

DOI: [10.18372/2225-5036.24.12608](https://doi.org/10.18372/2225-5036.24.12608)

МЕТОДОЛОГІЯ БЕЗПЕЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ ЦІЛЬОВИХ ВІДЕОДАНИХ З ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО ЧАСУ СЕАНСУ ЗВ'ЯЗКУ

Артем Чирков, Пилип Приставка

Національний авіаційний університет, Україна



ЧИРКОВ Артем Валерійович

Рік та місце народження: 1990 рік, Україна.

Освіта: Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, 2012 рік.

Посада: молодший науковий співробітник Науково-дослідної частини з 2017 року.

Наукові інтереси: цифрова обробка зображень, прикладна статистика, інформаційні технології.

Публікації: 15 наукових публікацій.

E-mail: a.chyrkov@nau.edu.ua



ПРИСТАВКА Пилип Олександрович, д.т.н.

Рік та місце народження: 1974 рік, Україна.

Освіта: Дніпропетровський державний університет, 1996 рік.

Посада: завідувач кафедри прикладної математики з 2012 року.

Наукові інтереси: локальна сплайн-апроксимація, цифрова обробка зображень, аналіз даних, інформаційні технології.

Публікації: більше 160 наукових публікацій, серед яких 3 монографії, наукові статті, матеріали та тези доповідей на конференціях, 2 підручники, патенти та авторські свідоцтва.

E-mail: chindakor37@gmail.com

Анотація. У сфері розробки розвідувальних авіаційних комплексів актуальними є питання, так чи інакше пов'язані з каналом зв'язку між літальним апаратом і наземною станцією. Зокрема, для деяких спеціалізованих задач – у першу чергу військової розвідки й аварійно-пошукових операцій – ставиться умова його сеансового (а не неперервного) використання та/або обмеження обсягу даних, що передаються. Зазначені обмеження обумовлені питаннями захисту інформації та забезпечення безпеки авіаційного комплексу й екіпажа (пілот, оператор цільового навантаження, інженерний склад, керівник). При цьому на практиці у переважній більшості випадків використовуються стандартні схеми: постійна передача відеопотоку для його онлайн-перегляду або запис на борту з подальшим переглядом в офлайн-режимі після приземлення, – кожна з яких крім переваг має і недоліки. У даній публікації пропонується методологія передачі даних з урахуванням особливостей деяких класів прикладних задач, включаючи вимоги конфіденційності, цілісності та доступності.

Ключові слова: повітряна розвідка, аварійно-пошукові операції, літальний апарат, передача даних, відеопотік, сеансовий канал зв'язку.

Вступ і постановка проблеми

Збір розвідувальних даних – необхідний і важливий етап виконання військових місій та аварійно-пошукових операцій (АПО). Повітряна розвідка (ПР) є одним зі способів отримання таких даних, причому, як показує практика [1-2], ефективним. Формально ПР розділяється на стратегічну, оперативну і тактичну. Для перших двох прийнятним варіантом є запис відео під час польоту з подальшим його переглядом в офлайн-режимі після приземлення. Для тактичної ПР вимога швидкого реагування на отримувані дані може бути критичною; в такому

випадку має сенс передача відеопотоку на наземну станцію (НС) під час польоту з метою отримання оперативної інформації в онлайн-режимі. Для цього необхідний канал зв'язку (КЗ) між розвідувальним літальним апаратом (ЛА) і НС; при цьому використання даного каналу в повному обсязі може бути ускладнено: для задач АПО особливостями рельєфу місцевості, для ПР діями противника – використанням засобів подавлення сигналу та/або можливістю радіопеленгування з подальшим виявленням місця розташування НС. Тобто задача отримання розвідувальних даних з ЛА в онлайн-режимі повинна бути

виконувано в умовах сеансового – а не неперервного – КЗ.

Аналіз публікацій

В [2] розкрито окремі особливості бойового застосування безпілотних авіаційних систем в інтересах забезпечення виконання завдань за призначенням підрозділів тактичної ланки Сухопутних військ, наведено список актуальних завдань у сфері розробки безпілотних авіаційних систем, проаналізовано публікації із загальних теоретичних досліджень досвіду застосування безпілотної авіації та питань побудови та створення безпілотних комплексів і систем. По останньому питанню проведений аналіз технічних характеристик і можливостей безпілотних ЛА (БПЛА), стану оснащення Збройних сил України тощо [3]. При цьому особливості застосування й аналіз проведено з точки зору військового командування, а зазначена вище проблема не наведена і, відповідно, не вирішена.

Аналіз технологій, методів і засобів (ТМЗ), що використовуються у БПЛА, взагалі представлений у відкритих наукових публікаціях недостатньо. Це пов'язано із тим, що, по-перше, деякі ТМЗ є продукцією подвійного призначення, і по-друге, переважну більшість БПЛА випускають приватні компанії, тому використовувати в них ТМЗ є комерційною таємницею. Отже, для розуміння актуального стану даної галузі замість аналізу наукових публікацій доцільно аналізувати відкриту документацію БПЛА, веб-сайти виробників або продавців, відповідні виставки тощо.

Найбільш відома система керування боем (частиною якої є розвідувальні БПЛА), що розробляється в Україні – «Combat Vision» [4]. В даній системі БПЛА використовується для повітряної розвідки, зокрема нанесення об'єктів, що представляють інтерес, на карту. Інша українська компанія – «Matrix UAV» [5] – займається продажом БПЛА різних типів для вирішення широкого кола задач [3]. Але в зазначених комплексах проблема сеансової передачі даних не розглядається як критична; принаймні, судячи з офіційної документації.

В системах управління боем тактичного рівня [6-8] БПЛА використовуються для зйомки відео з подальшим його офлайн-переглядом (аналогічно [4]), або як транспортні носії для вирішення технічних задач різного роду.

У [3] наведено опис експериментального зразка Автоматизованої системи пошуку підозрілих об'єктів на відео з БПЛА: автори пропонують передавати з БПЛА на НС не відеокадри, а цільові патчі – області відеокадрів, які потенційно можуть містити цільові об'єкти. Відповідний алгоритм пошуку, як зазначено в публікації, має високий процент правильних спрацювань, але разом із тим значну кількість неправильних. Це збільшує навантаження на оператора-розвідника, що, відповідно до [2], не є бажаним.

Постановка задачі

З аналізу досвіду застосування БПЛА для задач ПР і АПО випливає, що процес передачі відеоданих має свої особливості в різних умовах використання відповідних систем. Таким чином, виникає

наступна задача: запропонувати методологію передачі відеоданих з БПЛА на НС, оптимальну з точки зору ефективності виконання бойових завдань ПР або задач АПО.

Викладення основного матеріалу

На даний момент практично можливими є наступні варіанти передачі відеоданих:

1. Передача всього відеопотоку безпосередньо.
2. Передача окремих або масштабованих відеокадрів.
3. Передача цільових патчів (областей кадрів, що містять цільові або підозрілі об'єкти) потоком.
4. Формування списку цільових патчів на борту і їх передача пакетами.
5. Режим радіотипі – запис відео на борту з подальшим переглядом в офлайн-режимі.

Очевидно, що кожен зі способів має свої переваги та недоліки і, відповідно, сфери застосування.

1. *Передача відеопотоку безпосередньо.* Перевагою є максимальна ефективність використання безпілотного авіаційного комплексу (БАК), так як при використанні такого способу НС отримує максимально можливу кількість відеоінформації в режимі реального часу. Недоліком є суттєве завантаження КЗ. Наприклад, для відео формату RGB розмірністю 1280 x 720 пікселів 30 кадрів/с необхідний канал пропускної здатності не менше 80 Мбайт/с, що є значним для систем ПР і АПО, а також ускладнює сеансову передачу.

2. *Передача окремих або масштабованих відеокадрів.* Дане покращення дозволяє зменшити навантаження на КЗ. Наприклад, для відео з п. 1 при пропорційному масштабуванні 1:2 достатньо каналу пропускної здатності 20 Мбайт/с, при передачі 3 кадрів/с замість 30 ти – 8 Мбайт/с. Це може бути прийнятним лише для деяких задач, некритичних до швидкості та/або висоти польоту БПЛА: масштабування призводить до зниження точності ідентифікації об'єктів, особливо на значних висотах польоту, зниження частоти передачі відео – до втрати деяких областей території спостереження, причому чим більша швидкість польоту, тим більші області втрачаються.

На практиці у переважній більшості випадків цільові об'єкти на відео з камери ЛА не займають значної частини («площі») відеокадрів, а їх кількість невелика. Таким чином, передача відеокадрів, у т.ч. окремих або масштабованих, є надлишковою з практичної точки зору.

3. *Передача цільових патчів потоком.* Суть способу – знаходження патчів (областей) на відеокадрах, в яких потенційно може бути присутнім цільовий об'єкт: військова та/або цивільна техніка, будівлі, стаціонарні спорудження військового призначення (окопи, КПП, опорні пункти), сліди техніки тощо, – на борту БПЛА в автоматичному режимі (наприклад, із використанням спрощеного алгоритму пошуку підозрілих об'єктів [9] на основі аналізу гістограм [10]); з подальшою негайною передачею знайдених патчів на НС. У випадку розміру патчів 60 x 60 пікселів (як показує практика, такі розміри є практично прийнятними), за умови знаходження не більше

10 цільових об'єктів на кожному кадрі (у випадку пошуку з використанням вищезазначеного алгоритму значення взято з запасом) завантаження КЗ – не більше 3 Мбайт/с, що є перевагою способу. Недоліками є а) менша інформативність отримуваних даних порівняно зі способами (1) і (2), і б) постійне, а не сеансове, завантаження КЗ. На рис. 1 наведено приклад частини відеокадру та список цільових патчів, знайдених на відповідному відео.

4. Передача цільових патчів пакетами. Спосіб, аналогічний способу (3), з тою відмінністю, що замість негайної передачі знайдених цільових патчів формується їх список на БПЛА, який передається

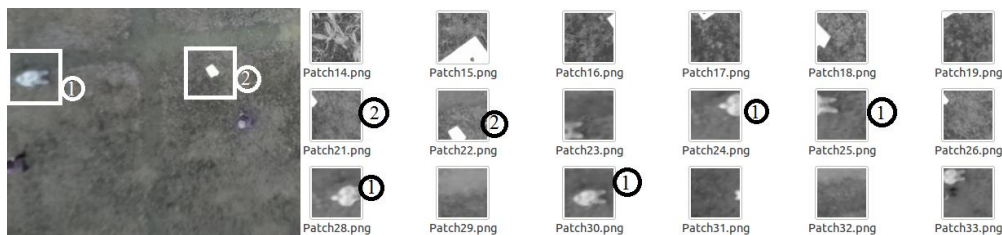


Рис.1. Приклад частини відеокадру, список цільових патчів, знайдених на відповідному відео

Конфіденційність відеоданих, що передаються, може з достатньою якістю забезпечуватись стандартними алгоритмами шифрування, зокрема симетричним шифром «Калина» (ДСТУ 7624:2014), що входить до відповідного переліку прийнятих і затверджених національних стандартів України. Обсяг даних, що підлягають шифруванню, залежить від обраного способу передачі відеопотоку.

При цьому необхідно мати на увазі, що системи обробки даних (як правило, одноплатні комп'ютери), які встановлюються на БПЛА, у переважній більшості випадків мають обмежені обчислювальні можливості.

Проблема доступності відеоданих з ЛА також може бути вирішена стандартними способами, на-

сеансово. Таким чином, вирішується проблема (3.б), але з'являється проблема тимчасового зберігання списку на БПЛА, оскільки на практиці відповідні ресурси БПЛА як правило обмежені. Проблема вирішується евристично, відповідно до особливостей предметної області застосування відповідної системи.

5. Режим радіотимиші – запис відео на борту. Переваги даного способу – отримання максимально можливої кількості відеоінформації, відсутність необхідності онлайн-перегляду відео, ймовірність втрати БПЛА до моменту отримання записаних відео.

приклад, додаванням резервного КЗ. На практиці пропускна здатність резервного КЗ не перевищує пропускної здатності основного КЗ, що також необхідно брати до уваги при виборі способу передачі відеопотоку.

На рис. 2 наводиться можлива структура потоків даних БАК [3] (БПЛА і НС), яка робить практично реалізованим вирішення вищезазначених проблем. БПЛА позначено на схемі як «клієнт», НС – як «сервер». В таблиці (табл. 1) наведено характеристики наведених способів передачі відеоданих з БПЛА на НС. Критерії оцінювання – якісні (а не кількісні), нумерація способів відповідає нумерації за текстом.

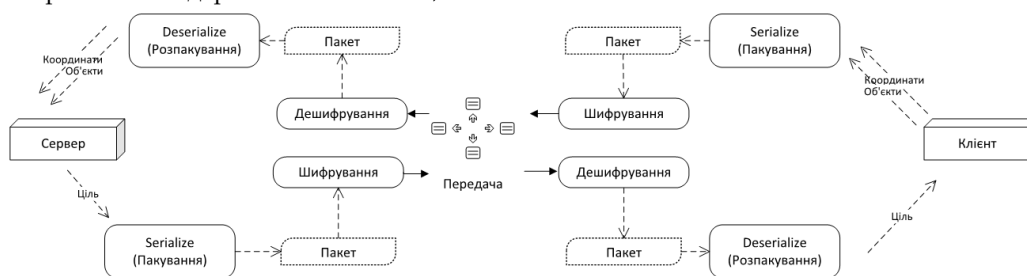


Рис.2. Приклад структури потоків даних безпілотного авіаційного комплексу (БПЛА і НС) [3]

Характеристики способів передачі відеоданих

Таблиця 1

	Повнота передачі ситуації	Оперативність отримання даних	Залежність від автоматичної частини системи	Завантаження каналу зв'язку	Можливість сеансової передачі	Обсяг даних для шифрування
1	максимальна	максимальна	немає	максимальне	практично немає	максимальний
2	середня	нижче середньої	немає	значне	з обмеженнями	значний
3	нижче середньої	вище середньої	є	незначне	є	незначний
4	нижче середньої	середня	є	незначне	є	незначний
5	максимальна	низька	немає	нульове	немає	максимальний

З табл. 1 випливає, що серед перелічених методів немає ідеального, прийняттого для використання в усіх задачах. Наприклад, для отримання максимально якісного відео за наявності надійного КЗ оптимальним є спосіб №1, для оперативного

отримання даних при необхідності незначного завантаження КЗ і необхідності шифрування – спосіб №3 і т.ін. Вибір конкретного способу може виконуватись, виходячи з їх характеристик, наведених у табл. 1.

Висновки

Сформульовано в явному вигляді та проаналізовано проблему передачі відеоданих з ЛА на НС в умовах сеансового КЗ та/або КЗ низької пропускну здатності. Проаналізовано деякі способи передачі відеоданих. Сформульовано (надано рекомендації) щодо методології вибору конкретного способу з урахуванням особливостей конкретних задач (ПР, АПО або інших). Подальші дослідження можуть проводитись за двома напрямками: фундаментальним і прикладним. Фундаментальні дослідження можуть бути пов'язані з розробкою математичних моделей відповідних БАК та їх аналізом з точок зору інформаційних технологій, захисту інформації тощо. Прикладні дослідження – з розробкою експериментальних зразків або вдосконаленням існуючих БАК з урахуванням результатів даної публікації.

Література

[1] О. Г. Оксіюк, Д. С. Гаврилов, П. М. Гуржій, Б. О. Демідов, «Метод забезпечення безпеки відеоінформаційного ресурсу на основі багаторівневої селективної обробки в телекомунікаційних системах», *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 1(26), с. 46-48, 2017.

[2] Ю. Г. Даник, І. В. Пулеко, Р. М. Осадчук, Д. А. Іщенко «Особливості застосування безпілотного авіаційного комплексу в інтересах підрозділів тактичної ланки Сухопутних військ», *Проблеми ство-*

рення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: збірник наукових праць, № 10, с. 37-42, 2015.

[3] П.О. Приставка, В.І. Сорокопуд, А.В. Чирков, «Експериментальний зразок автоматизованої системи пошуку підозрілих об'єктів на відео з безпілотного повітряного судна», *Системи озброєння і військова техніка*, № 2(50), с. 26-32, 2017.

[4] ComBat Vision. URL: <https://combat.vision/>.

[5] Matrix UAV. URL: <http://muav.com.ua/>.

[6] Defence Software. Command and Control Interoperability. URL: <https://systematic.com/defence/>.

[7] Warfighter Information Network-Tactical (WIN-T) General Dynamics Mission Systems. URL: <https://gdmissionsystems.com/c4isr/warfighter-information-network-tactical-win-t/>.

[8] Force XXI Battle Command Brigade and Below (FBCB2). URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/cb40/aeb3ca16cec0a0008c21409ebb9ff008084c.pdf>.

[9] Чирков А.В. «Пошук підозрілих об'єктів на відео з камери безпілотного літального апарата на основі аналізу гістограм», *Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: зб. наук. пр.*, № 13, с. 126-135, 2016.

[10] Ph. Prystavka, A. Rogatyuk «The Mathematical Foundations of Foreign Object Recognition in the Video from Unmanned Aircraft», *Proceedings of the National Aviation University*, № 3(64), p. 133-139, 2015.

УДК 004.056.55:004.932.2(045)

Чирков А.В., Приставка Ф.А. Методология безопасной передачи целевых видеоданных с летательного аппарата в условиях ограниченного времени сеанса связи

Аннотация. В области разработки разведывательных авиационных комплексов актуальными являются вопросы, так или иначе относящиеся к каналу связи между летательным аппаратом и наземной станцией. В частности, для некоторых специализированных задач – в первую очередь военной разведки и аварийно-поисковых операций – ставится условие его сеансового (а не непрерывного) использования и/или ограничения объёма передаваемых данных. Указанные ограничения обусловлены вопросами защиты информации и обеспечения безопасности авиационного комплекса и экипажа (пилот, оператор целевой нагрузки, инженерный состав, руководитель). При этом на практике в подавляющем большинстве случаев применяются стандартные схемы: постоянная передача видеопотока с целью его онлайн-просмотра либо запись на борту с последующим просмотром в онлайн-режиме после приземления, – каждая из которых кроме преимуществ имеет и недостатки. В данной публикации предлагается методология передачи данных с учётом особенностей некоторых классов прикладных задач, включая требования конфиденциальности, целостности и доступности.

Ключевые слова: воздушная разведка, аварийно-поисковые операции, летательный аппарат, передача данных, видеопоток, сеансовый канал связи.

Chyrkov A., Prystavka P. Methodology of secure target data transfer from aircraft in case of limited communication session time

Abstract. One of the relevant problems in the area of unmanned aviation system developing for the reconnaissance purposes are problems related to the communication channel between aircraft and ground control station. In particular, for some specialized tasks (primarily military aerial reconnaissance or rescue operations) additional conditions are set, e.g. sessional channel usage instead of the continuous one or data traffic limitation. The mentioned conditions are caused by the tasks of information security and security of unmanned aviation system and its crew (pilot, operator of target payload, engineers and supervisor). But in practice in unmanned aviation and combat systems presented in Ukraine and other countries (at least the systems which aren't related to sensitive information in governmental and/or commercial sense) standard usage patterns usually take place, particularly patterns of data flow between aircraft and ground control station. These patterns are: transferring all video stream to ground control station for its online watching or on-board video recording followed by its offline watching after landing. The specified patterns have both advantages and disadvantages. This publication proposes the comparative analysis of the following methods of data transfer between aircraft and ground control station: direct video stream transfer ("as is"), scaled and/or individual frame transfer, transfer of target patches (video frame areas containing target information) as stream or as packets, radio silence mode (recorded video watching after aircraft landing); proposes the new data transfer methodology which takes into account the features of some classes of practical tasks, including the main requirements of information security such as data confidentiality, data integrity and data availability.

Key words: aerial reconnaissance, rescue operations, aircraft, data transfer, video stream, sessional communication channel.