

УДК 621.396: 551.508

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-29

В. І. ЧИГІНЬ, П. Я. МИХАЙЛИШИН

Національна академія сухопутних військ ім. Петра Сагайдачного

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПЛОТНОГО АВІАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ПРИ ФОТОЗАХОПЛЕННІ

Створили методику, виготовили, відлагодили і провели експериментальні дослідження безпілотного авіаційного комплексу з використанням безпілотного літального апарата – гексакоптера при фотозахопленні і знешкодженні об'єкта. Гексакоптер виготовили на рамі Tarrot 680 з автопілотом Pixhawk PX4 і бортовим комп'ютером Raspberry Pi з власними програмами керування. Стандартні налаштування автопілота змінювали для оптимальної взаємодії з бортовим комп'ютером. Досліджували впливи елементів гексакоптера: регуляторів моторів, компаса, акселерометра, GPS-приймача і барометра на надійність роботи системи. Корегування польотом гексакоптера проводили в ручному і напівавтоматичному режимах з використанням програми Mission Planner. Систему програмного керування польотами тестували на відстанях до 100 метрів і висотах до 4 м, при яких забезпечувався надійний сигнал між WiFi-роутером наземної станції та адаптером бортового комп'ютера, а також при швидкостях польотів не більше 5 м/с.

Ключові слова: система керування, безпілотний літальний апарат, гексакоптер, автопілот, бортовий комп'ютер, регулятор моторів, компас, акселерометр, відеокамера, барометр.

V. CHYHIN, P. MYHAILYSHYN

Peter Sagaidachny National Academy of Land Forces

EXPERIMENTAL RESEARCH OF UNMANNED AERIAL VEHICLE CONTROL SYSTEM AT PHOTOCAPTURING

In a number of papers of one of authors, the possibility of creating a comprehensive system for the neutralization of another unmanned aircraft is considered. At the first stage of UAV detection, sound devices are used. Then its coordinates, direction and speed are measuring with the help of a stationary video system. Then the flight of own UAV takes place to the extrapolated coordinates of the stranger one. When capturing a UAV, it is chased by a special program installed on the onboard computer. In the end, the another unmanned aircraft will be neutralized in a cheaper way, for example, using a grid thrower. Authors did not find in the available literature information about study of such method.

Therefore, in this work the experimental research of the unmanned aerial vehicle control system at photocapturing and destroying of the object was carried out. For this the hexacopter on the Tarrot 680 frame using autopilot PixHawk PX4 was made. PixHawk has an open code, making it possible to connect an additional board computer Raspberry Pi 3 with own control programs. The programs were written in Python in the Linux operating system. Standard libraries such as Dronekit, Mavproxy, and OpenCV were used. Standard autopilot settings have been changed for optimal interaction with the onboard computer. When software control is used, sensor data were converted to corresponding commands for the flight controller due to the Mavlink protocol. Various scenarios of the flight were made and tested.

Influences of the hexacopter elements (motors' regulators, video cameras, as well as sensors - compass, accelerometer, GPS receiver and barometer) on the reliability of the system were studied. Correction of hexacopter flight was carried out in manual and semi-automatic modes using the Mission Planner program. The program control system was tested at distances up to 100 meters and at heights up to 4 m. This provided a reliable signal between the WiFi router of the ground station and the onboard computer adapter. The speed of copper flights was not greater than 5 m/s. The results of the testing of the control system testify to the positive performance of its work at photocapturing and destroying of the object.

Keywords: control system, unmanned aerial vehicle, hexacopter, autopilot, trip computer, motor controllers, compass, accelerometer, video camera, barometer

Постановка проблеми. Досі автори проводили вимірювання параметрів польоту безпілотного літального апарату (БПЛА): координат, напрямку і швидкості руху, – за допомогою стаціонарної відеосистеми [1, 2]. У праці [3] описали можливість польоту власного БПЛА за екстрапольованими координатами іншого, а також його знешкодження дешевшим способом з використанням сіткомета. При цьому не розглядали питання керування польотом власного БПЛА при фотозахопленні БПЛА противника, зокрема, з використанням бортової відеокамери і бортового комп'ютера. Автори не виявили в наявній літературі інформації про дослідження такого типу. Тому у цій роботі опрацювали і виготовили експериментальний безпілотний авіаційний комплекс з використанням гексакоптера з рамою Tarrot 680 і автопілотом Pixhawk PX4, для дослідження процесів фотозахоплення і знешкодження іншого БПЛА у польоті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В українських публікаціях описуються, в основному, БПЛА літакового типу. Так, у статті [4] автори проаналізували можливості та обмеження застосування тактичних безпілотних авіаційних комплексів, розглянуто основні тенденції їх удосконалення і оснащення ними Сухопутних військ України. Автори не розглядають питання використання безпілотних літальних апаратів типу мультикоптери.

У роботі [5], яка за суттю є найближчою до нашої, порівнюються сучасні контролери польоту Pixhawk та АРМ 2.6, показано можливості їх використання у різних режимах польоту мультикоптерів. Оглянуто основні сенсори (акселерометр, гіроскоп, барометр, магнітометр), на основі показників яких задається стабілізація польоту. Проте, автор не торкається проблем практичного відлагодження електронної апаратури і керування мультикоптерів.

На сайті виробника контролера польоту Pixhawk та його програмного забезпечення [6] та у відеоматеріалах [7] можна знайти окремі інструкції щодо відлагодження БПЛА і систем його керування,

описано деякі практичні кроки відлагодження систем стабілізації, керування та зв'язку. Виходячи з наведеного, для експериментальних досліджень системи керування безпілотним літальним апаратом при фотозахопленні, фотопереслідуванні і знешкодженні іншого БПЛА вважали за доцільним використати експериментальний безпілотний авіаційний комплекс на базі гексакоптера з рамою Tarrat 680, автопілотом Pixhawk PX4, бортовим комп'ютером (БК) Raspberry Pi і відеокамерою Raspberry Pi V2.

Мета роботи – дослідити систему керування макета безпілотного авіаційного комплексу на базі гексакоптера і наземної станції (пульта керування, ноутбука і бездротової системи зв'язку), на предмет надійності польотів. Відлагодити різні режими польотів і випробувати БПЛА при ручному, напівавтоматичному і програмному керуванні з фотозахопленням і знешкодженням повітряних об'єктів.

Виклад основного матеріалу ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ БПЛА

Програма Mission Planner. Для напівавтоматичного керування польотами, початкового і повторного налаштування параметрів регуляторів обертів моторів і сенсорів коптера використовували програму Mission Planner, встановлену на ноутбуці. Покрокова інструкція налаштування описана на сайті виробника автопілота [6].

Програма Mission Planner дає можливість керувати БПЛА, не вдаючись за допомогою до пульта керування. У вікні карти на моніторі ПК можна вказати на точку бажаного місця і вибрати «Fly To Here». Гексакоптер полетить у задану точку і зависне в очікуванні наступної команди. Це – режим польоту «Guided Mode». Наступними можуть бути команди переміщення в іншу точку, або перемикання в інший режим. В режимі Auto політ за маршрутом відновиться з тієї точки, де він був перерваний. Оператор може попередньо обрати на карті всі точки, які мають тактичне значення, створити певний маршрут пролітання, і вказати на об'єкти, на які коптер повинен повертати камеру під час проходження місії, висоту польоту, швидкість пролітання між точками і т.п.

Недоліком програми Mission Planner є неможливість створення траєкторії польоту з врахуванням фотозахоплення, створити сценарій фотопереслідування і виконання дії знешкодження.

Власні програми керування. Для створення системи програмного керування гексакоптером у комп'ютері Raspberry Pi інсталивали робоче середовище Linux і власні програми керування при фотозахопленні і знешкодженні об'єкта, написані мовою Python. При цьому використали такі стандартні бібліотеки, як Dronekit, Mavrogoxu, а також OpenCV [6].

Склали програму керування безпілотним літальним апаратом за алгоритмом (рис. 1).

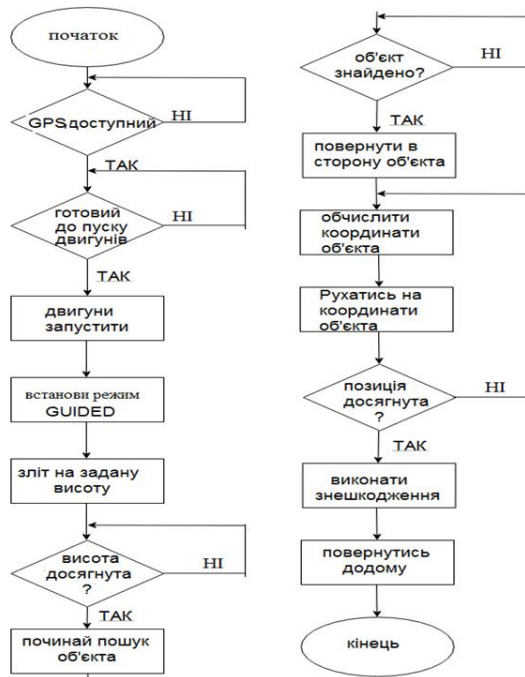


Рис. 1. Алгоритм для програми польоту з фотопереслідуванням

Він включає такі сценарії польоту, як підняття коптера на певну висоту, зависання на певний час, обертання навколо своєї осі, політ до об'єкта у випадку його фотозахоплення, виконання дії знешкодження при перевищенні розміру зображення об'єкта над заданим. Дані сенсорів перетворюються у відповідні команди для польотного контролера за допомогою протоколу Mavlink [6].

МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для експериментального дослідження БПЛА використовували виготовлений макет комплексу (рис. 2), який включає гексакоптер 6, контролер польоту Pixhawk 8, бортовий комп'ютер Raspberry Pi 7, GPS-модуль 1, шість моторів з регуляторами обертів 9 і три акумуляторні батареї 5. Для керування коптером

в різних режимах польотів використовували пульт керування 2, ноутбук 3 і WiFi роутер 4. При програмному керуванні використовували комп'ютер Raspberry Pi з власною програмою із певним сценарієм польоту, пульт керування 2, ноутбук 3 і WiFi роутер 4.

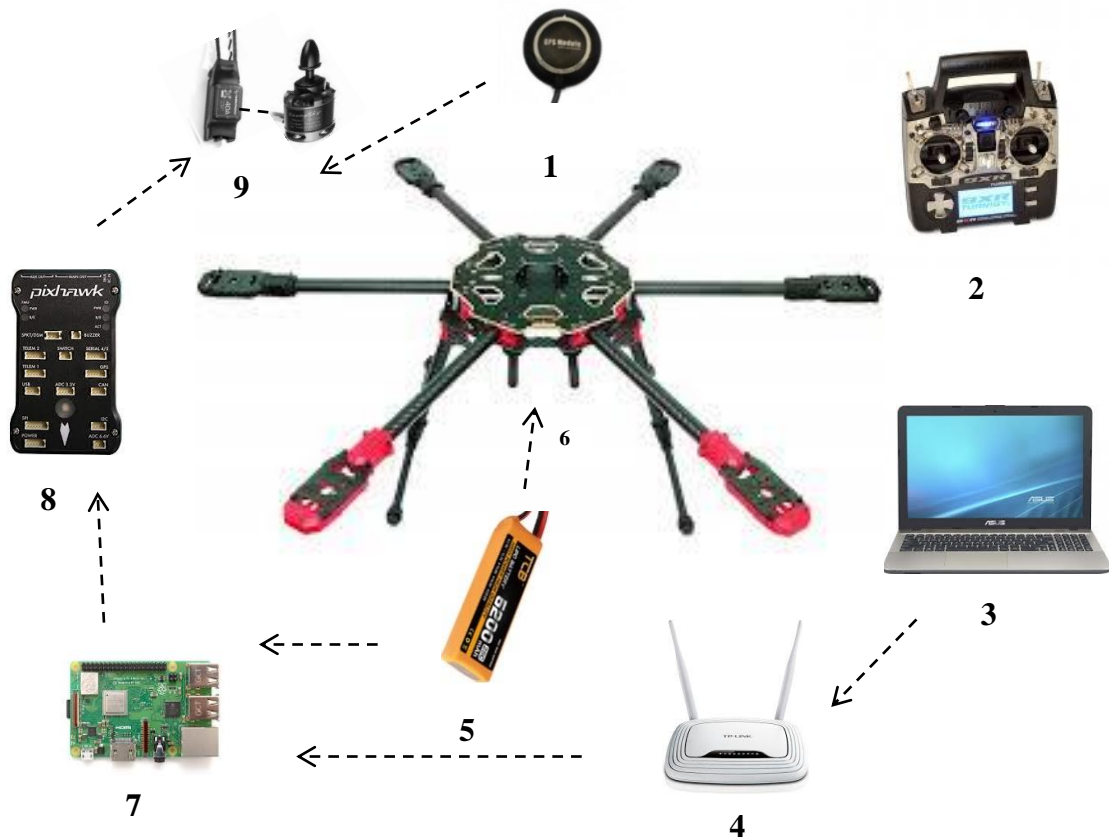


Рис. 2. Схема макета безпілотного авіаційного комплексу:
 1 – GPS-модуль, 2 – пульт керування, 3 – ноутбук, 4 – WiFi роутер, 5 – акумуляторна батарея, 6 – рама гексакоптера, 7 – бортовий комп'ютер, 8 – автопілот, 9 – мотор і регулятор обертів

До пуску системи попередньо перевіряли налаштування усіх елементів. При цьому особливу увагу звертали на налаштування сенсорів гексакоптера. Перевіряли наявність сигналів від не менше шести супутників для надійного позиціонування на карті. Для цього використали програму Mission Planner, встановлену на ноутбуці. Сигнали супутників ненадійно проходять у сильно забудованій місцевості, у зв'язку з чим може відбутись падіння коптера.



Рис. 3. Фотографія пострілу сіткою

Зв'язок між ноутбуком і бортовим комп'ютером здійснювали за допомогою WiFi роутера. При цьому ставало можливим пускати і відлагоджувати програму керування з монітора ноутбука.

Пуск моторів і піднімання коптера попередньо виконували трьома способами – ручним (за допомогою пульта), напівавтоматичним (з використання програми Mission Planner) і програмним з використанням бортового комп'ютера. Систему керування польотом тестували на відстанях до 100 метрів і

висотах до 4 м, при яких забезпечувався надійний сигнал між WiFi-роутером наземної станції та адаптером бортового комп'ютера Raspberry Pi, а також швидкостях польотів не більше 5 м/с.

Для тестування процесів фотозахоплення і знешкодження використали складену програму керування за алгоритмом (рис. 1), а також повітряну кульку червоного кольору діаметром 0,5 м, яка знаходилась на жердині висотою 3 м і відстані від коптера порядку 15 м (рис. 3). У випадку фотозахоплення програма обчислювала дані про кульку (розмір у пікселях і віддаль у метрах), які висвітлювались у вікні програми на моніторі ноутбука. При цьому на зображенні кульки відображається коло іншого кольору, яке повторює її контур.

Як тільки розмір зображення кульки ставав більшим від заданого, програма запускала систему GPIO, яка подавала напругу живлення на електроспалахувач сіткомета. Відбувалося загоряння порошу та викидання сітки розміром 3×3 метра (рис. 3). Сітка накривала кульку, що імітувало накидання її на пропелери коптера противника і припинення його польоту. При багатократних експериментах виявили, що після падіння коптера навіть із незначної висоти, можуть виходити з ладу його окремі елементи. Появляється несинхронність роботи двигунів, «зависання» польотного контролера і збій його налаштувань.

Для відновлення роботи регуляторів двигунів та сенсорів гексакоптера входили у режим налаштування. Для цього використовували програму Mission Planner. Для налаштування регуляторів моторів за допомогою програми Mission Planner потрібно з'єднати Pixhawk з портом COM 3 за допомогою USB кабеля. Обрати у програмі потрібний номер COM порта і встановити з'єднання між програмою та автопілотом. У вкладці INITIAL SETUP та у групі налаштувань Mandatory Hardware обрати Calibration та натиснути кнопку Calibrate.

Барометр не дає точних показань малих висот (8-10 метрів), оскільки слабо реагує на різницю тиску в цьому випадку. Це ускладнює керування та майже унеможливує політ за координатами в автоматичному режимі. Коптер слід посадити на землю вчасно до моменту розряду акумулятора.

Висновки. Макет безпілотного літального комплексу, створений на базі гексакоптера з рамою Targot 680 з використанням автопілота Pixhawk PX4 та бортового комп'ютера Raspberry Pi, дозволив провести експериментальні дослідження системи ручного, напівавтоматичного та програмного керування при фотозахопленні та знешкодженні об'єкта. Для виконання напівавтоматичного керування, а також налаштування окремих елементів коптера використали стандартну програму Mission Planner.

Програми керування, написані мовою Python в операційній системі Linux, дозволили виконати окремі сценарії польоту, зокрема, підняття коптера на певну висоту і зависання на певний час, а також політ до об'єкта з відомими GPS-координатами і виконання дії знешкодження за допомогою сіткостріла.

Систему протестували на відстанях гексакоптера від наземної станції до 100 метрів і висотах до 4 м, а також при швидкостях польотів до 5 м/с. Виявили суттєві впливи регуляторів моторів, компаса, акселерометра, GPS-приймача і барометра на надійність пуску і польоту гексакоптера. У випадку виходу його з ладу слід приділити особливу увагу повторному налаштуванню цих елементів.

Автори працюють над удосконаленням макета безпілотного літального комплексу, зокрема, над програмою об'єднання процесів фотозахоплення, фотопереслідування і знешкодження при більших швидкостях польоту та дальших відстанях.

Література

1. Федішин Н. Дослідження системи вимірювання координат об'єкта за допомогою фотосистеми, цифрового теодоліта і gps-приймача / Н. Федішин, Василь Чигінь // Міжнар. конф. молодих вчених та аспірантів «ІЕФ-2017», м. Ужгород, 23–26 трав. – 2017. – С. 10–12.
2. Чигінь В.І. Дослідження і модифікація системи та алгоритму виявлення і відстеження рухомих об'єктів у потоці відеоданих / В.І. Чигінь, Н.Г. Федішин // Збірник тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ». – Львів : НАСВ, 2017. – С. 118.
3. Чигінь В.І. Експериментальні дослідження ефективності захисних пристроїв проти безпілотних літальних апаратів / В.І. Чигінь, С.М. Свідерок, Ю.В. Шабатура, А.Ю. Тарасенко // Збірник тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ». – Львів : НАСВ, 2017. – С. 117.
4. Сальник Ю.П. Тактичні безпілотні авіаційні комплекси: можливості та обмеження у застосуванні / Ю.П. Сальник, І.В. Матала, В.А. Онищенко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 1(18). – С. 23–28.
5. Мясіщев О.А. Режими польоту контролерів польоту APT2.6 і Pixhawk БПЛА / О. А. Мясіщев, В.В. Швець // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1 (257). – С. 78–82.
6. ArduPilot [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ardupilot.org/ardupilot/>
7. RC School models [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://plus.google.com/u/0/+RCSchoolmodels>

References

1. Fedyshyn Nazar, Chyhin Vasyl. Investigation of the system of measuring the coordinates of an object using a photo system, digital theodolite and gps-receiver. International conf. Young Scientists and Postgraduates "IEF-2017". Institute of Electronic Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Uzhhorod, May 23–26. 2017. P. 10–12.

-
2. Chyhin V.I., Fedyshyn N.G. Research and modification of the system and algorithm for detecting and tracking moving objects in a video stream. Collection of Abstracts of International reports. Sci.-Tech. conf. "Prospects for the Development of Arms and Military Equipment of the Land Forces". – Lviv: NALF, 2017. p.118
 3. Chyhin V.I., Sviderok S.M., Shabatura Yu.V., Tarasenko A.Yu. Experimental studies of the effectiveness of protective devices against unmanned aerial vehicles. Collection of Abstracts of International reports. Sci.-Tech. conf. "Prospects for the Development of Arms and Military Equipment of the Land Forces". – Lviv: NALF, 2017. p. 117
 4. Yu.P. Salnik, I.V. Matala, V.A. Onishchenko. Tactical Unmanned Aerial Systems: Opportunities and Limitations in Use. Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, 2015, No. 1 (18). Pp. 23–28.
 5. Myasishchev O.A. Flight controlling flight modes APT 2.6 and Pixhawk UAV / O.A. Mjasishchev, V.V. Shvov // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. - 2018 - No. 1 (257). - P. 78–82.
 6. ArduPilot. URL: <http://ardupilot.org/ardupilot/>
 7. RC School models. URL: <https://plus.google.com/u/0/+RCSchoolmodels>

Надійшла / Paper received: 17.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020