

Forenzika bespilotnih letjelica korištenjem alata otvorenog koda

Čupić, Mladenka

Professional thesis / Završni specijalistički

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:849114>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-13**



Repository / Repozitorij:

[FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA
Poslijediplomski specijalistički studij Informacijska sigurnost

Mladenka Čupić

**FORENZIKA BESPILOTNIH LETJELICA KORIŠTENJEM
ALATA OTVORENOG KODA**

ZAVRŠNI SPECIJALISTIČKI RAD

Zagreb, 2019

Mentor: Prof. dr. sc. Miroslav Bača

Završni rad: 49 stranica

Završni rad br.:

Povjerenstvo za ocjenu u sastavu:

Prof. dr. sc. Krešimir Fertalj – predsjednik

Prof. dr. sc. Miroslav Bača – mentor

Doc. Dr.sc. Stjepan Groš – član

Povjerenstvo za obranu u sastavu:

Prof. dr. sc. Krešimir Fertalj – predsjednik

Prof. dr. sc. Miroslav Bača – mentor

Prof. Dr.sc. Boris Vrdoljak - član

Datum obrane: 02.12.2019.

Sadržaj

| | |
|--|----|
| Uvod | 5 |
| 1. Bepilotne letjelice | 6 |
| 1.1 Terminologija..... | 6 |
| 1.2 Kratki povijesni pregled | 6 |
| 1.3 Karakteristike i klasifikacija | 7 |
| 1.4 Komponente..... | 10 |
| 1.5 Primjena..... | 11 |
| 2. Zakonska regulativa | 13 |
| 2.1 Zakonska regulativa u Europskoj uniji..... | 13 |
| 2.2 Zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj | 14 |
| 3. Forenzika bepilotnih letjelica | 17 |
| 3.1 Alati otvorenog koda..... | 18 |
| 3.2 Metodologija | 20 |
| 4. Studija slučaja – DJI Mavic Pro..... | 22 |
| 4.1 Ekstrakcija podataka iz memorijske kartice | 22 |
| 4.2 Ekstrakcija podataka iz interne memorije korištenjem DJI Assistanta..... | 24 |
| 4.3 Ekstrakcija podataka iz interne memorije korištenjem exploita..... | 25 |
| 4.3.1 Izvoz podataka iz interne memorije korištenjem naredbi komandne linije | 27 |
| 4.3.2 Izvoz podataka iz interne memorije korištenjem grafičkog sučelja | 28 |
| 4.4 Ekstrakcija podataka iz daljinskog upravljača..... | 30 |
| 5. Studija slučaja - DJI Spark..... | 32 |
| 6. Studija slučaja – MikroKopter | 34 |
| 6.1 Ekstrakcija podataka iz memorijske kartice | 34 |
| 6.2 Ekstrakcija podataka iz interne memorije | 38 |
| 7. Razvoj i daljnje mogućnosti bepilotnih letjelica | 40 |
| 8. Zaključak | 41 |
| Popis kratica..... | 44 |
| Literatura..... | 46 |

Uvod

Bespilotne letjelice su izvorno razvijane u vojne svrhe i razmještane u visokorizična vojna područja. Kako se tehnologija postupno razvijala i poboljšavala tako je postajala i sve pristupačnija. Rastuća potražnja za korištenjem dronova u vojnom sektoru proširila se i na civilna područja. Bespilotne letjelice mogu se naći u različitim oblicima i veličinama te se mogu koristiti u različite svrhe.

Rad opisuje različite tipove trenutno dostupnih dronova i njihovih tehničkih specifikacija, potencijalnih tereta i aplikacija te obuhvaća forenzičku obradu tri modela bespilotnih letjelica. Budući razvoj tehnologije bespilotnih letjelica uključuje dronove koji postaju sve manji, lakši, učinkovitiji i jeftiniji. Stoga dronovi postaju široko dostupni široj javnosti i koriste sve veći broj aplikacija. Također, zamjetna je njihova sve veća autonomija kao i sposobnost leta u rojevima.

U prvom poglavlju je dan povijesni pregled razvoja bespilotnih letjelica uz opis komponenti, karakteristika i klasifikacije te široki spektar primjene. Budući da frekvencijski spektar ne završava na nacionalnim granicama, nužna je međunarodna koordinacija njegove uporabe. Drugo poglavlje je fokusirano na potrebu razvoja zakonskih regulativa i standarda kako bi se stvorilo jedinstveno tržište koje ne uzrokuje smetnje drugim uslugama. Treće poglavlje pokriva forenzički pristup bespilotnim letjelicama s osvrtom na metode ekstrakcije, analize i identifikacije artefakata dobivenih iz bespilotnih letjelica korištenjem alata otvorenog koda. U iduća tri poglavlja prikazana je forenzika tri bespilotne letjelice, DJI Mavic Pro, DJI Spark i MikroKopter, uz prikaz primijenjenih metoda i alata. Sedmo poglavlje daje mogući smjer daljnjeg razvoja bespilotnih letjelica kao i razvoja forenzičkih alata. Rad završava zaključkom, popisom kratica i korištene literature.

1. Bepilotne letjelice

1.1 Terminologija

Izraz bespilotno zrakoplovno vozilo (eng. *Unmanned Aerial Vehicle* - UAV), bespilotna letjelica kao i izraz dron koristi se kako bi se opisala vrsta letjelice bez pilota koja je sposobna letjeti udaljenim upravljanjem ili unaprijed definiranim autonomnim planom leta a obuhvaća dvije vrste bespilotnih letjelica [62]:

- Letjelice s daljinskim upravljanjem (eng. *Remotely Piloted Aviation Systems* - RPAS) predstavljaju vrstu drona kojima se upravlja udaljeno sa zemlje. To znači da uvijek postoji pilot za upravljanje čak i ako je udaljeno pozicioniran.
- Autonomni dronovi su letjelice koje mogu letjeti samostalno unaprijed programiranim planom leta ili pomoću složenih autonomnih dinamičkih sustava bez pilota čak ni onih s udaljenim upravljanjem.

Izraz civilni dron se zapravo odnosi na RPAS letjelice korištene u civilne svrhe.

Bespilotno zrakoplovno vozilo je sastavni dio bespilotnog zrakoplovnog sustava (eng. *Unmanned Aerial Systems* - UAS) koji uključuje UAV, kontrolni uređaj na zemlji i sustav komunikacije između njih. Let bespilotne letjelice može biti s različitim stupnjevima autonomije, bilo pod daljinskim upravljanjem od strane čovjeka ili samostalno putem računala.

Izraz bespilotni zrakoplovni sustav (UAS) usvojen je 2005. godine od strane Ministarstva obrane Sjedinjenih Američkih Država i Američke savezne zrakoplovne uprave. Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (eng. *International Civil Aviation Organization* - ICAO) i Britanska agencija za civilno zrakoplovstvo (eng. *Civil Aviation Authority* – CAA) usvojili su ovaj izraz, koji se također koristi u smjernicama za istraživanje zračnog prometa za zrakoplovstvo Europske unije (SESAR Joint Undertaking) za 2020. godinu [1]. Također, ovaj izraz naglašava važnost elemenata koji nisu letjelice. Uključuje elemente kao što su stanice za kontrolu terena, podatkovne veze i druga oprema za podršku [2].

1.2 Kratki povijesni pregled

Do 2010. godine bespilotne letjelice su se uglavnom koristile za vojne potrebe, a civilna uporaba počinje završetkom razvoja i testiranja na vojnim područjima te pojavom multikoptera s električnim motorima koji postaju svima dostupni čime je započeo razvoj u komercijalne svrhe.

U Kini, 400 godina prije Krista, javljaju se prvi zapisi o bespilotnim letjelicama oblika prilagođenog tom dobu koji su se koristili u vojne svrhe kao letjelice za ispuštanje bombi.

Zračni žiroskop kojeg je 1483. godine izradio Leonardo da Vinci je letjelica koja je mogla samostalno lebdjeti na način da je okretanjem vratila stvarala uzgon. Današnji helikopteri i multikopteri rade po principu uzgona koji se stvara na krajevima lopatica rotora.

Bespilotne letjelice su se nastavile razvijati tijekom Prvog i Drugog svjetskog rata. Prva bespilotna letjelica na daljinsko upravljanje se pojavila 1917. godine zahvaljujući automatskom žiroskopskom stabilizatoru kojeg su izumili Peter Cooper i Elmer A. Sperry a omogućavao je pravocrtno kretanje letjelice i stabilno održavanje visine leta. Masovna proizvodna bespilotnih letjelica s daljinskim upravljanjem krenula je 1939. godine proizvodnjom letjelice pod nazivom OQ-2 čime je započela era RPAS letjelica.

Hladni rat je doveo do potrebe za prenamjenom borbenih letjelica u letjelice za izviđanje i fotografiranje pa tako i do razvoja bespilotnih letjelica koje bi bile nevidljive radarima.

Na području razvoja tehnologije i proizvodnje bespilotnih letjelica nametnuo se Izrael koji je 1973. godine započeo proizvodnju bespilotne letjelice Firebee 1241. Radi se o američkoj bespilotnoj letjelici koju je Izrael nakon kupovine modificirao i redizajnirao te koristio u ratu između Egipta, Sirije i Izraela. Par godina kasnije, Izrael je proizveo bespilotnu letjelicu Scout koja je bila namijenjena za nadzor uz prijenos slike u realnom vremenu.

Sjevernoatlantski vojni savez (eng. *North Atlantic Treaty Organization* - NATO) je u svojim operacijama u Bosni koristio bespilotnu letjelicu za nadzor i izviđanje pod imenom Predator. Borbena inačica Predatora pod nazivom Dragon Eye korištena je u Afganistanu i Iraku.

Primjena bespilotnih letjelica u civilne svrhe je prevladala vojnu namjenu zahvaljujući velikom porastu tržišta za komercijalnu primjenu što je rezultiralo dronovima u raznim veličinama i težinama te raznovrsnom senzorskom opremom.

1.3 Karakteristike i klasifikacija

Trenutno u svijetu ne postoji jedinstvena podjela bespilotnih letjelica. Nemoguće ih je jednostavno kategorizirati zbog njihove međusobne raznolikosti i širokog spektra karakteristika koje ih mogu opisivati. Pravilna klasifikacija bespilotnih letjelica važna je za donošenje zakona koji se na njih odnose. Budući da je neizvedivo kreirati zakon koji bi bio primjenjiv na sve bespilotne letjelice, potrebno ih je podijeliti u kategorije ovisno o njihovim karakteristikama.

Prema Međunarodnoj zajednici za bespilotne letjelice (eng. *UVS International*) kriterij za podjelu se temelji na vrsti konstrukcije, veličini, razini autonomije, dometu, primjeni s obzirom na opremu, masi pri polijetanju, visini leta, namjeni te izvoru energije [3]:

- **Vrsta konstrukcija**

- Multirotor – koriste kružna krila za generiranje dizanja a poznati su po svojoj stabilnosti i sposobnosti da duže vrijeme mogu održavati visinu na stacionarnoj vertikalnoj poziciji.
- Fiksna krila – koriste fiksna, statična krila za generiranje uzleta. Cijelo vrijeme leta su u stalnom pokretu i nemaju mogućnost stabilno održavati jednu poziciju.
- Singlerotor – jedan veliki rotor služi za let, a drugi manji pozicioniran blizu repa letjelice upravlja smjerom leta. Ima mogućnost linearnog leta, stabilnog

održavanja visine na jednoj poziciji, te može letjeti na većim visinama od multirotora.

- **Veličina**

Za mjerenje se uzimaju dimenzije okvira i motora umjesto prostora koji zauzimaju krila ili rotor, a zbog preciznosti izražava se u milimetrima. Razvoj dronova trenutno je usmjeren na stvaranje manjih i lakših letjelica. Veliki dronovi se uglavnom koriste u vojne svrhe.

- Vrlo mali (nano) – mogu biti veličine insekata od svega nekoliko centimetara. Najčešće se koriste u svrhu prikupljanja informacija ili neopaženog pristupa.
- Mali – veličinom ne prelaze dva metra i po konstrukciji su s fiksnim krilima.
- Srednji – mogu težiti do 200kg.
- Veliki – mogu biti dimenzija manjih zrakoplova, uglavnom se koriste u vojne svrhe.

- **Razina autonomije**

Osnovni principi postizanja autonomne kontrole i upravljanja letjelicom postižu se definiranjem ponašanja letjelice preko upravljivih naredbi. Sustavi kontrole i upravljanja kreću se od jednostavnih skripti pa do složenih algoritama u svrhu planiranje putanje leta, određivanja upravljačkih manevara koje treba poduzeti kako bi se slijedila određena putanja te reguliranja odstupanja letjelice u odnosu na predviđenu putanju. Pri tome se uobičajeno koriste određene autonomne operacije kao što su:

- Zadržavanje nadmorske visine pomoću barometrijskih ili tlačnih senzora.
- Zadržavanje položaja pomoću globalnog navigacijskog satelitskog sustava tzv. GNSS.
- Polijetanje i slijetanje.
- Automatsko slijetanje ili povratak kući nakon gubitka kontrolnog signala.
- Kretanje u orbiti oko objekta.
- Unaprijed programirane akrobatske putanje kao što su role i petlje.

Tako imamo podjelu na:

- Letjelice na daljinsko upravljanje
- Poluautonomne letjelice
- Autonomne letjelice – koriste predefinirana pravila na osnovu kojih postupaju u neočekivanim situacijama.

Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo (ICAO) daje slijedeću podjelu:

- Autonomni sustavi – koriste napredne sustave za dinamičko navođenje prema unaprijed programiranom putu leta.
- Sustavi na daljinsko upravljanje (RPAS) - letjelicom se upravlja udaljeno sa zemlje korištenjem radio signala.
- **Domet**
 - Vrlo mali – trajanje leta je do 1 sat u radijusu do 5 kilometara i koriste se isključivo u rekreacijske svrhe.
 - Mali – trajanje leta je do 6 sati u radijusu do 50 kilometara.
 - Srednji – imaju snažne baterije koje ih mogu držati do 12 sati u zraku s radijusom do 150 kilometara. Koriste se za vojne potrebe.

- Veliki – mogu danima biti u zraku zahvaljujući izuzetno jakim baterijama. Kreću se u radijusu do 650 kilometara. Koriste se u vojne svrhe te za profesionalno praćenje vremenskih uzoraka, geologije te mapiranja.
- **Primjena** (s obzirom na opremu)
 - Kvadrikopter – dizajnirani su s 4 rotora postavljena u kvadrat i najčešći su tip drona na tržištu. Mogu se koristiti za profesionalne i za rekreacijske potrebe.
 - GPS dron – preko GPS-a su povezani sa satelitima što im omogućava povratak na polazišnu točku nakon što im se baterija isprazni.
 - RTF dron – (eng. *Ready To Fly*) dron koji se samo napuni i pusti u zrak jer nije potrebna nikakva interakcija s korisnikom.
 - Rekreacijski dron (eng. *trick and stunt*) – male su veličine, izuzetno lagani i nemaju dodatnu opremu.
 - Helikopter – imaju jedan rotor i mogu stajati na jednom mjestu na visinu duže vrijeme.
 - Dron za dostavu – dizajnirani su s posebnim prostorom za transportni sadržaj. Veličina im ovisi o sadržaju koji prenose.
 - Dron za fotografiranje – koriste se uglavnom za profesionalno fotografiranje. Opremljeni su specijalnim kamerama koje su otporne na vremenske uvjete.
 - Dron za utrke – posebno napravljen za utrke, otporan na vjetar s brzinom do 95 km/h.
 - Dron s alternativnim napajanjem – za razliku od većine dronova koji koriste električno napajanje, ovi dronovi koriste alternativno napajanje kao što su plin i nitro gorivo (gorivo s primjesama 10%-40% mješavine nitrometana i metanola).
 - Izdržljivi dron – sposobni su izuzetno dugo ostati u zraku i otporni su na različite vremenske uvjete. Mogu postići visinu od 9500 m. Koriste se u vojne svrhe.
- **Masa pri polijetanju**
 - Do 25 kg
 - 25 – 500 kg
 - 501 – 2000 kg
 - Više od 2000 kg
- **Visina leta**
 - Jako male visine - let se izvodi do visine od 50 metara uz stalni vizualni nadzor sa zemlje.
 - Male visine - do visine od 150 metara ali može ići izvan vizualnog nadzora.
 - Srednje visine - do 300 metara visine.
 - Velike visine - više od 300 metara visine.
- **Namjena**
 - Vojna
 - Civilna
 - Komercijalna
 - Nekomercijalna

Prema Međunarodnoj zajednici za bespilotne letjelice podjela je na:

- Mikro/mini – najmanje platforme (dronovi), lete na najmanjim visinama do 500m
- Taktičke
- Strateške
- S posebnom zadaćom – stratosferske, egzosferske, mamci i smrtonosne letjelice.
- **Izvor energije**

- Zrakoplovno gorivo – kerozin se koristi uglavnom za velike bespilotne letjelice koje se koriste u vojne svrhe.
- Baterije – dronovi s ovim napajanjem imaju mali domet i koriste se uglavnom u rekreacijske svrhe.
- Gorive ćelije – pretvaraju kemijsku energiju u električnu energiju. Iako se rijetko koriste, prednost im je sposobnost leta na velikim udaljenostima bez potrebe za punjenjem. Primjer takve letjelice je Stalker.
- Solarne ćelije – zbog male učinkovitosti solarnih ćelija rijetko se koriste a uglavnom ih koriste letjelice s fiksnim krilima.

1.4 Komponente

Bespilotna letjelica je autonomni sustav kojeg čine sama letjelica, kontrolni uređaj za upravljanje na zemlji i teret. Teret možemo, ovisno o namjeni, podijeliti na elektroničko-optičke sustave za opažanje i skeniranje, sustave sa infracrvenim zračenjem, radare, teret za odbacivanje te senzore za okoliš.

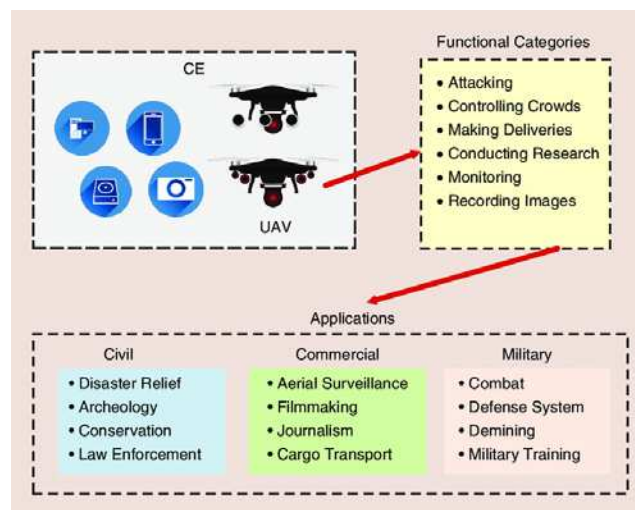
Letjelica se sastoji od [61]:

- Okvira kojeg čine
 - standardni ili potisni propeleri,
 - motor i
 - oprema za slijetanje.
- Pogonskog sustava koji kao izvor energije koristi
 - električnu energiju,
 - solarne ćelije ili
 - motore s unutarnjim izgaranjem.
- Sustava za kontrolu leta koji pomoću sustava za navigaciju osigurava let definiranom putanjom ili prema podacima dobivenim od kontrolnog uređaja za upravljanje na zemlji koristeći
 - elektroničke kontrolore brzine,
 - kontrolore leta,
 - GPS komponentu i
 - kameru.
- Sustava za komunikaciju (eng. *Data link*) koji upravlja primanjem podataka sa uređaja za upravljanje te slanjem podataka prikupljenih sensorima na uređaj za upravljanje na zemlji, a sastoji se od:
 - prijemnika
 - odašiljača
 - antene i
 - modema.
- S&A sustava (eng. *Sense and Avoid*) koji preko senzora skuplja podatke o putanji leta, te ih programski obrađuju s ciljem izbjegavanja prepreka, a čine ga:
 - akcelerometar ili mjerač ubrzanja koristi se pri određivanju položaja i orijentacije letjelice u zraku,
 - jedinica za mjerenje inercije (IMU) mjeri ubrzanje i kutnu brzinu te uz pomoć GPS-a određuje smjer kretanja i kut nagiba letjelice,

- senzori protoka usisa motora služe za određivanje omjera goriva i zraka pri određenoj brzini motora,
- strujni senzori mjere trenutnu električnu energiju i osiguravaju izolaciju da ne bi došlo do električnog udara ili oštećenja sustava,
- magnetski senzori predstavljaju elektromagnetski kompas koji osigurava navigaciju,
- senzori nagiba pomažu sustavu za kontrolu leta u održavanju stabilnosti letjelice mjerenjem nagiba s obzirom na gravitaciju i osi referentne ravnine.

1.5 Primjena

Iako su bespilotne letjelice primarno razvijane za korištenje u vojne svrhe, njihova primjena se brzo proširila i na druga područja kao što su civilna zaštita, geodezija, poljoprivreda, novinarstvo, arheologija, medicina, sportske aktivnosti itd. Također, značajna je upotreba bespilotnih letjelica u ilegalnim aktivnostima. Primjenu bespilotnih letjelica, s obzirom na aktivnost koju obavljaju, možemo podijeliti u kategorije koje obuhvaćaju napade, dostavu, multimedijalne aktivnosti, istraživanje, nadzor i kontrolu (Slika 1.1).



Slika 1.1 Funkcionalne kategorije bespilotnih letjelica [21]

Navedene aktivnosti se provode kroz niz aplikacija razvijenih za vojnu, civilnu i komercijalnu primjenu:

- Nadzor provođenja zakona – korištenje specijaliziranih infracrvenih i toplinskih senzora radi praćenja sumnjivih aktivnosti unutar nadziranih područja.
- Vizualni prijenosi – snimanje događaja iz zraka te emitiranje putem medija i internetskih kanala.
- Logistika i transport – dostava i isporuka naručenih proizvoda korištenjem drona što troši manje vremena, energije i sredstava.
- Prognoza vremena – koristi se u meteorologiji za praćenje vremenskih i klimatskih promjena u interakciji s tehnologijom radarskog mapiranja.
- Određivanje topografije tla i mapiranje – koristi se u geologiji za snimanje i određivanje promjena u strukturi terena nakon potresa, vulkana ili drugih tektonskih aktivnosti na određenom području kao i za mapiranje određenog lokaliteta.

- Potraga i spašavanje – koristi se u operacijama traganja i spašavanja nestalih praćenjem područje pretrage kako bi se odredila točna lokacija nestale osobe.
- Praćenje sigurnosnih prijetnji – za otkrivanje prisutnosti bilo kakvih sigurnosnih prijetnji tijekom izvođenja vojnih operacija te određivanje neposredne opasnosti u borbi protiv kriminala ili terorizma.
- Detekcija živih bića – korištenjem sustava toplinskih senzora pri detekciji i lociranju bilo kakvih tragova života unutar određenog područja. Može biti primjenjiva u vojnim i policijskim akcijama u borbi protiv terorizma ili organiziranog kriminala, kao i u akcijama potraga i spašavanja na nepristupačnim područjima.
- Mjerenje tlaka zraka – računanje atmosferskih i kemijskih komponenti koje utječu na tlak atmosfere što je primjenjivo u meteorologiji kod proučavanja atmosferskih slojeva iznad površine.
- Proučavanje tropskih ciklona – koristi se kod tropskih poremećaja mjerenjem trenutnog atmosferskog tlaka, brzine vjetra, kemijskih čestica itd.
- Proučavanje tornada – praćenjem kretanja tornada preko aplikacije koja vizualizira središte tornada, analizira brzinu vjetra, mjeri atmosferski tlak te obrađuje ostale važne meteorološke informacije.
- Turističke ponude – inovativan prikaz turističkih destinacija na afirmativan promidžbeni način.
- Proučavanje divljih životinja – otkrivanje ponašanja životinja u divljini bez prisustva čovjeka u područjima koja su prirodna staništa pojedinih životinjskih vrsta.
- Proučavanje vulkana – snimanje vulkanskih aktivnosti iz neposredne blizine koje su zbog ekstremne vrućine i moguće skore erupcije lave kod aktivnih vulkana neizvedive za klasično snimanje.
- Otkrivanje novih životinjskih i biljnih vrsta – proučavanje neistraženih šuma i nedostupnih područja koje skrivaju životinjske i biljne vrste nepoznate ljudima.
- Istraživanje izoliranih plemena – koristi se u Brazilu i na Papui Novoj Gvineji kao pomoć antropolozima i sociolozima u proučavanju neotkrivenih izoliranih plemena snimanjem i zumiranjem određenih područja.

2. Zakonska regulativa

Bespilotni zrakoplovni sustav je nova komponenta civilnog zrakoplovstva koja predstavlja područje koji se iznimno brzo razvija. Istraživanja predviđaju da će se u tom području otvoriti više od 150 tisuća radnih mjesta do 2050. godine. Predviđanja Europske komisije su da će do 2035. godine sektor bespilotnih letjelica izravno zapošljavati više od 100 000 ljudi i imati gospodarski učinak veći od 10 milijardi eura godišnje.

Na razini Europske unije važila je Uredba 216/2008 Europskog parlamenta o zajedničkim pravilima u području civilnog zrakoplovstva i osnivanju Europske agencije za sigurnost zračnog prometa (eng. *European Union Aviation Safety Agency - EASA*) kojom je bilo propisano da bespilotne letjelice mase iznad 150 kg podliježu istim propisima kao i zrakoplovi kojima upravljaju piloti. Međutim, manje bespilotne letjelice uzrokovale su regulatorne probleme jer je Uredba bila primjenjiva na letjelice čija masa prelazi 150 kg dok su lakše bespilotne letjelice podlijegale nacionalnim sigurnosnim regulatornim okvirima država članica. Različite države članice su ovu oblast regulirale kroz različite nacionalne pravilnike kojima su definirali način korištenja bespilotnih letjelica. Zbog povećanog korištenja dronova, Europska komisija predložila je strožu regulaciju dronova u svrhu poboljšanja sigurnosti zračnog prometa na prostoru Europske unije, kao što su maksimalna udaljenost leta i certificiranje dronova temeljno na procjeni rizika odnosno ovisno o opasnosti koju predstavljaju. Svrha novih pravila je stvoriti prave uvjete kako bi Europska unija bila sposobna nositi se s očekivanim porastom zračnog prometa. Također, promjene iniciraju suradnju između Europske agencije za sigurnost zračnog prometa i nacionalnih vlasti pri procjeni rizika vezano za letove iznad zona sukoba.

Nova pravila odnose se na sve dijelove bespilotnih letjelica i garancija su da i piloti i proizvođači bespilotnih letjelica na cijelom prostoru Europske unije poštuju sigurnost, privatnost, osobne podatke i okoliš. Reforma zakonskih regulativa u području zrakoplovstva bila je potrebna i zato što bi prema procjenama zračni promet EU-a u sljedećih 20 godina trebao narasti za 50%.

Pravilima o bespilotnim letjelicama uvode se osnovna načela koja garantiraju sigurnosti, zaštitu i privatnosti te zaštitu osobnih podataka.

2.1 Zakonska regulativa u Europskoj uniji

Zajednička pravila za bespilotne letjelice na području Europske unije do nedavno su vrijedila samo za uređaje teže od 150 kilograma dok su za ostale, lakše letjelice vrijedile nacionalne zakonske regulative. Novi regulatorni okvir objedinjuje pojedinačne zakone država članica i obuhvaća sve bespilotne letjelice bez obzira na masu.

Europska agencija za sigurnost zračnog prometa je agencija Europske unije s regulatornim i izvršnim zadaćama u području sigurnosti civilnog zrakoplovstva i zaštite okoliša. Europska agencija razvija zajednička pravila i osnovne standarde na europskoj razini i prati njihovu

implementaciju. EASA je u suradnji sa zemljama članicama razvila sigurnosna pravila koja primjenom novih mjera kreiraju zajednički zračni prostor niske razine nazvan U-prostor (eng. *U-space*). Izraz je prihvaćen od strane Europske komisije a predstavlja skup servisa koji pružaju podršku letaćkim operacijama do 120 metara. U njemu bi trebao vrijediti sustav pravila sličan onome koji je na snazi za postojeće upravljanje zračnim prometom, a koji će biti automatiziran korištenjem alata kao što su elektroničko prepoznavanje, geo-fencing te sustavi za registraciju dronova i njihovih operatora te e-identifikaciju.

Prema novim pravilima, dronovi će biti dizajnirani tako da ne predstavljaju opasnost za ljude. U tu svrhu, u dronove će se ugrađivati dodatna oprema kao što je automatsko slijetanje u slučaju da operator izgubi kontakt s dronom ili sustav za izbjegavanje sudara. Pristup sigurnosti koji se uvodi, temelji se na procjeni rizika te se na taj način vodi računa o različitim vrstama rizika povezanim s različitim sektorima civilnog zrakoplovstva. Novom uredbom zamjenjuje se zakonodavni okvir iz 2008. godine te se utvrđuju zajednička pravila u području sigurnosti civilnog zrakoplovstva. Uredbe su izravno obvezujuće i neposredno se primjenjuju u svim državama članicama, te se provedbeni propis za uredbe donosi samo iznimno, kada to zahtijevaju same odredbe uredbe.

Prema Europskoj agenciji za zrakoplovnu sigurnost bespilotne letjelice bi se zakonodavno trebale podijeliti u tri kategorije: otvorenu, specifičnu i certificiranu. Svi hobistički dronovi bi spadali u otvorenu kategoriju, specifična kategorija uključivala bi dronove koji mogu predstavljati određeni rizik, pa bi se za njih trebala nabaviti dozvola za let, dok bi u certificiranu kategoriju spadale letjelice s najvećim rizikom za koje bi i piloti trebali imati određene dozvole. Prosječnom hobi korisniku najvažnija je otvorena kategorija koja uključuje sve letjelice mase do 25 kilograma, najviše visine leta do 120 metara, te isključivo one kojima se pilotira u vidokrugu operatera.

2.2 Zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj

Pod pravnom regulativom o bespilotnim letjelicama smatraju se odredbe koje su donesene i koje definiraju sam pojam bespilotne letjelice, kategorije u koje ona pripada, te koja je svrha njezinog korištenja.

Zračni promet u Republici Hrvatskoj reguliran je hrvatskim propisima, ali i zakonodavstvom Europske unije koje je po pravnoj snazi iznad nacionalnih propisa te su pojedini aspekti zračnog prometa uređeni obvezujućim međunarodnim konvencijama. U Republici Hrvatskoj je korištenje dronova regulirano Zakonom o zračnom prometu, Pravilnikom o sustavima bespilotnih zrakoplova i Pravilnikom o letenju zrakoplova za koje je zadužena Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo (eng. *Croatian Agency for Civil Aviation - CCAA*). Prema CCAA, broj registriranih korisnika bespilotnih letjelica prešao je brojku 2200, a njihov broj svakodnevno raste pa je takvu dinamiku razvoja potrebno pratiti odgovarajućim regulatornim okvirom. Imajući to u vidu, krenulo se u izradu novog Pravilnika prvenstveno kako bi se riješili problemi uočeni od početka primjene prvog Pravilnika o sustavima bespilotnih zrakoplova iz 2015. godine (NN 49/2015), te zbog lakše provedbe nove Uredbe Europske unije o bespilotnim zrakoplovima koji je stupio na snagu u lipnju ove godine. Novi Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova (NN 104/2018) stupio je na snagu 15. prosinca 2018. godine i odnosi se isključivo na letenje, a ne i na snimanje iz zraka koje je regulirano pravilnikom o snimanju iz zraka.

Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova propisuje uvjete za sigurnu upotrebu bespilotnih letjelica mase do uključivo 150 kilograma gdje su izuzete letjelice koje se koriste u vojnim, carinskim ili policijskim aktivnostima, u akcijama traganja i spašavanja, te gašenja požara. Izuzeti su i letovi u zatvorenom prostoru [22]. Također, prestaju vrijediti operativni i tehnički zahtjevi za izvođenje letačkih operacija te se uvodi nova kategorizacija bespilotnih letjelica prema masi i nove kategorije letačkih operacija (Tablica 2.1):

Tablica 2.1 Kategorije letačkih operacija [25]

| Kategorija letačkih operacija | BESPILOTNI ZRAKOPLOV | | IZVOĐENJE LETAČKIH OPERACIJA | | ZAHTEVI ZA PILOTA NA DALJINU | | ZAHTEVI ZA OPERATORA | |
|-------------------------------|--|---|------------------------------|--------------------------------------|--|--|---|---|
| | Operativna masa bespilotnog zrakoplova | Najveća brzina bespilotnog zrakoplova prema tehničkim specifikacijama proizvođača | Dio dana | Područje izvođenja operacija | Minimalna dob | Polaganje teorijskog/praktičnog ispita | Obaveza evidentiranja/odobrenja operatora | Dokumentacija |
| A | OM < 250 g | < 19 m/s | Danju i/ili Noću | Naseljeno i/ili Nenaseljeno područje | Nije primjenjivo | Nije primjenjivo | Nije primjenjivo | Nije primjenjivo |
| B1 | 250g ≤ OM ≤ 900g | < 19 m/s | Danju | Nenaseljeno područje | 14 godina starosti, ili manje od 14 godina starosti, pod nadzorom punoljetne osobe | Nije primjenjivo | Nije primjenjivo | Nije primjenjivo |
| B2 | OM < 5kg | Nije primjenjivo | Danju i/ili Noću | Naseljeno i/ili Nenaseljeno područje | 16 godina | Nije primjenjivo | Evidencija | Nije primjenjivo |
| C1 | 5 kg ≤ OM < 25kg | Nije primjenjivo | Danju | Nenaseljeno područje | 18 godina | Položen teorijski ispit iz poznavanja primjenjivih zrakoplovnih propisa koji provodi Agencija | Evidencija | Nije primjenjivo |
| C2 | 5 kg ≤ OM ≤ 150kg | Nije primjenjivo | Danju i/ili Noću | Naseljeno i/ili Nenaseljeno područje | 18 godina | a) Položen teorijski ispit iz poznavanja primjenjivih zrakoplovnih propisa koji provodi Agencija b) Demonstracija pripreme leta i letenja | Odobrenje | a) Operativni priručnik b) Zapis o letu c) Upravljanje rizicima |

Sada je bespilotnim letjelicama, prema novom Pravilniku, dopušteno letenje danju osim u iznimnim slučajevima i to na visini do 120 metara iznad tla, osim kada se let odvija u neposrednoj blizini prepreke koja je viša od 120 m u kojem slučaju najveća visina leta smije biti do 50 m iznad visine prepreke. Letenje se mora obavljati na način da horizontalna udaljenost bespilotnog zrakoplova od skupine ljudi nije manja od 30 metara, osim kada se bespilotnim zrakoplovom sudjeluje na zrakoplovnoj priredbi. Letenje se mora obavljati unutar vidnog polja pilota i na udaljenosti najmanje 3 km od rubova i pragova uzletno-sletne staze nekонтроliranog aerodroma, osim kada su posebno predviđene procedure za letenje bespilotnih zrakoplova definirane napatkom za korištenje aerodroma. Letjelicu treba održavati na prikladnoj udaljenosti kako ne bi ugrozila ljude na tlu i ostale korisnike zračnog prostora. Pristup posebnim područjima kao što su zračne luke, ambasade, zatvori i nuklearne elektrane je ograničen ili zabranjen. Registrirane letjelice trebaju biti posebno označene negorivim pločicama koje trebaju sadržavati identifikacijsku oznaku i podatke o vlasniku. Letjelice trebaju biti dizajnirane tako da umanjuju buku i onečišćenje zraka [24].

Izvođenje letačkih operacija bespilotnim letjelicama u kontroliranom zračnom prostoru dozvoljeno je samo uz prethodno odobrenje Hrvatske kontrole zračne plovidbe. Pritom treba voditi računa o tome da se let bespilotnim zrakoplovom odvija na udaljenosti od najmanje 3 km od aerodroma i prilazne ili odlazne ravnine aerodroma [24].

Bespilotnim zrakoplovom dopušteno je letenje:

- u kontroliranom zračnom prostoru izvan prostora polumjera 5 km od referentne točke aerodroma na visini do 50 m iznad razine tla,
- na udaljenosti od najmanje 3 km od rubova i pragova uzletno-sletne staze nekontroliranog aerodroma, osim kada su posebno predviđene procedure za letenje bespilotnih zrakoplova definirane naputkom za korištenje aerodroma.

Također, u Hrvatskoj je aktivna i Hrvatska udruga bespilotnih letjelica (HUBS) kao centralna nacionalna platforma za organizaciju, promicanje i razvoj svih aspekata aktivnosti bespilotnih sustava [5].

3. Forenzika bespilotnih letjelica

Bespilotne letjelice su sastavni dio UAS-a koji, osim same letjelice, obuhvaća i sustav za upravljanje na zemlji te komunikaciju između njih:

- Kontrolni uređaj (računalo ili mobilni uređaj) preko instalirane aplikacije prikazuje podatke snimljene kamerom na dronu, prati podatke o letu te upravlja letačkim podacima.
- Daljinski upravljač je komunikacijski modul koji povezuje kontrolni uređaj s letjelicom postavljanjem mobilne WiFi pristupne točke te uspostavljanjem bežične mreže preko koje prima postavke i instrukcije od kontrolnog uređaja te ih prosljeđuje na dron korištenjem radio signala.
- Letjelica prima radio signal od daljinskog upravljača te izvršava zadane naredbe. S druge strane putem senzora prikuplja podatke, bilježi ih u memorijsku pohranu te povratno šalje preko upravljača na kontrolni uređaj.

Informacije se mogu bilježiti i spremati na memorijsku karticu i u internu memoriju same letjelice, u internu memoriju daljinskog upravljača te na računalo ili mobilni uređaj za upravljanje letjelicom. Budući da se radi o digitalnim sustavima s vlastitom pohranom, procesima i mrežnim komponentama trebaju se kao i mobilni uređaji gledati u tom kontekstu kad je u pitanju digitalna forenzika uz primjenu standardnih tehnika obrade prostora za pohranu. Pravilna forenzička ekstrakcija i precizna analiza tako dobivenih podataka mogu dati vrijedne taktičke i strateške informacije.

Forenzički gledano, dronovi ne predstavljaju novu tehnologiju za koju bi trebalo imati potpuno nove alate. Inovacije na području forenzike bespilotnih letjelica trebaju se prvenstveno bazirati na postojećim forenzičkim tehnikama i alatima koji se mogu prilagoditi komponentama UAS-a koji obuhvaćaju senzore, procesore, pohranu, mrežne konekcije za prijenos i kontrolu podataka kao i vanjske komponente. Iako većina današnjih bespilotnih letjelica koristi Windows i Linux operativni sustav, mogu se naći i platforme otvorenog koda kao što su DroneCode, LibrePilot, FlytOS, ArduPilot i drugi. U većini slučajeva vanjske komponente su daljinski upravljač i kontrolni uređaj na zemlji što je najčešće standardni mobilni uređaj ili prijenosno računalo.

Kontrolni uređaj i letjelica predstavljaju dva osnovna izvora forenzičkih podataka koji uglavnom sadrže podatke o verziji firmvera, serijskom broju drona, promjenama tijekom leta koje se odnose na pokretanje, zaustavljanje, početnu točku leta ili zadržavanje položaja na određenoj visini, zatim praćenje leta te geografsku 3D lokaciju.

Kako bi ispravno odredili lokacijske podatke potrebno je prvo utvrditi njihov način prikaza. Tijekom leta letjelica se kreće kroz 3D koordinatni sustav u kojem je svaki položaj prikazan korištenjem tri koordinate: latituda (širina), longituda (dužina) i altituda ili elevacija koja predstavlja visinu odnosno udaljenost tijela od površine zemlje izraženu u metrima. Jedan od važnijih digitalnih tragova kod forenzike bespilotnih letjelica je lokacijski podatak pod

nazivom HOME_POINT a odnosi se na polazišnu točku definiranu od strane korisnika kroz postavke.

Memorijski prostor za pohranu podataka kod bespilotnih letjelica obuhvaća uklonjive memorijske kartice koje se stavljaju u vidljive utora na dronu, ugrađene memorije kartice (eng. *Embedded Multimedia Controller* – eMMC) do kojih se može doći pažljivim rastavljanjem letjelice te flash internu memoriju.

Za direktni pristup fizičkom disku letjelice potrebno je ostvariti spajanje s dronom koje može biti fizičko spajanje preko USB-a ili u slučaju da ne postoji port na dronu za fizičko spajanje, konekcija se može ostvariti i mrežnim putem. Metoda spajanja preko mreže se koristiti u digitalnoj forenzici kao i u području kibernetičke sigurnosti. Spajanje na dron se ostvaruje preko IP adrese korištenjem protokola Telnet (eng. *Telephone Network*) ili FTP (eng. *File Transfer Protocol*). Spajanje preko Telneta omogućava pristup cijelom operacijskom sustavu drona dok spajanje FTP-om omogućava pristup samo internoj mapi na putanji `\data\fftp\internal_000`. Sistemske mape i konfiguracijske datoteke su dostupne korištenjem standardnih naredbi. Uvid u pristup i izvršene naredbe za upravljanje dronom može se ostvariti pregledom sadržaja skrivene datoteke (`root/.ash_history`) koja se nalazi u sistemske particiji [59].

Ekstrakcija i analiza podataka o leta predstavlja središnji dio forenzike drona, dok identifikacijski podaci nemaju toliki značaj kao kod forenzike mobilnih uređaja.

3.1 Alati otvorenog koda

Po definiciji, alati otvorenog koda (eng. *Open Source Tools*) su alati koji se mogu proučavati, nadograđivati i bez ograničenja modificirati te kopirati i dalje distribuirati bez ili eventualno s minimalnim ograničenjima. Podaci dobiveni korištenjem alata otvorenog koda nisu verificirani i kao takvi nisu prihvatljivi kao dokazni materijal u zakonskim predmetima. Također, budući da su lako dostupni za korištenje i modificiranje povećan je rizik od kontaminacije zloćudnim sadržajem.

Najveća kolekcija alata otvorenog koda se nalazi na hosting servisu GitHub koji omogućava ne samo dostupnost alata već i mogućnost testiranja, modificiranja i nadogradnje, te kreiranja vlastitih repozitorija. Razvojno okruženje forenzičkih alata otvorenog koda uglavnom se odnosi na skriptne jezike kao što su Python, Java ili Perl, ali se mogu naći i alati pisani u programskom jeziku C.

Navedeni alati se koristiti za ekstrakciju podataka iz platformi UAS-a, parsiranje tako izvezenih podataka, te dekodiranje i konvertiranje u oblik koje se može prikazati korištenjem raznih preglednika.

- **DankDroneDownloader (DDD)** [28] – Windows alat za skidanje firmvera DJI dronova.
- **PyDum1** [29] – exploit pisan kao Python skripta omogućava nadogradnju firmvera na više i na niže verzije.
- **DUM1rub** [30] – implementacija exploita PyDum1 omogućava postavljanje korisničkog firmare-a.
- **FIRM_cache** [31] – radi ekstrakciju sadržaja system.bin DJI dronova.

- **Phantom-firmware-tools** [32] – alat za ekstrakciju, modifikaciju i sažimanje firmvera za DJI Phantom3
- **EXIFtool** [33] – ekstrakcija EXIF podataka iz fotografija korištenjem komandne linije.
- **DJI_FTPD** [34] – reverzni inženjering DJI dronova nakon modifikacije Busybox FTPD koja uključuje AES kriptiranje datoteka.
- **JDJIttools** [35] – kolekcija raznih Java skripti za FTPD dekriptiranje, dekodiranje binarnih datoteka i izvršavanje DUMML (eng. *DJI Universal Markup Language*) naredbi.
- **DJI Assistant** [36] – aplikacija razvijena od samog proizvođača, nije forenzička.
- **DUMMLdore** [37] – exploit u obliku Windows programa za flash-anje system.bin datoteka na DJI dronovima.
- **RedHerring** [10] – exploit za DJI dronove koji omogućava *root* pristup.
- **DJI_rev** [38] – repozitorij s Python skriptama za reverzni inženjering DJI dronova.
- **dji_system.bin** [39] – arhiva DJI system.bin datoteka. Korisna kod nadogradnje na više ili na niže verzije firmvera korištenjem drugih exploita.
- **ExtractDJI** – alat za izdvajanje pojedinačnih DAT datoteka iz jedne sažete datoteke dobivene ekstrakcijom.
- **DUMMLRacer** [40] – exploit za dobivanje *root* pristupa DJI dronovima. Pisan u Javi, a koristi se preko naredbi iz komandne linije.
- **DatCon** [41] – Java konverter i dekođer DAT datoteka.
- **PHOTome** [42] – alat za prikaz metapodataka fotografija.
- **AwesomeMemDumper** [43] – aplikacija za Android koja snima procese DJI app i kopira sadržaj memorije na memorijsku karticu.
- **DJIFIX** [44] – alat za popravljjanje oštećenih DJI video zapisa i fotografija.
- **ST2DASH** [45] – pomoću telemetrijskih parametara radi konverziju video zapisa u oblik pogodan za vizualizaciju preko DashWare-a.
- **DroneLogBook** [46] – alat za upravljanje svim zapisima o aktivnostima i procesima na dronu.
- **CsvView** [17] – konverter za vizualizaciju podataka iz CSV datoteka dobivenih alatom DatCon.
- **QtADB** [13] – Windows file explorer predstavlja grafičko sučelje za ADB naredbe
- **DROP** (Drone Open source Parser) [47] – Python skripta koja, pokretanjem iz komandne linije, radi ekstrakciju DAT datoteka iz interne memorije DJI dronova.
- **DJI-LOG-PARSER** [48] – Java skripta za parsiranje DJI logova.
- **JPEGsnoop** [49] – alat za dekodiranje JPEG datoteka i analizu dobivenih metapodataka.
- **MikroKopterTool** [20] – Windows program sa postavkama za sve komponente MikroKoptera.
- **TXTlogToCSVtool** [50] – konverter uvezenih logova TXT formata u CSV format.
- **GPX-Viewer** [51] – računalni program za prikaz svih telemetrijskih podataka GPX datoteka snimljenih dronom MikroKopter.
- **CamTriggerTool** [52] – kreira zasebne tekstualne datoteke s logovima za telemetriju snimljenih fotografija.
- **MapsMadeEasy** [53] – web aplikacija za učitavanje fotografija snimljenih dronom te kreiranje mapa na osnovu učitanih podataka.
- **AirData** [54] – originalnog naziva HealthyDrones, predstavlja cloud platformu za snimanje i analizu stanja drona korisnu za moguću prevenciju zračnih nezgoda.

Osim navedenih alata, postoje komercijalni forenzički alati koji podržavaju akviziciju i analizu digitalnih dokaza iz bespilotnih letjelica:

- CellebriteUFED
 - DJI Phantom3
 - DJI Phantom4
 - DJI Mavic Pro
 - DJI Inspire2
 - DJI Spark
- MSAB XRY
 - DJI Phantom3
 - DJI Phantom4
 - DJI drone generic
 - ParrotBEBOP FlightLog
 - ParrotBEBOP Media Files
- OxygenForensicDetective
 - Drone image files (raw)
 - Drone log files (.dat)
 - Physical Drone forensic via USB cable (exploit)

Neki od komercijalnih alata koriste implementirane skripte koje omogućavaju *root* pristup memoriji drona.

3.2 Metodologija

Rad prezentira forenzičku ekstrakciju i analizu digitalnih tragova nađenih na bespilotnim letjelicama i daljinskom upravljaču korištenjem alata otvorenog koda i standardnih alata.

Opisane studije slučaja fokusirane su na tri bespilotne letjelice DJI Mavic Pro [56], DJI Spark [57] i MikroKopter Okto XL 6S12 [14]. S obzirom da su Mavic Pro i Spark bespilotne letjelice bazirane na istoj DJI generičkoj platformi s mogućom razlikom u broju verzije firmvera, metode i koraci primijenjeni kod ekstrakcije podataka iz drona DJI Spark nisu ponavljane jer su prethodno navedene u opisu forenzičke obrade DJI Mavic Pro.

Budući da ekstrakcija podataka iz mobilnog uređaja korištenog kao kontrolni uređaj za upravljanje dronom nije predmet ovog rada, forenzika kontrolnog uređaja je napravljena komercijalnim alatom, te je u radu opisana analiza digitalnih tragova DJI aplikacije instalirane na Android mobilnom uređaju.

Forenzička obrada bespilotnih letjelica prezentiranih u radu provedena je kroz tri koraka:

- **Priprema**

Prije nego što se krene s forenzičkom ekstrakcijom letjelice potrebno je prikupiti i analizirati sve dostupne podatke o vrsti drona koji je planiran za obradu, kao što su informacije o proizvođaču, čipsetu, operacijskom sustavu, firmveru, kablovima za spajanje, specifičnim konektorima itd.

- **Ekstrakcija**

Napravljena je ekstrakcija podataka iz memorijskih kartica i interne memorije letjelice i daljinskog upravljača.

- Metode statičke analize pri obradi prostora za pohranu memorijskih kartica.
- Metode live forenzike interne memorije drona i daljinskog upravljača.

- **Analiza**

Svi dobiveni forenzički podaci se analiziraju s obzirom na tri okruženja:

- fizičke lokacije izvučenih podataka kao što su letjelica, daljinski upravljač, kontrolni uređaj, baterija i senzori,
- procesni podaci koji se odnose na komunikaciju, dokumentaciju ili aktivnosti vezane za planiranje i pripremu leta, definiranje putanje, provođenje i upravljanje podacima,
- tijek razmjene podataka vezan za komunikaciju između letjelice i drugih dijelova bespilotnog sustava koji podupiru aktivnost.

4. Studija slučaja – DJI Mavic Pro

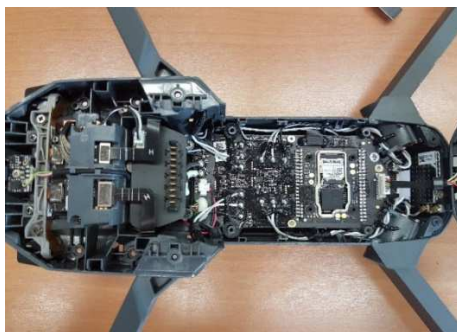
4.1 Ekstrakcija podataka iz memorijske kartice

Akvizicija memorijske kartice predstavlja najjednostavniji način obrade, a budući da uglavnom sadrži multimedijalne zapise obrada se bazira na kreiranju memorijske slike medija kao i kod drugih forenzičkih obrada, te korištenju standardnih alata specijaliziranih za pregled multimedijalnih datoteka. Nešto složeniji dio se odnosi na fizički pristup memorijskoj kartici i njezino izdvajanje iz same letjelice posebno ako se radi o dronu s integriranom karticom.

Od rujna 2017. godine, DJI Mavic Pro ima samo jednu memorijsku karticu. Do tada je imao dvije na koje su se odvojeno spremali zapisi o letu i multimedijalni sadržaji kao što su fotografije i video zapisi. Model i datum proizvodnje drona može se utvrditi korištenjem online servisa preko serijskog broja letjelice [8].

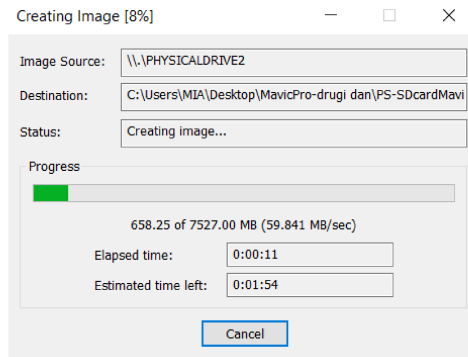
Da bi pristupili integriranoj memorijskoj kartici, dron je potrebno rastaviti provođenjem slijedećih koraka [9]:

- Isključiti dron prije početka rastavljanja i izvaditi bateriju
- Skinuti sve propelere zakretanjem pod pritiskom u označenom smjeru otključavanja.
- Koristeći odvijač odviti šest vijaka za skidanje gornjeg poklopca.
- Okrenuti dron naopako i odviti dva vijka iz plastičnog poklopca.
- Pomoću alata za otvaranje ukloniti dva plastična poklopca.
- Koristeći odvijač odviti dva vijka ispod oba plastična poklopca.
- Koristeći odvijač ukloniti dva vijka koja se nalaze u blizini nosa letjelice.
- Okrenuti desnu stranu drona prema gore i podići poklopac koristeći plastični alat za otvaranje. Poklopac podizati od kraja letjelice prema nosu jer se naprijed nalazi još jedan konektor.
- Otpustiti poklopac plastičnim alatom, odspojiti konektor i skinuti poklopac.
- Pincetom maknuti srebrni aluminijski pokrov koji se nalazi preko memorijske kartice.
- Pažljivo ukloniti ljepilo oko memorijske kartice, pomaknuti memorijsku karticu u poziciju za otvaranje i povući je van (Slika 4.1).

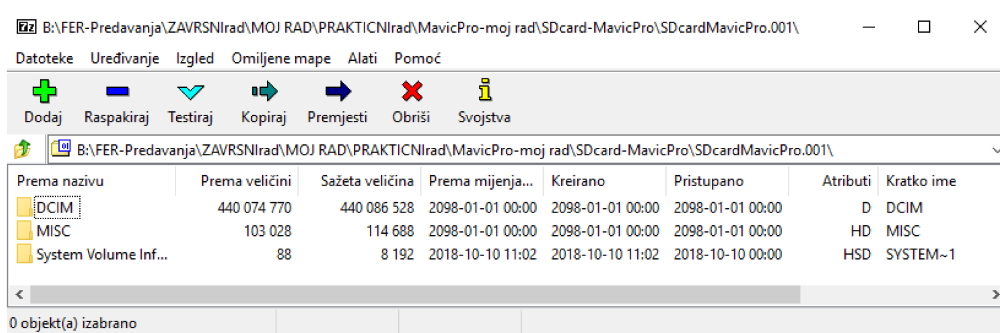


Slika 4.1 Prikaz interne memorijske kartice u dronu Mavic Pro

Alat FTK Imager je korišten za kreiranje slike memorijske kartice (Slika 4.2), a da bi se izbjegla kontaminacija izvornog medija korišten je WriteBlocker. Akvizicija podataka je napravljena na kreiranoj memorijskoj slici izvornog medija za pohranu i njezin sadržaj je prikazan na Slici 4.3.

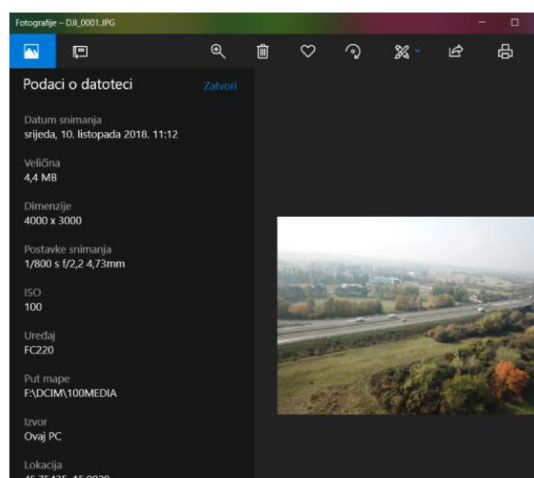


Slika 4.2 FTK Imager

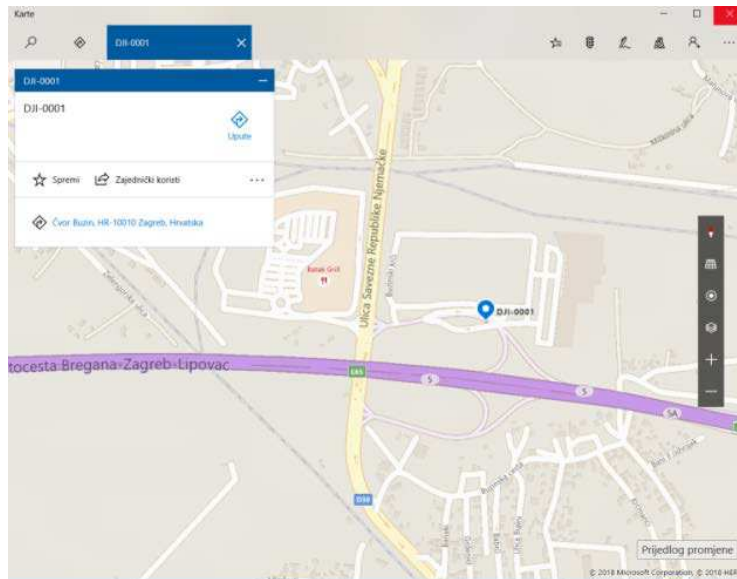


Slika 4.3 Sadržaj memorijske kartice

Korištenjem komercijalnih alata za pregled fotografija, iz svake fotografije se mogu očitati podaci kao što su datum i vrijeme nastanka fotografije, veličina, postavke snimanja, te podaci o geografskoj lokaciji (Slika 4.4). Do fizičke lokacije se može doći kroz aplikaciju Karte korištenjem podataka o lokaciji (Slika 4.5).



Slika 4.4 Prikaz podataka o slici aplikacijom Fotografije

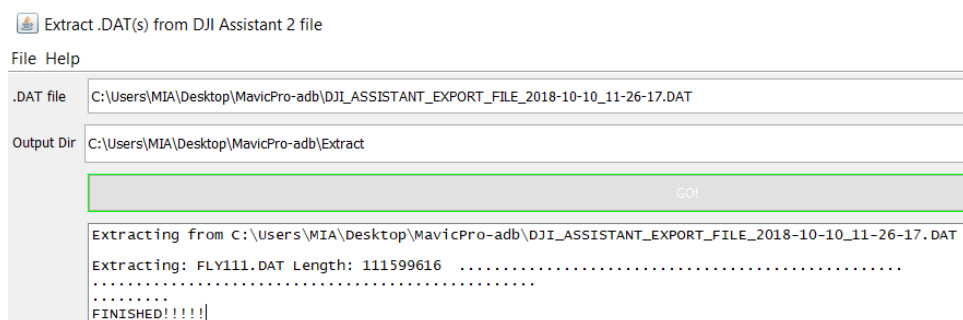


Slika 4.5 Prikaz fizičke lokacije u aplikaciji Karte

Isti postupak je proveden na svim fotografijama pohranjenim na memorijskoj kartici. Video zapisi su obrađeni komercijalnim alatima za pregled multimedijalnih zapisa.

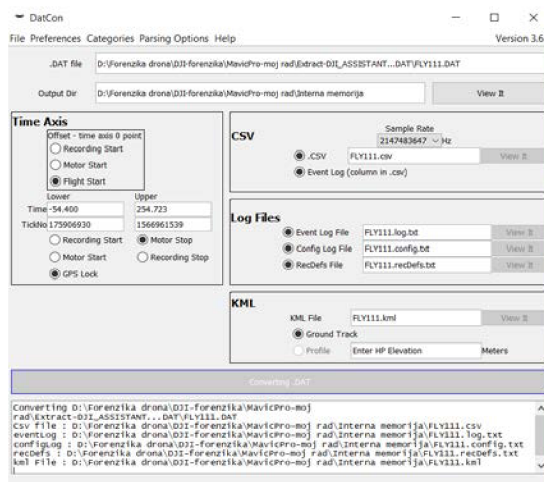
4.2 Ekstrakcija podataka iz interne memorije korištenjem DJI Assistanta

Za fizičko spajanje drona na računalo korišten je program DJI Assistant2 koja omogućava komunikaciju i obostranu razmjenu podataka između DJI bespilotnih letjelica i računala. Svi podaci o letu (eng. *Flight Data*) pohranjeni su u internu memoriju letjelice. Korištenjem DJI Assistant2 podaci su izvezeni i lokalno spremljeni na računalo u obliku jedne datoteke generičkog naziva DJI_ASSISTANT_EXPORT_FILE_[datum i vrijeme].DAT. Budući da se svi letački zapisi pohranjeni zajedno, korišten je program ExtractDJI za raspakiravanje logova o letu iz izvezene datoteke (Slika 4.6).



Slika 4.6 Izdvajanje pojedinačnih zapisa alatom ExtractDJI

Pojedinačni zapisi o letu generičkog naziva FLY[broj].DAT obrađeni su programom DatCon3.6.0. kako bi dobili prikaz putanje leta, konfiguracijske i log podatke (Slika 4.7).



Slika 4.7 Prikaz podataka alatom DatCon

Prikaz putanje leta dobiven je otvaranjem KML datoteke standardnim alatom za geografski prikaz (Slika 4.8).



Slika 4.8 Vizualizacija putanje leta komercijalnim alatom

4.3 Ekstrakcija podataka iz interne memorije korištenjem exploita

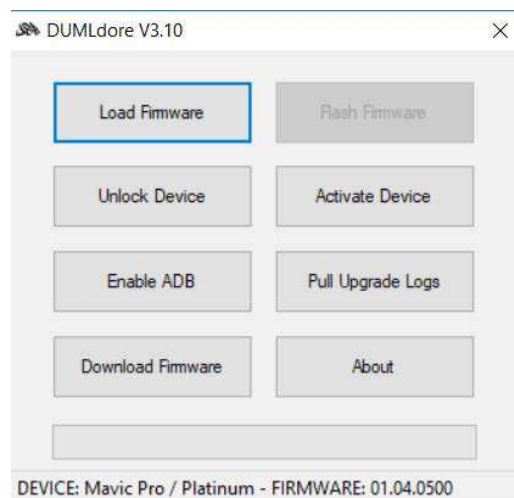
Ekstrakcija podataka iz interne memorije je napravljena korištenjem ranjivosti koja omogućava privremeni *root* pristup dronu i korištenje ADB (eng. *Android Data Bridge*) naredbi. Ova ranjivost je primjenjiva na letjelicama koje su bazirane na operativnom sustavu Android 4.4x.

Korišten je RedHerring exploit pisan u Java programskom jeziku [10]. Također je dostupan pod nazivom DUMLRacer kao i pod nazivom DUMLdore. Komercijalni alat za forenziku mobilnih uređaja i dronova Oxygen Forensics Detective koristi navedeni exploit za pristup internoj memoriji drona.

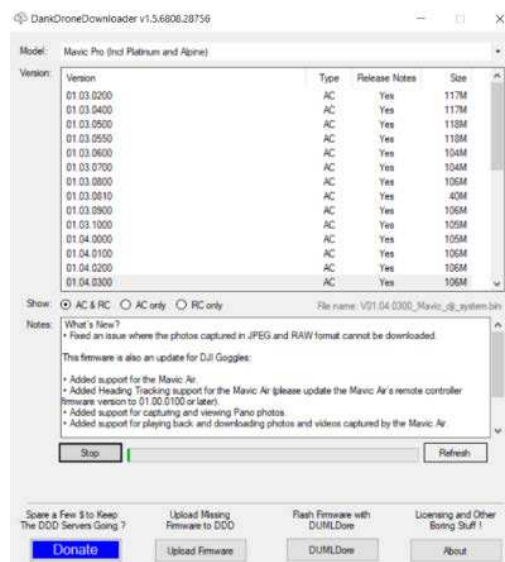
Za potrebe ekstrakcije podataka korištenjem navedenog exploita, na računalo instalirani su programi Java [11] i Android Studio [12].

Budući da se navedeni način pristupa internoj memoriji može napraviti samo na DJI letjelicama do verzije firmvera 01.04.0400, potrebno je napraviti spuštanje firmvera na nižu verziju. Tim postupkom se osigurava primjena skripte za *root* pristup internoj memoriji a ne gube se osobni podaci i zapisi o letu. Spuštanje firmvera na nižu verziju je moguće napravili preko aplikacije DJI Assistant2 ili korištenjem alata DankDroneDownloader i DUMLDore kao što je napravljeno za potrebe ovog rada.

Nakon što je utvrđeno da je na dronu verzija firmvera 01.04.0500 (Slika 4.9), napravljeno je skidanje niže verzije za isti model letjelice (Slika 4.10) i spremljeno je lokalno na računalo. Zatim je napravljeno spuštanje tog firmvera niže verzije na letjelicu koja je spojena usb konekcijom na računalo. Provjerom je utvrđeno da je na dronu ciljani firmver verzije 01.04.300.

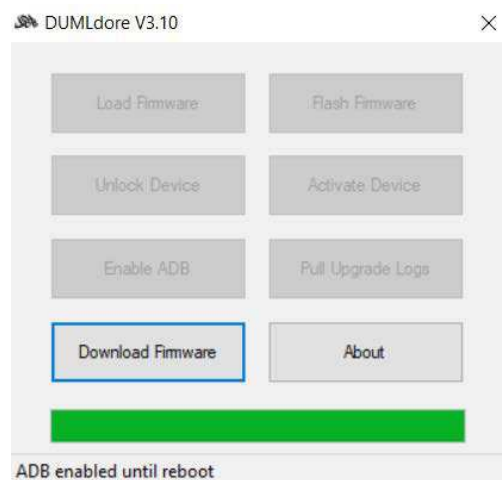


Slika 4.9 Određivanje verzije firmvera alatom DUMLDore



Slika 4.10 Spuštanje firmvera na nižu verziju alatom DDD

Exploit je omogućio privremeni *root* pristup internoj memoriji (Slika 4.11) do idućeg ponovnog pokretanja operativnog sustava na dronu. *Root* pristup omogućava zadavanje i izvršavanje ADB naredbi za izvoz podataka iz interne memorije.



Slika 4.11 Omogućavanje privremenog *root* pristupa alatom DUMLDore

4.3.1 Izvoz podataka iz interne memorije korištenjem naredbi komandne linije

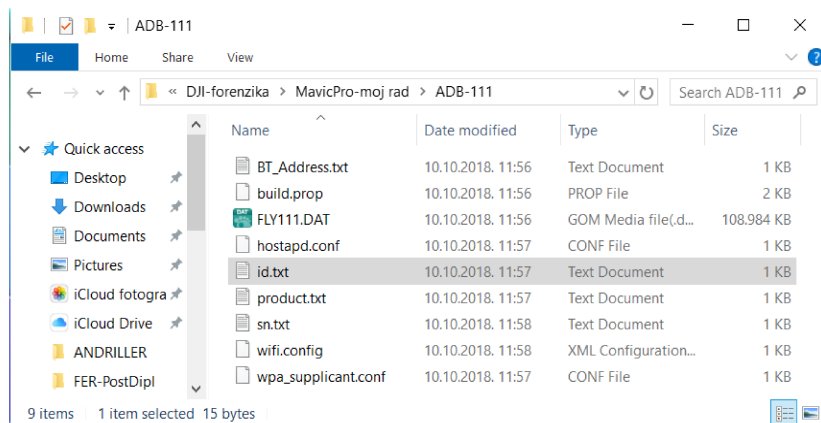
Ekstrakcija podataka iz drona je napravljena pokretanjem skripte DUMLRacer iz komandne linije programa Command Prompt (Slika 4.12) a izvezeni podaci spremljeni su lokalno. U izvezenim podacima (Slika 4.13) se nalaze zapisi o letu kao i konfiguracijski podaci, WiFi parametri, Bluetooth adresa te serijski i identifikacijski broj letjelice (Slika 4.14).

```
Command Prompt
C:\Users\MIA\DUMLRacer-master>cd out
C:\Users\MIA\DUMLRacer-master\out>cd artifacts
C:\Users\MIA\DUMLRacer-master\out\artifacts>cd DUMLRacer_jar
C:\Users\MIA\DUMLRacer-master\out\artifacts\DUMLRacer_jar>java -jar DUMLRacer.jar
DUMLRacer 1.1
Copyright 2017/2018 APIs Research LLC
jcase in the house!

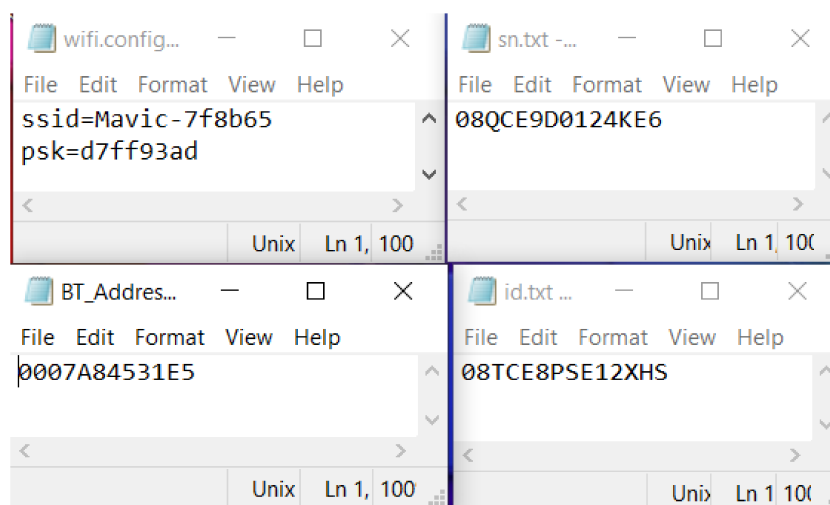
This software comes with NO WARRANTY AT ALL. If it bricks your equipment, your fault not anyone else's.
By using this software, you agree to take full responsibility of any harm, damage, injury or loss of life from using your
equipment improperly.
Do not use this software to illegally modify your equipment. Do not redistribute this software. Do not use it in any
commercial venture without first getting written permission from APIs Research LLC.

java -jar DUMLRacer.jar <mode>
Modes:
AC - target AC
RC - target RC
GL - target GL
```

Slika 4.12 Ekstrakcija podataka alatom DUMLRacer



Slika 4.13: Podaci izvezeni iz interne memorije drona Mavic Pro



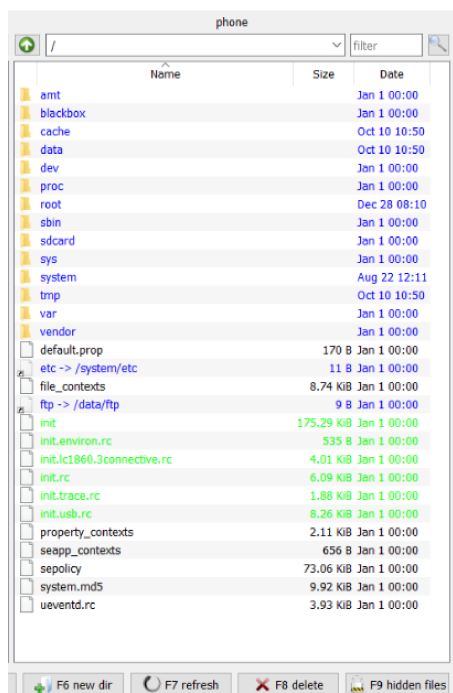
Slika 4.14: Identifikacijski i konfiguracijski podaci iz interne memorije

Osim pokretanjem skripte, izvoz podataka sa drona se može napraviti izvršavanjem standardnih adb naredbi:

- devices – popis spojenih uređaja
- pull – kopiranje sa drona na računalo
- push – kopiranje sa računala na dron
- shell – pregled mapa i datoteka

4.3.2 Izvoz podataka iz interne memorije korištenjem grafičkog sučelja

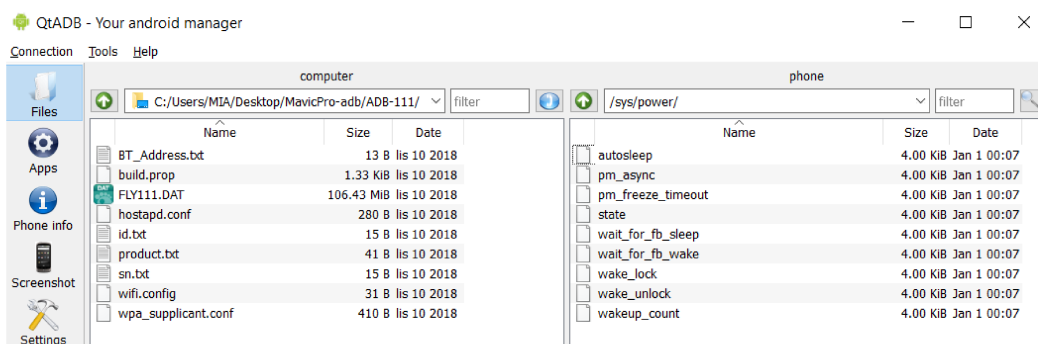
Za izvoz podataka korišten je program QtADB [13] koji predstavlja grafičko sučelje za ADB naredbe omogućujući drag'n'drop kopiranje podataka. Spajanjem drona na računalo i pokretanjem navedenog programa dobiven je ispis datotečne strukture interne memorije drona (Slika 4.15). Sve mape i datoteke interne memorije mogu se drag'n'drop kopirati na računalo. Na ovaj način se može napraviti brza i jednostavna ekstrakcija podataka.



Slika 4.15 Prikaz datotečne strukture interne memorije drona alatom QtADB

Putanje na kojima se nalaze podaci interesantni za analizu (Slika 4.16):

- */blackbox/flyctrl/* – zapisi o letu u formatu FLY[broj].DAT
- */system/build.prop* – sadrži informacije koje se automatski generiraju pokretanjem shell skripte a odnose se na hardver, platformu, Linux verziju, model, SDK verziju
- */amt/BT/Bluetooth_Address.txt* – Bluetooth adresa
- */data/misc/wifi/wifi.config* – podaci o WiFi protokolu, SSID, lozinka
- */amt/board/* – identifikacijski broj
- */amt/product/sn.txt* – serijski broj
- */amt/* – WiFi konfiguracija



Slika 4.16: Prikaz putanja digitalnih tragova alatom QtADB

Iz datoteke build.prop utvrđeno je da se radi o dronu baziranom na starijoj verziji Linuxa 3.10.62. Budući da se klasične log datoteke ne mogu kopirati iz drona jer nema mapu */var/log/* u kojem bi bili logovi, korištena je ADB naredba *adb logcat-d > logcat.txt* za izvoz logova na računalo. Sadržaj logcat.txt datoteke prikazan je na (Slika 4.17).

```
logcat.txt - Notepad
File Edit Format View Help
|----- beginning of /dev/log/main
W/DUSSL01[ linux_tty_write: 467]:( 212): /dev/ttyGS0 timeout!
I/DUSSL5a[ fan_do_scan: 197]:( 212): temp is not changed:77
W/DUSSL01[ linux_tty_write: 467]:( 212): /dev/ttyGS0 timeout!
W/DUSSL01[ linux_tty_write: 467]:( 212): /dev/ttyGS0 timeout!
W/DUSSL53[SW_Uav_Download_Send_Thr: 351]:( 216): download dsock send failed: in 282 out -2
F/DUSSL51[ cs_storage_update_state:2370]:( 222): PC connected, Switch to U disk mode.
W/DUSSL01[ linux_tty_write: 467]:( 212): /dev/ttyGS0 timeout!
E/DUSSL43[ event_handle_one: 246]:( 210): no req_cb for event msg_id 00030009
E/DUSSL43[ event_task_entry: 302]:( 210): handle_one_event() error: -1010
W/DUSSL01[ linux_tty_write: 467]:( 212): /dev/ttyGS0 timeout!
I/DUSSL5a[ sys_process_motor_logic: 27]:( 212): sys_info->conn_pc = 1 app_type = 1. changer: 0
I/DUSSL5a[ ums_state_change: 67]:( 212): eState=1,eUmsState=1
W/DUSSL01[ linux_tty_write: 467]:( 212): /dev/ttyGS0 timeout!
```

Slika 4.17 Sadržaj logcat.txt

4.4 Ekstrakcija podataka iz daljinskog upravljača

Daljinski upravljač (eng. *Remote Controller* - RC) je zapravo platforma na kojoj se nalazi operativni sustav Android s memorijskim prostorom u koji se pohranjuju konfiguracijski podaci i informacije o komunikaciji s dronom (Slika 4.18). Metode koje se koriste za ekstrakciju podataka iz interne memorije drona, primjenjuju se i za ekstrakciju podataka iz interne memorije daljinskog upravljača.



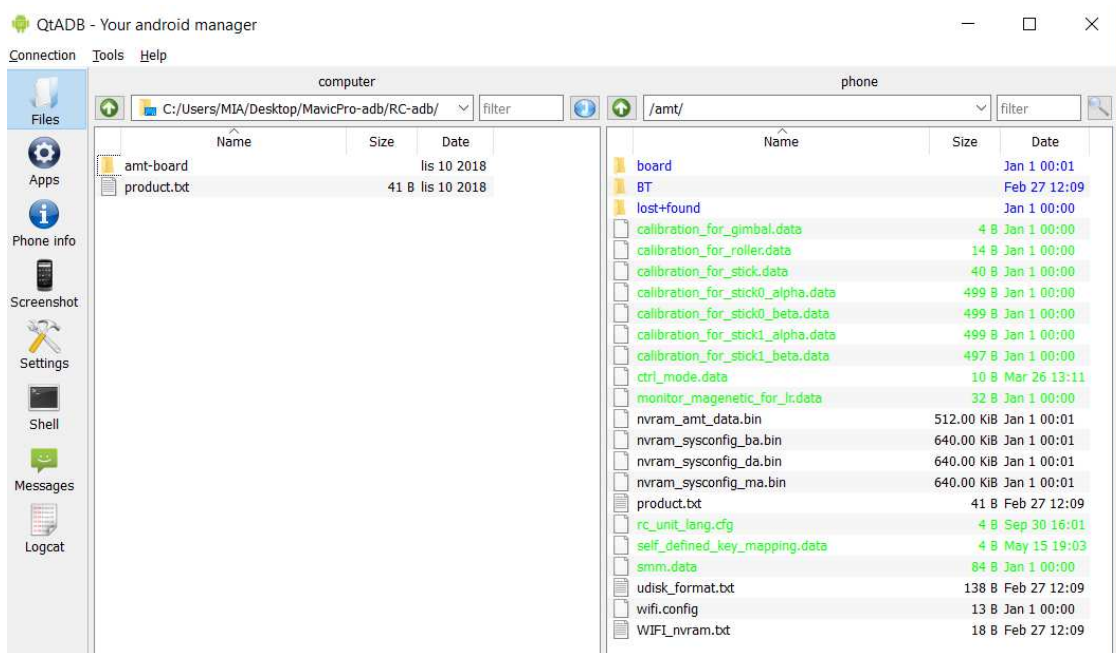
Slika 4.18 RC i mobilni uređaj bežično spojeni s dronom

Budući da se na njemu također nalazi Android OS, daljinski upravljač je spojen na računalo, te je pokretanjem naredbe `java -jar DUMLRacer.jar RC` ponovljen postupak opisan u poglavlju 4.3 za iskorištavanje ranjivosti kojom se dobiva *root* pristup internoj memoriji (Slika 4.19).

```
Command Prompt - java -jar DUMLRacer.jar RC
java -jar DUMLRacer.jar <mode>
Modes:
AC - target AC
RC - target RC
GL - target GL
C:\Users\MIA\DUMLRacer-master\out\artifacts\DUMLRacer_jar>java -jar DUMLRacer.jar RC
DUMLRacer 1.1
Copyright 2017/2018 APIs Research LLC
jcase in the house!
```

Slika 4.19 Osiguravanje *root* pristupa internoj memoriji daljinskog upravljača

Izvoz podataka iz memorije daljinskog upravljača na računalo napravljen je korištenjem grafičkog sučelja ADB naredbi (Slika 4.20).



Slika 4.20 Izvoz podataka iz interne memorije daljinskog upravljača alatom QtADB

Može se očitati arhitektura čipseta te putanje na kojima se nalaze podaci potencijalno zanimljivi za daljnju analizu:

- */amt/BT/* – Bluetooth adresa
- */data/misc/wifi/* – WiFi protokol
- */amt/board/id.txt* – identifikacijski broj
- */amt/product.txt* – serijski broj
- */blackbox/flyctrl/* – zapisi o letu

5. Studija slučaja - DJI Spark

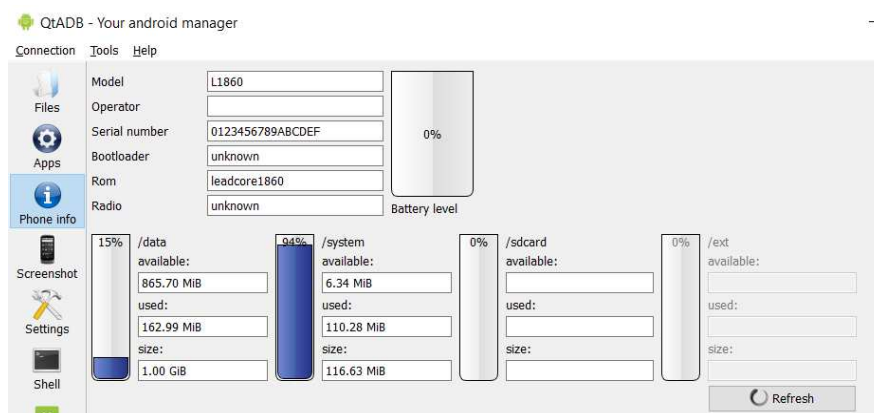
Za forenzičku ekstrakciju podataka iz memorijske kartice te za omogućavanje *root* pristupa internoj memoriji drona primjenjuju se koraci i alati opisani u prethodnom poglavlju. Budući da dron DJI Spark korišten za potrebe ovog rada ima verziju firmvera 01.00.100 nije bilo potrebno raditi *downgrade* na nižu verziju već se odmah pristupilo izvršavanju Java skripte DUMLRacer. Nakon što je osiguran *root* pristup dronu, sadržaj interne memorije je pregledan korištenjem ADB naredbi. Popis mapa interne memorije prikazan je na Slici 5.1.

```
ca. Command Prompt - adb shell
list of devices attached
* daemon not running; starting now at tcp:5037
* daemon started successfully
0123456789ABCDEF      device

C:\Users\MIA>adb shell
root@wm100_dz_ap0001_v5:/ # ls
amt
blackbox
cache
data
default.prop
dev
etc
file_contexts
ftp
init
init.environ.rc
init.lc1860.3connective.rc
init.rc
```

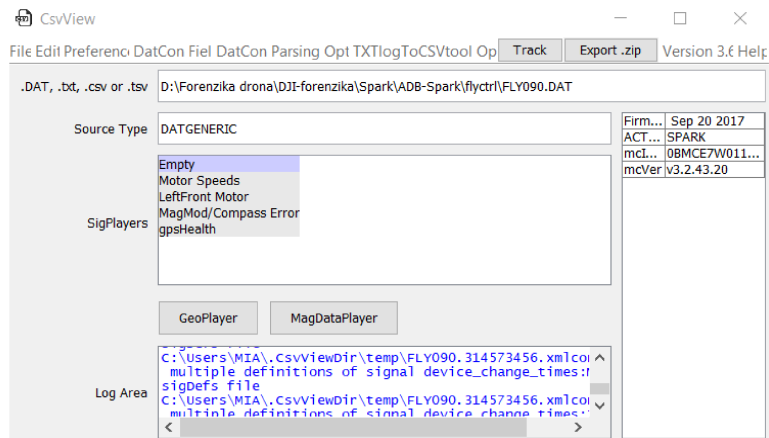
Slika 5.1 Prikaz mapa interne memorije ADB naredbama

Uvid u podatke o dronu koji uključuju stanje baterije, količinu podataka na putanji */data/* i */system/* (Slika 5.2) ostvaren je alatom za GUI ADB, a isti je korišten i za pregled mapa memorije, te izvoz na računalo.

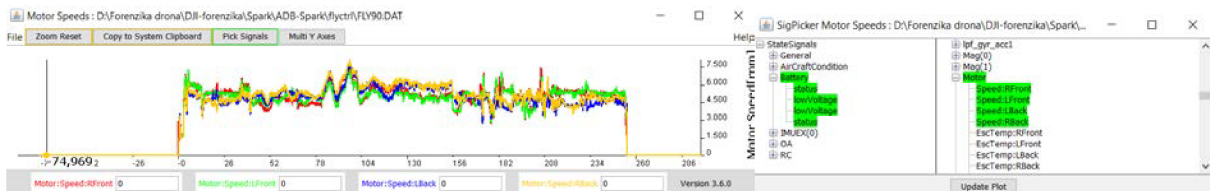


Slika 5.2 Prikaz sistemskih i korisničkih podataka alatom QtADB

Podaci o letu su zapisani u datoteke FLY[broj].DAT na putanji `/blackbox/flyctrl/` interne memorije te su nakon izvoza na računalo dekodirani i vizualizirani alatom CsvView (Slika 5.3). Neki od dobivenih podataka su trenutna brzina vrtnje motora što može biti interesantno za analizu npr. utvrđivanje mogućeg tereta na dronu (Slika 5.4).

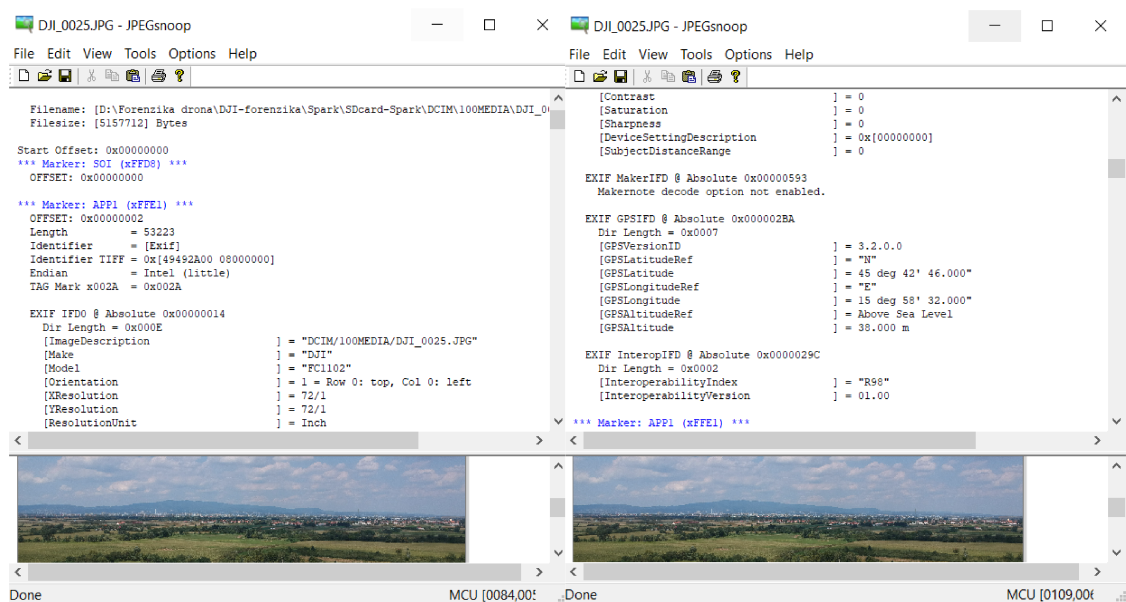


Slika 5.3 Dekodiranje i konvertiranje DAT datoteka alatom CsvView



Slika 5.4 Prikaz stanja motora i napona baterije alatom CsvView

Sadržaj memorijske kartice izvezen je postupkom opisanim u 4.1 a analiza fotografija napravljena je programom JPEGsnoop te su očitani metapodaci kao što su datum, vrijeme, GPS podaci i uređaj kojim je fotografija snimljena (Slika 5.5).



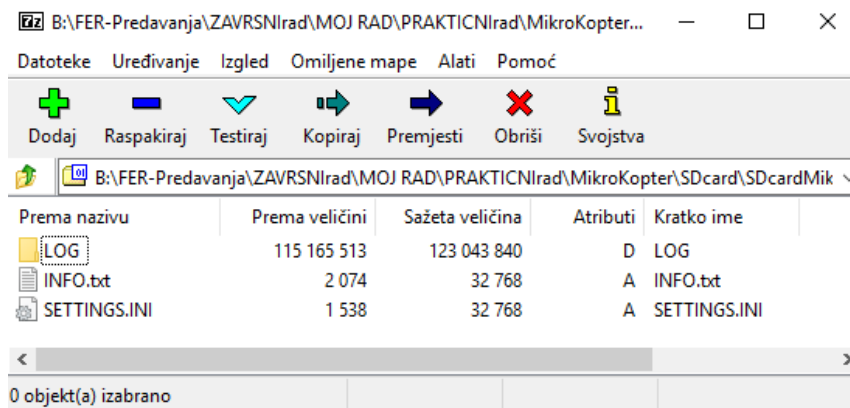
Slika 5.5 Metapodaci fotografije dekodirani alatom JPEGsnoop

6. Studija slučaja – MikroKopter

Bespilotna letjelica MikroKopter Okto XL 6S12 je specijalizirana za profesionalno snimanje fotografija i video zapisa. Radi se o dronu dimenzija 735x735x450mm, nosivosti do 5kg s maksimalnim vremenom leta do 45 minuta [14]. Osim u internu memoriju, ugrađeni Flight Recorder sprema sve važne operativne podatke i na memorijsku karticu [15].

6.1 Ekstrakcija podataka iz memorijske kartice

Akvizicija memorijske kartice je napravljena alatom FTK Imager uz korištenje WriteBlocker-a. Daljnja obrada je nastavljena na memorijskoj slici kartice (Slika 6.1).



Slika 6.1 Sadržaj memorijske kartice MikroKoptera

Analiza sadržaja memorijske kartice:

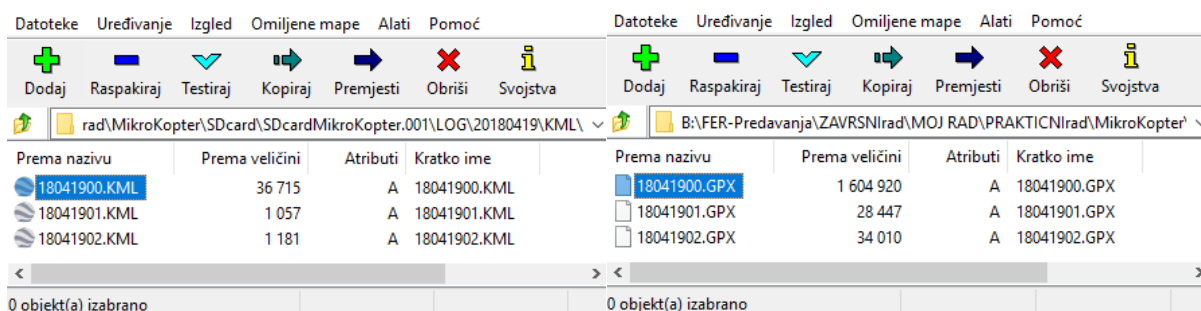
- **Settings.ini** je konfiguracijska datoteka iz koje su očitane postavke:
 - # KML logging interval in ms
 - # GPX logging interval in ms
 - # Start GPX logfile as soon as motors start
 - # HoTT Speaks '100m' when distance or altitude > 100m
 - # 1:GPS+GLNAS 2:GPS+BEIDOU 3:GPS 4:GLNAS 5:BEIDOU
 - # GPS SBAS mode
 - # GPS QZSS mode
 - # value for the WP-Event Trigger at Auto-Distance
 - # the MK increases the WP-target radius after this timeout
 - # dynamic for flying waypoints in percent (0-200)
 - # Wait on Waypoint until Out-Pattern is finished
 - # NMEA Output interval in ms
 - # Maximum speed for coming home in 0,1m/sec
 - # Maximum speed for dynamic position hold in 0,1m/sec

Desired Accuracy of position in percent

GPS configmode

- **Info.txt** sadrži informacije o kartici, licenci kao i upute o stavljanju memorijske kartice u navigacijski modul NaviCtrl koji je dio matične ploče FlightCtrl MikroKoptera. NaviCtrl ima ugrađeni kompas i izvršava slijedeće navigacijske funkcije: PositionHold, ComingHome, CareFree, FollowMe i WaypointFly. Svi telemetrijski podaci zabilježeni tijekom leta se spremaju u LOG mapu na memorijsku karticu.
- **LOG mapa** se sastoji od niza mapa imenovanih prema vremenu nastanka i svaka od njih sadrži mapu u kojoj se nalaze .GPX zapisi i mapu sa pridruženim .KML zapisima.

Za potrebe specijalističkog rada izdvojen je jedan zapis iz LOG mape (Slika 6.2).

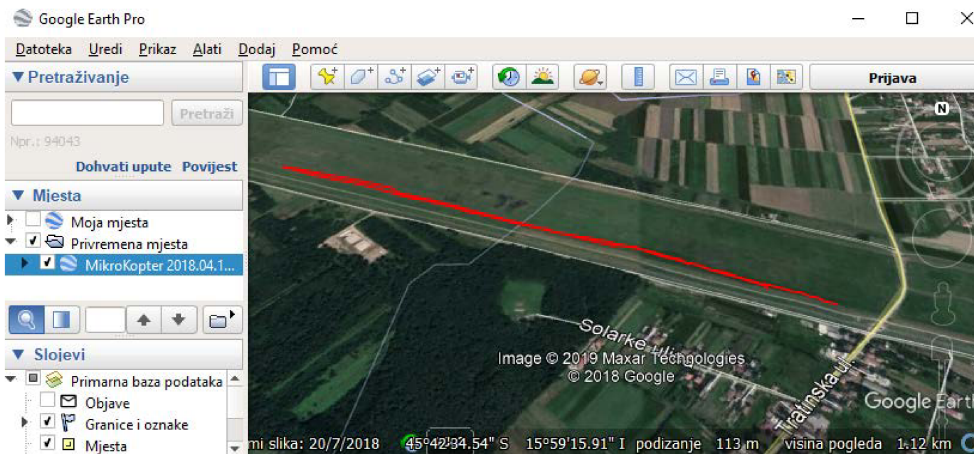


Slika 6.2 Izdvojeni KML i pripadni GPX zapisi

KML (eng. *Keyhole Markup Language*) datoteka bilježi geografske podatke (Slika 6.3) a otvorena je programom GoogleEarth kako bi se dobio vizualni prikaz koordinata. Odabrani zapis (18041900.KML) prikazan je na Slici 6.4.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2.2">
<Document>
<name>MikroKopter 2018.04.19 Nr:1 (18041901)</name>
<Style id="MK_gps-style">
<LineStyle>
<color>ff0000ff</color>
<width>2</width>
</LineStyle>
</Style>
<Placemark>
<name>Flight</name>
<styleUrl>#MK_gps-style</styleUrl>
<LineString>
<tessellate>1</tessellate>
<altitudeMode>relativeToGround</altitudeMode>
<coordinates>
+15.9934169,+45.7088630,0.264
+15.9934170,+45.7088630,0.282
+15.9934172,+45.7088630,0.304
```

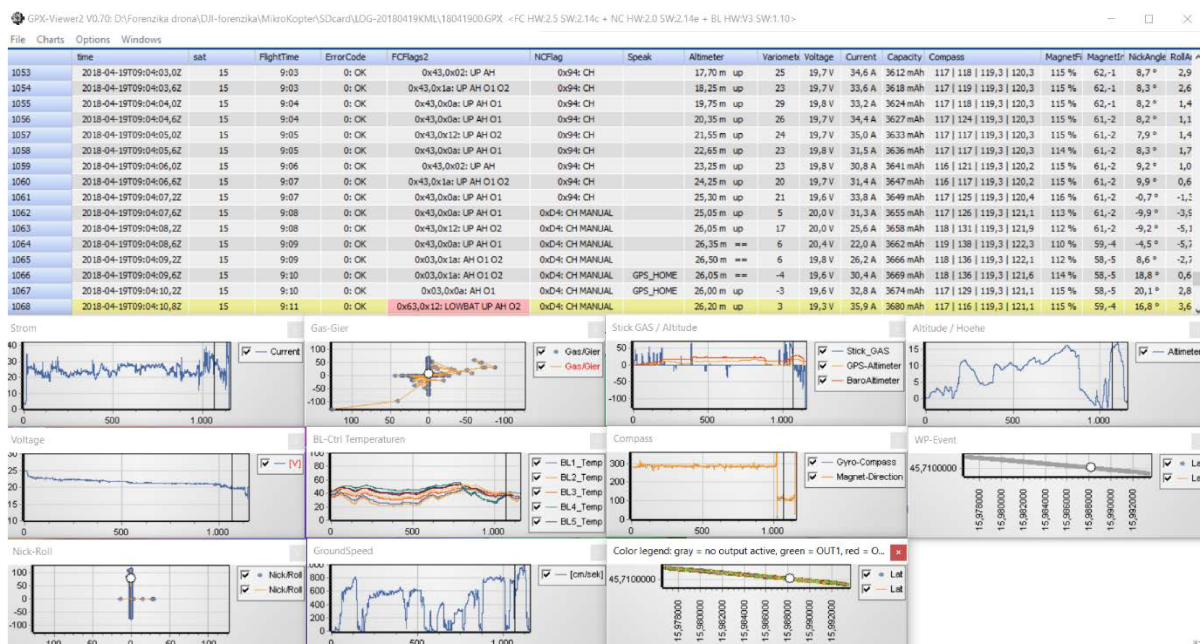
Slika 6.3 Geografski podaci odabrane KML datoteke



Slika 6.4 Vizualni prikaz odabrane KML datoteke

GPS podaci u GPS Exchange formatu spremaju se u GPX datoteku. Bilježe se tri vrste lokacijskih podataka: putna točka (eng. *Waypoint*), ruta (eng. *Route*) i trasa (eng. *Track*) [16].

Obradu i analiza podataka spremljenih u 18041900.GPX datoteci napravljena je korištenjem programa GPX-Viewer [17] prikazanim na Slici 6.5.



Slika 6.5 Dekodiranje GPX datoteke alatom GPX-Viewer

Dobiveni podaci daju uvid u napon akumulatora, vrijeme leta, kapacitet baterije, visinu, trenutnu potrošnju, broj povezanih GPS satelita, brzinu leta, udaljenost i smjer prema početnom polaznom položaju (HOME_POINT), te moguće poruke o pogreškama.

Izdvojene su tri situacije zanimljive za analizu:

- Podizanja MikroKoptera (Slika 6.6). Utvrđen je datum i vrijeme aktivacije drona, vrijeme koje je upaljen proveo na tlu i trenutak kad je poletio. Vremenski slijed se može pratiti u sekundama.

GPX-Viewer2 V0.70: D:\Forenzika\drone\DJI-Forenzika\MikroKopter\SDcard\LOG-20180419KML\18041900.GPX -FC HW:2.5 SW:2.14c + NC HW:2.0 SW:2.14e + BL HW:V3 SW:1.10>

| time | sat | FlightTime | ErrorCode | FCFlags2 | NCFlag | Speak | Altimeter | Variometr/ Voltage | Current | Capacity | Compass | MagnetR | MagnetDir |
|------|------------------------|------------|-----------|----------|----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|----------|---------|---------|-----------|
| 1065 | 2018-04-19T09:04:09.22 | 15 | 9:09 | 0:OK | 0x03,0x1a: AH O1 O2 | 0x04: CH MANUAL | 26,50 m == | 6 19,6 V 26,2 A 3666 mAh | 118 136 119,3 122,1 | 112 % | 58,-5 | | |
| 1066 | 2018-04-19T09:04:09.62 | 15 | 9:10 | 0:OK | 0x03,0x1a: AH O1 O2 | 0x04: CH MANUAL | GPS_HOME 26,05 m == | -4 19,6 V 30,4 A 3669 mAh | 118 136 119,3 121,6 | 114 % | 58,-5 | | |
| 1067 | 2018-04-19T09:04:10.22 | 15 | 9:10 | 0:OK | 0x03,0x0a: AH O1 | 0x04: CH MANUAL | GPS_HOME 26,00 m up | -3 19,6 V 32,8 A 3674 mAh | 117 129 119,3 121,1 | 115 % | 59,-4 | | |
| 1068 | 2018-04-19T09:04:10.82 | 15 | 9:11 | 0:OK | 0x63,0x12: LOWBAT UP AH O2 | 0x04: CH MANUAL | 26,20 m up | 3 19,3 V 35,9 A 3680 mAh | 117 116 119,3 121,1 | 115 % | 59,-4 | | |
| 1069 | 2018-04-19T09:04:11.22 | 15 | 9:11 | 0:OK | 0x63,0x02: LOWBAT UP AH | 0x04: CH MANUAL | 26,35 m == | 5 19,7 V 29,4 A 3683 mAh | 117 113 119,3 120,6 | 114 % | 61,-2 | | |
| 1070 | 2018-04-19T09:04:11.82 | 15 | 9:12 | 0:OK | 0x23,0x1a: LOWBAT AH O1 O2 | 0x04: CH MANUAL | UNDERVOLTAGE 26,75 m == | 7 19,7 V 28,9 A 3688 mAh | 116 103 119,3 119,9 | 114 % | 63,00 | | |
| 1071 | 2018-04-19T09:04:12.22 | 15 | 9:12 | 0:OK | 0x03,0x0a: AH O1 | 0x04: CH MANUAL | 26,80 m == | 2 19,6 V 29,5 A 3691 mAh | 115 101 119,3 118,7 | 114 % | 63,00 | | |
| 1072 | 2018-04-19T09:04:12.82 | 15 | 9:13 | 0:OK | 0x03,0x02: AH | 0x04: CH MANUAL | 26,75 m == | 0 19,7 V 29,8 A 3696 mAh | 115 101 119,3 118,3 | 113 % | 63,00 | | |
| 1073 | 2018-04-19T09:04:13.22 | 15 | 9:13 | 0:OK | 0x03,0x1a: AH O1 O2 | 0x02: PH MANUAL | 26,65 m == | -2 19,8 V 28,7 A 3699 mAh | 114 103 119,3 118,0 | 114 % | 62,-1 | | |
| 1074 | 2018-04-19T09:04:13.82 | 15 | 9:14 | 0:OK | 0x03,0x02: AH | 0x02: PH MANUAL | 26,80 m == | 2 19,8 V 27,8 A 3703 mAh | 115 113 119,3 118,3 | 113 % | 62,-1 | | |
| 1075 | 2018-04-19T09:04:14.42 | 15 | 9:14 | 0:OK | 0x03,0x1a: AH O1 O2 | 0x02: PH MANUAL | 26,80 m == | 1 19,8 V 27,6 A 3708 mAh | 111 108 115,3 114,3 | 113 % | 61,-2 | | |
| 1076 | 2018-04-19T09:04:14.82 | 15 | 9:15 | 0:OK | 0x03,0x1a: AH O1 O2 | 0x02: PH MANUAL | 26,90 m == | 3 19,8 V 27,7 A 3713 mAh | 109 111 112,3 112,5 | 113 % | 60,-3 | | |
| 1077 | 2018-04-19T09:04:15.42 | 15 | 9:15 | 0:OK | 0x03,0x0a: AH O1 | 0x02: PH MANUAL | GPS_HOLD 26,75 m == | -1 19,7 V 28,6 A 3716 mAh | 109 109 112,3 112,8 | 113 % | 60,-3 | | |
| 1078 | 2018-04-19T09:04:15.82 | 15 | 9:16 | 0:OK | 0x03,0x02: AH | 0x02: PH MANUAL | GPS_HOLD 26,80 m == | 1 19,6 V 29,2 A 3720 mAh | 109 112 112,3 113,0 | 114 % | 60,-3 | | |
| 1079 | 2018-04-19T09:04:16.42 | 15 | 9:16 | 0:OK | 0x03,0x1a: AH O1 O2 | 0x02: PH MANUAL | 26,75 m == | 0 19,6 V 28,6 A 3723 mAh | 109 111 112,3 113,1 | 113 % | 61,-2 | | |
| 1080 | 2018-04-19T09:04:16.82 | 15 | 9:17 | 0:OK | 0x03,0x02: AH | 0x02: PH MANUAL | 26,80 m == | 1 19,7 V 28,2 A 3728 mAh | 110 108 112,3 113,3 | 114 % | 61,-2 | | |
| 1081 | 2018-04-19T09:04:17.42 | 15 | 9:17 | 0:OK | 0x03,0x02: AH | 0x02: PH MANUAL | 27,05 m == | 3 19,4 V 29,6 A 3730 mAh | 109 110 112,3 113,0 | 114 % | 61,-2 | | |
| 1082 | 2018-04-19T09:04:18.02 | 15 | 9:18 | 0:OK | 0x03,0x1a: AH O1 O2 | 0x02: PH MANUAL | 27,05 m == | 1 19,4 V 31,3 A 3735 mAh | 109 109 112,3 112,5 | 113 % | 63,00 | | |
| 1083 | 2018-04-19T09:04:18.42 | 15 | 9:18 | 0:OK | 0x03,0x0a: AH O1 | 0x02: PH MANUAL | 27,00 m == | -1 19,4 V 31,7 A 3741 mAh | 108 105 112,3 114 | 114 % | 63,00 | | |
| 1084 | 2018-04-19T09:04:19.02 | 15 | 9:19 | 0:OK | 0x03,0x02: AH | 0x02: PH MANUAL | 27,00 m == | -1 19,5 V 30,3 A 3744 mAh | 109 100 112,3 112,3 | 114 % | 63,00 | | |
| 1085 | 2018-04-19T09:04:19.62 | 15 | 9:19 | 0:OK | 0x03,0x1a: AH O1 O2 | 0x02: PH MANUAL | 26,95 m == | 0 19,5 V 28,5 A 3749 mAh | 109 101 112,3 112,3 | 113 % | 62,-1 | | |
| 1086 | 2018-04-19T09:04:20.22 | 15 | 9:20 | 0:OK | 0x03,0x02: AH | 0x02: PH MANUAL | 27,05 m == | 2 19,6 V 27,8 A 3751 mAh | 108 105 112,3 112,2 | 113 % | 62,-1 | | |
| 1087 | 2018-04-19T09:04:20.62 | 15 | 9:20 | 0:OK | 0x03,0x1a: AH O1 O2 | 0x02: PH MANUAL | 26,95 m == | 0 19,5 V 27,7 A 3756 mAh | 106 104 110,3 109,7 | 112 % | 60,-3 | | |
| 1088 | 2018-04-19T09:04:21.02 | 15 | 9:21 | 0:OK | 0x03,0x12: AH O2 | 0x02: PH MANUAL | 26,95 m == | 0 19,6 V 26,6 A 3761 mAh | 106 109 109,3 109,5 | 113 % | 60,-3 | | |
| 1089 | 2018-04-19T09:04:21.62 | 15 | 9:21 | 0:OK | 0x03,0x0a: AH O1 | 0x02: PH MANUAL | 26,90 m == | 0 19,7 V 26,1 A 3765 mAh | 105 112 108,3 108,5 | 112 % | 60,-3 | | |
| 1090 | 2018-04-19T09:04:22.02 | 15 | 9:22 | 0:OK | 0x03,0x0a: AH O1 | 0x02: PH MANUAL | 27,15 m == | 5 19,7 V 24,9 A 3768 mAh | 104 111 107,3 108,1 | 113 % | 60,-3 | | |
| 1091 | 2018-04-19T09:04:22.62 | 15 | 9:22 | 0:OK | 0x83,0x1a: DN AH O1 O2 | 0x02: PH MANUAL | 27,40 m down | 6 19,7 V 25,0 A 3772 mAh | 105 112 108,3 108,8 | 113 % | 60,-3 | | |
| 1092 | 2018-04-19T09:04:23.22 | 15 | 9:23 | 0:OK | 0x03,0x02: DN AH | 0x02: PH MANUAL | 27,55 m down | 4 19,6 V 25,8 A 3774 mAh | 106 111 108,3 109,6 | 113 % | 61,-2 | | |
| 1093 | 2018-04-19T09:04:23.82 | 15 | 9:23 | 0:OK | 0x83,0x1a: DN AH O1 O2 | 0x02: PH MANUAL | 27,40 m == | -1 19,5 V 26,8 A 3779 mAh | 106 105 109,3 110,1 | 113 % | 62,-1 | | |
| 1094 | 2018-04-19T09:04:24.22 | 15 | 9:24 | 0:OK | 0x03,0x12: AH O2 | 0x02: PH MANUAL | 27,90 m == | 2 19,6 V 25,7 A 3783 mAh | 106 106 109,3 110,2 | 114 % | 63,00 | | |
| 1095 | 2018-04-19T09:04:24.62 | 15 | 9:24 | 0:OK | 0x03,0x0a: AH O1 | 0x02: PH MANUAL | 27,55 m == | 4 19,7 V 24,9 A 3786 mAh | 106 101 109,3 110,2 | 113 % | 63,00 | | |
| 1096 | 2018-04-19T09:04:25.22 | 15 | 9:25 | 0:OK | 0x03,0x1a: AH O1 O2 | 0x02: PH MANUAL | 27,40 m == | -1 19,6 V 25,9 A 3790 mAh | 106 102 109,3 109,9 | 113 % | 63,00 | | |
| 1097 | 2018-04-19T09:04:25.82 | 15 | 9:25 | 0:OK | 0x03,0x02: AH | 0x02: PH MANUAL | 27,35 m == | 0 19,6 V 24,9 A 3792 mAh | 106 103 109,3 109,6 | 113 % | 63,00 | | |
| 1098 | 2018-04-19T09:04:26.22 | 15 | 9:26 | 0:OK | 0x03,0x02: AH | 0x02: PH MANUAL | 27,25 m down | -2 19,7 V 23,8 A 3797 mAh | 105 105 109,3 109,2 | 113 % | 63,00 | | |
| 1099 | 2018-04-19T09:04:26.82 | 15 | 9:27 | 0:OK | 0x83,0x1a: DN AH O1 O2 | 0x02: PH MANUAL | 27,25 m down | -2 19,8 V 21,9 A 3800 mAh | 106 103 109,3 109,3 | 112 % | 62,-1 | | |
| 1100 | 2018-04-19T09:04:27.22 | 15 | 9:27 | 0:OK | 0x83,0x12: DN AH O2 | 0x02: PH MANUAL | 27,25 m down | 1 19,8 V 21,8 A 3802 mAh | 106 103 109,3 109,3 | 112 % | 61,-2 | | |
| 1101 | 2018-04-19T09:04:27.82 | 15 | 9:27 | 0:OK | 0x83,0x0a: DN AH O1 | 0x02: PH MANUAL | 27,20 m down | 0 20,0 V 20,7 A 3806 mAh | 106 107 109,3 109,5 | 111 % | 61,-2 | | |

Slika 6.8 Pad napona baterije i zadržavanje pozicije MikroKoptera

Osim navedenih podataka pogodnih za analizu kretanja letjelice i nosivosti tereta, interesantni su info podaci koji osim raspona snage motora i baterije, bilježe ime i prezime vlasnika drona, adresu, grad i država, email adresu i broj licence (Slika 6.9).

GPX-Info

Firmware-/Hardwareinfo:
FC HW:2.5 SW:2.14c + NC HW:2.0 SW:2.14e + BL HW:V3 SW:1.10

FK_Time: 157min
GpsVersion: 3.201
GSS_System: 1

License:
name: _____ Zagreb, 10000 Croatia #5962
email: _____
features: 2000m-range-limit,non-commercial
expires: none

settings:
Number: 3,Easy
Receiver: HOTT
CompassOffset: 0
FCorientation: 0
GeoFlag: 3.3
Neutral: 8189,8108,1012
Kalibr: 8194,8109,1012
FlagSensor: internal,DLM
FailSafeTime: 120
MaxAltitude: 150
VarioFailSafe: On
Profile: 6h 33 55

| | Min | Max |
|-------------|---------|---------|
| Voltage | 16,5 V | 25,0 V |
| Current | 0,5 A | 41,8 A |
| MagnetField | 103,0 % | 116,0 % |
| sat | 13,0 | 15,0 |

Slika 6.9 Identifikacijski podaci o vlasniku letjelice

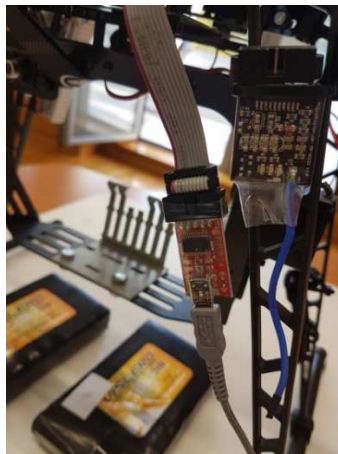
6.2 Ekstrakcija podataka iz interne memorije

Za pristup internoj memoriji potrebno je MikroKopter spojiti s računalom instaliranjem FTDI (eng. *Future Technology Devices International*) drivera [18] te kreirati virtualni COM port instaliranjem VCP (eng. *Virtual COM Ports*) drivera [19]. Ovaj postupak omogućuje da spojeni uređaji budu vidljivi na komunikacijskom ulazu (Slika 6.10).



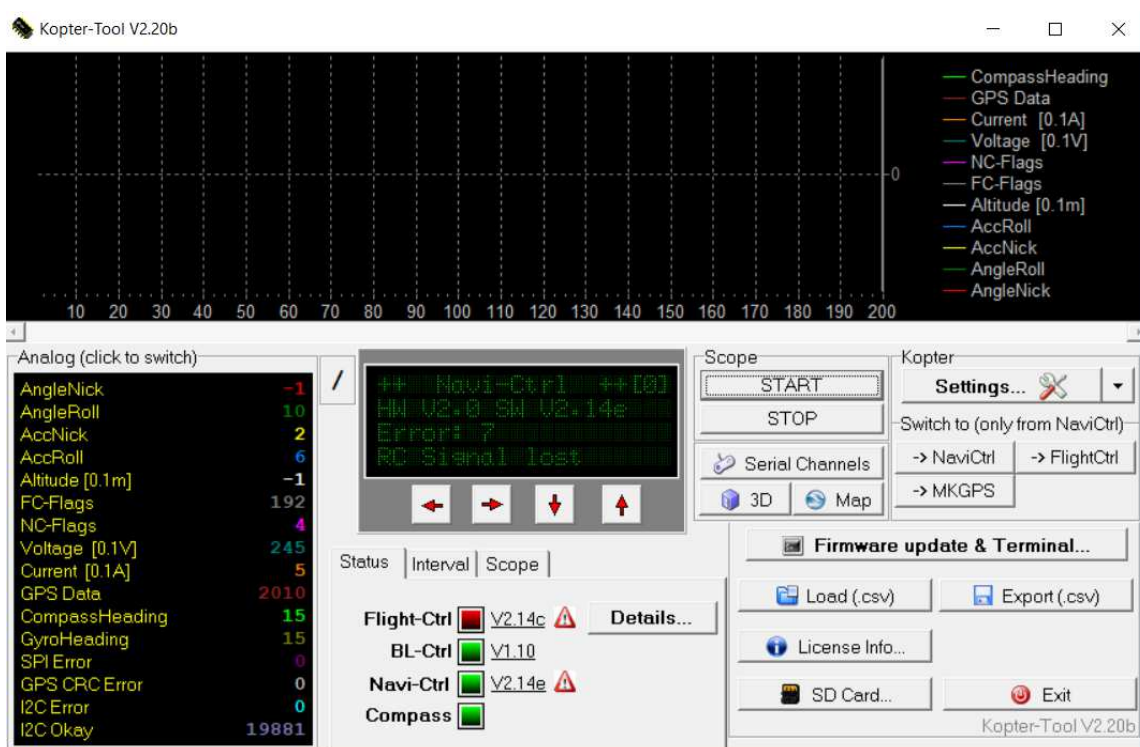
Slika 6.10 Konverzija prijenosa signala [26]

Za spajanje MikroKoptera na računalo korišten je MK-USB kabel (Slika 6.11).



Slika 6.11 Spajanje drona s računalom

Korišten je program MikroKopter-Tool [20] za pristup i pregled podataka na dronu (Slika 6.12). Preko navedenog programa se također vrši ažuriranje firmvera.



Slika 6.11 Pregled podataka i upravljanje postavkama drona alatom Kopter-Tool

7. Razvoj i daljnje mogućnosti bespilotnih letjelica

Sve veća autonomija bespilotnih letjelica, sposobnost leta u roju i konstrukcija letjelica koja vodi prema sve manjim dimenzijama tri su značajna područja u kontekstu tehnološkog razvoja bespilotnih letjelica. Svaka nova generacija dronova je sve manja, lakša i funkcionalnija od prethodne generacije zahvaljujući novim i lakšima materijalima i učinkovitijim baterijama. Za nekoliko godina možemo očekivati komercijalno dostupne dronove veličine insekata.

Po pitanju autonomije, očekuje se primjena tehnologija koje omogućavaju autonomne operacije u kojima je daljinski upravljač djelomično ili potpuno isključen. Također, za očekivati je veća autonomija u određivanju letačkih ruta, izbjegavanju prepreka, stabiliziranju letjelice, prilagodbe promjenjivim vremenskim uvjetima, te razvoj obrambenih reakcija u situacijama koje to zahtijevaju.

Razvojem veće autonomije, otvara se mogućnost i komunikacijskog povezivanja više dronova u rojeve u svrhu zajedničkog leta određene formacije kao i razvoj „suradnje“ u smislu preuzimanja određenih zadatah aktivnosti od susjednog drona u roju u slučaju oštećenja ili bilo kojeg drugog razloga koji ga onemogućava u izvršavanju definirane aktivnosti. Tehnološka ograničenja bi se mogla odnositi na činjenicu da dronovi u rojevima moraju pojačano međusobno komunicirati što vodi prema povećanju komunikacijskih kanala.

Po pitanju forenzike bespilotnih letjelica, budući razvoj bi trebao ići u smjeru otklanjanja ograničenja zbog nedostatka verificiranih forenzičkih alata. Idući razvojni korak bi bio kreiranje alata za parsiranje koji bi mogao analizirati originalne podatke u izvornom formatu i osigurati čitljive i pouzdane podatke. Fokus bi trebao biti na procedurama održanja integriteta eventualnih tragova i metodama konekcije s dronom kao i povećanju sigurnosti komunikacijskih kanala budući da rast komunikacijskih kapaciteta vodi većoj sigurnosnoj ranjivosti. Prisutnost bežičnih mreža otvara mogućnost mrežnih napada kao što su sniffing, jamming i hijacking.

Antiforenzika je novo područje za istraživanje i razvoj kao protumjera aktivnostima iz područja kibernetičkog kriminala. Jedna od protumjera mogla bi uključivati alat za GPS spoofing primjenjiv na programskoj razini mobilnih platformi. Također, značajan sigurnosni propust može predstavljati mogućnost hakiranja drona u svrhu slikanja i snimanja aktivnosti u područjima sa zabranom leta kao što su aerodromi, vojne baze, energetska postrojenja itd. Trenutno na tržištu postoje programski modificirani DJI dronovi koji onemogućavaju NFZ ograničenja, brišu ograničenja visine leta, te horizontalne i vertikalne brzine [60].

8. Zaključak

Svrha pokretanja forenzičke obrade bespilotnih letjelica je nalaženje digitalnih tragova koji bi dali odgovore na pitanja vezana za aktivnosti letjelice kao i identifikaciju korisnika letjelice. Polazišna točka je definiranje pitanja za koja tražimo odgovore u digitalnim tragovima:

- Što se dogodilo tijekom leta?
- S koje lokacije je dron poletio?
- Na kojoj visini je dron letio?
- Je li dron imao teret? Gdje ga je ispustio?
- Tko je vlasnik letjelice?
- Jesu li snimane fotografije i video zapisi?
- Ima li dron modificirani firmvere?
- Može li se predmetni dron povezati s nekim drugim operacijama i aktivnostima?
- Koji su drugi uređaji, pojedinci i računari povezani s predmetnim dronom?
- Koju vrstu komunikacije je koristio prema kontrolnom uređajem?

Forenzičke obrade i analize provedene na tri odabrana modela bespilotnih letjelica rezultirale su određenom količinom izvučenih digitalnih tragova koji se mogu podijeliti u tri kategorije (Tablica 8.1). Prvu čine podaci koji omogućavaju identifikaciju korisnika drona, druga kategorija se odnosi na interpretaciju podataka o letu prikupljenih putem raznih senzora u svrhu rekonstrukcije letačke rute, nalaženja polazišne točke (HOME_POINT) te otkrivanja aktivnosti drona tijekom leta dok treću kategoriju čine multimedijalni podaci, fotografije i snimljeni video zapisi.

Tablica 8.1 Digitalni tragovi kod forenzike UAV-a

| | DJI Mavic Pro | | DJI Spark | | MikroKopter Octo | |
|--------------------------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|
| | Interna memorija | SD kartica | Interna memorija | SD kartica | Interna memorija | SD kartica |
| Identifikacijski podaci | | | | | | |
| Serijski broj | + | | + | | + | |
| Identifikacijski broj | + | | + | | + | |
| Licenca | + | | + | | + | |
| Vlasnik | + | | + | | + | |
| WiFi podaci | + | | + | | + | |
| Bluetooth podaci | + | | + | | + | |
| Letački podaci | | | | | | |

| | | | | | | |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| DAT datoteke | + | | + | | + | |
| KML podaci | + | + | + | + | + | + |
| GPX datoteke | | | | | | + |
| HOME_POINT, NFZ | + | | + | | + | + |
| Multimedijalni podaci | | | | | | |
| Fotografije | | + | | + | | + |
| Video zapisi | | + | | + | | + |

Putanje digitalnih tragova nađenih na DJI dronovima, daljinskom upravljaču i kontrolnom uređaju prikazani su u Tablici 8.2. Nađeni su na memorijskoj kartici (fotografije i video zapisi), u internoj memoriji drona (datum, vrijeme, GPS podaci, visina, brzina..), na kontrolnom uređaju s računalnom ili mobilnom aplikacijom (fotografije i video zapisi, e-mail, korisničko ime, lozinka, datum, vrijeme, GPS pozicije, visina, brzina...) i internoj memoriji daljinskog upravljača.

Tablica 8.2 Putanje digitalnih tragova kod forenzike DJI UAS-a

| Memorijska kartica | |
|---|---|
| Fotografije | /DJI_[broj].jpg (Metapodaci, lokacija) |
| Video zapisi | /DJI_[broj].mov (Metapodaci, lokacija) |
| KML datoteke | /[broj].KML (GPS podaci) |
| GPX datoteke | /[broj].GPX (GPS podaci) |
| Interna memorija | |
| DAT datoteke | /FLY[broj].DAT (GPS podaci, baterija, kompas..) |
| /amt/ | Bluetooth i WiFi podaci za konekciju i identifikaciju (serijski broj i identifikacijski broj) |
| /blackbox/flyctrl/ | Podaci o letu (GPS koordinate) |
| /system/build.prop | Sistemske podaci (platforma, Linux verziju, model, SDK verziju, hardver) |
| DJI aplikacija na Android mobilnom uređaju | |
| <code>\apps\dji.pilot\db\dji.db</code> | Podaci o letu, NFZ, mail adresa pilota, HOME_POINT |
| <code>\apps\dji.pilot\sp\dji.pilot.xml</code> | Identifikacijski podaci, serijski broj uređaja |
| <code>\InternalStorage\DJI\dji.pilot\FlightRecord</code> | DJIFlightRecord_[broj].txt (GPS, kompas, baterija, korisničko ime, serijski broj) |
| <code>\com.android.providers.settings\flattened-data</code> | WiFi podaci za konekciju i autentifikaciju |
| <code>\InternalStorage\DJI\dji.pilot\DJI_RECORD</code> | Video zapisi u mp4 format, txt datoteke s metapodacima |

| | |
|--|---|
| <i>\InternalStorage \DJI \dji.pilot \CACHE_IMAGE</i> | Fotografije snimljene dronom, EXIF podaci |
| <i>\InternalStorage \DJI \dji.pilot \CACHE_IMAGE/NFZ</i> | DJIFlightRecord_[broj].txt (GPS lokacije NFZ) |
| <i>\InternalStorage \DJI \dji.pilot \LOG\CACHE</i> | Zapisi o aktivnostima drona |
| <i>\InternalStorage \DJI \dji.pilot \LOG\ERROR_LOG</i> | Zapisi o greškama u GPS podacima |

Iako postoje značajne operativne razlike između odabranih modela dronova postoje metode primjenjive na sva tri modela. U svim slučajevima letački podaci su izvučeni i opisani s 3D koordinatama.

Popis kratica

ADB – Android Data Bridge

CAA – Civil Aviation Authority

CCAA – Croatian Agency for Civil Aviation

EASA – European Union Aviation Safety Agency

eMMC – Embedded Multimedia Controller

EU – European Union

FDTI – Future Technology Devices International

GNSS – Global Navigation Satellite Systems

GPS – Global Positioning System

GPX – GPS Exchange Format

HUBS – Hrvatska udruga bespilotnih letjelica

ICAO – International Civil Aviation Organization

IMU – Inertial Measurement Units

KML – Keyhole Markup Language

NATO – North Atlantic Treaty Organization

NFZ – No Fly Zone

RC – Remote Controller

RPAS – Remotely Piloted Aviation Systems

RTF – Ready To Fly

S&A – Sense and Avoid

UAS – Unmanned Aerial Systems

UAV – Unmanned Aerial Vehicle

USB – Universal Serial Bus

VCP – Virtual Communication Port

Literatura

- [1] European ATM Master Plan 2015 | SESAR, <https://web.archive.org/web/20160206104147/http://www.sesarju.eu/newsroom/brochures-publications/european-atm-master-plan-2015>, studeni 2018.
- [2] State government gears up for autonomous RPAS mapping, <http://www.spatialsource.com.au/unmanned/state-government-gears-autonomous-rpas-mapping>, studeni 2018.
- [3] Drone and UAV Information, <http://grinddrone.com/features/different-types-of-drones>, svibanj 2019.
- [4] Drone and UAV Information, <http://grinddrone.com/applications/40-drone-applications-list>, svibanj 2019.
- [5] Hrvatska udruga bespilotnih sustava, <https://hubs.hr>, lipanj 2019.
- [6] Kimon P. Valavanis, George J. Vachtsevanos, Handbook of Unmanned Aerial Vehicles, Springer, 2015
- [7] Combining Unmanned Aerial Vehicles With Artificial Intelligence Technology for Traffic Congestion Recognition, IEEE Consumer Electronics magazine, svibanj 2019
- [8] <http://tools.retroroms.info>, lipanj 2019
- [9] Accessing a drone's internal memory card_DocV3.pdf, Cellebrite, 2018
- [10] P0VsRedHerring, <https://github.com/MAVProxyUser/P0VsRedHerring>, listopad 2018
- [11] Java, www.java.com, listopad 2018
- [12] Android Studio, <https://developer.android.com/studio/>, listopad 2018
- [13] QtADB, <https://qtadb.wordpress.com/download/>, listopad 2018
- [14] Drones User Manuals, <https://www.dronesusermanuals.com/mikrokopter/mikrokopter-okto-xl-copter-for-professional-video/>, lipanj 2019
- [15] MikroKopter Shop, <https://www.mikrocontroller.com/>, lipanj 2019
- [16] GPX File Extension, <https://fileinfo.com/extension/gpx>, listopad 2018
- [17] GPX Viewer, <http://wiki.mikrokopter.de/en/GPXViewer>, studeni 2018
- [18] MikroKopter Software <http://wiki.mikrokopter.de/en/Download>, listopad 2018
- [19] Virtual COM Port Drivers, <http://www.ftdichip.com/Drivers/VCP.htm>, listopad 2018
- [20] MikroKopter Tool, <http://wiki.mikrokopter.de/en/MikroKopterTool>, listopad 2018
- [21] Combining Unmanned Aerial Vehicles With Artificial-Intelligence Technology for Traffic-Congestion Recognition, https://www.researchgate.net/figure/The-functional-categories-of-UAVs-and-UAV-applications-in-CE_fig1_332447053, studeni 2018
- [22] Stiču EU pravila za dronove, <https://obris.org/hrvatska/stizu-eu-pravila-za-dronove>, svibanj 2019
- [23] Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova 2015, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_05_49_974.html, studeni 2018
- [24] Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova 2018, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_11_104_2040.html, svibanj 2019
- [25] Stiču promjene u pravilima letenja dronovima, <https://www.ictbusiness.info/vijesti/stizu-promjene-u-pravilima-letenja-s-dronovima>, lipanj 2019
- [26] Rhydolabz Embedding Intelligence, <https://www.rhydolabz.com/wiki/wp-content/uploads/connection1.jpg>, lipanj 2019

- [27] Clark, Meffert, Baggilli, Breitingner, DROP (DRon Open source Parser) your drone: Forensic analysis of the DJI Phantom III, DFRWS USA Proceedings, 2017
- [28] <https://github.com/cs2000/DankDroneDownloader>, studeni 2018
- [29] <https://github.com/hdnes/pyduml>, studeni 2018
- [30] <https://github.com/MAVProxyUser/DUMLrub>, studeni 2018
- [31] https://github.com/MAVProxyUser/firm_cache, studeni 2018
- [32] <https://github.com/mefistotelis/phantom-firmware-tools>, studeni 2018
- [33] <https://github.com/exiftool>, studeni 2018
- [34] https://github.com/MAVProxyUser/DJI_ftpd_aes_unscramble, studeni 2018
- [35] <https://github.com/darksimpson/jdjitools>, studeni 2018
- [36] <https://www.dji.com/hr/mavic/info#downloads>, studeni 2018
- [37] <https://github.com/jezzab/DUMLdore>, studeni 2018
- [38] https://github.com/fvantienen/dji_rev, studeni 2018
- [39] https://github.com/MAVProxyUser/dji_system.bin., studeni 2018
- [40] <https://github.com/CunningLogic/DUMLRacer>, studeni 2018
- [41] <http://datfile.net/DatCon/downloads.html>, studeni 2018
- [42] <https://www.photome.de/>, studeni 2018
- [43] <https://github.com/delins/awesomememdumper>, studeni 2018
- [44] <http://djifix.live555.com/>, studeni 2018
- [45] <https://github.com/ajpierson/st2dash>, studeni 2018
- [46] <https://www.dronelogbook.com/hp/1/index.html>, studeni 2018
- [47] <https://github.com/unhcfreg/DROP>, studeni 2018
- [48] <https://github.com/mikeemoo/dji-log-parser>, studeni 2018
- [49] <https://github.com/ImpulseAdventure/JPEGsnoop>, studeni 2018
- [50] <https://phantompilots.com/attachments/txtlogtocsvtool-zip.99978/>, studeni 2018
- [51] <http://wiki.mikrokoetter.de/en/GPXViewer>, studeni 2018
- [52] <http://wiki.mikrokoetter.de/en/CamTriggerTool>, studeni 2018
- [53] https://www.mapsmadeeasy.com/drone_mapping, studeni 2018
- [54] <https://airdata.com>, studeni 2018
- [55] GPS Visualizer online service, <https://www.gpsvisualizer.com/>, studeni 2018
- [56] <https://www.dji.com/hr/mavic/info#specs>, studeni 2018
- [57] <https://www.dji.com/spark/info#specs>, studeni 2018
- [58] Azhar, Barton, Islam, Drone forensic analasys using open source tools, JDFSL, 2018
- [59] Horsman, Unmanned Aerial Vehicles: A preliminary analysis of forensic challenges, Digital Investigation, Elsevier, 2016
- [60] Copter Safe, <http://www.coptersafe.com/>, lipanj 2019
- [61] Drone and UAV Information, <http://grinddrone.com/features/drone-components>, listopad 2018
- [62] EU Terminology Coordination, <http://termcoord.eu/2018/06/iate-term-of-the-week-uav-drone/>, listopad 2018

Sažetak

Bespilotne letjelice, poznate kao dronovi, mogu biti izvor digitalnih dokaza. Ovaj rad prikazuje ekstrakciju i identifikaciju digitalnih dokaza iz dronova korištenjem alata otvorenog koda. Opisuje bespilotne letjelice, prezentira forenzičku obradu dronova i analizu dobivenih artefakata, identificira alate otvorenog koda te kroz studije slučaja demonstrira forenziku tri drona DJI Mavic Pro, DJI Spark i MikroKopter.

Ključne riječi

Forenzika drona, forenzika bespilotnih letjelica, alati otvorenog koda, DJI Mavic Pro, DJI Spark, MikroKopter.

Abstract

Unmanned Aerial Vehicles, also known as drones, can be a source of digital evidence. This study presents the extraction and identification of important digital evidences from drones using open source tools. Describes unmanned aerial vehicles, presents drone forensics and analysis of artifacts, identifies open source tools and through case studies demonstrates forensics of three drones, DJI Mavic Pro, DJI Spark and MikroKopter.

Keywords

Drone forensics, UAV forensics, open source tools, DJI Mavic Pro, DJI Spark, MikroKopter.

Životopis

Mladenka Čupić rođena je 11. lipnja 1968. godine u Vinkovcima gdje završava osnovnu i srednju školu. Inženjerski smjer Matematičkog odjela Prirodoslovno - matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu završava s temom „Specijalne funkcije i Q-komutativne varijalbe“ iz područja kombinatorne i diskretne matematike kod prof. Dragutina Svrtana.

Poslijediplomski specijalistički studij Informacijska sigurnost na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu upisuje 2016. godine. Prisustvuje raznim domaćim i međunarodnim konferencijama iz područja kriptologije, digitalne forenzike i kibernetičke sigurnosti. Aktivno se služi engleskim jezikom.

Curriculum Vitae

Mladenka Čupić was born on 11 June 1968 in Vinkovci where she attended Elementary and High school. She finished engineering mathematics program at the Department of Mathematics, the Faculty of Science, at the University of Zagreb with final thesis „Special Functions and Q-Commutative Variables“ at prof. Dragutin Svrtan in the field of Combinatorics and Discrete Mathematics.

She enrolled in Postgraduate Specialist Study Information Security at the University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing in 2016. She attends many conferences in the field of cryptology, digital forensics and cyber security. She speaks English language.