

ГЛАСНИК СРПСКОГ ГЕОГРАФСКОГ ДРУШТВА
BULLETIN OF THE SERBIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY
ГОДИНА 2010. СВЕСКА XC - Бр. 1
YEAR 2010 TOME XC - N° 1

Оригиналан научни рад

UDC 007:911

**SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION
– ДОСТУПНОСТ ПОДАТАКА И ОСТВАРЕНА ТАЧНОСТ**

МИЛЕВА САМАРЦИЋ¹, МИЛУТИН МИЛЕНКОВИЋ¹

¹Универзитет у Београду – Грађевински факултет

Сажетак: Циљ овог рада је да се одреди тачност дигиталног модела терена (ДМТ) формираног на основу података шатлове радарске топографске мисије (Shuttle Radar Topography Mission – SRTM), за подручје Републике Србије. У раду ће бити представљене главне карактеристике СРТМ-а као и кратак опис самог поступка одређивања ДМТ-а на основу СРТМ података и одређивање тачности тако добијеног дигиталног модела терена.

Кључне речи: СРТМ, дигитални модел терена, тачност, Р. Србија

Shuttle Radar Topography Mission – СРТМ

СРТМ представља пробој у области даљинске детекције. Ова мисија је имала задатак да произведе топографску карту Земље која ће бити 30 пута прецизнија од глобалних карата које су се до тада користиле (<http://www.shuttlepresskit.com/STS%2D99>). СРТМ садржи специјално модификовани радарски систем који се налази на свемирском шатлу ENDEAVOUR током једанестодневне мисије реализоване у фебруару 2000 год.

СРТМ представља интернационални пројекат вођен од стране National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), National Aeronautics and Space Administration (NASA), National Imagery and Mapping Agency (NIMA) и Италијанске и Немачке свемирске агенције (Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt - DLR). Главни циљ СРТМ је био прикупљање података за израду дигиталне топографске карте Земљине коре у високој резолуцији и тестирање нове технологије за испитивање великих крутих структура и њихових дисторзија

Принципи СРТМ-а

InSAR систем СРТМ-а користи две различите таласне дужине. Амерички систем С-опсега, Spaceborne Imaging Radar SIR-C, који оперише са таласним дужинама од 6.0 cm и Немачко/Италијанским системом Х-опсега, таласне дужине од 3.1 cm (Heipke *et al.* 2002.). Две антене чине СРТМ интерферометар са једним пролазом. Главна антена која је дугачка 12 m, смештена је у унутрашњости товарне платформе свемирског

шатла ENDEAVOUR. Она емитује и прима микроталасне импулсе. Друга антена (спољашња антена) је фиксирана за врх шездесет метара дугог јарбола и има само функцију пријемника. Јарбол реализује интерферометриску базну линију.

Да би се израдила карта Земљине површи неопходно је урадити две ствари:

1. Измерити удаљеност шатла до неке референце;
2. Измерити растојање од шатла до површине око које шатл лети.

За први део неопходно је познавати надморску висину у сваком тренутку. Тај део задатка је решен тако што NASA константно мери позицију шатла са тачношћу од 1 m.

За други део користи се интерферометрија за мерење висине шатла изнад Земљине површи. За те потребе је кључно познавање дужине и оријентације јарбола у сваком тренутку. Промене ових величина могу имати значајан утицај на висинску тачност (кретање врха јарбола у радијусу од 2 cm у односу на шатл може резултирати са висинском грешком на Земљиној површини од 120 m). Такође, промене у дужини јарбола могу резултирати додатним грешкама. Из тих разлога неопходан је константан мониторинг оријентације и дужине јарбола.

Глобални позициони систем – ГПС се користи да би се прикупили прецизни подаци о позицији шатла тако што се врши упоређивање ГПС мерења која су извршена на самом шатлу и ГПС мерења пријемника који се налазе на Земљи и која се односе на интернационалну мрежу. За одређивање оријентације шатла у односу на Земљу користе се софтвери за упоређивање слике неба са звезданим каталогом и жироскопом.

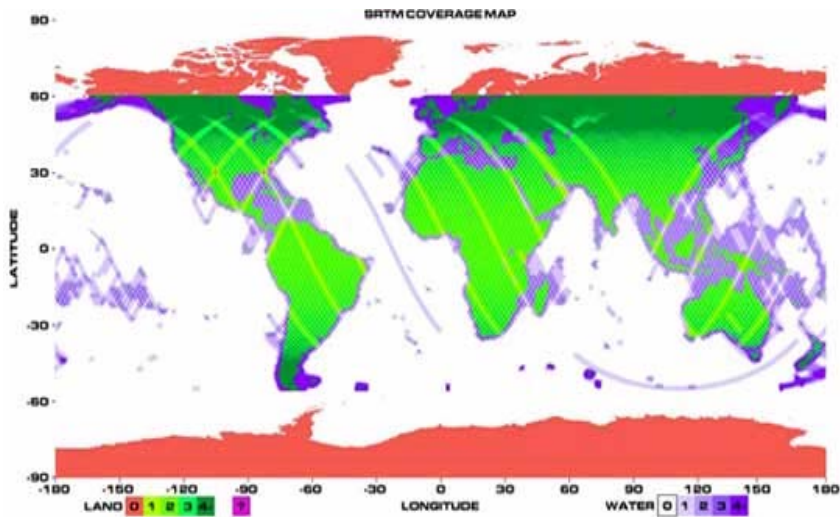
Због ротације Земље, шатл је прикупљао податке по тракама. Са C-опсегом је било могуће покрити целу Земљину површ. Интерферометар C-опсега је радио у такозваном ScanSAR моду (Bamler, 1999.). У овом моду антенски јарбол се електронски управља по различитим елевационим нагибима у поновљеном пролазу. На тај начин четири уске али преклапајуће траке обухватале су простор широк 225 km.

Антеном X-опсега се не може управљати електронски. Она оперира са фиксним нагибом од 38 ° и ширином траке од 45 km. Предност X-опсега је виша релативна тачност, која је резултат кратке таласне дужине. Слабост овог опсега који је коришћен на платформи шатла је непотпуна покривеност Земље. Постоје празнине између трака снимљеног простора које се смањују са порастом латитуде (Heipke *et al.* 2002.).

Делови Земље који су мапирани:

СРТМ мисијом су прикупљени подаци за скоро целу Земљину површ која се налази између 60° северне и 54° јужне латитуде, што представља око 80 процената од целог копна.

На карти приказаној на слици 1, бојама су означене области у зависности од броја снимања СРТМ-а. На копну, површи за које су се подаци прикупљали у једном пролазу означене су зеленом бојом, у два пролаза су означене зелено-жуто итд., као што је приказано на легенди која се налази на самој слици. Водене површине су приказане различитим нијансама плаве боје, што је такође приказано легендом у доњем десном углу слике. Области које су приказане црвеном бојом се нису могле мапирати. Топографска мисија СРТМ је углавном прикупљала податке изнад копна. Мала количина података о површи воде прикупљена је у калибрационе сврхе (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/datacoverage.html>).



Слика . Карта покривености

КАРАКТЕРИСТИКЕ МИСИЈЕ	
Лансирање:	Лансиран: 11. 02. 2000. год. Место лансирања: Kennedy Space Sentar
Орбита:	Висина: 233 km Инклинација: 57° Трајање мисије: 11 дана
Битне статистике:	Тежина шатла: 13.600 kg Дужина употребљеног јарбола: 60 m Снага: 902800 W
Инструменти:	X-SAR SIR-C ГПС BlackJack пријемник

Примена СРТМ података

Свемирски шатл ENDEAVOUR је лансиран, између осталог и да би прикупио више података о променљивим планетним пејзажима, о карактеристикама окружења и екосистему.

Радар је такође прикупљао податке о пустињама, залеђеним тундрама, дубоких долина са глечерима, као оне које се могу наћи на Аљасци и Андима. Регистровао је податке о траговима древних људских насеобина и пребивалишта угрожених врста.

Мисија нуди примену података у разним областима: геологији, геофизици, хидролошком моделирању, екологији, теренске корекције за растере добијене даљинском детекцијом, атмосферском моделирању, урбаном планирању, процени последица природних катастрофа, моделима ширења пожара и планирању транспорта, инфраструктури.

Неке од цивилних примена су: грађевина, просторно планирање, просторно планирање за системе комуникација, нпр. мобилни телефони...

Могуће војне примене су: симулација лета, логистичко планирање, управљање авио саобраћајем, системи за ракетну и оружану навигацију, планирање борби, тактике.

Тачност ДМТ

Оцена квалитета ДМТ-а најчешће се изводи преко прорачуна вредности параметара површи терена (висина, нагиб терена, правац највећег пада терена) у изабраним тачкама ДМТ-а, и упоређивањем тако добијених вредности са познатим вредностима.

Стандардан поступак за оцену квалитета ДМТ-а и откривање грешака у подацима је упоређење висина интерполованих из тог ДМТ-а са висинама датим за одређени број контролних тачака (Цвијетиновић, 2005.). Подразумева се да је за оцену квалитета ДМТ-а неопходно да су висине контролних тачака одређене са тачношћу која је виша од очекиване тачности ДМТ-а.

На основу формираних разлика:

$$\Delta_i = Z_i^T - Z_i^I, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

где је:

Z_i^T - дата висина контролне тачке,

Z_i^I - висина на контролној тачки добијена интерполацијом из ДМТ-а,

n - број контролних тачака,

могу се добити следећи статистички показатељи:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i \quad - \text{средње одступање}$$

$$\Delta_P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta_i| \quad - \text{просечно одступање}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}} \quad - \text{средња квадратна грешка}$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}} \quad - \text{стандардна девијација}$$

Поред рачунања горњих показатеља веома је важно праћење максималне и минималне вредности одступања, тј. Δ_{\min} и Δ_{\max} , на основу којих се добијају параметри којима се оцењује апсолутна тачност ДМТ-а.

Управо на овај начин је вршена оцена квалитета ДМТ-а у оквиру овог рада. За контролне тачке коришћене су тачке геодетских мрежа (тригонометриских, полигонских, нивелманских), из премера Р. Србије. Идентична методологија оцене квалитета примењује се и код ДМТ-а који су добијени на основу дигитализације изохипси на топографским подлогама (Бајат и Штрбац, 2005).

Тестирања тачности СРТМ ДМТ-а на подручју Србије

Као што је већ поменуто у абстракту, циљ овог рада је био да се оцени тачност ДМТ-а формираног на основу података СРТМ-а за подручје Р. Србије. Приликом спровођења експеримента било је потребно пронаћи податке СРТМ-мисије који су

доступни физичким licima. Након тога је требало процесирати преузете податке и припремити их за коришћење у неком од комерцијалних софтвера за дигитално моделирање терена. Такође је требало креирати ДМТ на основу којег би се одредиле висине контролних тачака и упоредиле са постојећим (истинитим) и на основу тога оценила тачност ДМТ-а креираног коришћењем СРТМ података. У ту сврху спроведен је експеримент који се састоји из три фазе:

I фаза: Прикупљање и припрема СРТМ података

II фаза: Креирање ДМТ-а и одређивање висина контролних тачака

III фаза: Оцена тачности креираног ДМТ-а.

За спровођење експеримента коришћен је софтвер *ArcGIS*, фирме *ESRI*. Овај програм представља интегрисану колекцију софтверских производа за имплементацију сложених ГИС решења. Основни ниво коришћења од стране крајњег корисника је ArcGIS Desktop који садржи пакет апликација, а неке од најбитнијих су: ArcMap, ArcCatalog, ArcGlobe, ArcTool, итд. Користећи ове апликације и интерфејсе заједно, може се решити било који ГИС проблем (мапирање, 3D визуелизацију, растерско и векторско едитовање, географску анализу, геопроектирање, формирање ДМТ-а,...). Управо су ово били разлози због којих је изабран овај софтвер.

I фаза: Прикупљање и припрема СРТМ података

Подаци СРТМ мисије су доступни на Интернету и могу се преузети са следеће адресе <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>. Преузимање података је веома једноставно и може се извести на више начина. Мапирано подручје је подељено на блокове и за подручје Србије било је потребно преузети четири блока. Подаци су преузети у ASCII (American Standard Code for Information Interchange) формату у деведесетометарском гриду. У заглављу овог фајла налази се кратак опис и основни подаци као што су: број колона и редова, координате горењег левог угла блока, величина ћелије која је дата у лучним секундама и вредност која се исписује у случају да нема висине. (Слика 2.).

```
ncols      6000
nrows     6000
xllcorner  15
yllcorner  40
cellsize   0.000833333333333333
NODATA_value -9999
842 811 787 772 778 793 795 803 807 803 790 774 754 739 724 709 696 681
846 815 795 783 791 806 806 808 816 819 815 802 779 757 744 724 709 695
834 822 804 795 809 821 825 818 817 818 818 813 801 781 761 741 724 712
823 814 800 796 818 834 843 834 822 814 815 818 807 793 780 768 753 742
813 801 793 794 810 828 840 840 837 822 814 815 808 800 795 792 778 772
802 794 789 788 798 812 817 832 842 835 828 822 810 803 808 811 803 797
795 792 791 793 795 792 795 812 826 831 838 836 822 808 812 821 820 815
784 784 783 789 792 790 787 792 805 813 819 824 823 810 803 811 825 829
772 775 777 778 781 785 786 785 793 792 796 804 803 800 792 796 811 818
762 767 773 778 779 784 786 785 781 781 782 793 793 786 784 792 798 803
772 769 774 793 803 801 794 782 774 780 780 785 791 785 781 789 796 797
781 778 782 804 822 826 820 804 784 773 774 780 782 776 773 771 777 784
803 802 800 813 828 837 838 825 808 788 768 765 760 755 751 744 748 753
806 816 811 810 821 832 837 837 827 807 786 769 748 736 734 727 721 728
796 805 807 802 805 817 823 837 834 813 793 777 756 732 719 707 706 708
778 786 784 781 780 788 798 810 822 811 791 774 757 735 716 700 689 689
749 761 750 750 750 756 766 781 791 796 788 773 755 737 723 705 692 682
719 728 730 728 721 724 731 739 755 766 771 766 752 734 720 702 691 683
689 697 701 699 695 695 695 699 706 722 730 740 742 739 723 706 693 683 682
658 663 669 669 669 670 675 678 689 697 703 712 713 704 690 682 686 690
644 641 643 642 646 648 652 660 668 672 677 686 682 680 667 657 675 687
634 624 622 625 627 631 635 639 645 646 650 661 660 652 645 639 648 663
617 610 610 609 612 621 628 634 637 638 644 638 636 633 629 621 627 638
607 601 599 600 602 609 613 626 631 633 635 633 628 624 627 623 623 625
599 601 598 596 594 594 600 612 613 624 629 629 627 624 630 626 620 619
602 602 599 597 596 592 591 597 599 607 616 620 627 632 640 636 628 622
605 602 598 596 594 592 590 588 589 590 598 605 614 629 635 631 624 622
604 600 597 596 593 590 588 586 585 584 586 592 602 616 618 613 615 622
603 600 600 600 600 600 600 600 600 600 600 600 600 600 600 600 600 600
```

Слика 2. Подаци СРТМ-а у ASCII формату.

Након преузимања СРТМ података следила је њихова припрема за тестирање за коју је такође кориштен ArcGIS, и која се састојала из неколико корака:

- конверзија података; Пошто се преузети подаци са Интернета налазе у *.ASCII формату требало их је конвертовати у растерски формат (*.rst), како би се могли успешно користити.
- трансформација растера; Висине из ASCII фајла се односе на темена 90 m грида и њихов датум је дефинисан елипсоидом WGS84, док се координате контролних тачака односе на државни координатни систем (Гаус-Кригера пројекција). Дакле, потребно је ускладити пројекције поменутих података. Решено је да се изврши трансформација растера из WGS84 система у Гаус-Кригерову пројекцију.

II фаза: Креирање ДМТ-а и одредјивање висина контролних тачака

Због саме специфичности формата СРТМ података, приликом конверзије из ASCII формата у растер уједно је и добијен коначан ДМТ за даље анализе без посебне потребе за посебним формирањем ДМТ-а.

Пошто је креиран ДМТ, потребно је било да се на основу њега одреде висине контролних тачака.

Подаци контролних тачака су најпре припремљени за увоз у ArcGIS, тако што су креирани текстуални фајлови који су садржали три колоне у којима су биле смештене координате контролних тачака (Y, X, H). Након тога је извршена конверзија ових текстуалних фајлова у *.SHP формат.

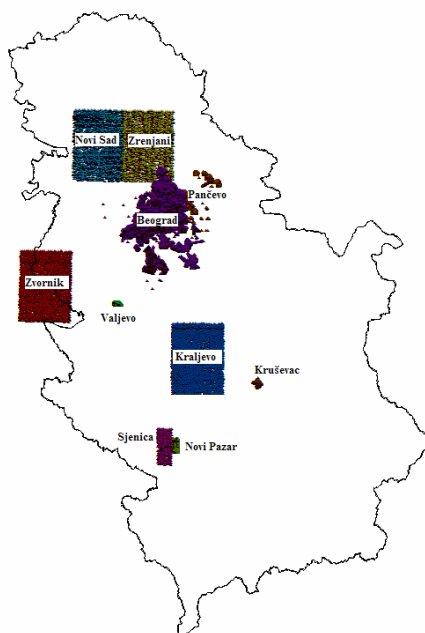
Пошто су сви подаци припремљени приступило се одређивању висина контролних тачака из ДМТ-а креираног на основу СРТМ података, употребом одговарајућих ArcGIS-ових алата. Креиран је нови атрибут у табели контролних тачака у оквиру кога су записане висине. Ова табела је експортирана у Microsoft Excel датотеку која је касније коришћена за рачунање параметара за оцену квалитета ДМТ-а.

III фаза: Оцена тачности креираног ДМТ-а.

Подаци неопходни за оцену тачности у потпуности су одређени уз помоћ ArcGIS-а и касније су обрађени у Excel-у. Коначни резултати су приказани у табели 1. и може се приметити да су разврстани по градовима. Наиме, координате контролних тачака су биле груписане по градовима па су и резултати приказани на овај начин.

За подручје Београда и Краљева, контролне тачке представљају полигонску мрежу, с тим што су Y и X координате заокружене до на метар тако да је њихова апсолутна висинска тачност ранга ± 1 dm. Такође у овим подацима се налазе и тригонометријске тачке чија је висинска тачност ± 0.5 m. За остала подручја контролне тачке су добијене на основу снимања фотограметријском методом и њихова висинска тачност је реда 1 dm.

Као што се може приметити, мреже контролних тачака су различитог типа. У зависности од подручја су различите тачности и облика. Ово није значајно утицало на резултате теста с обзиром да се у литератури која је коришћена при изради овог рада за апсолутну висинску тачност СРТМ ДМТ-а наводи вредност од 16 m, за релативну висинску тачност 10 m и за апсолутну хоризонталну тачност 20 m. Наведене вредности за тачност представљају границе опсега у коме се мора наћи бар 90% података (Bamler, 1999., Bernhard et al. 2003, Yastikli et al. 2006., Цвијетиновић, 2005., Ozah&Kufoniyi, 2006.). Изглед и тип мрежа контролних тачака приказан је на слици 3.



Слика 3. Распоред контролних подручја.

У табели су приказани следећи подаци: број контролних тачака - n , минимално и максимално одступање - Δ_{\min} и Δ_{\max} , средње одступање - $\bar{\Delta}$, просечно одступање - Δ_p , средња квадратна грешка – RMSE и стандардна девијација - $\hat{\sigma}$.

Табела 1. Оцена тачности ДМТ-а.

Подручје	n	Δ_{\min} [m]	Δ_{\max} [m]	$\bar{\Delta}$ [m]	Δ_p [m]	RMSE [m]	$\hat{\sigma}$ [m]
Београд	86283	-195,48	148,87	0,35	4,29	8,39	8,38
Панчево	30234	-49,02	38,19	-2,25	8,6	11,14	10,91
Краљево	3009	-91,05	67,54	1,96	15,49	20,36	20,27
Крушевац	3467	-11,42	9,82	-1,55	2,00	2,64	2,13
Нови Пазар	30234	-49,02	38,19	-2,25	8,6	11,14	10,91
Нови Сад	2284	-95,69	40,01	3,12	6,31	9,09	8,54
Сјеница	354	-52,67	42,73	8,31	17,34	19,97	18,15
Ваљево	4118	-88,44	45,66	-21,64	26,95	32,25	23,91
Зрењанин	2092	-94,07	30,7	4,21	4,6	5,77	3,94
Зворник	2619	-587,55	170,47	8,31	19,05	25,79	24,41

Из претходне табеле се може закључити следеће:

- На подручју Крушевца су добијени најбољи резултати, што претставља изненађење с обзиром да су контролне тачке тог подручја, тачке полигонске мреже, које се налазе у ужем центру града са гушћом инфраструктуром.

Такође ради се и о терену који није изразито равничарски тако да је овај ред величине грешке неочекиван.

- Подручје Зрењанина и Новог Сада карактерише равничарски терен и исти тип контролних тачака. Узрок уочене разлике у тачности СРТМ ДМТ-а може оправдати тиме што је сетом контролних тачака за подручје Новог Сада захваћен и део Фрушке Горе а такође постоји и одређени утицај веће изграђености Новог Сада.
- На подручју Београда су добијени добри резултати али треба напоменути да је то подручје са веома густим и добрим распоредом контролних тачака полигонске мреже. Што значи да је поузданост одређивања квалитета ДМТ-а на овом подручју јако висока. Такође се може уочити да се на том подручју јављају највећа минимална и максимална одступања. На основу овога се може закључити да постоје места где ДМТ-а није поуздан, односно има грубе погрешке у предикцији.
- За подручја са израженијим рељефом (Сјеница, Краљево и Ваљево) добијени су лошији резултати што је и очекивано с обзиром на то да су раније вршена истраживања показала да се грешка СРТМ ДМТ-а расте са повећањем нагиба (Sefercik&Jacobsen, 2006.).
- На подручју Ваљева су добијени најлошији резултати. Контролне тачке тог подручја представљају делове структурних линија терена, које су прикупљене фотограметрским мерењима (селективни одабир тачака). Самим тим ДМТ на оваквим подручјима је најосетљивији тако да добијени резултати не представљају велико изненађење. Такође, треба напоменути да сама тачност ових контролних тачака није могла значајно да утиче на оцену квалитета ДМТ-а.

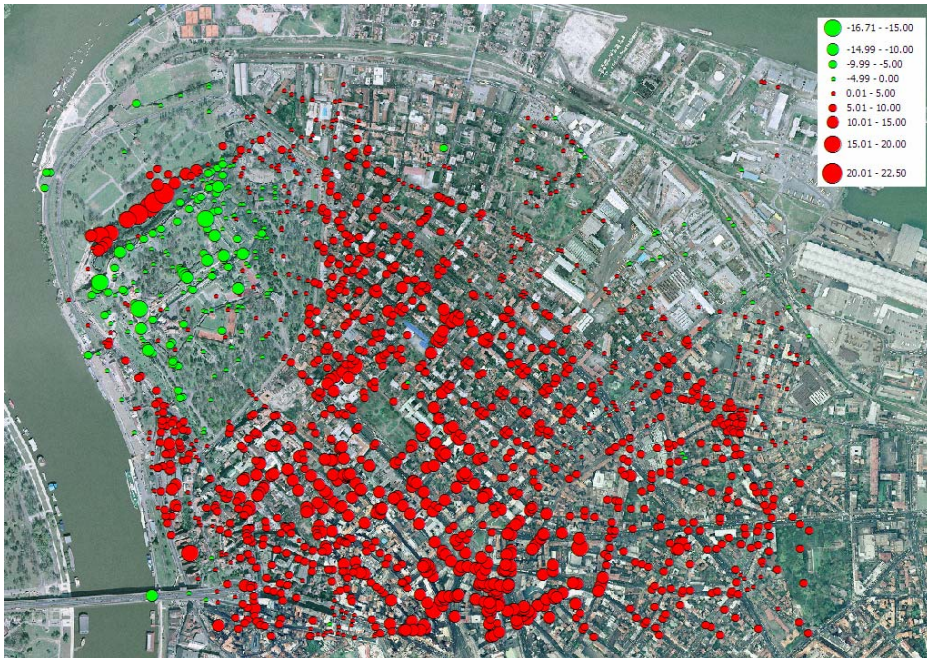
Даљом анализом добијених података (отклањање грубих грешака) могуће је добити боље резултате. У наредној табели (Табела 2) су приказани резултати који су добијени након избацивања података чије је одступање било три пута веће од вредности стандардне девијације над целокупним узорком једног подручја.

Табела 2: Резултати добијени након избацивања грубих грешака.

Подручје	n	Одбачена мерења [%]	Δ_{\min} [m]	Δ_{\max} [m]	$\bar{\Delta}$ [m]	Δ_p [m]	RMSE [m]	$\hat{\sigma}$ [m]
Београд	85331	1.18	-25.99	25.97	0.33	3.64	4.99	4.98
Панчево	30081	0.51	-32.99	32.92	-2.13	8.45	10.86	10.65
Краљево	3000	0.30	-59.78	58.50	2.04	15.34	20.05	19.94
Крушевац	3403	1.85	-6.96	6.99	-1.43	2.00	2.40	1.93
Нови Пазар	30081	0.51	-32.99	32.92	-2.25	8.45	10.86	10.65
Нови Сад	2221	2.75	-25.97	25.07	4.06	5.48	6.79	5.45
Сјеница	351	0.28	-40.62	35.35	42.73	19.99	17.88	16.68
Ваљево	4086	0.78	-70.82	45.66	-21.20	26.55	31.63	23.47
Зрењанин	2047	2.15	-11.41	11.93	4.05	4.26	4.66	2.23
Зворник	2606	0.50	-70.43	72.15	8.07	18.40	21.76	20.21

С обзиром на мали проценат одбачених мерења, квалитет ДМТ се значајно побољшао на подручју Београда, док је за подручје Ваљева и даље остао најлошији.

Даље, изабрано је подручје ужег центра Београда за детаљнију анализу и опис карактера грешака које настају као последица радарског снимања, односно у овом случају SAR интерферометра С-опсега. На слици 4 приказано је анализирано подручје са визуелно наглашеним вредностима грешака на контролним тачкама. Грешке представљају разлику између интерполоване висине контролне тачке добијене на основу СРТМ података и њене „тачне“ вредности.



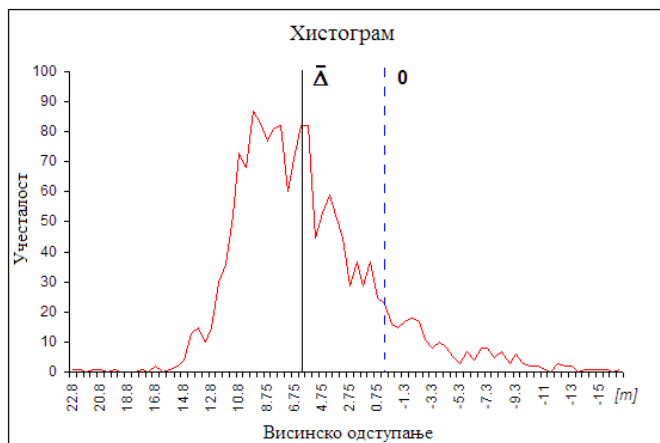
Слика 4. Ужи центар Београда са приказом грешака

Ово подручје покривено је са 1664 контролне тачке. Након срачунатих одступања на контролним тачкама добијени су следећи статистички параметри:

- минимално одступање = -16.71 m
- максимално одступање = 22.50 m
- средње одступање = 5.90 m
- просечно одступање = 6.95 m
- RMSE = 7.83 m
- стандардна девијација (σ) = 5.15 m

Број појављивања (учесталост) срачунатих одступања у оквиру интервала грешке од 50 cm приказан је хистограмом. На основу добијеног хистограма (слика 5) и срачунатих статистичких параметара може се закључити да у подацима постоји одређени вертикални померај (енгл. shift) од 5.90 m. Такође, уочава се извесна асиметричност добијеног хистограма у односу на средњу вредност. Узрок тога је нагомилавање позитивних вредности добијених грешака. Наиме, укупан број

добијених грешака које имају позитивну вредност (укупно 1468) је значајно већи од негативних (укупно 196).



Слика 5. Учесталост срачунатих одступања у оквиру интервала од 50 cm.

С обзиром на то да се генерисањем ДМТ-а на основу СРТМ података у ствари добија DSM² (Digital Surface Model-DSM), добијени резултати су били и очекивани. Наиме, SAR систем С-опсега ($\lambda=5.6$ cm) емитује радио таласе који немају способност пробијања вегетације (Sefercik&Jacobsen, 2006.). SAR системи региструју таласе који се одбијају и од различитих објеката на терену (зграде, аутомобили, крошње дрвећа...). Подручје које је детаљно анализирано је лоцирано у ужем центру града где се налази велики број оваквих објеката. Такође ако се има у виду поменута апсолутна тачност СРТМ-а у хоризонталном смислу од 20 m и сам распоред полигонских тачака може се рећи да су и ови фактори такође имали великог утицаја на вредност добијених статистичких параметара.

Након тога у оквиру овог тест подручја уочене су одређене контролне тачке на којима су се манифестовале поменуте грешке. У наредних неколико слика дат је приказ тих тачака.

На слици 6 приказано је 7 полигонских тачака распоређених у подножју северно-западне стране Калемегданске тврђаве. Локација ових тачака на слици 4 је горњи леви угао и јасно се може приметити да су одступања на овим тачкама позитивна и то за ранг већа од свих осталих позитивних одступања у оквиру овог подручја. Одступања на овим тачкама су око +20 m. Сама конфигурација терена јасно индицира да су настале грешке последица регистровања радарских таласа одбијених од врха тврђаве а не од њеног подножја. Такође ова грешка је ублажена применом билинеарне интерполације приликом интерполовања висина контролних тачака на основу СРТМ-овог 90 m грида.



Слика 6. Приказ локације са позитивним одступањем

На слици 7 приказано је 16 контролних тачака распоређених по горњим платформама Калемегданске тврђаве. Ове тачке су изабране управо због својих карактеристичних локација, наиме оне се налазе на ивицама бедема тврђаве око којих се простиру дубоки шанчеви. За разлику од тачака које су претстављене на слици 6, овде су уочена негативна одступања у распону од -10 m до -17 m . Као и у претходним закључцима и овде су грешке последица регистравања радарских таласа с тим што су негативне вредности грешака последица одбијања таласа од дна канала (шанца), а не од платформе на којој се налази контролна тачка.



Слика 7. Приказ локације са негативним одступањем

Најкарактеристичнији пример оваквих негативних одступања се јасно може уочити код контролне тачке која се налази на Бранковом мосту. Као што је на слици 8 приказано, одступање износи -13.37 m и очигледно је да је оно последица тога што су се радарски зраци одбили од терена испод моста а не од саме платформе моста.



Слика 8.

Закључак

NASA односно, CPTM је пружила ДМТ за више од 80% Земљине површи. Ови подаци се тренутно дистрибуирају бесплатно под надлежношћу United States Geological Survey - USGS-а и могуће их је преузети од National Map Seamless Data Distribution System или са USGS-овог сајта.

Подаци CPTM-а су, као што је већ објашњено, доступни на Интернету и на веома једноставан начин могу да се преузму са одређених Интернет адреса. Подаци ДМТ-а са резолуцијом од 3 лучне секунде (приближно 90 m) су доступни за све земље, док су подаци ДМТ-а са резолуцијом од 1 лучне секунде доступни само неким земљама. Ови подаци су креирани од стране непрофитабилних организација са циљем да обезбеде доступне и корисне информације за државне организације за развој. Активно се охрабрује употреба ових производа у научне сврхе. Ово међутим није случај и за комерцијалну употребу.

Коришћење *ArcGIS*-а је у потпуности оправдано у изради овог експеримента. Овај софтвер пружа веома широк спектар могућности када је упитању ДМТ. Од корисника се ипак очекује да има предзнање о основним принципима програма, пројекцијама и координатним системима, како би у потпуности могао доћи до жељених резултата. При реализацији експеримента коришћено је више алата софтвера: *Conversion*, *Data Management* и *3D Analyst*.

Током израде рада показало се да CPTM ДМТ има различите нивое тачности за равничарске и брдовите терене што је последица утицаја нагиба терена на поменуту тачност. Приликом детаљнијег разматрања добијених грешака на густо насељеним подручјем (ужи центар Београда) детектован је вертикални систематски померај, што наводи на то да се одклањањем овог утицаја може побољшати апсолутна тачност CPTM ДМТ-а. Осим у густо насељеним подручјима овај систематски утицај се може очекивати и на теренима покривеним густим шумама (Bourguine&Baghdadi, 2005.). За одређивање ове величине потребно је да се на подручју од интереса поседује одређени сет тачака са познатим висинама. Затим, уочене су и одређена „критична“

места СРТМ ДМТ-а која се обично налазе на местима наглих промена рељефа терена нпр.: стрме литице, канали, високи насипи, мостови итд. На овим местима значајно опада тачност СРТМ ДМТ-а као и његов морфолошки и хидролошки квалитет.

Истраживањем за потребе одређивања тачности ДМТ-а на основу података добијених дигитализацијом карата размере 1:25000 за подручје Р. Србије добијена је експериментална оцена тачности која се кретала у распону од 1-2 m за равничарске терене до 5-10 m за брдовите терене (Цвијетиновић, 2005). Овако добијене вредности можда нису најбољи репрезент тачности ако узмемо у обзир да висинске разлике (на растојањима од 90 m на којима је дефинисан СРТМ) у равничарским пределима великим делом не прелазе неколико метара, док у брдовитим теренима оне износе неколико десетина метара.

На основу добијених резултата у оквиру овог рада, као и чињенице да је за потребе израде карата размере 1:25000 вршен оригинални премер, може се закључити да је тачност СРТМ ДМТ-а значајно лошија од тачности ДМТ добијеног на основу дигитализације карата размере 1:25000. Међутим, карте размере 1:50000 добијене су генерализацијом карата 1:25000, па се на основу тога може очекивати неколико пута лошија висинска тачност (2-20 m) ДМТ-а добијеног дигитализацијом карата размере 1:50000 (што је неопходно експериментално и доказати). С тога, може се претпоставити да СРТМ ДМТ може бити добра алтернатива ДМТ-а добијеним на основу карата размере 1:50000.

Треба приметити да је у овом експерименту добијена тачност на одређеним подручјима значајно боља од декларисане у спецификацијама СРТМ-а.

Литература

- Бajat, Б., Штрбац, Д. (2005) Утицај извора података на тачност дигиталног модела терена. *Гласник српског географског друштва, LXXXV(1) 265-280.*
- Bamler, R. (1999.). The SRTM Mission- A World Wide 30m Resolution DMT from SAR Interferometry in 11 days. *Photogrammetric Week 99 in*
- Bernhard, R., Michael E., Achim, R. i Richard, B.(2003). The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, volume 57, Issue 4, 241-262
- Bourgine, B. and Baghdadi, N. (2005.). Assessment of C-band SRTM DEM in a dense equatorial forest zone. *Comptes Rendus Geosciences, 337, (14), 1225-1234*
- Цвијетиновић, Ж. (2005). *Развој методологије и технолошких поступака за формирање дигиталног модела терена за територију државе.* Београду: Грађевински факултет, докторска дисертација
- Yastikli N., Kocak G. and Buyuksalih G. (2006.). Accuracy and morphological analysis of GTOPO30 and SRTM X-C Band DEMS in the test area ISTANBUL. *International archives of photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36 (Part 1/W41)*
- Sefercik, U., Jacobsen, K. (2006). Analysis of SRTM Height Models. *5th Turkish-German Joint Geodetic Days.* Berlin
- Heipke, C., Koch, A., Lohmann P. (2002). Analysis of SRTM DTM- Methodology and practical results. *ISPRS Symposium in Ottawa, July 2002*
- Ozah, A. P., Kufoniyi O. (2008). Accuracy Assessment of Contour Interpolation from 1:50,000 Topographical Maps and SRTM Data for 1:25,000 Topographical Mapping. *ISPRS Congress Beijing 2008, Proceedings of Commission VII*
- <http://www.shuttlepresskit.com/STS%2D99>
- <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/datacoverage.html>
- <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>
- Google Earth

SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION – AVAILABILITY OF DATA AND THE ACCURACY ACHIEVED

MILEVA SAMARDŽIĆ¹, MILUTIN MILENKOVIĆ¹

¹*University of Belgrade - Faculty of Civil Engineering, Department for Geodesy and Geoinformatics,
Belgrade, Serbia*

Abstract: This paper aim is to determine accuracy of digital terrain model (DTM) formed upon Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data, for the region of the Republic of Serbia. Main characteristics of SRTM will be introduced, along with short description of determining DTM based on SRTM data and accuracy of such derived digital terrain model.

Key words: SRTM, digital terrain model, accuracy, Serbia

Shuttle Radar Topography Mission – SRTM

The Shuttle Radar Topography Mission represents a breakthrough in the science of remote-sensing. This mission had the task that produce topographic maps of Earth 30 times as precise as the best global maps in use today (<http://www.shuttlepresskit.com/STS%2D99>). SRTM consists of specially modified radar system that was placed on ENDEAVOUR space shuttle during the eleven days mission realized in February of 2000.

SRTM is an international project managed by National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), National Aeronautics and Space Administration (NASA), National Imagery and Mapping Agency (NIMA) and Italian and German space agency (Deutsche Zentrum fur Luft und Raumfahrt - DLR). SRTM main goal was collecting data for high resolution digital topographic map of Earth surface and testing new technologies for exploring of large rigid structures and their distortions.

Principle of SRTM

The InSAR system of SRTM used two different wavelengths. The American C-band (Spaceborne Imaging Radar SIR-C) operated with a wavelength of 6.0 cm and the wavelength of German/Italian X-band was 3.1 cm (Heipke *et al.* 2002.). SRTM's single pass interferometer was consisted of two antennas. 12 m long main antenna that emitted and received microwave pulses was placed inside of ENDEAVOUR space shuttle cargo area. Second (outdoor or slave) antenna was fixed on a tip of a 60 m long mast, and had the receiver only function. The mast realized the interferometric baseline.

In order to create map of Earth's surface, two things were necessary:

1. Measuring the shuttle's distance to the reference;
2. Measuring the shuttle's distance to the surface below the shuttle.

For the first part, altitude needed to be known at all time. NASA solved it by constantly measuring shuttle position with 1 m accuracy.

For the second part, interferometric measurement of shuttle's height above Earth's surface is used. For this purpose, knowing of mast's length and orientation at any time is crucial. Change in these values can have significant influence on height accuracy. 2 cm radial movement of mast peak in reference to shuttle can result in 120 m height error on Earth surface (changes in mast length can cause additional errors). For this reasons, continuous monitoring of mast orientation and length is needed.

Global Positioning System (GPS) is used for determining shuttle precise location by comparing GPS measurements on the shuttle and GPS measurements on the Earth. Determining shuttle orientation in regard to the Earth is done by using software for comparing sky image with star catalogue and gyroscope.

Due to Earth rotation shuttle gathered data by strips. Using C-band it was possible to cover the whole Earth's surface. C-band interferometer worked in so called ScanSAR mode (Bamler, 1999.). In this mode antenna beam is electronically navigated by different elevation angle in every next pass. This way four narrow overlapping strips cover area 225 km wide.

X-band antenna can not be electronically navigated. It operates with fix elevation of 38° and 45 km strip width. The advantage of X-band is higher relative accuracy due to short wave length. The disadvantage of this band used on the shuttle platform is incomplete Earth coverage. There are gaps between the swaths which became smaller with growing latitude (Heipke *et al.* 2002.).

Parts of the Earth that are mapped

SRTM collected data for almost entire Earth surface between 60° north and 54° south latitude, which represents around 80% of mainland.

Picture 1 shows different colored areas depending on the number of times the area was imaged by SRTM. For land, one-time coverage is green, twice is yellow-green and so on, as shown in the key at lower left. Over water, the color code is in shades of blue as shown in the key at lower right. Areas in red could not be mapped. SRTM, a topography mission, mostly acquired data over land. Small amounts of data were collected over the water for calibration purposes (jpl.nasa.gov/srtm/datacoverage.html).

Picture 1. Coverage map

Characteristics of mission	
Launch:	Launched: February 11, 2000 Launch Site: Kennedy Space Center
Orbit:	Altitude: 233 km Inclination: 57 degrees Mission duration: 11 days
Vital Statistics:	Wight: 13.600 kg Deployed mast length: 60 m Power: 902800 watts
Instruments:	X-SAR SIR-C GPS BlackJack receiver

SRTM data application

ENDEAVOUR space shuttle was launched, among other things, to collect data of changeable planetary landscapes, surrounding characteristics and ecosystem.

Radar also collected data for deserts, frozen tundra's, deep glacier valleys such those on Alaska and Andes. It registered traces of ancient human settlements and habitats of endangered species.

SRTM offers data application in various fields of interest: geology, geophysics, hydrological modeling, ecology, terrain corrections for remote sensing images, atmospheric modeling, urban planning, natural hazard after effects assessment, fire expansion models, transport and infrastructure planning.

Some of civil applications are in: civil engineering, land use planning, and disaster recovery efforts; and line-of-sight determination for communications, etc.

Possible military applications are: flight simulation, logistic planning, air traffic management, missile and weapon navigation systems, battlefield tactics etc.

Accuracy of DTM

Assessment of DTM quality is often done by estimation of terrain parameters (height, slope, direction of greatest fall) in selected DTM points and comparing such derived values with known values.

Standard procedure for assessment of DTM accuracy and data error detection is comparison of heights obtained by interpolation in DTM with known heights of certain control points (Cvijetinović, 2005). It is implied that for this purpose heights of control points are determined with accuracy higher than the one that is expected in DTM.

Based on formed differences:

$$\Delta_i = Z_i^T - Z_i^I, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

where:

Z_i^T - given height of control point,

Z_i^I - interpolated height for control point based on DTM,

n - number of control points,

following statistical indexes are given:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i \quad - \text{ simple mean}$$

$$\Delta_P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta_i| \quad - \text{ averaged mean}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}} \quad - \text{ root mean square}$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}} \quad - \text{ standard deviation}$$

Besides above mentioned indexes, tracking the maximal and minimal value of residuals Δ_{min} and Δ_{max} is important for determining parameters that represent DTM absolute accuracy.

All above mentioned indexes was used in this paper to estimate and explain DTM quality. Points of geodetic networks (trigonometric, traverse, height benchmarks) that were used in survey of Republic of Serbia (acquired from Geodetic Authority of Republic of Serbia) were used as control points. Identical methodology is used for quality assessment of DTM generated from digitized contour lines from topographic maps (Bajat and Štrbac, 2005).

Testing the DTM accuracy for the region of R. Serbia

As mentioned in the abstract, the aim of this paper is to determine accuracy of digital terrain model (DTM) formed upon Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data, for the region of Republic of Serbia. To conduct this experiment it was necessary to acquire SRTM data that were available to physical person. Afterwards, acquired data needed to be processed and prepared for use in some of commercial software's for digital terrain modeling. Also, DTM was to be created, upon which the height of control points would be calculated and compared to existing (true), based on what the SRTM DTM accuracy would be assessed. For that purpose, three phase experiment was conducted:

Phase I: Acquiring and preparation of SRTM data.

Phase II: DTM creation and control point height determination.

Phase III: Created DTM quality assessment.

For conducting this experiment *ArcGIS* (*ESRI*) software was used. It is integrated collection of software products for implementation of complex GIS solutions. Basic usage level for end user is within ArcGIS Desktop which contains a package of applications such as ArcMap, ArcCatalog, ArcGlobe, ArcTool, etc. By using these applications any GIS problem can be solved (mapping, 3D visualization raster and vector editing, geographic analysis, geoprocessing, DTM creation ...). These were the very reasons that this software was chosen.

Phase I: Acquiring and preparation of SRTM data

SRTM data are available on Internet and can be downloaded from <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>. Download is very simple and can be done in several ways. Mapped area is divided in blocks and for the region of Serbia four blocks were needed. Data were delivered in twenty meter grid in ASCII (American Standard Code for Information Interchange) format. Header of this file contains short description and basic data such as number of columns and rows, coordinates of upper left corner of block, cell size in arc seconds and value shown in the case where no height is given (picture 2).

Picture 2. SRTM data in ASCII format.

After downloading, SRTM data were prepared for testing by using ArcGIS, which followed few steps:

- data conversion; Since the data downloaded from Internet are in *.ASCII format, they were needed to be converted in raster format (*.rst),
- raster transformation; Heights from ASCII file are referred to 90 m grid in WGS84 datum, whereas coordinates of control points refer to state plane system (Gauss-

Kruger projection). Thus, it was decided to perform datum transformation from WGS84 system to Gauss-Kruger projection.

Phase II: DTM creation and control point height determination

Due to specific configuration of SRTM data format, the result of conversion from ASCII format to raster format was final DTM for further analysis with no need for separate DTM creation.

After the DTM was created, control point heights had to be determined based on that DTM.

Control points data were prepared for import to *ArcGIS* by creating textual files consisting of three columns – coordinates of control points (X, Y, H). After that, textual files were converted to *.SHP format.

After all of the data were prepared, heights of control points were determined by using DTM created from SRTM data by using appropriate *ArcGIS* tools. New attribute in control points table was created for storing interpolated heights. This table was exported to Microsoft Excel file, which was later used for calculation of DTM quality parameters.

Phase III: Created DTM quality assessment

Data needed for quality assessment were determined using *ArcGIS* and later processed in Excel. Final results are shown in table 1, and one can tell that they are classified by towns. Namely, coordinates of control points were grouped and results were shown for every town independently.

For region of Belgrade and Kraljevo, traverse network was used for control points. Their Y and X coordinates were rounded to full meter, so their absolute height accuracy is about ± 1 dm. Also, this data contain trigonometric points, whose height accuracy is about ± 0.5 m. Coordinates of control points for other regions were determined by photogrammetry, so their height accuracy is about ± 1 dm.

It can be noticed that control points networks are different type. Depending on region they vary in accuracy and shape. This didn't influence the test results significantly regarding that, in the literature used for this paper, stated absolute height accuracy of SRTM DTM is 16 m, and relative height accuracy 10 m and absolute horizontal accuracy is stated to be 20 m. Given accuracy values represent range boundaries for at least 90% data (Bamler, 1999., Bernhard et al. 2003., Yastikli et al. 2006., Cvijetinović, 2005., Ozah&Kufoniyi, 2006.). Appearance and type of control points network is shown in the picture 3.

Picture 3. Disposition of control regions.

Table 1 shows following statistical information: number of control points – n, minimal and maximal bias – Δ_{\min} and Δ_{\max} , simple mean – $\bar{\Delta}$, averaged mean – Δ_p , root mean square error – RMSE and standard deviation – $\hat{\sigma}$.

Table 1. DTM quality assessment.

Results from previous table refer to next conclusions:

- Best results come from region of Kruševac, which come as a surprise given that control points from that region are traverse points located in strict downtown with dense infrastructure. Also, terrain of this region is not meaningly plain, so this result is unexpected.

- Region of Zrenjanin and Novi Sad is characterized by plain terrain and same control point's type. The cause of detected difference in SRTM DTM quality can be explained by the fact that set of control points for Novi Sad is located on mountain of Fruška Gora near Novi Sad, and there is also the influence of Novi Sad's dense infrastructure.
- Region of Belgrade is characterized by good results and it should be mentioned that this region has dense and good disposition of traverse control points. That means that DTM quality assessment for this region is highly reliable. Also, this region is characterized by highest minimal and maximal biases. This indicates that some locations are not reliable, that is there are gross errors in prediction.
- Regions with distinct relief (Sjenica, Kraljevo and Valjevo) are characterized by bad results, which is expected, given that earlier tests and explorations shown that SRTM DTM error grows with increase of slope (Sefercik&Jacobsen, 2006.).
- The worst results in means of accuracy are in region of Valjevo. Control points for that region are terrain structure lines acquainted by photogrammetry (selective sampling), therefore DTM created upon that kind of structured data has low reliability. Also, it should be mentioned that accuracy of this control points could not significantly influence DTM quality assessment.

By further data analysis (gross errors elimination) it is possible to achieve better results. Next table (Table 2) shows results attained after elimination of data whose bias was three times bigger than the value of standard deviation over entire sample of one region.

Table 2. Results attained after gross error elimination

In regard to small percent rejected measurements, DTM quality has significantly increased for region of Belgrade, whilst for the region of Valjevo it stayed the worst.

Further more, Belgrade downtown area has been chosen for detailed analysis and description of character of errors that appear when radar measurements are involved, or in this case SAR C-bend interferometer. Picture 4 shows analyzed area with visually emphasized error values on control points. Errors represent difference between interpolated control point height calculated upon SRTM data and its "accurate" value.

Picture 4. Belgrade downtown with error representation

This area is covered with 1664 control points. After the differences on control points have been calculated, following statistical parameters have been determined:

- minimal error = -16.71 m,
- maximal error = 22.50 m,
- simple mean = 5.90 m,
- average mean = 6.95 m,
- RMSE = 7.83 m,
- standard deviation ($\hat{\sigma}$) = 5.15 m.

Frequency of calculated differences within the 50 cm error range has been displayed in histogram. Based on attained histogram (Picture 5) and calculated statistical parameters, it can be concluded that data comprehend 5.9 m vertical shift. Also, certain asymmetry in histogram in regard to simple mean can be noticed. Cause of that asymmetry is accumulation of errors with positive value. Namely, total number of errors with positive value (1486) is significantly larger than the number of negative value (196).

Picture 5. Frequency of calculated differences within 50 cm error range

Regarding that by generating DTM based on SRTM data, DSM (digital Surface Model) is actually created, obtained results were expected. Namely, SAR C-band system ($\lambda=5.6$ cm) emits radio waves which don't have the ability to penetrate vegetation (Sefercik&Jacobsen, 2006.). SAR systems register waves reflected from different field objects (buildings, cars, tree tops ...). Area which is subject of detail analysis is located in downtown Belgrade where significant number of such objects exists. Also, if keeping in mind absolute horizontal SRTM accuracy of 20 m and displacement of traverse points, one can say that these factors had large influence on attained statistical parameters too.

Within test area, it is noticed that above mentioned errors have manifested on certain control points. Next several pictures display those points.

Picture 6 displays 7 traverse points located on the bottom of the north-west side of Kalemegdan fortress. Location of these points on picture 4 is in the upper left corner, where can clearly be seen that the biases on this points are positive and a class higher than all other positive biases within this area. Biases on this point are around +20 m. Terrain configuration itself clearly indicates that all errors come as an effect of radar wave registration reflected from top of the fortress instead from its bottom. Also, this error has been reduced by applying bilinear interpolation during control point height interpolation based on SRTM 90 m grid.

Picture 6: Display of a location with positive bias

Picture 7 displays 16 control points located on upper platforms of Kalemegran fortress. These points were chosen due their characteristic locations. They are located on the edge of the fortress bulwark and are surrounded by deep trenches. In contrast to points shown in picture 6, negative biases raging from -10 m to -17 m are present here. Similar to previous conclusions, errors come as a effect of radar wave registration, only this time negative values come from radar waves reflecting from bottom of trenches instead from platform where control points are located.

Picture 7: Display of a location with negative bias

Most representative example of such negative biases is control point located on Branko's bridge. As shown on picture 8, bias is -13.37 m which is obviously result of radar waves reflecting from terrain below the bridge, not from bridge platform where control point is located.

Picture 8.

Conclusion

NASA, that is SRTM offered DTM for more than 80% of Earth's surface. This data are currently being distributed free of charge under the authority of United States Geological Survey (USGS) and can be downloaded from National Map Seamless Data Distribution System or from USGS web site.

SRTM data are, as mentioned before, available on Internet and can be easily downloaded from certain web sites. DTM data with 3 arc second resolution (cca. 90 m) are available for all countries, while the DTM data with 1 arc second resolution are available for certain countries only. This data are created by non-profitable organizations with goal to provide available and useful information's for national development agencies. Usage of this

product for scientific purposes is constantly encouraged. It is, however, not the case for commercial usage.

Usage of *ArcGIS* for completely of this paper is completely justified. This software provides wide specter of possibilities regarding DTM. User is, however, expected to have prior knowledge of basic software principles, projections and coordinate systems in order to achieve wanted results. During the experiment realization, several software tools were used: *Conversion*, *Data Management* and *3D Analyst*.

Realization of this experiment shown that SRTM DTM has different accuracy levels for plain and mountainous terrain which is result of effect that terrain slopes have on mentioned accuracy. During detailed investigation of attained errors over densely populated areas (Belgrade downtown) systematic vertical shift was detected, which indicates that by resolving this influence absolute accuracy of SRTM DTM can be improved. Apart from densely populated areas, this systematic influence can be expected in areas covered with thick wood vegetation (Bourguine&Baghdadi, 2005.). For identification of this influence set of points with known heights should be available on interest area. Also, certain "critical" SRTM DTM spots are detected which are usually located on places with sudden relief changes such as steep cliffs, canals, high embankments, bridges etc. At this places SRTM DTM accuracy and its morphological and hydrological quality rapidly decreases

During research for determination of DTM accuracy created on data acquired by digitizing maps of scale 1:25000 for region of Republic of Serbia, experimental accuracy evaluation that was in range from 1-2 m for plain terrain and from 5-10 m for mountainous terrain was attained (Cvijetinović, 2005.). Perhaps these values are not the best represent of accuracy if we consider that height differences (on distances of 90 m for which SRTM is defined) on plain regions mostly don't exceed few meters, while in mountainous regions they can be couple of tens of meters.

Based on obtained results within this paper, along with fact that for purpose of production of maps of scale 1:25000 survey was conducted, it can be concluded that the SRTM DTM accuracy is significantly lower than the accuracy DTM created on data acquired by digitizing maps of scale 1:25000. However, maps of scale 1:50000 are created by generalization of maps of scale 1:25000, so based on that we can expect several times lower height accuracy (2-20 m) of DTM created on data acquired by digitizing maps of scale 1:50000 (which needs experimental proof). Therefore, we can assume that SRTM DTM can be good alternative for DTM created upon maps of scale 1:50000.

It should be noticed that obtained accuracy in this experiment, on certain regions, is significantly better than the one that is declared in SRTM specifications.

References

See References on page 63