



Универзитет у Нишу  
Електронски факултет у Нишу



# ПРОФИЛ ТЕРЕНА ЗА БЕЖИЧНИ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНИ ЛИНК

Семинарски рад из Телекомуникација

Предметни наставник:

Ненад Милошевић

Студенти:

Анђела Костић, 17180

Алекса Крстић, 17192

Нина Миленковић, 17240

Ниш, февруар 2021.

## Садржај

1.	Упознавање .....	- 1 -
1.1.	Потреба за глобалном топологијом.....	- 1 -
1.2.	Стварање <i>SRTM-a</i> .....	- 1 -
1.3.	Циљеви и захтеви перформанси <i>SRTM-a</i> .....	- 3 -
1.4.	Преглед мисије .....	- 3 -
1.5.	Технике .....	- 4 -
2.	Дизајн мисије .....	- 5 -
3.	<i>SRTM</i> Систем .....	- 5 -
3.1.	Преглед хардвера и система <i>SRTM-a</i> .....	- 5 -
3.2.	С Подсистем радара .....	- 7 -
3.3.	Х радарски подсистем .....	- 7 -
3.4.	Антенa / механички систем .....	- 7 -
3.5.	Авионика за одређивање става и орбите ( <i>AODA</i> ) .....	- 7 -
4.	Мисијске операције.....	- 8 -
4.1.	Одржавање орбите .....	- 8 -
4.2.	Земаљске операције.....	- 8 -
4.3.	Анализа у реалном времену.....	- 10 -
5.	Обрада података.....	- 10 -
5.1.	Алгоритми С радара .....	- 10 -
5.1.1.	<i>AODA</i> обрада .....	- 11 -
5.1.2.	Базе података ниске резолуције и калибрације / валидације .....	- 11 -
5.1.3.	Датотеке параметара који се разликују у времену .....	- 12 -
5.1.4.	Топографска обрада података радара.....	- 12 -
5.1.5.	Напори за калибрацију.....	- 13 -
5.1.5.1	Калибрација опсега радара .....	- 13 -
5.1.5.2.	Фазна калибрација екрана.....	- 13 -
5.1.5.3.	Динамичка и океан-океан калибрација .....	- 14 -
5.1.6.	Континентални мозаик.....	- 14 -
5.1.7.	<i>SRTM</i> валидација .....	- 15 -
5.2.	Обрада података С радара.....	- 18 -
5.3.	Х Радарска производња података.....	- 18 -
6.	Примери употребе и коришћења .....	- 19 -
6.1.	Геоморфологија .....	- 20 -
6.2.	Хидрологија.....	- 21 -
	Литература .....	-24-

## 1. Упознавање

Шатл Радар Топографска Мисија произвела је најкомплетнији дигитални модел надморске висине Земље са највишом резолуцијом. Пројекат је заједнички подухват Националне геопросторно-обавештајне агенције (NASA) и Немачких и Италијанских свемирских агенција, лансиран у фебруару 2000-те године. Коришћене су двоструке радарске антене за добијање интерферометријских радарских података, који су потом обрађени у дигиталне топографске податке. Детаљи развоја, операције летова, обрада података и производ су и јавно доступни.

### 1.1. Потреба за глобалном топологијом

Сама основа модерних геосазнања је у суштини знање о облику Земљине површине. Од хидролошких модела поплава и отицања па до теорије трења граничног слоја атмосфере, топографија Земље има суштински значај. Високо квалитетни модел надморске висине (*Digital elevation model- DEM*), у облику топографске карте, пружа основу за развој ваздушних навигационих система и за широк опсег теренских активности у цивилном и војном сектору.

Главни проблем глобалне топографске мапе је био неуједначен квалитет мапа у разним размерама и резолуцији појединачних земаља јер су коришћене различите технологије топографског мапирања. Постојало је врло мало висококвалитетних топографских података. Једини начин за стварање глобално конзистентног скупа топографских података је управо било налажење конзистентне технике мапирања.

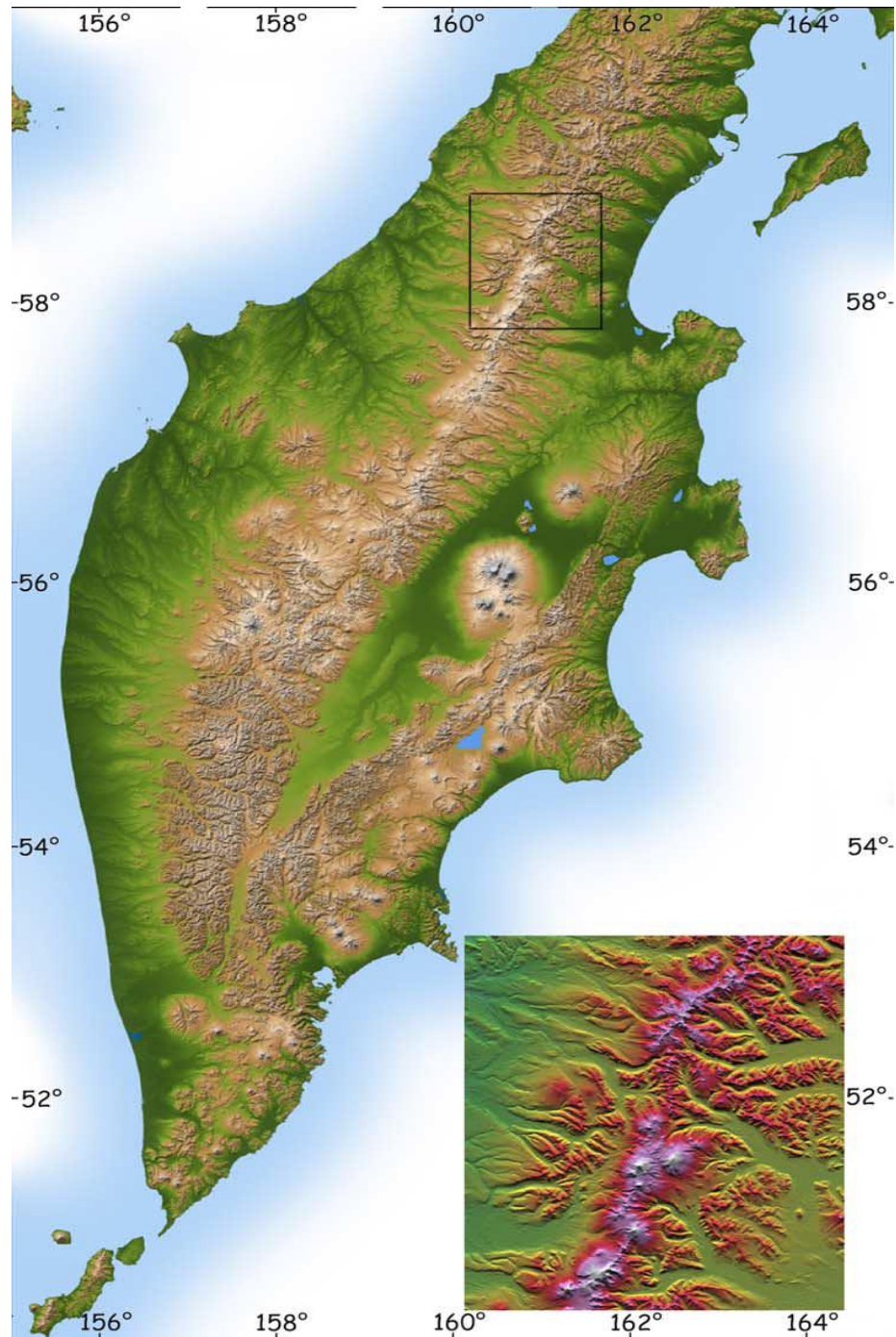
1990-их појавом интерферометријског радара са синтетичким отвором (*Synthetic aperture radar -SAR*) јавила се могућност ефикасног и приступачног стварања глобалног дигиталног модела надморске. Шатл Радар Топографска Мисија (*SRTM*) употребила је моћ овог радара и адаптирала га како би се дошло до најбоље технике за решавање проблема топографије. (**Слика 1.**).

Основни принцип на коме почива SAR се састоји у откривању објеката и мерењу растојања до тих објеката коришћењем радио таласа. SAR за мерење користи фазну разлику изведену из две радарске слике применом врло малог односа базе и висине (типично 0,0002). Тачност се добија помоћу пажљивог мерења дужине основне линије и оријентације и локације у односу на референтни координатни систем.

### 1.2. Стварање SRTM -а

Када је спејс-шатл почео са радом ушли смо у еру даљинског истраживања из ниске Земљине орбите. Ова истраживања су била вођења из свемирске летелице вишеструке употребе која је била различита од било које дотадашње летелице. У његовом лету 1981. године шатл је превезо први научни терет, *OTCA-1 (Office of Space and Terrestrial Applications-1)*, укључујући радар са синтетичким отвором и шатл радар за снимање слика Радар-А (*SIR-A*). *SIR-A* је био благо поларизован и постављен под фиксним углом од 45°. *SIR-B* је био следећи корак у еволуцији који је летео на челенџер мисији *41-G* и имао је угао гледања од 15°- 60°. *SIR-C* је предложен као развојно средство за решавање техничких изазова које представљају мултифреквентни мултиполаризацијски SAR са широким опсегом могућности. Након истраживања и развоја током већег дела 1980-тих

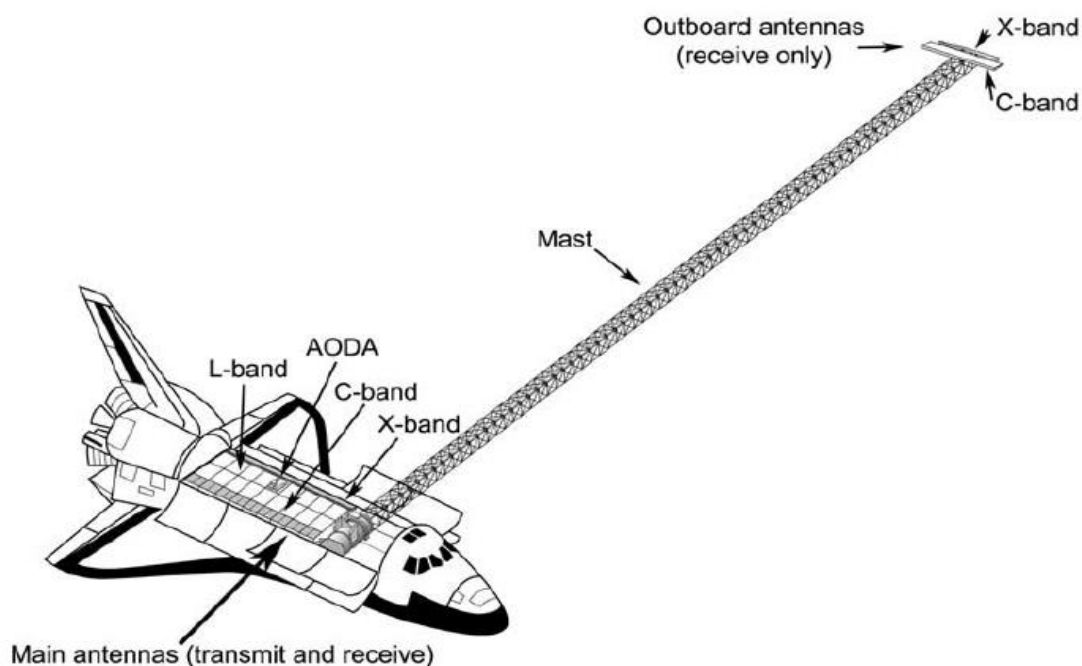
*SIR-C* је еволуирао у *SIR-C/X-SAR*, *L* и *C* опсега и пуне поларизације са могућношћу електронског скенирања. *SIR-C/X-SAR* је летео као Свемирска-Радар-Лабораторија у априлу и октобру 1994. године. Заједно са *SIR-C/X-SAR* експерименти су били успешне демонстрације понављања интерферометрија, где су добијене слике мете поновите орбите (разлика у позицијама на сваком пролазу формирање интерферометријске основне линије). *ScanSAR* интерферометриске операције су били основе *SRTM* топографске шеме мерења.



**Слика 1.** *SRTM* Топографски приказ осенченог рељефа на полуострву Камчатка. Исечак показује поглед веће резолуције на уоквирено подручје, различитих боја које наглашавау геоморфне карактеристике.

### 1.3. Циљеви и захтеви перформанси *SRTM*-а

Шатл радар топографска мисија, летела на спејс шатлу *Endeavour* у фебруару 2000. године била је заједнички пројекат *NASA*-е (националне управе за ваздухопловство и свемир), *NGA* (националне геопросторне обавештајне агенције), *DOD* (америчког министарства одбране) и *DLR*-а (немачке агенције за свемир). Циљ *SRTM*-а је био да се добије дигитални модел надморске висине читавог земљишта између  $60^\circ$  северне географске ширине и  $56^\circ$  јужне географске ширине, око 80% земљине копнене површине. У квантитативном погледу картографски производи изведени из *SRTM* података требали су бити узорковани преко мреже од 1 лук сек са 1 лук сек (приближно 30 м за 30 м), са линеарном вертикалном апсолутном грешком висине мањом од 16 м, линеарна вертикална грешка релативне висине мања од 10 м, кружна апсолутна грешка геолокације мања од 20 м, и кружна релативна грешка геолокације мања од 15 м. Релативна грешка висине података *X* опсега *SRTM* требала је бити мања од 6 м. Све наведене грешке су на нивоу поузданости од 90%, у складу са *NMAS* (национални стандард тачности мапа). *SRTM* радари нису могли да осете површину испод вегетационе надстрешнице и тако произведена мерења надморске висине са врха надстрешница.

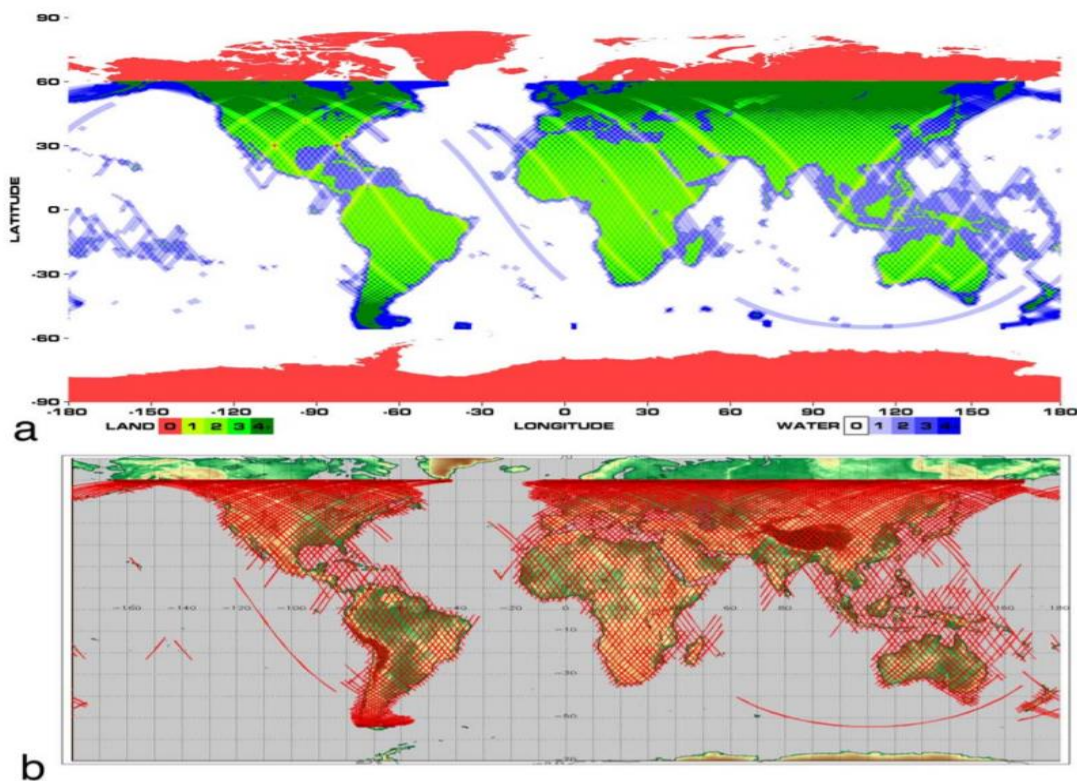


Слика 2. Главне компоненте *SRTM*-а.

### 1.4. Преглед мисије

*SRTM* је користио два радара са синтетичким отвором, систем опсега *C* (5.6цм, *C*-радар) и систем *X* опсега (3.1цм, *X*-радар). *NASA*-ина лабораторија за млазни погон (*JPL*) била је одговорна за радар *C*, док *DLR* за *X* радар. Оперативни циљ *C* радара био је стварање мапа покривености док је *X* радар генерисао податке дуж дискретних отвора ширине 50 км. Око 99,96% циљане површине је радар *C* мапирао макар једном (слика 3а). Због губитка 10 орбита, неколико места у Северној Америци су прескочена. Подаци о *X* радару покривају око 40% циљне површине (слика 3б).

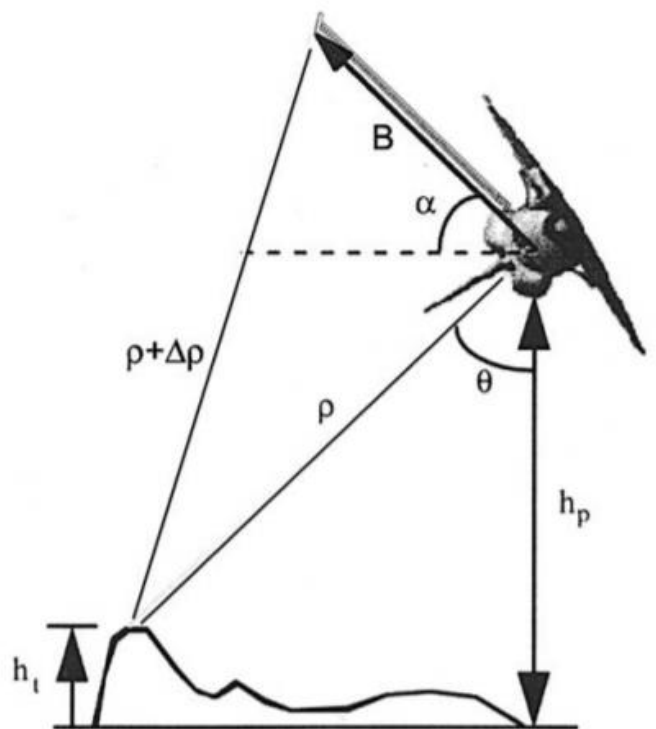




Слика 3. Коначне мапе покривености за системе (а) С опсега и (б) Х опсега.

### 1.5. Технике

Радари су најосновнији инструменти који могу измерити само једну димензију односно опсег од радара до циља интереса. Радарски инструмент постављен на покретну платформу може да формира дво-димензионална мерења мете коришћењем Доплере фреквенције померања циља као и његов домет. Типично, ово доводи до слике из свемира са резолуцијом од 5 до 10 м када радар ради у конвенционалном режиму мапирања. За приступ трећој димензији потребна је разлика у опсегу две радарске слике и реализована је најтачније коришћењем принципа интерферометрије. Принцип интерферометрије је приказан на **слици 4**. Свака радарска антена површину осликава са благо различите тачке гледишта. Претпостављајући да је положај две антене познат могу се одредити димензије интерферометриског троугла, а тако и висина дате тачке.



Слика 4. Геометрија SRTM интерферометра.

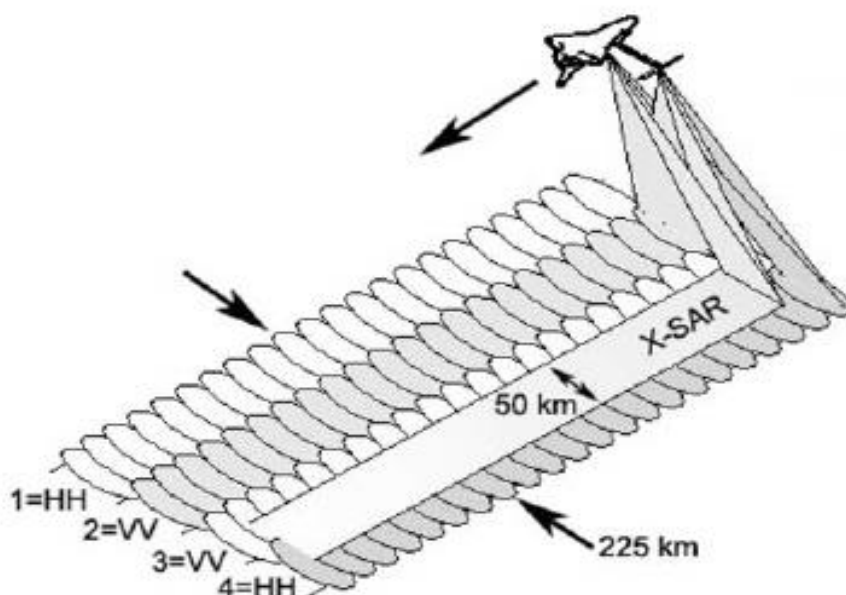
## 2. Дизајн мисије

*SRTM* је дизајниран да задовољи одређену мапу тачности спецификације. Овај строги захтев је повезан са карактеристикама постојећег SIR-C хардвера. Циљ радарског интерферометра је мерење разлике у опсегу између два посматрања дате тачке тла са довољним тачношћу која омогућава тачну топографску реконструкцију. Ово се врши кроз интерферометријску фазу и знања геометрије интерферометра (**слика 4.**).

Поједностављена формула за израчунавање циљне висине:

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

где је  $h_p$  висина платформе (надморска висина антене у односу на референтни елипсоид),  $\rho$  је опсег,  $\phi$  је измерена интерферометријска фаза,  $\alpha$  основни угао котрљања,  $\lambda$  је посматрајућа таласна дужина, а  $B$  је дужина основне линије.



**Слика 5.** Конструкција *SRTM* валова. *C* радар је наизменично осветљавао опсег од 225 км прикупљање парова подвала помоћу *ScanSAR-a*. Јасно је да грешке у познавању величина у овој једначини утичу на укупне перформансе *SRTM-a*. Компромис између ових грешака је био велики део дизајна мисије.

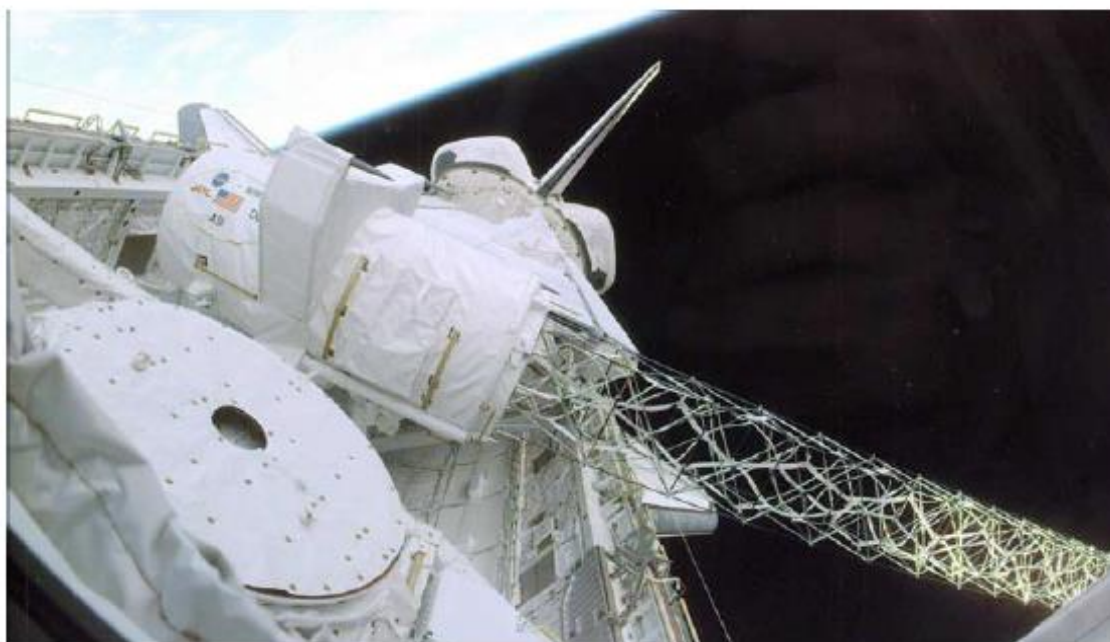
## 3. *SRTM* Систем

### 3.1. Преглед хардвера и система *SRTM-a*

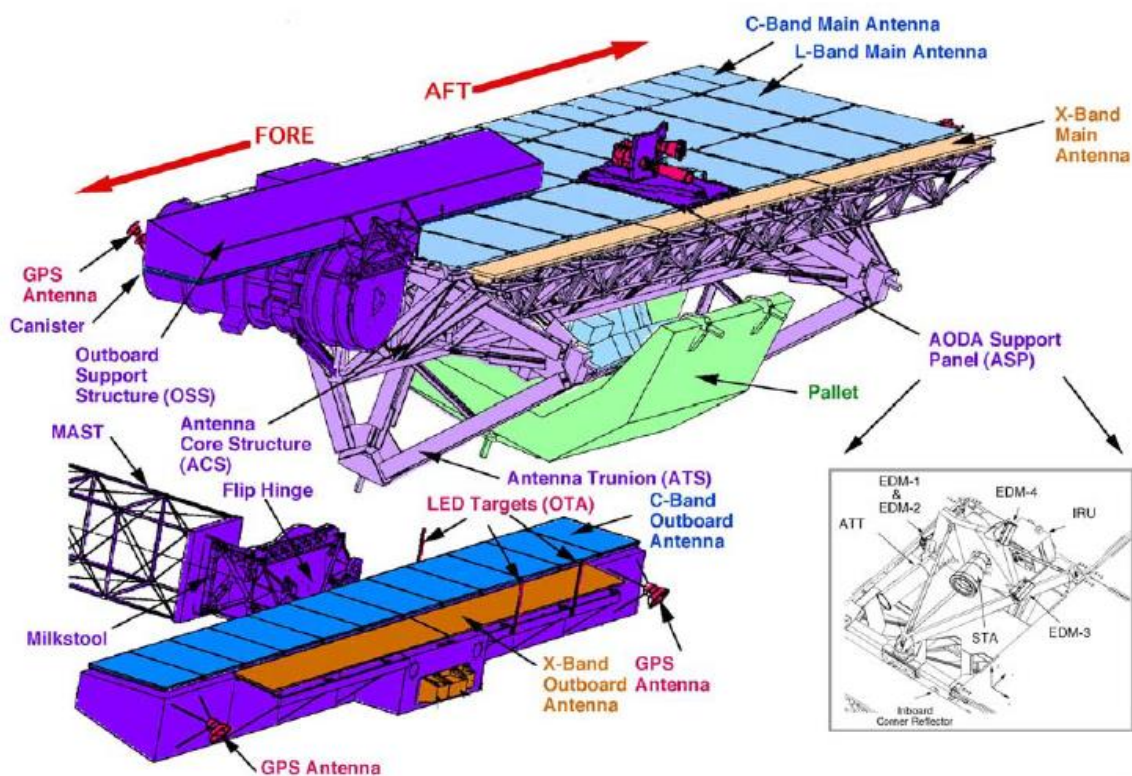
Архитектура *SRTM* заснована је на *SRL SIR-C/X-SAR* инструментима она је модификована и допуњена да би се омогућиле интерферометријске операције. Настали нови систем се састојао од четири главна подсистема: опсега *C* радара са синтетичким отвором (*C* радар), опсега *X* са синтетичким отвором бленде (*X* радар), антена/механички систем (*AMS*) и *AODA*. Од четири главне компоненте *C* радар, *X* радар и *AMS* користили су добро



тестирани *SIR-C/X-SAR*. Због своје масе и сложености *SRTM* заузимао је читав теретни простор шатла (слика 6). *SRTM* хардвер је смештен у лежиште корисног терета (слика 7), у средњој палуби и на крменом делу палубе.



Слика 6. *SRTM* хардвер у *Endeavour*-овом теретном делу у стању мапирања.



Слика 7. *SRTM* хардвер у шатловом теретном простору.

### 3.2. С Подсистем радара

Док је већи део радарског система наслеђен из *SIR-C*, било је неопходно неколико нових система или модификација за интерферометријски рад: *C* опсег пријемне ванбродске антене, систем за аутоматско праћење зрака и оптички пријемник за калибрацију. Елементи *C* радара смештени у кабини посаде. *RIC* је био задужен за контролу *C* радара, то је уствари лап-топ са специјалним софтвером за контролу свих параметра *C*-радара.

### 3.3. X радарски подсистем

12 метара дугачак и 40 центиметра широк *X* радар антена за пријем и трансмисију је био постављен на *C* радар антену у шатловом товарном делу под углом од  $-7^\circ$ , постављајући свој 50 км широк зрак између 3 и 4 зрака *C* радара. *X-SAR* главна антена и електроника је остављена готово нетакнута од *SRL* (*Space Radar Laboratory*, друго име за *SIR-C/X-SAR*) мисија.



Слика 8. Специјалисти мисије Гехарт Тиеле прелазе временску линију посаде. Лап-топ са леве стране је *RIC*.

### 3.4. Антена / механички систем

Механички систем *SRTM* заснован је на *SIR-C/X-SAR* систем, са значајним променама. *SIR-C/X-SAR* инструмент летео је један ред од панела са 18 *C* опсега и два реда панела траке од 9 *L*. *SRTM* је задржао опсег од 18 *C* панела и 6 панела *L* појаса, али пошто је *L* опсег систем није коришћен, сувишни панели су уклоњени ради уштеде килограма. Најзначајнији додатак *SRTM* хардвера био је систем ванбродских антена (*OASIS*) и његов систем за постављање. *OASIS* се састојао од ванбродске потпорне структуре (*OCC*), ванбродског поља *C* опсега, ванбродског *X* опсега панела и електронике и *AODA* опреме (слика 7). Укупна тежина *OASIS* била је 397 кг. *OASIS* систем примене обухватио је четири главне компоненте: Јарбол и канистер од 60 м, систем пригушивања јарбола, *OASIS* преклопна шарка и *OASIS* механизам за подешавање статичког нагиба који се назива „млеко столица”.

### 3.5. Авионика за одређивање става и орбите ( *AODA* )

Примарна функција система *AODA* била је да пружа историју интерферометријског времена после лета која је била основ за топографску реконструкцију. За *SRTM* *AODA* је био потребан за процену дужине интерферометријске дужине основне линије, става и положаја са тачношћу од 2мм, 9 лук секунди и 1м. Ови захтеви су морали бити испуњени кад год су радарии сакупљали податке и то са учестаношћу већом од 0.25Hz.

## 4. Мисијске операције

### 4.1. Одржавање орбите

У складу са оперативним ограничењима Шатла одабрана орбита је била кружна. Номинална висина лета је изабрана да буде 233 км, а орбитални нагиб био је 57°. На овакав начин шатл је започео свој пут и наредних 9,8 дана је направио 159 орбита око Земље. Снимање је извршено у једном циклусу са 159 орбита, између 60° северне географске ширине и 56° јужне географске ширине. Растојање 5 појединачних орбита је износило 218 км, а С радар снимао је траку ширине 225км, са преклопом од само 7км.

Симулације су показивале да услед атмосферског отпора долази до померања орбите које износи око 1,5 км/д ка екватору. Пертурбације изазване привлачном силом на 60-то метарни јарбол и спољашњу антену није било лако прорачунати. Било је очигледно да ако померај орбите не буде компензован може да изазове губитак преклапања снопа за око 24 сата. Да би се то спречило у мисију је морала бити уведена прецизна контрола која је подразумевала извођење нестандартних маневара за довођење орбите у ред познатих под називом *fly cast (.eng)*

Још једна велика препрека у лету био је квар потисника хладног гаса на врху јарбола. Што је довело до тога да Шатл потроши много више погонског горива од планиране количине за одржавање орбите. У циљу да доврше мапирање са редукованом количином погонског горива навигатори Шатла и организатори *SRTM* мисије смислили су нову секвенцу маневара. Одабрали су нову фазу и меру промене брзине који су били адекватни да је и услед проблема било могуће успешно довршити операцију мапирања без значајног утицаја на крајње резултате.

### 4.2. Земаљске операције

*SRTM* операција поред добро организоване посаде астронаута захтевала је и адекватан и посвећени тим за део задатака који се одвијао на Земљи. Астронаути су контролисали погонски систем и рад антена, почетно поравнавање антена, активацију и деактивацију и били заджени за промену трака на којима је сниман излаз. „Земаљски“ тимови су били смештени у *POCC*-у (*Payload Operations Control Center*) у *NASA*-и, Соби за корисничку подршку у *JSC*-у (*Johnson Space Center*) и *MSA* (*Mission Support Area*) у *JPL*-у. Они су контролисали остале активности *SRTM*-а. Сваким од два *SRTM* радара, *C* и *X*, управљан је независним системом са центром у *POCC*-у. Најопштије речено оперативни системи *C* и *X* радара су извршавали паралелне и исте задатке: планирање мисије, командовање инструментима, надзор исправности инструмента и анализа учинка целокупног система. *MOS* (*Mission Operations System*) јесте представник оба система (Слика 9. )

*MOS* се састојао од шест главних подсистема.

*MPS* (*Mission Planning Subsystem*) - генерисао је прорачун орбите, *SRTM* дугорочне и краткорочне планове и дао временске рокове мисије и улазне наредбе за *C* радар, затим

*CMS* (*Command Mission Subsystem*) - планирао време почетка и заустављања сваког снимања података, израчунавао удаљености до површине Земље током мапирања, преко којих је одређивао одговарајући сет параметара радара, израђивао је временски распоред мисије *C* радара на сваких 6 сати и слао их *MPOS*-у (*Mission Planning and Operations System*) са циљем генерисања временских распореда команди *X* радара. Готов

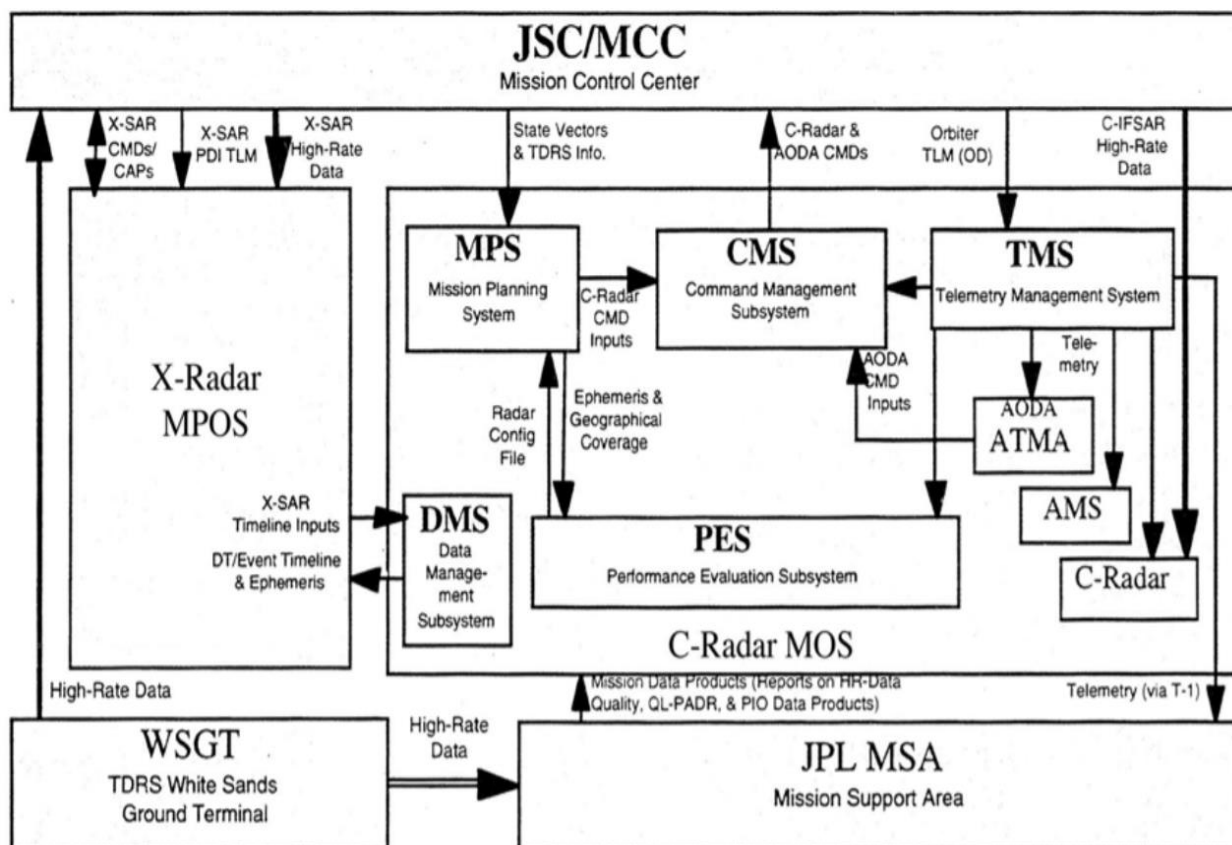
временски распоред мисије је такође прослеђиван у CSR ( *Customer Support Room* ). SRTM-а у JPL MSA.

TMS (*Telemetry Mission Support*) – може се посматрати као кооперанд CMS-а за долазну везу (*downlink*). Вршио је декомутацију оперативног долазног линка Орбитер телеметрије и делио га на C радар, AODA-у, Орбитер инструменте и Орбитарни систем за управљање током података.

Најважнији AODA ток је преусмеравао је на ATMA (*AODA telemetry monitor/analyzer*) подсистем.

PES (*Performance Evaluation Subsystem*) – вршио је процену перформанси C радара током мисије и, заједно са MPS-ом, давао извештај након сваке орбите о узорцима података који не испуњавају захтеве мисије. Координирано је подешавање унутрашње/ванбродске антене. PES алати су коришћени за предвиђање снаге одјека, термичке буке, релативне грешке висине, преклапање снопова и поравнање BAT-а (*Beam autotracker*).

DMS (*Data Management Subsystem*) био је задужен за управљање и класификацију свих валидни података добијених током мисије.



**Слика 9.** Структура SRTM мисијског оперативног система. Центар за контролу мисије (JSC) је био главни интерфејс шатла за радарски систем C радарског Оперативног система и X радарског MPOS -а (Оперативни система и система планирања мисије) у Оперативном и контролни центар за корисни терет (POCC) у JSC-у (Џонсон Свемирски Центар). Подручје за подршку мисији (JPL MSA) обрађивало је C радарске податке и резултате враћало у POCC преко система за праћење и пренос података.



Током фазе мапирања *SRTM* која је трејала 222,4 сата, *C* радар је радио 99,2 сата, а *X* радар 90,6 сати. Прикупљено је укупно 765 података. Од којих су 399 били само са радара *C*, 1 само са *X* радара и 365 су истовремено били *C* и *X* радари. Класификовани по њиховој сврси, 674 преузетих података било је са копна, 30 података су били океански снимци, а 61 податак био је везан за тестирање опреме. Обим података добијених у *SRTM* укупно износи 12,3 терабајт (8,6 са *C* радара, 3,7 терабајта са *X* радар).

После слетања у *KSC*-у (Кенеди свемирском центру), траке су формално предате тимовима задуженим за *X* и *C* радар. Након 8 недеља тимови су завшили обраду „рав“ података у секундарни сет трака који су заправо коришћени за *DEM* процесирање а оригиналне траке су превезене у безбедну архиву на чување.

#### 4.3. Анализа у реалном времену

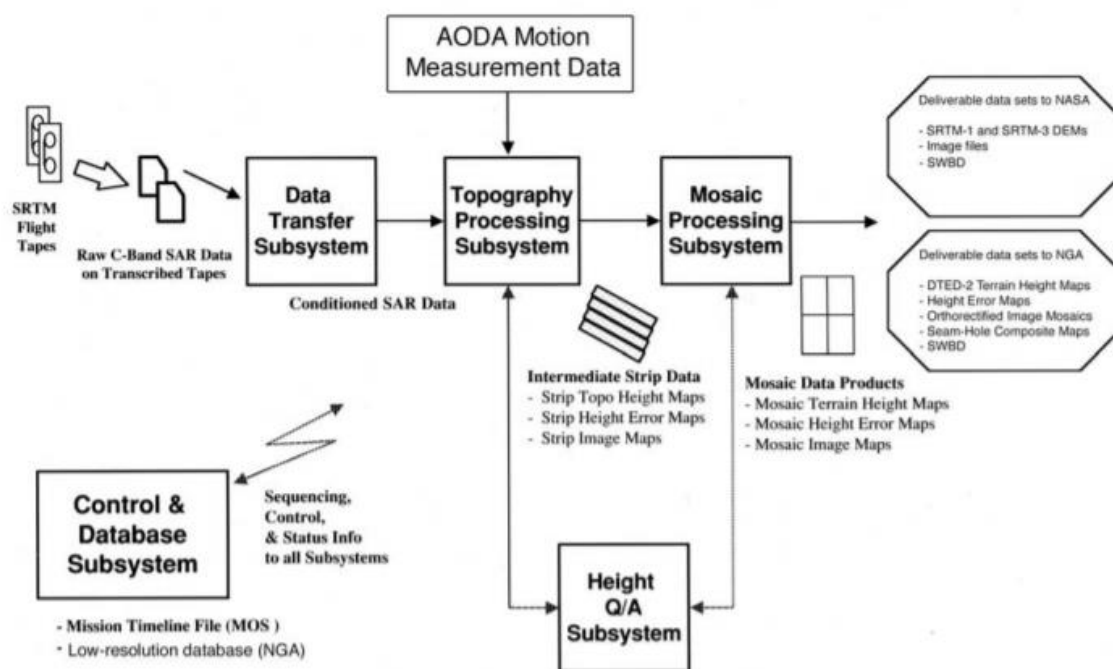
Подаци преузети током мисије су обрађивани чим су примљени, тзв. анализа у реалном времену на основу које је провераван квалитет свеже обрађених података упоређивањем са подацима из постојеће топографске базе података. Ово је дало могућност за нова открића и исправљање грешака. Али њима није било могуће тестирати пуне интерферометријске способности система, оне су утврђене тек након завршне обраде.

### 5. Обрада података

Осим у раној упоредној анализи перформанси у сврси побољшања *AODA* решења, подаци са *C* и *X* радара су се обрађивали потпуно независно. Систем обраде обе стране делио је много основних карактеристика, али детаљи алгоритама и имплементације су се значајно разликовали.

#### 5.1. Алгоритми *C* радара

Алгоритми *C* радара за топографско мапирање су се у великој мери ослањали на дугогодишње искуство у развоју алгоритама за интерферометријске радаре. Неки од *SRTM* алгоритама били су једноставне адаптације алгоритама за ваздушно на свемирско окружење. Други су захтевали значајну прераду и иновацију. **Слика 11** приказује укупни алгоритамски ток за обраду података са радара *C*. Подаци о кретању и телеметрији поново су узорковани у јединствену мрежу која је била по мери сваког узорка података и опсега ширине. Подаци су се затим преводили у елевације мапиране на сферни координатни систем након чега би били архивирани у базу података која акумулира податке за одређени континент. По завршетку обраде свих података, њима је даље манипулисано да би се добио самоконсистентни модел надморске висине тог континента. Континентални подаци су валидирани, генерисана је статистика грешака, а затим су сегментирани у ћелије  $1^\circ \times 1^\circ$  за дистрибуцију.



Слика 10. Алгоритамски ток обраде података са С радара.

#### 5.1.1. AODA обрада

AODA систем и подаци су били кључни аспект интерферометра. AODA је имала за задатак блендовања података који су добијани у различитим условима ( различитим временским основама, брзинама узорковања и латенције због промене брзине летелице ).

AODA алгоритми за смањење података били су проширење добро успостављених навигационих решења развијених у JPL за свемирске мисије. Раније развијен Калманов приступ филтрирања је лако прилагођен за Шатл јер је филтрирање података било неопходано услед инструменталног ефекта камере, засићење лед диода, заслепљивање звезданом светлошћу

#### 5.1.2. Базе података ниске резолуције и калибрације / валидације

Скуп база података који би помогао у обради и који би служио као калибрациона и валидациона тачка био је важан део припреме за процесирање података. Потпуни извештај о SRTM калибрацији и валидацији представио је Rodriguez et al., 2005. године.

Доступна је сажета верзија (Rodriguez et al., 2006)

(<https://www.ingentaconnect.com/contentone/asprs/pers/2006/00000072/00000003/art00002?crawler=true&mimetype=application/pdf> )

Калибрација и валидација обухватала је готово читав период развоја потребних инструмената, укључивала је активну координацију NGA и њихових партнерских агенција за размену података

Напослетку добили смо обједини скуп следећих података:

1. Глобални дигитални модел надморске висине (*Digital Terrain Elevation Data (DTED-1)*) представља матрицу вредности елевације терена која пружа основне квантитативне податке за системе и примене који захтевају информације о висини терена, нагибу и/или храпавости површине.



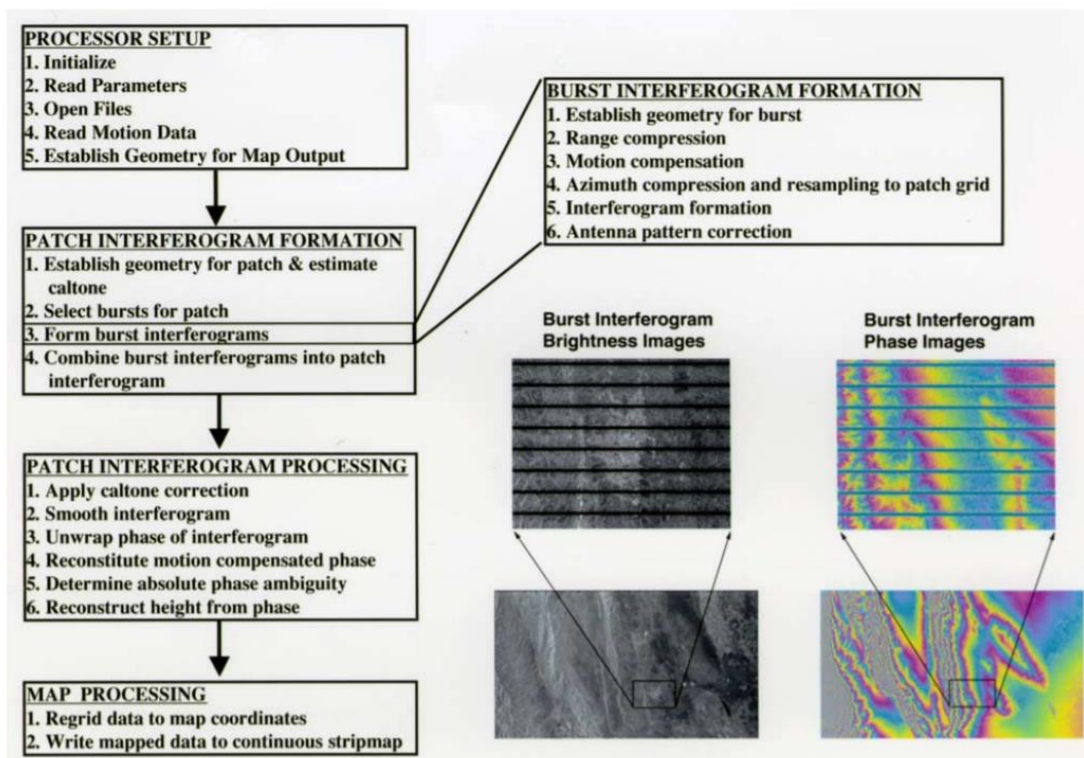
2. Земаљске контролне тачке (*Ground control points*) изведене су из историјских података *NAG*-а, нудећи тачне висине неколико хиљада тачака (одређене њиховим географским ширинама и дужинама) широм света.
3. Кинематички *GPS* подаци су прибављени возњом одговарајуће опремљених *GPS* пријемника на скоро сваком континенту, од севера ка југу и истока ка западу. Циљ је био добијање података о валидацији и карактеризацији просторних спектра висинских грешака у подацима.

#### 5.1.3. Датотеке параметара који се разликују у времену

Комплетни узорци података су обухватили површину од океана до океана и они су подељени на онолико ширински контролисаних сегмента колико је то било могуће, а ти сегменти су названи клинасти (*peg*) региони. Пег регион дефинисан је географском ширином, дужином и заглављем познатим под називом пег тачка преко којих је аналитички описана трансформација координата сферног радарског мапирања координатног система у картографски систем. Време је обично независна променљива у односу на коју су друге величине сензора окарактерисане. Након успостављања пег региона, погодније је описивати његов положај дуж сферног лука у локалном координатном систему као независну променљиву. Положај је повезан са временом преко брзине летелице, али јединствена временска мрежа није нужно водила до јединствене просторне мреже с обзиром да је брзина била временски променљива. Сви параметри потребни за повезивање података радарских импулса са параметрима инструмената укључујући време, положај унакрсне стазе, брзину, интерферометријску основну линију и промене начина рада радара (између осталог), били су преузорковани са циљем да се поставе у ову јединствену просторну мрежу.

#### 5.1.4. Топографска обрада података радара

Са могућношћу препроцесирања покрета, помоћним радарским модом података и са базом података ниске резолуције, било је могуће развити процесор који ће обраду почети у тренутку узимања узарка. Софтвер је дозвољавао континуалну обраду чак и кад је узорак захватао више од једне пег регије. У обраду су укључени специјални алгоритми којима се вршио прелаз са једног пег региона на други и пренос вредности висине при том прелазу. Колекција пулсева креирала је рафал (*burst .eng*), а сваки рафал је прерађен у слику која је отприлике била 1км дуж траке и 60 км преко траке. Обрада је такође укључила и традиционални алгоритм компензације померања за референцирање покрета унутрашњих и спољашњих антена. Као резултат компензације парови слика са антена су поравнати тачка са тачком дуж позиције на траци и директно комбиновани тако да формирају интерферограмски рафал. Рафали су обрађивани као група тако да чине слој. Интерферограмски рафали су директно гомилани у мрежу слојева. Сваки интерферограмски слој састојао се од података са најмање два радара по пикселу а често и више. Он је био разматан коришћењем варијанте *branch-cut* алгоритма. Испоставило се касније да је откривен изванредан број грешака фазног одмотавања у *SRTM DEM*. 2005-е године *NGA* је покренуо потрагу за грешкама у одмотавању у *SRTM* подацима.



Слика 11. Илустрација хијерархије топографске обраде

#### 5.1.5. Напори за калибрацију

Геометријска и фазна калибрација интерферометра била је важан део обраде података. Како су многе компоненте система, нарочито основни правац и карактеристике фазе пријемника, временом вариале, ове мере нису могле саме по себи да се калибришу. Због тога је коришћена стратегија калибрације била утврђивање оних мера које су биле стабилне током 10 дана мисије, вршила се њихова статичка процена, а затим динамички се одређивале оне које су вариале са временом.

##### 5.1.5.1 Калибрација опсега радара

Време кашњења унутрашњег радара одредило је апсолутни опсег прецизности производа. Било је одређено да је опсег кашњења константан са прецизношћу од неколико метара поредећи опсег са угаоним рефлекторима. Због тога су постављени и надгледани угаони рефлектори над областима у Калифорнији и Аустралији.

##### 5.1.5.2. Фазна калибрација екрана

Узораци унутрашње и спољашње антене су се разликовали и по фази и по амплитуди. Као последица тога било је важно мерити унутрашњу фазну разлику антена са циљем да се компензује разлика у углу елевације. Ова врста калибрације назива се Фазни екран(мониторинг) надморске висине. Погодно место за мерење фазног екрана је изнад океана где је висина површине номинална нула у односу на локални геоид. Праћењем фазних екрана током 10 дана мисије, на бројним локацијама широм света утврђено је да су они били стабилни и константни.

#### 5.1.5.3. Динамичка и океан-океан калибрација

Постављало се питање да ли би хоризонтални и вертикални поларизациони канали који су коришћени за формирање два пара подвала *SRTM-a* (Слика 5.) имали различите фазе у зависности од времена. Док су фазни екрани могли да исправе грешку у било ком подвалу, померај фазног екрана у зависности од другог канала би водио до дисконтинуалних висина у валу. Значајан део калибрације и квалитета процене фазе био је упоредити висине између подвала и одредити њихову разлику која се пресликава на фазну разлику међу њима. Три подвала су могла бити исправљена у односу на четврти. Статичке корекције, опсег кашњења и фазни екрани били су примењени у производњи траке података.

#### 5.1.6. Континентални мозаик

Једна од главних карактеристика која издваја *SRTM* мисију од осталих покушаја глобалног мапирања је да је скуп података тродимезионалан и самоконсистентан. Ова карактеристика значајно повећава способност да се подаци групишу попут мозаика. Сврха груписања података у мозаик јесте да се креира јединствени и синоптички производ података од великог броја мањих података. Мозаични *DEM* састављен је од мањих *DEM* плочица које се преклапају на једној или две ивице. Техника мозаика је осигурала процесуирање података без превелике бриге за велика изобличења(грешке).

Иако су горе описане технике калибрације уливала поверење и указивале на добру свеукупну стабилност било је тешко валидирати перформансе на нивоу појединачног континента. Зато је осмишљена процедура генерисања скупа везивних тачака(*Tie points*) и копнених контролних тачака(*GCP*). Преко њих се могла проверити самоконсистентност на свим скалама и по потреби извршити прилагођавања. Везивне тачке генерисане су унакрсном корелацијом осветљења слике или топографског рељефа. Земаљске контролне тачке обезбедио је *NGA* из глобалне базе података. Све ове тачке нису биле достављене са формалним грешкама, а многе од њих ни тачне како се првобитно веровало.

Висинска грешка окарактерисана је моделом:

$$\delta h = \frac{\delta h}{\delta \varphi} \Delta \varphi + \frac{\delta h}{\delta B} \Delta B + \frac{\delta h}{\delta s} \Delta s + \Delta H,$$

$\delta h$  је грешка висине, а  $\Delta \varphi$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta s$  и  $\Delta H$  су грешке фазе, дужине основице, позиције дуж траке и висине платформе, респективно. Са претпоставком да су ове грешке квадратна функција по  $s$ ,

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

могуће је проценити погодне коефицијенте за корекцију ових грешака за сваки вал континента, заснованан на клину (*peg based*), минимизовањем висинске разлике у великој инверзији најмањих квадрата.

Земља је била подељена на пет „континената“ и пет острвских група (Слика 12). Тако да су и параметри специјализовани за појединачни континент или острвску групу. Треба напоменути да грешка основног угла није процењена

јер је у великој корелацији са фазном грешком и није могао бити изведена на овом нивоу тачности.

Како је калибрација интерферометра била стабилна једино је било потребно проценити померај позиције дуж траке  $\Delta s$  и укупан фазни померај  $\Delta \varphi$  за сва четири подвала узорка података за сваку регију клина (*peg region*). За велики континент чак и до 40 000 параметара је истовремено морало бити процењивано.

Након процене корекције за сваки континент, траке података могле су се саставити у коначни мозаички дигитални модел надморске висине. Подаци са сваке траке прилагођени су и преведени у тродимензионални облик.

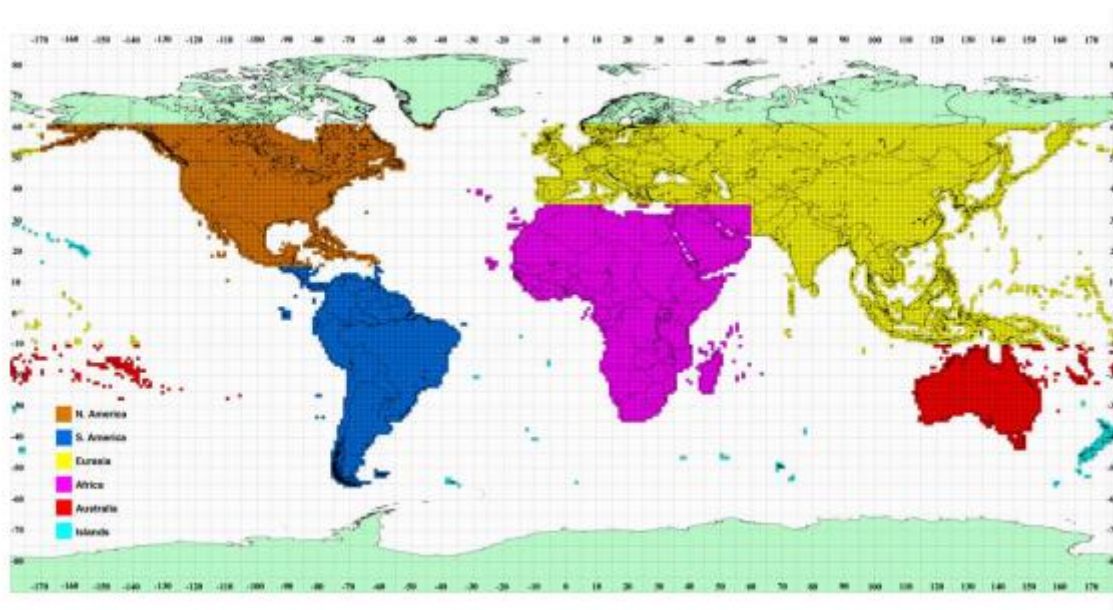
#### 5.1.7. SRTM валидација

SRTM подаци су валидовани на континенталном нивоу, а најбољи подаци о контроли квалитета изведени су од кинематичких GPS података, који су претходно прибављени од стране JPL (*Jet Propulsion Laboratory* – један од центара NASA, смештен у Калифорнији) и NGA (*National Geospatial Intelligence Agency* – једно од одељења министарства одбране), конкретно за потврду SRTM-а. Помоћу GPS-а, прикупљено је много података дужином путева на већини континената. Ти подаци су били толико прецизни, да је могуће окарактерисати SRTM грешке почевши од 100 метара па све до вредности од више хиљада километара. Захваљујући овим подацима, било је могуће развити спектар просторних грешака, а за тоталну апсолутну грешку се процењује да је доста поверљива и широко примењива.

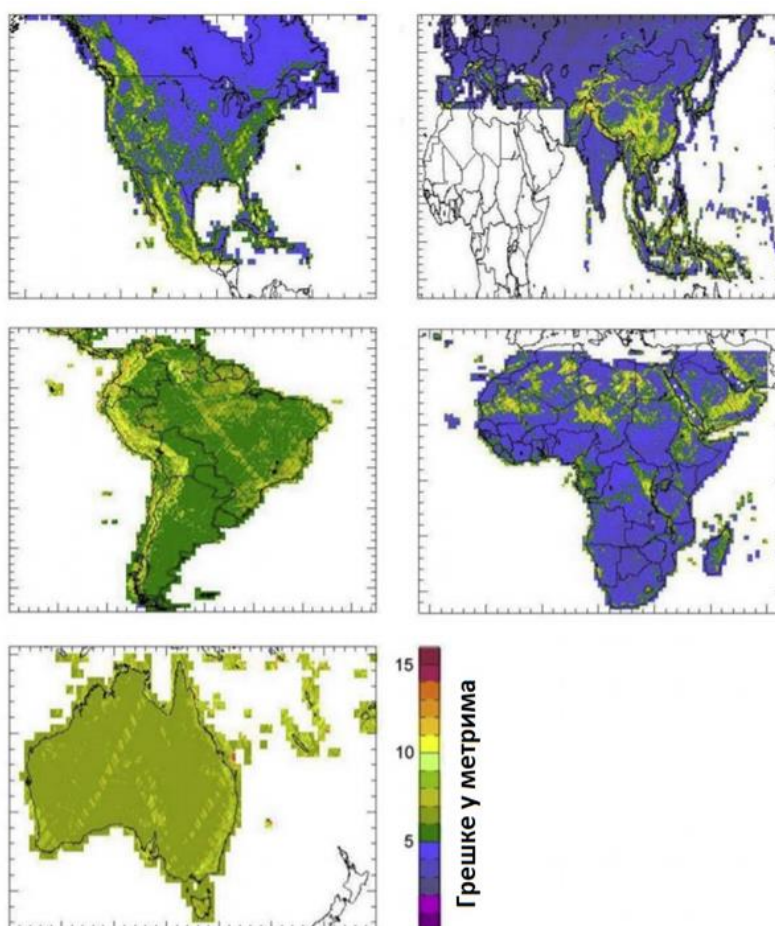
	Африка	Аустралија	Евроазија	Острва	Северна Америка	Јужна Америка
Апсолутна грешка геолокације	11.9	7.2	8.8	9.0	12.6	9.0
Апсолутна грешка у висини	5.6	6.0	6.2	8.0	9.0	6.2
Релативна грешка у висини	9.8	4.7	8.7	6.2	7.0	5.5
Дужа таласна дужина грешке у висини	3.1	6.0	2.6	3.7	4.0	4.9

**Табела 1. Сажетак SRTM перформанси** (све вредности изражене су са 90% грешкама, у метрима)





**Слика 12.** “Континенти” дефинисани за SRTM обраду и прилагођавање снопа, као и за дистрибуцију података.



**Слика 13.** На слици су приказане апсолутне вертикалне грешке за 5 SRTM континената. Грешке су мање од 10 метара, где се веће грешке примећују у областима Хималаја и Анда, док Сахара представља једну од области са мањим грешкама.

Преостале SRTM грешке могу се сврстати у 3 поткомпоненте : дуго-таласна компонента, настала услед грешака у котрљању, величине око 2 метра. Друга поткомпонента је настала од случајних грешака(средње до кратке таласне дужине), док је трећа присутна у најмањим размерама, и настаје услед процеса деградирања и смањења квалитета сигнала радара. Тај процес, познат под називом *speckle noise*, утиче на мерење нагиба коришћењем SRTM-а. Тако долази до повећања нагиба при мањим размерама, док истовремено код нагиба већих размера њихова глаткост се смањује. Овај ефекат је приметило неколико корисника SRTM података.

Области са екстремним грешкама или области са којих није дошло ни до каквог повратног сигнала, добиле су унапред одређену "празну" вредност, од 32768. Узрок овоме су углавном високе стрме падине окренуте супротно од радара, или глатке површине попут воде или песка, које су враћале недовољан сигнал за радар да оформи потпуну слику површине. Како је потреба за DEM вредношћу (Digital Elevation Model – генерални назив за све топографске податке представљене дигитално) без празнина, широка, развијено је неколико шема за попуњавање тих празних вредности. Шеме се заснивају на 2 главна поступка, где је први попуњавање празнина на основу података из неких других извора, а други интерполација, тачније уметање нових вредности између већ познатих вредности. Ове две шеме су распрострањене у бројним софтверским програмима.

SRTM није одувек мапрао праву површину терена. Уместо тога, мерила се ефективна висина одређена векторским збиром свих враћених сигнала из једног пиксела који се у датом тренутку посматра.

Ако пиксел осликава терен који се састоји само од земљишта, посматрала се само висина тла. У случају да је терен био прекривен вегетацијом, повратна вредност зависила је од висине, структуре и густине дате вегетације, где се у случајевима огромне густине, готово нимало сигнала није враћало назад. На овај начин се посечени део шума лако уочавао. Тако се овај поступак користио за одређивање висине дрвећа, када се DEM вредност чистог тла одузимала од SRTM DEM-ова.

Таласи радара могу продирати и кроз лед, као и кроз врло суво тло, потенцијално и до неколико метара у дубину. Током последњег лета SRTM-а, предео северне географске ширине био је знатно покривен снегом. У зависности од стања у коме се налази снег, С појас може сакупљати податке како са врхова ледених брегова, тако и испод површине земље, док се L појас користи код песковитих површина попут Сахара пустиње и других.

Објекти које је створио човек, попут високих зграда, мостова, торњева и путева, често су проблематична мета радара. Рефлексије светлости, сенке и углађене површине у урбаним подручјима доводе до задржавања, прекривања, прекида или чак читавања погрешних вредности. Зато SRTM може да осликава само највише објекте, док ће висина неког објекта у урбаном подручју, дати SRTM пиксел који би био под утицајем тих објеката, не би био у потпуности валидан. Тачније, висине измерене у градовима представљаће просечне висине зграда, а не висине тла на којима се те зграде налазе.



## 5.2. Обрада података С радара

Подаци С радара обрађивани су од стране Система за обраду података терена (Ground Data Processing System - GDPS). GDPS хардвер за обраду података објединио је системе за поновно форматирање података радара, топографију, обраду мозаика, анализу квалитета података и решавање проблема. GDPS је обрађивао и испоручивао коначне податке по континентима и острвским групама (слика 13).

Како су NASA и NGA имали различите стандарде и захтеве када су у питању коначни подаци, произведена су 2 типа SRTM података. NGA подаци укључивали су податке о висини терена, податке о грешкама у висини терена (THED – Terrain Height Error Data), орторектификоване слике мозаика. Њихова верзија садржала је неколико побољшања. Шипови и бунари који би били детектовани, бивали су занемарени у случају да премашују висину од 100 метара (у поређењу са околним узвишењима). Мање празнине биле су испуњене интерполацијом околних узвишења. Водена тела приказивана су коначним подацима; Надморска висина океана постављена је на 0 метара, док су језера дужине 600 метара или више бивала поравњана и постављена на константну висину. Реке које су премашивале ширину од 183 метара само су оцртаване без висине, док су се острва оцртавала ако је њихов рељеф био виши од 15 метара.

У већини случајева два орторектификована SRTM радара у резолуцији од једне лучне секунде била су довољна за описивање свих врста водених тела и описивање обалних линија у свакој 1 x 1 ћелији. Водили су се принципом да вода мора бити приказивана онако како је изгледала 2000. године у време лета летелице. У ретким случајевима, где су SRTM мозаици били неупотребљиви, коришћен је Landcover за описивање вода.

NASA подаци се дистрибуирају јавности преко USGS EROS (U.S. Geological Survey - геолошки институт) центра података, а дистрибуцију производа С радара контролише NASA/NGA Меморандум о разумевању. Необрађени подаци о висини терена и DEM-ови са територија ван граница Сједињених Држава су под контролом министарства одбране, мада су NASA и NGA у потрази за решењем како би могли да имају присуп тим подацима у сврху науке, док имају слободан приступ за територију унутар граница САД.

## 5.3. X Радарска производња података

Постројења за обраду података X радара састоје се од система за екранизацију и транскрипцију. InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar,) процесора и система за геокодирање и обраду мозаика. Интерферометријски процесор уноси податке са сваке антене и ствара сложене парове слика. Систем геокодирања и израде мозаика претварао је фазне вредности у вредности надморских висина.

Корак геокодирања састојао се из тачног одређивања сваке тродимензионалне координате сваког пиксела слике. Ова геометријска трансформација примењује се на надморске висине и на мапама кохерентности. Као и код обраде С радара, трансформација података од необрађених вредности до надморских висина, и овде се сваки пиксел обрађује посебно. Процес израде мозаика узима у обзир суседне податке и преклапајуће засебне вредности и тако ствара једну континуирану велику површину - DEM, који се даље дели на плочице 150 x 150 које се трансформишу у DTED) формат (Terrain height Error Data - подаци о грешкама висине терена, приказују случајне грешке у SRTM DEM) и као такве смештају у архиву. То значи да је DEM настао од географских координата, док је формат у коме се подаци даље дистрибуирају DTED. Вредности

надморских висина се посматрају у односу на WGS84, хоризонтално и вертикално, дате су и грешке у висинама, све у виду описивања тачности и кохерентности DEM-а. Настају три различита производа, сложени скуп података са једним погледом, преглед терена са више разлижитих погледа и геокодирани преглед терена.

Подаци X радара се архивирају и прослеђују користећи мулти систем састављен од 4 компоненте: библиотеке производа(архива), контроле производње, архиве робота и сервис корисничке подршке. Испорука производа у потпуности подржава интернет, те се цео кориснички систем заснива на Java Script или WWW технологији која омогућава постављање упита и наручивање производа.

**Табела 2. SRTM DEM спецификације:**

	<b>С радар</b>	<b>Х радар</b>
<b>Хоризонтални размештај</b>	<b>1 x 1 arc sec (~30 x 30 m) или 3 x 3 arc sec (~90 x 90 m) по ширини/ дужини</b>	<b>1 x 1 arc sec (~30 x 30 m) или 3 x 3 arc sec (~90 x 90 m) по ширини/ дужини</b>
<b>Хоризонтална референца</b>	<b>WGS84</b>	<b>WGS84</b>
<b>Вертикална референца</b>	<b>EGM96 геоид</b>	<b>WGS84 елипсоид</b>
<b>Формат у коме се налазе подаци</b>	<b>16 bit интеџер у означеном формату IEEE</b>	<b>16 bit интеџер у означеном формату IEEE</b>
<b>Празна вредност</b>	<b>-32768</b>	<b>-32768</b>
<b>Таласна дужина</b>	<b>5.66 cm</b>	<b>3.1 cm</b>
<b>Пропусни опсег</b>	<b>10 MHz</b>	<b>10 MHz</b>
<b>Угао под којим се посматра</b>	<b>~ 30 – 58 степени</b>	<b>54.5 степени</b>

## 6. Примери употребе и коришћења

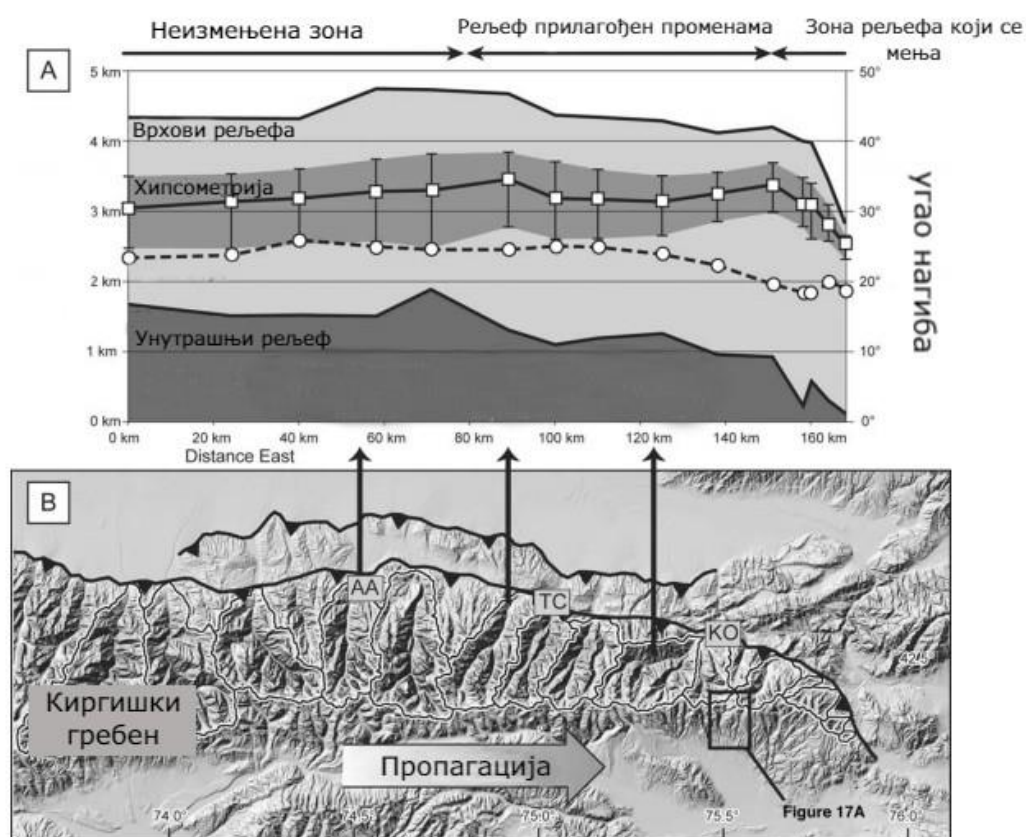
Још од свог лансирања, SRTM подаци су пронашли своје место у бројним истраживањима који имају потребе за топографским подацима. SRTM антена која је постављена ванбродски и осетљива на покрете, коришћена је за мерење океанских струја коришћењем управо X радара.

SRTM нашао је примену у многим другим истраживањима, на бројним конференцијама и литерарним радовима је био активна област проучавања, користи се и у инжењерству.

## 6.1. Геоморфологија

Нове SRTM DEM-ови су имали један од највећих утицаја на геоморфологију, обзиром да пре тога није постојала поуздана дигитална топографија високе резолуције. Уз релативно мало изузетака, данас је доступан готово потпун топографски покривач целог света, изузев полова и представља основу за нове анализе терена. Чак и тамо где су DEM-ови раније били доступни, SRTM подаци представљају униформни квалитет и покривеност која омогућава поузданост у ширим регионима, без обзира на националне границе. У протекле 2 деценије, геолошке и геоморфне науке користиле су дигиталну топографију у две сврхе; прва је директна анализа топографских карактеристика – надморска висина, топографски рељеф, хипсометрија (расподела површине наспрам надморске висине), углови нагиба брда и планина, нагиби река и канала.

Пример региона чија је топографска слика раније била неприступачна јесте Киргишки гребен у северном Киргистану.



**Слика 14.** На слици се уочава како је опсег еволуирао током бочног ширења и прогресивног подизања стена. Како ерозија напада недостижније и уздигнутије површине, прогресивно сецирање постепено преобликује површину док оригинални изглед рељефа све више бледи, унутрашњи рељеф се повећава 6 пута, а хипсометријски опсег и више него двоструко; средња надморска висина повећала се за чак 40 %.

У својој највишој тачки, овај рељеф се уздиже скоро 4 км изнад свог предњег дела, басена Чу. Опсег гребена према источној страни опада, према истраживањима, већ скоро 10 година уназад, како се од ерозије очекује да трансформише ову иницијално равну

површину у интегрисану дренажну мрежу, ово прогресивно мењање гребена њега чини идеалном метом за DEM анализу.

Једна последица "дисекције" рељефа јесте постојање унутрашњег рељефа који дефинише разлику у надморским висинама између свих тачака на задатој удаљености. Након што рутина усмеравања протока дефинише пут воде преко рељефа повезивањем сваког пиксела са пикселом најниже надморске висине прикаченог уз њега, пореде се сви пиксели на узајамном растојању протока. Како дисекција рељефа расте, заравњени делови гребена постају мање стрми, глечери брзо еродирају према горе, а унутрашњи рељеф расте како се вертикално раздвајање дна долине и суседних гребена повећава.

Већина мерења ових трансформација издвојена је управо из SRTM DEM базе, укључујући унутрашњи рељеф, хипсометрију, врхове узвишења и углове падина. На тај начин добија се топографска еволуција овог подручја.

Други приступ примене узима у обзир податке DEM-а и комбинује их са неким другим подацима, остварујући тако увид у различите рељефне процесе. Ако се на пример из DEM-а екстрахује дренажна мрежа подручја и посматрамо водено тело узводно, лако је добити информације о било ком пикселу. Ако бисмо тада објединили просторну расподелу кише преко неког терена са претходним подацима, могуће је проценити просек количине падавина у сваком делу тог рељефног облика, без икаквог претходног знања о просечном пражњењу.

Комбинација овог пражњења са нагибом неког канала даље може дати процену специфичне снаге струје воде или количину енергије коју река троши по јединици површине свог корита. На тај начин, доступност SRTM DEM-а омогућава брзу, валидну процену сливова и падина канала, процене количина падавина по јединици површине, прорачун просторних варијација снаге струје као и предвиђање варијација у стопама ерозије.

Климатске анализе су такође повезане са SRTM DEM-ом. На пример, помоћу комбинације дигиталне топографије планинских ланаца и мапе падавина могу се направити орографски обрасци киша. У пределима залеђених алпских планина, где су било какви климатски подаци ретко могући да се изведу, SRTM DEM и сателитска слика предела могу извући реконструкцију варијација снежних падавина. ELA (Equilibrium Line Altitude) представља просечну надморску висину на глечеру за који је акумулација у равнотежи када се глечер налази у стабилном стању. Такође могуће је на основу обриса некадашњих и садашњих обриса врхова планина који се пренесу у DEM, извући хипсометрију за сваки глечер посебно. Разлика претходног и тренутног ELA, одражава промене у климатским условима кроз време попут повећања или смањивања количине падавина.

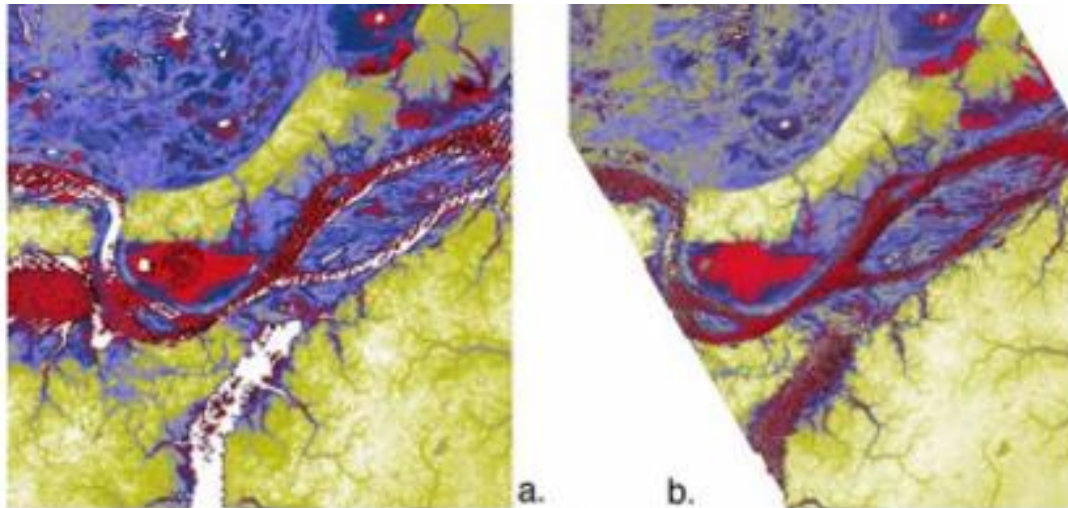
## 6.2. Хидрологија

С обзиром на наше потребе за свежеом, питком водом, најзначајнија истраживања су у области хидрологије су временске и просторне варијације у запремини вода река, језера и мочвара.

Промене у запремини количине воде (ДС) и пражњење (Q) су слабо познати на глобалном нивоу, али су кључни фактор за одржавање циклуса копнених вода. До данашњег дана, једино SRTM је обезбедио глобална мерења површина копнених вода и њихове надморске висине.

Слив реке Амазон је прикладан за даљинско читавање обзиром на оскудност у мерама густине, недостатак поузданих података о нагибу корита, јер те мере могу одредити проточност реке и осцилације у водостају.

Како су антене SRTM-а код С појаса оперисале на угловима између 30 и 58 степени, а антена Х појаса оперише на 54 степена, повратни радарски импулс са водених површина даје информације о деловању ветрова и таласа на исте.



**Слика 15.** На слици се јасно виде вредност надморских висина у басену реке Амазон (а – изведена из С појаса, б-изведена из Х појаса радара). У поређењу са Х појасом, на слици насталој С појасом недостају неки делови басена и неки канали, што је представљено белим површинама. Тачности надморских висина у оба DEM-а су деградиране у односу на околну земљиште. Црвена боја представља најнижу надморску висину, плава је за осредња, док су жутом бојом означена највећа узвишења.

## Литература

1. Farr, T. G., et al. (2007), The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, RG2004
2. <http://www.geoservis.ftn.uns.ac.rs/downloads/ISP/ZbornikStudRadova/14/Milanka%20Grubacic%20O505.pdf>
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Shuttle\\_Radar\\_Topography\\_Mission](https://en.wikipedia.org/wiki/Shuttle_Radar_Topography_Mission)
4. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2005RG000183>



## Програм који црта профил терена између две тачке задате географским ширинама и дужинама

Написан је у Python програмском језику а **слика 1.** и **слика 2.** показују како изгледа покретање и извршење програма.

```
import math
import struct
import matplotlib.pyplot as plt

#ovo je funkcija koja nalazi distance, odnosno udaljenost izmedju dve tacke
# zadate geografskom duzinom i sirinom
def rastojanje(lat1, lon1, lat2, lon2):
    lat1_rad = math.radians(lat1)
    lat2_rad = math.radians(lat2)
    lon1_rad = math.radians(lon1)
    lon2_rad = math.radians(lon2)
    delta_lat = lat2_rad - lat1_rad
    delta_lon = lon2_rad - lon1_rad
    a = math.sqrt((math.sin(delta_lat / 2)) ** 2 + math.cos(lat1_rad) *
math.cos(lat2_rad) * (math.sin(delta_lon / 2)) ** 2)
    d = 2 * 6371000 * math.asin(a)
    return d

# funkcija koja na osnovu koordinati pronalazi odgovarajuci hgt file i cita
nadmorsku visinu tackeS
def get_elevation(n, e):
    imefjla = "N" + str(math.trunc(n)) + "E0" + str(math.trunc(e)) + ".hgt"
    i = n - math.trunc(n)
    j = e - math.trunc(e)
    vrsta = round(i * 1200)
    kolona = round(j * 1200)
    pozicija = (1201 * (1201 - vrsta - 1) + kolona) * 2
    f=open(imefjla, "rb")
    f.seek(pozicija)
    buf = f.read(2)
    val = struct.unpack('>h', buf)
    if not val == -32768:
        return val
    else:
        return None

if __name__ == "__main__":
    #koordinate prve tacke

    nort1 = float(input("Unesite severnu geografsku sirinu prve tacke: "))

    east1 = float(input("Unesite istocnu geografsku duzinu prve tacke: "))
    # koordinate druge tacke
    nort2 = float(input("Unesite severnu geografsku sirinu prve tacke: "))

    east2 = float(input("Unesite istocnu geografsku duzinu druge tacke: "))

    #koordinate koje smo mi koristili za demonstraciju :
    #43.4111904, 20.35528255 - Golija
    #43.3211424, 21.89567149 - Nis

    P1 = [nort1, east1]
    P2 = [nort2, east2]
```

```

# najkraca udaljenost izmedju P1 i P2
distanca = rastojanje(nort1, east1, nort2, east2)

s = 100

interval_lat = (P2[0] - P1[0]) / s # interval za dobijanje latitude
tacaka izmedju P2 i P1
interval_lon = (P2[1] - P1[1]) / s # interval za longitude

lat0 = P1[0]
lon0 = P1[1]

lat_list = [lat0]
lon_list = [lon0]

#dobijanje tacka odgovarajuce lantitude i longitute u odnosu na intervale
for i in range(s):
    lat_step = lat0 + interval_lat
    lon_step = lon0 + interval_lon
    lon0 = lon_step
    lat0 = lat_step
    lat_list.append(lat_step)
    lon_list.append(lon_step)

d_list = []
for j in range(len(lat_list)):
    lat_p = lat_list[j]
    lon_p = lon_list[j]
    dp = rastojanje(lat0, lon0, lat_p, lon_p) / 1000 # km
    round(dp)
    d_list.append(dp)

d_list.reverse()

#uzimanje nadmorskih visina tacaka izmedju p1 i p2
elev_list = []
for j in range(len(lat_list)):
    elev_list.append(get_elevation(lat_list[j], lon_list[j]))

elev_list.reverse()

x = d_list #udaljenost izmedju dve tacke crtamo na x osi
y = elev_list #nadmorsku visinu tacke crtamo na y osi

# napomena: grafik je organizovan tako da je druga unesena tacka na
distanci nula

plt.plot(x[0], y[0], 'bo', color='red', label='P1')
#sluzi da predstavimo tacku P2 koja je na nadmorskoj visini y[0]

plt.plot(x[len(x)-1], y[len(y)-1], 'bo', color='green', label='P2')
#sluzi da prikazemo polaznu tacku P1 koja je na udaljenosti od tacke P2
Distance odnosno x[len(x)-1] km
# a njena nadmorska visina je poslednji element u y listi (y[len(y)-1])
metara

plt.plot(x, y)
#ucrtavamo nadmorske visine tacaka koje se nalaze izmedju tacaka P1 i P2

minimum = min(elev_list)
for i in range(len(lat_list)):
    plt.fill_between(x[i], minimum, y[i], color="skyblue", alpha=0.2,

```

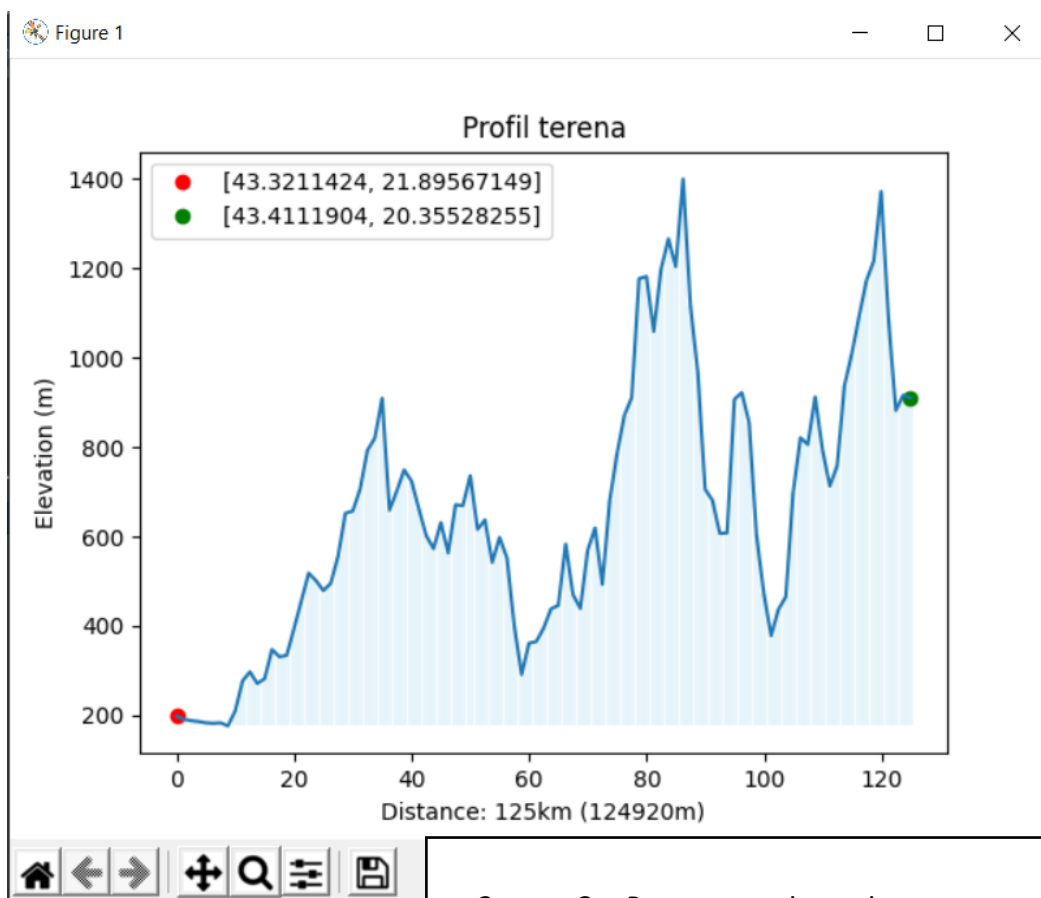
```
lw=3)
    #sluzi samo za sencanje oblasti ispod linije grafika

    plt.legend([P2, P1]) #u legendi stoje koordinate zadatih tacaka
    plt.title("Profil terena", loc="center")
    plt.xlabel("Distance: " + str(round(distanca / 1000)) + "km (" +
str(round(distanca)) + "m)")
    plt.ylabel("Elevation (m)")

    plt.show()
```

```
main x
"C:\Program Files\Python39\python.exe" C:/Users/Andjela/Documents/GitHub/SRTM/SRMTProfilTerena/main.py
Unesite severnu geografsku sirinu prve tacke: 43.4111904
Unesite istocnu geografsku duzinu prve tacke: 20.35528255
Unesite severnu geografsku sirinu druge tacke: 43.3211424
Unesite istocnu geografsku duzinu druge tacke: 21.89567149
|
```

**Слика 1.** На почетку програм захтева од корисника унос координата тачака у нашем примеру то су тачке Голија и Ниш.



**Слика 2.** Резултат који даје програм. Надморске висине (прочитане из .hgt фајлова ) тачака које се налазе између две тачке ( Ниша и Голије).