

## 3D prikupljanje podataka - 1

### Bilješke s predavanja

#### Autor(i)/Organizacija(e):

Vlado Cetl (UNIN)

Sanja Šamanović (UNIN)

Danko Markovinović (UNIN)

#### Dozvola



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

#### Verzija

Verzija 2.0

Datum: travanj, 2025.

#### Ishodi učenja

Na kraju ovog predavanja, od polaznika se očekuje da će biti u mogućnosti

- Objasniti 3D tehnologije za prikupljanje geoprostornih podataka
- Opisati načine korištenja podataka dobivenih različitim senzorima (UAV, ALS, TLS, taheometrija)

#### Očekivane kompetencije prilikom ulaska u predavanje

- Nisu potrebni posebni preduvjeti.

*Financirano sredstvima Europske unije. Izneseni stavovi i mišljenja su stavovi i mišljenja autora i ne moraju se podudarati sa stavovima i mišljenjima Europske unije ili Europske izvršne agencije za obrazovanje i kulturu (EACEA). Ni Europska unija ni EACEA ne mogu se smatrati odgovornima za njih.*

## **Sažetak**

U predavanju se objašnjavaju 3D geoprostorne tehnologije za prikupljanje geodetskih podataka: tahimetrija i fotogrametrija.

## ***Očekivano radno opterećenje***

24 slajdova sa sadržajem za učenje tečaja, 2 sata

## Sadržaj

Uvod	4
Tahimetrija	4
Fotogrametrija	6
Reference	14

## Uvod

Postoje različite metode mjerenja za metode 3D prikupljanja podataka. Najčešće korišteni su: Tahimetrija, fotogrametrija i 3D laserski skeneri.

3D prikupljanje podataka – bilješke s predavanja obuhvaćaju tahimetriju i fotogrametriju.

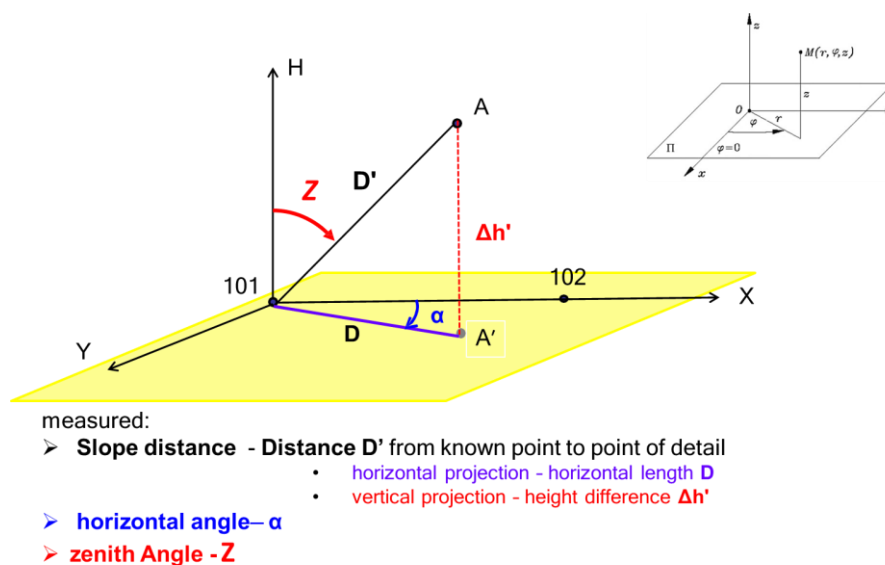
## Tahimetrija

Tahimetrijska izmjera jedna je od metoda kutne izmjere u kojoj se elektronički tahimetar ili ukupna postaja (Slika1) upotrebljava za određivanje vodoravne i okomite udaljenosti između dviju točaka.



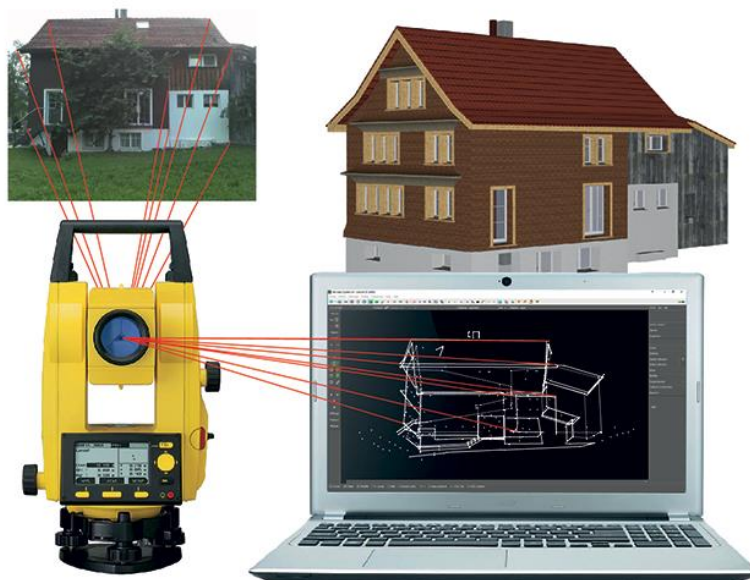
Slika1. Taheometar (ukupna stanica)

Tahimetrija je postupak mjerenja vodoravnog kuta, okomitog kuta i udaljenosti nagiba kako bi se izračunale trodimenzionalne polarne koordinate objekta koje opisuju položaj točke kroz kut i udaljenosti (Slika2).



Slika2. Taheometrija

Tahimetrijska mjerenja obično se provode radi mjerenja 3D položaja točaka na krajoliku i zgradama (Slika3) kako bi se izradili obrisi i detaljni planovi za daljnji rad ili kako bi se izradile koordinate za izračune površine i volumena.



*Slika3. Primjena taheometrijskog mjerenja*

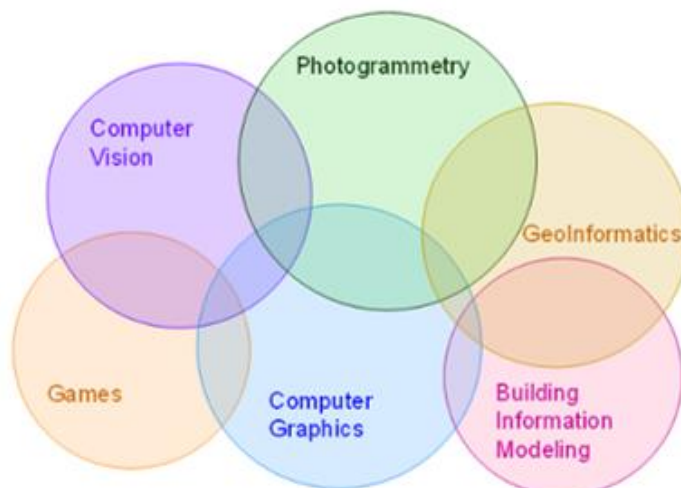
Tahimetrija u BIM-u upotrebljava se za iskolčenje zgrada prije građevinskih radova te za ispitivanje As-built (Slika4).



*Slika4. Izvođenje tahimetrom i pregledom po mjeri*

## Fotogrametrija

Fotogrametrija je široko prepoznata kao istaknuto područje u primijenjenim računalnim znanostima. Aktivno surađuje sa susjednim disciplinama, kako su vizualno zastupljene u Slika5



*Slika5. Fotogrametrija i druge discipline*

**Fotogrametrija** je klasificirana u dvije vrste: zračnu fotogrametriju i kopnenu fotogrametriju. Fotogrametrija zraka i kopna koristi se za mapiranje i mjerenje povezanih pitanja. Letjelica je dalekog dometa, a zemaljska je fotogrametrija bliskog dometa.

Prvi korak je slikanje objekta ili terena s različitim kutovima i položajima. Te bi se slike trebale preklapati kako bi se osiguralo da se isti objekt ili značajka pojavljuje na više slika. Nakon toga se na slikama identificiraju karakteristične točke ili značajke. Ove točke se koriste za poravnavanje slika za stvaranje 3D geometrije i izračunavanje 3D koordinata karakterističnih točaka pomoću parova slika u kojima se te točke pojavljuju. Nakon proračuna 3D koordinata stvaraju se oblaci točaka koji predstavljaju 3D prostornu raspodjelu točaka na površini objekta ili terena. Oblaci točaka mogu se koristiti za izradu 3D modela površine objekta. Koristimo originalne slike kako bismo dodali boje i detalje 3D modelu (teksturiranje), čineći ga vizualno privlačnijim i realističnijim. U konačnici, 3D model se može vizualizirati na računalu ili u virtualnom okruženju. Može se analizirati, mjeriti i upotrebljavati u različite svrhe, kao što su dizajn, očuvanje kulturne baštine, igre i znanstvena istraživanja.

### Fotogrametrija iz zraka:

- uključuje snimanje fotografija iz povišenog položaja
- korištenje zrakoplova ili bespilotnih letjelica
- koristi se za izradu karata velikih razmjera, izmjere i praćenje aplikacija
- izmjera zemljišta, urbanističko planiranje, praćenje stanja okoliša i poljoprivreda

- isplativ i učinkovit način za prikupljanje velikih 3D podataka na velikim područjima

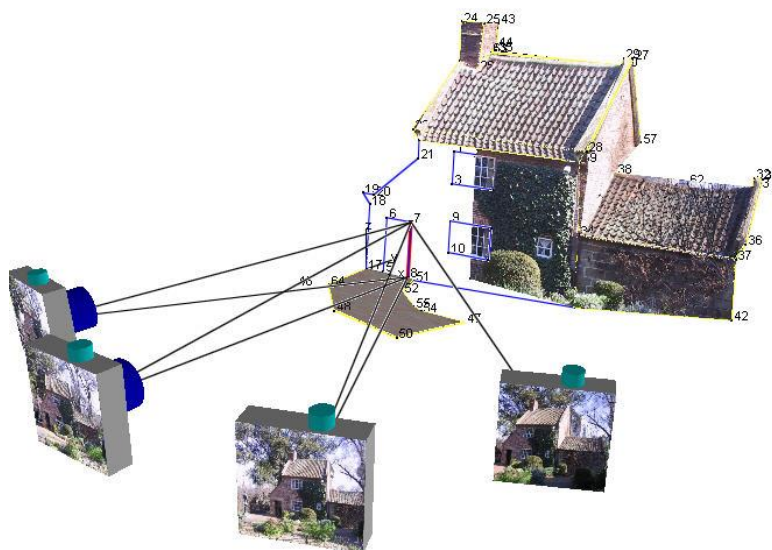
Tijekom zračne fotogrametrije, senzor montiran na zrakoplov prikuplja mnoge fotografije visoke razlučivosti područja iz zraka. Ove se fotografije preklapaju u određenom postotku, a kada se preklapaju, treba paziti da određeni detalj područja interesa bude vidljiv na više snimaka. Rezultat takve slikovne tehnike je 3D rekonstrukcija ciljnog područja/objekta. Takav model sadrži informacije o visini terena, teksturi, obliku i boji svake zabilježene točke. Na temelju preklapanja slika moguće je dobiti ortofoto - dvodimenzionalnu zračnu sliku i DMR - 3D prikaz područja. Kombiniranjem ortofota i DMR-a stvara se 3D model potrebnog područja.

Fotogrametrija bliskog dometa/kopnena fotogrametrija

- odnosi se na situacije u kojima je kamera relativno bliska subjektu koji se snima
- obično se koristi za male i srednje objekte ili scene
- koristi se u kontroliranim uvjetima
- pogodan za primjene koje zahtijevaju detaljna mjerenja i točne 3D modele
- arheologija, dokumentacija o kulturnoj baštini, dizajn proizvoda, forenzika, obrniti inženjering, virtualna stvarnost

**Kopnena fotogrametrija** igra važnu ulogu u očuvanju predmeta kulturne baštine. Prednost takve fotogrametrije je mogućnost izvođenja mjerenja unutar samih objekata (npr. prostorija zgrada). Za razliku od zračne fotogrametrije, u kojoj se konačni proizvodi izrađuju na temelju dobivenih zračnih fotografija, u zemaljskoj fotogrametriji fotografske slike prikupljaju se mjernom kamerom na razini zemljine površine (Slika6). Kopnena fotogrametrija također pronalazi svoju primjenu u mjerenju, tj. određivanju dinamičkih pomaka objekata.

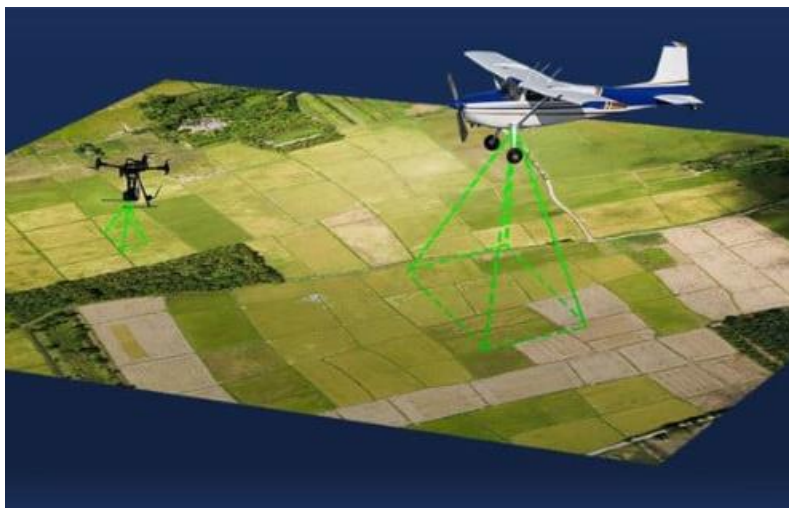




*Slika6. Kopnena fotogrametrija*

**Fotogrametrija bliskog dometa** je tehnika koja se koristi za izradu točnih 3D modela ili mjerenja objekata i scena pomoću fotografija snimljenih s relativno kratke udaljenosti. Ima širok raspon primjena u različitim područjima, uključujući arhitekturu i građevinarstvo, očuvanje kulturne baštine, arheologiju, forenzička istraživanja, industrijski dizajn i proizvodnju, virtualnu stvarnost i igre, medicinu i zdravstvo, film i animaciju.

Slika7 prikazuje usporedbu izmjere iz zraka sa zrakoplovom s posadom ili korištenjem bespilotne letjelice u **zračnoj fotogrametriji**.



*Slika7. Izmjere iz zraka zrakoplovom s posadom ili bespilotnim letjelicama*

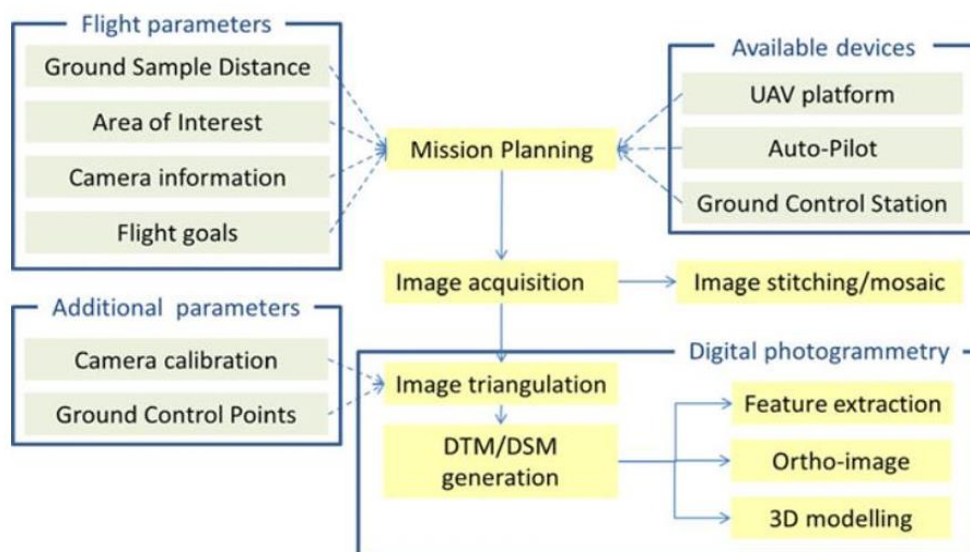


Odluka o tome hoće li se zaposliti zrakoplovi s posadom, bespilotne letjelice ili njihova kombinacija ovisi o različitim čimbenicima. Značajan napredak u bespilotnim letjelicama (UAV) uvelike je proširio mogućnosti za izmjera, fotografiranje, mjerenje i kartiranje na različitim terenima u usporedbi s tradicionalnim zrakoplovima. Ova inovacija također je dovela do povećane učinkovitosti i uštede troškova za organizacije svih veličina. Izbor između njih je ključno pitanje u geodetskim projektima, budući da organizacije važu hoće li zamijeniti zrakoplove s posadom bespilotnim letjelicama.

U nekim slučajevima jedna platforma može biti vrhunski izbor ili jedina održiva opcija, ali češće se obje vrste zračnih platformi međusobno nadopunjuju. Zrakoplovi s posadom izvrsni su u brzom pokrivanju velikih područja i noseći teške senzore zbog svoje produljene izdržljivosti. S druge strane, bespilotne letjelice bolje su u područjima u kojima zrakoplovi s posadom ne mogu sigurno raditi, kao što su zgrade ili tornjevi za mobilne telefone. Bespilotne letjelice prvi su izbor za lokacije na kojima zrakoplovi s posadom uopće ne mogu letjeti, uključujući uske ulice, ispod mostova ili unutar zatvorenih stadiona. Oni su također najbolje rješenje za provođenje ponavljajućih pregleda manjih područja, kao što je praćenje napretka gradilišta.

Izbor između zrakoplova s posadom i bespilotnih letjelica ovisi o specifičnim zahtjevima projekta, a često se strateška kombinacija obje platforme pokaže najučinkovitijim pristupom.

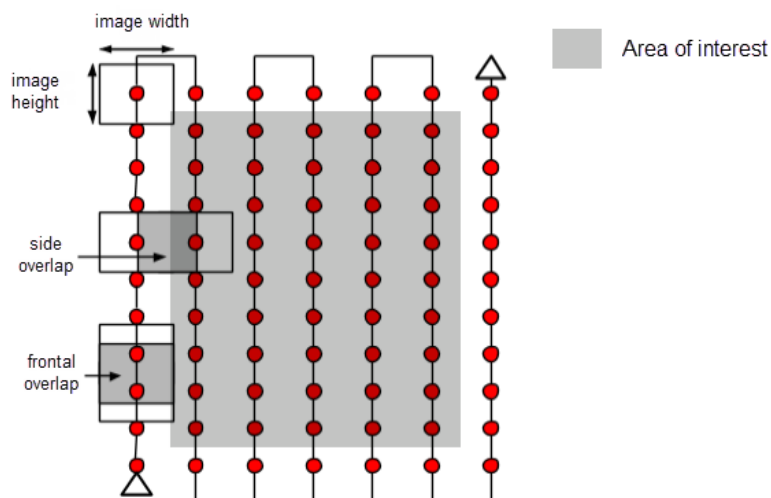
Standardno snimanje iz zraka koje se temelji na snimkama uključuje bitne korake u planiranju leta i, ako je potrebno, mjerenje točaka zemaljske kontrole (GCP) za točno georeferenciranje. Nakon prikupljanja podataka, slike mogu poslužiti u više svrha, uključujući šivanje i mozaikiranje slika, ili se mogu koristiti kao ulazni podaci za fotogrametrijski proces. U potonjem slučaju početne faze uključuju kalibraciju kamere i triangulaciju slike kako bi se olakšalo stvaranje digitalnog modela površine (DSM) ili digitalnog modela terena (DTM). Ti rezultirajući proizvodi zatim se mogu koristiti za različite primjene, kao što su izrada ortosnimki, izvođenje zadataka 3D modeliranja ili izdvajanje dodatnih informacija. Opći tijek rada prikazan je na slici, a ulazni parametri istaknuti su u zelenim i pojedinačnim koracima tijeka rada opisanim žutom bojom (Slika8).



Slika8. Tijek rada za zračnu fotogrametriju

Nakon prikupljanja podataka, slike mogu poslužiti u više svrha, uključujući šivanje i mozaikiranje slika, ili se mogu koristiti kao ulazni podaci za fotogrametrijski proces. U potpunosti slučaj početne faze uključuju kalibraciju kamere i triangulaciju slike kako bi se olakšalo stvaranje digitalnog modela površine (DSM) ili digitalnog modela terena (DTM). Ti rezultirajući proizvodi zatim se mogu koristiti za različite primjene, kao što su proizvodnja ortosnimki, provođenje zadataka 3D modeliranja ili izdvajanje dodatnih informacija. Opći tijek rada prikazan je na slici, a ulazni parametri istaknuti su u zelenim i pojedinačnim koracima tijeka rada opisanima žutom bojom.

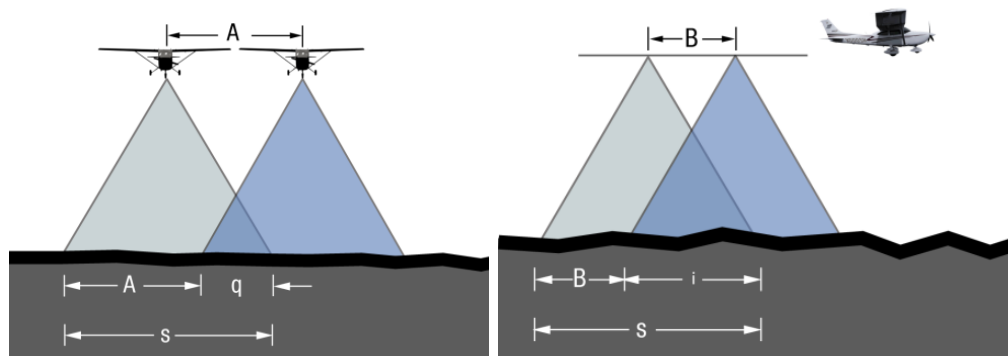
Misija, koja obuhvaća planiranje leta (Slika9) i prikupljanje podataka, obično je pomno pripremljena u namjenskom softverskom okruženju. Ovaj proces započinje temeljitim razumijevanjem područja interesa (AOI), željene udaljenosti uzorka tla (GSD) ili otiska, kao i intrinzičnih specifikacija ugrađene digitalne kamere. Izbor skale slike i žarišne duljine kamere obično ostaje fiksiran kako bi se odredila optimalna visina leta misije. Perspektivni centri fotoaparata precizno se izračunavaju utvrđivanjem postotka uzdužnog i poprečnog preklapanja, kao što je uobičajeno korištena konfiguracija od 80% do 60%. Važno je napomenuti da ti parametri mogu značajno varirati ovisno o specifičnim ciljevima leta. Za misije usmjerene na generiranje složenih 3D modela prednost se daje većim preklapanjima i letovima na nižim visinama kako bi se postigli bolji GSD-ovi. S druge strane, ubrzani letovi osmišljeni za hitne ankete i upravljanje zahtijevaju veću pokrivenost u nekoliko minuta, iako u nižoj razlučivosti.



Slika9. Plan leta

Projekt sadrži plan leta i plan rasporeda orijentacijskih točaka. Projekt definira planirane razlike zbog visinskih razlika terena i poprečnog preklapanja koje mora osigurati stereoskopsku vezu između susjednih polja.

Konstrukcija ortofoto ili mozaika zahtijeva da slike imaju određeno preklapanje. Preklapanje slika nije ništa drugo nego kada fotografije u različitim geografskim položajima imaju zajedničku točku. Stoga je pomoću koncepata geometrije fotografije moguće izvršiti proračune za generiranje mozaika s većom preciznošću. Među vrstama preklapanja imamo bočno preklapanje i uzdužno preklapanje, kako je prikazano na Slika10slici .



Slika10. Preklapanje slika

Aerotriangulacija je radni proces izveden fotogrametrijskim hardverom i softverom, čiji je cilj dobivanje izjednačenih koordinata osnovnih zadanih vrijednosti i priključnih točaka te vanjskih orijentacijskih elemenata za svaku pojedinu snimku, na temelju kojih se mogu stvoriti stereoparovi za fotogrametrijsko mjerenje ili digitalni ortofoto.

## Senzori

Uređaji koji se koriste za snimanje slika ili podataka sa scene koja se promatra igraju ključnu ulogu u fotogrametriji i daljinskom istraživanju. Ti se uređaji često postavljaju na različite platforme, kao što su sateliti, zrakoplovi, bespilotne letjelice ili zemaljska vozila, kako bi se snimile slike ili podaci za naknadnu analizu i modeliranje.

Značajan napredak u modernom daljinskom istraživanju i fotogrametriji je mogućnost korištenja više senzora na jednoj platformi. Tim se pristupom omogućuje istodobno prikupljanje različitih vrsta podataka, čime se povećava bogatstvo prikupljenih informacija. Na primjer, jedna zračna ili satelitska platforma može nositi senzore za snimanje vidljivih slika, infracrvenih podataka, podataka LiDAR (Light Detection and Ranging) i još mnogo toga. Ovaj višesenzorski pristup omogućuje sveobuhvatnu analizu i modeliranje promatranog područja jer pruža podatke iz različitih dijelova elektromagnetskog spektra i različitih modaliteta senzora.

Senzori se često dijele na aktivne i pasivne senzore, od kojih svaki igra ključnu ulogu u različitim primjenama i znanstvenim disciplinama.

Pasivni senzori su uređaji koji bilježe elektromagnetsko zračenje koje emitiraju ili reflektiraju tijela i objekti, bez korištenja vlastitog svjetla ili izvora signala. Ova vrsta senzora igra ključnu ulogu u znanstvenim istraživanjima, tehnologiji i svakodnevnim primjenama.

Aktivni senzori emitiraju vlastite signale ili svjetlost prema cilju i bilježe povratne informacije. Oni su neovisni o prirodnom izvoru svjetlosti i mogu pružiti preciznije informacije u određenim situacijama.

Primjeri pasivnih senzora su:

- GNSS (globalni navigacijski satelitski sustav) - koristi satelitske signale za određivanje geografskog položaja i preciznog vremena.
- Infracrveni (IR) senzori - detektiraju infracrveno zračenje koje emitira tijelo i objekti na temelju njihove temperature. Koriste se u termodinamičkim i meteorološkim mjerenjima te u noćnom vidnom polju.
- Senzori vidljivog spektra - detektiraju svjetlost u vidljivom spektru elektromagnetskog zračenja. Ovi senzori su naširoko koristi u fotografiji, video nadzor i razne optičke uređaje.
- Multi-/Hiper-Spektralni Senzori - koriste pasivno zračenje koje tijelo reflektira ili emitira u mnogo širem rasponu elektromagnetskog spektra od vidljive svjetlosti. To omogućuje detaljniju analizu materijala i okoliša. Primjene uključuju poljoprivredu, istraživanje minerala i daljinsko istraživanje.

Primjeri aktivnih senzora su:

- LiDAR (Light Detection and Ranging) - šalje laserske impulse prema površini i mjeri vrijeme potrebno za povratak reflektiranog svjetlosnog signala. LiDAR se koristi za izradu visoko preciznih digitalnih modela terena i za 3D skeniranje.

- SAR (Synthetic Aperture Radar) - koristi mikrovalno zračenje za snimanje Zemljine površine. SAR je koristan u svim vremenskim uvjetima i omogućuje promatranje površine čak i kroz oblake i noću.

### 3D modeli (proizvodi)

Digital Elevation Model (DEM) je digitalni prikaz Zemljine površine terena. To je 3D skup podataka koji opisuje visinu ili visinu Zemljine površine na različitim točkama na određenom području. DEM-ovi se upotrebljavaju u različitim primjenama, uključujući topografsko kartiranje, planiranje uporabe zemljišta, hidrologiju i modeliranje okoliša. Digitalni model uvijek predstavlja neku vrstu površine. Ovisno o tome što je uključeno u nju od Zemljine površine, razlikujemo DTM i DSM. Možemo reći da je primarna razlika između Digital Terrain Modela (DTM) i Digital Surface Modela (DSM) u informacijama koje predstavljaju i kako se stvaraju.

Digital Terrain Model (DTM) predstavlja površinu gole Zemlje, isključujući bilo kakvu vegetaciju, zgrade ili druge nadzemne značajke. Uključuje topografiju terena, kao što su planine, doline, brda i varijacije visine tla. DTM-ovi se često koriste u primjenama kao što su geodetska izmjera, građevinarstvo, hidrologija i analiza terena. Da bi se stvorio DTM, sve nadzemne značajke, poput zgrada i vegetacije, digitalno se uklanjaju ili "spljoštene" iz podataka, ostavljajući samo temeljni teren.

Digital Surface Model (DSM) predstavlja Zemljinu površinu kako se pojavljuje sa svim površinskim značajkama, uključujući prirodne i umjetne strukture poput zgrada, drveća i drugih objekata. Obuhvaća topografiju terena i sve nadzemne značajke na površini. DSM-ovi su korisni za primjene kao što su urbanističko planiranje, 3D modeliranje, analiza vegetacije i modeliranje poplava jer obuhvaćaju potpunu složenost površine. Stvaranje jedinstvenog digitalnog tržišta obično uključuje zadržavanje svih točaka podataka o nadmorskoj visini, uključujući one koje predstavljaju zgrade, vegetaciju i druge nadzemne značajke.

I DTM-ovi i DSM-ovi pružaju informacije o nadmorskoj visini, ali DTM-ovi se usredotočuju isključivo na topografiju tla, isključujući nadzemne značajke, dok DSM-ovi obuhvaćaju cijelu površinu, uključujući teren i sve objekte na njemu. Izbor između korištenja DTM-a ili DSM-a ovisi o konkretnoj primjeni i o tome trebate li analizirati prirodni teren ili uzeti u obzir sve značajke površine.

Ortofotos i pravi ortofotos su vrste zračnih ili satelitskih snimaka koje se koriste u kartiranju i geoprostornim primjenama. Ortofoto mozaik jedan je od najpopularnijih proizvoda moderne fotogrametrije. To je proizvod koji eksplicitno prikazuje tlo i izgrađene zgrade.

Glavna razlika između ortofotografija i pravih ortofotografija leži u liječenju nadzemnih značajki. Ortofotos ispravlja geometrijske distorzije, ali uključuje nadzemne objekte, dok prave ortofotos eliminiraju nadzemne značajke, pružajući točniji prikaz gole Zemljine površine.

**3D oblak točaka** je skup točaka podataka u 3D koordinatnom sustavu. Svaka točka predstavlja jednu prostornu mjeru na površini objekta, koordinatu objekata. Gledano zajedno, oblak točaka predstavlja cijelu vanjsku površinu objekta.

3D oblak točaka sastoji se od milijuna točaka na ispravnim koordinatama X, Y i Z s dodijeljenim sivim nijansama ili informacijama o boji. Ovaj oblik hvatanja stvarnosti predstavlja precizno stanje zgrade ili prostora i najbolje funkcionira sa softverom za modeliranje kao što je Autodesk Revit. Oblaci točaka nastaju fotogrametrijom ili 3D laserskim skenerima, koji mjere fizičke dimenzije vidljivih površina zgrada i objekata oko njih.

Za razliku od 3D podataka iz oblaka točaka, informacijski model zgrade (BIM) pruža digitalni prikaz stvarne zgrade. To je poznato kao "digitalni blizanac". Elementi u 3D modelu imaju veličine i svojstva koja se mogu planirati i brojati, a informacije iz baze podataka mogu se priložiti za specifikacije praćenja, analizu troškova, energetske učinkovitost, održavanje i popravak i još mnogo toga. Ovaj 3D model postaje zajednički resurs za informacije o objektu i čini pouzdanu osnovu za odluke tijekom njegovog životnog ciklusa, od ideje projekta do njegovog rušenja.

## Reference

[https://www.geoskola.hr/~gsurina/TAHIMETRIJA\\_2015\\_16.pdf](https://www.geoskola.hr/~gsurina/TAHIMETRIJA_2015_16.pdf)

<https://bimlearningcenter.com/bim-101-total-station-measurement-methods/>

<https://www.cedengineering.com/userfiles/An%20Introduction%20to%20Survey%20Methods%20and%20Techniques%20R1.pdf>

<https://getbookblog.files.wordpress.com/2016/08/fundamentals-of-surveying-royengineersdaily-com.pdf>

<https://gisgeography.com/what-is-photogrammetry/>

<https://www.photogrammetry.com/>

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-8983-6\\_23](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-8983-6_23)

[https://www.more-connect.eu/wp-content/uploads/2017/05/3rd\\_training-module\\_short.pdf](https://www.more-connect.eu/wp-content/uploads/2017/05/3rd_training-module_short.pdf)

<https://gisgeography.com/dem-dsm-dtm-differences/>