



LUND UNIVERSITY

ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ, ОТРИМАНИХ З БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Voytenko, Volodymyr; Solodchuk, Maksym

Published in:
Technical Sciences and Technologies

2022

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Voytenko, V., & Solodchuk, M. (2022). ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ, ОТРИМАНИХ З БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ. *Technical Sciences and Technologies*, (2), 127.

Total number of authors:
2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Володимир Войтенко¹, Максим Солодчук²

¹кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електроніки, робототехніки, автоматики та мехатроніки
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: v.voytenko@stu.cn.ua. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1490-0600>

ResearcherID: [F-8698-2014](https://orcid.org/0000-0003-1490-0600). Scopus Author ID: [36167678700](https://orcid.org/0000-0003-1490-0600)

²начальник відділу

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння
та військової техніки (Чернігів, Україна)

E-mail: rocket15733@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1162-6784>

**ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ, ОТРИМАНИХ
ІЗ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ**

Проведення тривалих пошуково-рятувальних місій, які здійснюються за допомогою безпілотних літальних апаратів, переважують оператора. Запропонована концепція підвищення швидкості людсько-машинної системи на основі інформації, отриманої із зображень відеокамер, встановлених на рухомій відносно апарату платформі, за рахунок інтелектуальної системи керування цією платформою. Позиціонування окремої спот-камери за кутами ризику та тангажу за зонами реалізуються на основі команд від підсистеми розпізнавання, яка визначає кандидатів на об'єкти інтересу.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат; відеосенсор; аналіз зображень; людсько-машинна система; електроніка; MATLAB; Simulink.

Рис.: 7. Бібл.: 18.

Актуальність теми дослідження. Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є одним із найбільш ефективних способів отримання інформації про властивості порівняно великих за обсягом площ земної поверхні та розташованих на ній об'єктів. Ця інформація стає доступною за результатами вимірювань, які здійснюються, зокрема, за допомогою отримання цифрового зображення, тобто прямокутного масиву відліків інтенсивності (колірності) видимого світла, відбитого від об'єкта. Зображення з первинних перетворювачів (сенсорів), які встановлені на БПЛА, за допомогою радіоканалу передаються до віддаленого центру керування, або знімаються безпосередньо з апарату після завершення місії і, в кінцевому випадку, відтворюються на екрані відеомонітора. Оператор є ланкою контуру керування системою найвищого рангу; спираючись на результати аналізу зображення, оператор приймає рішення та ініціює подальші дії відповідно до цільового призначення. Оскільки часовий проміжок, який проходить з моменту появи на зображенні шуканого об'єкта до релевантної реакції оператора, є ключовим параметром, що визначає якість цієї системи, мінімізація часу прийняття рішення оператором є актуальною задачею.

Постановка проблеми. У загальному випадку зображення може бути сформоване за рахунок упорядкування інформації про інтенсивність електромагнітного чи іншого випромінювання в різних діапазонах (видимому, інфрачервоному, ультрафіолетовому, радіо та ін.), що прийшло з цього напрямку. У БПЛА найчастіше для створення зображення використовують або відеокамеру з високою роздільною здатністю, яка працює у видимому чи інфрачервоному діапазоні [1], або блок таких камер, встановлених чи безпосередньо на БПЛА, чи на рухому відносно БПЛА платформу [2; 3].

Проблема полягає в тому, що оскільки час перебування БПЛА в польоті обмежений, а площа поверхні, яка підлягає дослідженню за цей час, має бути щонайбільшою, швидкість руху апарату є великою, і це призводить до наближення або, навіть, перевищення інформаційним потоком з екрана відеомонітора пропускної спроможності людини-оператора. Це може спричинити пропуск цілі, що не є припустимим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [4] зазначено, що вдосконалення безпілотних авіаційних комплексів (БПАК), підвищення тривалості польоту БПЛА, розширення діапазонів та способів зняття інформації про об'єкти призвело до значного збільшення навантаження на екіпажі БПАК, вплинуло на підвищення вимог (критеріїв) до їх відбору, збільшило час їхнього навчання, у тому числі як дешифрувальників. При цьому відзначаються такі аспекти.

1. Найбільша втомлюваність операторів і пов'язані з нею проблеми ідентифікації об'єктів відбуваються під час виконання повторюваних та довготривалих місій за сталим маршрутом. Така робота потрібна для виявлення змін стану об'єктів на досліджуваній ділянці поверхні або для поповнення недоотриманої раніше інформації, що може бути викликане багатьма причинами (наприклад, неточний маршрут при застосуванні інерціальної системи навігації).

2. Великий час на постобробку візуальної інформації, яка виконується не в реальному часі, а після завершення місії. Це – підготовка звітів, які використовуються в роботі інстанцій вищого рівня і включають, зокрема, невелику кількість відібраних якісних зображень з доданою до них телеметричною та аналітичною інформацією.

3. Проблеми, пов'язані з необхідністю зменшення ширини полоси сигналу, що передається з БПЛА [5].

Для вирішення певних задач використовуються телевізійні камери високої просторової та спектральної розділової здатності. Мультиспектральна камера SlantRange 4P+ [6] за висоти зйомки 100 м та швидкості БПЛА 12 м/с, наприклад, забезпечує просторову розділову здатність у 2 см на піксель. Фокусна відстань об'єктива становить 16 мм, крок пікселів – 3,45 мкм, фокальна площа – $7,07 \times 5,30 \text{ мм}^2$, формат зображення – 2048×1536 пікселів за частоти кадрів 0,8 Гц [7]. Виробник наводить інформацію про розміри ділянки земної поверхні, а також рекомендовану максимальну швидкість руху БПЛА залежно від висоти польоту апарату, щоб не допустити зменшення розділової здатності внаслідок розмиття зображення.

Важливі переваги надає наявність масштабування зображення, насамперед оптичного. Так, блок відеокамери FCB-9500 [1] містить об'єктив зі змінюваною фокусною відстанню (від 6,5 до 162,5 мм) та діафрагмовим числом (від 1,6 до 4,8), забезпечуючи збільшення зображення в $M = 30$ разів. Час переходу від ширококутного до телегляду становить 2,9 с. Вбудований процесор цифрової обробки зображень дозволяє одночасно підлаштовувати фокусування, проте в цьому випадку зміна фокусної відстані займає вже 4,8 с. Додавання наявного електронного 12-кратного масштабування збільшує час масштабування до 6,1...6,4 с (залежно від частоти кадрової розгортки). Суто цифрове збільшення реалізується за 1,4...1,6 с. У цій камері використовується власний алгоритм автофокусування Sony, який, на відміну від звичайних камер, дозволяє одночасно і масштабувати, і фокусувати зображення у складних умовах, особливо в темному середовищі (включаючи суміш видимих та інфрачервоних променів і наявність локальних потужних джерел світла). Функція інфрачервоної корекції виконує операцію швидкого фокусування за допомогою двох кривих фокусування, які відповідають кольоровому режиму та інфрачервоному режиму відповідно. Час фокусування з нескінченності до найближчої дистанції становить 1,4 с.

У візуальному оптронному сенсорі HENSOLDT VOS [8] використовується ступеневе масштабування з чотирма попередньо встановленими рівнями та 12-кратним максимальним збільшенням. Незважаючи на світлочутливу матрицю з 4 К пікселями, розділова здатність за достатньої для передавання рухомого зображення швидкості частотою кадрів (39 Гц) становить тільки 512×512 елементів.

На рухомій платформі Goshawk-II [9] використовується камера HD Hitachi DI-SC220 [10] з безперервним 19-кратним оптичним та двоступеневим (2x та 4x) цифровим масштабуванням. Більш просунута модель ARGOS-II [11] дозволяє збільшувати зображення у $M = 20$ разів, а швидкість керування поворотом платформи сягає $60^\circ/\text{с}$.

Лінійка мультиспектральних відеосистем на рухомих платформах L3 HARRIS WESCAM MX [12] містить великий набір сенсорів для різноманітних застосувань. Оптичне масштабування для високої розділової здатності камер видимого діапазону сягає 17,3...26...33 (залежно від конкретної моделі в лінійці); кут зору змінюється в діапазоні

36,3...31,2-1,2...1,1°, а для детального аналізу сцени може використовуватися окрема камера HD-якості (т. зв. Daylight Spotter) зі зменшеним кутом зору (0,63...0,43..0,2°) та обмеженим діапазоном регулювання збільшення (2,5... 5,0x).

Існують й інші сучасні розробки відеокамер для БПЛА [13; 14], що дозволяє з'ясувати сучасний стан розвитку та можливості цієї техніки загалом.

Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми. Як відомо, інформаційний потік з екрана відеомонітора F можна визначити, як відношення обсягу відображеної інформації I до часу t , протягом якого ця інформація виводиться в незмінному вигляді:

$$F = I/t. \quad (1)$$

Пропускна спроможність людини-оператора F_{on} за своєю сутністю є також інформаційним потоком, який описує фізіологічні здібності людини до швидкої переробки інформації і залежить від індивідуальних особливостей, ступеня тренуваності, рівня втоми тощо. Для нормальної роботи людино-машинної системи має виконуватися умова інформаційної узгодженості:

$$F \leq F_{on}. \quad (2)$$

Зазвичай на практиці вирішення проблеми неузгодження інформаційного потоку від засобу відображення інформації з можливостями людини здійснюється екстенсивним шляхом збільшення чисельності екіпажу БПЛА, коли, крім пілота, додаються інші члени, такі як оператори різних сенсорів, виконавчих механізмів та ін. Це дозволяє розбити весь обсяг отриманої інформації на частини I_k так, що кожен з N операторів у змозі цю інформацію переробити:

$$F = \sum_{k=1}^N \frac{I_k}{t}. \quad (3)$$

Очевидно, що такий шлях є тупиковим. У цій роботі робиться спроба застосувати мультидисциплінарний підхід до вирішення проблеми, визначивши можливості, які надає сучасний рівень розвитку техніки створення зображень, технологій та алгоритмів керування електромеханічними системами, а також методів обробки зображень.

Мета статті. Метою статті є формулювання концепції вирішення проблеми підвищення швидкості прийняття рішення людиною-оператором БПЛА на основі інформації, отриманої із зображень, які передаються в реальному часі відеокамерами, встановленими на рухомій відносно БПЛА платформі, за рахунок інтелектуальної системи керування цією платформою.

Сфера використання отриманих наукових результатів – від спеціальної техніки та розвідки до таких суто громадянських сфер, як сільське господарство (наприклад, з'ясування ступені зрілості посівів), геологія (пошук корисних копалин), контроль автомобільного трафіку, своєчасне попередження та запобігання катастрофічних наслідків кліматичних впливів та ін.

Концептуальні засади. Для досягнення поставленої мети підвищення швидкодії системи виявлення оператором потрібних об'єктів на зображенні поверхні під БПЛА, який рухається, спочатку визначимо цю швидкість, як величину, обернену до часу t_{av} , що в середньому проходить від моменту появи на екрані об'єкта до моменту реакції оператора на цю подію:

$$p = 1/t_{av}.$$

З метою підвищення надійності розпізнавання об'єкта система повинна автоматично виділяти (підсвічувати, маркувати тощо) на екрані області, які можуть містити об'єкти, а також, у визначених випадках, скеровувати гіростабілізовану платформу, на якій розміщено камеру, на певні області та/або, крім того, формувати команду на електронно-оптичне масштабування зображення. Процес переміщення платформи з відеокамерами

має носити оптимальний за швидкодією характер, без перерегулювання. Це вимагає побудови моделі БПЛА – гіростабілізована платформа, а також ідентифікації параметрів цієї моделі. Унаслідок неідеальності моделі та визначення її параметрів процес керування, який буде реалізованим, стане квазіоптимальним [14], проте, у випадку реалізації ітераційного підходу, може бути забезпечена потрібна якість регулювання (а саме – точність та час встановлення). Тобто апаратний (автоматичний) рівень системи є таким, що допомагає людині-оператору (верхній рівень) прийняти адекватне кінцеве рішення.

Дослідження охоплює такі сфери, як розпізнавання образів; теорія людино-машинної взаємодії; теорія автоматичного управління; електротехнічні та електронні комплекси та системи; теорія складних систем.

Для вирішення завдання розпізнавання образів і ідентифікації моделі об’єкта керування доцільно використання елементів штучного інтелекту, в тому числі штучних нейронних мереж глибокого навчання на етапах попередньої обробки (наприклад, корекції геометричних спотворень зображення, придушення шумів і перешкод тощо), а також визначення регіону інтересу.

Розрахунок геометричних параметрів системи. На рис. 1 наведені основні позначення величин, які використовуються в подальших розрахунках. БПЛА летить на висоті H над поверхнею, причому відеокамера нахилена на кут α відносно нормалі до поверхні, що зазвичай дозволяє пілоту бачити обставини попереду руху апарата. У випадку варіофокального об’єктива кут зору камери β може змінюватися. Конус зору камери на поверхні спирається на коло радіусу R (на цьому етапі спрощуємо ситуацію, припускаючи $\alpha = 0$). У формуванні зображення бере участь тільки частина площі цього кола – прямокутна ділянка висотою h та шириною b , яка вписана в коло. Крім зміни масштабу зображення за рахунок регулювання фокусної відстані об’єктива можлива зміна також напрямку зору камери за кутами тангажу та ристання за рахунок окремого від БПЛА руху гіростабілізованої платформи.

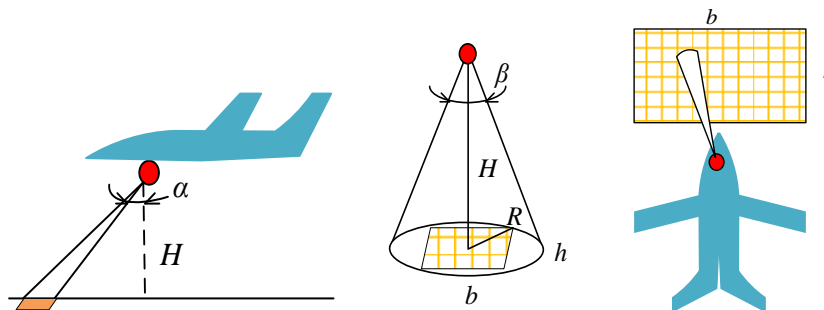


Рис. 1. Геометричні параметри системи

Базуючись на визначеннях, представлених на рис. 1, можемо знайти розмір досліджуваної поверхні залежно від кута зору камери β та висоти польоту БПЛА H .

$$R = H \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}; \quad R^2 = \frac{b^2 + h^2}{4}; \quad b = K_f h;$$

$$h = \frac{2R}{\sqrt{K_f^2 + 1}} = \frac{2H \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{\sqrt{K_f^2 + 1}}; \quad b = 2H \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \frac{K_f}{\sqrt{K_f^2 + 1}}; \quad \beta = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{h}{2H} \sqrt{K_f^2 + 1} \right).$$

Тут $K_f = b:h$ – формат зображення.

На рис. 2 показана залежність вертикального розміру зображення h (вздовж напрямку польоту) безпосередньо на досліджуваній поверхні від кута зору камери, якщо БПЛА знаходиться на певних висотах.

З іншого боку, відстань s , яку апарат, що летить зі швидкістю v , за час T_r , становить

$$s = v T_r.$$

За умови $s = h$,

$$T_r = h / v.$$

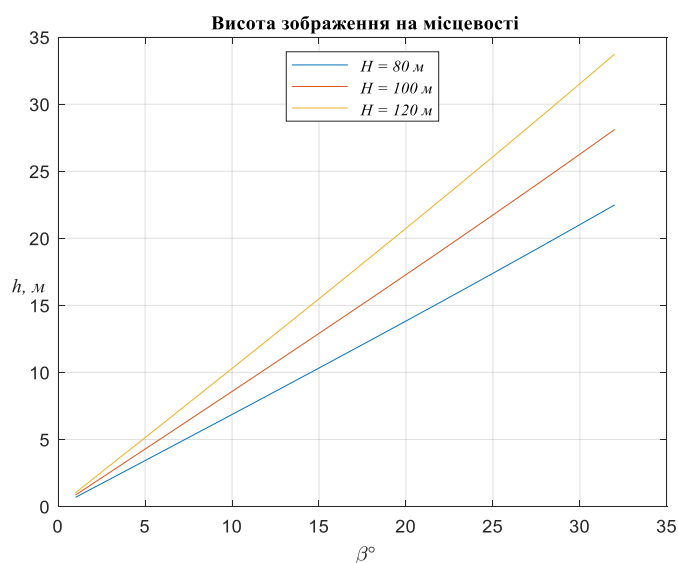


Рис. 2. Залежність вертикального розміру зображення на поверхні від кута зору камери

Припустимо, кут зору камери становить $\beta = 23^\circ$. При цьому, якщо БПЛА знаходиться на висоті $H = 100 \text{ м}$, висота зображення на поверхні складає $h = 20 \text{ м}$ (рис. 2). За умови швидкості $v = 72 \text{ км/год}$. БПЛА проходить відстань $s = 20 \text{ м}$, тобто кадр зображення оновлюється на 100 % за $T_r = 1 \text{ с}$.

Найбільш популярним на сьогодні форматом зображення, що формується відеокамерами, встановленими на БПЛА, є HD $n_x \times n_y = 1920 \times 1080$ ($K_f = 16:9$). Звідси витікає розмір одного пікселя для $H = 100 \text{ м}$, $\beta = 23^\circ$:

$$\Delta = h/n_y = 2000/1080 \approx 1,85 \text{ см}.$$

Тут n_x, n_y – кількість пікселів вздовж горизонталі та вертикалі відповідно.

Часові параметри тільки-но масштабування та фокусування розглянутих вище найкращих на сьогодні зразків відеокамер високої роздільної здатності, які застосовуються в БПЛА [1; 2; 6-14], становлять одиниці секунд. Тобто якщо (як у наведеному вище розрахунку) за 1 с повністю змінюється вміст кадру зображення, то інформаційний потік з екрану відеомонітора становить $F = 1920 \times 1080 / 1 \text{ с} \approx 2,07 \cdot 10^3 \text{ бим/с}$ у випадку всього лише бінаризованого (двохградацийного) зображення. Це суттєво перевищує можливості навіть добре тренованої людини. Проте слід зауважити, що більша частина зображення переважно не містить значущої інформації. До того ж існує суттєва кореляція між сусідніми пікселями, що лежить в основі певних алгоритмів стискування зображень. Це відкриває шляхи до застосування інтелектуальної фільтрації зображення з метою зменшення навантаження на оператора.

Зонування зображення. Розіб'ємо весь кадр зображення на прямокутні ділянки зі співвідношенням сторін, яке відповідає формату кадру (рис. 3). Для кращої адаптації до цифрових методів аналізу використаємо цілі ступені числа 2 в якості одного й того ж коефіцієнта ділення K_d одночасно вздовж вертикалі та горизонталі. Зважаючи на діапазони масштабування та кути зору реальних відеокамер для БПЛА [1; 2; 6-14], доцільно використати

$$K_d = 2^4 \dots 2^5 = 16 \dots 32.$$

У звичайному навігаційному режимі оператор-пілот БПЛА використовує відеозображення зі стандартною частотою кадрів F_f . Система розпізнавання має в запасі відрізок часу T_r , за який БПЛА пройде шлях, що дорівнює висоті кадру на місцевості (h на рис. 2).

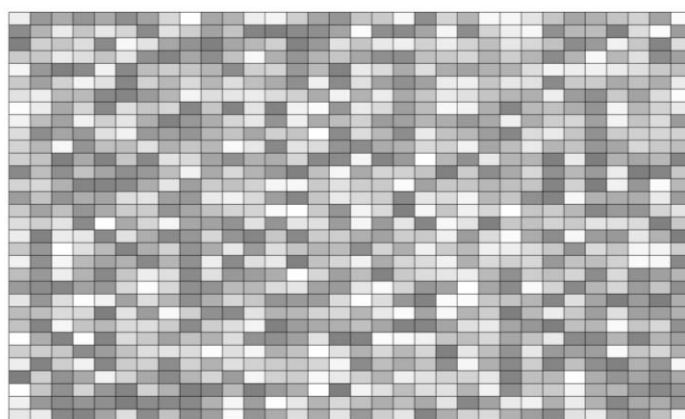


Рис. 3. Зонування зображення ($K_d = 2^5 = 32$)

Протягом цього часу автоматизована система нижнього рівня має визначити зону інтересу на вихопленому кадрі (від 1 до K_d вздовж обидвох горизонтальних координат на поверхні під БПЛА) та сформувати команди на:

- 1) зміну кута зору камери $\beta_1 \leftrightarrow \beta_2$ для потрібного масштабування M зображення;
- 2) позиціонування камери до визначеної зони інтересу (N_x, N_y) вздовж координатних осей (N_x та N_y лежать у діапазоні від 1 до K_d).

У випадку використання варіофокального об'єктива кут зору камери β буде являти собою дискретний набір безперервних значень. Якщо наявна окрема спот-камера, кут зору визначатиметься технічними параметрами саме цієї камери (безперервний або дискретний набір у меншому діапазоні). В обох випадках доцільно (проте не обов'язково) використати фіксоване значення M , яке визначається наперед і забезпечує оптимальне збільшення зображення відповідно до поставлених завдань. Звичайно, команди позиціонування видаються на ту камеру, яка використовується для збільшення фрагмента вхідного зображення.

Електромеханіка відеокамер для БПЛА. У межах сформульованої вище концепції вирішення проблеми підвищення швидкодії людино-машинної системи розглянемо можливі способи встановлення відеокамери на БПЛА. У загальному випадку потрібно виконувати такі взаємопов'язані дії (рис. 4):

- 1) дискретне (K_d кроків) позиціонування за кутом рискання (орієнтація вздовж горизонтальної сторони зображення) на кути $\pm 16 \dots 32^\circ$ (залежно від кута зору основної відеокамери β_2);
- 2) дискретне (K_d кроків) позиціонування за кутом тангажу (орієнтація вздовж вертикальної сторони зображення) на кути $\pm (16 \dots 32^\circ) / K_f$ (залежно від β_2);
- 3) однократна або дискретна (залежно від вирішуваної задачі, складності та вартості розроблюваної системи) зміна фокусної відстані об'єктива відеокамери (тобто масштабування зображення, – збільшення з коефіцієнтом M ; $\beta = \beta_1$);
- 4) однократне або дискретне (залежно від вирішуваної задачі, складності та вартості розроблюваної системи) фокусування відеокамери.

З метою спрощення рисунку балансири не показані. Усі зазначені дії можна виконати за допомогою використання базової гіростабілізованої платформи, на якій встановлено блок усіх сенсорів, а для створення саме механічного руху застосовувати перетворювачі електричної енергії в механічну, тобто електродвигуни:

- M_b – орієнтація за кутом рискання;
- M_h – орієнтація за кутом тангажу;
- M_M – масштабування;
- M_f – фокусування.

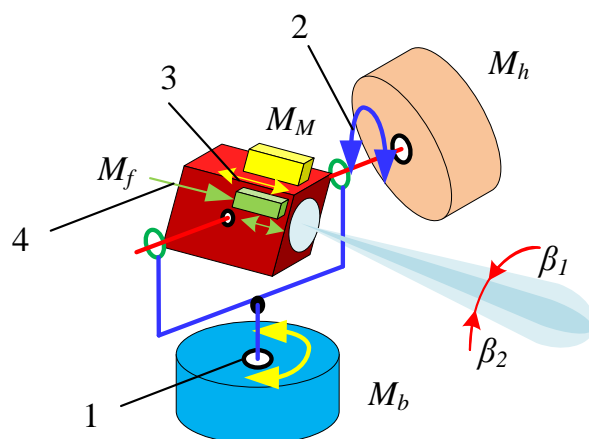


Рис. 4. Схема електроприводів

У системах масштабування зображення та фокусування об'єктивів відеокамер нині використовують цілий спектр різноманітних електромеханічних перетворювачів. Найбільш популярними є крокові та ультразвукові двигуни [16]. Принагідно слід зазначити, що будь-який об'єктив зі змінюваною фокусною відстанню потенційно складніший, дорожчий і має гірші властивості (точність, світлосила, сталість характеристик), ніж пристрій із постійними параметрами. А головне – потрібен час для налаштування об'єктива, що є неприйнятним у контексті вирішуваної задачі.

Тому використаємо окрему спот-відеокамеру з фіксованим кутом зору та сталим фокусуванням, яка забезпечує формування окремого відеоканалу, що реалізується паралельно з основним навігаційним (рис. 5).

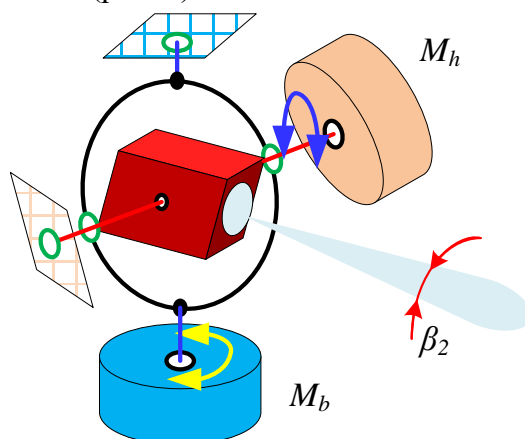


Рис. 5. Електромеханічна схема позиціонування спот-камери

Використання окремого карданового підвісу для спот-камери, безперечно, ускладнює конструкцію. Проте, згідно з головною поставленою метою, можна зазначити, що цей варіант дозволяє вирішити задачу підвищення швидкодії системи загалом, а тому є виправданим. Стосовно техніко-економічних характеристик, потрібне додаткове дослідження, оскільки використання двох відеокамер з фіксованими кутами зору може бути більш доцільним. Наприклад, для налаштування, тестування та документування місії, коли після її завершення є можливість доступу до зображення з основної навігаційної відеокамери, а не тільки до міксованого зображення.

Отже, в межах цієї статті обмежимося розглядом приводів тільки-но для позиціонування спот-відеокамери щодо гіростабілізованої платформи, причому збільшене зображення може відображатися як на основному моніторі, так і на додатковому з паралельною сигналізацією оператору про необхідність звернути увагу саме на це збільшене

зображення. З цієї метою намагатимемося використовувати прямий привід, що дозволяє зменшити масу, габарити та підвищити точність позиціонування. Як приклад для подальшого аналізу візьмемо безколекторні двигуни постійного струму (БДПС) M_b та M_h [17].

Безпосередній розробці приводу має передувати моделювання, яке дозволяє швидко та з мінімальними витратами виявити наявні проблеми, оцінити фактори, що на них впливають, та сформулювати задачі для подальшого вирішення. Скористаємося можливостями середовища комп'ютерного моделювання MATLAB® та Simulink®.

На рис. 6 показана структура Simulink®-моделі приводу позиціонування спот-камери за кутом ризику. За основу взятий приклад BLDC Position Control [18]. Ідеальне джерело крутного моменту задає навантаження (load). Блок керування реалізує пропорційно-інтегральні алгоритми керування на основі трьох контурів: зовнішнього контуру положення, контуру керування швидкістю та внутрішнього контуру керування струмом обмоток. БДПС живиться від керованого трифазного інвертора. Блок завдання формує ступінчасті сигнали на позиціонування, а блок осцилографів здійснює візуалізацію перехідних процесів у системі.

Приклад був доопрацьований відповідно до проблематики даного дослідження. Так, замість IGBT у блоці *Інвертор* використані MOSFET-транзистори, які мають кращі динамічні характеристики і, за рахунок використання вищої частоти комутації у блоці широтно-імпульсної модуляції, дозволяють покращити масогабаритні показники системи. Предметом подальших розвідок стане реалізація оптимальних законів регулювання.

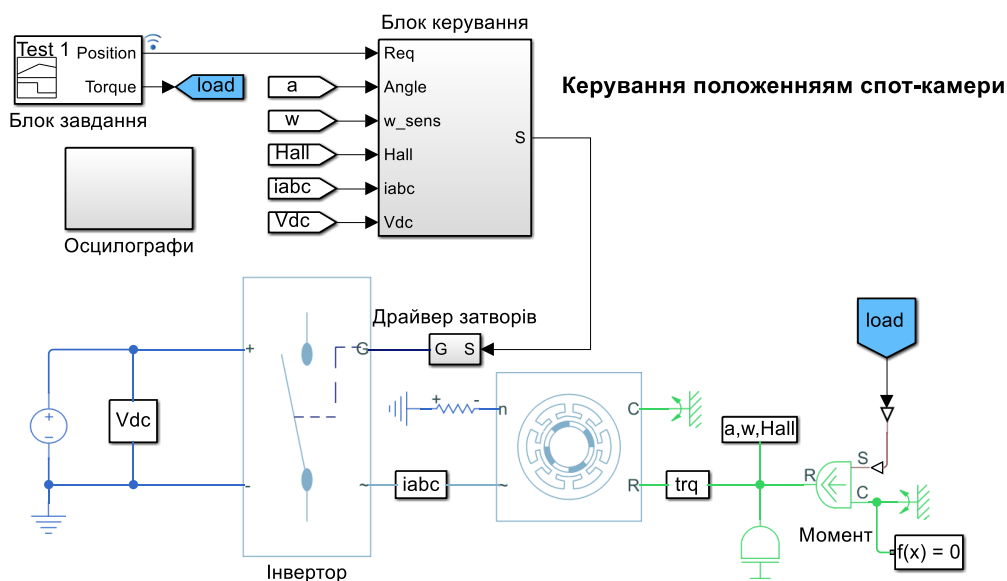


Рис. 6. Модель привода позиціонування спот-камери за кутом ризику

Результати симуляції (рис. 7) підтверджують можливість використання даної моделі для вирішення поставлених задач, проте потрібно подальше доопрацювання та уточнення її параметрів з урахуванням конкретики розроблюваної системи (маси, сили, моменти, робочі напруги, коефіцієнти регулювання та ін.).

Висновки. Для вирішення проблеми підвищення швидкодії оператора БПЛА запропоновано концепцію, яка передбачає ієрархічну побудову людино-машинної системи. На нижньому програмному рівні виконується алгоритм аналізу зображення з основної відеокamera високої роздільної здатності з широким кутом зору та визначається одна з дискретних зон, де вірогідність присутності об'єкта інтересу перевищує порогове значення. Сформований номер зони зображення використовується для формування керуючих впливів, які передаються на систему апаратного рівня, яка, зокрема, містить два електроприводи, відповідальні за позиціонування розміщеної на кардановому підвісі додаткової відеокamera з масштабуванням зображення в межах однієї

зони. Скорочення часу позиціонування спот-камери відбувається за рахунок квазіоптимального за швидкодією закону регулювання з мінімальним перерегулюванням та часом встановлення. Зображення зі спот-камери використовується або безпосередньо для оперативного прийняття рішення, або тільки-но для документування місії та скорочення часу підготовки звіту.

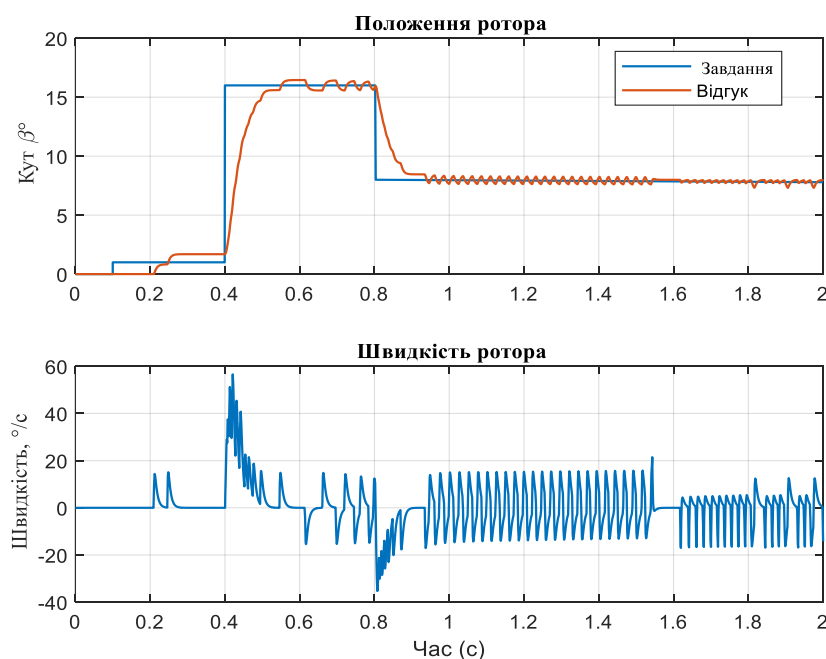


Рис. 7. Моделювання позиціонування спот-камери за кутом рихання

Враховуючи мультидисциплінарність дослідження, подальші зусилля мають бути сконцентровані на питаннях реалізації трьох взаємопов'язаних підсистем: визначенні релевантних алгоритмів розпізнавання, розробці апаратної підсистеми, моделюванні поведінки оператора та розробці програми експерименту.

Список використаних джерел

1. FCB-9500 Series – New Colour Camera Block [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.image-sensing-solutions.eu/FCB-New-generation.html>.
2. WESCAM MX-10 EO/IR, 2022 [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.l3harris.com/all-capabilities/wescam-mx-10-air-surveillance-and-reconnaissance>.
3. Гиростабилизированные платформы [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://astrohn.ru/thermal-imaging-systems/girostabilizirovannye-kompleksy/gyrostabilized-platform/>.
4. Обґрунтування необхідності обробки відеоінформації на борту розвідувального БПЛА [Електронний ресурс] / В. Г. Башинський, В. В. Рагулін, М. О. Солодчук, А. В. Фомін, О. О. Ісаченко // Наукові праці Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – 2022. – № 11. – С. 105-115. – Режим доступу: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.11.2022.12>.
5. Reliable full motion video services in disadvantaged tactical radio networks / Nightingale J. et al. // 2016 International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS). – 2016. – Рр. 1-9. – DOI: 10.1109/ICMCIS.2016.7496560.
6. Мультиспектральные камеры SLANTRANGE 4-го поколения. Модели 4P и 4P+ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://slanrange.com.ua/sensors-4p>.
7. Francisco Gomez. Camera Parameters [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://slanrange.zendesk.com/hc/en-us/articles/4409968622100-Camera-Parameters>.
8. HENSOLDT VOS – Visual Optronic Sensor Digital EO reconnaissance camera [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://dam.hensoldt.net/m/482cf0f5ba3fafaf/original/VOS-Visual-Optronics-Sensor-English.pdf>.

9. Goshawk-II HD / HDT. Light weight airborne ISR and ISTAR system [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.hensoldt.net/products/optronics/goshawk-ii-airborne-isr/-istar/>.
10. ARGOS-II HD / HDT. Airborne ISR and ISTAR system [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.hensoldt.net/products/optronics/argos-ii/>.
11. DI-SC220. Hitachi Digital Media Group [Electronic resource]. – Accessed mode: <http://www.hitachidigitalmedia.com/en-gb/discontinued-products/security-solutions/video-surveillance/di-sc220>.
12. L3 HARRIS WESCAM. WESCAM's MX™-Series – multi-sensor and multi-spectral imaging and targeting systems. *Military Systems & Technology* [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.militarysystems-tech.com/suppliers/multi-sensor-and-multi-spectral-imaging-and-targeting-systems/l3-wescam>.
13. CATS – COMMON APERTURE TARGETING SYSTEM – Electro-Optical Reconnaissance, Surveillance and Targeting System [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.aselsan.com.tr/en/capabilities/electro-optic-systems/air-platforms/cats-common-aperture-targeting-system-electrooptical-reconnaissance-surveillance-and-targeting-system>.
14. RATS – Electro-Optical Surveillance & Reconnaissance System [Electronic resource]. – Accessed mode: https://www.aselsan.com.tr/RATS_ElectroOptical_SurveillanceReconnaissance_System_6733.pdf.
15. Войтенко В. П. Квазиоптимальные промышленные регуляторы с нейроидентификацией объекта управления : монография / В. П. Войтенко. – Чернигов : Чернигов. гос. техн. ун-т, 2013. – 261 с.
16. Canon lens focusing motor technology [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.canon-europe.com/pro/infobank/usm-stm-lens-technology>.
17. Войтенко В. Моделі елементів системи електроприводів квадрокоптерів та автономних роботів / В. Войтенко, Р. Єршов // Технічні науки та технології. – 2019. – № 3. – С. 175–187.
18. BLDC Position Control [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.mathworks.com/help/phymod/sps/ug/bldc-position-control.html>.

References

1. FCB-9500 Series – New Colour Camera Block. (n.d.). <https://www.image-sensing-solutions.eu/FCB-New-generation.html>.
2. WESCAM MX-10 EO/IR (2022). <https://www.l3harris.com/all-capabilities/wescam-mx-10-air-surveillance-and-reconnaissance>, Retrieved August 10, 2022.
3. Girostabilizirovannye platformy [Gyro-stabilized platforms]. (n.d.). <https://astrohn.ru/thermal-imaging-systems/girostabilizirovannye-kompleksy/girostabilized-platform>.
4. Bashynskiy, V.G., Ragulin, V.V., Solodchuk, M.O., Fomin, A.V., & Isachenko, O.O. (2022). Obgruntuvannya neobkhdnosti obrobky videoinformatsii na bortu rozviduvalnoho BPLA [Justification of the need to process video information on board the reconnaissance UAV]. *Naukovi pratsi Derzhavnogo naukovo-doslidnoho instytutu vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki – Scientific works of the State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification*, (11), 105-115. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.11.2022.12>.
5. Nightingale, J. et al. (2016). Reliable full motion video services in disadvantaged tactical radio networks. *2016 International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS)* (pp. 1-9). doi:10.1109/ICMCIS.2016.7496560.
6. *Multispektralnye kamery SLANTRANGE 4-ho pokoleniia. Modely 4R y 4R+ [SLANTRANGE multispectral cameras of the 4th generation. Models 4P and 4P+]*. (n.d.). <http://slantrange.com.ua/sensors-4p>.
7. Francisco Gomez. Camera Parameters. (n.d.). <https://slantrange.zendesk.com/hc/en-us/articles/4409968622100-Camera-Parameters>.
8. HENSOLDT VOS – Visual Optronic Sensor Digital EO reconnaissance camera. (n.d.). <https://dam.hensoldt.net/m/482cf0f5ba3fafaf/original/VOS-Visual-Optronics-Sensor-English.pdf>.
9. Goshawk-II HD / HDT. Light weight airborne ISR and ISTAR system. (n.d.). <https://www.hensoldt.net/products/optronics/goshawk-ii-airborne-isr/-istar/>.
10. ARGOS-II HD / HDT. Airborne ISR and ISTAR system. (n.d.). <https://www.hensoldt.net/products/optronics/argos-ii>.
11. DI-SC220. Hitachi Digital Media Group. (n.d.). <http://www.hitachidigitalmedia.com/en-gb/discontinued-products/security-solutions/video-surveillance/di-sc220>.

12. L3 HARRIS WESCAM. WESCAM's MX™-Series – multi-sensor and multi-spectral imaging and targeting systems. *Military Systems & Technology*. (n.d.). <https://www.militarysystems-tech.com/suppliers/multi-sensor-and-multi-spectral-imaging-and-targeting-systems/l3-wescam>.

13. CATS – COMMON APERTURE TARGETING SYSTEM –Electro-Optical Reconnaissance, Surveillance and Targeting System. (n.d.). <https://www.aselsan.com.tr/en/capabilities/electro-optic-systems/air-platforms/cats-common-aperture-targeting-system-electrooptical-reconnaissance-surveillance-and-targeting-system>.

14. RATS – Electro-Optical Surveillance & Reconnaissance System. (n.d.). https://www.aselsan.com.tr/RATS_ElectroOptical_SurveillanceReconnaissance_System_6733.pdf.

15. Voytenko, V.P. (2013). *Kvazioptimalnye promyshlennye regulatory s neiroidentifikatsiei obekta upravleniia [Quasi-optimal Industrial Regulators with Neuro-identification of the Plant]*. Chernihiv State Technological University.

16. Canon lens focusing motor technology. (n.d.). <https://www.canon-europe.com/pro/infobank/usm-stm-lens-technology>.

17. Voytenko, V., & Yershov, R. (2019). Modeli elementiv systemy elektropryvodiv kvadropteriv ta avtonomnykh robotiv [Models of elements of the electric drive system of the quadcopters and autonomous robots]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, (3(17)), 175–187. DOI: 10.25140/2411-5363-2019-3(17)-175-187.

18. BLDC Position Control. (n.d.). <https://www.mathworks.com/help/phymod/sps/ug/bldc-position-control.html>.

Отримано 10.06.2022

UDC 681.5 : 004.51

Volodymyr Voytenko¹, Maksym Solodchuk²

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Electronics, Automation, Robotics and Mechatronics Department Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: v.voytenko@stu.cn.ua. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1490-0600>

ResearcherID: [F-8698-2014](https://orcid.org/0000-0003-1490-0600). Scopus Author ID: [36167678700](https://orcid.org/0000-0003-1490-0600)

²Head of the Department

State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: rocket15733@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1162-6784>

INCREASING THE SPEED OF ANALYSIS OF IMAGES OBTAINED FROM UNMANNED AERIAL VEHICLE

Carrying out long-term search and rescue missions, intelligence, surveillance and reconnaissance, which are carried out with the help of unmanned aerial vehicles (UAVs) overload the operator and reduce the effectiveness of solving the assigned tasks, up to the point of making their implementation impossible. The paper proposes the concept of increasing the speed of the human-machine system based on information obtained from images transmitted in real time by video cameras installed on a platform moving relative to the UAV, by means of the intelligent control system of this platform.

Thus, the image from the main video camera with a wide viewing angle is divided into rectangular sections (zones), which size is determined by the viewing angle (zoom) necessary for the operator to make the final decision. The software system of the lower level, evaluating the video frame, determines and marks the areas in which the object of interest may be present. Increasing the focal length and focusing (i.e., zooming the image), as well as positioning the main camera is carried out for the area where the probability of the presence of the candidate object is the greatest. In another variant, a separate spot camera with a reduced and fixed field of view is aimed at the yaw and pitch angles, which requires that this camera be directly suspended on a gyro-stabilized platform, where a block of other sensors is installed, including the main video camera.

An example of modeling the electric drive of a spot camera by the yaw angle is given and further steps are determined for the development of subsystems of three levels: software (recognition), hardware (scaling and positioning), human-machine (coordination of information flows). To improve the dynamic characteristics in comparison with the basic proportional-integral laws, it is proposed to use quasi-optimal algorithms for regulating electric drives.

Keywords: *unmanned aerial vehicle (UAV); video sensor; image analysis; man-machine system; electric drive; MATLAB; Simulink.*

Fig.: 7. References: 18.