

Domagoj Pavlik, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.
Iva Popčević, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.
Ana Rumora, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.

► diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: dpavlik@geof.hr
► diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: ipopcevic@geof.hr
► diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: arumora@geof.hr

Bespilotne letjelice podržane INS i GNSS senzorima



SAŽETAK: *Bespilotna letjelica je letjelica ili zrakoplov bez posade. Ona se može nadzirati na daljinu ili letjeti samostalno. Bespilotna letjelica samostalno može letjeti uporabom unaprijed programiranog plana leta ili pomoću složenih autonomnih dinamičkih sustava. Razvoj bespilotnih letjelica započela je ponajprije vojska u svrhu smanjivanja troškova i ljudskih žrtava. Dovoljno govori činjenica da troškovi održavanja i izrade jedne bespilotne letjelice čine desetinu troškova jednog suvremenog zrakoplova. Najveći izazov kod modeliranja je dakako navigacija i pozicioniranje bespilotnih letjelica, bilo da se radi o vojnoj ili civilnoj uporabi. Danas se najčešće integriraju dva senzora: INS (inercijalni navigacijski sustav) i GNSS (globalni navigacijski satelitski sustav). Prateći povijesni razvoj sve do današnjih dana pokazano je koliki je napredak postignut u tom smjeru. U današnje vrijeme došlo je do povećanja broja i vrsta senzora koje bespilotne letjelice mogu sadržavati, a samim time i do širenja njihove uporabe. Smanjenjem cijene senzora i smanjenjem njihove veličine nema sumnje da će u skorij budućnosti doći do komercijalne primjene u modernoj poljoprivredi, fotogrametriji itd.*

KLJUČNE RIJEČI: *Bespilotne letjelice, INS, GNSS, UAV, UAV navigacija, Integracija senzora*

Unmanned Aerial Vehicles Supported by INS and GNSS Sensors

ABSTRACT: *Unmanned aircraft vehicle (UAV) is an aircraft without crew. It can be controlled remotely or fly autonomously. UAV can fly using pre-programmed flight plan or using complex autonomous dynamical systems. UAV development was initiated by the military in order to reduce costs and human casualties. Just the fact that the costs of maintenance and making one UAV consists of one tenth of a modern aircraft says enough. The biggest challenge in modeling UAV is the course navigation and positioning unmanned aerial vehicles, whether it is military or civilian use. Today the most often integration is the one of two sensors: INS (inertial navigation system) and GNSS (global navigation satellite system). Following the historical development up to the present it has been shown how much progress has been made in this direction. At the present time there has been an increase in the number and types of sensors that UAV may contain, and therefore to spread their use. By reducing the cost of sensors and reducing their size is no doubt that in the near future will achieve commercial application in modern agriculture, photogrammetry...*

KEYWORDS: *Unmanned aircraft vehicle, INS, GNSS, UAV, UAV navigation, Sensor integration*

UVOD

Bespilotne letjelice počele su se razvijati u dvadesetom stoljeću. Vojska ih je razvijala uvidjevši da je manje vremena potrebno za kreiranje letjelice nego za obuku pilota. Obuka borbenog pilota traje nekoliko godina i ima visoke troškove. Prateći razvoj bespilotnih letjelica dolazimo do zaključka da je najveći napredak ostvaren netom prije ili za vrijeme ratnih sukoba upravo iz tih razloga. Moramo uzeti u obzir da su troškovi izrade zrakoplova nekoliko desetaka puta veći nego kod izrade bespilotnih letjelica. Zahvaljujući prvenstveno vojsci i njihovom doprinosu u razvoju bespilotnih letjelica, imamo postavljene temelje za civilnu primjenu. Nekoliko tvrtki razvija prototipove i gotove proizvode koji se koriste u civilne svrhe. Razvijene su bespilotne letjelice koje imaju čvrsta krila te služe u aerofotogrametrijske svrhe te letjelice s propelerima koje služe za nadzor i inspekciju voda. U radu je dan kratak osvrt povijesnog razvoja bespilotnih letjelica te aspekti koji su bitni u današnje vrijeme. Najbitnije je letjelicu pozicionirati u prostoru bilo da se radi o navigaciji letjelice ili o podacima koji će se kasnije koristiti u obradi podataka. Također je vrlo bitno na koji se način upravlja letjelicom. Kod manjih letjelica koje služe za civilne svrhe dovoljno je imati prijenosno računalo opremljeno odgovarajućim softverom i radijskom antenom, dok kod velikih letjelica, poglavito vojnih, postoje kompletni kontrolni centri opremljeni

sustavima za radijsku i satelitsku komunikaciju. Dani su primjeri područja u kojima se upotrebljavaju bespilotne letjelice, a detaljno su opisane dvije primjene. Na kraju rada dan je osobni osvrt na budućnost razvoja bespilotnih letjelica.

1. POVIJESNI RAZVOJ BESPILOTNIH LETJELICA

Kroz povijesni razvoj bespilotnih letjelica želimo prikazati kako je razvoj tehnologije utjecao na promjenu uloge samih bespilotnih letjelica.

Bespilotne letjelice prvo su razmatrane kao moguća napadačka i obrambena oružja. Kasnije dobivaju ulogu potajnog nadzora (u izviđačkim misijama i špijuniranjima). U najnovije vrijeme imaju ulogu promatranja i nadziranja okoliša, odnosno klimatskih promjena.

Mogućnosti tehnologije koja se stalno razvija odredile su tempo razvoja bespilotnih letjelica, a to su prvenstveno:

- žiroskopski sustavi i njihovo povećanje točnosti
- sustavi podataka za zrak i njihovo povećanje točnosti
- radijski zapovjedni sustavi s povećanjem dosega i zaštitom
- radijski i radarski sustavi za praćenje
- razvoj slikovne obrade u nekoliko valnih duljina i fuziji
- izvršenje prekida radijske veze

- radijski, laserski i akustični barometri
- GPS sustavi
- računala velike brzine i komunikacije fokusirane na mrežni rad
- "osjeti i izbjegni" tehnologija (Austin R. 2010.).

Mogućnosti UAS-a su postupno proširene jer su omogućene napretkom u tehnologiji.

Razvoj bespilotnih letjelica bit će prikazan po desetljećima od 1910-ih do danas, a za primjer će biti dane samo neke od letjelica. Takva podjela ne treba se uzeti objektivno jer neke od letjelica prelaze u više uzastopnih desetljeća te se postepeno razvijaju s razvojem tehnologije i samim time dobivaju neke nove uloge. Vrste prikazane za svako desetljeće izabrane su samo da predstavljaju trend toga razdoblja te one svakako nisu jedini predstavnici svoga vremena (Austin R 2010. i Blom J.D. 2010.).

1917. Cooper i Elmer A. Sperry izumili su prvi automatski žiroskopski stabilizator, što je potaknulo razvoj letjelica pa je tako prvi radijski kontrolirani let bio onaj letjelice Sperry Aerial Torpedo (Slika 1.). Izum žiroskopskog stabilizatora pomogao je u održavanju stabilizacije i razine leta. Cooper i Sperry su iskoristili svoj tehnološki iskorak i pretvorili SAD-ov Navy Curtiss N-9 zrakoplov za treniranje u prvi radijski kontrolirani UAV. Sperry Aerial Torpedo letio je 80 500 m noseći 140 kg bombi u nekoliko probnih letova, ali nikada nije bio u ratnoj borbi (URL 1).

Od sredine 1930-ih letjelice se koriste kao važan borbeni trening-alat u vježbi protuzračne obrane. Primjeri takvih letjelica su britanska *DH.82B Queen Bee* i američka Radioplanes. *Queen Bee* (Slika 2.) prvi je povratni i višekratno upotrebljivi UAV (što ga je učinilo praktičnijim i isplativijim od prethodnih). Dizajniran je da bi se koristio kao zračni cilj tijekom trening-misija. Protuzrakoplovni topnici Kraljevske mornarice trenirali su tako da bi ih gađali na prvi pogled. Napravljen od smreke i šperploče, poletio je 1935. g. i nosio je kotače (za lansiranje iz jednog uzletišta) ili pluta (za upotrebu na moru). *Queen Bee* je mogao letjeti i na visini od 5 000 m i putovati na udaljenosti do 482 800 m s brzinom od 161 000 metara na sat. Ukupno je 380 *Queen Bee*jeva služilo kao ciljni *dron* u Kraljevskom ratnom zrakoplovstvu i Kraljevskoj mornarici dok se nisu "umirovili" 1947. g. (URL 1).



Slika 1. Sperry Aerial Torpedo (USA) (URL 2)

Slika 2. DH.82B Queen Bee (UK) (URL 2)



U Drugom svjetskom ratu primijećen je veliki zamah u razvoju bespilotnih letjelica kojeg potiču ratne okolnosti, a najbitniji predstavnik toga razdoblja je V-1 (Njemačka) (Slika 3.) i njen protivnik PB4Y-1 i BQ-7 (SAD). Nadmetanje, odnosno borbu između ove dvije letjelice, možemo nazvati prvom borbom uopće između dviju letjelica.

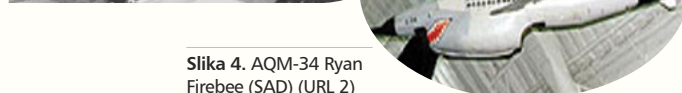
Hitler je želio leteće bombe koristiti protiv nevojnih ciljeva, tako da je njemački inženjer Fieseler Flugzeugbau 1944. godine dizajnirao V1 (Revenge Weapon 1). Ovo je prethodnik današnjih raketa. V1 je postao poznat kao Vergeltungswaffe ili 'oružje osvete', bio je namijenjen bombardiranju Britanije. Može nositi puno veću težinu od prethodnika (970 kg). Ubio je više od 900 civila, ranio više od 35 000 ljudi u Britaniji i bio preprogramiran za let prije bacanja bombe (241 400 m) (URL 1).

U razdoblju Vijetnamskog rata UAV je preuzeo novu ulogu, ulogu potajnog nadzora (izviđačke misije). Predstavnici iz toga razdoblja bili bi AQM-34 Ryan Firebee (SAD) (Slika 4.) i D-21 (SAD).

Testni letovi pokazali su da bi Firebee UAV mogao pružiti tajni nadzor. Od listopada 1964. do travnja 1975. više od 1 000 AQM-34 Ryan Firebee UAV-ova letjelo je na više od 34 000 operativnih nadzornih misija diljem jugoistočne Azije. Bili su raspoređeni od Japana, Južnog Vijetnama pa do Tajlanda, a letjeli su radi dnevnog i noćnog nadzora i radarskog otkrivanja raketa zemlja-zrak nad sjevernim Vijetnamom i jugoistočnom Kinom. Firebee je bio izuzetno pouzdan jer se 83% Firebee letjelica tijekom Vijetnamskog rata vratilo i mogle su sljedeće dane opet letjeti.



Slika 3. V-1 Revenge Weapon1 (Njemačka) (URL 10)



Slika 4. AQM-34 Ryan Firebee (SAD) (URL 2)

Od 1970-ih uvelike se unaprjeđuju UAV sustavi. Najviše u vidu trajanja leta i pogona letjelica. Od 1990-ih do danas iskristalizirala se uloga promatrača okoliša na Zemlji u vidu predstavnika Firebird 2001 (Izrael) (Slika 5.), RQ-1 Predator (SAD), Helios (SAD)...

Helios (Slika 6.), za sada u razvoju, ugradit će fuel cell sustav (sustav ćelija za gorivo) za pohranu energije da bi osigurao snagu za letenje preko noći, što će mu omogućiti neprekinuti let od 15 250 do 21 300 m. U sljedećih 10 godina očekuje se da će zrakoplov Helios biti široko rasprostranjen kao širokopojasna komunikacijska platforma pružajući jedinstveno isplativo upotpunjavanje satelitskih i zemaljskih komunikacijskih sustava.

Slika 5. Firebird 2001 (Izrael) (URL 2)



Slika 6. Helios (SAD) (URL 2)

2. DOSADAŠNJI DOSEZI NA PODRUČJU BESPILOTNIH LETJELICA

Bespilotna letjelica je letjelica ili zrakoplov bez posade koji se može nadzirati na daljinu ili letjeti samostalno uporabom unaprijed programiranog plana leta ili pomoću složenih autonomnih dinamičkih sustava. Kako bismo mogli govoriti o dosadašnjim dovezima na području bespilotnih letjelica potrebno je izvršiti podjelu istih. Zbog široke primjene i različitosti dizajna, podjela koja obuhvaća sve bespilotne letjelice jedino je podjela po veličini. Tako imamo četiri glavna razreda, redom: vrlo male bespilotne letjelice, male bespilotne letjelice, bespilotne letjelice srednje veličine i velike bespilotne letjelice (Fahlstrom i dr., 2012 i Agostino i dr.). Vrlo male bespilotne letjelice: veličina im se kreće od veličine većih kukaca do veličine raspona krila od 30 do 50 cm. Postoje dva glavna modela vrlo malih bespilotnih letjelica. Jedan model koristi pokretna krila za let kopirajući insekte i ptice, dok drugi koristi konvencionalnu konfiguraciju zrakoplova s fiksnim krilima ili propelerima. Na izbor pogona uvelike je utjecala želja da bespilotna letjelica sleti na malu površinu te da može nadzi-

rati okolno područje bez prevelikog utroška energije za letenje. Male bespilotne letjelice imaju barem jednu dimenziju 50 i više centimetara. Maksimalna im je dimenzija od nekoliko metara. Najveći dio njih napravljen je kao model zrakoplova s fiksnim krilima i mogu polijetati tako da ih operator baci u zrak. Dovoljno su lagane da ih operator može nositi. Najveći dio letjelica za civilnu uporabu nalazi se u ovoj kategoriji. Bepilotne letjelice srednje veličine su prevelike i preteške da ih može nositi jedna osoba, ali su manje od laganog zrakoplova. Najveći dio bespilotnih letjelica za vojnu uporabu nalazi se u ovoj kategoriji. Koriste se za nadzor područja i izviđanje. Imaju srednji domet te autonomiju od nekoliko sati leta. Velike bespilotne letjelice su letjelice veće od lakog zrakoplova i one koje mogu ponijeti dosta tereta, bilo da se radi o instrumentima za ispitivanje radioaktivnosti ili navođenim projektilima. Taj model ima visoku autonomiju leta, vrlo visok domet te mogu ostati u zraku više od 40 sati. Najčešće su korištene za nadzor i izviđanje opasnih područja.

2.1. DOSADAŠNJI DOSEZI NA PODRUČJU BESPILOTNIH LETJELICA

Glavni razlog uporabe bespilotne letjelice je potpuno autonomna navigacija koja pruža veliku funkcionalnost u slučajevima kada se prekine radijski kontakt s letjelicom, te ona autonomno izvršava zadanu operaciju. Ključno je odrediti poziciju bespilotne letjelice kako bi se poboljšala navigacija. Neovisno o tome koji senzor za daljinsko opažanje letjelica koristi, potrebna je točna lokacija svakog snimka kako bi se snimci mogli georeferencirati. U prošlosti pozicija bespilotne letjelice određivana je relativno s obzirom na izmjerenu početnu lokaciju antene za prijenos podataka koristeći azimut i udaljenost antene od izmjerene lokacije. Danas je GNSS (globalni navigacijski satelitski sustav), preferirani sustav za geolociranje, najkorišteniji sustav za određivanje položaja bespilotne letjelice. GNSS prijemnici su sada toliko jeftini i malih dimenzija da su postali standard za navigaciju i to ne samo bespilotnih letjelica, nego i zrakoplova.

Međutim, može biti teško odrediti točnu poziciju bespilotne letjelice pogotovo u slučaju kada GNSS trpi određene smetnje. Iz toga se razloga u današnje vrijeme okreće integraciji senzora (Slika 7.), odnosno dodavanju dodatnog senzora koji će davati poziciju i u trenutku kada GNSS nije dostupan. Prva integracija je integracija GNSS-a i INS-a (inercijalni navigacijski sustav), sustava koji su kompatibilni, a mane jednoga su prednosti drugoga (Molina i dr., 2008). INS pruža visoku točnost, ali u malom vremenskom intervalu, dok je točnost GNSS-a manja, ali je konstantna na globalnoj razini. INS zahtjeva početnu poziciju kako bi na osnovu akceleracije računao poziciju letjelice i za to je idealan GNSS. Nakon pada točnosti INS-a ispod razine GNSS-a opet se uzima pozicija dobivena GNSS-om kao početna za računanje pozicije INS-om i na taj se način dobiva pozicija veće točnosti nego kod samog GNSS-a. U slučajevima kada dođe do ispada GNSS-a tu je INS koji može autonomno davati podatke o poziciji te se letjelica može navigirati (Zahid Jamal, 2012). To su slučajevi kada se letjelica nađe u tunelu, kada leti u razini zgrada gdje je prisutan *multipath* vezan uz GNSS, a gdje je isti neupotrebljiv. INS također daje ispravne podatke o visini letjelice, njezinom nagibu koji može biti u 3 smjera (eng. *pitch*, *roll* i *yaw*). Ta dva sustava zadovoljavaju većinu potreba za navigaciju bespilotnih letjelica, međutim, ako se radi o letjelicama koje su namijenjene za jako niski let, let u blizini aerodroma, let u tunelima i slično, oni nisu dovoljno (Quinchia i dr., nepoznato). Ne postoje dovoljno točni podatci o svim ljudskim građevinama, instalacijama te na kraju krajeva, ne može se utjecati na visinu drveća jer je to promjenljivo. U tome slučaju moramo bespilotnoj letjelici nadodati još jedan senzor, odnosno izvršiti drugu integraciju senzora, a to je integracija GNSS-a, INS-a i obične kamere (Roberts i dr., 2005). Sustav koji koristi običnu kameru za navigaciju nazivamo GVSS (Vision based Sensor Suite). Sastoji se od običnih kamera koje izvode procese praćenja i detekcije. One se integriraju s navedena dva senzora kako bi letjelica mogla autonomno izbjegavati prepreke

na svom putu. Kao što se pilot najviše u takvim situacijama oslanja na svoj vid tako smo dobili letjelicu koja oponaša ljudskog pilota i može sama izvršavati ispravke na svojoj ruti ovisno o vanjskim utjecajima.



Slika 7. Primjer integracije senzora, Quadcopter (URL 6)

2.2. KONTROLA I UPRAVLJANJE LETJELICAMA

Osim pozicioniranja i navigacije letjelice, bitno je da operator uvijek ima kontrolu nad samom letjelicom. Zbog toga je bitna veza između kontrolne stanice i letjelice koja je ili radijska veza ili, ako se radi o bespilotnim letjelicama koje lete na velikim visinama, satelitska veza. Kontrolna stanica je računalno sučelje upravljano od stručnjaka koje upravlja bespilotnom letjelicom. Iz njega operator može komunicirati s bespilotnom letjelicom komunikacijskim vezama kako bi upravljao letjelicom ili ispravljao ranije određen plan leta. Bepilotna letjelica vraća informacije i prenosi u realnom vremenu snimke kamere. Najčešće prenosi informacije o teretu, „zdravlju“ letjelice, visini i brzini leta te poziciji letjelice. Kontrolni centar može upravljati polijetanjem i slijetanjem letjelice. Najčešće je kontrolni centar povezan s drugim računalnim sustavima i od njih dobiva podatke važne za upravljanje bespilotnim letjelicama kao što su meteorološki podaci, primanje zadataka od sustava s većim ovlastima, pružanje informacija ovlaštenim osobama i sl. Kontrolni centri mogu biti smješteni na zemlji, brodu te u zraku, odnosno u zrakoplovu. Oni su vezani za vojnu uporabu. Pošto za civilnu uporabu služe letjelice male ili srednje veličine, a domet i autonomija letjelice su najčešće kratki, za njihovu kontrolu koriste se prijenosne zemaljske kontrolne stanice. Prijenosne zemaljske kontrolne stanice koriste se za manje bespilotne letjelice bilo za civilne ili vojne svrhe. Ona integrira korisničko sučelje sa značajkama kao što je *touch-screen laptop* dozvoljavajući operatoru jednostavnu korekciju leta s obzirom na podlogu koja je prikazana na ekranu (DOF, TK25...). Također se koristi digitalni model terena radi boljeg planiranja leta. Podaci o letu preneseni su u bespilotnu letjelicu prije nego što je ona poletjela kako bi se znala vratiti u slučaju da izgubi radijsku vezu.

3. UPORABA BESPILOTNIH LETJELICA

U današnje vrijeme bespilotne letjelice se upotrebljavaju kako za vojne tako i za civilne potrebe. Vojnu upotrebu možemo podijeliti na pomorsku, kopnenu i zračnu, dok je civilna upotreba značajna u mnogim područjima kao npr. u fotogrametriji, poljoprivredi, elektroprivredi, ribarstvu, informacijskim uslugama, prometnim agencijama, očuvanju granice na moru i rijekama, otkrivanju i uništavanju mina itd.

3.1. VOJNA UPOTREBA

Vojska ima dugu i kontinuiranu povijest povezanosti s bespilotnim letjelicama u mnogim zemljama. Prednosti koje vojsci nude bespilotne letjelice su brojne posebno u područjima koja su obilježena kao opasna. Primjer letjelice koju koriste britanski vojnici u Afganistanu je Black hornet nano (Crni stršljen) (Slika 8.). Black hornet nano je vojna bespilotna letjelica koju je razvio Prox Dynamics AS iz Norveške, a u upotrebi je britanske vojske. Dimenzije su mu oko 10 cm × 2,5 cm i pruža vojnicima informacije o situaciji na terenu. Dovoljno su mali da stanu u ruku i teže nešto više od 15 g (uključujući bateriju). Letjelica je opremljena kamerom koja daje visoko kvalitetne slike i video. Dizajnirani su kako bi se uklopili u sive afganistanske zidove, kako bi omogućili gledanje iza uglova ili preko zidova te kako bi se utvrdile eventualne skrivene opasnosti i neprijateljski položaji. Slike se prikazuju na malom ručnom terminalu koji može koristiti operator za kontrolu. Britanska vojska od 25. listopada 2013. ima 324 Black hornet nanoa (URL 4).



Slika 8. Black hornet nano (URL 4)

3.2. CIVILNA UPOTREBA

Bespilotne letjelice vrlo su korisne, ne samo za rješavanje niza vojnih zadaća, već i kao učinkovito sredstvo za istraživanje, pronalaženje i identifikaciju objekata i subjekata od interesa te za precizno određivanje njihovih koordinata. Upravljanje i nadzor u katastrofama kod naftovoda i plinovoda može poprimiti velike razmjere praktične primjene.

3.2.1 Granična sigurnost

Primjenu bespilotnih letjelica u nadzoru granice, odnosno prednosti i mane takve primjene obradit ćemo na primjeru granica SAD-a (Blazakis, 2004). Korištenje bespilotnih letjelica (UAV-a) za poboljšanje sigurnosti granica je metoda koja je zainteresirala Kongres Sjedinjenih Američkih Država. Najveći problem SAD-a je duljina granica s Kanadom i Meksikom. Nije moguće pokriti cijelo područje granice jer iziskuje mnogo sredstava i ljudstva. Tu prazninu u nadzoru granice mogle bi popuniti bespilotne letjelice. Konkretno, tehničke sposobnosti UAV-a mogu poboljšati pokrivenost duž udaljenih dijelova američkih granica. Elektrooptička (EO) identifikacijska tehnologija dovoljno je napredna da može identificirati potencijalno neprijateljsku metu veličine tetrapaka na nadmorskoj visini od 18 288 m. Mogućnost UAV-a da daje preciznu sliku granice u realnom vremenu omogućuje operatorima razmještanje agenata na točno područje gdje se pokušava ilegalno prijeći granica. Kao primjer navodimo operaciju Safeguard u kojoj je ključno bilo identificirati potencijalne ilegalne prelasku južne granice (s Meksikom). Na tom primjeru vidimo da je sposobnost nadzora UAV-a, koji je opremljen samo s EO kamerom i radarskim senzorom koji gleda prema naprijed (FLIR), jako umanjena po lošim vremenskim uvjetima. Vlažnost klime i naoblaka mogu uve-

like utjecati na kvalitetu snimke, ali i na samu opremu. Rješenje ovog problema s klimatskim uvjetima je da se UAV, npr. Predator, opremi sa SAR-om (radarskim sustavom sa sintetičkom antenom). Radari mogu proizvesti slike visoke rezolucije u lošim vremenskim uvjetima, što SAR razlikuje od optičkih i infracrvenih sustava. Međutim, SAR lošije prati metu u pokretu, ali to se može ublažiti dodavanjem radarske tehnologije indikatora kretne (MTI – *moving target indicator*). Ako to dodamo na spomenute UAV-ove (Predator), onda će se značajno povećati sposobnost nadziranja granice UAV-om, ali i povećati cijena tog nadzora. Zaključujemo, primjena UAV-a u nadzoru granice još uvijek je u razvoju i ova primjena ima svoje prednosti i nedostatke, međutim, daljnjim razvojem imat će velike prednosti u nadzoru granice pred zrakoplovom s ljudskom posadom, čak i u lošim vremenskim uvjetima i izvanrednim situacijama.

3.2.2 SenseFly eBee

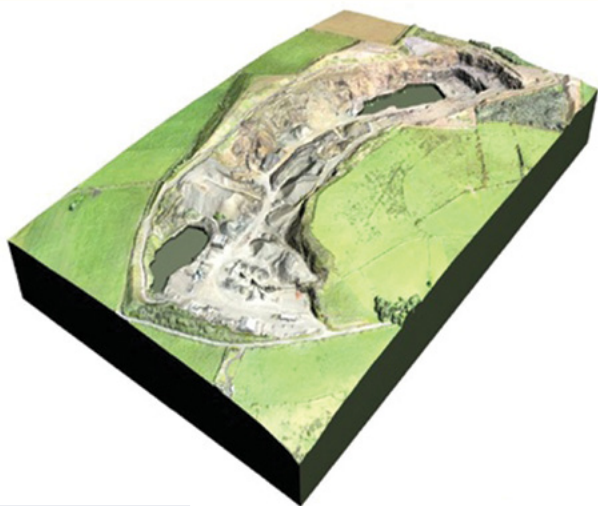
SenseFly eBee je ultra lagana bespilotna letjelica (Slika 9. i Slika 12.) izrađena od fleksibilne pjene i sadrži kameru visoke rezolucije. Potpuno je autonomna i spremna letjeti odmah nakon vađenja iz kutije. Omogućuje besplatno planiranje misije i jednostavan rad u roku od nekoliko minuta.

Wingspan	96 cm
Take-off weight	630 g
Very light, inherently harmless	✓
Optimized aerodynamic profile	✓
Flight time	45 min
Cruise speed	36-57 km/h (10-16 m/s)
Wind resistance	Up to 45km/h (12m/s)
Hand-launched	✓
Totally autonomous	✓
Circular landing	✓
Linear landing	✓
Electric powered	✓
Radio link	3km
All in one box	✓
Detachable wings	✓
16MP photo camera	✓
Mapping area	1.5-10 km ²
eMotion 2	✓
Onboard data logging	✓
Rapid image data check	✓
3D processing software: orthomosaics and 3D models	✓
Safety/emergency procedures	✓

Slika 9. Karakteristike SenseFly eBee letjelice (URL 7)

Krila se mogu rastaviti i spremati zajedno sa središnjim dijelom letjelice i svim njezinim priborom u mali kovčeg. Toliko je mala i lagana da se može pokrenuti rukama. Potpuno je autonomna tijekom cijelog leta. Pri slijetanju bi bilo dobro da ono bude na čistini, a ako je prostor ograničen senzori osiguravaju autonomno pravocrtno slijetanje.

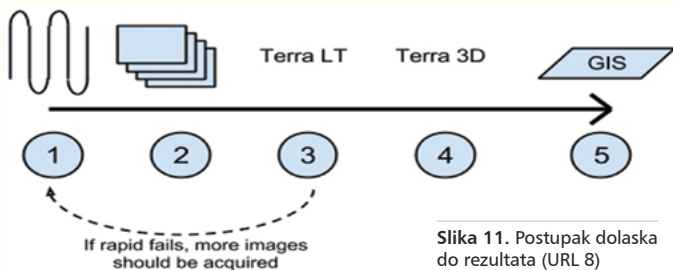
Pomoću eBeeja u kratkom vremenu dobivamo georeferencirane ortomozaike i 3D modele (Slika 10.) iz prikupljenih slika Postflight softverom. Emotion 2 softver omogućuje planiranje, simuliranje, praćenje i kontrolu putanje prije i za vrijeme leta, odabir područja koje će se snimati, generiranje plana leta, ažuriranje misije ili povratak. Kamera visoke rezolucije može snimiti slike s rezolucijom na zemlji od 3 do 30 cm po pikselu. Ovisno o visini leta i razlučivosti slike, u jednom letu se može preslikati 1,5 - 10 km². Ebee paket uključuje Postflight Terra 3D softver. Nakon početne provjere podataka na terenu (kontrola preklopa i niske rezolucije ortomozaike), Terra 3D automatski stvara precizni georeferencirani ortomozaik i DEM (digitalni elevacijski model). Primijeniti se može u različitim granama kao npr. geodeziji, rudarstvu, urbanizmu i planiranju, upravljanju infrastrukturom itd. (URL 7)



Slika 10. DMR (URL 7)

3.2.2.1 Istraživanje rada senseFly bespilotne letjelice

1. priprema plana leta
 - prikupljanje zračnih snimaka
 - mjerenje GCP-a (*Ground control point*)
2. prikupljanje podataka
 - prikupljanje većeg broja snimaka ako se ne izvrši automatska obrada
3. brza provjera na licu mjesta: Automatska obrada (Terra LT)
 - prikupljanje većeg broja snimaka ako se ne izvrši automatska obrada
4. povratak u ured: potpuna obrada (Terra 3D)
 - pregled izvješća nakon provjere kvalitete
 - provjera točnosti pomoću provjere GCP-a
 - poboljšanje mozaika pomoću Scene Editora
5. korištenje i analiza mozaika i DSM-a
 - upotreba Scene Editora za mjerenje volumena, udaljenosti i površina
 - *export* u GIS/CAD softvere (Slika 11.)



Slika 11. Postupak dolaska do rezultata (URL 8)

• Priprema plana leta

Plan leta je ključan za kvalitetno kartiranje i mora biti definiran s obzirom na vrstu terena (grad, šume, rijeke...). Svi planovi leta trebali bi osigurati dovoljan preklop snimaka kako bi se dobili optimalni rezultati s Postflight automatskom obradom. U većini slučajeva preporučuje se 70-postotno uzdužno preklapanje (u smjeru leta) i 60-postotno poprečno preklapanje. Pri nepogodnim terenima (šumama, područjima prekrivenim snijegom, jezerima...) zahtijevaju se veća preklapanja i to 70-postotno uzdužno, a 85-postotno poprečno preklapanje.

• Prikupljanje podataka

Kvaliteta i točnost podataka izravno ovisi o kvaliteti i točnosti ulaznih snimki.

• Brza provjera na licu mjesta

Preporučuje se pokretanje podataka u *Rapid processing modeu* odmah na licu mjesta. Brza obrada traje samo nekoliko minuta, te je dobar prvi pokazatelj kvalitete projekta.

Ako brza obrada uspije, sa sigurnošću se može pretpostaviti da će rezultati nakon potpune obrade biti visoke kvalitete.

Ako brza obrada ne uspije, vjerojatno je skup podataka zahtjevan i zahtjeva veći preklop. Ako je tako, preporučuje se prikupljanje više snimki pri ponovnom letu i kombiniranje projekata ili promjeni plana leta kako bi se osiguralo veće preklapanje na terenu. Treba imati na umu da se još uvijek mogu dobiti rezultati punom obradom, čak i ako brza obrada ne uspije. Međutim, rezultati u tom slučaju mogu biti lošije kvalitete, sastojati se od manje kalibriranih snimki itd.

- Povratak u ured: potpuna obrada

Provjera kvalitete omogućuje procjenu točnosti rezultata. Ako se koristi GCP, pregledom izvješća mogu se otkriti moguće pogreške. Ako je opcija "generiranje pojedinog ortofota" omogućena, može se koristiti mozaik editor za poboljšanje vizualnih svojstava ortomozaika.

- Korištenje i analiza mozaika i DSM-a

1. Scene Editor Postflight Terra je u stanju izračunati udaljenost, površine i volumen iz DSM-a i ortomozaika
2. datoteka također može biti uvezena u bilo koji GIS i CAD softver, kao što su: ArcGIS, GlobalMapper, Quantum GIS, SolidWorks, AutoCAD itd. (URL 8).



Slika 12. SenseFly eBee bespilotna letjelica (URL 7)

3.2.2.2 Obrada velikih skupova podataka

Postflight je u stanju obraditi istovremeno neograničen broj slika. Međutim, ovisno o bazama podataka i trenutnoj obradi resursa, mogu se pojaviti problemi s bazama podataka većim od 2 000 slika. Ovo su indikativne vrijednosti jer obrada ovisi o rezoluciji slike, sadržaju slike, preklapanju između slika (Slika 13.) i odabiru izlazne rezolucije. Dva su glavna uzroka neuspjele obrade velikih skupova podataka:



Slika 13. Preklapanje letova više letjelica (URL 9)

1. Nedovoljno memorije. Pri obradi velikih skupova podataka program izdvaja vrlo velik broj 3D točaka, što zahtjeva veliku količinu RAM-a, a time i usporava rad računala. U rijetkim slučajevima može doći do softverskih nestabilnosti.
2. Umjerene pogreške zbog heterogenog skupa podataka. Opsežan skup može se snimiti višestrukim letenjem ili u različito vrijeme. To može uzrokovati da slike iz baze podataka nisu dovoljno homogene za simultanu obradu (URL 9).

4. POGLED U BUDUĆNOST

Iako bespilotne letjelice mogu letjeti u SAD-u za određene javne i akademske svrhe, raširena komercijalna upotreba u svim klasama bespilotnih letjelica trebala bi biti omogućena nakon što FAA definira pravila, što bi trebalo biti u rujnu 2015. godine. Ipak, razvoj bespilotnih letjelica za geoprostorne potrebe opada. Prvu generaciju

bepilotnih letjelica karakteriziraju male (često manje od 2,2 kg) letjelice, koje pokreće elektromotor, opremljene nemetričkim digitalnim kamerama u rasponu 10 – 16 megapiksela. Poznati primjeri uključuju Trimble Gatewing X-100 i SenseFly eBee. Dobra strana tih prvih generacija uključuje relativno niske cijene i jednostavnu implementaciju uz minimalnu obuku.



Slika 14. Swissdrone Waran TC-1235 (URL 5)

Za brojne geoprostorne zadaće gdje visoka točnost nije bitna, letjelica pruža prostorne podatke uključujući DEM i DSM. Loša strana je njihovo kratko vrijeme leta, obično do ili ispod jednog sata kao i niža razlučivost slika i preciznost u odnosu na ono što se može postići sa širokokutnim mjernim senzorima.

Počnemo uvidati kako dolazi nova generacija komercijalnih bepilotnih letjelica. Radi se o većim letjelicama težih platformi za smještaj mjernih kamera visoke rezolucije, LIDAR-a i drugih senzora. U većini slučajeva oni mogu nositi više senzora, kao npr. kameru visoke rezolucije integriranu s LIDAR-om, što omogućuje veći broj podataka prikupljenih prilikom jednog prolaska. Njihovi senzori visoke rezolucije omogućuju puno više detalja za zadatke koji zahtijevaju visoku mjernu točnost. U tim slučajevima obično se koriste plinski motori koji omogućuju težu nosivost i duže vrijeme leta, i to četiri sata ili duže za dulje misije.

Dobar primjer novih generacija UAV-ova je nedavno najavljena suradnja između Leica Geosystema i Swissdrones, odnosno integracija



Slika 15. DMR visoke rezolucije (URL 5)

Leica RCD30 kamere visoke rezolucije sa Swissdrone Waran TC-1235 UAV-om (Slika 14.). S Leica RCD30 kamerom mogu se prikupiti vrlo precizne slike, ali i pružiti gusti površinski model s klasificiranim točkama i multispektralnim slikama za mapiranje okoliša (Slika 15.) (URL 5).

ZAKLJUČAK

Tijekom izrade ovog rada uvidjeli smo kolike su široke mogućnosti i koje su sve primjene bepilotnih letjelica. Krenuvši od samog njihovog povijesnog razvoja pa preko sadašnjih dosega i zatim "predviđanja" u kojem smjeru će se njihov razvoj kretati, smatramo da smo približili svijet bepilotnih letjelica kako čitatelju tako i sebi samima. Bilo je jako interesantno pratiti kako je tekao njihov razvoj i uporaba, odnosno kako su njihove mogućnosti zapravo rasle i kako se poboljšavala integracija samih senzora (navigacijskih i senzora za daljinska istraživanja). Prikazali smo da se njihova uporaba kretala zapravo iz vojne u civilnu jer je inovacije u području bepilotnih letjelica u pravilu uvijek poticala vojska. Zatim smo detaljnije istražili na čemu se temelji njihova kontrola leta (INS, GNSS) i sam princip kontrole. Jako zanimljivo nam je bilo upoznati princip rada SenseFly eBee letjelice. Uvidjevši njene mogućnosti, došli smo do zaključka da primjena jedne takve letjelice u svakodnevnim potrebama rješavanja zadaća za koje je potreban digitalni model terena može uvelike pomoći, a nije toliko skupa u odnosu na mogućnosti koje pruža. Nadalje, istraživanje budućih inovacija u svijetu bepilotnih letjelica nije nam predstavljalo laku zadaću jer vojska jako skriva svoje buduće namjere, a i sami proizvođači (radi sve veće konkurencije u proizvodnji). Unatoč tome, možemo primijetiti da je razvoj krenuo u smjeru proizvodnje što manjih letjelica (čiji senzori stanu u mikročip), ali danas počinjemo uviđati kako dolazi nova generacija komercijalnih bepilotnih letjelica. Radi se o većim letjelicama težih platformi za smještaj mjernih kamera visoke rezolucije, LIDAR-a i drugih senzora. Veća ulaganja i napori se trenutno ulažu u ostvarenje dužeg trajanja leta (za duže misije) i u načine na koji će letjelica biti pokretana (cilj je prijeći na alternativne izvore energije – solarnu, energiju vjetra...). Isto tako, istaknuli bismo problem nedostatka zakonskih propisa koji bi omogućili da letjelice legalno lete u komercijalne svrhe, a ne da se za svaki let mora tražiti posebna dozvola, što naravno smanjuje uporabu letjelica.

LITERATURA

- › Agostino, S., Mammone, M., Nelson, M., Zhou, T. (nepoznato): Classification of unmanned aerial vehicles, The University of Adelaide, Adelaide (Australija).
- › Austin, R. (2010): Unmanned aircraft systems uavs design, development and deployment, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, Chichester (West Sussex, United Kingdom).
- › Blazakis, J. (2004): Border Security and Unmanned Aerial Vehicles, CRS izvješće za Kongres, U.S. Department of State, Washington (SAD).
- › Blom, J. D. (2010): Unmanned Aerial Systems: A Historical Perspective, Combat Studies Institute Press US Army Combined Arms Center Fort Leavenworth, Kansas (SAD).
- › Fahlstrom, P. G., Gleason, T. J. (2012): Introduction to uav systems (fourth edition), A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, Chichester (West Sussex, Ujedinjeno Kraljevstvo).
- › Molina, P., Wis, M., Pares, M.E., Blazquez, M., Tatjer, J.C., Colomina, I. (2008): New approaches to imu modelling and INS/GPS integration for UAV-based earth-observation, International Technical Meeting of the Satellite Division, Savannah (Georgia).
- › Quinchia, A.G., Ferrer, C. (nepoznato): A Low-Cost GPS&INS Integrated System Based on a FPGA Platform, UAB CNM CSIC IEEC, Barcelona (Španjolska).
- › Roberts, P. J., Walker, R. A., O'Shea, P. (2005): Tightly Coupled GNSS and Vision Navigation for Unmanned Air Vehicle Applications, Proceedings Australian International Aerospace Congress, Melbourne (Australija).
- › Zahid Jamal S. (2012): Tightly Coupled GPS/INS Airborne Navigation System, Institute of Space Technology, Islamabad (Pakistan).
- › URL 1: UAV Market Space, (2014), History of UAVs. [Internet], < raspoloživo na: <http://www.uavm.com/uavindustry/historicalbackground.html> >, [pristupljeno 21. 03. 2014.]
- › URL 2: NOVA, (2002.), Time line of UAVs. [Internet], < raspoloživo na: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs.html> >, [pristupljeno 21. 03. 2014.]
- › URL 3: GIZMODO, (2014.), Black Hornet: The \$195,000 Spy Plane That Fits in the Palm of Your Hand. [Internet], < raspoloživo na: <http://gizmodo.com/5981975/black-hornet-the-195000-spy-plane-that-fits-in-the-palm-of-your-hand> >, [pristupljeno 20. 03. 2014.]
- › URL 4: Armz tehnology, (2013.), PD-100 Black Hornet Nano Unmanned Air Vehicle. [Internet], < raspoloživo na: <http://www.army-technology.com/projects/pd100-black-hornet-nano/> >, [pristupljeno 20. 03. 2014.]
- › URL 5: Professional surveyor, (2013.), Feature: The Next Generation of UAVs. [Internet], < raspoloživo na: <http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=71293> >, [pristupljeno 20. 03. 2014.]
- › URL 6: Qiaosong (Chausson) Wang, (2012.), Quadcopter UAV project. [Internet], < raspoloživo na: <http://qiaosongwang.wordpress.com/tag/quadcopter-uav-gpsins-structure-from-motion-fpv-ahrs/> >, [pristupljeno 20. 03. 2014.]
- › URL 7: Geomatika Smolčak, (2012.), Brošura za ebee. [Internet], < raspoloživo na: http://www.geomatika-smolcak.hr/baza/smolcak/proizvodi_datoteke/BROCHURE-eBee.pdf >, [pristupljeno 21. 03. 2014.]
- › URL 8: Sense fly, (2009.- 2014.), SenseFly drone survey workflow. [Internet], < raspoloživo na: <https://www.sensefly.com/support/download/survey-workflow.html> >, [pristupljeno 21. 03. 2014.]
- › URL 9: Sense fly, (2009.- 2014.), Processing large datasets. [Internet], < raspoloživo na: <https://www.sensefly.com/support/download/large-datasets.html> >, [pristupljeno 21. 03. 2014.]
- › URL 10: V1, (2014.), V-1 flying bomb. [Internet], < raspoloživo na: <https://www.sensefly.com/support/download/large-datasets.html> >, [pristupljeno 21. 03. 2014.]