

DOI: 10.18372/2310-5461.47.14935

УДК 007.51:004.023(045)

**П. О. Приставка**, д-р техн. наук, проф.  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0002-0360-2459  
e-mail: chindakor37@gmail.com;

**А. В. Чирков**  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0001-6582-8018  
e-mail: a.chyrkov@nau.edu.ua;

**В. І. Сорокопуд**  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0002-3256-7031  
e-mail: vlad.sorokopud.i@gmail.com;

**Д. В. Здота**  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0003-1015-8373  
e-mail: a.chyrkov@nau.edu.ua

## ІМІТАЦІЙНА АПРОБАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НАВІГАЦІЇ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА ЗА ОПТИЧНИМ КАНАЛОМ

### Вступ

Досвід ведення сучасних бойових дій — у т.ч. на Сході України — показує ефективність використання розвідувальних безпілотних літальних апаратів (БпЛА). Тривіальним способом навігації БпЛА є навігація із використанням GPS. Відповідно, ефективним контрзаходом проти БпЛА є радіочастотне подавлення GPS-сигналу, що у свою чергу робить актуальним питання автономної навігації БпЛА, зокрема із використанням даних з камер цільового навантаження БпЛА.

Ураховуючи складність процесу апробації безпосередньо на БпЛА, а також значні економічні та/або часові втрати у випадку неуспіху, її має сенс виконувати імітаційно на тестових даних.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Базою вирішення зазначеної задачі з точки зору інформаційних технологій є методи пошуку відомих образів на цифровому зображенні. На даний час тривіальними методами, прийнятними для використання на борту БпЛА, є методи пошуку за особливими точками (SIFT [1] та ін.). Одним із можливих напрямків оптимізації є розробка методів, похідних від SIFT, які мають більш оптимальну обчислювальну складність, наприклад, із використанням методології [2].

У праці [3] розроблено такий метод.

У праці [4] описується експериментальний зразок системи, що складається з БпЛА та наземної станції, призначеної для автоматизованого пошуку підозрілих об'єктів на відео в онлайн-режимі.

У праці [5] описується аналогічний експериментальний зразок, призначений для автоматичного супроводження цільового об'єкта.

Якщо ж розглядати методику навігації БпЛА за оптичним каналом у комплексі із задачею розробки відповідного програмно-апаратного комплексу (ПАК), то одним з етапів зазначеного процесу розробки буде апробація розроблених складових частин.

При цьому аналіз відкритих публікацій показує недостатнє висвітлення даного аспекту розробки відповідних ПАК.

**Метою статті** є опис процесу імітаційної апробації метода альтернативної навігації БпЛА за оптичним каналом шляхом розробки відповідного програмного забезпечення (ПЗ).

### Методика проведення імітаційної апробації

Вирішення проблеми позиціонування на БпЛА відбувається за схемою, наведеною на рис. 1.

Мета доплітної підготовки — отримати відповідність особливих точок (розташування яких обирається на особливих об'єктах) GPS-координатам.

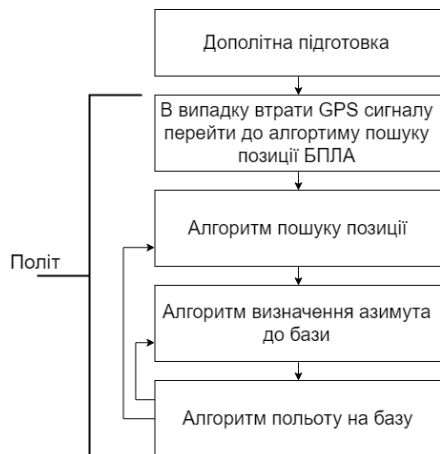


Рис. 1. Схема загальної роботи алгоритму

Процес додаткової підготовки такий: отримується цифрове зображення із геоприв'язкою, визначаються об'єкти-орієнтири, визначаються їх особливі точки обчислювально оптимальним способом, отримані точки зберігаються на БПЛА.

Процес виконання додаткової підготовки з точки зору математичних обчислень описано у праці [6].

Далі БПЛА повинен бути запущеним та виконувати свої функції доти, доки не втрачає сигнал із супутника.

Якщо сигнал GPS втрачено, запускається розроблений метод пошуку позиції, блок-схема якого показана на рис. 2.

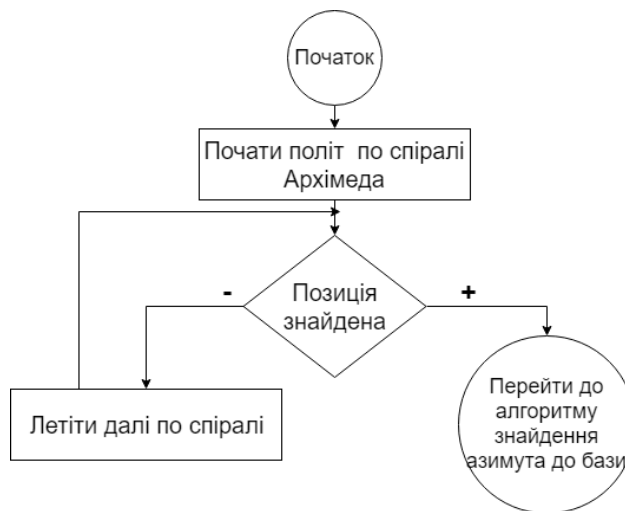


Рис. 2. Блок-схема алгоритму пошуку позиції БПЛА

Коли сигнал втрачено, БПЛА починає літати по траєкторії, що повторює спіраль Архімеда (рівняння у полярній системі координат  $(\rho; \varphi)$ :  $\rho = k\varphi$ ), доки не опиниться над відомим об'єктом. Якщо об'єкт знайдено, позиція об'єкта буде вряхована як позиція дрона.

Сама ж позиція за допомогою знімку з дрону знаходиться за блок-схемою, що показана на рис. 3.

Для її визначення зчитують збережені мапи особливих точок (ОТ-мапи) та знаходять тим же методом пошуку особливих точок (ОТ) на знімку. Після цього вони порівнюються за допомогою швидкої бібліотеки пошуку найближчих сусідів.

Між двома векторами ОТ формуються зв'язки їх схожості, та максимально схожі між собою поєднуються як однакові та ті, що співпали. Після цього використовується двовимірна функція щільності для перевірки адекватності знайденого співпадіння.

Якщо певний відсоток точок потрапляє в одну комірку функції щільності, знайдене місцеположення вважається адекватним та коректним.

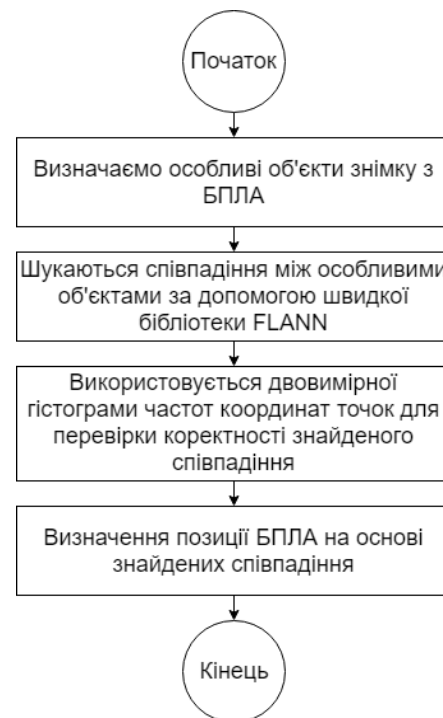


Рис. 3. Блок-схема алгоритму пошуку позиції з одного кадру (FLANN — це програмна бібліотека, у якій реалізовано різні методи обробки зображень)

Після цього, коли відомі координати бази та координати БПЛА, вираховується пряма між ними та азимут до бази. До тестового відключення GPS-сигналу управління БПЛА відбувається стандартним способом, у т.ч. із використанням стандартного автопілота. Після втрати (тестового відключення) GPS-сигналу навігація відбувається шляхом визначення розташування БПЛА на основі особливих точок.

Ураховуючи складність процесу апробації безпосередньо на БПЛА, а також значні економічні та/або часові втрати у випадку неуспіху, її має сенс виконувати імітаційно на тестових даних, якими, зокрема, можуть бути зображення великого розміру, зняті відповідною камерою протягом реального польоту реального БПЛА (наприклад, при виконанні ними інших задач — в такому разі відсутні додаткові витрати на передполітну підготовку, запуск БПЛА тощо).

#### Імітація польоту на тестових зображеннях

Сутність імітації полягає у заміні вхідного відеопотоку: замість реального польоту використовуються тестові знімки розмірністю, що значно перевищують роздільну здатність відеокамери. Відповідно, реальний політ замінюється ковзним вікном (імітація області бачення камери БПЛА [7–8]) по зазначеному тестовому знімку, а переміщення БПЛА — рухом ковзного вікна у відповідному напрямку.

#### Програмне забезпечення для проведення імітаційної апробації

Під час виконання поставленого завдання було створено відповідне програмне забезпечення (ПЗ).

Середою розробки було обрано *Visual Studio 2017 Community* через її великий спектр можливостей, безкоштовність та широку можливість відладки.

Мовою програмування — C# через швидкість розробки при використанні ООП парадигми.

Тестування проведено на комп'ютері за такими характеристиками:

- процесор — Intel Core i7-3517U 1.9 GHz;
- оперативна пам'ять — 8 Гб 2400GHz;
- відеокарта — NVidia GeForce GT 635M.

Після запуску ПЗ отримуємо вікно, що можна побачити на рис. 4.

У виділеній зоні 1 (рис. 4) знаходяться параметри для методу фільтрації особливих точок. «Коеф. зменшення» — параметр, що вказує наскільки зменшити зображення для подальшого пошуку найособливіших точок. «Діаметр зони для розшуку» — показник що вказує у якому діаметрі від найбільш особливих точок ОТ-мапи будуть залишати.

Після того як обрані параметри фільтрації та зчитана мапа, відбувається автоматичний пошук ОТ та їх фільтрація за заданими параметрами. Після того як дані відфільтровані вони зберігаються в текстовому файлі для подальшого використання.

Далі потрібно зчитати рисунок, що буде використаний для імітації польоту дрону.

Для цього спочатку тиснемо «File», далі «Read AircraftImage», після чого з'являється діалогове вікно, в якому є можливість обрати зображення.

Результат можна побачити на рис. 5.



Рис. 4. Початкове вікно програми



Рис. 5. Результат зчитаного зображення для імітації польоту

В зоні 1 (рис. 5) обирається розмір камери та гранична ймовірність для перевірки коректності знайдених співпадінь між ОТ мапи та знімку з дрону.

Далі на зображенні для імітації польоту вказується положення бази та місце, де БПЛА втратив сигнал із супутником. Для цього потрібно натиснути правою кнопкою миші на місці, де користувач хоче поставити точку втрати чи базу. Після цього отримуємо результат, що можна побачити на рис. 6.

Після цього, якщо користувач натискає кнопку «Наступний крок» відбувається процес позиціонування дрону та повернення його на базу, описаний раніше, а саме: спочатку дрон шукає свою позицію, після чого летить прямо до бази.

**Результати імітаційної апробації**

Результат першого тесту можна побачити на рис. 7 та 8. На них видно, що дрон повернеться

на базу у випадку, якщо є достатньо інформації по ОТ з мапи та досить чіткого знімку з самого дрону. Видно, що через малий розмір камери БПЛА пошук позиції зайняв багато часу, так як безпілотною довго літав по спіралі.

При збільшенні розмірів знімку з камери швидкість знаходження збільшується, та збільшується можливість корекції місцеположення, як це видно в зоні 1 (рис. 9).

У випадку, коли дрон довго летить без визначення позиції впродовж польоту, пошук позиції відбувається знову (рис. 10). Видно, що розроблений алгоритм працює правильно та пошук позиції потрібен.

Також було проведено тестування на різних зображеннях з різною якістю зображень (рис. 11). Було підтверджено, що метод працює на різних зображеннях, та хоча і залежить від якості, але може обробляти неякісні зображення.



Рис. 6. Задання бази та точки втрати сигналу супутника



Рис. 7. Імітація польоту БПЛА по спіралі Архімеда для пошуку позиції



Рис. 8. Імітація польоту БПЛА на базу



Рис. 9. Тестування у випадку польоту БПЛА на базу з збільшеним розміром знімку з камери



Рис. 10. Тестування у випадку довгого шляху без визначення позиції впродовж польоту

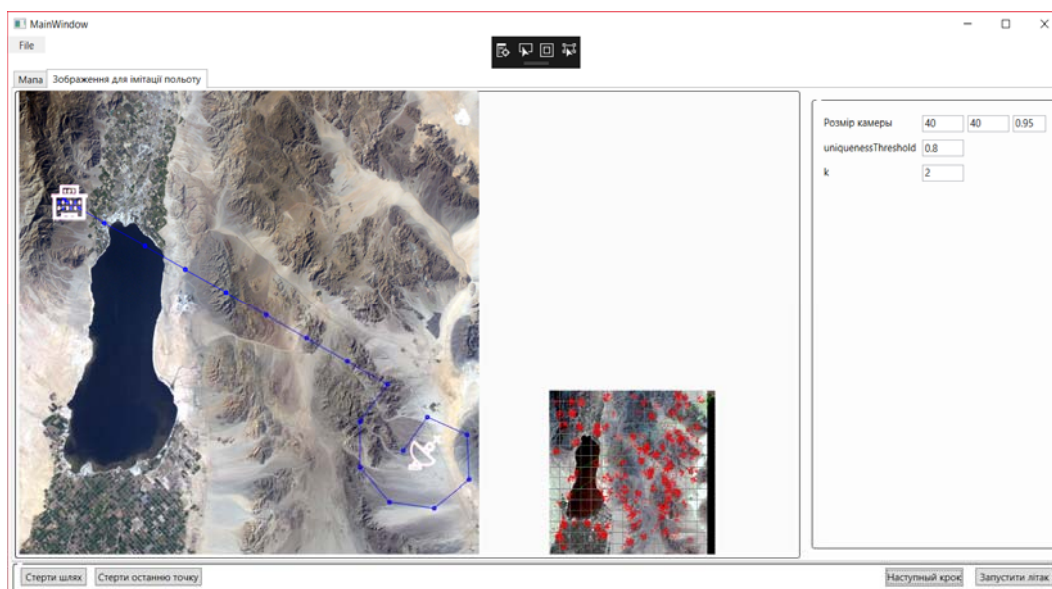


Рис. 11. Тестування на менш якісних зображеннях

Таким чином, у результаті виконання імітаційної апробації запропонованого методу у праці [3] було отримано очікувані результати, що підтверджує його коректність.

#### Висновки

У результаті виконання викладених в публікації робіт отримані такі результати:

1. Розроблено ПЗ для виконання імітаційної апробації запропонованої у праці [3] технології навігації літального апарата за оптичним каналом (далі — технологія).

2. Наведено опис структури розробленого ПЗ.

3. Виконано імітаційну апробацію із використанням розробленого ПЗ.

4. Підтверджено коректність роботи запропонованої технології на різних зображеннях та в різних ситуаціях.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на апробацію запропонованої технології у складі реального БПЛА.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Lowe D. G. Object Recognition from Local Scale-Invariant Features. Proc. of the 7th IEEE International Conference on *Computer Vision*. September 1999. № 7.

Doi: 10.1109%2FICCV.1999.790410

2. Приставка П. О. Поліноміальні сплайни при обробці даних. Д.: Вид-во Дн-вського націон. ун-ту, 2004. 236 с.

3. Приставка П. О. Визначення особливостей зображень на основі комбінацій В-сплайнів другого порядку, близьких до інтерполяційних у середньо-

му. *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій*. 2015. Т. 19. С. 67–77.

Doi: 10.15421/431507

4. **Приставка П. О.**, Сорокопуд В. І., Чирков А. В. Експериментальний зразок автоматизованої системи пошуку підозрілих об'єктів на відео з безпілотного повітряного судна. *Системи озброєння і військова техніка*. 2017. № 2(50). С. 26–32.

5. **Prystavka P.**, Sorokopud V., Chyrkov A., Kovtun V. Automated Complex for Aerial Reconnaissance Systems in Modern Armed Conflicts. *CEUR Workshop Proceedings*. 2019. Vol. 2588. P. 57–66. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85083197274&partnerID=40>

6. **Піскунов О. Г.**, Юрчук І. А. Нанесення фотоматеріалів літального апарату на растрові карти відкритих картографічних сервісів. *Наукоємні технології*. 2018. № 4(36). С. 102–104.

Doi: 10.18372/2310-5461.36.12226

7. **Buryi P.**, Pristavka P., Sushko V. Automatic Definition the Field of View of Camera of Unmanned Aerial Vehicle. *Science-Based Technologies*. 2016. №2(30). P. 151–155.

8. **Піскунов О. Г.**, Юрчук І. А., Білянська Л. В. Визначення області бачення камери при аерофотозйомці. *Наукоємні технології*. 2018. № 3(35). С. 204–208.

Doi: 10.18372/2310-5461.35.11839

## **Приставка П. О., Чирков А. В., Сорокопуд В. І., Здота Д. В. ІМІТАЦІЙНА АПРОБАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НАВІГАЦІЇ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА ЗА ОПТИЧНИМ КАНАЛОМ**

*Досвід сучасних бойових дій — включаючи Східну Україну — свідчить про ефективність використання розвідувальних безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Тривіальним способом навігації розвідувальних БПЛА є навігація за допомогою GPS. Таким чином, ефективним протидією проти розвідувальних БПЛА є радіочастотне придушення сигналу GPS, що, у свою чергу, актуалізує проблему автономної навігації розвідувальних БПЛА, зокрема з використанням даних з камер цільового навантаження БПЛА. Отже, актуальним напрямком розвитку розвідувальних БПЛА є розробка нових методів та алгоритмів альтернативної навігації з використанням оптичного каналу шляхом розпізнавання місцевості та визначення координат в режимі реального часу виключно за даними камер цільового навантаження БПЛА. Основою вирішення цієї проблеми з точки зору інформаційних технологій є методи пошуку відомих об'єктів на цифровому зображенні. З іншого боку, розглядаючи метод навігації розвідувальних БПЛА по оптичному каналу в поєднанні із завданням розробки відповідного програмно-апаратного комплексу (ПАК), одним із етапів зазначеного процесу є практична апробація розроблених компонентів. Аналіз існуючих публікацій свідчить про недостатнє висвітлення цього аспекту розвитку ПАК.*

*Метою цієї статті є опис процесу імітаційної апробації методу навігації розвідувальних БПЛА за оптичним каналом шляхом розробки відповідного програмного забезпечення.*

*Беручи до уваги складність процесу апробації безпосередньо на БПЛА, а також значні економічні та / або часові втрати у випадку неуспіху, має сенс провести апробацію на тестових даних.*

*У цій публікації: розроблено програмне забезпечення для імітаційної апробації технології навігації БПЛА за оптичним каналом, виконано імітаційну апробацію з його використанням, підтверджено коректність роботи запропонованої технології навігації.*

**Ключові слова:** імітаційна апробація; БПЛА; альтернативна навігація; оптичний канал.

## **Prystavka P., Chyrkov A., Sorokopud V., Zdota D. SIMULATION APPROVAL OF INFORMATION TECHNOLOGY OF OPTICAL CHANNEL AIRCRAFT NAVIGATION**

*Experience in modern combat operations — including Eastern Ukraine — shows the effectiveness of reconnaissance unmanned aerial vehicles (UAVs) usage. An obvious way to navigate UAVs is to navigate with using GPS. Thereby, an effective countermeasure against UAVs is radio-frequency suppression of the GPS signal, which in turn raises the issue of autonomous UAV navigation, in particular with the usage of data from the UAV's payload cameras. That is, the current direction of development of reconnaissance unmanned aerial vehicles (UAVs) is the development of new methods and algorithms for alternative navigation on the optical channel by terrain recognizing and determining coordinates in real time from the cameras of the target UAV only. The basis for solving this problem in terms of information technology are object search methods for known images in a digital image. In another way, considering the method of UAV navigation by the optical channel in combination with the task of developing the appropriate software and hardware complex (SHC), one of the stages of the mentioned process is the developed components testing. The publications analysis shows insufficient coverage of this aspect of the SHCs development.*

*The goal of this article is to describe the process of simulation testing of the UAV optical channel navigation method by developing the corresponding software.*

*Considering the complexity of the approbation process on UAV directly, as well as significant economic and/or time loss in case of failure, it makes sense to perform simulation on test data.*

*In this publication: the software for simulation approbation of navigation technology of the aircraft optical channel is developed, the simulation approbation by usage of it is performed, the correctness of work of the offered navigation technology is confirmed.*

**Keywords:** simulation approval; UAV; alternative navigation; optical channel.

**Приставка Ф. А., Чирков А. В., Сорокопуд В. И., Здота Д. В.  
ИМИТАЦИОННАЯ АПРОБАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАВИГАЦИИ  
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПО ОПТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ**

*Опыт современных боевых действий — включая Восточную Украину — свидетельствует об эффективности использования разведывательных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Тривиальным способом навигации БПЛА является GPS-навигация. Таким образом, эффективным противодействием против БПЛА является радиочастотное подавление сигнала GPS, что, в свою очередь, актуализирует проблему автономной навигации БПЛА, в частности с использованием данных с камер целевой нагрузки БПЛА. Т.о., актуальным направлением развития разведывательных БПЛА является разработка новых методов и алгоритмов альтернативной навигации с использованием оптического канала при помощи распознавания местности и определения координат в режиме реального времени исключительно по данным камер целевой нагрузки БПЛА. Основой решения этой проблемы с точки зрения информационных технологий являются методы поиска известных объектов на цифровом изображении. С другой стороны, рассматривая метод навигации разведывательных БПЛА по оптическому каналу в сочетании с задачей разработки соответственно программно-аппаратного комплекса (ПАК), одним из этапов указанного процесса является практическая апробация разработанных компонентов. Анализ существующих публикаций свидетельствует о недостаточном освещении этого аспекта развития ПАК.*

*Целью статьи является описание процесса имитационной апробации метода навигации разведывательных БПЛА по оптическому каналу при помощи разработки соответствующего программного обеспечения.*

*Принимая во внимание сложность процесса апробации непосредственно на БПЛА, а также значительные экономические и / или временные потери в случае неудачи, апробацию имеет смысл проводить на тестовых данных.*

*В этой публикации: разработано программное обеспечение для имитационной апробации технологии навигации БПЛА по оптическому каналу, выполнена имитационная апробация с его использованием, подтверждена корректность работы предложенной технологии навигации.*

**Ключевые слова:** имитационная апробация; БПЛА; альтернативная навигация; оптический канал.

Стаття надійшла до редакції 28.08.2020 р.  
Прийнято до друку 30.09.2020 р.