



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



SEMINARSKI RAD
IKONOS sistem za daljinsku detekciju

Mentor:

Bulatović dr. Vladimir

Student:

Marijana Petković o355

Novi Sad, maj 2014.

Kratki sažaj

Satelit IKONOS spada u grupu satelita visoke rezolucije i prvi je svetski satelit sa rezolucijom od 1 metra. Simultano se vrši prikupljanje podataka multispektralnih i NIR (Near-Infrared) snimaka sa rezolucijom od 0.82 m, a panhromatskih snimaka sa rezolucijom od 3.2 m, koji su dostupni za komercijalnu upotrebu i u naučne svrhe. Ovim je svim korisnicima omogućen pristup snimcima sa drastično poboljšanom prostornom rezolucijom u odnosu na satelitske snimke koji su im bili prethodno raspoloživi. Orbita sinhronizovana sa Suncem omogućava globalnu pokrivenost, konzistentno vreme obilaska i uglove posmatranja bliske nadiru. Sistem je u stanju da vrši mapiranje u razmeri 1:10000 bez kontrole tačnosti sa Zemlje (ground control) i 1:2400 sa kontrolom tačnosti. IKONOS kontrolna stanica pruža radiometrijski korigovane, georektifikovane, ortorektivikovane snimke, stereo parove i digitalne modele visina (DEM) za analizu snimaka i njihovo korišćenje u fotogrametriji, kartografiji, kao i daljinskoj detekciji. Ovaj seminarski rad obezbeđuje pregled IKONOS satelita, njegovih karakteristika i primena.

Ključne reči: satelit IKONOS, satelitski snimci, prikupljanje snimaka

1. Uvod

Postoji više definicija daljinske detekcije, neki autori govore o njoj ne samo kao nauci, već u širem smislu kao i o umetnosti. Daljinska detekcija je nauka o prikupljanju podataka o Zemlji bez fizičkog kontakta sa njom. [1] Ova nauka obuhvata analizu i interpretaciju različitih snimaka delova Zemljine površi, prikupljenih iz vazdušnog prostora.

Satelitsko snimanje je osmišljeno da istraži mogućnost korišćenja satelitskih snimaka visoke rezolucije u komercijalne svrhe. Satelit IKONOS je lansiran 24. septembra 1999. godine da omogući globalne, precizne snimke visoke rezolucije kako pojedincima, tako i organizacijama i vladi za daljinsku detekciju, mapiranje, snimanje i razvoj. Kompanije Space Imaging koja je dizajnirala i lansirala ovaj satelit je osnovana 1994. u Denveru u U.S.A.

Do danas je satelit IKONOS sakupio preko 300 miliona kvadratnih kilometara snimaka svih kontinenata. Visina orbite je 681 km i period ponovnog obilaska je svaka tri dana. Ovaj senzor ima četiri mutispektralna opsega (benda), tri u vidljivom delu spektra i jedan blisko-infracrveni (NIR), kao i jedan panhromatski opseg. Prikupljeni podaci se direktno čuvaju u mnogobrojnim kontrolnim stanicama na Zemlji. Veliki broj ovih snimaka je korišten i u vojne svrhe, kao i za vazdušni i vodeni transport. Vlade mnogih država se oslanjaju na snimke prikupljene od strane satelita IKONOS. Takođe snimci satelita IKONOS imaju razne primene u agrikulturi, za održavanje katastra i zemljišnih knjiga u razvijenim zemljama, praćenje životne sredine i odbranu od prirodnih katastrofi...

Dizajn satelitskog sistema visoke rezolucije je veoma komplikovan, jer je zahtevao usklađivanje odnosa između prostorne rezolucije i širine otkosa, željenog perioda obilaska, kompresije snimaka i brzine prenosa podataka, kao i drugih specifičnih performansi i zahteva koje je trebalo ispuniti. Potreba za visokom rezolucijom je rezultirala smanjenjem širine otkosa.



Slika 1. Spoljašnji izgled satelita IKONOS (Digital Globe)

2. IKONOS sistem

2.1 Osnova dizajna IKONOS satelita

Performanse satelita IKONOS su prikazane u Tabeli 1 [3]. Panhromatski senzor sa rezolucijom 0.82 m omogućava snimke visoke rezolucije. Simultano multispektralni senzor sakuplja podatke po opsezima: zeleni, plavi, crveni, NIR sa rezolucijom 3,28 m u nadiru. Time se dobijaju snimci koji u kombinaciji (crveni-zeleni-plavi) daju prikaz prirodnih boja za vizuelnu interpretaciju ili kombinacije boja sa infracrvenim spektrom koje daju prikaz pogodan za primene u daljinskoj detekciji. Radiometrijska rezolucija dostiže vrednost 1 m pri uglu ukošenosti od 26° ili elevacionog ugla od 60° . Ukošenost je ugao između nadira i linije snimanja sa satelita. Elevacioni ugao je ugao centriran u meti između horizonta i linije snimanja. Ovi uglovi bi trebali da budu komplanarni (njihov zbir iznosi 90°) zbog zakrivljenosti zemlje.

Tabela 1
Performanse satelita IKONOS

Specifikacije	Vrednosti
Visina orbite	681 km
Nagib orbite	98.1°, sinhorno Suncu
Opadajuće čvorno vreme	~10:30 pre podne
Polje pogleda	Do 45° u nadiru
Period ponovnog obilaska po srednjoj geografskoj širini	3 dana na 60° visine 11 dana na 72° visine 141 dan na 89° visine
Senzori	Panhromatski i multispektralni
Širina panhromatskog niza	13,816 piksela
Širina multispektralnog niza	3454 piksela
Polje snimanja	11 km
Maksimalna dužina snimka	11 km
Maksimalna dužina mono snimka	1000 km
Maksimalna dužina stereo snimka	400 km
Radiometrijska rezolucija	11 bita
Prostorna rezolucija -veličina piksela na Zemlji	0,82 m
Multispektralni opsezi	Plavi, zeleni, crveni i NIR
Plavi oseg	445-516 nm
Zeleni opseg	506-595 nm
Crveni opseg	632-698 nm
NIR opseg	757-853 nm

GPS prijemnici mere visinu i efemeride kod mapiranja srednjih razmera bez kontrolnih tačaka (GCP- Ground Control Points). Mapiranje više tačnosti se vrši upotrebom kontrolnih tačaka.

Globalna mreža regionalnih kontrolnih stanica omogućavaju internacionalnu kontrolu i pristup IKONOS snimcima. Te stanice svaki dan automatski procesiraju ogromne količine podataka koje satelit sakupi. Kapaciteti za čuvanje podataka, kvalitet snimaka, radiometrijska tačnost, tačnost mapiranja i zahtevi procesiranja snimaka su bili definisani pre dizajniranja samog satelita. Na slici 2 se vidi pregled od samog lansiranja satelita, prikupljane podataka i rad kontrolnih stanica koji omogućavaju postojanje globalne satelitske mreže. [7]



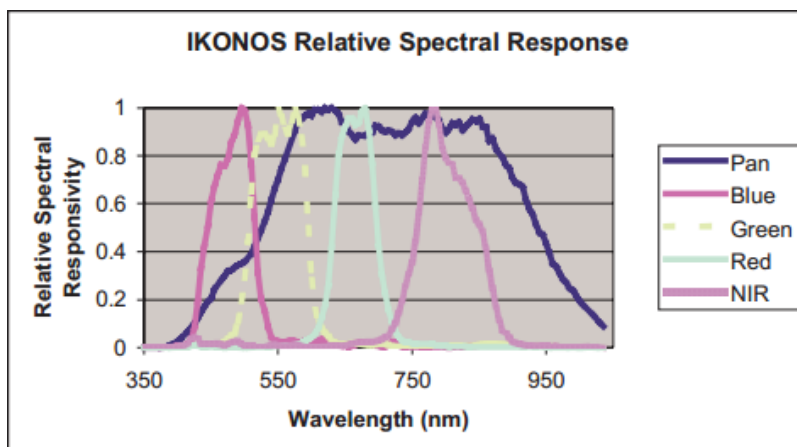
Slika 2. Pregled radnji kojima se dobijaju satelitski snimci

2.2 Karakteristike senzora

2.2.1 Rezolucija

Rezolucija je širok termin koji se koristi za opis broja piksela koji se mogu prikazati na uređaju, ili područja na Zemlji koje reprezentuje piksel na snimku. [5] Međutim ovako široko definisanje rezolucije nije adekvatno kada su u pitanju snimci nastali daljinskom detekcijom. U ovom slučaju se mora voditi računa o četiri različita tipa rezolucije: spektralna, prostorna, radiometrijska i temporalna. Ova četiri domena sadrže odvojene informacije koje se mogu dobiti iz sirovih podataka.

Spektralna rezolucija se odnosi na specifične intervale talasne dužine u elektromagnetnom spektru koje senzor može da snimi. IKONOS senzor ima finu spektralnu rezoluciju, npr. opseg 1 može da snimi energiju od 445 do 516 nm. Na slici 3 je dat relativni spektralni odgovor za svih pet opsega. [9]



Slika 3. Relativni spektralni odgovor za različite talasne dužine

Prostorna rezolucija je mera najmanjeg objekta koji senzor može da detektuje ili oblasti na Zemlji koju predstavlja svaki piksel. Kao što je rečeno IKONOS ima finu prostornu rezoluciju od 1 m. Dobra rezolucija je takva pomoću koje se na snimku mogu videti i sitnije pojave i oblici.

Radiometrijska rezolucija se odnosi da dinamički opseg, ili broj mogućih vrednosti u svakom opsegu. Ovo se odnosi na broj bita u koji je podeljena snimljena energija. IKONOS snimci mogu biti dostavljeni sa radiometrijskom rezolucijom od 8- bita ili od 11- bita. Ukupni intenzitet energije od 0 do maksimalne količine koju meri senzor je podeljena u 256 vrednosti osvetljenja za 8- bitni podatak i 2048 vrednosti osvetljenja za 11- bitni podatak.

Temporalna rezolucija se odnosi na to koliko često senzor prikuplja snimak jednog određenog područja. Predstavlja važan faktor kod proučavanja detekcije promena. Za IKONOS senzor ona je svaka tri dana.

2.2.2 Pokretljivost satelita i orbita

Orbita IKONOSA sinhrona je Sunčevoj orbiti i omogućava globalnu pokrivenost sa stalnim mogućnostima povratka na $\pm 82^\circ$ stepeni geografske širine. Satelit IKONOS je veoma pokretan. Može se zakretati i nagnjati (roll and pitch) i tako sakupljati snimke daleko iz nadira, snimati dugačke scene, više malih ili stereo snimke iste oblasti u jednom prolazu. Orbita pruža dnevni pristup nekom položaju od 45° u nadiru, period ponovnog obilaska je 3 dana kad je ugao od nadira 26° ili 141 dan kada je ugao od nadira u 1° .

Za razliku od Landsat satelita, koji prikuplja snimke jedino u nadiru ili SPOT, koji može da se pomera samo sa jedne na drugu stranu, IKONOS dolazi do izražaja sa svojom agilnosti. Moguće je rotiranje za bilo koji ugao da bi se prikupio snimak sa strane, napred ili nazad od pozicije satelita.

2.2.3 Unutrašnja i spoljašnja orijentacija

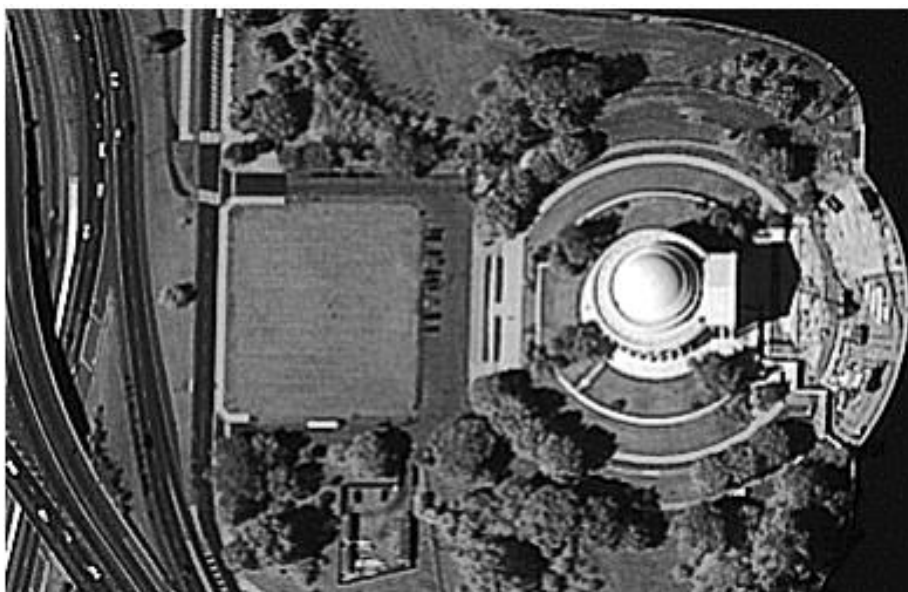
Unutrašnja i spoljašnja orijentacija satelita IKONOS potiče iz sofisticiranih sistema za određivanje visina i efemerida (putanja satelita), stabilnog optičkog sklopa i drugih karakteristika koje omogućavaju da satelit IKONOS postigne visoku geometrijsku tačnost sa ili bez kontrole tačnosti.

Polje ugla mape (eng. Field Angle Map) opisuje unutrašnju orijentaciju IKONOS kamera. Omogućava da se utvrdi vektor linije snimanja u koordinatnom sistemu kamere za svaki piksel. Spoljašnja orijentacija je definisana preko uglova koji povezuju orijentaciju kamere sa visinom satelita.

3. IKONOS satelitski snimci

Visoki kvalitet snimaka je zahtevao definisanje funkciju modulacije prenosa (MTF- Modulation Transfer Function), odnosa signal- šum (S/N ratio) i koregistraciju panhromatskih i multispektralnih senzora. Radiometiska preciznost je zahtevala apsolutnu kalibraciju četiri multispektralna opsega i relativnu kalibraciju svih piksela. Tačnost mapiranja je zavisila od metričke tačnosti stereo modela, digitalnih modela visina i ortofotoa sa ili bez kontrole tačnosti. Osnovni zahtev za procesiranje uključuje funkcionalne sposobnosti da rade i konstantno prikupljaju i čuvaju snimke, kao i da imaju uslove i kapacitete za skladištenje i obradu velikih količina podataka svaki dan.

Na slici 4 je prikazan prvi javni snimak sa satelita IKONOS napravljen 30.09.1999. godine. Može se primetiti visoka prostorna rezolucija od 1 m. [2]

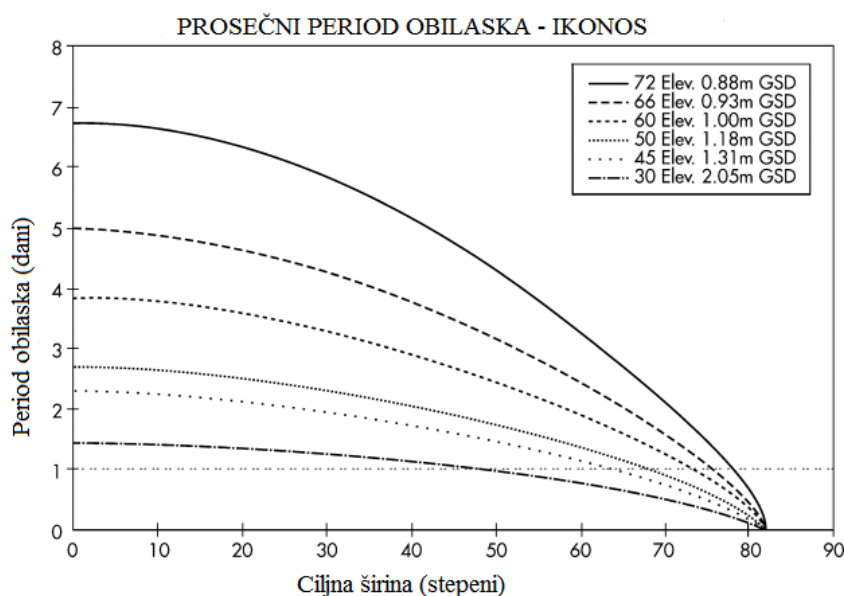


Slika 4. Džeferson Memorial, Vašington

3.1 Prikupljanje snimaka

Orbita satelita IKONOS se nalazi približno na visini od 681 km i nagnuta je za 98.1° ka ekvatoru i time omogućava kretanje sinhronizovano sa Sunčevom putanjom. Parametri orbite su izabrani tako da obezbede područja sa srednjom geografskom širinom sa dnevnim periodom obilaska na 45° nagnutosti.

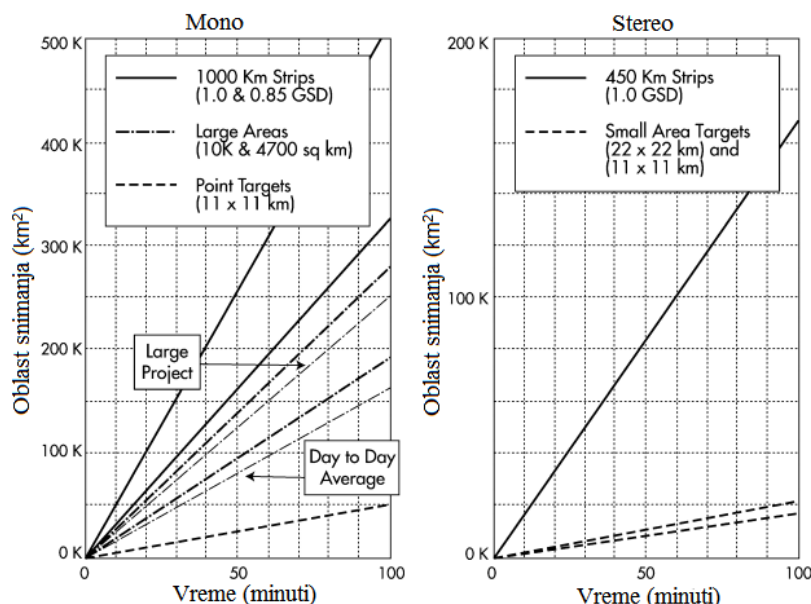
Površina koja se snima se deli na trake. Površina između dva uzastopna prolaza prvog dana se dele na trećine drugog i trećeg dana i time omogućavaju tačnost od 1 metara svaka tri dana. Ovi prolazi se dalje dele približno na četvrtine tokom perioda od 11 dana, pružajući period obilaska od 11 dana sa nagnutosti manjom od 10° . Ovaj režim traka predstavlja najbolji i najučinkovitiji metod prikupljanja snimaka. Dobijena sofisticirana orbita predstavlja funkcionalni kompromis između zahteva za kratkim periodom obilaska i srednjim elevacionim uglovima pri redovnim intervalima. Na slici 5 se vide odnosi između perioda obilaska, geografske širine, visine i ugla snimanja senzora i rezolucije. [3]



Slika 5. Odnosi između perioda obilaska i geografske širine

Satelit IKONOS je sastavljen iz jednog dela i tako vrši usmeravanje tela ka polju koje se snima. Kamera je kruto zakačena za trup. Ceo satelit se rotira od slike do slike bez ogledala za snimanje i drugih pokretnih delova. Optičko polje posmatranja daje otkos nadira od 11 km sa 82 centimetarskim rezolucijom. Pri snimanju velikih susednih područja satelit mora da manevriše između traka snimanja i time opada efikasnost snimanja. Male kolekcije snimaka su najmanje efikasno rešenje zbog malog prostora koji je potrebno snimiti na snimku, kao i zbog vremena potrebnog da se manevriše od snimka do snimka.

Slika 6 ilustruje stopu prikupljanja snimaka za različite modele, zajedno sa prosečnim istorijskim stopama prikupljanja i onima koje su postignute tokom mapiranja većih područja. Tokom jednog prolaska satelita IKONOS snima se i susjedni prostor od 4700 km² pri rezoluciji od 1 m ili 10000 km² rezolucijom manjom od 1.2 m. [3]



Slika 6. Oblast prikupljanja podataka za mono i stereo snimke.

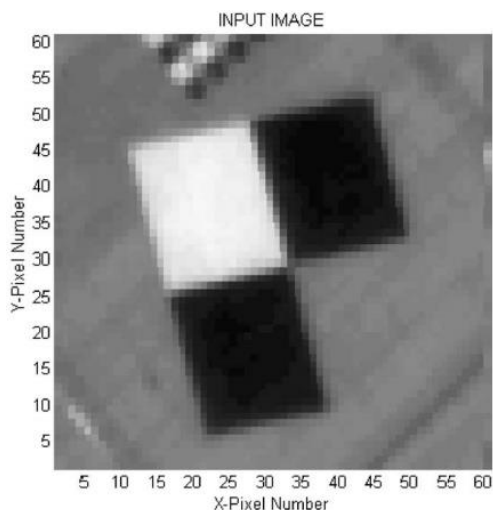
Sposobnost manevrisanja satelita IKONOS omogućava da u istom prolazu izvrši stereo snimanje značajne oblasti. Ova odlika je karakteristična za IKONOS i razdvaja ga od drugih komercijalnih satelita visoke rezolucije.

3.2 Kvalitet snimaka

Postoji više načina za opisivanje kvaliteta snimaka. Moguće je proveriti kvalitet preko odnosa signal-šum (S/N ratio) i funkcije modulacije prenosa (MTF). Preko vrednosti signala i šuma moguće je uskladiti vrednost signala sa vrednošću pozadinskog šuma, a funkcija za modulaciju služi za kontrolu rezolucije i kontrasta. Ove vrednosti su dobijene tokom testa prihvatanja orbite (OOAT- On Orbit Acceptance Tests). U tabeli 2 se vide merenja odnosa signal-šum i modulacione funkcije prenosa. Kao što je i očekivani na snimcima nije bilo puno šumova. [4]

Tabela 2
IKONOS SNR i MTF merenja

Band	SNR	Procenat MTFa
Pan	89	17%
Blue	94	26%
Green	143	28%
Red	103	29%
NIR	67	28%



Slika 7. IKONOS snimak koji je služio za merenje funkcije modulacije prenosa

Za analizu snimaka sama numerička merenja kao što su poziciona tačnost, odnos signal- šum i funkcija modulacije prenosa nisu tako značajna koliko je značajna sposobnost izdvajanja informacija iz samih snimaka.

Za kvalitet snimaka su od presudnog značaja optička stabilnost i fokus. Stručnjaci za analizu snimaka mogu da razlikuju male razlike u fokusu kada upoređuju uzorke snimaka koji su prikupljeni u dobrim uslovima sa dobrim sistemima od onih koji su prikupljeni lošim sistemima. Periodično se kroz set snimaka prikupljenih putem satelita IKONOS proverava da li fokus devalvira i da li su potrebna neka podešavanja da bi se održao dobar kvalitet snimaka.

Analitičari se često pitaju da li postoji „defokus“ efekat zbog agilnosti satelita IKONOS i njegove mogućnosti prikupljanja podatka pri različitim uglovima nagnutosti i rastojanja od područja koje se snima. Razlika u fokusu kod snimaka prikupljenih u nadiru ili pri elevacionim uglovima od 60° visine je mali deo dubine fokusa.

Odnosi između uglova instrumenta koji prikuplja podatke, oblasti interesovanja i Sunca imaju veliki uticaj na ukupan kvalitet slika. Spektralne refleksije Sunca o vodene površine i druge reflektujuće površine mogu zasititi senzor. Snimci dobijeni kada je Sunce sa suprotne strane područja koje se snima često izazivaju maglu i zamućenost na samim snimcima. Pri snimanju na niskim elevacionim uglovima su dugačka rastojanja kroz atmosferu od senzora do područja koje se snima. Rasporedi kretanja satelita su tako formirani da se izbegne, koliko je moguće spektralna refleksija o vodene površine, snimanje direktno u pravcu Sunca i elevacioni uglovi manji od 60° da bi se smanjio atmosferski efekat.

3.3 Radiometrijska tačnost

IKONOS satelit je dizajniran tako da zadovolji radiometrijske zahteve za kalibraciju i time omogući željeni standard, uniformnost, linearnost i stabilnost tokom vremena. Generalne specifikacije su ustanovljene pre nekoliko desetina godina kada su principi daljinske detekcije prvi put implementirani.

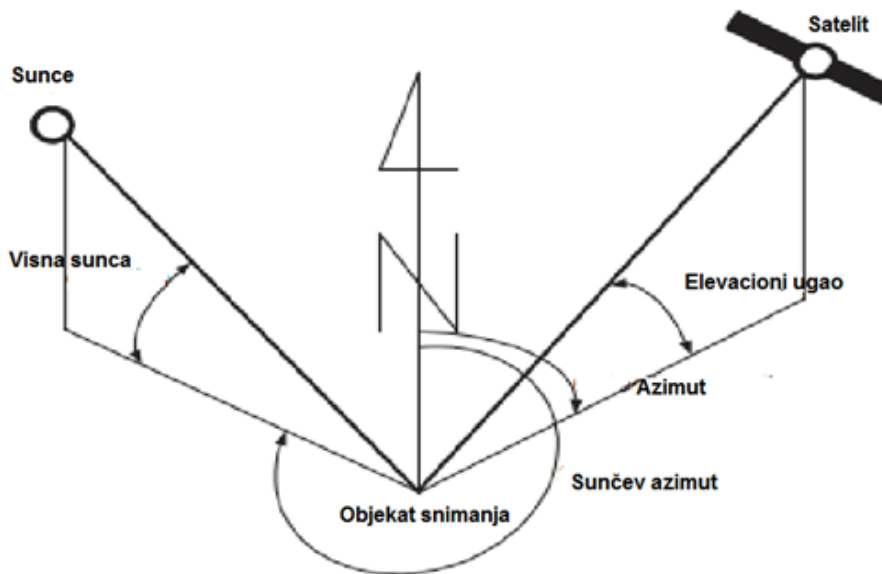
Tabela 3
Radiometrijska kalibracija

Opis	Zahtevi	OOAT rezultati	Posle OOAT rezultata
Absolutna radiometrijska tačnost (samo multispektralni opsezi)	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$
Relativna radiometrijska tačnost (svi opsezi)			
Tap-to-tab	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$< 1\%$
Pixel-to-pixel (streaking)	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$< 1\%$
Linearnost	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 1\%, 1 - \sigma$
Stabilnost	$\pm 10\%$		$\pm 3\%, 1 - \sigma$
Neuspeli pikseli	Nadoknada	Nema	Nema

U tabeli 3 su upoređeni zahtevi za radiometrijsku kalibraciju postavljeni pre konstruisanja satelita, sa različitim učincima pre i posle OOAT testa prihvatanja orbita. Ukoliko se javi neki neuspeli piksel, softver interpolacijom sračuna njegovu vrednost. Odgovor sistema IKONOS se pokazao linearnim. Stabilnost osigurava da su snimci prikupljeni u jednom vremenskom periodu konzistentni. [3]

3.4 Geometrijska tačnost

Potrebna je posebna kamera da se korisnicima kojima trebaju fotogrametrijski snimci omogući merenje iz snimaka. Ovakva kamera daje matematičke odnose između objekata i koordinata snimka. Za senzore visoke rezolucije kao što je IKONOS, model kamere je komplikovan. Zasnovan je na unutrašnjoj i spoljašnjoj orijentaciji, kao i fizičkim osobinama.



Slika 8. Akvizicija geometrije snimaka

Kao što se vidi na slici 8 azimut je definisan kao ugao između linije snimanja (od satelita do objekta) i horizontalne ravni. Sunčev azimut se meri od pravca severa u pravcu kretanja kazaljke na satu. Elevacioni ugao je ugao između horizontalne ravni i satelita. [9]

Trebalo bi naglasiti da ovi azimuti nisu konstantni za traku snimanja i da se njihove vrednosti ne bi trebale koristiti prilikom ortorektifikacije i pri primeni geometrijskih korekcija. Međutim one su od velikog značaja u daljinskoj detekciji za analize kao što je topografska normalizacija. Važna je i razlika u geometriji stereo i u geometriji mono snimaka.

Postoje razni matematički modeli kojima se može postići viša geometrijska tačnost. Tokom procesiranja snimaka zbog projekcije, ugla snimanja, zakrivljenosti senzora, atmosferskih uslova, Zemljine površi i mnogih drugih razloga često se javlja pojava da je slika iskrivljena. Ovi problemi se mogu rešiti nekim od sledećih modela: model racionalnih funkcija (Rational Functional Model), polinomski model (Polynomial Models) i projekcioni model (Projective Model). [6]

3.5 Podela IKONOS satelitskih snimaka

Nakon uspešnog lansiranja, kalibracije i testova, potrebno je bilo zadovoljiti zahteve vlade i komercijalnih korisnika dostavljajući im proizvode snimanja satelita IKONOS i tako stvarajući zajednicu korisnika. Ovi proizvodi zadovoljavaju potrebe korisnika za analizu snimaka, kartografiju, fotogrametriju...

Primena snimaka satelita IKONOS je višestruka, uključuje urbano i ruralno mapiranje prirodnih resursa, prirodnih nepogoda, mapiranje poreza, kao i analizu poljoprivrede i šuma, koriste se u rudarstvu, praćenju promena, inženjerstvu itd. Njihov doprinos je skoro u svim aspektima studija zaštite životne sredine. Visoka rezolucija je doprinela korišćenju ovih snimaka u vojne svrhe, primorski nadzor i olakšava izradu 3D digitalnih modela terena i digitalnih modela površina.

Ugovorom sa NASOM je izvršena kategorizacija snimaka. Taj ugovor se naziva SDP (Scientific Data Purchase). U skladu sa ugovorom SDP i politikom kompanije Space Imaging proizvodi satelita IKONOS se dele prema pozicionoj tačnosti, koja se određuje na osnovu pouzdanosti da se neki objekat koji je na snimku stvarno nalazi na toj lokaciji koja je prikazana u okviru zadate tačnosti.

Kod svakog IKONOS proizvoda greška lokacije je definisana putem cirkularne greške pr verovatnoći od 90% (CE90), što znači da je verovatnoća da se objekat stvarno nalazi na toj lokaciji 90%. Ovaj parametar se dovodi u vezu i sa srednom kvadratnom greškom (Root Mean Square Error- RMSE) kao i sa Američkim Nacionalnim Standardom Tačnosti Mapa (National Map Accuracy Standards- NMAS). U tabeli 4 je prikazana podela snimaka prema pozicionoj tačnosti kao i neke od primena tih snimaka. [7]

Tabela 4
Vrste IKONOS snimaka

	Poziciona tačnost							
	CE90	RMSE	NMAS	Orto- rektifikovan	Elevacioni ugao	Moguć mozaik	Stereo snimci	Neke od primena
Geo	Bolji od 15 m	N/A	N/A	Ne	60°-90°	Ne	Ne	Vizuelizacija i interpretacija snimaka
Standardni ortofoto	Bolji od 50 m	Bolji od 25 m	1:100000	Da	60°-90°	Ne	Ne	Osnovni projekti mapiranja
Referentni	Bolji od 25,4 m	Bolji od 11.8 m	1:50000	Da	60°-90°	Da	Da	Mapiranje velikih područja i GIS
Pro	Bolji od 10.2 m	Bolji od 4.8 m	1:12000	Da	66°-90°	Da	Ne	Transport, infrastruktura i planiranje i ekonomski razvoj
Precizni	Bolji od 4.1 m	Bolji od 1.9 m	1:4800	Da	72°-90°	Da	Da	Visoka poziciona tačnost za primenu u urbanim sredinama
Plus precizni	Bolji od 2 m	Bolji od 0.9 m	1:2400	Da	75°-90°	Da	Ne	Detaljna analiza urbanih površina, mapiranje priobalnih područja i infrastrukture

Snimci se dele na geo, standardne ortofoto, referentne, precizne i plus precizne. Precizni originali su se pokazali kao problematični. Precizni originali i plus precizni proizvodi zahtevaju visoke uglove elevacije satelita i snimanje u dugim vremenskim periodima. Zbog toga oni nisu pogodni za prikupljanje snimaka, ali se njima postiže tačnost ispod 1 m.

Takođe je bilo potrebno definisati ujednačenost parametara za isporuku proizvoda. Uspostavljena su standardi za isporuku kao što su format, broj bita, način procesiranja i drugi koji se vide u tabeli 5. [3] Ovi jedinstveni standardi predstavljaju osnovu za druge modele za arhiviranje i dostavljanje satelitskih snimaka, jer olakšavaju algoritme i softvere za testiranje snimaka i njihovo arhiviranje.

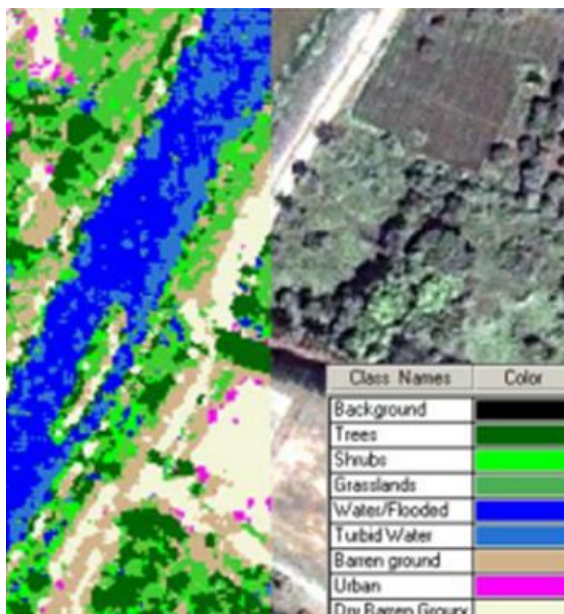
Tabela 5
Parametri pri nabavci podataka

Parametri	Vrednosti
Broj bita	11
DRA (specifikacija za audio kodiranje snimaka)	Ne
Modulation Transfer Function	Da
Mozaik	Ne
Pan izoštravanje	Ne
Resampling metod	Cubic convolution
Opsezi	Pan+plavi, zeleni, crveni i NIR
Datum	WGS84
Projekcija	UTM
Format	GeoTIFF

4. Primena IKONOS snimaka

Primena IKONOS snimaka je raznovrsna. Proizvode ovog satelita koristi veliki broj korisnika. Neke od primena se koriste za vizualizaciju, analizu, kartografiju, fotogrametriju itd. Analiza snimaka i klasifikacija može biti automatska ili može biti obavljena od strane operatera. Na slici 9 se vidi primer automatske klasifikacije. Vizualna analiza se najviše koristi kod procena katastrofa, dok se automatskom vrši klasifikacija zemljišta i izdvajanje objekata (feature extraction). U kartografiji se koriste IKONOS orto snimci i DEM za monoskopsko izdvajanje objekata ili stereo snimci za 3D stereoskopsko izdvajanje objekata i drugih podataka. [7]

Primena u fotogrametriji podrazumeva podešavanje blokova, ortorektifikaciju, izdvajanje DEMa i izdvajanje objekata iz stereo modela. Podešavanjem blokova se postiže viša tačnost pomoću kontrolnih tačaka ili nekih drugih kontrolnih snimaka. Korisnici sa svojim DEM snimcima mogu sami da vrše ortorektifikaciju snimaka. 3D informacijama koje se dobijaju iz IKONOS stereo snimaka se može formirati DEM ili izvršiti izvlačenje objekata.

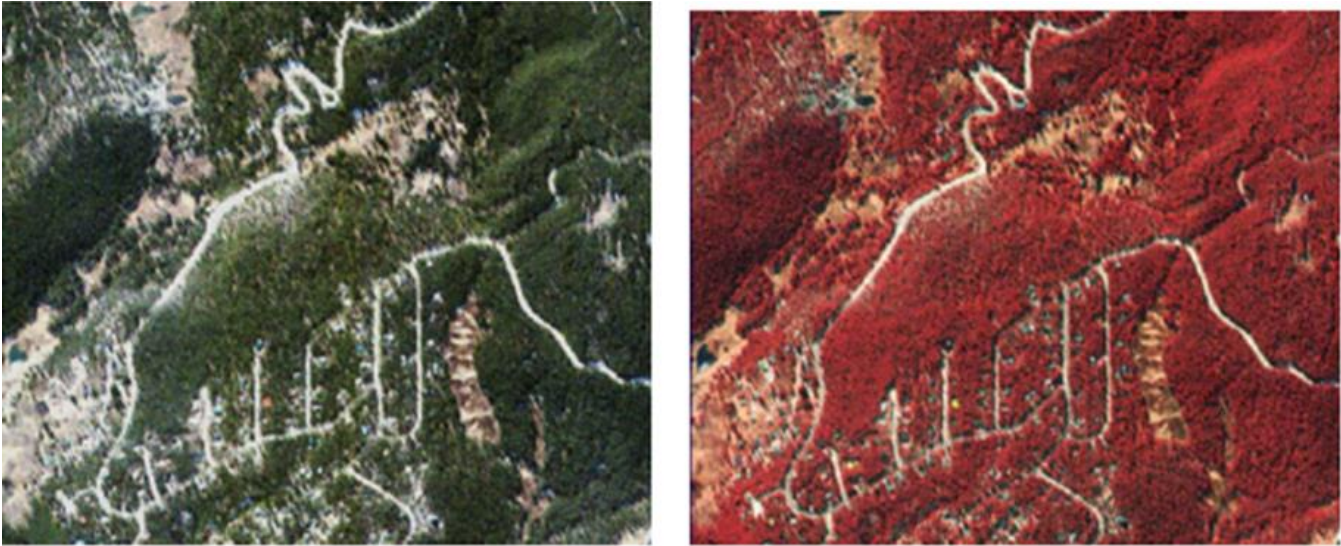


Slika 9. Sa leve strane se vidi proizvod automatske, a sa desne izvorni snimak

4.1 Analiza snimaka

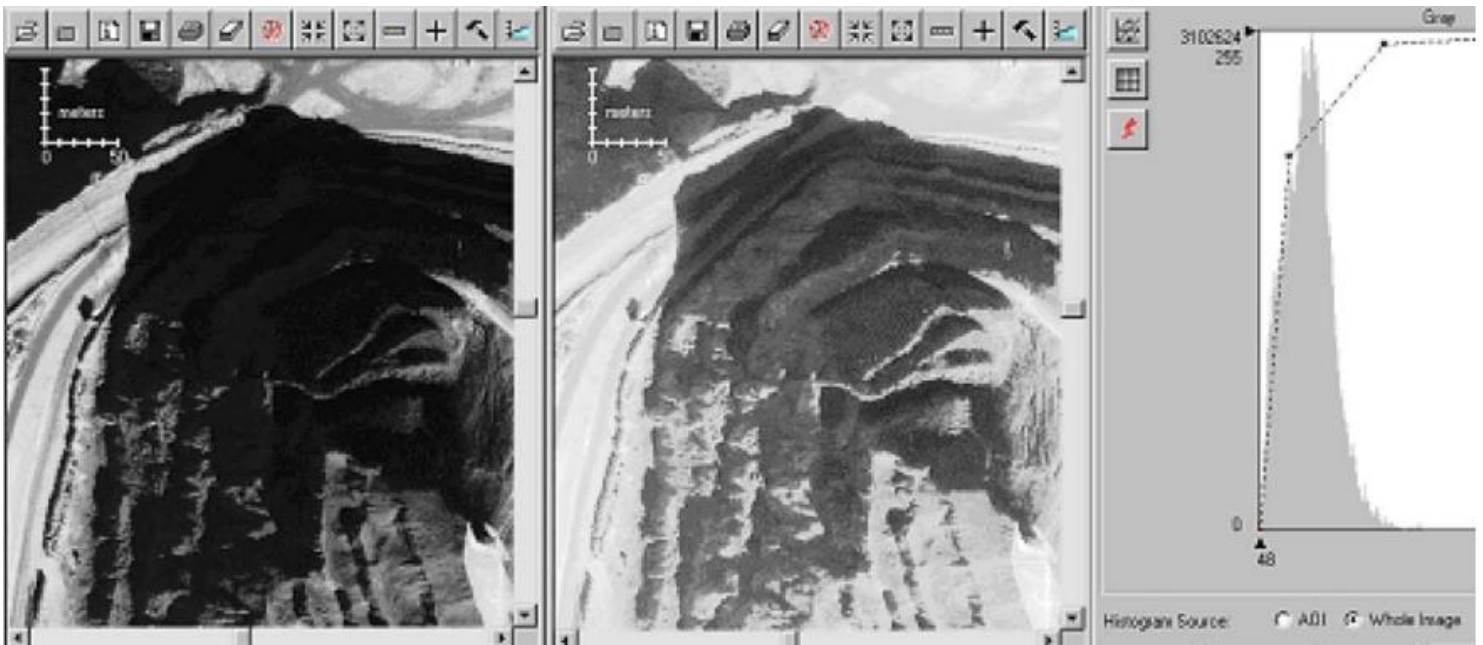
IKONOS geo snimci su namenjeni da zadovolje potrebe korisnika kao i njihov budžet. Snimci su prikupljeni sa elevacionih uglova niskih kao što je 60° i time omogućavaju ponovno prikupljanje podataka na svaka 3 dana za brzo prikupljanje snimaka. Geo snimci su rektifikovani na projekciju mape bez upotrebe DEM snimaka. Ovo omogućava brže dostavljanje, ali se smanjuje tačnost, pa su ovi geo snimci pogodni za analizu snimaka koje ne zahtevaju pozicionu tačnost, a zahtevaju brz odgovor i jeftiniji su. Najčešće primene su odgovori na vanredne situacije, nacionalna sigurnost i monitoring životne sredine.

Geo snimci se proizvode u raznim formatima u skladu sa zahtevima i potrebama korisnika, kao i njihove primene i sposobnosti korisnika da barataju sa njima. Različite kombinacije opsega su na raspolaganju: panhromatski (crna i bela), multispektralne, pansharpen (boja) ili paket panhromatskih i multispektralnih snimaka. Samo tri opsega mogu biti u isto vreme prikazana na monitoru računara za vizualnu interpretaciju. Najčešće kombinacije su crevena-zelena-plava (RGB) za prirodan prikaz boja ili INFRARED (CIR) gde je senzor NIR prikazan kao crveni, crveni kao zeleni, a zeleni kao plavi. Prirodni prikaz boja se više koristi za opštu upotrebu, a infrared u daljinskoj detekciji. [7]



Slika 10. Različita kombinacija opsega za analizu snimaka

Snimci mogu biti dostavljeni u 8-bitnom formatu za lakšu primenu na slabijim računarima, a 11-bitnim formatom se dobija pun dinamički opseg. Modifikacije dinamičkog opsega prilagođavaju vrednosti crno-bele skale da bi se poboljšala vizualna interpretacija, a isključivanjem ovih modifikacija se ne menja radiometrijska tačnost multispektralnih snimaka. Automatska klasifikacija preferira 11-bitne proizvode bez modifikacija, a vizualna interpretacija proizvode sa modifikacijama bili oni 8-bitni ili 11-bitni. Na slici 11 se vidi istežanje 11-bitnog snimka da bi se otkrili detalji u senci i prikazali na 8-bitnom ekranu.



Slika 11. Izdvajanje detalja iz senke. Levo: Snimak prikazan u punom radiometrijskom opsegu. Desno: Isti snimak razvučen da se vide detalji u senci.

4.2 Kartografija

Pri pravljenju karata odavno su se koristile fotografije iz vazduha. Kreiranje mapa zahteva izdvajanje topografskih, hidroloških, transportnih i mnogih drugih osobina sa snimka. Dva pristupa su preko mono i stereo snimaka.

Izvlačenjem objekata (feature extraction) sa stereoskopskih snimaka mogu se dobiti 3D koordinate karakterističnih delova terena i objekata za Geografski Informacioni Sistem (GIS) i druge baze podataka. Operateri pomoću stereo snimaka i njihovih kopija mogu da izvuku konture i 3D koordinate direktno i tako osiguravajući tačne odnose između kontura i objekata. Iako su radne stanice za rad sa stereo snimcima skuplje od mono sistema, stereo snimci su jeftiniji od kombinacije DEM i orto snimaka izvedenih iz stereo snimaka, tako da su stereo snimci ekonomičnije rešenje.

Moguće je izvlačenje podataka i sa mono snimaka iz DEM i orto snimaka. Softver stvara konturne linije iz DEM snimaka, a operater izvlači objekte iz orto snimaka. Ovakvo izvlačenje objekata je jeftino rešenje koje je prilagođeno za prikaz ljudskom oku.

4.3 Ortorektifikovani snimci

Ortorektifikovani snimci su osnovni proizvodi za kreiranje mapa snimaka, GIS bazu podataka i katografsko izvlačenje karakteristika terena i objekata. Na mapama snimaka su prikazani snimci sa napomenama, razmerom i gridom, kao i kod običnih mapa, ali sam snimak je prikazan umesto objekata, pomoću ikona i vektora. GIS sistem obično prikazuje hidrološke, transportne i druge informacije kao vektorske lejere. Prikaz ovih vektora preko osnovnog snimka dodaje objašnjenje vektorskim informacijama.

Objekti na ortorektifikovanom snimku su ispravljeni na planimetrijski tačne koordinate. Vektori ovih mapa kao što su transport, vegetacija i kulturne osobine mogu biti digitalizovani iz orto snimaka.

Tabela 6
Specifikacije komercijalnih IKONOS snimaka

Naziv proizvoda	CE90 (m)	RMS (m)	Razmera	GCP
Standardni	50	25	1:100000	Ne
Referentni	25	12	1:50000	Ne
Pro	10	5	1:12000	Opciono
Precizni	4	2	1:4800	Da
Precizni plus	2	1	1:2400	Da

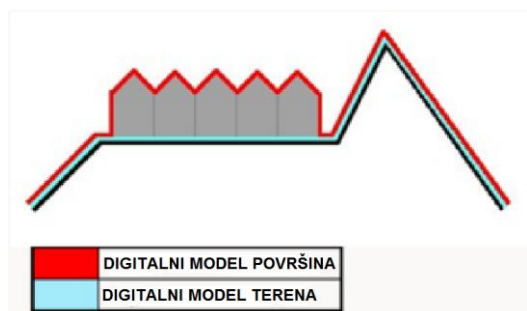
Značaj pozicione tačnosti je porastao sa napretkom GPS tehnologije. IKONOS ortorektifikovani snimci su najčešće proizvedeni sa tačnošću koja se može videti u tabeli 6, tako da korisnici mogu da naruče snimak željene tačnosti u skladu sa svojim potrebama. [3]

Tačnost IKONOS snimaka bez kontrole je dovoljna da se naprave referentni snimci iz jednog stereo para. Pro (profesionalni) proizvodi mogu biti dobijeni iz jednog snimka sa kontrolnim tačkama ili iz bloka više snimka. Precizni snimci zahtevaju kontrolu tačnosti preko kontrolnih tačaka. Tačnost IKONOS proizvoda se prati pomoću CE90 (Circular Error of 90%), kao i odgovarajuće RMS tačnosti i razmere. Ova standardizacija ocena tačnosti je pojednostavila naručivanje, sakupljanje, procesiranje i kontrolu kvaliteta orto snimaka.

4.4 Digitalni modeli visina (DEM)

Prikaz zemljine površine preko digitalnih modela visina se koristi pri proceni opasnosti od poplava, linija dogledanja, bezbednost aerodroma i drugih primena. Jedna od najvažnijih primena je upotreba DEM da bi se ispravili snimci kod kojih je došlo do pomeranja na površini tokom ortorektifikacije. DEM može da bude napravljen iz IKONOS stereo snimaka različitih tačnosti i rezolucije. Najbolji IKONOS DEM se pravi sa tačnošću od 3- m pri LE90.

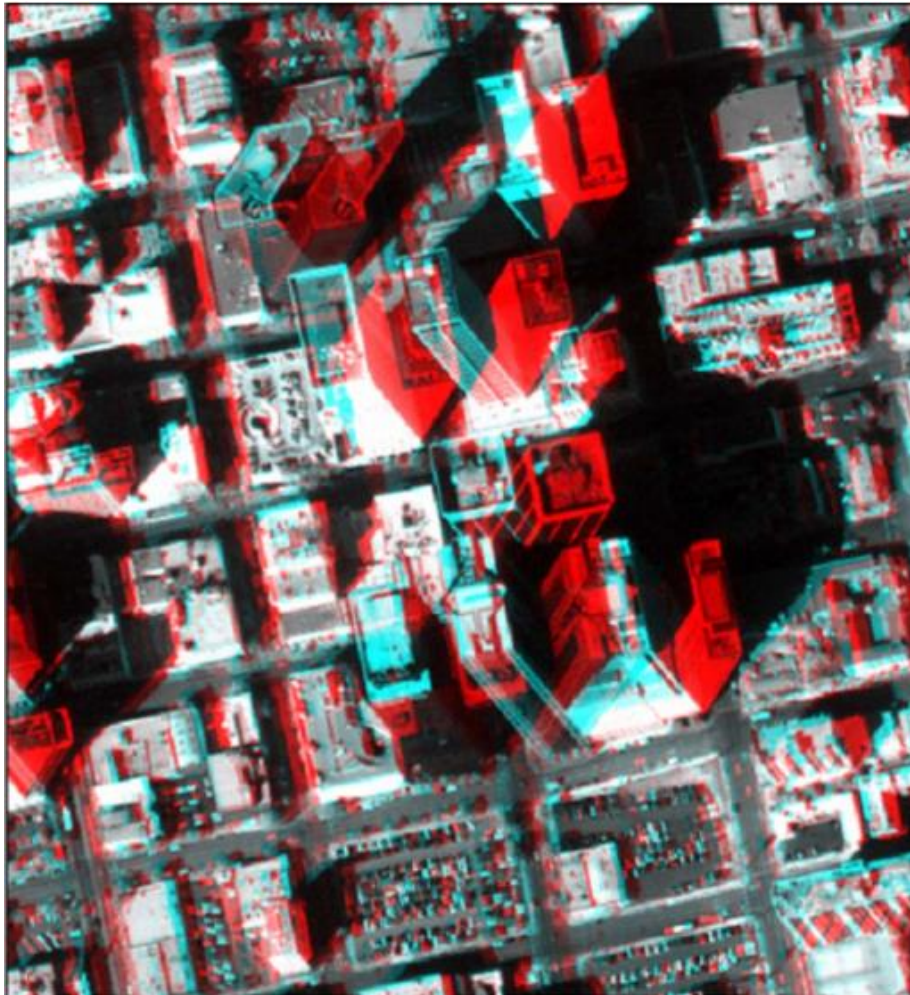
Softveri mogu sami da generišu DEM koji će kasnije biti uređen i korišćen od strane operatera na radnim stanicama za stereo snimke. DEM može biti tako napravljen da predstavlja model terena (Digital Terrain Model), model površi (Digital Surface Model) ili da se koristi za ortorektifikaciju. Digitalni model terena u kome se vidi sama površina Zemlje bez drveća i objekata je veoma bitan za hidrološke studije. Modeli površi su uređeni tako da se vide objekti i krošnje drveća su od značaja za analize linija dogledanja i navigaciju avionima. Digitalni modeli visina koji se koriste za ortorektifikaciju predstavljaju teren, ali su tako uređeni da se tačno vide putevi i mostovi. Od IKONOS DEMa mogu se dobiti Digitalni Modeli Terena (DMT), Digitalni Modeli Površina (DMP) ili ortorektifikovani DMT.



Slika 11. Razlika između DMP i DMT

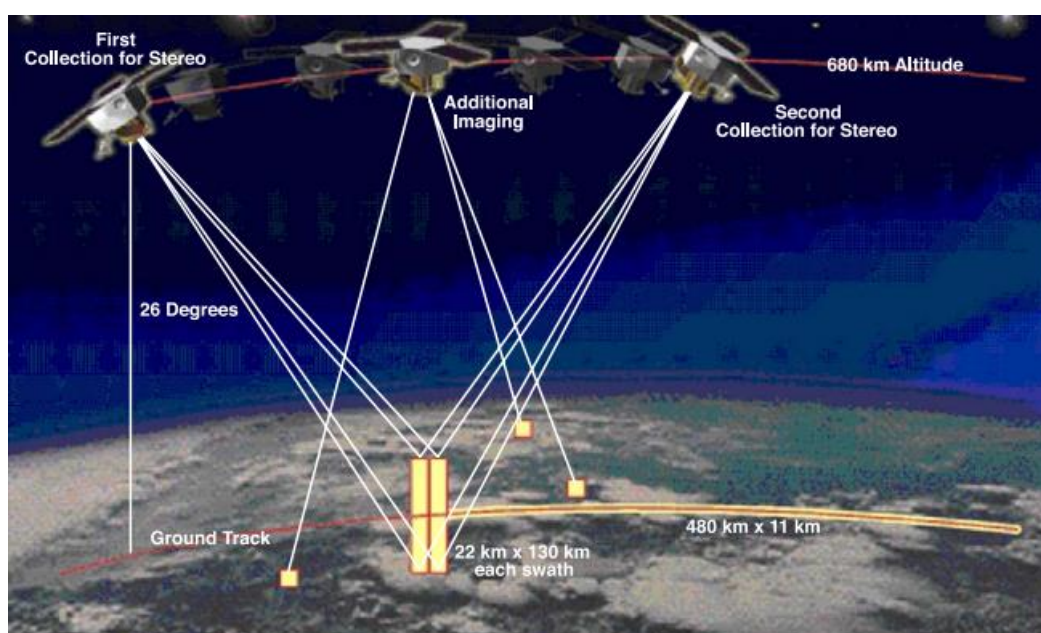
4.5 Fotogrametrija

Orto-komplet i stereo snimci zahtevaju model kamere tokom prikupljanja snimaka. Model prikupljanja podatak putem kamere koristi RPC (remote procedure call) protokol koji omogućava korisnicima odgovarajući softver za fotogrametrijsku obradu snimaka. Viša tačnost se može postići sa kontrolom tačnosti. Snimci mogu da budu ortorektifikovani sa spoljnim DEMom ili stereo parovi mogu biti korišćeni da se napravi DEM. Mono snimci sa modelom prikupljanja podataka putem kamera i RPC protokolom se nazivaju orto komplet (Ortho-Kit) snimci. Glavna primena ovih snimaka je mogućnost korisnika da sami ortorektifikuju IKONOS snimke sa njihovim DEM snimkom. Precizni i referentni stereo snimci se odnose na stereo snimke redom obrađene sa ili bez kontrolnih tačaka. Orijehtacija snimaka je opisana preko RPC protokola za podatke preciznih i referentnih stereo modela. Kod preciznih snimaka podaci su upotpunjeni upotrebom kontrolnih tačaka i samim tim su tačniji.



Slika 12. Vizualizacija stereo para

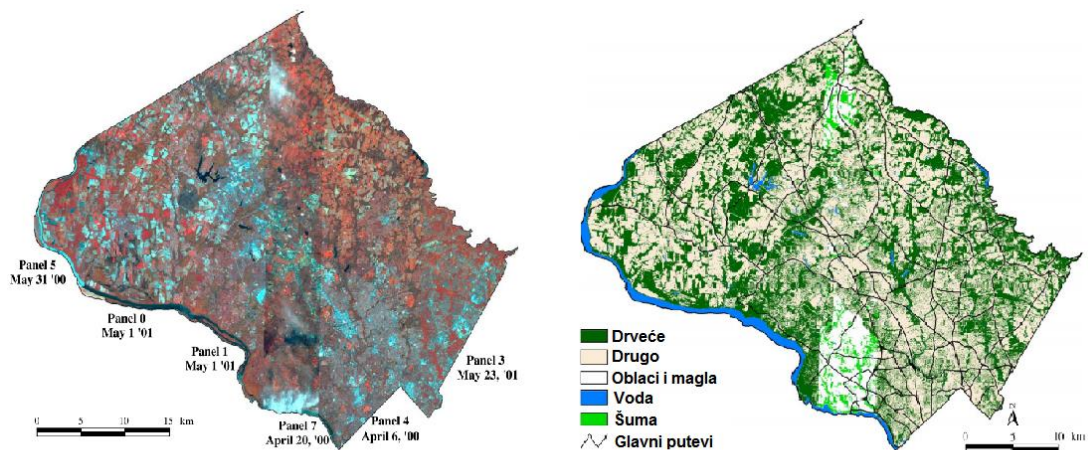
Na slici 12 je prikazana vizualizacija napravljena od para IKONOS stereoskopskih snimaka. Oba snimka su prikupljena u istom orbitalnom prolazu što se vidi na slici 13. Uglavnom je jedan snimak prikupljen pri vertikalnom uglu iznad 72° , a drugi pri vertikalnom uglu manjem od 60° pri čemu je konvergencija ugla između ta dva snimka 30° - 45° . Ugao konvergencije omogućava trodimenzionalna merenja, dok je visok vertikalni ugao pogodan za ortorektifikaciju. Kolekcija stereo snimaka iz istog prolaza daje identične scene sa istim sadržajem i osvetljenjem i tako olakšava automatsko kreiranje DEMa. Nakon formiranja DEM snimka, snimak iz stereo para koji ima viši vertikalni ugao može biti ortorektifikovan sa DEM snimkom. Tačnost stereo para snimaka može biti poboljšana upotrebom kontrolnih tačaka, bilo korišćenjem satelitskog prikupljanja podataka ili upotrebom komercijalnih softvera. [3]



Slika 13. Prikupljanje stereo snimaka u istom orbitalnom prolazu

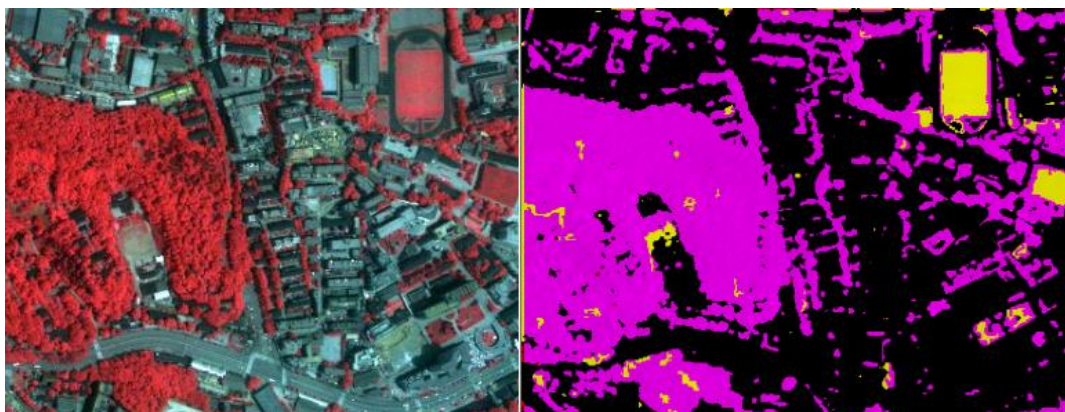
4.6 Primeri korišćenja IKONOS snimaka

Kao što je već rečeno snimci IKONOS senzora se koriste i u daljinskoj detekciji. U daljem tekstu ce biti prikazani neki primeri. Moguće je upravljanje resursima i njihov monitoring preko IKONOS snimaka. Na levoj polovini slike 14 se vidi satelitski snimak Montgomery County u SAD. Nakon automatske klasifikacije u kombinaciji sa klasifikacijom operatera (unsupervised i supervised) dobija se snimak koji se vidi na desnoj polovini slike 14. Nakon ove klasifikacije je moguće povećati obučavajući skup tako da se izvrši razlika između piksela koji se nalaze u skupu „drugo“. Takođe se vrši i provera kvaliteta potoka i zdravlja drveća. [11] Na sličan način se vrši i klasifikacija zemljišta.



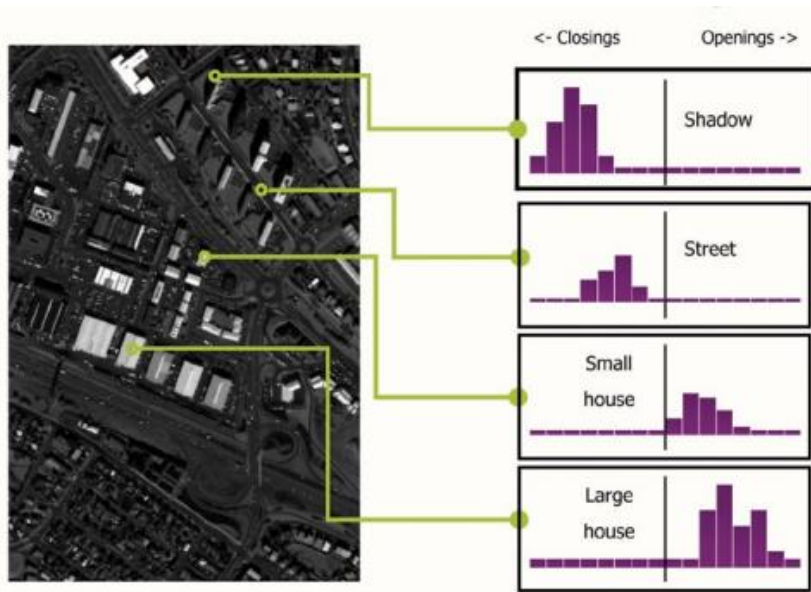
Slika 14. Snimak pre i posle klasifikacije

U naseljenim mestima je moguće otkriti vegetaciju na sledeći način. Promeni se prikaz boja na infracrveni i korišćenjem objektno orijentisanog pristupa se dolazi do rezultata koji su prikazani na slici 15. Daljim radom se može sa velikom tačnošću odrediti tačan broj drveća i travnatih površina. [12]

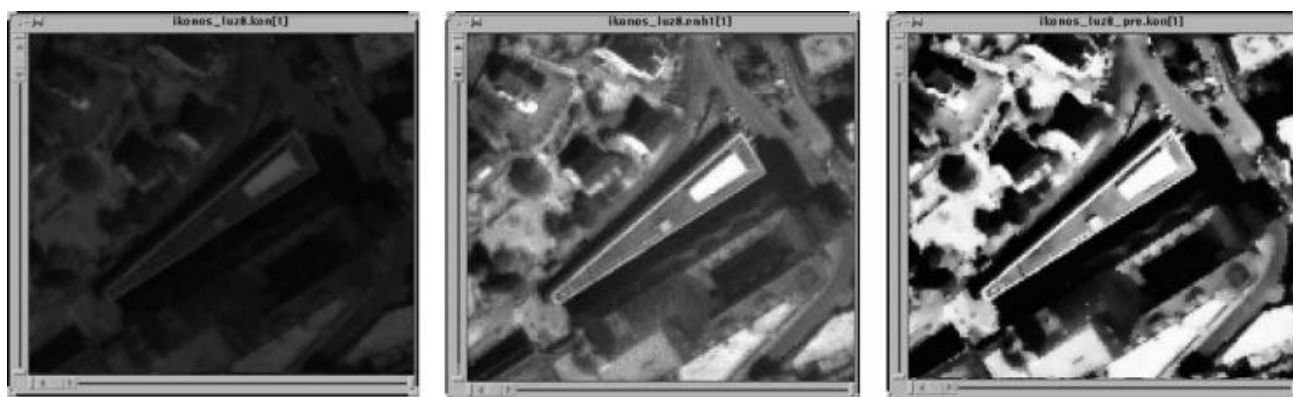


Slika 15. Izdvajanje vegetacije iz urbanih sredina

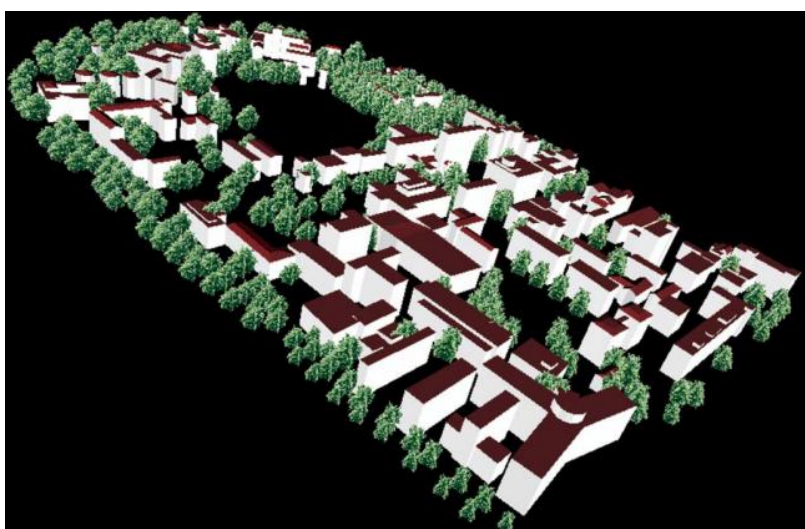
Jedna od primena je i ekstrakcija objekata sa snimaka na osnovu morfoloških transformacija. Na slici 16 dat primer klasifikacije prema tipu objekata na osnovu njihovih senki. [12] Kada se poseduje stereo par snimaka moguće dobiti 3D model zgrada. Prvo je potrebno izvršiti preprocesing da bi se snimak isčistio koliko je to moguće (slika 16). Zatim se vrši uklapanje tih snimaka i izdvajanje objekata. [13]



Slika 16. Diferencijalni profili za četiri informacione klase (senka, ulica, mala kuća i velika kuća), na snimku se vidi Reykjavik, Island



Slika 16. Originalni snimak i prvi i treći metod obrade



Slika 17. 3D model zgrada

5. Reference

- [1] Elachi C. (2006) Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing
- [2] Levin N (1999) Fundamentals of Remote Sensing
- [3] Dial G, Bowen H, Gerlach F, Grodecki J, Oleszczuk R (2003) IKONOS satellite, imagery, and products, *Remote Sensing of Environment*
- [4] Bowen H, Dial G 2002, Space Imaging Technical Report (IKONOS Calculation of MTF using Stellar Images)
- [5] Govedarica M, Jovanović D (2010) skripta iz daljinske detekcije, FTN
- [6] Amini J, Hashemi A (2005) Geometric Correction in IKONOS Images- Case Study: Tehran, Iran
- [7] Dial G, Grodecki J (2003), Application of IKONOS Imagery, *Proceedings of ASPRS 2003*, Alaska
- [8] http://www.dhi-gras.com/~media/Microsite_GRAS/Files/Ikonos.ashx
- [9] Dial G, Grodecki J (2001) IKONOS geometric accuracy, Space Imaging'
- [10] Goetz S , Wright R, Smith A, Zinecker E, Schaub E (2002) IKONOS imagery for resource management: Tree cover, impervious surfaces, and riparian buffer analyses in the mid-Atlantic region, *Remote Sensing of Environment*
- [11] Xiuying Zhang (2005), Detecting urban vegetation from IKONOS data using an object-oriented approach
- [12] Benediktsson J, Pesaresi M, Arnason K (2003) Classification and Feature Extraction for Remote Sensing Images From Urban Areas Based on Morphological Transformations
- [13] Fraser C.S, Baltsavias E, Gruen A (2001) Processing of Ikonos imagery for submetre 3D positioning and building extraction, *SPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*

Sadržaj:

1. Uvod	1
2. IKONOS sistem	2
2.1 Osnova dizajna IKONOS satelita	2
2.2 Karakteristike senzora	4
2.2.1 Rezolucija	4
2.2.2 Pokretljivost satelita i orbita.....	5
2.2.3 Unutrašnja i spoljašnja orijentacija	6
3. IKONOS satelitski snimci	6
3.1 Prikupljanje snimaka.....	7
3.2 Kvalitet snimaka	8
3.3 Radiometrijska tačnost	10
3.4 Geometrijska tačnost.....	10
3.5 Podela IKONOS satelitskih snimaka.....	11
4. Primena IKONOS snimaka	13
4.1 Analiza snimaka	14
4.2 Kartografija.....	16
4.3 Ortorektifikovani snimci	16
4.4 Digitalni modeli visina (DEM).....	17
4.5 Fotogrametrija	18
4.6 Primeri korišćenja IKONOS snimaka	19
5. Reference.....	22