



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
DEPARTMAN ZA GRAĐEVINARSTVO I GEODEZIJU
UPRAVLJANJE RIZIKOM OD KATASTROFALNIH
DOGAĐAJA I POŽARA



MAPIRANJE HAZARDA I PROCENA RIZIKA

BESPILOTNE LETELICE

Vanr. prof. Marko Marković, master inž. geodez.

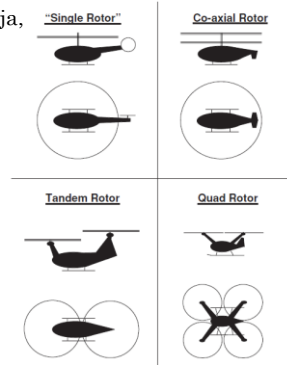
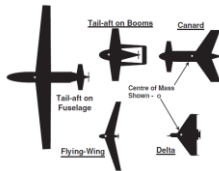
Novi Sad, 2024/2025

1

Tipovi bespilotnih letelica

➤ Prema načinu poletanja/sletanja, bespilotne letelice se dele na:

- *Horizontal Takeoff and Landing (HTOL);*
- *Vertical Takeoff and Landing (VTOL).*



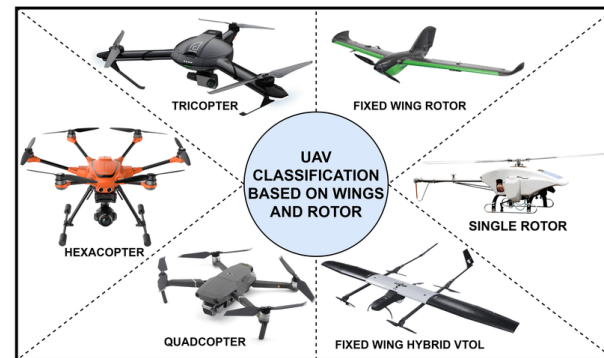
3

Bespilotne letelice

- *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* – bespilotna letelica kontrolisana od strane operatera na zemlji i/ili računara koji se nalazi u samoj letelici.
- *Unmanned Aerial System (UAS)* predstavlja sistem koji se sastoji od platforme u vidu letelice, jednog ili više senzora koji su montirani na raspoloživu platformu, kao i od kontrolne stanice na zemlji odakle se vrši upravljanje celokupnim sistemom.
- Aerodinamička snaga obezbeđuje podizanje bespilotne letelice u vazduh.

2

Tipovi bespilotnih letelica



4

Tipovi bespilotnih letelica

Kategorija	Domet [km]	Visina leta [m]	Autonomija [h]	Masa [kg]
Micro	<10	250	1	<5
Mini	<10	150-300	<2	150
Close Range (CR)	10-30	3000	2 – 4	150
Short Range (SR)	30-70	3000	3 – 6	200
Medium Range (MR)	70-200	3000-5000	6 – 10	150 – 500
Long Range (LR)	200-500	5000	6 – 13	-
Endurance (EN)	>500	5000-8000	12 – 24	500 – 1500
Medium Altitude, Long Endurance (MALE)	>500	5000-8000	24 – 48	1000 – 1500
High Altitude, Long Endurance (HALE)	>2000	15000 – 20000	24 – 48	2500 – 12500

Kategorizacija bespilotnih letelica prema međunarodnoj organizaciji „*UVS International*“.

5

Komponente UAV sistema

- Pogonski sistem, servo motori i baterije.
- Sistem za detekciju i izbegavanje prepreka.
- Sistem za komunikaciju (kontrolna stanica, radio predajnik)
- Softver za planiranje leta, mapiranje, poletanje i sletanje.
- Softver za obradu podataka.

7

Komponente UAV sistema

➤ Telo UAV sistema koje izrađuje od ultra lakih materijala.

➤ Senzori:

- GNSS prijemnik;
- inercijalna jedinica (*Inertial Measurement Unit – IMU*);
- LiDAR (*Light Detection and Ranging*);
- žiroskop;
- akcelerometar;
- barometar;
- kamere (RGB, Multispectral, NIR i slično).

6

Zakonska regulativa

Podela bespilotnih letelica prema operativnoj masi i performansama:

Kategorija	Operativna masa	Maks. visina leta	Maks. brzina leta	Maks. dolet
Kategorija 1	0,5 kg	50 m	30 m/s	100 m
Kategorija 2	0,5 - 5 kg	150 m	30 m/s	2500 m
Kategorija 3	5 - 20 kg	200 m	55 m/s	2500 m
Kategorija 4	20 - 150 kg	Bez ograničenja	Bez ograničenja	Bez ograničenja

Bespilotne letelice Kategorija 2, 3 i 4 moraju biti registrovane u Direktoratu za Civilno vazduhoplovstvo Republike Srbije

8

Zakonska regulativa

- Direktorat za civilno vazduhoplovstvo Republike Srbije je 2016. godine izradio **Pravilnik o bespilotnim vazduhoplovima** u kojem su sadržani svi važeći propisi.
- Let bespilotnih letelica može da se odvija samo u **alociranom delu vazdušnog prostora**, odnosno delu vazdušnog prostora koji je utvrdila kontrola letenja.
- Operater bespilotne letelice za svaki let podnosi zahtev za alokaciju jedinici za civilno-vojnu koordinaciju u okviru Kontrole letenja. Zahtev se podnosi najmanje 5 radnih dana pre leta.

9

Zakonska regulativa

- Neki od najvažnijih propisa:
 - Nije dozvoljen prevoz ljudi, životinja i opasnih materija dronom.
 - Nije dozvoljeno ispuštanje tečnosti i predmeta sa bespilotne letelice.
 - Nije dozvoljeno upravljanje bespilotnom letelicom iz vozila u pokretu.
 - Nije dozvoljeno upravljanje sa više bespilotnih letelica istovremeno.
 - Let stranih bespilotnih letelica u vazdušnom prostoru Republike Srbije nije dozvoljen bez dozvole ministarstva nadležnog za poslove odbrane.

11

Zakonska regulativa

- Neki od najvažnijih propisa.
 - Bespilotna letelica mora biti u vidnom polju operatera, maksimalno 500 m bočne udaljenosti.
 - Nije dozvoljen let noću.
 - Maksimalna visina leta je 100 m, a maksimalna operativna težina letelice je 150 kg.
 - Operater je dužan da prilikom upravljanja održava bezbednu bočnu udaljenost bespilotne letelice od ljudi, najmanje 30 m.
 - Operater mora posedovati potvrdu da je uspešno položio proveru znanja iz vazduhoplovnih propisa u nadležnosti Direktorata za Civilno vazduhoplovstvo Republike Srbije.

10

Zakonska regulativa

- Operater koji upravlja bespilotnom letelicom dužan je da:
 - obezbedi da let ne ugrožava zdravlje i imovinu ljudi i ne ometa javni red i mir.
 - obezbedi da se let bespilotne letelice u potpunosti vrši u alociranom vazdušnom prostoru.
 - se pre leta uveri u ispravnost bespilotne letelice.
 - bude dostupan kontroli letenja radi eventualne komunikacije.
 - pri realizaciji letenja, operater mora posedovati uz sebe potvrdu da je uspešno položio proveru znanja iz vazduhoplovnih propisa u nadležnosti Direktorata za Civilno vazduhoplovstvo Republike Srbije

12

Digitalna fotogrametrija primenom bespilotnih letelica

- Digitalna fotogrametrija je metoda prikupljanja podataka o fizičkim objektima, kroz proces akvizicije, analize i interpretacije digitalnih fotografija.
- U postupku prikupljanja podataka, objekat od interesa mora biti snimljen sa najmanje dve pozicije kamere da bi se dobila informacija o tri prostorne koordinate.
- Kreirana slika predstavlja stereo par koji omogućava kreiranje 3D modela objekta koji daje informacije o njegovim stvarnim dimenzijama (oblik, položaj, veličina).

13

Priprema i planiranje leta

- Faza pripreme i planiranja leta obuhvata definisanje područja premera, rezolucije i detalje leta.
- U fazi pripreme i planiranja leta potrebno je definisati sledeće parametre:
 - putanju;
 - brzinu letelice;
 - poprečni i podužni preklop fotografija;
 - ugao kamere;
 - visinu leta;
 - udaljenost od površine od interesa.

15

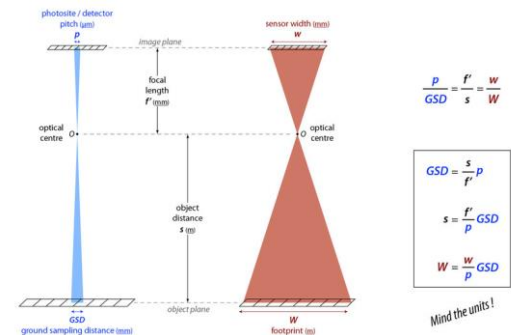
Digitalna fotogrametrija primenom bespilotnih letelica

- Postupak akvizicije geoprostornih podataka digitalnom fotogrametrijskom metodom primenom bespilotnih letelica odvija se kroz tri faze:
 - priprema i planiranje leta;
 - prikupljanje fotografija, materijalizacija i određivanje kontrolnih tačaka;
 - obrada prikupljenih podataka.

14

Priprema i planiranje leta

- Veličina piksela u prirodi (*Ground Sampling Distance – GSD*) se određuje na osnovu zadate visine leta i parametara kamere.



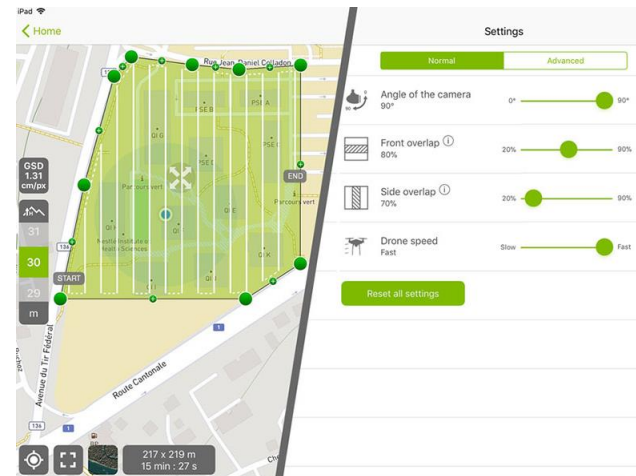
16

Priprema i planiranje leta

- Izbor optimalnih parametara leta zavisi od cilja misije i mogućnosti raspoložive bespilotne letelice.
- Faktori koji takođe treba da budu uzeti u obzir u procesu pripreme i planiranja leta su ograničenja vezana za kapacitet baterije, zakonska regulativa i vremenski uslovi.
- Priprema i planiranje leta izvodi se u okviru odgovarajućih aplikacija:
 - *DroneDeploy*;
 - *Drone Harmony*;
 - *Dronelink*;
 - *PIX4Dcapture* ...

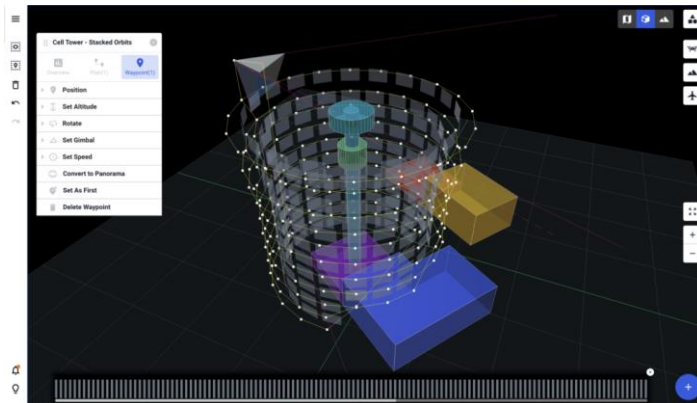
17

PIX4D Capture aplikacija



18

Drone Harmony aplikacija



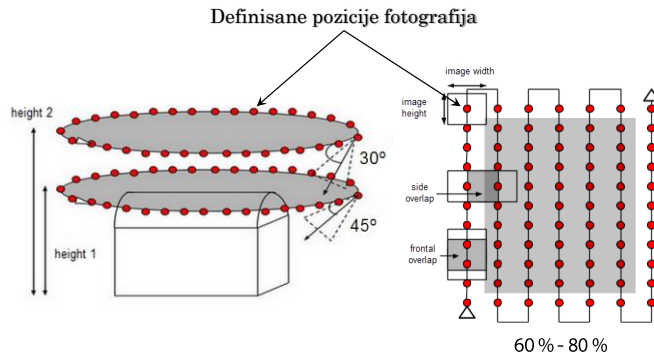
19

Prikupljanje fotografija

- U fazi prikupljanja fotografija, let se može realizovati u autonomnom ili manuelnom režimu.
- U autonomnom režimu putanja leta se definiše na osnovu projektovanih tačaka koje će navigacioni GNSS/IMU sistem bespilotne letelice pratiti pomoću autopilota.
- U manuelnom režimu, bespilotnom letelicom daljinski upravlja operater pomoću zemaljske kontrolne stanice i proces prikupljanja slika obično rezultuje nepravilnim preklapanjem fotografija i geometrijom akvizicije.
- Zemaljska kontrolna stanica pruža uvid u podatke o letu kao što su položaj bespilotne letelice, brzina, visina i udaljenost bespilotne letelice, kapacitet baterije i slično.

20

Prikupljanje fotografija



21

Kalibracija i georeferenciranje

- U svrhu kalibracije i georeferenciranja prikupljenih podataka vrši se postavljanje kontrolnih tačaka na terenu (*Ground Control Point – GCP*).
- Koordinate kontrolnih tačaka se određuju konvencionalnim metodama premera, poput GNSS RTK metode, polarne metode i slično.
- Novije generacije bespilotnih letelica poseduju dvofrekventne GNSS prijemnike koji omogućavaju rad u PPK i RTK režimu, pa kontrolne tačke nisu potrebne.

22

Kontrolne tačke



23

Obrada prikupljenih podataka

- Faza obrade podataka podrazumeva fotogrametrijsku obradu prikupljenih fotografija, generisanje gustog oblaka tačaka, digitalnog modela površi, digitalnog modela terena, digitalnog modela visina, ortomozaika i slično.
- Obrada prikupljenih podataka vrši se u okviru specijalizovanih softverskih rešenja.



24

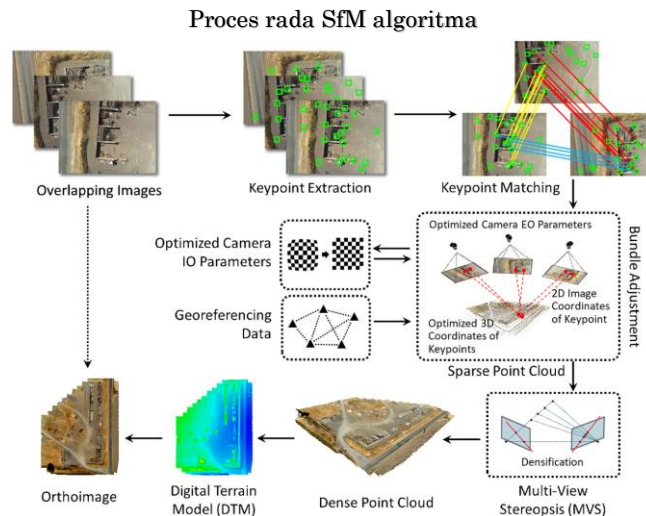
Structure from Motion algoritam

➤ *Structure from Motion* (SfM) predstavlja pristup kojim je moguće kreirati trodimenzionalne modele objekata ili topografije terena na osnovu 2D preklapajućih snimaka, koji su nastali sa više lokacija i različito orijentisanih snimaka, a sve u cilju rekonstrukcije posmatrane scene.

➤ SfM algoritam podrazumeva kombinaciju:

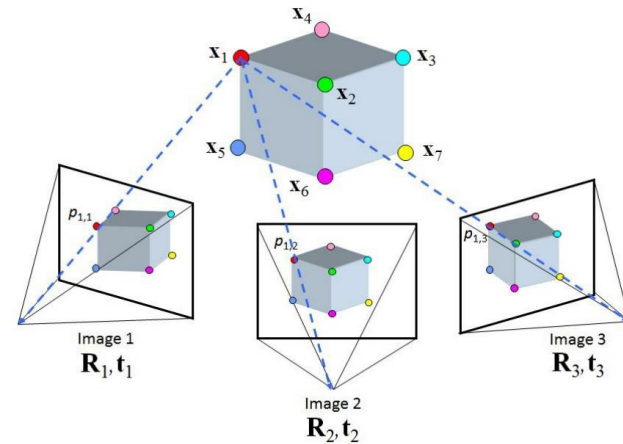
- algoritma za pronalaženje karakterističnih tačaka na slikama;
- algoritma za povezivanje karakterističnih tačaka sa više slika;
- algoritma za rekonstrukciju 3D prostora iz povezanih karakterističnih tačaka.

25



27

Ilustracija rada SfM algoritma



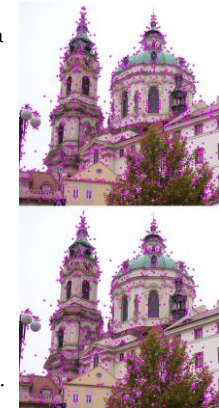
26

Structure from Motion algoritam

➤ Za detekciju karakterističnih tačaka na fotografijama najčešće se koristi *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT) algoritam.

➤ SIFT koristi *Scale-Space* da bi detektovao karakteristične tačke koje ne zavise od rotacije i pomeraja kamere.

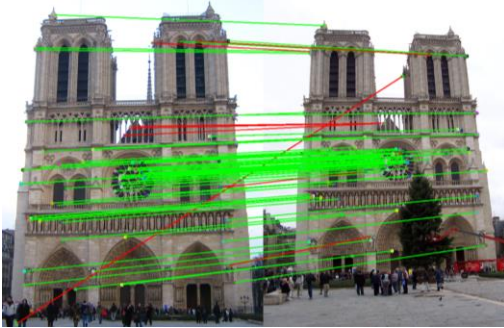
➤ Pored ovog algoritma, za detekciju karakterističnih tačaka na slikama koriste se i *Speeded Up Robust Features* (SURF) i *Oriented FAST and rotated BRIEF* (ORB) algoritmi.



28

Structure from Motion algoritam

- Nakon detekcije karakterističnih tačaka na slikama vrši se njihovo povezivanje primenom odgovarajućeg algoritma.



29

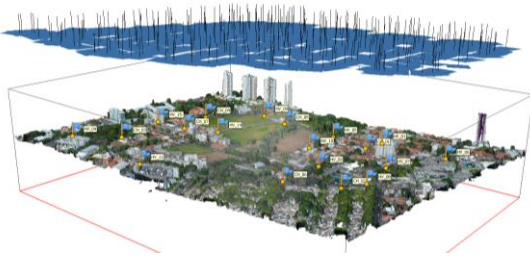
Structure from Motion algoritam

- *Bundle adjustment* – uklapanje fotografija i određivanje parametara kamere.
- U ovom postupku istovremeno se određuju parametri unutrašnje i spoljašnje orijentacije kamere.
- Parametri unutrašnje orijentacije opisuju karakteristike kamere, kao što je žižna daljina, glavna tačka, koeficijent nagiba, radijalni i tangencijalni koeficijenti izobličenja sočiva.
- Parametri spoljašnje orijentacije su 3D pozicija i orijentacija kamere u trenutku kreiranja fotografije.

30

Structure from Motion algoritam

- Multi View Stereopsis (MVS), stereo podudaranje iz više pogleda, omogućava generisanje gustog oblaka tačaka.
- Na osnovu oblaka tačaka generiše se digitalni model površi i digitalni model terena.



31

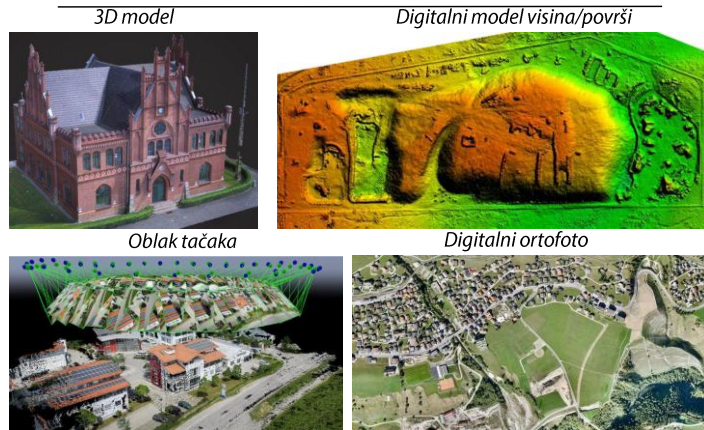
Structure from Motion algoritam

- Ortofoto planovi se dobijaju postupkom ortorektifikacije koji podrazumeva diferencijalnu rektifikaciju (ispravljanje) prilikom koje se perspektivna projekcija prevodi u ortogonalnu.



32

Izlazni rezultati



33

Studija slučaja – UAV mapiranje poplava 2014. godine u Krupnju, Vanredna situacija

- Opština Krupanj je tokom maja 2014 godine bila zahvaćena intenzivnim padavinama koje su dovele do poplava i aktiviranja klizišta.

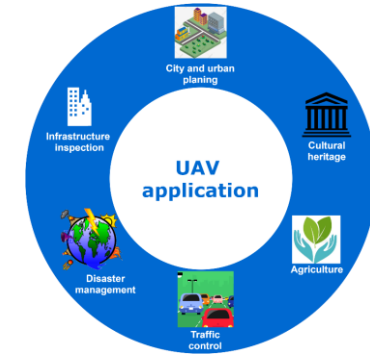


- Kao posledica toga došlo je do rušenja i oštećenja brojnih objekata kritične infrastrukture kao i stambenih objekata od kojih je određen broj postao neupotrebljiv za stanovanje i korišćenje.

35

Oblasti primene bespilotnih letelica

- Arhitektura
- Poljoprivreda
- Šumarstvo
- Kontrola saobraćaja
- Inspekcija objekata
- Arheologija
- Kulturno nasleđe
- Vanredne situacije
- Ekologija
- Vojska i policija
- Zdravstvo



34

Studija slučaja – UAV mapiranje poplava 2014. godine u Krupnju, Vanredna situacija

- ✓ Visina leta: 140 m
- ✓ Brzina letelice: 10 m/s
- ✓ Površina: 12 km²
- ✓ 444 fotografije
- ✓ 4 leta
- ✓ 25 GCPs
- ✓ GSD 13 cm
- ✓ Tačnost 11 cm
- ✓ Procesiranje: Pix4D
- ✓ Digitalizacija: ArcMap

UAV SenseFly eBee	
Veličina	Vrednost
Težina	≈ 0,69 kg
Raspon krila	96 cm
Pogon	Električni potisni propeler
Baterija	11,1 V; 2150 mAh
Kamera	12 MP
Maks. vreme leta	50 minuta
Maks. pokrivenost jednim letom	12 km ²
GSD	1,5 cm po pikselu
Tačnost ortomozaika/3D modela	1-3 x GSD
Apsol. horizon./vert. tačnost (sa GCPs)	do 3 cm / 5 cm
Apsol. horizon./vert. tačnost (bez GCPs)	1 – 5 m
Automatsko planiranje leta	da



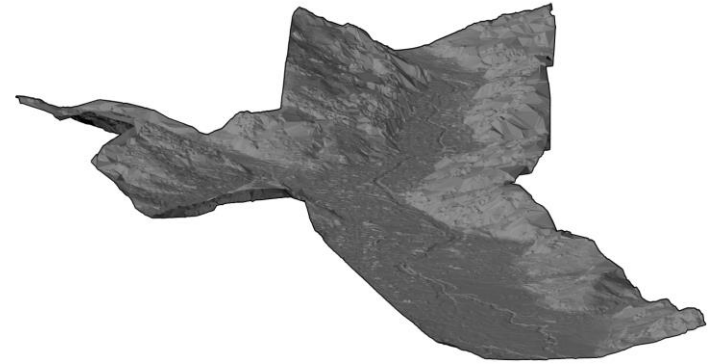
36

Rezultati – oblak tačaka



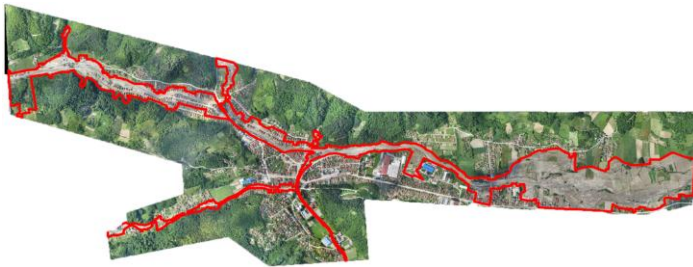
37

Rezultati – DMT



38

Rezultati
Poligoni poplavljenog područja $\approx 0.8 \text{ km}^2$



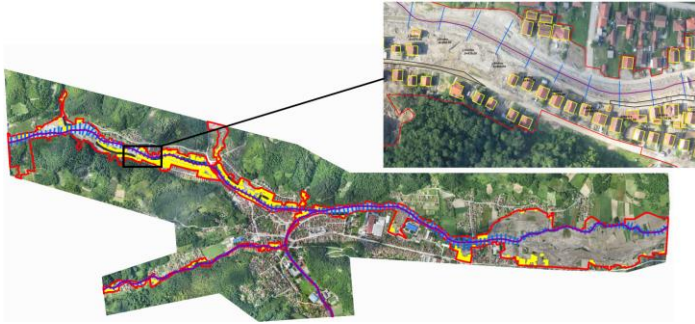
39

Rezultati
digitalizovani objekti – 364 objekta



40

Rezultati – integrisani podaci



41

Rezultati
digitalizovana kritična infrastruktura

a. 2 oštećena mosta

b. 14 oštećenih puteva



42

Studija slučaja – Stambena zgrada u
Novom Sadu, Detekcija pukotina

UAV – Parrot Anafi	
Specifikacije letelice	
Težina	320 g
Dimenzije	175x239x63.5 mm
Maks. vreme leta	25 min (bez vetra)
Radni temp. opseg	0 – 40°C
Maks. radni opseg	4 km
Sistemi za satelitsko pozicioniranje	GPS/GLONASS

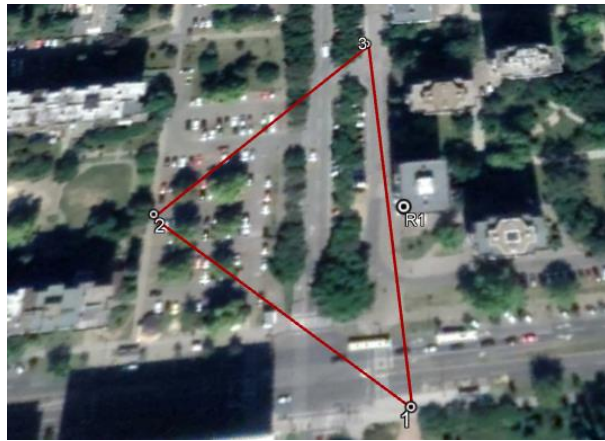
43

Studija slučaja – Stambena zgrada u
Novom Sadu, Detekcija pukotina

UAV – Parrot Anafi		UAV – Parrot Anafi	
Specifikacije kamere		Parametri plana leta	
Format senzora	6.194 x 4.646 mm	Udaljenost od objekta	6 m
Senzor	1/2.4" CMOS	Način pilotiranja	Manuelan
Objektiv	FOV 180°	GSD	2.1 mm
ISO opseg	100-3200	Površina pokrivena sa jednom slikom	9 m x 7 m
Rezolucija slike	4608 px X 3456 px	Preklap	
Veličina piksela	1.12 µm	Podužni	Poprečni
Žižna daljina	4 mm	89%	89%

44

Lokalna geodetska mreža



45

Pozicije kontrolnih tačaka na fasadi



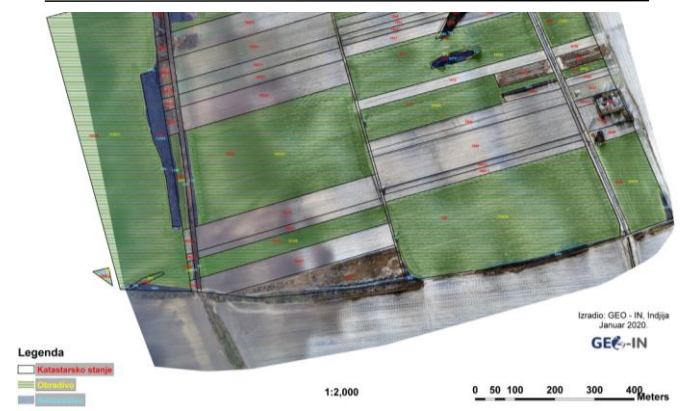
46

Detekcija pukotina



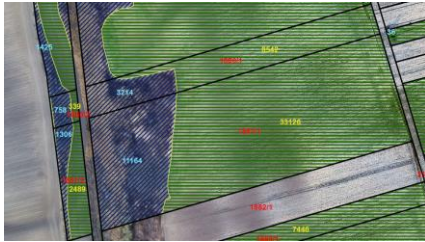
47

Studija slučaja – Poljoprivredno zemljište



48

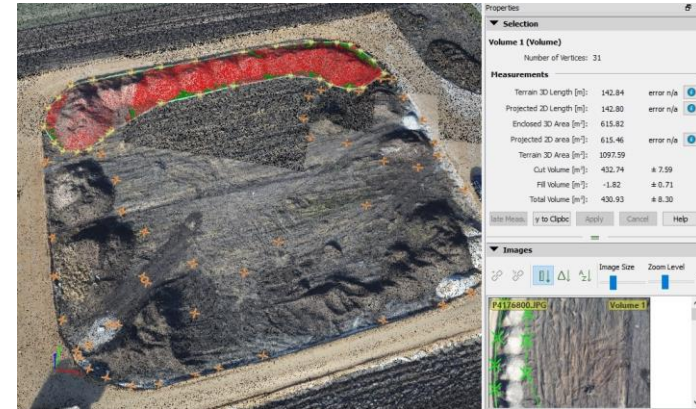
Studija slučaja – Poljoprivredno zemljište



Broj parcele	Potes	Površina [ha]	Obradivo [ha]	Neobradivo [ha]
1665/2	Šeševrenac	0.0954	0.0555	0.0399
1665/3	Šeševrenac	0.1024	0.0666	0.0358
1665/8	Šeševrenac	14.6716	14.2027	0.4689
1666	Šeševrenac	1.2344	/	1.2344
1875/1	Topole	3.7327	3.5284	0.2043
1878/2	Topole	0.109	0.0697	0.0393

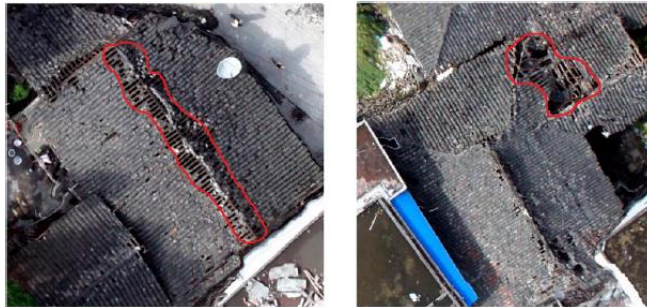
49

Računanje zapremina materijala



50

Detekcija oštećenja na krovovima



51

Precizna poljoprivreda Multispektralno mapiranje



52

Detektovanje energetskih gubitaka Termalno mapiranje



53

Prednosti i mane primene digitalne fotogrametrije primenom bespilotnih letelica

- Prednosti :
 - realtivno jeftina tehnologija,
 - uobičajeno male težine,
 - slike sadrže sve informacije potrebne za 3D rekonstrukciju objekta kao i fotorealističnu dokumentaciju
 - manji zahtevi za snagom i,
 - lako servisiranje ili zamena.
- Mane:
 - zahteva minimalizaciju udaljenosti od ciljne oblasti za visoku rezoluciju,
 - negativan uticaj sunčeve svetlosti usmerene na kameru bespilotne letelice
 - duže vreme obrade podataka i,
 - zavisnost od podataka iz drugih izvora (GNSS ili totalna stanica obezbeđuje razmeru, orijentaciju i absolutnu poziciju).

54

Zaključak

Prvenstveno je neophodno sagledati zahteve projekta:

- šta je predmet mapiranja,
- koja je zahtevana tačnost,
- koji je zahtevan nivo detaljnosti,
- u kom vremenskom opsegu je neophodno prikupiti podatke i isporučiti obrađene rezultate klijentu.

U određenim slučajevima, razmotriti integraciju više različitih tehnologija premera u cilju dobijanja potpunijih rezultata.

UAV tehnologija ima izuzetno širok spektar oblasti primene i neprekidno se usavršava i kao takva predstavlja optimalnu soluciju za korišćenje u rešavanju velikog broja potencijalnih zadataka.

Obrada podataka:

- Povećavanje stepena automatizacije
- Minimalizacija utrošenog vremena neophodnog za realizaciju

55

PITANJA?

56