

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА СИСТЕМА І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОПЕРЕСЛІДУВАННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ БЕЗПІЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ

Створили експериментальну систему і програмне забезпечення для генерування і дослідження команд на двигуни безпілотного літального апарата (БПЛА) та його автоматичного повертання при фотопереслідуванні рухомого об'єкта з метою оптимізації процесів керування. Використали квадрокоптер з рамою Q450, двигунами D2212-920kv і пропелерами з розмірами 10x1,5 см. Встановили автопілот Pixhawk PX-4 з відкритим програмним кодом і бортовий комп'ютер Raspberry-3 з відеокамерою Pi V2 з розділенням 1080x720 пікселів. Квадрокоптер підвісили так, що пропелери знаходилися у горизонтальній площині. Експериментальна установка включає двоканальний осцилограф типу ISDS205A для вимірювання ширини імпульсів керування моторами і тахометр типу UT-372 для вимірювання швидкості обертання моторів. Склали програму, яка обчислює координати центра зображення X об'єкта в пікселях і відповідні тривалості імпульсів для керування обертанням моторами квадрокоптера за допомогою четвертого каналу приймача автопілота. Система польоту використовує бібліотеку Dronekit, datetime, errno, platform, а програма перетворення відеоряду зображень - бібліотеку sys, OpenCV, Picamera.

Ключові слова: експериментальна установка, програмне забезпечення, фотопереслідування, двомірне обертання, квадрокоптер, автопілот, бортовий комп'ютер.

VASYL CHYHIN, MYKOLA CHERNENKO
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy

EXPERIMENTAL SYSTEM AND SOFTWARE FOR INVESTIGATION OF PHOTO-PURSUIT OF MOVING OBJECTS BY UNMANNED AERIAL VEHICLE

An experimental system and software have been developed to generate and study commands on the engines of unmanned aerial vehicle (UAV) and its automatic rotation during photo-pursuit of a moving object in order to optimize control processes. There were used the quadcopter with a Q450 frame, D2212-920kv engines and 10x45 propellers. An open source Pixhawk PX-4 autopilot and a Raspberry-3 on-board computer with a Pi V2 camera with a resolution of 1,080 x 720 pixels have been installed. The quadcopter was suspended so that the propellers were in a horizontal plane. The experimental setup includes a two-channel oscilloscope type ISDS205A for measuring the width of the motors control pulses and a tachometer type UT-372 for measuring the speed of rotation of the motors. We have compiled a program that calculates the coordinates of the center of the image X of the object in pixels and the corresponding pulse durations to control the rotation of the quadcopter motors using the fourth channel of the autopilot receiver. The flight system uses the libraries Dronekit, datetime, errno, platform, and the video conversion program uses the libraries sys, OpenCV, Picamera.

Keywords: experimental setup, software, photo-pursuit, two-dimensional rotation, quadcopter, autopilot, on-board computer.

Постановка проблеми. Робота є продовженням власних досліджень [1–3] у напрямку створення комплексної автоматизованої системи пасивного виявлення небезпечних об'єктів (несанкціонованих безпілотних літальних апаратів, зародків пожеж і т.п.), їх фотозахоплення, переслідування і знешкодження за допомогою БПЛА. Досі досліджувались процеси виявлення і вимірювання GPS-координат рухомих об'єктів стаціонарними звуковим і фотозасобами, а також політ власного БПЛА на ці координати за допомогою бортової комп'ютерної системи. При цьому не розглядалося питання експериментальних досліджень автоматизованого фотопереслідування і створення відповідного програмного забезпечення для встановлення оптимальних параметрів політної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх роботах одного з авторів [1–3] досліджувались процеси виявлення і вимірювання параметрів польоту безпілотних літальних апаратів (БПЛА) за допомогою наземних установок із звуковими і фотоприймачами. Створена вперше стаціонарна система фоторозпізнавання і фотозахоплення за допомогою фотокамери типу Кенон-7Д і власного програмного дозволила вимірювати координати квадрокоптера типу Фантом-3 на відстанях порядку 1 км [4]. Крім того, за допомогою експериментального безпілотного авіаційного комплексу досліджено польоти власного БПЛА за попередньо вимірними стаціонарною фотосистемою координатами несанкціонованого об'єкта та його фотозахоплення [5]. При цьому, використання бортового комп'ютера, відеокамери та оригінального програмного забезпечення дозволило вловити квадрокоптер сіткою. Проте, ця система давала можливість виконувати лише політ за наперед визначеними GPS-координатами, але автоматичне фотопереслідування рухомого об'єкта не відбувалося.

У доступних українських публікаціях описуються, в основному, шляхи застосування безпілотних літальних апаратів у військовій та цивільній справах [6, 7]. Не виявлено робіт, зв'язаних з використанням бортового комп'ютера для виконання польотів БПЛА з фотозахопленням і переслідуванням.

В роботах [8, 9] описуються основні елементи, зокрема, сенсори автопілотів коптерів, проте не піднімається питання використання бортового комп'ютера для системи стабілізації і налаштування режимів програмованого польоту. В літературі не виявлено описання структури і принципу роботи автопілота типу

Pixhawk. Основні характеристики сучасних міні-комп'ютерів, які можна використати у ролі бортових для керування польотів, детально описані на сайтах: Raspberry Pi3 [10], Odroid C2 [11], LattePanda [12]. Це однокристальні плати, 4-ядерні, з тактовою частотою 1,5-2 ГГц, оперативною пам'яттю 1-2 Гбайти, вбудованою пам'яттю – 32 або 64 Гбайти. Комп'ютери Raspberry Pi3 і Odroid C2 передбачають операційну систему Linux, LattePanda - Windows-10. Розміри і маса перших двох є суттєво меншими (85×56 мм², 40 грам) від відповідних параметрів LattePanda (88×70 мм², 56 грам). Детальний аналіз параметрів цих та інших промислових міні-комп'ютерів дозволив вибрати оптимальний варіант у ролі бортового для експериментальних досліджень з фотопереслідування.

В інтернет виданнях виявлено ряд програмних забезпечень, зв'язаних з відлагодженням передполітних режимів та автоматичним керуванням польотів за наперед заданою схемою. Вони включають досить широкий спектр функцій для формування політних завдань. Типові програми керування Mission Planner [13] і Q-GroundControl [14] призначені для виконання ряду, строго визначених дій, зокрема, перевірки всіх сенсорів БПЛА перед пуском, заведення моторів, вильоту у вертикальному напрямку на певну задану висоту і виконання самого польоту у певному режимі (Gaided, Loiter тощо). Недоліком цих програм є неможливість створення сценарію з фотопереслідуванням і виконання дії знешкодження, вони є закритими для модернізації.

У роботах [15–18] розглядаються питання створення програм для фотозахоплення. Так, автор [18] склав систему спостереження за рухомим кольоровим об'єктом – кубом і повертання руки робота за допомогою стаціонарної фотосистеми з використанням мікропроцесора типу ардуіно. У роботі [16] нерухомий об'єкт – червона куля розпізнається і знешкоджується за допомогою фотосистеми, встановленої на квадрокоптері. За даними [17], дрон типу DJI Mavic2 Pro може відслідковувати деякі значні за розмірами об'єкти (людину, автомобіль) і летіти на певній відстані від об'єкта (режим *Follow me*). Остання модель квадрокоптера Matrice 100 DJI [18] має можливість уникати зіткнення з предметами. Ні в одній з робіт [15–18] не розглядається функція фотопереслідування, зокрема, об'єкта з малими розмірами і наближення до нього на віддалі, достатню для виконання дії знешкодження. Програми [16–18] є також закритими для модернізації. Інформацію про типові бібліотеки OpenCV, Picamera, DroneKit, RPI.GPIO, які використовуються для знаходження та розпізнавання об'єкта, аналізу та обробки зображення, зв'язку бортового комп'ютера з бортовою камерою, управління БПЛА і виконання дій після завершення переслідування, можна знайти на офіційних інтернет сторінках.

На наш погляд, для встановлення оптимальних параметрів системи фотозахоплення і переслідування рухомих об'єктів є перспективним створення експериментальної системи і програмного забезпечення для дослідження системи керування БПЛА з використанням бортового комп'ютера і контролера польоту. Бажано використати БПЛА типу квадрокоптер із суттєво зменшеними розмірами пропелерів для проведення експериментів всередині приміщення з режимом виключно обертання навколо вертикальної осі.

Мета роботи – створити експериментальну систему і програмне забезпечення для дослідження та оптимізації процесів керування польотом безпілотного літального апарата при фотозахопленні і переслідуванні рухомого об'єкта у двомірному просторі.

Виклад основного матеріалу ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Методика досліджень. Оскільки у відомій нам літературі не знайдено описання структури і принципу роботи автопілота типу Pixhawk, зокрема, не висвітлюється його швидкодія у керуванні моторами БПЛА, експериментальну схему вимірювань склали з умовою записів у файли часових залежностей якнайбільшої кількості параметрів фотозахоплення і переслідування рухомого об'єкта. До таких величин віднесли координату X (пікселі) центру зображення об'єкта – червоного диска, число імпульсів K4, які формуються за певною формулою із відомого значення X і подаються на вхід цього автопілота, ширини імпульсів керування ІМП1 і ІМП2 (мілісекунди), які подаються від автопілота Pixhawk до регуляторів обертів моторів, швидкість обертання моторів (оберти за хвилину), які отримали за допомогою лазерного тахометра, а також відхилення зображення плями від лазерного променя (пікселі), прикріпленого до тіла квадрокоптера при реагуванні системи на відхилення об'єкта в горизонтальній площині. При цьому використали дві схеми кріплення бортового комп'ютера Raspberry – незалежне, із кріпленням на окремому нерухомому штоці, а також на борту самого квадрокоптера. Після аналізу часових залежностей всіх цих величин, можна зробити висновки про причини можливих затримок реакції підсистем на відхилення об'єкта, виявлення найсуттєвіших затримок і пропозиції щодо їх усунення, оптимізації системи в цілому.

Експериментальна установка. Фотографія на рисунку 1 відображає основні елементи запропонованої експериментальної системи: 1 – бортовий комп'ютер Raspberry Pi3, 2 – автопілот Pixhawk Px4, 3 – провідники з'єднання комп'ютера Raspberry Pi3 та відеокамери Pi v2, закріплених у даному випадку на окремому нерухомому штоці, з автопілотом Pixhawk, 4 – мотори – безколекторні двигуни типу Sunnysky V2814-11 800KV, 5 – пропелери типу 10×45, 6 – лазерний ліхтарик із пучком зеленого кольору, 7 – GPS-приймач, 8 – лазерний тахометр типу UT-372, 9 – об'єкт переслідування – червоний диск, який переміщується на планці по горизонталі, 10 – пляма від лазерного променя, 11 – літєво-полімерний акумулятор типу Multistar ємністю 5200 мА·год, 12 – комп'ютер стаціонарний, 13 – осцилографічна

приставка – двоканальний USB-осцилограф типу ISDS205A для вимірювання ширини імпульсів керування моторами, 14 – монітор із зображеннями диска з камери, даних обчислень бортовим комп'ютером, ширини імпульсів і швидкості обертання моторів, 15 – вікно терміналу з фотозахопленням, 16 – вікно з обчисленими кількостями імпульсів K4, 17 – вікно осцилографа з осцилограмою імпульсів імП1 і імП2 та їх ширинами, 18 – вікно тахометра зі швидкістю обертання одного із двигунів коптера.

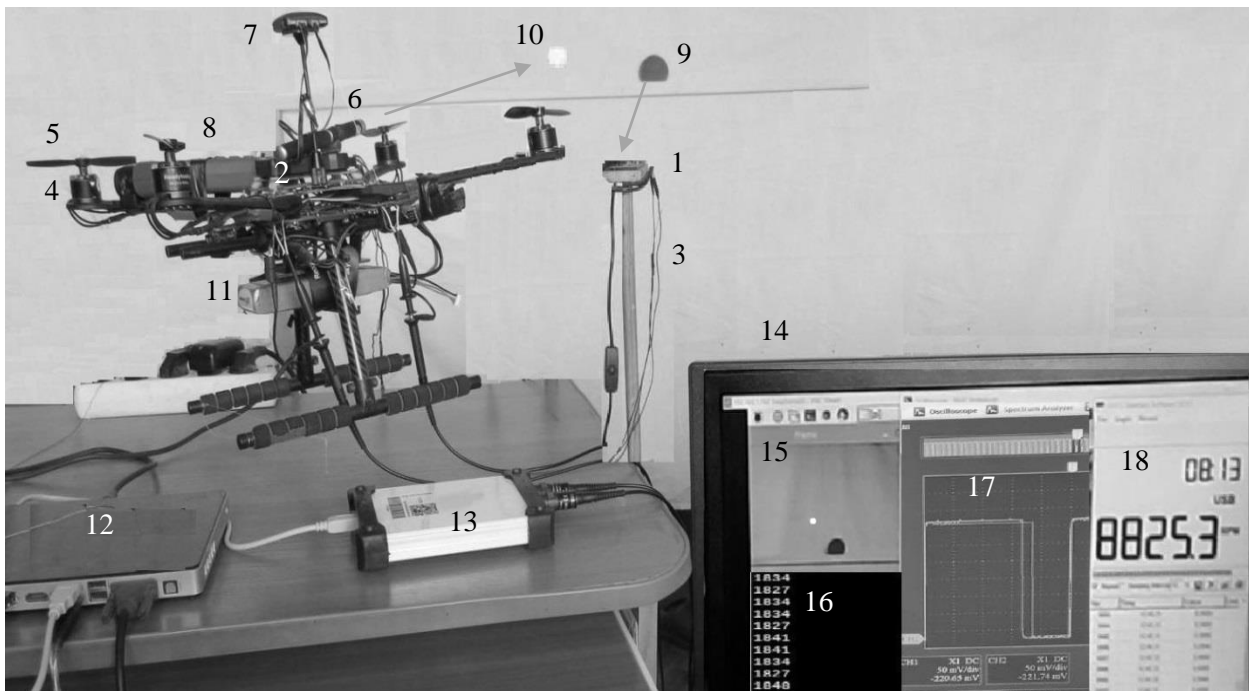


Рис. 1. Фотографія експериментальної установки

1 – бортовий комп'ютер Raspberry Pi, 2 – автопілот Pixhawk, 3 – провідники з'єднання Raspberry Pi з автопілотом, 4 – мотори, 5 – пропелери, 6 – лазерний ліхтарик, 7 – GPS-приймач, 8 – лазерний тахометр, 9 – об'єкт переслідування – червоний диск, 10 – пляма від лазерного променя, 11 – акумулятор, 12 – комп'ютер стаціонарний, 13 – осцилографічна приставка, 14 – монітор, 15 – вікно терміналу з відео-захопленням, 16 – вікно з обчисленими кількостями імпульсів K4, 17 – вікно осцилографа з осцилограмою імпульсів ІМП1 і ІМП2 та їх ширинами, 18 – вікно тахометра зі швидкістю обертання мотора

Камеру Raspberry Pi v2 використали у ролі фотоапарата, з отриманням і опрацюванням кожного наступного кадру за допомогою власної програми з інтервалом 1/30 секунди. Для зменшення тяги у приміщенні оригінальних для квадрокоптера з рамою Q450 пропелерів з розмірами 26×3 см використали суттєво менші пропелери з розмірами 10×1,5 см.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ФОТОПЕРЕСЛІДУВАННЯ

Використовуючи бортовий комп'ютер Raspberry Pi3, склали програму фотозахоплення і переслідування мовою Python. При цьому основою програмного забезпечення становила операційна система Raspbian. На рисунку 2 зображена блок-схема алгоритму фотозахоплення об'єкта і керування квадрокоптером при переслідуванні.

Після надання команди для пуску моторів (2) відбувається пошук зображення об'єкта на матриці камери (3) та його перетворення – проведення ряду операцій з метою надійного розпізнавання цього об'єкта (4). Якщо об'єкт розпізнано (5), програма обчислює параметри захопленого об'єкта (координати, розміри) (6) і передає команди автопілоту (7) для корегування траєкторії польоту. Від автопілота параметри польоту надаються на регулятори моторів і до осцилографа, при цьому лазерний тахометр записує швидкість обертання моторів (8).

Алгоритм знаходження об'єкта складається з ряду операцій. Для експериментальних досліджень використано колір об'єкта як основну характеристику при розпізнаванні. Процес перетворення передбачає перехід від кольорового (або в градаціях сірого) зображення до чорно-білого. Білі фігури означають предмети, колір яких знаходиться в межах потрібного. Розмір кожної білої фігури записується у масив contours. Застосовується функція max() для знаходження найбільшого контуру фігур. Найбільший контур вказує на розпізнаний об'єкт, який обводиться колом певного кольору, незалежно від форми об'єкта. Параметри цього кола висвітлюються у вікні програми на моніторі комп'ютера.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вперше отримано часові залежності п'яти параметрів фотопереслідування і керування квадрокоптером. До них відносимо переміщення зображення червоного диска по осі X (пікселі), створені програмою число імпульсів K4, які подаються бортовим комп'ютером Raspberry через систему телеметрії на автопілот Pixhawk, ширину імпульсів, які формуються автопілотом Pixhawk (мілісекунди), швидкість обертання моторів (оберти за хвилину), переміщення зображення лазерної плями по осі X (пікселі).

Як видно з графіків на рисунку 3, залежності а) переміщення зображення червоного диска по осі X і



Рис. 2. Блок-схема алгоритму фотозахоплення і переслідування об'єкта
 1 – початок програми, 2 – команда пуску моторів, 3 – отримання з відеокамери кадру, 4 – перетворення зображення і проведення ряду операцій з ним, 5 – перевірка чи об'єкт розпізнано на поточному кадрі, 6 – обчислення параметрів об'єкта та команд для повертання, 7 – подання команд автопілоту Pixhawk, 8 – подання інформації на осцилограф і тахометр

Висновки. Підсумовуючи результати експериментального випробування системи і програми фотопереслідування об'єкта – червоного диска в горизонтальній площині, можна стверджувати про те, що запропонована система і програмне забезпечення є достатніми для оцінки ступеня оптимізації процесів керування польотом безпілотного літального апарата при фотозахопленні і переслідуванні рухомого об'єкта у двовірному просторі. Отримані вперше часові залежності переміщення зображення диска і створені програмою числа імпульсів K4, які подаються бортовим комп'ютером Raspberry на автопілот PixHawk, свідчать про можливість продовження роботи у напрямку вивчення всіх параметрів, які характеризують повну систему фотозахоплення і переслідування, що стає метою наших наступних досліджень

Література

1. Чигінь В.І. Вдосконалення способу виявлення безпілотних літальних апаратів за результатами спектрального аналізу акустичних сигналів / В.І. Чигінь, М.М. Проценко, Ю.В. Шабатура, М.В. Бугайов // Військово-технічний збірник АСВ. – 2019. – № 20. – С. 58–63. – DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.20.2019.58-63>
2. Чигінь В.І. Вимірювання координат безпілотних літальних об'єктів з використанням звукової і відеоапаратури / В.І. Чигінь, П.Я. Михайлишин // V Всеукраїнська наук.-техн. конф. у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2019» м. Славське, 29 січ. – 2 лют. 2019 р. – С. 10–12.
3. Федішин Н. Дослідження звукової системи виявлення літальних об'єктів з використанням гармонік в акустичному сигналі / Федішин Назар, Чигінь Василь // Міжнар. конф. молодих вчених та аспірантів "ІЕФ-2017 / Інститут електронної фізики НАН України, м. Ужгород, 23–26 трав. 2017. – С. 13–15.
4. Чигінь В. Експериментальний безпілотний авіаційний комплекс для фотозахоплення / Василь Чигінь, Павло Михайлишин // Вісник Хмельницького Національного університету. – 2019. – № 2 (271). – С. 202–205.
5. Чигінь В. Експериментальні дослідження безпілотного авіаційного комплексу при

б) числа імпульсів K4, в основному, синхронно повторюють один одного. Так, в межах від 8 до 12 секунд диск плавно переміщався справа наліво, при цьому зображення зміщувалося в межах 250-160 пікселів, тобто до центру матриці камери. При цьому обчислене число імпульсів K4 синхронно зменшувалося в межах 1530-1460. У діапазоні часу 12–18 секунд диск не переміщався і число K4 не змінювало свого значення 1460. Після цього, в межах 18-22 секунд диск плавно переміщався направо, аж до положення зображення 280 пікселів. При цьому число імпульсів K4 синхронно збільшувалося до значення 1550. Затримки в часі числа K4 у порівнянні зі зміщенням X не спостерігається протягом одного циклу випробування.

Таким чином, отримані вперше результати свідчать про можливість продовження роботи у напрямку дослідження всіх параметрів, які характеризують систему фотозахоплення і переслідування.

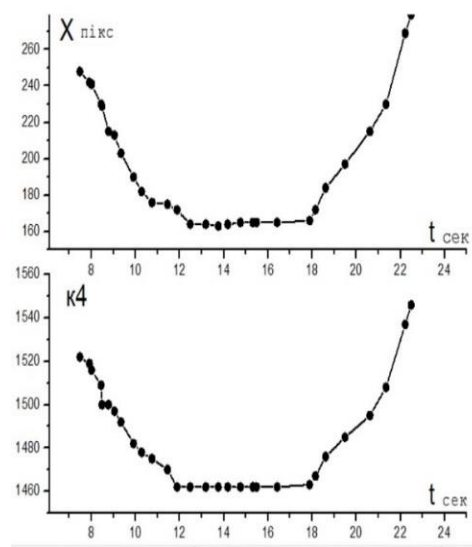


Рис. 3. Графіки часових залежностей а) переміщення червоного диска по осі X, б) створеною програмою чисел імпульсів K4, які подаються на автопілот PixHawk

фотозахопленні / Василь Чигін, Павло Михайлишин // Вісник Хмельницького Національного університету. – 2020. – № 3(285). – С. 170–174.

6. Глотов В. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для військових цілей / В. Глотов, А. Гуніна, Ю. Телешук // Фотограмметрія, геоінформаційні системи та картографія. – 2017. – Вип. 1 (33). – С. 139–146.

7. Лаврівський М.З. Розвиток безпілотних літальних апаратів в Україні та світі для виконання завдань цивільного захисту / М.З. Лаврівський // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – Т. 27, № 1. – С. 151–153.

8. Мясіщев О.А. Режими польоту контролерів польоту АРТ2.6 і Pixhawk БПЛА / О. А. Мясіщев, В.В. Швець // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1 (257). – С. 78–82.

9. Pixhawk [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://pixhawk.org/>

10. RaspberryPi [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.raspberrypi.org/products>

11. HardKernel [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.hardkernel.comshopodroid-c2>

12. Nastolnye-kompyutery Lattepanda [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://hotline.uacomputer-nastolnye-kompyuterylattepanda-lattepanda-2g32gb>

13. ArduPilot [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ardupilot.org/ardupilot/>

14. QgroundControl [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://qgroundcontrol.com/>

15. Автоматичне відстеження об'єкта на Python [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://robotos.in/uroki/avtomaticheskoe-otslezhivanie-ob-ekta-na-python>.

16. Ballon Finder [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.youtube.com/watch?v=yRmXwRqPesY&feature=youtu.be>.

17. Режим active track 2.0 на dji mavic 2 pro [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.youtube.com/watch?v=qEmd5g2fMcE&feature=youtu.be>

18. Експериментальна система DJI [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://vido.com.ua/article/12354/ekspierimentalnaia-sistiema-dji-pomoghaiet-priedotvrashchat-stolknovieniia->

19. dronov-zalogh-biezopasnogho-vozdushnogho-dvizhieniia/

References

1. Chyhin V.I. Vdoskonalennia sposobu vyjavlennia bezpilotnykh litalnykh aparativ za rezultatamy spektralnoho analizu akustychnykh syhnaliv / V.I. Chyhin, M.M. Protsenko, Yu.V. Shabaturo, M.V. Buhaiov // Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk ASV. – 2019. – № 20. – S. 58–63. – DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.20.2019.58-63>

2. Chyhin V.I. Vymiruvannia koordynat bezpilotnykh litalnykh ob'ektiv z vykorystanniam zvukovoi i videoaparatury / V.I. Chyhin, P.Ia. Mykhailishyn // V Vseukrainska nauk.-tekhn. konf. u tsaryni metrolii «Technical Using of Measurement – 2019» m. Slavske, 29 sich. – 2 liut. 2019 r. – S. 10–12.

3. Fedyshyn N. Doslidzhennia zvukovoi systemy vyjavlennia litalnykh ob'ektiv z vykorystanniam harmonik v akustychnomu syhnali / Fedyshyn Nazar, Chyhin Vasyl // Mizhnar. konf. molodykh vchenykh ta aspirantiv "IEF-2017 / Instytut elektronnoi fizyky NAN Ukrainy, m. Uzhhorod, 23–26 trav. 2017. – S. 13–15.

4. Chyhin V. Eksperymentalnyi bezpilotnyi aviatsiyni kompleks dlia fotozakhoplennia / Vasyl Chyhin, Pavlo Mykhailishyn // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 2 (271). – S. 202–205.

5. Chyhin V. Eksperymentalni doslidzhennia bezpilotnoho aviatsiinoho kompleksu pry fotozakhoplenni / Vasyl Chyhin, Pavlo Mykhailishyn // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2020. – № 3(285). – S. 170–174.

6. Hlotov V. Analiz mozhlyvostei zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia viiskovykh tsilei / V. Hlotov, A. Hunina, Yu. Teleshchuk // Fotohrammetriia, heoinformatsiini systemy ta kartohrafiia. – 2017. – Vyp. 1 (33). – S. 139–146.

7. Lavrivskiy M.Z. Rozvytok bezpilotnykh litalnykh aparativ v Ukraini ta sviti dlia vykonannia zavdan tsyvilnoho zakhystu / M.Z. Lavrivskiy // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. – 2017. – Т. 27, № 1. – S. 151–153.

8. Miasishchev O.A. Rezhymy polotu kontroleriv polotu АРТ2.6 i Pixhawk BPLA / O. A. Miasishchev, V.V. Shvets // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 1 (257). – S. 78–82.

9. Pixhawk [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://pixhawk.org/>

10. RaspberryPi [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.raspberrypi.org/products>

11. HardKernel [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.hardkernel.comshopodroid-c2>

12. Nastolnye-kompyutery Lattepanda [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://hotline.uacomputer-nastolnye-kompyuterylattepanda-lattepanda-2g32gb>

13. ArduPilot [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://ardupilot.org/ardupilot/>

14. QgroundControl [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://qgroundcontrol.com/>

15. Avtomatychne vidstezhennia ob'ekta na Python [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://robotos.in/uroki/avtomaticheskoe-otslezhivanie-ob-ekta-na-python>.

16. Ballon Finder [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.youtube.com/watch?v=yRmXwRqPesY&feature=youtu.be>.

17. Rezhym active track 2.0 na dji mavic 2 pro [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.youtube.com/watch?v=qEmd5g2fMcE&feature=youtu.be>

18. Eksperymentalna sistema DJI [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://vido.com.ua/article/12354/ekspierimentalnaia-sistiema-dji-pomoghaiet-priedotvrashchat-stolknovieniia-dronov-zalogh-biezopasnogho-vozdushnogho-dvizhieniia/>

Рецензія/Peer review : 14.10.2020 р.

Надрукована/Printed : 06.11.2020 р.