

Технічні науки

УДК 656.7:656.8

Макаров Володимир Сергійович

старший судовий експерт

Харківський науково-дослідний

експертно-криміналістичний центр МВС України

Макаров Владимир Сергеевич

старший судебный эксперт

Харьковский научно-исследовательский

экспертно-криминалистический центр МВД Украины

Makarov Vladimir

Senior Forensic Expert

Kharkiv Scientific Research Forensic Center of the

Ministry of Internal Affairs of Ukraine

**НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В КОМП'ЮТЕРНО-ТЕХНІЧНІЙ
ЕКСПЕРТИЗІ: ДОСЛІДЖЕННЯ ДРОНІВ
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОМПЬЮТЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
ЭКСПЕРТИЗЕ: ИССЛЕДОВАНИЕ ДРОНОВ
NEWEST TECHNOLOGIES IN COMPUTER TECHNICAL
EXAMINATION: DRONES RESEARCH**

Анотація. У статті розглянуто поняття дрону, його конструктивну будову, способи та організацію руху у просторі, функціональні можливості та їх залежність від вартості пристрою. Зазначено перелік важливих даних які можуть зберігати безпілотні літальні апарати, що можуть бути використані у якості цифрових доказів. А також розглянуто програмне забезпечення яке застосовується у сучасній цифровій криміналістиці для дослідження дронів. Розглянута перспектива розвитку напрямку дослідження дронів.

Ключові слова: дрон, безпілотний літальний апарат, дослідження, вилучення, цифровий доказ.

Аннотація. В статті розглянуто поняття дрона, його конструктивні особливості, способи та організацію руху в просторі та їх залежність від вартості пристрою. Вказано перелік важливих даних, які можуть бути використані як цифрові докази. Також розглянуто програмне забезпечення, яке використовується в сучасній цифровій криміналістиці для дослідження дронів. Розглянуто перспективу розвитку напрямку дослідження дронів.

Ключевые слова: дрон, беспилотный летательный аппарат, исследование, извлечение, цифровое доказательство.

Summary. The article discusses the concept of a drone, its design features, methods and organization of movement in space and their dependence on the cost of the device. A list of important data that can be used as digital evidence is indicated. Also considered software that is used in modern digital forensics for the study of drones. The perspective of the development of the direction of research of drones is considered.

Key words: drone, unmanned aerial vehicle, research, extraction, digital evidence.

Дрони, також відомі як безпілотні літальні апарати, стають все більш популярними серед населення через свою доступність та постійне здешевлення вартості. Ця популярність не тільки сприяє швидкому зростанню глобальної комерційної діяльності, але також неминуче зростає кількість злочинів з використанням безпілотних літальних апаратів. Легкість транспортування за рахунок малої ваги та розміру, можливість польоту на порівняно великі відстані та їхнє дистанційне управління робить

дронів ідеальним засобом для транспортування контрабанди, наприклад, скидання зброї, телефонів, наркотиків у в'язницях або доставки наркотиків в обхід кордонів. Камера, встановлена на дроні, може записувати відео- та фото- дані у пам'ять пристрою або вести їх потокову передачу. Звідси виникає проблема конфіденційності даних для організацій та громадськості. Також існує загроза безпеці стратегічних об'єктів, таких як аеропорти, військові частини, електростанції та інші об'єкти, через можливість високоточної розвідки зловмисників.

З цієї причини необхідність проведення судової комп'ютерно-технічної експертизи з дослідження дронів, вилучених з місць злочину та пристроїв, що використовуються разом з цими безпілотниками, має важливе значення у виявленні доказів.

Дрон, або частіше використовується назва квадрокоптер, як найбільш популярний вид дрону (він же квадроліт, англ. Quadrotor, quadcopter, чотирихроторний вертоліт) - це літальний апарат з чотирма несучими гвинтами, що обертаються діагонально в протилежних напрямках. Узагальнена назва апаратів подібного типу, з будь-якою кількістю роторів – мультикоптер або дрон. Дрон є безпілотним літальним апаратом (БПЛА), тобто без екіпажу на борту.

Безпілотні літальні апарати створено для повітряної зйомки і спостереження в реальному часі за наземними об'єктами.

Багатогвинтові вертольоти розроблялися ще в перші роки вертольотобудування. Недоліком цих апаратів була складна трансмісія, що передавала обертання одного мотора на кілька гвинтів.

Про літаючий механізм під назвою «квадрокоптер» вперше заговорили в 1922 році, коли в Дейтоні (США) піднявся в повітря вертоліт з чотирма гвинтами. Згодом він зробив близько 100 польотів, але в серійне виробництво так і не пішов: винахід просто випередив свій час - виробляти настільки складні літальні апарати в ту пору було технологічно недоцільно.

Автор проекту Георгій Олександрович Ботезат, незважаючи на успіх, до гвинтокрилих машин більше не повертався.

Безпілотні літальні апарати до 2000 року розвивалися і використовувалися у військовій сфері і по більшій своїй частині у вигляді літака.

Однак, незважаючи на розвиток БПЛА у військовій сфері, не можна забувати і про громадянське застосування даних апаратів. По-перше, подібних апаратів з кожним роком з'являється все більше і більше. По-друге, деякі з апаратів розроблених приватними компаніями є більш розвиненими ніж військові в технологічному плані за рахунок вузької спеціалізації цих компаній і малих обсягів виробництва, що дозволяє інженерам більш оперативно реагувати на зміну ринку споживачів.

Розглядаючи будову та принцип роботи дронів ми бачимо, що на відміну від безпілотних літальних апаратів (БПЛА) вертолітного типу традиційної поздовжньої схеми з несучим і рульовим гвинтами і апаратів соосної схеми, дрони мають ряд переваг, таких, як простота і надійність конструкції. Такі пристрої характеризуються малою злітною масою, компактністю і високою маневреністю. Центральна частина дрону - «фюзеляж» служить для розміщення обладнання, навантаження і акумуляторів. Радіально від центру на балках встановлюються мікроелектродвигуни з несучими гвинтами, утворюючи зіркоподібну компоновку всього апарату. Така симетрична компоновка, передбачає наявність передньої і задньої частин, відносно яких зорієнтований напрямок руху.

Для вивчення основних закономірностей руху дрону розглянемо математичну модель, що описує рух літаючого робота в просторі. Дрон - це електромеханічна система, корпус якої можна моделювати твердим тілом з шістьма ступенями свободи. Будемо розглядати рух корпусу робота в декартовій системі координат, пов'язаній із землею $Oxyz$, тоді положення

центру мас апарату визначають координати x, y, z (див. Рис. 1). Кожен з двигунів створює силу тяги F_i ($i = 1,2,3,4$), величина якої регулюється зміною рівня напруги на двигунах. У розглянутій конструкції вектори F_i мають відповідні проекції (F_{ix}, F_{iy}, F_{iz}) на систему координат пов'язану з корпусом. Правильна орієнтація векторів F_i відкриває широкі можливості для компенсації зовнішньої вітрової навантаження, що діє на корпус.

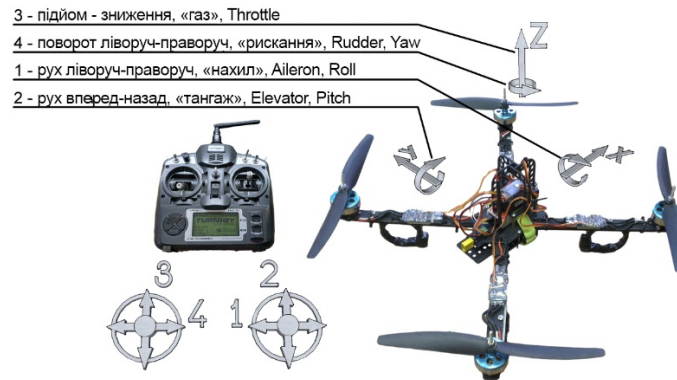


Рис. 1. Рух дрону в системі координат $Oxyz$

Дрони мають 2 або більше гвинтів постійного кроку (автомата перекошу, на відміну від одно- і двохвинтових апаратів, у них немає). Кожен гвинт приводиться в рух власним двигуном. Половина гвинтів обертається за годинниковою стрілкою, половина - проти, тому хвостовий гвинт дрону не потрібен. Маневрують дрони шляхом зміни швидкості обертання гвинтів (див. Рис. 2).

Наприклад:

- прискорити всі гвинти - підйом;
- прискорити гвинти з одного боку і уповільнити з іншого - рух в сторону;
- прискорити гвинти, що обертаються за годинниковою стрілкою, і уповільнити, що обертаються проти - поворот.

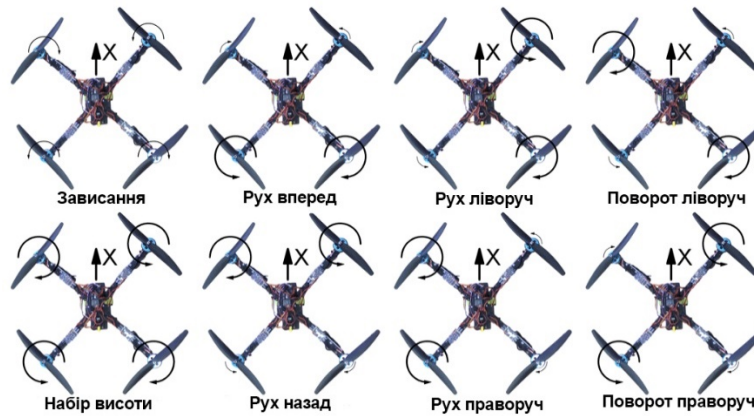


Рис. 2. Принцип організації руху дрону в просторі

Команди, прийняті приймачем, надходять в польотний контролер у вигляді широтно-імпульсного сигналу. Тут вони з урахуванням поточної навігаційної інформації (яку отримує безпосередньо «польотний» контролер від вбудованих мікросистемних гіроскопів і акселерометрів), а також з урахуванням сигналів з модуля GPS (опціонально) перетворюються в широтно-імпульсні сигнали управління двигунами, які подаються на контролери частоти обертання двигунів (т.з. ESC - Engine Speed Control). Призначення модулів ESC - перетворення керуючих широтно-імпульсних сигналів в синусоїдальні трифазні напруги для обмоток безколекторних електродвигунів. Типове джерело живлення для мережі дрону - це батарея літій-полімерних акумуляторів. Струм споживання - від одиниць до сотень ампер в залежності від розмірів апарата.

У теперішній час існує велика кількість дронів, але по суті їх можна розділити на два види: ті, що переносять на собі різні вантажі та дрони для спостереження і розвідки (використовуючи різне спеціальне обладнання від звичайної цифрової камери до тепловізornoї камери та різноманітних датчиків).

Можливості кожного з них різні та напряду залежать від вартості пристрою. Перше, та найголовніше – час польоту. Чим дорожче дрон – тим більш ємкий в нього акумулятор. Однак тут існує межа, а саме 30 хвилин польотного часу, що викликано технологічними обмеженнями (чим більше

маса акумулятора – тим більш потужні потрібні двигуни та більша витрата енергії, і так далі по колу).

Ще одна важлива характеристика – відстань на якій можливе пряме управління дроном. Зазвичай вона становить 200 метрів в «іграшкових» моделях та 5-20 кілометрів у дорогих пристроїв. Те саме стосується відстані прямої відеотрансляції з камери дрона, у більшості випадків вона на 20-30% менша за відстань прямого управління (дане правило діє у випадку брендovanого дрону і не стосується дронів самостійної збірки). Також разом з ціною збільшується і кількість датчиків якими обладнаний пристрій. Якщо в недорогих моделях присутні лише геопозиціонування, компас та висотомір, то більш продвинуті моделі можуть похвалитися наявністю акселерометра та оптично-ультразвукових датчиків, що допомагають утримувати дрон в повітрі без зміщень та уникнути незапланованої зустрічі з перешкодою.

Для того щоб дрон вважався вантажним – необхідно щоб він відповідав певним додатковим параметрам. У нього має бути вантажопідйомність від 5 кілограмів, вантажозахватне пристосування для прикріплення або захвату вантажу (гачок, стропа, вантажний відсік, маніпулятор), збільшена кількість двигунів для забезпечення більшої стабільності і потужності дрону. Особлива увага приділяється якості та ємності акумуляторної батареї для збільшення тривалості польоту. В деяких моделях може бути присутній парашут для м'якої посадки при виникненні надзвичайної ситуації (відмови двигунів, низькому заряді акумулятора).

Для того щоб наглядно показати як тісно пов'язані можливості дрона з його вартістю, переглянемо таблицю 1, де присутні характеристики чотирьох популярних (на момент написання статті) літальних апаратів з різною вартістю та різною «ваговою категорією».

Характеристики дронів

Модель дрону	Hubsan X4 Desire FPV H502S	Walkera AiBao	Xiaomi Mi Drone 4K	DJI Mavic Pro
Ціна	200\$	360\$	640\$	1400\$
Розмір, маса	165×165×60 мм, 145 г	230×230×151 мм, 570 г	310×380×53 мм, 1390 г	Складна конструкція, 83×83×198 мм, 743 г
Час польоту	12 хвилин	18 хвилин	27 хвилин	27 хвилин
Тип управління, дальність	радіо 200 м, пульт д/у в комплекті	радіо 1500 м, пульт д/у в комплекті	радіо 2000 м, пульт д/у в комплекті	Wi-Fi 80 м, радіо 7000 м, пульт д/у в комплекті
Датчики	GPS, датчик висоти, магнітометр	GPS, Глонас, датчик висоти, магнітометр	GPS, Глонас, акселерометр, магнітометр, ультразвуковий датчик	GPS, Глонас, акселерометр, датчик висоти, магнітометр, ультразвуковий датчик, оптичний датчик
Тип камери	вбудована в корпус	вбудована в корпус	зовнішня, трьохосьовий гіропідвіс	зовнішня, трьохосьовий гіропідвіс
Роздільна здатність відеокамери	720p	2160p	2160p	2160p
Можливість трансляції відеопотоку	так	так	так	так

Які основні відмінності можна відмітити в цій таблиці та які параметри змінюються з ростом ціни? По-перше - ростом ціни збільшується відстань керованого польоту, по-друге - час польоту, по-третє - кількість датчиків та характеристики камери.

Багато сучасних дронів можуть рухатись на автопілоті, або по заздалегідь прокладеному маршруту, виконувати рух за певною ціллю.

Якщо розглядати продвинуті моделі дронів, які не відносяться до «іграшкових», у них завжди є накопичувач даних в пам'ять якого записується інформація з камери та датчиків присутніх на борту пристрою. Важливі дані можуть зберігатися як у внутрішній пам'яті пристрою так і на

карті пам'яті дрону. Тож важливо зазначити, що окрім фотографій та відеозаписів зроблених за допомогою відео-камери змонтованої на корпусі літального апарату, в пам'ять записуються не менш важливі дані у вигляді журналів польоту. Журнали можуть зберігати в собі історію місцезнаходження на основі координат «GPS» або «Глонас», координати старту, інформацію про висоту польоту та напрямку, швидкість польоту та дані розпізнавань обличчя.

Незалежно від того, як задіяний у скоєнні злочину дрон буде вилучений правоохоронними органами, вилучення з нього цифрових доказів буде повністю пов'язано з комп'ютерно-технічною експертизою. До того ж вилучення інформації, ймовірніше за все, ускладниться тим, що електронна система дрону може бути пошкоджена через падіння або якщо апарат буде цілеспрямовано збитий. Тому правоохоронні органи повинні чітко представляти, як діяти щоб не загубити важливі дані, а саме, не слід вмикати літальний апарат, оскільки це може внести зміни в пам'ять пристрою та пошкодити цифрові докази.

Кількість та доступність дронів дуже стрімко зростає, є десятки виробників безпілотників і сотні різних моделей, однак досі немає єдиного стандарту про спосіб зберігання цифрових даних. Дані можуть зберігатися в декількох різних форматах, а координати GPS можуть кодуватися декількома способами. Через велику різноманітність форматів даних та потенційно велику кількість наявних доказів, ручне вилучення та вивчення цих доказів може бути дуже трудомістким. Тому у експертів виникає необхідність в швидкому та безпроблемному дослідженні цих пристроїв. Найкрупніші розробники програмного забезпечення для аналізу цифрових даних у сфері судової комп'ютерно-технічної експертизи Cellebrite (www.cellebrite.com), MSAB (www.msab.com) та Oxygen Forensics (www.oxygen-forensic.com) швидко відреагували на цю необхідність та включили до своїх програмних продуктів можливість вилучення образів

пам'яті з дронів та їх подальшу обробку. В тому числі можливе вилучення інформації з мобільних додатків за допомогою яких велось керування БПЛА.

Наприклад Oxygen Forensics дозволяє імпортувати дамп дрону та аналізувати отримані гео-дані у вкладці «Стрічка подій». Місцезположення дрону можна переглянути у вбудованому модулі карт. Експерт також отримує доступ до метаданих, вилучених з дампу пам'яті дрона: швидкість, напрямок, прискорення, заряд акумулятора. Програмне забезпечення дозволяє імпортувати «*.dat» файли журналу дрона безпосередньо в модуль карт та оперативного переглянути траєкторію польоту БПЛА (див. Рис. 3).

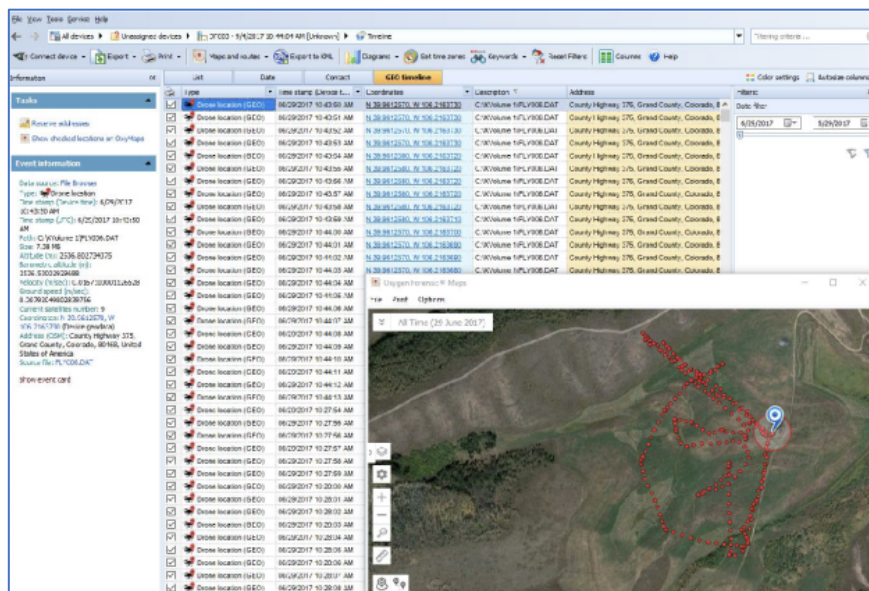


Рис. 3. Маршрут слідування дрону на основі координат GPS у вікні програми Oxygen Forensics

Дані, які можуть бути вилучені з мобільних додатків для керування дроном (встановлених на пристроях під управлінням операційних систем iOS та Android), дозволяють переглядати зняті фотографії та відео використовуючи часові мітки та гео-координати, що наглядно відображає у якому місці на карті та у якій момент польоту зроблений знімок.

Отже важливо зазначити, що інформація яка містяться в пам’яті БПЛА доволі обширна та може мати важливе значення в якості цифрових доказів для правоохоронних органів.

Вже зараз можна сказати, що розвиток безпілотних літальних апаратів тільки починається. Нові технології реалізуються у кожній складовій пристрою. Механічна та програмна частина, спосіб зберігання даних та їх вміст - все це з кожним роком удосконалюється, а постійне зниження ціни сприяє швидкому розповсюдженню пристроїв. Вже скоро ми зможемо спостерігати регулярне надходження дронів на криміналістичне дослідження.

Тож вилучення та вивчення даних з безпілотних літальних апаратів – це окремий напрямок та ще один крок в мобільній криміналістиці.

Література

1. Azhar M A Hannan Bin; Barton, Thomas Edward Allen; Islam Tasmina. Drone Forensic Analysis Using Open Source Tools. Journal of Digital Forensics, Security and Law. Vol. 13 : No. 1 , Article 6. 2018. URL: <https://doi.org/10.15394/jdfsl.2018.1513> (дата звернення: 04.10.2019).
2. Maria Bento. Unmanned aerial vehicles: An overview. Inside GNSS. 2008. URL: <http://www.insidegnss.com/auto/janfeb08-wp.pdf> (дата звернення: 05.10.2019).
3. Белоконь С. А., Золотухин Ю. Н., Котов К. Ю. та ін. Управление квадрокоптером AR.Drone при движении по заданной траектории. Труды XIV Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. С. 506–514.
4. Тимочко О. І., Голубничий Д. Ю., Третьяк В. Ф., Рубан І. В.. Класифікація безпілотних літальних апаратів / Системи озброєння і військова техніка. 2007. №1. С. 61–66.