

Forenzička analiza dronova kao terminalnih uređaja

Miletić, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:915219>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-20**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Nikolina Miletić

**FORENZIČKA ANALIZA DRONOVA KAO
TERMINALNIH UREĐAJA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2018.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**FORENZIČKA ANALIZA DRONOVA KAO
TERMINALNIH UREĐAJA**

**FORENSIC ANALYSIS OF DRONES AS TERMINAL
DEVICES**

Mentor: dr. sc. Siniša Husnjak

Student: Nikolina Miletić

JMBAG: 0135242751

Zagreb, rujan 2018.

FORENZIČKA ANALIZA DRONOVA KAO TERMINALNIH UREĐAJA

SAŽETAK

U ovome završnom radu opisane su sve važnije značajke o dronovima, koji su još poznati pod imenom bespilotne letjelice (engl. *Unmanned Aerial Vehicle* - UAV). Neprestani tehnološki napredak dronova povećava njihovu popularnost i sve se više koristi za razne svrhe. Svakim danom se broj korisnika dronova povećava, a s time se povećavaju i količine prikupljenih podataka, koji su bitni za samu forenziku. Kroz rad je opisana digitalna forenzika koja predstavlja uvod u forenzičku analizu dronova, i čitav ostali proces analize. Navedene su i najvažnije metode i alati koji se koriste za provođenje forenzičke analize. Forenzički izazovi rastu svakim danom, pa tako će se trebati i dosta vremena kako bi se forenzička analiza dronova, koja je relativno nov pojam, razviti do maksimuma. U radu je forenzička analiza opisana na primjeru rada DJI Phantom 3, s ciljem rekonstrukcije svih zabilježenih akcija od strane drona. Na temelju toga primjera, opisane su neke generičke metode koje se koriste za analizu i ekstrakciju podataka, a na samome kraju su prikazani i rezultati istraživanja.

KLJUČNE RIJEČI: terminalni uređaji; dron; digitalna forenzika; DJI Phantom3

SUMMARY

In this bachelor thesis, all the more important features of drones, which are still known as unmanned aerial vehicle (engl. *Unmanned Aerial Vehicle* – UAV), are described. Continuous technological advancement of drones increases their popularity and it is increasingly used for various purposes. Every day, the number of users of drones increases, and with that also increasing amounts of data collected, which are essential for the forensic itself. Through the work, digital forensic is described, which is an introduction to forensic analysis of drones, and the whole other analysis process. The most important methods and tools used to carry out forensic analysis are listed. Forensic challenges grow every day, so it will take a long time for the forensic analysis of drones, which is relatively new term, to develop to the maximum. Forensic analysis is described in the example of DJI Phantom 3, with the aim of reconstructing all recorded actions by the drone. Based on that example, some generic methods are used to analyze and extract data, and at the end, the results of the research are also presented.

KEY WORDS: terminal devices; drone; digital forensics; DJI Phantom 3

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Dronovi kao terminalni uređaji	3
2.1. Značajke terminalnih uređaja	3
2.2. Opće karakteristike dronova.....	4
2.3. Statistika upotrebe dronova	7
3. Elementi dronova i upravljanje	9
3.1. Dijelovi drona.....	10
3.2. Senzori.....	12
3.3. Upravljanje dronovima.....	14
4. Forenzička analiza terminalnih uređaja.....	18
4.1. Digitalna forenzika	18
4.1.1. Primjena digitalne forenzike	19
4.1.2. Proces digitalne forenzike	20
4.2. Forenzička ekstrakcija.....	21
4.2.1. Metode ekstrakcije	21
4.2.2. Alati forenzičke ekstrakcije.....	23
5. Mogućnosti i izazovi forenzičke analize dronova.....	27
5.1. Metodologija i koraci prikupljanja podataka.....	28
5.2. Primjer forenzičke analize DJI Phantom 3 Professional	30
5.2.1. Forenzička analiza povezanog mobilnog uređaja	31
5.2.2. Analiza podataka i medijskog sadržaja na dronu	32
6. Zaključak.....	35
Literatura	36
Popis kratica	39
Popis slika	40
Popis grafikona.....	40
Popis tablica	41

1. Uvod

Uočeno je da je u posljednjih nekoliko godina naglo porastao razvoj tehnologije i znanosti, a primjer takvih tehnoloških dostignuća su i dronovi ili kako se još drugim imenom nazivaju bespilotne letjelice. Dronovi i nisu neka relativna novost na tržištu pošto postoje već duže vrijeme, no novost je razvoj tehnologije dronova i širokog spektra mogućnosti koje može dosezati. Prvotno su dronovi bili korišteni u vojne svrhe, no s vremenom su postali kompaktniji i uklopili su se u nov i moderan način fotografiranja. Danas se većinom koriste u istraživačke, zabavne ili eksperimentalne svrhe.

Na svjetskom tržištu postoji veliki broj dronova, različiti modeli s različitim mogućnostima. No svi oni imaju jednu zajedničku karakteristiku. Mogućnost snimanja videa i fotografija je upravo ta karakteristika zbog čega se dronovi u većini slučajeva i koriste. Negativnost koja se povezuje sa dronovima su kriminalne radnje koje se obavljaju sa njima, a takvi oblici zločina su u porastu i to je jedna od stavki koje se pokušavaju riješiti.

Cilj ovoga rada je prikazati sve važne značajke dronova, njihov rad, sve zanimljivosti tijekom razvoja, no ono najvažnije, što je ujedno i naslov završnog rada, jest prikazati proces forenzičke analize dronova kao terminalnih uređaja. Taj proces je relativno nov termin u tehnološkom svijetu, i proces koji će trebati još dugi niz godina da se razvija i usavrši i da prikupi još dosta novih informacija i metoda kako bi bio što pouzdaniji i kompletniji. Forenzička analiza kao proces obuhvaća prvo prikupljanje podataka nakon čega slijedi ekstrakcija tih podataka sa uređaja i na kraju njihova obrada. U ovome završnom radu se taj proces objašnjavao na modelu drona DJI Phantom 3, koji je najrašireniji model drona trenutno na tržištu. Ovaj završni rad je koncipiran u sljedećih 6 cjelina:

1. Uvod
2. Dronovi kao terminalni uređaji
3. Elementi dronova i upravljanje
4. Forenzička analiza terminalnih uređaja
5. Mogućnosti i izazovi forenzičke analize dronova
6. Zaključak.

Drugo poglavlje će obuhvatiti definiranje nekih glavnih značajki terminalnih uređaja općenito, način na koji rade, prikupljaju podatke i kako ih skladište. Nakon toga slijedi kratak uvod o dronovima, njihova glavna podjela i svrha, i za što i u koje svrhe se koriste. Posljednje što ovo poglavlje obuhvaća su prednosti i nedostaci dronova koji su prikazani tablicom, kao također i statistika korištenja dronova u svijetu i u Hrvatskoj.

Unutar trećeg poglavlja biti će obuhvaćen operativni sustav dronova, pod kojim će se definirati glavni dijelovi koji sačinjavaju dron, i koji su nužni kako bi on mogao normalno raditi. Nakon toga će biti objašnjeni senzori koji su najvažniji dio svakoga drona i koji olakšavaju njegov rad. Svaki senzor će biti posebno nabrojan i opisan kako bi se što bolje predočila njihova važnost. I posljednje je opisan rad drona koji je poznatiji kao *quadcopter*, kako bi se lakše razumjela čitava priča rada dronova.

Četvrto poglavlje obuhvaća opis forenzičke analize općenito kod svih terminalnih uređaja, kako bi se kasnije lakše mogao predočiti isti proces kod dronova. Ovo poglavlje još obuhvaća metode i procese koji se koriste prilikom prikupljanja podataka i njihovog kasnijeg obrađivanja. Na kraju ovoga poglavlja su navedeni i objašnjeni neki od najpoznatijih alata koji se koriste prilikom izvođenja forenzičke analize.

Petim poglavljem će se obuhvatiti proces forenzičke analize kod dronova kao terminalnih uređaja. Prvo će se navesti neke karakteristike rada dronova koje su potrebne za samu analizu, a nakon toga će biti navedena metodologija i proces prema kojemu se sama analiza odvija. Prije zaključka će biti objašnjen čitav proces forenzičke analize na primjeru drona DJI Phantom 3.

2. Dronovi kao terminalni uređaji

Terminalni uređaji (engl. *terminal devices* - TU) su krajnji uređaji u kojima se vrši pretvorba različitih vidova informacija u električne signale prilagođene za prijenos komunikacijskim kanalom tj. prijenosnim medijem i obratno, [1]. Prema ovoj definiciji, terminalni uređaji predstavljaju razne elektroničke uređaje koji se svakodnevno koriste, poput mobilnih uređaja, tablet uređaja, računala, pametnih satova, televizora i slično. Terminalni uređaji, kao dio telekomunikacijske mreže, se svrstavaju pod korisničku opremu.

2.1. Značajke terminalnih uređaja

Danas, u 21. stoljeću, postoji veliki broj terminalnih uređaja, pa bi bilo nemoguće sve ih navesti. Svijet se danas nikako ne bi mogao zamisliti bez raznih tehnologija, gdje također velik dio njih spada upravo u terminalne uređaje. Zato je uporaba terminalnih uređaja iz dana u dan sve veća, kao i njihova namjena. Sama komunikacija između korisnika i uređaja se odvija korištenjem ulazno-izlaznih jedinica. Stoga je puno lakši način podjele terminalnih uređaja prema karakteristikama koje ih svrstavaju u različite skupine. Ta bi klasifikacija terminalnih uređaja bila prema njihovoj namjeni, načinu rada, napajanju, izvedbi, povezanosti glavnih dijelova, primjeni, mreži koju koriste, promet u kome se koristi i smjer prijenosa. Arhitektura terminalnih uređaja se također sastoji od velikog broja dijelova, no tri glavna dijela su: središnja procesorska jedinica, hijerarhijska struktura memorije, sabirnica.

Središnja procesorska jedinica upravlja izvođenjem operacija te izvodi operacije. Sastoji se od aritmetičko-logičke jedinice, upravljačke jedinice te skupa registara. Omogućuje obradu podataka i usklađivanje rada cijeloga sustava. Memorija i cjelokupni memorijski sustav su jedan od najvažnijih čimbenika rada svakog terminalnog uređaja. Memorijski sustav se sastoji od više komponenti: registara, višerasinske priručne memorije (engl. *Cache*), radne memorije, lokalnih spremišta podataka i vanjska (dodatna) spremišta podataka. Sabirnica (engl. *Bus*) povezuje sve dijelove terminalnih uređaja. Ona omogućuje odvijanje procesa razmjenjivanja podataka, upravljačkih signala i instrukcija, [1].

Najznačajni predstavnik terminalnih uređaja zasigurno je mobilni uređaj, koji je danas najzastupljeniji terminalni uređaj na svijetu.

Uvođenje mobilnih TU u korporativno okruženje omogućilo je, [1]:

- povećanje fleksibilnosti
- povećanje mobilnosti
- povećanje učinkovitosti.

Negativnosti koje se javljaju sa sve većom brojkom terminalnih uređaja u svijetu su različite. Terminalni uređaji predstavljaju sve veću opasnost zbog zagađenja i onečišćenja, jer većina tih terminalnih uređaja su elektronički uređaji koji sadrže štetne sastojke i elemente, [1].

Osim opasnosti koju predstavljaju TU kao elektronička oprema, također predstavljaju veliku opasnost jer zrače elektromagnetsko zračenje, koje može ostaviti loše posljedice za čovjekovo zdravlje.

2.2. Opće karakteristike dronova

Dronovi ili drugim imenom bespilotne letjelice (engl. *Unmanned Aerial Vehicle* - UAV) su dio bespilotnog zrakoplovnog sustava (engl. *Unmanned Aircraft System* - UAS). UAV je opći pojam koji označava sve vrste bespilotnih letjelica kojima ne trebaju ljudski piloti. Dronovi su uređaji koji su postali jako popularni zadnjih par godina prvenstveno radi potrebe koje su korisnici trebali i tražili. Dronovi su bespilotne letjelice koje nemaju posadu i mogu letjeti uz pomoć daljinskog upravljača ali i autonomno. Bez obzira o kojem se načinu upravljanja radi, da bi let bio uspješan svaki dron mora imati kontrolor koji služi za njegovo upravljanje (pokretanje, slijetanje i navigaciju drona). Autonomne letjelice lete pomoću upravljačkih sustava tako što se unaprijed programira plan leta. Dok daljinski upravljane letjelice (engl. *Remotely Piloted Aircraft System* - RPAS) rade na način da njima upravlja korisnik uz pomoć radio signala. Velika većina današnjih modela se može pokrenuti ručno, a može ih se kontrolirati daljinskim upravljačima ili posebnim oblicima kontrolora na zemlji kao što su pametni telefoni, tableti i ostali pametni uređaji. Bez obzira o kojoj se vrsti kontrolora radi i kako oni izgledaju, oni moraju biti u mogućnosti komunicirati s dronom i to obično rade pomoću radio valova (pojas koji zauzimaju je obično 2,4 GHz).

Svaki dron mora imati sljedeće dijelove kako bi uopće mogao funkcionirati: tijelo, napajanje i platformu, senzore, pogon, softver, kontrola leta, komunikacija.

Razvrstavanje dronova po svim karakteristikama je jednostavno nemoguće, s obzirom na činjenicu da danas na svjetskom tržištu postojim mnogo različitih modela, s različitim značajkama, veličinama i cijenama. Trenutno u svijetu ne postoji općeprihvaćena podjela dronova. Da bi lakše razlikovali dronove, europska zajednica za bespilotne letjelice (engl. *European Association of Unmanned Vehicles System* - EUROUVS) ih je podijelila u kategorije prema parametrima koji su vidljivi tablicom 1. Iako postoji relativno širok skup oznaka prema kojima se mogu kategorizirati dronovi, grupacija prema veličini osnovni je način organiziranja dronova. Grupiranjem dronova prema pojedinim značajkama može puno lakše smanjiti potragu za potencijalne kupce.

Tablica 1. Razlikovanje dronova prema određenim karakteristikama

Podjela prema parametrima:	Karakteristike:
Namjena:	<ul style="list-style-type: none">• vojni• civilni
Veličina:	<ul style="list-style-type: none">• nano dronovi• dronovi manjih, srednjih i velikih dimenzija
Visina leta:	<ul style="list-style-type: none">• kategorija 1 (visina do 50 m)• kategorija 2 (visina do 150 m)• kategorija 3 (visina do 300 m)• kategorija 4 (visina veća od 300 m)
Domet:	<ul style="list-style-type: none">• mali domet (do 5 km)• veliki domet (do 650 km)

Izvor: [24]

Veličina dronova je zasigurno jedan od najboljih i najvidljivijih načina prema kojima možemo razlikovati dronove. Veličine dronova se protežu od jako malih dimenzija koji su poznatiji kao nano dronovi pa sve do velikih dronova. Da bi se utvrdila točna veličina dronova, pri mjerenju se uzimaju dimenzije okvira i motora umjesto prostora koji zauzimaju krila ili rotor. Veličine dronova se većinom izražavaju u milimetrima, kako bi se što preciznije mogle izraziti mjere.

Nano dronovi ili dronovi jako malih veličina su dizajnirani tako da se vrlo lako uklope u male prostore, ili da mogu odlaziti na vrlo nepristupačne terene i prostore. Izgledom podsjećaju na kukce i insekte (engl. *Insect Fly Shaped Drone*), pošto su jako mali i mogu u potpunosti imitirati kretanje muhe, tj. letenje i lebdjenje insekta. Imaju jako malo radijus pokrivanja, između 1 km do 3 km i ne mogu letjeti više od 10 min do 20 min, [18]. Dimenzije koje nano dronovi imaju su većinom između 5 mm i 100 mm, mada su neki inženjeri uspjeli napraviti model koji je imao veličinu ispod 2 mm, a također se pokušavaju izraditi modeli još manjih dimenzija, [26]. Najpoznatiji primjer nano drona iz ove skupine je svakako dron naziva Skeye Pico. Uz frekvenciju od 2,4 GHz na 4 kanala, može letjeti otprilike 7 min do 8 min i puniti oko 30 min pomoću 3,7 V baterije. Može doći do udaljenosti od 50 m. To je najmanji dron na tržištu s dimenzijama od svega 2,2 cm puta 2,2 cm, što je vidljivo na slici 1, [2].



Slika 1. Skeye Pico dron i njegov kontroler

Izvor: [2]

Dronovi srednjih dimenzija teže i do 200 kg i imaju jako velik radijus pokrivanja, i raspon krila im može biti između 5 m i 10 m. Dronovi velikih dimenzija se većinom koriste za vojne upotrebe za akcije opasne za čovjeka i veličinom podsjećaju na izgled manjih zrakoplova. Imaju jako snažne motore i čvrsti okviri su konstruirani da mogu nositi velike težine duže vremena. Korisni su za prenošenje teških tereta na teškom i nepristupačnom terenu. Dronovi ovih dimenzija ponekad trebaju i pomoć od više ljudi, kako bi se digli u zrak, radi svoje težine.

Jedan od većih komercijalnih dronova na tržištu je DJI Matrice 600, vidljivo na slici 2. Sastoji se od šest propelera, šest akumulatora i može podnijeti teret i do šest kilograma. M600 ima produženo vrijeme leta (do 5 km), ultra-niski latentni HD prijenos slike. Cijena DJI Matrica 600 se kreće oko 5000 američkih dolara, što bi bilo oko 32 000 hrvatskih kuna, [3].



Slika 2. DJI Matrice 600

Izvor: [3]

Podjela dronova koja se temelji na rasponu ili dometu koji mogu postići dronovi je puno preciznija podjela, s obzirom na broj dronova koji danas postoji. Ova podjela obuhvaća dronove koji imaju jako malen domet leta (većinom se radi o dometu do 5 km i vrijeme letenja između 20 min i 45 min), pa sve do dronova koji imaju jako velik domet (procjenjuje se da mogu dostići domet do 650 km od kontrolora). Dronovi koji imaju ovako jako velik domet moraju imati svu potrebnu dokumentaciju i dozvolu za puštanje drona u zrak, jer se ipak radi o većim prostornim udaljenostima i takvi dronovi su vrlo snažni i opremljeni sa vrlo moćnom opremom. Većinom se koriste u vojne svrhe, za praćenje vremena, geologiji i sl., [24].

Svaki dron ima svoje karakteristike koje ga čine drugačijim od ostalih. Ta unikatnost drona ovisi za koju svrhu služi, koje sve mogućnosti ima, od kojih se dijelova sastoji, i najvažnije pored svega ovoga su želje i potrebe korisnika. Dronovi, zbog svojih sposobnosti, omogućuju korisnicima uvid u trenutno stanje raznih situacija i događaja, tj. prikupljanje velikog broja informacija na različitim područjima koja sežu od nekoliko metara pa sve do nekoliko kilometara. Jako su ekonomični, posebice jer mogu doći do naizgled jako nepristupačnih mjesta za samog korisnika.

Tablica 2. Prednosti i nedostaci dronova

	Prednosti	Nedostaci
1.	Mogu letjeti	Kraći vijek trajanja
2.	Koriste se u logistici	Lako se hakiraju
3.	Ušteda na vremenu	Špijunaža
4.	Dronovi zahtijevaju manje napora	Rizici od zločina
5.	Prijenos uživo	Ranjiv na razne napade

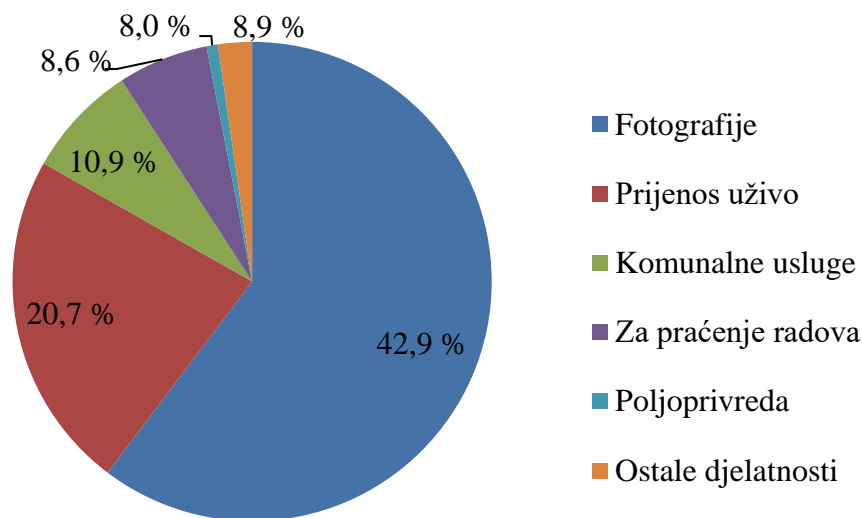
Izvor: [25]

Ugrađivanjem kamere na dron, vrlo lako se dobiju sve potrebne informacije i podaci. Bez obzira koje sve prednosti dronovi nose, također postoje neki nedostaci koji se vežu uz njihovu uporabu, kako je prikazano tablicom 2.

2.3. Statistika upotrebe dronova

Godinama je tržište dronova bilo u fazi rasta, samo se još trebalo probiti u kolotečinu sa ostalim uređajima koji vladaju tržištem već dugim nizom godina. Godine 2015. rast industrije dronova u većim brzinama uvela je Federalna zrakoplovna uprava (engl. *Federal Aviation Administration* – FAA) koja je odobrila stotine novih izuzeća za tvrtke koje se bave proizvodnjom i upravljanjem dronova. Ta su izuzeća uključivala nekoliko novih slučajeva upotrebe dronova u raznim industrijskim granama, kao što su osiguranje, građevinarstvo i poljoprivreda. Tako je FAA pripomogao da se dronovi još više probiju na tržištu. U samo 2016. godini, prema statistici FAA, registrirano je više od 670 000 novih dronova, a pretpostavlja se da ih je postojalo oko 7 milijuna. Ukupna prodaja dronova, 2016. godine, porasla je na 2,2 milijuna diljem svijeta, a prihodi od prodaje su porasli za 36 %, [4].

Proizvodnja dronova raste iz godine u godinu, pa je tako 2017. godine bilo isporučeno 10 milijuna novih dronova, što je zapravo povećanje od oko 40 % u odnosu na 2016. godinu. Predviđanja za budućnost izgledaju i više nego dobro. Do 2021. godine, broj proizvodnje dronova i njihove isporuke se predviđa na oko 29 milijuna dronova na globalnoj razini, [38].



Grafikon 1. Statistika korištenja dronova u svijetu

Izvor: [4]

Prema [4], najveći udio, 42,9 %, korištenja dronova u svijetu zauzima fotografiranje, tj. korištenje dronova za potrebe fotografiranja i snimanja videa. Od ostalih udjela se ističe korištenje dronova za potrebe prijenosa uživo, komunalne usluge, za praćenje radova, dok su ostali udjeli zastupljeni u manjim postocima.

Trgovina sa dronovima se širi svakim danom gdje se predstavljaju novi modeli kako bi se zadovoljile potrebe potrošača i komercijalnog tržišta. DJI Phantom serija dronova je, 2015. godine u Kini, bila u vlasništvu 70 % tržišta za potrošačke i trgovačke dronove, [4].

Tržište komercijalnih dronova je zasigurno najrašireniji oblik korištenja dronova. Procjene se zasigurno mijenjaju iz godine u godinu, ali mnoge istraživačke tvrtke tvrde da će svjetska tržišna vrijednost porasti s 2 milijarde dolara danas na preko 10 milijardi dolara u idućih 10 godina. Bez obzira s kojim se sve nedostacima komercijalni dronovi suočavaju (sigurnost, privatnost i osiguranje), pretpostavljajući da će te prepreke biti uklonjene, analitičari predviđaju porast korištenja dronova u djelatnostima kao što su rudarstvo, telekomunikacije, energetika, građevinarstvo i sl., [33].

Zbog razvoja tehnologije i aktualnih trendova korištenja dronova u svijetu, i Hrvatska će također biti mjesto gdje će se dronovi koristiti za različite svrhe. Do nedavno je u Hrvatskoj samo bio jedan proizvođač dronova (Hipersfera), ali su se nakon toga, dvije još tvrtke počele baviti proizvodnjom dronova (Tarsierdrones i Kapetair), [34]. U Hrvatskoj je do travnja 2017. godine bilo registrirano ukupno 340 tvrtki koje u svom poslovanju koriste dronove, [34], (primjerice, tvrtka Belje od 2016. godine koristi dronove za preciznu poljoprivredu, [35]). Većina trenutačne upotrebe dronova u Hrvatskoj povezana je s proizvodnjom ili sa tehnologijom u telekomunikacijskim tvrtkama. Od Hrvatskih tvrtki koje su poznate po korištenju dronova u svome poslovanju se ističe Tisak, koji se priprema za testiranje dronova za potrebe logistike, [36].

3. Elementi dronova i upravljanje

Dronovi ili kako se još često nazivaju bespilotne letjelice su uređaji koji mogu biti različitih dimenzija. Svakim danom, dronovi sve više postaju dio procesa komercijalizacije, jer se sada i proizvode u svim tehnološkim i logističkim tvrtkama diljem svijeta. Bez obzira koje su veličine, većinom sve vrste dronova imaju jako dobar operativni sustav. Pošto su dronovi uređaji koji su još relativno novi na svjetskom tržištu, svakim danom sve otkrivaju nove mogućnosti, novi načini upravljanja, prikupljanja i obrađivanja podataka i slično. Svaki dron ima operativni sustav koji je pomno isplaniran kako bi mogao što bolje raditi. Postoje različite varijacije okvira i konstrukcije dronova, ali osnovne komponente koje svaki dron mora imati su: vodootporni okviri motora, upravljači leta i rada motora, motori, predajnik i prijamnik, propeleri i baterije ili bilo koji drugi izvor energije.

Jedna od važnijih karakteristika koja omogućava let drona je izvor energije koju koristi. Postoje 4 glavna energetska izvora koja se danas koriste, [39]:

- Tradicionalno zrakoplovno gorivo – ili kerozin se većinom koristi za duge dronove poznatije kao *fixed-wing* dronovi
- Baterije – dronovi koji svoj rad zasnivaju na baterijama su manji multirotor dronovi. Nedostatak koji predstavlja rad baterije kao pogon dronovima je kratak životni vijek koji maksimalno iznosi 20 minuta. Dronovi koji koriste bateriju kao pogon imaju kratak doseg i zahtijevaju manje vremena za upravljanje. Praktičnije ih je koristiti otkad su se pojavile prijenosne baterije za punjenje, pa se na taj način mogu lakše puniti ispražnjene baterije
- Gorive ćelije – elektrokemijska naprava koja pretvara kemijsku energiju iz goriva izravno u električnu energiju. Ovakva metoda se danas vrlo rijetko koristi za pogon dronova, pošto postoji puno drugih i jednostavnijih metoda. Jedina prednost je što dronovi mogu letjeti na daljim udaljenostima bez potrebe za punjenjem. Primjer je *Stalker* dron, koji koristi takav oblik izvora energije, i let mu je trajao 8h umjesto 2h
- Solarne ćelije – danas se skoro pa nikako ne koriste.

Dronovi su većinom izrađeni od različitih kompozitnih materijala koji nisu preteški kako bi se mogla povećati njihova manevarska sposobnost tijekom leta i smanjiti njihova težina. Svakom dronu se može dodijeliti dodatna oprema s kojom se pokušava povećati učinkovitost. Primjeri dodatne opreme su: kamere, GPS (*Global Positioning System*), navigacijski sustavi, senzori i ostala oprema.

Bez obzira na sve posebnosti rada, dronovi rade isto kao i svi ostali elektronički uređaji s obzirom na operacijske sustave i implementaciju sustava s nekim podacima i kodovima. Obično svaki dron ima svoj ugrađeni antenski operativni sustav, kao na primjer MAVLink, što će znatno ubrzati stvarna rješenja koja se mogu implementirati sa *Open Source Drone* operativnim sustavom. FlytOS je jedan od primjera operativnog sustava dronova, koji pruža stabilnu i skalabilnu platformu. Ostale platforme, koje su puno poznatije, koje se pojavljuju kod dronova su Linux i Windows operativni sustavi. Većina dronova današnjice za platformu ima neka od ova dva operativna sustava, ali su se do sada za potrebe forenzičke analize

dronova za primjer uzimali oni koji se temelje na Linux OS-u. Razvojna okruženja za forenziku uključuju skriptne alate za Linux operativni sustav kao što su Bash, Perl i Python. Budući razvoj se treba temeljiti na ostalim modelima dronova koji imaju različite platforme (Windows ili iOS), [30].

3.1. Dijelovi drona

Tehnologija dronova je jedan od izuma koji u zadnjih par godina izaziva velike rasprave na svjetskom tržištu. Njihova pojava nije samo omogućila lakše obavljanje raznih poslova, nego također omogućuje smanjenje ukupnog vremena uloženog za obavljanje raznih poslova. S godinama, upravljanje dronovima je postalo puno lakše, uvođenjem nekih novih dijelova koji omogućuju lakše upravljanje i rad dronova. U nastavku će biti nabrojani i opisani neki od glavnih komponenti dronova.



Slika 3. Glavne komponente dronova

Izvor: [5]

1. Standardni propeleri – se većinom nalaze na prednjem dijelu dronova. Postoji mnogo varijacija njihovih veličina i materijala koji se koriste pri proizvodnji propelera. Većina njih je napravljena od plastike posebno za manje dronove, dok se za veće i skuplje dronove rade od ugljičnog vlakna. Funkcija propelera je određivanje smjera i gibanje drona. Zato je vrlo važno uvjeriti se da je svaki od propelera na dronu u dobrom stanju prije nego se osposobi dron za let. Ukoliko je propeler neispravan, za dron to znači da neće moći letjeti „punom snagom“ i da će šanse da doživi nesreću biti jako velike. Zbog toga bi bilo dobro uvijek imati rezervni set propelera zbog takvih mogućnosti nastanka nekih kvarova. Razvoj propelera je i danas još u razvoju, zbog raznih istraživanja kojima se pokušavaju stvoriti učinkoviti propeleri koji će osigurati siguran let.

2. Potisni propeleri – služe za usmjeravanje dronova naprijed i nazad tijekom leta, tj. određuju smjer drona unaprijed ili unatrag. Većinom su smješteni na stražnjoj strani. Njihova funkcija je da se aktiviraju ukoliko dođe do otkazivanja motornih zaokretnih putanja tijekom

leta koji omogućavaju let naprijed ili unazad. Kao i standardni propeleri, i usisni propeleri mogu biti izgrađeni od plastike ali i od ugljičnog vlakna što ovisi o kvaliteti drona. Neki dronovi osiguravaju razne mogućnosti pomoći, za usisne propelere, ukoliko dođe do nekog neplaniranog sudara. Prije samoga leta, uvijek treba provjeriti stanje drona i stanje njegovih propelera, jer to određuje učinkovitost leta.

3. Nehrđajući motor – u posljednje je vrijeme dio svakoga drona, zbog toga što se ovakav tip motora smatra puno učinkovitijim po pitanju performansi i rada drona. Dobar motor rezultira izvođenjem dobrog leta ali također i smanjenje mogućnosti kvarenja istoga. Može se uštedjeti na troškovima nabave i održavanja trajanja baterije, što omogućuje duži vremenski period leta. Razvoj motora na tržištu je svakim danom sve unaprijeđenije, pošto konkurentne tvrtke pokušavaju nadmašiti jedna drugu sa nekim novim mogućnostima motora. Neki od novijih na tržištu je DJI Inspire 1 koji je nedavno pokrenut. DJI Inspire 1 pruža mogućnosti izvođenja učinkovitijih performansi dronova, ali i omogućuje dulje trajanje baterije. Za vrijeme rada je relativno miran i ne proizvodi mnogo nepotrebnih zvukova.

4. Oprema za slijetanje – je vrlo važna komponenta dronova koja im omogućuje olakšan način slijetanja. Dronovi koji zahtijevaju visoku razinu vidljivosti tijekom slijetanja zahtijevaju modificirani uređaj za slijetanje koji omogućava sigurno slijetanje na tlo. No važno je napomenuti kako ova oprema nije obavezna kod svakoga drona. Ovisi sve o namjeni rada drona, njegovim mogućnostima i izvođenju sigurnog leta i slijetanja.

5. Elektronički kontrolori brzine – predstavljaju elektronički krug čija je glavna odgovornost pratiti i mijenjati brzinu drona tijekom leta. Većina današnjih dronova u potpunosti ovisi o elektroničkom kontroloru brzine (engl. *Electonic Speed Controllers* - ESC). Sve više tvrtki na tržištu predstavljaju nove oblike ESC-a sa boljom izvedbom koji smanjuju snagu i povećavaju performanse, a jedan od novijih je DJI Inspire 1 ESC. ESC je većinom smješten unutar glavnog okvira drona.

6. Kontrolor leta – je u osnovi matična ploča drona. Predstavlja komunikaciju između osobe koja upravlja dronom i samog drona. U principu, kontrolor leta obuhvaća sve komponente dronova, upravlja njima, dostavlja im potrebne informacije kako bi bio omogućen što bolji rad drona.

7. Prijemnik – je jedinica koja je odgovorna za prijam radio signala koji se šalju dronu kroz kontrolor. Na tržištu postoji veliki broj različitih vrsta i oblika prijemnika, a svi se mogu koristiti pri izgradnji dronova.

8. Odašiljač – je jedinica koja je odgovorna za prijenos radio signala iz kontrolora do drona za izdavanje naredbi vezane za let i ostale upute. Na tržištu postoje različite vrste prijamnika, pa proizvođači imaju veće mogućnosti za biranje željenog. Prijamnik i odašiljač rade zajedno i kako bi komunikacija među njima mogla funkcionirati, oboje moraju koristiti jedan radio signal. Za lakše razlikovanje radio signala i lakše biranje potrebnog radio signala, svaki od njih ima specifični standardni kod.

9. GPS komponenta – služi za pružanje potrebnih informacija dronovima tijekom leta o duljini, širini i visini. Ova komponenta omogućuje dronovima kretanje na duljim udaljenostima i snimanje detalja na specifičnim lokacijama. Novija značenja GSP komponenti

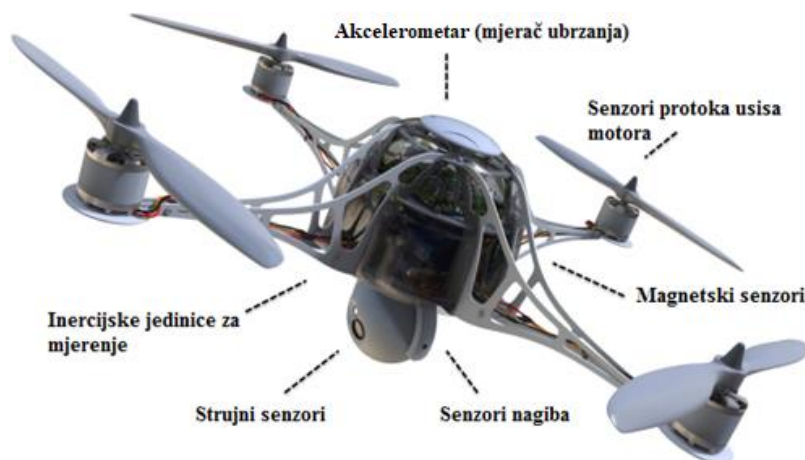
je da omogućuju povratak drona na mjesto gdje je započeo svoj let ukoliko se izgubi konekcija između upravljača drona i kontrolora.

10. Baterija – je komponenta drona bez koje ne bi bilo ništa moguće. Ona je ta koja omogućuje odvijanje svih akcija i reakcija. Bez baterije, dron ne bi imao snagu pa ne bi bio u mogućnosti ni letjeti. Ovisno o vrsti drona, svaki ima posebne zahtjeve vezane za bateriju. Kako bi se lakše moglo pratiti stanje baterije i njezine performanse, na dronu je postavljen monitor koji pruža sve potrebne informacije vezane za stanje baterije.

11. Kamera – predstavlja jednu od najvažnijih komponenti drona. Upravo zbog ove komponente dronovi su postali jako popularni na svjetskom tržištu. Postoje dronovi koji već na sebi imaju ugrađenu kameru, ali također i oni koji imaju odvojivu kameru. Postoji jako veliki broj vrsta na tržištu, [5].

3.2. Senzori

Senzori su ključna komponenta svakoga drona. Samo senzorski sustav sa odgovarajućom izvedbom može omogućiti dronovima karakteristike leta koje zahtijevaju. Ovisno za koju se uporabu koristi, za svaku od njih se mogu koristiti različiti senzori, tj. mogu se kombinirati različiti senzori. Uz pomoć senzora, dronovi mogu letjeti, prikupljati razne oblike informacija. S razvojem i unaprjeđenjem dronova, razvilo se i mnoštvo senzora koji se nalaze na samome dronu. U nastavku će biti navedeni najznačajniji oblici senzorske tehnologije koji omogućuju rad drona.



Slika 4. Senzorska tehnologija drona

Izvor: [6]

Akcelerometar ili mjerač ubrzanja – se koristi za određivanje položaja i orijentacije drona dok je u zraku. Akcelerometar mjeri akceleraciju, promjenu brzine u jedinici vremena, tj. elektromehanička komponenta koja mjeri sile ubrzanja. Ovaj, naizgled, mali nevažni senzor na dronu koji je baziran na siliciju predstavlja jednu od glavnih uloga u održavanju kontrole leta. MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) akcelerometri osjete pokrete na nekoliko načina. Prva vrsta tehnologije opaža mikro pokrete jako malih struktura koje su ugrađene u mali integrirani krug. Pokreti tih malih djelića mijenja čitavu količinu električne struje koja se kreće kroz strukturu, što predstavlja na promjenu položaja u odnosu na

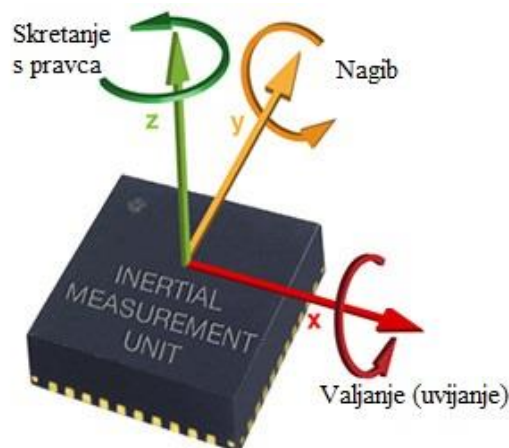
gravitaciju. Druga tehnologija koja se koristi kod akcelometara je toplina osjeta, i nudi nekoliko različitih prednosti. Ova vrsta tehnologije nema pokretnih dijelova, no ima mogućnost uočavanja promjena u kretanju molekula plina koje prolaze preko malog integriranog kruga. Ovakve vrste senzora igraju važnu ulogu kod stabilizacije kamere dok rade, što je od velikog značenja za aplikacije poput snimanja videa. Kontroliranjem i upravljanjem pokreta gore i dolje kao i uklanjanje vibracija i podrhtavanja, snimatelji mogu tako snimiti jako kvalitetan video. Zbog svih ovih prednosti koje nude senzori toplina osjeta, predstavljaju odličan izbor za upotrebu aplikacija za dronove, jer smanjuju probleme povećane vibracije koja se pojavljuje uslijed pokreta rotirajućih pogonskih ventilatora i propelera.

Inercijske jedinice za mjerenje (engl. *Inertial Measurement Unit* - IMU) - u kombinaciji sa GPS-om jako važan dio koji omogućuje upravljanje dronovima na način da detektiraju smjer kretanja i kut nagiba. Pošto dronovi postaju sve više autonomiji uređaji, ova vrsta senzora je neophodna kako bi se mogla održavati sva pravila letenja i kontrola zračnoga prometa. Inercijske mjerne jedinice koriste više-osni magnetometar koji je zapravo mali, precizni kompas. Naslućujući promjene smjera, mijenjaju se i pohranjuju podaci u središnji procesor, i u konačnici pokazuje smjer, orijentaciju i brzinu, [6].

Inercijske jedinice za mjerenje su senzori koji su od presudne važnosti za točno upravljanje i stabilizaciju leta drona za vrijeme njegovog rada. Ova vrsta senzora služi zapravo za mjerenje inercijskih veličina kao što su ubrzanje i kutna brzina, [27].

Obično se IMU sastoji od sljedećih senzora:

- 3-osni akcelometar – mjeri ubrzanje duž svojih osi
- 3-osni žiroskop – mjeri rotacijsku brzinu oko svojih osi
- 3-osni magnetometar – mjeri lokalne komponente magnetskog polja duž svojih osi.



Slika 5. Primjer rada inercijskog navigacijskog sustava

Izvor: [27]

Senzori nagiba – u kombinaciji sa žiroskopom i akcelometrom, osigurava ulaz u sustav kontrole leta kako bi održao let na razini. Senzore nagiba je izuzetno bitno primijeniti

gdje stabilnost predstavlja ogromnu važnost, od nadzora pa sve do isporuke krhke robe. Senzori nagiba kombiniraju akcelerometri sa žiroskopima i tako imaju mogućnost otkrivanja malih varijacija kretanja. Kombinacija sa žiroskopom je dobitna, jer kompenzacija žiroskopa omogućuje da se senzori nagiba koriste pri kretanju raznih uređaja pa samim tim i dronova, [6].

Senzor nagiba je instrument koji se koristi za mjerenje nagiba kod više vrsta osi referentne ravnine. Mjere položaj nagiba s obzirom na gravitaciju i koriste se kod brojnih aplikacija. Funkcionalnost senzora nagiba ovisi o mnogobrojnih faktorima kao što su gravitacija, temperatura, vibracija, ubrzanje/usporenje, linearnost itd., [28].

Strujni senzori – su jako važni kod uređaja poput dronova, kod kojih je potrošnja energije i upotreba iznimno važna. Strujni senzori imaju višestruku namjenu. Koriste se za nadzor i optimizaciju odvoda napajanja, sigurno napajanje unutarnjih baterija i otkrivanje mogućih kvarova motora ili bilo kojeg drugog područja sustava drona. Strujni senzori rade na način da mjere trenutnu struju i osiguravaju električnu izolaciju kako bi se smanjio mogući gubitak snage i kako bi se uklonila mogućnost električnog udara ili oštećenja sustava. Senzori koji imaju brzo vrijeme odgovora i veliku preciznost pružaju dulje trajanje baterije i performanse dronova, [6].

Magnetski senzori – kod dronova služe kao elektronički kompas koji osigurava kritične smjernice za inercijalnu navigaciju i sustave vođenja. AMR (*Anisotropic magnetoresistive*) senzori su jako precizni i točni i dobro se prilagođavaju kod primjene, imaju dobro vrijeme odaziva i troše puno manje snage od nekih drugih alternativnijih tehnologija, [6].

Senzori protoka usisa motora – se mogu koristiti za učinkovito praćenje protoka zraka kod malih plinskih motora koji se koriste za napajanje nekih vrsta dronova. To može pomoći središnjoj procesorskoj jedinici motora da odredi odgovarajući omjer goriva i zraka pri određenoj brzini motora, što rezultira poboljšanjem snage i učinkovitosti te smanjenim emisijama, [6].

3.3. Upravljanje dronovima

Dronovi baš i nisu tako složeni uređaji da bi bili problematični za upravljanje, no međutim, opet se moraju znati neke osnovne stvari o njihovom upravljanju prije nego se krene sa njihovim korištenjem. Upravljački sustav je povezan preko komunikacijske opreme sa operatorom.

Upravljački sustav se razvio sa svrhom da se smanje opterećenja koja je do tada imao pilot. Svakim danom izlaze neki novi modeli koji imaju nove funkcije, nove načine upravljanja. Također, oni dronovi koji su složeniji i malo teži za upravljanje su skuplji, dok su jednostavniji modeli pristupačnijih cijena. Da bi se uspostavila komunikacija između drona i njegovog kontrolora u većini slučajeva se koristi Wi-Fi (engl. *Wireless-Fidelity*), koji mogu raditi na 2,4 GHz pojasu radio valova. Komunikacijski sustav uključuje upravljačke, pretvorničke i komunikacijske veze koje se koriste za prijenos naredbi za upravljanje letjelicom, prijenos podataka između kontrolora i drona, primanje informacija o stanju drona i njegovom letu i rutama. Budući da je tehnologija dronova napredovala i postaje sve

popularnija, razvili su se različiti načini upravljanja dronova. U početku su to bili ručni kontrolori (koji su izgledom slični kontrolorima koji se koriste za *playstation*¹) na kojima su se nalazile komande s kojima bi upravljač upravljao i na taj način usmjeravao let drona.



Slika 6. Parrot Flypad kontroler za mini-dronove

Izvor: [22]

Danas se može upravljati dronovima pomoću vlastitih smartphone-a ili tableta. Takav princip upravljanja zahtjeva instalaciju određenih aplikacija na uređaj preko kojih će se uspostaviti Wi-Fi veza sa dronom i na taj način će se moći upravljati njime. Najnoviji razvoj kontrole i upravljanja dronovima je korištenje mobilnih uređaja kao kompletnog sustava za kontrolu, koji radi tako što se koristi akcelerometar za kontrolu drona. Negativnosti koje se javljaju sa tim oblikom upravljanja je puno kraći doseg područja do kojeg se može upravljati dronom, i mogućnost odbacivanja signala, [23].

Komunikacijski sustav koji uključuje daljinsko upravljanje i nadzor dronovima se dijeli u dvije kategorije:

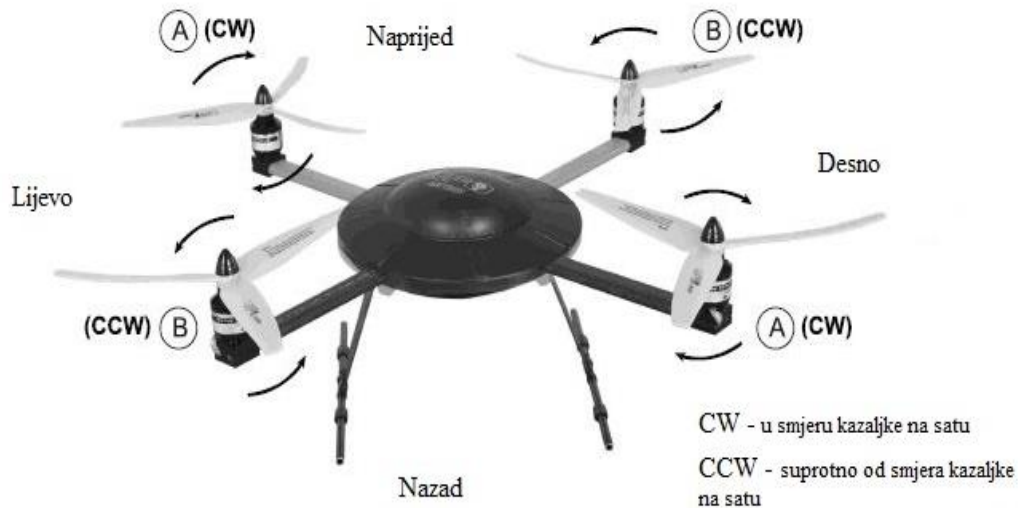
- Komunikacija u doseg vidokruga (engl. *Visual Line-of-Sight* - VLOS) – predstavlja održavanje leta drona u vizualnom polju, tj. kontrolor drona mora biti u vizualnom kontaktu sa dronom tijekom njegovog leta
- Komunikacija izvan dosega vidokruga (engl. *Beyond Visual Line-of-Sight* - BVLOS) - predstavlja komunikaciju bez ikakvih ograničenja po području leta i većinom se koristi kod dronova koji imaju veliki domet letenja.

U nastavku će biti objašnjen način leta i upravljanja drona koji je poznatiji kao kvadkopter (engl. *quadcopter*), kako bi se lakše mogao razumjeti rad dronova, njihovu namjenu i načine upravljanja.

Naziv *quadcopter* je dobio pošto se sastoji od četiri propelera, i svaki od njih ima pogon od četiri motora, tj. svaki ima zaseban motor, na četiri zasebna kraka. Svaki propeler propušta i pridodaje svoj vlastiti okretni moment. Velika prednost ovoga modela su upravo ti rotori, jer kada uređaj poput drona ima više rotora na taj način stječe više drugih pogodnosti i prednosti. Jedna od prednosti je upravo ta ako jedan motor zakaže, na raspolaganju ima ostala tri, pa

¹ *PlayStation* – brand serije igračih konzola koje je stvorila i razvila tvrtka imena Sony Computer Entertainment.

dron može nastaviti letjeti bez obzira na kvar. Osim toga, što više rotora postoji na dronu, to mu omogućava lakše i puno veće dizanje u zrak iz čega slijedi da mu to također omogućava da nosi veću nosivost. I na kraju, s većim brojem rotora dizajneri smanjuju veličinu oštrica, što ih čini lakšim za upravljanje i još sigurnijim za upotrebu. No, nedostatak je što veći broj propelera utječe na veću potrošnju energije.



Slika 7. Prikaz rada *quadcoptera*

Izvor: [16]

Važna karakteristika koju je potrebno spomenuti za rad *quadcoptera* jest da ukoliko sva četiri propelera rotiraju na isti način tj. u istom smjeru, on će letjeti u suprotnu stranu od strane rotacije tih propelera. No međutim, takvo nešto nije moguće. Kao što je vidljivo na slici 7, dva rotora će se prilikom leta okretati u smjeru kazaljke na satu, a ostala dva u suprotnom smjeru, što čini neto zaokretni moment nula. Na primjer, povećanjem kutne brzine motora A utjecat će na rotiranje u smjeru kazaljke na satu, dok povećanjem kutne brzine motora B će imati suprotan učinak. No, najbolji učinak se postiže kada sva četiri rotora rade u isto vrijeme pa se postiže uravnotežen let. Na primjer, smanjivanjem brzine lijevo od B i povećanje brzine motora desno od A će rezultirati okretanjem okvira i na taj će način uređaj letjeti u lijevo. Kako bi se mogao procijeniti trenutni položaj i izgraditi karta njegovog okruženja, može se postaviti kamera na uređaj, [16].

Prilikom leta postoje četiri glavne sile koje djeluju, a to su:

- Gravitacija
- Podizanje – uzlazna sila na *quadcopteru* zbog propelera
- Potisak – horizontalna reakcijska sila zbog propelera
- Povučena sila – nastaje zbog razlike u brzini između *quadcoptera* i zraka. No, to se događa samo ukoliko je *quadcopter* u pokretu (gore, dolje, naprijed, natrag i skretanje) u odnosu na zrak.

Proces lebdjenja se odvija kada sila podizanja balansira silu gravitacije prema dole. Kako bi dron mogao letjeti što više u zrak, snaga dizanja mora biti veća od sile gravitacije. To se vrlo lako može postići povećavanjem RPM-a (*Revolution Per Minute*) na sva četiri

propelera istovremeno, što će omogućiti dizanje drona u zrak, a kako bi se postigao suprotan efekt, tj. spuštanje drona, tada se RPM smanjuje na sva četiri propelera. Na kontroloru se to postiže povlačeći lijevu palicu gore ili dolje. Kako bi se uspješno dron kretao u lijevo, desno ili naprijed ili natrag, tada se mijenja kut snage dizanja tako da ima vertikalnu i vodoravnu komponentu. Okomita komponenta služi da se zadrži dron u zraku, a horizontalna komponenta dopušta stvaranje kontrolnog potiska.

Quadcopter leti i pomiče se promjenom RPM-a na svakom propeleru. Kada se mijenjaju naredbe na kontroloru, tada se te naredbe moraju mijenjati za svaki od četiri postojeća motora na dronu, kako bi on mogao normalno raditi i kako ne bi imao neke kontra efekte. To se postiže sustavom kontrole leta koji omogućuje upravljanje dronovima, [17].

4. Forenzička analiza terminalnih uređaja

Forenzika kao znanost služi za otkrivanje svih tragova/dokaza koji nisu uočljivi na prvi pogled. Omogućuje pronalazak svih potrebnih dokaza, dodjeljivanje vremena, mjesta o pronađenim dokazima. Forenzika predstavlja skup svih aktivnosti i procesa kojima se pronalaze, prikupljaju i obrađuju svi fizički dokazi. Dva primarna cilja prilikom izvršavanja procesa forenzike su: saznati što se dogodilo (prikupiti činjenice, znati što se dogodilo, kako i kada se dogodilo) i prikupljati podatke na način koji je prihvatljiv za sud (metodologija). Forenzika, s obzirom na obradu dokaza i podataka, se dijeli na analognu i digitalnu, [7].

Prilikom pristupanja forenzičkoj analizi bilo kojeg operativnog sustava, prvo je potrebno znati kako sustav funkcionira, koje su njegove mogućnosti te na koji način i uslijed čega stvara određene artefakte. Artefakti su bitne informacije tj. podaci koje sustav stvara zbog korisničke aktivnosti, nastale bilo indirektno zbog djelovanja samog operativnog sustava i rada aplikacija, bilo direktno zbog korisnikovih radnji, [15].

4.1. Digitalna forenzika

Digitalna forenzika se još uvijek smatra relativno novom znanosti na sceni, i svakim danom se sve više razvija. Pod pojmom „digitalna“ se misli na elektroničku forenziku ili računalnu forenziku. Računalni tim za hitne intervencije (engl. *Computer Emergency Response Team* - CERT) je definirao da je digitalna forenzika je proces korištenja znanstvenih spoznaja za prikupljanje, analiziranje i predstavljanje dokaza u sudskim procesima. Digitalna forenzika je grana forenzičke znanosti koja se odnosi na dokaze koji se nalaze na računalima, mobilnim uređajima, pametnim telefonima i ostalim vrstama terminalnih uređaja. Digitalna forenzika ima za cilj istražiti sve dokaze na forenzički siguran način s namjerom prepoznavanja, očuvanja, izdvajanja, oporavljanja i prikazivanja činjenica i mišljenja o informacijama. Znanstveni postupci povezani sa digitalnom forenzikom donose visoke standarde integriteta i ponovljivosti. Koristeći odgovarajuće i ovlaštene postupke i metode digitalna forenzika osigurava valjane rezultate, [8].

U prošlosti, digitalna forenzika je bila poznatija pod imenom računalna forenzika, no digitalna etika ovakvog oblika forenzike pokazala se puno prikladnija suvremenim korisnicima računalnih/Internet mreža. Danas se u većini slučajeva koristi naziv digitalna forenzika ili *cyber* forenzika, jer mjesto gdje se dogodilo neko kazneno djelo ili neki prekršaj ne možemo povezati s tim računalom na kojem se odvijao sam proces prekršaja. Sama istraga će se morati prošiti u virtualni svijet, u svijet interneta, mreža i na digitalne uređaje. Proces digitalne forenzike, za čitavo vrijeme svoga trajanja, mora se provoditi na zakonit način i moraju se poštovati principi i pravila provođenja istoga, kako bi svi prikupljeni digitalni dokazi bili prihvaćeni od strane suda. Pod pojmom digitalni dokazi se podrazumijevaju svi podaci ili informacije koji su pohranjeni na elektroničkom uređaju ili digitalnom uređaju koji potvrđuju ili opovrgavaju hipotezu formuliranu tijekom digitalne forenzičke istrage koja se oslanja na sud kako bi se zakonski utvrdio ishod istrage. Da bi neki elektronski podatak postao digitalni dokaz, mora se obraditi i pohraniti kako bi ga forenzički analitičar mogao

opet pronaći ili koristiti. Danas postoje mnogi modeli i okviri za uspješan rezultat forenzičke analize, [9].

Najpoznatiji modeli su:

- Lee's model
- Casey model
- DFRW (engl. *The Digital Forensic Research Working Group*) framework
- Reith, Carrand Gunch model
- Kruss&Heisser model.

Karakteristika Lee's, Casey i DFRW modela je da su bazirani na 3 faze:

- Identifikacija, prikupljanje i čuvanje
- Ispitivanje i analiza
- Prezentiranje i izvještavanje.

Ostali nabrojani modeli također se sastoje od navedenih faza, ali su se još dodatno proširili sa fazom planiranja i pripreme i fazom proširenja znanja, [9].

4.1.1. Primjena digitalne forenzike

Provođenje digitalne forenzike imaju samo pravo one agencije koje su dobile sudsko dopuštenje za provođenje takvog oblika „istrage“. Takve agencije koje imaju pravno dopuštenje, imaju svoje velike i skupe laboratorije gdje sprovode svoje istrage i obrade. Digitalna forenzika se, na osnovu njene primjene, dijeli na, [37]:

1. Sudski procesi – korištenjem digitalne forenzike danas imaju razvijen posao. Najčešće se koriste kod civilnih parnica, kada obje strane imaju pravo tražiti pregledavanje dokaza i prikupljanje dokaza pomoću digitalne forenzike.

2. Kriminalističke istrage – su jedno od područja gdje digitalna forenzika ima najveći broj zastupljenih slučajeva. Koristeći se odgovarajućim metodama i pravim alatima, dokazi se vrlo lako mogu nabaviti i prikupiti u bilo kojem počinjenom prekršaju ili počinjenju kaznenog djela. U takve kriminalističke istrage ulaze svi oblici ubojstava, pljački, praćenje potencijalnih terorističkih napada i slično.

3. Prikupljanje podataka – ima značajan utjecaj na ljudski život. Omogućava pojedincu lakše upravljanje sa podacima, njihovo korištenje. Sam proces prikupljanja podataka se sastoji od dva dijela. Prvi dio obuhvaća proces dostave podataka (u forenzičkom slučaju), a drugi dio se temelji na primjeni i korištenju tih podataka uz forenzičke metode.

4. Administracija u poduzećima – podrazumijeva primjenu digitalne forenzike u poduzećima kao što su računovodstvo, gdje se orijentira na moguće prijevare kao što su porezi. Glavni cilj je otkriti bilo kakve nepravilnosti ili bilo što odstupa od normalnog. I na posljetku sve zapise predati ovlaštenim osobama.

U digitalnoj forenzičkoj istrazi bitan je i pravilan izbor forenzičkih alata. Postoji veliki broj alata, ali ne postoji onaj najbolji, koji udovoljava svim zahtjevima i koji je 100 %

pouzdan. Zbog toga, digitalni forenzičar treba koristiti što više raznovrsnih i specijaliziranih alata u svakom konkretnom slučaju, [15].

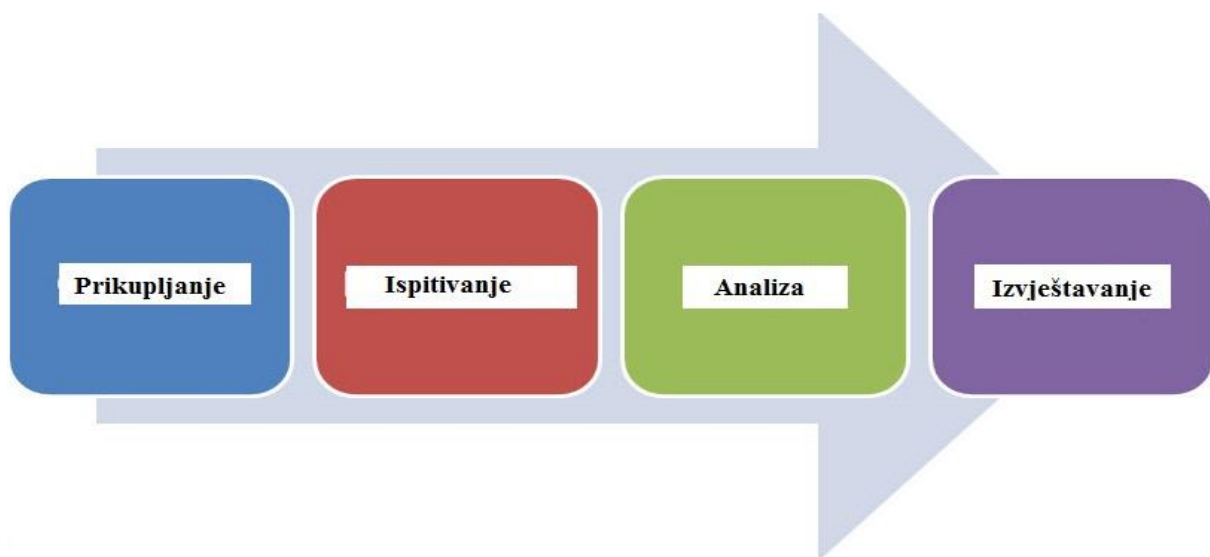
Digitalnu forenziku, zbog njene složenosti te vrsti uređaja nad kojima se provodi istraga, potrebno je podijeliti u nekoliko grana, [15]:

- forenziku operacijskih sustava
- forenziku mobilnih uređaja
- internet forenziku
- mrežnu forenziku
- forenziku baze podataka.

4.1.2. Proces digitalne forenzike

Prilikom primjenjivanja digitalne forenzike za bilo koje potrebe, važno je uzeti u obzir postupak kojim se odvija proces digitalne forenzike. Tijekom povijesti, broj koraka procesa digitalne forenzike se mijenjao. Danas uključuje četiri osnovna procesa koja se moraju slijediti da bi se na kraju dobili zadovoljavajući rezultati.

Prilikom korištenja metodologije forenzičke analize, fundamentalni forenzički procesi obuhvaćaju procese: prikupljanja, ispitivanja, analize i izvještavanja.



Slika 8. Proces digitalne forenzike

Izvor: [10]

Prvi dio procesa obuhvaća prikupljanje, što uključuje prikupljanje svih potrebnih dokaza, pretraživanje pronađenih dokaza, kreiranje stavki koji će potvrditi ispravnost dokaza, i posljednji korak je da se vodi točna i pouzdana dokumentacija.

Drugi dio je ispitivanje pod kojim se podrazumijeva detaljnija obrada svih dostupnih dokaza. Pod detaljnijom obradom se misli da se pokušava dokučiti podrijetlo dostupnih dokaza, kao i njihovo značenje i funkciju. U to spada otkrivanje svih skrivenih, ili na prvi pogled nevidljivih, informacija kao i zamršenih informacija kojima treba posvetiti više vremena za analiziranje.

Analiza služi za određivanje važnosti pojedinog dokaza. Ovo je posljednji korak prije samog izvještavanja, pa se obavlja ponovna provjera svih dokaza, ukoliko se negdje dogodila pogreška ili se pojedini dokaz nije do kraja obradio.

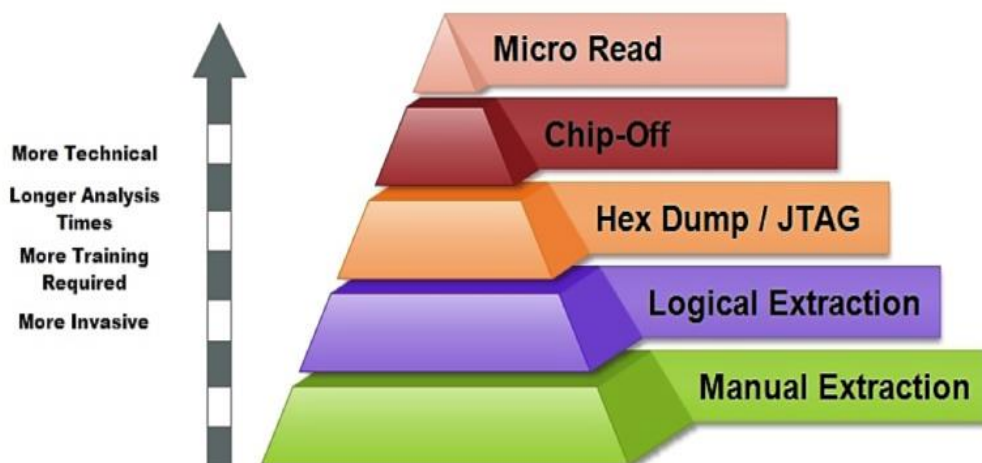
I posljednji dio procesa je samo izvještavanje, pod kojim se podrazumijeva pisanje izvješća u kojem se navodi postupak ispitivanja i svi relevantni podaci koji su prikupljeni iz cjelokupne istrage, [11].

4. 2. Forenzička ekstrakcija

Ekstrakcija podataka je postupak prikupljanja podataka, sa medija koji sadrže podatke, na daljnju obradu i/ili pohranu. Odvijanje postupka ekstrakcije nije isti svaki put i za sve medije. Ponajprije ovisi o količini i vrsti podataka koju istraživač želi izvući. Jednostavnijim metodama se može izvući manje podataka i vremenski su najkraće, dok kod složenijih metoda se osigurava veća količina podataka a i postupak je dugotrajniji, [7].

4.2.1. Metode ekstrakcije

Bez obzira o kojoj je vrsti uređaja riječ, svaki put kada se koristi bilo koja metoda ekstrakcije, neophodno je da se stvori plan za izvršenje same metode kao i kreiranje koraka koji se moraju pravilno slijediti. Ukoliko dođe do nepridržavanja kreiranih koraka i planova, može doći do ozbiljnih posljedica. U nastavku će biti nabrojane i objašnjene najpoznatije metode koje se koriste za ekstrakciju, počevši od jednostavnijih ka složenijim.



Slika 9. Osnovne metode ekstrakcije

Izvor: [12]

Prvo treba započeti sa neinvazivnim forenzičkim tehnikama, jer u pravilu su to one metode koje u manjem opsegu ugrožavaju integritet uređaja. Takvi oblici metoda ne zahtijevaju dodatni hardver, a nije im potreban ni softver za izvođenje. Ukoliko se rezultati nakon provođenja takvih oblika metoda ne pokažu pozitivnima, tada se prelazi na složenije metode. Takve metode zahtijevaju dodatni hardver i softver. Potrebno je puno duže vremena za provođenje procesa ekstrakcije, [12].

Ručna ekstrakcija je prva na ovoj listi. Ona je najjednostavnija vrsta ekstrakcije. Sadržaj na uređaju se pregledava manipulacijom fizičkih komponenti (tipkovnica, zaslon osjetljiv na dodir). Sve prikupljene informacije se mogu pohranjivati u obliku fotografija ili videozapisa. Nedostatak ove metode je što ne može vratiti izbrisane podatke sa uređaja i zahtjeva puno vremena pošto se svaki proces izvodi ručno, [7].

Logička ekstrakcija podrazumijeva ekstrakciju podataka korištenjem operacijskog sustava uređaja a koristeći se pri tome sa skupom naredbi. Prema tome slijedi da alati za ekstrakciju podataka komuniciraju sa operativnim sustavom uređaja i traže informacije iz sustava, što omogućuje stjecanje veće količine podataka o uređaju. Prednosti ove metode je što ne zauzima veliki prostor za pohranu prikupljenih podataka i odvija se puno brže nego ručna, ali glavni nedostatak joj je što ne može izvesti ekstrakciju za zaključane uređaje, [13].

JTAG (*The Joint Test Action Group*) metoda predstavlja oblik ekstrakcije podataka sa uređaja čak i onim slučajevima kada je do samih podataka teško doći putem softverskih aplikacija jer je uređaj oštećen, zaključan ili šifriran. No, uređaj mora biti bar djelomično funkcionalan. Postupak uključuje spajanje na TAPs (*The Test Access Ports*) na uređaju i upućivanje procesora da obavi prijenos podataka koji su pohranjeni na memorijskim karticama. JTAG metoda je neovisna o operativnom sustavu uređaja, i zahtjeva dodatnu opremu. Nedostatak metode je taj što cijeli postupak provođenja nije uvijek isti za sve uređaje.

HexDump metoda je slična prethodno navedenoj metodi. Provodi se na način povezivanja forenzičke radne stanice na uređaj, a nakon toga slijedi prepoznavanje nepotpisanog koda (engl. *unsigned code*) ili pokretačkog sustava za podizanje sustava, i svatko od njih će dobiti upute za skidanje memorije sa uređaja na računalo. Rezultat će biti zapisan u binarnom obliku, pa osoba koja provodi ovu metodu mora znati rukovoditi sa takvim zapisima podataka.

Chip-off ili forenzičko razdvajanje je postupak izvođenja ekstrakcije podataka izravno sa memorijske kartice uređaja. Uključuje fizičko uklanjanje *flash* memorije² uređaja na kojem se vrši analiza. Nakon toga se vrši ekstrakcija slike uređaja. Potrebna je posebna specijalizirana oprema koja će vršiti obradu dobivenih podataka. Također, ova metoda vrši ekstrakciju cijele memorije i zadržava integritet podataka. *Chip-off* proces je jako skup, potrebna je obuka, a ispitivač treba nabaviti određeni hardver za provođenje ove metode kako bi dobio potrebne podatke.

Micro Read predstavlja postupak ekstrakcije podataka koji uključuje pregled čitave memorije uređaja uz pomoć elektronskog mikroskopa. Prikupljeni podaci, koji se nalaze na memorijskoj kartici, se analiziraju. *Micro Read* je metoda koja zahtjeva veliku razinu stručnosti, jako je skup i dugotrajan proces, pa se većinom koristi za na razini državnih institucija u slučajevima kao što su pitanje nacionalne sigurnosti, [12].

Chip-off i *Micro Read* su dosta složenije i dugotrajnije metode. Njima većinom mogu upravljati samo stručne osobe koje poznaju proces njihovog izvršavanja. Koriste se u slučajevima kada je uređaj potpuno nefunkcionalan zbog nekih većih oštećenja.

²*Flash* memorija – vrsta elektroničke memorije koja čuva podatke kada je isključen napon, a pisanje, mijenjanje i brisanje se vrši elektronskim putem.

Jedina metoda koja gore nije navedena, a jako je bitna je fizička ekstrakcija koja koristi napredne metode izdvajanja fizičke bit-po-bit slike *flash* memorije uređaja. Prednosti ove metode je što se vrši kopiranje ne samo neizbrisnog sadržaja, nego i svi sadržaji koji su tijekom rada uređaja izbrisani ili odbačeni. Ova metoda je jako popularna, pošto je ona jedina kojom se može doći do izbrisnog sadržaja. Izbrisane podatke je moguće povratiti samo ako nisu prepisani sa nekim drugim podacima u memoriji uređaja rijekom redovite uporabe, [14].

4.2.2. Alati forenzičke ekstrakcije

Alati za potrebe ekstrakcije podataka sa raznih uređaja se razvijaju svakodnevno, pošto je i sama metoda ekstrakcije podataka relativno nov pojam. U skladu razvijanja raznih oblika ekstrakcije tako imamo i više alata (programa) koji olakšavaju sam proces. Još uvijek se nije pronašao kvalitetni standard koji će omogućiti brzo i uspješno pohranjivanje i pretraživanje digitalnih podataka sa različitih uređaja. Za što bolje razvijanje takvih alata za te potrebe, programeri svakodnevno stvaraju i razvijaju mnoge alate. Novi modeli, ali i nadogradnja već postojećih, su u stalnom procesu razvijanja. Trenutačno na tržištu postoji samo nekoliko dostupnih forenzičkih alata za dronove.

Neki od najpoznatijih, koji se ujedno i najviše koriste su: Cellebrite UFED, AFLogical, iXAM, Caine, XRY, MSAB.

Cellebrite UFED je jedan od trenutno najzastupljenijih oblika alata na tržištu kada su u pitanju alati za forenzičku ekstrakciju. Cellebrite je tvrtka čije se poslovanje većinom temelji i bazira na ekstrakciji podataka i prikupljanju podataka sa područja digitalne forenzike. Univerzalni uređaj za forenzičku ekstrakciju i prikupljanje podataka (engl. *Universal Forensic Extraction Device* - UFED) omogućava razne vrste ekstrakcija uključujući fizičku, logičku i datotečnu. Cellebrite nudi korisnicima UFED na dvije različite platforme: UFED Touch i UFED 4PC. Njihova sučelja i arhitektura su iste. Jedina razlika je u softveru koji za obe platforme služi za očitavanje podataka ali na drugačiji način, i različitost također predstavlja njihov operator koji služi za spremanje korištenih ekstrakcija, verzija prilikom izvršavanja ekstrakcije.

UFED TK je standardna verzija koja omogućava korisnicima da izvode ekstrakciju, dekodiranje, analizu i izvještavanje na jednoj platformi.

Uključuje:

- UFED fizički analizator – napredne verzije dekodiranja i izvještavanje o ekstrakcijama
- UFED logički analizator – pojednostavljena analiza podataka i izvještavanje o logičkim ekstrakcijama
- UFED čitač – omogućuje korisnicima dijeljenje svih analiza izvješća sa drugim ovlaštenim osobama
- UFED telefonski detektiv – fizičkim atributima identificira mobilne telefone.

Čitav paket sadržava: UFED adapter za uređaje, Faraday torbu, UFED čitač memorijske kartice, kartice za kloniranje SIM i Micro SIM ID, potrebne kabele i knjigu upustava,[19].



Slika 10. Dio opreme Cellebrite UFED TK

Izvor: [19]

Neke od prednosti koje nudi UFED TK su: pojednostavljeni radni tok na jednoj platformi, omogućeno pregledavanje i izvještavanje o ekstrakciji na zaslonu, jako dobro trajanje baterije.

UFED 4PC je druga Cellebriteova verzija koja se temelji na istoj UFED tehnologiji i koja nudi forenzička rješenja temeljena na softveru. S ovom verzijom korisnicima se omogućava dobar alat za ekstrakciju, a da je i troškovno prihvatljiv i učinkovit i prikladan alat koji se koristi uz pomoć računala. Omogućuje obavljanje raznih vrsta ekstrakcije (fizička, logička, datotečna) uključujući razne vrste uređaja (pametne telefone, tablete, prijenosne GPS uređaje). Novi dio opreme koji se pojavljuje kod UFED 4PC je UFED adapter uređaja. On omogućuje: ekstrakciju uređaja putem USB i RJ 45, SIM prijenos i ekstrakciju, ekstrakciju putem ugrađenog Bluetooth modula.

UFED 4PC sačinjava širok spektar aplikacija i opreme koji impliciraju što brže odvijanje procesa ekstrakcije. Najvažniji dio opreme je UFED telefonski detektiv, UFED čitač i UFED fizički analizator.



Slika 11. UFED 4PC oprema

Izvor: [19]

XRY je jako učinkovita softverska aplikacija koja je predviđena za izvođenje na Windows operacijskom sustavu. Omogućuje izvođenje sigurne forenzičke ekstrakcije podataka sa raznih uređaja (mobilnih uređaja, GPS uređaji, tableti, računala), i radi na način da može obaviti ekstrakciju podataka u puno manje vremena nego što je potrebno a pri tome obećava ispravnost, cjelovitost i točnost svih podataka. XRY forenzički alat je razvijen od strane Micro Systemation. Koristi se za analizu i oporavak ključnih informacija sa uređaja, a čini ga hardverski uređaj i softver. Hardver služi za povezivanje uređaja sa računalom, dok softver obavlja ekstrakciju podataka i provodi analizu. XRY sustav omogućava logičke preglede sadržaja (izravnom komunikacijom s operativnim sustavom uređaja), ali i fizičke preglede (zaobilazeći operativni sustav i dostupnu memoriju), [20].

Oxygen Forensic Detective je jedan od alata koji služi za ekstrakciju digitalnih podataka sa memorije drona ili njegove vanjske SD kartice, omogućava analizu i dekodiranje svih podataka, kako bi na kraju krajeva rezultati takvog oblika prikupljanja podataka mogli koristiti korisniku. Oxygen Detective omogućava dosta brz proces prikupljanja podataka sa više uređaja istovremeno, a također može služiti za oporavak više vrsta podataka: opće informacije o uređajima, kontakte, sve oblike poziva i poruka, fotografije i videozapise, Wi-Fi veze, sve zapise na uređajima. Oxygen Forensic Detective trenutno je jedan od najpopularnijih alata na tržištu koji nudi najraznovrsnije analize podataka na dronovima. Pod podacima se ne misli samo na slike i videozapise koje je dron snimio, nego i njegove putanje, GPS lokacije, brzine kojima se kretao, [19].

Ekstrakcija podataka sa vanjske ili unutarnje memorije drona je samo početak. Svakim danom se pojavljuje niz aplikacija koje nude mogućnosti upravljanja dronovima preko njih uz pomoć pametnih telefona ili tableta, i samim tim je omogućen pristup svim informacijama koje se nalaze na memoriji drona.

Oprema sadrži nekoliko komponenti koje dolaze u paketu kao što je vidljivo na slici 12, a to su, [21]:

- Getac F110 Tablet PC (i5 procesor)
- Predinstalirani Oxygen Forensic ekstraktor
- USB Dongle sa Oxygen Forensic Detective-om za laboratorijski PC
- Predinstalirani Oxygen paket
- Oxygen set kablova
- Čvrsti noseći kofer.

Oxygen Forensic oprema je vrlo jednostavna za korištenje, nakon što se upozna korisnika sa osnovnim funkcijama za rukovođenje, nije potrebno ništa dodatno instalirati, sve postavke su već prethodno podešene, a osim svega toga oprema je prijenosna. Sve što je potrebno uraditi jest upaliti uređaj, odabrati odgovarajući potrebni set kabela, pokrenuti Oxygen Forensic ekstraktor i spojiti na uređaj s kojega se žele preuzeti podaci. Ekstraktor nudi razne dodatne metode koje su na raspolaganju korisniku, a omogućava prikupljanje raznih oblika podataka (razgovori, pozivi, lozinke, aplikacije, razni zapisi i bilješke), [21].



Slika 12. Oxygen Forensic Detective oprema

Izvor: [21]

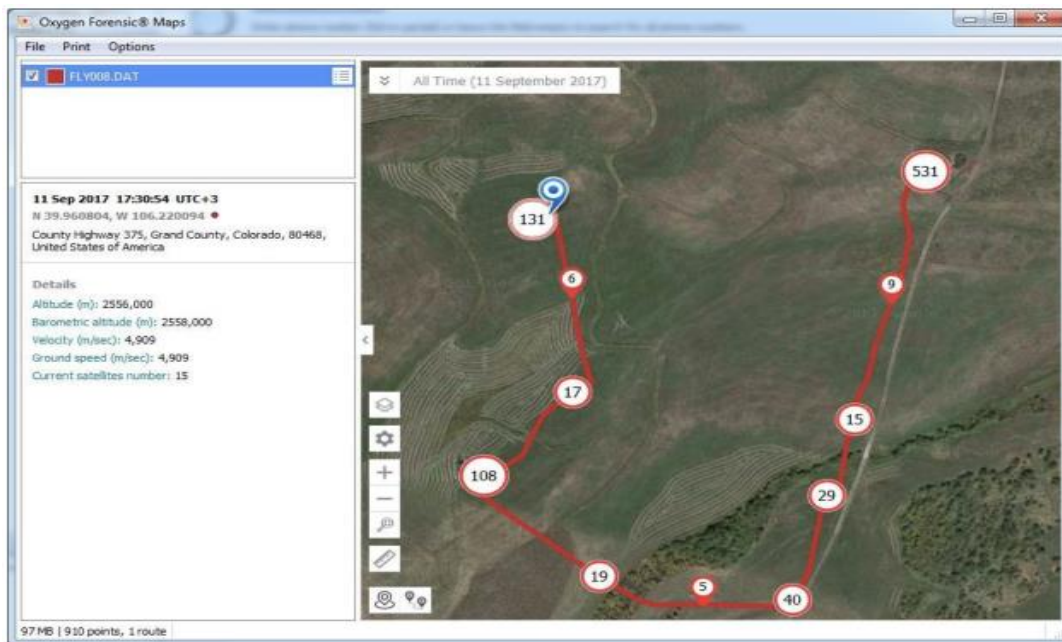
5. Mogućnosti i izazovi forenzičke analize dronova

Suvremeni sustavi dronova sastoje se od različitih hardverskih platformi, što zapravo čini dronove vrijednima za brojna forenzička istraživanja. U posljednje vrijeme možemo svjedočiti kako se dronovi sve više nalaze u rukama ljudi koji se bave ilegalnim radnjama, zbog čega provedba zakona shvaća da cijelu ovo situaciju zlouporabe dronova mora što više kontrolirati. Jedan od koraka jest da se izvuku svi digitalni dokazi koji se nalaze na dronu, a pod digitalnim dokazima se misli na sve fotografije i videosnimke koje su pohranjene na memoriji, na GPS zapisnike i informacije o svim rutama, brzinu drona, sve informacije o svim početnim i završnim točkama nedavnih putovanja. Podaci na dronu mogu biti pohranjeni na nekoliko različitih formata, a GPS koordinate mogu biti šifrirane na nekoliko načina. Ručni način pretraživanja i ispitivanja podataka i nije preporučljiv, pošto traje puno duže vremena, [29].

Neki od osnovnih koraka za analizu uključuju procjenu rizika, prikupljanje podataka na samome mjestu događanja, identifikacija kategorije drona, težina, otisak prsta koji je dostupan na dronu, memorijska kartica. Načini prikupljanja podataka sa dronova u ovom radu će biti većinom fokusirani na ekstrakciji i tumačenju svih podataka koji su pronađeni na unutarnjoj memoriji drona, kao i kontroliranje aplikacija uz korištenje otvorenog izvora alata, [30].

Jedan od alata koji se najviše koristi za prikupljanje podataka sa dronova je *Oxygen Forensic Detective*, koji je već prije spomenut u prethodnom poglavlju. Ovaj alat ima dosta prednosti u odnosu na neke ostale alate, stoga je razumljivo zašto se on danas dosta i koristi. Vrlo lako može obaviti ekstrakciju podataka sa različitih vrsta uređaja neovisno o njihovoj platformi (bilo da je riječ o Android ili iOS platformi), može dohvatiti informacije sa različitih *cloud* uređaja. Velika količina podataka na memoriji predstavlja dodatne izazove i traženje nekih novih načina prikupljanja podataka, pošto je ručna ekstrakcija pri velikim količinama podataka ili jako komplicirana za odraditi ili ju je jednostavno nemoguće odraditi zbog nedovoljno dokumenata na API-ju (engl. *Application Programming Interface*), [29].

Svi dokazi koji se prikupe sa memorije se kombiniraju u jedinstven skup podataka, kako bi se kasnije lakše mogli pretraživati i koristiti. Uz gore spomenuti alat, istraživač vrlo lako može pratiti stazu i sve rute kojima se kretao uređaj, kao i njegovu brzinu i smjer putovanja. Podaci o letu drona i njegovim rutama se većinom pohranjuju na jednome mjestu, dok se medijski zapisi u većini slučajeva nalaze na više različitih lokacija i u različitim rezolucijama. Uz pomoć ugrađenog alata za mapiranje, *Oxygen Forensic Maps*, automatski se mogu nadograditi i prikazati sve vizualne rute sa granicama interesa (granice interesa predstavljaju sva ona mjesta gdje je obavljeno fotografiranje ili snimanje).



Slika 13. Prikaz rute drona uz korištenje Oxygen Forensic Maps-a

Izvor: [29]

Nakon prikaza svih točaka (mjesta) kojima se kretao dron što je vidljivo na slici 13, i nakon klika na željenu točku, istraživaču će se prikazati sve fotografije ili videosnimke koje su prikupljene na tome mjestu, [29].

5.1. Metodologija i koraci prikupljanja podataka

Dronovi dijele mnogo zajedničkih karakteristika sa mobilnim uređajima i ostalim terminalnim uređajima. Jedna od takvih karakteristika je pohrana podataka na memoriju. Lokacije pohrane sadržaja za dronove se razlikuju za svaki dron, ali medij za pohranu podataka prvenstveno je mikro SD kartica ili *flash* memorija. Glavne lokacije kada se radi o pohrani podataka kod dronova uključuju prijenosnu memorijsku karticu (SD, mikro SD, itd.), fiksna memorijska kartica, *flash* memorija (NAND, NOR), i SIM kartica. Dronovi, poput pametnih telefona, potpuno su integrirani digitalni sustavi koji imaju vlastitu pohranu, obradu i mrežne sposobnosti i moraju se tretirati kao takvi. Analiza pohranjenih medija su jako korisni kod forenzičke analize. *Cyber* sigurnosne tehnike se često koriste za pristup onim podacima i komponentama gdje analiza i primjena metode *chip-off* nije dostupna ili ju nije moguće provoditi. Kao primjer će biti navedena dva modela dronova i lokacije pohrane podataka za svaki od njih. Prvi model je DJI Phantom 4 koji ima dva prijenosna mjesta za pohranu podataka. Prvo mjesto sadrži medijske podatke, a drugo sadrži podatke o letu i rutama. Drugi model je YuneesTyphon H koji ima, za razliku od prvog modela, samo jedno mjesto za pohranu podataka i sadrži medijske zapise. Ostali podaci se nalaze na posebnom GSC-u (engl. *Ground Station Controller*), [31].

Pošto će se dalje u radu spominjati obrada modela DJI Phantom 3, radi lakšeg daljnjeg razumijevanja rada, biti će navedeni najvažniji alati koji se koriste za analizu datoteka na

samome dronu. Prvi takav je *DatCon*, napisan u Java³ programu, i jedini je alat koji je sposoban odraditi analizu DAT datoteka. Autori ovoga alata su ostali anonimni. Za TXT datoteke postoje tri alata. Prvi je *dji-log-parser* kojega je kreirao Franklin 2016. godine, i djeluje lokalno u pregledniku. Nedostatak mu je što može obrađivati samo podatke starijih TXT formata, a ne može se koristiti na nekim novijim formatima. Isti nedostatak je imao i alat *CsvView*. Posljednji alat jest *Healthy Drones* alat koji se nudi kao besplatna *online* usluga, a radi na način da pretvara TXT datoteke u CSV datoteke. Jedini nedostatak ovoga alata je taj što autori ovoga alata nisu objavili nikakve informacije o tome na koji se način podaci prikupljaju sa ovim alatom, [32].

Postoji niz različitih metoda koje se mogu iskoristiti kako bi se ostvarila konekcija sa dronom, a jedna od najčešćih metoda koju proizvođači koriste su vanjski portovi. Vanjski priključci kao što su USB, USB-C, Micro USB mogu potencijalno omogućiti pristup svim pohranjenim podacima na dronu, pri čemu se tako pohranjivanje smatra trenutno ili fiksno. Bez obzira koju metodu ispitivač koristi ili na koji način prikuplja podatke, u svakom slučaju on mora biti u mogućnosti objasniti svoje postupke, ciljeve, hipoteze tijekom forenzičke analize.

U nastavku rada će biti objašnjen način rada prikupljanja i ekstrakcije podataka sa jednog od najpopularnijih i najzastupljenijih dronova na tržištu. DJI Phantom 3 je vrlo dobar odabir modela drona kada se radi u pitanju analiza podataka, s obzirom da ovaj model drona trenutno na tržištu zauzima najveći tržišni udio. Iako bi bilo odlično prikazati i testirati rad više dronova, posao ekstrakcije i analize je poprilično dugotrajan i zahtjeva dosta posla. Tablicom 3 prikazane su neke osnovne karakteristike DJI Phantom 3.

Tablica 3. DJI Phantom 3 Professional i njihove specifikacije

Ime	Cijena	Težina	Rezolucija kamere	Domet
DJI Phantom 3 Professional	£699.99	1280g	4K (12 Megapiksela)	5 km

Izvor: [30]

Postupak ekstrakcije, u većini slučajeva, sadržava sljedeće korake, [32] :

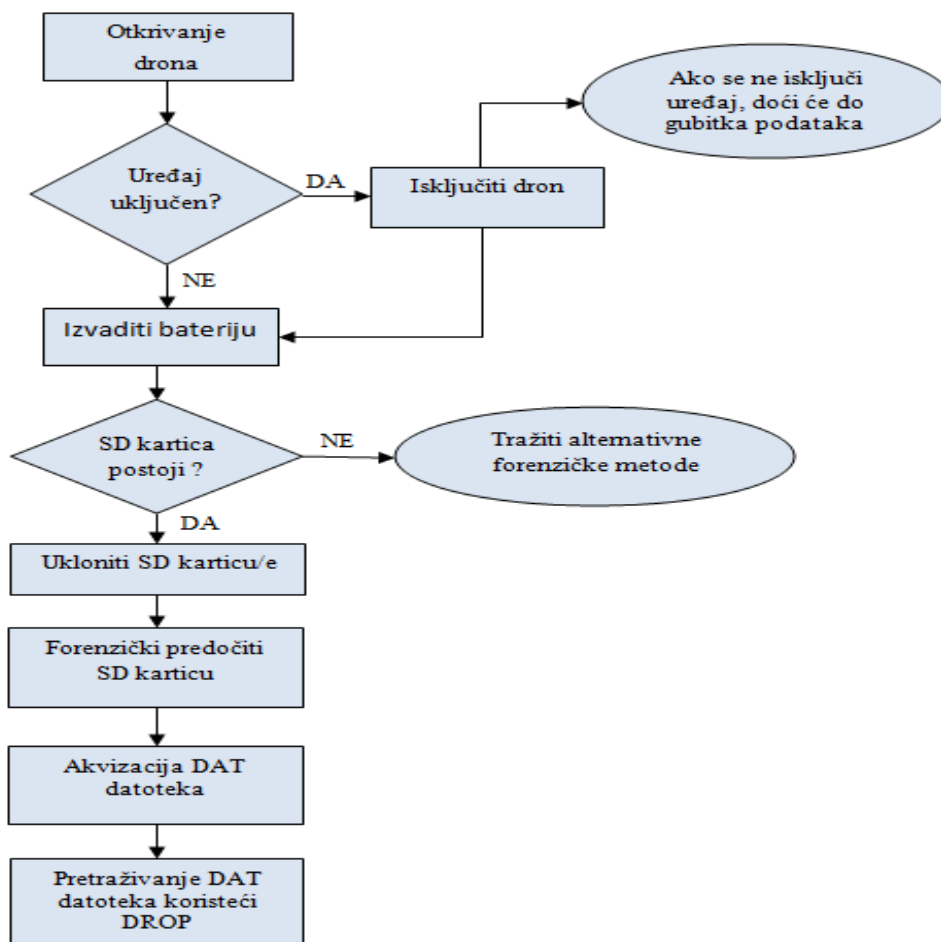
- vraćanje uređaja na tvorničke postavke kako ništa ne bi utjecalo na rezultate istraživanja
- stvaranje scenarija: dron je uključen, leti na različite geografske lokacije, završava svoj let i nakon toga se isključuje
- prikupljanje podataka: ovaj korak uključuje prikupljanje podataka i sa drona i kontrolora i telefona/tableta
- analiza podataka: analiziraju se svi podaci koji su prikupljeni, a posebno se obraća pažnja na datoteke koji sadrže podatke o letovima

³Java je objektno orijentirani programski jezik, pruža bolji stupanj sigurnosti i pouzdanosti, i radi na različitim operativnim sustavima uključujući Linux, Windows.

- stvaranje alata: nakon analize podataka, lakše se može razumjeti i struktura datoteke i sukladno tome koristiti alat koji će ispitivačima najbolje pomoći i služiti
- testiranje: izvršava se na samome kraju. Testovi se provode s obzirom na unutarnju SD karticu drona.

5.2. Primjer forenzičke analize DJI Phantom 3 Professional

DJI Phantom 3 Professional je već duže vremena jedan od najzastupljenijih dronova kada se radi o izboru modela drona za bilo koju vrstu snimanja videozapisa ili fotografiranja. Uspješna Phantom serija dronova omogućila je svim korisnicima da se lako snimaju impresivne snimke iz zraka. Raspon letenja DJI Phantom 3 doseže čak i do 5 km, što je i više nego dovoljno za većinu korisnika. Let im je vrlo stabilan i pouzdan, a brzina i brzina penjanja su vrlo impresivne.



Slika 14. Dijagram toka za proces prikupljanja podataka

Izvor: [32]

Kao što se navodi sa slikom 14, za svaku forenzičku analizu se moraju slijediti neki osnovni koraci kako bi se valjano obavilo prikupljanje podataka. Kako bi taj postupak bio što jednostavniji, napravljen je dijagram toka. Preporučuje se svim istražiteljima da slijede korake dijagrama toka radi što bržeg i boljeg procesa prikupljanja podataka, [32]. No, ovaj dijagram

toka jedino vrijedi slijediti ukoliko se prikupljaju podaci sa dronom kada on nema umetnutu SD karticu.

Prema istraživanju koje je obavljeno na DJI Phantom 3 [30], u nastavku će biti objašnjen način na koji su se podaci skupljali, a nakon toga ekstrahirali i analizirali pomoću alata otvorenog koda (engl. *open source tools*) kako bi se pokušala objasniti veza između drona kao terminalnog uređaja i mobilne aplikacije. Svi koraci i metode će biti opisane u sljedećim odjeljcima koji su posebno nabrojani i opisani radi što boljeg razumijevanja forenzičke analize dronova kao terminalnih uređaja.

5.2.1. Forenzička analiza povezanog mobilnog uređaja

Prilikom obavljanja forenzičke analize podataka koji su prikupljeni sa dronom, jednaku važnost ima i mobilni uređaj s pomoću kojim se upravljao dron, tj. pomoću aplikacije koja je instalirana na mobilnoj platformi toga uređaja. Podjednaku važnost prilikom analize u tome slučaju ima i obrada podataka na dronu DJI Phantom 3 i obrada podataka na aplikaciji, jer se u dosta slučajeva podaci pohranjuju i u internu memoriju drona i mobilnih aplikacija, a prilikom toga se još prave još dodatne kopije. Mobilna forenzika se odnosi na obradu svih artefakata koji se obnove na uređaju pomoću programa DJI GO i A.R Freeflight aplikacije, kao i uz pomoć posebne tehnike koju mobilni forenzičar mora znati u takvim slučajevima. CyanogenMod operativni sustav se koristi da bi se pristupilo svim onim dijelovima interne pohrane koji su zaštićeni posebnim sigurnosnim sustavom. Iako se CyanogenMod znatno razlikuje od nekih ostalih operativnih sustava koji su na raspolaganju korisnicima, metode koje se koriste za stjecanje podataka s mobilnih platformi su generičke i mogu se primijeniti kod svih Android sustava.

Nakon što se test platforma spoji sa forenzičkom radnom stanicom, pristup *root* terminalu je dodijeljen korištenjem ADB (engl. *Android Debug Bridga*).⁴ Nakon uspostavljene komunikacije, mobilne aplikacije za platformu drona ne uključuju samo identifikaciju artefakata kao što su nazivi računala ili adrese e-pošte, nego i podatke o letovima i svim medijima, što objašnjava i čini korelaciju između drona i mobilne aplikacije. Prilikom te komunikacije i uspostavljenih veza uspoređuju se svi artefakti. Serijski broj drona može biti pronađen i izvađen iz sadržaja pomoću aplikacije DJI GO i biti korišten za praćenje određenog uređaja koji je povezan sa aplikacijom. Jedan od važnijih artefakata bio je i serijski broj koji odgovara DJI Phantom 3, što zapravo znači da se dron može pratiti u slučaju hvatanja artefakata s mobilne platforme. To zapravo objašnjava rad dronova kao terminalnih uređaja. Mobilna aplikacija sadržava razne podatke o unutarnjem sustavu drona općenito, pa tako i u ovome slučaju DJI Phantom 3, i njegovim operacijama koje je izvršavao. A u zapisnicima se također čuvaju slučajevi kada je dron naišao na zonu bez leta (engl. *No-Flight Zone* - NFZ) tijekom leta.

Kao što je već spomenuto, svi prikupljeni podaci se spremaju i na mobilnu aplikaciju i na memoriju drona. Mediji su također prisutni kao kopije snimljenih videozapisa i lokalno su

⁴ADB je alat naredbenog retka koji omogućuje komunikaciju s povezanim Android uređajem.

pohranjene u aplikaciji. Pomoću zapisnika *FlightRecord*, ti se svi mediji mogu ekstrahirati, a pomoću aplikacije *CsvView* se mogu pregledavati.

5.2.2. Analiza podataka i medijskog sadržaja na dronu

Forenzička analiza DJI Phantom 3 će biti objašnjena s obzirom na prikupljene podatke koje je dron zabilježio i koji su pohranjeni na memoriji. DJI Phantom serija dronova, pa tako i DJI Phantom 3, ima dvije mogućnosti pohrane podataka. Prva takva je uklonjiva memorijska kartica unutar kamere koja služi za pohranu medijskog sadržaja (slike i videozapisi), a druga je memorijska kartica na matičnoj ploči koja služi za pohranu podataka o letovima drona. DJI Phantom 3 također ima dva oblika formata za datoteke: binarne datoteke (interna pohrana, a datoteke se obilježavaju sa nastavkom „dat“) i dodatne binarne datoteke (nalaze se na uređajima koji imaju Android sustav, a datoteke se obilježavaju sa nastavkom „.txt“). Objе vrste ovih datoteka su kodirane i šifrirane, [32].

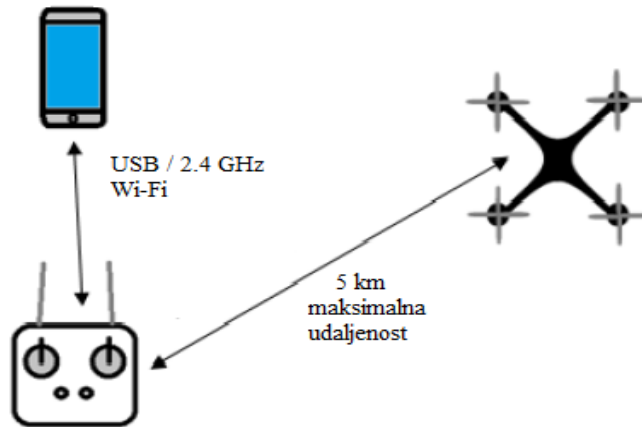
Glavni i najvažniji dio svake forenzičke analize su podaci, koji se moraju ekstrahirati sa drona, i nakon toga slijedi obrada podataka pomoću različitih alata. Podaci koji predstavljaju veliko značenje prilikom obrade podataka su GPS zapisi, brzina, fotografije ili videosnimke, ubrzanja i slično. Nakon što je dron završio sa svojim letom, odnosi se do laboratorija gdje će forenzičar obaviti analizu. Način na koji se preporučuje obavljanje ekstrakcije podataka jest da se koriste nerazorne (neinvazivne) metode. Puno bolje je ekstrahirati samo izvore podataka koji ne zahtijevaju destruktivne metode, kao što je *chip-off* metoda. Destruktivne metode se trebaju uzimati u obzir samo ako ne uspiju druge metode.

Kod DJI Phantom 3 podaci se mogu ekstrahirati i obrađivati pomoću dvije metode. Primarna metoda pohrane i obrade podataka je sadržaj sa SD kartice, koja je umetnuta u prijenosni mikro utor prije samog početka leta. Obično takve SD kartice imaju prostor za pohranu podataka od 16 GB, što predstavlja dosta prostora za pohranu, a svi pohranjeni podaci se analiziraju pomoću raznih Linux uslužnih programa. Uređaj ne mora biti uključen dok se obavlja analiza. Svi podaci koje DJI Phantom 3 zabilježi se nalaze u EXIF (engl. *Exchangeable Image File*)⁵ dijelu datoteka. Da bi se moglo pristupiti tome dijelu i da bi se mogli podaci analizirati koristi se alat *exiftool*. Sav sadržaj koji je snimljen i prikupljen se prvo nalazi na mikro SD kartici nakon čega se postavlja na forenzičku radnu stanicu i pomoću naredbe *tree* se pokazuju dva direktorija: DCIM i MISC. DCIM sadržava mnoštvo .jpg, .dng i .mp4 datoteka, koji su zapravo uobičajeni formati medijskih datoteka. Pomoću već spomenutog alata *exiftool* izvrši se obrada nad svim DCIM datotekama i podaci su nakon toga uspješno ekstrahirani.

Pristup tim datotekama nije lagan, a ne preporuča se ručna ekstrakcija pošto bi taj proces bio kompleksan i trajao bi jako dugo vremena. Postoji mnogo online usluga koje nude lakši pristup, obradu i interpretaciju tih datoteka, no međutim, i nije baš preporučljivo dijeljenje sadržaja datoteka trećoj strani, pošto se mogu zlouporabiti. Zbog toga je dizajniran alat koji sve te postupke može obavljati automatski, a naziva se *CsvView*. Budući da DJI Phantom 3 pohranjuje sve podatke u vlasnički format, ovaj alat je idealan kako bi se mogli

⁵EXIF je format koji je standard za pohranjivanje informacija o razmjeni u slikovne datoteke digitalne fotografije pomoću JPEG kompresije.

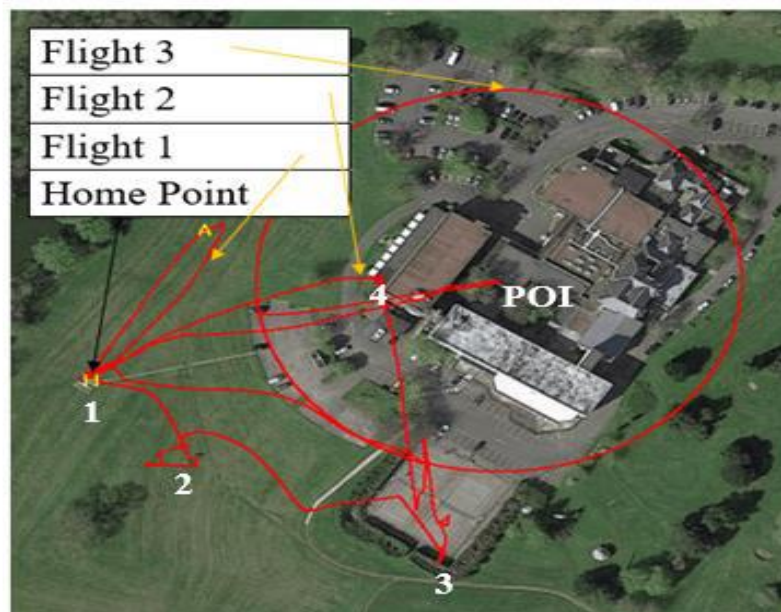
dobiti svi potrebni podaci. Rukovođenje ovim alatom je dosta jednostavno. Preuzme se putem Google trgovine i instalira na uređaju koji ima već postojeći sustav Windows, i nakon toga je alat moguće koristiti za obradu i tumačenje sadržaja datoteka. Zbog svojstava alata, nakon instalacije, moguće je pronaći i preuzeti sve potrebne slike iz usluge Google Karte, [30].



Slika 15. Primjer komunikacije između DJI Phantom 3 i mobilnog uređaja za potrebe ekstrakcije podataka

Izvor: [30]

Nakon obrade podataka sa SD kartice, bit će objašnjen način prikupljanja i obrade i ekstrakcije podataka sa unutarnje memorije drona. DJI Phantom 3 operativni sustav počinje bilježiti sve podatke na unutarnju memoriju onoga trenutka kada se uključi. Kao i u prethodnom slučaju, dron kada završi svoj let se odnosi na obradu kod stručnjaka. Sve datoteke se obrađuju pomoću *CsvView* alata, i u ovome slučaju pretvara sve datoteke iz .dat formata u .csv format. Uz pomoć aplikacije *GeoPlayer* svi letovi se mogu vizualizirati, kao što je prikazanom slikom 16, gdje se za primjer uzima da je uređaj prošao 1-4 putne točke, a POI (engl. *point of interest*) predstavlja točku od interesa za istražitelja.



Slika 16. Prikaz putanje letova drona pomoću *GeoPlayer* aplikacije

Izvor: [30]

Budući da unutarnja memorija sprema sve podatke od samog trenutka uključivanja drona, GPS podaci ponekad i nisu dovoljni kako bi se mogle razlikovati pojedine putanje pojedinih letova. Stoga se pojedine putanje trebaju više vremena obrađivati.

Datoteke svih snimki koje su snimljene tijekom leta su snimljene pomoću aplikacije *FlightRecord*, i nakon toga su se te datoteke analizirale pomoću *CsvView* alata kako bi se te datoteke usporedile sa .dat zapisnika leta koje su ekstrahirane i obrađene iz Phantom unutarnje memorije. Nakon usporedbe, u većini slučajeva, postoje neke male razlike no datoteke i njihov sadržaj je jako sličan. Razlike koje se većinom javljaju između ova dva načina pohrane, ekstrakcije i obrade podataka jest rezolucija svih snimljenih snimki, koja je u ovome slučaju znatno slabija (1 kB – 1 Mbit), dok su .dat podaci puno bolje rezolucije (i do nekoliko stotina Megabajta (MB)). A druga značajnija razlika koja se javlja jest da su sve datoteke snimljene i zabilježene po letu od polijetanja do slijetanja, a ne po njihovim aktivnostima, [30].

S obzirom na sve prikupljene podatke i njihova ekstrakcija, forenzička analiza je postupak koji još treba doradivati, tj. treba raditi na njegovom razvijanju kako se ne bi javljale bespotrebne greške ili radili nepotrebni koraci, kao što je bilo par puta u gore navedenim istraživanjima. Različiti izazovi i mogućnosti su postavljeni pred istražitelje, na njima je da ih što više proučavaju i pokušaju pronaći najbolje metode i načine da se svi ti izazovi uspiju riješiti. Iako su sve metode i načini analize datoteka na kraju pokazali neke različitosti, to su većinom neke male razlike koje ne daju konkretne odgovore koji je način bolje koristiti. Sveukupno, to je dugotrajan proces za koji forenzičari trebaju još vremena kako bi ga usavršili, no svakako će u budućnosti biti nešto o čemu će se dosta pričati i raspravljati.

6. Zaključak

Dronovi ili bespilotne letjelice svoju popularnost na tržištu mogu pripisati mogućnosti ugrađivanja kamere na sam uređaj. Njihovim razvojem došlo je do nastanka širokog spektra mogućnosti koje olakšavaju život čovjeku u današnje vrijeme. Tijekom proteklih nekoliko godina dronovi su postali središte za funkcioniranje različitih poduzeća i raznih organizacija, ali i za čovjeka kao pojedinca. Uspjeli su se probiti na područja na kojima su radne industrije zaostajale te su pridonijeli njihovom razvoju. Povećanje učinkovitosti i produktivnosti rada, smanjenje troškova, smanjenje opterećenja su samo neke od značajki koje dronovi, kao terminalni uređaji, nude korisnicima. Većinom se koriste za potrebe fotografiranja ili snimanja video zapisa, a u posljednje vrijeme se koriste i za dostavljanje paketa. Budući da se prodaja civilnih dronova svakim danom povećava, sigurnosni problemi koji se pojavljuju imaju tendenciju među raznim agencijama i regulatorima za provedbu zakona da povećaju stupanj sigurnosti.

Tehnologija dronova se neprestano razvija, tako da će tehnologija budućih modela dronova imati razna napredna poboljšanja. Noviji termin koji se veže uz dronove je forenzička analiza dronova, koja obuhvaća postupak prikupljanja raznih oblika podataka sa dronom, a kasnije i obradu prikupljenih podataka za potrebe nekog oblika istraživanja. Kako svakim danom sve više raste broj dronova, tako raste i broj svih kriminalnih radnji koje su povezane sa dronovima. Zbog toga je neophodno obavljati automatsku ekstrakciju, raščlanjivati i dekodirati podatke, puno više ulagati u forenzičku analizu dronova s ciljem obrade svih prikupljenih podataka.

Dok je fokus u ovome radu bio usmjeren na analizu DJI Phantom 3, puno više posla i rada se treba provesti i na ostalom spektru drugih modela dronova koji će možda dati drugačije rezultate, ili će se možda morati koristiti druge metode ili alati. Sve u svemu, forenzička analiza dronova je nešto o čemu će se dosta pričati u budućnosti. Sva istraživanja koja su se do sada provodila, bila su provedena na DJI Phantom 3, pa se ne može sa sigurnošću ili točnošću reći da se pronašao način ili alat pomoću kojih će se obavljati i ostale analize. Da bi se to realiziralo, potrebno je obaviti još mnogo ovakvih istraživanja na većem broju modela. DJI Phantom 3 je bio prvi izbor za početak, pošto drži najveći tržišni udio na svjetskom tržištu, čime se i opravdava odabir baš toga modela.

Alati kojima se provodi ekstrakcija podataka su nešto na čemu još treba raditi, pošto svaki spomenuti alat u radu nije idealan. Svaki ima neke nedostatke. Problem predstavljaju i podaci koji se spremaju na više različitih mjesta, pa se problem javlja kod ekstrakcije (prikupljanja) podataka. Forenzika dronova je još u ranijim fazama razvoja. Do sada razvijeni alati za forenzičku analizu podržavaju samo neke od popularnih modela dronova, kao što su DJI Phantom serija dronova. Pa bi se trebalo ulagati i u alate koji će biti podrška za bezbroj ostalih modela dronova. U svakom slučaju, forenzička analiza dronova kao terminalnih uređaja ima zasigurno budućnost i sigurno je nešto što će donijeti dosta novina, samo još treba dosta raditi na tome.

Literatura

- [1] D. Peraković: Autorizirana predavanja sa kolegija Terminalni uređaji: 1. predavanje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2017. (pristupljeno: Ožujak 2018.)
- [2] Excalibur drones: Skeye Pico Drone, dostupno na: <http://excaliburdrones.com/skeye-pico-drone/>. (pristupljeno: Kolovoz 2018.)
- [3] Drone Rush: Small drone or big drone – what drone size is right for you?, dostupno na: <https://www.dronerush.com/small-drone-big-drone-size-6275/>. (pristupljeno: Ožujak 2018.)
- [4] Business Insider: Exploring the latest drone technology for commercial, industrial and military drone uses, dostupno na: <https://www.businessinsider.com/drone-technology-uses-2017-7>. (pristupljeno: Kolovoz 2018.)
- [5] Grind Drone: Drone Components_Quick List of it's Parts, dostupno na: <http://grinddrone.com/drone-features/drone-components>.(pristupljeno: Travanj 2018.)
- [6] SensorsOnline: Technology That Makes Drones Work, dostupno na: <https://www.sensorsmag.com/components/how-many-sensors-are-a-drone-and-what-do-they-do>. (pristupljeno: Travanj 2018.)
- [7] D. Peraković : Autorizirana predavanja sa kolegija Terminalni uređaji: 12. predavanje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2017. (pristupljeno: Svibanj 2018.)
- [8] Uses of Digital Forensics, dostupno na: <https://www.carolinacomputerforensics.com/blog/uses-of-digital-forensics/>. (pristupljeno: Svibanj 2018.)
- [9] Ćosić, Jasmin; Bača, Miroslav: *Kompjutorska forenzika – široki aspekti primjene*. (pristupljeno: Svibanj 2018.)
- [10] Journey Into Incident Response: Overall DF Investigation Process, dostupno na: <http://journeyintoir.blogspot.hr/2010/10/overall-df-investigation-process.html>. (pristupljeno: Svibanj 2018.)
- [11] Venansius, Baryamureeba; Tushabe, Florence: *The Enhances Digital Investigation Process Model*. (pristupljeno: Svibanj 2018.)
- [12] Infosec Institute:The Mobile Forensics Process: Steps&Types, dostupno na: <http://resources.infosecinstitute.com/category/computerforensics/introduction/mobile-forensics/the-mobile-forensics-process-steps-types/#gref>. (pristupljeno: Svibanj 2018.)
- [13] URL: <http://ec2-107-23-31-70.compute-1.amazonaws.com/mobile-forensics/capabilities/operations/logical-extraction>. (pristupljeno: Svibanj 2018.)
- [14] Digitalna forenzika: Fizička akvizicija podataka s Android uređaja, dostupno na: <http://digitalna-forenzika.com/fizicka-akvizicija-podataka-s-android-uredaja/>. (pristupljeno: Svibanj 2018.)
- [15] Digitalna forenzika: <http://digitalna-forenzika.com/digitalna-forenzika/>. (pristupljeno: Svibanj 2018.)
- [16] Different Types of UAVs: How do they fly? dostupno na: <https://sites.google.com/site/thesciencebehinddrones/how-do-they-fly>. (pristupljeno: Svibanj 2018.)

- [17] Drone Omega: What is a QuadCopter Explained Thoroughly, dostupno na: <http://www.droneomega.com/what-is-a-quadcopter/>. (pristupljeno: Svibanj 2018.)
- [18] Drone Lab: What is a Drone: Main Features&Applications of Today's Drones, dostupno na: <http://mydronelab.com/blog/what-is-a-drone.html>. (pristupljeno: Svibanj 2018.)
- [19] Teel technologies, dostupno na: <http://www.teeltech.com/mobile-device-forensic-tools/ufed-tk3/>. (pristupljeno: Lipanj 2018.)
- [20] MSAB: XRY – Extract, dostupno na: <https://www.msab.com/products/xry/>. (pristupljeno: Lipanj 2018.)
- [21] Oxygen Forensics: Oxygen Forensic Kit Features, dostupno na: <https://www.oxygen-forensic.com/en/products/oxygen-forensic-kit>. (pristupljeno: Lipanj 2018.)
- [22] Group on: Parrot Flypad Mini-Drone Controller, dostupno na: <https://www.groupon.com/deals/gg-parrot-flypad-minidrone-controller-manufacturer-refurbished>. (pristupljeno: Lipanj 2018.)
- [23] Project Daedalus: How Do Drones Work, dostupno na: <https://www.andfestival.org.uk/projectdaedalus/how-do-drones-work/>. (pristupljeno: Lipanj 2018.)
- [24] Grind Drone: Different Types of Drones by Size, Platform, Range and Abilities, dostupno na: <http://grinddrone.com/features/different-types-of-drones>. (pristupljeno: Lipanj 2018.)
- [25] Grind Drone: Advantages and Disadvantages of Drone Technology, dostupno na: <http://grinddrone.com/drone-features/advantages-and-disadvantages-drone>. (pristupljeno: Lipanj 2018.)
- [26] Pro Photo UAV: Types of Drones | All the different kinds of consumer airborne UAV covered, dostupno na: <https://www.prophotouav.com/types-of-drones-different/>. (pristupljeno: Lipanj 2018.)
- [27] How do drones work? IMU – Inertial Measurement Unit, dostupno na: <https://www.linkedin.com/pulse/how-do-drones-work-part-9-imu-inertial-measurement-unit-fiorenzani>. (pristupljeno: Lipanj 2018.)
- [28] AZO sensors: How do Tilt Sensors Work, dostupno na: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=318>. (pristupljeno: Srpanj 2018.)
- [29] Forensic Focus: Oxygen Drone Forensics – How To Deal With A New Threat, dostupno na: https://articles.forensicfocus.com/2018/03/06/oxygen-drone-forensics/?blogsub=confirming#blog_subscription-3. (pristupljeno: Srpanj 2018.)
- [30] Azhar, M A Hannan Bin; Barton, Thomas Edward Allen; Islam, Tasmina: *Drone Forensic Analysis Using Open Source Tools*. (pristupljeno: Srpanj 2018.)
- [31] Roder, Alan; Choo, Kim-KwangRaymond; Le-Khac, Nhien-An: *Unmanned Aerial Vehicle Forensic Investigation Process: DJI Phantom 3 Drone as a Case Study*. (pristupljeno: Srpanj 2018.)
- [32] Clark, Devon R.; Meffert, Chistopher; Baggili, Ibrahim; Breitinger, Frank: *DROP (Drone Open sourceParser) yourdrone: Forensic analysis of the DJI Phantom III* (pristupljeno: Srpanj 2018.)

- [33] Ribinson+Cole: Updated Drone Statistics in the Commercial Industry, dostupno na: <https://www.dataprivacyandsecurityinsider.com/2017/05/updated-drone-statistics-in-the-commercial-industry/>. (pristupljeno: Kolovoz 2018.)
- [34] Poslovni dnevnik: Po Hrvatskoj leti 6500 dronova, u biznisu 340 tvrtki, dostupno na: <http://www.poslovni.hr/tehnologija/po-hrvatskoj-leti-6500-dronova-u-biznisu-340-tvrtki-326131>. (pristupljeno: Kolovoz 2018.)
- [35] Krugoval: Precizna poljoprivreda Belja u svjetskom vrhu uz pomoć bespilotnih letjelica, dostupno na: <https://krugoval.net/2016/03/precizna-poljoprivreda-belja-u-svjetskom-vrhu-uz-pomoc-bespilotnih-letjelica/>. (pristupljeno: Kolovoz 2018.)
- [36] Erceg, Aleksandar; Erceg Činčurak, Biljana; Vasilj, Aleksandra: *Unmanned Aircraft Systems In Logistics – Legal Regulation and Worldwide Examples Toward use in Croatia*. (pristupljeno: Kolovoz 2018.)
- [37] Ćosić, Jasmin; Bača, Miroslav: *Kompjuterska forenzika – široki aspekti primjene*. (pristupljeno: Kolovoz 2018.)
- [38] Drones Globe: Drone market share analysis & predictions for 2018 – DJI dominates, Parrot and Yuneec slowly catching up, dostupno na: <http://www.dronesglobe.com/news/drone-market-share-analysis-predictions-2018/>. (pristupljeno: Kolovoz 2018.)
- [39] Custers, Bart. *The future of Drone Uses*. Leiden, Nizozemska: Pravni fakultet; 2016.

Popis kratica

CERT	(Computer Emergency Response Team) računalni tim za hitne intervencije
ESC	(Electronic Speed Controllers) elektronički kontrolori brzine
EUROUVS	(European Association of Unmanned Vehicles System) europska zajednica za bespilotne letjelice
FAA	(Federal Aviation Administration) Federalna zrakoplovna uprava
GPS	(Global Positioning System) globalni pozicijski sustav
IMU	(Inertial Measurement Unit) inercijske jedinice za mjerenje
NFZ	(No-Flight Zone) zona bez leta
POI	(Point Of Interest) točka od interesa
RPAS	(Remotely Piloted Aircraft System) daljinski upravljane letjelice
UAS	(Unmanned Aircraft System) bespilotni zrakoplovni sustav
UAV	(Unmanned Aerial Vehicle) bespilotne letjelice
UFED	(Universal Forensic Extraction Device) univerzalni uređaj za forenzičku ekstrakciju
Wi-Fi	(Wireless Fidelity) bežična mreža

Popis slika

Slika 1. Skeye Pico dron i njegov kontroler	5
Slika 2. DJI Matrice 600	6
Slika 3. Glavne komponente dronova	10
Slika 4. Senzorska tehnologija drona	12
Slika 5. Primjer rada inercijskog navigacijskog sustava	13
Slika 6. Parrot Flypad kontroler za mini-dronove	15
Slika 7. Prikaz rada <i>quadcoptera</i>	16
Slika 8. Proces digitalne forenzike	20
Slika 9. Osnovne metode ekstrakcije	21
Slika 10. Dio opreme Cellebrite UFED TK	24
Slika 11. UFED 4PC oprema	25
Slika 12. Oxygen Forensic Detective oprema	26
Slika 13. Prikaz rute drona uz korištenje Oxygen Forensic Maps-a	28
Slika 14. Dijagram toka za proces prikupljanja podataka	30
Slika 15. Primjer komunikacije između DJI Phantom 3 i mobilnog uređaja za potrebe ekstrakcije podataka	33
Slika 16. Prikaz putanje letova drona pomoću <i>GeoPlayer</i> aplikacije	34

Popis grafikona

Grafikon 1. Statistika korištenja dronova u svijetu	7
---	---

Popis tablica

Tablica 1. Razlikovanje dronova prema određenim karakteristikama	4
Tablica 2. Prednosti i nedostaci dronova	6
Tablica 3. DJI Phantom 3 Professional i njihove specifikacije	29