

УДК 004.942:629.735.33-519:629.7.076.46(045)

В.П. Харченко д.т.н
М.М. Богуненко доцент
Н.С. Кузьменко, аспірант
О.В. Шостак
К.Ю. Шарак

ОБРОБКА, АНАЛІЗ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПОЛЬОТНИХ ДАНИХ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Національний авіаційний університет, kharch@nau.edu.ua, l-39@ukr.net,
nataliakuzmenko3107@yandex.ru, helen.shostak.hs@gmail.com, ksharak@ukr.net

У статті проведено аналіз досліджень по обробці польотних даних безпілотного літального апарату, розглядається структура протоколу передачі даних MavLink з безпілотного літального апарату. Описано вимірювання і передачу польотних даних на наземну станцію контролю для подальшого декодування і обробки. Стаття демонструє розроблений інструмент обробки та візуалізації даних польоту з його алгоритмом роботи.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, аналіз і обробка, декодування, протокол MavLink, структура протоколу, візуалізація.

Постановка задач

Метою даної роботи є розробка програми для перетворення польотних даних у візуальну форму, кодування для передачі на наземний пункт управління і подальшого декодування для пост-обробки та аналізу польоту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В останні роки спостерігається зацікавленість в розробці, застосуванні та удосконаленні безпілотних літальних апаратів (БПЛА). У відкритих джерелах з'явилася велика кількість публікацій дослідницького і наукового характеру по можливостям даних літальних апаратів. БПЛА і їхні комплекси сьогодні є найбільш перспективними. Вони стрімко розвиваються, тому що мають певні переваги, такі як: низька вартість експлуатації, мала маса і хороше приховування, відмінна стійкість і гнучкість, простота і доступність технології в порівнянні з пілотованими повітряними судами. БПЛА може використовуватися в тих випадках, коли використання пілотованої авіації є непрактичним, дорогим або ризикованим.

Управління БПЛА здійснюється за допомогою наземних станцій контролю. Наземна станція контролю (НСК) є одним з ключових компонентів безпілотного авіаційного комплексу (БАК). Комплекс включає обробку/розподіл даних, вбудований дисплей і блок управління, що складається з комп'ютерів та іншого обладнання. Оператори БПЛА використовують НСК для вимірювання та контролю корисного навантаження [1].

Основні функції НСК є наступними:

- планування місії (включаючи моніторинг позицій БПЛА і відображення траєкторій). Враховуючи навколишнє середовище та інформацію місії, НСК виконує планування місії і траєкторії як на ділянці часу, так і на ділянці простору. БПЛА потім завершує місію відповідно до запланованих траєкторій;

- контроль позиції БПЛА (у тому числі кожної фази польоту). Відповідно до статусу польотних даних від датчиків на борту, НСК розраховує контрольні вхідні дані і надсилає їх в управління польотом на бортовому комп'ютері. Комп'ютер обробляє цю інформацію і посилає команду управління, впроваджуючи управління орієнтацією БПЛА;

- контроль корисного навантаження (включаючи відображення параметрів корисного навантаження). Корисне навантаження є ті пристрої, встановлені на БПЛА для певної місії. Вони є виконавчими пристроями місії БПЛА, а БПЛА є платформою і носієм для цих пристроїв. НСК контролює корисне навантаження відповідно до вимог місії, і відстежує за місією через дисплей параметрів корисного навантаження;

- навігація і позиціонування. Функція навігації НСК є необхідною, коли виникає несподівана ситуація під час знаходження БПЛА на запланованій траєкторії. Вона контролює і керує БПЛА,

і змушує його літати на безпечній траєкторії. Функція позиціонування НСК реалізується позиціонуванням і мішені, і БПЛА, для зручності відновлення та виконання місії БПЛА;

- комунікація та обробка даних. Канал передачі даних НСК використовується для керування/контролю і поширювання інформації, що збирає БПЛА, реалізації своєчасних і ефективних даних, і передачу команд;

- вбудований дисплей і моніторинг. Вбудований дисплей забезпечує ефективне відображення всіх параметрів БАК. У той час як моніторинг в основному вимірює та аналізує важливі дані під час місії БПЛА.

Однією з таких наземних станцій контролю є програма QGroundControl.

Основними характеристиками та можливостями цієї програми є:

- Windows / Linux / MacOS підтримка
- 2/3D карти (підтримка Google Earth)
- У польоті маніпуляції шляхових точок і бортових параметрів (в EEPROM) побудови даних датчиків і телеметричних в режимі реального часу

- Вхід і побудови датчика журнали

- Підтримка UDP, послідовний (радіо-модем) і Mesh мереж

- Підтримка декількох автопілотів (px4MU, ArduPilotMega, SLUGS, MatrixPilot / UAVDevBoard)

- Підтримка протоколу MAVLink до 255 транспортних засобів паралельно, проектні повідомлення користувача можуть бути додані

- Head-Up дисплей, підтримка передачі цифрового відео

- Конкуренція зарекомендували себе на IMAV і EMAV змагань (QGroundControl був використаний в EMAV 2009 1 місце Критий вступу автономії)

Іншою програмою для відображення даних є "Mission Planner". Програмне забезпечення, створене Michael Osborne. Ось деякі з його можливостей:

- Візуальний редактор маршруту, з використанням карт Google

- Вибір команд зі списку

- Завантаження лог-файлів польоту та їх аналіз

- Налаштування параметрів автопілота

- Взаємодія з програмами "симулятор польоту" для тестування поведінки контролера автопілота в режимі "віртуального польоту"

- Перегляд виводу даних через послідовний термінал автопілота.

Дослідження можливостей протоколу MavLink для кодування повідомлень

MAVLink або Micro Air Vehicle Link це протокол для зв'язку з невеликим безпілотним апаратом. Він використовується в основному для зв'язку між наземною станцією контролю (НСК) і безпілотним літальним апаратом. Він може бути використаний для передачі орієнтації БПЛА, його місцеположення і швидкості. Структура представлена у таблиці 1.

Таблиця 1

Структура протоколу MavLink

Назва поля	Індекс (Bytes)	Ціль
Початок повідомлення	0	Позначає початок передачі повідомлення (v1.0: 0xFE)
Довжина корисного навантаження	1	Довжина корисного навантаження
Послідовність пакетів	2	Кожен компонент підраховує його послідовність відправки. Дозволяє виявляти втрати пакетів
Ідентифікатор системи	3	Ідентифікація системи-відправника. Дозволяє диференціювати різні системи в одній мережі.
Ідентифікатор компонента	4	Ідентифікація відправного компонента. Дозволяє диференціювати різні компоненти тій же системі, наприклад IMU і автопілот.

Ідентифікатор повідомлення	5	Ідентифікація повідомлення - ідентифікатор визначає те, що корисне навантаження "означає" і як це має бути правильно деко довано.
Корисне навантаження	6 to (n+6)	Дані в повідомленні, залежить від ідентифікатора повідомлення.
CRC	(n+7) to (n+8)	Сума всього пакета, за винятком стартового знака пакета (LSB до MSB)

Де - CRC- Циклічний надлишковий код

Повідомлення №1 - SYS_STATUS

Загальний стан системи. Якщо система відповідає стандарту MAVLink, то стан системи в основному визначається трьома ортогональними станами/ режимами: Системний режим, який може бути LOCKED (двигуни вимкнуті і заблоковані), MANUAL (система під контролем RC), GUIDED (система в автономним контролем положення, задання значення положення здійснюється вручну) або AUTO (система керується планувальником траєкторії/шляхових точок). NAV_MODE визначає поточний стан польоту: LIFTOFF (часто маневр без зворотного зв'язку), LANDING, WAYPOINTS або VECTOR. Це представляє внутрішній стан навігації апарату. Статус системи показує її активність і чи не знаходиться вона в аварійному стані. В станах CRITICAL та EMERGENCY MAV все ще вважається активною, але повинна почати виконувати аварійні процедури самостійно. Після того як відбувся збій вона повинна спочатку перейти від активного до критичного стану, щоб дозволити фізичне втручання, а потім, через деякий час, перейти в аварійний стан. Структура повідомлення представлена у таблиці 2.

Таблиця 2

Структура повідомлення №1 - SYS_STATUS

Назва поля	Опис
onboard_control_sensors_present	Бітова маска показує, які сенсори та блоки управління є на борту. Значення 0 – немає, Значення 1 – є. Індеси визначаються ENUM MAV_SYS_STATUS_SENSOR.
onboard_control_sensors_enabled	Бітова маска показує, які сенсори та блоки управління активовані. Значення 0 – неактивний, Значення 1 – активний. Індеси визначаються ENUM MAV_SYS_STATUS_SENSOR.
onboard_control_sensors_health	Бітова маска показує чи сенсори та блоки управління працюють нормально. Значення 0 – працює з помилкою, Значення 1 – працює нормально. Індеси визначаються ENUM MAV_SYS_STATUS_SENSOR.
load	Максимальне використання часу основного циклу програми в відсотках, (0%: 0, 100%: 1000) завжди повинне бути менше 1000.
voltage_battery	Напруга батареї, в мілівольтах (1=1 мілівольт).
current_battery	Струм батареї, в 10*міліамперах (1=10 міліамперів), - 1: автопілот не вимірює струм.
battery_remaining	Залишок енергії батареї: (0%: 0, 100%: 100), - 1: автопілот робить оцінку залишку енергії.
drop_rate_comm	Відхилення зв'язку в відсотках, (0%: 0, 100%: 10'000), (UART, I2C, SPI, CAN), відкинуті пакети на всіх каналах (пакети пошкоджені при прийомі на MAV).
errors_comm	Помилки зв'язку (UART, I2C, SPI, CAN), відкинуті пакети на всіх каналах (пакети пошкоджені при прийомі на MAV).
errors_count1	Помилки автопілота.
errors_count2	Помилки автопілота.
errors_count3	Помилки автопілота.
errors_count4	Помилки автопілота.

Повідомлення №24 - GPS_RAW_INT

Глобальне положення, розраховане GPS. Координати розраховані HE системою, а скоріше визначені сенсором RAW. Повідомлення GLOBAL_POSITION містить оцінку глобального місця розташування. Система координат правостороння, Z-вісь вгору (система GPS). Структура повідомлення представлена у таблиці 2.

Таблиця 3

Структура повідомлення №24 - GPS_RAW_INT

Назва поля	Опис
time_usec	Часова відмітка (мікросекунди від початку рахунку UNIX або мікросекунди з часу запуску системи).
fix_type	0-1: немає координат, 2: 2D координати, 3: 3D координати. Деякі програми не будуть використовувати значення цього поля, якщо значення буде меншим 2, тому завжди правильно заповнюйте поле координат.
lat	Широта (WGS84), в градусах * 1E7.
lon	Довгота (WGS84), в градусах * 1E7.
alt	Висота (WGS84), в метрах * 1000 (додатня, якщо вгору).
eph	GPS HDOP зменшення точності в горизонтальній площині в см (м*100). Якщо невідомо, задайте UINT16_MAX.
epv	GPS VDOP зменшення точності в вертикальній площині в см (м*100). Якщо невідомо, задайте UINT16_MAX.
vel	GPS шляхова швидкість (м/с*100). Якщо невідомо, задайте UINT16_MAX.
cog	Трек над землею (HE курс, а напрямок руху) в градусах*100, 0.0..359.99 градусів. Якщо невідомо, задайте UINT16_MAX.
satellites_visible	Кількість видимих супутників. Якщо невідомо, задайте до 255.

Повідомлення №30 - ATTITUDE

Положення в повітряному просторі (правостороння система координат, Z-вниз, X-вперед, Y-вправо). Структура повідомлення представлена у таблиці 4.

Таблиця 4

Структура повідомлення №30 - ATTITUDE

Назва поля	Опис
time_boot_ms	Відмітка часу (мілісекунди з часу запуску системи).
roll	Кут крену (радіани, -pi..+pi).
pitch	Кут нахилу (тангажу) (радіани, -pi..+pi).
yaw	Кут курсу (радіани, -pi..+pi).
rollspeed	Кутова швидкість по крену (радіан/с).
pitchspeed	Кутова швидкість по нахилу (радіан/с).
yawspeed	Кутова швидкість по курсу (радіан/с).

Повідомлення №74 - VFR_HUD

Вимірювання зазвичай відображаються на дисплеї HUD для літаків з крилом незмінної геометрії. Структура повідомлення представлена у таблиці 5.

Таблиця 5

Структура повідомлення №74 - VFR_HUD

Назва поля	Опис
airspeed	Поточна повітряна швидкість в м/с.
groundspeed	Поточна шляхова швидкість в м/с.
heading	Поточний курс в градусах, відносно компасу (0..360, 0=north).
throttle	Поточне налаштування тяги в цілих відсотках, 0 до 100.
alt	Поточна висота (над рівнем моря), в метрах.
climb	Поточна вертикальна швидкість набору в м/с.

Декодування отриманих польотних даних та їх візуалізація

Обробка та аналіз польотних даних програмою є декодування блоку отриманих даних, які були отримані з повідомлень 1,24,30,74. Декодовані дані представлені у вигляді графіків параметрів залежно від часу. Обробка і візуалізація польотних даних та алгоритм роботи інструменту представлена на рис. 3 [2].

Крім того, можна відобразити траєкторію в тривимірних координатах Рис.4, з використанням файлу картографічного представлення (Рис.2,а) та супутникового відображення Google Earth (Рис. 2,б).

При розробці інтерфейсу інструменту (рис. 1) був зроблений акцент на можливості об'єднання довільних графіки різних параметрів. З цією метою створено вікно параметрів, де їх можна обирати та комбінувати.

При запуску програми аналізу польотних даних потрібно попередньо обрати файл записаних даних, який повинен бути оброблений, файл картографічного представлення та склад вихідних параметрів.

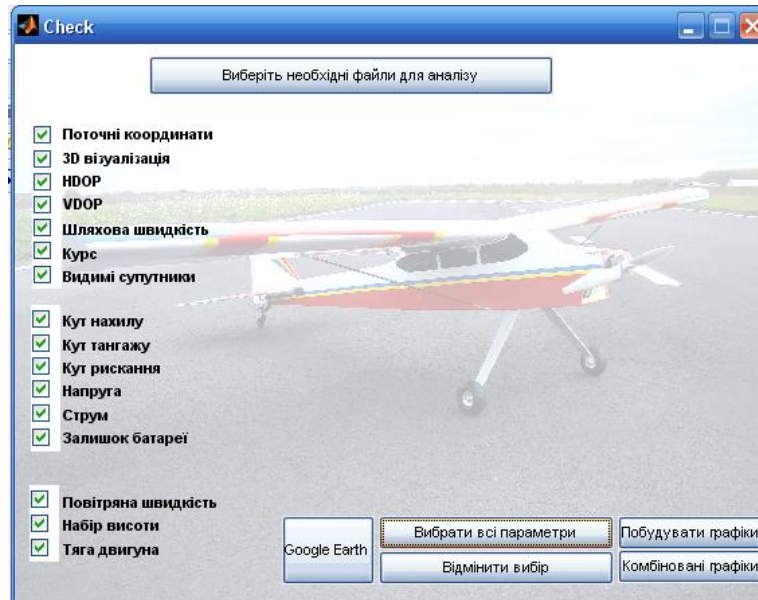


Рис.1 – Інтерфейс роботи програми обробки та візуалізації даних польотних БПЛА



а)

б)

Рис.2– Візуалізація траєкторії польоту

а) Траєкторія польоту з використанням файлу картографічного представлення

б) Траєкторія польоту за допомогою Google Earth

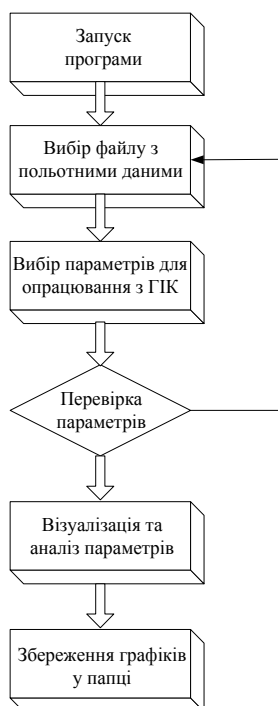


Рис.3 – Алгоритм роботи програми ГІК – графічний інтерфейс користувача

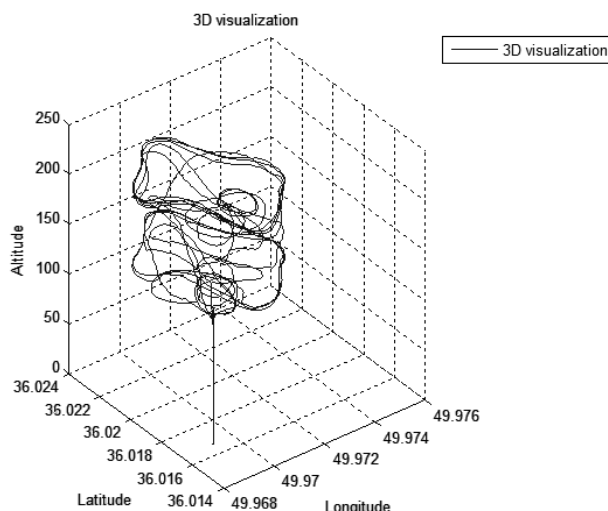


Рис.4 – Траєкторія польоту у 3D

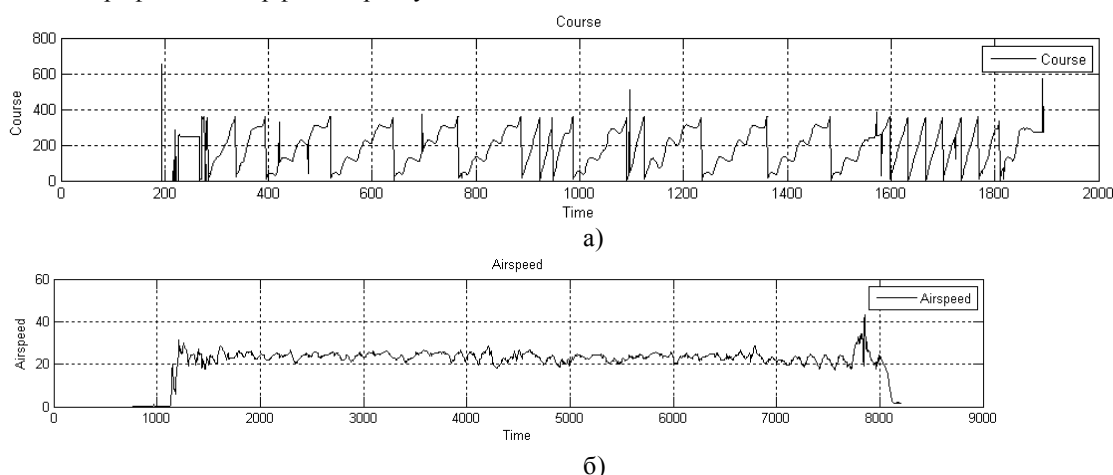


Рис.5 – Комбінований графік

а) зміна курсу з часом, б) зміна швидкості з часом

Потік даних телеметрії на наземну станцію контролю, отриманої з борту ділиться на три зони: візуальне відображення штучних показників горизонту, відображення параметрів у вигляді графіків, реєстрації даних у файл для подальшого аналізу [3].

Висновки. Візуальне представлення польоту БПЛА дозволяє аналізувати досліджувані параметри. Комбіновані графіки з положення БПЛА у польоті і графіки траєкторії польоту у 3D і за допомогою Google Earth забезпечує перевірку і корекцію БПЛА коефіцієнтів системи стеження.

Пропонований інструмент дозволяє відновити параметри експериментальних польотів за рахунок даних телеметрії, навіть якщо БПЛА був втрачений, що супроводжується втраченою даних пам'яттю на борту.

Список літературних джерел

1. Jia Zeng, "System Framework and Standards of Ground Control Station of Unmanned Aircraft System", Electrical Engineering and Control Lecture Notes in Electrical Engineering Volume 98, 2011, pp 327-334
2. Kharchenko, Volodymyr; Kuzmenko, Nataliia. 2013 Experimental unmanned aerial vehicle flight data measurement and their post-processing analysis. Proceeding of the NAU. – 2014. – № 1. – 11-17 p.
3. Gouqing, Zhou; Chaokui, Li 2006. UAV real-time data processing through flight trajectory and resample rate analysis. ASPRS 2006 Annual Conference, Reno, Nevada, May 1-5, 7 p.