Харків, 2019. - сс. 55-57.

9. Krivoulya G., Tokariiev V., Ilina I, Shcherbak V. Mathematical Model for Finding Probability of Detecting Victims of Man-Made Disasters Using Distributed Computer System with Reconfigurable Structure and Programmable Logic / G. Krivoulya, V. Tokariiev, I. Ilina, V. Shcherbak // IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology: (PIC S&T), 06-09 oct. 2020y. - Kharkiv, 2020. - pp.197 - 201.

10. Krivoulya G., Tokariiev V., Ilina I., Lebediev O., Shcherbak V. Algorithm of Iterations of Distribution of Subtasks Between «S-Bot» in One «Swarm-Bot» System // Proceedings of the 6th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems: (COLINS 2022). CEUR Workshop Proceedings., 12-13 may. 2022 y. - Gliwice, Poland. - pp. 1531-1541.

11. Koshevoy N., Ilina I., Tokariiev V., Malkova A., Muratov V. Implementation Of The Gravity Search Method For Optimization By Cost Expenses Of Plans For Multifactorial Experiments // Radioelectronic and Computer Systems. – 2023. Vol. 1(105). - pp. 23-32. Doi:

10.32620/reks.2023.1.02.

12. Кривуля Г.Ф., Токарев В.В., Ільїна І.В., Кравець В.Є. Взаємодія між «s-bots» однієї «Swarm-bot» system у фізичному неорганізованому середовищі, Системи управління, навігації та зв'язку, 2023, №1(71). - сс.108-111. Doi: 10.26906/SUNZ.

13. Krivoulya G., Koshevoy N., Tokariiev V., Iilina I., Dubinsky D. Solving the Task of Topological Formation Intelligent Mobile «S-bots» for One «Swarm-bot» System // Proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems: (COLINS 2023). CEUR Workshop Proceedings., 20-21 april. 2023 y. - Kharkiv, Ukraine. - pp. 273-282.

14. Лебедєв О. Г., Бондар О. В., Самойленко Є. О., Черевко В. Г. Аналіз існуючих підходів до розрахунку кількісної оцінки живучості drones, Системи управління, навігації та зв'язку, 2024, №1(75). - сс.118-121. Doi:10.26906/SUNZ.2024.1.118.