

ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ОБ'ЄКТІВ БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

¹Вінницький національний технічний університет

Розглянуто проблему захисту та оцінювання стану об'єктів. Наведено переваги застосування безпілотних літальних апаратів для охорони та оцінювання стану об'єктів.

Оцінювання стану об'єктів можна адекватно провести за допомогою таких операцій як фільтрація, виділення контуру, вирівнювання, виділення об'єктів зображення, скелетування, визначення кольору та інтенсивності зображення. Зазначені операції, особливо в комплексі, дозволяють покращити якість загальної обробки зображень, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів.

Розглянуто основні ознаки безпілотних літальних апаратів, які дозволяють виконувати моніторинг стану об'єктів з подальшим їх оцінюванням. До них відносять тактичні; мало або середньорозмірні; малої, середньої чи великої тривалості польоту; маловисокі; з літаковою або гелікоптерною аеродинамічною схемою; наземного чи морського базування; військові або цивільні; горизонтального чи вертикального підйому / посадки; багаторазові та з широким діапазоном радіусу дії.

Розроблено структурну схему та наведено алгоритм роботи блока моніторингу безпілотного літального апарата для оцінювання стану об'єктів з подальшою можливістю модернізації за рахунок удосконалення складових частин. Розглянуто основні складові блока моніторингу, а саме: головний контролер, відеокамера, модуль живлення, датчики стабілізації, контролер мосту, драйвери напівмосту, модуль FPV, який так само складається з відеокамери FPV модуля, передавача, антени та модуля живлення. Наведено основні параметри та функції складових частин блока моніторингу, запропоновано можливі аналоги для головних складових, а саме відеокамери та головного контролера.

На прикладі вихідного зображення розглянуто операції оцінювання стану об'єктів за зображенням, отриманим за допомогою безпілотних літальних апаратів, та проаналізовано їхні результати.

Ключові слова: блок моніторингу, безпілотні літальні апарати, класифікаційні ознаки, структурна схема, обробка зображення.

Вступ

Особливістю сьогодення стало питання забезпечення безпеки в суспільстві. Причому це пов'язано з безпекою як самої людини, так і її майна, адже саме останнє найчастіше є об'єктом зазіхань зловмисників. Крім цього, становить небезпеку їх проникнення на території, де може знаходитись людина чи її майно.

Проблема забезпечення безпеки стимулює активне створення нових та вдосконалення вже існуючих систем захисту. Враховуючи розвиток технологій та сфер, суміжних з ними, є багато варіантів щодо способів вирішення цієї проблеми. До них відносять застосування систем контролю доступу та систем відеоспостереження, використання безпілотних літальних апаратів тощо.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА), згідно з термінологією, є будь-якими авіаційними літальними апаратами без пілота (екіпажу) на борту і призначені для виконання завдань, властивих пілотованим літальним апаратам [1]. БПЛА характеризуються такими перевагами: відсутність необхідності в екіпажі та системах його життєзабезпечення, аеродромах; відносна невисока вартість і низькі витрати на створення БПЛА, їхнє виробництво та експлуатацію; порівняно незначні масогабаритні параметри в поєднанні з високою надійністю, значною тривалістю і дальністю польоту, маневреністю та переліком цільового спорядження, яке може бути розміщене на борту тощо [2]. Весь цей масив переваг БПЛА зумовлений їх високою технологічністю, що дозволяє активно їх залучати в сферу забезпечення безпеки. Цьому сприяє ще одна особливість БПЛА, яка полягає в тому, що, крім конструкційних та експлуатаційних переваг, на них можна розміщувати різномані-

тне обладнання, яке здійснює моніторинг та оцінку стану об'єктів з подальшою обробкою та аналізом отриманої інформації. Причому, під станом об'єкта може розумітися як його цілісність чи наявність, так й інші показники — ступінь ураження, рівень забруднення, оцінка ступеня та розмірів зон руйнування, ступінь завантаженості, імовірність порушення границь тощо. Наприклад, моніторинг полів, лісів, водойм, аналіз стану зон стихійного або техногенного лиха, спостереження за складами з технікою, інфраструктурою, різноманітними межами тощо.

Метою роботи є оцінка стану об'єктів за допомогою розробленого блока моніторингу БПЛА.

Основна частина

БПЛА, які здійснюють моніторинг об'єктів, оцінюють їхній стан за рахунок обробки відеоінформації та аналізу отриманого відеокадру (зображення) для покращення змістовної інформації, яка буде вилучена з нього.

Обробка зображень має надзвичайно важливе значення в сучасній науці та техніці, тому широко використовується в усіх галузях промисловості та мистецтва, причому активно розвивається та вдосконалюється. Цей постійний розвиток дозволяє вирішувати широке коло завдань, таких як поліпшення якості, розпізнавання, стиснення, вимірювання параметрів зображення, спектральний аналіз багатомірних сигналів тощо.

Оцінювання стану об'єкта за допомогою БПЛА проводиться так. Спочатку оператор виводить БПЛА на точку фотографування чи відеозйомки, потім здійснюється моніторинг об'єкта за допомогою наявного цільового обладнання, після чого отримана інформація або транслюється в режимі реального часу, або зберігається на карті пам'яті. Подальша її обробка може здійснюватись онлайн, але це вимагає значних потужностей і спричиняє тривалі затримки в передачі сигналу та знижує надійність керування БПЛА. Тому набагато простіше здійснювати обробку інформації, яка записана на карту пам'яті, після повернення БПЛА за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для оцінювання стану об'єкта.

Отримання інформації для обробки та подальшого оцінювання стану об'єктів здійснюється за допомогою спеціалізованих БПЛА [3]. Особливістю таких безпілотних апаратів є те, що вони повинні відповідати певним ознакам, які дозволяють виконувати моніторинг стану об'єктів з подальшим їх оцінюванням. До них відносять тактичні (дальність польоту — 80 км); мало або середньорозмірні (від 200 до 2000 кг); малої (до 6 год), середньої (від 6 до 12 год) чи великої тривалості польоту (більше 12 год); маловисокі (до 1 км); з літаковою або гелікоптерною аеродинамічною схемою; наземного чи морського базування; військові або цивільні; горизонтального чи вертикального підйому / посадки; багаторазові та з широким діапазоном радіуса дії.

Ці літальні апарати структурно можна поділити на декілька функціональних блоків, основним з яких є блок моніторингу стану об'єктів, який включає сучасні модулі та компоненти, що забезпечують обробку, передачу та збереження інформації. Відповідно до цього розроблено блок моніторингу стану об'єктів, структурна схема якого показана на рис. 1.

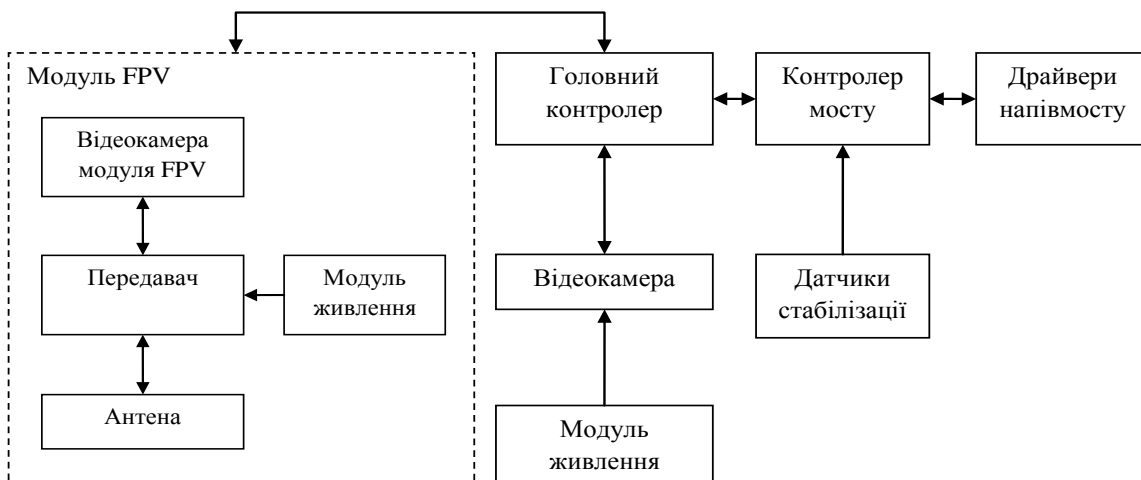


Рис. 1. Структурна схема блока моніторингу БПЛА

Модуль FPV є багатокомпонентною системою управління [4], реалізованою за допомогою декількох технологій. Одна з них реалізовує захоплення зображення, друга здійснює обробку отри-

маних даних, їх доповнення за необхідності інформацією, отриманої з датчиків для реалізації сполученої технології OSD [5], а третя відповідає за бездротову передачу і прийом сигналу для донесення картини кінцевому користувачу (оператору). Всі технології реалізовані на основі компонентів та модулів, послідовність взаємодії яких така: відеокамера захоплює зображення та передає його на обробку графічному відеоконтролеру, який розташований в самій камері. Він обробляє відеокадр та перетворює його у відповідний сигнал для передачі через передавач, який у сукупності з антеною здійснює пересилання за допомогою відповідного протоколу передачі даних на приймач, який перетворює сигнал у початковий стан і відтворює його на дисплеї оператора.

Відеокамера модуля FPV містить у собі матрицю CDD типу, що має меншу затримку (приблизно 50 мс) [6], стійкість до вібрацій, швидшу адаптацію до зміни світла та широкий динамічний діапазон. Це дозволяє мінімізувати рівень шуму та спотворень на зображенні.

Передавач — це пристрій, що реалізує перетворення аналогового сигналу від камери та його передачу на відповідний відеоприймач [7]. Основними параметрами такого передавача є вихідна потужність, яка варіюється в діапазоні 25...600 мВ у відповідності до протяжності польоту, та діапазон безпроводного сигналу в межах 1,3 ГГц, 2,4 ГГц та 5,8 ГГц.

Антену для модуля FPV перетворює електромагнітне випромінювання [8] в електричний сигнал і навпаки. Вона забезпечує бездротовий зв'язок між передавачем та приймачем і є важливим елементом, адже дуже сильно впливає на якість сигналу і радіус чіткого прийому.

Модуль живлення — це сукупність плати розподілення живлення та акумуляторної батареї. Плата дозволяє створити електричну мережу з'єднань декількох компонентів. Живлення відеокамери модуля FPV здійснюється від приймача, який в свою чергу живиться від плати і розрахований на 12 В.

Датчики стабілізації призначені для переведення БПЛА у стан рівноваги за рахунок вимірювання [9] кутових координат та вирівнювання положення камери для відеозйомки. За це відповідає сукупність інерційних сенсорів: трьохосьовий акселерометр, трьохосьовий гіроскоп та трьохосьовий магнітометр. Така комбінація дає змогу зменшити габарити та споживання енергії, зберігаючи високу точність. Вимірювання проводяться у діапазоні $2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$ g для акселерометра, $\pm 125/\pm 245/\pm 500/\pm 1000/\pm 2000$ °/с для гіроскопа та $2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$ ° для магнітометра.

Відеокамера призначена для моніторингу стану об'єктів, тому повинна мати високу роздільну здатність не менше 12 Мп для фото- та відеозйомки, можливість запису 4К відео, високий динамічний діапазон, частоту кадрів більше 30 к/с та можливість запису в умовах поганої освітленості [10].

Модуль живлення — це сукупність акумуляторної батареї та її індикатора заряду. Акумуляторна батарея повинна мати високу ємність для тривалого часу роботи відеокамери та низький саморозряд. Цим вимогам відповідають літій-полімерні та літій-іонні акумулятори.

Контролер мосту та драйвер напівмосту являють собою систему, призначену для вирівнювання положення відеокамери під час польоту та маневрування БПЛА. Головною їхньою характеристикою є швидкодія для обробки та реагування на отриману інформацію від плати датчиків стабілізації.

Найважливішим компонентом блока моніторингу БПЛА є головний контролер, який виконує функції контролеру польоту, і за допомогою блока FPV приймає відеосигнал з подальшою обробкою та керує положенням відеокамери. Враховуючи підключення двох відеокамер, контролер повинен містити потужний графічний процесор високої продуктивності, забезпечувати смугу пропускання до 2,5 Гбіт/с та обробку 1,4 гігапікселя в секунду, а також здійснювати запис відео в 4К при 60 кадрах в секунду [11]. Забезпечуючи обробку відеоінформації згідно з вищенаведеними операціями з оцінювання стану об'єкта, головний контролер аналізує прийнятий відеокадр і обробляє його.

Роботу блока моніторингу стану об'єктів, який передбачає запис отриманої інформації на карту пам'яті, можна проілюструвати у вигляді алгоритму, схема якого показана на рис. 2.

Спочатку перевіряється карта пам'яті на наявність вільного місця для зберігання фотоінформації. Якщо місце на карті відсутнє, то відбувається її форматування. Потім дані надходять від датчиків, які визначають положення камери за допомогою серводвигунів. Якщо камера займає правильне положення, тоді відбувається фотографування з подальшим зберіганням зображення у карті пам'яті.

Збережене зображення з поверненням БПЛА може оброблятися оператором шляхом виконання спеціальних операцій над зображенням, які дозволяють оцінити стан об'єкта. До таких операцій відносять фільтрацію, виділення контуру, вирівнювання, виділення об'єктів зображення, скелетування, визначення кольору та інтенсивності зображення. Зазвичай здійснюють оброблення зображення однією або двома операціями [12], [13], але саме виконання всіх вищенаведених операцій в

комплексі дозволяє правильно оцінити стан об'єкта.

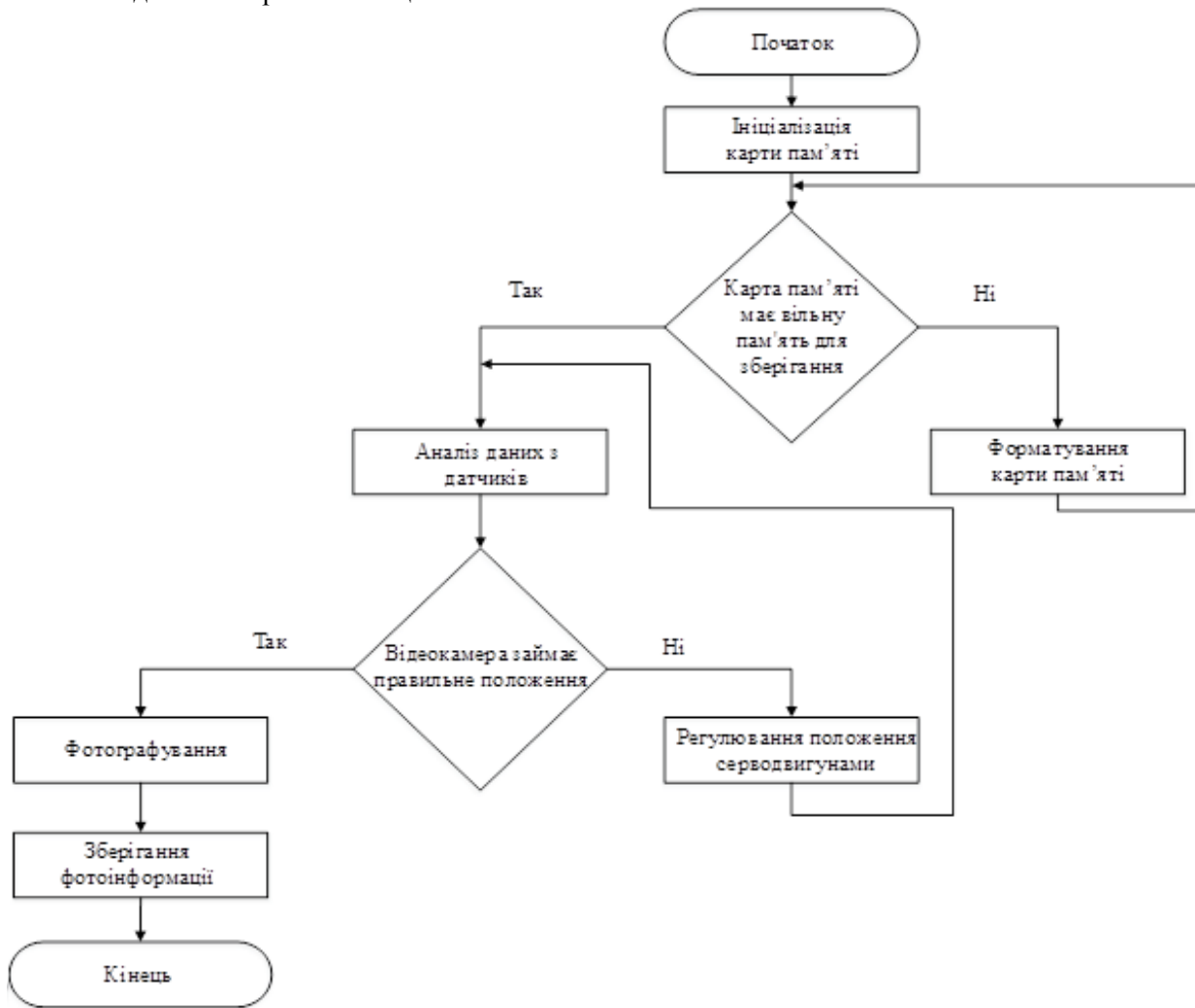


Рис. 2. Алгоритм роботи блока моніторингу БПЛА

Розглянемо на прикладі вищенаведені операції для оцінювання стану об'єктів за зображенням, отриманим за допомогою БПЛА, який містить запропонований блок моніторингу.

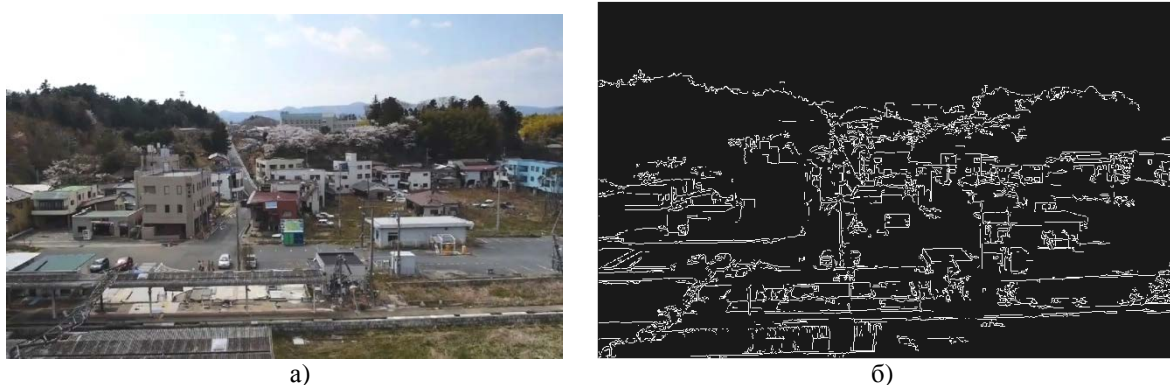
Фільтрацію вихідного зображення (рис. 3а) наведено на рис. 3б.



Рис. 3. Фільтрація зображення

Як видно з рисунка, фільтрація зображення (у випадку, що розглядається, за допомогою фільтра Гаусса) дозволяє знизити рівень шуму на вихідному зображенні.

Виділення контуру об'єктів вихідного зображення (рис. 4а) показано на рис. 4б.



а) б)

Рис. 4. Виділення контуру об'єктів зображення

Виділення контуру об'єктів зображення (в нашому випадку за допомогою детектора Кенні) дозволяє з високою точністю виявити контури та положення об'єктів на зображенні.

Вирівнювання вихідного зображення (рис. 5а) показано на рис. 5б.



а) б)

Рис. 5. Вирівнювання зображення

Як видно з рисунка, вирівнювання дозволяє виявити приховані деталі вихідного зображення за рахунок більшої контрастності та усунення кольорового градієнта в отриманому зображенні.

Виділення об'єктів вихідного зображення (рис. 6а) показано на рис. 6б.



а) б)

Рис. 6. Виділення об'єктів зображення

Виділено частину вихідного зображення, а саме будинок, що знаходиться на розі.

Скелетування вихідного зображення (рис. 7а) показано на рис. 7б.

Скелетування дозволяє окреслити рівень горизонту, дерев та будівель в протизагу рівню хмар.

Визначення кольору вихідного зображення (рис. 8а) показано на рис. 8б.

Як видно з рисунка, вихідне зображення представлено в чорно-білому вигляді, де білий колір відповідає синім пікселям, кількість яких буде підраховано, а чорний – всім іншим пікселям. Після

порівняння всіх пікселів встановлено, що синій колір складає 58 % всього зображення.

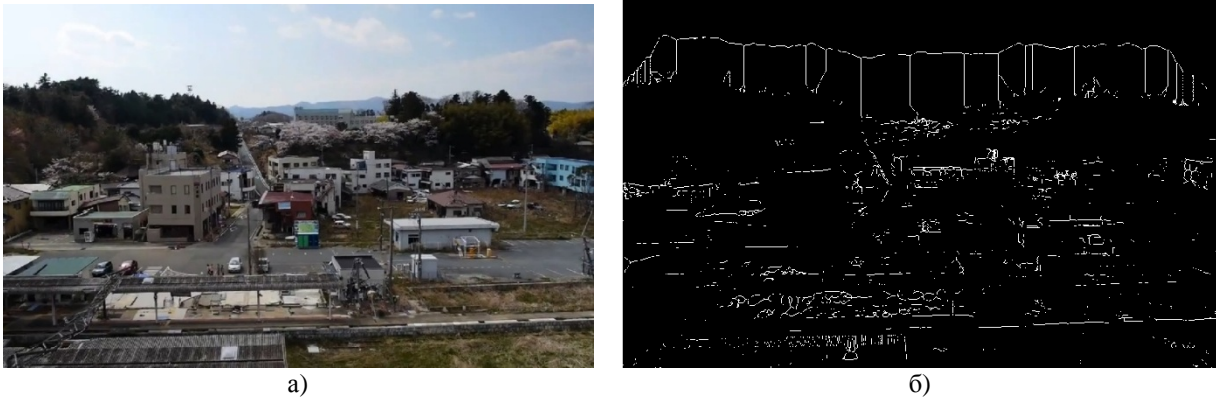


Рис. 7. Скелетування зображення



Рис. 8. Визначення кольору зображення

Виділення інтенсивності вихідного зображення (рис. 9а) за допомогою накладання функції інтенсивності показано на рис. 9б, а вектора рівнів — на рис. 9в.



Рис. 9. Виділення інтенсивності зображення

Як видно з рис. 9, виділення інтенсивності зображення, як і вирівнювання, дозволяє оптимізувати зображення, тобто виявити приховані деталі за рахунок контрастності та усунення кольорового градієнта.

Таким чином, після виконання всіх операцій для оцінювання стану об'єктів за зображенням, отриманим за допомогою БПЛА, який містить запропонований блок моніторингу, можна отримати інформацію про цілісність цих об'єктів, їх положення в просторі, виділяти межі й області на зображенні та окремі об'єкти для додаткового дослідження, визначати кольори та важливі приховані деталі. Варто зазначити, що весь цей масив інформації отриманий шляхом використання вищеведених операцій в комплексі, а не поодиночі.

Висновок

Розроблено блок моніторингу БПЛА для оцінювання стану об'єктів з подальшою можливістю модернізації за рахунок удосконалення складових частин. Наведено його структурну схему та алгоритм роботи. Розглянуто основні складові блока моніторингу, а саме: головний контролер, відеокамера, модуль живлення, датчики стабілізації, контролер мосту, драйвери напівмосту, модуль FPV, який так само складається з відеокамери FPV модуля, передавача, антени та модуля живлення. Наведено основні параметри та функції складових частин блока моніторингу, запропоновано можливі аналоги для головних складових, а саме відеокамери та головного контролера. На прикладі вихідного зображення розглянуто операції для оцінювання стану об'єктів за зображенням, отриманим за допомогою БПЛА із запропонованим блоком моніторингу, та проаналізовано їхні результати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Міністерство економічного розвитку і торгівлі України (2013, серп. 22). Наказ № 1010. Техніка авіаційна військової призначеності. Апарати літальні безпілотні. Основні терміни, визначення понять і класифікація: ДСТУ В 7371:2013. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://62.149.27.196/DSTU-V-7371-2013-nrm27099.html>.
- [2] Б. П. Книш, Я. А. Кулик, та М. В. Барабан, «Класифікація безпілотних літальних апаратів та їх використання для доставки товарів.» *Вісник Хмельницького національного університету*, № 1, с. 246-252, 2018.
- [3] Б. П. Книш, та М. А. Алексеев, «Безпілотні літальні апарати для охорони об'єктів.» в *Підсумки 48-ї регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-firtzp/all-firtzp-2019/paper/view/6833/5744>. Дата звернення: Квіт. 15, 2019.
- [4] Welcome to the world of FPV Multirotors! [Online]. Available: <https://www.getfpv.com/learn/new-to-fpv/fpv-beginner-guide>. Accessed on: May 1, 2019.
- [5] How to choose osd for QUADCOPTER. [Online]. Available: <https://oscarliang.com/best-osd-quadcopter-fpv-data-on-screen-display-video>. Accessed on: May 2, 2019.
- [6] Как правильно выбрать камеру для квадрокоптера: все тонкости и нюансы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://drongeeek.ru/sravnenie/kamera-dlya-kvadrokoptera>. Дата обращения: Апрель. 16, 2019.
- [7] Видеопередатчик (VTX) для квадрокоптера, что нужно знать. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://profpv.ru/videoperedatchik-dlya-kvadrokoptera>. Дата обращения: Апрель. 17, 2019.
- [8] Выбираем антенну для FPV коптеров. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://blog.rcdetails.info/vybiraem-antennu-dlya-fpv-kopterov/#what-is-fpv-antenna>. Дата обращения: Апрель. 18, 2019.
- [9] How Do Drones Work And What Is Drone Technology. [Online]. Available: <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/what-is-drone-technology-or-how-does-drone-technology-work>. Accessed on: May 3, 2019.
- [10] Sony UMC-R10C – камера с двухосевым стабилизатором для 3DR Solo. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://universedigital.ru/copter/3dr/2016/07/19/sony-umc-r10c-miniaturnaya-kamera-so-stabilizatorom-dlya-3dr-solo-ot-sony>. Дата обращения: Апрель. 20, 2019.
- [11] NVIDIA Jetson TX2 Delivers Twice the Intelligence to the Edge. [Online]. Available: <https://devblogs.nvidia.com/jetson-tx2-delivers-twice-intelligence-edge>. Accessed on: May 4, 2019.
- [12] A. Witayangkurn, M. Nagai, K. Honda, M. Dailey, and R. Shibasaki “Real-time monitoring system using unmanned aerial vehicle integrated with sensor observation service,” in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Zurich, Switzerland, Vol. XXXVIII-1, 2011, pp. 22-107.
- [13] A. Urbahs “Analysis of an Unmanned Aerial Vehicle Monitoring System for Resurveying of Shipping Routes,” in *Transport and Aerospace Engineering*, Riga, Latvia, vol. 3, pp.102-111, 2016.

Рекомендована кафедрою електроніки та наносистем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 31.05.2019

Книш Богдан Петрович — канд. техн. наук, доцент кафедри електроніки та наносистем, e-mail: tutmos-3@i.ua ;

Алексеев Максим Андрійович — студент факультету інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, e-mail: alekseevmaks565@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

B. P. Knysh¹
M. A. Aliksieiev¹

Evaluation of the State of Objects by Unmanned Aerial Vehicles

¹Vinnitsia National Technical University

The problem of protection and evaluation of the state of objects is considered in the paper. The advantages of using unmanned aerial vehicles for protection and assessment of the state of the objects are presented.

It can be adequately measured the status of objects by using operations such as filtering, contour selection, alignment, selection of image objects, skeleton, color definition and image intensity as outlined in the work. These operations, especially in the complex, allow improving the overall processing of images obtained using unmanned aerial vehicles.

The main features of unmanned aerial vehicles are considered, which allow monitoring the status of objects with their further evaluation. These include tactical; small or medium-sized; small, medium or long flight duration; not very high; with an airplane or helicopter aerodynamic scheme; ground or sea based; military or civilian; horizontal or vertical lift / landing; multiple and wide range of radius.

The structural scheme is developed and the algorithm of the unit of monitoring of an unmanned aerial vehicle for estimation of the state of objects with the subsequent possibility of upgrading due to the improvement of component parts is given. The main components of the monitoring block are considered, namely, the main controller, video camera, power module, stabilization sensors, bridge controller, half-bridge drivers, FPV module, which also consists of the FPV module video camera, transmitter, antenna and power module. The main parameters and functions of the components of the monitoring block are given, and possible analogues for the main components are proposed, namely the video camera and the main controller.

In the example of the original image, operations are carried out to evaluate the state of objects on the image obtained by the unmanned aerial vehicles, and analyze the result of their work.

Keywords: monitoring unit, unmanned aerial vehicles, classification marks, structural diagram, image processing.

Knysh Bohdan P. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Electronics and Nanosystems, e-mail: tutmos-3@i.ua ;

Aliksieiev Maksym A. — Student of the Department of Information Communications, Radio Electronics and Nanosystems, e-mail: aleksevmaks565@gmail.com

Б. П. Кныш¹
М. А. Алексеев¹

Оценка состояния объектов беспилотными летательными аппаратами

¹Вінницький національний технічний університет

Рассмотрена проблема защиты и оценки состояния объектов. Приведены преимущества применения беспилотных летательных аппаратов для охраны и оценивания состояния объектов.

Оценку состояния объектов можно адекватно провести с помощью таких операций как: фильтрация, выделение контура, выравнивание, выделение объектов изображения, скелетирование, определение цвета и интенсивности изображения. Указанные операции, особенно в комплексе, позволяют улучшить качество общей обработки изображений, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов.

Рассмотрены основные признаки беспилотных летательных аппаратов, позволяющие выполнять мониторинг состояния объектов с последующей их оценкой. К ним относят тактические; мало- или среднеразмерные; малой, средней или большой продолжительности полета; маловысотные; с самолетной или вертолетной аэродинамической схемой; наземного или морского базирования; военные или гражданские; горизонтального или вертикального подъема / посадки; многоразовые и с широким диапазоном радиуса действия.

Разработана структурная схема и приведен алгоритм работы блока мониторинга беспилотного летательного аппарата для оценки состояния объектов с последующей возможностью модернизации за счет совершенствования составных частей. Рассмотрены основные составляющие блока мониторинга, а именно главный контролер, видеокамера, модуль питания, датчики стабилизации, контроллер моста, драйверы полумосты, модуль FPV, который так же состоит из видеокамеры FPV модуля, передатчика, антенны и модуля питания. Приведены основные параметры и функции составных частей блока мониторинга, предложены возможные аналоги для главных составляющих, а именно видеокамеры и главного контроллера.

На примере исходного изображения рассмотрены операции оценки состояния объектов по изображению, полученному с помощью беспилотных летательных аппаратов, и проанализированы их результаты.

Ключевые слова: блок мониторинга, беспилотные летательные аппараты, классификационные признаки, структурная схема, обработка изображения.

Кныш Богдан Петрович — канд. техн. наук, доцент кафедры электроники и наносистем, e-mail: tutmos-3@i.ua ;

Алексеев Максим Андреевич — студент факультета инфокоммуникаций, радиоэлектроники и наносистем, e-mail: aleksevmaks565@gmail.com