

IZDELAVA BREZPILOTNEGA LETALNIKA ZA ZAJEM PROSTORSKIH PODATKOV – PROJEKT DRUŠTVA ŠTUDENTOV GEODEZIJE SLOVENIJE FLYEYE

CONSTRUCTION OF UNMANNED VEHICLE FOR SPATIAL DATA ACQUISITION – A PROJECT OF SLOVENIAN GEODETTIC STUDENT SOCIETY FLYEYE

Nejc Dougan, Aleksander Šašo, Urh Tržan, Blaž Vidmar

KAJ SO BREZPILOTNI LETALNIKI IN ZAKAJ BI IZDELALI SVOJEGA?

Potrebe po prostorskih podatkih so vse večje. Uporaba Google Zemlje in podobnih storitev, ki temeljijo na posnetkih fizičnega površja Zemlje, se je iz strokovne domene daljinskega zaznavanja in geodezije razširila v tako rekoč sleherni dom. Profesionalni letalski in satelitski sistemi so izjemno dragi, prav tako se takšna snemanja ne izvajajo zelo pogosto (na primer letalsko snemanje na tri leta), spremembe v prostoru pa se dogajajo veliko hitreje. Mala brezpilotna zračna plovila oziroma letalniki (angl. UAV – unmanned aerial vehicle) so vedno bolj zmogljiva in cenovno dostopna, tako da omogočajo razvoj novih inovativnih načinov za zajem prostorskih podatkov. Takšne rešitve uporablja vse več podjetij v Sloveniji in tujini.

Brepilotni letalniki so letalniki brez posadke, ki letijo z avtopilotom ali pa se upravljajo z daljinskim upravljalnikom s tal in računalnikom kot kontrolno postajo. V zadnjih letih so postali cenovno ugodni ter dovolj zmogljivi, da so se začeli uporabljati kot nosilna platforma za različne senzorje. V geodeziji so to digitalni fotoaparati (kompaktni ali zrcalno-refleksni (SLR)), nekateri sistemi omogočajo tudi uporabo laserskega skenerja (lidarja). Nosilnost brezpilotnih letalnikov je omejena, zato se uporabljajo kar se da lahki senzorji. Cena profesionalnih sistemov se giblje med nekaj tisoč evri pa do nekaj milijonov evrov (Eisenbeiss, 2009).

V Društvu študentov geodezije Slovenije si želimo, da bi bili tudi študenti v koraku s časom in bi se že med študijem spoznali z najsodobnejšimi metodami za zajem prostorskih podatkov. Zato smo se odločili, da bomo sestavili svoj lasten letalnik, natančneje kvadrokopter (UAV s štirimi rotorji; angl. quadcopter), na katerega bomo lahko namestili digitalni fotoaparati. Osnovi cilji, ki smo si jih zadali, so: stroški izgradnje, nižji od 1000 EUR, čas letenja, daljši od 10 minut, in nosilnost vsaj 300 gramov. Del vizije je bil tudi drugim študentom omogočiti spoznavanje in uporabo sestavljenega letalnika v okviru raziskovalnih, seminarških ali tudi diplomskih nalog.

ZGRADBA SISTEMA

Sistem brezpilotnih letalnikov (angl. UAS – unmanned aerial system) v osnovi sestoji iz treh delov (Skrzypletz, 2012):

- kontrolne postaje (angl. GCS – ground control station), ki je pomemben del sistema, prek katerega lahko spremljamo stanje letalnika in mu pošiljamo ukaze;

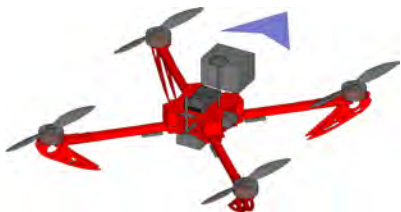
- brezpilotnega letalnika (angl. UAV – unmanned aerial vehicle) oziroma v našem primeru platforme senzorja (fotoaparata) za zajem zračnih fotografij;
- brezžične povezave med kontrolno postajo in brezpilotnim letalnikom.

V nadaljevanju bodo na kratko predstavljene komponente (slika 1), ki sestavljajo naš sistem, predvsem brezpilotni letalnik (kvadrokopter). Izbrali smo jih večinoma na podlagi spletnih raziskav (mnenj uporabnikov, forumov) in vsemogočnega kalkulatorja za multirotorje eCalc (<http://www.ecalc.ch/>). Zgradba je tako rekoč enaka pri vseh multirotorjih, torej bi lahko rekli, da gre za splošni pregled komponent, ki sestavljajo multirotor.



Slika 1: Komponente in prvo sestavljanje

Okvir (angl. frame)



Okvir je osnovna oblika letalnika. Odločili smo se, da zgradimo letalnik s štirimi kraki, tako imenovani kvadrokopter. Okvirja nismo izdelali sami, ampak smo kupili kar komplet za sestavo. Naknadno smo ga nekoliko modificirali: dodali smo nekaj lukenj in ploščico oziroma nadstropje, s čimer smo pridobili

Avtopilot



Slika 2: Avtopilot Pixhawk

Avtopilotu bi lahko rekli možgani letalnika. Uporabljen je Pixhawk (slika 2), ki je nov proizvod podjetja 3D Robotics iz začetka leta (2014). Sistem z mikroprocesorjem in odprtokodno programsko opremo vodi in nadzira delovanje letalnika. V samem avtopilotu so trije senzorji: žiroskop, pospeškometer in barometer. Poleg tega ga je mogoče povezati z drugimi senzorji in komponentami.

GPS-sprejemnik in kompas



Na avtopilot je priključen modul, ki združuje GPS-sprejemnik in kompas. GPS in kompas zagotavljata položaj letalnika in smer, v katero je obrnjen. Pomembno je, da je modul čim bolj oddaljen od druge elektronike, ki bi lahko zmotila delovanje kompasa in vplivala na prejeti GPS-signal. Zato je modul pritrjen na paličico in dvignjen na odprto nad druge komponente.

Telemetrija



Na avtopilot sta priključena tudi sprejemnika dveh telemetrij. Ena skrbi za povezavo med letalnikom in računalnikom ter sprejema in oddaja signal na frekvenci 433 MHz. Računalniku stalno sporoča stanje letalnika: položaj, smer, polnost baterije, nagib in še marsikaj. Omogoča tudi pošiljanje ukazov letalniku prek računalnika, vendar tega v praksi ne izvajamo. Druga telemetrija je namenjena povezavi z daljincem. Na letalnik je nameščen sprejemnik, ki sprejema ukaze z daljince na frekvenci 2,4 GHz in 8 kanalih.

ESC-ji, motorji in propelerji

Elektronski krmilnik vrtljajev (angl. ESC – electronic speed controller) ima vlogo posrednika med avtopilotom in elektronskim motorjem, saj motorju na podlagi zahtev avtopilota sporoči, kako hitro se mora vrteti – hitrost sega do približno sto obratov na sekundo. Vsakemu motorju pripada svoj ESC.



Na motorje so pritrjeni 12 inčev (30,5 centimetra) dolgi plastični propelerji, ki vrtenje motorja pretvorijo v potisno silo za dviganje letalnika.

Baterija



Letalnik energijo črpa iz litij-polimerne (Li-Po) baterije z zmogljivostjo 5000 mAh. Za primerjavo: baterija iPhone 5 ima zmogljivost 1440 mAh. Baterija letalnik drži v zraku do 15 minut in tehta pol kilograma.

Nosilec za fotoaparatus in fotoaparatus



Za zajem prostorskih podatkov z brezpilotnim letalnikom potrebujemo primeren senzor. V našem primeru je to digitalni fotoaparatus Canon IXUS 132. Ker je nizkocenovni, ne omogoča dostopa do osnovnih nastavitev za nastanek fotografije (občutljivost senzorja – ISO, čas ekspozicije in odprtost zaslonke), ne omogoča pa niti proženja na daljavo. Zato je na

fotoaparatus nameščen odprtokodni CHDK (Canon Hack Development Kit), ki vse te pomanjkljivosti nadomesti. Pri fotografiranju za fotogrametrične namene je nameščena skripta CHDK Plus, v kateri se uporabljajo naslednje nastavitve:

- ISO 100 (nizke vrednosti občutljivosti senzorja, da slike niso presvetle);
- čas ekspozicije 1/1000 s (omogoča ostre slike);
- odprtost zaslonke $f = 3,5$.

Za proženje na daljavo je fotoaparatus prek mini USB-kabla povezan z avtopilotom, ki mu na vnaprej določenih lokacijah, razdalji ali času pošilja signal za proženje.

Nosilec za fotoaparatus smo naredili kar sami. Uporabljena sta aluminijasta nosilca in pločevinasta škatlica, v kateri smo prejeli motorje. Za nosilec je pomembno, da izniči čim več tresljajev, ki jih ustvari letalnik. Zato je škatlica, v katero se vstavi fotoaparatus, obložena s peno, ključno vlogo pri izničevanju tresljajev pa imajo protitresljajne gumice, prek katerih je škatlica pritrjena na nosilca.

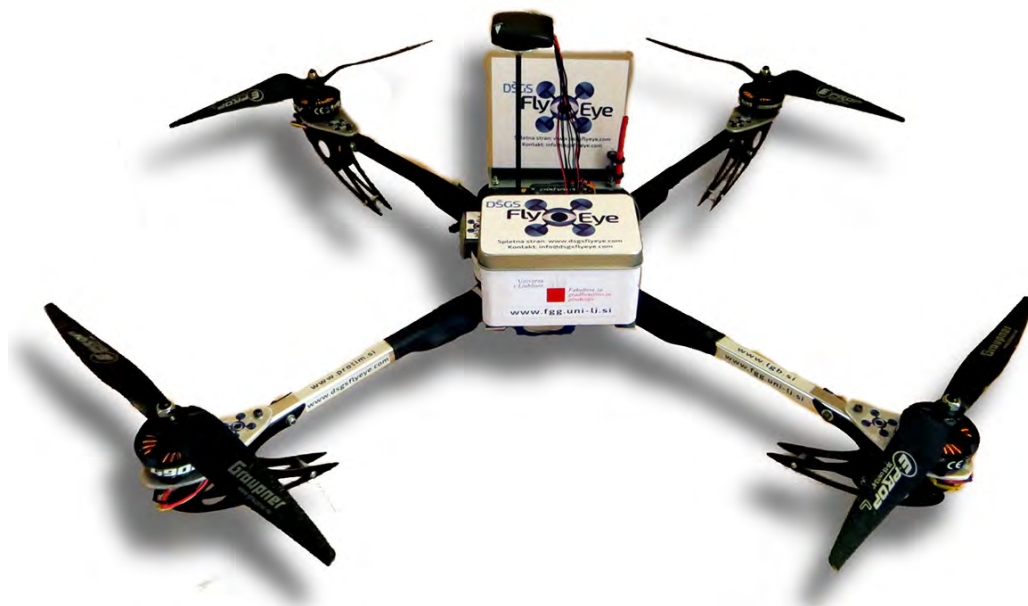
Druge komponente na letalniku

Letalnik ima še nekaj drugih komponent:

- ploščico razdeljevanja energije (angl. power distribution board) in modul energije (angl. power module), ki razdelita energijo, prejeto z baterije, med štiri motorje in avtopilota;

- stikalo za vklop in zvočni signal avtopilota;
- zvočni signal telemetrije, ki sproži alarm, ko se prekine povezava med računalnikom in letalnikom;
- zvočni signal baterije, ki sproži alarm, ko je baterija skoraj prazna;
- od sistema neodvisni GPS-sledilnik, ki podaja položaj prek SMS-sporočila;
- veliko kablov, ki vse skupaj povezujejo.

Vse našteje komponente (skupaj s fotoaparatom) sestavljajo brezpilotni letalnik (UAV) DŠGS FlyEye (slika 3) in tehtajo dobra 2 kilograma. Za funkcionalnost celotnega sistema (UAS) pa je potrebna še dodatna oprema za kontrolno postajo: računalnik ali tablica s sprejemnikom/oddajnikom telemetrije in programsko opremo ter daljinec. Potreben je tudi poseben polnilec za baterije Li-Po.



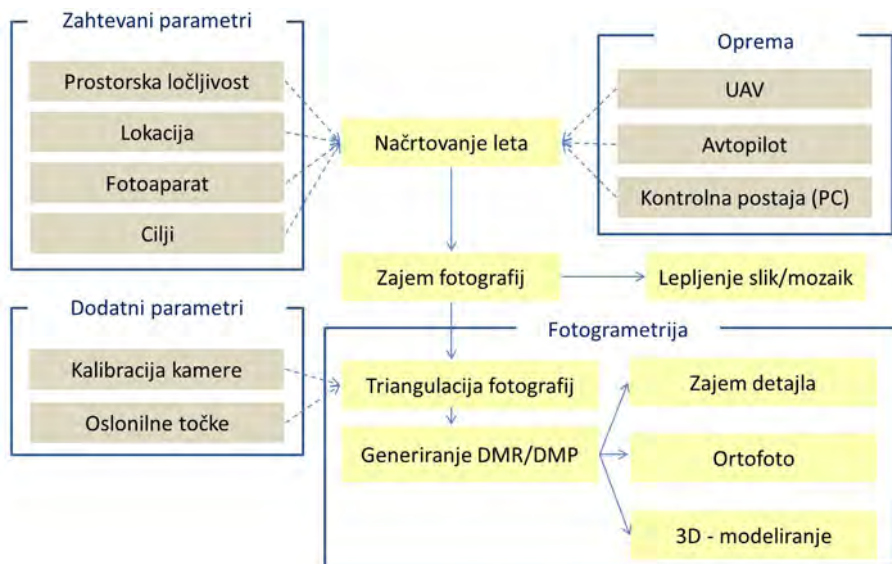
Slika 3: Zgrajeni brezpilotni letalnik DŠGS FlyEye

NAČRTOVANJE LETA IN ZAJEM

Delovni proces pri brezpilotnih letalnikih se deli na tri glavne sklope: načrtovanje leta, izvedbo leta z zajemom fotografij in obdelavo fotografij (slika 4). Realizacija posameznih faz se po posameznih sistemih nekoliko razlikuje.

Pri DŠGS FlyEye načrtovanje leta opravimo z odprtokodnim programom Mission Planner. Glavna vhodna podatka za načrtovanje sta območje interesa in zelena prostorska ločljivost. Območje določimo s poligonom. Prostorska ločljivost posnetkov je odvisna od fotoaparata in višine leta snemanja. Ker imamo na voljo samo en fotoaparatus, prilagajamo višino leta tako, da dobimo zeleno ločljivost. Na sliki 5 je prikazan načrt leta nad območjem UL FG. Z uporabo naše kamere in letenjem na višini 110 metrov nad terenom bi dosegli prostorsko ločljivost 3,26 centimetra. Zajete fotografije se morajo za fotogrametrično obdelavo prekrivati v vzdolžni in prečni smeri, odstotek prekrivanja je odvisen od namena uporabe in

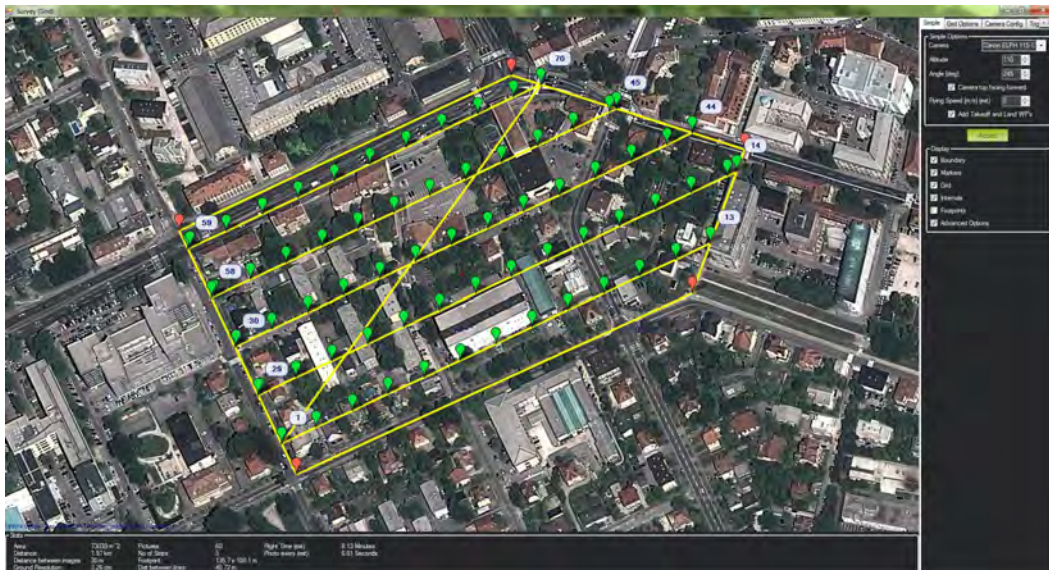
uporabljene programske opreme (običajno vsaj 60 % v obeh smereh). Zeleno označene točke na sliki 5 predstavljajo lokacije proženja fotoaparata. Čas trajanja prikazanega letenja je približno 8 minut. Pri načrtovanju moramo tako biti pozorni tudi na sam čas letenja. DŠGS FlyEye ima avtonomijo baterije približno 15 minut, vendar nikoli ne načrtujemo leta, daljšega od 10 minut. Predvsem iz varnostnih razlogov. V trajanju leta, izračunanem z Mission Planner, ni upoštevan čas, ki ga porabimo za vzletanje in pristajanje.



Slika 4: Delovni proces (prirejeno po: Nex, F., Remondino, F., UAV for 3D mapping applications: a review, 2013)

Načrt leta naložimo na brezpilotni letalnik. Med letom imamo z letalnikom vzpostavljeno povezavo prek telemetrije. Prek računalnika tako nadziramo sam let in prejemamo informacije, povezane z letom. Brez-pilotni letalnik prek daljinskega upravljalnika dvignemo na nekaj metrov, nato preklapimo na samodejni način. Avtopilot vodi letalnik do začetka misije in tudi upravlja ves let. Med letom na vnaprej določenih točkah proži fotoaparati. Po končani misiji se vrne na točko vzleta, kjer nato samodejno pristane oziroma na zahtevnejšem terenu prevzamemo kontrolo in pristanemo ročno.

Če želimo končni izdelek umestiti v prostor (georeferencirati), je treba na terenu izmeriti določeno število oslonilnih točk. Te morajo biti optimalno razporejene po območju zajema. Njihove koordinate (v koordinatnem sistemu, v katerem želimo imeti končni izdelek) lahko določimo s klasičnimi geodetskimi metodami ali z GNSS-metodo izmere, kar je bolj običajen postopek. Izmerimo lahko dobro definirane detajlne točke ali pa za signaliziranje uporabimo posebne tarče, ki jih razporedimo po območju snemanja. Za kontrolo kakovosti georeferenciranja se uporabijo kontrolne točke, katerih koordinate določimo enako.



Slika 5: Prikaz načrtovanja leta Mission Planner

OBDELAVA PODATKOV

Rezultati zajema prostorskih podatkov so:

- fotografije (med seboj se morajo prekrivati v prečni in vzdolžni smeri);
- koordinate oslonilnih in kontrolnih točk (v ustreznem koordinatnem sistemu).



Slika 6: Oblak točk na gradbišču cestnega odseka, izdelan iz posnetkov, ki so bili zajeti s sistemom DŽGS Flyeye.



Slika 7: Oblak točk zapuščenega kamnoloma, izdelan iz posnetkov, ki so bili zajeti s sistemom DŠGS FlyEye.



Slika 8: Ortofoto gradbišča v parku Tivoli, izdelan iz posnetkov sistema DŠGS FlyEye

Fotografije uvozimo v primerno programsko opremo (3D Survey, Pix4D, PhotoScan). Na podlagi slikovnega ujemanja jih združimo v 2D-mozaik, nato pa z izravnavo bloka snopov kot presek premic izdelamo oblak točk. Te ustrezno obdelamo (na primer odstranimo vegetacijo, zgradbe in avtomobile) ter izdelamo različne digitalne modele. V naslednjem koraku lahko izdelamo ortofoto ali pravi ortofoto (odvisno od modela), kjer čez model reliefa pravokotno projiciramo fotografije. Običajno želimo, da je končni izdelek umeščen v prostor. Za to potrebujemo na terenu izmerjene koordinate oslonilnih in kontrolnih točk. Datoteko s koordinatami oslonilnih točk uvozimo v program, nato pa programu pokažemo točke (običajno le nekaj točk, druge poišče sam). Kontrolne točke uporabimo za oceno položajne točnosti končnih izdelkov. Na slikah 6, 7, 8 je prikazanih nekaj izdelkov, pridobljenih z izdelavo posnetkov sistema DŠGS Flyeye.

UPORABA

S sistemom, kakršen je DŠGS FlyEye, terenskimi meritvami in uporabo primerne programske opreme je mogoče pridobiti različne uporabne izdelke. Najpogostejši so:

- fotografije iz zraka,
- video iz zraka,
- 2D-mozaik,
- 3D-oblak točk,
- izračun prostornine neposredno iz oblaka točk,
- različni digitalni modeli (DMR, DMV, DMP ...),
- ortofoto,
- popolni ortofoto,
- plastnice, izdelane iz DMR.

Prostornina nekega območja je pomemben podatek pri kamnolomih in gradbenih projektih, pri katerih je treba načrtovati prevoz materiala, ali pri naravnih nesrečah (na primer plazju), pri katerih ocenjujemo škodo. Z digitalnimi modeli lahko v geoinformacijskih sistemih (na primer programu ArcMap) izvajamo različne prostorske analize. Uporabljajo jih na primer hidrologi, če želijo izračunati smeri in količine pretoka ali že vnaprej predvideti poplavno ogrožena območja v deževnih obdobjih. Prostorske podatke za svoje projekte pa vedno potrebujejo tudi prostorski načrtovalci.

SKLEP

Projekt je bil za nas velik izziv. Poleg samega sestavljanja, ki je pomenilo neposredno spoznavanje tehnologije in pridobivanje znanja z novih področij, smo se veliko naučili o projektnem vodenju in tem, kako se spoprijeti z različnimi izzivi, ki se pojavijo med delom. Projekt smo začeli z idejo, pridobili sredstva, preučili dobršen del področja in se naučili dela z marsikaterim novim orodjem. Prav tako smo se naučili skupinskega dela in pomembnosti sodelovanja. Seveda je bilo tudi veliko manjših napak in slepih ulic, ki pa nas niso ustavile, ampak še dodatno motivirale.

Ko je bila gradnja letalnika končana in so bili uspešno izvedeni prvi testi, smo organizirali okroglo mizo, na kateri smo DŠGS FlyEye predstavili in ga tudi uradno predali fakulteti v uporabo. Izpolnili smo cilje, ki smo si jih zadali, saj smo izdelali nizkocenovni letalnik, ki se na prvi pogled že lahko zadovoljivo primerja

s profesionalnimi, komercialnimi sistemi. Naš kvadrokopter je končan in operativen, projekta je uradno konec, kar pa še ne pomeni, da smo s FlyEyem opravili. Zdaj se pravo testiranje in optimiziranje šele začne. Nekaj idej za nadgradnjo in nadaljnja testiranja že imamo, obračamo pa se tudi na vse študente, ki jih tema zanima in imajo kakšen predlog, idejo, ali pa se želijo naučiti kaj več o letalniku, da se obrnejo na Društvo študentov geodezije Slovenije (več informacij na www.dsgsflyeye.com).

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujemo mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras in somentorju asistentu dr. Dejanu Grigillu, ki sta od samega začetka podpirala idejo, nas usmerjala in nam stala ob strani s številnimi nasveti. Prav tako projekta ne bi bilo mogoče izvesti brez številnih donatorjev, ki so idejo finančno podprli. Hvala predvsem Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo pri Univerzi v Ljubljani, Protim Rržišnik Perc, LGB in Geavis ter seveda vsem drugim.

Ekipe DŠGS FlyEye (Aleksander Šašo, Blaž Vidmar, Nejc Dougan, Urh Tržan) pa tudi najbrž še ni rekla zadnje z brezpilotnimi letalniki. Razmišljamo namreč, da bi znanja, ki smo jih med projektom osvojili, preusmerili v podjetniško idejo in začeli izdelovati letalnike za zajem prostorskih podatkov.

Literatura

- Eisenbeiss, H. (2008). UAV photogrammetry in plant sciences and geology. V: 6th ARIDA Workshop on Innovations in 3D Measurement, Modeling and Visualization, Povo (Trento), Italija.
- Eisenbeiss, H. (2009). UAV Photogrammetry (doctoral dissertation). ETH Zurich, Zurich.
- Nex, F., Remondino, F. (2013). UAV for 3D mapping applications: a review. Societa Italiana di Fotogrammeria e Topografia 2013. DOI: <http://www.dx.doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>.
- Skrzypletz, T. (2012). Unmanned Aircraft Systems for Civilian Missions. BIGS Policy Paper February 2012.

Nejc Dougan, Aleksander Šašo, Urh Tržan, Blaž Vidmar, študenti geodezije in geoinformatike
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, Ljubljana
e-naslov: nejc.dougan@gmail.com