

ANALIZA TAČNOSTI ASTER GDEM v3 DIGITALNOG MODELA TERENA ACCURACY ANALYSIS OF ASTER GDEM v3 DIGITAL TERRAIN MODEL

Nemanja Vidić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GEODEZIJA I GEOMATIKA

Kratak sadržaj – U radu je prikazana detaljna analiza parametara koji definišu kvalitet kreiranog GDEM-a. Nakon opsežne analize dobijenih rezultata, prikazani su i algoritmi kojima se mogu poboljšati vrednosti dobijenih parametara ASTER GDEM-a v3 kojima se definiše tačnost ovog globalnog modela.

Ključne reči: Daljinska detekcija, ASTER, Digitalni modeli podataka, GDEM v3, Analiza tačnosti, Sistematske greške.

Abstract – The paper presents a detailed analysis of the parameters that define the quality of the created GDEM. After an extensive analysis of the obtained results, algorithms are presented that can improve the values of the obtained parameters of ASTER GDEM v3, which define the accuracy of this global model.

Keywords: Remote sensing, ASTER, Digital Data Models, GDEM, Accuracy analysis, Systematic errors.

1. UVOD

U cilju temeljnog globalnog ispitivanja Zemljine površine i dobijanja informacija o faktorima koji utiču na promene na Zemlji, potrebno je u što kraćem roku prikupiti velike količine podataka. Vremenski rokovi za prikupljanje podataka su često uslovljeni brzinom dešavanja promena različitih fenomena.

U svrhe prikupljanja različitih podataka, u okviru programa za posmatranje Zemlje (EOS), Nacionalna Vazduhoplovna i Svemirska Agencija (NASA) je lansirala 18.12.1999. godine satelit Terra čija je misija bila prikupljanje podataka na globalnom nivou na kojem će se temeljiti buduća naučna istraživanja o planeti Zemlji.

Na osnovu višegodišnjih prikupljanja podataka ovom platformom nastao je globalni digitalni visinski modeli Aster GDEM v3 čija je tačnost ispitana u ovom radu.

1.1. Ciljevi istraživanja

Cilj rada jeste ispitivanje i analiza tačnosti ASTER GDEM v3 digitalnog modela. Tačnost ASTER GDEM v3 je ispitana za teritoriju Republike Srbije. Kao uzorci test područja ASTER GDEM-a v3 su uzeti oni delovi za koje su bili dostupni podaci o kontrolnim tačkama. Ispitivanje tačnosti ovog modela je urađeno na osnovu nekoliko različitih izvora podataka i ispitani podaci su svrstani u nekoliko klasa.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Bulatović, vanr. prof.

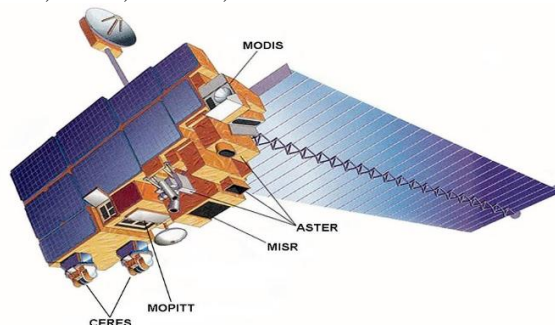
2. ELEMENTI DALJINSKE DETEKCIJE

Jednu od najprihvatljivijih definicija daljinske detekcije je dala Evelin Pruitt 1960. godine i ona glasi: „Daljinska detekcija predstavlja metod prikupljanja informacija putem sistema koji nisu u direktnom, fizičkom kontaktu sa ispitivanom pojavom ili objektom“ [1].

U procesu prikupljanja podataka metodom daljinske detekcije učestvuju sledećih osam elemenata: objekat, elektromagnetna energija, senzor, platforma, snimak, analiza, interpretacija i informacija (podatak). U radu je poseban akcenat stavljen na elemente platforme, senzora, interpretacije i analize informacija.

2.1. ASTER instrument

Satelit Terra na svojoj platformi nosi 5 naučnih instrumenata koji su prikazani na slici 1 i oni su: ASTER, CERES, MISR, MODIS, MOPITT.



Slika 1. Platforma Terra sa rasporedom instrumenata [2]

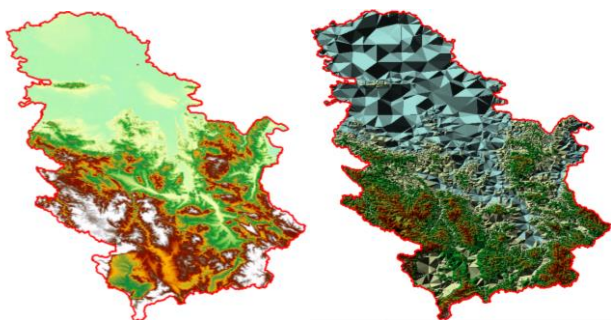
Aster proizvodi Zemljine multispektralne snimke visoke rezolucije od 15 do 90 kvadratnih metara po pikselu i on je jedini instrument na platformi Terra koji snima podatke visoke prostorne rezolucije u 14 bendova, od vidljive preko termalne pa do infracrvene talasne dužine. Ovaj instrument osim prethodno navedenog, pruža i mogućnost prikupljanja stereo snimaka za kreiranje DEM-a [3].

3. DIGITALNI MODELI VISINA

Poseban značaj u obradi rasterskih podataka predstavlja digitalni model visina (skraćeno DEM). U današnje vreme je sve češća primena DEM-a za konstrukciju profila, računanje kubatura, izradu izohipsi ili izradu karte nagiba terena, telekomunikacijama.

Najčešće korišćeni načini predstavljanja terena u digitalnom obliku su u obliku *grid* (rešetkaste) strukture podataka i u obliku *tin* strukture podataka. Na slici 2 su predstavljeni prikazi digitalnog modela terena u *tin* (desno) i *grid* (levo) strukturi podataka.

Kvalitet DEM-a se ogleda kroz meru tačnosti nadmorske visine svakog piksela (apsolutna tačnost) i tačnosti predstavljanja morfologije (relativna tačnost).



Slika 2. Prikaz ASTER GDEM v3 digitalnog modela visina u TIN i GRID strukturi podataka

Na kvalitet modela dobijenih na osnovu DEM-ova utiče nekoliko parametara kao što su: neravnina terena, gustina uzorkovanja (metoda prikupljanja podataka o nadmorskoj visini), rezolucija mreže ili veličina piksela, algoritam interpolacije, vertikalna rezolucija, algoritam analize terena [4].

4. KARAKTERISTIKE ASTER GDEM V3 I KOREKCIJE ANOMALIJA

Metodologija korišćena za kreiranje ASTER GDEM modela je podrazumevala da se automatski obradi cela arhiva snimaka prikupljenih Terra platformom.

U avgustu 2019. godine, tim naučnika ASTER-a objavio je verziju 3 globalnog DEM-a (GDEM v3). Globalni DEM je dobijen na osnovu 1,8 miliona ASTER scena projektivanih u cilindričnoj ekvidistantnoj projekciji gde je kao referentni elipsoid usvojen WGS 84. Stereo korelacija je urađena pomoću standardne fotogrametrijske metode i parametara modela kamere ASTER VNIR instrumenta.

GDEM v3 je kreiran sa rezolucijom 1 lučne sekunde geografske širine i dužine što je približno rezoluciji od 30 m. GDEM v3 predstavlja model koji pokriva kompletnu teritoriju površine Zemlje koja se prostire od 83 stepeni severne do 83 stepeni južne geografske širine [4].

4.1. Korekcije anomalija Aster GDEM v3 modela

Kako bi se smanjio i eliminisao uticaj anomalija koje su imali prethodni modeli, ovaj model je prošao strožiju kontrolu automatske i ručne korekcije anomalija što je imalo uticaja na njegovu tačnost i detaljnost.

Jedna od metoda filtriranja i uklanjanja područja oblaka iz modela je ta da se izračuna vrednost nagiba u susednim pikselima. Tamo gde se javljaju ekstremne vrednosti nagiba između susednih piksela, to je prvi znak da je na tim pikselima područje oblaka [5].

Za neke anomalije, gde nije bilo dostupnih vrednosti koje je trebalo zameniti (kao što je iznad 83 stepena geografske širine), ubačena je vrednost -9999. Za oblast okeana na DEM-u dodeljena je vrednost 0 [6].

5. KLASIFIKACIJE GREŠAKA KOJE UTIČU NA TAČNOST ASTER GDEM v3 MODELA

U ovom radu su vrednosti kontrolnih tačaka usvojene kao uslovno tačne veličine, jer su njihove vrednosti određene sa većom tačnošću nego interpolovane vrednosti visina sa GDEM-a.

Grube greške u globalnom Aster digitalnom visinskom modelu su uglavnom posledica oblačnosti u trenutku prikupljanja podataka [7].

Slučajne greške nastaju kao posledica nesavršenosti mernih instrumenata i mernih uslova. Konkretno na ovom primeru GDEM-a prisustvu slučajnih grešaka doprinose morfologija terena, nagle promene u padovima terena i rezolucija satelitskih snimaka prikupljenih TERRA platformom [7].

Karakteristika sistematskih grešaka je da uvek deluju u istom smeru na rezultat merenja i nekada taj smer delovanja nije poznat. U ovom slučaju uzrok prisustva sistematskih grešaka u GDEM-u je mali broj kontrolnih tačaka na površi Zemlje koje su korišćene u apsolutnoj orijentaciji stereo para i to je rezultiralo pogrešnom definisanju nadmorskih visina tačaka [7].

6. PARAMETRI ZA PROCENU TAČNOSTI ASTER GDEM v3 DIGITALNOG MODELA.

Kao što je prethodno rečeno, u radu su usvojene koordinate i visine kontrolnih tačaka kao uslovno tačne vrednosti, pa je na osnovu njih moguće izračunati određene parametre kojima se definiše tačnost modela.

6.1. Apsolutna i relativna greška interpolovanih visina sa GDEM-a v3 digitalnog modela

Ako se usvoji da je uslovno tačna vrednost visine kontrolne tačke H_{GCPi} , prava vrednost merene veličine koja će se označiti sa X , a kao rezultat merenja predstavi visina H_{GDEM} i označi sa A , onda njihova razlika, data u jedinicama merene veličine, predstavlja apsolutnu grešku merenja ΔX iskazanu relacijom:

$$X = |X - A| = \begin{cases} X - A, & X > A \\ A - X, & X < A \end{cases} \quad (1)$$

Pojam relativne greške merenja δ_x se definiše se kao procentualni odnos apsolutne greške ΔX i prave vrednosti merene veličine X koja je u radu označena kao H_{GCPi} . Relativna greška se iskazuje relacijom:

$$\delta_x = \frac{\Delta X}{X} * 100 [\%] \quad (2)$$

6.2. Srednja vrednost odstupanja visina za test područja GDEM-a v3

Ako se pojedinačne vrednosti odstupanja obeleže sa $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$, gde je n broj kontrolnih tačaka, onda se srednja vrednost odstupanja računa kao aritmetička sredina svih vrednosti, po formuli:

$$\bar{x} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_n \quad (3)$$

Što je digitalni model terena precizniji i manje opterećen uticajem grešaka, to je manja razlika između pojedinačnih rezultata visinskih razlika. Na isti način se računa prosečno odstupanje, sa tim da se prilikom računanja uzimaju apsolutne vrednosti odstupanja visina za svaku kontrolnu tačku.

6.3. Srednja kvadratna greška (standardna devijacija) za test područja GDEM-a v3

Srednja kvadratna greška definisana je kao:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta i^2}{n-1}} \quad (4)$$

Za sve skupove podataka u radu, osim srednje kvadratne greške, izračunata je i standardna devijacija po formuli:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta i - \bar{\Delta})^2}{n-1}} \quad (5)$$

7. DEFINISANJE STUDIJSKOG PODRUČJA I PROCESIRANJE PODATAKA

U praktičnom delu rada je potrebno izvršiti analizu tačnosti globalnog digitalnog visinskog modela v3. Za užu analizu GDEM-a je definisano područje teritorije Republike Srbije.

Prvobitno je ispitana tačnost modela na nekoliko različitih uzoraka terena za klasu prikaza ravničarskih područja. Ispitivanje tačnosti globalnog modela je urađeno na osnovu prikupljenih podataka kontrolnih tačaka terestričkom metodom GPS premera.

Nakon utvrđivanja tačnosti modela za ravničarska područja, ispitana je tačnost modela na osnovu nekoliko različitih uzoraka terena za klasu predstavljanja planinskih područja. Kao referentne kontrolne vrednosti su uzete visine vrhova planinskih predela i visoravni na teritoriji Srbije.

7.1. Skupovi kontrolnih podataka

Pre samog procesiranja podataka, potrebno je pripremiti podatke koji će biti referentne vrednosti na osnovu kojih će se proceniti parametri odstupanja GDEM-a. Podaci su pripremljeni iz nekoliko različitih izvora.

Prvi deo podataka je prikupljen GPS metodom premera na teritoriji Novog Sada, Bačke Topole, Bačke Palanke i Beograda.

Drugi deo podataka o kontrolnim tačkama na teritoriji Novog Sada je dobijen iz Republičkog geodetskog zavoda. Ove tačke su transformisane u UTM projekciju i krajnje koordinate tačaka su prikazane u tabelama u UTM projekciji.

Treći deo kontrolnih podataka predstavljaju visine planinskih vrhova i uzvišenja na teritoriji Republike Srbije.

Četvrti skup podataka služi za uporednu statističku analizu DEM-a koji je dobijen na osnovu prikupljanja podataka eBee dronom i ASTER instrumentom.

7.2. Procesiranje podataka

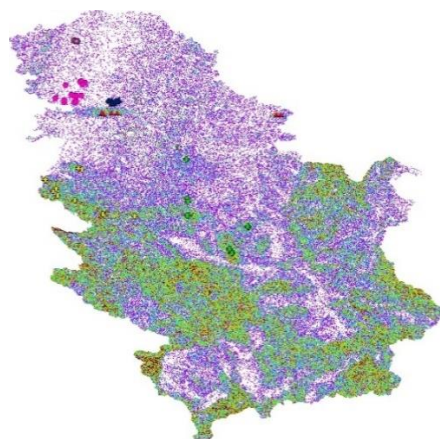
Za potrebe izrade ovog zadatka, procesiranje podataka je izvršeno u softveru *Arc Gis 10*.

Nakon preuzimanja GDEM v3 scena, izvršeno je povezivanje scena u jedan novi raster. Nakon mozaikovanja rastera izvršena je transformacija 2D prikaza scene iz postojećeg datuma WGS 84 u novi definisani datum za teritoriju Republike Srbije ETRS 1989 u UTM projekciji.

Nakon što je GDEM v3 procesiran i pripremljen za dalju analizu, u softver su učitane kontrolne tačke na osnovu kojih će se ispitati tačnost digitalnog modela.

Da bi se sa sigurnošću utvrdilo koje tačke pripadaju ravničarskom području a koje pripadaju planinskom,

izvršena je klasifikacija DEM-a prema uglu nagiba terena. Manja vrednost sračunatog ugla nagiba, ukazuje na ravniji teren dok veća vrednost nagiba ukazuje na strmiji teren. Sve tačke iz kontrolnog skupa podataka koje se nalaze na nagibu ispod prosečnog srednjeg nagiba se mogu klasifikovati u tačke ravničarskih predela, dok sa druge strane važi da su tačke planinskog područja. Na slici 3 je predstavljen rezultat nakon klasifikacije terena prema uglu nagiba, takođe je dat prikaz rasporeda svih kontrolnih tačaka.



Slika 3. Rezultat klasifikacije terena prema uglu nagiba i raspored kontrolnih tačaka

8. REFERENTNE VREDNOSTI PARAMETARA ZA ANALIZU TAČNOSTI ASTER GDEM-a v3

Analiza tačnosti ASTER GDEM v3 modela je izvršena na osnovu nekoliko nezavisnih test područja.

Nakon zasebne analize za svaku teritoriju, kontrolne tačke su svrstane u planinska i ravničarska područja, pa je i na taj način ispitana tačnost GDEM-a.

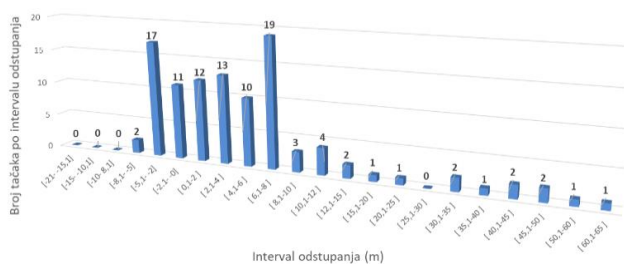
Kada su odrađena ispitivanja tačnosti za određena područja i klase terena, izvršeno je ispitivanje tačnosti GDEM-a za celu teritoriju Republike Srbije.

Kao poseban deo u ovom radu odrađena je i uporedna analiza digitalnog visinskog modela terena, u zavisnosti od rezolucije prikupljanja podataka. Izvršena je uporedna analiza dva dem-a gde je drugi DEM generisan na osnovu oblaka tačaka prikupljenih bespilotnim letelicama.

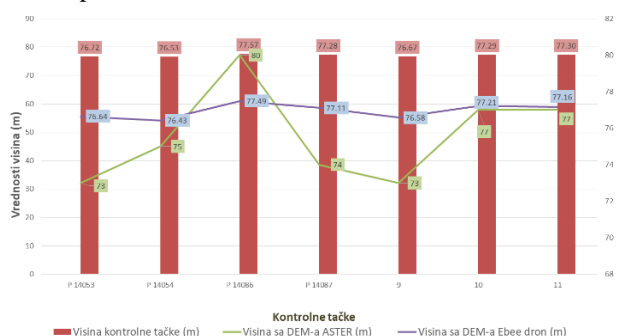
Celo područje analize je pokriveno sa 105 tačaka koje su klasifikovane u ravničarska ili planinska područja. U tabeli 1 su predstavljeni rezultati koji definišu tačnost modela za ove dve klase terena, kao i tačnost modela za celu teritoriju Republike Srbije. Na dijagramu broj 1 je prikazan broj tačaka po intervalima odstupanja, gde su intervali proizvoljno definisani.

Tačnost GDEM v3 modela	ravničarsko područje	planinsko područje	cela teritorija
Sred. odstupanje :	1.865	20.667	6.700
Pros. odstupanje :	3.958	20.667	8.255
Min. odstupanje :	0.290	0	0
Max. odstupanje:	8.651	64	64
St. Dev. (m) :	4.152	18.626	12.008
RMSE (m) :	4.557	28.115	14.594

Tabela 1. Statistički prikaz klasifikovanih parametara koji definišu tačnosti ASTER GDEM v3 modela



Dijagram 1. Broj tačaka po intervalima odstupanja visina
Na dijagramu broj 2 prikazane su referentne vrednosti interpolovane sa dva DEMa na kojima su predstavljena ista područja grada Novog Sada. Digitalni visinski modeli su dobijeni na osnovu prikupljanja podataka eBee dronom i Terra platformom.



Dijagram 2. Odstupanje visina ASTER GDEM v3 i eBee digitalnih visinskih modela terena

9. KOREKCIJA REZULTATA INTERPOLOVANIH VISINA SA ASTER GDEM V3

Globalni digitalni visinski model koji je dobijen na osnovu prikupljanja podataka ASTER instrumentom je opterećen raznim uticajima sistematskih grešaka čija vrednost se može umanjiti, što dovodi do poboljšanja tačnosti GDEM v3 modela.

Sam sistematski uticaj može biti konstantan, linearan ili nelinearan, promenljiv u funkciji položaja. Ako se pretpostavi da je sistematski uticaj konstantan, procena sistematskog uticaja može se izračunati kao aritmetička sredina visinskih razlika kontrolnih tačaka i GDEM-a.

Pod pretpostavkom da sistematski uticaj zavisi od položaja, za procenu sistematskog uticaja može se koristiti polinom prvog reda. Varijacija sistematskog uticaja takođe može imati nelinearan karakter. U tom slučaju, sistematski uticaj se može izraziti pomoću polinoma drugog reda [7].

9.1. Postignuti rezultati nakon kalibriranja modela za sva 3 slučaja sistematske greške

U tabeli 2 prikazani su parametri koji reprezentuju tačnost GDEM v3, za celu teritoriju Republike Srbije, nakon kalibriranja modela.

Na osnovu analize 3 kalibrisana modela u zavisnosti od parametara sistematske greške u sva 3 slučaja, primetno je da se tačnost ovako dobijenih modela u velikoj meri poboljšala. Kada se govori o tačnosti GDEM-a u ravničarskim i planinskim područjima, GDEM ima nešto nižu tačnost u planinskim područjima. Ovo se dešava zbog relativno niske rezolucije snimaka i grublje morfologije terena. Ova tačnost se poboljšava već na osnovu kalibriranja konstantnih sistematskih grešaka.

Kalibrisani GDEM v3	δ const	δ polinom 1.	δ polinom 2.
Sred. odstupanje :	0.000	0.000	0.000
Pros. odstupanje :	6.792	6.372	8.254
Min. odstupanje :	0.005	0.016	0.003
Max. odstupanje:	43.333	47.990	45.232
St. Dev. (m) :	7.275	7.281	7.279
RMSE (m) :	9.975	9.695	9.492

Tabela 2. Statistički prikaz parametara modela kalibrisanog za različite uticaje sistematskih grešaka

10. ZAKLJUČAK

Kvalitetni digitalni modeli imaju primenu u gotovo svim oblastima vezanim za geonauku. Uzroci koji utiču na tačnost digitalnih modela su mnogobrojni, a neki od njih su: merne tehnike prikupljanja podataka, rezolucija prikupljanja podataka, tip terena (planinski ili ravničarski predeo) i tip površine (površina sa vegetacijom ili bez vegetacije), greška vertikalnog datuma i druge. Na prethodnim primerima, prikazanim u radu, moglo se videti kako merna tehnika i rezolucija prikupljanja podataka imaju uticaj na tačnost prikazanog DEM-a.

Osim prethodno navedenih činjenica, do odstupanja visina dolazi i usled nedovoljnog broja tačaka koje su korišćene za stereo korelaciju snimaka na osnovu kojih je generisan DEM. Određenim tehnikama i uz korišćenje dovoljnog broja kontrolnih tačaka sa ispitnog područja, može se postići znatno bolja tačnost DEM-a od prvobitno definisane tačnosti, a samim tim i povećati područje primene ovakvih modela.

11. LITERATURA

- [1] Dr Miodrag Regodić, „Daljinska detekcija kao metod prikupljanja podataka o prostoru“, Vojna akademija, Beograd, 2008.
- [2] https://www.nasa.gov/mission_pages/terra/spacecraft/index.html
- [3] Fujisada, H., A. Ono „Overview of ASTER design concept“, 1991.
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_elevation_model (pristupljeno 04.12.2020.)
- [5] Fujisada H.; Urai M.; Iwasaki A. “Technical methodology for ASTER global DEM”. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 50, 3725–3736. 2012.
- [6] Abrams M., Bailey B., Tsu, H., Hato M.,: “The ASTER Global DEM ”J. Am. Soc. Photog. Remote Sensing, 344–348. 2010.
- [7] V. Bulatović a , Z. Sušić a & T. Ninkov ” Estimate of the ASTER GDEM regional systematic errors and their removal ”, International Journal of Remote Sensing, 2012.

Kratka biografija:



Nemanja Vidić rođen je u Novom Sadu 1992. god. Osnovne akademske studije je završio na Fakultetu tehničkih nauka - oblast Geodezija i geomatika. Nakon završenih osnovnih akademskih studija, upisuje master akademske studije na istom studijskom programu.
kontakt: vidićnem@gmail.com