

**IZRADA 3D MODELA PRIMJENOM BLISKO - PREDMETNE FOTOGRAMetriJE****CREATING 3D MODEL USING A CLOSE - RANGE PHOTOGRAMMETRY**Radmila Arambašić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GEODEZIJA I GEOMATIKA**

**Kratak sadržaj** – Predmet ovog rada jeste generisanje tro-dimenzionalne predstave Spomenika palim Krajišnicima kod Banja Luke, na osnovu snimaka iz vazduha prikupljenih bespilotnom letjelicom DJI Phantom 4 Advanced, u kombinaciji sa terističkim snimcima sa zemlje prikupljenim digitalnom kamerom. Postupak modelovanja i vizuelizacije finalnog modela izvršeno je u softveru Reality Capture, te je u okviru analize rada uključen pregled postignutih rezultata i ocjena njihove tačnosti.

**Ključne riječi:** UAV, bespilotna letjelica, DJI Phantom 4 Advanced, 3D model, oblak tačaka, Reality Capture, Struktura iz pokreta

**Abstract** – The subject of this paper is generating a three-dimensional model of the monument "Spomenik Palim Krajišnicima" near the city of Banja Luka, based on airborne images collected by drone DJI Phantom 4 Advanced, combined with terrestrial images collected by a digital camera. The process of modeling and visualization of the model was performed in software Reality Capture. This paper also includes a review of the achieved results and evaluation of their accuracy.

**Keywords:** UAV, 3D model, point cloud, Reality Capture, Drone, DJI Phantom 4 Advanced, SfM

**1. UVOD**

Savremeni razvoj tehnologije u posljednoj deceniji doveo je do ubrzanog razvoja fotogrametrijskih sistema za prikupljanje podataka sa zemlje i iz vazduha, što je uslovalo i razvoj pratećih softverskih rješenja, koja prevazilaze komplikovane procedure obrade kod klasičnih fotogrametrijskih metoda i svode problem obrade na jednostavne procedure. U skladu sa tim, ubrzan razvoj bespilotnih letjelica, koji se može objasniti opštim razvojem tehnologije, omogućio je sve veću komercijalnu upotrebu UAV sistema i proširio njihovo područje djelovanja. UAV uređaji su sve manji, lakši i jednostavniji za upotrebu, a njihov finalni proizvod sve je boljeg kvaliteta i veće tačnosti. Sve to, uticalo je na proces snimanja objekata kulturne baštine, s obzirom da digitalni alati današnjice nude mnoštvo novih mogućnosti za generisanje digitalnih modela sličnih stvarnom objektu, što ih čini adekvatnijim za ljudsku percepciju i razumijevanje [1].

Ovaj rad predstavlja svojevrsni uvid u kombinovanu upotrebu snimaka iz vazduha prikupljenih bespilotnom

letjelicom i terističkih snimaka prikupljenih digitalnom kamerom primjenom metode "Struktura iz pokreta", u cilju generisanja fotorealističnog modela spomenika.

**2. UAV - UNMANNED AERIAL VEHICLES**

Početkom XX vijeka došlo je do razvoja analogne fotogrametrije, koja razvojem računarske tehnologije biva vrlo brzo zamijenjena digitalnom. Jedna od savremenih platformi za nošenje opreme za digitalnu fotogrametriju jesu UAV, bespilotne letjelice (*eng. Unmanned Aerial Vehicles*) [1]. UAV su daljinski kontrolisani, poluautomatski ili potpuno automatski sistemi koji ne zahtijevaju ljudsku posadu. Pojava ovih uređaja predstavlja veliki napredak i nalazi sve veću primjenu u tehničkim strukama. Bespilotne letelice imaju razne prednosti, uključujući: sposobnost letenja na malim visinama, pristup udaljenim i nepristupačnim lokacijama, mogućnost ugradnje različitih senzora (kamere, laserski skeneri, itd.), mogućnost dobijanja fotografija iz različitih uglova, itd. [2]. Danas su, tehnike 3D rekonstrukcije i vizuelizacije na osnovu UAV snimaka postale veoma efikasne metode u oblasti dokumentovanja objekata od značaja, što omogućava modelovanje velikih i složenih objekata iz istorijskog i kulturnog naslijeđa, po relativno niskoj cijeni [3].

**2.1. Komponente i način funkcionisanja UAV sistema**

Osnovne komponente UAV sistema su letjelica, komandni link i zemaljska kontrolna stanica. Arhitektura sistema letjelice sastoji se od nekoliko komponenti: autopilot, GNSS, IMU jedinica, kamera i softver koji objedinjuje sve komponente u jedan sistem [4].

Funkcionisanje UAV sistema se može objasniti kroz tri faze. U prvoj fazi potrebno je izvršiti pripremu leta, definisati područje snimanja, rezoluciju snimanja i detalje leta. Misija se planira počevši od definisanja područja od interesa (*eng. area of interest, AOI*) u skadu sa namjenskim softverom i specifikacijom montiranog senzora. Detalji leta i njegovi parametri moraju se pažljivo razmotriti, uključujući visinu leta, orijentaciju leta, brzinu leta, područje snimanja, orijentaciju snimanja, postotak preklapanja snimaka i brzinu snimanja. Ovi parametri variraju u zavisnosti od karakteristika platforme, svojstava kamere, topografskih uslova, vremenskih uslova, nivoa detalja i svrhe mapiranja [5]. Preduslov za kalibraciju dobijenih UAV podataka i njihovo smještanje u odgovarajući koordinatni sistem je određivanje kontrolnih tačaka na terenu. Danas, savremeni UAV sistemi imaju GNSS/RTK prijemnike, pa je moguće snimanje vršiti u realnom vremenu. Definisane kontrolnih tačaka i kalibracija predstavljaju drugu fazu funkcionisanja sistema. Sistemi ovog tipa

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dušan Jovanović, docent.

opremljeni su kamerama visoke rezolucije, pa se treća faza odnosi na procesiranje dobijenih podataka [4].

### 3. AKVIZICIJA PODATAKA

U okviru ove studije slučaja izvršeno je snimanje Spomenika palim Krajišnicima, udaljenom oko 5 km od grada Banja Luke. Za potrebe snimanja spomenika iz vazduha korištena je bespilotna letjelica Phantom 4 Advanced, a za snimanje sa zemlje korištena je digitalna kamera NICON D7100 (Slika 1).



Slika 1. Phantom 4 Advanced i NICON D7100

Korištena bespilotna letjelica predstavlja autonomni mikro-sistem, sa četiri propelera i četiri elektromotora, smještenim ispod svake elise. Letjelica je opremljena kamerom od 20 MP i 1-inčnim CMOS senzorom, sa otvorom blende f/2.8 - f/11. Težina letjelice iznosi 1368 g (sa baterijom) i ima maksimalno vrijeme letenja od 30 minuta.

Izvođenje snimanja bespilotnom letjelicom izvršeno je 4. aprila 2018. godine. Misije su izvođene na dnevnoj svjetlosti, bez upotrebe blica, radi dobijanja prirodnijeg izgleda objekta na fotografijama. Vladali su povoljni vremenski uslovi - mjestimično oblačno nebo, bez sjenki. U okviru akvizicije podataka bespilotnom letjelicom, izvedene su tri misije i snimljeno je ukupno 477 fotografija. Dva leta izvedena su u autonomnom režimu rada i jedan u manuelnom, odnosno:

Prva misija: misija sa fotografijama paralelnim na putanju leta (tzv. nadir fotografije). Visina leta iznosila je 40 m. Snimanje je vršeno sa 85% podužnog i 80% popriječnog preklopa. Prikupljeno 98 fotografija. Vrijeme trajanja misije iznosilo je 4 min i 31 sekunda. Obuhvaćena je oblast od 6500 m<sup>2</sup>.

Druga misija: izvedena u cilju dobijanja kosih snimaka. Kose fotografije snimaju se pod uglom u odnosu na objekat, s ciljem prikupljanja informacija koje nadir fotografije ne mogu da pruže. Zadan je podužni preklap od 85% , popriječni preklap od 80% i visina leta od 40 m. Snimljena je 91 fotografija. Misija je izvršena za 5 min i 31 sec a obuhvaćena je oblast veličine 7700 m<sup>2</sup>.

Treća misija: izvedena u manuelnom režimu rada. Snimljeno je ukupno 288 fotografija. Vremenski, ova misija trajala je najduže od tri sprovedene (oko 30 min).

Kako spomenik na prednjoj strani - pročelju, kao i na bočnim zidovima, ima reljefe koji ilustruju borbu krajiških boraca, bilo je potrebno obratiti pažnju na ove detalje, u cilju dobijanja što vjerodostojnijeg 3D modela spomenika.

U tu svrhu, iskorišteni su snimci iz 2013. godine, prikupljeni sa zemlje digitalnom kamerom Nikon (NICON D7100 24 MP, 35mm, 23.5 × 15.6 mm CMOS senzor). U postupku 2013. godine prikupljeno je ukupno 348 fotografija. Odluka o upotrebi terestičkih snimaka prikupljenih digitalnom kamerom nekoliko godina prije akvizicije snimaka bespilotnom letjelicom, donesena je u cilju ispitivanja i potvrde fleksibilnosti metode „Struktura

iz pokreta“ - mogućnost korištenja fotografija iz različitih vremenskih okvira.

#### 3.1. Pre-processing

Nakon završene akvizicije podataka, a prije modelovanja, potrebno je pregledati prikupljene snimke kako bi se utvrdilo nepostojanje zamućenih fotografija. Osim toga, setovi fotografija iz različitih misija su slični, no zbog razlike u vremenu akvizicije ipak se mogu pojaviti razlike u pogledu osvjjetljenja, tj. neke fotografije mogu izgledati "isprano" ili meko u odnosu na druge. To je moguće popraviti u tzv. preprocessingu snimaka, kako bi se dobila što bolja tekstura, a samim tim kvalitetniji i realističniji 3D model. U ovoj studiji slučaja za potrebe preprocessinga korišten je program Adobe Lightroom. U navedenom programu moguće je vršiti editovanje i podešavanje parametara za: kontrast, osvjjetljenost, sjenku, toplinu/hladnoću fotografije. Bitno je naglasiti da je manipulacija kao npr. iscjecanje (Crop) fotografija u fotogrametriji strogo zabranjena. Prikaz poređenja dva snimka prije i poslije obrade dat je na slici 2.



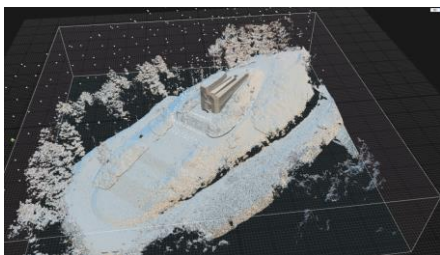
Slika 2. Fotografija prije obrade (lijevo) i fotografija nakon obrade (desno), Adobe Lightroom

### 4. KREIRANJE 3D MODELA OBJEKTA

Modelovanje zasnovano na slikama (*eng. image-based modelling, IBM*) je široko korištena metoda za precizno modelovanje terena i geometrijskih površina arhitektonskih objekata [6]. Cjelokupni proces modelovanja i formiranja 3D modela spomenika vršeno je u softveru Reality Capture. Metodologija rada u softveru sastoji se od nekoliko koraka: importovanje snimaka, georeferenciranje, poravnanje snimaka, generisanje 3D oblaka tačaka, kolorizacija i teksturizacija, te izvoz finalnog 3D proizvoda. Ulazni skup podataka predstavljaju fotografije prikupljene u postupku akvizicije: 477 fotografija prikupljenih bespilotnom letjelicom i 288 digitalnom kamerom sa zemlje (ukupno 825 snimaka).

Nakon uvoza ulaznog skupa podataka izvršeno je georeferenciranje modela. Georeferenciranje je proces dodjeljivanja stvarnih koordinata virtualnoj 3D sceni tako da tačke u 3D modelu odgovaraju stvarnim vrijednostima u koordinatnom sistemu. Za sprovođenje navedenog procesa, softver za obradu slika mora imati poznate vrijednosti kontrolnih tačaka. Dakle, osim dobro isplanirane i realizovane misije iz vazduha, precizno merenje orijentacionih/kontrolnih tačaka je takođe bitan faktor za rekonstrukciju preciznog 3D modela. U svrhu određivanja koordinata pet ravnomjerno raspoređenih orijentacionih tačaka, te koordinate kontrolnih tačaka na karakterističnim preklapima, ivicama i detaljima na spomeniku, korištena je robotizovana totalna stanica Trimble S3 (5" sec). U postupku georeferenciranja, navedenim tačkama dodijeljivana je pozicija na prikupljenim snimcima.

Zatim je izvršen proces poravnanja snimanja (Align Images). Softver u postuku Align Images poravnava snimke upoređujući i pronalazeći zajedničke tačke na njima, te uz to vrši procjene položaja kamere za svaku sliku. Kao rezultat kreira se osnovni oblak tačaka. Poravnanje za 825 fotografija, trajalo je svega 3 min i 6 s, što govori o brzini ovog softverskog rješenja. Potrebno je naglasiti da su istovremeno poravnate i UAV fotografije i terestički snimci prikupljenih digitalnom kamerom, te da ova dva seta snimaka datiraju iz različitih vremenskih okvira (2013. i 2018. godine). Za ispitivanje parametara kvaliteta, veća gustina oblaka tačaka pomoći će da se održe detaljniji nivoi detalja modelirane površine. Stoga, izvršeno je izračunavanje modela (Normal quality). Vrijeme potrebno za izradu mesh modela na osnovu 825 fotografija i sa nivoom detaljnosti Normal, iznosilo je 1h 57 min i 27 sec. Kao rezultat dobijen je vrlo gust oblak tačaka (triangul mreža), sačinjen od 71,7 miliona trouglova (Slika 3).



Slika 3. *Prikaz dobijenog mesh modela, Reality Capture*

Zbog performansi računara koji je bio na raspolaganju, dobijeni mesh model (71,7 miliona trouglova) morao je biti pojednostavljen na 22 miliona trouglova pomoću opcije Simplify. Dalje, u postupku Colourising izračunava se boja za svaku tačku scene. No, da bi se dobio realan utisak o objektu, vrši se teksturizacija. Tekstura daje novi kvalitet 3D modelu, čineći ga sličnijim stvarnom objektu i adekvatnijem za ljudsku percepciju. U ovom postupku, softver postavlja teksturu preuzetu sa originalnih fotografija preko 3D mreže, dajući osjećaj dubine i volumena (Slika 4).



Slika 4. *Model spomenika nakon izvršenja procesa Colorize i Texture, Reality Capture*

Ukupno vrijeme procesa za formiranje 3D modela spomenika, sa 825 ulaznih fotografija iznosilo je 3 h 41 m i 10 s. Objekat snimljen iz vazduha sa kosim fotografijama, kao i činjenica da je fasada objekta vidljiva na snimcima kako sa zemlje tako i iz vazduha, uveliko olakšava sam proces. Proces generisanje mesh modela izvršen je za 1h 57 m i 27 s, proces Coloring 4 min 15 s, a Texturing 26 min i 2 s. U svrhu vizuelne predstave, iz modela prikazanog na slici 4. uklonjeni su dijelovi koji nisu ušli u proces triangulacije, te su narušavali cjelokupni vizualni prikaz. Finalni model, sačinjen od 14.1 miliona trouglova, prikazan je na slici 5. Na modelu su vidljive razlike u boji i teksturi, ali i oštećenja koja su

nastala tokom vremena, te se može zaključiti da dobijeni model vjerodostojno prikazuje spomenik, sa viskom detaljnošću i pruža stvarni doživljaj prostora, odnosno vizuelizaciju.



Slika 5. *3D model, Spomenik palim Krajišnjicima, Reality Capture*

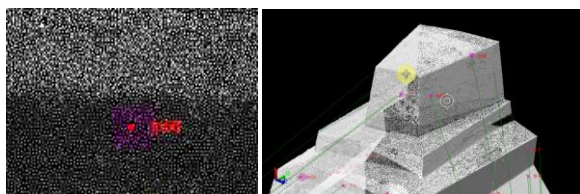
## 5. OCJENA TAČNOSTI I ANALIZA REZULTATA

Kao mjera kvaliteta formiranog modela, urađena je ocjena tačnosti, te je u ovom poglavlju dat pregled postignutih rezultata. Za potrebe ocjene tačnosti spomenika, najprije je u softveru Reality Capture, selektovan oblak tačaka koji reprezentuje samo spomenik - mauzolej, bez prilaznih platoa. To je izvršeno pomoću alata za filtriranje Lasso, nakon čega je za potrebe dalje analize izvezen oblak tačaka u XYZ formatu.

U softveru Trimble Business Center, importovan je navedeni oblak tačaka, kao i koordinate kontrolnih tačaka snimljene totanom stanicom, Trimble S3. Koordinate kontrolnih tačaka određene su skeniranjem, upotrebom alatke Surface Scan za skeniranje tačaka po grid modelu. U navedenom postupku prikupljene su 152 kontrolne tačke. Potrebno je naglasiti da se set kontrolnih tačaka korišten za ocjenu tačnosti (tačke prikupljene skeniranjem), razlikuje od seta kontrolnih tačaka korištenih za georeferenciranje u poglavlju 4. (koordinate dobijene snimanjem karakterističnih ivica i detalja spomenika).

Zamisao poređenja oblaka tačaka i kontrolnih tačaka zasnovana je na ideji "metoda najbliže tačke" i realizovana je na sljedeći način: oko svake kontrolne tačke proizvoljno je obuhvaćen dio tačaka iz fotogrametrijskog oblaka, tj. obuhvaćen je određeni entitet, koji je zatim dodijeljen layer-u pod nazivom PCloud points for comparison. Ovim postupkom vršeno je izdvajanje dijela oblaka tačaka na kojem će se dalje vršiti analiza, u cilju pronalaznja najbliže tačke svakoj kontrolnoj tački (Slika 6). U navedenom postupku, izvezeno je ukupno 29 269 tačaka selektovanih iz fotogrametrijskog oblaka tačaka i 152 kontrolne tačke dobijene skeniranjem. Za potrebe njihovog poređenja, izvezeni setovi koordinata naprije su konvertovani iz CSV (Comma Separated Values) u SHP file. Transformacija je izvršena u softveru FME Workbench. U ArcMap-u, za potrebe određivanja najbližih dužina između koordinata, odnosno određivanja najbližih susjeda, korištena je funkcija Near 3D, gdje je nakon izvršenja funkcije i dobijenih podataka o najbližim koordinatama, bilo moguće je pristupiti analizi dobijenih rezultata.





Slika 6. Izdvajanje entiteta tačaka iz oblaka tačaka, Trimble Business Center

U postupku analize rezultata vršeno je poređenje koordinata kontrolnih tačaka i njima određenih najbližih koordinata iz oblaka tačaka, te su sračunate vrijednosti za  $\Delta Y$ ,  $\Delta X$ ,  $\Delta Z$  i  $\Delta D$ . U nastavku su prikazani dobijeni rezultati (Tabela 1).

Tabela 1. Analiza postignutih rezultata, (m)

	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta Z$	$\Delta D$
Srednja vrijednost	-0.001	0.000	0.000	0.005
Min	-0.019	-0.013	-0.015	0.001
Max	0.015	0.027	0.021	0.030

Analiza je pokazivala da najveći broj tačaka, 38 od 152, ima vrijednost vertikalnog odstupanja 0.003 m. Završno, u tabeli 2. izdvojene su tri kontrolne tačke čije se pozicije na spomeniku nalaze na istaknutim prevojima (špicovima), kako bi se stekao jasniji utisak o tačnosti modela, s obzirom da tako locirane tačke predstavljaju svojevrsni izazov za postizanje visoke tačnosti. Kao što je navedeno u tabeli, za sve tri predstavljene tačke položajna razlika je u rasponu od 0.002 m do 0.005 m, dok je vertikalna tačnost u intervalu od 0.003 m do 0.008 m, odnosno manja od 1 cm.

Tabela 2. Analiza tri specifične kontrolne tačke, (m)

Br. tačke	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta Z$	2D	3D
tp90	0.000	-0.005	-0.003	0.005	0.006
tp91	0.001	-0.002	0.008	0.002	0.008
tp123	-0.002	0.000	-0.003	0.002	0.003

## 6. ZAKLJUČAK

Razvoj digitalne fotogrametrije sa sobom donio je olakšanja kako u prikupljanju podataka, tako i u njihovoj obradi. Veća nosivost letjelica, duža autonomija leta te potpuno samostalno upravljanje letom proširuje mogućnosti upotrebe letjelica, kako za fotogrametrijske potrebe, tako i za sve metode daljinskih istraživanja.

Kao finalni proizvod u ovom radu izrađen je fotorealistični 3D model Spomenika palim Krajišnicima nedaleko od grada Banja Luke. Model je nastao kombinovanjem fotografija sa zemlje i UAV platforme. Kombinovana upotreba različitih snimaka bila je neophodna zbog činjenice da sve tačke objekta nisu vidljive sa zemlje. Osim toga, upotreba kombinovanih snimaka dala je uvid u sposobnost i mogućnosti izabranog softverskog rješenja prilikom poravnanja snimaka sa različitih platformi i iz različitih vremenskih okvira. Sada, generisani model visokog kvaliteta, može poslužiti kao digitalni visokokvalitetni prikaz spomenika. S jedne strane, ovaj model pogodan je za prezentaciju i vizualizaciju, npr. promovisanje lokacije rekreativne zone grada Banja Luke u smislu turizma, a sa druge strane predstavlja važan i vjerodostojan digitalni resurs koji omogućuje vršenje preciznih mjerenja na modelu za potrebe restauracije i rekonstrukcije. Softversko

modifikovanje podataka predstavlja izazov u smislu odabira konkretnog softvera i performansi računara. Kada je u pitanju Reality Capture, neophodno je posjedovanje računara visokih performansi. Njegova najveća prednost ogleda se u brzini procesiranja podataka, kao i u nivou detaljnosti koji pruža. Konačan rezultat obrade podataka u ovom softveru je impresivan, imajući u vidu brojnost ulaznih podataka. Činjenica da su snimci iz vazduha snimljeni kao nadir i kao kose fotografije, te da su detalji na bočnim stranama i pročelju spomenika bili vidljivi i na snimcima iz vazduha ali i sa zemlje, zasigurno je doprinijelo procesu obrade. No, integracija snimaka sa dvije različite platforme (iz dva različita vremenska okvira) govori u prilog sposobnosti softvera za generisanje digitalnog trodimenzionalnog modela visokog kvaliteta.

Na kraju, možemo zaključiti će se u bliskoj budućnosti primijena mikro i mini UAV platformi za potrebe malih i srednjih projekata značajno povećati. Uz sve veći broj aplikacija, može se očekivati da će UAV platforme postati dostupnije, a radni procesi i vrijeme potrebno za akviziciju i modelovanje biti sve manje.

## 7. LITERATURA

- [1] F. Remondino and S. Campana, 3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage, (2014).
- [2] D. Giordan, A. Manconi, F. Remondino and F. Nex, Use of unmanned aerial vehicles in monitoring application and management of natural hazards (2017)
- [3] S. Zheng and Z. Yingying, Using Drones and 3D Modeling to Survey Tibetan Architectural Heritage: A Case Study with the Multi-Door Stupa, (2018).
- [4] D. Vasić, Model geodetskog premera savremenim akvizicionim tehnologijama, Doktorska disertacija, (2017).
- [5] N. V. Giang, V. P. Long, V. V. Chat, T. S. Son, V. H. Long, L. Q. Toan, T. T. H. Ai, N. M. Hieu, N. T. Q. Trang, P. V. Hoa and N. A. Binh, UAV photogrammetry for 3D mapping - a case study in Vietnam, (2017).
- [6] F. Remondino and S. El-Hakim, IMAGE-BASED 3D MODELLING: A REVIEW, (2006).

### Kratka biografija:



**Radmila Arambašić** rođena je u Kikindi 1992. godine. Master studije na Fakultetu tehničkih nauka upisala je 2016. godine. Tokom master studija bila je jedan od stipendista Njemačke vlade (Ost-Ausschuss der Deutschen Wirtschaft Scholarship), te je 2018. godine boravila na stručnom usavršavanju u Njemačkoj u okviru programa Internship Programme of German Business for the Countries of the Western Balkans. kontakt: rada.arambasic@gmail.com linkedin: Radmila Arambašić