

УДК 004.93:528.023:355.404.4(045)

DOI: 10.18372/2310-5461.35.11839

**О. Г. Піскунов**, канд. фіз.-мат. наук.  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0002-9200-3422  
e-mail: agp1.ua@gmail.com;

**І. А. Юрчук**, канд. фіз.-мат. наук, доц.  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0001-8206-3395  
e-mail: iyurch@ukr.net;

**Л. В. Білянська**  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0002-9351-7492  
e-mail: belyanskaya\_lolita@rambler.ru

## ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТІ БАЧЕННЯ КАМЕРИ ПРИ АЕРОФОТОЗЙОМЦІ

### Вступ

Інтенсивний розвиток технічних засобів для фотозйомки та моніторингу з допомогою БПС призвів до необхідності обробки фотоматеріалів практично у повсякденні. Зокрема групу знімків необхідно приводити до одного масштабу та трансформувати з застосування кутів нахилу камери. Ключовою підзадачею цього процесу обробки фотоматеріалу є задача визначення координат області бачення камери, як і координати кожного окремого пікселя. Це дозволяє прив'язати фотографії до карти місцевості.

### Огляд досліджень і публікацій

Можна стверджувати, що розглянуте питання потребує свого розв'язання в таких випадках:

- 1) актуалізації карт (див. відкриті картографічні сервіси, наприклад, [1], [2]);
- 2) спостереження врожайності сільськогосподарських полів [3];
- 3) аерофотозйомки трубопроводів [4];
- 4) моніторингу стану териконів [5];
- 5) створення фотопланів місцевості [6], [7];

Результати роботи авторів статті видавались в тезах доповідей [8], причому для невеликих висот польоту (до 1 км) та невеликих ділянок території використовувалася прямокутна локальна система координат, тобто не враховувалась кривизна земної поверхні, як і в праці [9]. Оцінка відхилення позиціонування буде обговорюватися в наступних роботах.

### Постановка проблеми

Нехай деяка точка  $O$  — початок відліку на поверхні Землі. Задамо систему координат  $XYZO$ , у якій вісь  $OZ$  — нормаль до земної поверхні в точці  $O$ , вісь  $OX$  дотикається до меридіана в точці  $O$ , додатній напрям якої збігається з північним, та вісь  $OY$  дотикається до паралелі в точці  $O$ , а її додатній напрям збігається зі східним.

Розглянемо також систему координат  $\xi\eta\zeta O'$ , де точка  $O'$  — центр маси безпілотного літального апарата (БПЛА). Вісь  $\xi$  (вісь обертання, англ. *roll*) спрямована від хвоста БПЛА до носа в нормальному напрямку польоту, вісь  $\eta$  (вісь тангажу, англ. *pitch*) спрямована зліва направо відносно пілота і паралельно крила, а вісь  $\zeta$  (вісь нищпорення, англ. *yaw*) спрямована зверху до низу і перпендикулярна до двох інших осей.

Нехай  $(x_{BLA}, y_{BLA}, z_{BLA})$  координати БПЛА в системі координат  $XYZO$ . Відомо наступні кути:  $\omega$  — поворот БПЛА навколо осі  $\xi$ ,  $\varphi$  — поворот БПЛА навколо осі  $\eta$  і  $\kappa$  — поворот БПЛА навколо осі  $\zeta$ . Дані кути називають кутами орієнтування БПЛА.

Нехай отримано дані

$$(\text{photo}, x_{BLA}, y_{BLA}, z_{BLA}, \omega, \varphi, \kappa),$$

де *photo* — цифровий знімок,  $(x_{BLA}, y_{BLA}, z_{BLA})$  — координати БПЛА та  $(\omega, \varphi, \kappa)$  — кути орієнтування БПЛА у просторі у момент фіксації зображення.

**Метою дослідження статті** є розробка інформаційної технології, яка забезпечує визначення координат області бачення камери БПЛА в режимі, який близький до реального часу, та провести його тестування на даних аерофотозйомки.

### Основний теоретичний матеріал

Перш ніж перейти до алгоритму, зауважимо, якщо спостерігати з  $OZ_+$  за рухом від  $OX_+$  до  $OY_+$ , то маємо рух за годинниковою стрілкою. Отже, система координат  $XYZO$  є лівосторонньою. Тоді, як система координат  $\xi\eta\zeta O'$  є правосторонньою.

Оскільки, від  $O'\xi_+$  до  $O'\eta_+$  рух проти годинникової стрілки, якщо спостерігати з  $O'\xi_+$ .

Нагадаємо, якщо точку  $A(x, y, z)$  повернути відносно точки  $O(0, 0, 0)$  навколо осі  $OX$  деякої правосторонньої прямокутної декартової системи координат на кут  $\alpha$  проти годинникової стрілки, то координати отриманої точки  $A'(x', y', z')$  обчислюють за формулою:

$$(x' y' z') = (x y z) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Матрицю  $3 \times 3$ , що записана ліворуч у формулі (1), називають матрицею повороту [10]. Надалі, ми будемо її позначати через  $R_{OX}(\alpha)$ .

Слід зауважити, що формула (1) змінюється, якщо, наприклад, виконувати поворот за годинниковою стрілкою чи змінити орієнтацію системи координат, у якій задано точку. Припустимо, що точка  $P(x_{BLA}, y_{BLA}, 0)$  — проекція центру бачення камери на поверхню Землі за нульових кутах тангажу, крену та нишпорення.

Запишемо алгоритм знаходження координат деякої точки в системі  $XYZO$ , яка отримана з  $P$  за допомогою повороту на ненульові кути орієнтації БПЛА. Алгоритм визначення координат центру бачення камери БПЛА в системі  $XYZO$  за заданими кутами  $(\omega, \varphi, \kappa)$ :

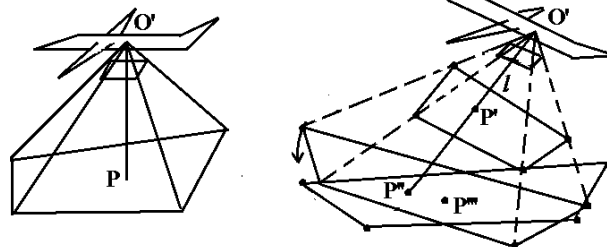


Рис. 1. Графічна ілюстрація алгоритму визначення координат центру бачення камери

### Опис програмного забезпечення (ПЗ)

Версія програмного забезпечення для настільних комп'ютерів розроблена у вигляді декількох класів на мові С# оформлених як динамічно приєднувана бібліотека. Методи бібліотеки дозволяють отримати координати кутів чотирикутника, координати обраних оператором пікселей та знімки спроектовані на площину.

Крім того був реалізований тестувальний модуль для виконання проектування фотографій на площину (projection of aerial picture to the plane), який на вхід отримує 3 типи файлів.

Ці файли мають таку структуру:

1. Узгодимо системи координат  $\xi\eta\zeta O'$  та  $XYZO$  за допомогою композиції зсуву на величини  $(-x_{BLA}, -y_{BLA}, -z_{BLA})$  та перетворення  $Z = -z$ .

2. Виконаємо перетворення

$$R = R_{\eta}(\varphi) \cdot R_{\zeta}(\omega),$$

де через « $\cdot$ » позначено операцію правостороннього множення матриць. Тобто, спочатку виконаємо поворот на кут тангажу, а потім на кут крену.

3. Виконаємо перетворення, які обернені до перетворень наведених в п. 1, та отримаємо точку  $P'(x', y', z')$ .

4. Запишемо рівняння прямої  $l$ , що проходить через точки  $O'$  (її координати задані в системі  $XYZO$  як  $(x_{BLA}, y_{BLA}, z_{BLA})$ ) і  $P'$  та обчислимо координати нової точки  $P''(x'', y'', z'')$ , яка є перетином прямої  $l$  та поверхні Землі, за умови, що  $z'' = 0$ .

5. Знайдемо координати точки  $P'''(x''', y''', z''')$ , яка отримана з  $P''$  зсувом на величини  $(-x_{BLA}, -y_{BLA}, 0)$ , поворотом  $R_{\xi}(\kappa)$  та оберненим зсувом  $(x_{BLA}, y_{BLA}, 0)$ . Точка  $P'''$ , що отримана у наведеному вище алгоритмі, є центром бачення камери, яка лежить на поверхні Землі, за ненульових кутах орієнтації БПЛА (рис. 1).

Аналогічно, знайдемо координати точок, що лежать на межі області бачення камери [11].

Файл 'snapshot.jpg.pxl' — текстовий файл з номерами та координатами (у пікселях) точок обраних оператором у кожному рядку, який має такий формат:

- послідовність символів без пробілу з розширенням — назва кадру, який відповідає одному з файлів зі знімками;
- послідовність символів без пробілу — унікальний ідентифікатор точки обраної оператором;
- ціле число — номер пікселя на кадрі (у напрямку зліва направо);
- ціле число — номер пікселя на кадрі (у напрямку зверху вниз).

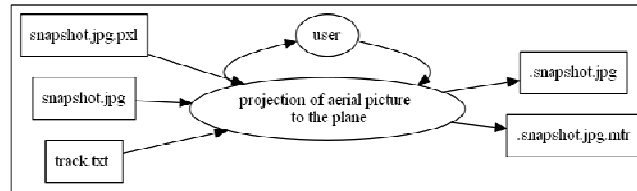


Рис. 2. Графічна схема основних потоків даних

Файли 'snapshot.jpg' — послідовність знімків БПС в одному з загальноприйнятих форматів (звичайно JPEG).

Файл 'track.txt' — текстовий CSV-файл, кожний рядок якої має такий формат:

- послідовність символів без пробілу з розширенням — назва кадру, який відповідає одному з файлів зі знімками;
- дійсне число — градуси північної широти;
- дійсне число — градуси східної довготи;
- дійсне число — висота БПС у метрах;
- дійсне число — курс БПС у градусах;
- дійсне число — тангаж БПС у градусах;
- дійсне число — крен БПС у градусах.

Вихідні дані для роботи мають таку структуру:

Файл '.snapshot.jpg' — послідовність знімків БПС, спроектованих на площину (точка на початку назви входить до назви) в одному з загальноприйнятих форматів. Текстові файли '.snapshot.jpg.mtr' — текстовий CSV-файл, кожний рядок якої має такий формат:

- послідовність символів без пробілу — унікальний ідентифікатор точки обраної оператором;
- дійсне число — координати на північ розраховані у метрах в декартовій системі координат (або градусах північної широти в WGS-84);
- дійсне число — координати на схід розраховані у метрах в декартовій системі координат (або градусах північної широти в WGS-84);
- зауваження до точки.

## Висновки

Розробка ПЗ для визначення області бачення камери при аерофотозйомці завершена. Його тестування показало, що точність обчислення координат визнана задовільною. Причому, координати області бачення камери та координати точок, які обрав оператор, вираховуються в режимі реального часу.

Тому у ході подальшої роботи класи бібліотеки були переписані на мову C++ та портовані в операційну систему родини Linux.

Проте, проектування фотографій з високою роздільною здатністю на площину потребує суттєвого часу.

Приклад спроектованої фотографії можна побачити на рис. 3.

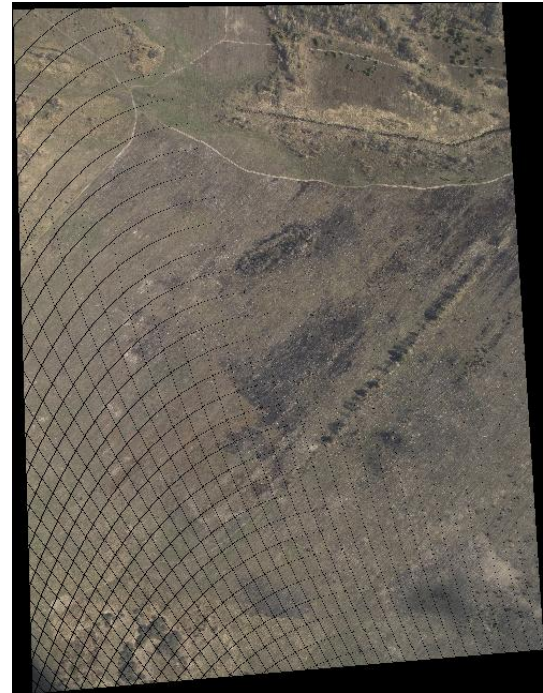


Рис. 3. Приклад проектування фотографії на площину

Подальше тестування бібліотеки відбувалося на мікрокомп'ютері Raspberry Pi3 Model B. Цей мікрокомп'ютер буде встановлюватися на експериментальні зразки БПС, які розробляються в рамках науково-дослідної роботи «Автоматизація розпізнавання та класифікація цільових об'єктів за відеоданими з камери БПС», що виконується в Національному авіаційному університеті.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Картографічний сервіс Google Maps. Інструкція користувача [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.openclass.ru/dig-resource/144679>.
2. Цифровая фотограмметрическая система PHOTOMOD. Руководство пользователя. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www2.racurs.ru/download/docs6/Eng.zip>.
3. Курочкин В. М. Оцінка врожайності на основі аерофотозйомок. Тези XV міжнародної науково-практичної конференції молодих учених і студентів «ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки. Інформаційно-діагностичні системи». — К., 2015 — 143 с.
4. Аэрофотосъемка трубопроводов. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://geotop.com.ua/aerofotosemka-truboprovodov.php>.

5. **Сергеева Е. Л.** Автоматизированный анализ состояния терриконов по данным дистанционного зондирования Земли на основе ГИС. — Збірник наукових праць НГУ. — Д. : Національний гірничий університет, 2013. — № 41 — С. 103–112.

6. **Нечаусов А. С., Замирец О. О.** Методика создания мозаики изображений на основе данных беспилотного летательного аппарата // Системы обработки информации. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба — 2015. — № 8(133). — С. 51–56.

7. Аэрофотосъемка с БПЛА — ортофотоплан. [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://unmanned.ru/service/aerophoto.htm>.

8. **Юрчук И. А., Пискунов А. Г., Бемянская Л. В.** Об одной реализации алгоритма центрального проецирования прямоугольника на плоскость. Тезисы доповідей XIII міжнародної науково-технічної конференції «АВИА-2017. Інформаційні

системи та технології в авіаційній галузі. — К. : НАУ, 2017. — С. 2415.

9. **Карпов Д. П.** Сшивка изображений, полученных в результате аэрофотосъемки. — 2012. — С. 25. [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <https://archive.li/o/fiaQi/is.ifmo.ru/projects/2012/karpo v/description.pdf>.

10. Матрица поворота. [Електронний ресурс]. — Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Матрица\\_поворота](https://ru.wikipedia.org/wiki/Матрица_поворота).

11. **Бурый П. А.** Автоматизация визначення області бачення камери беспилотного летательного аппарата при аэрофотозйомці. Тезисы XVI міжнародної науково-практичної конференції молодих учених і студентів «ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки. Інформаційно-діагностичні системи». — К., 2016. — С. 262.

**Піскунов О. Г., Юрчук І. А., Білянська Л. В.**

### ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТІ БАЧЕННЯ КАМЕРИ ПРИ АЕРОФОТОЗЙОМЦІ

*Представлено алгоритм для визначення області бачення камери при аерофотозйомці, який ґрунтується на послідовному виконанні перетворень зсуву та повороту точки на деякий кут навколо координатної осі відносно початку координат деякої системи, розроблено програмне забезпечення, а також проведено його тестування, що показало задовільну точність обчислення.*

*Версія програмного забезпечення для настільних комп'ютерів розроблена у вигляді декількох класів на мові C# оформлених як динамічно приєднувана бібліотека. Методи бібліотеки дозволяють отримати координати кутів чотирикутника, координати обраних оператором пікселей та знімки спроектовані на площину. У ході подальшої роботи класи бібліотеки були переписані на мову C++ та портовані в операційну систему родини Linux. Подальше тестування бібліотеки відбувалося на мікрокомп'ютері Raspberry Pi3 Model B. Для невеликих висот польоту (до 1 км) та невеликих ділянок території використовувалася прямокутна локальна система координат, тобто не враховувалась кривизна земної поверхні. Оцінка відхилення позиціонування буде обговорюватися в наступних роботах.*

**Ключеві слова:** беспилотный літальний апарат (БПЛА); аерофотозйомка; матриці повороту.

**Пискунов А. Г., Юрчук И. А., Бемянская Л. В.**

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ВИДЕНИЯ КАМЕРЫ ПРИ АЭРОФОТОСЪЕМКЕ

*Представлен алгоритм для определения области видения камеры при аэрофотосъемке, основанный на последовательном выполнении преобразований сдвига и поворота точки на некоторый угол вокруг координатной оси относительно начала координат некоторой системы, разработано программное обеспечение, а также проведено его тестирование, которое показало удовлетворительную точность вычисления. Версия программного обеспечения для настольных компьютеров разработана в виде нескольких классов на языке C# оформленных как динамично присоединяемая библиотека.*

*Методы библиотеки позволяют получить координаты углов четырехугольника, координаты избранных оператором пикселей и снимки спроектированы на плоскость. В ходе дальнейшей работы классы библиотеки были переписаны на язык C++ и портированы в операционную систему семейства Linux. Дальнейшее тестирование библиотеки происходило на микрокомпьютере Raspberry Pi3 Model B. Для небольших высот полета (до 1 км) и небольших участков территории использовалась прямоугольная локальная система координат, то есть не учитывалась кривизна земной поверхности. Оценка отклонения позиционирования будет обсуждаться в последующих работах.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат (БПЛА); аэрофотосъемка; матрицы поворота.

**Piskunov O. G., Yurchuk I. A., Biljanska L.V.**

### **DETERMINATION OF THE CAMERA VISION FIELD AT AEROPHOTOGRAPHY**

*In this paper an algorithm for determining the field of vision of a camera in aerial photography is presented, which is based on the successive transformation of the translation and rotation of the point at a certain angle around the coordinate axis relative to the origin of the coordinates of some system, software was developed, and its testing was performed, which showed satisfactory accuracy of the calculation. The desktop software version is designed in the form of several classes in the C # language, designed as a dynamically linked library. Library methods allow us to get the coordinates of the angles of the quadrilateral, coordinates of the selected pixel operator, and the images projected onto the plane. In the course of further work, the library classes were rewritten to C ++ and ported into the Linux family of operating systems. Further testing of the library took place on the Raspberry Pi3 Model B. Microplating (up to 1 km) and small areas of the territory used a rectangular local coordinate system, that is, the curvature of the earth's surface was not taken into account. The estimation of deviation of positioning will be discussed in the following works.*

Стаття надійшла до редакції 28.08.2017 р.

Прийнято до друку 01.09.2017 р.

Рецензент – канд. фіз.-мат. наук, доц. Поперешняк С. В.