

FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA, NOVI SAD
GEODEZIJA I GEOMATIKA



SEMINARSKI RAD
PREDMET: INTEGRISANI SISTEMI PREMERA
TEMA: SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM MISIJA)

Milanka Grubačić O505/2012¹

¹*milanka.grubacic@gmail.com*

Rezime

U okviru ovoga rada objašnjena je jedna od, relativno novijih, metoda za snimanje širih teritorija, regiona ili država. Reč je o radarskoj metodi snimanja topografije u cilju izrade topografskih podloga, u ovom slučaju digitalnih modela visina na globalnom nivou. Ova radarska tehnologija korištena je za Shuttle Radar Topography Mission kraće SRTM misiju, satelitski metod prikupljanja ogromne količine topografskih podataka. Ovim radom objašnjena je radarska interferometrija koja je poslužila kao osnov čitavog ovoga poduhvata, objašnjen je sam način sprovođenja i funkcionisanja SRTM satelitskog sistema. Prikazan je način njegove konstrukcije, obrada prikupljenih podataka, primena i značaj prikupljenih podataka.

Ključne reči : SRTM misija, radarski sistemi, SAR, InSAR, satelitska misija, C-radar. X-radar, SIR-C/X-SAR, digitalni model visina.

1. UVOD

Svaka država ima potrebu za kvalitetnim digitalnim modelom visina (Digital Elevatio Model ili skraćeno DEM). Ovi modeli visina u formi topografskih karata obezbeđuju bazu podataka potrebnu za funkcionisanje navigacionih sistema kao i za niz aktivnosti na terenu u civilnim i vojnim sektorima. Većina industrijski razvijenih zemalja su izradile i održavaju nacionalne kartografske baze podataka, ali te karte dobijene na ovakav način, su različitog kvaliteta, rezolucije i tačnosti. Često je upotreba ovakvih karata ograničena samo na teritoriji određene zemlje. Pored toga, globalna pokrivenost cele Zemlje ovakvim podacima je neujednačena, posebno u nekim delovima Afrike.

Izuzetno je skupo proizvesti digitalni model visina potrebne razmere i rezolucije. Pojavom radara sa sintetičkom blendom (SAR) i radarske interferetrije sa sintetičkom blendom (InSAR) pojavila se mogućnost za stvaranje DEM-a na globalnom nivou. Razvoj ovih tehnogija omogućio je ostvarivanje Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

2. OSNOVNI PRINCIPI RADARSKIH SISTEMA

Radarsko snimanje jedna je od novijih metoda za prikupljanje podataka o objektima i pojavama na površini terena. Tačnost prikupljenih podataka radarskom tehnikom se može uporediti sa tačnošću podataka dobijenih metodom klasičnog aerofotogrametrijskog snimanja. Radarska metoda snimanja se zasniva na korišćenju nekoliko principa, a najvažniji su:

- Princip rada radara;
- Princip korišćenja sintetičkog otvora ili blende;

- Princip interferometrije.

U praksi su razvijena dve metode rada koji se označavaju skraćenicama SRT (radar sa sintetičkom blendom) i InSAR (radarska interferometrija sa sintetičkom blendom).

2.1. SAR sistem

Osnovni princip na kome počiva SAR radarska metoda je princip na kome rade radari, a on se sastoji u otkrivanju objekata i merenju rastojanja do tih objekata korišćenjem radio talasa[1].

Ovde se koriste zračenja koja pripadaju delu elektromagnetnog spektra sa dužim talasnim dužinama. Postupak rada se sastoji u tome da se koristi jedan aktivan izvor elektromagnetnog zračenja koji emituje radio talas i odgovarajući prijemnik sa antenom koji registruje odbijene talase. Merenjem proteklog vremena određuje se rastojanje do objekta od kog su se talasi odbili.

Frekvencije i talasne dužine na kojima rade radari su dati u tabeli 1:

Opseg	Talasna dužina (cm)	Frekvencija (GHz)
X	3.1	9.6
C	5.6	5.6
L	24	1.3
P	68	0.3

(Tabela 1: Frekvencije i talasne dužine radara)

Zahvaljujući ovim frekvencijama radio talasi bez problema prodiru kroz kišu i oblake. A pošto je sam sistem i izvor sopstvenog zračenja nezavistan je od dnevnog svetla i vremenskih uslova. SAR slika je odraz reflektivnosti površine koja se snima i dobija se digitalnom obradom primljenih signala. Mikrotalasna energija koja se koristi kod SAR sistema je koherenta. Što znači da faza poslatih signala varira na kontrolisan način tokom transmisije jednog signala. Osnovna merenja koja se vrše SAR sistemom su: vreme odziva signala, energija, faza i pozicija SAR senzora u prostoru.

Neka od važnih svojstava radarskih sistema su i to da se teren snima bočno u odnosu na pravac leta, zbog toga su i odstojanja od antene do tačke koja se meri na terenu zakošena. Ovo dovodi do dva specifična problema, a to su senke i preklop. Preklop se manifestuje kao preklapanje signala koje se dešava u slučajevima kada je nagib dela površi koji je okrenut ka senzoru veći od ugla pod kojim se ta površ snima. Senka se javlja u slučajevima kada se snima iz vazduha kada određeni delovi terena ili objekta zaklanjaju druge objekte. Senka se javlja kada je nagib dela površi koji je okrenut suprotno od senzora, veći od ugla pod kojim se snima.

Osnovne karakteristike SAR tehnologije su:

- Rezolucija SAR slike je nezavisna od rastojanja senzora od terena;
- Tačnost koordinata SAR piksela ne zavisi od tačnosti orijentacije platforme sa senzorom;

- Geometrijska tačnost SAR slike na zavisi od rastojanja;
- SAR prikupljanje podataka ne zavisi od doba dana;
- Oblaci ne ometaju SAR prikupljanje podataka.

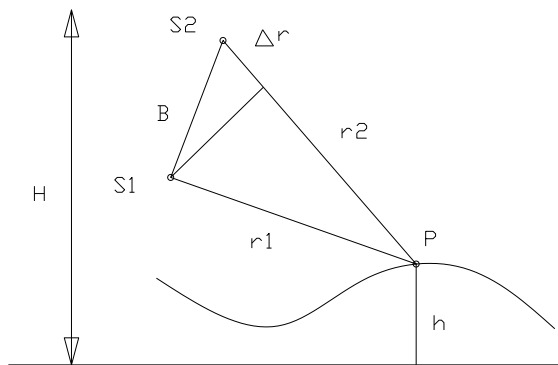
2.2. InSAR sistem

Slike dobijene SAR snimanjem se odnose na kosa odstojanja od senzora do terena, pa je potrebno prevesti ove podatke u odgovarajući koordinatni sistem, tj. kartografsku projekciju.

Ovde dolazi do izražaja treći princip prisutan kod InSAR – a koji se zove interferometrija. Ovde se koristi visoka osetljivost faze koju sadrži svaki piksel SAR u zavisnosti od udaljenosti tačke na terenu od antene. Princip interferometrije se sastoji u tome da se sa dva SAR senzora snimi ista površ terena sa dve skoro paralelne orbite. Tipična vrednost baze, tj. rastojanja između ove dve pozicije sa kojih se snima, je od 10m do 500m. Postoje dva načina da se ovo postigne. To su takozvani InSAR sa ponovljenim prolazom i InSAR sa jednim prolazom.

Kod InSAR sa ponovljenim prolazom [2], koji je uobičajen kod snimanja iz satelita, dve SAR slike se snimaju u različitim trenucima vremena, recimo, u razmaku od nekoliko dana. Najčešće se slike snimaju sa istim senzorom. Tako se interferometrija može primeniti i kod sistema koji prvobitno i nisu bili zamišljeni da se koriste na ovaj način.

Kod InSAR sa jednim prolazom [3] se koristi posebno razvijen sistem koji podrazumeva radarske sisteme sa dualnim kanalima sa glavnom antenom koja i emituje i prima signale i sa sporednom antenom koja samo prima reflektovane signale. Ove dve antene se nalaze na fiksnom rastojanju.



(Slika 1 : Princip interferometrije kod InSAR sistema)

Kod oba pristupa, na osnovu merenja dva SAR senzora, dobijaju se za svaku tačku terena različite vrednosti odstojanja r_1 i r_2 . Stoga, korespondentni pikseli za dve SAR slike imaju iste vrednosti amplitude, ali različite vrednosti faze. Određivanjem fazne razlike, tj. interferometrijske faze (φ_1 i φ_2) dveju SAR slika dobijenih sa pozicija S_1 i S_2 (slika 1), može se odrediti razlika rastojanja $\Delta r = (r_1 - r_2)$ dobijena sa dve antene vrlo precizno po formuli:

$$\Delta r = \frac{\lambda}{2p\pi} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)$$

Gde je $p=2$ za interferometriju sa ponovljenim prolazom, a $p=1$ za interferometriju sa jednim prolazom. Ova fazna razlika se meri za svaki piksel. Rezultat je interferogram koji sadrži vrednosti razlika faza.

Obrada sirovih podataka dobijenih InSAR snimanjem započinje odvojenom obradom signala prikupljenih sa dve antene. Softver za obradu kombinuje GIS/INS merenja sa GPS podacima sa terena da bi se generisale neophodne informacije za formiranje SAR slike i kasnije procesiranje slika sa dve antene korišćenjem principa interferometrije. Rezultati tog procesiranja su dve slike od kojih se prva odnosi na vrednost faze (interferogram), a druga na vrednost koherentnosti. Interferogram predstavlja dvodimenzionalnu sliku faznih razlika između dve slike.

Georeferenciranjem ovih slika dobija se DMP, ortorektifikovane SAR slike i ortorektifikovana slika koherentnosti.

Tačnost InSAR zavisi od:

- Kalibracije sistema;
- Kvaliteta sistema za merenje pozicije i orijentacije senzora;
- Dužine baze između dve InSAR antene;
- Visine i brzine leta;
- Količine i tipa drveća i zgrada na terenu.

3. SRTM MISIJA

Ova misija sprovedena je na Space Shuttle Endeavour, svemirskoj letelici, u februaru 2000 godine (STS-99).

Cilj SRTM misije je bilo da se dobije digitalni model visina kompletne Zemljine površine između 60° severne geografske širine i 56° stepeni južne geografske širine, što je oko 80% od ukupne Zemljine površine [4].

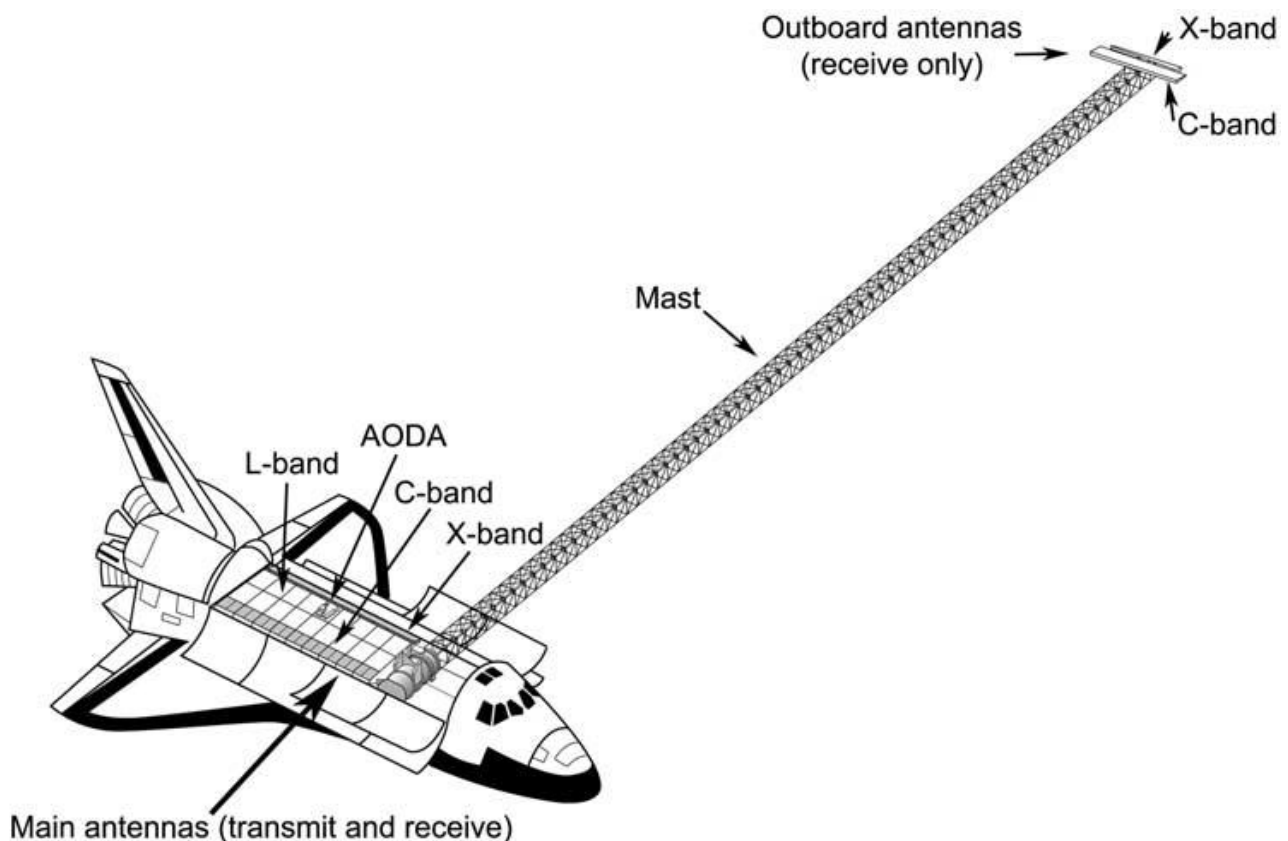
Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) zajednički je projekt National Aeronautics and Space Administration – NASA, National Imagery and Mapping Agency – NIMA (od 2005. godine naziv promijenjen u NGS – National Geospatial Intelligence Agency), German Space Agency (DLR) i Italian Space Agency (ASI), kao i američkog ministarstva odbrane (DoD).

Ova svemirska letelica lansirana je sa šest članova posade iz Kennedy Space Center (KSC) 11. Februara 2000. Nominalna visina leta je izabrana da bude 233 km, a orbitalni nagib bio je 57° . Na ovakav način šatl je započeo svoj put i narednih 10 dana je napravio 159 orbita oko Zemlje. Snimanje je izvršeno u jednom ciklusu sa 159 orbita, između 60° severne geografske širine i 56° južne geografske širine, ili između južnog vrha Grenlanda i Ognjene zemlje. Rostojanje

pojedinačnih orbita je iznosilo 218 km, a širina jedne ScanSAR snimljene trake iznosi 225km .U prvih 12 sati leta SRTM sistem je bio prekontrolisan i aktiviran.

Misija SRTM bila je prva satelitska misija koja je za rezultat imala izradu globalnog digitalnog DMR-a visoke rezolucije. SRTMDMR izrađen je iz radarskih interferometrijskih merenja instrumentom SIR-C/X-SAR (eng. Spaceborne Imaging Radar-C/X-band Synthetic Aperture Radar). Dakle, kompletna ova misija počiva na principima radarske interferometrije, a snimanje se izvodilo jednim prolaskom. Istraživanja u nekim drugim misijama su pokazala da je bolje koristiti princip snimsnja sa ponovljenim prolazom kojim se dobijaju kvalitetniji podaci. Ovde bi takav metod snimanja doveo do određenih teškoća.U ovoj misiji korištena su dva radara i to C i X radari. Njihove talasne dušine su za C opseg 5.6cm , a za X opseg 3.1 cm. NASA je bila odgovorna za rad C radarskih sistema, a DLR bio je odgovoran za rad X radarskih sistema.

SRTM radari su bili dizajnirani da rade kao jedan - pass interferometra , koristeći SRL C- i X-bendove. Svaki od ova dva SRTM radara je opremljen dopunskim prijemnim antenama i pored glavne antene za prijem i slanje signala.Dopunske antene su postavljene na kraju 60 metara dugog jarbola, postavljenog na sam šatlu sa modućnosti uvlačenja. (Slika 2)



(Slika 2: Glavne komponente SRTM. Na samom šatlu je glavna antena sa najbitnijim delovima (L opseg nije korišten), a na kraju 60m dugog jarbola su sekundarne antene)

Misija je ispunila svoj cilj i prikupljanje podataka je završeno nakon 10 dana leta 22. februar 2000 godine. A sami podatci dobijeni ovom SRTM misijom dostupni su javnosti od kraja 2003.godine.

4. HARDVERSKE KOMPONENTE SRTM

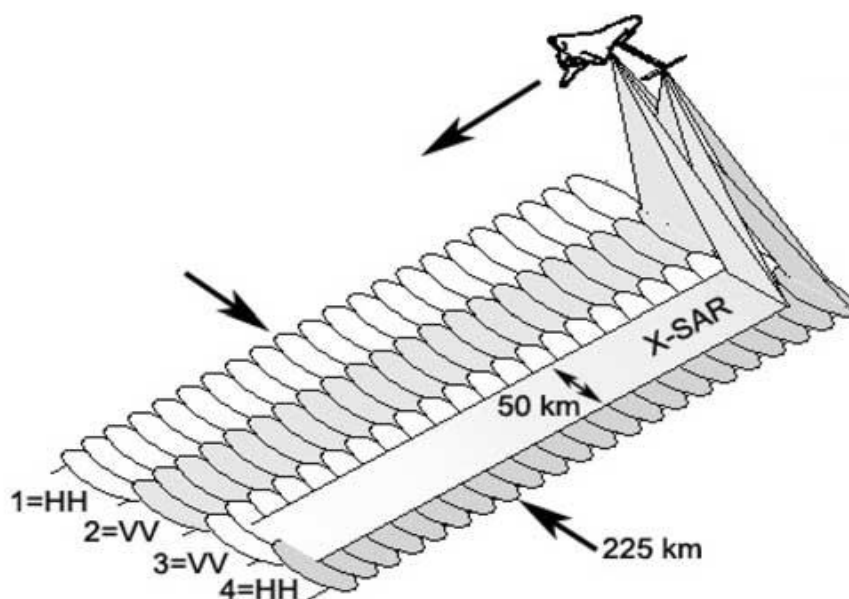
Ukupna masa kompletnog SRTM sistema iznosila je 13.600 kg.

SRTM arhitektura [5] je zasnovana na SRL SIR-C/X-SAR instrumentima, modifikovanim i proširenim da omoguće interferometriju sa jednim prolazom. Takav novi sistem se sastojao od četiri glavna podsistema. A to su:

- C – radar- radar sa sintetičkom blendom;
- X – radar- radar sa sintetičkom blendom;
- Antena / mehanički sistem (AMS);
- Attitude and Orbit Determination Avionics (AODA).

C - RADAR najveći deo ovog podsistema je nasleđen iz SIR –C, uz nekoliko modifikacija neophodnih za rad interferometrije. Njegovim radom upravlja KSO, odnosno računar sa softverom za upravljanje. Zadatak C radara je da obezbijedi mapiranje celom širinom linije snimanja. Ukupno postoje 4 C benda generisana u ScanSAR režimu rada koji rade kao dva para snopova radarskih zraka, koji obasjavaju liniju širine 225 km, što je širina snimanja.

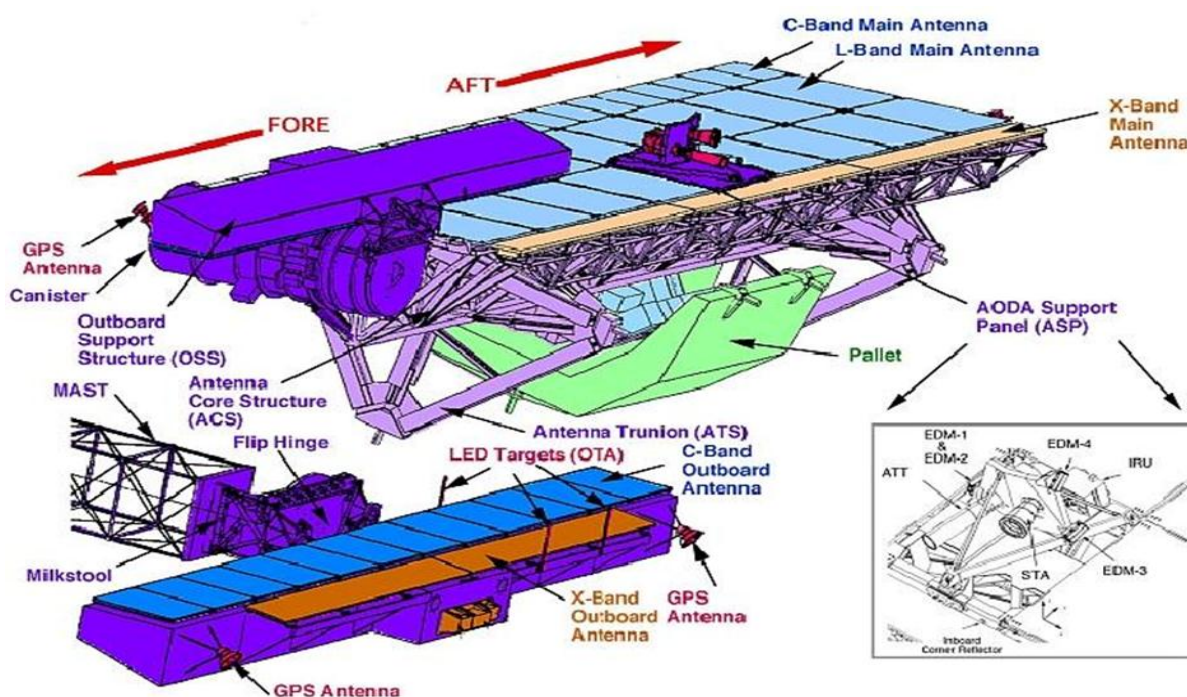
X - RADAR je 12 metara dug i širok 40 cm. Glavni delovi i antena ovog uređaja su montirani na C radarsku antenu i mehanički je nagnut 7° . X radar ima samo jedan snop laserskih zraka fiksne širine 50 km, i pruža se između dva C radarska snopa zraka (*slika 3*). Oba radarska sistema se pojedinačno i nezavisno kontrolišu. X radar je u ceo proces bio eksperimentalno uključen. Ali ima nešto bolju rezoluciju i bolji signal šuma od C radara. Tako da je mogao da služi i kao nezavistan skup podataka da pomogne u rešavanju problema u obradi podataka dobijenih sa C radarom i u kontroli kvaliteta podataka.



(Slika 3: raspored C i X snopova zraka)

Antena / mehanički sistem - SRTM mehanički sistem je zasnovan na SIR-C/X-SAR sistemu, sa značajnim promenama SIR-C/X-SAR instrumenta. Pošto L bend nije korišten on je, da bi se smanjila težina samog sistema, izbačen iz konstrukcije.

Attitude and Orbit Determination Avionics (AODA) je važan dodatak originalnom SIR-C/X-SAR hardverskom sistemu (*hardverske komponente SRTM date su na slici 4*). Ovaj sistem je imao zadatak da prikuplja podatke o dužini i orijentaciji jarbola, lokaciji i orijentaciji šatla u odnosu na inercijalni koordinatni sistem. Ovi faktori su od ključnog značaja za automatsko formiranje topografskih karata bez kontrolnih tačaka. Osnovna funkcija ovog sistema je da za kasnije potrebe topografske obrade obezbedi dužinu bazne linije i poziciju sa tačnošću od 2mm. Ova tačnost je morala da bude zadržana tokom čitave misije.



(Slika 4: raspored hardverskih komponenti SRTM sistema)

Vanbrodska antena je postavljena na kraj jarbola i čine je dve antene za prijem signala- C bend i X bend, dve GPS antene, reflektor i LED [6]. GPS antene služe za prikupljanje podataka o tačnoj poziciji šatla. LED služi za merenje položaja vanjskih antena u odnosu na glavnu antenu.

Za što tačnije merenje dužine jarbola SRTM koristi elektronski daljinomer. Jarbol zbog temperaturnih promjena može da doživi deformacije dužine i do 10mm. Ukupna težina jarbola i vanbrodske antene iznosi 1700 kg.

5. PRINCIP RADA SRTM SISTEMA

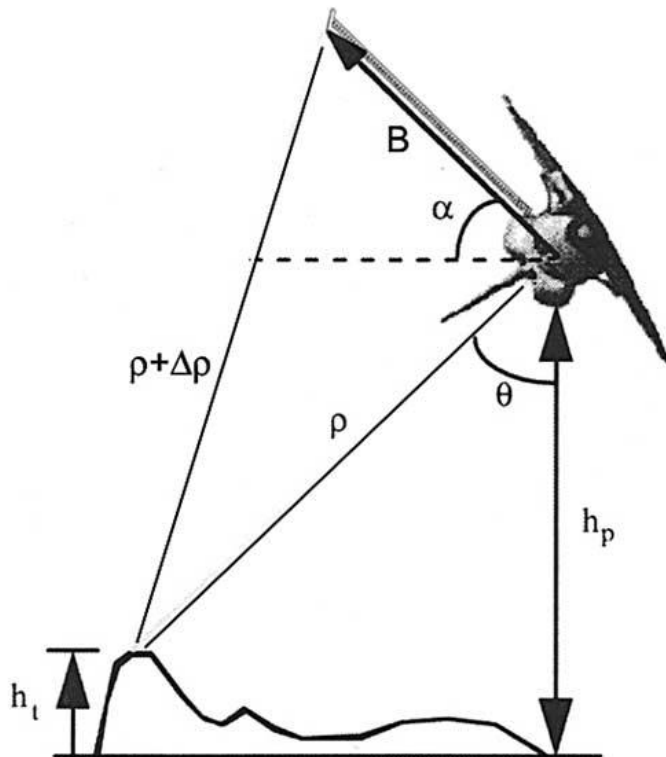
Radari su instrumenti koji mogu meriti samo jednu dimenziju, rastojanje od radara do željenog mesta. Radarski instrument montiran na pokretnu platformu može formirati dvodimenzionalna merenja ciljne lokacije zahvaljujući korištenju doplerovih frekvencija pokretnog cilja. Da bi se dobila i treća dimenzija koristi se princip interferometrije (*slika 5*). A postići će se na osnovu razlike faza dve radarske slike, dobijene snimanjem sa dve antene, dva radara C i X. Pod pretpostavkom da je položaj dve antene ("interferometrijska osnova") poznat na osnovu interferometrijskog trougla može se odrediti i visina date tačke. Merena dužina se meri kao ugaona fazna razlika, nakon obilaska cele orbite dobijaju se dve vrednosti ove dužine.

SRTM radari su bili dizajnirani da rade kao jedan - pass interferometra , koristeći SRL C- i X-bendove. SIR-C/X-SAR eksperimenti su bili uspešna demonstracija interferometrije sa ponavljanjem prolaza, gde se slike željenog terena dobijaju na osnovu ponovljenih orbita.

ScanSAR [7] je postupak gde se nastoji elektronskim upravljanjem radarom povećati širina pojasa koji se snima. ScanSAR interferometrijske operacije su bile osnova SRTM merenja.

SRTM je dizajniran da zadovolji određenu tačnost karta. Ovaj strogi uslov , zajedno sa karakteristikama postojećeg SIR - C hardvera , dovela je do ograničenog dizajn same misije. InSAR princip rada koristi faznu razliku merenja dobijenu od dva radarska snimka, dobijenih sa veoma malih baznih razlika. Tražena tačnost je dobijena merenjem dužine i orijentacije platforme u odnosu na referentni koordinatni sistem.

Radarski signali se dobro reflektuju od grubih površina kao što su vegetacija, uzburkane vode ili površine pokrivena zemljom. Kod glatkih površina dolazi do raspršivanja signala, pa se signal ne vraća na sensor i ne može se odrediti visina.



(*Slika 5: određivanje visina na terenu*)

Cilj radarske interferometrije je da izmeri razliku u rastojanju između dve posmatrane tačke datog terena (*slika 5*).

Radarska jednačina:

$$h_t = h_p - \rho \cos \left[\sin^{-1} \left(\frac{\lambda \phi}{2\pi B} \right) + \alpha \right], \text{ gde je:}$$

h_t - apsolutna visina terena koja se traži;

h_p - visina platforme (odnosno visina radarske antene u odnosu na referentni WGS84 elipsoid);

p - opseg;

ϕ - izmerena interferometrijska faza;

α - ugao osnove ili baze;

λ - posmatrana talasna dužina;

B - dužina osnove ili baze.

Zavisnost visine od faze se izražava na sledeći način:

$$\frac{\partial h}{\partial \phi} = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{\rho \sin \theta}{B \cos(\theta - \alpha)}$$

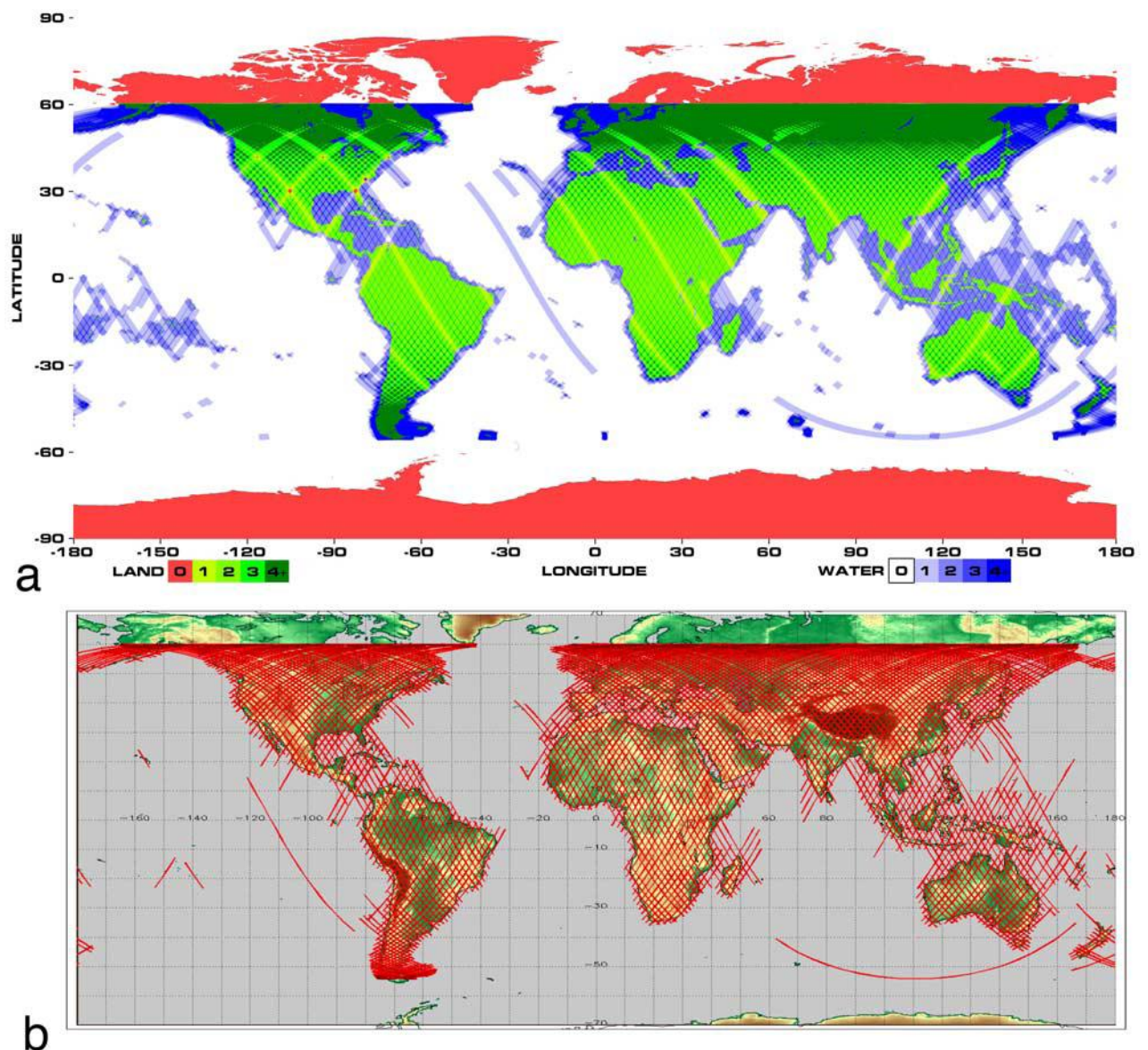
Da bi se ispunili zahteve misije i u skladu sa operativnim ograničenjima šatla izabrano je da orbita po kojoj će se šatl kretati bude kružna i 57° nagnuta. C - RADAR snimao je traku širine 225km, sa preklapom od samo 7km.

5.1. Prikupljanje podataka

Podaci su prikupljeni brzinom od 180 megabita po sekundi za C radar i 90 megabita po sekundi za X radar [8]. Brzina snimanja podataka je mnogo veća od šatlovog kapaciteta linka za prikupljanje podataka, koji iznosi 45 megabita u sekundi. To je zahtevalo da se koristi snimač podataka velike brzine. Odabrani snimci podataka su preuzimani u realnom vremenu preko šatlovog Ku benda i NASA sistema za praćenje podataka koji se nalaze u Pasadeni i Hjustonu.

Zbog gubitka 10 orbita , prilikom prvih 12 sati leta u toku provere rada sistema, neke površine u Severnoj Americi nisu snimljene.Prikupljanje podataka je završeno nakon 10 dana leta 22. februar 2000 godine.

Od ukupno oko 12Tb podataka C radarskim sistemom prikupljeno je 8,6 Tb sirovih podataka, X radarskim sistemom 3,66 Tb sirovih podataka [9].



(Slika 6: pokrivenost SRTM snimcima; a) C radar, b) X radar)

SRTM misija obezbedila je sledeću pokrivenost sa C radarskim sistemom (slika 6):

- 99.98% ciljane površine zemljišta mapirano je najmanje jednom;
- 94,5% ciljane površine zemljišta mapirano je najmanje dva puta;
- 49,2% ciljane površine zemljišta mapirano je najmanje tri puta;
- 4.1% ciljane površine zemljišta mapirano je najmanje četiri puta.

SRTM misija obezbedila je 40% pokrivenost sa X radarskim sistemom (slika 6).

Podaci dobijeni X radarskim sistemom obezbeđuju bolju relativnu visinsku tačnost dobijenog DEM-a.

5.2.Kopnene operacija

Kompleksnost SRTM misije je zahtijevala učešće i timova sa Zemlje i posade u šatlu u njenom radu. Posada je kontrolisala pogonski sistem i rad antena, početno poravnavanje antena, aktivaciju i deaktivaciju. Timovi na Zemlji su se nalazili u Payload Operations Control Center (POCC), NASA's Johnson Space Center (JSC), Customer Support Room at JSC, Mission Support Area (MSA) u JPL, kontrolisali su ostatak SRTM aktivnosti. Sa oba radara se upravljalo u okviru centra POCC. JPL je imao zadatak obrade primljenih podataka sa C – radara.

6. OBRADA PODATAKA

Podaci preuzeti tokom misije su obrađivani čim su primljeni, tzv. analiza u realnom vremenu. Podaci sa C - radara i X - radara su samostalno obrađivani . Način obrade podataka razvijen je sa obe strane Atlantika i imao je iste ili slične opšte karakteristika, ali su se detalji algoritama i implementacija istih u velikoj meri razlikovali. Sveže obrađenim podacima je proveravan kvalitet upoređivanjem sa podacima iz postojeće topografske baze podataka.

Sastavljeni su sledeći skupovi podataka:

- Globalni digitalni model visina , sastavljen od najboljih dostupnih digitalnih visinskih podataka.
- Kontrolne tačke, dobijena na osnovu ranije izvršenih snimanja sa zemlje. Postavljenih širom sveta sa tačnim visinama. Ove tačke su služile kao tačke za kalibraciju ili validaciju finalnog proizvoda.
- Kinematički GPS podaci koji su snimljeni na svim kontinentima specijalno za SRTM misiju, koji su služili za validaciju podataka i otklanjanje grešaka merenja. Ujedno su bili i najbolja kontrila kvaliteta dobijenih topografskih podataka.

6.1.Ocena tačnosti

Greška u visini je ocenjena na sledeći način:

$$\partial h = \frac{\partial h}{\partial \phi} \Delta \phi + \frac{\partial h}{\partial B} \Delta B + \frac{\partial h}{\partial s} \Delta s + \Delta H$$

gde je:

∂h - greška visine;

$\Delta \phi$ - greška faze;

ΔB - greška baze;

Δs - greška pozicije;

ΔH - greška visine platforme.

Pretpostavljajući da su te greške kvadratne funkcije od s

$$\Delta H = H_0 + H_1 s + H_2 s^2$$

moguće je proceniti popravke za korekciju tih grešaka za svaku liniju snimanja terena.

Dobijeni SRTM podaci su u obliku grida čije su dimenzije segmenata približno 30×30 metara, gde je:

- apsolutna linerna vertikalna greška visine manja od 16m;
- relativna linearna vertikalna greška visine manja od 10m;
- apsolutna kružna greška geolokacije manja od 20m;
- relativna kružna greška geolokacije manja od 15m.

Relativna visinska greška podataka dobijenih sa X blendom je trebalo da bude manja od 6m . Sve navedene greške su na 90%-tnom nivou poverenja u skladu sa nacionalnim standardima. Bitno je naglasiti da je stvarna tačnost čak i bolja od garantovane.

6.2. Digitalni modeli visina

Procesiranjem dobijenih stereo-parova, u period od 2000. do 2003. godine, izrađen je tačan i kvalitetan digitalni model reljefa visoke rezolucije (30 m), ali je, radi zaštite nacionalnog interesa SAD, rezolucija smanjena na 90 m i u njoj su ovi modeli slobodno plasirani na internetu [10].

Izrađene su datoteke visina rezolucije $1'' \times 1''$ (SRTM1), na žalost dostupne samo za područje SAD-a. Javnosti izvan područja SAD-a dostupni su samo podaci rezolucije $3'' \times 3''$ (SRTM3), izrađeni osrednjavanjem SRTM1 datoteka, i podaci SRTM30 (rezolucije $30'' \times 30''$), izrađeni osrednjavanjem SRTM3 datoteka. Za naša područja dostupni su $3'' \times 3''$ (~92m x 66m) podaci. Takođe, dostupan je i SRTM30 DMR, izrađen kombinacijom osrednjenih SRTM3 podataka na rezoluciju $30'' \times 30''$ i GTOPO30 podataka.

Visine su izražene u odnosu na geoid EGM96 i horizontalni datum WGS84. Podaci su podeljeni po kontinentima i javno su dostupni u .hgt binarnom format na URL2 i mogu se preuzeti sa NASA-inog FTP servera. Bitno je naglasiti da je SRTM tzv. first return system, što označava jedan od nedostataka SRTM-visina jer sadrže i visine drveća i veštački izgrađenih objekata.

Svaki fajl sadrži podatke za površinu od 1° geografske širine i 1° geografske dužine, što za balkansko područje odgovara pravougaoniku širine 111×80 km. Geografska lokacija predstavljenog prostora sadržana je u nazivu fajla: na primer, N42E019.hgt, što znači da ovaj fajl pokriva površinu. Tako, za skoro celu teritoriju Srbije potrebno je preuzeti 15 fajlova: od N42E19 do N45E21. Svi fajlovi su u normalnoj geografskoj projekciji sa geodetskim datumom WGS84. Od januara 2008. godine, 60-metarski DEM cele EU (uključuje Srbiju, Hrvatsku i BiH) može se naručiti putem Eurogeographics [11].

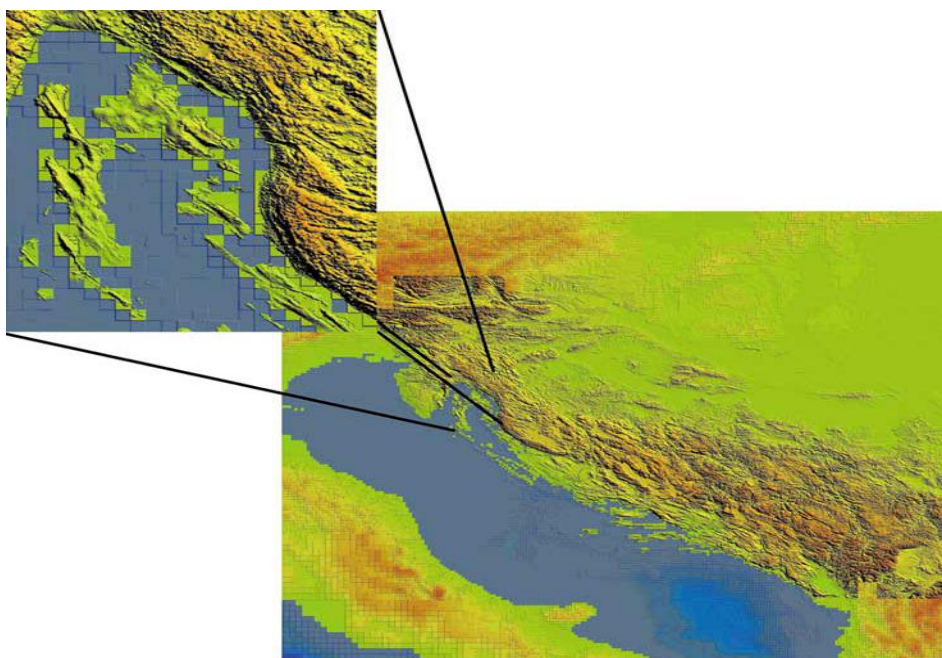
Jedan od većih nedostataka javno dostupnih SRTM-podataka su relativno brojna nedefinirana područja (područja bez podataka), pogotovo na vodenim područjima te strmim planinskim područjima, neravnim terenima, pustinjama, nepovoljnim za odbijanje radarskog signala. Uza sve navedene nedostatke, podaci SRTM-misije predstavljaju velik napredak s obzirom na to da je to prvi globalni skup topografskih podataka izrađen u potpunosti jedinstvenom metodologijom i homogene tačnosti, što s do sada dostupnim DMR-podacima nije bio slučaj. Takođe, sve provedene analize pokazuju da je reč o najtačnijem DMR-u kreiranom do sada. Nedefinisana područja potrebno je na neki način popuniti drugim raspoloživim podacima uz primenu metoda interpolacije.

Trenutno su na URL2 dostupne dvije verzije .hgt datoteka. Prva verzija su datoteke nefiltriranih podataka, koje sadrže neuglačane vodene površine i grube greške. Interpolacija podataka u nedefiniranim područjima moguća je na dva načina:

- interpolacija visina samo na temelju SRTM3-podataka - to rješenje daće dobre rezultate u ravninama, no sigurno ne zadovoljava potrebe interpolacije visina u planinskim područjima.
- interpolacija visina uz korištenje drugih podataka - to je preferirana metoda, za potrebu interpolacije SRTM3-visina korišten je skup podataka SRTM30+ izrađen osrednjavanjem SRTM3-podataka.

Za potrebe interpolacije visina na nedefiniranim područjima postoji nekoliko programskih aplikacija, npr. SRTMFILL (URL4), BlackArt (URL5) i VTBuilder (URL6). Nedostatak je tih aplikacija nepostojanje korisničkih uputa i uvida u korištene metode interpolacije visina. Stoga je preferiran vlastiti program koji se koristi metodom interpolacije po najmanjim kvadratima uz dopunu podataka iz drugih izvora u slučaju većih praznina.

Za potrebe modelovanja polja sile teže na području zemalja bivše Jugoslavije korišten je DMR4x5, izrađen za kontinentalni dio ovih prostora [12]. Taj je DMR izrađen u rezoluciji 4"x5" (~120x110 m). Dok je područje Jadranskog mora popunjeno batimetrijskim podacima 2,5'x2,5' (~4,6x3,3 km). Navedeni DMR4x5, osim svoje heterogene konstrukcije, sadržao je i poneke grube greške, koje su vrlo verovatno degradirale tačnost modela geoida u nekim lokalnim područjima. Obalna linija nije bila jasno definirana zbog blokova 2,5'x2,5's pozitivnim vrednostima visina koji su kvarili preciznu definiciju obalne linije (*slika 7*).



(*Slika 7: DMR4x5 korišten za potrebe računanja modela geoida HRG2000*)

7. ZAKLJUČAK

SRTM je najsvetliji primer inženjeringa, koji je označio prekretnicu u oblasti daljinske detekcije. U rasponu od 7 godina projekat je evoluirao od koncepta do finalnog proizvoda.

Za deset dana mapirani su neki od gotovo nepristupačnih delova sveta i ova misija je uspela za tako kratko vreme da postigne ono što konvencionalna kartografija nije uspela za nekoliko decenija, a to je uniformna tačnost, uniformna rezolucija, digitalni model visina gotovo cele teritorije Zemlje.

Za veći deo naseljene Zemljine površine sada postoje izmerene vrednosti u rastojanju od 30 umesto dosadašnjih 1000 metara. Naučnici različitih disciplina iz njih mogu izračunati vrlo precizne visinske modele. Sa satelitskim snimcima to pre nije bilo moguće.

Od trenutka od kada su postali dostupni javnosti, SRTM podaci su našli svoj put u mnogim studijama koje zahtevaju topografske podatke. Novi SRTM podaci su imali poseban značaj zemljama u razvoje koje su dobile pristup digitalnim topografskim podacima visoke rezolucije, koji im ranije nisu bili dostupni. Čak i tamo gde su ranije postojali modeli visina visoke tačnosti, ovi novi podaci obezbeđuju uniformnost kvaliteta podataka i kompletnu pokrivenost širih teritorija sa tim podacima, bez obzira na nacionalne granice.

Ova misija omogućava brojne analize kao što su: raspored padavina na regionalnom nivou, analize slivova, analize opasnosti od poplava, klimatske analize, u kombinaciji sa avionskim ili satelitskim snimcima razne analize kretanja glečera, informacije o količini vode uskladištene u rekama, jezerima, močvarama, razne geološke i geomorfološke studije, analiza klizišta.

Ovi snimci posebno su značajni stručnjacima koji istražuju proces sječe i spaljivanja šuma, čiji proračuni postaju precizniji. Od boljih modela profitiraju i vulkanolozi i hidrolozi. Kuda teče lava nakon erupcije vulkana ili poplava nakon velikih kiša, sve to su važne informacije za zaštitu od mogućih katastrofa i eventualne planove evakuacije.

Spisak slika

- 1. Slika 1 : Princip interferometrije kod InSAR sisteme*
- 2. Slika 2: Glavne komponente SRTM. Na samom šatlu je glavna antena sa najbitnijim delovima (L opseg nije korišten), a na kraju 60m dugog jarbola su sekundarne antene*
- 3. Slika 3: raspored C i X snopova zraka*
- 4. Slika 4: raspored hardverskih komponenti SRTM sistema*
- 5. Slika 5: određivanje visina na terenu*
- 6. Slika 6: pokrivenost SRTM snimcima; a) C radar, b) X radar*
- 7. Slika 7: DMR4x5 korišten za potrebe računanja modela geoida HRG2000*

Spisak tablica

- 1. Tabela 1: Frekvencije i talasne dužine radara*

Reference

- [1] Digitalni modeli terena – Dr Mirko Borisov, dipl.ing – Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
- [2] Digitalni modeli terena – Dr Mirko Borisov, dipl.ing – Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
- [3] Digitalni modeli terena – Dr Mirko Borisov, dipl.ing – Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
- [4] THE SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION - Farr, T. G., et al. (2007), The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- [5] THE SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION - Farr, T. G., et al. (2007), The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- [6] <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/srtm> - SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Earth Observatio Portal
- [7] THE SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION - Farr, T. G., et al. (2007), The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- [8] THE SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION - Farr, T. G., et al. (2007), The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- [9] <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/srtm> - SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Earth Observatio Portal
- [10] DIGITALNI MODELI VISINA I NJIHOVA PRIMENA U VOJNOJ ANALIZI TERENA Gigović J. Ljubomir, Vojna akademija, Katedra prirodno--matematičkih i tehničkih nauka, Beograd, UDC: 551.4.01:004.92623.6:004.92
- [11] DIGITALNI MODELI VISINA I NJIHOVA PRIMENA U VOJNOJ ANALIZI TERENA Gigović J. Ljubomir, Vojna akademija, Katedra prirodno--matematičkih i tehničkih nauka, Beograd, UDC: 551.4.01:004.92623.6:004.92
- [12] Usporedba globalnog modela visina SRTM3 s postojećim digitalnim modelima reljefa na području Hrvatske - Tomislav BAŠIĆ¹, Goran BUBLE² – Zagreb- UDK 551.43(497.5): 528.422:551.462 (262.3):621.396.969:629.783 Izvorni naučni članak