

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Кіберфізична система служби доставки їжі за допомогою БПЛА
Назва теми

КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Виконав: студент III курсу, група K12c-20-1

Підпис

М. А. Красносельський
Ініціали, прізвище

Керівник

Підпис, дата

Т.М. Кисіль
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Підпис, дата

С.М. Лисенко
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем

Т.О. Говорущенко

Підпис

Ініціали, прізвище

« 7 » червня 2023 р

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Г.О.Говорущенко

“ 11 ” 01 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Красносельському Максиму Андрійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система доставки їжі за допомогою БПЛА

Керівник проекту (роботи) Кисіль Т.М., д.т.н., проф.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 1.03.2023 р. № 5

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Дослідження предметної області та постановка задачі

Моделювання та проектування кіберфізичної системи служби доставки їжі за допомогою БПЛА

Програмна-апаратна реалізація кіберфізичної системи служби доставки їжі за допомогою БПЛА





5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Логічна блок-схема доставки їжі та схема розміщень зарядних станцій

Графіки покриття зон для максимально ефективної роботи БПЛА

Апаратна частина БПЛА

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

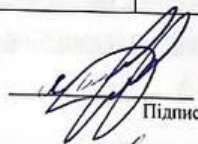
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КІС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КІС		

7. Дата видачі завдання « 01 » 03 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	11.01.2022	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	03.03.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – алгоритми та стратегії використання дронів для доставки їжі.	05.04.2023	виконано
5	Робота над розділом 3 – програмно-апаратна реалізація та тестування програмно-технічного засобу.	19.04.2023	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	11.05.2023	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2023	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	07.06.2023	

Студент


Підпис

М.А. Красносельський
Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)


Підпис

Т. М. Кисіль
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система доставки їжі за допомогою БПЛА».

Автор роботи: Красносельський Максим Андрійович.

Керівник роботи: Кисіль Тетяна Миколаївна

Пояснювальна записка: 56 с., 17 рис., 1 табл., 28 джерел.

Мета розробки кіберфізичних систем на основі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для доставки їжі полягає в покращенні ефективності доставки, забезпеченні безпеки та надійності, оптимізації енергоефективності та інтеграції з існуючими системами доставки.

Об'єктом дослідження є кіберфізичні системи на основі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для доставки їжі. Дослідження спрямовані на вивчення та вдосконалення таких систем, що об'єднують аспекти автономного польоту, дистанційного керування, комунікації, навігації та доставки їжі. Об'єктом аналізу можуть бути різні аспекти цих систем, включаючи розробку алгоритмів маршрутизації та планування польоту, вивчення сенсорних технологій для виявлення перешкод, дослідження енергоефективності, розробку систем управління безпекою польоту та інтеграцію зі звичайними системами доставки їжі.

Предметом дослідження є розробка, вдосконалення та застосування цих систем для ефективною доставки їжі. Дослідження можуть охоплювати такі аспекти, як розробка апаратного та програмного забезпечення для БПЛА, розробка та тестування алгоритмів планування маршрутів, вивчення сенсорних технологій для навігації та виявлення перешкод, дослідження систем комунікації для забезпечення зв'язку між БПЛА та контрольним центром.


Підпис студента

7.06.23
Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	5
1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань.....	5
1.2 Вимоги при розробці.....	6
1.3 Переваги та недоліки доставки їжі за допомогою БПЛА.....	7
1.4 Підходи до вирішення поставленої задачі.....	8
1.5. Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих безпілотних систем.....	10
1.6 Постановка задачі.....	13
1.7 Засоби імітаційного моделювання.....	14
1.8 Висновки до першого розділу.....	15
2. АЛГОРИТМИ ТА СТРАТЕГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ЇЖІ.....	17
2.1 Формулювання моделі.....	20
2.2 Характеристика вхідних наборів.....	29
2.3 Вплив бюджетного обмеження B на розв'язок :.....	32
2.4 Вплив параметрів S і T на рішення:.....	35
2.5 Час розв'язання.....	36
2.6 Висновок до розділу.....	38
3. ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ.....	40
3.1 Апаратна частина БПЛА.....	40
3.2 Реальні Кіберфізичні системи доставки їжі за допомогою БПЛА.....	44
3.3 Симуляція доставки їжі за допомогою БПЛА.....	46
3.3.1 Вибір платформи та базовий опис команд.....	47
3.3.2 Створення моделі доставки їжі.....	50

				КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ			
Зм. Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Проектування кіберфізичної системи служби доставки їжі за допомогою БПЛА	Літера	Арквш	Арквшів
Виконав	Красносельський				у	2	
Перевід.	Кисіль Т.М.			ХНУ КІ2с-20-1			
Н.контр.	Лисенко С.М.						
Затвер.	Говорущенко Т.О.		07.06				

3.3.3 Програмування доставки їжі.....	51
3.3.4 Алгоритми керування БПЛА	52
3.3.5 Оцінка результатів використання БПЛА.	55
3.4 Висновок до розділу	56
ВИСНОВОК	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	60
ДОДАТОК А Копія креслення «Логічна блок-схема доставки їжі та схема розміщення зарядних станцій».....	61
ДОДАТОК Б Копія креслення «Графіки покриття зон для максимально ефективної роботи БПЛА».....	62
ДОДАТОК В Копія креслення «Апаратна частина БПЛА»	63

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

БПЛА – безпілотний літальний апарат

ІІІ – штучний інтелект

ОЗДІ - онлайн замовлення доставки їжі

КПК – кишеньковий персональний комп`ютер

					КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		2

ВСТУП

Онлайн-покупки стали незамінними для багатьох людей, які мають щільний графік і потребують дедалі більшого розмаїття товарів і послуг. Дійсно, звільнення часу від обов'язкових справ і можливість зосередитися на більш приємних або продуктивних заняттях є одним із ключових чинників успіху електронної комерції. Значний розвиток електронної комерції та пов'язані з нею нові бізнес - моделі пропонують споживачам альтернативний досвід покупок, практично необмежений вибір товарів і послуг, відстеження замовлень у режимі реального часу, а іноді й швидку доставку - всі елементи, які за останні кілька років стрімко змінили вподобання споживачів.

Розуміючи, що люди дбають про економію часу та якість їжі, компанії надають сучасну послугу онлайн-замовлення та доставки їжі (ОЗДІ), охоплюючи не лише зайнятих клієнтів, але й тих, хто любить їжу з ресторану вдома. Надаючи послугу доставки їжі з ресторанів до дверей клієнта, компанії-посередники створюють значні переваги як для ресторанів, так і для клієнтів. Проте, надання такої послуги передбачає, що вони повинні взяти на себе відповідальність за всі логістичні аспекти транспортування їжі в умовах певних обмежень, особливо тих, що стосуються часу доставки.

Деякі підприємства у цьому секторі використовують велосипедистів (так званих райдерів) для здійснення доставок. Хоча ця практика є поширеною, вона має паралельні наслідки: з одного боку, вона дозволяє компаніям ОЗДІ працювати майже без затрат, з чудовим потенціалом гнучкості та масштабованості. З іншого боку, доступність та якість роботи кур'єрів може бути різною. Крім того, умови праці та ставлення до заробітної плати іноді призводять до протестів та страйків працівників. Щоб подолати ці проблеми, компанії активно вивчають інші форми доставки, використовуючи доступні технологічні рішення, такі як дрони. У засобах масової інформації з'являються нові приклади випробувань у цьому напрямку, які свідчать про те, що доставка їжі дронами

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		3

може скоротити час доставки, одночасно розширюючи зони покриття з мінімальним втручанням людини в процес транспортування.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА), відомі як "дрони", визначаються як "літальний апарат, який управляється без безпосереднього втручання людини зсередини або ззовні літального апарату" . Хоча дрони спочатку були розроблені для військових операцій, таких як спостереження і шпигунство, в останні кілька років різні компанії вивчають можливість використання дронів у цивільних цілях. Наразі дрони все частіше застосовуються в сільському господарстві, пожежогасінні та рятувальній діяльності. Крім того, останнім часом спостерігається постійне зростання і швидке збільшення технологій БПЛА.

Доставка їжі є однією з найважливіших галузей сучасного господарства і торгівлі. Завдяки швидкому розвитку технологій, особливо в галузі безпілотних літальних апаратів (дронів), виникає нова перспективна можливість - доставка їжі за допомогою дронів. Ця технологія відкриває широкі можливості для ефективної, швидкої та зручної доставки страв без необхідності використовувати традиційні транспортні засоби.

Доставка їжі за допомогою дронів полягає в використанні автономних апаратів, що здатні переносити невеликі пакети з їжею та доставляти їх безпосередньо до місця призначення. Це може бути ресторан, кафе, приватний будинок або офіс. Дрони забезпечують швидку та ефективну доставку, маневреність та здатність об'їжджати транспортні затори, що робить їх привабливими для швидкого задоволення потреб клієнтів.

Одним із головних переваг доставки їжі за допомогою дронів є значне зменшення часу доставки. Замовлення можуть бути оброблені та доставлені швидше, що робить цей спосіб доставки особливо зручним для ситуацій, коли потрібно швидко отримати їжу. Додатково, використання дронів дозволяє доставляти їжу в важкодоступних місцях, де традиційні транспортні засоби мають обмеження.

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		4

1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань

Предметна область дронів для доставки їжі охоплює використання безпілотних літальних апаратів (дронів) в галузі доставки харчових продуктів та страв. Ця область включає розробку, впровадження та вдосконалення технологій та систем, що дозволяють автоматично та ефективно доставляти їжу безпосередньо до клієнтів.

У предметній області дронів для доставки їжі вивчаються різні аспекти, зокрема:

1. Технічні аспекти: Розробка дронів з оптимальними характеристиками, такими як вантажопідйомність, дальність польоту, швидкість, тривалість роботи та маневреність. Включається також вивчення технологій датчиків, систем автопілотування, навігації та управління, а також розробка безпеки та запобігання аваріям.

2. Логістика та маршрутизація: Розробка алгоритмів та систем планування оптимальних маршрутів доставки, враховуючи розташування ресторанів, клієнтів, перешкод, а також трафік та інші фактори. Враховується ефективність маршрутів, мінімізація часу доставки та оптимізація використання ресурсів.

3. Безпека та регуляторні аспекти: Вивчення та розробка систем безпеки, включаючи виявлення перешкод, системи уникнення зіткнень та захист від несанкціонованого доступу. Розробка правових та регуляторних рамок, стандартів та політик, що стосуються використання дронів для доставки їжі.

4. Економічні та соціальні аспекти: Вивчення впливу використання дронів на економіку та суспільство. Аналіз економічної ефективності, вартості, прибутковості та прийнятності для споживачів. Врахування соціальних аспектів, таких як взаємодія зі споживачами, прийняття технології та зміна способу отримання їжі.

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		

Предметна область дронів для доставки їжі є комплексною і міждисциплінарною, включаючи аспекти технологій, логістики, безпеки, регуляції та соціальних аспектів. Дослідження та розвиток в цій області сприяють розширенню можливостей доставки їжі та покращують задоволення потреб клієнтів.

1.2 Вимоги при розробці

При розробці, моделюванні, впровадженні та аналізі доставки їжі за допомогою БПЛА потрібно враховувати наступні вимоги:

1. Безпека.
2. Надійність.
3. Ефективність.
4. Стійкість до зовнішніх впливів.
5. Сумісність з технологіями.
6. Легкість ремонту та обслуговування.
7. Економічність.

Хоча дрони можуть бути корисними, але використання їх також пов'язане з певними проблемами, які потрібно врахувати та вирішити :

- Безпека: Однією з основних проблем, пов'язаних з доставкою їжі за допомогою БПЛА, є безпека. Безпека може бути порушена у випадку, якщо БПЛА не буде вірно налаштований, що може призвести до падіння БПЛА або незаконного використання.

- Повітряний трафік: Зі зростанням кількості безпілотних літальних апаратів, існує ризик перенасичення повітряного простору, що може призвести до аварій та загрози безпеці в повітрі.

- Залежність від погодних умов: Погодні умови можуть впливати на безпеку та ефективність доставки їжі за допомогою БПЛА. Сильний вітер, дощ або туман можуть стати перешкодою для безпеки та ефективності доставки.

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		6

- Технічні проблеми: Потенційні технічні проблеми БПЛА можуть призвести до відмови системи в доставці їжі, що може стати проблемою для клієнтів та підприємств, які використовують цей сервіс.

- Регулювання: Наслідком зростання популярності безпілотних літальних апаратів є необхідність в регулюванні їх використання. Необхідно забезпечити дотримання законодавства та норм безпеки для запобігання випадків незаконного використання БПЛА.

1.3 Переваги та недоліки доставки їжі за допомогою БПЛА

Звичайні способи доставки їжі, такі як доставка автомобілем або кур'єром, мають свої переваги і недоліки порівняно з доставкою за допомогою БПЛА. Ось детальніше про них:

Переваги доставки їжі за допомогою БПЛА:

1. Швидкість: БПЛА можуть бути набагато швидшими, оскільки вони не піддаються дорожнім заторам і обмеженням швидкості на дорогах. Вони можуть літати безпосередньо до пункту доставки, дозволяючи клієнтам отримати їжу швидше.

2. Можливість доставки в важкодоступні місця: БПЛА можуть доставляти їжу в місця, які важко досягти традиційними способами, такі як віддалені райони, гірські місцевості або острови. Це особливо корисно для доставки екстреної або необхідної їжі в умовах, коли інші засоби доставки можуть зазнавати труднощів.

3. Екологічність: БПЛА є більш екологічною альтернативою, оскільки вони не викидають вихлопні гази і не сприяють забрудненню повітря. Зменшення використання традиційних транспортних засобів також може сприяти зменшенню викидів CO₂ і інших шкідливих речовин.

4. Покращена ефективність: БПЛА можуть бути програмовані для оптимального маршруту, що дозволяє зменшити витрати на паливо та підвищити

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		7

загальну ефективність доставки їжі. Вони можуть уникати заторів та шукати найкоротший шлях, що пришвидшує процес доставки.

Недоліки доставки їжі за допомогою БПЛА:

1. Обмежена вантажопідйомність: Багато комерційних БПЛА мають обмежену вантажопідйомність, що обмежує їх здатність перевозити великі обсяги їжі або важкі предмети. Це може бути обмеженням для доставки більших замовлень або великих груп людей.

2. Потреба у безпечних місцях посадки: БПЛА вимагають безпечного місця для посадки, такого як платформи або спеціальні доки. Це може створювати виклик у міських районах або в умовах з обмеженим простором. Також існує ризик, що БПЛА можуть пошкодитись при посадці на непридатні для цього місця.

3. Вплив погодних умов: Погодні умови, такі як сильний вітер, дощ, снігопад або туман, можуть впливати на здатність БПЛА до безпечної доставки їжі. У таких умовах можуть існувати обмеження або навіть заборони на польоти БПЛА, що може призвести до затримок або скасування доставки.

4. Регулятивні перешкоди: Використання БПЛА для доставки їжі потребує відповідного регулювання та відповідності правилам та нормативам авіації та безпеки. Законодавство щодо безпілотних повітряних суден все ще розвивається, і можуть існувати обмеження або вимоги, які ускладнюють комерційне використання доставки їжі за допомогою БПЛА.

Ці переваги і недоліки варто враховувати при виборі між доставкою їжі за допомогою БПЛА та традиційними способами.

1.4 Підходи до вирішення поставленої задачі

Існує кілька підходів до вирішення поставленої задачі кіберфізичної системи служби доставки їжі за допомогою БПЛА. Розглянемо деякі з них:

1) Розробка спеціалізованої апаратної та програмної системи: цей підхід передбачає розробку спеціальної апаратної та програмної системи для управління

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		8

БПЛА, включаючи систему взаємодії з клієнтами, маршрутизацію руху дронів, систему контролю та спостереження за дронами та інші компоненти. Цей підхід дозволяє забезпечити максимальний рівень керування та контролю над БПЛА, проте вимагає значних витрат на розробку та впровадження системи.

2) Використання готових рішень: цей підхід передбачає використання готових рішень для управління БПЛА та взаємодії з клієнтами, таких як платформи для управління дронами, АРІ для взаємодії з онлайн-сервісами та інші. Цей підхід дозволяє значно зменшити витрати на розробку та впровадження системи, проте може обмежити можливості системи та знизити рівень контролю над БПЛА.

3) Комбінація різних підходів: цей підхід передбачає комбінацію різних компонентів та рішень для реалізації системи. Наприклад, можна використовувати готову платформу для управління дронами та розробити власну систему взаємодії з клієнтами та контролю за дронами. Цей підхід дозволяє забезпечити баланс між витратами та можливостями системи.

Архітектура для моніторингу, контролю та аналітики доставки їжі на основі дронів може складатися з наступних компонентів:

1. Безпілотні повітряні апарати (БПЛА) - центральний елемент системи, який виконує функцію доставки їжі з точки А до точки Б. БПЛА повинен бути оснащений відповідними сенсорами для вимірювання висоти, швидкості, напрямку і інших параметрів польоту. Він також може мати обладнання для автоматичного пілотування та керування, щоб забезпечити безпеку та ефективність доставки.

2. Центр керування - централізована система, яка відповідає за керування всіма безпілотними повітряними апаратами в системі. Центр керування може включати операторів, які можуть відстежувати польоти БПЛА в режимі реального часу та відповідати на будь-які небезпечні ситуації. Оператори можуть також використовувати системи моніторингу та контролю, щоб забезпечити ефективне та безпечне керування БПЛА.

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		9

3. Система навігації та контролю - ця система відповідає за керування польотами БПЛА, включаючи визначення оптимального маршруту доставки, забезпечення точності та стійкості польоту, та відслідковування стану БПЛА в режимі реального часу. Вона може включати GPS-приймачі, гіроскопи, акселерометри та інші датчики для забезпечення точної навігації та контролю.

4. Система збору даних та аналітики - ця система забезпечує збір, збереження та аналіз даних процесу доставки їжі на основі БПЛА. Вона може включати різні датчики, які збирають дані про польот БПЛА, наприклад, висоту, швидкість, температуру, відстань до пункту призначення та інші показники. Після збору даних вона може проводити аналіз для забезпечення оптимального маршруту, визначення часу доставки, забезпечення точності та надійності доставки.

5. База даних - ця система відповідає за збереження даних, які зібрані під час процесу доставки їжі на основі БПЛА. Вона може включати інформацію про маршрути польоту, статистику польотів, дані про пункти призначення та клієнтів. Ця інформація може бути використана для подальшого аналізу та вдосконалення системи доставки їжі на основі БПЛА.

1.5. Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих безпілотних систем

Для порівняння та опису використаємо : DJI Mavic 3 Fly More Combo та Phantom Ray.

- DJI Mavic 3 Fly More Combo є привабливим вибором для багатьох користувачів завдяки своїй портативності, легкості в управлінні та можливості відеозйомки у високій якості. Нижче подано порівняльний аналіз переваг та недоліків DJI Mavic 3 Fly More Combo для різних застосувань.

Переваги:

					КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		10

1. Компактність та портативність: DJI Mavic 3 Fly More Combo має складну конструкцію, яка дозволяє йому згорнутися у невеликий розмір і займати мінімальний простір при транспортуванні.

2. Висока якість зображень: дрон оснащений 4K-камерою зі зменшеними спотвореннями, що забезпечує чітку та якісну зйомку відео та фотографій.

3. Довгий час польоту: забезпечується велика ємність батареї, що дозволяє використовувати дрон до 46 хвилин на одній зарядці.

4. Легкість в управлінні: користувач може легко виконувати різні маневри та режими польоту за допомогою пульта дистанційного керування або мобільного додатку.

Недоліки:

1. Висока вартість: DJI Mavic 3 Fly More Combo є досить дорогим варіантом порівняно з іншими безпілотними літальними апаратами для аналогічних функцій.

2. Обмежена швидкість польоту: дрон не досягає таких високих швидкостей, як деякі інші літальні апарати, що може становити проблему при виконанні певних завдань.

3. Обмежений дальній досяг: DJI Mavic 3 Fly More Combo може літати на відстань до 10 км від оператора, що може бути недостатньо для деяких застосувань.

- Phantom Ray - це безпілотний літальний апарат (БПЛА), розроблений компанією Boeing для виконання різноманітних завдань. Нижче наведений порівняльний аналіз переваг та недоліків Phantom Ray для різних застосувань:

Переваги:

1. Phantom Ray може виконувати зйомку з повітря та збирати дані для наукових досліджень та моніторингу довкілля.

2. Він може бути використаний для пошуку та порятунку в екстремальних ситуаціях.

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		11

3. Phantom Ray може бути використаний для охорони кордонів та митного контролю.

Зовнішній вигляд квадрокоптер DJI Mavic 3 Fly More Combo зображено на ралюнку 1.1.



Рисунок 1.1 – Квадрокоптер DJI Mavic 3 Fly More Combo

Недоліки:

1. Він може бути використаний для незаконного збирання інформації та порушення приватності.

2. Phantom Ray може стати джерелом потенційної небезпеки для громадськості, якщо він випадково впаде в місце збирання людей.

Зовнішній вигляд БЛПА boeing x-45c зображено на рисунку 1.2.

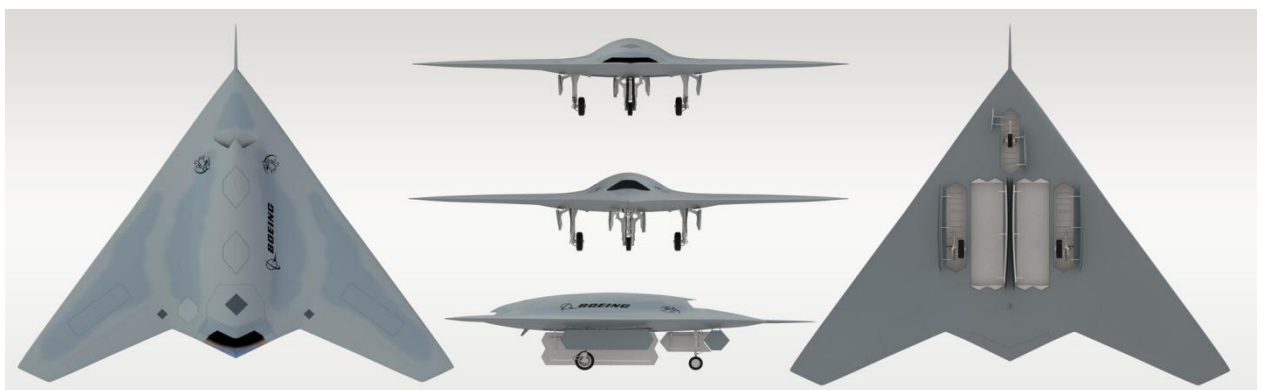


Рисунок 1.2 - БЛПА boeing x-45c phantom ray

1.6 Постановка задачі

Постановка задачі кіберфізичної системи служби доставки їжі за допомогою БПЛА полягає в наступному: необхідно створити кіберфізичну систему на основі безпілотних літальних апаратів, яка забезпечуватиме швидку та безпечну доставку їжі.

Задачі, які необхідно вирішити для досягнення цієї мети, можуть бути наступними:

- Розробка системи маршрутизації та планування: Задача передбачає розробку алгоритмів, які дозволяють визначати оптимальний маршрут доставки їжі з точки відправлення до місця призначення. Враховуються фактори, такі як відстань, швидкість польоту, розташування ресторанів та клієнтів, трафік на дорогах та інші обмеження. Метою є максимізація швидкості та ефективності доставки, зниження часу очікування та оптимальне використання ресурсів.

- Розробка системи керування БПЛА: Задача полягає в розробці програмного забезпечення та алгоритмів, що забезпечують керування безпілотним літальним апаратом. Це включає автопілотування, навігацію, стабілізацію польоту та виконання запланованих маневрів. Система керування повинна забезпечувати точність і надійність управління, враховувати зміни в погодних умовах та взаємодіяти з системою маршрутизації.

- Розробка системи виявлення перешкод: Задача полягає в розробці системи, яка здатна виявляти перешкоди на маршруті польоту БПЛА і приймати рішення про уникнення них. Це може включати використання датчиків, камер, радарів або інших пристроїв для спостереження та збору даних про навколишнє середовище. Задача полягає в розробці алгоритмів обробки даних, розпізнавання перешкод та прийняття швидких та безпечних рішень щодо маневрування БПЛА.

- Розробка системи комунікації: Задача передбачає розробку системи, яка забезпечує безперебійний зв'язок між БПЛА та земною станцією керування. Це включає передачу команд керування, отримання статусних повідомлень, обмін

					КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		13

даними про місцезнаходження, швидкість та стан БПЛА. Метою є забезпечення надійного зв'язку, щоб оператори могли ефективно керувати БПЛА та відстежувати їх стан під час доставки їжі.

- Розробка системи замовлення та відстеження: Задача полягає в розробці системи, яка дозволяє клієнтам замовляти їжу за допомогою мобільних додатків або веб-інтерфейсу. Система повинна забезпечувати зручний процес замовлення, включаючи вибір страв, спосіб оплати та адресу доставки. Крім того, система повинна надавати можливість клієнтам відстежувати статус свого замовлення та отримувати повідомлення про очікуваний час доставки.

Ці задачі спрямовані на розробку та впровадження ефективної та надійної кіберфізичної системи доставки їжі за допомогою БПЛА, що забезпечує швидкість, безпеку та зручність для клієнтів.

1.7 Засоби імітаційного моделювання

Засоби імітаційного моделювання кіберфізичних систем доставки їжі за допомогою БПЛА дозволяють вивчити різні аспекти цих систем і провести детальний аналіз їх функціонування. Ось кілька конкретних засобів, які можуть бути використані для цієї мети:

- Симулятори польоту БПЛА: Ці інструменти дозволяють створювати моделі польоту БПЛА з урахуванням різних параметрів, таких як розмір та маса БПЛА, швидкість, тривалість польоту, маневреність і обмеження вантажопідйомності. Вони враховують фізичні характеристики літального апарату і дозволяють симулювати різні сценарії польоту, включаючи старт, посадку, автономний політ і маневрування.

- Моделювання трафіку і логістики: Імітаційні моделі трафіку і логістики враховують складність доставки їжі за допомогою БПЛА в реальних умовах. Вони враховують такі фактори, як розташування ресторанів, споживачів та інших потенційних пунктів доставки, пропускну здатність доріг, швидкість руху

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		14

транспорту, затори і часи очікування на зупинках. Ці моделі дозволяють оцінювати пропускну здатність мережі доставки, прогнозувати часи доставки і виконувати оптимізацію маршрутів для забезпечення найефективнішої доставки.

- Моделювання зв'язку та мережі: Використання БПЛА для доставки їжі вимагає ефективної бездротової комунікації між БПЛА, базовими станціями і системами управління. Моделі зв'язку та мережі враховують особливості бездротових мереж, такі як діапазон частот, швидкість передачі даних, затримки, перешкоди і місткість мережі. Вони дозволяють вивчити ефективність зв'язку, оцінити межі покриття мережі, здійснити аналіз затримок та надійності передачі даних.

- Моделювання споживачів і ресторанів: Ці моделі враховують поведінку споживачів і ресторанів у контексті доставки їжі за допомогою БПЛА. Вони враховують фактори, такі як споживчий попит, розмір замовлень, час очікування, час приготування страв і можливість обслуговування багатьох замовлень одночасно. Ці моделі дозволяють оцінити продуктивність ресторанів, визначити оптимальні обсяги виробництва і розподілити завантаження між різними ресторанами.

Ці засоби імітаційного моделювання допомагають розробникам та дослідникам оцінити ефективність, надійність та оптимальні стратегії доставки їжі за допомогою БПЛА перед їх практичним впровадженням. Вони дозволяють виявити можливі проблеми, здійснити оптимізацію та забезпечити успішне виконання доставки з використанням безпілотних літальних апаратів.

1.8 Висновки до першого розділу

Дослідження предметної області та постановка задачі є важливим етапом будь-якого проекту. Даний розділ включає аналіз доступної інформації про предметну область, визначення проблеми або потреби, яку необхідно вирішити, та постановку конкретної задачі для досягнення поставленої мети.

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		15

Дослідження предметної області включає збір та аналіз існуючих даних, літературний огляд, співбесіди з експертами та інші джерела інформації, щоб отримати повний обсяг знань. Це допомагає усвідомити поточний стан справ у галузі та ідентифікувати можливі прогалини або проблеми, які варто вирішити.

Після вивчення предметної області, було сформульовано чітку постановку задачі. Розділ включає визначення конкретних цілей та об'єктивів, які мають бути досягнуті, а також визначення обмежень, умов і ресурсів, що впливають на дослідження або проект.

Після проведення дослідження предметної області та постановки задачі, можна підсумувати, що цей етап є ключовим для успіху будь-якого проекту.

В даному розділі, були описані основні характеристики БПЛА, їх можливості та найвигідніше використання, висвітлені основні переваги та недоліки доставки їжі за допомогою безпілотний літаючих апаратів та чітко сформована і представлена постановка задачі.

					КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		

2. АЛГОРИТМИ ТА СТРАТЕГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ЇЖІ

2.1 Опис ефективності та етапи доставки за допомогою БПЛА

Для вирішення питань та опису ефективності використання БПЛА, змодельюємо ситуацію замовлення клієнтом. Процес замовлення можна розподілити на чотири етапи:

1. Клієнт шукає свою улюблену страву на онлайн-платформі компанії-посередника. Платформа показує добірку відповідних ресторанів, з яких клієнт може вибирати. Запит може бути поданий через веб-сайт, мобільний додаток або інші канали зв'язку. Набір відповідних ресторанів залежить від місця розташування клієнта та середнього часу, необхідного для того, щоб дістатися до них.

2. Клієнт надсилає замовлення до відповідного ресторану, який починає готувати їжу. При підтвердженні замовлення клієнт отримує повідомлення про прийняття замовлення, а також додаткову інформацію, наприклад, час доставки. Загалом, час очікування клієнта на замовлення не повинен перевищувати максимального значення T (тобто, як правило, 25-35 хвилин) з моменту оформлення замовлення, що також називається загальною гарантією обслуговування, що представляє максимальний час, який клієнт готовий чекати.

3. Через систему компанії-посередника, а також відповідно до наявності та розташування дронів, доставка призначається одному дрону. Дрон вилітає з зарядної станції, доїжджає до ресторану, забирає їжу і летить до клієнта, щоб доставити замовлення протягом T хвилин з моменту розміщення замовлення.

4. Після доставки дрон повертається на зарядну станцію (або може бути призначений на іншу доставку, якщо залишок заряду батареї дозволяє це зробити).

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		17

Описавши етапи замовлення від початку формування замовлення до кінцевої фази - повернення дрону на зарядну станцію, було сформовано логічну блок-схему роботи БПЛА (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 - Логічна блок-схема доставки їжі за допомогою БПЛА

Що стосується останнього кроку описаного вище процесу, то при проектуванні мережі враховуються виїзди дронів із зарядних станцій. Таке припущення впливає зі стратегічного характеру моделі, в якій неможливо знати фактичний попит, місцезнаходження дронів та рівень заряду акумуляторів після кожної доставки.

З точки зору постачальника послуг, метою є максимізація точок попиту, які можуть бути покриті, враховуючи обмеження щодо часу доставки, та обмеження щодо конфігурації мережі. Такий попит, який називається покритим попитом, являє собою потенційний ринок. Таким чином, постачальник прагне максимізувати покритий попит або, потенційний ринок. У цій роботі попит виражається як кількість клієнтів, незалежно від кількості, необхідної для кожного замовлення.

Однак у цьому конкретному секторі близькість, як правило, не є тим унікальним ціннісним виміром, якого прагне покупець. Дійсно, поведінка споживачів іноді орієнтована на пошук різноманітності, особливо коли вибір стосується їжі та ресторанів. Таким чином, обсяг пропозиції, тобто кількість ресторанів, які можуть бути "віртуально патроні" (тобто обрані) споживачем, може відігравати важливу роль. У цьому відношенні ресторан може бути обраним клієнтом, якщо існує принаймні одна зарядна станція, з якої дрон може вилетіти і дістатися до клієнта.

Отже, клієнт (або його запит) вважається "охопленим", якщо він може користуватися достатньо великою кількістю S ресторанів, які можуть обслужити їх протягом заданого часу T з моменту замовлення.

Максимально допустимий час очікування T обмежує кількість ресторанів, які клієнт може відвідати, відповідно до розташування зарядних станцій. Фактично, при визначенні набору прийнятних ресторанів для кожного клієнта, платформа компанії ОЗДІ повина враховувати час, необхідний для переміщення дрона від місця відправлення до ресторану, а також від ресторану до місця доставки. Приготування їжі відбувається паралельно з рухом носія, і ми

припускаємо, що їжа готова до доставки, як тільки дрон прибуває до ресторану. Отже, місце відправлення дрона відіграє критично важливу роль.

Розподіл місця відправлення є вирішальним рішенням для того, щоб дозволити провайдеру покрити більшу частину попиту у визначеному вище сенсі, як показано на рисунку 2.1.

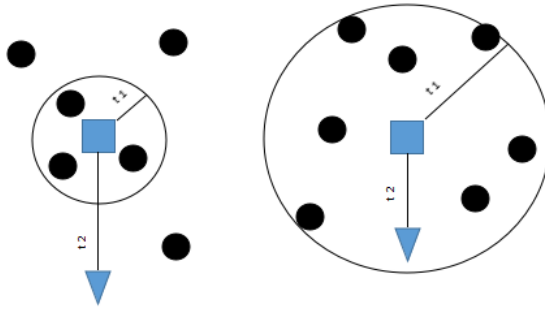


Рисунок 2.2 - Розподіл місця покриття

Де, \bigcirc - зона покриття;

\blacksquare - ресторан або зона готування їжі;

\blacktriangledown - зарядна станція або пункт відправки дрону;

\bullet - клієнт.

2.1 Формулювання моделі.

Після дискретизації проблеми та введення всіх припущень модель використовує наступні параметри:

- $I = \{1, \dots, n\}$: множина точок доставки (тобто клієнтів).
- $J = \{1, \dots, m\}$: множина точок самовивозу (тобто ресторанів-партнерів).
- $K = \{1, \dots, k\}$: множина можливих місць розташування зарядних станцій.

- d_i : відстань між точкою доставки $i \in I$ та точкою отримання (рестораном) $j \in J$. Відстань виражається в одиницях часу.

- d_{jk} : відстань між точкою збору $i \in I$ та місцем розташування кандидата $k \in K$. Відстань виражається в одиницях часу.

- p_{tj} : середній час приготування страви в ресторані $i \in I$ з моменту отримання замовлення.

- T : загальна гарантія обслуговування, тобто максимально прийнятний час, протягом якого клієнт готовий чекати на доставку.

- D_i : щільність населення пункту доставки $i \in I$. Вона представляє кількість потенційних клієнтів у пункті доставки i може бути виражена як очікуване значення, щоб врахувати варіативність.

- B : бюджет, доступний для активації зарядних станцій.

- r_k : вартість активації зарядної станції в місці розташування кандидата $k \in K$.

- S : мінімальна кількість ресторанів, яку постачальник послуг повинен запропонувати клієнту, щоб вважати його застрахованим.

- c_{ijk} : бінарний параметр, що визначає покриття вузла $i \in I$ який обслуговується дроном, що вилітає з місця-кандидата $k \in K$ та забирає їжу в ресторані $j \in J$, враховуючи, що загальна довжина "шляху" (в одиницях часу) має бути меншою за T . Припускаючи, що підготовка їжі в ресторані i рух дрона від зарядної станції виконуються паралельно, ми можемо формально написати:

$$c_{ijk} = \begin{cases} 1, & \max(d_{jk}, p_{tj}) + d_{ij} \leq T \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}, \quad (2.1)$$

де c_{ijk} - покриття вузла;

d_{jk} - відстань між точками збору;

d_{ij} - відстань між точками доставки;

p_{tj} - середній час приготування;

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		21

T - час доставки.

Необхідні змінні рішення визначаються наступним чином:

$$x_k = \begin{cases} 1, \text{ якщо зарядна станція встановлена в } k \in K, \\ 0, \text{ інакше} \end{cases}, \quad (2.2)$$

де x_k - точка зарядної станції;

k - точка розташування зарядної станції;

K - множина можливих місць розташування зарядних станцій.

Змінна y_{ij} вираховується за формулою:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо клієнт } i \in I \text{ шукає ресторан } j \in J, \\ 0, \text{ інакше} \end{cases}, \quad (2.3)$$

де y_{ij} - точка точка знаходження клієнта;

i - точка доставки;

I - множина точок доставки;

j - точка знаходження ресторану;

J - множина точок самовивозу (тобто ресторанів-партнерів).

Кількість клієнтів, яких можна обслужити вираховується за формулою:

$$\delta_i = \begin{cases} 1, \text{ якщо зона } i \in I \text{ покривається хоча б } S \text{ ресторанами}, \\ 0, \text{ інакше} \end{cases}, \quad (2.4)$$

де, δ_i - кількість клієнтів, які можна обслужити;

i - точка доставки;

I - множина точок доставки;

S - кількість ресторанів.

Змінна y_{ij} визначає "досяжність" клієнта, тобто $y_{ij} = 1$, якщо існує принаймні одна активна зарядна станція в точці попиту в j , яка може з'єднатися з рестораном S протягом часу T . Змінна δ_i потім використовується для підрахунку кількості клієнтів в I яких можуть обслужити щонайменше S ресторанів протягом заданого часового обмеження .

Мета полягає в тому, щоб максимізувати кількість охоплених клієнтів, враховуючи обмеження на мінімальну кількість ресторанів на одного клієнта. Це виражається наступним чином:

$$\max Z = \max \sum_{k \in K} D_i \cdot \delta_i - \varepsilon_1 \sum_{i \in I} x_k, \quad (2.5)$$

де Z - кількість охоплених клієнтів;

k - точка розташування зарядної станції;

K - множина можливих місць розташування зарядних станцій;

D_i - щільність населення пункту доставки;

δ_i - кількість клієнтів, що можуть бути обслужені рестораном;

ε_1 - покриття попиту;

i - точка доставки;

I - множина точок доставки;

x_k - кількість станцій;

за умови :

$$\sum_{k \in K} c_{ijk} \cdot x_k \geq y_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J, \quad (2.6)$$

де k - точка розташування зарядної станції;

K - множина можливих місць розташування зарядних станцій;

					КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		23

c_{ijk} - покриття вузла;

x_k - кількість станцій;

u_{ij} - досяжність клієнта;

i - точка доставки;

I - множина точок доставки;

j - точка знаходження ресторану;

J - множина точок самовивозу.

Або виражається, при:

$$e_2 \cdot \sum_{k \in K} c_{ijk} \cdot x_k \geq u_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J, \quad (2.7)$$

де e_2 - невелике число покриття;

k - точка розташування зарядної станції;

K - множина можливих місць розташування зарядних станцій;

c_{ijk} - покриття вузла;

x_k - кількість станцій;

u_{ij} - досяжність клієнта;

i - точка доставки;

I - множина точок доставки;

j - точка знаходження ресторану;

J - множина точок самовивозу.

$$\sum_{k \in K} c_{ijk} \cdot x_k \geq u_{ij} , \quad (2.8)$$

де k - точка розташування зарядної станції;

K - множина можливих місць розташування зарядних станцій;

c_{ijk} - покриття вузла;

x_k - кількість станцій;

y_{ij} - досяжність клієнта.

Також виражається, за формулою:

$$\delta_i \leq \max(0, \theta_i - S + 1) \quad \forall i \in I, \quad (2.9)$$

де δ_i – кількість клієнтів, які можна обслужити;

θ_i – кількість ресторанів, які можуть дістатися до вузла клієнта;

S – кількість ресторанів;

i – точка доставки;

I – множина точок доставки.

Також за умови:

$$\sum_{k \in K} r_k \cdot x_k \leq B, \quad (2.10)$$

де k - точка розташування зарядної станції;

r_k - вартість активації зарядної станції в місці розташування клієнта;

x_k - кількість станцій;

B - бюджет, доступний для активації зарядних станцій.

За умови, що x_k :

$$x_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, \quad (2.11)$$

де k - точка розташування зарядної станції;

K - множина можливих місць розташування зарядних станцій;

x_k - кількість станцій.

Та при :

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, \quad (2.12)$$

де y_{ij} - досяжність клієнта;

i - точка доставки;

I - множина точок доставки;

j - точка знаходження ресторану;

J - множина точок самовивозу.

Змінна θ_i :

$$\theta_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (2.13)$$

де θ_i – кількість ресторанів, які можуть дістатися до вузла клієнта;

i - точка доставки;

I - множина точок доставки.

Та змінна δ_i :

$$\delta_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \quad (2.14)$$

де δ_i – кількість клієнтів, які можна обслужити;

i - точка доставки;

I - множина точок доставки.

Рівняння (2.5) визначає цільову функцію як максимізацію кількості точок попиту $i \in I$, досягнутих щонайменше S ресторанами, зважених на щільність населення D_i в кожній точці. Другий член функції, де e_i є невеликим числом, дозволяє уникнути вибору місць відправлення кандидатів, які не внесок у покриття

попиту. Без цього члена модель активувала б усі вузли, що відправляються, які покривають принаймні одного клієнта (тобто, допускаючи будь-яке $y_{ij} = 1$ через набори обмежень (2.6) і (2.7)), однак, ці вузли, що відправляються, не роблять внеску в цільову функцію, якщо вони охоплюють клієнтів, які в цілому не обслуговуються кількістю ресторанів, що перевищує мінімальний поріг S .

Разом набори обмежень (2.6) та (2.7) забезпечують зв'язок між активними місцями та покриттям, де e_2 - невелике число. Дійсно, якщо вершина $i \in I$ може бути обслужена з ресторану $j \in J$ дроном, який вилітає з місця $k \in K$ за час T (таким чином, $c_{ijk} = 1$ і $x_k = 1$), то вершина i покривається (тобто, досяжна) рестораном j ($y_{ij} = 1$). Множина обмежень (2.8) визначає кількість θ_i ресторанів, які можуть дістатися до вузла клієнта i за час T виїхавши з місця $k \in K$. Таке число потім використовується в системі обмежень (2.9), яка передбачає, що змінна δ_i може бути більшою за 0, якщо існує щонайменше S ресторанів, які можуть бути відвідані клієнтами у вузлі i протягом часу T і повинна дорівнювати 0 у протилежному випадку. Оскільки змінні δ_i роблять позитивний внесок у цільову функцію, вони набувають значення 1, якщо це дозволяє обмеження.

Набір обмежень (2.10) являє собою бюджетне обмеження, де r_k - вартість активації зарядної станції в місці k , а B - доступний бюджет, що обмежує кількість зарядних станцій, які можуть бути активовані. Нарешті, обмеження з (2.11) - (2.14) визначають області значень змінних.

Описана вище модель не є лінійною через набір обмежень (2.9), що включає функцію максимуму. Однак це обмеження можна лінеаризувати і сформулювати наступним чином:

$$\max(0, \theta_i - S + 1) = \theta_i - \min(\theta_i, S + 1) \quad \forall i \in I, \quad (2.15)$$

де θ_i – кількість ресторанів, які можуть дістатися до вузла клієнта;

S – кількість ресторанів;

i – точка доставки;

I – множина точок доставки.

Рівняння (2.15) можна лінеаризувати, ввівши наступні змінні та обмеження:

$$z_i = \theta_i - S \quad \forall i \in I, \quad (2.16)$$

де z_i - надлишок ресторанів, які можуть досягти вузла;

θ_i – кількість ресторанів, які можуть дістатися до вузла клієнта;

S – кількість ресторанів;

i – точка доставки;

I – множина точок доставки.

Набір обмежень δ_i :

$$M \cdot (1 - \delta_i) \geq z_i \quad \forall i \in I, \quad (2.17)$$

де M – число замовлень:

δ_i – кількість клієнтів, які можна обслужити;

z_i - надлишок ресторанів, які можуть досягти вузла;

i - точка доставки;

I - множина точок доставки.

Набір обмежень z_i :

$$M \cdot \delta_i \geq z_i \quad \forall i \in I, \quad (2.18)$$

де, - M – число замовлень:

δ_i – кількість клієнтів, які можна обслужити;

z_i - надлишок ресторанів, які можуть досягти вузла;

i - точка доставки;

I - множина точок доставки.

Вільна змінна z_i , визначена в (2.16), представляє надлишок ресторанів, які можуть досягти вузла i по відношенню до мінімально необхідної кількості S . Таким чином, якщо $z_i < 0$, то мінімально необхідна кількість ресторанів не досягається для клієнтів у i . Таким чином, набори обмежень (2.17) та (2.18) змушують δ_i дорівнювати 0, де M є достатньо великим числом. Аналогічно, якщо $z_i \geq 0$, клієнти i можуть вибрати принаймні з S ресторанів, які їм потрібні, набори обмежень (2.17) і (2.18) змушують δ_i дорівнювати 1, фактично замінюючи набір нелінійних обмежень (2.9).

2.2 Характеристика вхідних наборів

Множина місць-кандидатів є вхідними даними для моделі. Це передбачає аналіз території та апіорну ідентифікацію відповідних зон, де можуть бути встановлені зарядні станції. Можуть бути місця, де це заборонено, і місця, які мають кращі характеристики, ніж інші, щоб задовольнити вимоги зарядних станцій. Однак якість розв'язку суворо залежить від простору розв'язку, який частково визначається початковими множинами, які можуть бути використані для встановлення верхньої межі значення цільової функції.

Для цього визначимо як :

$$y_{ij} = \sum_{k \in K} c_{ijk} \quad \forall i \in I, \quad (2.19)$$

де y_{ij} - досяжність клієнта;

k - точка розташування зарядної станції;

K - множина можливих місць розташування зарядних станцій;

					КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		29

c_{ijk} - покриття вузла;

i - точка доставки;

I - множина точок доставки.

Змінна представляє кількість місць-кандидатів K , з яких клієнт може дістатися дроном до ресторану, що знаходиться на шляху до нього.

Аналогічно ми визначаємо:

$$\Gamma_1 = \sum_{j \in J} 1_{y_{ijk}}(y_{ij}) \quad \forall i \in I, \quad (2.20)$$

де Γ_1 - представляє кількість ресторанів, які можуть обслужити клієнта;

j - точка знаходження ресторану;

J - множина точок самовивозу.

y_{ij} - досяжність клієнта;

i - точка доставки;

I - множина точок доставки.

$1_y(x)$ - індикаторна функція щодо умови A . Таким чином Γ_1 , представляє кількість ресторанів у j які можуть обслужити клієнта i заданого множиною K . Таким чином, різні множини K та J можуть генерувати різні вектори $\Gamma_{(kj)} = (\Gamma_1, \dots, \Gamma_{|j|})$. Вектор $\Gamma_{(kj)}$ характеризує множини K та J .

Якщо $D_i > 0 \forall i \in I$ цільова функція строго більше нуля для будь-якого $S \leq \max(\Gamma_{(kj)}) = \rho\{K, J\}$, тоді як перший член цільової функції дорівнює нулю для $S > \max \Gamma_{(kj)}$. Насправді, $\rho\{K, J\}$ представляє максимальну кількість ресторанів J , які можуть обслужити принаймні одного клієнта i , використовуючи всю множину місць відправлення K . Це означає, що за допомогою множин K та J можна обслужити принаймні частину загального попиту. Якщо особа, яка приймає рішення, хоче забезпечити пропозицію більшу S , ніж $\rho\{K, J\}$ вона повинна змінити K та/або J (тобто, знайти нові ресторани, які приєднуються до мережі).

					КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		30

Для заданих S, K, J :

$$B_{kj}^S = \sum_{i \in J} D_i \cdot 1_{r_{izs}}, \quad (2.21)$$

де B_{kj}^S – попит;

j - точка знаходження ресторану;

J - множина точок самовивозу.

D_i - щільність населення пункту доставки;

є верхньою межею цільової функції. Фактично B_{kj}^S представляє попит, який задовольняється принаймні S ресторанами, враховуючи множини K та j і припускаючи, що всі точки відправлення в K активовані.

Таким чином $\rho\{K, J\}$ можна обчислити перед розв'язанням задачі, щоб охарактеризувати вхідні дані, можливо, прийняти рішення про зміни у множинах K та J . Ця інформація має внутрішню цінність, оскільки вона може бути використана для використання потенціалу початкових вхідних наборів і внесення певних змін на основі отриманих результатів.

Крім того, вектор $\Gamma_{(kj)}$ можна використовувати для зменшення розміру математичної задачі згідно з наступним спостереженням:

Зауваження 1: Для заданого значення S та заданих множин I, K та J , обмеження моделі можуть бути визначені на множині I^S , яка визначається наступним чином:

$$I^S = \{i \in I, \Gamma_i \geq S, \Gamma_i \in \Gamma_{(kj)}\}, \quad (2.22)$$

де I^S - множина визначеної кількості ресторанів;

i - точка доставки;

I - множина точок доставки;

Γ_1 - представляє кількість ресторанів, які можуть обслужити клієнта;

S – кількість ресторанів;

$\Gamma_{(kj)}$ - загальна кількість ресторанів, які можуть обслужити клієнта;

Припустимо, що нас цікавить розв'язок задачі для конкретного значення $S = S^*$. Якщо для узагальненого клієнта $S = S^*$ виконується умова $\Gamma_i < S$ то неможливо знайти розв'язок, в якому i^* обслуговується щонайменше S^* ресторанами (дійсно, Γ_i представляє кількість ресторанів, які можуть обслужити клієнта i^* , враховуючи всю множину). Таким чином, клієнт може бути видалений з множини клієнтів I оскільки він/вона не буде вносити свій внесок у цільову функцію, яка максимізує кількість клієнтів, охоплених принаймні S^* ресторанами. Це, загалом, може зменшити розмір задачі, дозволяючи розв'язувати її для більших екземплярів. Далі, використовуючи спостереження 1, ми можемо посилити формулювання задачі, задавши $M = \rho\{K, J\}$.

2.3 Вплив бюджетного обмеження B на розв'язок :

Одним з найважливіших результатів моделі є визначення кількості зарядних станцій, які необхідно встановити, а також їх розташування. Ця кількість впливає на обсяг пропозиції з точки зору кількості ресторанів, які компанія може гарантувати клієнтам. У свою чергу, на кількість зарядних станцій впливає вартість встановлення та наявний бюджет. Як обговорювалося в раніше кількість можливих місць розташування зарядних станцій впливає на остаточне рішення та їх розташування. Розширення множини K може надати кращі можливості для збільшення значення цільової функції. Однак вигоди від збільшення бюджету, як правило, обмежені до певної міри. Щоб проілюструвати це, модель було розв'язано за припущення, що $r_k = 1$, варіюючи B на множині $\{1, \dots, 20\}$ та S на множині $\{1, \dots, 10\}$, зміни у відсотковому відношенні до покритого попиту. Параметр T у всіх випадках дорівнює 30.

					КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		32

Кожен прогін досягав оптимального рішення менш ніж за одну секунду; результати наведені на рисунку 2.1

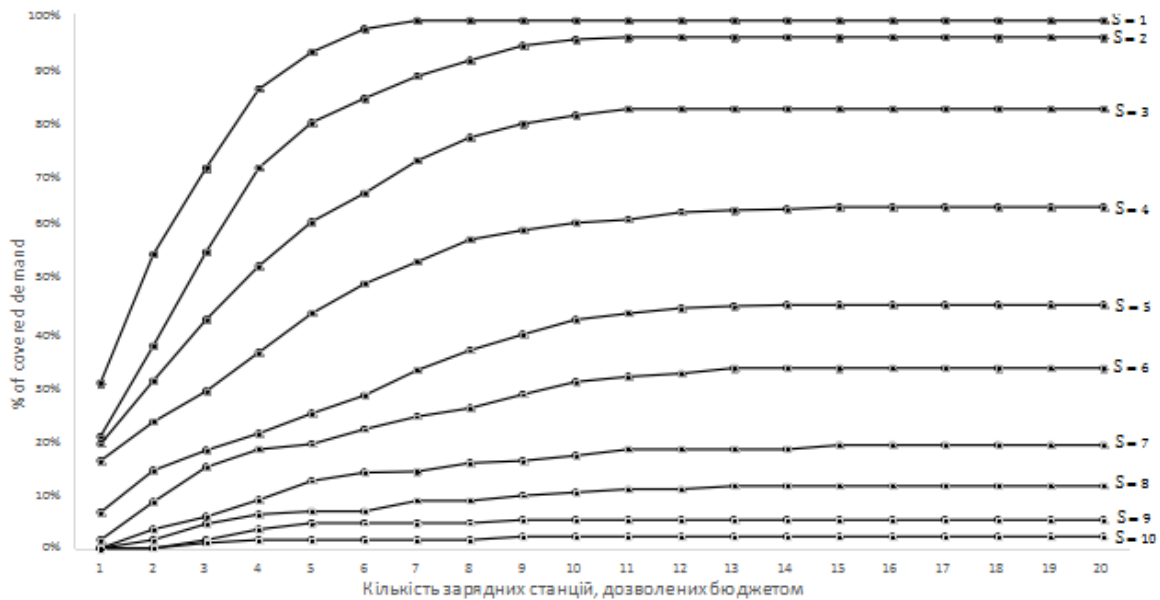


Рисунок 2.3 - Відсоток покриття попиту щодо максимальної кількості зарядних станцій відповідно до бюджету та обсягу пропозиції

Як ми і очікували, для кожного значення S відсоток покритого попиту зростає зі збільшенням B . Аналогічно, враховуючи, чим більше значення B , тим менший покритий попит S . У розглянутому прикладі покритий попит досягає нижнього значення 2% при $S = 10$. Таке значення залежить від K , J наборів. На відміну від того, що зазвичай відбувається в загальних задачах покриття, де можна збільшити покриття попиту, збільшуючи кількість вузлів, в ОЗДІ відсоток покритого попиту прагне до горизонтальної асимптоти, що представляє максимально досяжне покриття, за межами якого додавання нових вузлів (тобто зарядних станцій) є безрезультатним. Коли відсоток покритого попиту досягає асимптоти, збільшення B не дає додаткової вигоди для цільової функції. У прикладі, для $B > 15$ немає граничної вигоди за будь-якого значення S . Покриття попиту може досягати максимуму значення нижче 100%. У цьому випадку

перегляд набору K , замість того, щоб тиснути на бюджет, може забезпечити краще рішення.

Модель була розроблена таким чином, щоб обмежити кількість активних зарядних станцій до ефективних. Діаграма на Рисунку 2.2 показує перевищення кількості активних зарядних станцій над кількістю станцій, які можна було б вибрати за бюджет B , для випадків $S=4$ та $S=10$. Цей графік дає уявлення про збільшення бюджету, необхідне для отримання реальної вигоди. Наприклад, для вхідного набору K , враховуючи $S=10$ (пунктир).

Наступний граничний внесок у покриття попиту досягається при $B \geq 9$. Тоді, як також показано на Рисунку 2.1, для $B \geq 10$ немає ніяких додаткових переваг. І навпаки, для $S=4$, граничні вигоди досяжні для кожного збільшення бюджету до тих пір, поки $B > 15$.

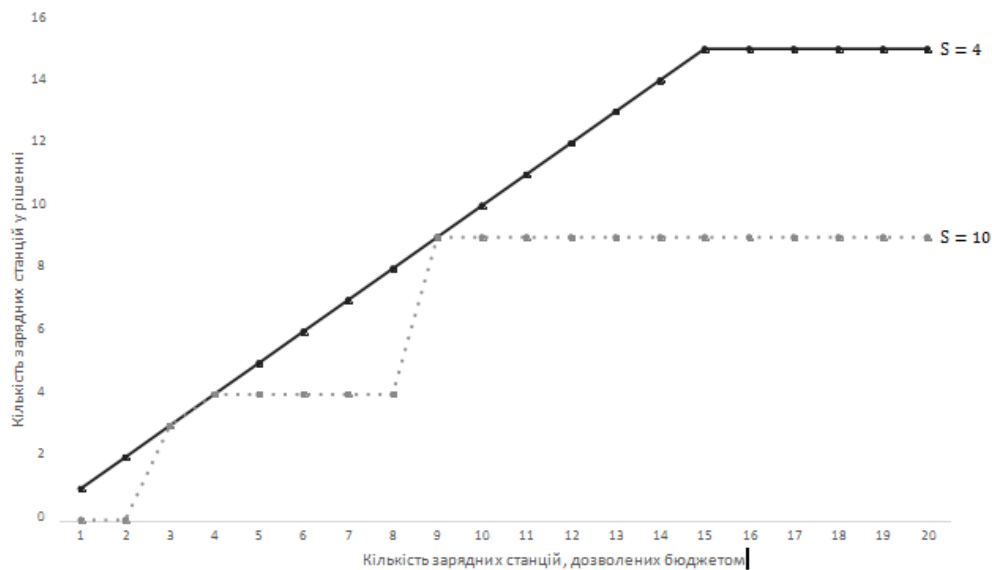


Рисунок 2.4 - Перевищення кількості активних зарядних станцій над кількістю станцій, які можна було б відкрити при бюджеті, для різних значень

Таким чином, аналіз, представлений на рисунках 2.1 і 2.2, надає інформацію особі, яка приймає рішення, про вплив бюджету, з одного боку, і вплив параметра S , з іншого боку. Кожен постачальник послуг повинен зробити власні висновки

щодо компромісу між витратами та вигодами, а також врахувати очікування споживачів у зв'язку з прийняттям рішення про обсяг пропозиції.

2.4 Вплив параметрів S і T на рішення:

Окрім бюджету та початкових вхідних даних, на розв'язок задачі значною мірою впливають параметри проектування S та T . Збільшення часу T дозволяє постачальнику послуг охопити більшу частину клієнтів з мінімальною кількістю необхідних ресторанів S . І навпаки, зменшуючи S , можна охопити більшу частину клієнтів при тому ж часовому обмеженні T . Ці результати показані на Рисунках 2.3 та 2.4. Як приклад, на Рисунку 2.3 показано результати для $S = 2$, враховуючи варіації як бюджету, так і часу доставки. Відсоток покритого попиту може постійно змінюватися у відповідь на невелику зміну часу T . Тому, якщо бюджет не є параметром, на який може впливати особа, що приймає рішення, час - це ще один вимір, який варто дослідити, навіть якщо великі прирости можуть бути неприйнятними для клієнтів. Насправді, збільшення може зменшити базу попиту, оскільки не всі клієнти готові чекати довше.

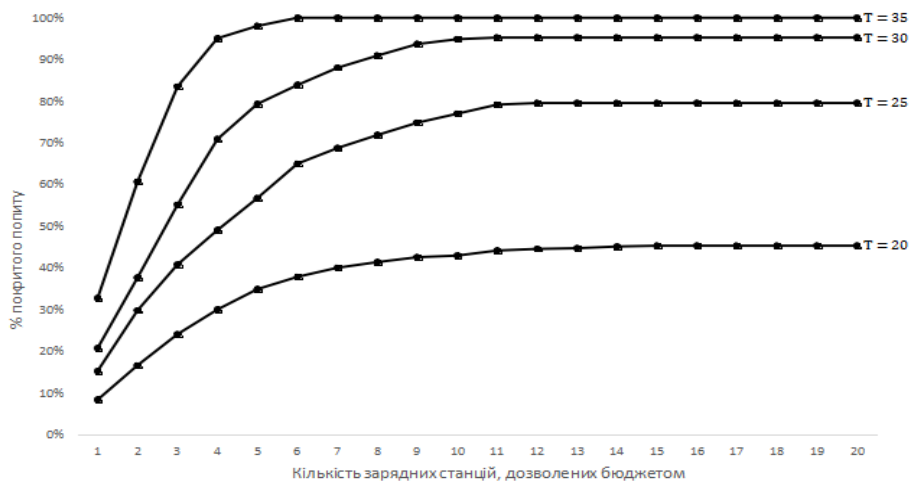


Рисунок 2.5 - Покритий попит за рахунок зміни часу та бюджету

Однак збільшення T може мати позитивний вплив на обсяг пропозиції, представлений параметром S . Як показано на Рисунку 2.4, при зміні часу

змінюється і обсяг попиту, що покривається з урахуванням заданого обмеження на S .

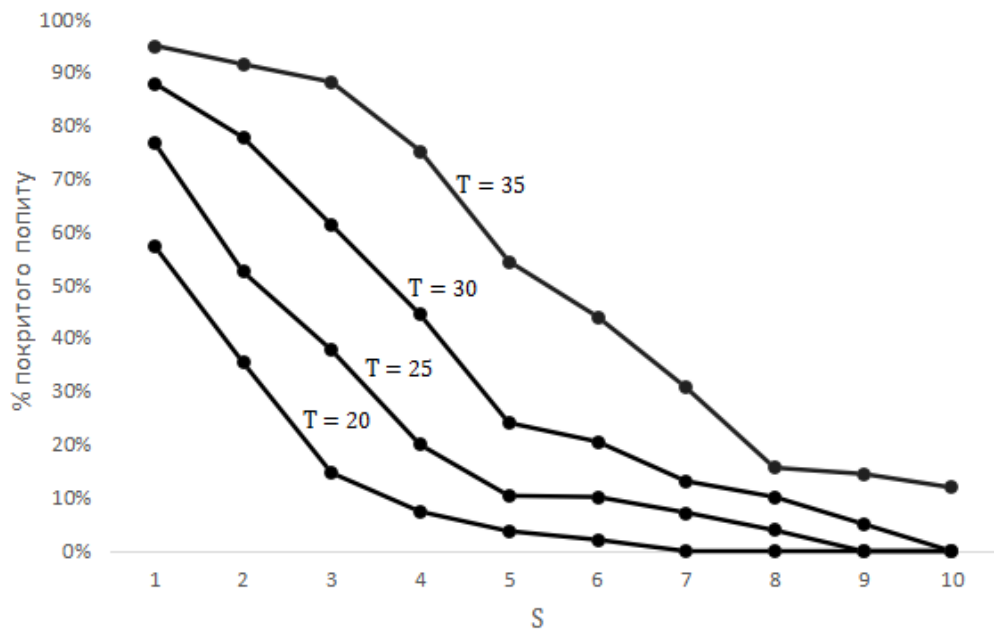


Рисунок 2.6 - Відсоток покритого попиту за рахунок варіацій рівня , для різних термінів доставки

2.5 Час розв'язання

Для вирішення стратегічної проблеми підхід, описаний у цій статті, не вимагає прийняття рішень у реальному часі. Низька частота, з якою потрібно вирішувати такого роду проблеми, дозволяє виділити час на процедуру вирішення в межах декількох хвилин або навіть годин.

Тим не менш, для того, щоб отримати уявлення про величину часу розв'язання, модель було сформульовано та розв'язано для низки прикладів різного розміру, як показано в Таблиці 2.1. Кожен сценарій являє собою задачу з кількістю клієнтів $|I|$ (де $|X|$ - кардинальність множини), кількістю $|J|$ клієнтів ресторанів, а також ряд $|K|$ місць-кандидатів, всі з координатами, отриманими з рівномірних розподілів в діапазоні $[0, 100]$. Для кожного сценарію було згенеровано п'ять прикладів, які було розв'язано для різних значень S ; зокрема,

$S \in \{s \cdot \rho\{K, J\}, s \in \{0.1, 0.5, 0.9\}\}$. У таблицях наведено мінімальний та середній час роботи розв'язувача, а також середню кількість змінних для п'яти випадків кожного сценарію.

Таблиця 2.1 - Зведені дані про час розв'язання, при $s = 0.5$

s = 0.5				
Сценарії I, J, K.	Мінімальний час виконання	Середній час виконання	Максимальний час виконання	Середній номер змінні
250-125-75	0.3	0.4	0.5	4462.4
500-125-75	0.5	1.1	1.8	8609.0
500-250-75	2.6	4.3	6.7	16042.8
500-250-125	7.2	9.3	11.5	18470.0
750-250-125	5.5	14.2	19.9	26926.6
1000-125-500	6.2	8.2	11.2	21696.4
1000-250-125	10.6	15.7	21.8	35152.0
1000-500-125	87.3	141.0	244.9	74058.0
1000-500-250	121.4	580.1	1706.8	78009.4

Таблиця 2.2 - Зведені дані про час розв'язання, при $s = 0.1$

s = 0.1				
---------	--	--	--	--

Сцеарій I, J, K.	Мінімальн ий час викона ння	Середні й час викона ння	Максимальний час викона ння	Середні й номер змінні
250-125-75	3.7	4.2	4.7	5438
500-125-75	12.7	16.0	19.4	10654.8
500-250-75	91.4	110.5	128.0	19930.0
500-250-125	128.5	154.0	173.7	21442.4
750-250-125	544.2	613.9	781.6	32212.2
1000-125-500	452.2	505.4	566.8	26837.0
1000-250-125	1164.2	1398.8	1784.6	42847.2
1000-500-125	5284.1	6283.5	7456.1	82162.6

Як і очікувалося, використовуючи спостереження 1, чим більше S, тим менший розмір проблем щодо деяких змінних і тим менший час розв'язання. Крім того, як видно з таблиці 2.1 та 2.2, максимальне значення для відносно великих екземплярів час розв'язання значно менший за одну годину. Однак час швидко зростає зі збільшенням розміру екземпляра, перевищуючи три години для найбільших екземплярів.

2.6 Висновок до розділу

Алгоритми та стратегії використання дронів для доставки їжі є важливими компонентами розвитку сучасних систем доставки. Дослідження та впровадження цих технологій дозволяють покращити ефективність та швидкість доставки їжі, забезпечуючи зручність та задоволення клієнтів. Використання дронів для

доставки їжі вимагає розробки та вдосконалення алгоритмів, які дозволяють планувати оптимальний маршрут дрона, враховуючи фактори, такі як відстань, трафік, обмеження щодо безпеки та ефективність палива. Ці алгоритми повинні бути здатні швидко реагувати на зміни в умовах, що впливають на доставку, і оптимізувати розподіл завдань між дронами для досягнення оптимальної продуктивності. Стратегії використання дронів для доставки їжі можуть включати розподіл роботи між автономними дронами та людським персоналом, оптимізацію графіка доставки, розвиток інфраструктури для зарядки та обслуговування дронів, а також впровадження систем моніторингу та управління для забезпечення безпеки та ефективності процесу доставки. Розвиток алгоритмів та стратегій використання дронів для доставки їжі є актуальним напрямом досліджень. Ці технології відкривають нові можливості для швидкої та зручної доставки їжі, але вимагають уваги до деталей, таких як безпека, регулювання та оптимізація процесу. Впровадження ефективних алгоритмів та стратегій допоможе забезпечити успішне функціонування систем доставки з використанням дронів, покращуючи якість обслуговування та задоволення клієнтів.

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		39

3. ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ

3.1 Апаратна частина БПЛА

Оцінка ефективності систем доставки їжі за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) включає аналіз часу доставки, вартості, радіуса доставки, надійності та безпеки, а також якості обслуговування та клієнтського задоволення.

Вимірюються час від оформлення до доставки, витрати на експлуатацію БПЛА, максимальна відстань доставки, рівень надійності та безпеки, а також якість обслуговування. Оцінка допомагає визначити переваги та недоліки використання БПЛА, що дозволяє розробити оптимальну стратегію для їх впровадження порівняно з традиційними методами доставки їжі.

Апаратна частина БПЛА (безпілотного літального апарату) включає компоненти, які забезпечують фізичне функціонування дрона. Основні складові апаратної частини БПЛА включають:

1. Корпус: Це основна оболонка, яка захищає внутрішні компоненти дрона. Корпус зазвичай виготовляється з легких та міцних матеріалів, таких як карбонові волокна або пластик.

2. Контролер політів: Це центральний компонент, що керує рухом і стабілізацією дрона. Він отримує сигнали від датчиків і виконує необхідні обчислення для управління моторами і сервоприводами.

3. Мотори та пропелери: Дрони мають електромотори, які приводять у рух пропелери. Мотори забезпечують тягу, а різні комбінації обертання пропелерів дозволяють керувати напрямком і стабілізувати політ.

4. Батареї: Для живлення БПЛА використовуються літій-полімерні або літій-іонні акумулятори. Вони забезпечують електричну енергію для всіх компонентів дрона.

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		40

5. Система передачі даних: Для комунікації з оператором або іншими пристроями використовуються радіо або бездротові засоби передачі даних, такі як Wi-Fi або Bluetooth.

6. Системи навігації: Дрони можуть мати вбудовані GPS або інші системи навігації, що допомагають визначати їхнє місцезнаходження і керувати маршрутом.

7. Камера або сенсори: Деякі БПЛА можуть мати вбудовані камери або інші сенсори, які дозволяють знімати фото або відео, збирати дані про навколишнє середовище або виконувати спеціалізовані функції, такі як детекція об'єктів або вимірювання висоти.

В безпілотних літальних апаратах (БПЛА) можуть використовуватись різноманітні плати та контролери залежно від їх призначення, розмірів та вимог до функціональності. Ось декілька з найпоширеніших плат та контролерів, які використовуються в БПЛА:

1. Контролер польотів (Flight Controller): Це центральна плата, яка відповідає за керування рухом і стабілізацією дрона. Деякі популярні контролери політів включають Pixhawk, Ardupilot та Betaflight. Контролер польотів зображений на рисунку 3.1.

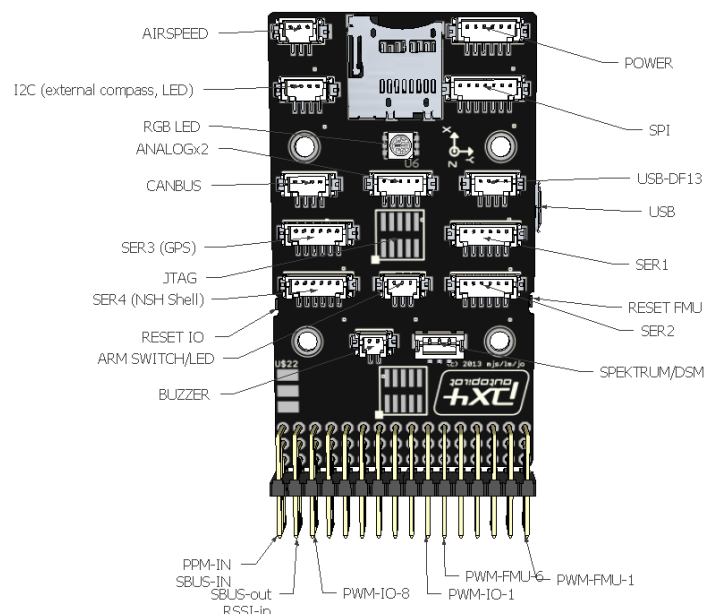


Рисунок 3.1 - Контролер польотів Pixhawk

2. Плата керування моторами (Electronic Speed Controller, ESC): Ці плати приймають сигнали від контролера політів і керують швидкістю обертання моторів. Відомі бренди ESC включають Hobbywing, T-Motor та ESC отримані з комерційних дронів DJI. На рисунку 3.2 можна побачити плату керування моторами.



Рисунок 3.2 - Плата керування моторами T-Motor

3. Плата передавача/приймача (Transmitter/Receiver): Це комплект, який дозволяє операторові керувати дроном за допомогою радіосигналів. Популярні виробники передавачів/приймачів включають FrSky, Spektrum та FlySky. На рисунку 3.3 зображено плату передавача/приймача

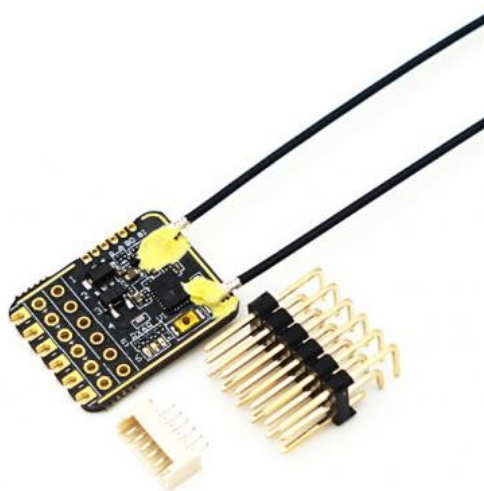


Рисунок 3.3 - Плата передавача/приймача FrSky

Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата

КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ

Арк.

42

4. Плата стабілізації камери (Gimbal Stabilization Board): Ця плата використовується для стабілізації камери на дроні. Вона забезпечує плавний рух камери та компенсує вібрації. Відомі бренди плат стабілізації камери включають DJI, Feiyu Tech та Zhiyun. Плата стабілізації вказана на малюнку 3.4.

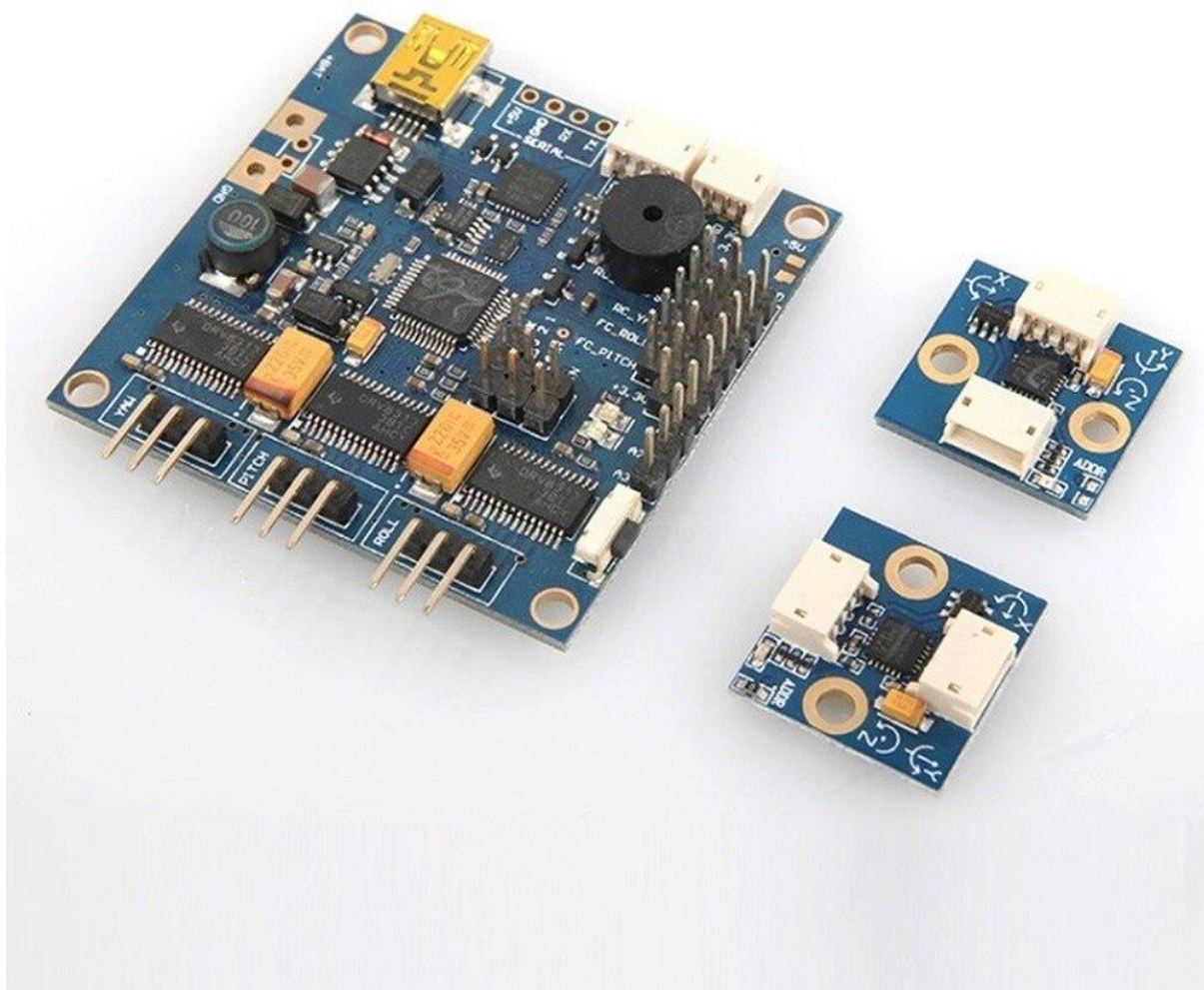


Рисунок 3.4 - Плата стабілізації камери DJI

5. GPS-приймач (Global Positioning System Receiver): Багато БПЛА використовують GPS-приймачі для визначення місцезнаходження та навігації. Такі

Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата

плати можуть бути вбудовані в контролер політів або мати окрему плату GPS. GPS-приймач GY-GPS6MV2 вказаний на малюнку 3.5.

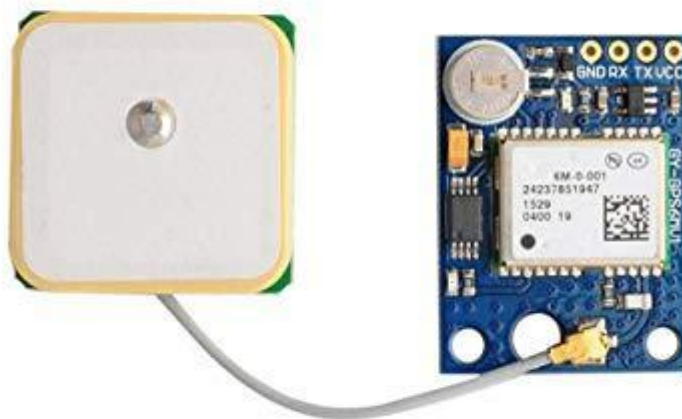


Рисунок 3.5 - GPS-приймач GY-GPS6MV2 на базі чіпа Ublo

Вибір конкретних плат та контролерів залежить від потреб, бюджету та вимог до функціональності дрона.

3.2 Реальні Кіберфізичні системи доставки їжі за допомогою БПЛА

На сьогоднішній день існують деякі реальні кіберфізичні системи доставки їжі за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Деякі з них вже успішно функціонують і надають послуги доставки їжі в деяких регіонах. Ось кілька прикладів:

1) Wing (Alphabet Inc.): Wing є компанією, що належить Alphabet Inc., материнській компанії Google. Вони працюють над реалізацією системи доставки їжі за допомогою БПЛА. У співпраці з ресторанами та магазинами, Wing забезпечує доставку продуктів безпосередньо до дверей клієнтів у деяких містах (рисунок 3.6).

Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата



Рисунок 3.8 БПЛА від компанії Zomato

3.3 Симуляція доставки їжі за допомогою БПЛА

Симуляція доставки їжі за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є ефективним засобом моделювання кіберфізичних систем для оцінки та вдосконалення їх функціональності. Існує кілька інструментів імітаційного моделювання, які можуть бути використані для симуляції таких систем доставки їжі.

Повну симуляцію доставки та роботу безпілотного літального апарата вказано на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 Симуляція та етапи доставки їжі

Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата

Ось декілька з них:

- MATLAB/Simulink: MATLAB/Simulink є потужним інструментом для моделювання та симуляції різних систем. Він може бути використаний для створення моделей безпілотних літальних апаратів, а також для моделювання процесу доставки їжі. За допомогою MATLAB/Simulink можна врахувати фактори, такі як шляхове планування, прогнозування погоди, обмеження польоту та інші параметри, що впливають на ефективність системи доставки.

- ROS (Robot Operating System): ROS є популярною платформою для розробки роботів і кіберфізичних систем. Вона надає засоби симуляції, такі як Gazebo, які дозволяють моделювати роботів і їх оточення. За допомогою ROS і Gazebo можна створити симуляцію системи доставки їжі з використанням БПЛА, враховуючи фізичні властивості літального апарату та об'єктів навколишнього середовища.

- SimEvents: SimEvents є розширенням для MATLAB/Simulink, спеціально призначеним для моделювання подійної системи. Це може бути корисним інструментом для симуляції процесу доставки їжі за допомогою БПЛА, оскільки він дозволяє моделювати події, такі як прибуття замовлення, планування маршруту, зупинки для доставки, тощо.

Ці інструменти симуляції дозволяють розробникам та дослідникам ефективно оцінювати працездатність та оптимальність систем доставки їжі за допомогою БПЛА, враховуючи різні фактори, які впливають на їх функціонування. Симуляція дозволяє проводити випробування, аналізувати результати та вносити необхідні зміни для поліпшення систем доставки їжі перед їх реальним впровадженням.

3.3.1 Вибір платформи та базовий опис команд

Вибір платформи для реалізації системи доставки їжі за допомогою БПЛА залежить від багатьох факторів, таких як потреби, бюджет, рівень складності проекту та доступні ресурси. Ось кілька платформ, які можуть бути розглянуті:

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		47

- DJI: DJI є провідним виробником БПЛА, який пропонує широкий спектр продуктів для різних потреб. Наприклад, DJI Mavic або DJI Phantom можуть бути використані як базові платформи для розробки системи доставки їжі. DJI надає розширені можливості програмування та розробки додатків для своїх БПЛА.

- Pixhawk: Pixhawk є відкритою платформою автопілота, яка підтримує різні БПЛА. Ця платформа дозволяє розробникам програмувати та налаштовувати БПЛА для різних завдань, включаючи доставку їжі. Pixhawk має велику спільноту розробників та підтримує різноманітні датчики та актуатори.

- Ardupilot: Ardupilot є іншою відкритою платформою автопілота, яка забезпечує програмування та керування БПЛА. Ця платформа також має широкий спектр підтримуваних апаратних платформ та датчиків. Ardupilot надає розширені можливості для програмування місій та планування маршрутів доставки.

Опис команд, які можуть бути використані для управління системою доставки їжі за допомогою БПЛА, включає наступні основні функції:

1) Планування маршруту: Команди для створення оптимального маршруту доставки, враховуючи місця призначення, обмеження польоту та інші фактори.

```
Coordinate point1;  
point1.latitude = 52.5200;  
point1.longitude = 13.4050;  
route.push_back(point1);  
Coordinate point2;  
point2.latitude = 48.8566;  
point2.longitude = 2.3522;  
route.push_back(point2);  
// Додавання кінцевої точки маршруту - місця призначення  
route.push_back(destination);  
// Повернення сформованого маршруту  
return route;
```

2) Керування польотом: Команди для злітання, посадки, стабілізації, навігації та управління польотом БПЛА вздовж заданого маршруту.

```
takeoff();           // Зліт
navigateTo(51.5074, -0.1278); // Навігація до заданої точки
land();             // Посадка
return 0;
```

3) Доставка та спуск товарів: Команди для безпечного доставлення пакетів або їжі до місця призначення, включаючи команди зупинки, спуску товару та повернення.

```
void lowerCargo() {
    // Код для спуску товару
    std::cout << "Lowering cargo..." << std::endl;
    // Додатковий код для керування механізмами спуску товару
}
int main() {
    // Приклад використання функцій для доставки та спуску товарів
    std::string package = "Food";
    deliverGoods(package); // Доставка товару
    lowerCargo();         // Спуск товару
    return 0;
}
```

4) Керування автопілотом: Команди для програмування автопілота, встановлення параметрів політного контролера, налаштування датчиків та актуаторів.

```
// Приклад використання функцій керування автопілотом
activateAutopilot(); // Активація автопілота
correctTrajectory(2.5); // Корекція траєкторії на 2.5 одиниці
deactivateAutopilot(); // Вимкнення автопілота
return 0;
```

Ці команди можуть бути виконані через програмні інтерфейси або розроблені власноруч для конкретного проекту доставки їжі з використанням БПЛА.

3.3.2 Створення моделі доставки їжі.

Створення моделі доставки їжі включає в себе розробку віртуального представлення системи доставки, яке може бути використане для симуляцій, тестування та оптимізації процесу доставки їжі.

Розробка моделі доставки їжі може включати наступні кроки:

1) Визначення характеристик системи доставки, таких як розмір та масштаби БПЛА, ємність і розміри платформи для їжі, максимальна вага та обсяг доставки, швидкість та дальність польоту.

Визначення функціональних можливостей та основних параметрів доставки, таких як точність посадки, час на завантаження та розвантаження, маршрутизація та планування маршрутів, датчики для навігації та уникнення перешкод.

2) Розробка математичної моделі доставки, яка включає в себе модель керування польотом, алгоритми планування маршрутів, модель взаємодії з базовою станцією або диспетчерським центром.

3) Реалізація моделі на певній мові програмування, наприклад, C++, Python або Matlab. Це включає розробку коду, який описує поведінку БПЛА, планування маршрутів, управління доставкою та взаємодію з базовою станцією.

4) Валідація моделі шляхом проведення симуляцій та порівняння результатів з експериментальними даними або реальними випробуваннями.

5) Використання моделі для виконання аналізу та оптимізації процесу доставки їжі. Це може включати в себе дослідження впливу різних факторів, таких як швидкість доставки, оптимальні маршрути, навантаження БПЛА та інші, на час доставки та ефективність системи.

6) Створення моделі доставки їжі дозволяє вирішувати проблеми та оптимізувати процес доставки, враховуючи різні чинники та обмеження. Вона

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		50

може служити основою для подальшого розвитку та впровадження систем доставки їжі з використанням БПЛА або дронів у реальних умовах.

3.3.3 Програмування доставки їжі

Програмування доставки їжі включає розробку програмного коду, який керує процесом доставки їжі з використанням різних технологій і систем. Основні аспекти програмування доставки їжі включають керування польотом БПЛА або дрона, планування маршруту, взаємодію з базовою станцією або диспетчерським центром, а також обробку даних і комунікацію.

Одним з ключових елементів програмування доставки їжі є розробка алгоритмів керування польотом. Це включає розробку програмного коду, який визначає рух та стабілізацію БПЛА або дрона, а також реагує на зміни в умовах польоту, наприклад, уникнення перешкод або корекцію маршруту.

Планування маршруту є ще одним важливим аспектом програмування доставки їжі. Це включає розробку алгоритмів, які визначають оптимальний шлях до місця доставки з урахуванням факторів, таких як відстань, час, обмеження безпеки та інші фактори.

Взаємодія з базовою станцією або диспетчерським центром також потребує програмування. Це включає розробку програмного коду, який забезпечує передачу даних між БПЛА або дроном і базовою станцією, а також отримання інструкцій щодо маршруту, змін у доставці та інші команди.

Крім того, програмування доставки їжі може включати розробку інтерфейсу користувача, який дозволяє операторам або клієнтам взаємодіяти з системою доставки, встановлювати параметри, відстежувати прогрес та отримувати повідомлення про доставку.

Мови програмування, які можуть бути використані для програмування доставки їжі, включають C++, Python, Java, MATLAB та інші. Вибір мови програмування залежить від конкретних вимог проекту та використовуваних технологій.

3.3.4 Алгоритми керування БПЛА

Алгоритми керування БПЛА (безпілотним літальним апаратом) визначають його поведінку та рух у просторі залежно від поставлених завдань та умов. Деякі з поширених алгоритмів керування БПЛА включають:

1. ПІД-регулятор (PID): Це класичний алгоритм керування, який використовує зворотний зв'язок для коригування вихідного сигналу відповідно до різниці між бажаним та фактичним значеннями. Використовується для стабілізації польоту, контролю кутів нахилу, швидкості тощо. Система керування зі зворотним зв'язком за участю ПІД-регулятора. Система керує величиною $y(t)$, тобто виводить величину $y(t)$ на задане ззовні значення $r(t)$. На вхід ПІД-регулятора подається помилка $e(t)$, вихід ПІД-регулятора є керувальною дією $u(t)$ для деякого процесу (для об'єкта керування), що керує величиною $y(t)$ (рисунок 3.10).

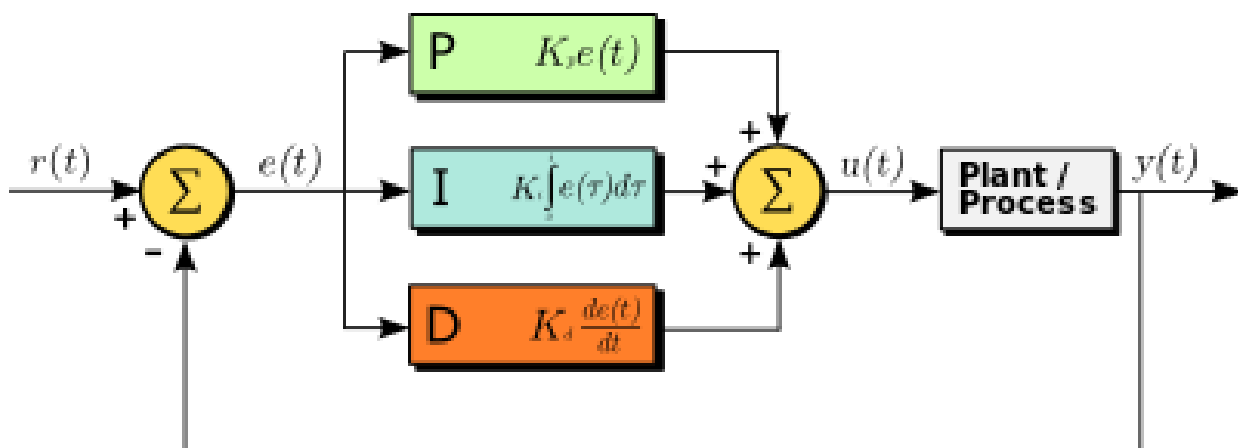


Рисунок 3.10 - Система управління з ПІД-регулятором

2. Алгоритми навігації: Включають в себе алгоритми планування маршрутів, які визначають оптимальний шлях БПЛА до пункту призначення. Це може бути здійснено за допомогою алгоритмів штучного інтелекту, генетичних алгоритмів, пошукових алгоритмів, алгоритмів Dijkstra або A*.

Алгоритм роботи інтелектуальної системи підтримки ухвалення рішень БПЛА схематично представлено на рисунку 3.11. Робота системи починається з визначення, за допомогою комплексної навігаційної системи, кутів орієнтації,

кутових швидкостей лінії візування у вертикальній і горизонтальній площині та відстані до цілі.

У точку, координати якої отримали в результаті розрахунку, переноситься зображення об'єкта, а вихідні дані обробляються у форматі реального часу.

Система здійснює зіставлення вихідних зображень за параметрами, включеними в опис, у результаті вирішується завдання виявлення, розпізнавання точок місцевості. Далі нейромережа вносить коригування в план польоту БПЛА, що враховується під час формування сигналу управління, БПЛА переходить у режим автосупроводження.

У разі переходу БПЛА в повний автономний режим польоту при припущенні, що система відеонавігації в період несприятливих погодних умов або рівномірності рельєфу місцевості, не в змозі обробляти дані, що надходять з оптико-електронних датчиків, у цьому разі керувальні сигнали формуються знову, при цьому враховуються оцінка початкових навігаційних параметрів, отриманих у блоці фільтрації (фільтр Маджвіка) інерційних датчиків, що дає змогу БПЛА продовжувати рух в автономному режимі польоту за заданим маршрутом на тривалий період часу.

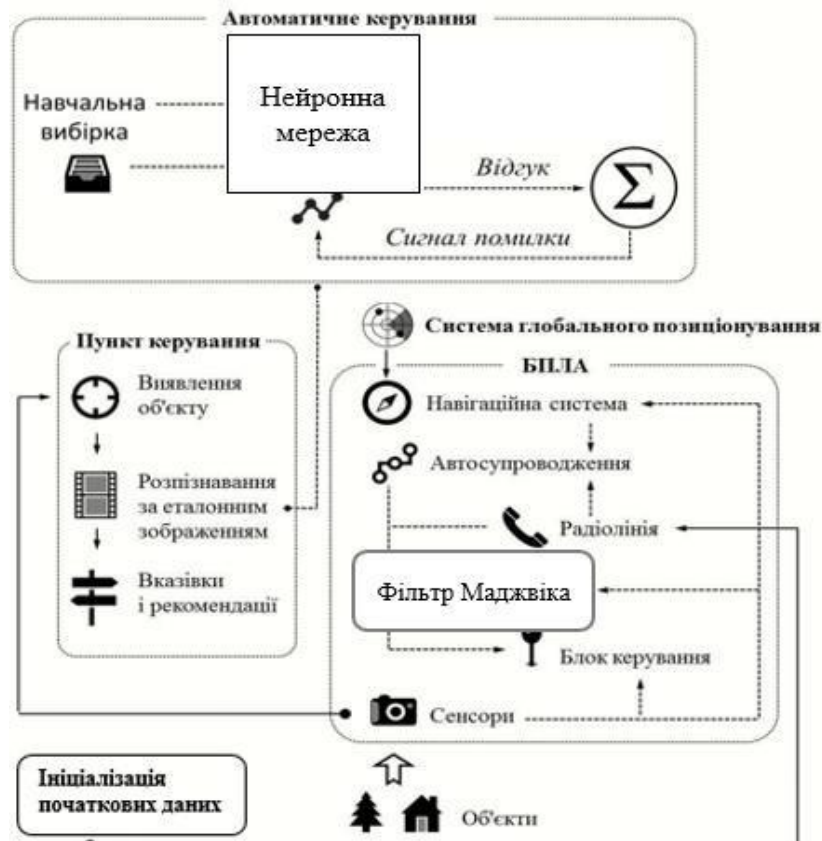


Рисунок 3.11 - Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень БПЛА

3. Алгоритми стабілізації: Ці алгоритми використовуються для забезпечення стабільності польоту. На рисунку 3.12 показана структурно-функціональна схема стабілізації програмного руху БПЛА.

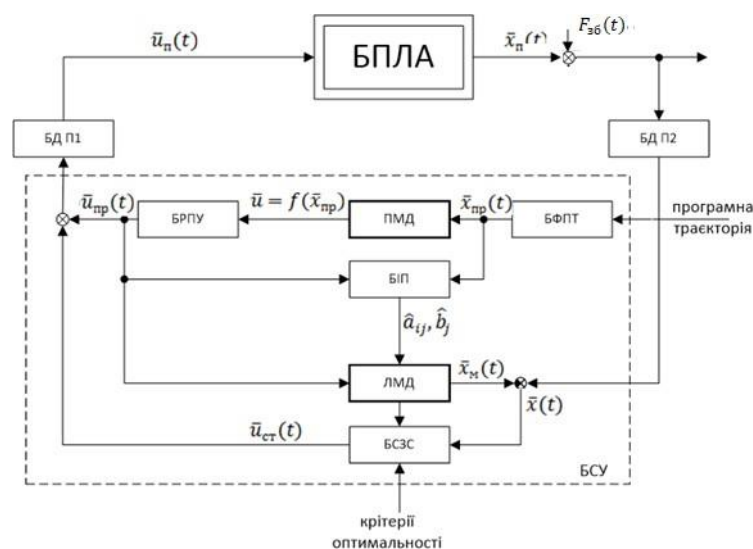


Рисунок 3.12 - Структурно-функціональна схема процесу реалізації автоматичної оптимальної стабілізації програмного руху БПЛА

Згідно з цією схемою процес реалізації автоматичної оптимальної стабілізації програмного руху БПЛА здійснюється таким чином. До початку польоту на вхід бортової системи керування (БСУ) вводиться задана програмна траєкторія руху. Отримана програмна траєкторія через повну модель динаміки БПЛА (ПМД) надходить до блоку розрахунку програмного керування і через блок датчиків-перетворювачів (БДП1) подається в польоті на органи керування БПЛА, водночас у польоті для заданих ділянок програмного руху БПЛА на основі інформації щодо програмного керування та програмної траєкторії в блоці ідентифікації параметрів руху БПЛА (БП) обирають відповідну цій ділянці лінеаризовану динамічну модель руху БПЛА та здійснюють оцінювання її параметрів у вигляді рядів U_0 . Ці дані надходять в обрану лінеаризовану модель динаміки руху БПЛА (ЛМД), на виході якої під час подавання програмного керування формується модельна програмна траєкторія, яку порівнюють із поточною траєкторією, що надходить через блок датчиків-перетворювачів (БДП2). Раптова поява неузгодженості між програмною і поточною траєкторіями ("повітряна яма", потужний порив вітру, вхід у зону сильної турбулентності, скидання вантажу (бомбометання) тощо) надходить до блоку синтезу законів стабілізації (БСЗС). З урахуванням заданих ззовні критеріїв оптимальності БСЗС автоматично формує в реальному масштабі часу управління, яке ліквідує виниклу неузгодженість відповідно до заданого критерію якості.

3.3.5 Оцінка результатів використання БПЛА.

Оцінка результатів використання БПЛА в доставці їжі включає ряд аспектів, що впливають на різні сторони процесу доставки.

1. Ефективність: Використання БПЛА може привести до покращання ефективності доставки їжі. БПЛА можуть літати без проблем з транспортним рухом на землі, уникати заторів і швидше дістатися до місця призначення. Це може знизити час доставки та забезпечити більш точний розклад доставки.

					КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		55

2. Зниження витрат: Використання БПЛА може допомогти знизити витрати на доставку їжі. Замість використання традиційних транспортних засобів, які вимагають пального та утримання водіїв, БПЛА працюють на електроенергії і не потребують присутності людини на борту. Це може допомогти зменшити витрати на пальне та персонал.

3. Розширення області доставки: БПЛА можуть доставляти їжу в важкодоступні або віддалені райони, де традиційні засоби доставки мають обмежені можливості. Це може відкрити нові ринки та покращити доступ до їжі для людей, які проживають у віддалених регіонах.

4. Зменшення впливу на довкілля: Використання електричних БПЛА може зменшити негативний вплив на довкілля. Порівняно з традиційними транспортними засобами, які працюють на паливі, БПЛА не викидають викидів і не спричиняють шуму. Це може позитивно позначитися на якості довкілля та здоров'ї мешканців.

5. Покращення точності та надійності: Використання автоматизованих БПЛА може допомогти уникнути людських помилок, пов'язаних з неправильним розкладом або незручними маршрутами. БПЛА можуть працювати за заданою програмою та точно виконувати завдання доставки. Це може покращити якість обслуговування та забезпечити більш надійну доставку їжі.

Загалом, оцінка результатів використання БПЛА в доставці їжі передбачає аналіз ефективності, зниження витрат, розширення області доставки, вплив на довкілля та покращення точності та надійності. Важливо враховувати конкретні умови та потреби проекту для оцінки його успішності та прийняття відповідних рішень.

3.4 Висновок до розділу

Програмно-апаратна реалізація та тестування програмно-технічного засобу є важливими етапами в розробці та впровадженні нових програмних продуктів

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		56

або систем. Цей процес включає розробку програмного забезпечення, а також вибір апаратного забезпечення, на якому буде працювати програма.

Програмно-апаратна реалізація означає перетворення концепції або дизайну програми в функціонуючий код, який може бути виконаний на вибраному апаратному забезпеченні. Це включає розробку та реалізацію алгоритмів, написання програмного коду, інтеграцію з апаратурою, налагодження та оптимізацію програми. Програмно-апаратна взаємодія повинна бути належно налаштована та оптимізована для досягнення максимальної продуктивності та ефективності.

Тестування програмно-технічного засобу включає перевірку правильності його функціонування, надійності, продуктивності та безпеки. Це може включати модульне тестування окремих компонентів, інтеграційне тестування, функціональне тестування та навантажувальне тестування для перевірки працездатності програми в різних умовах. Тестування допомагає виявити та виправити помилки, покращити продуктивність та забезпечити високу якість розробленого програмного засобу. Програмно-апаратна реалізація та тестування програмно-технічного засобу є важливими етапами у процесі розробки програмного продукту або системи. Цей процес вимагає уваги до деталей, належної налагодженості та оптимізації програмного коду, а також ретельного тестування для забезпечення якості та надійності програмного засобу.

					КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		57

ВИСНОВОК

В епоху електронної комерції послуги ОЗДІ стають поширеним варіантом отримання їжі додому. Компанії, що працюють у цьому бізнесі, надають клієнтам можливість віртуально патрунувати ресторани, сприяючи збільшенню можливостей для покупок перших і покращенню бізнесу других. Таким чином, ОЗДІ являє собою перспективну сферу, що розширюється і залишається недостатньо дослідженою в управлінській та науковій літературі.

Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в доставці їжі може мати кілька переваг. Вони можуть забезпечити ефективну та швидку доставку їжі, знизити витрати та розширити область доставки, особливо до важкодоступних місць. Крім того, використання БПЛА може мати позитивний вплив на довкілля, зменшуючи викиди та шум. Автоматизовані БПЛА також можуть покращити точність та надійність доставки, уникнувши людських помилок. Загалом, оцінка результатів використання БПЛА в доставці їжі допоможе зрозуміти його вигоди та ефективність, але варто враховувати специфічні потреби та обмеження проекту для прийняття обґрунтованих рішень. У роботі описані основні характеристики безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які включають їх типи, функціональні можливості та основні параметри. Зазначено, що БПЛА можуть бути різних типів, таких як мультироторні дрони, фіксованокрилі літаки або повітряні кораблі. Кожен тип має свої переваги та обмеження, що варто враховувати при виборі платформи для доставки їжі.

Також описані основні характеристики БПЛА, включаючи їхню максимальну швидкість, дальність польоту, вантажопідйомність та тривалість польоту. Ці параметри важливі при плануванні маршрутів доставки та визначенні оптимальних умов для ефективного використання БПЛА. У роботі також розглядається найбільш ефективний спосіб використання БПЛА в доставці їжі. В роботі також детально описується процес програмування доставки їжі з використанням БПЛА. Це включає розробку алгоритмів для планування

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		58

маршруту доставки, керування польотом, спуску товарів та взаємодії з базовою станцією. Крім того, наводяться приклади програмування доставки їжі з використанням конкретних алгоритмів. Наприклад, можуть бути використані алгоритми пошуку найкоротшого маршруту, алгоритми оптимального розподілу товарів між різними БПЛА або алгоритми для уникнення перешкод на маршруті.

Розробка моделі доставки їжі включає в себе і розробку системи відстеження та моніторингу БПЛА, щоб забезпечити безпечну та ефективну доставку. Для цього можуть бути використані датчики, GPS-навігація та системи комунікації.

Загалом, розробка моделі доставки їжі з використанням БПЛА вимагає великої уваги до програмування та алгоритмів керування. Це допомагає забезпечити ефективну та надійну доставку їжі, знижуючи витрати та час, та розширюючи можливості для компаній, що працюють у сфері доставки їжі.

					КвРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		59

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Phantom-4-pro. URL: <https://www.dji.com/phantom-4-pro> (дата звернення: 12.03.2023).
2. Parrot-anafi URL: <https://wazza.com.ua/ru/products/kvadrokopter-parrot-anafi/> (дата звернення: 12.03.2023).
3. DJI Mavic 2 Pro URL: <https://www.dji.com/mavic-2/info> (дата звернення: 12.03.2023).
4. Безпілотні авіаційні системи та комплекси Національного авіаційного університету: навч.-метод. посібник / М. Г. Луцький, М. П. Матійчик, О. Ю. Михацький, М. І. Фузік [та ін.]; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. М. Г. Луцького. - К .: НАУ, 2022. - 252 с.
5. "Безпілотні літальні апарати: проблеми та перспективи використання" / М. М. Бутов, О. С. Харченко, В. А. Кривошеїн та ін. // Науковий вісник НЛТУ України, 2018. - 55-61 с.
6. "Автоматизована система управління безпілотним літальним апаратом" / О. О. Білоус, І. В. Левченко, О. О. Мельник, С. В. Литвиненко // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука", 2019.
7. Джонс, Річард В. і Деспоту, "Безпілотні авіаційні системи та охорона здоров'я: Можливості та виклики", 2019. - 189-194 с.
8. Даник Ю.В., Бугайов М.В. Аналіз ефективності виявлення тактичних безпілотних літальних апаратів пасивними та активними засобами спостереження // Зб. наук. праць ЖВІ ДУТ. Інформаційні системи'15, 2015.
9. Pace P., Aloï G., Caliciuri G., Fortino G. A mission-oriented coordination framework for teams of mobile aerial and terrestrial smart objects. *Mob. Netw. Appl.*, 2016. - 708–725.
10. Whaiduzzaman M., Hossain M., Shovon A.R., Roy S., Laszka A., Buuya R., Barros A. *A Privacy-Preserving Mobile and Fog Computing Framework To Trace and Prevent COVID-19 Community Transmission*, 2020

					КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		60

11. Гордієнко Ю.О., Бугайов М.В., Солонець О.І., Солопій О.А. Особливості акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2016.

12. Anylogic Simulator, <https://www.anylogic.com/>

13. Симулятор JaamSim, <https://jaamsim.com/>

14. В. Скоруп і К. Хааланд, "Як дрони можуть допомогти в боротьбі з коронавірусом", Електронний журнал SSRN, 2020.

15. C. F. Peng, J. W. Hsieh, S. W. Leu, and C. H. Chuang, "Drone-based vacant parking space detection," Proceedings - 32nd IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, WAINA 2018, vol. 2018-January, 2018. - 618-622

16. S. J. Kim, G. J. Lim, J. Cho, and M. J. Cote, "Drone-Aided Healthcare Services for Patients with Chronic Diseases in Rural Areas," Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2017. - 163-180

17. S. Pirbhulal, W. Wu, G. Li, and A. K. Sangaiah, "Medical Information Security for Wearable Body Sensor Networks in Smart Healthcare," IEEE Consumer Electronics Magazine, vol. 8, 2019. - 37-41

18. Іслам і Янг Шин, "Безпечна схема охорони здоров'я на основі блокчейну за допомогою безпілотного літального апарату в Інтернеті речей", Комп'ютери та електротехніка, 2020.

19. "Як швидко можуть літати дрони? максимальна швидкість дронів - 3d insider". URL: <https://3dinsider.com/drone-speed/> (дата звернення: 01.04.2023).

20. Шрешт Тулі, Шихар Тулі, Ракеш Тулі, "Прогнозування зростання та тенденцій пандемії COVID-19 за допомогою машинного навчання та хмарних обчислень", 2020.

21. Перейра, Адріан Ареналь, Хордан Паскуаль Еспада, Рубен Гонсалес Креспо та Серхіо Ріос Агілар. "Платформа для управління та отримання даних від підключених до мережі дронів у приміщеннях". Future Generation Computer System, 2019.

					КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		61

22. C. A. Thiels, J. M. Aho, S. P. Zietlow, and D. H. Jenkins, "Використання безпілотних літальних апаратів для транспортування медичної продукції", *Air Medical Journal*, vol. 34, 2015. - 104-108

23. А. Али, А. Насир та С. COVID-19 and Drones: Applications, Challenges and Future Directions, 2020

24. Даник Ю.В., Бугайов М.В. Аналіз ефективності виявлення тактичних безпілотних літальних апаратів пасивними та активними засобами спостереження // Зб. наук. праць ЖВІ ДУТ. Інформаційні системи'15. 2015.Вип.10. С.5-20.

25. Graboyes R.F., Skorup B. Medical drones in the United States and a survey of technical and policy challenges. *SSRN Electron. J.* 2020

26. Sethuraman, V. Vijayakumar, S. Walczak, "Кібератаки на медичні пристрої з використанням безпілотних літальних апаратів", *Journal of Medical Systems*, vol. 44, 2020.

27. В. М. Harnett, С. R. Doarn, J. Rosen, В. Hannaford і Т. J. Broderick, "Оцінка безпілотних літальних апаратів в екстремальних умовах", *Telemedicine and e-Health*, 2018. - 539-544

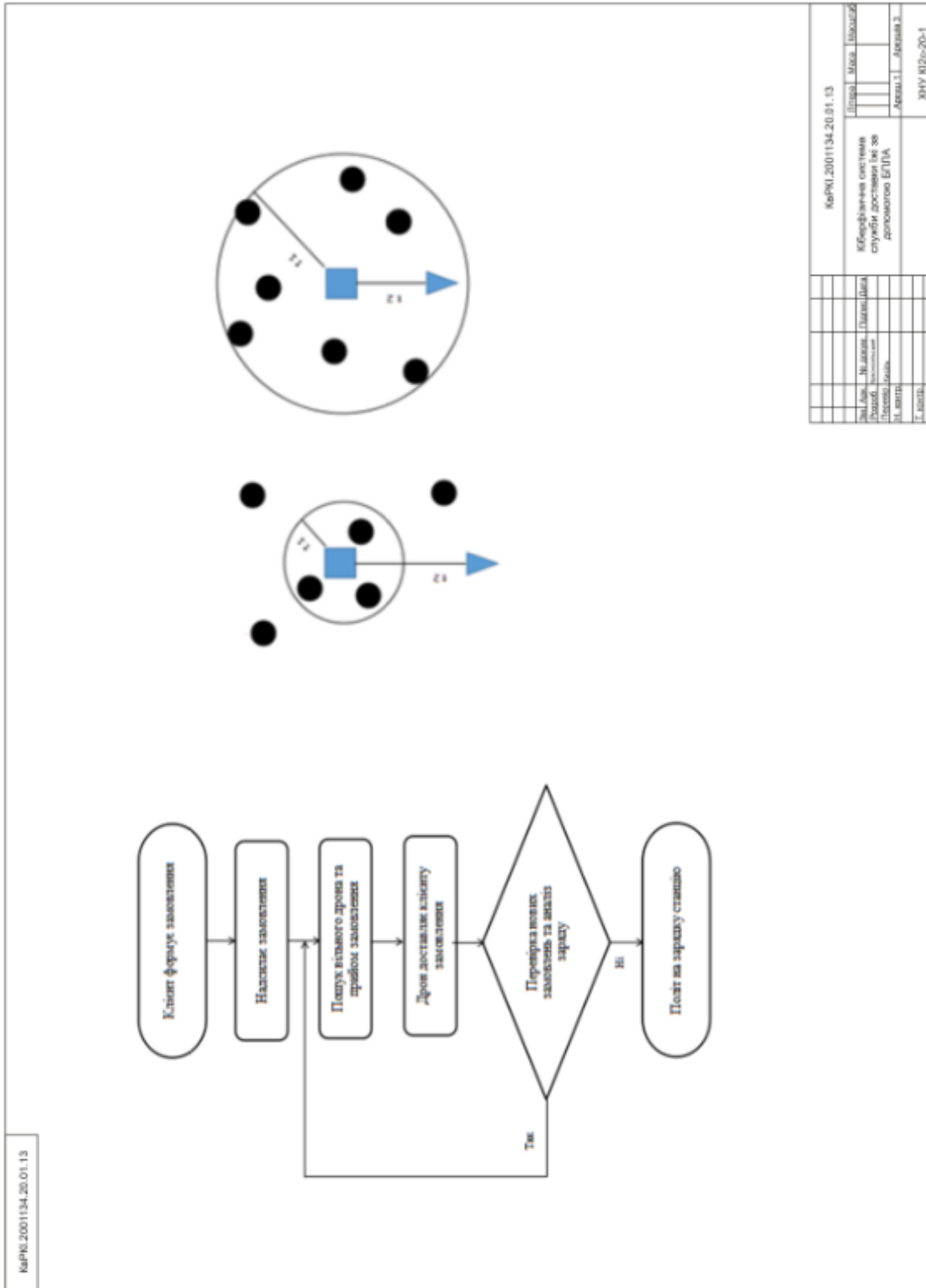
28. Р. Янга та К. Річардсона. Counter-Drone Technologies: An Overview of Existing and Emerging Solutions, 2020

					КВРКІ.2001134.20.01.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.№	Підпис	Дата		62

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

Копія креслення «Логічна блок-схема доставки їжі та схема розміщення зарядних станцій»





User name:
Кафедра КІ

Check ID:
1015426218

Check date:
05.06.2023 11:30:32 EEST

Check type:
Doc vs Internet + Library

Report date:
05.06.2023 11:30:53 EEST

User ID:
100005591

File name: Красносельський_Кіберфізична система служби доставки їжі за допомогою БПЛА

Page count: 63 Word count: 10617 Character count: 83689 File size: 2.03 MB File ID: 1015088381

1.97% Matches

Highest match: 1.12% with Library source (File ID: 1008433298)

1.32% Internet sources 116 Page 65

1.97% Library sources 161 Page 66

0% Quotes

Quotes 1 Page 67

References 1 Page 67

0% Exclusions

No exclusions

Modifind

Text modifications detected. Find more details in the online report.

Replaced characters 4

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 3.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилоч в документах: 12%

ID: 114674 Назва: БКР Кіберфізична система служби доставки їжі за допомогою БПЛА Додано в БД: 2023-06-05 Автора: М.А. Красносельський Керівники: Т. М. Кисіль Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	71900	605	2613 (4%)	29 (5%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Красносельський Максим Андрійович

Тема: Кіберфізична система служби доставки їжі за допомогою БПЛА

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 68

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є розробка кіберфізичної системи доставки їжі за допомогою БПЛА.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області: предметна область дронів для доставки їжі охоплює використання безпілотних літальних апаратів в галузі доставки харчових продуктів та страв. Розглянуто різні аспекти включас, зокрема, технічні, логістика та маршрутизація, безпека та регуляторні аспекти, економічні та соціальні. В другому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто та запропоновано алгоритми та стратегії руху дронів. В третьому розділі кваліфікаційної роботи реалізовано алгоритми, виконано інтеграцію з апаратурою, здійснено налагодження та оптимізація програм задля досягнення максимальної продуктивності та ефективності.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.
5. Негативні сторони роботи: слід було більше приділити увагу архітектурі системи.
6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.
7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на достатньому технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре/С/4.00

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Гурман

Іван Васильович, доцент кафедри ТЛЗ

"6" червня 2023 р.

Гурман (підпис)

Завідувачу кафедри КПС
д-р.техн.наук, проф. Говорушенко Т. О.

Красносельського Максима Андрійовича
ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-20-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

05.06.2023

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Кіберфізична система служби доставки їжі за допомогою БПЛА

Автор: Красносельський Максим Андрійович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Кисіль Т.М., д.т.н., проф.

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результату роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформлені посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
- 4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності чотирьохрозрядних двійкових кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
- 5) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі українськими скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 6,61% і адресується до 270 першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС



Т. М. Кисіль

С. М. Лисенко

Т. О. Говорушенко