

Generation of Statewide DEMs and Orthoimages – Guidelines and Methodology

Dandabathula GIRIBABU

National Remote Sensing Centre, Indian Space Reserch Organisation, Hyderabad, India
giribabu.d@nrsc.gov.in

Abstract. Cartosat-1 is a global, high resolution stereoscopic imaging mission to support enhanced applications in several areas of terrain mapping, natural resources management, disaster management, infrastructure and development planning. A collaborative project of generating statewide Digital Elevation Model (DEM) and mosaic of ortho-images for all the states and union territories in India has been completed within the project Space Based Information Support for Decentralized Planning (SIS-DP) using photogrammetric techniques with Cartosat-1 stereo data. Approximately 11000 stereo pairs of Cartosat-1 data were used in this process. Photogrammetric blocks for each state were processed using existing reference tiles and according orthoimages were generated. The paper outlines the methodology for generating statewide Digital Elevation Models (DEM) and orthoimages. Guidelines that govern the quality of the output are discussed. Dissemination mechanism via a publically accessible web platform is described.

Keywords: Cartosat-1, statewide, DEM, orthoimage, development planning, guidelines, quality control, dissemination

1 Introduction

Cartosat-1 is the first Indian Remote Sensing (IRS) satellite capable of providing along-track stereo imagery which was launched on May 5, 2005 by the indigenously built Polar Satellite Launch Vehicle (PSLV) C6 and has successfully completed eight years of service. The satellite was launched with specifications elaborated by Srivastava et al. (2007). The Cartosat-1 satellite has two panchromatic cameras, one forward oriented (fore camera) and an aft camera which can acquire two images simultaneously for near instantaneous stereo data. The spacecraft body is steerable to compensate for the Earth rotation effect and to force both fore and aft cameras to view the same ground strip when operated in stereo mode. The spacecraft has a facility to provide various pitch-biases to vary the view angle conditions of the stereo pair. The main applications of Cartosat-1 are for generating Digital Elevation Models (DEM), orthoimages and value-added products for remote sensing based

applications (ISRO, 2013). The satellite has been operated in three different modes as mentioned in Table 1.

Almost 19 cycles of stereo data collection have been made over the India region and 80% of global cloud free stereo data could be collected in the forward stereo mode. The reverse mode was operated from October, 2010 till March, 2012. In order to acquire 2.5 m data over the Indian region with a quicker repeat cycle, wide-mono acquisitions were initiated since March 15, 2012. When operated in this mode, the satellite can be manoeuvred in such a way that image strips will fall side by side, so that wider swath images of 55 km are obtained by the cameras (NRSC, 2013). To achieve this, the orbit of the satellite has been lowered by approximately 2.5 km. With this orbit configuration it will able to complete one cycle of data collection within approximately 60 days. In this mode of operation, the fore camera and the aft camera will have view angles of 15.5° and -15.5° . Illustration of the forward, reverse stereo and wide-mono modes are shown in Fig. 1.

Stvaranje digitalnih modela visina i ortoslika na razini država – smjernice i metodologija

Dandabathula GIRIBABU

National Remote Sensing Centre, Indian Space Reserch Organisation, Hyderabad, India
giribabu.d@nrsoc.gov.in

Sažetak. Cartosat-1 je globalna stereoskopska misija visoke razlučivosti kojoj je cilj podrška naprednim primjenama u nekoliko područja kartiranja, upravljanja prirodnim sirovinama, upravljanjem katastrofama, planiranja infrastrukture i razvoja. Suradnički projekt stvaranja digitalnih modela visina (Digital Elevation Model – DEM) i mozaika ortoslika za sve države i teritorije u Indiji završeno je u okviru projekta pod imenom "Informacijska podrška temeljena na prostoru za decentralizirano planiranje" (*Space based Information Support for Decentralized Planning – SIS-DP*) upotrebom fotogrametrijskih tehnika sa stereo podacima satelita Cartosat-1. Upotrijebljeno je približno 11000 stereo parova podataka Cartosat-1. Fotogrametrijski blokovi za svaku državu obrađeni su upotrebom postojećih referentnih slikovnih podataka i stvorene su ortoslike. U radu se opisuje metodologija stvaranja DEM-ova i ortoslika za cijelu Indiju. Raspravlja se o smjernicama za kvalitetu izlaznih podataka. Opisuje se način distribucije putem javno dostupne platforme na internetu.

Ključne riječi: Cartosat-1, izmjera države, digitalni model visina, ortoslika, planiranje razvoja, smjernice, kontrola kvalitete, distribucija

1. Uvod

Cartosat-1 je prvi indijski satelit za daljinska istraživanja (Indian Remote Sensing – IRS) sposoban za stereoskopsko slikanje. Lansiran je 5. svibnja 2005. na raketnom nosaču satelita PSLV – Polar Satellite Launch Vehicle C6 domaće proizvodnje i uspješno je radio osam godina. Satelit je lansiran prema specifikacijama koje se mogu naći u Srivastava i dr. (2007). Satelit Cartosat-1 sadrži prednju i stražnju pankromatsku kameru koje mogu istovremeno snimiti dvije slike. Tijelo letjelice može skretati kako bi kompenziralo utjecaj Zemljine rotacije i prisililo obje kamere da se usmjere na isti dio tla u stereo načinu rada. Letjelica može varirati uvjete kuta snimanja za stereo par. Glavna primjena satelita Cartosat-1 je stvaranje digitalnih modela visina (Digital Elevation Models – DEM), ortoslika i proizvoda dodane vrijednosti za aplikacije temeljene na daljinskim istraživanjima (ISRO, 2013). Do sada je satelit upravljan na tri različita načina, koji su opisani u Tablici 1.

Napravljeno je gotovo 19 ciklusa snimanja preko područja Indije i dobiveno 80% globalnih stereo podataka bez pokrivenosti oblacima prilikom prikupljanja u prednjem stereo načinu rada. Obrnut način prikupljanja proveden je od listopada 2010. do ožujka 2012. Kako bi se prikupili podaci razlučivosti 2,5 m na području Indije s bržim ciklusom ponavljanja, 15. ožujka 2012. je pokrenut široki-mono način prikupljanja podataka. U takvom načinu rada satelit se može postaviti tako da slike padaju jedna do druge kako bi se dobile slike široke do 55 km (NRSC, 2013). Kako bi se to postiglo, orbita satelita spuštana je za približno 2,5 km. U takvoj konfiguraciji orbite, moguće je dovršiti jedan ciklus prikupljanja podataka unutar približno 60 dana. U tom načinu rada kutovi gledanja prednje i stražnje kamere iznose 15,50, odnosno -15,50. Slika 1 prikazuje prednji, obrnuti i široki-mono način rada.

U zemljama poput Indije, u kojima se zahtijevaju razvojni planovi na razini lokalnog stanovništva (pančajat – razina zajednice ili sela) te lokalne institucije/ljudi

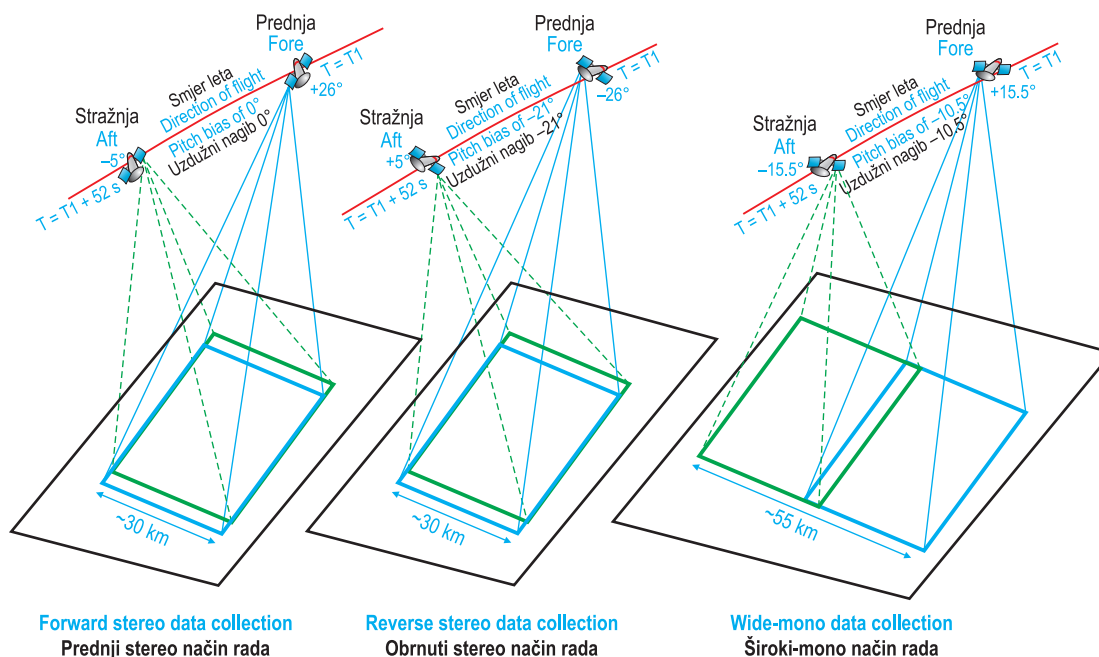
Table 1. Different modes of data acquisition by Cartosat-1

Mode of operation	Pitch bias	View angles of fore camera and aft camera	Period	No. of cycles for global stereo data collection
Forward mode	0	26° & -5°	May 2005 to September 2010	19
Reverse mode	-21°	5° & -26°	October 2010 to March 2012	3
Wide-mono mode	-10.5°	15.5° & -15.5°	March 2012 onwards	7+

There is an increasing demand for timely and reliable geospatial information across countries like India, where developmental plans are required at grass-root level (Panchayat/community or village level) and for making local institutions/people a part of the developmental process. An initiative has been taken by the Indian Space Research Organization (ISRO), Department of Space (DOS) in cooperation with state remote sensing centres and stakeholder departments through a project namely 'Space based Information Support for Decentralized Planning' (SIS-DP), funded by the Planning Commission, Government of India executed through National Remote Sensing Centre (NRSC). The ambition of this initiative is to develop an Information and Communication Technology (ICT) enabled geospatial platform

using space based EO (Earth Observation) systems and engaging local bodies for planning and carrying out area developmental activities in a decentralized, speedy and transparent manner (NRRMS, 2013). To achieve the project goal, inputs in the form of a statewide mosaic of orthoimages play a major role for subsequent generation of thematic layers.

This paper emphasizes the usage of Cartosat-1 stereo data for generating a statewide DEM and a mosaic of ortho-images. Data quality is an important component which affects the reliability of interpretations and decisions. To provide the necessary assurance of data quality, certain specifications and guidelines have to be accepted. Thus the guidelines and specifications that govern the generation of DEM and orthoimage were articulated.

**Fig. 1.** Illustration of Cartosat-1 data acquisition in forward, reverse and wide-mono mode

Slika.1. Prikaz prikupljanja podataka satelita Cartosat-1 u prednjem, obrnutom i širokom-mono načinu rada

Tablica 1. Različiti načini prikupljanja podataka satelitom Cartosat-1

Način rada	Uzdužni nagib	Kutovi gledanja prednje i stražnje kamere	Razdoblje	Broj ciklusa za globalno stereo prikupljanje podataka
Prednji način	0	26° i -5°	od svibnja 2005. do rujna 2010.	19
Obrnuti način	-21°	5° i -26°	od listopada 2010. do ožujka 2012.	3
Široki-mono način	-10,5°	15,5° i -15,5°	od ožujka 2012.	7+

postaju dio razvojnog procesa, sve se više i više traže ažurne i pouzdane geoprostorne informacije. Indijska organizacija za istraživanje prostora (Indian Space Research Organization – ISRO), Odjel za prostor (Department of Space – DOS) u suradnji s državnim središtima za daljinska istraživanja i tijelima dionika kroz projekt „Informacijska podrška temeljena na prostoru za decentralizirano planiranje“ (Space Based Information Support for Decentralized Planning – SIS-DP) kojeg financira Komisija za planiranje Indijske vlade koji se provodi kroz Nacionalni centar za daljinska istraživanja (National Remote Sensing Centre – NRSC) pokrenula je takvu inicijativu. Cilj te inicijative je razvijanje geoprostorne platforme informacijsko-komunikacijske tehnologije upotrebom sustava opažanja Zemlje temeljenog na prostoru i uključivanje lokalnih tijela u planiranje i izvršavanje razvojnih aktivnosti na decentraliziran, brz i transparentan način (NNRMS, 2013). Kako bi se ostvario taj cilj projekta, mozaik ortoslika na razini države igra važnu ulogu za buduće stvaranje tematskih slojeva.

U ovom se radu naglašava upotreba stereo podataka satelita Cartosat-1 za stvaranje digitalnog modela visina na razini zemlje te mozaika ortoslika. Kvaliteta podataka važna je komponenta o kojoj ovisi pouzdanost interpretacija i odluka. Kako bi se osigurala potrebna razina kvalitete podataka, potrebno je prihvatiti određene specifikacije i smjernice koje su izrađene.

1.1. Program znanstvenog vrednovanja satelita Cartosat-1

Na temelju rezultata i rasprave programa znanstvenog vrednovanja satelita Cartosat-1 (Cartosat-1 Scientific Assessment Program – C-SAP), položajna točnost proizvoda stereo podataka satelita Cartosat-1 iznosi oko 150 m bez upotrebe kontrolnih točaka na zemljištu (ground control point – GCP). Položajna točnost može se povećati do na piksel upotrebom kontrolnih točaka (Lutes 2006; Srivastava i dr., 2007; Nandakumar i dr., 2008). Podaci satelita Cartosat-1 upotrebljavaju se zbog svoje

dobre položajne točnosti u različitim područjima, poput procjene prirodnih opasnosti, arheoloških istraživanja, procjene hidroloških parametara i atmosferskih aerosola (Gianinetto, 2009). Većina sudionika programa znanstvenog vrednovanja naglasila je da se stereo podaci satelita Cartosat-1 mogu primijeniti za stvaranje ortoslika točnosti bolje od piksela i topografskih osnovnih karata u mjerilu 1:10 000.

1.2. Ranija primjena stereo podataka satelita Cartosat-1 za velika područja: Obalni-DEM i CartoDEM

Upotrebom 560 stereo slika satelita Cartosat-1 indijske obale (20 km od obale prema kontinentu) Nacionalni centar za daljinska istraživanja proizveo je DEM, točnije Obalni-DEM, koji je prvenstveno primjenjivan za indijsku obalu (Nayak i Kumar, 2008; Mahendra i dr., 2011; Nayak i dr., 2012).

Homogen i bez prekida, CartoDEM proizveden od stereo slika satelita Cartosat-1 bio je dostupan za cijelu zemlju (Srivastava i dr., 2007; Muralikrishnan i dr., 2012). Interno razvijen softver s mogućnošću obrade podataka satelita Cartosat-1 upotrebom triangulacije stereo traka s modelom fizikalnog senzora upotrebljavan je za stvaranje CartoDEM-a i većina podataka dobivena je između 2005. i 2007. Planimetrijska točnost proizvoda CartoDMR-a iznosi 15 m (CE90), a vertikalna točnost 8 m (LE90). Nacionalni centar za daljinska istraživanja stavio je podatke CartoDEM-a (u dijelovima od 1×1°) na raspolaganje javnosti za cijelu Indiju putem svog servisa podataka (NRSC Open Earth Observation Data Archive) (NOEDA, 2013).

2. Ciljevi

Svaka primjena ima vlastite zahtjeve za podacima, uključujući njihovu razlučivost i preciznost, položajnu i atributnu točnost, logičku i semantičku konzistentnost te vremenske parametre (Sugarbaker, 1995). Kao što je opisano u uvodu, projekt SIS-DP zahtijeva podatke za

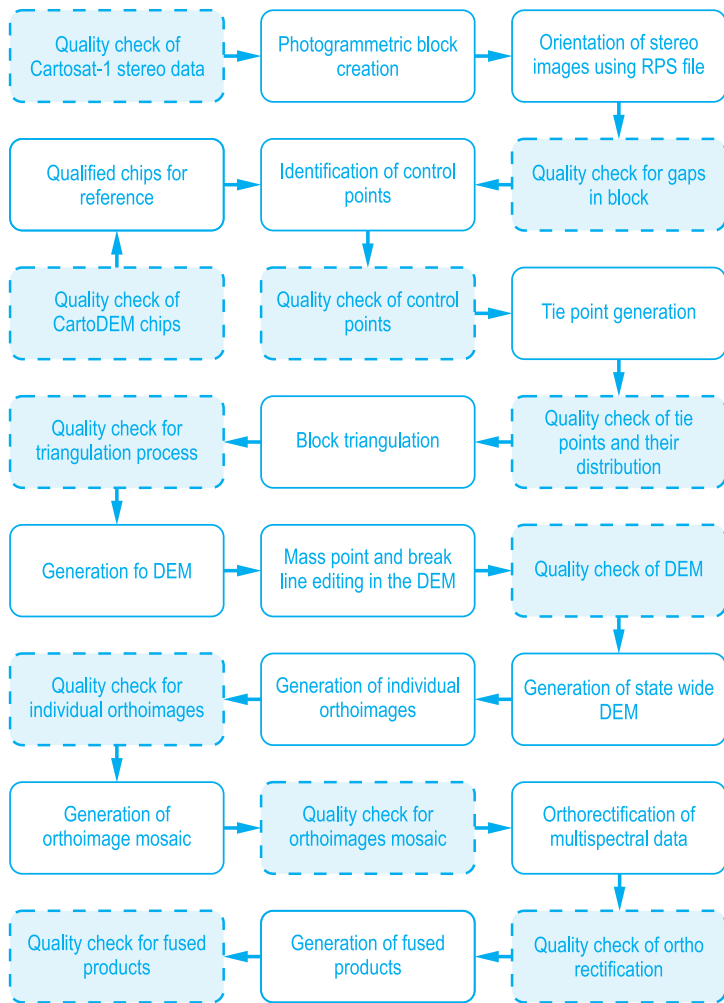


Fig. 2. Methodology for generating fused data within the SIS-DP project

1.1 Cartosat-1 Scientific Assessment Program

From the results and discussion of Cartosat-1 Scientific Assessment Program (C-SAP), geolocation accuracy of the products from Cartosat-1 stereo data was reported around 150 m without using ground control points (GCPs). By using the GCPs, geolocation accuracy is going to increase and be within a pixel (Lutes 2006; Srivastava et al., 2007; Nandakumar et al., 2008). Because of better geolocation accuracy, Cartosat-1 data have been used in different possible fields, such as natural hazard assessment, archaeological exploration, estimation of hydrological parameters and atmospheric aerosols (Gianinetto, 2009). The majority of the C-SAP participants emphasized that the Cartosat-1 stereo data can be used to generate orthoimages with sub-pixel accuracy and to generate topographic base maps at 1:10,000 scale.

1.2 Earlier Utilization of Cartosat-1 Stereo Data for Large Areas: DEM for Indian Coast and CartoDEM

By using 560 connected and gap-free Cartosat-1 stereo images pertaining to Indian coastline (20 km buffer from coastline towards land portion), a DEM has been generated by NRSC – Coastal-DEM which was primarily used for applications related to the Indian coast (Nayak and Kumar, 2008; Mahendra et al., 2011; Nayak et al., 2012).

Seamless and homogeneous DEM – CartoDEM was generated for the entire country using Cartosat-1 stereo images (Srivastava et al., 2007; Muralikrishnan et al., 2012). In-house developed software capable of processing Cartosat-1 using Stereo Strip Triangulation with a physical sensor model was employed for the CartoDEM generation and most of the data has been acquired between 2005 and 2007. The planimetric accuracy of CartoDEM product was reported as 15 m (CE90) and the vertical accuracy is 8 m (LE90). CartoDEM tiles (1 by 1 degree) were made available to the public for the entire India by NRSC through NRSC Open Earth Observation Data Archive (NOEDA, 2013).

2 Objectives

Each application has its own data requirements, including data resolution or precision, locational and attribute accuracy, logical integrity and semantic consistency, completeness and temporal issues (Sugarbaker, 1995). As elaborated in the introduction, SIS-DP project requires concise inputs for the entire country as follows:

- Statewide DEM with 10 m posting.
- Mosaic of ortho-images with 2.5 m spatial resolution at the respective state level.

The Republic of India is the seventh largest country, consisting of 28 states and 7 union territories. Every state has been processed by designated regional project executive body and an identified state representative. Cartosat-1 stereo data falling in between 2007 and 2012 were used for the ascertained project and has been supplied by National Data Centre (NDC), NRSC directly to the respective regional project executive.

3 Methodology

Photogrammetry is the science of precise object reconstruction from imagery (Kraus et al., 2007). By means

cijelu zemlju sa sljedećim svojstvima:

- DEM na razini pojedine države s razlučivosti od 10 m,
- mozaik ortoslika na razini pojedine države prostorne razlučivosti od 2,5 m.

Republika Indija sedma je najveća zemlja na svijetu i sastoji se od 28 država i 7 teritorija. Podatke za svaku njezinu državu obradilo je regionalno projektno izvršno tijelo i predstavnik te države. Stereo podaci satelita Cartosat-1 dobiveni između 2007. i 2012. upotrijebljeni su za taj projekt i dostavio ih je regionalnim predstavnicima izravno Nacionalni centar podataka (National Data Centre – NDC) Nacionalnog centra za daljinska istraživanja.

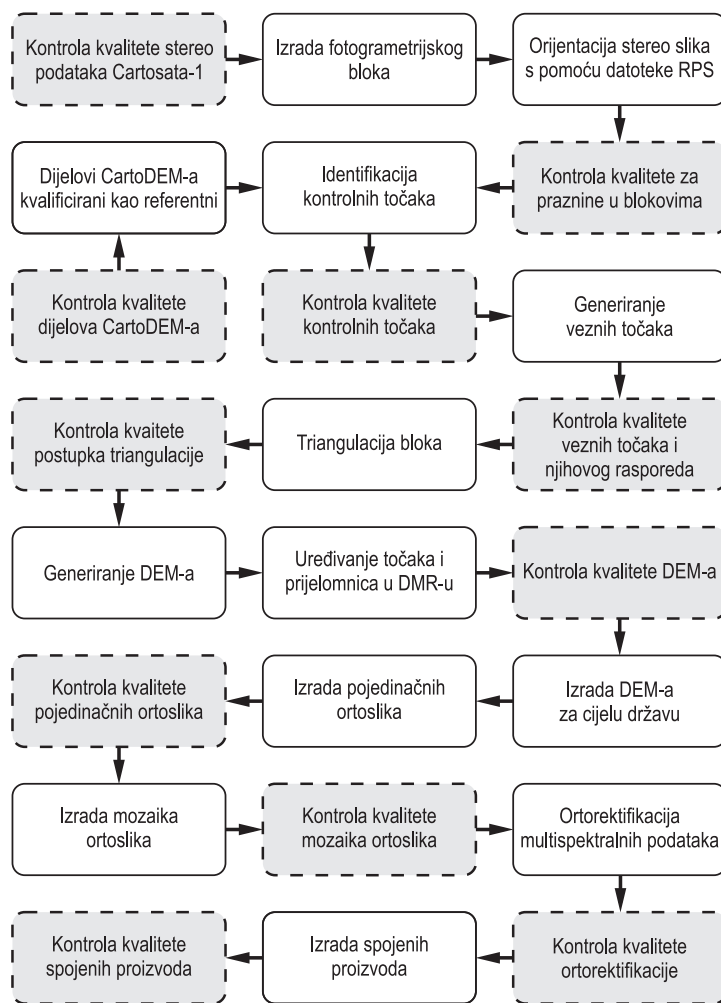
3. Metodologija

Fotogrametrija je znanost precizne rekonstrukcije objekata na temelju slika (Kraus i dr., 2007). Fotogrametrijom je moguće stvoriti trodimenzionalne (3D) modele površine i ortoslike. Izjednačenje bloka stereo slika satelita Cartosat-1 provedeno je fotogrametrijskim softverom Leica Photogrammetric Suite (LPS), verzijama 10.1 i novijim. Postupkom izjednačenja bloka dolazi se do jedinstvenog rješenja za sve slike i minimizira ukupnu pogrešku projiciranja između opažanih i predviđenih točaka, što se izražava kao zbroj kvadrata velikog broja nelinearnih funkcija realnih vrijednosti (Lourakis and Argyros, 2009).

Postizanje fotogrametrijskog rješenja za veće područje zahtjevan je zadatak jer uključuje velik broj stereo parova, mjerenje velikog broja veznih i kontrolnih točaka, triangulaciju i osiguranje izlazne točnosti. Slika 2 prikazuje metodologiju primijenjenu za stvaranje DEM-ova i mozaika ortoslika na razini države unutar projekta SIS-DP.

3.1. Stvaranje blokova

Blok se odnosi na povezane elemente fotogrametrijskog projekta, što uključuje barem model kamere i stereo slike s pripadajućim podacima. U ovom je radu najveći fotogrametrijski blok stvoren za državu Rajasthan s ukupno 920 stereo parova, a slijede je države Madhya Pradesh, Maharashtra i Uttar Pradesh s 880, 800 odnosno 720 stereo parova. Rukovanje tako velikim fotogrametrijskim blokovima od strane jedne osobe nije izvedivo prilikom zadatka određivanja kontrolnih i veznih točaka. Stoga se preporučuje podijeliti cijeli blok na logične podblokove na sustavan način. Međutim, svi su podblokovi povezani u cjelinu u tijeku triangulacije.



Slika 2. Metodologija stvaranja spojenih podataka u okviru projekta SIS-DP

Kvaliteta ulaznih stereo slika ograničit će kvalitetu izlaznih DEM-ova i ortoslika. Radiometrijski kvalificirani podaci smanjit će naknadnu obradu terenskih podataka. Prema Lutesu (2006), slike u stereo paru trebale bi biti vrlo slične u pogledu radiometrije i oštine; to omogućuje pouzdanu stereo obradu i učinkovit automatski proces uparivanja slika. Tako su donesene sljedeće specifikacije kvalitete podataka prije unošenja stereo para u blok:

- preklapanje između bandF (slika dobivenih prednjom kamerom) i bandA (slika dobivenih stražnjom kamerom) trebalo bi biti veće od 90%,
- sadržaj oblaka/dima/sumaglice trebao bi biti manji od 10%; u slučaju da stereo parovi imaju veći sadržaj oblaka, potrebno je sačiniti kompozitne stereo podatke,
- stereo parove koji imaju nedostatke u kvaliteti poput zasićenosti, šuma, prekida i drugih radiometrijski degradirajućih čimbenika potrebno je odbaciti,
- u bloku ne bi trebalo biti nikakvih prekida scene,

of photogrammetry, it is possible to create three dimensional (3D) surface models and orthoimages. Bundle block adjustment for Cartosat-1 stereo images was carried out using photogrammetric software, namely Leica Photogrammetric Suite (LPS), version 10.1 and above. The process of bundle block adjustment computes a single solution for all images and minimizes the total re-projection error between the observed and predicted image points, which is expressed as the sum of squares of a large number of nonlinear, real-valued functions (Lourakis and Argyros, 2009).

Attaining a photogrammetric solution for a larger area is a challenging job, as it includes a large number of stereo pairs, large tie point measurements and control points, performing triangulation and assurance of output accuracy. Figure 2 represents the methodology adopted for generating statewide DEM and orthoimage mosaic within the SIS-DP project.

3.1 Block Creation

A block implies associated elements of a Photogrammetric project, which includes a minimum of camera model and stereo images with associated data. In this study, the largest photogrammetric block was made for the state of Rajasthan, with a total of 920 stereo pairs followed by the states of Madhya Pradesh, Maharashtra and Uttar Pradesh with 880, 800 and 720 stereo pairs, respectively. Handling such large photogrammetric blocks by identifying control points and tie points by a single operator is not a feasible task. Hence it is recommended to divide the entire block into logical sub-blocks in a systematic manner. However, during the triangulation process, all the sub-blocks were integrated as a unit.

The quality of DEMs and orthoimages generated by the photogrammetric process is limited by the quality of input stereo images. Radiometrically qualified data will reduce post processing of terrain editing. Lutes (2006) stated that two images in a stereo pair should be very similar in terms of radiometry and sharpness; this enables comfortable stereo processing and effective automated image matching process. Thus, prior to importing a stereo pair into the block, the following data quality specifications were ensured:

- The overlap between bandF (imagery obtained from the fore camera) and bandA (imagery obtained from the aft camera) should be greater than 90%.
- Cloud/Smoke/Haze content should be less than 10%. In case stereo pairs have more cloud content, composite stereo data has to be constituted.
- Stereo pairs having flaws in image quality like

saturation, noise, streaking and other radiometric degrading factors are to be rejected.

- There should not be any hairline gaps and scene gaps in the block.
- The overlap and side-lap with neighbouring stereo pairs should be more than 20%.
- Stereo pairs belonging to the same season (preferably summer) should be given preference while selecting data.
- Stereo pairs acquired by consistence tilt angle are to be considered.

Stereo pairs satisfying the aforementioned specifications were used in the photogrammetric block. Martha et al. (2010) and Giribabu et al. (2013a) used Cartosat-1 data to generate DEM in Himalayan mountains and observed blunders in the DEM at the parts where image matching was unsuccessful. Martha et al. (2010) observed that the density of match points was lower for the winter season data than the summer season data. Thus preference was given to summer season data in this project. Eighteen cycles of Cartosat-1 stereo data availability exist for any given region between 2007 and 2012. The abundance of available data assures us to select the best radiometrically qualified data for generating DEM and orthoimage. Approximately 11000 stereo pairs were used to generate photogrammetric outputs for the entire India. Stereo stacks (multiple stereo pairs for the same region) were used for areas in which cloud cover is a perennial phenomenon. Figure 3 shows composite frames of stereo imagery pertaining to Maharashtra state with 800 stereo pairs.

Photogrammetric processing of stereo data is usually rigorous, which implies physical modelling of satellite motion and attitude as well as internal sensor geometry. An approach using RPC (Rational Polynomial Coefficients) model is an approximation of the rigorous approach. The geometric model of the photogrammetric blocks for all the states was assigned Indian High Resolution RPC model and the reference coordinate system was a geographic (latitude, longitude) system with horizontal and vertical datums being WGS84. Interior orientation (which establishes transformation parameters between the camera coordinate system and the image coordinate system) and exterior orientation (which defines the position and angular orientation of the camera that captured the image) are computed from the RPC files that are supplied along with the stereo data. Approximately 10 percent extra buffer area was considered for each state in preparing the photogrammetric block to ensure geometric connection with neighbouring states.

- uzdužno i poprečno preklapanje sa susjednim stereo parovima trebalo bi biti veće od 20%,
- stereo parovima koji pripadaju istom godišnjem dobu (po mogućnosti ljetu) trebalo bi dati prednost pri odabiru podataka,
- potrebno je uzimati stereo parove dobivene s konzistentnim poprečnim nagibom snimanja.

Stereo parovi koji zadovoljavaju gornje uvjete upotrijebljeni su u fotogrametrijskom bloku. Martha i dr. (2010) te Giribabu i dr. (2013a) primijenili su podatke satelita Cartosat-1 kako bi stvorili DEM područja Himalaje i opazili su grube pogreške u DEM-u na mjestima gdje uparivanje slika nije bilo uspješno. Martha i dr. (2010) primijetili su da je gustoća identičnih točaka zimskih podataka bila manja od one ljetnih podataka. Tako je u ovom projektu prednost dana ljetnim podacima. Za svaku od regija dostupno je 18 ciklusa stereo podataka satelita Cartosat-1 između 2007. i 2012. Obilje dostupnih podataka omogućuje odabir najboljih radiometrijskih podataka za DEM i ortosliku. Približno 11000 stereo parova upotrijebljeno je za fotogrametrijski prikaz cijele Indije. Stereo stogovi (više stereo parova za isto područje) upotrijebljeni su za određena područja na kojima je pokrivenost oblacima učestala pojava. Slika 3 prikazuje kompozite stereo slika države Maharashtra s 800 stereo parova.

Fotogrametrijskoj obradi stereo podataka obično se pristupa rigorozno, što znači fizikalno modeliranje kretanja satelita i njegove visine, kao i poznavanje geometrije unutarnjih senzora. Pristup u kojem se upotrebljava model racionalnih polinomnih koeficijenata (Rational Polynomial Coefficients – RPC) aproksimacija je rigoroznog pristupa. Geometrijskom modelu fotogrametrijskih blokova svih država dodijeljen je indijski model visoke razlučivosti RPC-a (Indian High Resolution RPC), a referentni koordinatni sustav bio je geografski sustav (širina, dužina), pri čemu je položajni i visinski datum WGS84. Unutarnja orijentacija (koja ustanovljuje parametre transformacije između koordinatnog sustava kamere i onoga slike) i vanjska orijentacija (koja određuje položaj i kutnu orijentaciju kamere koja je snimila sliku) računaju se iz datoteka RPC-a koje su dobavljene zajedno sa stereo podacima. Za svaku od država uzeto je u obzir približno 10% dodatne površine u pripremanju fotogrametrijskog bloka kako bi se osigurala geometrijska povezanost sa susjednim državama.

3.2. Zbirka kontrolnih točaka

Zemljišne kontrolne točke (Ground Control Points – GCP) imaju suštinsku ulogu za uspostavu točnog odnosa

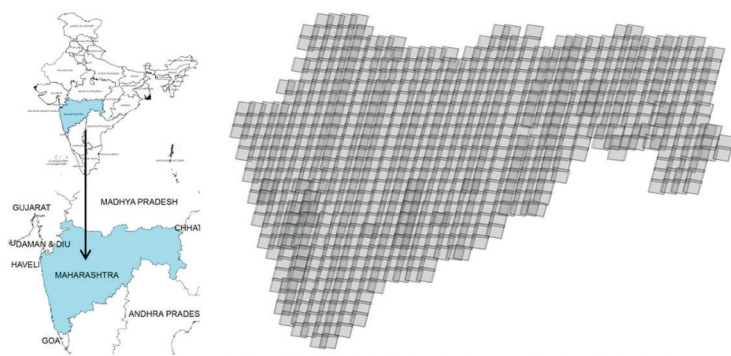


Fig. 3. Photogrammetric block with 800 frames for the state of Maharashtra

Slika 3. Fotogrametrijski blok s 800 slika za državu Maharashtra

između stereo slika u fotogrametrijskom bloku, geometrije senzora i tla. GCP-ovi su objekti koji se nalaze na Zemljinoj površini s poznatim trodimenzionalnim koordinatama (X, Y, Z). Veći broj GCP-ova omogućuje da se smanji prirast pogrešaka u računanju trodimenzionalnog fizikalnog modela tako da se primijeni iterativna metoda najmanjih kvadrata (Toutin and Chenier, 2004). Međutim, dosljedna dostupnost velikog broja GCP-ova nije izvediva. Što su GCP-ovi točniji, manje ih je potrebno za modeliranje (Savopol i dr., 1994). Ti su GCP-ovi dobiveni iz referentnih podataka CartoDEM-a dobavljenih u okviru projekta. U teoriji, dovoljne su dvije položajne (GCP s poznatim koordinatama X i Y) i tri visinske (poznata koordinata Z) kontrolne točke, no potrebno je više točaka kako bi se postigla dovoljna točnost (Jacobsen, 2002). Međutim, u slučaju nedostupnosti dovoljnog broja GCP-ova koji se odnose na stereo par, moguća je kompenzacija odgovarajućim brojem veznih točaka (Kapnias i dr., 2007). Slijede smjernice primijenjene za određivanje kontrolnih točaka u okviru projekta SIS-DP:

- kontrolne točke treba definirati na prepoznatljivom objektu na obje slike (npr. raskrižje ili neki nepokretni objekt). Prednost treba dati rubovima objekata; ako područjem dominira šuma, prednost se može dati izoliranim grmovima,
- treba izbjegavati definiranje GCP-ova u sjenama, područjima niskog kontrasta i krošnjama stabala,
- broj GCP-ova za stereo par trebao bi biti veći od 3 i oni trebaju biti dobro raspoređeni,
- u području preklapanja dvaju susjednih stereo parova treba utvrditi barem dvije kontrolne točke. Područja u kojima se preklapaju tri stereo para (6 slika uparenih bandA i bandF) trebala bi imati zajedničku kontrolnu točku (6-ray point, točka sa 6 zraka); kontrolne točke ne bi trebalo definirati na područjima gdje se preklapa neparni broj slika.

Table 2. Specifications for tie points with respect to topography

Type of dominant topography	Minimum no. of tie points per stereo pair
Flat to gently undulated terrain	50-100
Gently undulated to hilly terrain	100-200
Hilly terrain to mountainous terrain	200-500

3.2 Collection of Control Points

GCPs play an essential role in establishing an accurate relationship between the stereo images in the photogrammetric block, the sensor geometry and the ground. GCPs are identifiable features located on the Earth's surface whose 3D ground coordinates (X, Y, Z) are known. A larger number of GCPs enable errors to be reduced in the computation of the 3D physical model by using an iterative least square adjustment method (Toutin and Chenier, 2004). But the consistent availability of a large number of GCPs is not feasible. The more accurate the GCPs, the fewer GCPs needed for modelling (Savopol et al., 1994). These GCPs were derived from reference CartoDEM tiles as supplied within the project. In theory, two horizontal (GCP with known X and Y coordinate) and three vertical (known Z coordinate) control points were required, but more control points are necessary for sufficient accuracy (Jacobsen, 2002). However, in case of non-availability of GCP chip pertaining to the stereo pair, it can be compensated with a good number of tie points (Kapnias et al., 2007). The following are the guidelines incorporated in the SIS-DP project for marking control points.

- Control points have to be recognizable in both images (like the intersection of roads, permanent immovable feature). Preference has to be given to corner features. If the area is dominated by a forest type of land-use, then priority can be given nearer to isolated shrubs or bushes.
- Marking GCPs in shadows, low contrast area and on treetops should be avoided.
- The number of GCPs for a stereo pair should be greater than three and they are to be distributed well.
- A minimum of two control points have to be identified in the overlap region of two adjacent stereo pairs. Regions with overlap of three stereo pairs (6 images of paired bandA and bandF) should have 6-ray control point. A control point should not be marked on an odd number of images.

Figure 4 shows all the control points marked in the block file pertaining to the state of Bihar.

3.3 Tie Point Generation

A tie point is a point whose ground coordinates are not known but are visually recognizable in the overlap area between two or more images and it is not related to any ground related information. Tie points evenly distributed over the whole area of an image intuitively present a stable geometric connection to its neighbouring images in the block (Tang et al., 1997). Tie points are generated automatically using strategy parameters available in the software. A single specific strategy will not suffice to generate tie points for all the images in the block. To reduce the manual filtering process of outliers, it was suggested to use a correlation coefficient greater than 0.85. However, a manual check of tie points was also encouraged to filter bad tie points. Least square matching techniques were used to ensure the quality of corresponding match points approximates to 0.1 to 0.2 of a pixel. Manual methods were employed in the regions where forest or homogeneous texture exists and the automatic tie point method fails. Table 2 describes specifications for tie points between images of stereo pairs with respect to topography

It is recommended to remove tie points occurring on treetops and shadow regions. Multi-ray tie points were marked as fresh using manual identification or extended from existing two ray tie point to a 4 ray tie point if that point falls in the overlapping area of its neighbouring stereo pairs. Similarly, a four ray tie point has been extended to a six ray tie point if the overlapping area contained 3 stereo pairs. Multi-ray tie points lead to strong interior geometric stability of the block and play a vital role in obtaining a seamless mosaic of orthoimages. Automatic tie point transfer facility offers improved productivity, but care has to be taken that the transfer will be on both the images in the stereo pairs. Tie points falling in an odd number of images have to be removed. Figure 5 shows a typical distribution of multi-ray tie points in the overlapping regions of the block file pertaining to the state of Assam.

3.4 Block Triangulation

Block triangulation is the process of defining the mathematical relationship between all images in a block, the model and the ground. Bundle block adjustment aims at simultaneously processing all the images contained in the block with one solution. Least square adjustment is used to estimate the bundled solution for

Slika 4 prikazuje sve kontrolne točke označene u datoteci bloka koja se odnosi na državu Bihar.

3.3. Definiranje veznih točaka

Vezna je točka ona čije koordinate na tlu nisu poznate, ali ih se može identificirati u području preklapanja dviju ili više slika. Vezne točke ravnomjerno raspoređene po cijelom području slike intuitivno predstavljaju stabilnu geometrijsku vezu sa susjednim slikama u bloku (Tang i dr., 1997). Te se točke stvaraju automatski upotrebom strateških parametara koji su dostupni u softveru. Jedna određena strategija neće biti dovoljna za stvaranje veznih točaka za sve slike u bloku. Kako bi se smanjilo ručno filtriranje outliera (stršećih vrijednosti, tj. onih koje se može smatrati pogrešnima), predlaže se upotreba koeficijenta korelacije većeg od 0,85. Međutim, također se predlaže ručna provjera veznih točaka kako bi se filtriralo i loše točke. Tehnike najmanjih kvadrata za povezivanje upotrebljavaju se kako bi kvaliteta odgovarajućih veznih točaka imala točnost od približno 0,1 do 0,2 piksela. Ručne metode primijenjene su u područjima sa šumama ili homogenom teksturom i gdje automatska metoda nije pokazala uspjeh. Tablica 2 prikazuje specifikacije za vezne točke između slika stereo parova u odnosu na topografiju.

Tablica 2. Specifikacije za vezne točke u odnosu na topografiju

Dominantan tip topografije	Najmanji broj veznih točaka za stereo par
Ravan do blago valovit teren	50-100
Blago valovit do brežuljkast teren	100-200
Brežuljkast do planinski teren	200-500

Preporučuje se uklanjanje veznih točaka koje se nalaze na krošnjama stabala i u zasjenjenim područjima. Vezne točke s više zraka (koje se mogu identificirati na više snimaka) označene su kao nove tijekom ručne identifikacije ili prilikom proširenja od postojeće vezne točke s dvije zrake na veznu točku s četiri zrake, ako ta točka pada na područje preklapanja susjednih stereo parova. Slično, vezna točka sa četiri zrake proširena je na veznu točku sa šest zraka ako područje preklapanja sadrži 3 stereo para. Vezne točke s više zraka dovode do jače unutarnje geometrijske stabilnosti bloka i igraju bitnu ulogu u dobivanju bešavnog mozaika ortoslika. Automatsko povezivanje veznih točaka povećava produktivnost, ali treba osigurati da se prijenos obavi na

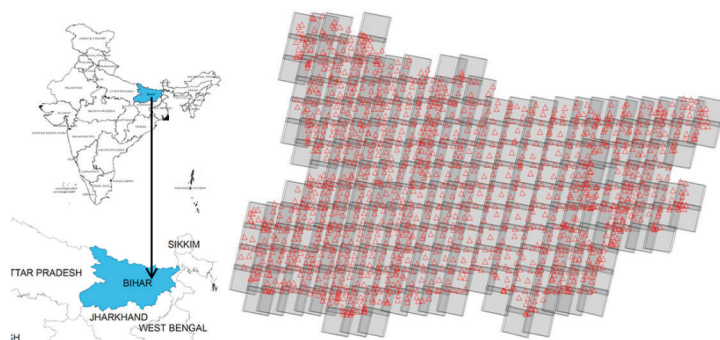


Fig. 4. Distribution of control points for the photogrammetric block pertaining to the state of Bihar

Slika 4. Raspodjela kontrolnih točaka za fotogrametrijski blok koji se odnosi na državu Bihar

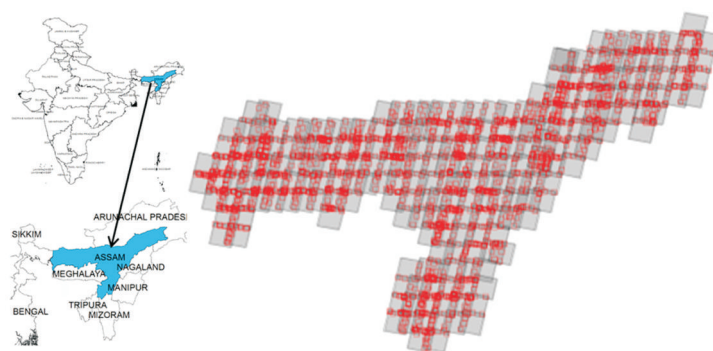


Fig. 5. Typical distribution of multi-ray tie points in the overlap region for the state of Assam within SIS-DP

Slika 5. Tipična raspodjela veznih točaka na više snimaka u području preklapanja za državu Assam u okviru projekta SIS-DP

obje snimke u stereo paru. Vezne točke koje padaju u neparan broj snimki potrebno je ukloniti. Slika 5 prikazuje tipičnu raspodjelu veznih točaka s više zraka u područjima preklapanja stereoparova bloka koja se odnosi na državu Assam.

3.4. Triangulacija bloka

Triangulacija bloka je postupak definiranja matematičke povezanosti između svih slika jednog bloka, modela i tla. Izjednačenje bloka cilja na istovremenu obradu svih slika unutar bloka s jednim rješenjem. Izjednačenje najmanjim kvadratima upotrebljava se za procjenu rješenja snopa za cijeli blok uz svodenje pogreške na najmanju moguću mjeru i raspodjelu iste. Potrebno je osigurati da se točke s grubom greškom isključi iz triangulacije. Ukupna kvaliteta triangulacije trebala bi biti s točnosti boljom od pola piksela, a granična odstupanja na X, Y i Z trebaju se držati specifikacija mogućnosti senzora. Odstupanja točaka slike trebala bi biti unutar piksela.

the entire block while minimizing and distributing error. It is to be ensured that blunder points, single ray points are to be excluded from the triangulation process. The total refinement summary of triangulation should be less than half of the pixel resolution and residual limits at X, Y and Z should adhere to specifications of sensor capability. Residuals at image points should be within a pixel.

3.5 DEM Generation and Editing

After accepting the triangulation result, Leica Terrain File (LTF) files were generated individually for all the stereo pairs in the block file. LTF files are capable of storing 3D information in the form of mass points, as well as break lines and are optimized for editing in stereo environment. Post processing of DEM in 3D environment improves accuracy (Toutin, 2002). Editing includes removing or re-adjusting wrong mass points (individual spot elevation of DEM) and adding break-lines (lines that define critical changes in topographical shape) with project specifications.

After accepting the photogrammetric solution using triangulation, epipolar images that are re-projected will have a common orientation and matching features appear along a common horizontal axis. Stereo vision is feasible with the help of images which are along the epipolar plane (Giribabu et al., 2013b). Mandatory break-line features are water bodies (single and double line rivers in the uphill direction, reservoirs, islands, lakes and others), embankments, transport networks (rail and road), etc. It is recommended to consider the bottom quartile of elevation for waterbodies. All mass points and break lines that are added should have zero tolerance, which means that no features are discarded as unimportant.

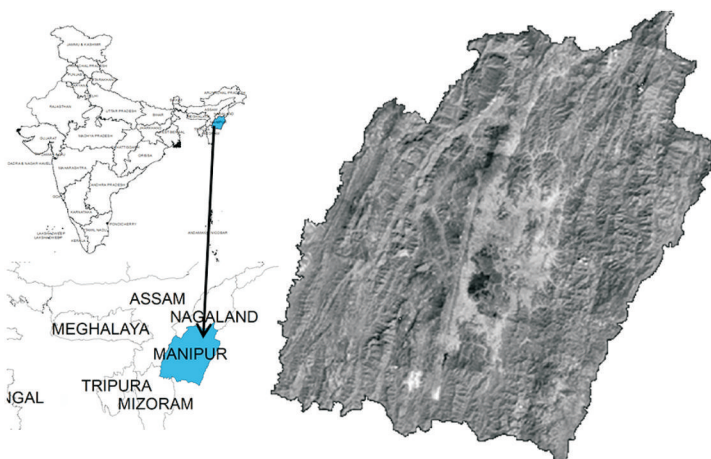


Fig. 7. Statewide orthoimage for the state of Manipur
Slika 7. Ortoslika na razini države Manipur

After performing a quality check for the LTF files, these were used to generate single DEM using the terrain preparation tool with a cell size of 10 m. Visual assessment for evaluating the quality of DEM was performed as described (Padobnikar, 2009). Techniques like measuring the total area of sink drainage were used. Such sink drainages can occur due to errors in input data or imperfect interpolation (Wang and Liu, 2006; Setiawan et al., 2013).

An error free DEM cannot be generated in a single process; it requires repetitive efforts and continuous evaluation process. The required flaws in the DEM can be summarized in the metadata and DEM can be released with a version identity so that successive operations will not hamper. Figure 6 shows the DEM for the state of Uttarakand.

Unprocessed imagery has large distortions which are caused by systematic and non-systematic errors, such as camera and sensor orientation, terrain relief and Earth curvature. In orthoimage, the scale will be constant and will be free of distortion due to relief displacement. The state-wide DEMs generated in the previous step were used to generate individual orthoimage for all the near-nadir images in the photogrammetric block.

Radiometric and geometric characteristics of an individual orthoimage play a crucial role in achieving a visually appealing mosaic of orthoimage for a large area. The geometric fitness of an individual orthoimage ensures seamlessness and radiometric characteristics of an individual orthoimage ensure homogeneous brightness in the final output. The state-wide mosaic of orthoimages for all the states were then checked for data quality pertaining to radiometry and geometry. Visual checks were employed to ensure there are no gaps in entire mosaic.

Errors at this stage could be transmitted to derived products like fused products. The geometric quality required with the project technical specification was a RMSE less than 2.4 m specified as a maximum value calculated both in x and y direction. Figure 7 shows the state-wide mosaic of orthoimages for the state of Manipur and Figure 8 represents the state-wide mosaic of orthoimages for the state of Bihar.

LISS-IV from ResourceSat is a high resolution multispectral camera operating in three spectral bands (0.52 – 0.59 μm ; 0.62 – 0.68 μm ; 0.77 – 0.86 μm) with a spatial resolution of 5.8 m at nadir. The mosaic orthoimage generated from Cartosat-1 is used to ortho-rectify these data using projective transformation. After ortho-rectifying LISS IV multispectral data using Cartosat-1 orthoimages, the next accomplished task was image fusion. Rule based fusion techniques to preserve the

3.5. Stvaranje i uređivanje DEM-a

Nakon prihvaćanja rezultata triangulacije, pojedinačno su stvorene datoteke u formatu Leica Terrain File (LTF) za sve stereo parove unutar datoteke bloka. Datoteke LTF mogu spremi 3D informacije u obliku masovnih točaka i prijelomnica i optimirane su za uređivanje u stereo okruženju. Naknadno obrađivanje DEM-a u 3D okruženju poboljšava točnost (Toutin, 2002). Uređivanje uključuje uklanjanje ili ponovno izjednačenje pogrešnih masovnih točaka (visina pojedinih mjesta u DEM-u) i dodavanje prijelomnica (linija koje određuju kritične promjene u topografskom obliku) sa projektnim specifikacijama.

Nakon prihvaćanja fotogrametrijskog rješenja upotrebom triangulacije, epipolarne slike koje su reprojicirane imat će istu orijentaciju i međusobno pridružene objekte uzduž zajedničke vodoravne osi. Stereo gledanje izvedivo je uz pomoć tih slika koje su uzduž epipolarne ravnine (Giribabu i dr., 2013b). Obvezno se kreiraju prijelomnice na objektima hidrografije (jednostruke i dvostruke linije za rijeke kreiraju se uzvodno, rezervoari, otoci, rijeke, jezera i dr.), nasipa, transportne mreže (željezničke pruge i ceste) itd. Preporučuje se razmatranje donjeg kvartila visina za vodena tijela. Sve dodane masovne točke i prijelomnice trebaju imati nultu toleranciju, što znači da se nijedan objekt ne odbacuje kao nevažan.

Nakon provjere kvalitete datoteka LTF, upotrijebilo ih se za stvaranje jednog DEM-a primjenom alata za izradu modela terena s veličinom ćelije od 10 m. Provedena je opisana vizualna procjena kvalitete DEM-a (Padobnikar, 2009). Primijenjene su tehnike poput mjerenja ukupnog područja lokalnih depresija u terenu (sink drains). Takve lokalne depresije mogu biti uzrokovane pogreškama u ulaznim podacima ili nesavršenom interpolacijom (Wang i Liu, 2006; Setiawan i dr., 2013).

U jednom postupku nije moguće doći do DEM-a bez grešaka; on zahtijeva ponavljanje i stalnu evaluaciju. Prisutne nedostatke DEM-a može se prikazati u metapodacima i može se uz DEM dati njegova verzija tako da buduće dorade budu razlikovane. Slika 6 prikazuje DEM za državu Uttarakhand.

Neobrađene slike imaju velike deformacije uzrokovane sustavnim i nesustavnim greškama, poput orijentacije kamere i senzora, reljefom i Zemljinom zakrivljenošću. Mjerilo ortoslike konstantno je i bez deformacija uzrokovanih visinama reljefa. DEM-ovi na razini države stvoreni u prethodnom koraku upotrijebljeni su za stvaranje ortoslika iz svih dijelova slika blizu nadira u fotogrametrijskom bloku.

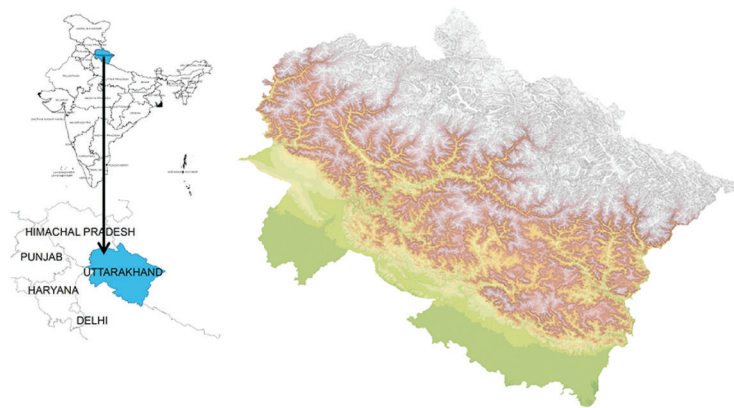


Fig. 6. Statewide DEM (combined hypsometry and shaded relief) for the state of Uttarakhand

Slika 6. DEM (prikazan hipsometrijom i sjenčanjem) na razini države Uttarakhand

Radiometrijska i geometrijska svojstva pojedinih ortoslika igraju presudnu ulogu u postizanju vizualno privlačnog mozaika ortoslika za veliko područje. Geometrijska svojstva pojedinih ortoslika osiguravaju bešavnost, a radiometrijska svojstva pojedinih ortoslika osiguravaju homogenu osvijetljenost u konačnom mozaiku. Provjerena je radiometrijska i geometrijska kvaliteta podataka mozaika ortoslika za svaku državu. Vizualnom provjerom osigurano je da u mozaiku nema prekida.

Greške koje se pojave u ovoj fazi mogu se prenijeti u izvedene proizvode. Geometrijska kvaliteta koju zahtijevaju tehničke specifikacije projekta određena je maksimalnom srednjom kvadratnom pogreškom (RMSE) manjom od 2,4 m izračunatom u smjerovima x i y. Slika 7 prikazuje mozaik ortoslika na razini države Manipur, a slika 8 prikazuje mozaik ortoslika na razini države Bihar.

LISS-IV iz satelita ResourceSat je višespektralna kamera visoke razlučivosti koja radi u trima spektralnim snopovima (0,52 – 0,59 μm ; 0,62 – 0,68 μm ; 0,77 – 0,86 μm) s prostornom razlučivosti od 5,8 m u nadiru. Mozaik ortoslika iz satelita Cartosat-1 upotrijebljen je za ortoispravljanje tih podataka primjenom projektivne transformacije. Nakon ortoispravljanja višespektralnih podataka kamere LISS-IV upotrebom ortoslika satelita Cartosat-1, obavljeno je spajanje slika. Primijenjene su tehnike spajanja temeljene na pravilima kako bi se sačuvala prostorna razlučivost ortoslike satelita Cartosat-1 i spektralnih obilježja višespektralnih podataka kamere LISS-IV. Te su tehnike interno razvijeni algoritmi podešeni svojstvima podataka satelita Cartosat-1 i kamere LISS-IV.

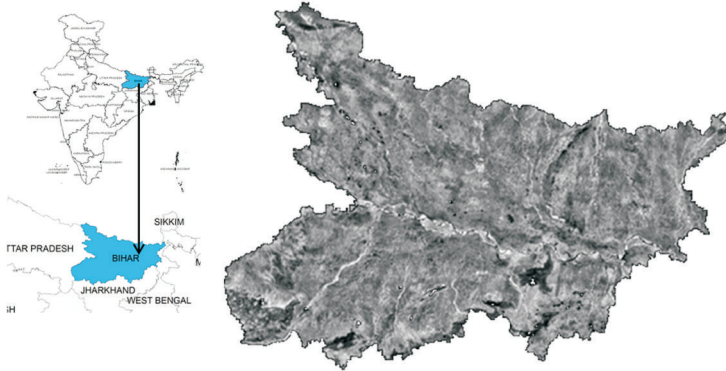


Fig. 8. Statewide orthoimage for the state of Bihar
Slika 8. Ortoslika na razini države Bihar

- Quality check of reference data (CartoDEM tiles)
- Marking of control points and tie points
- Triangulation process
- DEM editing and final DEM generation
- Seamless mosaic of Ortho-image generation
- Ortho-rectification of LISS-IV multispectral data and fused products

The scrutiny involved a review, inspection or quantitative measurements against well-defined pass/fail criteria which are set out as guidelines in the project. The information used in quality audit was mainly provided by quality control records which are generated during the work.

5 Dissemination and Utilization

Effective utilization of available geographic data for developmental purposes requires open dissemination. Bhuvan is a geoportal of ISRO showcasing Indian EO capabilities through online rendering of multisensor, multiresolution and temporal IRS imagery with functionality for overlaying value-added thematic information (Bhuvan, 2013). Bhuvan portal provides data products for download and the thematic datasets are provided as OGC web services towards online geo-processing, whilst serving for societal good. Natural colour composites generated within the SIS-DP project was successively integrated into the Bhuvan geoportal system. The 2.5 m natural colour composite image appears at the highest zoom level in the geoportal.

Information about the nature, extent, spatial distribution, potential and limitations of natural resources are a pre-requisite for various developmental activities (Rao, 2000). By virtue of its synoptic coverage, the statewide mosaic of orthoimages holds great promise in providing valuable information pertaining to natural resources and environment by guiding in developmental plans. Geospatial data has become a critical ingredient in the decision making process and can be important for improving productivity in many sectors of the economy. Figure 9 is a screenshot of the Bhuvan web portal that is being integrated with the data generated from SIS-DP.

6 Conclusion

For developing countries like India, orthoimages would aid developmental plans and help utilize the country's resources in a rational manner. Generating orthoimages for the entire country requires a well-planned strategy for implementation, rigorous efforts, and stringent practices of quality control, and at the

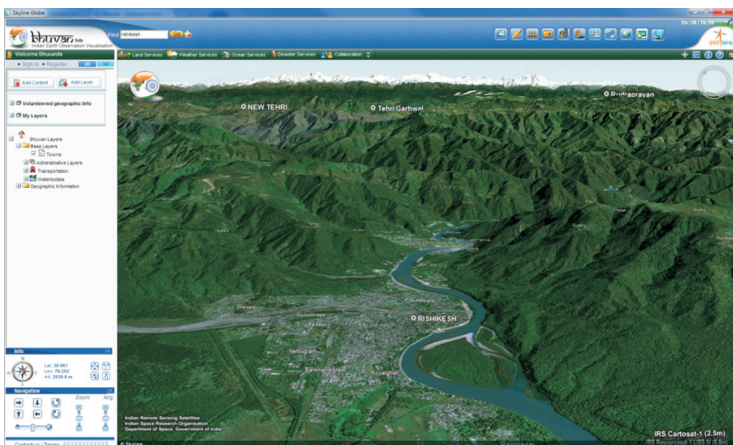


Fig. 9. Bhuvan web portal showing Rishikesh and surroundings
Slika 9. Web-portal Bhuvan s prikazom Rishikेशa i okoline

spatial resolution of the Cartosat-1 orthoimage and spectral features of LISS-IV multispectral data were used during the process of image fusion. This rule based fusion techniques were in-house developed algorithms which were tuned to the characteristics of Cartosat-1 and LISS-IV multispectral data.

4 Stages of Quality Control

Quality control (QC) is a clear and specific task that scrutinizes all or a sample of items during or at the end of various phases till the end product generation. In the process of generating statewide DEM and ortho-image generation for all the states, QC is a two-phase process including internal QC (where all output will be scrutinized by an expert committee by filling up QC records) and external QC (where QC is done by selecting one or more samples). Quality audit was done in the following phases:

- Screening of Cartosat-1 stereo data
- Photogrammetric block properties and block file constitution

4. Faze kontrole kvalitete

Kontrola kvalitete (quality control – QC) jasan je i određen zadatak razmatranja svih ili dijela objekata za vrijeme ili na kraju različitih faza sve do stvaranja krajnjeg proizvoda. U postupku stvaranja DEM-ova na razini države i ortoslika za sve države, kontrola kvalitete sastojala se od dviju faza, od kojih je prva bila unutarnja kontrola kvalitete (u kojoj će cijeli rezultat proučavati skupina stručnjaka koji će ispuniti odgovarajuću dokumentaciju), a druga vanjska kontrola kvalitete (odabir uzor(a)ka). Provjere su provedene u sljedećim koracima:

- provjera stereo podataka satelita Cartosat-1,
- svojstva fotogrametrijskog bloka i stvaranje datoteke bloka,
- provjera kvalitete referentnih podataka (CartoDEM tiles),
- označavanje kontrolnih i veznih točaka,
- postupak triangulacije,
- uređivanje DEM-a i konačno stvaranje DEM-a,
- bešavni mozaik ortoslike,
- orto-ispravljanje multispektralnih podataka kamere LISS-IV i njihovog spajanja.

Provjere su uključivale pregled ili kvantitativna mjerenja u odnosu na dobro definirane kriterije postavljene kao smjernice projekta. Informacije u provjerama kvalitete uglavnom su preuzete iz dokumentacije proizvedene tijekom rada.

5. Diseminacija i upotreba

Učinkovita upotreba dostupnih geografskih podataka za razvojne svrhe zahtijeva otvorenu diseminaciju. *Bhuvan* je geoportal ISRO-a koji pokazuje indijske mogućnosti opažanja Zemlje (Earth Observation – EO) putem online iscrtavanja višesenzorskih, višerazlučivih i vremenskih snimki indijskih satelita za daljinsko istraživanje (Indian Remote-Sensing Satellite – IRS) s funkcionalnošću prekrivanja tematskih informacija dodane vrijednosti (*Bhuvan*, 2013). Portal *Bhuvan* omogućuje preuzimanje podatkovnih proizvoda i tematskih skupova podataka raspoloživih kroz web usluge OGC-a za mrežnu obradu prostornih podataka i služe kao društveno dobro. Kompozitne slike prirodnih boja proizvedene u okviru projekta SIS-DP uspješno su ugrađene u *Bhuvan*. Kompozitna slika prirodnih boja razlučivosti 2,5 m nalazi se na najvećem stupnju povećanja na geoportalu.

Informacije o prirodi, opsegu, prostornoj raspodjeli, potencijalima i ograničenjima prirodnih bogatstava preduvjet je različitih razvojnih aktivnosti (Rao, 2000). Zbog svoje sinaptičke pokrivenosti, mozaik ortoslika obećavajuć je za dobivanje vrijednih informacija u razvojnim planovima koji se odnose na prirodna bogatstva i okoliš. Geoprostorni podaci postali su kritičan sastojak u odlučivanju i važni su za poboljšanu proizvodnost u različitim sektorima gospodarstva. Slika 9 prikazuje stranicu web-portala *Bhuvan* povezanu s podacima iz projekta SIS-DP.

6. Zaključak

Za zemlje u razvoju kao što je to Indija, ortoslike pomažu u razvojnim planovima i razumnoj upotrebi njihovih resursa. Stvaranje ortoslika za cijelu zemlju zahtijeva dobro planiranu strategiju, rigorozne napore i kvalitetu kontrole. Istovremeno, svojstva satelitskog senzora trebaju biti svestrana kako bi se podržao opsežan lanac operacija za stvaranje baza podataka poput DEM-ova visoke razlučivosti i ortoslika.

Ovaj rad uvažava različita svojstva satelita Cartosat-1 koja se mogu upotrijebiti za stvaranje ortoslika na razini države s visokom geometrijskom vjernošću i radiometrijskom kvalitetom. Obilje stereo podataka satelita Cartosat-1 od njegovog lansiranja omogućuje korisnicima odabir najboljih podataka za fotogrametrijski izlaz. Rad opisuje metodologiju stvaranja DEM-ova i ortoslika na razini država. Raspravljeno je o različitim fazama stvaranja ortoslike sa smjernicama za kvalitetu rezultata. Ti se podaci mogu upotrijebiti za proizvodnju ažuriranih tematskih karata. Diseminacija podataka dionicima i njihova dostupnost putem web-portala mogućnost je bez presedana za karakterizaciju i procjenu indijske zemlje, što će omogućiti provedbu razvojnih programa.

Zahvale

Autor iskreno zahvaljuje Dr. V. K. Dadhwalu, ravnatelju NRSC-a, ISRO, koji je omogućio ovaj rad. Autor također posebno zahvaljuje projektnom direktoru, projektnim menadžerima, regionalnim izvršnim menadžerima projekta SIS-DP i ravnateljima svih državnih centara za daljinska istraživanja za njihove vrijedne uvide i podršku. Autor zahvaljuje i Dr. P. G. Diwakaru za njegovo stalno ohrabrenje i vodstvo.

same time the characteristics of satellite sensor should be versatile to support the comprehensive chain of operations to build databases like high resolution DEM and orthoimages.

This paper appreciates the distinct characteristics of Cartosat-1 which can be used to generate orthoimages at the state level with high geometrical fidelity and radiometric quality for the entire country. The abundance of stereo data from Cartosat-1 since its launch have enabled the user to select the best data to generate photogrammetric outputs. The paper outlines the methodology for generating statewide DEMs and orthoimages. Various stages of statewide orthoimage generation along with guidelines that govern output quality were discussed. The utility of this data provides up to

date thematic maps. Sharing this data with stakeholders and making them available via web portals provides an unprecedented opportunity for the characterization and assessment of the Indian landmass and in doing so will be able to implement development programs.

Acknowledgments

The author would like to express sincere thanks to Dr. V. K. Dadhwal, Director, NRSC, ISRO, who made this work possible. The author would also like to thank project directors, project managers, regional project executives of the SIS-DP project and directors of all the state remote sensing centres for their valuable insights and support. The author is grateful to Dr. P. G. Diwakar for his constant encouragement and guidance.

References / Literatura

- Bhuvan (2013): Gateway to Indian Earth Observation. <http://bhuvan.nrsc.gov.in>, [accessed 9 Jul 2014].
- Giribabu, D., Srinivasa, R. S., Krishna Murthy, Y. V. N. (2013a): Improving Cartosat-1 DEM Accuracy Using Synthetic Stereo Pair and Triplet. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 77:31–43.
- Giribabu, D., Kumar, P., Mathew, J., Sharma, K. P., Murthy, Y. V. N. K. (2013b): DEM Generation Using Cartosat-1 Stereo Data: Issues and Complexities in Himalayan Terrain. *European Journal of Remote Sensing*, 46:431–443.
- Gianinetto, M. (2008): Automatic Digital Terrain Model Generation Using Cartosat-1 Stereo Images. *Sensor Review*, 28 (4):299–310.
- ISRO (2013): Earth Observation Satellites. <http://www.isro.org/satellites/cartosat-1.aspx>. [accessed 9 Jul 2014].
- Jacobsen, K. (2002): Block Adjustment. Institute for Photogrammetry and Surveying Engineering, University of Hannover.
- Kapnias, D., Milenov, P., Kay S. (2007): Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery. JRC Scientific and Technical Reports, 3.
- Kraus, K. (2007): Photogrammetry: Geometry from Images Laser Scans. Translated by Harley, I. and Kyle, S., De Gruyter.
- Lourakis, M. I., Argyros, A. A. (2009): SBA: A Software Package for Generic Sparse Bundle Adjustment. *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, 36(1):2:1–2:30.
- Lutes, J. (2006): Photogrammetric Processing of CARTOSAT-1 Stereo Imagery. At http://www.eotec.com/images/Lutes_Cartosat_JACIE2006.pdf, [accessed 9 Jul 2014].
- Mahendra, R. S., Mohanty, P. C., Bisoyi, H., Kumar, T. S., Nayak, S. (2011): Assessment and Management of Coastal Multi-hazard Vulnerability Along the Cuddalore – Villupuram, East Coast of India Using Geospatial Techniques. *Ocean & Coastal Management*, 54(4): 302–311.
- Martha, T. R., Kerle, N., van Westen, C. J., Jetten, V., Kumar, K. V. (2010): Effect of Sun Elevation Angle on DSMs Derived from Cartosat-1 Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 76(4): 429–438.
- Muralikrishnan, S., Pillai, A., Narender, B., Reddy, S., Venkataraman, V. R., Dadhwal, V. K. (2012): Validation of Indian National DEM from Cartosat-1 Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 41(1): 1–13.
- Nandakumar, R., Amitabh, Chamy, M. P. T., Kopparthi, S. S. S., Paswan, G., Prakash, S., Singh, S. (2008): Synthesis of Investigations Under ISPRS-ISRO Cartosat-1 Scientific Assessment Programme Primarily for DSM Generation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B-1): 1279–1286.
- Nayak, S., Kumar, T. S. (2008): Addressing the Risk of the Tsunami in the Indian Ocean. *Journal of South Asia Disaster Studies*, 1(1): 45–57.
- Nayak, S., Usha, T., Kankara, R. S., Reddy, N. T. (2012): Tsunami Inundation Modeling and Mapping using ALTM and CARTOSAT Derived Coastal Topographic Data. *Marine Geodesy*, 35(4):429–440.
- NOEDA. 2013: <http://bhuvan-noeda.nrsc.gov.in/download/download/download.php>, [accessed 9 Jul 2014].
- NNRMS. (2013): Capacity Building in Earth Observation Technology and Applications: Achievements and Future Challenges. *NNRMS Bulletin*, 37: 146–156.
- NRSC, 2013: <http://www.nrsc.gov.in>, [accessed 9 Jul 2014].
- Podobnikar, T. (2009): Methods for Visual Quality Assessment of a Digital Terrain Model. *SAPI EN. S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, 2.2.

- Rao, D. P. (2000): Geographic Data Needed in the Interpretation of Indian Satellite-Based Remote Sensing Data: Opportunities and Realities. *Current Science*, 79(4):468–473.
- Savopol, F., Leclerc, A., Toutin, T., Carbonneau, Y. (1994): La correction géométrique d'images satellitaires pour la Base nationale de données topographiques. *Geomatica*, 48(3):193–207.
- Setiawan, M.A., Rutzinger, M., Wichmann, V., Stoetter, J., Sartohadi, J. (2013): Evaluation of Methods for Digital Elevation Model Interpolation of Tillage Systems. *Journal of Natural Resource Development*, 3:128–139.
- Srivastava, P. K., Srinivasan, T. P., Gupta, A., Singh, S., Nain, J. S., Amitabh, P. S., Kartikeyan, B., Gopala, K. B. (2007): Recent Advances in Cartosat-1 Data Processing. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and the Spatial Information Sciences*, 36(1/W51):10.
- Sugarbaker, L. J. (1995): A Data Foundation for the National Spatial Data Infrastructure. The National Academies Press.
- Tang, L., Braun, J., Debitsch, R. (1997): Automatic Aerotriangulation: Concept, Realization and Results. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 52(3):122–131.
- Toutin, T., Chénier, R. (2004): GCP Requirement for High Resolution Satellite Mapping. *Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Istanbul, Turkey.
- Toutin, T. (2002): Three-dimensional Topographic Mapping with ASTER Stereo Data in Rugged Topography. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(10):2241–2247.
- Wang, L., Liu, H. (2006): An Efficient Method for Identifying and Filling Surface Depressions in Digital Elevation Models for Hydrologic Analysis and Modelling. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(2):193–213.