

Marin Govorčin, univ. bacc. ing. geod. et geoinf. ▶ diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: mgovorcin@geof.hr
 Filip Kovačić ▶ preddiplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: fikovacic@geof.hr
 Ivan Žižić, univ. bacc. ing. geod. et geoinf. ▶ diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: izizic@geof.hr



Bespilotne letjelice SenseFly Swinglet CAM

SUDIONICI
RADIONICE

Marin Govorčin
Filip Kovačić
Jakov Maganić
Ivan Žižić

SAŽETAK: Tijek razvoja bespilotnih letjelica uglavnom je bila tajna jer sam razvoj takve tehnologije bio je od posebnog interesa vojnim institucijama. Primjena je bila bazirana na nadgledanju ili takozvanom špijuniranju, ali s vremenom bespilotne letjelice pronalaze i svoju primjenu u civilnim svrhama te se pokazuju jako korisnima. Jedna od takvih primjena je upravo u geodeziji i to u području aerofotogrametrije. Tema ovog članka je prikaz funkcionalnosti i mogućnosti primjene bespilotne letjelice Swinglet CAM. Osim samih karakteristika letjelice i teorijske pozadine, u članku je opisana zakonska regulativa koja se odnosi na let i snimanje bespilotnih letjelica.

KLJUČNE RIJEČI: bespilotne letjelice, aerofotogrametrija, Swinglet CAM, zakonska regulativa

Unmanned aerial vehicle SenseFly Swinglet CAM

SUMMARY: Development of unmanned aerial vehicles has been mostly shrouded in mystery veil because development of such technology was special interested by military institutions. It was used for so called monitoring or spying but eventually the use of unmanned aerial vehicles was found in civilian purposes. One of such uses is in geodesy, exactly in field of aerial photogrammetry. The theme of this article is to show functionality and particular uses with unmanned aircraft Swinglet CAM. Beside the characteristics of the aircraft and the theoretical background in the article are also described laws related to flying and surveying with unmanned aerial vehicles.

KEYWORDS: unmanned aerial vehicles, aerial photogrammetry, Swinglet CAM, law regulation

1. UVOD

Svjedoci smo velikog razvoja tehnologije i znanosti tijekom posljednjih desetljeća, a sve je to posljedica modernog društva kakvom težimo. Sukladno tome i geodezija kao znanost doživljava razvoj koji je omogućen novim stupnjem tehnološkog razvitka. Od davnih su vremena glavna oruđa za »mjerenja« bili konopi i lanci te je korištena »stopa« kao mjera dužine (npr. Stara Grčka) (Lasić, 2007). Danas, razvojem instrumentarija i otkrićem dalekozora, imamo GPS uređaje, moderne mjerne stanice itd. Itekako je vidljiv ogroman pomak u odnosu na prije i to sve zahvaljujući razvoju tehnologije. Primjer tehnoloških dostignuća su i bespilotne letjelice koje nisu novost na području inovacija jer postoje već duže vrijeme, ali sama njihova implementacija u geodeziji je relativno nova i još u razvoju. Primjenu u geodeziji bespilotna letjelica ostvaruje u području aerofotogrametrije. Postavlja se pitanje u kojim konkretnim geodetskim zadaćama se bespilotne letjelice mogu primijeniti, pritom uzimajući u obzir toč-

nost koju pružaju. Također, treba naglasiti da zakonska regulativa ne pokriva još sve segmente korištenja bespilotnih letjelica u našoj državi, što je i razumljivo budući da je korištenje bespilotnih letjelica za izvođenje geodetskih radova tek na samom početku. Jasno je da će vrijeme pokazati koji su daljnji koraci i svakako će se morati uskladiti propisi i uredbe koje se odnose na primjenu novih tehnologija za izvođenje geodetskih radova.

2. FOTOGRAMetriJA

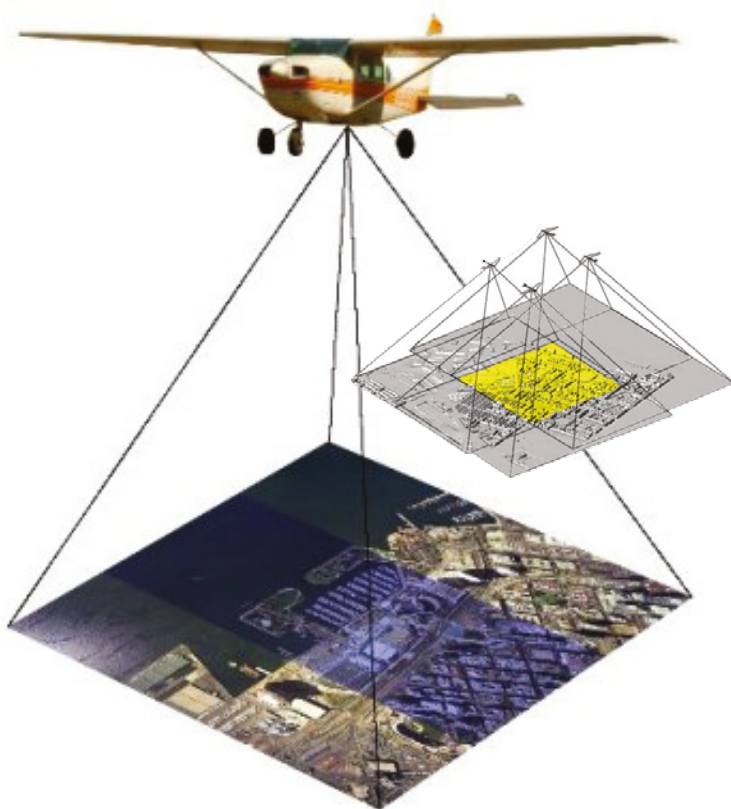
Fotogrametrija i daljinska istraživanja su umijeće, znanost i tehnologija dobivanja pouzdanih informacija o Zemlji i njenom okruženju te ostalim fizičkim objektima i fizikalnim procesima, pomoću snimki i ostalih senzorskih sustava, bez neposrednog kontakta s objektom, postupcima prikupljanja, mjerenja, analiza i predočavanja (URL-1). Ocem fotogrametrije smatra se A. Laussedat koji je 1851. godine,

koristeći metodu švicarskog matematičara J. H. Lamberta (Freye Perspective, Zürich, 1759), iz dvije fotografije rekonstruirao snimljeni objekt. Metodu je nazvao »Mtrophotographi«, a rezultat su godine istraživanja konstrukcija baziranih na topografskom stolu i »camera obscuri« (URL-2). Povijest fotogrametrije dijeli se na nekoliko razdoblja i to ponajviše zbog razvoja samog instrumentarija: fotogrametrija u ravnini (1860. – 1900.), analogna fotogrametrija (1900. – 1960.), analitička fotogrametrija (1960. – 1996.) i digitalna fotogrametrija (1996. do danas) (Gajski, 2008).

Područje fotogrametrije koje posebno dolazi do izražaja u ovom članku je aerofotogrametrija ili takozvano fotogrametrijsko snimanje iz zraka. »Aerofotogrametrijske snimke nastaju kao rezultat snimanja iz zraka, kamerama posebno konstruiranim za tu namjenu. Kame-re se pričvršćuju na posebna žiroskopski stabilizirana postolja iznad otvora na podu zrakoplova. Upravljanje radom samih kamera pod kontrolom je navigacijskih GPS i inercijalnih sustava. Geometrijska točnost mjernih kamera, koje zbog toga i nazivaju fotogrametrijskim, od izuzetne je važnosti, stoga se provodi redovita kalibracija svake godine. Ovisno o namjeni, aerofotogrametrijske se snimke prikupljaju s raznih visina leta iznad terena, odnosno u raznim rezolucijama tzv. Ground Sampling Distance (GSD) – veličina piksela na Zemlji (slika 2.1). U upotrebi su najčešće rezolucije od 7,20 i 35 cm GSD. Istovremeno se bilježi vidljivi (pankromatski) dio spektra te RGB boje (crvena, zelena, plava) i blisko-infracrveni spektar (Near InfraRed – NIR). Mogućnosti uporabe aerofotogrametrijskih snimaka su velike. Za geodetske namjene kao osnova za katastarsku izmjeru, prikupljanje podataka te digitalni model reljefa, fotogrametrijsku izmjeru za uspostavu i održavanje topografskih baza podataka, proizvodnju digitalnog ortofota različitih mjerila, obnavljanje topografskih baza, izradu Hrvatske osnovne karte HOK5, Topografske karte u mjerilu 1: 25000 i vojnih topografskih karata.« (URL -3).

3. BESPILOTNE LETJELICE – KRATKI POVIJESNI PREGLED

Prilikom definiranja pojma bespilotnih letjelica (eng. *Unmanned Aerial Vehicles – UAV*) u brojnoj literaturi nailazimo na bogat izbor



Slika 2.1. Princip aerofotogrametrijskog snimanja (URL-7, URL-10)

objašnjenja. Razlog tome je njihova višestruka primjena, kako u vojne, tako i u civilne, ponajviše rekreativne, svrhe. Najjednostavnije govoreći, bespilotne letjelice su letjelice sposobne izvršiti kontinuirani let bez pilota (Bento, 2008).

Sam koncept bespilotnog leta donosi 1915. godine Nikola Tesla, opisujući u svojoj disertaciji naoružani bespilotni zrakoplov dizajniran za obranu Sjedinjenih Američkih Država. Samo dvije godine kasnije, američka vojska proizvodi prve bespilotne letjelice kontrolirane radiosignalom. Od tada započinje neprestano usavršavanje bespilotnih letjelica, kao i sve šira primjena u gotovo svim većim vojnim operacijama. Iako se i danas bespilotne letjelice koriste najviše u vojne svrhe, posljednje je desetljeće sve veća njihova uporaba u znanstvenim, komercijalnim i zadacima javne sigurnosti, s ciljem akvizicije podataka i snimaka ugroženih područja, izrade karata, komunikacijskog prijenosa, istraživanja, spašavanja, pregleda prometa i dr. S bespilotnom letjelicom oblika aviona u civilne svrhe prvi su eksperimentirali Przybilla i Wester-Ebbinghaus 1979. godine (slika 3.1). Godinu kasnije, 1980., Wester-Ebbinghaus koristi prvi model helikoptera u fotogrametrijske svrhe (Eisenbeiss, 2004). Uz kasnije konstrukcije bespilotnih letjelica u obliku cepelina i balona, za fotogrametrijske potrebe najbolje su se pokazale konstrukcije oblika aviona i helikoptera, koje su nastavile svoj razvoj i do danas doprinijele sve većoj autonomiji i točnosti izvođenja leta. Bespilotnom letjelicom može se upravljati daljinski, može biti poluautonomna, autonomna ili kombinacija navedenog, gdje je sposobna izvršavati velik broj zadataka.

Postoji veliki broj različitih tipova bespilotnih letjelica s različitim mogućnostima, ovisno o potrebama samih korisnika. Nekoliko različitih skupina zatražilo je stvaranje referentnog standarda za međunarodnu UAV zajednicu.

Europska zajednica za bespilotne letjelice (eng. *European Association of Unmanned Vehicles Systems – EUROUVS*) kreirala je klasifikaciju bespilotnih letjelica na osnovu sljedećih parametara: visina leta, trajanje leta, brzina, maksimalna nosivost (eng. *maximum take-off weight – MTOW*), veličina letjelice, domet signala i dr. Bespilotne letjelice podijeljene su u četiri glavne kategorije (»UVS-International



Slika 3.1. Povijesni razvoj bespilotnih letjelica (URL-8, URL-9)

Tablica 3.1. Specifikacije mikro i mini bespilotnih letjelica

SPECIFIKACIJA	SPECIFIKACIJE MIKRO I MINI BESPILOTNIH LETJELICA	
	ZAHTJEVI	
	MIKRO	MINI
Veličina	<15 cm	Duljina <2 m, Raspon krila <3 m
Težina	100 g	<10 kg
Korisna nosivost	20 g	1-2 kg
Doseg signala	1-5 km	1-10 km
Trajanje leta	60 min	60-120 min
Visina	<150 m	500-1500 m
Brzina	15 m/s	25-50 m/s

– UAV System producers & Models: All UAV Systems Referenced« 2006):

- mikro/mini (MAV/Mini)
- taktičke (TUAV)
- strateške
- bespilotne letjelice s posebnom zadaćom.

Mikro i mini bespilotne letjelice obuhvaćaju kategoriju najmanjih platformi koje ujedno i lete na najmanjim visinama (ispod 500 metara). Njihov dizajn usredotočen je na njihovo upravljanje u urbanim područjima (čak među zgradama), letove duž tunela (hodnika), prijenos uređaja za snimanje i prislušivanje te prijenos odašiljača i kamera.

DARPA-a (The U.S. Defence Advanced Research Projects Agency) je razvila sklop kriterija kojima je izdvojila mikro i mini bespilotne letjelice (tablica 3.1).

U današnje vrijeme bespilotne letjelice koriste se i za dobivanje trenutnog stanja u naravi, odnosno prikupljanje velikog broja informacija o terenu i objektima na relativno malom području (od par stotina metara do kilometra). Prema tome, njezina namjena dolazi do izražaja kod manjih područja koja su od posebnog interesa, kod nepristupačnih područja kao što je slučaj kod vrlo strmih stijena i kod područja gdje se utvrdi da je samo snimanje bespilotnom letjelicom ekonomičnije od klasičnih metoda snimanja, pritom uzevši u obzir zadanu/trazenu točnost. Upotreba bespilotnih letjelica za prikupljanje podataka fotogrametrijskim metodama smjestila bi se između terestričke metode, aerofotogrametrije i laserskog snimanja.

Osnovni zahtjevi koje bespilotne letjelice moraju zadovoljiti da bi se mogle koristiti za fotogrametrijsko snimanje su:

- mogućnost izvođenja projektiranog plana leta s visokom točnošću
- mogućnost nosivosti opreme za snimanje i navigaciju



Slika 3.2. Bespilotna letjelica Swinglet CAM /Fotogrametrija (URL-5)

- autonomija leta letjelice
- smanjene vibracija i ostalih vanjskih utjecaja tijekom leta.

Usporedbom primjene bespilotnih letjelica i klasične aerofotogrametrije važno je spomenuti, osim samog područja snimanja, i vremensku dimenziju podataka koja kod bespilotnih letjelica daje realniji prikaz stvarnog stanja na terenu jer relativno mala visina leta eliminira utjecaj negativnih atmosferskih prilika kao što su oblaci ili slaba magla te omogućuje brzu reakciju i trenutno prikupljanje (Kolarek, 2010).

4. BESPILOTNA LETJELICA: SENSEFLY SWINGLET CAM

Swinglet CAM je mini bespilotna letjelica švicarske tvrtke SenseFly, opremljena fotoaparatom visoke razlučivosti. Zahvaljujući autonomnom polijetanju i slijetanju te potpunoj opremljenosti letjelice za trenutno izvršavanje zadatka, samo rukovanje letjelicom vrlo je jednostavno. Letjelica je opremljena autopilotom koji funkcionira na principu umjetne inteligencije. Autopilot neprekidno analizira podatke inercijalne mjerne jedinice (*eng. Inertial Measurement Unit*), uključujući podatke integriranog GPS-a, te uzimajući u obzir sve ostale aspekte leta. Zahvaljujući SenseFly-evom autopilotu, zadatak će se uspješno izvršiti čak i u slučaju gubitka radioveze između prijenosnog računala i letjelice. Swinglet CAM je opremljena *e-motion* softverom koji omogućuje planiranje i kontrolu putanje leta u realnom vremenu (*eng. Live flight plan update*), te naravno, planiranje samog leta prije polijetanja. Let je u cijelosti moguće pratiti na ekranu prijenosnog računala, putem kojega se dobiva povratna informacija o izvršavanju plana leta, odnosno o kretanju letjelice duž zadane trajektorije. Plan leta moguće je kontrolirati i izmjenjivati u realnom vremenu jednostavnim pomacima »miša« na zaslonu računala. Klikom »miša« moguće je zadati letjelici povratak na početnu lokaciju snimanja ili inicirati slijetanje, no osim toga, svaki klik može služiti i kao okidač za snimanje fotografija izvan unaprijed zadanog plana snimanja. Bespilotna letjelica swinglet CAM ima raspon krila samo 80 cm, a dolazi spremljena u kutiji (*swinglet box*) koja štiti letjelicu i sav dodatni pribor. Tako je letjelica uvijek spremna za upotrebu i nije ju potrebno rastavljati.

Swinglet CAM pohranjenu u kutiju sačinjavaju sljedeće komponente:

- 500 g teška autonomna letjelica spremna za let
- potpuno integriran i ispitan autopilot (omogućuje u potpunosti autonomnu navigaciju, uključujući polijetanje i slijetanje)
- *e-motion* softver za planiranje i praćenje leta
- prilagođeni kompaktni digitalni fotoaparati razlučivosti 12 milijuna piksela



Slika 4.1. Swinglet CAM kutija (URL-6)

- automatska kontrola kamere putem autopilota
- USB radiomodem frekvencije 2.4 GHz za povezivanje podataka
- daljinski upravljač frekvencije 2.4 GHz (u slučaju preuzimanja manualne kontrole nad letjelicom)
- punjač baterija zajedno s dvije punjive baterije
- dva propelera
- kutija za transport svih komponenti
- upute za upotrebu
- softver (e-mo-tion i PostFlight paket) i ažuriranje autopilotovog firmwarea tijekom godine dana.

4.1. UPRAVLJANJE LETJELICOM

Zbog svoje lakoće, swinglet CAM polijeće iz ruke, može sletjeti gotovo bilo gdje te pri slijetanju nije potrebna upotreba mreže za slijetanje ili padobrana. Njena vrlo mala udarna snaga znatno smanjuje opasnost od stvaranja štete prilikom sudara s ostalim objektima na terenu. Letjelicu pokreću punjive litij-polimerske baterije, zbog čega je njeno održavanje praktično, jednostavno i ekološki prihvatljivo. Tehnologija motora bez četkica (*eng. brushless engine technology*) čini letjelicu tihom i pouzdanom. Ova, u potpunosti autonomna bespilotna letjelica, lansira se ručno, tako da se prethodno tri puta protrese. Uvijek mora biti lansirana protivno vjetru kako bi postigla osnovnu brzinu. Letjelica slijeće postupno se spuštajući kružnom putanjom, iznad mjesta s kojega je lansirana, dok ne prizemli. Kako su moguća odstupanja od putanje zadane prilikom slijetanja, koja iznose oko 20 metara (u vjetrovitim uvjetima i više), vrlo je važno za zonu slijetanja odabrati mjesto čisto od svih prepreka unutar radijusa od 40 metara. Lokacija slijetanja unaprijed je postavljena na mjesto lansiranja te je i automatski postavljena kao lokacija za slijetanje u hitnim slučajevima (*eng. home waypoint*). U slučaju da letjelicu ne lansiramo s lokacije prikladne za slijetanje, moguće je programirati neko drugo mjesto gdje će prizemljiti, koje je pogodnije za njezino slijetanje. Zemljane površine prekrivene travom idealne su za slijetanje, isto tako, pogodne su i ostale površine poput asfalta i sl. U globalu, zbog svoje male težine, letjelica se neće nepopravljivo oštetiti zbog tvrdog slijetanja. Male pukotine na konstrukciji letjelice vrlo se lako i brzo popravljaju kontaktnim ljepilom za stiropor. Čak prilikom većih oštećenja konstrukcije svi elektronički dijelovi bivaju neoštećeni jer su obloženi stiroporom, a i inercija cijelog sustava vrlo je mala. Upravljanje swinglet CAM-om ne zahtijeva nikakav dodatan trening ili prethodno iskustvo pilotiranja. Zahvaljujući litium-ionskoj bateriji, autonomija leta ove letjelice je približno 30 minuta te jednim letom može pokriti udaljenost od 18 km, što omogućuje skeniranje područja od 10 km². Autonomiju leta smanjuje vjetar, učestale promjene visine leta ili vrlo niske temperature. Letjelica je testirana na temperaturama od -15° C do 35° C, a svi elektronički dijelovi dizajnirani su za rad na temperaturama od -20° C do 50° C. Niske temperature smanjuju radne sposobnosti baterije te njena izdržljivost može biti smanjena do 20%. Brzina leta letjelice je 10 m/s (36 km/h, 22 mph), dok je brzina uzleta 3 m/s. Swinglet CAM nije u mogućnosti poletjeti ako je brzina vjetra iznad 7 m/s (25 km/h, 16 mph) što odgovara umjerenom povjetarcu. Autopilot automatski prepoznaje prejak vjetar te omogućuje siguran povratak i prizemljenje letjelice (isto se događa kada je baterija pri kraju). U rijetkim slučajevima gubitka GPS signala, kada više nije moguća navigacija zasnovana na

zadanim točkama, letjelica momentalno prizemljuje. Tehnički govoreći, swinglet CAM može letjeti u uvjetima slabe vidljivosti, čak po noći i laganoj kišici, no nije vodootporna i nije za uporabu u kišnim ili snježnim uvjetima. Najveća kvaliteta fotografija postiže se za sunčanih dana, uz prisutnost laganog povjetarca (do 5 m/s).

4.2. SNIMANJE TERENA

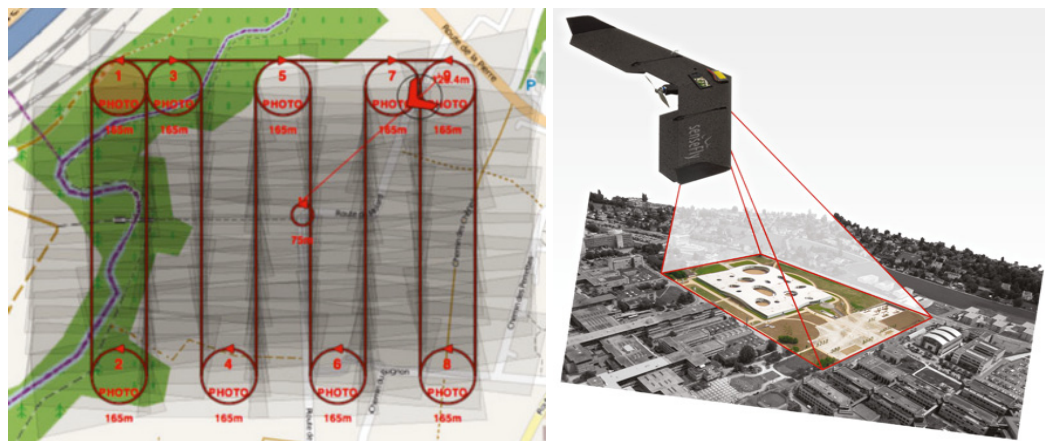
Swinglet CAM je opremljena kompaktnim digitalnim fotoaparatom razlučivosti 12 megapiksela, žarišne daljine 24 mm (35 mm u protuvrijednosti – *eng. equivalent focal length*). Rezultirajuća razlučivost tla prilagođena je odabirom prikladne visine leta (uobičajene visine leta su između 50 m i 1000 m iznad tla) i doseže od 2 cm do 40 cm/piksel. Dakle, o visini leta ovisi veličina snimljenog područja, kao i njegova razlučivost, a za sljedeće visine leta iznose:

- Na visini leta od 140 m (razlučivost tla 5 cm/piksel) jedna fotografija pokriva 0.03 km² (3 ha, 7 jutara), a jedan let obuhvaća do 1.5 km² (150 ha, 370 jutara).
- Na visini leta od 280 m (razlučivost tla 10 cm/piksel) jedna fotografija pokriva 0.12 km² (12 ha, 29 jutara), a jedan let obuhvaća do 4 km² (400 ha, 990 jutara).
- Na visini leta od 840 m (razlučivost tla 30 cm/piksel) jedna fotografija pokriva 1.07 km² (107 ha, 265 jutara), a jedan let obuhvaća do 10 km² (1000 ha, 2470 jutara).

Broj fotografija ostvarenih tijekom jednog leta, u slučaju maksimalne brzine okidanja fotografije (svake 3-4 sekunde), može doseći 400. U memoriji samog fotoaparata ima dovoljno mjesta za pohraniti sve te fotografije u najvećoj mogućoj razlučivosti. Postoje tri metode kojima fotoaparat može fotografirati:

- Slike mogu biti sustavno fotografirane duž linije koja spaja bilo koji par točaka. Ova metoda korisna je pri kartiranju.
- Lokacije fotografiranja mogu biti označene na karti te će swinglet CAM-ov fotoaparat snimiti fotografiju svaki puta kada dopre do unaprijed zadane lokacije. Ova je metoda obično korisna za fotografiranje specifično ciljanog područja (točke).
- Fotografije mogu biti fotografirane manualno, klikom »miša« u softveru prizemljene jedinice putem grafičkog sučelja (*eng. graphical user interference*).

Letjelica je dizajnirana za prikupljanje fotografija bez pokreta, iako je moguće i snimanje videa, čija je kvaliteta vrlo niska zbog neprestanog podrhtavanja tijekom leta. U trenutku prikupljanja fotografije, autopilot automatski stabilizira letjelicu te na taj način nastaju fotografije maksimalne kvalitete. Fotografije se ne prenose u realnom vremenu, već se pohranjuju na SD memorijsku karticu fotoaparata te su dostupne u visokoj razlučivosti nakon leta. Kako je, zbog automatskog prikupljanja fotografija, fotoaparat čvrsto integriran s



Slika 4.2. Swinglet CAM – snimanje terena (URL-5)

autopilotom, nije ga moguće zamijeniti nekom drugom jedinicom. Ipak, dostupna je NIR/NDIV (*eng. near-infrared*) verzija fotoaparata za ekološke i poljoprivredne potrebe.

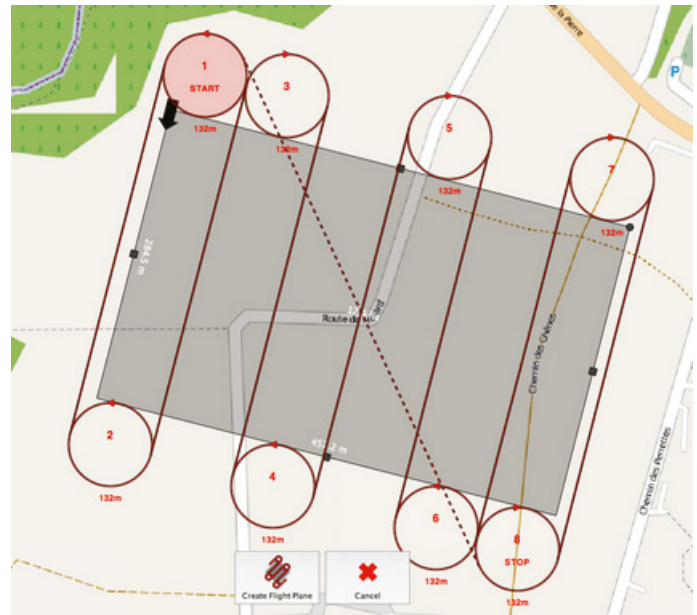
4.3. PLANIRANJE LETA

E-mo-tion softver i bežična veza putem USB radiomodema omogućuju planiranje leta, bilo postavljajući točke na karti ili ručno unoseći njihove koordinate. Svaka je točka određena položajem, opsegom, relativnom visinom u odnosu na lokaciju slijetanja te smjerom kruženja. Softver prizemljene stanice (*e-mo-tion*) kompatibilan je s Mac OS X 10.5 i 10.6 i s Windows XP, Vista i 7 operacijskim sustavima. Neophodno je prijenosno računalo sa slobodnim USB ulazom te zaslonom minimalne razlučivosti 1280×800 piksela. Najnovija verzija softvera prizemljene kontrolne stanice (*e-mo-tion*) omogućuje crtanje pravokutnika na karti te automatski kreira plan leta uz unaprijed zadanu razlučivost tla, preklapanje slike i sl. Orijentacija i veličina tog pravokutnika mogu biti određeni tako da pokrivaju cijelo željeno područje. Za planiranje plana leta potrebno je posjedovati kartu (satelitsku snimku) s podacima područja snimanja. Kartu je moguće pronaći putem interneta te pohraniti na prijenosno računalo, a prilikom izvršavanja samog zadatka, veza s internetom nije potrebna. U slučaju posjedovanja točnih koordinata točaka koje se obuhvaćaju snimanjem, moguće je programirati let bez karte. Ako za željeno područje snimanja ne postoje satelitske snimke visoke razlučivosti, ovisno o vrsti leta, postoje sljedeće opcije:

- Koordinate točaka mogu biti ručno unesene putem *e-mo-tion* softvera, zasnovane na položajima određenim na nekoj eksternoj satelitskoj snimci (karti).
- Alternativno, može se koristiti programski dodatak za automatsko planiranje leta. Pritom je potrebno odrediti površinu područja koje se želi snimiti (u metrima) i relativni položaj letjelice, uzimajući u obzir i mjesto polijetanja. Kada se letjelica uključi i pribavi čvrsti GPS signal, postaje vidljiva na karti, prema čemu se, pomoću njenog položaja, može podesiti automatski plan snimanja područja.
- U slučaju posjedovanja digitalne zračne snimke željenog područja snimanja, moguća je daljnja obrada kako bi se podloga mogla prikazati *e-mo-tion* softverom.
- U slučaju čestog planiranja leta iznad istog područja, moguće je izvršiti detaljni let iznad tog područja koristeći automatsko planiranje leta i obraditi slike pomoću PostFlight usluge.

4.4. POSTFLIGHT USLUGA

PostFlight usluga je mrežno zasnovana infrastruktura koju rukovodi SenseFly u suradnji sa švicarskom tvrtkom Pix4D. Infrastruktura podržava uslugu koja omogućuje automatsku izradu digitalnog ortofota (DOF) i digitalnog modela terena (DTM) iz fotografija prikupljenih swinglet CAM-om. Postupak korištenja PostFlight softverskog pa-



Slika 4.3. Swinglet CAM-planiranje leta (URL-5)

keta započinje odmah nakon leta, a sastoji se od sljedeća dva koraka:

- Fotografije prikupljene tijekom leta prvo se položajno označe (tj. metapodaci, koji sadrže GPS koordinate i ostale informacije, pridružuju se fotografiji), koristeći podatke izvedene iz arhiva leta.
- Položajno označene fotografije, jednog ili više letova, učitavaju se na PostFlight uslugu.

PostFlight softver automatski pronalazi i povezuje identične točke duž svih fotografija. Te informacije, zajedno s oznakama položaja, koriste se kao osnova za izradu georeferenciranog ortofota, kao i odgovarajućeg digitalnog visinskog modela (DEM). Točnost ortofota i digitalnog visinskog modela, proizvedenog PostFlight uslugom



Slika 5.1. Prvi doticaj s letjelicom

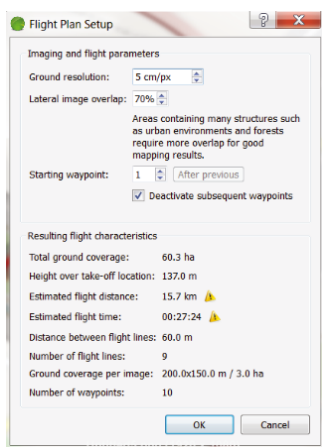
znatno ovisi o visini leta, uvjetima osvjetljenja, dostupnosti tekstura, kvaliteti fotografija, preklapanju i vrsti terena. U standardnim uvjetima (let na visini od 100 m do 150 m iznad Zemljine površine, uz preklapanje fotografija 50 do 70%), na mjestima gdje se se točke preklapaju (u slučaju kada se ne koriste kontrolne točke terena), relativna točnost je 10 cm, a apsolutna točnost iznosi 3 do 5 metara. Između mjesta gdje se točke preklapaju točnost može varirati. Prilikom odluke o kupnji dozvoljen je pristup izvješću koje prikazuje očekivanu kvalitetu i točnost ortofota. U najnovijoj verziji PostFlight paketa 1.2, apsolutnu je točnost moguće povećati na svega nekoliko centimetara orijentacijske točke na terenu koje se unose grafičkim sučeljem u PostFlight softveru prije učitavanja fotografija. Proizvedeni ortofoto uglavnom je visoke kvalitete, no mogući su učinci dvostruke slike izazvani objektima koji se kreću na zemljinoj površini ili iskrivljenjima na nekim dijelovima fotografije. Koristeći PostFlight uslugu, ortofoto na temelju 100 fotografija izrađen je za 3 sata te ga je moguće koristiti i pri planiranju budućih letova (URL-5).



Slika 5.2.1. Orijentacijska točka



Slika 5.2.2. Odabir područja snimanja



Slika 5.3. Podešavanje postavki
»Planiranje leta«



Slika 5.4. Izrada rute snimanja - plan leta

stoji se od tri faze:

- pripremni terenski radovi
- snimanje iz zraka
- *postprocessing* ili obrada podataka.

Pripremni terenski radovi sastoje se od uspostave niza točaka koje su potrebne za orijentaciju i kontrolu zračnih snimaka. Orijentacijske točke služe za orijentaciju zračnih snimaka i trebale bi biti postavljene na terenu na način da budu uočljive kasnije na zračnim snimcima. Kod uočljivosti orijentacijskih točaka trebamo uzeti u obzir da se te snimke snimaju na visini od nekoliko stotina metara nadmorske visine te bi bilo najbolje postaviti signale u obliku križa. Oblik signala mora biti simetričan. Moguća signalizacija je i drvena ploča dimenzija 40 cm x 40 cm ili 20 cm x 20 cm (slika 5.2a).

Točnost same izvedbe orijentacijske točke je jedan od uvjeta koje mora zadovoljiti orijentacijska točka. U pravilu bi trebala biti dva puta točnija od dozvoljenih odstupanja u apsolutnoj orijentaciji. Orijentacijske točke određuju se geodetskim metodama: triangulacija, precizna poligonometrija ili GNNS (Gajski, 2008). Najekonomičnija i najbrža je dakako metoda GNNS-a. Uspostavom signalizacijskih točaka prelazi se na idući korak, tj. planiranje leta. Planiranje leta kod Swinglet Cam letjelice je automatiziran proces i odvija se na sa-

5. OPIS RADIONICE

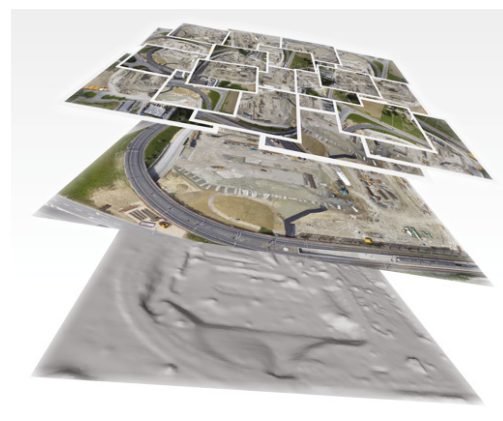
Prvotnu ideju o praktičnom izvođenju ove radionice, tj. letu i snimanju iz zraka, obradi podatka, analizi dobivenih rezultata i njihovom usporedbom s rezultatima drugih metoda, nažalost nije bilo moguće ostvariti. Naime, Agencija za civilno zrakoplovstvo nije odobrila snimanje iz zraka jer propisi koji reguliraju problematiku upotrebe bespilotnih letjelica mase manje od 5 kg nisu doneseni. Propisi i procedura koju bespilotne letjelice moraju zadovoljiti nisu u potpunosti definirani. U prelaznim i završnim odredbama Zakona o zračnom prometu navedeno je da će ministar donijeti takav propis do 28. srpnja 2012. godine. Do tada bi trebala biti u upotrebi i nova Uredba o snimanju iz zraka koju donosi Državna geodetska uprava.

Zastupništvo nad Swinglet Cam za Republiku Hrvatsku posjeduje tvrtka Geomatika Smolčak d.o.o. Za potrebe izvođenja radionice i pisanja članka, direktor tvrtke g. Nenad Smolčak omogućio je sudionicima radionice upoznavanje s letjelicom i opisao proceduru snimanja (slika 5.1). Nažalost, iz već spomenutih razloga, nismo mogli dobiti konkretne rezultate našeg snimanja jer nismo letjeli niti snimali iz zraka. Svi primjeri koji slijede u nastavku su demo verzije dostupne na internetskim stranicama proizvođača.

Projekt snimanja iz zraka sa-



Slika 5.5. Primjer digitalnog ortofota (URL-5)



Slika 5.6. Rezultat: DOF, DTM (URL-5)

mom terenu. Naime, *e-mo-tion* softver automatski skida satelitske ili »open street« karte područja snimanja s interneta, po izboru korisnika. Preporučljivo je taj dio projekta obaviti prije terena radi mogućnosti povezivanja s internetom, no naravno, to se može obaviti i na terenu uz prisutnost internetske konekcije. Na tim kartama označava se područje snimanja i pritom treba voditi računa o tome da se obuhvati malo veći opseg snimanja od potrebnog (slika 5.2b)

Nakon podešavanja rezolucije snimanja i stupnja preklopa od 70% (slika 5.3), softver sam računa i prikazuje plan leta (slika 5.4).

Putem radioveze podaci se prebace s laptopa na bespilotnu letjelicu i ona je spremna za polijetanje. Samo snimanje iz zraka potpuno je automatiziran proces, od uzlijetanja do slijetanja. *Postprocessing* je također potpuno automatiziran i temeljen na principu računalstva u oblaku (*eng. cloud computing*). Krajnji rezultat su: digitalni ortofoto (DOF) (slika 5.5), Google Earth prikaz (.kml datoteka), digitalni model terena (DTM) (slika 5.6) i izvješće o projektu (prikaz kvalitete i ocjena točnosti). Primjeri se mogu pronaći na službenim internetskim stranicama tvrtke SenseFly.

6. ZAKONSKA REGULATIVA

Osnovni je preduvjet za korištenje bespilotne letjelice u aerofotogrametrijske svrhe dobivanje dozvole za letenje i snimanje iz zraka od nadležnih institucija. Za proces dobivanja takve dozvole postoje određene zakonske norme koje su propisane od strane Vlade države na čijem se teritoriju obavlja snimanje iz zraka. U našem primjeru to je Vlada Republike Hrvatske i preko Zakona o obrani (NN 33/2, članak 126.) Državna geodetska uprava je ovlaštena za izdavanje odobrenja za potrebe snimanja iz zraka. Tek nakon dobivanja odobrenja, pravna i fizička osoba može pristupiti snimanju te kasnije i razvijanju zračnih snimaka i pri tome je dužna najkasnije u roku od 8 dana od dana snimanja dostaviti zračne snimke na pregled Državnoj geodetskoj upravi (Zakon o obrani, NN 33/02). Također, treba napomenuti da tvrtka treba biti registrirana pri Trgovačkom sudu za izvođenje poslova snimanja iz zraka.

Zahtjev za izdavanje odobrenja za potrebe razvijanja zračnih snimaka koji se predaje Državnoj geodetskoj upravi mora sadržavati:

- podatke o naručitelju snimanja
- podatke o izvršitelju snimanja i dokaz o registriranoj djelatnosti iz zraka izvršitelja snimanja (potrebno priložiti kopiju registracije pri Trgovačkom sudu)
- podatke o izvršitelju razvijanja
- podatke o vremenu snimanja
- svrhu snimanja
- popis objekata, skicu ili kartu s označenim područjem snimanja
- podatke o vrsti i mjerilu snimanja, kameri, žarišnoj daljini objektiva, filmu ili obliku zapisa (analogni/digitalni)
- način čuvanja izvornih podataka snimanja.

Prilikom snimanja iz zraka pojedinih vojnih, telekomunikacijskih, energetskih i industrijskih objekata, područja nacionalnih parkova i parkova prirode te drugih zaštićenih dijelova prirode, također je potrebno priložiti i mišljenje korisnika objekta, odnosno ustanove koja upravlja zaštićenim dijelom prirode (Uredba o snimanju iz zraka, NN 116/03). Digitalni oblik obrasca Zahtjeva za izdavanje odobrenja za razvijanje zračnih snimaka može se pronaći na službenim internetskim stranicama Državne geodetske uprave, a uz obrazac je potrebno priložiti dokaz o registriranoj djelatnosti za snimanje iz zraka, dok je za letjelicu potrebno priložiti kopiju Certifikata za obavljanje radova iz zraka s Operativnim specifikacijama koju izdaje Agencija za civilno zrakoplovstvo.

7. ZAKLJUČAK

Evidentno je da je primjena bespilotnih letjelica u geodeziji još

u povojima. Tek treba uvidjeti sve njezine mogućnosti i primjenu u konkretnim geodetskim radovima sukladno njezinoj točnosti. No, neupitna je činjenica da je to jako perspektivna tehnologija koju zasigurno čeka svjetla budućnost. Dobivanje krajnjih rezultata u vrlo kratkom vremenskom razdoblju najveća je prednost bespilotnih letjelica i samim time dolazi do izražaja njena ekonomičnost. Daljnjim razvojem ove tehnologije zasigurno će zaživjeti njena implementacija u svakodnevne geodetske radove. Naravno, uz svoje prednosti, bespilotne letjelice imaju i svoje nedostatke, a to su stroge zakonske regulative i nemogućnost mjerenja u svim vremenskim uvjetima. Dakako, na vrijeme se ne može utjecati, ali valjda će s vremenom zakon postati malo fleksibilniji u interesu korištenja bespilotnih letjelica u geodeziji. Snimiti područje izgradnje dijela autoceste, željeznice ili nekog proizvodnog pogona i dobivanje DTM-a područja od interesa, zanimljiv je i svakako koristan prilog svakom idejnom projektu.

ZAHVALA

Zahvaljujemo gosp. Nenadu Smolčaku, direktoru tvrtke Geomatika Smolčak d.o.o., na pomoći oko koncipiranja radionice i prezentaciji letjelice.

LITERATURA

- › Bento, M. F. (2008): Unmanned Aerial Vehicles: An Overview, Inside GNSS
- › Eisenbeiss, H. (2004): A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition, International workshop on »Processing and visualization using high-resolution imagery«, Pitsanulog, Thailand
- › Gajski, D. (2008, 2012): Predavanja iz kolegija »Fotogrametrija«, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- › Kolarek, M. (2010): Bespilotne letjelice za potrebe fotogrametrije, Ekscentar, br.12, str. 70-73.
- › Lasić, Z. (2007): Interna skripta kolegija »Geodetski instrumenti«, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- › Narodne novine (2003): Uredba o snimanju iz zraka, NN 116/03, Zagreb
- › Narodne novine (2002, 2007): Zakon o obrani, NN 33/02, NN 76/07, Zagreb
- › Narodne novine (2009, 2011.): Zakon o Zračnom prometu, NN 69/09, NN 84/11, Zagreb
- › Narodne novine (2009): Pravilnik o letenju zrakoplova, NN 109/09, Zagreb
- › URL-1: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, <http://www.isprs.org/documents/Default.aspx> (16. 3. 2012.)
- › URL-2: Sekcija za fotogrametriju, daljinska istraživanja i geoinformacije Hrvatskog geodetskog društva, <http://fodig.hgd1952.hr/povijest.html> (16. 3. 2012.)
- › URL-3: GEOFOTO grupa http://www.geofotogrupa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=107&Itemid=131&lang=hr (17. 3. 2012.)
- › URL-4: Geospatial World, <http://geospatialworld.net/> (20. 2. 2012.)
- › URL-5: SenseFly, <http://www.sensefly.com/> (24. 2. 2012.)
- › URL-6: R-Pod, <http://www.r-pod.ch/swinglet/> (21. 3. 2012.)
- › URL-7: San-Lo aerial surveys, <http://www.san-lo.com/photogrammetry.html> (21. 3. 2012.)
- › URL-8: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (pdf), <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-W1/papers/11.pdf> (21. 3. 2012.)
- › URL-9: VeriPic, <http://www.camera-drone.com/company.html> (21. 3. 2012.)
- › URL-10: SharpGIS, <http://www.sharpgis.net/page/true-orthophoto-generation.aspx> (21. 3. 2012.) ☺