

УДК 004.75: 629.735

Мусієнко М.П. д.т.н, проф., Журавська І.М., к.т.н, доцент, докторант  
Чорноморський національний університет імені Петра Могили

## СИСТЕМА КОНТРОЛЮ БЕЗПЛОТНИХ АПАРАТІВ, ЗАСНОВАНА НА ВИКОРИСТАННІ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

**Мусієнко М.П., Журавська І.М. Система контролю безпілотних апаратів, заснована на використанні мобільних пристроїв.** У статті запропонований метод контролю безпілотних літальних апаратів (БПЛА) за допомогою мобільних пристроїв, які здійснюють мобільний аналіз даних з БПЛА та оточуючого середовища. Метод базується на використанні сервісу Google Firebase як бази даних реального часу, засобу авторизації Клієнтів та Об'єктів системи контролю БПЛА, засобу синхронізації та мобільного аналізу даних. Розроблена відповідна програмно-апаратна система.

**Ключові слова:** контроль безпілотних апаратів, мобільна аналітика даних, Google Firebase.

**Мусієнко М.П., Журавская И.Н. Система контроля беспилотных аппаратов, основанная на использовании мобильных устройств.** В статье предложен метод контроля беспилотных летательных аппаратов с помощью мобильных устройств, осуществляющих мобильный анализ данных с БПЛА и окружающей среды. Метод основан на использовании сервиса Google Firebase как базы данных реального времени, средства авторизации клиентов и объектов системы контроля БПЛА, средства синхронизации и мобильного анализа данных. Разработана соответствующая программно-аппаратная система.

**Ключевые слова:** контроль беспилотных аппаратов, мобильная аналитика данных, Google Firebase.

**Musiyenko M.P., Zhuravska I.M. The control of unmanned vehicles, based on the use of mobile devices.** The paper presents a method of drones' control via mobile devices that carry cell analysis of data from UAV and the environment. This method based on the use of Google Firebase services like real-time database, means of clients' and objects' authentication for UAV control system, means of synchronization and mobile data analysis. Defined development appropriate software and hardware system was developed.

**Keywords:** control of unmanned vehicles, mobile data analytics, Google Firebase.

**Вступ.** За останні роки тема використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) все частіше опиняється на слуху застосовно до різних галузей цивільно-військового призначення й в різнопланових напрямках людської діяльності, таких як управління врожайністю й диференційне обприскування рослин, доставка поштових відправлень, доставка продуктів, ведення моніторингових та оборонних дій в повітряному просторі [1–3].

Системи, які стосуються БПЛА, вимагають два види проектування. Перший з них - це проектування загальної моделі (прототипу) БПЛА або пристосування існуючих конструктивних рішень БПЛА до конкретних моніторингових або технологічних задач. Другий вид - проектування програмного забезпечення (ПЗ), яке забезпечуватиме взаємодію БПЛА (як об'єкту контролю) з пристроями, які узагальнюють отримані від БПЛА дані та координують дії БПЛА у разі збоїв автономного функціонування об'єкта або виникнення критичної ситуації.

**Постановка наукової проблеми.** Метою даної роботи є створення програмно-апаратної системи контролю БПЛА на основі мобільного аналізу даних з використанням кросплатформного хмарного сервісу Google Firebase.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

На теперішній час накопичений немалий зарубіжний та вітчизняний досвід керування поодинокими БПЛА та зграями БПЛА з використанням інтегрованого підходу, за яким керування здійснюється з використанням наземних та повітряних трансферних вузлів [4, 5]. Сучасні системи керування БПЛА використовують для цього координати БПЛА, отримані від вбудованих в останні GPS-модулів. Але за 1 хв польоту похибка маршруту БПЛА, скоординованого за даними GPS-модуля, може становити до 50 м [6]. Проблемні питання точного досягнення кінцевої точки маршруту БПЛА під час використання сучасних супутникових технологій визначення координат повністю не вирішені [7].

Слід зауважити, що причинами виникнення неточних вимірів GPS-координат можуть бути:

1. Через штучне обмеження точності визначення координат цивільними GPS-навігаторами у межах 2–20 метрів [8, 9].

2. Хибне геометрія супутників. Виникає тоді, коли всі прийняті супутники згруповані близько один до другого, чи вибудовані в лінію щодо положення приймача, що у свою чергу не забезпечує необхідну розбивку сигналу на так званий трикутник, від чого точність обчислення

координат стає менш надійною. Таке непередбачуване зміщення положення супутників на орбіті відбувається через різні збурюючі фактори та приводять до похибок 0,6–10 м [10].

3. Сигнали перед тим, як досягти GPS-приймача, можуть бути відбиті від високих будинків чи інших перешкод, тим самим або збільшується відстань сигналу, або сигнал попросту збивається, зменшуючи точність.

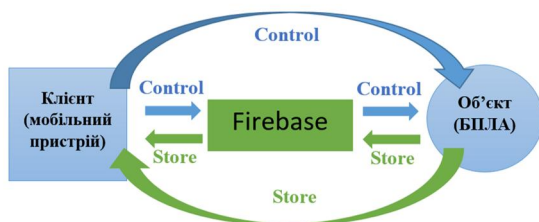
Зважаючи на те, що сучасні міні-БПЛА живляться від акумуляторів на борту, ємність яких забезпечує тривалість польоту від 7 до 28 хв [11]. Отже, можна зробити висновок, що для забезпечення якості виконання завдання необхідно здійснювати додаткове керування польотом БПЛА з коригуванням маршруту останнього до точки цілі. Поширеним підходом до вирішення питань такого керування є використання бездротових сигналів від мобільних пристроїв.

#### **Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

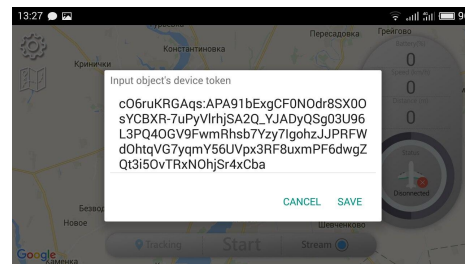
Пропонується спосіб контролю БПЛА за допомогою мобільних пристроїв, які здійснюють мобільний аналіз даних з БПЛА та оточуючого середовища, що базується на використанні сервісу Google Firebase як БДРЧ (бази даних реального часу), засобу авторизації Клієнтів та Об'єктів системи контролю БПЛА, засобу синхронізації даних [12]. Зазначений безкоштовний хмарний сервіс є універсальною платформою для побудовання Android- та iOS- мобільних додатків. Перевагою саме цього сервісу є стабільна робота навіть при збоях інтернет-зв'язку. Слід зауважити, що при використанні Клієнтів з різних платформ необхідно зареєструвати два облікових записи в Google (окремо для Android та для iOS).

На рис. 1 наведені можливі взаємозв'язки між Клієнтами та Об'єктами розробленої системи з використанням мобільних пристроїв для контролю БПЛА.

У Firebase SDK сервер має вбудований метод для створення користувацьких ідентифікаторів. Firebase створює відповідний унікальний ідентифікатор (рис. 2), який ідентифікує пристрій у мережі і надає певний доступ до ресурсів, а саме до бази даних у реальному часі Firebase Storage. Тобто, маємо ідентифікатор Об'єкта, за допомогою якого він ініціалізується Клієнтом.



**Рис. 1. Взаємодія мобільного пристрою з БПЛА через сервіс Google Firebase (авторська розробка)**



**Рис. 2. Ідентифікатор Об'єкта в налаштуваннях Клієнта (авторська розробка)**

На доступній хмарі Google Firebase реалізована структура подієвого збору даних в розрізі користувачів (Клієнтів та Об'єктів), які пройшли авторизацію в названій хмарі.

Сегменти користувачів (так звані «аудиторії») розподіляються як за попередньо налагодженими параметрами (зона знаходження, технічні дані платформ БПЛА/мобільний пристрій тощо), так і за подієвими даними.

Наприклад, на рис. 3а наведена «аудиторія», створена на Google Firebase, яка складається з мобільного пристрою (Клієнт, зображений червоною крапкою) та двох керованих БПЛА (об'єктів, переміщення яких зображене зеленими крапками). Зазначена «аудиторія» сформована за географічним принципом знаходження в одному квадраті місцевості.

На рис. 3б наведена «аудиторія», сформована за ознаками платформи (Android).

Таким чином, унікальний рядок символів може бути переданим іншим членам «аудиторії» або через SMS-сервіс, або іншими соціальними мережами (коли відсутня можливість користування сервером). Після цього клієнт встановлює з'єднання з об'єктом и отримує доступ до ресурсів Firebase, де надається можливість зберігати дані об'єкта у реальному часі.

Після авторизації в Google Firebase, Об'єкт (БПЛА) кожні 5 секунд відправляє свої дані місцезнаходження Клієнтові свої «аудиторії». При цьому не має значення наявності або відсутності безпосереднього зв'язку між Клієнтом та Об'єктом (Об'єктами), кого контролює цей

Клієнт – засоби мобільного аналізу даних Google Firebase забезпечать передачу коригуючих команд саме необхідному Об'єкту.

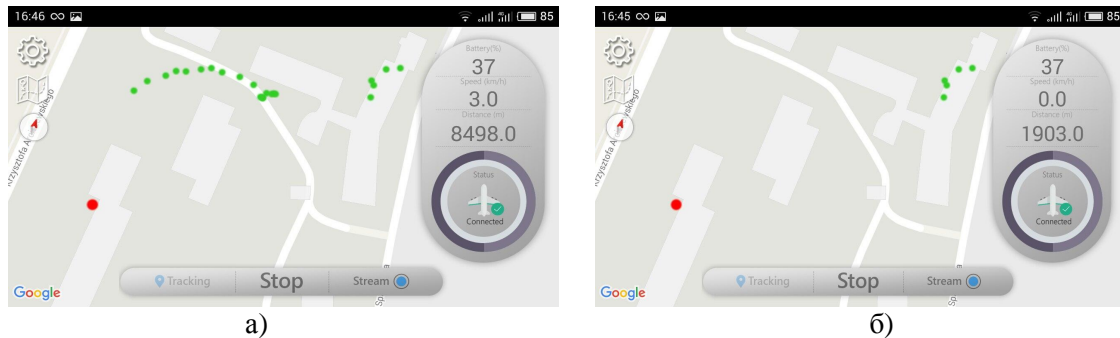


Рис. 3. «Аудиторія» Google Firebase, сформована за географічним принципом (а) та за принципом платформи (б) (авторська розробка)

З правого боку екрану Клієнта розташований індикатор поточного заряду акумулятора Об'єкта (у відсотках), швидкість Об'єкта (км/год) та дистанція між Клієнтом та Об'єктом (в метрах).

У запропонованій системі контролю відтворений розроблений протокол взаємодії між Клієнтом та кожним з Об'єктів з врахуванням показників цілого набору пристроїв на борту БПЛА: акселерометра, барометра, гіроскопів, магнітографа, GPS-модуля, GSM-модуля тощо.

За результатами мобільного аналізу сукупності наведених показників Клієнтом може бути змінені, наприклад, координати фінішу Об'єкта – широта і довгота (latitude and longitude). Діаграма класів для програмної реалізації зазначеного завдання наведена на рис. 4.

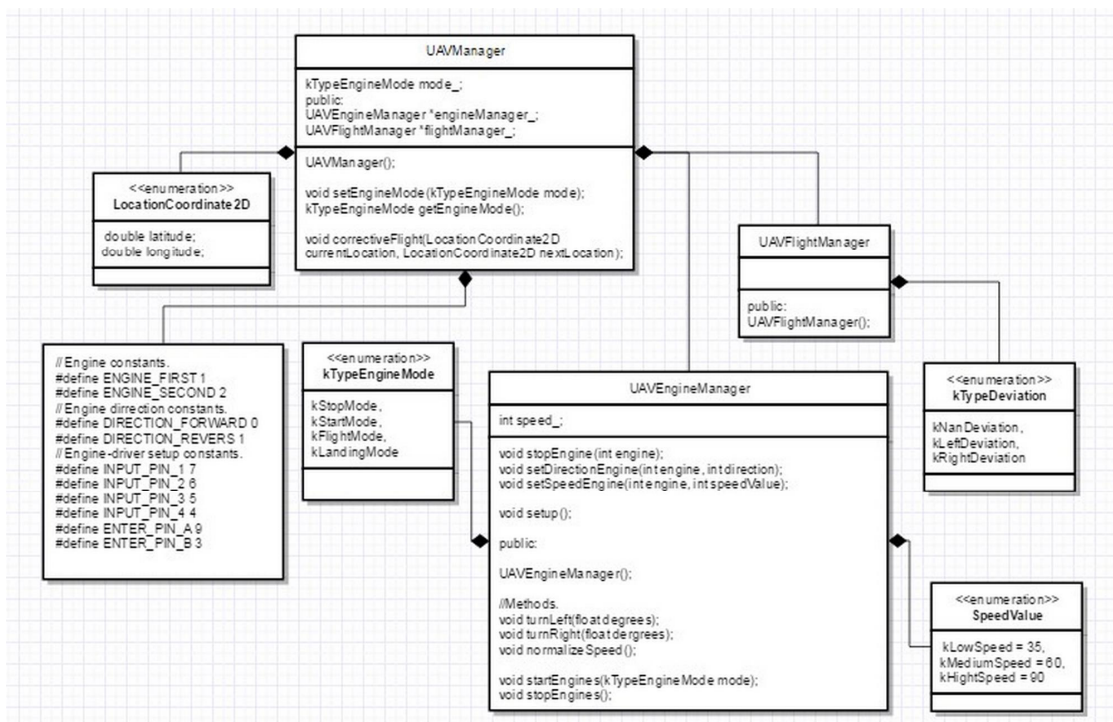


Рис. 4. UML-діаграма класів зміни координат фінішу при керуванні БПЛА (авторська розробка)

Приклад оформлення протоколу взаємодії GPS-модуля Об'єкту з Клієнтом наведений на рис. 5, деталізація компонент протоколу представлена у табл. 1.

```
>$GPRMC,170840.00,A,5445.33016,N,1704.38950,E,1.6198,,310317,,A*7D
```

Рис. 5. Нотація протоколу взаємодії Клієнта з Об'єктом при зміні координат фінішу БПЛА  
 (авторська розробка)

Таблиця 1. Деталізація компонент зміни GPS-координат фінішу при керуванні БПЛА  
 (авторська розробка)

170840.00	Час UTC: 17 год 08 хв 40,00 с
A	Статус достовірності: A – достовірні дані, V – недостовірні дані
5509.68339	Широта: 54 град. 45,33016 хв
N	N – північ, S – південь
06125.49498	Довгота: 17 град. 04,38950 хв
E	E – схід, W – захід
1.6198 (відповідає 3 км/год на рис. 2а)	Горизонтальна швидкість (вузлів/год)
–	Напрямок курсу відносно півночі (градуси)
310317	Дата: 31 березня 2017 р.
–	Магнітне відхилення (градуси)
–	Напрямок відхилення: E – східний, W – західний
A	Режим: A – автономний, D – диференціальний, E – апроксимація, N – недостовірні дані
*7D	Контрольна сума

Коли Об'єкт прибув до цілі, на екрані Клієнта з'являється відповідне повідомлення (рис. 6).

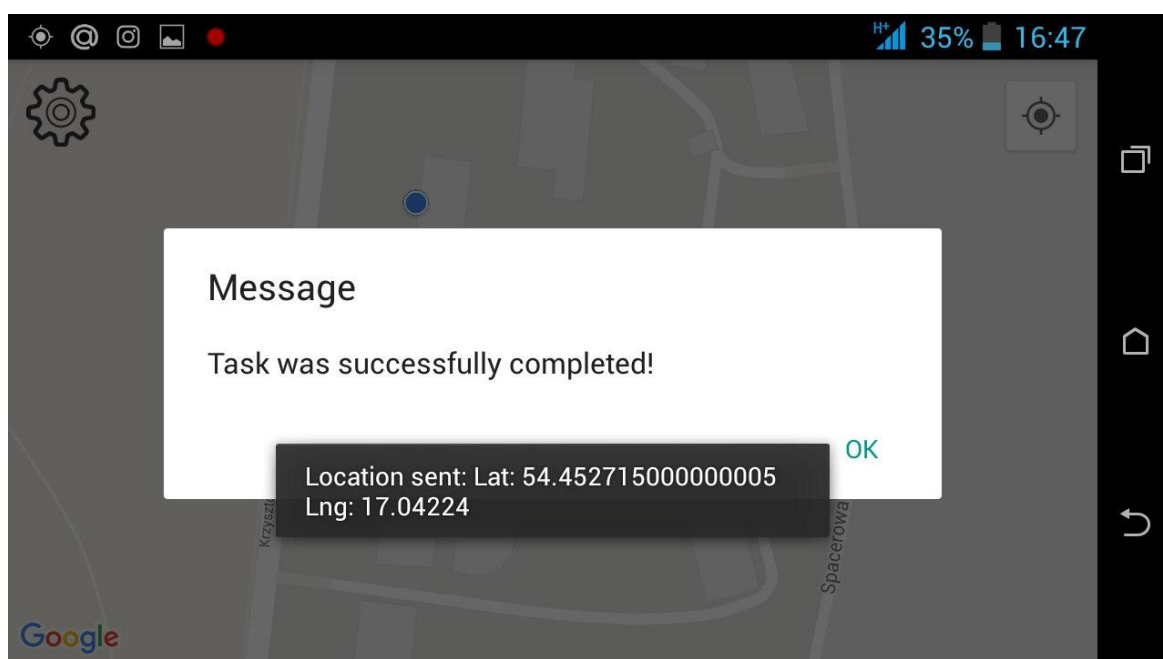


Рис. 6. Повідомлення на екрані Клієнта після виконання завдання керованим БПЛА  
(авторська розробка)

Із співставлення координат широти та довготи рис. 5, табл. 1 та рис. 6 можна побачити, що наявне відхилення між заданими системою керування координатами та координатами фінішу після виконання завдання. Таке відхилення є наслідком неідеальної роботи GPS-модуля БПЛА, в результаті чого відстань рахується з похибками.

#### Висновки

Проаналізовані та узагальнені причини похибки маршруту БПЛА у разі прокладання маршруту на підставі даних з GSM-модулю БПЛА. Доведена необхідність коригування маршруту БПЛА.

Запропоновано спосіб контролю БПЛА з використанням мобільних пристроїв та застосуванням хмарного сервісу Google Firebase, який надає інтегровані послуги авторизації мобільних пристроїв та БПЛА, синхронізації та аналізу даних, що зберігаються у БДРЧ зазначеного сервісу. Розроблена відповідна програмно-апаратна система. Використання властивостей Google Firebase у розробленій програмно-апаратній системі дозволяє позбавитись від зберігання отриманої моніторингової інформації як на самому БПЛА, так і на пристрої контролю БПЛА, залишаючи натомість інформацію про залежність цих даних у зазначених пристроях.

Такий підхід суттєво підвищує безпеку поточної інформації щодо функціонування БПЛА у разі перехоплення Об'єкта сторонніми особами.

Крім того, надійна платформа та технології Google забезпечують доступність, інтеграцію в інші Google-сервіси (Google Maps ті ін.), а також масштабованість Об'єктів у зграї БПЛА.

Напрямом подальшого дослідження є розробка способів коригування похибок визначення відстані від мобільного пристрою до керованого БПЛА, спричиненої неточністю результатів функціонування GPS-модулів БПЛА.

1. Mesas-Carrascosa F.-J. Assessing optimal flight parameters for generating accurate multispectral orthomosaics by UAV to support site-specific crop management / F.-J. Mesas-Carrascosa, J. Torres-Sánchez, I. Clavero-Rumbao and al. // *Remote Sensing*. – 2015. – No. 7. – Pp. 12793-12814. DOI: 10.3390/rs71012793
2. Colomina I. Unmanned aerial systems for photo-grammetry and remote sensing: A review / I. Colomina, P. Molina // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2014. – Vol. 92 – Pp. 79–97. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013.
3. Митрахович М. М. Беспилотные летательные аппараты: Методика сравнительной оценки боевых возможностей / М. М. Митрахович, В. И. Силков, А. В. Самков, Х. В. Бурштынская и др. ; под общ. ред. В. И. Силкова. – Киев : ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2012. – 288 с.
4. Teh S. Experiments in Integrating Autonomous Uninhabited Aerial Vehicles (UAVs) and Wireless Sensor Networks [Електронний ресурс] / S. Teh, L. Mejias, P. Corke, W. Hu // *Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation*, Canberra, Australia, 3–5 December 2008. – Режим доступу : <http://www.araa.asn.au/acra/acra2008/papers/pap118s1.pdf> (дата звернення 14.04.2017).
5. Musiyenko M. P. The Principles of the Cyber-Physical Components' Organization Based on the Methods of the Multi-Agent Interaction of the Moving Objects / M. P. Musiyenko, I. M. Zhuravska, I. S. Burlachenko, O. O. Denysov // *Advances in Cyber-Physical Systems*. – 2016. – Vol. 1, No. 1. – Pp. 48–57.
6. Шульц Р. В. Дослідження систематичних похибок інерціальної навігаційної системи при аерофотозніманні з безпілотних літальних апаратів / Р. В. Шульц, П. Д. Крельштейн, І. А. Маліна // *Scientific Journal «ScienceRise»*. – 2015. – №9/2(14). – С. 6–18. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.49183
7. Савчук С. Г. Проблемні питання під час використання сучасних супутникових технологій визначення координат // *Геодезія, картографія і аерофотознімання / Нац. ун-т «Львівська політехніка»*. – 2007. – Вип. 69. – С. 20–33.
8. Найман В. С. Всё о GPS-навигаторах / В. С. Найман, А. Е. Самойлов, Н. Р. Ильин, А. И. Шейнис. – М. : НТ Пресс, 2005. – 392 с.
9. Збільшення точності визначення GPS координат [Електронний ресурс] // Веб-сайт Intelli: система контролю та моніторингу транспорту в Україні. – Режим доступу : URL : <http://intelli.com.ua/ua/statti/zbilshennia-tochnosti-vyznachennia-gps-koordynat.html> (дата звернення 14.04.2017).
10. Петрівний О. І. Дослідження точності супутникових навігаційних систем // *Наукові читання–2013 : наук.-теорет. зб. / Житомир. нац. агроєкологіч. ун-т. – Житомир : ЖНАЕУ, 2013. – Том 1. – С. 367–373.*
11. Austin R. *Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment*. – Chichester, West Sussex, UK : Wiley, 2010. – 365 p.
12. Синицька І. *Firebase Analytics: настраиваем аналитику мобильных приложений [Електронний ресурс] // Netpeak Blog: веб-аналитика. – Режим доступу : URL : <https://netpeak.net/ru/blog/nastraivaem-analitiku-mobilnyh-prilozheniy-s-pomoshchyu-firebase-analytics/> (дата обращения 14.04.2017).*