



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



MAPIRANJE HAZARDA I PROCENA RIZIKA

RADARSKO SKENIRANJE

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

Novi Sad, 2024/2025

1

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.

3

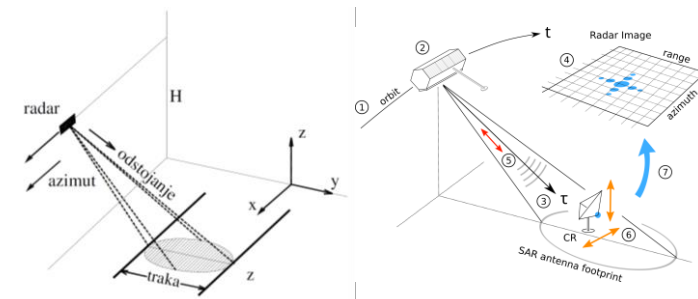
Radarsko skeniranje

- 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*).

2

SAR metoda

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



4

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.

5

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.

7

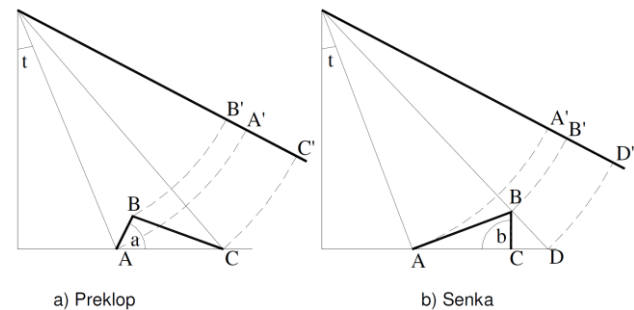
SAR metoda

- 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 radarskoj refleksiji na tačkama terena na bazi obrade digitalnih signala formiranih na osnovu registrovanih reflektovanih signala.

6

SAR metoda

- Kod SAR metode pojavljuju se senka i preklap.



8

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 senzorom;
 - 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.

9

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 fiksnom rastojanju). Glavna antena i emituje i prima signale, dok sporedna antena samo registruje reflektovane signale.

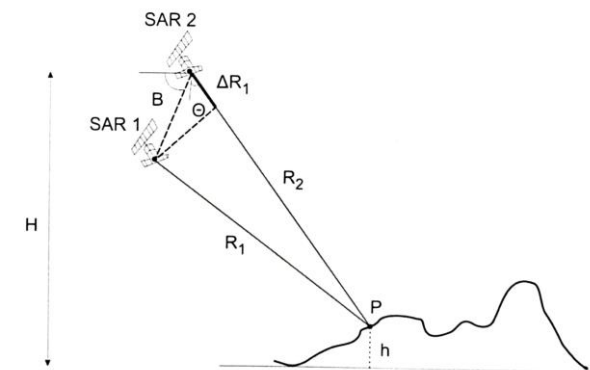
11

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.

10

Princip interferometrije kod InSAR-a



12

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.

13

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.

15

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.

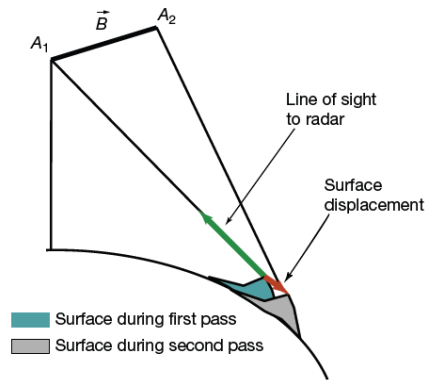
14

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.

16

D-InSAR metoda



17

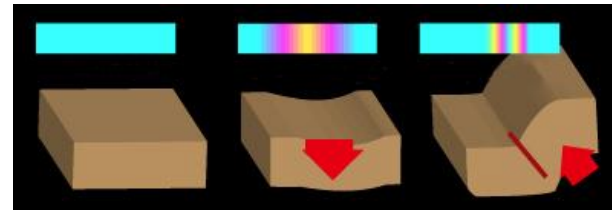
Satelitske misije

- 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.

19

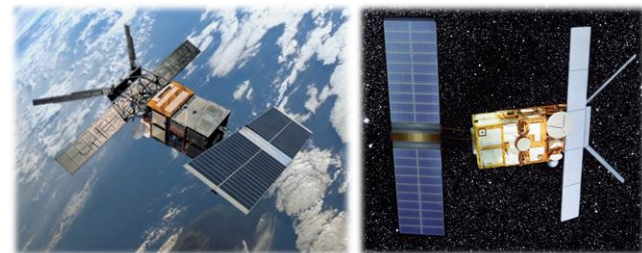
D-InSAR metoda

- Princip interpretacije deformacija na interferogramu.



18

ERS



ERS-1

ERS-2

20

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-5;
 - Sentinel-2; ▪ Sentinel-5P;
 - Sentinel-3; ▪ Sentinel-6.
 - Sentinel-4;

21

Sentinel-1



Sentinel-1A



Sentinel-1B

23

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.

22

PITANJA?

24