

МОБІЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ГЕТЕРОГЕННОЮ РУХОМОЮ МЕРЕЖЕЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Робота присвячена розробці методів підвищення ефективності використання гетерогенних рухомих мереж, що складаються з безпілотних літальних, наземних, над-/підводних апаратів та апаратів-амфібій (надалі – БПА).

Розглянуті особливості керування окремими суб-роями зграї БПА з урахуванням даних з бортових датчиків та можливостей вбудованої системи комп'ютерного зору.

Розроблені програмні прототипи, що реалізують різні механізми керування гетерогенними зграями (колонами та ін.) з різних безпілотних об'єктів. Показано, що клієнтські додатки рухомих абонентів мережі можуть бути виконані окремо для кожного об'єкта мережі на будь-якій сучасній мобільній платформі (Windows Phone/Mobile, iOS, Mac OS, Android тощо) та забезпечувати взаємодію між різнофункціональними суб-роями зграї.

Відтворена багатомодульна архітектура мобільної системи керування рухомою мережею моніторингу та доставки, що базується на конвергентному механізмі централізованого керування та автономній роботі кожного пристрою (нп., при обминанні механічних перешкод та/або відсутності радіосигналу).

Запропоновані рішення сприяють економному використанню обчислювальних та енергоресурсів БПА та здатні підвищити сумарний час життя зграї безпілотних апаратів.

Ключові слова: рухома гетерогенна мережа, дрон, мобільна система, програмний модуль, система керування, API.

Постановка проблеми. Використання безпілотних апаратів – літальних, наземних, над-/підводних апаратів та апаратів-амфібій (надалі – БПА) – набуває все більшої популярності в таких військово-цивільних сферах як топографія, дистанційне інспектування, доставка вантажів та інше [1]. Вже широко використовуються дрони з дистанційним управлінням та обладнанням для відео-моніторингу. Такі системи є придатними для поодиноких задач, але для вирішення більш глобальних проблем необхідно реалізувати гетерогенні рухомі мережі БПА. У таких мережах можуть використовуватись як літальні апарати (дрони), так і наземні безпілотні керовані пристрої (автомобілі з віддаленим керуванням). Конвергентний підхід керування такими зграями (колонами) з урахуванням змін в оточуючому середовищі, неточності мап, необхідності об'єктам масового руху обмінюватись інформацією, ще не реалізований в повній мірі серед існуючих аналогів і тому є досить актуальною темою [2].

Однією з найбільших проблем, що перешкоджають широкому впровадженню у військову сферу великих багатокористувачьких систем (зграї або роїв), є передбачуваність їх сукупної поведінки, оскільки робить таку зграю вразливою і для систем залпового вогню, і навіть для розрахунку автоматників. Крім того, використання засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) унеможливорює використання глобального інженерного управління зграєю з командного центру (КЦ) протягом усього часу життя зграї [3].

Таким чином, на теперішній час залишаються невирішеними у повному обсязі проблеми керування гетерогенними рухомими мережами, що складаються з різнофункціональних БПА. До того ж, необхідно розглядати питання автономної поведінки поодиноких дронів або їх суб-роїв, що виконують завдання в умовах відсутності централізованого керування з КЦ. При відновленні зв'язку з КЦ потрібно будувати чергу з передаваних повідомлень таким чином, щоб накопичена за час відсутності зв'язку інформація не була втрачена за причини обмеженості пропускну здатності каналів зв'язку та виникнення ефекту "bottleneck".

Також необхідно приділити увагу таким питанням, як використання системою безпеки для захисту дронів та їх вантажу різних технологічних та біометричних даних адресатів

(парольний доступ, частота керуючого сигналу, відбитки пальців при контактному доступі, розпізнавання очей, голосу, кардіопараметрів та ін.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протягом останніх років найчастіше для комплектації флоту БПА використовуються багатороторні (4- та більше) безпілотні роботи. В багатьох країнах за допомогою БПА вирішуються питання доставки: компанією Amazon, США, з 2013 р.; ВМС США, з 2014 р.; Міністерством уряду ОАЕ, з 2014 р.; компанією DHL, ФРН, з 2013 р.; в Україні, з 2015 р. та ін. країнах [1, 4–7].

Досвід застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в ході антитерористичної операції на сході України, свідчить, що час керуваності більшості сучасних українських експериментальних та серійних БПЛА на оснащенні Збройних Сил України становить від 3 до 7 годин, а відстань керуваності – біля 30 км. Вага вантажів БПЛА становить від малих (200–2200 грам) до великотоннажних (до 2,2 тон) для постачання провізії і боєприпасів для військ, а також для транспортування поранених солдатів з поля бою [8, 9].

Зважаючи на те, що за такими умовами БПА не знаходяться увесь час виконання завдань у полі зору оператора КЦ, останні дослідження присвячені здатності БПА рухатись відповідно до фіксованого маршруту, розробленого до початку виконання завдання, з урахуванням тимчасових перешкод, виявлених сенсорними системами БПА [10, 11]. Інформація від БПА до КЦ може передаватися також через існуючі мережі мобільного зв'язку [12]. Але, у такому разі значна частка обчислювальних та енергоресурсів БПА витрачається задля захисту передаваної інформації [13].

Постановка завдання. В рамках вирішення поставленого завдання підвищення живучості зграї БПА авторами досліджується комплекс формальних методів, моделей, алгоритмів і побудованих на їх основі програмних прототипів, що реалізують різні механізми керування такими зграями. Потрібно також прийняти рішення (створити алгоритм поведінки дрону), які дії повинен вчинити БПА з вмістом вантажу у разі захоплення дрону сторонніми особами (механізм знищення посилки? ураження загарбника?).

Предметом роботи є розробка програмної платформи мобільної системи керування рухомою мережею БПА, яка здатна виконувати завдання як під безпосереднім керуванням оператора, так і в автономному режимі. Зазначений підхід підвищує ефективність мережі у випадках, коли для збору інформації втручання оператора не є необхідним. Наприклад, для збору вбудованими датчиками БПА метеоданих (швидкість вітру, вологість та температура повітря та ін.), техногенного та природного підвищення радіаційного фону в зоні моніторингу та ін.

Загальні вимоги до системи керування мережею БПА. Система керування мережею БПЛА у загальному сенсі складається із множини підсистем, таких як підсистеми керування, навігації, енергоживлення та даних (рис. 1). Вказані підсистеми відповідним чином при подальшій деталізації розбиваються на інші складові.



Рис. 1. Склад підсистем системи керування мережею БПА

У разі перевищення параметрів спеціальних режимів (надалі – спецрежими) система керування забезпечує здійснення реплікації таких параметрів до наземного КЦ. Такими спецрежимами можуть бути, наприклад:

- температура більше ніж 40 градусів за Цельсієм влітку та нижче мінус 20 градусів за Цельсієм взимку (при якій непрацездатне комп'ютерне, механічне, та вимірювальне обладнання);

- висока швидкість вітру (та іноді піщані бурі), здатні змінити курс безпілотної;

- високий ступінь електромагнітного випромінювання, при якому БПА стає некерованим, тощо.

Сервери наземного КЦ повинні прийняти параметри спецрежимів, розрахувати поправки до траєкторії руху БПА та засобами зворотного зв'язку передати їх напряму на рухомий головний БПА («матку рою») або через комп'ютерний пристрій (планшет, телефон тощо) рухомого Абоненту, найближчого до «матки». Після отримання поправок до траєкторії БПА система керування «матки» коригує поведінку БПА, у т. ч. до самознищення або повернення на базу.

Після перебільшення параметрів спеціальних режимів та/або втрати працездатності GPS-модуля (в умовах великого електромагнітного опромінення у результаті застосування засобів радіоелектронної боротьби – створення «пухирів РЕБ») зграя БПА повинна перейти від режиму керованості до автономного режиму.

Структурна схема взаємодії зграї БПА з наземним КЦ, у т. ч. з використанням агентів-посередників та польового сервера, наведений на рис. 2.

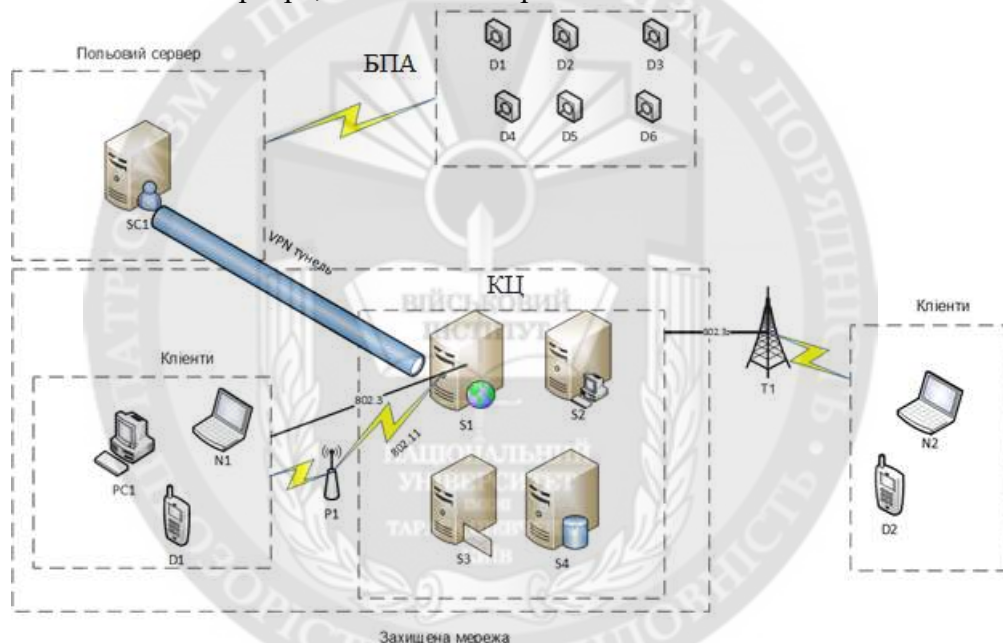


Рис. 2. Структурна схема взаємодій зграї БПА з наземним КЦ

Зазвичай для виконання задач функціонування зграї БПА використовується рішення на основі до трьох одиниць БПА в одному суб-рої, що керується з одного пульту, а також кваліфікованого оператора, що може здійснювати управління апаратом. Такий підхід є ефективним для вирішення задач з високим рівнем складності, але він вимагає багато ресурсів та постійної присутності людини за пультом управління, що є малоефективним при виконанні великої кількості відокремлених задач.

Більш ефективними є гетерогенні зграї, що об'єднують декілька різнофункціональних суб-роїв, які складаються з наземних, над-/підводних та літальних БПА різних типів, здатних виконувати спільними зусиллями єдине завдання, поставлене перед зграєю.

Програмне забезпечення мобільної системи керування гетерогенною рухомою мережею. В такому разі розроблюваний програмний модуль оперує трьома типами дронів (рис. 3).

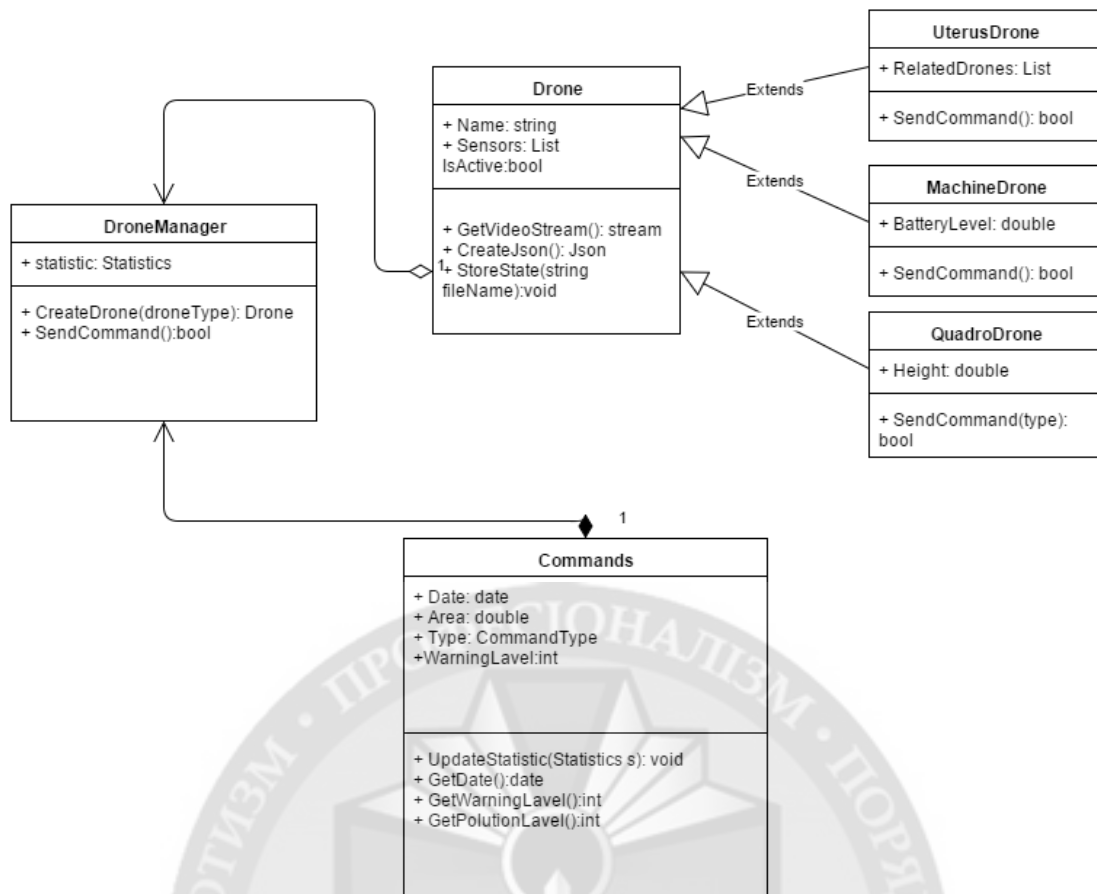


Рис. 3. UML-діаграма типів БПА (дронів)

При такому розподілі функцій між суб-роями, навіть при відсутності зв'язку з командним центром та можливістю визначити GPS-координати у «РЕБ-пухирях», БПЛА суб-роїв №1 та №2 завантажують з модуля пам'яті в обчислювач частину мапи з останніми визначеними GPS-координатами. Потім, за допомогою бортових систем стереозору, на відокремленому сегменті завантаженої мапи здійснюється пошук цільового об'єкту за даними, отриманими з сенсорів. Програмне забезпечення дрона створює тривимірну карту оточення, тому дрон може літати навіть за відсутності зв'язку з супутниками та визначати перешкоди на відстані до 30 м.

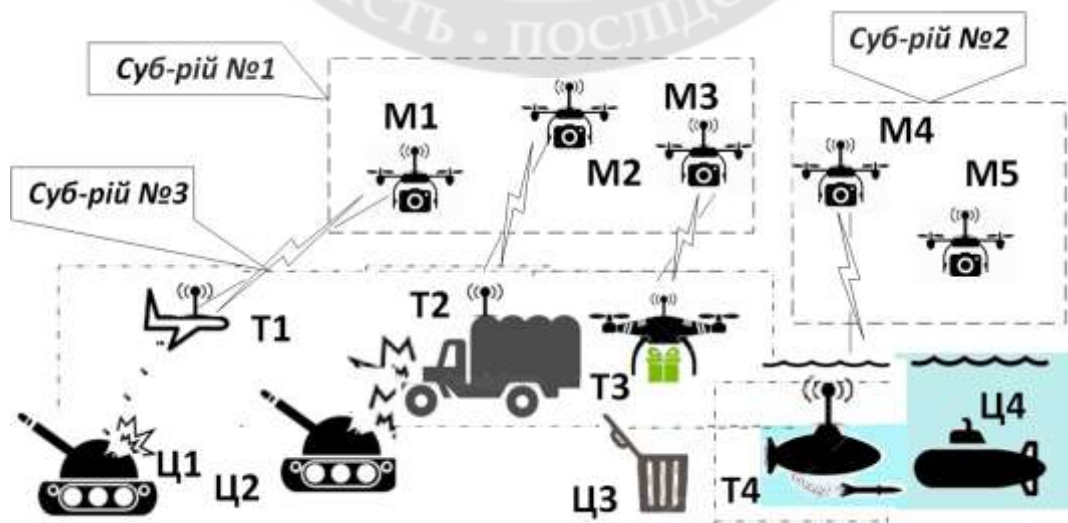


Рис. 4. Розподіл зграї БПА на суб-рої за функціями

Передача інформації між БПА зграї може здійснюватися через радіоканал з переключенням між частотами (нп., 2,4 и 5,8 ГГц), якщо на одній з них виникають перешкоди. Якщо радіозв'язок зовсім неможливий у «РЕБ-пухирях», тоді квадрокоптер моніторингового суб-рою «зависає» над знайденою ціллю, і дрон транспортного суб-рою може знайти його за допомогою власної системи стереозору.

Особливості керування суб-роями зграї БПЛА з урахуванням показників бортових датчиків та можливостей вбудованої системи комп'ютерного зору повинні розглядатись більш детально. Так, наприклад, при використанні у складі зграї БПЛА типу DJI Phantom 4 Pro необхідно враховувати дані з таких датчики фронтального, заднього та нижнього стереозору [14]:

- цифрова камера з дюймовою CMOS-матрицею, що здатна знімати фото до 60 кадрів на секунду з 20-мегапіксельній якістю, у т. ч. в умовах низького (біля 15 люкс) та високого рівня яскравості (сонячне небо і темна земля під ним) на швидкості до 50 км/год;

- спарені датчики відео-системи на фронтальній поверхні корпусу;
- спарені датчики відео-системи на задній поверхні корпусу;
- спарені датчики відео-системи на нижній частині корпусу.

Розмір частини мапи повинен бути відповідним до обмежених обчислювальних можливостей одноплатного бортового комп'ютера БПЛА. Тому при відсутності цільового об'єкта на завантаженій частині мапи, в обчислювач БПЛА завантажуються наступний фрагмент сусідньої частини мапи.

БПА у складі суб-рою транспортного призначення за допомогою бортових відеосистем отримують інформацію від БПЛА моніторингового суб-рою щодо взаємного місцезнаходження (відстані) з цільовими об'єктами (Ц1–Ц3 на рис. 4).

Якщо метою транспортного БПА є не ураження цілі, а доставка вантажу, то на такому БПА повинен бути реалізованим алгоритм або автоматичного скидання посылки, або за ідентифікацією адресату. При помилковій ідентифікації БПА транспортного призначення може бути запрограмованим на знищення вантажу або ураження хибного адресата.

При розробці системи керування враховані такі характеристики для кожної окремої моделі БПЛА [15]:

- виробник;
- максимальна злітна маса, кг (від 10 до 85 кг);
- маса корисного навантаження, кг (від 2 до 25);
- максимальна швидкість, км/год (від 70 до 200);
- льотна межа ("стеля"), км (від 0,5 до 4,0);
- дальність дії, км (від 3 до 500);
- тривалість польоту, годин (від 0,3 до 9,0).

Приклад сценарію використання системи керування для збору поодиноких потокових даних наведено на рис. 4.

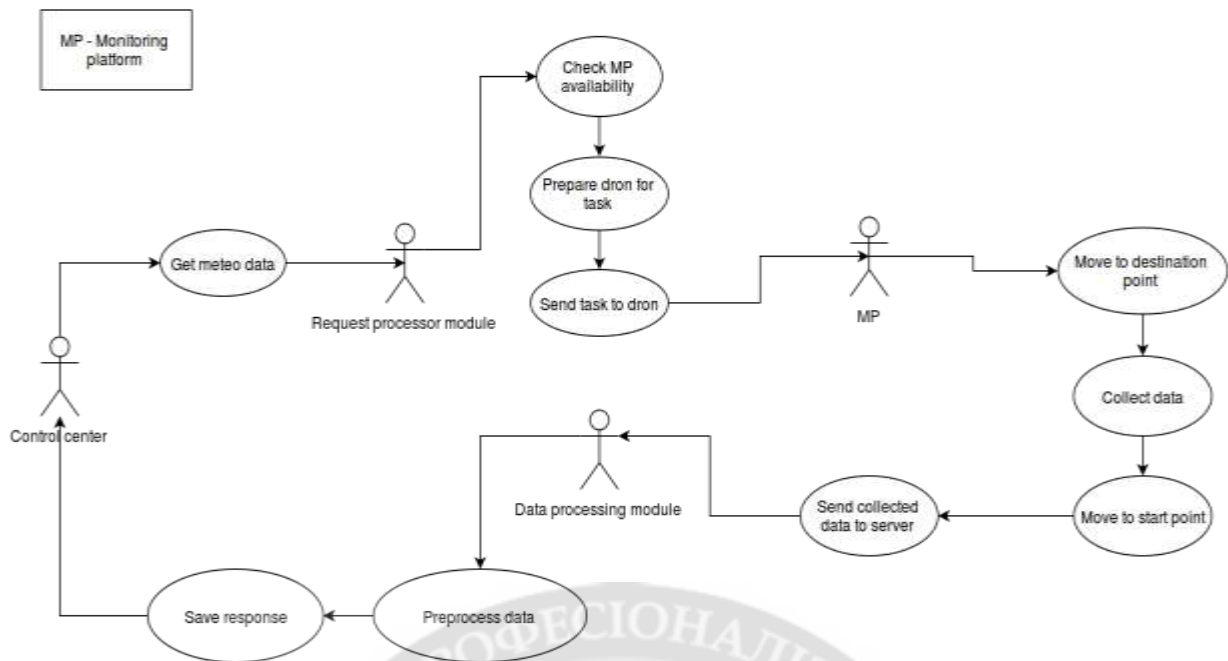


Рис. 4. Приклад сценарію роботи системи керування

Для досягнення поставленої мети було вирішено такі задачі:

- розробка програмного модулю зв'язку;
- розробка програмного модулю керування;
- розробка модулю обробки даних;
- розробка клієнтського API;
- розробка програмного модулю зберігання та резервування даних.

Для програмної реалізації вищеописаної системи обрано мову програмування Python 2.7 та інтегроване середовище розробки PyCharm. Вибір на користь Python зроблений тому, що дана мова програмування підтримується більшістю платформами та має набір всіх необхідних інструментів для виконання поставленої мети.

При формуванні гетерогенної зграї з різних за конструкцією та функціями БПА, клієнтські додатки рухомих абонентів мережі можуть бути виконані на будь-якій сучасній мобільній платформі (Windows Phone/Mobile, iOS, Android тощо) [16–18].

Модуль зв'язку представлений у вигляді програмного забезпечення, що кодує/декодує дані, якими обмінюються сервер та фізичні модулі. Його основним призначенням є реалізація процедури обміну даними між пристроєм спостереження та системою управління. Саме ця частина системи забезпечує зв'язок з БПЛА на фізичному рівні через протоколи 802.11 (Wi-Fi), як реалізовано у більшості дронів французької фірми “Parrot” [19], китайської DJI [14] та ін., або за допомогою каналів зв'язку GSM, IEEE 802.15a (Bluetooth) з шифруванням “точка-точка”, наприклад, за алгоритмом Діффі-Геллмана [20].

Для обміну даних між безпілотником та системою контролю розроблено протокол обміну даних, що забезпечує швидкий та ефективний спосіб комунікації. Даний протокол базується на використанні формату обміну даних JSON. В якості програмного інтерфейсу передачі даних використовуються socket-об'єкти. Вибір на користь сокетів зумовлений широкими можливостями налаштування процесу обміну даних.

Модуль керування є одним з основних компонентів системи. Він відповідає за безпосереднє виконання поставленої перед безпілотним пристроєм задачі. Основною функцією є прорахунок та оптимізація маршруту відповідно до картографічних умов (тобто з урахуванням рельєфу та перешкод) та перетворення його у відповідний до апаратної частини формат даних.

Основною метою системи моніторингу є збір даних, саме тому забезпечення зберігання цих даних є дуже важливим завданням для пристроїв які працюють в критичних умовах. В

таких ситуаціях є великий ризик втрати зібраного матеріалу через втрату зв'язку з пристроєм чи його фізичне пошкодження.

Модуль зберігання даних забезпечує надійний спосіб зберігання та відновлення даних. Для цієї задачі буде розроблено спеціальний диспетчер даних, який буде здатен зберігати дані таким чином:

- або в реальному часі, або з вбудованого накопичувача БПЛА;
- як на локальному рівні, так і за допомогою мережі Інтернет (наприклад, резервувати їх в хмарному сховищі MS Azure, Google Drive, D-Link або ін.).

На віддаленому рухомому Абоненті (див. рис. 2) та/або на самому БПЛА також повинно бути передбачене резервування даних. Ця функція може бути відтворена, наприклад, на флеш-модулі обмеженого обсягу, тому потребує, у разі перерви зв'язку з мобільним Абонентом, організації потоків даних, затриманих у передачі, одночасно з декількох Абонентів.

Система також надає як можливість доступу до безпосереднього керування БПА, так і можливість подальшого використання зібраних даних і реплікації їх до наземного КЦ.

Саме для цього реалізовано *модуль зовнішнього API*, який надає можливість:

- отримувати поточне місцезнаходження та стан БПЛА;
- отримувати перелік активних задач;
- створювати нові задачі для БПЛА;
- коригувати поточні задачі для БПЛА.

Висновки. В наведеній роботі розроблена програмна платформа системи керування об'єктами гетерогенної рухомої мережі, введені додаткові зв'язки між БПА та рухомими абонентами (користувачами, оснащеними комп'ютерними або мобільними пристроями), що знаходяться у зоні дії каналів зв'язку БПА, враховані часові затримки між сеансами синхронізації даних, зумовлені тимчасовою втратою зв'язку БПА з мобільним та/або наземним серверами зазначеної гетерогенної мережі.

Показано, що клієнтські додатки рухомих абонентів мережі можуть бути виконані окремо на будь-якій сучасній мобільній платформі (Windows Phone/Mobile, iOS, Mac OS, Android тощо) та забезпечувати взаємодію між різнофункціональними суб-роями зграї.

Розроблена багатомодульна архітектура мобільної системи керування рухомою мережею моніторингу та доставки, що базується на конвергентному механізмі централізованого керування та автономній роботі кожного пристрою (нп., при обминанні механічних перешкод та/або відсутності радіосигналу), дозволила суттєво збільшити ефективність гетерогенної мережі БПА.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку полягають у вдосконаленні розглянутої системи керування зграєю БПА за рахунок використання хмарних сервісів (Google Firebase та ін.). Запровадження такого підходу дозволить здійснювати тимчасове зберігання часткових даних на хмарному сервісі з наступною їх синхронізацією між декількома об'єктами гетерогенної рухомої мережі БПА.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Беспилотные решения для работы с площадными и протяженными объектами. *Drone.UA : веб-сайт*. URL : http://drone.ua/?gclid=CjwKEAjwt7O6vBRDpi7O-8OWSkwESJACNFsgxZXOf5Gl-hpr3StSFdlCtnxjOzPKAjCfcugf0RY4DXhoC607w_wcB (дата обращения : 13.09.2017).
2. Преимущество беспилотных автомобилей – в безопасности. *#Gadgetstyle : веб-сайт*. URL : <https://www.gadgetstyle.com.ua/12335-driverless-cars-tech/> (дата обращения : 13.09.2017).
3. Российские войска установили в Донецке станцию радиоэлектронной борьбы «Красуха-4» и глушат беспилотники ОБСЕ. *Цензор.НЕТ : веб-сайт*. URL : https://censor.net.ua/photo_news/310972/rossiyiskie_voyiska_ustanovili_v_donetske_stantsiyu_radioelektronnoyi_borby_krasuha4_i_glushat_bespilotniki (дата обращения : 13.09.2017).
4. Amazon разработал роботов-курьеров. *ВОКРУГ СВЕТА : веб-сайт*. URL : <http://www.vokrugsveta.ru/news/14664/> (дата обращения : 13.09.2017).

5. ВМС США представили новые беспилотные вертолеты для использования в боевых условиях *Веб-сайт Укрінформ*. 2014, 7 апреля. URL : http://www.ukrinform.ua/rus/news/vms_ssha_predstavili_novie_bespilotnie_vertoleti_dlya_ispolzovaniya_v_boevih_usloviyah_1621038 (дата обращения : 13.09.2017).
6. Drones to buzz over UAE with govt deliveries. *Al Arabiya News* : web-site. 2014. URL : <http://english.alarabiya.net/en/business/technology/2014/02/10/UAE-to-use-drones-for-govt-services.html> (Last accessed : 23.09.2017).
7. Летят дроны. *ВОКРУГ СВЕТА* : веб-сайт. URL : http://www.vokrugsveta.ru/photo_of_the_day/191962/ (Last accessed : 23.09.2017).
8. В столице показали новейшие автоматы, системы огня, боевые машины и даже самолеты. *СЕГОДНЯ.ua* : веб-сайт : Лента новостей за 23.09.2015. URL : <http://video.segodnya.ua/v-stolice-rokazali-noveyshie-avtomaty-sistemy-ognya-boevye-mashiny-i-dazhe-samolety-651897.html> (дата обращения : 13.09.2017).
9. Згурець С. Оружие Украины. Беспилотники: призыв на войну. Киев : Defense Express, 2015. 96 с.
10. Vachtsevanos G., Ludington B., Reimann J., Antsaklis P., Valavanis K. Modeling and Control of Unmanned Aerial Vehicles – Current Status and Future Directions. *Modeling and Control of Complex Systems*. CRC Press, 2007. Chapter 9. P.1–12. URL : <https://www3.nd.edu/~pantsakl/Publications/346-Cyprus-Vachtsevanos05.pdf> (Last accessed : 09.10.2017).
11. Sauter J. A., Mathews R. S. Heterogeneous Unmanned Vehicle Collaborative Control Demonstration. *AUVSI's Unmanned Systems North America 2007 Conference* : Proceedings. Washington, DC, January 2007. NewVectors TTGSI, 2007. URL : https://www.researchgate.net/publication/228944376_Heterogeneous_Unmanned_Vehicle_Collaborative_Control_Demonstration (Last accessed : 09.10.2017).
12. Koucheryavy A., Vladyko A., Kirichek R. State of the Art and Research Challenges for Public Flying Ubiquitous Sensor Networks. *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems* : Proceedings of the 15th International Conference, St. Petersburg, Russia, August 26–28, 2015. P. 299–308.
13. Журавська І. М., Мусієнко М. П., Румянков Д. І. Підвищення ефективності шифрування керуючого трафіку БПЛА засобами модифікованого блокового методу. Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації : тези доп. V Міжнар. наук.-практ. конф., Вінниця, 19–21 квітня 2016 р. / Вінниц. нац. техн. ун-т. Вінниця : Вид-во ВНТУ, 2016. С. 39–41.
14. DJI Phantom 4 WM330A – Drone : Product Teardown Report. 2016, 20 June. URL : <https://techinsights.com/reports-and-subscriptions/open-market-reports/Report-Profile/?ReportKey=11239> (Last accessed : 04.09.2017).
15. Defense Express Journal. 2014. No. 12, P. 1–44.
16. Жерегі О. М. Дослідження та розробка програмного забезпечення абонентів рухомих моніторингових мереж на мобільній платформі Windows Phone. *Інтелектуальні інформаційні системи – 2016* : тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф., Миколаїв, 16–17 лютого 2016 р. Миколаїв : Вид-во Чорномор. держ. ун-ту ім. Петра Могили, 2016. Т. 1. С. 150–152.
17. Барчинський М. В., Димедюк С. В., Журавська І. М. Програмна платформа мобільної системи керування рухомою моніторинговою мережею. *Інформаційні технології та взаємодії (IT&I 2015)* : тези доп. II Міжнар. наук.-практ. конф., Київ, 03–05 листопада 2015 р. / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка та [ін.]. Київ. : Вид.-поліграф. центр «Київ. ун-т», 2015. С. 85–87.
18. Oncha R. Project development of client side monitoring moving objects system for Android platform. *Innovations in Science and Technology* : Proceedings of the XV All-Ukrainian Students R&D Internet Conference, Kyiv, December 01–18, 2015. URL : http://konfist.fl.kpi.ua/sites/default/files/oncha_thesis.pdf (Last accessed : 04.09.2017).
19. Parrot Apps: Android, iOS, Windows. *Parrot SA* : web-site. URL : <http://global.parrot.com/usa/apps/> (Last accessed : 03.10.2017).
20. Про затвердження Технічних специфікацій форматів криптографічних повідомлень : наказ Держкомінформатизації України від 13.08.2010 № 8/229. *Веб-сайт Держспецзв'язку України*. URL : http://dstszi.kmu.gov.ua/dstszi/control/uk/publish/article?showHidden=1&art_id=94570&cat_id=38837&ctime=1319099040826 (дата обращения : 13.09.2017).

REFERENCES:

1. Bespilotnye resheniia dlia raboty s ploshchadnymi i protiazhennymi obyektami. *Drone.UA* : web-site. URL : http://drone.ua/?gclid=CjwKEAjw7O6vBRDpi7O-8OWSkwESJACNFsgxZXOf5GI-hpr3StSFdlCtnxjOzPKAjCfcugf0RY4DXhoC607w_wcB (Last accessed : 03.10.2017).
2. Preimushchestvo bespilotnykh avtomobiley – v bezopasnosti. *#Gadgetstyle*: web-site. URL : <https://www.gadgetstyle.com.ua/12335-driverless-cars-tech/> (Last accessed : 03.10.2017).
3. Rossiiskie voiska ustanovili v Donetske stantsiyu radioelektronnoi borby "Krasukha-4" i glushat bespilotniki OBSE. *Tsenzor.NET*: web-site. URL : https://censor.net.ua/photo_news/310972/rossiyiskie_voyska_ustanovili_v_donetske_stantsiyu_radioelektronnoyi_borby_krasuha4_i_glushat_bespilotniki (Last accessed : 03.10.2017).
4. Amazon razrabotal robotov-kurerov. *VOKRUH SVETA*: web-site. URL : <http://www.vokrugsveta.ru/news/14664/> (Last accessed : 03.10.2017).
5. VMS SSHA predstavili novye bespilotnye vertolety dlia ispolzovaniya v boievykh usloviakh. *Web-site Ukrinform*. 2014, April 7. URL : http://www.ukrinform.ua/rus/news/vms_ssh_a_predstavili_novie_bespilotnie_vertoleti_dlya_ispolzovaniya_v_boevih_usloviyah_1621038 (Last accessed : 03.10.2017).
6. Drones to buzz over UAE with govt deliveries. *Al Arabiya News* : web-site. 2014. URL : <http://english.alarabiya.net/en/business/technology/2014/02/10/UAE-to-use-drones-for-govt-services.html> (Last accessed : 23.09.2017).
7. Letiat drony. *VOKRUH SVETA*: web-site. URL : http://www.vokrugsveta.ru/photo_of_the_day/191962/ (Last accessed : 23.09.2017).
8. V stolitse poiavilis noveishye avtomaty, sistemy ognia, boievyie mashiny i dazhe samolety. *SEHODNIA.ua*: web-site : RSS from 23.09.2015. URL : <http://video.segodnya.ua/v-stolice-pokazali-noveyshie-avtomaty-sistemy-ognya-boevye-mashiny-i-dazhe-samolety-651897.html> (Last accessed : 03.10.2017).
9. Zghurets S. Oruzhye Ukrainy. *Bespilotnyki: pryzyv na voinu*. Kyiv : Defense Express, 2015. 96 p.
10. Vachtsevanos G., Ludington B., Reimann J., Antsaklis P., Valavanis K. Modeling and Control of Unmanned Aerial Vehicles – Current Status and Future Directions. *Modeling and Control of Complex Systems*. CRC Press, 2007. Chapter 9. P.1–12. URL : <https://www3.nd.edu/~pantakl/Publications/346-Cyprus-Vachtsevanos05.pdf> (Last accessed : 09.10.2017).
11. Sauter J. A., Mathews R. S. Heterogeneous Unmanned Vehicle Collaborative Control Demonstration. *AUVSI's Unmanned Systems North America 2007 Conference: Proceedings*. Washington, DC, January 2007. New Vectors TTGSI, 2007. URL : https://www.researchgate.net/publication/228944376_Heterogeneous_Unmanned_Vehicle_Collaborative_Control_Demonstration (Last accessed : 09.10.2017).
12. Koucheryavy A., Vladyko A., Kirichuk R. State of the Art and Research Challenges for Public Flying Ubiquitous Sensor Networks. *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems* : Proceedings of the 15th International Conference, St. Petersburg, Russia, August 26–28, 2015. P. 299–308.
13. Zhuravska I. M., Musiyenko M. P., Rumiankov D. I. Pidvyshchennia efektyvnosti shyfruvannia keruichoho trafiku UAV zasobamy modyfikovanoho blokovooho metodu. *Metody ta zasoby koduvannia, zakhystu i ushchilnennia informatsii* : tezy dop. V Mizhnar. nauk.-prakt. konf., Vinnytsia, April 19–21, 2016 / Vinnyts. nats. tekhn. un-t. Vinnytsia: Vyd-vo VNTU, 2016. P. 39-41.
14. DJI Phantom 4 WM330A – Drone: Product Teardown Report. 2016, 20 June. URL : <https://techinsights.com/reports-and-subscriptions/open-market-reports/Report-Profile/?ReportKey=11239> (Last accessed : 04.09.2017).
15. Defense Express Journal. 2014. No. 12, P. 1-44.
16. Zherehi O. M. Doslidzhennia ta rozrobka prohramnoho zabezpechennia abonentiv rukhomykh monitorynhovykh merezh na mobilnii platformi Windows Phone. *Intelektualni informatsiini systemy – 2016* : tezy dop. Vseukr. nauk.-prakt. konf., Mykolaiv, February 16–17, 2016. Mykolaiv: Publishing House of the of the Petro Mohyla Black Sea State Un-ty, 2016. Vol. 1. P. 150–152.
17. Barchynskyyi M. V., Dymediuk S. V., Zhuravska Í. M. Programna platforma mobilnoi systemy keruvannia rukhomoiu monitoringovoju merezheiu. *Ínformatsiini tekhnologii ta vzaemodii (IT&I 2015)* : tezy dop. II Mizhnar. nauk.-prakt. konf., Kyiv, 03–05 Nov. 2015 / M-vo osvity i nauky Ukrainy, Kyiv. nats. un-t ím. Tarasa Shevchenka ta [ín.]. Kyiv : Vyd.-polihraf. tsentr “Kyiv. un-t”, 2015. P. 85–87.

18. Oncha R. Project development of client side monitoring moving objects system for Android platform. *Innovations in Science and Technology: Proceedings of the XV All-Ukrainian Students R&D Internet Conference*, Kyiv, December 01–18, 2015. URL: http://konfist.fl.kpi.ua/sites/default/files/oncha_thesis.pdf (Last accessed : 04.09.2017).

19. Parrot Apps: Android, iOS, Windows. Parrot SA : web-site. URL : <http://global.parrot.com/usa/apps/> (Last accessed : 03.10.2017).

20. Pro zatverdzhennia Tekhnichnykh spetsyfikatsii formativ kryptohrafichnykh povidomlen: nakaz Derzhkominformatyzatsii of Ukraine vid 13.08.2010 № 8/229. *Web-site of the State Service of Special Communication and Information Protection of Ukraine*. URL: http://dstszi.kmu.gov.ua/dstszi/control/uk/publish/article?showHidden=1&art_id=94570&cat_id=38837&ctime=1319099040826 (Last accessed: 03.10.2017).

Рецензент: д.т.н., проф. Рябенский В.М., завідуючий кафедрою теоретичної електротехніки та електронних систем Інституту автоматичної і електротехніки, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова

к.т.н., доц. Журавская И.Н., д.т.н., проф. Мусиенко М.П.

МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННОЙ ПОДВИЖНОЙ СЕТЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Работа посвящена разработке методов повышения эффективности использования гетерогенных подвижных сетей, состоящих из беспилотных летательных, наземных, над-/подводных аппаратов и аппаратов-амфибий (далее – БПА).

Рассмотрены особенности управления отдельными суб-роями единой стаи БПА с учетом показаний бортовых датчиков и возможностей встроенной системы компьютерного зрения.

Разработаны программные прототипы, реализующие различные механизмы управления гетерогенными стаями (колоннами и др.), состоящими из разнородных беспилотных объектов. Показано, что клиентские приложения подвижных абонентов сети могут быть выполнены отдельно для разных объектов сети на любой современной мобильной платформе (Windows Phone/Mobile, iOS, Mac OS, Android и т. д.) и обеспечивать взаимодействие между разнофункциональными суб-роями стаи.

Воссоздана многомодульная архитектура мобильной системы управления подвижной сетью мониторинга и доставки, основанная на конвергентном механизме централизованного управления и автономной работе каждого устройства (нп., при облёте механических препятствий и/или при отсутствии радиосигнала).

Предлагаемые решения способствуют экономному использованию вычислительных и энергоресурсов БПА и способны повысить суммарное время жизни стаи беспилотных аппаратов.

Ключевые слова: подвижная гетерогенная сеть, дрон, мобильная система, программный модуль, система управления, API.

Ph.D. Zhuravska I. M., Prof. Musiyenko M. P.

MOBILE CONTROL SYSTEM FOR HETEROGENEOUS MOVABLE NETWORK BASED ON UNMANNED VEHICLES

The work is devoted to the development of methods for increasing the efficiency of the use of heterogeneous mobile networks consisting of unmanned aerial, land, over-/underwater vehicles and amphibious vehicles (hereinafter - UxV).

The peculiarities of UxV sub-swarms' control are based on indicators of on-board sensors and capabilities of the built-in computer vision system.

Software prototypes have been developed that implement various control mechanisms of heterogeneous flock (convoy, etc.), consisting of diverse unmanned objects. It is shown that client applications of mobile network customers can be executed separately for different objects on any modern mobile platform (Windows Phone/Mobile, iOS, Android, etc.) and provide interaction between different sub-swarms of the flock.

It is realized multimodule architecture of the mobile control system of a movable monitoring and delivery network based on a converged mechanism of centralized control and autonomous operation of each device (eg, when circumambulating the mechanical obstacles and/or during absence of radio signal).

The proposed solutions contribute to parsimonious usage of UxV computing and energy resources and can increase the total lifetime of a unmanned flock.

Keywords: movable heterogeneous network, drone, mobile system, software module, control system, API.