

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Радіотехнічний факультет
Кафедра радіотехнічних систем

«До захисту допущено»

ВО завідувача кафедри

_____С.Я. Жук

“ ____ ” _____2022 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

з спеціальності (спеціалізації) 172 Телекомунікації та радіотехніка

на тему: Двофакторна система технології Follow Me для дрону

Виконала: студентка 4 курсу, групи РТ-81

Іванченко Юлія Василівна

Керівник доц., к.т.н. Могильний С.Б.

Рецензент к.т.н., доц.каф. ПРЕ Адаменко Ю.Ф.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2022 року

Завдання на дипломну роботу

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) радіотехнічний

Кафедра радіотехнічних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 172 Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
ВО завідувача кафедри

_____ С.Я. Жук

«__»_____2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студентці

Іванченко Юлії Василівні

1. Тема роботи: Двофакторна система технології Follow Me для
дрону

керівник роботи доц., к.т.н. Могильний С.Б.

затверджені наказом по університету від «__»_____2022 р. №_____

2. Строк подання студентом роботи: 15.06.2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Технологія Follow Me

4. Зміст (дипломної роботи) : Огляд технології Follow Me для дронів. Визначення напрямку для керування дроном через координати з GPS. Уточнення напрямку на клієнта за допомогою технології Bluetooth (на малій відстані). Практична реалізація. Загальні висновки по роботі.

3. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів тощо) презентація по роботі в обсязі не менше 15 слайдів

4. Дата видачі завдання 01 травня 2022 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошук аналогів, які мають схожий функціонал	01-15.05.2022	виконано
2	Розгляд технологій за допомогою яких може бути виконана реалізація	16-20.05.2022	виконано
3	Пошук переваг на недоліків розглянутих технологій	21-25.05.2022	виконано
4	Вибір технологій, які будуть використовуватися у власному пристрої	26-30.05.2022	виконано
5	Визначення функціоналу пристрою	31-05.05.2022	виконано
6	Оформлення документації	04-12.06.2022	виконано

Студентка

Іванченко Ю.В.

Керівник роботи

Могильний С.Б.

Пояснювальна записка до дипломної роботи

на тему: **ДВОФАКТОРНА СИСТЕМА ТЕХНОЛОГІЇ FOLLOW
ME ДЛЯ ДРОНУ**

АНОТАЦІЯ

У дипломній роботі розглянуто різні методи реалізації технології Follow Me для дрону. Більш детально розглянуті методи, що мають більшу точність при використанні відстеження за допомогою візуального розпізнавання.

Розглянуто декілька сучасних аналогів де реалізована технологія Follow Me. За результатами аналізу аналогів визначино, що існуючі дрони з даною технологією мають велику вартість, та не найвищу точність. Проведений аналіз технології з використанням тільки GPS, створений алгоритм роботи та приведені деякі розрахунки. Також розглянутий гібридний підхід з поєднанням GPS та візуального відстеження. Головним недоліком використання останнього підходу є потреба використовувати машинне навчання, що збільшує вартість.

Розглянуті способи рішення даної проблеми. Прийняте рішення використовувати гібридний підхід технології Follow Me, що включає в себе поєднання даних отриманих через GPS та Bluetooth.

ANNOTATION

This thesis considers various methods of implementing Follow Me technology for drones. Methods that are more accurate when using tracking with visual recognition are discussed in more detail.

Several modern analogues where Follow Me technology is implemented are considered. According to the results of the analysis of analogues, it was determined that the existing drones with this technology have a high cost, but not the highest accuracy. The analysis of the technology using only GPS, the algorithm is created and some calculations are given. A hybrid approach with a combination of GPS and visual tracking is also considered. The main disadvantage of using the latter approach is the need to use machine learning, which increases the cost.

Ways to solve this problem are considered. It was decided to use a hybrid approach of Follow Me technology, which includes a combination of data obtained via GPS and Bluetooth.

ЗМІСТ

Анотація	5
Annotation.....	6
ЗМІСТ	7
ВСТУП	10
1 Огляд технології Follow Me для дронів.....	11
1.1 Представлення технології Follow Me.....	11
1.2 Огляд аналогів з використанням технології Follow Me.....	13
1.2.1 Висновки	19
1.3 Огляд обраного методу реалізації	20
1.3.1 Міні-комп'ютер Raspberry Pi Zero 2 W.....	22
2 Визначення напрямку для керування дроном через координати з GPS..	23
2.1 Створення серверу Wi-Fi на Raspberry Pi Zero дроні для збереження даних.....	23
2.1.1 Налаштування нової SD-карти	23
2.1.2 Налаштування мережі.....	23
2.1.3 Налаштування DHCP-сервера	25
2.1.4 Налаштування маршрутизації NAT	25
2.1.5 Додавання DNS-серверів.....	25
2.1.6 Збереження	25
2.2 Алгоритм керування дроном через координати з GPS	26

3 Уточнення напрямку на клієнта за допомогою технології Bluetooth (на малій відстані)	29
3.1 Як зробити вивід для зовнішньої антени.....	31
3.2 Вибір антени	Ошибка! Закладка не определена.
4 Практична реалізація	35
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	38
Додаток.....	41

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

GPS - Global Positioning System, система глобального позиціювання.

BT- Bluetooth, технологія бездротового зв'язку.

AP- Access Point, точка доступу.

DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol, протокол динамічної конфігурації вузла, дозволяє комп'ютерам автоматично отримувати IP-адресу та інші параметри.

NAT - Network Address Translation , перетворення мережевих адрес.

DNS - Domain Name System, система доменних імен.

ВСТУП

У сучасному світі дрони вже починають використовувати у різних сферах життя. Дуже швидко з'являються нові різновидності, що пов'язано з великою кількістю доступної інформації в просторах Інтернету. Вони допомагають у військовій справі, кінематографії та можуть самостійно доставити замовлення клієнту. Одним з таких є дрон з технологією Follow Me. Основна його задача полягає в тому що користувач звільняється від керування, та може насолодитися своїм заняттям. Дана різновидність значно спрощує життя спортсменів, людей які люблять екстремальні види спорту, хочуть зняти себе самостійно, або шукають спосіб зробити спільне фото з друзями.

Людина яка просто хоче зайнятися лижним спортом, отримує можливість зняти себе зі сторони без допомоги сторонніх людей. Також відпадає необхідність користувачу постійно керувати дроном. Дрон буде знаходитись на встановленій висоті, та утримувати людину в полі зору камери. Вже після закінчення заняття спортом можна насолодитися результатом та переглянути фото які зумів зняти дрон.

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ FOLLOW ME ДЛЯ ДРОНІВ

1.1 Представлення технології Follow Me

'Follow Me' з англійської перекладається як 'слідувати за мною', що в прямому сенсі пояснює своє призначення. Технологія передбачує автономне слідування дрона за користувачем. Дана функція особливо корисна для дронів з камерами, що дозволяє робити фото та відеозйомку. Технологія відкидає необхідність людині постійно керувати дроном, що дозволяє значно спростити використання. Це передбачає, що дрон весь час стежить за користувачем. [3]

Можлива реалізація технології за допомогою даних GPS. Проблема полягає в тому, що дрон може бути розвернутий не на користувача. Для більшої точності потрібні необроблені дані від датчиків, але вони не доступні в більшості сучасних смартфонах, що робить даний метод неточним. [4]

Для втілення даної технології можна використовувати GPS та отримані через камеру дані. Система розпізнавання користувача допомагає виокремити об'єкт слідування, що навіть при різко змінюваній місцевості дозволяє слідувати маршруту користувача. При включенні дрона координати користувача залишаються в пам'яті, що можливо при наявності у об'єкта стеження смартфона, smart-браслету або пульта управління. Для кращого розпізнавання користувачу слід одягнути одяг або аксесуар яскравого кольору. Це зменшить ризик переплутати користувача з іншою людиною. У разі якщо все ж таки результати візуального відстеження та за допомогою GPS не сходяться, дрон переходить у режим відстеження лише за допомогою GPS доки не знайде користувача.

При включенні дрона потрібно вказати на об'єкт за яким потім він має слідувати. Також рекомендується вказувати координати домашньої точки. У разі

якщо дрон втратить зв'язок, він може повернутися саме у вказане місце, що запобігає втраті дрона.

Важливою властивістю для дрона є вміння оминати перешкоди. В цьому допомагає технологія гіроскопічної стабілізації. [3] Коли дрон виявляє сил які на нього діють, то він має відразу реагувати, тобто надавати необхідну навігаційну інформацію центральному контролеру, що допоможе оминати перешкоди та зберегти цілісність пристрою. У разі якщо дрон не має даної властивості, то слід для використання обирати місце що майже не має перешкод, або зовсім не має.

1.2 Огляд аналогів з використанням технології Follow Me

Розглянемо деякі існуючі аналоги з технологією Follow Me.



Рисунок 1.2.1 Skydio 2

На рисунку Рисунок 1.2.1 зображений дрон Skydio 2.[2]

В даному дроні є 6 камер, які розташовані навколо бортового комп'ютера Nvidia Jetson. Він обчислює тонни даних з камер у реальному часі для управління. В основі Skydio 2 лежить обчислювальна платформа для II - NVIDIA Jetson Tegra X2, яка працює разом з 256-ядерним графічним процесором Pascal, процесором Denver 2 з 4 Гб RAM і $6 \times 200^\circ$ 4K камерами. Завдяки ним дрон здійснює стабілізовану високоякісну аерозйомку без участі користувача.

Skydio 2 найкраще вміє уникати перешкоди. Також він може уникати аварій навіть коли зв'язок з користувачем втрачений.

В дроні використовується камера 4k 60FPS. Для управління можна використовувати лише смартфон, окремий пульт дистанційного управління та маяк Skydio у ролі бездротового тросу.

Дрон може знімати в уповільненому режимі 60 кадрів в секунду.



Рисунок 1.2.2 Mavic Air 2

На *Рисунку 1.2.2* зображений Mavic Air 2. [2]

Mavic Air 2 робить 12Мп знімки з 48 Мп камери за допомогою технології Quad Bayer та передає дані зі швидкістю 120 Мбит/с. Камера побудована на 1/2-дюймовій CMOS матриці Sony IMX586 з розміром пікселя 0,8 мкм з вбудованим масивом кольорових фільтрів Байєра.

Цю нову систему відстеження називають “FocusTrack”. Вона дозволяє виявити відстань між човнами, велосипедами, автомобілями та людьми. Дрон можна віднести до кишенькових завдяки конструкції, що складається.

В основі роботи дрона лежить 3-стороння система візуалізації навколишнього світу. Mavic Air 2 може розвивати швидкість до 69 км/год. У нього є 4 режими:

Active Track 3.0 з використанням APAS 3.0;

Spotlight 2.0 – утримує об’єкт у фокусі, залишаючись на місці;

Точка інтересу 2.0- розширений режим точки інтересу;

звичайні швидкі знімки.



Рисунок 1.2.3 Mavic 2 Zoom/Pro

На *Рисунку 1.2.3* зображений Mavic 2 Zoom/Pro. [2]

Дана модель і DJI Mavic 2 Zoom мають однаковий корпус, відрізняються лише камерою. За допомогою технології DJI Active track 2.0 дрон вміє розрізняти 16 об'єктів такі як човен, машина, або людина.

Основними перевагами моделі є одні з найкращих камери, швидкість до 72 км/год.



Рисунок 1.2.4 Auter Evo

На *Рисунку 1.2.4* зображений Auter Evo. [2]

Для відстеження предметів використовується технологія Dynamic Track з використанням комбінації датчиків та AI, що дозволяє відстежувати все від

людей до транспортних засобів. Також дрон має датчики для запобігання перешкод.



Рисунок 1.2.5 Simrex X20

На *Рисунку 1.2.5* зображений Simrex X20. [2]

Для використання опції follow me використовується GPS. Дрон відстежує телефонний GPS. Основною перевагою є складна конструкція.



Рисунок 1.2.6 JJRC X5 Epic

На *Рисунку 1.2.6* зображений JJRC X5 Ерік. [2]

Дана модель поставляється з режимом GPS follow me. Дрон має декілька режимів польоту одним з яких є повернення додому.



Рисунок 1.2.7 DJI Phantom 3 Standard

На *Рисунку 1.2.7* зображений DJI Phantom 3 Standard. [2]

Дрон має найкраще співвідношення якості та ціни. В режимі follow me використовується GPS для точного визначення місцезнаходження. У даної моделі є такі режими:

- Waypoints - запис певної траєкторії польоту;
- Point of Interest - автоматичне обертання навколо об'єкта;
- Home Lock – управління по відношенню до положення користувача;
- Блокування курсу.



Рисунок 1.2.8 Hubsan H501S X4

На *Рисунку 1.2.8* зображений Hubsan H501S X4.

За допомогою вбудованої системи GPS квадрокоптер слідкує за об'єктом. Це можливо лише коли і передатчик, і дрон синхронізуються з 6 супутниками.



Рисунок 1.2.9 Autel Robotics Evo

На *Рисунку 1.2.9* зображений Autel Robotics Evo. [2]

В основі роботи є запатентована 3D система візуалізації навколишнього світу, побудована на бінокулярній передньої, задньої та нижньої сенсорної системи, що дозволяє завчасно прокладати шлях з врахуванням перешкод.

Для відстеження об'єктів використовується технологія розпізнавання Dynamic Track, де об'єкт не втрачається навіть якщо на короткий час пропадає з виду. Камера дозволяє записувати HDR відео в розмірі 4K при 60 кадрах в секунду на швидкості 100 Мбит/с.

Максимальна швидкість складає 72 км/год.

1.2.1 Висновки

За результатами дослідження аналогів виявлено що на даний час існує багато аналогів з використанням технології Follow Me. У розглянутих пристроїв використовується візуальне відстеження за допомогою використання машинного навчання. Аналоги справляються зі своєю функцією, але для того щоб дрон міг краще визначити користувача та не сплутати його з іншою людиною, потрібно використовувати яскраві елементи одягу. Таким чином буде легше виокремити користувача серед інших людей. Основним мінусом є висока вартість пристрою, що якраз пов'язано з наявністю візуального відстеження.

Помічено, що деякі дрони вміють уникати перешкоди, але це також збільшує вартість. У випадку коли немає такої можливості, слід обирати відкриту місцевість без великої кількості дерев та перешкод.

1.3 Огляд обраного методу реалізації

Прийнято рішення використовувати технологію Follow Me з використанням GPS та Bluetooth. Для того щоб користувач через смартфон міг зв'язатися з дроном, будемо використовувати Raspberry Pi Zero 2 W. Завдяки його компактному розміру він добре підходить для розміщення на дроні та має невелику вагу.

Дані про місцезнаходження користувача отримуються зі смартфона. Вони за допомогою каналу Wi-Fi передаються на дрон. Потім на основі отриманих даних розраховується швидкість з якою має рухатися сам дрон, керуючи напрямком по горизонталі так, щоб бути ближче до цілі. Точність даних GPS є не найвищою, але все ж таки дані більш надійні. Тому для збільшення точності будуть використовуватися додаткові дані, отримані за допомогою відстеження на основі Bluetooth. [4]

Використовується метод пеленгації. До Raspberry Pi Zero 2 W підключається антена, за допомогою якої визначається напрямок на користувача.[14]

Основним методом відстеження обираємо через дані Bluetooth. Він має більшу точність на невеликих відстанях. У разі якщо відстань буде збільшуватися, або будуть відбуватися якісь збої, дрон буде переходити в режим відстеження за допомогою GPS.

Алгоритм обраної реалізації:

1. Створення серверу Wi-Fi на Raspberry Pi Zero дроні для збереження даних
2. Визначаємо координати дрона за допомогою GPS.
3. Встановлення бажаної висоти для дрона та кута нахилу підвісу так, щоб користувач був у центрі кадру.
4. Розрахунок відстані до користувача, після отримання його координат із смартфона через Wi-Fi
5. Обчислюємо кут підвісу на наступному кадрі

6. Знаходимо швидкість керування дроном
7. Надсилаємо дрону команди керування для зближення з користувачем
8. Знаходимо різниці координат та порівнюємо з бажаною відстанню (можлива похибка 5-10м), щоб скористатися Bluetooth
9. Створюємо персональну мережу Bluetooth
10. Підключаємо автоматично смартфон до Bluetooth на Raspberry Pi Zero
11. Незалежно від похибки, перемикаємося на режим відстеження за допомогою Bluetooth, щоб зорієнтувати камеру на користувача.
12. Дві антени на дроні, кожна з яких має рознесену діаграму направленості, дозволяють виявити напрямок на смартфон по мінімуму сигналу.
13. При використанні лише однієї антени, що менш точно, напрямок визначаємо по максимуму сигналу.
14. Відстежуємо користувача на відстані, коли не переривається Bluetooth.
15. При втраті зв'язку Bluetooth повертаємось до п.2.

1.3.1 Міні-комп'ютер Raspberry Pi Zero 2 W

Raspberry Pi Zero – це комп'ютер, що має досить малий розмір. Він трохи менше за кредитну карту, що робить дану модель дуже компактною у використанні.[17] Має оперативну пам'ять розміром 512 МБ, тому бажано використовувати SD-карту, або передавати дані у хмарне сховище. Raspberry Pi Zero має модулі Wi-Fi 2.4 ГГц та Bluetooth 4.2, що якраз потрібні для передачі даних зі смартфона.[11]

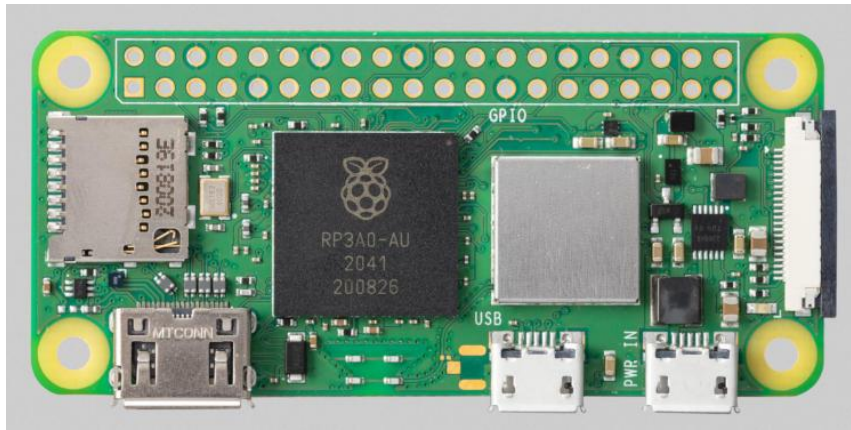


Рисунок 1.3.1 Raspberry Pi Zero 2 W

Вартість даної версії складає близько 15 доларів, що впринципі задовольняє основну задачу, зробити пристрій доступним для більшої кількості людей.

На платі розташована також внутрішня антена, яка буде використовуватися для підключення зовнішніх антен.

2 ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ДРОНОМ ЧЕРЕЗ КООРДИНАТИ З GPS

Розглянуто метод для визначення напрямку на користувача за допомогою даних GPS, що розвернути дрон в правильне положення, коли користувач знаходиться у кадрі камери.

Для використання даних GPS потрібно щоб дрон знав координати користувача. В сучасних смартфона є можливість визначити координати свого місцезнаходження. Власні координати дрон визначає самостійно. Для того щоб Raspberry Pi Zero прийняв дані GPS користувача, розгортаємо сервер на мікрокомп'ютері. Wi-Fi автоматично підключається до сервера.[4]

2.1 Створення серверу Wi-Fi на Raspberry Pi Zero дроні для збереження даних

Оскільки лежить необхідність оброблювати та зберігати отримані дані, то прийнято рішення створити сервер Wi-Fi.[14]

2.1.1 Налаштування нової SD-карти

Після того як знято нове фото, завантажити його на SD-карту та слідувати інструкції, що записана у конфігурації.

2.1.2 Налаштування мережі

Потрібно налаштувати дві мережі: локальну та висхідну. Першою керує `hostapd` як точкою дотупу Wi-Fi, а друга мережа відповідає за підключення до Інтернету. Висхідне з'єднання може бути як дротовим, так і через Wi-Fi. Далі виконуються налаштування:

- Встановлення `hostapd` за допомогою наступної команди:
`$ sudo apt-get install hostapd`

- Створюється та редагується файл конфігурації за адресою /etc/hostapd/hostapd.conf.

Наступні дії:

```
interface=wlan1
```

```
# Якщо це не вдасться, спробувати rt1871xdrv а
driver=nl80211
```

```
# Назва нової мережі: краще використовувати ім'я хоста
ssid=wifipi
```

```
# Обирається канал, який ще не використовується
channel=6
```

```
# Змінити на b для старих пристроїв
```

```
hw_mode=g
```

```
macaddr_acl=0
```

```
auth_algs=3
```

```
# Вимкнути це, щоб забезпечити видимість AP:
```

```
ignore_broadcast_ssid=0
```

Отже, створена відкрита незахищена точка доступу. Це означає, що на даному етапі будь-хто може підключитися до неї. Для уникнення зайвих підключень можна встановити пароль:

```
wpa=2
```

```
wpa_passphrase="RaspberryWiFi"
```

```
wpa_key_mgmt=WPA-PSK
```

```
wpa_pairwise=TKIP
```

```
rsn_pairwise=CCMP
```

Спроба ввімкнути алгоритм вибору каналу була невдачною.

‘channel=0’ – не спрацювало.

- Перевірка:

```
$ sudo /usr/sbin/hostapd /etc/hostapd/hostapd.conf
```

У разі якщо виникли якісь проблеми пристрій повідомить та припинить роботу.

Увімкнення мережі:

Оскільки з самого початку мережа замаскована, то треба це виправити.

```
# systemctl unmask hostapd
```

```
# systemctl enable hostapd
```

Для того, щоб самостійно перевірити, чи вдалося підключити мережу використовується:

```
# systemctl start hostapd
```

2.1.3 Налаштування DHCP-сервера

DHCP — це те, що визначає IP-адреси комп'ютерів, які приєднуються до приватної мережі.

Підключається за інструкцією 'DHCP Daemon on Raspberry Pi'.

2.1.4 Налаштування маршрутизації NAT

Налаштування відбуваються за інструкцією 'Raspberry Pi Access Point Routing Tables'.

2.1.5 Додавання DNS-серверів

Треба відредагувати файл `file /etc/resolvconf.conf`, далі перезавантажити та переглянути `/etc/resolv.conf`, аби переконатися що сервер потрапив до списку.

2.1.6 Збереження

Перелік усіх файлів, щоб можна було редагувати їх:

```
/etc/network/interfaces
```

```
/etc/network/interfaces.d/
```

```

/etc/default/hostapd
/etc/hostapd/hostapd.conf
/etc/default/isc-dhcp-server
/etc/dhcp/dhcpd.conf
/etc/resolvconf.conf
/var/www/html/index.php

```

2.2 Алгоритм керування дроном через координати з GPS

Спочатку створюється сервер Wi-Fi на Raspberry Pi Zero дроні для того, щоб зберігати дані. Далі дрон визначає координати власного перебування. Користувач встановлює бажану висоту, на якій має перебувати дрон протягом всього використання. Камера кріпиться до дрону за допомогою підвісу, який також може рухатись та зміщувати камеру так, щоб користувач перебував у центрі кадру. Тому встановлюється кут підвісу, щоб захопити користувача. [4]

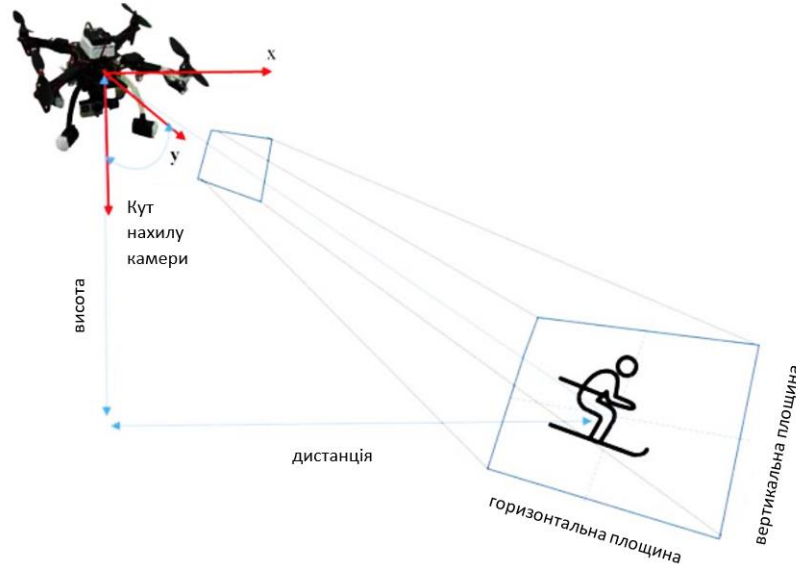


Рисунок 2.2.1 Схематичний малюнок взаємодії користувача та дрона

Смартфони мають можливість отримувати дані про своє місцезнаходження. Далі вони передаються через Wi-Fi на дрон. Отже, на Raspberry Pi Zero вже знаходяться власні координати та координати смартфона.

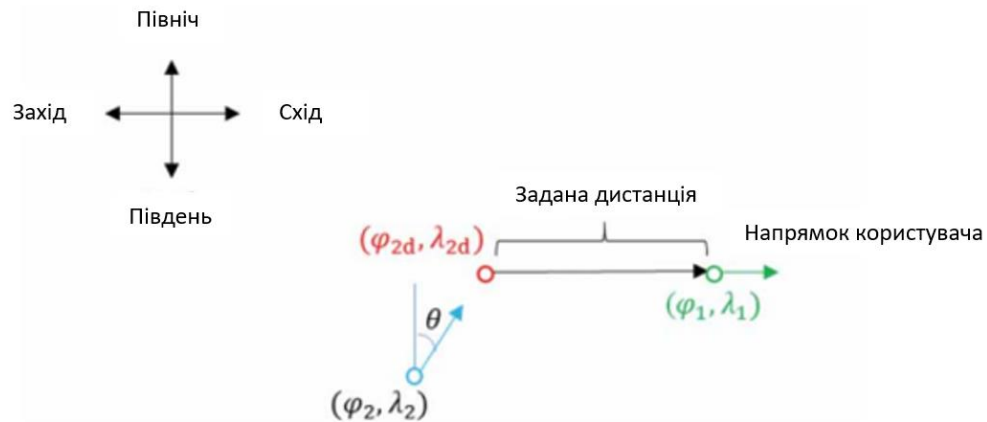


Рисунок 2.2.2 Процес 'follow-me' на основі GPS

На Рисуноку 2.2.1 координатами (φ_1, λ_1) позначено широту та довжину смартфона, а (φ_2, λ_2) широту та довготу дрона. За допомогою даних GPS зі смартфона можна також отримати курс користувача(θ). [4]

Для того щоб камера змогла зняти знімки, дрон повинен рухатися позаду користувача. Розрахуємо кут нахилу підвісу, який відрізняється від курсу користувача(θ):

$$\theta_d = \begin{cases} \theta + 180 & \text{if } \theta < 180 \\ \theta - 180 & \text{if } \theta \geq 180 \end{cases}$$

Після розрахунків дрон отримує координати положення куди кому потрібно переміститися, щоб користувач перебував в полі зору камери.

Оскільки користувач задав висоту на якій знаходиться дрон, та вже визначений кут нахилу підвісу, то можна порахувати відстань до користувача за теоремою Піфагора:

$$d_{\text{початкова}} = h \tan(g),$$

$d_{\text{початкова}}$ - відстань між користувачем та дроном з самого початку;

h - висота на якій знаходиться дрон;

g - кут нахилу підвісу.

На кожному наступному кадрі обчислюємо кут нахилу підвісу, тому можна розрахувати поточну відстань до користувача[4]:

$$d_{\text{поточна}} = h \tan(g_{\text{поточний}}),$$

$d_{\text{поточна}}$ - відстань між користувачем та дроном в момент розглянутого кадру;

$g_{\text{поточний}}$ - кут нахилу підвісу в момент розглянутого кадру.

Тому можна порівняти поточну відстань з початковою:

$$\Delta d = d_{\text{поточна}} - d_{\text{початкова}}$$

Точка призначення для дрона розраховується на основі заданої висоти та кута нахилу підвісу[4]:

$$\varphi_{2d} = \arcsin\left(\sin \varphi_1 \cos \frac{d}{R} + \cos \varphi_1 \sin \frac{d}{R} \cos \theta_d\right)$$

$$\lambda_{2d} = \lambda_1 + \arctan2\left(\sin \theta_d \sin \frac{d}{R} \cos \varphi_1 \cos \frac{d}{R} - \sin \varphi_1 \sin \varphi_{2d}\right),$$

φ_{2d} – широта призначення;

λ_{2d} – довгота призначення;

d – попередньо встановлена відстань;

R – радіус землі;

$\frac{d}{R}$ – кутова відстань.

Після розрахунків дрон отримує координати положення куди кому потрібно переміститися, щоб користувач перебував в полі зору камери.

З УТОЧНЕННЯ НАПРЯМКУ НА КЛІЄНТА ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ BLUETOOTH (НА МАЛІЙ ВІДСТАНІ)

Щоб можливо було зробити слідування дрона більш точним, буде використовуватись відстеження за допомогою Bluetooth. Спочатку потрібно створити персональну мережу Bluetooth.

У Raspberry Pi Zero 2W та в користувача має бути включений Bluetooth. Бажано щоб вони знаходились на відстані 10-20 метрів між собою. Коли дрон та смартфон побачать один одного, то у випадку якщо дозволене автономне підключення, вони устанавлюють між собою зв'язок.

Для визначення положення об'єкта у просторі потрібно знати його дві координати. Оскільки висота на якій знаходиться дрон задана з самого початку, то залишається необхідність керувати дроном лише по горизонталі.[4]

В смартфоні знаходиться один датчик Bluetooth і він є ненапрямленим. Тому за допомогою нього не можна визначити азимут. У випадку якщо відправити інформацію зі смартфона на дрон, можна виміряти вхідну напругу, що допоможе знайти дуже приближене місцезнаходження смартфона. Але дана робота потребує набагато більшої точності для знаходження користувача. Також смартфони можуть передавати по Bluetooth лише своє ім'я та файли, але не дані про відстань.

Одним з можливих рішень поставленої задачі може бути пеленгація. Тобто використання антени, що кріпиться до Raspberry Pi Zero 2W.[17] Вона повинна мати не кругову направлену діаграму спрямованості антени для того щоб визначити звідки надходить найсильніший сигнал. По максимуму сигналу визначається приблизне місцезнаходження користувача. Але даний метод не є дуже точним. Оскільки для кращої реалізації технології Follow Me потрібна більша точність, то можна використати метод пеленгації з двома антенами. Розташовується одна правіше, а інша лівіше. В такому випадку діаграма

спрямованості по центру матиме провали. Провали знаходяться так, де гірший сигнал. Тому напрямок користувача визначається по мінімуму сигналу. Для того, щоб підключити до до Raspberry Pi Zero 2W дві антени слід використовувати суматор потужностей, оскільки комп'ютер має тільки один вхід антени.

Для того щоб направити камеру точно на користувача, режим відстеження перемикається на Bluetooth. До дрона прикріплено дві антени які з'єднані між собою за допомогою суматора потужностей. Антени повинні мати рознесену діаграмну направленість.

Потім користувач відстежується на відстані, якщо з'єднання Bluetooth стабільне. У разі якщо з'являються переривання, то дрон повертається до відстеження по GPS.

3.1 Як зробити вивід для зовнішньої антени

На міні-комп'ютері Raspberry Pi Zero 2W вже знаходиться внутрішня антена. [11] Вона має кругову діаграму спрямованості, а для даної технології потрібна більш напрямлена антена, щоб найбільш точно визначити місцезнаходження смартфона.[17] Тому буде використовуватися антена невеликого розміру з направленою діаграмою спрямованості. Наступна задача полягає в тому, що потрібно поставити роз'єм для приєднання антени.

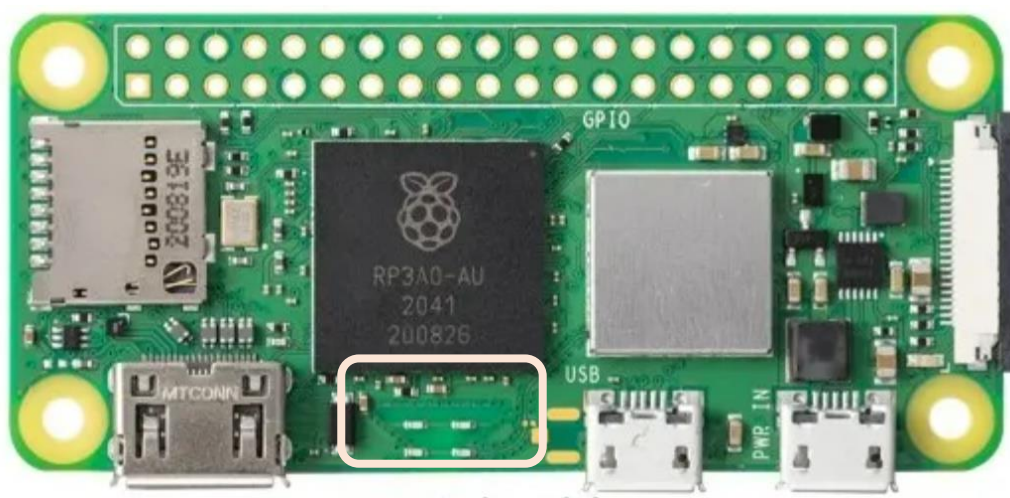


Рисунок 3.1.1 Внутрішня антена Raspberry Pi Zero 2W

Внутрішня антена зображена на платі у вигляді трапеції. Від модуля бездротової передачі даних йде доріжка на антену. Також на платі є місце призначене для розміщення антенного Ufl роз'єму. Для встановлення спочатку потрібно зняти маску у відведених двох місцях. Затим треба з'єднати доріжку з контактним майданчиком. Необхідно відключити внутрішню антену, таким чином що треба видалити один елемент.

3.2 Обґрунтування вибіру антен

На Raspberry Zero знаходиться внутрішня антена. Вона має кругову діаграму спрямованості. Оскільки потрібно більш точно визначати напрямок на користувача, то слід використовувати антену з напрямленою діаграмою спрямованості.

Для відстеження використовується Амплітудний метод радіопеленгації, а саме пеленгація по методу мінімуму.[1] Даний метод можна реалізувати за допомогою одної, або двох антен, які мають напрямлену діаграму спрямованості.

Напрямок на ціль визначається за допомогою направлення мінімуму характеристики радіопеленгації у разі коли амплітуда сигналу найменша. Тобто коли сигнал дорівнює нулю антена буде направлена на джерело Bluetooth.[1]

Дрон рухається правору або ліворуч до того моменту коли сигнал користувача зникне. Саме в цей момент можна розрахувати значення азимуту користувача, щоб направити камеру саме на користувача.

При виборі антени враховувався її розмір: 90мм*90мм, що дозволяє розробити дрон невеликого розміру.

Для обраного методу використовується антена WIFI 6E FLEX CABLE BALANCE ANTENNA



Рисунок 3.2.3 WIFI 6E FLEX CABLE BALANCE ANTENNA

Діаграма спрямованості має вигляд:

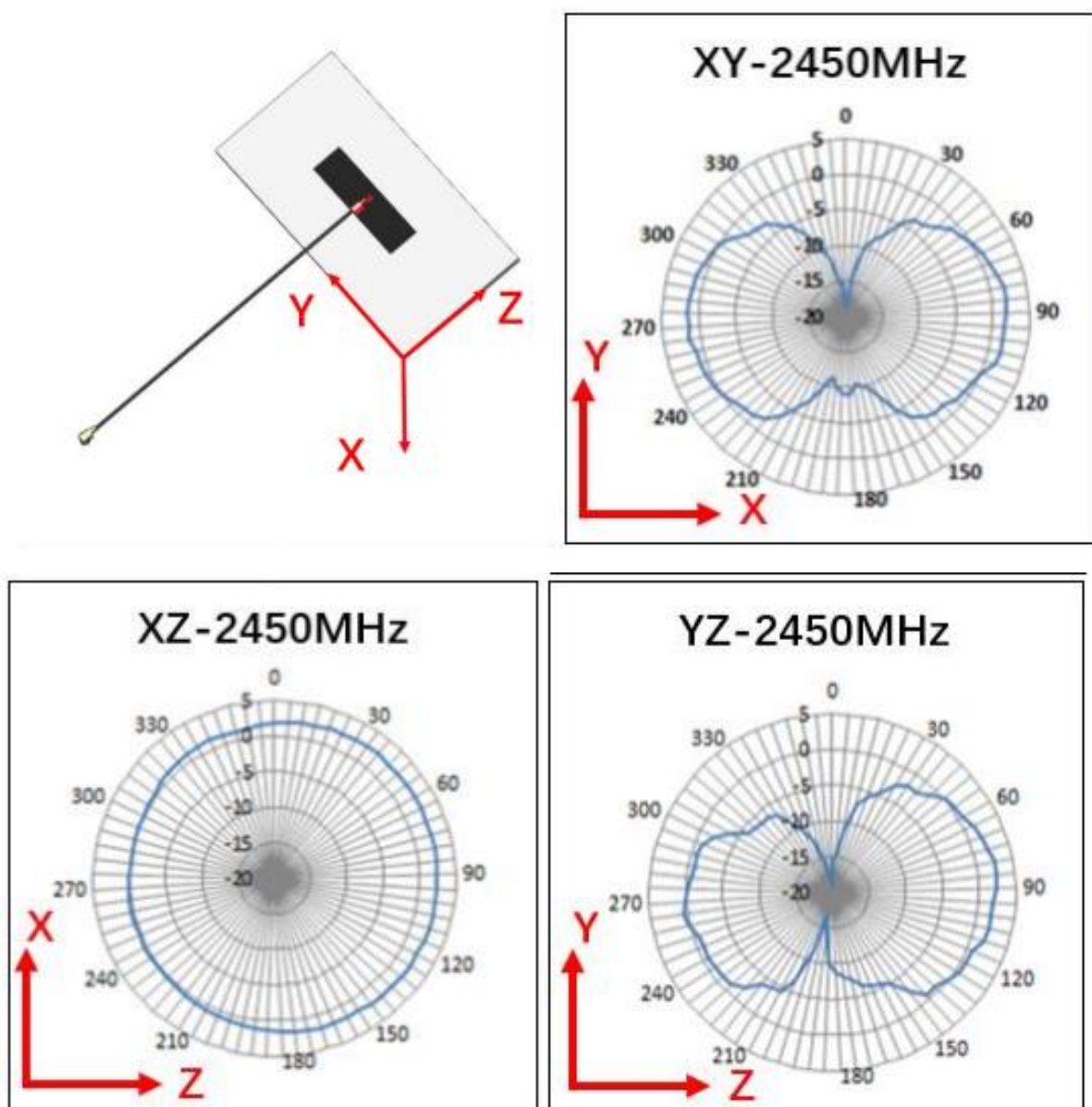


Рисунок 3.2.4

На Рисуноку 3.2.4, на графіку YZ можна побачити, що обрана антена має широкі пелюстки. При поверненні дрона ліворуч від цілі буде помічений сигнал, при повороті в інший бік спочатку буде провал, а потім знову сигнал. Тобто провал вказує напрямок на користувача. Це означає, що камеру слід

розташовувати так, щоб вона дивилася в бік провалу діаграми. В такому випадку користувач буде знаходитися в кадрі .

Характеристика випромінювання антени у вільному просторі:

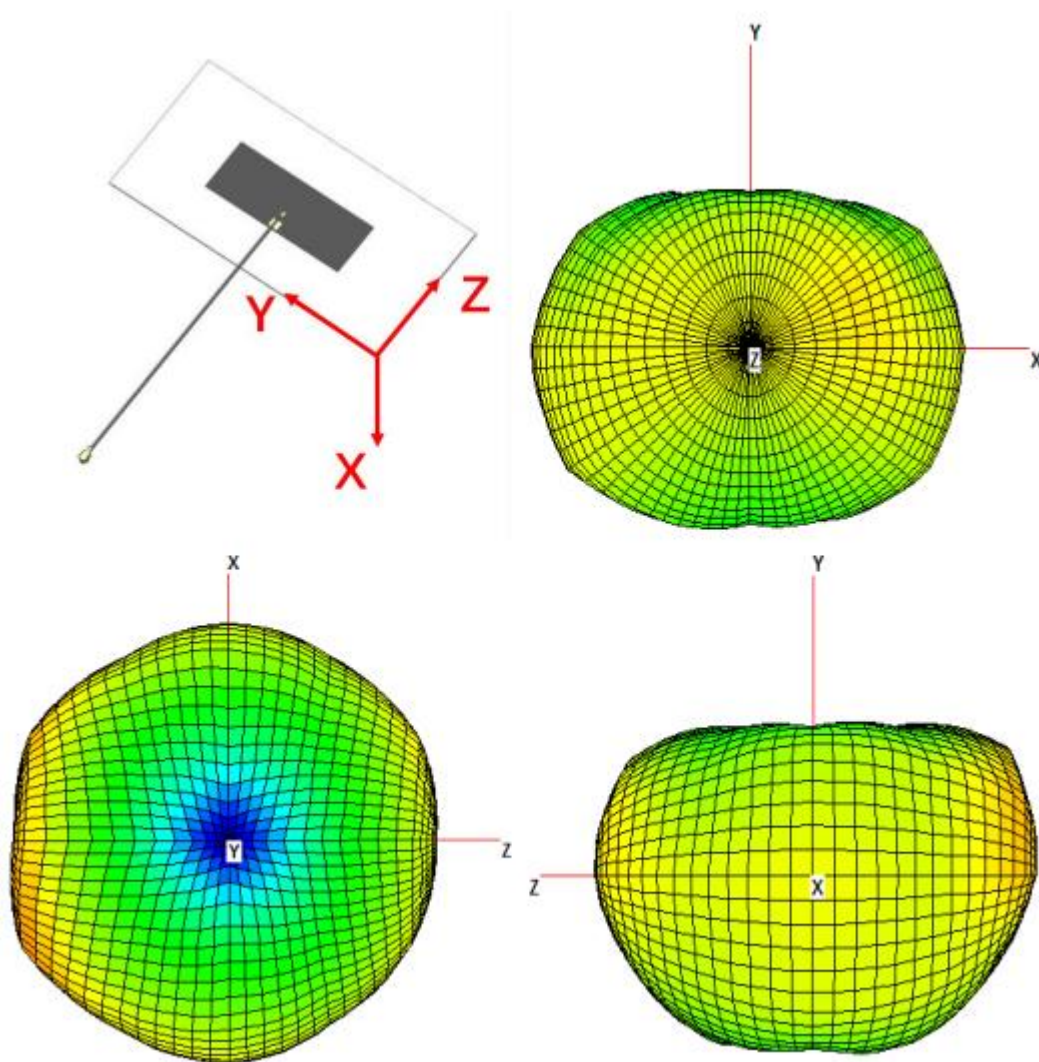


Рисунок 3.2.5

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ



Рисунок 4.1 Дрон з технологією Follow Me на основі даних GPS та BT

На Рисунку 4.1 зображена практична реалізація дрону з технологією Follow Me на основі даних GPS та BT. Дрон підготовлений, але експериментальні дослідження провести не вдалося у зв'язку з обставинами у країні.

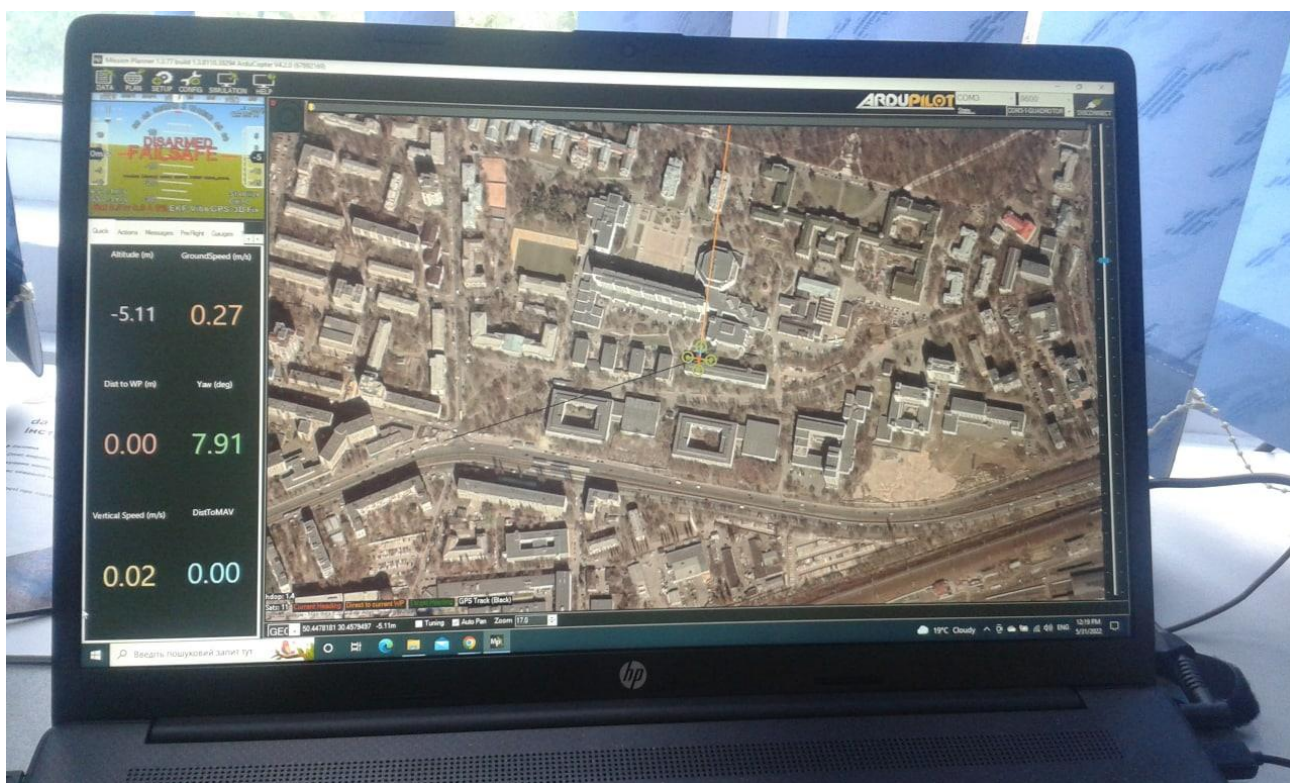


Рисунок 4.2 Знаходження дроном власних координат

На Рисунку 4.2 показано як точно дрон відстежує власне місцезнаходження. На фото зеленим хрестиком позначено навчальний корпус №17, а саме аудиторію 505 в якій знаходиться даний дрон. За результатами дрон дуже точно показує своє місцезнаходження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В даній роботі були розглянуті існуючі аналоги технології Follow Me. На основі розглянутої інформації зроблений висновок, що дана технологія є актуальна на сьогодні.

Розглянуті різні способи реалізації технології, як з використанням даних лише GPS, так і гібридні методи. Проаналізувавши усі з них можна виявити, що гібридні мають більшу точність відстеження, що означає що більшу частину часу ціль знаходиться в полі зору камери.

Приведений алгоритм за допомогою якого відбувається відстеження. Розглянуто методи відстеження за допомогою Bluetooth з використанням однієї антени та двох. Прийнято рішення використовувати дві антени поєднані суматором потужності.

Також приведені розрахунки для визначення швидкості з якою має пересуватися дрон, та з знаходженням його бажаного положення в наступний момент.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Амплитудные методы радиопеленгации [Электронный ресурс] // Радиотехника. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <http://rateli.ru/books/item/f00/s00/z00000017/st035.shtml>.
2. Best Follow me drones in 2021 [Электронный ресурс] // dronesgator. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://dronesgator.com/best-follow-me-drones/>.
3. Visual-GPS combined 'follow-me' tracking for selfie drones [Электронный ресурс] // Advanced Robotics. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/326661865_Visual-GPS_combined_'follow-me'_tracking_for_selfie_drones.
4. Visual-GPS combined 'follow-me' tracking for selfie drones [Электронный ресурс] // Advanced Robotics. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/326661865_Visual-GPS_combined_'follow-me'_tracking_for_selfie_drones.
5. Meier L, Camacho J, Godbolt B, et al. Mavlink: micro air vehicle communication protocol. Available from: <http://qgroundcontrol.org/mavlink/start>.
6. Bart R, Vykovsk A. Any object tracking and following by a flying drone. 2015 Fourteenth Mexican International Conference on Artificial Intelligence; Cuernavaca, Mexico; 2015.
7. Schneider D. Flying selfie bots. IEEE Spectr. 2015;52(1): 49–51.
8. Hedgecock W, Maroti M, Sallai J, et al. High-accuracy differential tracking of low-cost GPS receivers. The 11th ACM annual international conference on mobile systems, applications, and services; Taipei, Taiwan; 2013. p. 221–234.
9. Wu Y, Lim J, Yang MH. Object tracking benchmark. IEEE T Pattern Anal. 2015;37(9):1834–1848.
10. Raspberry Pi Zero 2 W [Электронный ресурс] // Canakit. – 2022. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.canakit.com/raspberry-pi-zero-2-w.html>.

11. Pi0drone: A \$200 Smart Drone with the Pi Zero [Електронний ресурс] // Hackster. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.hackster.io/12590/pi0drone-a-200-smart-drone-with-the-pi-zero-4fec08>.

12. How to Build a Raspberry Pi Server for Development [Електронний ресурс] // Toptal. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.toptal.com/raspberry-pi/how-to-turn-your-raspberry-pi-into-a-development-server>.

13. Turning Your Raspberry Pi Into a Personal Web Server [Електронний ресурс] // Instructables. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.instructables.com/Turning-your-Raspberry-Pi-into-a-personal-web-serv/>.

14. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура і правила оформлення : Чинний від 22.06.2015 — К. : ДП "УкрНДНЦ", 2016. — 26 с.

15. ДСТУ ГОСТ 7.1-2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання : чинний з 2007-07-01. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 47 с.

16. Raspberry Pi Documentation [Електронний ресурс] // Raspberry Pi. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/configuration.html>.

ДОДАТОК А

Підключення модуля GPS NEO-6М до Raspberry Pi Zero 2 W і обчислення даних за допомогою мови програмування Python:[16]

Налаштування послідовного інтерфейсу

```
# sudo nano /etc/inittab
```

Оновлення репозиторіїв

```
# sudo apt-get update
```

```
# sudo apt-get install minicom gpsd gpsd-clients
```

Перезавантаження

```
# sudo reboot now
```

Модуль готовий до тестування. Встановлення швидкості

```
# stty -F /dev/ttyAMA0 9600
```

Читання необроблених даних GPS із послідовного порту:

Отримання доступу до NMEA виразів

```
# sudo cat /dev/serial0
```