

DOI [10.28925/2663-4023.2020.9.93103](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2020.9.93103)

УДК 681.527.5; 629.735.051

**Шабельник Тетяна Володимирівна**

доктор економічних наук, доцент, завідувач кафедри математичних методів та системного аналізу  
Маріупольський державний університет, Маріуполь, Україна  
ORCID: 0000-0001-9798-391X  
[tanya.shabelnik17@gmail.com](mailto:tanya.shabelnik17@gmail.com)

**Кривенко Сергій Вікторович**

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри математичних методів та системного аналізу  
Маріупольський державний університет, Маріуполь, Україна  
ORCID: 0000-0002-0319-7174  
[booktwix@gmail.com](mailto:booktwix@gmail.com)

**Конєва Олена Ігорівна**

здобувач вищої освіти  
Маріупольський державний університет, Маріуполь, Україна  
ORCID: 0000-0003-1566-1074  
[lena50338@ukr.net](mailto:lena50338@ukr.net)

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО ПІЛОТУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ  
ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В УМОВАХ ВІДСУТНОСТІ РАДІОЗВ'ЯЗКУ**

**Анотація.** У статті розглядається одна з найбільш актуальних проблем пілотування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в умовах відсутності радіозв'язку. Тому метою статті є розробка алгоритму та способу автоматичного пілотування БПЛА в умовах втрати сигналу радіоуправління з використанням методів технічного зору. Найбільш ефективні методи відстеження, ідентифікації і детектування наземних орієнтирів ґрунтуються на порівнянні еталонної інформації (база даних відомих навігаційних об'єктів) зі спостережною сценою в реальному масштабі часу. Розроблено працездатну систему автоматичного пілотування БПЛА в умовах втрати радіо сигналу управління або GPS-навігації. Апаратне та програмне забезпечення БПЛА забезпечує повноцінне автоматичне управління. Програмування системи складається з двох етапів: планування польотного завдання і розрахунок траєкторії руху БПЛА в польоті. Планування польотного завдання здійснюється заданням орієнтирів топооснови і параметрів польоту щодо них. На цьому етапі складаються критерії генералізації різних компонентів ландшафту і їх поділ по градаціях. Цю роботу поєднують з упізнанням точок, що мають висотні позначки, і фіксуванням висот горизонтальних поверхонь, наявних у районі. Всі горизонтальні поверхні прив'язують найкоротшими знімальними ходами не менше ніж до трьох точок з висотними відмітками. Процес виділення об'єктів на топооснові безпосередньо пов'язаний з її сегментацією, результати якої значно впливають на подальший процес аналізу зображення і управління БПЛА. Під час запуску БПЛА відбувається калібрування початкової точки маршруту. Протягом усієї траєкторії руху система управління автоматично відстежує по топооснові розташування БПЛА щодо заздалегідь зазначених орієнтирів. У процесі польоту зіставляються структуровані кадри місцевості і топооснови. Алгоритм, заснований на зіставленні геометричних параметрів орієнтирів. Такими параметрами прийнято координати геометричного центру  $O(x, y)$  та площа  $S$ . Відповідність сегментованих відеокадру і кадру топооснови має забезпечуватись виконанням умови мінімального відхилення координат  $(x_k, y_k)$  орієнтирів, а також їх площ  $S_k$ . Вперше методом найменших квадратів визначають сигнал управління в трьох осях  $OX$ ,  $OY$  і  $OZ$  в залежності від значень розрахованих коефіцієнтів вихідних рівнянь.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат; технічний зір; навігація



## 1. ВСТУП

**Постановка проблеми.** З оборонної промисловості безпілотні летальні апарати (БПЛА) дуже швидко проникли в найрізноманітніші сфери нашого повсякденного життя. Можливість отримання реальних кадрів з епіцентру подій без загрози для життя оператора дуже активно використовується журналістами. Добре доповнює репортаж зі спортивних заходів відео зйомка, що зроблена дроном. Безпілотники доставляють медикаменти, і навіть устаткування для реанімації в райони стихійного лиха і військових дій.

Дрони успішно використовуються для пошуку людей і суден, що потрапили в аварійну ситуацію. Цей перелік далеко не повний. Деякі з перерахованих функцій дронів вже ефективно використовуються, інші ще знаходяться у стадії доопрацювання. Не завжди БПЛА експлуатуються в ідеальних умовах зі стійким сигналом управління.

Тому актуальним завданням є розробка нових моделей і алгоритмів для вирішення проблемних питань, які неминуче виникають в процесі проектування БПЛА.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Особливої уваги для вирішення таких завдань потребують системи технічного зору. Теорія розпізнавання образів має великий набір методів і алгоритмів відстеження, ідентифікації і детектування наземних стаціонарних об'єктів [1-4].

Найбільш ефективні методи відстеження, ідентифікації і детектування наземних орієнтирів ґрунтуються на порівнянні еталонної інформації (база даних відомих навігаційних об'єктів) зі спостережною сценою в реальному масштабі часу. Серед таких алгоритмів варто відзначити алгоритм SURF [5] (Speeded-Up Robust Features) на підставі якого вирішуються два завдання. Перше завдання полягає в пошуку особливих точок в відео потоці, а друге завдання - на основі отриманих точок створити дескриптори об'єктів, інваріантних до масштабу і обертанню вихідних кадрів відео потоку. Метод визначає особливі точки за допомогою матриці Гессе. Градієнт в точці обчислюється за допомогою фільтрів Хаара. Потрібно відзначити, незважаючи на те, що SURF працює не з об'єктами і не виділяє об'єкт з фону, метод погано працює для об'єктів простої форми і без яскраво вираженої текстури [6].

У наукових дослідженнях [7-8] описана система розпізнавання транспортних засобів та людей, яка може використовувати як інформацію з відеокамери, так і з тепловізору. Для детектування людей та автомобілів було використано алгоритм розпізнавання на базі Хаар-подібних ознак. В роботі [7] розроблено систему, що визначає місцезнаходження БПЛА та об'єкту, що відслідковується, методом розпізнавання місцевості.

На відміну від кореляційних методів, цей метод є більш стійким до умов освітлення та ближче до концепції «розпізнавання» зображення. Похибка для наведених у статті умов тестування складає 2,3 метри при висоті польоту БПЛА в 70 метрів. Система технічного зору БПЛА WITAS [9-11] вирішує аналогічні задачі, проте вона побудована на визначенні карт швидкості та напрямку руху окремих пікселів зображення та націлена на визначення та відслідковування рухомих цілей.

**Мета статті.** Розробка алгоритму та способу автоматичного пілотування БПЛА в умовах втрати сигналу радіоуправління з використанням методів технічного зору.

## 2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Однією з головних характеристик, по якій можна відрізнити БПЛА від ДПЛА (дистанційно пілотований літальний апарат), є наявність повноцінної системи автоматичного управління. Структура розробленої системи управління наведена на рис.1.

Бортове обладнання БПЛА включає наступні складові:

- Оглядовий курсовий пристрій, що закріплюється нерухомо під деяким кутом до стройової осі літального апарату, що забезпечує необхідну зону захоплення на місцевості. До складу оглядового курсового пристрою може входити телевізійна камера (ТК) з широкопольним об'єктивом (ШПЗ).
- Пристрій детального огляду з поворотним пристроєм.
- Пристрої радіолінії видової і телеметричної інформації (передавач і антенно-фідерний пристрій), які забезпечують передачу видової і телеметричної інформації в реальному або близькому до реального масштабу часу на ПУ в межах радіо зору.
- Пристрої командно-навігаційної радіолінії (приймач і антенно-фідерний пристрій), які забезпечують прийом в межах радіо зору команд пілотування БПЛА і управління його обладнанням.
- Пристрій обміну командної інформації, що забезпечує розподіл командної і навігаційної інформації по споживачам на борту БПЛА.

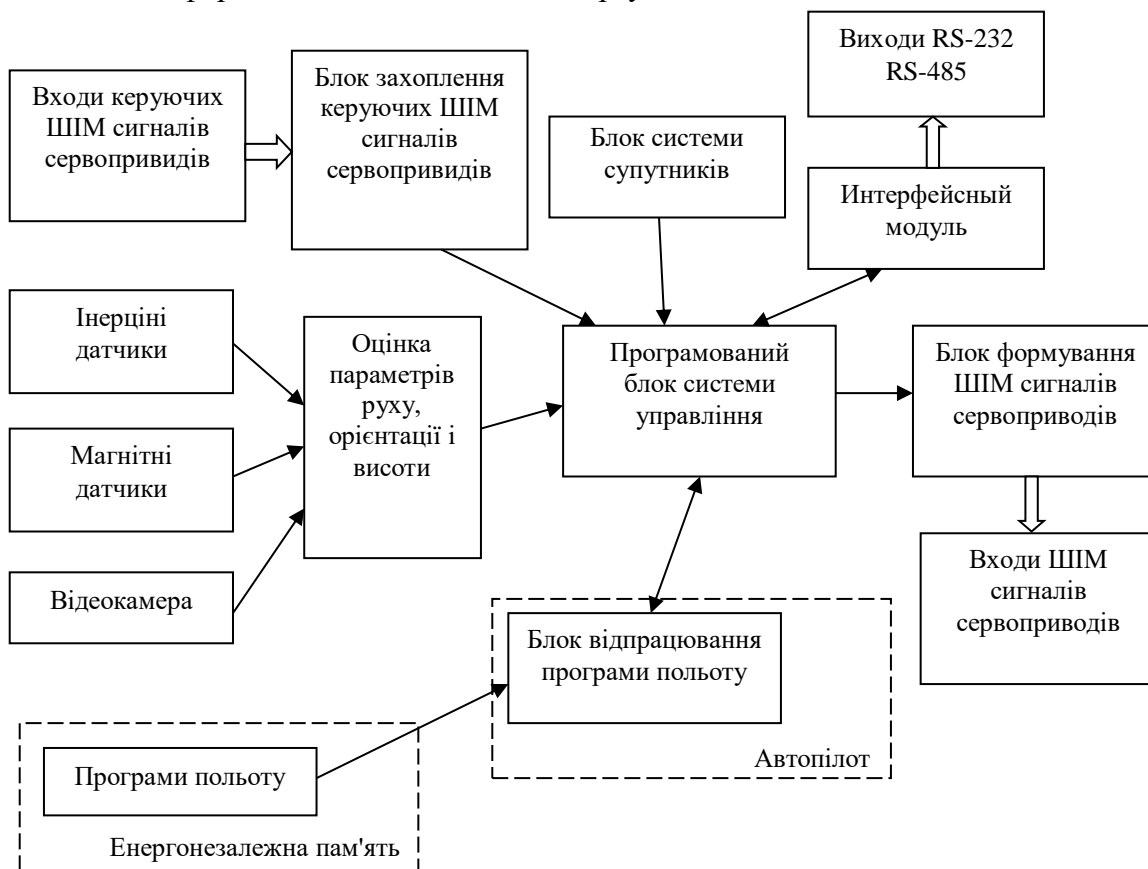


Рис. 1. Структура системи управління БПЛА



▪ Пристрій інформаційного обміну, що забезпечує розподіл видової інформації між бортовими джерелами видової інформації, передавачем радіолінії видової інформації і бортовим пристроєм зберігання видової інформації. Цей пристрій також забезпечує інформаційний обмін між усіма функціональними пристроями, що входять до складу цільового навантаження БПЛА за обраним інтерфейсом (наприклад, RS-232).

Через зовнішній порт цього пристрою перед зльотом БПЛА проводиться введення польотного завдання і здійснюється передстартовий автоматизований вбудований контроль на функціонування основних вузлів і систем БПЛА.

▪ Супутникова навігаційна система забезпечує прив'язку координат БПЛА і об'єктів, що спостережуються за сигналами глобальної супутникової навігаційної системи GPS.

▪ Бортова цифрова обчислювальна машина (БЦВМ) забезпечує управління бортовим комплексом БПЛА.

▪ Пристрій зберігання видової інформації забезпечує накопичення обраної оператором (або відповідно до польотного завдання) видової інформації до моменту посадки БЛА.

Програмне забезпечення БПЛА виконує наступні функції:

- планування польотного завдання (ПЗ) і введення його в пам'ять автопілоту;
- настройка параметрів автопілоту;
- відображення телеметричної інформації;
- зміна параметрів завдання в польоті.

Прикладне програмне забезпечення системи автоматичного управління БПЛА в умовах відсутності радіозв'язку складається з двох основних частин:

1. Блок підготовки топооснови і планування польотного завдання.
2. Автономна система управління БПЛА (АСУ БПЛА).

Розглянемо більш детально блок підготовки топооснови і побудови маршруту.

Планування ПЗ здійснюється по цифровій карті місцевості. В якості географічної підкладки використовується будь-яке растрове зображення, прив'язане до координат за допомогою простої процедури. При цьому враховуються: фактичний стан маршруту для переміщення до району; можливі місця початку і закінчення руху; цінність місцевості для орієнтування; раціональна конфігурація робочого поля карти.

У процесі підготовки топооснови (при використанні індивідуального методу) повинно скластися загальне уявлення про місцевість і її характерних ландшафтних особливостей. На фотовідбиток топооснови наносять орієнтири (тверді точки), а саме: великі відкриті простори (вирубки, ріллі), лінії електропередач, просіки, дороги, тощо.

На цьому етапі зазвичай складаються критерії генералізації різних компонентів ландшафту і їх поділ по градаціях, наносяться на карту ті чи інші мікрооб'єкти і їх позначення. Цю роботу зручно поєднати з упізнанням точок, що мають висотні позначки, і фіксуванням висот горизонтальних поверхонь, наявних у районі. Всі горизонтальні поверхні слід прив'язати найкоротшими знімальними ходами не менше ніж до трьох точок з висотними відмітками.

Процес виділення об'єктів на топооснові безпосередньо пов'язаний з її сегментацією, результати якої значно впливають на подальший процес аналізу зображення і управління БПЛА. Для спрощення орієнтації відеокادру на топооснові колір  $f_i$  кожного  $i$ -го об'єкту (орієнтиру) відповідає масиву пікселів  $D_i$ .

Багаторівневе граничне перетворення, що формує зображення, складається з сегментів з різною яскравістю  $f'(x, y)$ :

$$f'(m,n) = \begin{cases} 1, f(m,n) \in D_1; \\ 2, f(m,n) \in D_2; \\ \dots \\ n, f(m,n) \in D_n; \\ 0, \text{ у решті випадках,} \end{cases}$$

де  $m, n$  - координати пікселя.

В результаті підготовки топооснови повинні бути визначені критерії однорідності для кожного орієнтиру. Наприклад, орієнтир «будівля» буде відрізнятися від орієнтиру «дорога» як за кольором, так і за формою (рис.2).

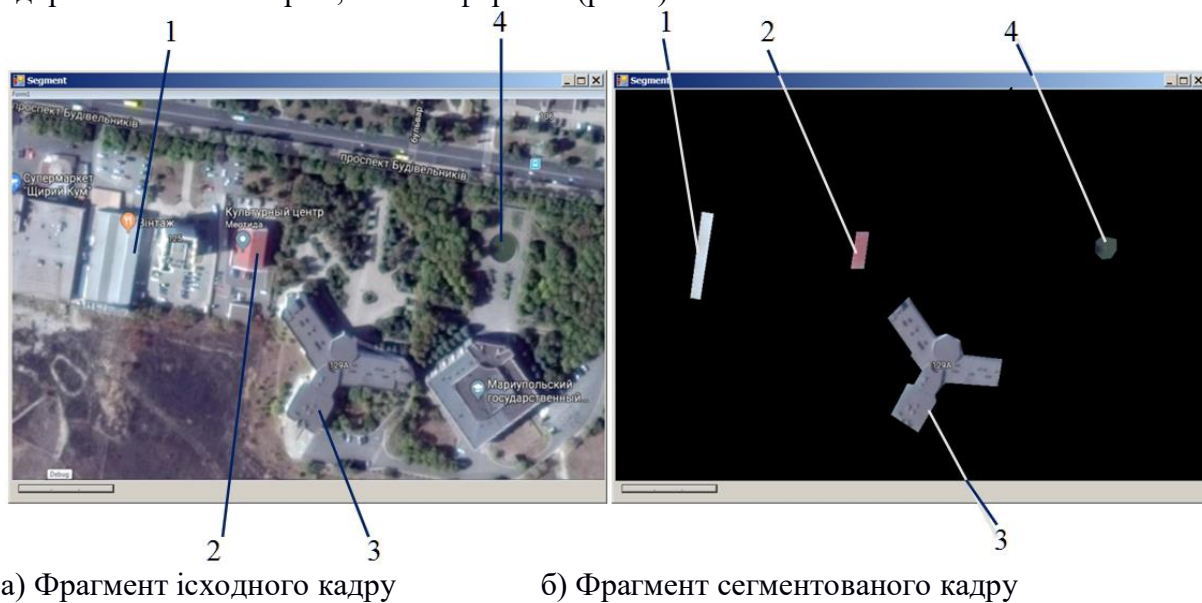


Рис. 2. Фрагменти кадрів топооснови (цифрами позначено номери орієнтирів)

Площа  $S$  орієнтиру залежить від дальності його розташування від об'єктива відеокамери. Карту топооснови необхідно масштабувати відповідно до необхідної висоти розташування БПЛА. Нову площу розраховують з урахуванням масштабуючого коефіцієнта  $k_m$  за формулою  $S = S * k_m$ .

Величина коефіцієнту  $k_m$  залежить від масштабу топооснови, роздільної здатності матриці і фокуса об'єктиву. Для спрощення розрахунків площа орієнтиру прирівнюється до кількості пікселів його зображення.

Масштаб зображення відеокадру залежить від параметрів фотооб'єктиву відеотехніки. У будь-якої камери є три параметри, які тісно пов'язані між собою (табл.1). А саме, це:

- розмір матриці (вимірюється в дюймах);
- фокусна відстань об'єктива  $F$ , мм;
- кут огляду (вимірюється в градусах).

Таблиця 1

**Розміри матриці параметрів обчислення фокусу об'єктиву**

Розмір матриці	1/2"	1/3"	1/4"
По горизонталі, мм	6,4	4,8	3,2
По вертикалі, мм	4,8	3,6	2,4





Для вірного визначення місця розташування БПЛА необхідно, щоб в його об'єктиві розміщувалося не менше трьох орієнтирів. Тому вибір кута огляду дуже важливий і визначається завданнями, які ставлять перед камерою. Знаючи розмір матриці, обчислюють фокусну відстань ФР об'єктиву за такими формулами:

$$\text{ФР} = h \times S / H \text{ або } \text{ФР} = v \times S / V, \quad (1)$$

де  $h$  – розмір матриці по горизонталі;  $S$  – відстань до об'єкта відеоспостереження,  $m$ ;  $H$  – величина об'єкта в горизонтальній площині,  $m$ ;  $v$  – матриця по вертикалі,  $mm$ ;  $V$  – величина об'єкта в вертикальній площині,  $m$ .

На підставі формули (1) вибираємо фокусну відстань камери відеоспостереження. Віддаленість об'єкту від точки спостереження - 200  $m$ . Щоб знайти оптимальну фокусну відстань камери, підставляємо в формулу (1) відомі значення, які відповідають відеокамері з матрицею 1/4" (табл. 1).

$$\text{ФР} = 3,2 \times 200 / 100 = 6,4 \text{ мм.}$$

Округлюємо в більшу сторону (щоб не втратити частину зображення) і отримуємо, що нам необхідна камера зі стандартним ФР = 6 мм. Кути огляду при цьому складуть  $\alpha = 30^\circ$ .

Виходячи з формули (1) масштаб зображення при постійній фокусній відстані ФР залежить тільки від висоти  $h$ . Тому, знаючи висоту зйомки і масштаб топографічної карти та зіставляючи її зображення і фотографією місцевості, крім координат БПЛА система управління повинна визначати його висоту.

Модуль "PointsMap" виконує завдання редагування сегментованої карти топооснови, на якій задаємо траєкторію польоту БПЛА. При завданні орієнтирів відкривається меню, що випадає, в якому задають висоту по осі  $OZ$ . Швидкість руху БПЛА дорівнює швидкості зміни кадрів топооснови по маршруту слідування при досягненні орієнтиру.

Результати побудови маршруту руху потім завантажують в програму польоту системи управління БПЛА.

При запуску БПЛА відбувається калібрування початкової точки маршруту. Протягом усієї траєкторії руху система управління автоматично відстежує по топооснові розташування БПЛА щодо заздалегідь зазначених орієнтирів. Це необхідно, щоб в разі втрати сигналу управління і переходу в автоматичний режим, система заново не шукала розташування БПЛА за орієнтирами уздовж всього маршруту руху.

З метою виділення (визначення) об'єктів на кадрі попередньо здійснюють його сегментацію, результати якої значно впливають на подальший процес аналізу зображення. Використовують такий же алгоритм сегментації і такі ж величини критеріїв однорідності  $D$ , як і при підготовці топооснови.

При піксельному зіставленні сегментованих зображень топооснови і відеокадру витрати часу перевищують допустимі величини. Тому необхідно здійснювати їх укрупнення. Загальноприйнятним є розмір порівнюваного елемента зображення, що дорівнює  $5 \times 5 \text{ px}$ . Допустимою є ступінь відповідності орієнтирів відеокадру і кадру топооснови у  $\xi > 0,7$ . При цьому результати зіставлення кадрів істотно не погіршуються. Ступінь відповідності  $\xi$  орієнтирів обчислювали як відношення кількості пікселів, що не відрізняються, до загальної кількості в ньому.

Розроблено алгоритм, заснований на зіставленні геометричних параметрів орієнтирів. Такими параметрами прийнято координати геометричного центру  $O(x, y)$  та площа  $S$ . Отже, в результаті підготовки топоснови формується множина  $\Omega(D, O, S)$ .

Для кожного  $i$ -го об'єкту топоснови обчислюються координати геометричного центру за такими формулами

$$x = \sum x_i / n; y = \sum y_i / n,$$

де  $n$  – загальна кількість пікселів в орієнтірі.

Відповідність сегментованих відеокадру і кадру топооснови має забезпечуватись виконанням умови мінімального відхилення координат  $(x_k, y_k)$  орієнтирів, а також їх площ  $S_k$ :

$$\Phi(a, b, c) = \sum_{i=1}^n [(x_m - a \cdot x_k)^2 + (y_m - b \cdot y_k)^2 + (S_m - c \cdot S_k)^2] \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $a, b$  і  $c$  – коефіцієнти, що вказують напрямок руху БПЛА по осях  $OX, OY$  та  $OZ$ , відповідно ( $a > 0, b > 0, c > 0$ ).

Функція (2) є цільовою, яка визначає подальший напрямок руху БПЛА в залежності від значень коефіцієнтів  $a, b$  і  $c$ .

Відповідно до методу найменших квадратів для знаходження мінімуму цільової функції (2) необхідно вирішити систему трьох рівнянь приватних похідних по кожному коефіцієнту.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Phi(a, b, c)}{\partial a} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n [(x_m - a \cdot x_k)^2 + (y_m - b \cdot y_k)^2 + (S_m - c \cdot S_k)^2]}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial \Phi(a, b, c)}{\partial b} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n [(x_m - a \cdot x_k)^2 + (y_m - b \cdot y_k)^2 + (S_m - c \cdot S_k)^2]}{\partial b} = 0 \\ \frac{\partial \Phi(a, b, c)}{\partial c} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n [(x_m - a \cdot x_k)^2 + (y_m - b \cdot y_k)^2 + (S_m - c \cdot S_k)^2]}{\partial c} = 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

В результаті перетворень отримуємо систему рівнянь з трьома невідомими  $a, b$  й  $c$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} -2 \sum_{i=1}^n (x_m \cdot x_k) + 2a \sum_{i=1}^n x_k^2 + \sum_{i=1}^n y_m^2 - 2 \cdot b \sum_{i=1}^n (y_m \cdot y_k) + b^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_k^2 + \sum_{i=1}^n S_m^2 - 2 \cdot c \sum_{i=1}^n (S_m \cdot S_k) + c^2 \sum_{i=1}^n S_k^2 = 0 \\ -2 \sum_{i=1}^n (y_m \cdot y_k) + 2b \sum_{i=1}^n y_k^2 + \sum_{i=1}^n x_m^2 - 2 \cdot a \sum_{i=1}^n (x_m \cdot x_k) + a^2 \cdot \sum_{i=1}^n x_k^2 + \sum_{i=1}^n S_m^2 - 2 \cdot c \sum_{i=1}^n (S_m \cdot S_k) + c^2 \sum_{i=1}^n S_k^2 = 0 \\ -2 \sum_{i=1}^n (S_m \cdot S_k) + 2c \sum_{i=1}^n S_k^2 + \sum_{i=1}^n x_m^2 - 2 \cdot a \sum_{i=1}^n (x_m \cdot x_k) + a^2 \cdot \sum_{i=1}^n x_k^2 + \sum_{i=1}^n y_m^2 - 2 \cdot b \sum_{i=1}^n (y_m \cdot y_k) + b^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_k^2 = 0 \end{array} \right.$$

(4)

Наведену систему рівнянь (4) вирішували методом простих ітерацій.

Наприклад. В результаті сегментації встановлені наступні координати 3-ох орієнтирів на топооснові і відеокадрі.

Топооснова  $x_m = (20, 10, 4)$ ,  $y_m = (25, 12, 5)$  й  $S_m = (300, 400, 200)$ .

Відеокадр  $x_k = (18, 8, 3)$ ,  $y_k = (26, 14, 7)$  й  $S_k = (270, 370, 180)$ .

Рішення системи (3) дасть таку відповідь  $a = 1.065$ ,  $b = 0.895$  та  $c = 1.094$ .

Це означає, що БПЛА повинен бути правіше на  $a$  координатних одиниць (к.од.), назад на  $b$  к.од. і вище на  $c$  к.од.

Для аналізу фотовідбитку топооснові використовувалася wrapper бібліотека OpenCvSharp під .Net Framework [12].

### 3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Розроблено працездатну систему автоматичного управління БПЛА з використанням методів технічного зору в умовах втрати радіосигналу управління або GPS-навігації.

2. Вперше для розрахунку сигналу управління при зіставленні кадрів топооснові і відео використаний метод найменших квадратів, що істотно підвищило надійність автоматичного управління.

3. У перспективі можливий розвиток системи підготовки топооснові з метою автоматичного пошуку і завдання орієнтирів на зображенні місцевості.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Махровська Н.А. Аналіз алгоритмів розпізнавання образів для оптимізації рішення задачі пошуку об'єкта у відеоряді / Махровська Н.А., Безрукава В.Г., Погромська Г.С. // Молодий вчений - 2016. - № 5 (32). - С. 238-241.
- [2] Степанюк-Волинський С.І. Розпізнавання образів на основі аналогових нейронних мереж: визначення максимальних сигналів / С.І. Степанюк – Волинський // Науковий вісник НЛТУ України – 2010. – Вип. 20.11. - С. 307-315.
- [3] Котвицький Р. С. Автоматичне керування оптичною віссю камери на основі системи технічного зору з використанням методу ідентифікації об'єктів за кольором / Р. С. Котвицький, Г. В. Сарибоба, О. В. Збруцький // Інформаційні системи, механіка та керування: науково-технічний збірник – 2015. – Вип. 13. – С. 111–115.
- [4] Возна Н. Я. Критерій структурної складності та оцінки розширеної хеммінгової віддалі для просторових об'єктів / Н. Я. Возна, А. І. Сидор // Науковий вісник НЛТУ України – 2017. - т. 27. - № 4. - С. 159-165, <https://doi.org/10.15421/40270434>
- [5] Chris Urmson. Autonomous Driving in Urban Environments: Boss and the Urban Challenge / Chris Urmson, Joshua Anhalt, Drew Bagnell, [etc.] // Journal of Field Robotics - 2008. - 25(8), pp. 425–466. <https://doi.org/10.1002/rob.20255>
- [6] Мариношенко А.П. Использование методов особых точек с целью улучшения идентификации и детектирования навигационных сигналов / А.П. Мариношенко, А.А. Пикенин // Молодий вчений - 2018. - № 4 (56). - С. 363-369.
- [7] G. Payen de La Garanderie. Eliminating the Dreaded Blind Spot: Adapting 3D Object Detection and Monocular Depth Estimation to 360° Panoramic Imagery / G. Payen de La Garanderie, A. Atapour-Abarghouei, T.P. Breckon // European Conference on Computer Vision, Springer – 2018. - pp. 812-830. <http://breckon.eu/toby/publications/papers/pdgl18panoramic.pdf>
- [8] Anna Gaszczak, Toby P. Breckon, and Jiwan Han "Real-time people and vehicle detection from UAV imagery", Proc. SPIE 7878, Intelligent Robots and Computer Vision XXVIII: Algorithms and Techniques, 78780B (24 January 2011); <https://doi.org/10.1117/12.876663>





- [9] Круліковський Б.Б. Теоретичні основи розпізнавання багатомарних образів у хеммінговому просторі / Б.Б. Круліковський, А.І. Сидор , О.М. Заставний [та ін.] // Науковий вісник НЛТУ України - 2016. - Вип. 26.3. - С. 361-367
- [10] Чочиа П.А. Сегментация изображений на основе анализа расстояний в пространстве признаков / П.А. Чочиа // Автометрия - 2014. - т. 50. - № 6. – С. 97-110
- [11] Klas Nordberg. A flexible runtime system for image processing in a distributed computational environment for an unmanned aerial vehicle // Klas Nordberg, Patrick Doherty, Per-Erik Forssén, Johan Wiklund and Per Andersson.- International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence. - Vol. 20, No. 05, pp. 763-780 (2006) <https://doi.org/10.1142/S0218001406004867>
- [12] Bradski G.R. Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library / Dr. Gary Rost Bradski, Adrian Kaehler - O'Reilly Media, Inc., 2017. - 1024 p.

**Shabelnik Tetyana**

Doctor of Economics, Docent, Head of Mathematics Methods and System Analysis Department  
Mariupol State University, Mariupol, Ukraine  
ORCID: 0000-0001-9798-391X  
*tanya.shabelnik17@gmail.com*

**Krivenko Serhii**

Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof., Assoc. Prof. of Mathematics Methods and System Analysis Department  
Mariupol State University, Mariupol, Ukraine  
ORCID: 0000-0002-0319-7174  
*booktwix@gmail.com*

**Koneva Olena**

higher education seeker  
Mariupol State University, Mariupol, Ukraine  
ORCID: 0000-0003-1566-1074  
*lena50338@ukr.net*

## AUTOMATIC PILOT SYSTEM FOR UNMANNED OF AIRCRAFT IN THE ABSENCE OF RADIO COMMUNICATION

**Abstract.** One of the most pressing problems of piloting unmanned aerial vehicles (UAV) in the absence of radio communication is considered in the article. Therefore, the aim of the article is to develop an algorithm and method of automatic piloting of UAV in terms of loss of radio control signal using the methods of technical vision. The most effective methods of tracking, identification and detection of landmarks are based on the comparison of reference information (database of known navigation objects) with the observation scene in real time. Working system of automatic piloting of UAVs in the conditions of loss of radio control signal or GPS-navigation developed. The hardware and software of the UAV provides full automatic control. The programming of the system consists of two stages: planning the flight task and calculating the trajectory of the UAV in flight. The planning of the flight task is carried out by setting the topographic landmarks and flight parameters in relation to them. At this stage, the criteria for the generalization of the various components of the landscape are formed and their division by gradations. This work is combined with the recognition of points with altitude marks, and fixing the heights of horizontal surfaces available in the area. All horizontal surfaces are tied with the shortest shooting strokes to at least of three points with elevations. The process of topography-based object selection is directly related to its segmentation, the results of which significantly affect the further process of image analysis and UAV control. The calibration of the starting point of the route occurs during the launch of the UAV. The control system automatically monitors the location of the UAV throughout the trajectory of the movement on a topographic basis relative to the prespecified landmarks. Structured shots of the terrain and topographic bases are compared during the flight. The algorithm is based on the comparison of geometric parameters of landmarks. The parameters of the geometric center  $O(x, y)$  and the area  $S$  are taken into account by such parameters. The control signal in the three axes  $OX$ ,  $OY$  and  $OZ$  is determined for the first time by the method of least squares depending on the values of the calculated coefficients of the original equations.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle; technical vision; navigation

### REFERENCES

- [1] Mahrovska N.A., Bezrukava V.G., Pogromska G.S. "Analysis of image recognition algorithms to optimize the solution of the problem of finding an object in the video sequence" // *Molodij Vchenij* - 2016. - № 5 (32). - pp. 238-241. (in Ukrainian)
- [2] Stepanyuk-Volinskij S.I. "Rozpiznavannya obraziv na osnovi analogovih nejronnih mrezh: viznachennya maksimalnih sign Pattern recognition based on analog neural networks: determination of maximum signals" // *Naukovij visnik NLTU Ukrayini* – 2010. – 20.11. - pp. 307-315. (in Ukrainian)



- [3] Kotvickij R. S. Avtomatichne keruvannya optichnoyu visnyu kameri na osnovi sistemi tehničnogo zoru z vikoristannyam metodu identyfikaciyi ob'ektiv za kolorom / R. S. Kotvickij, G. V. Sariboga, O. V. Zbruckij // Informacijni sistemi, mehanika ta keruvannya: naukovo-tehničnij zbirnik – 2015. – Vip. 13. – pp. 111–115. (in Ukrainian)
- [4] Vozna N. Ya., Sidor A. I. “Criterion of structural complexity and estimation of extended hemming distance for spatial objects” // Naukovij visnik NLTU Ukrayini – 2017. - t. 27. - № 4. - pp. 159-165, <https://doi.org/10.15421/40270434> (in Ukrainian)
- [5] Chris Urmson. Autonomous Driving in Urban Environments: Boss and the Urban Challenge / Chris Urmson, Joshua Anhalt, Drew Bagnell, [etc.] // Journal of Field Robotics - 2008. - 25(8), pp. 425–466. <https://doi.org/10.1002/rob.20255>. (in English)
- [6] Marinoshenko A.P., Pikenin A.A. “Use point-of-sight methods to improve the identification and detection of navigation signals” // Molodij Vchenij - 2018. - № 4 (56). - pp. 363-369. (in Ukrainian)
- [7] G. Payen de La Garanderie. Eliminating the Dreaded Blind Spot: Adapting 3D Object Detection and Monocular Depth Estimation to 360° Panoramic Imagery / G. Payen de La Garanderie, A. Atapour-Abarghouei, T.P. Breckon // European Conference on Computer Vision, Springer – 2018. - pp. 812-830. <http://breckon.eu/toby/publications/papers/pdgl8panoramic.pdf>. (in English)
- [8] Anna Gaszczak, Toby P. Breckon, and Jiwan Han "Real-time people and vehicle detection from UAV imagery", Proc. SPIE 7878, Intelligent Robots and Computer Vision XXVIII: Algorithms and Techniques, 78780B (24 January 2011); <https://doi.org/10.1117/12.876663>. (in English)
- [9] Krulikovskij B.B., Sidor A.I., Zastavnij O.M. [etc.] “Theoretical bases of recognition of multifaceted images in Hamming space” // Naukovij visnik NLTU Ukrayini - 2016. - 26.3. - pp. 361-367. (in Ukrainian)
- [10] Chochia P.A. Image segmentation based on distance analysis in feature space // Avtometriya - 2014. - t. 50. - № 6. – pp. 97-110. (in English)
- [11] Klas Nordberg. A flexible runtime system for image processing in a distributed computational environment for an unmanned aerial vehicle // Klas Nordberg, Patrick Doherty, Per-Erik Forssen, Johan Wiklund and Per Andersson.- International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence. - Vol. 20, No. 05, pp. 763-780 (2006) <https://doi.org/10.1142/S0218001406004867>. (in English)
- [12] Bradski G.R. Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library / Dr. Gary Rost Bradski, Adrian Kaehler - O'Reilly Media, Inc., 2017. - 1024 p. (in English)

