



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
DEPARTMAN ZA GRAĐEVINARSTVO I GEODEZIJU
GEODEZIJA I GEOINFORMATIKA



INTEGRISANI SISTEMI PREMERA

Lasersko i radarsko skeniranje

Doc. dr Mehmed Batilović, mast. inž. geodez.

Novi Sad, 2023/2024

1

LiDAR

- LIDAR je skraćenica od *Light Detection And Ranging*.
- Pored ovog naziva koriste se i sledeći nazivi:
 - lasersko merenje visina;
 - avionsko lasersko skeniranje.
- Ovaj aktivni sistem za daljinsku detekciju koristi lasere.
 - LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) je uređaj koji emituje usmeren koherentan snop fotona samo jedne talasne dužine.
 - Laseri manjih snaga se koriste u raznovrsnim komercijalnim i lako dostupnim uređajima (CD plejer i sl.).
 - Laseri većih snaga koriste se u medicini, vojnoj industriji i sl.
 - LiDAR sistemi koriste lasere srednjih snaga.

2

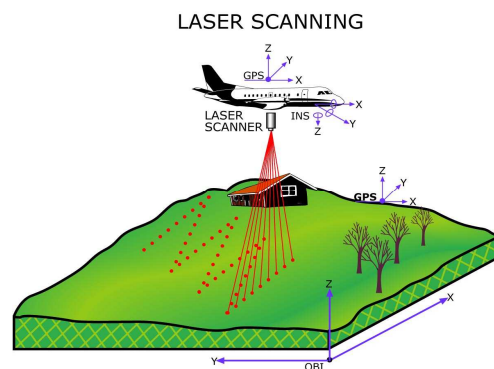
Istorija LiDAR-a

- Prvi optički laser nastao je 60-tih godina 20-og veka.
- Prvo određivanje dužina upotrebom lasera takođe 1960-tih.
- Prvi put u kasnim 1980-im, upotreba GPS-a učinila je precizno lasersko skeniranje terena iz vazduha mogućim (Univerzitet u Štutgartu, Profesor Akerman).
- Početkom 1990-tih profileri zamenjeni skenerima za snimanje iz vazduha (*Airborne Laser Scanning*), GPS tehnologija kombinovana sa Inercijalnim Navigacionim Sistemima (INS).
- Od 2000: ALS ubrzano nailazi na sve veću primenu; povećanje obima naučnog istraživanja i testiranja, razvoj novih metoda; konstantno unapređivanje ALS sistema, procesiranje kompletnog povratnog signala – full waveform (od 2004) simultani ALS (od 2006); kvalitetniji softver; više provajdera i korisnika.

3

Komponente LiDAR sistema

- LIDAR sistemi poseduju sledeće komponente:
 - laserski skener;
 - GNSS prijemnik;
 - inercijalnu mernu jedinicu (*Inertial Measurement Unit – IMU*);
 - digitalnu kameru;
 - upravljačku jedinicu.



4

Laser

- Laseri mere udaljenost do objekta od kojeg se reflektovao laserski zrak:

$$\rho = \frac{\Delta t \cdot c}{2},$$

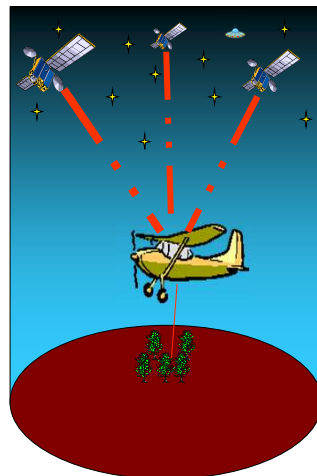
gde je c brzina svetlosti, Δt vreme koje je potrebno da emitovani laserski zrak dođe do objekta, reflektuje se od njega i vrati nazad.



5

GNSS

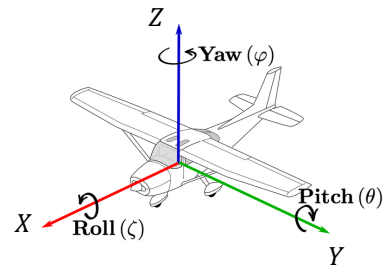
- Globalni navigacioni satelitski sistem (*Global Navigation Satellite System – GNSS*).
- GNSS RTK metoda koja omogućava precizno pozicioniranje u realnom vremenu.
- Naknadna obrada GNSS merenja.
- GNSS tehnologija omogućava centimetarski tačnost pozicioniranja.



6

Inercijalna merna jedinica

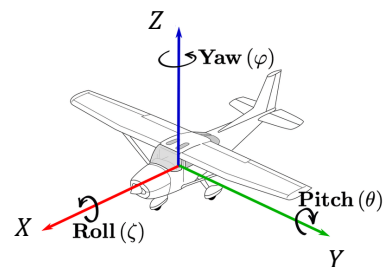
- Inercijalna merna jedinica koristi žiroskope i uređaje za merenje ubrzanja.
- Inercijalna merna jedinica meri rotacije oko koordinatnih osa:
 - X osa – u pravcu leta aviona;
 - Y osa – leži u horizontalnoj ravni i u pravna je na X osu;
 - Z osa – leži u vertikalnoj ravni i u pravna je na horizontalnu ravan kojoj pripadaju X i Y osa.



7

Inercijalna merna jedinica

- U stranoj literaturi i softverima za obradu podataka navedene rotacije poznate su kao:
 - *Roll* – rotacija oko X ose;
 - *Pitch* – rotacija oko Y ose;
 - *Yaw* – rotacija oko Z ose.



8

Digitalna kamera

- Digitalne kamere se koriste za prikupljanje fotografija koje se koriste za izradu digitalnih ortofoto planova.



9

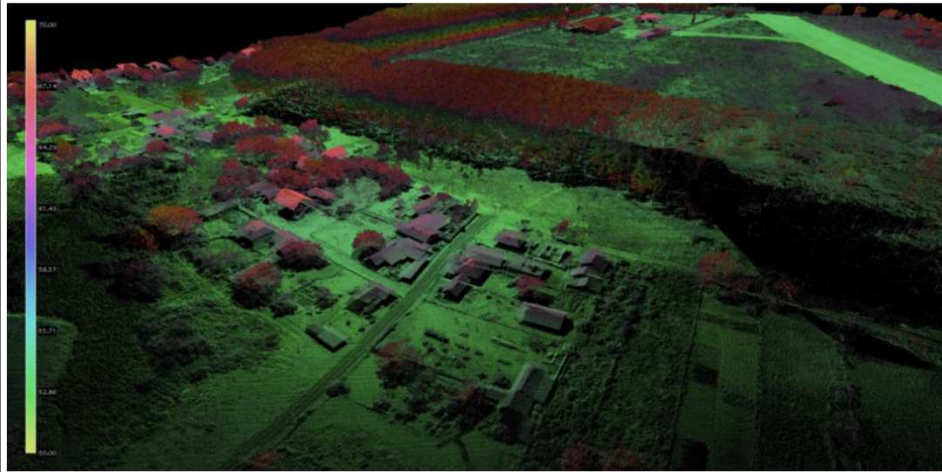
Upravljačka jedinica

- Upravljačka jedinica skladišti podatke sa laserskog skenera, GNSS prijemnika, inercijalne merne jedinice i digitalne kamere.
- Na osnovu prikupljenih podataka određuju se trodimenzionalne koordinate svake tačke od koje se reflektovao laserski zrak.
- Oblak tačaka – skup svih tačaka od kojih su reflektovani laserski zruci koje je emitovao laserski skener.



10

Oblak tačaka



11

Šta LiDAR jeste?

- Aktivni sistem za daljinsku detekciju.
 - Koristi sopstveni izvor energije.
- Rastojanja se određuju na osnovu vremenske razlike između emitovanja i prijema signala (nakon refleksije).
- Generiše oblak tačaka sa X, Y, Z koordinatama.
- Dnevna i noćna funkcionalnost, osim u slučaju kad je sistem opremljen i digitalnom kamerom.
- Direktna upotreba podataka sa terena, za razliku od fotogrametrije.

12

Šta LiDAR nije?

- Nije namenjen svim vremenskim prilikama.
 - Objekat koji je predmet skeniranja mora biti vidljiv u okviru izabranog dela elektromagnetnog spektra.
 - Ne sme biti kiše ili magle.
 - Mora biti ispod oblaka.
- Nema mogućnost snimanja kroz vegetaciju.
 - LiDAR može da prodre kroz retko rastinje ali ne i kroz guste krošnje.

13

Razlike između LiDAR sistema

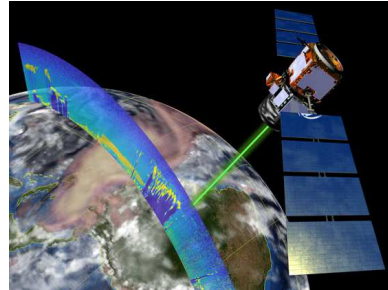
- LiDAR sistemi se međusobno razlikuju po:
 - tipu platforme;
 - principu skeniranja;
 - broju odbitaka laserskog zraka;
 - spektralnim karakteristikama lasera;
 - veličini otiska laserskog zraka;
 - gustini skeniranja;
 - nameni.

14

LiDAR platforme

➤ Tipovi LiDAR platformi:

- svemirske platforme;
- avionske platforme;
- terestričke platforme.



15

Principi skeniranja

➤ LiDAR sistemi za snimanje profila.

- Laser je fiksno postavljen na avionu i snima samo jednu liniju direktno ispod terena.

➤ LiDAR sistemi novije generacije koriste rotirajuće ogledalo.

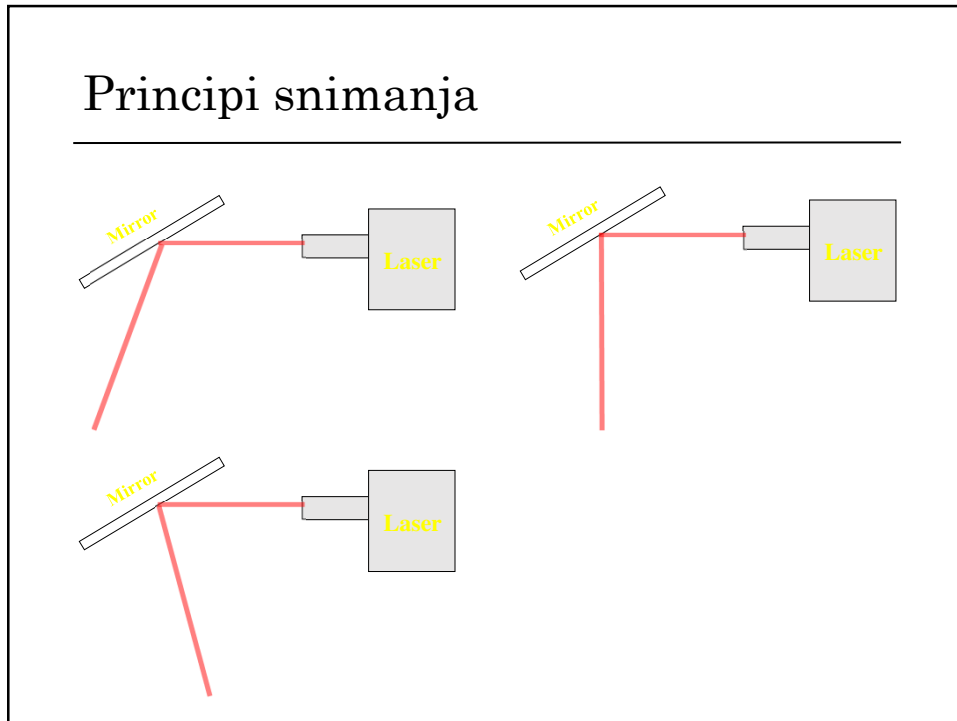
➤ Laser koji je fiksno postavljen emituje laserske zrake prema ogledalu koje se rotira velikom brzinom.

➤ Traka – deo površine terena koji se snima.

➤ Prilikom skeniranja većih površina realizuje se više preleta, a snim tim i snimi više traka koje se međusobno preklapaju.

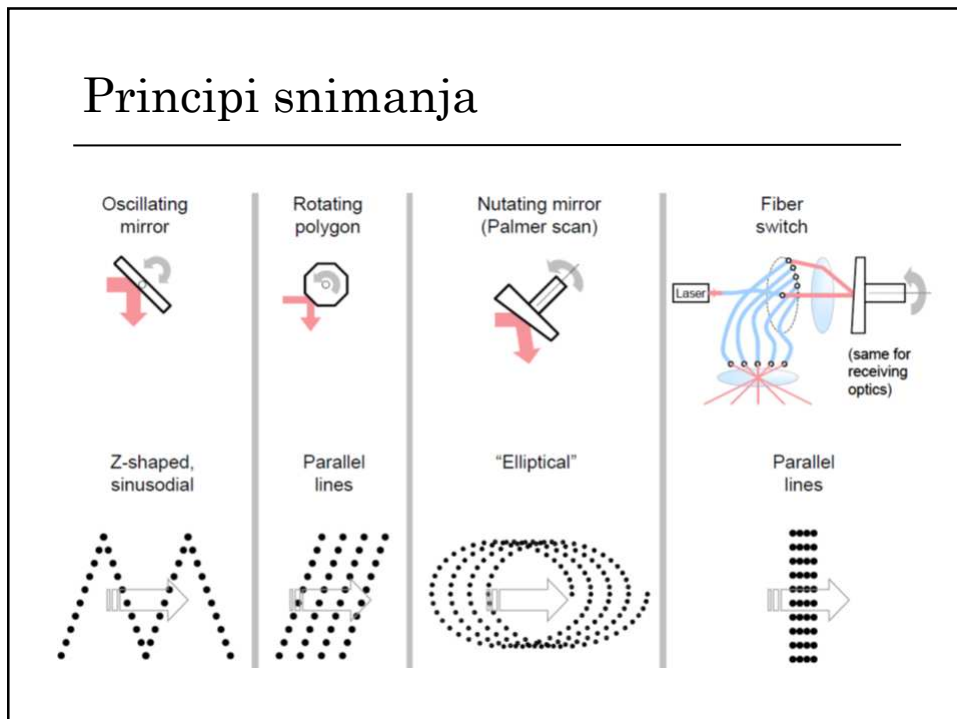
16

Principi snimanja



17

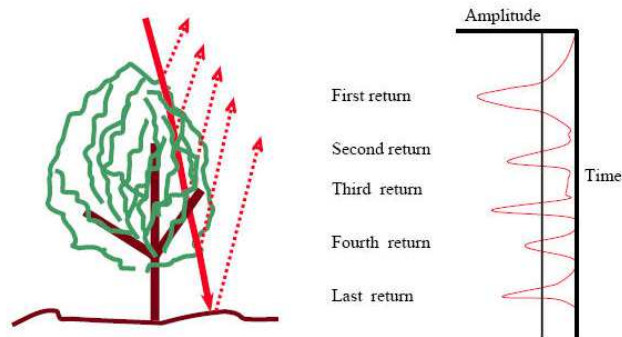
Principi snimanja



18

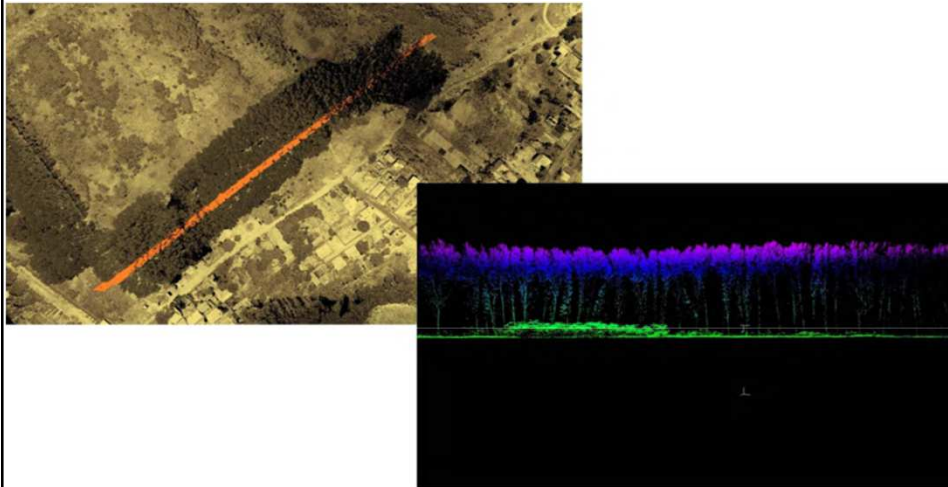
Broj odbitaka

- Sa aspekta broja odbitaka razlikujemo LiDAR sisteme sa jednim odbitkom, više odbitaka i kontinualnim odbitkom.
- U slučaju jednog odbitka registruje se jedna X, Y, Z vrednost.
- U slučaju više odbitaka registruje se više X, Y, Z vrednosti.



19

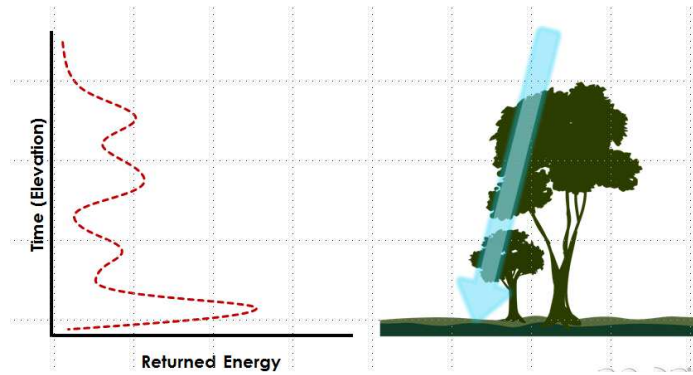
Višestruka refleksija



20

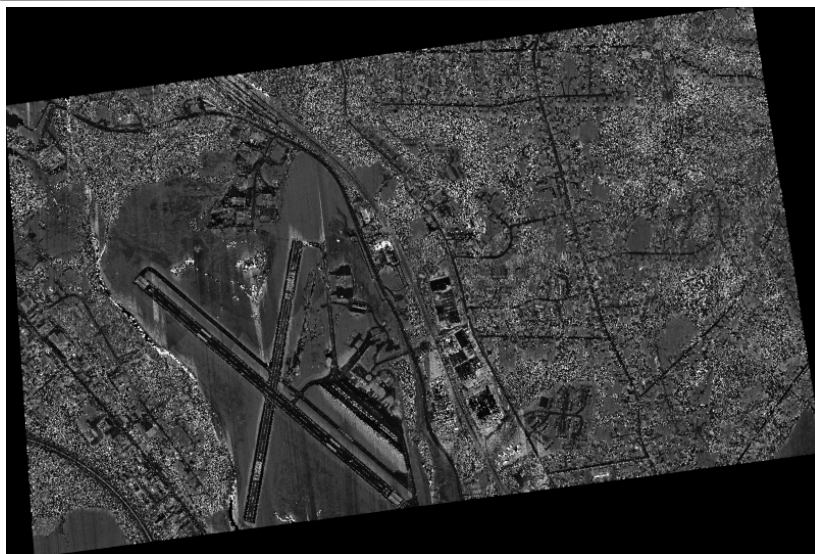
Intenzitet reflektovanog zraka

- Veoma bitan parametra je intenzitet refleksije, koji predstavlja količinu energije koja je reflektovana.
- Laserski zrak se različito reflektuje od različitih površina.



21

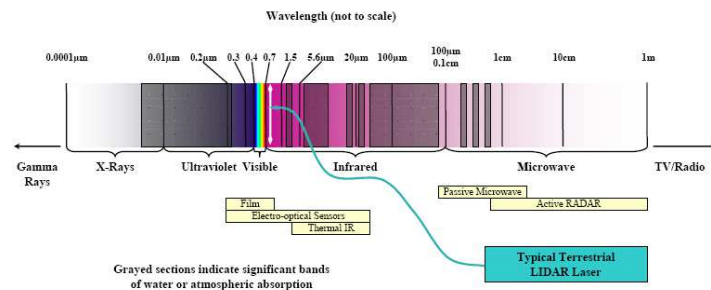
Intenzitet odbitka



22

Spektralne karakteristike lasera

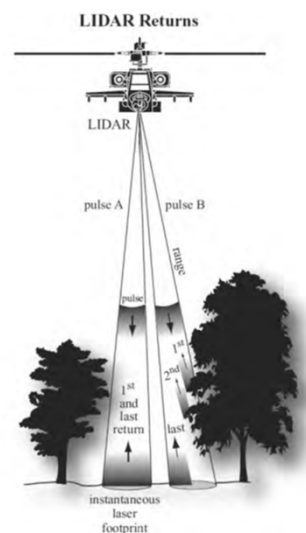
- LiDAR sistemi koji se koriste za topografsko mapiranje koriste blisko infracrvenu oblast elektromagnetnog spektra, odnosno svetlost talasnih dužina od oko 1064 nm.
- Plavo-zeleni laseri rade sa talasnim dužinama od oko 532 nm i zbog osobine dubljeg prodiranja svetlosti iz ovog dela elektromagnetnog spektra, ovi laseri se koriste u batimetriji.



23

Veličina otiska laserskog zraka

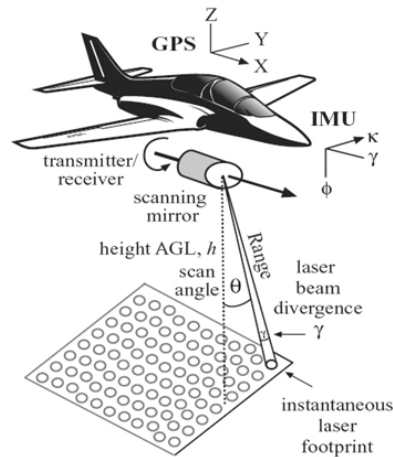
- Laserski zrak koga emituje predajnik se na terenu projektuje u oblik blizak krugu koji se naziva otisak laserskog zraka.
- U stvarnosti, otisak laserskog zraka ima oblik elipse ili neki nepravilan oblik.
- Veličina otiska laserskog zraka zavisi od visine iznad terena i ugla pod kojim je emitovan laserski zrak.



24

Gustina skeniranja

- Gustina skeniranja – rastojanje između tačaka (odbitaka) na terenu.
- Gustina skeniranja se izražava u broju tačaka po jedinici površine.
- Gustina skeniranja zavisi od:
 - frekvencije emitovanja laserskih zraka;
 - ugla skeniranja;
 - visine i brzine leta.



25

Greške merenja LiDAR sistema

- Greška određivanja dužina kreće se u rasponu od 2 do 3 cm.
- Greška GNSS merenja iznosi 5-10 cm.
- Greška inercijalne merne jedinice iznosi 0.27 m na visini leta od oko 3000 metara.

26

Mobile Mapping Systems

➤ *Mobile Mapping* sistemi sastoje se od sledećih komponenti:

- jedan ili više laserskih skenera;
- GNSS prijemnik;
- inercijalna merna jedinica;
- upravljačka jedinica;
- odometar;
- jedna ili više kamera.

27



28

Formati podataka

➤ Najčešće korišćeni formati podataka za skladištenje oblaka tačaka su:

- LAS;
- PTS;
- PTX;
- E57;
- FBI;
- PLY;
- XYZ;
- XYZRGB.

29

LAS format

➤ LAS format definisan od strane *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)* ima sledeću strukturu:

- X;
- Y;
- Z;
- Intenzitet – *Intensity* (0 – 255);
- Broj odbitka – *Return number*;
- Ukupan broj refleksija (datog impulsa) – *Number of returns*;
- Pravac skeniranja – *Scan direction flag*;
- *Edge of Flight Line* (ima vrednost 1 ako je duž jedne linije leta data tačka istovremeno i poslednja);
- (1.1) Klasifikacija – *Classification*;
- Ugao skeniranja – leva strana (-90 do +90) – *Scan Angle Rank*;
- (1.1) Korisnički podaci – *User Data*;
- (1.1) ID tačaka – *Point Source ID*;
- GPS vreme; *Izvor: LAS Specification, Version 2.1 (www.lasformat.org)*

30

LAS format

➤ Klase tačaka:

- 0 – tačka nije do sada klasifikovana;
- 1 – tačka u postupku klasifikacije nije smeštena ni u jednu klasu;
- 2 – tačka je klasifikovana kao teren;
- 3 – niska vegetacija;
- 4 – srednja vegetacija;
- 5 – visoka vegetacija;
- 6 – objekti;
- 7 – niske tačke (šum);
- 8 – ključne tačke modela;
- 9 – voda;
- 10 – rezervisano za buduće primene;
- 11 – rezervisano za buduće primene;
- 12 – tačke na preklopu traka (linija) skeniranja;
- 13-31 – rezervisano za buduće primene.

Izvor: LAS Specification, Version 2.1 (www.lasformat.org)

31

Oblasti primene

- Geodetski premer
- Inženjerska geodezija
- Hidrologija
- Šumarstvo
- Autonomna vožnja
- Virtuelna realnost
- ...

32

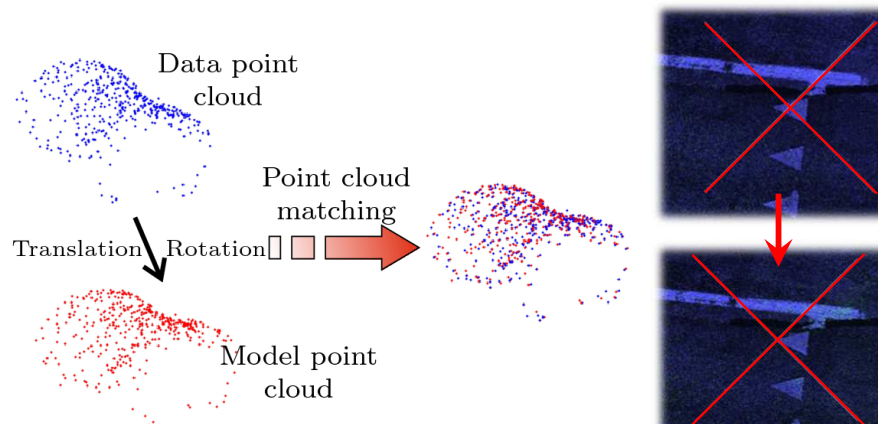
Inicijalna obrada podataka

- Inicijalna obrada podataka:
 - naknadna obrada GNSS merenja;
 - generisanje oblaka tačaka;
 - bojenje oblaka tačaka na osnovu fotografija prikupljenih digitalnom kamerom;
 - eksport oblaka tačaka u odgovarajući format.

33

Uklapanje oblaka tačaka

- Relativno i apsolutno uklapanje oblaka tačaka – registracija i georeferenciranje oblaka tačaka.



34

Klasifikacija oblaka tačaka

- Klasifikacija oblaka tačaka – pridruživanje tačaka iz oblaka u neke prethodno definisane klase.
- Postupak klasifikacije oblaka tačaka može se podeliti na dve kategorije:
 - gruba klasifikacija oblaka tačaka – podela tačaka u nekoliko osnovnih klasa (tlo, niska vegetacija, srednja vegetacija, visoka vegetacija, objekti i slično);
 - detaljna klasifikacija oblaka tačaka – podela tačaka u znatno veći broj klasa, koji u urbanim područjima može biti i preko dvadeset.
- Manuelni i poluautomatski postupak klasifikacije.

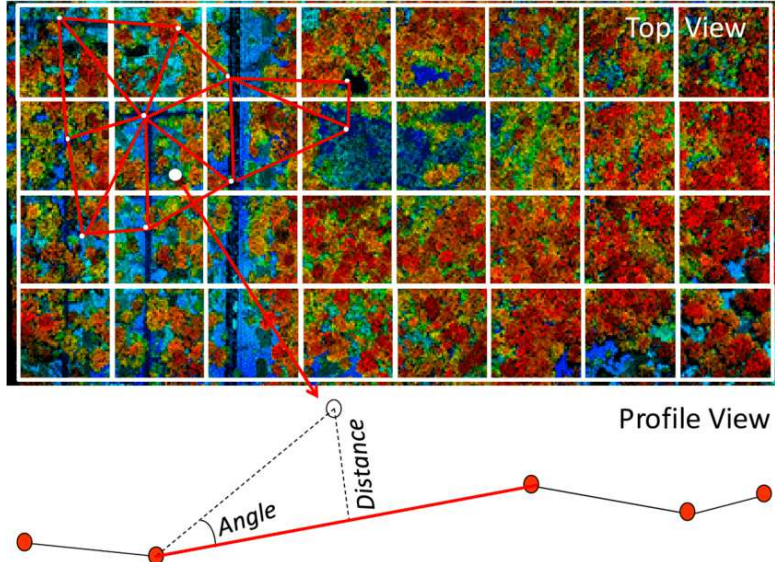
35

Postupci klasifikacije oblaka tačaka

- *Low Points* – klasifikuje tačke koje su niže u odnosu na ostale tačke u okruženju.
- *Isolated Points* – klasifikuje tačke koje nemaju bliskih tačaka u definisanom radijusu.
- *Air Points* – klasifikuje tačke koje imaju veću visinu u odnosu na srednju visinu okolnih tačaka.
- *Ground* – klasifikuje tačke koje pripadaju tlu.
 - Postupak počinje selekcijom nekih niskih tačaka na tlu.
 - Kreira se inicijalni model na osnovu odabranih tačaka, nakon čega se kreće sa uklapanjem modela dodavanjem novih tačaka.
 - Parametri algoritma, ugao i rastojanje iteracije, određuju koliko blizu trouglova mora biti tačka da bi bila svrstana u klasu tlo.

36

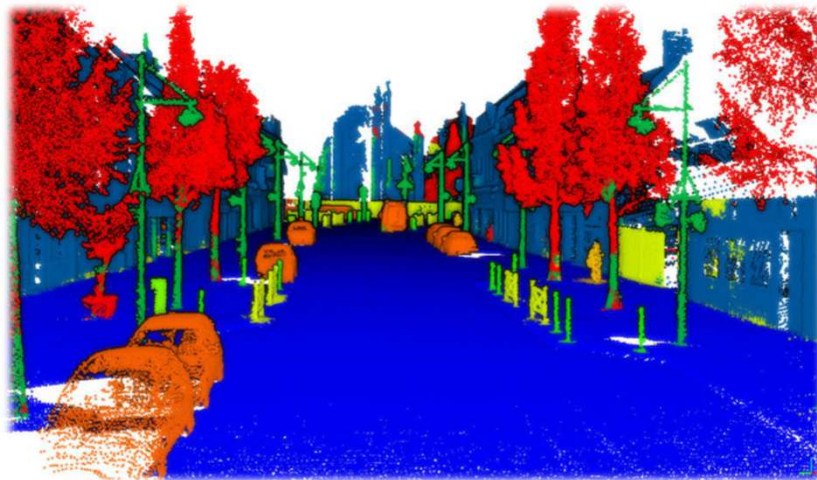
Ground klasifikacija



37

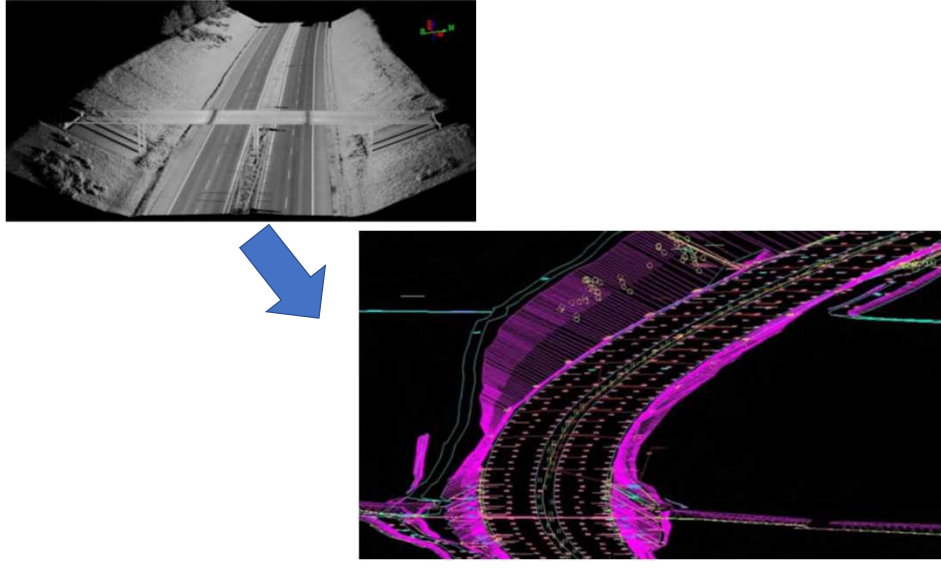
Klasifikacija oblaka tačaka

➤ Klasifikovan oblak tačaka.



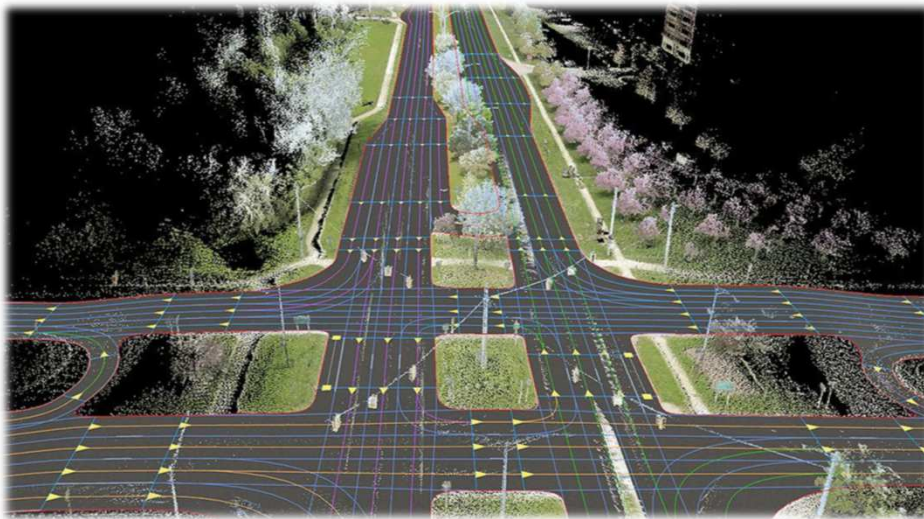
38

Ekstrakcija prostornih entiteta iz oblaka tačaka



39

High-definition maps



40

Softverska rešenja za obradu oblaka tačaka

- TerraSolid
- TopoDOT
- Trimble Business Center
- LAStools
- CloudCompare
- Leica Cyclone
- Orbit GT
- PointCAB
- FME – Feature Manipulation Engine
- PDAL – Point Data Abstraction Library
- ...

41

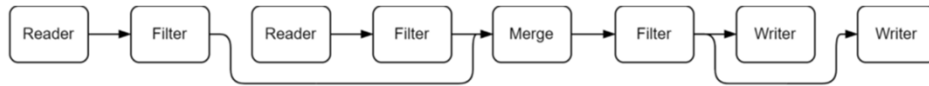
PDAL

- PDAL je C++ biblioteka otvorenog koda namenjena za obradu oblaka tačaka.
- Obrada podataka bazirana je *pipeline* konceptu, odnosno konceptu usmerenog grafa.
- Podaci iz oblaka tačaka se učitavaju pomoću odgovarajućih funkcija (*readers*), nakon čega se prosleđuju kroz različite filtere koji transformišu podatke ili kreiraju metapodatke, a zatim upisuju u izlazni tok pomoću odgovarajućih funkcija (*writers*).
- Svaka od sekvencijalnih radnji, odnosno modula za obradu, primenjena na oblak tačaka, naziva se faza i spada u jednu od tri kategorije: *reader*, *filter* ili *writer*.

42

PDAL

➤ Pipeline koncept



➤ Faze se mogu integrisati u *pipeline* pomoću JSON reprezentacije niza.

➤ Podrška za Python, Java, Juila i Matlab.

<https://pdal.io/en/latest/about.html>

```

[
  {
    "type": "readers.las",
    "filename": "input.las"
  },
  {
    "type": "filters.crop",
    "bounds": "[[0,100],[0,100]]"
  },
  {
    "type": "writers.text",
    "filename": "output.txt"
  }
]
  
```

43

PDAL

➤ Primeri

```

{
  "pipeline": [
    { "type": "readers.las" },
    { "type": "filters.reprojection",
      "in_srs": "EPSG:3909",
      "out_srs": "EPSG:32634"
    },
    { "type": "writers.las" }
  ]
}
  
```

```

{
  "pipeline": [
    { "type": "filters.colorization",
      "raster": "https://isse.cr.usgs.gov/arcgis/..."
    }
  ]
}
  
```

44

Radarsko skeniranje

- Tehnologija radarskog skeniranja terena bazirana je na korišćenju radarskih senzora, odnosno radara.
- Princip rada radara zasniva se na otkrivanju objekata i određivanju rastojanja do tih objekata korišćenjem radio-talasa.
- RADAR je skraćenica od *Radio Detecting and Ranging*.
- Postoje dve metode radarskog skeniranja:
 - radar sa sintetičkom blendom (*Synthetic Aperture Radar – SAR*);
 - radarska interferometrija sa sintetičkom blendom (*Interferometric Synthetic Aperture Radar – InSAR*).

45

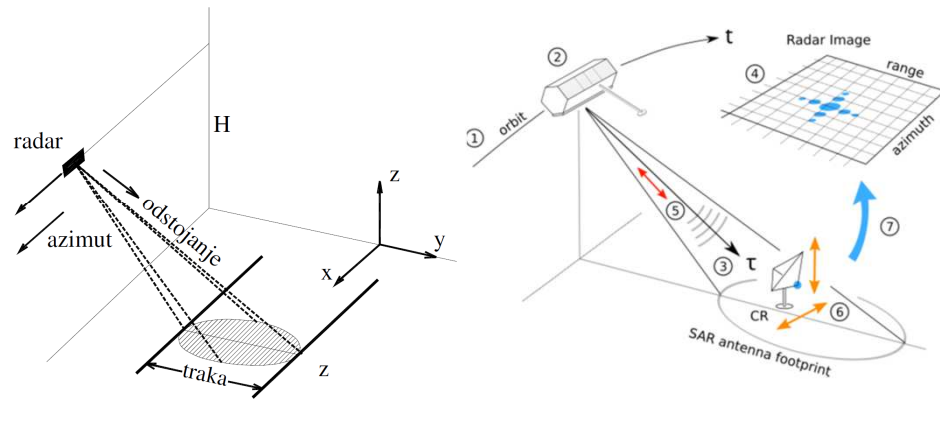
SAR metoda

- SAR metoda podrazumeva korišćenje jednog aktivnog izvora elektromagnetnog zračenja koji emituje radio talase i odgovarajućeg prijemnika koji registruje odbijene talase.
- Tipične frekvencije i talasne dužine na kojima rade SAR senzori su:
 - X opseg ($\lambda = 3 \text{ cm}$, $f = 9.6 \text{ GHz}$);
 - C opseg ($\lambda = 5.3 \text{ cm}$, $f = 5.6 \text{ GHz}$);
 - L opseg ($\lambda = 24 \text{ cm}$, $f = 1.3 \text{ GHz}$);
 - P opseg ($\lambda = 68 \text{ cm}$, $f = 0.3 \text{ GHz}$).
- Radio talasi bez ikakvih smetnji prodiru kroz oblake i kišu.

46

SAR metoda

- Kod SAR metode teren se skenira bočno u odnosu na pravac leta, odnosno orbitu duž koje se senzor kreće.



47

SAR metoda

- Kod radarskih sistema izvode se merenja: vremena odziva signala, energije, faze i pozicije SAR senzora u prostoru.
- Eho koji se registruje senzorom je linearna superimpozicija višestruki odbijenih signala od delova osvetljenog terena.
- Amplituda odbijenog signala proporcionalna je stepenu refleksije elemenata terena i talasne dužine emitovanog signala.
- Skeniranjem površi terena SAR sistemom dobija se dvodimenzionalna slika skeniranog područja.
- Dve dimenzije slike su azimut i odstojanje, koji se odnose na pravac leta i pravac koji je upravan na pravac leta.

48

SAR metoda

- SAR senzor registruje niz signala koje karakteriše njihova faza i amplituda, tako da svaki piksel slike sadrži vrednost u vidu kompleksnog broja.
- Amplituda kompleksnog broja predstavlja meru refleksije, a faza, odnosno fazna razlika, rastojanje od SAR senzora do dela terena koji odgovara prostornom zahvatu tog piksela.
- SAR slike se dobijaju na osnovu signala emitovanih sa različitih pozicija senzora duž putanje letelice, ekstrakcijom informacija o radarskog refleksiji na tačkama terena na bazi obrade digitalnih signala formiranih na osnovu registrovanih reflektovanih signala.

49

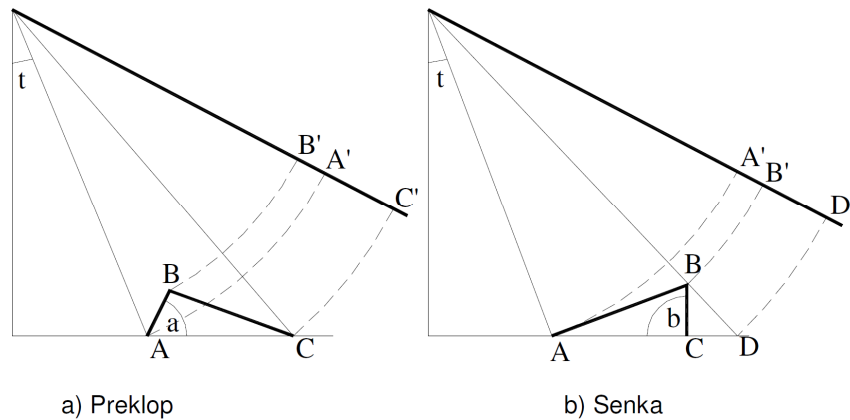
SAR metoda

- Koordinate tačaka na terenu dobijaju se:
 - presekom poluprečnika kružnice koji odgovara dobijenom rastojanju od senzora do tačke na terenu i samog terena predstavljenog digitalnim modelom terena;
 - stereo-presekom dveju kružnica koje se odnose na istu tačku terena, dobijenih sa dve pozicije senzora.
- Za potrebe određivanja pozicije i orijentacije letelice u prostoru koristi se GNSS tehnologija satelitskog pozicioniranja i inercijalni navigacioni sistemi.

50

SAR metoda

➤ Kod SAR metode pojavljuju se senka i preklop.



51

Karakteristike SAR metode

➤ Karakteristike skeniranja SAR metodom:

- rezolucija slike je nezavisna od udaljenosti senzora od terena;
- tačnost koordinata piksela ne zavisi od tačnosti određivanja položaja platforme sa sensorom;
- geometrijska tačnost slike ne zavisi od rastojanja između senzora i terena;
- SAR prikupljanje podataka moguće je tokom noći;
- prikupljanje podataka SAR metodom ne ometaju oblaci.

52

InSAR metoda

- Budući da se slika dobijena SAR metodom skeniranja odnosi na kosa rastojanja od senzora do terena, dobijene podatke neophodno je transformisati u odgovarajući koordinatni sistem, odnosno kartografsku projekciju.
- U tom cilju, pored prethodno navedenih pristupa, koristi se princip interferometrije.
- Suština interferometrije jeste da se sa dva SAR senzora snimi ista površ terena sa dve paralelne putanje.
- Kod ovog pristupa koristi se veoma velika osetljivost faze koju sadrži svaki piksel slike u zavisnosti od udaljenosti tačke na terenu od antene.

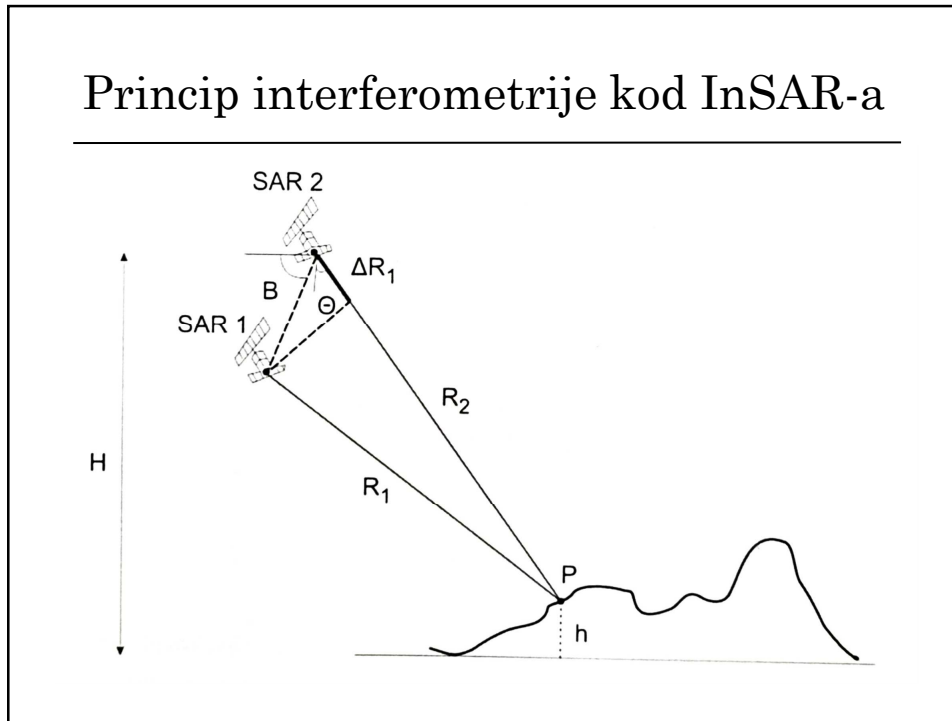
53

InSAR metoda

- Interferometrijsko radarsko skeniranje može se postići:
 - InSAR metodom sa ponovljenim prolazom;
 - InSAR metodom sa jednim prolazom.
- U slučaju ponovljenog prolaza, dve SAR slike se snimaju u različitim vremenskim intervalima, obično u razmaku od nekoliko dana, što je najčešće slučaj kod satelitskih misija.
- U slučaju jednog prolaza, primenjuje se radarski sistem sa dualnim kanalima (dve antene koje se nalaze na fiksnoj rastojanju). Glavna antena i emituje i prima signale, dok sporedna antena samo registruje reflektovane signale.

54

Princip interferometrije kod InSAR-a



55

InSAR metoda

- U oba slučaja, na osnovu merenja dva SAR senzora, za svaku tačku terena dobijaju se dve vrednosti rastojanja R_1 i R_2 , tako da korespondentni pikseli na dve SAR slike imaju iste vrednosti amplitude, ali različite vrednosti faze.
- Određivanjem fazne razlike $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ dva SAR snimka može se odrediti razlika rastojanja $\Delta R = R_1 - R_2$ kao:

$$\Delta R = \frac{\lambda}{2p\pi} \cdot \Delta\varphi,$$

gde je λ talasna dužina, a p parametar koji ima vrednost 1 u slučaju interferometrije sa jednim prolazom, a vrednost 2 kod interferometrije sa ponovljenim prelazom.

56

InSAR metoda

- Fazna razlika se određuje za svaki piksel, a rezultat je interferogram koji sadrži vrednosti razlike faza čijim merenjem se dobija vrlo tačan digitalni model terena.
- Visina tačke na terenu određuje se na osnovu razlike ΔR i rastojanja R_1 :

$$h = H - (R_1 + \Delta R) \cdot \cos \theta,$$
 gde je H visina antene S_2 iznad referentne površi.
- Tačnost digitalnih modela terena dobijenih InSAR tehnologijom određena je pomoću sledećih faktora: tačnost određivanja faze radarskih signala, tačnost određivanja položaja letelice i atmosferskih uslova.

57

Karakteristike InSAR metode

- Za razliku od LiDAR-a koji je ograničen na skeniranja sa manjih visina, do par hiljada metara, radarsko snimanje se izvodi sa znatno većih visina.
- U poređenju sa LiDAR tehnologijom InSAR metoda ima nešto manji nivo tačnosti, ali je mnogo ekonomičnija za prikupljanje podataka za digitalne modele terena koji pokrivaju veća područja.
- InSAR metodom skeniranja dobija se digitalni model terena koji ima grid strukturu.

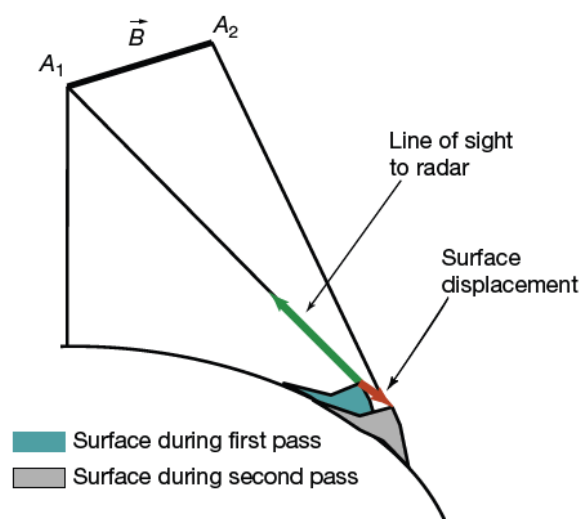
58

D-InSAR metoda

- D-InSAR (*Differential Synthetic Aperture Radar interferometry*) metoda nalazi primenu u preciznom određivanju deformacija tla i objekata.
- U slučaju D-InSAR metode generišu se najmanje tri SAR snimka, na osnovu kojih se formiraju dva interferograma koji se upoređuju.
- Ukoliko vrednosti faznih razlika na dva interferograma nisu identične, znači da je došlo do deformacija skenirane površine terena u vremenskom intervalu između epoha skeniranja.
- Finalni produkt predstavlja diferencijalni interferogram.

59

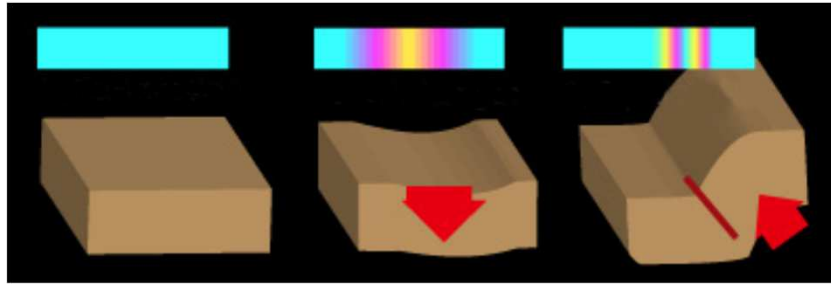
D-InSAR metoda



60

D-InSAR metoda

➤ Princip interpretacije deformacija na interferogramu.



61

Satelitske misije

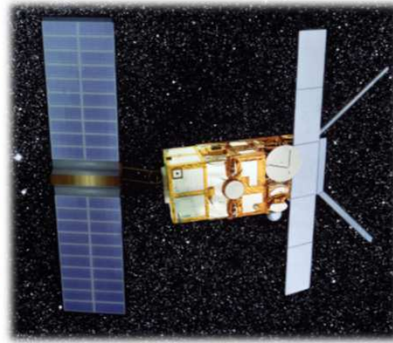
- ERS (*European Remote Sensing Satellite*) je prvi satelitski program Evropske svemirske agencije (*European Space Agency – ESA*).
- ERS misija sastoji se od dva satelita ERS-1 i ERS-2.
- ERS-1 satelit je lansiran jula 1991. godine, a ERS-2 u aprilu 1995. godine.
- ERS-2 satelit prikuplja snimke terena jedan dan nakon ERS-1 satelita.
- Oba satelita poseduju SAR senzor koji koristi radarski signal C opsega frekvencije 5.3 GHz.
- Nagib snimanja je 23°, a prostorna rezolucija 10-30 metara.

62

ERS



ERS-1



ERS-2

63

Satelitske misije

- Copernicus program posmatranja planete Zemlje razvijen od strane Evropske unije.
- Ovaj program otvorenog pristupa podacima predstavlja alat za ekonomski razvoj i pokretač digitalne ekonomije.
- Sentinel sateliti:
 - Sentinel-1;
 - Sentinel-2;
 - Sentinel-3;
 - Sentinel-4;
 - Sentinel-5;
 - Sentinel-5P;
 - Sentinel-6.

64

Sentinel-1

- Konstelacija dva satelita koji se kreću u polarnoj orbiti.
 - Sentinel 1A lansiran 03. aprila 2014. godine.
 - Sentinel 1B lansiran 25. aprila 2016. godine
- Oba satelita poseduju SAR senzor.
- SAR senzor koristi radarski signal C opsega centralne frekvencije 5.405 GHz.
- Prostorna rezolucija 9-40 metara.
- Temporalna rezolucija 3 dana na Ekvatoru, a na području Evrope oko 2 dana.

65

Sentinel-1



Sentinel-1A



Sentinel-1B

66

PITANJA?

67

Literatura

- B. Bajat i S. Ašanin: Primena geodezije u saobraćajnicama, Akademska misao, Beograd, 2015.
- Ž. Cvijetinović: Razvoj metodologije i tehnoloških postupaka za formiranje digitalnog modela terena za teritoriju države, doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd, 2005.
- J. C. Fernandez-Diaz, W. E. Carter, R. L. Shrestha, C. L. Glennie: *Now You See It... Now You Don't: Understanding Airborne Mapping LiDAR Collection and Data Product Generation for Archaeological Research in Mesoamerica*, Remote Sensing, Vol. 6, No. 10, pp. 9951-10001. [LINK](#)
- Terrasolid UserGuide. [LINK](#)
- H. Butler, B. Chambers, P. Hartzell, C. Glennie: *PDAL: An open source library for the processing and analysis of point clouds*, Computers & Geosciences, Vol. 148, pp. 1-9. [LINK](#)

68