

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет інформаційних технологій

УДК 004.94-025.12
«ПОГОДЖЕНО» «ДОНУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ»

Декан факультету

Завідувач кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки

інформаційних технологій

Касалкін І.Ю., к.пед.н., доцент

Глазунова О.Г., д.пед.н., професор

2022 р.

2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Апаратно-програмне забезпечення комп'ютерної системи координації та контролю дронів»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітня програма «Комп'ютерні системи і мережі»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент

Виконав

Смолій В.В.

Гербовник А.В.

КИЇВ-2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри комп'ютерних систем,
мереж та кібербезпеки

Касаткін Д.Ю., к.п.н., доцент

2022 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ

Гербовник Артем Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність Комп'ютерна інженерія

Освітня програма Комп'ютерні системи і мережі

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Апаратно-програмне забезпечення комп'ютерної системи координації та контролю дронів»
затверджена наказом ректора НУБіП України від «23» жовтень 2021р. №1578»С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 31 жовтня 2022р.

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи

1. Формальні методи
2. Верифікація комп'ютерних систем

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

№ з/п	Питання, що підлягає дослідженню	Строк виконання	Примітка
1.	Аналіз предметної області.	02.06.2022	
2.	Моделювання системи	09.07.2022	
3.	Дослідження методів та засобів	18.09.2022	
4.	Результати дослідження	26.10.2022	
5.	Попередній захист	31.10.2022	
6.	Захист	17.12.2022	

Дата видачі завдання «29» жовтня 2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.т.н., доцент

Виконав

Смолій В.В.

Гербовник А.В.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

БПЛА – Безпілотний літальний апарат.

GPS (англ. англ. Global Positioning System) – Супутникова система навігації

HDMI (англ. англ. High Definition Multimedia Interface) – Інтерфейс та кабель для передачі цифрових відео та аудіо даних

RCA (англ. англ. RCA jack, також англ. phono connector або CINCН/AV connector) – стандарт роз'єму, широко застосовуваний в аудіо і відеотехніці.

GPIO (англ. англ. General-purpose input/output) – інтерфейс для зв'язку між компонентами комп'ютерної системи.

GFLOPS (англ. англ. Floating Point Operations Per Second) – одиниця вимірювання швидкості обчислювальних приладів.

APM (англ. англ. ArduPilot Mega) – система керування безпілотними апаратами з відкритим кодом.

WiFi (англ. англ. Wireless Fidelity) – технологія бездротової локальної мережі з пристроями на основі стандартів IEEE 802.11.

3G (англ. англ. 3rd Generation) – набір послуг, який включає високошвидкісний мобільний доступ до мережі Інтернет та технологію радіозв'язку.

USB (англ. англ. Universal Serial Bus) – універсальна послідовна шина, призначена для з'єднання комп'ютерів і периферійних пристроїв.

(англ. Глобальна Навігаційна Супутникова Система) – радянська/російська радіонавігаційна супутникова система, розроблена на замовлення Міністерства оборони СРСР.

Beidou (англ. Бейдоу вейсі даохан сігун) – китайська супутникова система навігації.

ШИМ (англ. Широтно-імпульсна модуляція) – процес керування шириною (англ. тривалістю) високочастотних імпульсів за законом, який задає низькочастотний сигнал.

АЦП (англ. Аналого – цифровий перетворювач) – пристрій, що перетворює вхідний аналоговий сигнал в дискретний код (англ. цифровий сигнал), який кількісно характеризує амплітуду вхідного сигналу.

HDOP (англ. англ. Horizontal Dilution of Precision) – Зниження точності в горизонтальній площині.

Bluetooth – технологія бездротового зв'язку.

ARM (англ. англ. Advanced RISC Machine) – сімейство ліцензованих 32-

бітних і 64-бітових мікропроцесорних ядер розробки компанії ARM Limited

ПК – Персональний комп'ютер.

ЕОМ – Електронно обчислювальна машина.

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок.

НС – Надзвичайні ситуації.

СГ – Сільське господарство.

ПКБ – Проектно-конструкторське бюро.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Вступ

Актуальність теми роботи: Стрімкий розвиток комп'ютерної та мікропроцесорної техніки зумовив сучасне широке застосування дронів, квадрокоптерів, дистанційно керованих та самокерованих засобів в багатьох галузях.

Для систем керування дронів сьогодні актуальною задачею є реалізація координації в системі дронів, які виконують певну спільну функцію, без втручання оператора. Метою даного дослідження є встановлення необхідних апаратних та програмних складових надійної та ефективної системи контролю та керування квадрокоптерами та дронами в рої для забезпечення скоординованого виконання спільних функцій без втручання стороннього оператора.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є проведення аналізу застосовності доступних компонент загального призначення (англ. сенсори, мікроконтролери, процесори, модулі зв'язку, одноплатні комп'ютери типу Raspberry Pi) та програмного забезпечення, яке дозволяє будувати гнучкі та надійні системи керування квадрокоптерами та дронами.

Об'єкт дослідження: Комп'ютерні системи керування безпілотними літальними апаратами.

Предмет дослідження: Способи реалізації системи керування та контролю сукупності (англ. рою) взаємодіючих дронів.

Методи дослідження: аналітичний, економіко-статистичний, теоретико-емпіричний.

Наукова новизна одержаних результатів. В ході дослідження на основі аналізу сучасної апаратної бази та рівня розвитку технологій сформульовано мінімальні вимоги для реалізації системи координації дронів у рої.

НУБІП України

Практичне значення отриманих результатів. Порівняльний аналіз застосовності доступних компонент та технологій дозволяє розробити засоби координації дронів про об'єднанні в динамічні мобільні системи (англ. роі).

У Вступі обгрунтовано актуальність теми дипломної роботи, сформульовано її мету та завдання, що вирішуються, наведено об'єкт, предмет, методи дослідження, практичне значення отриманих результатів.

В розділі 1 дипломної роботи проведено аналіз предметної області, розглянуто основні технології систем позиціонування дронів, а також проведена класифікація методів, які для цього використовуються.

В розділі 2 зроблено огляд апаратної бази, компонування та принципів проектування, які доцільно застосовувати для розв'язання завдання роботи.

В розділі 3 визначено ефективні методи побудови систем координації та контролю поведінки рою дронів а також засоби та методи програмної реалізації такої системи, подано практичні рекомендації для забезпечення надійної реалізації системи керування рою дронів.

В розділі «Обгрунтування економічної ефективності» розкрито питання обгрунтування економічної ефективності від впровадження результатів дослідження, проведеного в дипломній роботі.

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» присвячений вимогам з охорони праці та техніки безпеки відповідно до нормативних документів щодо протипожежних заходів, виробничої санітарії та гігієни, проведено оцінку дії електромагнітного поля на людину та способів захисту від нього.

Також розглянуто питання оцінки стійкості системи управління і постачання суб'єктів господарювання, підготовка до відновлення порушеного виробництва.

В розділі «Екологія» проведено ознайомлення з основними статистичними показниками екологічних явищ, а також вимогами до проведення державної та громадської екологічної експертизи. 16

НУБІП України

1.1. Види БПЛА

Літальний апарат пілотований дистанційно, або виконує політ автономно, без пілота. Також їх називають безпілотниками або дронами.

БПЛА до недавнього часу мали лише військове призначення, і можливість їх використання була тільки у армії. Безпілотники виконували завдання по аерозйомки (англ. фото, відео), радіорозвідки, виявлення об'єктів і ін. Однак за останній десятиріччя сфера розробки і створення безпілотних систем вийшла за ці рамки, і сьогодні БПЛА застосовуються за різними цивільним напрямками [1,2].

По виду і області виконуваних завдань дрони діляться на 3 основних типи:

- безпілотні літаки
- безпілотні вертольоти;
- безпілотники мультимоторного типу(англ. див. рис. 1.1).



Рис. 1.1. Безпілотники мультимоторного типу [3]

НУБІП України

Безпілотні літаки здатні долати великі відстані, вести складну аерозйомку практично при будь-яких метеоумовах, максимальна якість роботи і ефективність виконуваних завдань можливі на відстані не більше 70 км від наземної станції управління [4]. Під час польоту потрібно підтримання високої швидкості (англ. до 400 км / год). Час перебування в польоті: від 30 хвилин до 8 годин. До недоліків можна віднести складність запуску і посадки. Запуск необхідно здійснювати, використовуючи спеціальний пристрій (англ. катапульти), щоб надати апарату початкову швидкість. Посадка вимагає посадкової смуги або виконується з використанням парашута, що в значній мірі затрудняє забезпечення точної посадки. Плюс до всього, посадка на парашутній системі викликає виникнення перевантажень, негативно позначаються на незахищених елементах корисного навантаження і фотообладнання.

Безпілотні вертольоти не вимагають спеціальних пристроїв для зльоту або злітно-посадкових смуг. На відміну від літаків вони трохи більше вибагливі до погодних умов. Час польоту – від 30 хвилин до 3 годин. Конструкція таких БПЛА складна у порівнянні з літаками або мультіроторними апаратами, так як вимагає наявності складного автомата перекошу лопатей основного і хвостового гвинтів. Важливою перевагою вертольотів перед іншими типами літальних апаратів є наявність режиму самовраження несучого гвинта (англ. авторотації), що може значно знизити збиток від падіння при відмові двигуна.

Мультимоторні безпілотні апарати (англ. Мультикоптер) є багатомоторні і мають кілька несучих гвинтів (англ. роторів). Як правило, конструкція таких дронів володіє 3, 4, 6, 8 або 12 гвинтами. Як і вертольоти, мультикоптер мають здатність вертикального старту (англ. не вимагають до передачі пристроїв для запуску) і здатні зависати в повітрі з нульовою швидкістю, але більш прості в управлінні у порівнянні з ними [4].

Мультироторні БПЛА не містять такі конструктивно складні елементи, як, наприклад, автомат перекосу, і в зв'язку з цим мають більшу низьку вартість ремонту, є більш надійними, а так само відносно недорогі.

Серйозним недоліком такого типу безпілотників є практично повна втрата керованості причас виходу з ладу одного з гвинтів. Однак в даний час ведуться дослідження і проводяться експерименти по забезпеченню безпечної посадки або навіть продовження руху шести і восьмироторних апаратів в такій ситуації [5].

Найбільшого поширення набула мультироторна конструкція з чотирма вентильно-моторними групами, кожна з яких складається з двигуна і гвинта з постійним кроком (англ. кут нахилу гвинтів). Такі дрони компактні, прості в збірці і налаштування, мають відносно невисоку вартість і витрата енергії в порівнянні з мультикоптер з кількістю гвинтів більше.

1.1 Перші квадрокоптери

Мультикоптер, або ж багато гвинтові вертольоти (англ. як їх було прийнято тоді називати), розроблялися ще в ті часи, коли проектувалися перші вертольоти, але реалізація таких конструкцій була набагато складніше, ніж звичайних вертольотів, оскільки складним завданням була реалізація трансмісії, яка могла б від одного мотора передавати крутний момент відразу декільком роторам. При цьому треба або диференційовано подавати крутний момент на ротори, або робити керуючі рулі під роторами. Тому винахід хвостів ротора гелікоптера і автомата перекосу змусило закинути це направлення як безперспективне на той момент [4].

Першим чинним прототипом квадрокоптера (англ. і заодно всіх нині існуючих вертольотів) був вертоліт Ботезату, що піднявся в повітря в 1923 (англ. див. рисунок 1.2).



Рис. 1.2. Квадрокоптер Ботезату 1923р.

У грудні 1922 року в Дайтоні почалися польоти гелікоптера Г. Ботезату, колишнього професора Петроградського технологічного інституту. Ботезату звернувся до багато гвинтової схеми: диференціальне, роздільне управління тягою гвинтів обіцяло надійне управління поворотами у вертикальній площині, тобто зміною положення носової частини гелікоптера щодо лінії горизонту.

Чотири шести-гвинтові гвинти розташовувалися на кінцях хрестоподібної ферми зі сталевих труб з розтяжками з рояльних струн. Два невеликих гвинта з горизонтальною тягою служили для колійного управління і поворотів в режимі висіння.

До весни 1923 року М. Ботезату, пілоти Г. Бейн і А. Сміт зробили кілька вдалих польотів. В одному з них вертоліт підняв на 4 м корисний вантаж вагою 450 кг.

Розробка квадрокоптера велася на гроші армії США. Мета – створити літаючий апарат з вертикальними зльотом і посадкою. Однак проект був закритий через низку проблем. Наприклад, щоб просто летіти вперед, був потрібен попутний вітер.

Були й пізніше певні спроби створення таких апаратів, але друге життя ця ідея отримала у авіо-моделістів в 2000-х роках, коли стала шире доступні модельна електроніка та апаратура радіоуправління.

Першими отримали поширення саморобні трікоптери завдяки тому, що для реалізації такої схеми не потрібно було ніякого специфічного контролера, тільки модельні безколекторні двигуни, регулятори обертів вертолітні гіроскопи і сервіс машинка для реалізації поворотного керуючого вузла (англ. див. рис. 1.3).



Рис. 1.3. Трікоптер. Один з перших мультикоптерів

Саме з цього моменту Мультикоптери почали ставати популярними. Вони були прості і не дуже загатні в виготовленні. Природно, стали робитися спроби отримати кадри з повітря, для чого стали фіксувати на БПЛА легкі і мініатюрні фотоапарати, відеокамери і навіть телефони.

У 2006 році німецькою компанією MikroKopter був створений польотний контролер для Мультикоптера, що позолочений досягти абсолютно нових можливостей.

З цим пристроєм Мультикоптери були здатні утримувати позицію по GPS, робити автономну посадку і автоповернення в разі втрати сигналу, та й взагалі, володіли більшістю всіх тих можливостей, якими володіють сучасні мультикоптери [5].

Саме з появою цього контролера можна пов'язувати появу аерофотозйомки з безпілотних Мультикоптерів як професійного виду діяльності. Стали з'являтися професійні команди по аерофотозйомку, які пропонували якісні послуги по зйомці фото з висоти, створення відеороликів з повітря і зйомці панорам.

Контролери від Мікрокоптер мали і недоліки. По-перше, вартість їх була велика, тільки один польотний контролер коштував не менше 1000 \$. По-друге, він складався з безлічі плат, які збиралися користувачем вручну, що вимагало навичок пайки і початкових знань радіоелектроніки. По-третє, на будівництво цього контролера була досить складною.

Наступний крок у розвитку цієї області був здійснений китайської компанією DJI-Innovations. Їх польотний контролер DJI, Wookong-m був орієнтований на більш широке коло користувачів, і його використання не вимагало спеціальних навичок і знань. Елементи контролера потрібно було лише з'єднати конекторами між собою без пайки, а програма настройки була легка і зрозуміла на практично кожному, при цьому можливості цього контролера перевищували по багатьма параметрами розробки німецького Мікрокоптер. Вартість цього контролера була теж високою, але простота настройки і управління, а також його надійність і можливості дозволили DJI зайняти впевнену позицію на ринку польотних контролерів [5].

Ще один значний крок в історії розвитку Мультикоптера зробили знову ж DJI-Innovations, які на цей раз випустили дешевий, надійний і доступний багатьом контролер Naza для Мультикоптера, який мав більшість можливостей попередньої професійної моделі.

Завдяки цьому використання Мультикоптера стало доступно кожному, і стала активно розвиватися аерозйомка.

1.2 Сфери застосування квадрокоптера

Завдяки простоті в експлуатації і маневреності квадрокоптери стають інструментом для вирішення все великої кількості. Проводиться величезна кількість експериментів по інтеграції такого роду літальних апаратів в різні сфери промисловості і діяльності людини.

Дрони останнім часом отримують багато негативної критики. Нерідко публікуються новини про використання квадрокоптера з метою шпигунства і вторгнення в приватне життя людей або про випадки нанесення травм дронами. Проте, є багато корисних способів застосувати безпілотні літальні апарати авіакомпанії стурбовані можливістю дронів перебувати поблизу їх повітряних суден під час рейсів, так як це може нести загрозу. Проте, EasyJet і ряд інших авіакомпаній оцінюють використання безпілотних літальних апаратів, а саме квадрокоптера, в якості інструментів для прискорення перевірки повітряних суден при профілактичних оглядах або перед введенням судна в експлуатацію.

Сьогодні інспектування літака виконується кваліфікованими фахівцями. Оглядати внутрішні частини легко, але огляд зовнішньої обшивки може виявитися важким, і вимагає рухливих платформ, які допоможуть отримати доступ до всіх частин літака. В результаті для повної інспекції буде витрачено багато часу, яке є цінним ресурсом для авіакомпаній. Тому авіакомпанії використовують квадрокоптери, оснащені камерами високої чіткості, щоб прискорити цей процес. Квадрокоптери можуть літати навколо літаків, знімаючи фотографії високої чіткості і відео, які інженер може потім переглянути замість того, щоб застосовувати складні конструкції для отримання доступу до всіх елементів повітряного судна для огляду.

Також одним з показових прикладів є їх застосування в пошуковорятувальних роботах. Застосування спеціалізованих дронів для пошуку рятувальними команди під час надзвичайних ситуацій ведеться на протязі декількох років.

Цьому сприяють такі можливості дронів:

літати невисоко над землею, не уявляючи небезпеки для людей;

- маневрувати і літати в важкодоступних зонах;
- виробляти фото і відеозйомку з повітря по значно меншій ціні в порівнянні з класичними вертольотами.

Як повнорозмірні літаки, вони можуть нести камери високої чіткості і навіть тепловізійні системи, щоб допомогти знайти людей і тварин. У зв'язку з цим дрони використовуються все частіше і частіше в рамках пошуковорятувальних робіт.

Для квадрокоптера знайшли застосування і в медицині. Microsoft проводить дослідження з використанням безпілотних літальних апаратів попередження без корисних. Дрони оснащуються пристроєм для збору комах, а потім пролітають в різних галузях, що становлять інтерес для дослідників.

Дрон обертається з зібраними комахами, які потім використовуються вченими для аналізу. Результати аналізу використовуються для прогнозування спалахів в локальних областях.

Зрозуміло, сам аналіз є дуже трудомістким завданням. По-перше, дрони і пов'язані з ними пристрої збору комах не можуть відрізнити однієї комаху від іншої, і не можуть зібрати тільки комарів, в яких вчені зацікавлені найбільше.

Ці комахи повинні бути відсортовані вручну, і москити відібрані для досліджень. Потім, витяг зразків крові і їх аналіз є дуже складним процесом.

Але, незважаючи на складність цієї методики, в недалекому майбутньому вона отримає більш широке поширення, і вчені зможуть публікувати зведення, попереджує людей, що живуть в умовах підвищеного ризику або віддалених районах, про можливість заразитися малярією та іншими загрозливими для життя захворюваннями. Це дозволить людям вжити захисних заходів, перш ніж ситуація посилиться, і станеться спалах захворювання.

Також БУДА застосовуються для вивчення вулканів, обробка відомостей про яких дає можливість більш точного прогнозування виверження, допомагає при дослідженні мінералів всередині і навколо лави,

дослідженні газів, що випускаються вулканом, а також дозволяє дізнатися більше про ядро Землі.

Звичайно, основною проблемою при вивченні вулканів є наявність високих температур і токсичних газів. Термостоями вирішили більшу частину цієї проблеми, але в них важко пересуватися. Отримання знімків з

повітря разом з вимірами було практично неможливо, використовуючи класичну авіаційну техніку, так як ця техніка не могла літати досить близько.

Тому безпілотні літальні апарати почали використовувати для аерофотозйомки вулканів і збору зразків повітря поблизу них по всьому світу.

Це дозволило вченим отримати додаткові дані, а також створити більш точні віртуальні моделі кратерів вулканів. Віртуальні моделі дозволяють вченим вивчати вимірювання в кратерах з плином часу для прогнозування наступного виверження вулкану.

Квадрокоптера все більше застосування знаходять БПЛА в області безпеки і спостереження. Вони можуть швидко дістатися до зони, що охороняється і оглянути її, повністю виключаючи всі ризики для зовнішнього пілота квадрокоптера використовуються для:

- боротьби з браконьерами;
- охорони будівель і споруд;
- патрулювання кордонів;
- спостереження за поремними територіями;
- спостереження за скупченнями великої кількості людей на протестах і демонстраціях;
- спостереження за ситуацією на дорогах в зонах сильно жвавого руху і повчання відомостей про ДТП.

Використання безпілотників для безпеки і спостереження стає

популярним, в зв'язку з чим кількість компаній, що спеціалізуються на цьому, зростає з кожним днем.

Квадрокоптери починають все більше і більше використовувати при видобутку корисних копалин. Дрони запускаються для виконання завдань, які є важкими або небезпечними для працівників. Як і в інших галузях промисловості, безпілотні літальні апарати виявляються дуже цінними при інспектуванні інфраструктурної частини гірничодобувної системи.

Дрони витісняють застосування «ручної» перевірки і дорогих в експлуатації вертольотів при регулярних оглядах таких об'єктів, як лінії електропередач, дороги і обладнання.

Щоб забезпечити безпеку співробітників кар'єрів, безпілотні літальні апарати також використовуються для періодичної перевірки потенційно небезпечних зон, таких як стіни ям і входи в шахти.

Квадрокоптери також можуть бути використані для складання карт і моделювання, що має велике значення для гірничодобувних компаній, причому застосування безпілотних літальних апаратів в цій області забезпечує більш точні карти і моделі, і набагато дешевше в порівнянні з традиційними методами.

Можливо, саме фермерська індустрія більше всіх дозріла для застосування безпілотних літальних апаратів. Наприклад, завдяки GPS, квадрокоптер може облетіти ферму і відстежити ділянку, на якому не вистачає зрошення або поживних добрив. Потім, він відправить точні координати господареві, який за допомогою трактора проведе його добриво. Або якщо розглядати цю задачу більш глобально, квадрокоптер може сам провести обробку поля, облетівши всю його площу. Також БПЛА застосовуються, наприклад, для моніторингу апельсинових дерев на предмет наявності хвороб, небезпечних для цитрусів.

Це далеко не повний список можливих способів застосування квадрокоптер, проте він наочно демонструє їх універсальність для вирішення завдань найширшого спектра.

1.3 Можливості квадрокоптера

Використання квадрокоптера в таких сферах, як моніторинг довкілля, сільське і комунальне господарство, побутова сфера і дозвілля, ліквідація наслідків техногенних аварій, аерофото і відеозйомка.

Можливі завдяки ряду можливостей квадрокоптера, що дає їм перевагу по відношенню до інших видів безпілотних літальних апаратів.

1.4.1 Базові можливості

У базовій комплектації квадрокоптера володіють наступними можливостями:

- піднімати на висоту до 5 кілометрів корисне навантаження вагою до 7 кг. в якості корисного навантаження може бути фото, відеобладнання, датчики, тепловізори, листівки для оповіщення населення про надзвичайні події;

- зависати на заданій оператором висоті з можливістю її плавного збільшення і зменшення;

- переміщатися в усіх напрямках зі швидкістю до 110 км / год на відстань до 12000 метрів;

- перебувати в повітрі в межах від 7 до 50 хвилин - залежить від конфігурації апарату і його корисного навантаження;

- експлуатуватися в широкому діапазоні температур зовнішнього повітря від 30С до 55С, а також при швидкості повітря до 20 м / с.

1.4.2 Можливості при розширеній апаратній базі

При оснащенні апарату додатковим обладнанням, крім вище перерахованих можливостей, апарат здатний:

- здійснювати автономний політ по маршруту, позначеному точками на карті з зупинками в даних точках на заданий оператором час, із заданою точністю утримання позиції;

- утримувати задану оператором висоту і положення;

НУБІП УКРАЇНИ

- повертатися до місця зльоту від будь-якої точки маршруту і від будь-якого утримуваного положення;
- здійснювати політ із зафіксованого в певному напрямку віссю апарату;

НУБІП УКРАЇНИ

- трансляція відеопотоку з борта апарату, для візуального контролю місцевості з борта апарату.

НУБІП УКРАЇНИ

- наявність можливості телеметричного контролю оператором на землі всіх параметрів летить апарату (англ. його положення за координатами GPS, заряд батареї, струм споживання, витрачена ємність батареї, польотний час, орієнтацію по сторонах світу, кількість супутників в системі GPS);

НУБІП УКРАЇНИ

- дані виводяться на екран РС з можливістю втручання в параметри, а також у вигляді накладеної текстової інформації на відео потік з борта апарату;

НУБІП УКРАЇНИ

- запуск виконавчого механізму на борту апарату по команді з землі;

1.4.3 Можливості при введенні додаткових програмних компонентів

При оснащенні апарату додатковим програмним забезпеченням, крім

НУБІП УКРАЇНИ

вищевказаних можливостей, апарат здатний:

НУБІП УКРАЇНИ

- здійснювати автономний політ по маршруту, позначеному точками на карті з зупинками в даних точках на заданий оператором час, із заданою точністю утримання позиції і на заданій висоті, а також фіксація осі апарату на заданий об'єкт, що дозволяє знімати об'єкт при обльоті його по точках в повністю автоматичному режимі;

НУБІП УКРАЇНИ

- реагувати на події, серед яких, розряд батареї, перевищення дистанції або висоти, втрата зв'язку з оператором. Реакцією може служити повернення на місце зльоту;

НУБІП УКРАЇНИ

- здійснювати запис траєкторії польоту з супутніми параметрами на карту пам'яті;

- виводити голосові повідомлення на комп'ютер, який є наземної станцією, про найбільш критичних параметрах серед яких, розряд батареї, перевищення дистанції або висоти, втрата зв'язку з оператором, польотний час, дистанція до будинку і до мети;

- управляти наземним поворотним механізмом з базовими спрямованими антенами для здійснення кращої радіозв'язку з рухомим об'єктом;

- компенсувати гіроскопічними стабілізованою підвісом фото і відеообладнання нахилу літаючої платформи в 4-х напрямках, для забезпечення горизонтальності знімків і відеозйомки.

Можливості конкретного квадрокоптера багато в чому залежать від характеристик системи управління. На сьогоднішній день існує великий вибір польотних контролерів з різними характеристиками і в широкому ціновому діапазоні. Вибір електроніки залежить від того, вирішення яких завдань покладається на квадрокоптер.

1.4 Висновки до першого розділу

Багато області науки і промисловості вимагають наявність гнучкого інструменту, що володіє великою кількістю функцій, для виконання найрізноманітніших завдань.

У зв'язку з цим особлива увага приділяється розробці польотних контролерів, що представляють собою систему управління квадрокоптера. Вони повинні бути надійними, мати малі масо-габаритні показники, високу потужність, можливість адаптації алгоритмів польоту для вирішення поставлених цілей.

Поєднання цих вимог призводить до того, що польотні контролери мають високу цінову категорію (англ. сотні доларів), але виробники стараються забезпечити контролер максимальною кількістю функцій при

меншій вартості. При вирішенні різного роду завдань і організації технологічних процесів необхідно в умовах обмежених апаратних ресурсів забезпечити максимальну продуктивність, що веде до пошуку способів найбільш ефективно використовувати апаратуру.

В цілому вимоги до системи управління квадрокоптера можна сформулювати так:

- гнучкість – система повинна мати можливість легкого перепрограмувати під інший тип виконуваних для квадрокоптера робіт;

- універсальність – система може підходити до різних типів мультимоторних БПЛА, з урахуванням найменшої часу настройки;

- невисока вартість – система повинна бути легко доступна на ринку, з метою масового використання.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД АПАРАТНО-ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ

НУБІП України

2.1 Огляд контролерів

Існує велика безліч польотних контролерів, проте необхідно визначити та проаналізувати, який з них краще підходить для вирішення поставлених завдань. Перед тим як зробити порівняння польотних контролерів, варто назвати які найбільш часто згадуються в літературі [3, 5, 6] (англ. див. табл. 2.1).

НУБІП України

Таблиця 2.1

Моделі польотних контролерів

Польотні контролери	Країна	Виробник	Конструкція	Ціна, грн
SP Racing F3 EVO	Китай	ReadyToSky	Моноблок; без корпусу	410
NAZE32	Японія	MultiWii	Моноблок; без корпусу.	410
MultiWii	Японія	MultiWii	Моноблок; без корпусу.	450
Lite V1.0; DJI Naza-M Lite	Китай	DJI	Моноблок; в корпусі.	2543
Pixhawk 3DR.	США	3DR	Моноблок; в корпусі.	2963

Є три найбільш поширених типи застосування БПЛА: спортивний політ, автономний політ і політ з відеозйомкою [4].

На основі аналізу типів застосування специфікації польотних контролерів, виявляються деякі важливі особливості, які є принциповими при виборі польотного контролера.

2.2 Порівня спеціфікацій контролерів

НУБІП України

Основні технічні характеристики польотних контролерів наведені в табл. 2.2.

НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 2.2

Технічні характеристики польотних контролерів

Контролер	Особливості	Застосування
SP Racing F3 EVO	<ul style="list-style-type: none"> Підключення до 6 колекторних моторів (англ. до 10А на канал); Підтримує прошивку CleanFlight, BetaFlight; Крихітні розміри і вага; Підтримка приймачів SBUS, PPM, DSM; Підтримка живлення системи 1-2S (англ. вибирається перемичкою); Послідовний порт UART2, UART2, UART3, з висновком зовнішнього живлення до 500mA; Вбудований датчик напруги батареї і вихід для буззера. 	Спортивні польоти
NAZE32	<ul style="list-style-type: none"> 8 вхідних радіоканалів; вбудований перетворювач даних телеметрії FrSky; 32-бітний процесор STM32; (англ. 3.3V / 72MHz) 	Спортивні польоти
MultiWii Lite V1.0	<p>FTDI / UART TTL роз'єм для налагодження, завантаження програмного забезпечення або</p>	Продовж. таблиці 2.2

<p>підключення ЖК-дисплея; I2C інтерфейс для зовнішніх датчиків;</p>	<p>Окремі регулятори напруги для</p>	<p>Автономний політ</p>
<p>3.3 і 5В; MPU6050 осьовий інерційних датчик;</p>	<p>інтелектуальний контроль орієнтації;</p>	<p>Відеозйомка</p>
<p>DJI Naza-M Lite</p>	<p>вбудовані функції стабілізації механізованих підвісів; підтримка Sbus і PPM; можлива зміна параметрів системи віддалено під час польоту.</p>	

3DR Pixhawk

- 32-бітний процесор ARM Cortex M4;
- працює під управлінням операційної системи NuttX;
- 14 вихідних каналів ШІМ; microSD карта пам'яті для запису даних польоту;

Автономний політ

Відеозйомка польоту вимагає контролер, який забезпечує плавний рух. Автономний політ вимагає наявності контролера з відкритим вихідним кодом, щоб користувач міг змінити ті чи інші особливості польоту квадрокоптера.

Спортивні польоти можуть бути реалізовані при наявності польотного контролера, який задовольняє вимогам по швидкості реагування. Контролери також не повинні коштувати дорого.

2.3 Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 3B+

Raspberry Pi – одноплатний комп'ютер розміром приблизно з банківську картку, спочатку розроблявся як бюджетна система для навчання інформатики, що згодом

одержав набагато більш широке застосування [7, 8] і розповсюдження (англ. див. рисунок 2.1).



Рис. 2.1 Raspberry Pi 3B+

Випускається Raspberry Pi в декількох версіях, дані про яких наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Моделі Raspberry Pi						
Моделі	Процесор	Частота	ОЗП	GPU	USB	Ціна, грн
Zero	ARM1176JZ-F	1GHz	512 Мб	40 пінів	1 порт miniUSB	137
2B	ARM Cortex-A7	900MHz	1 Гб	40 пінів	4 порти OTG	906
3A+	ARM Cortex-A53 x64	1.5 GHz	512 Мб	40 пінів	1 порт	616
3B+	ARM Cortex-A53 x64	1.4GHz	1 Гб	40 пінів	4 порти	870
4B	ARM Cortex-A72 x64	1.5 GHz	1-4 Гб	40 пінів	4 порти	870

Для пропонованого польового контролера обраний комп'ютер Raspberry Pi 3

B+.

На відміну від інших має характеристики:

- розміри $85 \times 56 \times 17$ мм;

- маса 45 гр;

- напруга живлення 5В;

- споживаний струм 700-1500 мА в залежності від підключеного

периферії.

Відеосигнал можливо реалізувати через роз'єм RCA або через цифровий порт

HDMI.

В даній моделі Raspberry Pi 3B+ є можливість підключення за допомогою портів GPIO. Тому ця модель комп'ютера може управляти різними пристроями. У моделі «B» 26 портів, а в моделі «3B +» і «2B» 40 портів GPIO.

При роботі на частоті 700 МГц (англ. за замовчуванням), перше покоління Raspberry Pi забезпечив реальну продуктивність приблизно еквівалентно 0,041 GFLOPS. Графічний процесор забезпечує 24 GFLOPS продуктивності.

Raspberry Pi 2 заснований на Broadcom BCM2836, який включає в себе чотири ядерний процесор Cortex-A7 з тактовою частотою 900 MHz і 1 Гб оперативної пам'яті. Він в 4-6 разів потужніший, ніж його попередник. Графічний процесор замінений не був.

Пристрій живиться через порт мікро-USB від джерела 5V. скільки точноструму потрібно Raspberry Pi залежить від того, що буде до нього підключатися.

Найчастіше застосовуються джерела живлення на 1200 мА.

Як правило, модель 3B+ споживає 700-1000 мА в залежності від того, які периферійні пристрої підключені; Максимальна споживана потужність Raspberry Pi може досягати 1 ампера.

Споживання потужності збільшується в міру використання різних інтерфейсів на Raspberry Pi. Виходи GPIO можуть безпечно споживати 50 мА, розподілених по всім контактам, одиночний GPIO контакт може безпечно використовувати 16 мА.

Цифровий порт HDMI використовує 50mA, модуль камери вимагає 250mA, підключені клавіатура і миші можуть споживати від 150mA до 1500mA.

Raspberry Pi дозволяє програмувати GPIO, щоб взаємодіяти з реальним світом. Вхідні сигнали можуть надходити з датчика або від іншого комп'ютера або пристрою.

Вихідний сигнал може використовуватися для різних цілей від ввіключення світлодіода до передачі даних на інший пристрій.

Якщо Raspberry Pi знаходиться в мережі, ви можете управляти пристроями, які підключені до нього, з будь-якої точки світу, і ці пристрої можуть передавати данні назад.

2.4 Польотний контролер NAVIO 2

Navio 2 є платою розширення для Raspberry Pi A + / B +, завдяки якій Raspberry Pi знаходить повну функціональність польотного контролера (англ. див. рис. 2.2).



Рис. 2.2. Польотний контролер NAVIO 2

Navio 2 був розроблений для призначених для користувача робототехнічних проєктів і в якості платформи для Linux версії ARM (англ. ArduPilot). ARM це платформа для безпілотних літальних апаратів з відкритим вихідним кодом.

Navio 2 також може забезпечувати WiFi або 3G з'єднання, необхідно тільки підключити відповідний адаптер в порт USB, стискати відео з камери або навіть запускати програму розпізнавання зображень. Navio 2 дозволяє управляти усіма видами рухомих роботів: автомобілями, човнами, літаками, мультикоптерами [9]. Для отримання точних знань про становище і орієнтації Navio 2 оснащена інерціальним вимірювальним пристроєм GPS, ГЛОНАСС, Beidou приймачем (англ. див. рис. 2.3).

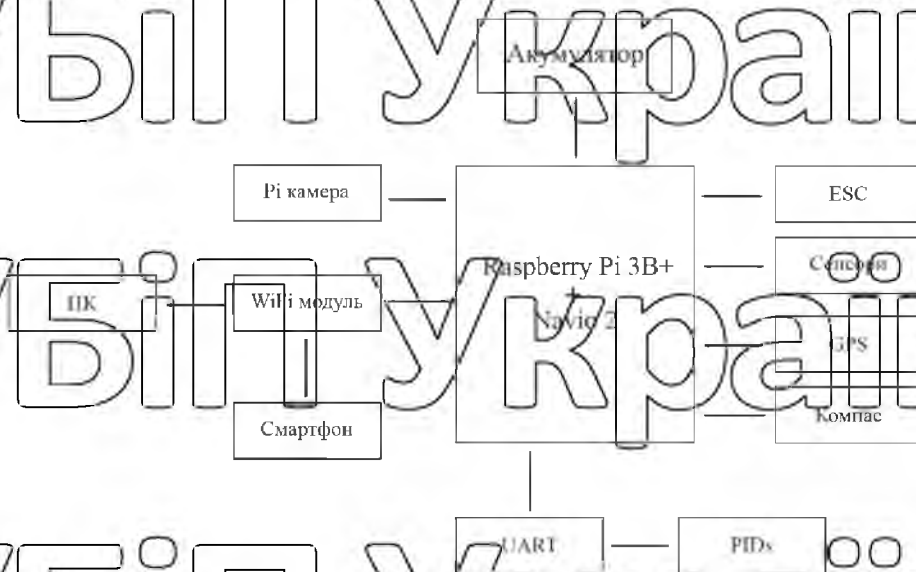


Рис. 2.3. Блок-схема контролер NAVIO 2, Raspberry Pi 3B+

На борту Navio 2 знаходяться:

- вимірювальний пристрій з дев'ятьма ступенями свободи;
- MPU9250, LSM9DS1;
- барометр MS5611;
- gps, глонасс, Beidou;
- акп ADS1115;
- флеш-пам'ять MB85RC;
- шім генератор PCA9685;

- rgb світлодіод;
- 12-вихідних каналів ШІМ.

Navio 2 використовує добре зарекомендувала себе платформу ARM і може працювати в різних режимах польоту, включаючи ручне управління, режим стабілізації, режим переслідування і автоматичний режим. Код виконується безпосередньо на Raspberry Pi в режимі реального часу Linux ядра, і можливість запускати кілька додатків разом.

2.4.1 ШІМ генератор

PCA9685 - генератор ШІМ на Navio 2, який може бути використаний для управління сервоприводами і світлодіодами.

Він має:

- 16 каналів з окремим управлінням;
- 12-бітове дозвіл;
- змінювати частоту;
- можливість використовувати I2C на частоті до 1 МГц.

PCA9685 тактується генератором 24.576MHz TCXO і дозволяє змінювати частоту за допомогою регістра PRE_SCALE.

2.4.2 Інерційний вимірювальний пристрій

MPU9250 є одним з кращих інерційних датчиків в своєму класі, який поєднує в собі гіроскоп, акселерометр і магнітометр в одному пристрої.

Сімейство датчиків MPU є не тільки популярним в складі польотних контролерів для БПЛА, але також широко використовується в таких пристроях, як мобільні телефони, планшети.

2.4.3 Приймач GPS

На бору Navio 2 розташовується GPS приймач NEO-M8N. цей приймач володіє найбільшою функціональністю в сімействі NEO-M8 і має кращі показники за такими параметрами як чутливість (англ. -167 дБм), енергоспоживання (англ. 22 мА в режимі безперервного пошуку супутників) і швидкість оновлення навігаційної

інформації. Підключається NEO-M8N до SPI, відправляє повідомлення, що містять інформацію про місцезнаходження.

2.4.4 Аналого-цифровий перетворювач

ADS1115 є прецизійний аналого-цифровий Перетворювач (англ. АЦП) з дозволом 16 біт. Дані передаються через послідовний інтерфейс I2C. ADS1115 може виконувати перетворення зі швидкістю до 860 вибірок в секунду. І великі і малі сигнали можуть бути виміряні з високою роздільною здатністю в діапазоні від 156mV до 3,3. ADS1115 також має вхідний мультиплексор, що забезпечує два диференціальних або чотири не симетричних входи. ADS1115 працює або в режимі безперервного перетворення, або в режимі одиночної вибірки.

2.5 Функціональне призначення польотних контролерів

Головною відмінністю польотних контролерів, основним застосуванням яких є спортивні польоти, полягає в здатності забезпечувати маневреність літального апарату. Але ці контролери не призначені для автономних переміщень апарату або при виконанні відеозйомки.

Вони не мають компаса і барометра, що унеможливорює реалізацію функції утримання висоти, і не мають GPS модуля, через що БПЛА не здатен виконувати політ по заданих точках на карті або повертатися в точку при зниженні рівня заряду акумулятора. Таким чином, контролери для спортивних польотів непридатні для вирішення більш серйозних завдань.

Функціональність контролерів, цільовим призначенням яких є польоти з відеозйомкою, мають більший функціонал в порівнянні з контроллерами попереднього класу. Вони використовують більш складні алгоритми стабілізації польоту, що забезпечує плавний рух БПЛА.

Також програмні компоненти доповнені модулями, що дозволяють «накладати» дані телеметрії (англ. про стан заряду акумулятора, про висоту польоту) на відеоряд, що дає повне уявлення про характеристики літального апарату і власне

польоту, і модулями, що реалізують функції проходження за зйомки або обльоту його по колу заданого радіуса при збереженні орієнтації об'єктива на об'єкт.

Вони здатні забезпечувати як відеозйомку, так і виконання технологічних процесів. Основні можливості таких контролерів:

- автоматичний зліт і посадка;
- самостійний політ по заданих точках на мапі;
- функція failsafe – набір дій при розряді акумулятора, перешкоди, або втрати зв'язку з наземною станцією;
- програмовані кордону, за які дрон не може вилетіти;
- режим утримання висоти і позиції;
- обліт заданої площі;
- можливість підключення додаткових периферійних пристроїв.

Контролери для автономних польотів є найбільш багатofункціональними і дорогими (англ. див. таблицю 2.2), хоча є й винятки. Наприклад, контролер MultiWii Lite V1.0 має вартість близько 700 грн і здатний здійснювати політ по заданих точках на мапі. Однак набір його функцій сильно обмежений (англ. немає функції failsafe, польоту над заданою площею, автоматичного зльоту і приземлення), і використовуються електронні компоненти дуже чутливі до вібрацій, що відбивається на показаннях датчиків.

Одним з лідерів серед польотних контролерів для автономних польотів є 3DR Pixhawk. Він функціонує під управлінням операційної системи реального часу NuttX, що дозволяє змінювати програмні компоненти системи і вносити правки в гнучку систему даних польоту. Pixhawk володіє всіма перерахованими вище функціями контролерів свого класу.

Завдяки тому, що Navio 2 функціонує під управлінням операційної системи на основі ядра Linux і є можливість вносити правки в програмне забезпечення, функціонал контролера може розширюватися користувачем.

Navio 2 має всі переваги польотних контролерів для автономних польотів і здатний виконувати всі необхідні для цього функції. При цьому перевагою перед іншими контролерами є наявність портів інтерфейсу USB, які дозволяють

здійснювати зв'язок з великою кількістю пристроїв. Наприклад, до Navio 2 можна підключити систему комп'ютерного зору, що дозволяє вирішувати широкий спектр завдань.

Для літальних апаратів, керованих дистанційно, в першу чергу застосовується управління по радіоканалу за допомогою пульта ручного керування. При цьому відбувається завдання декількох параметрів руху (англ. наприклад, кутів крену, тангажу і ролу, висоти польоту) і впливу на додаткові механізми (англ. наприклад, на підвіс з камерою). Тому всі сучасні системи радіоуправління є багатоканальними.

Пакети сигналу радіоканалу мають фіксовану довжину, і містять інформацію відразу про кілька каналів у вигляді послідовності імпульсів.

Обробка даних, що надходять повністю лягає на польотний контролер і в більшості випадків виконується бортовим процесором.

Контролер Navio 2 має контакт для підключення радіоприймача з метою передачі комбінованого сигналу. Цей контакт безпосередньо пов'язаний з одним з контактів GPIO порту Raspberry Pi, тому про його стан можна дізнатися, зчитуючи регістр GPIO, який містить інформацію про всі контакти. Кожен пакет радіосигналу має фіксовану довжину 20 мс, і щоб здобути достовірні дані про кожному каналі, необхідно зчитувати стан ніжки GPIO кожну мікросекунду.

Програмна реалізація циклу зчитування з такою частотою позбавлятиме центральний процесор можливості виконувати інші ресурсомісткі завдання.

Щоб позбавити центральний процесор Raspberry Pi від необхідності регістра GPIO з високою частотою, як було проаналізовано найкращим рішенням буде скористатися контролером прямого доступу до пам'яті (англ. DMAC), який є частиною процесора Raspberry Pi. Його завданням в даному випадку є пересилання даних з регістра GPIO в виділений буфер пам'яті кожну мікросекунду. Таким чином, буфер буде заповнений інформацією про поточний стан пакету сигналу, що надходить з приймача, і CPU може обробляти вже накопичені дані з меншою частотою (англ. 1 кГц).

2.6 Регулятор обертів двигуна

При дослідженні регуляторів оберту двигуна серія Skywalker яка розроблена в основному для літаків [3], але також чудово працює з моделями дронів. Регулятори двигуна підходять для додатків RTF та для новачків, щоб збільшити продуктивність або мати спрощений запуск (англ. див. рисунок 2.3).



Рис. 2.3. Регулятор обертів двигуна

Особливості:

Функція безпеки: Незалежно від положення дросельної заслінки, мотор не буде крутитися після підключення акумулятора.

Функція калібрування дросельної заслінки: Діапазон дросельної заслінки може бути відкалібрований таким чином, що буде сумісний з різними передавачами.

Підтримуються кілька програмних методів: наявність передавача, карта програми LED, дуже легко запрограмувати ESC вдома або на політному майданчику, сумісний з акумулятором LiPo та NiMH.

Терміни можна змінити, щоб вони підходили для різних безщіткових двигунів.

НУБІП України
Повний захист: захист від відключення низької напруги, захист від перегріву,
захист від втрати сигналу дросельної заслінки.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Специфікації:

Вихід: безперервний 80А, 100А до 10 секунд.

Вхідна напруга: 2-6\$ Lipo, 5-18 комірок NiMH.

BEC: 5A / 5V Режим перемикання BEC.

Частота оновлення сигналу дросельної заслінки: від 50 Гц до 432 Гц.

Максимальна швидкість: 21000 об / хв для 2-х полюсних безщіткових двигунів, 70000 об / хв на 6 полюсів безщіткових двигунів, 35000 об / хв на 12 полюсів безщіткових двигунів.

Розмір: 68 мм x 38 мм x 12 мм Вага: 82 г.

2.7 Безщітковий двигун для дрона

Двигун серії EMAX GT забезпечує високу продуктивність і низьку температуру.

Мотори серії GT мають кращу сумісність з більш різними регуляторами швидкості та гвинтами, серія GT використовує імпортовані підшипники, порівняно з іншими серійними двигунами, більш точна, легша у вазі та вища за ефективністю.

(англ. див. рисунок 2.4).



Рис. 2.4. Безщітковий двигун для дрона

Технічні характеристики: Тип: GT2215 / 09.

Тип: GT2215 / 09.

RPM / V: 1180 RPM / V.

Вага: 70 г Розмір: 28,5 мм (англ. Діа) x 33,5 мм (англ.

Довжина) Діаметр вала: 4 мм. Максимальна тяга: 1100 г.

Номер комірки: 2-3S Ліро.

Рекомендований розмір опори: 11x3,8-10x4,7.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

2.8 Висновок до другого розділу

НУБІП України

Проведено аналіз властивостей які серійно випускаються польотних контролерів, як було проаналізовано найкращим рішенням будуть ті контролери, що розширюють функціональність за рахунок застосування контролера прямого доступу до пам'яті, що є частиною процесора Raspberry Pi 3B+.

НУБІП України

Показано переваги польотного контролера Navio 2 перед іншими контролерами для автономних польотів. Модульна конструкція даного контролера дозволяє нарощувати його апаратну базу, розширюючи продуктивність.

НУБІП України

Navio 2 здатний виконувати польотні місії по заданому маршруту, але при цьому має недостатній набір апаратних засобів, щоб реалізувати традиційний метод (англ. метод з використанням переривань) обробки даних, надходять по радіоканалу.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3

ПРОЦЕС ОБ'ЄДНАННЯ РОЮ ДРОНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ
АПАРАТНО – ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Рій дронів

Під «роем» роботизованих пристроїв прийнято розуміти групу з кількох машин, що діють в рамках загального завдання [10, 11]. Такий рій може відрізнятися за ступенем автономності своїх елементів, по їх спеціалізації (англ. зустрічаються гомогенні і гетерогенні групи, що складаються, відповідно, з однотипних або різних «учасників»), за рівнем взаємодії роботів (англ. в ряді випадків у «рою» є центральний комп'ютер, керуючий окремими пристроями, а іноді машини орієнтуються в просторі, враховуючи виключно своє місце розташування відносно інших елементів рою).

Переваги технології очевидні – при бажанні, масштаби «рою» можна змінювати, збільшуючи або зменшуючи число елементів, а в разі будь-яких проблем, втрата одного з пристроїв не буде настільки критичною, як у випадку з єдиним дорогим і високотехнологічним апаратом. При цьому «рій» може покривати значну територію - наприклад при пошуку людей чи моніторингу сільськогосподарських угідь. Три базових правила, що регламентують поведінку дронів в групі - поділ, вирівнювання і згуртованість.

Множаться приклади оригінального використання груп безпілотників – наприклад, для створення барвистих світлових шоу.

3.2 Розробка рою дронів

Було проаналізовано проєкт з управління групою з пари дронів на яких використовуються, контролери Raspberry Pi 3B+ і приймачі.

Програмне забезпечення ArduPilot модифіковано таким чином, щоб контролер міг знімати дані про місцезнаходження дрона в просторі з автопілота Navio 2 і 4 рази в секунду передавати ці дані в ефір, щоб учасники «рою» могли коригувати своє становище в «строю» що до «ведучого» і «сусідів».

Найбільш проста методика [9], яка використовується при управлінні роєм безпілотників зводиться до управління одним апаратом.

Решта дронів при цьому утримують позицію щодо сусідів. Для позиціонування використовуються GPS системи, проте дрони обмінюються

один з одним типовими даними, а саме:

- своїми GPS-координатами;
- параметром похибки DOP (англ. зниження точності в горизонтальній площині) в метрах, багато GPS-приймачів визначають його самостійно; - даними про вектор руху.

Кожен учасник рою постійно коригує курс з урахуванням отриманих даних. Наприклад, якщо бажана відстань між двома БПЛА становить 10 м, а похибка утримується в рамках одного метра, безпілотники не здійснюватимуть ніяких додаткових дій. Це триватиме доти, поки дистанція не скоротиться до 8 або не збільшиться до 12 метрів (англ. похибка стосується кожного апарату і, відповідно, враховується двічі). Функція введення поправок в курс БПЛА не повинна бути лінійною - чим вище відхилення від курсу, тим жорсткіше повинно бути коригування.

Деякі алгоритми можуть переривати стандартні процеси коригування наприклад, в разі посадки. Логіка може бути різноманітною. Дрони передають один одному свої координати і «вирішують», який з апаратів знаходиться ближче інших до однієї з точок «безпечної посадки». Після цього вони сідають один за іншим, причому кожний наступний очікує сигналу від попереднього, що підтверджує факт приземлення.

Найпримітивніший спосіб маневрування зводиться до обертання кожного дрона навколо осі z при збереженні дистанції між апаратами.

Більш складні маневри враховують місце розташування дрона в формації [40].

Кожен БПЛА містить параметр, який може змінюватися користувачем, який визначає відстань кожен дрон повинен підтримувати від інших дронів.

Реалізація цієї поведінки на технічному обслуговуванні на відстані передбачає два простих принципи, перелічені нижче.

- Якщо дрони занадто далеко один від одного, вони повинні автономно просуватися ближче.

- Якщо дрони занадто близько один до одного, вони повинні автономно рухатися далі один від одного.

Завдяки цьому поведінка з технічного обслуговування на відстані вбудована в дрони, більш складні та елегантні форми поведінки легко слідуватимуть. Деякі приклади складної поведінки будуть більш детально розглянуто далі.

Для здійснення цього було розглянуто кілька варіантів поведінки. RSSI вважався можливістю оцінювати відстань між коперами, але його краще не використовувати оскільки RSSI досить галасливий. Сонар – ще один потенційний варіант де кожен дрон міг скласти карту об'єктів, що знаходяться поблизу та на їх відстані. Однак максимального діапазону доступних сонарих пристроїв недостатньо для цього додатка, і зазвичай вони становлять приблизно від 5 до 11м. Технології комп'ютерного зору можна використовувати, кожен коптер може оглянути оточуючих дронів за допомогою бортової камери. Однак це може стати набагато складніше і дорого, тому що нам знадобляться камери для зйомки всіх напрямків з кожного дрона.

Натомість методика, яка використовується, зосереджена навколо GPS координати. Зокрема, кожен дрон знає про розташування сусідніх дронів, маючи знання про свої GPS координати. Це не обходиться без власних проблем, і одна з них полягає в тому, що GPS – це не завжди надійний

фрагмент технології. З цієї причини перед кожним польотом, важливо перевірити, чи обчислювана відстань між дронами є точна.

Зміни та доповнення, внесені до прошивки та апаратне забезпечення можна розділити на два розділи: додавання способу для декількох дронів спілкуватися та проектувати як дрони повинні використовувати отримані дані для підтримання послідовної відстані один від одного.

3.3 Синхронізація дронів

Було встановлено, що дрони спілкувалися між собою через 2,4 ГГц бездротові приймачі. Один приймач разом із Raspberry Pi 3B+ вже вбудований, а Raspberry Pi 3B+ діяв як міст зв'язку між автопілотом Navic 2 та трансивером (англ. див. рисунок 3.1) Протягом опису експериментів обидва дрони будуть позначатися як дрон 1 та дрон 2.



— Дротове з'єднання
 - - - - - Без дротове з'єднання

Рис. 3.1. Синхронізація дронів

У 4 Гц Navic 2 пссилає дані на Raspberry Pi 3B+, Raspberry Pi 3B+ приймає отриману інформацію та надсилає його іншому дрону через приймач

2,4 ГГц. Як тільки Raspberry Pi 3B+ отримує цю інформацію, Raspberry Pi 3B+ зберігає дані і чекає, поки Navio 2 буде готовий їх прочитати (англ. див. рисунок 3.2).



Рис. 3.2. Блок схема синхронізації дронів

Дані, які передаються до сусідніх дронів зазвичай включають таку інформацію:

- широта gps;
- довгота gps;
- висота gps;
- gps hdop1;
- орієнтація компаса;

Зображення того, як дрони спілкуються один з одним [10]. Дані спочатку передаються Raspberry Pi 3B+. Потім дані передаються через приймач 2,4 ГГц на приймач другого дрона. Хоча орієнтацію на компас не обговорювали більше того, це важлива частина, що дозволяє перевозити дрони від одного пульта дистанційного керування. Повітряні казани повинні залишатися вирівняні між собою, оскільки, наприклад, коли пілот збільшує крок котлів, котри повинні рухатися той же загальний напрямком. Тому

орієнтація на компас завжди надсилається разом з даними про місцезнаходження, щоб дрон при необхідності автоматично вирівняє їхні гвинти. У цій процедурі автоматичного вирівнювання лідером виступає один дрон тому будь-який дрон, який не є лідером, автоматично виправить його вирівнювання щоб відповідати тому, що ведучий. Крім інформації про компас, інша важлива частина поведінки на технічному обслуговуванні на відстані – GPS.

Важливо зазначити, що отримані GPS – дані вважаються дійсними якщо показник HDOP нижче 1,5 метра. Якщо дійсні дані GPS отримані з іншого дрона, то ця інформація про GPS та HDOP зберігається разом із п'ятьма останніми відповідними значеннями. Ці значення неодноразово використовуються разом з GPS координати поточного дрона, щоб переконатися, що в повітрі дрони залишаються на визначеній відстані. При розрахунку відстань між дронами, в середньому найсвіжіша. Якщо дрони знаходяться занадто далеко один від одного, потрібно знизити швидкість кроку змінюється, щоб вони рухалися ближче один до одного. Якщо дрони знаходяться занадто близько один до одного, швидкість кроку змінюється, тому вони рухатимуться далі. Його важливо зазначити, що як HDOP вказує на помилку навколо GPS – координат дрона, жодних виправлень щодо позицій дронів будуть зроблені, якщо різниця між обчисленою відстані та бажаною відстаню не буде більшою ніж сума HDOP – дронів. Наприклад, припустимо бажана відстань між дронами - 10 метрів дрони мають кожен HDOP 1 метр. У цьому випадку жодних виправлень у позиції кожного з дронів не слід вносити, якщо тільки немає розрахункової відстані між ними менше 8 метрів або більше 12 метрів (англ. $10 \pm 2 * HDOP$). Крім того, сума корекції, доданої до позиції дронів, становить не лінійні щодо їх зміщення від бажаної відстані. Натомість використовується квадратна функція, щоб дрони більше інфрафувалися за більши зрушення з потрібної відстані.

Використовувані дрони були зміненою прошивкою. Для того щоб поступово перевірити модифіковану прошивку, було проаналізовано ряд експериментів з успішними результатами, які описані нижче. Крім того, дрони налаштовані на підтримку відстані 10 метрів, що також було їх початковою дистанцією для кожного експерименту.

3.4 Наземна станція контролю дронами

Як було вже досліджено, автопілот дозволяє БПЛА діяти в автономному режимі, проте в ряді завдань потрібна взаємодія БПЛА з наземної базовою станцією, або з іншими БПЛА при польоті в групі. Це робить можливим обмін даними телеметрії в режимі реального часу між літальним апаратом і базовою станцією або між одним літальним апаратом і іншими літальними апаратами групи, динамічне перевизначення завдання під час польоту (англ. наприклад, завдання нових шляхових точок). Для обміну даними телеметрії і відправки команд з землі, для яких час доставки не є критичним, часто використовується повільний цифровий канал. Для забезпечення ручного пілотування наприклад, при посадці, в безпілотні літаки встановлюється також приймач нульового сигналу [8]. Слід зазначити, однак, що використання описаних інтерфейсів радіозв'язку пов'язане з рядом проблем. Перш за все швидкість передачі даних по цих каналах сильно обмежена. Енергоспоживання передавачів що скорочує час польоту БПЛА. Нарешті, в разі застосування БПЛА цивільними організаціями, часто виникає проблема ліцензування радіочастот, що сильно обмежує діапазон допустимих частот і потужність передавача. У зв'язку з цим в даний час в ряді проєктів робляться спроби доповнити безпілотні системи іншими пристроями зв'язку. Таким пристроєм, є, наприклад, стільниковий модем, здатний забезпечувати досить стабільний канал цифрового зв'язку. Зона покриття стільникових мереж збільшується з кожним роком, що робить цілком можливим використання стільникового інтернету для передачі даних телеметрії і команд

при польоті над населеною місцевістю. Для передачі великих обсягів даних можна використовувати також канал, який працює по одному із стандартів сімейства 802.11 (англ. WiFi). Слід зазначити, що модель мікрокомп'ютера Raspberry Pi 3B+ обладнана вбудованим WiFi-приймачем, і звичайно має USB-порти. Беручи до уваги, що на цьому пристрої використовується операційна система Linux, до нього може бути з легкістю підключено майже будь-які споживчі пристрої зв'язку з USB-інтерфейсом. Єдиною обов'язковою функціональністю базової станції є, мабуть, можливість з'єднання (англ. проводового або бездротового) з автопілотом і бортовим комп'ютером для установки параметрів завдання. Для цієї мети можуть бути використані USB-порти пристроїв, проте в тому випадку, коли необхідно запрограмувати кілька БПЛА, можна використовувати також Bluetooth або WiFi-інтерфейс. Типовий пристрій базової станції – ноутбук з ПЗ, що дозволяє будувати маршрут польоту і зберігати його в автопілот, і радіомодем.

3.5 Проведення експериментів

Для перевірки ефективності спільної роботи та координації дронів рою доцільно використовувати набір стандартизованих експериментів. Було обрано та проаналізовано ряд експериментів [10], які пояснюють як відбувається синхронізація та керування роєм дронів.

- Експеримент 1: Вирівнювання компаса з одним нерухомих дроном на землі;

Дрон 1 стояв нерухомо на землі, тоді як автопілот керував дроном 2.

Компаси двох дронів були вказані в різних напрямках. Автопілот підняв дрон 2 з землі. Коли дрон 2 був щонайменше на 4 метри вище землі, він автоматично підлаштувався, щоб вирівняти свій компас на дроні 1.

- Експеримент 2: Технічне обслуговування на відстані з нерухомих одним дроном на землі;

Дрон 1 стояв нерухомо на землі, тоді як автопілот керував дроном 2. Автопілот підняв дрон 2 від землі.

Перший автопілот перемістив дрон 2 далі від іншого дрона щоб він автоматично виправив себе і повернувся назад в межах налаштованого діапазону відстані. Потім автопілот перемістив дрон 2 ближче до іншого дрона, щоб він автоматично виправив і повернув його назад в межах налаштованої відстані.

- Експеримент 3: Технічне обслуговування на відстані та вирівнювання компаса за допомогою двох автопілотів;

Перш ніж намагатися керувати обома дронами з одного дистанційного пульта, наступний експеримент включав тестування модифікованої прошивки з 2 автопілотами, один керує кожним дроном. Компаси дронів не вирівнювалися під час їх початку на землі. Потім автопілоти підняли обох дронів з землі. Одного разу дрони піднялися щонайменше на 4 метри вище землі, дрон 1 автоматично похилився до тієї ж орієнтації, що і дрон 2. Коли другий автопілот змінить орієнтацію дрона 2 (англ. тобто зміна орієнтації компаса), дрон 1 автоматично слідкує за відповідним оновленням компаса.

Після цього перший автопілот перемістив дрон 1 далі від дрона 2, щоб підтвердити, що два дрони будуть автокорегуватися і рухатися назустріч один одному. Потім, дрони були переміщені ближче один до одного, щоб підтвердити, що дрони автокоригуватимуться, щоб перевірити що вони будуть відштовхуватися один одного.

- Експеримент 4: Технічне обслуговування на відстані та вирівнювання компаса з одним автопілотом.

Цей експеримент повторює бажану мету, де є автопілот який керує декількома дронами з єдиного пульта. І той й інший дрон 1 і дрон 2 знаходилися на землі та на віддаленому місці контролер першого автопілота прив'язаний до обох дронів, так що вони обидва відповіли б на команди першого автопілота. Компаси дронів не вирівнювалися під час їх початку на землі. Автопілот підняв обидва дрони з землі. Одного разу дрони піднялися

щонайменше на 4 метри вище землі, дрон 1 автоматично змінив позицію до тієї ж орієнтації, що і дрон 2. Коли автопілот оновлював позицію для дронів, вони будуть змінювати свої орієнтації разом, як вони отримували ту саму команду. Якщо була якась помилка щоб змусити повернути дрон і зміститися більше, ніж іншого, дрони автоматично вирівнюють, як описано в попередніх експериментах. Потім дрони пролітали навколо для підтвердження що вони залишаються в межах визначеної відстані.

На додаток до поведінки з технічним обслуговуванням, режим поведінки польоту який називається груповим поверненням на землю. Для того, щоб зрозуміти групове повернення тобто його функціональність, потрібно зрозуміти нормальне повернення на землю при польоті одного дрона. При режимі польоту дрона змінено на нормальний, дрон летить назад приземляється на своєму початковому положенні. У режимі з груповим поверненням, ця функція була трохи змінена. Замість кожного дрону, що повертається до свого початкового положення, дрони спочатку розраховують, який дрон, знаходиться в повітрі, та найближчий до якого з початкової позиції. Після цього дрони підтверджують (англ. через приймачі 2,4 ГГц), які вони опрацювали координати така й відповідь. Якщо їх відповіді збігаються, найближчий дрон до початкового положення приземляється в цей момент, а інший дрон чекає. Після того, як приземлився перший дрон, він надсилає підтвердження іншому дрону, який приземлиться на незайняту початкову позицію.

Одне потенційне питання виникло з цією стратегією: якщо дрони будуть настільки далеко від своїх початкових позицій, що перший дрон приземлився, він буде занадто далеко від інших дронів (англ. оскільки трансивери 2,4 ГГц обмежені в дальності). Ну, це виявилось неproblemним через низький рівень поведінки вбудованого обладнання на відстані.

Оскільки перший дрон рухався до своєї точки посадки, інший дрон пішов би для того, щоб підтримувати бажану відстань. Не ілюструє побудову

в цьому поведінки дрона, оскільки це спрощує проблеми, які можуть виникнути зі складнішими способами поведінки.

3.6 Програмне забезпечення Raspberry Pi

Raspberry Pi працює в основному на операційних системах, заснованих на Linux ядрі. Запуск Windows можливий завдяки засобам віртуалізації ARM11 заснований на 6 версії ARM, на якому кілька популярних версій Linux більше не запускаються. Raspberry надає Debian і Arch Linux ARM дистрибутиви для завантаження, і просуває Python в якості основної мови програмування, з підтримкою BBC BASIC, C, C++, Java, Perl, Ruby і багато чого іншого. Для установки операційних систем існує інструмент NOOBS.

3.7 Програмне забезпечення для управління декількома апаратами

Mission Planner програма проста у використанні та використовує дані про позицію телекерованого або літаючого дрону [10].

Інтерфейс програми виглядає наступним чином (англ. див. рис.

3.2).

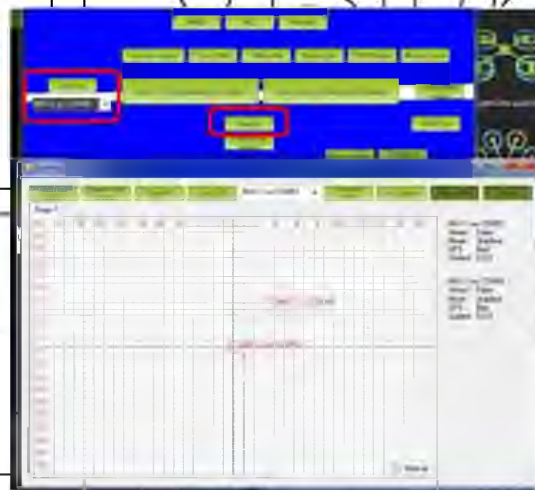


Рис. 3.2. інтерфейс програми Mission Planner

Налаштування групи досить просте: оснащений кожен апарат радіопередавачем позначається «лідер» в mission planner для цього вибирається «Control-F» і вибирається опція «swarm» (англ. рій), в ній – «set leader».

Опція «Connect MAVs» в ній ведені апарати «розтягнули» круги, що позначають БПЛА по координатній сітці, вибираючи їх положення в формації. Верхня частина сітки збігається з північчю. За командою «Start» додаток почне розсилати дані на автопілот всіх пристроїв, крім лідера.

3.8 Висновок до третього розділу

Було проаналізовано попередні дослідження, в яких брали участь декілька дронів, які летять разом, заздалегідь запрограмованими шляхами.

Робота, що аналізується, дозволяє здійснювати політ декількох дронів з одного дистанційного пульта, даючи автопілоту набагато більше контролю над кількома дронами в режимі реального часу. Додатковою перевагою цього дослідження є те, що його можна повторити та використовувати з великою

легкістю, а також з мінімальними витратами. У цьому дослідженні є багато

застосувань, одне з яких – сільське господарство, де великі поля можна обробляти без необхідності заміни батарей і виконання декількох польотів, оскільки одночасно можуть пролітати кілька безпілотників. Інший додаток

пошук та порятунок, де конкретні райони можна шукати на порядок швидше,

коли безліч дронів летять разом. Якщо дрон не відповідає, дрони починають

заново і перераховуватись. Однією важливою особливістю, яка може здатися

корисною для автопілотів декількох дронів, є можливість дрона літати в різних

формаціях. Наприклад, автопілот повинен мати можливість керувати дронами

літати по лінії, або трикутнику.

Інший потенційний напрямок майбутніх досліджень може зосередитись на додаванні альтернативних методів, які можна використовувати поряд з GPS для підтримки дистанції. Використовувався

GPS, щоб кожен дрон міг бути в курсі оточуючих дронів. Однак, оскільки GPS не завжди є надійним, було б досить корисно додати такі альтернативні методи, як комп'ютерний зір та сонар, на всякий випадок, якщо GPS не працює належним чином у тому місці, де використовуються безпілотники.

Представлене тут дослідження є важливим складовим елементом для управління декількома дронами з одного дистанційного пульта.

Найважливіша ідея, яку слід відібрати від цього дослідження, - це важливість поведінки на технічному обладнанні низького рівня. Всі інші цікаві особливості

кількох дронів у польоті залежать від ефективної поведінки обладнання на

відстані. Тому первинним напрямком майбутніх досліджень повинно бути

забезпечення того, щоб така поведінка на обладнанні на відстані була достатньою для всіх умов, зокрема, коли GPS стає ненадійним.

РОЗДІЛ 4

ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Економічне обґрунтування дипломної роботи магістра є метою даного розділу. Даний розділ дозволяє встановити доцільність проведення науково – дослідних робіт і економічно обґрунтувати доцільність застосування тих чи інших засобів. Саме проведення економічних розрахунків, спрямованих на визначення економічної ефективності науково – дослідницької роботи (англ. НДР) і прийняття рішення про її подальший розвиток та впровадження або ж недоцільність проведення відповідної розробки.

Метою дипломної роботи магістра є розробка апаратно – програмного забезпечення комп'ютерної системи координації та контролю дронами.

В економічній частині дипломного проекту будуть проведені такі етапи розрахунку вартості НДР:

- описати технологічний процес розробки із зазначенням трудомісткості кожної операції;

- визначити суму витрат на оплату праці основного і допоміжного персоналу, включаючи відрахування на соціальні заходи;

- визначити суму матеріальних затрат;

- обчислити витрати на електроенергію для науково – виробничих

цілей;

- нарахувати суму амортизаційних відрахувань;

- визначити суму накладних витрат;

- скласти кошторис та визначити собівартість НДР;

- розрахувати ціну НДР;

- визначити економічну ефективність та термін окупності продукту.

На основі отриманих розрахунків будуть розроблені техніко – економічні показники проектного виробництва.

Як відомо, розробка надійної і ефективної інформаційної системи вимагає значних затрат часу. Слід зауважити, що затрати часу залежать від кваліфікації розробника і його можливостей. Розробник повинен у достатній мірі володіти навиками програмування, вміти адекватно застосовувати математичний апарат, бути добре обізнаним з об'єктом дослідження.

4.1 Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР

Для оцінки тривалості виконання окремих робіт використовують нормативи часу або попередній досвід. До таких нормативів відносять тривалість

написання операцій (англ. команд), які в деяких підприємствах становлять: для одної операції – 0,5 – 1,6 год та 8 годин для п'яти операцій (англ. тривалість зміни).

У разі їх відсутності звертаються до експертних оцінок по встановленню тривалості кожного етапу (англ. стадії):

при трьох оцінках:

$$T_{ec} = \frac{t_{min} + 4t_{n.i.} + t_{max}}{6}, \quad (\text{англ. 4.1})$$

при двох оцінках:

$$T_{ec} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}, \quad (\text{англ. 4.2})$$

де T_{ec} – очікуване (англ. середнє) значення тривалості виконання етапу (англ. стадії);

t_{min} , $t_{n.i.}$, t_{max} – відповідно мінімальна, найбільш імовірна і максимальна оцінки тривалості виконання етапу (англ. стадії).

Розробку даної інформаційної системи можна поділити на такі етапи:

- постановка задачі;
- проведення огляд публікацій авторів, які займались питанням розробки апаратно-програмного забезпечення комп'ютерної системи координації та контролю дронами;
- прийняття рішень щодо вибору оптимального шляху розв'язання поставленої задачі;
- аналіз математичної моделі інформаційної системи;
- проектування архітектури системи;
- розробка алгоритму роботи інформаційної системи;
- розробка макету системи координації та контролю дронами;

- написання програмного забезпечення для контролера;
налаштування середовища розробки і роботи вже готової програми;

- тестування розробленого програмного забезпечення;
- написання і оформлення документації (англ. електронної та паперової).

Для зручного представлення і визначення загальної тривалості проведення НДР доцільно дані витрат часу по окремих операціях технологічного процесу звести у таблицю 4.1.

Витрати часу наукового керівника на виконання окремих стадій (англ. етапів) при недостатній кількості інформації доцільно приймати в межах 5% сумарних витрат часу інженерів на виконання цих стадій (англ. етапів).

Таблиця 4.1

Основні етапи і час їх виконання у НДР

№ п/п	Етап	Середній час виконання етапу, год	
		інженер	керівник
1	Постановка задачі	3	1
2	Проведення огляд публікацій авторів, які займались питанням розробки апаратнопрограмного забезпечення комп'ютерної системи координації та контролю дронами	14	5
3	Прийняття рішень щодо вибору оптимального шляху розв'язання поставленої задачі	5	2
4	Аналіз математичної моделі інформаційної системи	12	1
5	Проектування архітектури системи	7	2

№ п/п	Етап	Середній час виконання етапу, год	
		інженер	керівник
6	Розробка алгоритму роботи інформаційної системи	88	15
7	Розробка макету системи координації та контролю дронами	6	1
8	Написання програмного забезпечення для контролера	10	5
9	Налаштування середовища розробки і роботи вже готової програми	5	1
10	Тестування розробленого програмного забезпечення	8	3
11	Написання і оформлення документації (англ. електронної та паперової)	21	5
Разом		179	41
Отже, сумарний час виконання операцій технологічного процесу інженером становить 179 годин, а керівником 41 годину.			

4.2. Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи

Відповідно до Закону України «Про оплату праці» заробітна плата – це «винагорода, обчислена, як правило, у грошовому виразі, яку власник або уповноважений ним орган виплачує працівникові за виконану ним роботу».

Розмір заробітної плати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійно – ділових якостей працівника, результатів його праці та

господарської діяльності підприємства. Заробітна плата складається з основної та додаткової оплати праці.

Основна заробітна плата нараховується на виконану роботу за тарифними ставками, відрядними розцінками чи посадовими окладами і не залежить від результатів господарської діяльності підприємства.

Додаткова заробітна плата – це складова заробітної плати працівників, до якої включають витрати на оплату праці, не пов'язані з виплатами за фактично відпрацьований час. Нараховують додаткову заробітну плату залежно від досягнутих і запланованих показників, умов виробництва, кваліфікації виконавців. Джерелом додаткової оплати праці є фонд матеріального стимулювання, який створюється за рахунок прибутку.

Основна заробітна плата складається із прямої заробітної плати та доплати, яка при укрупнених розрахунках становить 25% – 35% від прямої заробітної плати. При розрахунку заробітної плати кількість робочих днів в місяці слід приймати – 25,4 дні/міс., що відповідає 203,2 год./міс. Розмір місячних окладів керівника та інженерів слід приймати згідно існуючих на даний час норм. Основна заробітна плата розраховується за формулою:

$$Z_{\text{осн}} = T_c \cdot K_T, \quad (\text{англ. 4.3})$$

де T_c – тарифна ставка, грн.; K_T – кількість відпрацьованих годин.

Посадові оклади (англ. тарифні ставки) за розрядами Єдиної тарифної сітки визначаються шляхом множення окладу (англ. ставки) працівника 1 тарифного розряду на відповідний тарифний коефіцієнт. У разі коли посадовий оклад (англ. тарифна ставка) визначені у гривнях з копійками, цифри до 0,5 відкидаються, від 0,5 і вище – заокруглюються до однієї гривні.

Законом України “Про Державний бюджет України на 2019 рік” від 23.11.2018 р. №2629 – VIII із змінами, внесеними згідно із Законом № 2696-VIII від 28.02.2019, ВВР, 2019, № 14, ст.66 та № 149-IX від 02.10.2019, встановлено у

2019 році мінімальну заробітну плату: у місячному розмірі: з 1 січня - 4173 гривні; у погодинному розмірі: з 1 січня - 25,13 гривні. Прийmemo 65 грн. для інженера, для керівника — 81 грн.

Тарифні ставки: керівник проекту – 81 грн./год., інженер – 65 грн./год.

Тоді скориставшись формулою 4.3 розрахуємо основну заробітну плату для інженера та керівника проекту.

Керівник проекту:

$$Z_{осн} = 81 \cdot 41 = 3321 \text{ грн.}$$

Інженер:

$$Z_{осн} = 65 \cdot 179 = 11635 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата становить 10 – 15% від суми основної заробітної плати:

$$Z_{доб} = Z_{осн} \cdot K_{добл},$$

(англ. 4.4)

де $K_{добл}$ – коефіцієнт додаткових виплат працівникам 0,1.

Керівник проекту:

$$Z_{доб} = 3321 \cdot 0,1 = 332,1 \text{ грн.}$$

Інженер:

$$Z_{доб} = 11635 \cdot 0,1 = 1163,5 \text{ грн.}$$

Звідси загальні витрати на оплату праці (англ. $V_{оп.}$) визначаються за формулою, і становлять:

$$V_{оп.} = Z_{осн} + Z_{доб},$$

(англ. 4.5)

Керівник проекту:

$$V_{оп.} = 3321 + 332,1 = 3653,1 \text{ грн.}$$

Інженер:

$$V_{с.т.} = 11635 + 1163,5 = 12798,5 \text{ грн.}$$

Таким чином загальна сума становить 16451,6 грн. Крім того, слід визначити відрахування на соціальні заходи:

- податок на доходи фізичних осіб – 18%;
- військовий збір – 1,5%;
- єдиний соціальний внесок – 22%.

У сумі зазначені відрахування становлять 41,5 %. Отже, сума відрахувань на соціальні заходи розраховуємо за формулою:

$$V_{с.з.} = \text{ФОП} \cdot 0,415, \quad (\text{англ. 4.6})$$

де *ФОП* – фонд оплати праці в гривнях.

Тоді, сума відрахувань на соціальні заходи буде становити:

$$V_{с.з.} = 16451,6 \cdot 0,415 = 6827,41 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки витрат на оплату праці зведемо у таблицю 4.2. *Таблиця*

4.2

Зведені розрахунки витрат на оплату праці

Основна заробітна плата, грн.

№ п/п	Категорія працівників	К-сть відпрацьов. год.	Тарифна ставка, грн.	Фактично нарах. з/пл., грн.	Додаткова заробітна плата, грн.	Нарах. на ФОП, грн.	Всього витрати на оплату праці, грн.
1	2	3	4	5	6	7	8
А	Б	1	2	3	4	5	6
1	Керівник проекту	81	41	3321	332,1	1516,0	5169,14
2	Інженер	65	179	11635	1163,5	5311,38	18109,88
Разом				14956	1495,6	6827,42	23279,02

4.3 Розрахунок витрат на електроенергію

Заграти на електроенергію І-ці обладнання визначаються за формулою:

$$Z_E = W \cdot T \cdot S,$$

(англ. 4.7)

де W – необхідна потужність, кВт; T – кількість годин роботи обладнання;

S – вартість кіловат-години електроенергії.

Згідно з постановою НКРЕ України від 05.10.2018 року № 1177 вартість електроенергії становить 308,25 коп./кВт·год.

Потужність ноутбука – 45Вт з підключенням маршрутизатором і комутатором, кількість годин роботи обладнання згідно таблиці 4.1 – 220 год.

$$Z_E = 0,045 \cdot 220 \cdot 3,0825 = 30,52 \text{ грн.}$$

4.4 Розрахунок витрат на матеріали

Результати розрахунку затрат на матеріали зводяться в таблицю 4.3.

НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 4.3
Визначення величини затрат на матеріали

Найменування матеріальних ресурсів	Одиниця виміру	Норма витрат	Ціна за одиницю, грн	Затрати матеріалів, грн	Транспортнозаготівельні витрати, грн	Загальна сума витрат на матеріал, грн
Папір А4	Пачка	1	82	82	-	82
Ватман	Штук	10	10	100	-	100
Квадрокоптер	Штук	1	1499	1499	45	1544
Кабель	Штук	5	15	75	-	75
Акселерометр	Штук	1	37	37	-	37
З'єднувальні провідники	Пачка	2	15	30	-	30
Антенa	Штук	2	50	100	-	100
Разом						1968

4.5 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Характерною особливістю застосування основних фондів у процесі виробництва є їх відновлення. Для відновлення засобів праці у натуральному виразі необхідне їх відшкодування у вартісній формі, яке здійснюється шляхом амортизації.

Амортизація – це процес перенесення вартості основних фондів на вартість новоствореної продукції з метою їх повного відновлення. Для заміщення зношеної частини основних засобів виробництва підприємства роблять амортизаційні відрахування, тобто відрахування певних грошових сум відповідно до розмірів фізичного і морального зносу засобів виробництва.

Комп'ютери та оргтехніка належать до четвертої групи основних фондів.

Для цієї групи річна норма амортизації дорівнює 60% (англ. квартална – 15%)

Для визначення амортизаційних відрахувань застосовуємо формулу:

$$A = \frac{B_B \cdot H_A}{100}, \quad (\text{англ. 4.8})$$

де A – амортизаційні відрахування за звітний період, грн.

B_B – балансова вартість комп'ютера, на початок звітного періоду, грн.

H_A – норма амортизації, %.

Для роботи використовується один ноутбук (англ. вартість якого становить 28000 грн.), який працює 220 годин.

$$A = \frac{28000 \cdot 15\%}{100\%} = 4200 \text{ грн}$$

4.6 Обчислення накладних витрат

Накладні витрати пов'язані з обслуговуванням виробництва, утриманням апарату управління підприємства (англ. фірми) та створення необхідних умов праці.

Накладні витрати можуть становити 20% від суми основної та додаткової заробітної плати працівників:

$$H_B = V_{\text{ол}} \cdot 0,2, \quad (\text{англ. 4.9})$$

$$H_B = 16451,6 \cdot 0,2 = 3290,32 \text{ грн.}$$

4.7 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР

Результати проведених вище розрахунків зведемо у таблицю 4.4.

Собівартість (англ. C_B) НДР розраховуємо за формулою:

НУБІП України

(англ. 4.10)

$$C_B = B_{\text{о.п.}} + B_{\text{д.з.}} + 3M_{\text{в.}} + 3E + T_{\text{в}} + A + H_{\text{в}},$$

$$C_B = 16451,6 + 6827,41 + 1968 + 30,52 + 4200 + 3292,32 = 32787,85 \text{ грн}$$

Таблиця 4.4

Кошторис витрат на НДР

Зміст витрат 1	Сума, грн. 2	У % до загальної суми 3
Витрати на оплату праці (англ. основну і додаткову заробітну плату)	16451,6	50,18
Відрахування на соціальні заходи	6827,41	20,82
Матеріальні витрати	1968	6,00
Витрати на електроенергію	30,52	0,09
Амортизаційні відрахування	4200	12,82
Накладні витрати	3292,32	10,06
Собівартість	32787,85	—

4.8 Розрахунок ціни НДР

Ціну НДР можна визначити за формулою:

$$Ц = \frac{B_{\text{н.і.}} \cdot (1 + P_{\text{рен}})}{(1 + ПДВ)}, K \quad (\text{англ. 4.11})$$

де $P_{\text{рен}}$ – рівень рентабельності, 30 %;

K – кількість замовлень;

$ПДВ$ – ставка податку на додану вартість, 20 %.

$B_{\text{н.і.}}$ – вартість носія інформації, грн.

$$C = 1 \cdot P + K \cdot B$$

$$C = 32787,85 \cdot (1 + 0,3 + 1 \cdot 7) \cdot (1 + 0,2) = 51167,05 \text{ грн}$$
 Таким чином ціна рівна 51167,05 грн.
 Визначимо величину прибутку за формулою:

$$P = 53389,28 - 27986,57 = 25402,91 \text{ грн.}$$
 Згідно даної формули отримаємо 18379,20 грн.

4.9 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Ефективність виробництва – це узагальнене і повне відображення кінцевих результатів використання робочої сили, засобів та предметів праці на підприємстві за певний проміжок часу. Економічна ефективність (англ. E_p) полягає у відношенні результату виробництва до затрачених ресурсів:

$$E_p = \frac{P}{C_B},$$
 (англ. 4.13)

де P – прибуток; C_B – собівартість.

$$\frac{18379,20}{51167,05} = 0,36.$$

Поряд із економічною ефективністю розраховують термін окупності капітальних вкладень (англ. T_p):

$$T_p = \frac{C}{P},$$
 (англ. 4.14)

НУБІП України

$$T_p = \frac{1}{0,36} = 2,77 \text{ роки}$$

Про доцільність розробки програми можна сказати при врахуванні критеріїв, які наведено у таблиці 4.5

НУБІП України

Таблиця 4.5

Техніко-економічні показники НДР

№ п/п	Показник	Значення
1	Собівартість, грн.	32787,85
2	Плановий прибуток, грн.	23180,68
3	Ціна, грн.	51167,05
4	Економічна ефективність	0,36
5	Термін окупності, рік	2,77

4.10 Висновки до розділу

НУБІП України

У результаті проведення розрахунків можна зробити висновок: розробка матиме оптимальну економічну ефективність 0,36 і термін окупності становитиме більше двох років (англ. 2,77 роки). Варто зазначити, що дані

НУБІП України

розрахунки носять номінальний характер і основна їх мета оцінити приблизну вартість дослідження та створення даного продукту. Номінальний характер розрахунків зумовлений тим, що даний програмний продукт має дослідницьке призначення.

НУБІП України

НУБІП України

ВИСНОВКИ

НУБІП України

У Вступі обґрунтовано актуальність теми дипломної роботи, сформульовано її мету та завдання, що вирішуються, наведено об'єкт, предмет, методи дослідження, практичне значення отриманих результатів.

НУБІП України

В розділі 1 дипломної роботи проведено аналіз предметної області, розглянуто основні технології систем позиціонування дронів, а також проведена класифікація методів, які для цього використовуються.

НУБІП України

В розділі 2 зроблено огляд апаратної бази, компонування та принципів проектування, які доцільно застосовувати для розв'язання завдання роботи.

НУБІП України

В розділі 3 визначено ефективні методи побудови систем координації та контролю поведінки рою дронів а також засоби та методи програмної реалізації такої системи, подано практичні рекомендації для забезпечення надійної реалізації системи керування рою дронів.

НУБІП України

В розділі «Обґрунтування економічної ефективності» розкрито питання обґрунтування економічної ефективності від впровадження результатів дослідження, проведеного в дипломній роботі.

НУБІП України

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» присвячений вимогам з охорони праці та техніки безпеки відповідно до нормативних документів щодо протипожежних заходів, виробничої санітарії та гігієни, проведено оцінку дії електромагнітного поля на людину та способів захисту від нього.

НУБІП України

Також розглянуто питання оцінки стійкості системи управління і постачання суб'єктів господарювання, підготовка до відновлення порушеного виробництва.

НУБІП України

В розділі «Екологія» проведено ознайомлення з основними статистичними показниками екологічних явищ, а також вимогами до проведення державної та громадської екологічної експертизи.

В дипломній роботі розглянуто апаратно-програмне забезпечення комп'ютерної системи координації та контролю дронів при об'єднанні в динамічні мобільні системи (англ. рої), зроблено порівняльний аналіз доступних технологій, апаратних компонентів та програмних реалізацій для створення інтуїтивно зрозумілої, надійної та простої в реалізації системи.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rao Mogili U.M., Deepak B.B.V.L. Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. / U.M. Rao Mogili, B.B.V.L. Deepak // Procedia Computer Science, 2018. vol. 133. –p.502–509.

2. Kyaw Myat Thu, Gavrilo A.I. Designing and modeling of quadcopter control system using L1 adaptive control. / Kyaw Myat Thu, A.I. Gavrilo. // Procedia Computer Science. -vol. 103. -p. 528 – 535, 2017.

3. Полетные контроллеры, автопилоты, OSD, датчики. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://rc-heli.com.ua/ProductsPrice.aspx?cat_id=442. Дата доступу: 3 жовтня 2019. – Заголовок з екрану.

4. Unmanned Aerial Vehicles: A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1805.00881>. Дата доступу: 5 жовтня 2019. – Заголовок з екрану.

5. Multicopter Aerial Platforms - Flight Controllers [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.rc-toyz4bigboyz.com/motorsparts.html#XgIfEt189xA>. Дата доступу: 20 жовтня 2019. – Заголовок з екрану.

6. Spinka O., Kroupa S., Hanzálek Z. Control System for Unmanned Aerial Vehicles. / O. Spinka, S. Kroupa, Z. Hanzálek // IEEE International Conference on Industrial Informatics 1, 2007. – pp. 455 - 460.

7. Табунщик Г. В., Миронова Н. О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Проектування інформаційних систем» для студентів спеціальності 122 «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» освітньої програми «Інформаційні технології проектування» всіх форм навчання / Г. В. Табунщик, Н. О. Миронова. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – 22 с.

8. Система управління квадрокоптером на базі платформи RaspberryPi. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://elib.spbsta.ru/dl/2/v161655.pdf>. Дата доступу: 3 жовтня 2019. – Заголовок з екрану.

9. Разработка алгоритма перехвата управления квадрокоптером. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018013886>. Дата доступу: 17 жовтня 2019. – Заголовок з екрану.

10. Безродний П. П. Підвищення ефективності програмного забезпечення дронів з використанням програми Mission Planner при моніторингу в сільському господарстві: дипломна робота магістра спеціальності 122 Комп'ютерні науки. - Дніпро, 2018 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/151460/>. Дата доступу: 23 жовтня 2019. – Заголовок з екрану.

11. Луцький, М.Г. Розвиток міжнародного регулювання танормативної бази використання безпілотних літальних апаратів [Текст] / М.Г. Луцький, В.П. Харченко, Д.О. Бугайко // Вісник НАУ. – 2011. – No 2. – С. 514.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України