



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Југославија
Деканат: 021 350-413; 021 450-810; Централa: 021 350-122
Рачуноводство: 021 58-220; Студентска служба: 021 350-763
Телефакс: 021 58-133; e-mail: ftndeans@uns.ns.ac.yu



Сертификован
систем
квалитета



Seminarski rad

Predmet: Integrisani sistemi premera
Tema: Landsatove svemirske misije i senzori

Profesor: prof. dr. Vladimir Bulatović

Student: Olivera Novović br.indexa 360

Novi Sad, maj 2014. godine

Sadržaj

Rezime	3
Ključne reči	3
Uvod : Landsat platforme.....	4
Karakteristike Landsatovih misija.....	5
Return Beam Vidicon.....	9
Multispectral scanner.....	11
Thematic Mapper	13
Enhanced Thematic Mapper i ETM+	14
OLI (Operational Land Imager) i TIRS (Thermal Infrared Sensor).....	16
Analiza rezultata : Poređenje između snimka dobijenog ETM+ senzorom i OLI senzorom	20
Lični doprinos radu.....	22
Zaključak.....	22
Reference	23

Rezime

U ovom radu su prodiskutovane sve Landsatove misije. Posebna pažnja je posvećena karakteristikama i dizajnu senzora koje su ove misije nosile. Objašnjene su spektralne, prostorne i radiometrijske karakteristike senzora RBV, MSS, TM, ETM, ETM+, OLI i TIRS. Pored fizičkog dizajna senzora opisane su metode radiometrijske kalibracije koje direktno utiču na tačnost i pouzdanost senzora i podataka. Postupci radiometrijske kalibracije mogu da se svedu na tri metode. Prva je takozvana „prelunch“ kalibracija, gde se pre lansiranja satelita testiraju spektralne karakteristike i odziv senzora. Druga je takozvana „on board“ kalibracija koja se odvija nakon lansiranja kada je satelit u orbiti. Ova kalibracija se vrši sistemom optičke mehanike i svaki senzora ima svoj podsistem za kalibraciju. Treći postupak se vrši na Zemlji, testiraju se karakteristike senzora u nekim simuliranim situacijama, u laboratorijskim uslovima kao i u prirodnim uslovima posebno odabranim za te svrhe. Priložene slike i tabele pomažu lakšem razumevanju razmatrane materije.

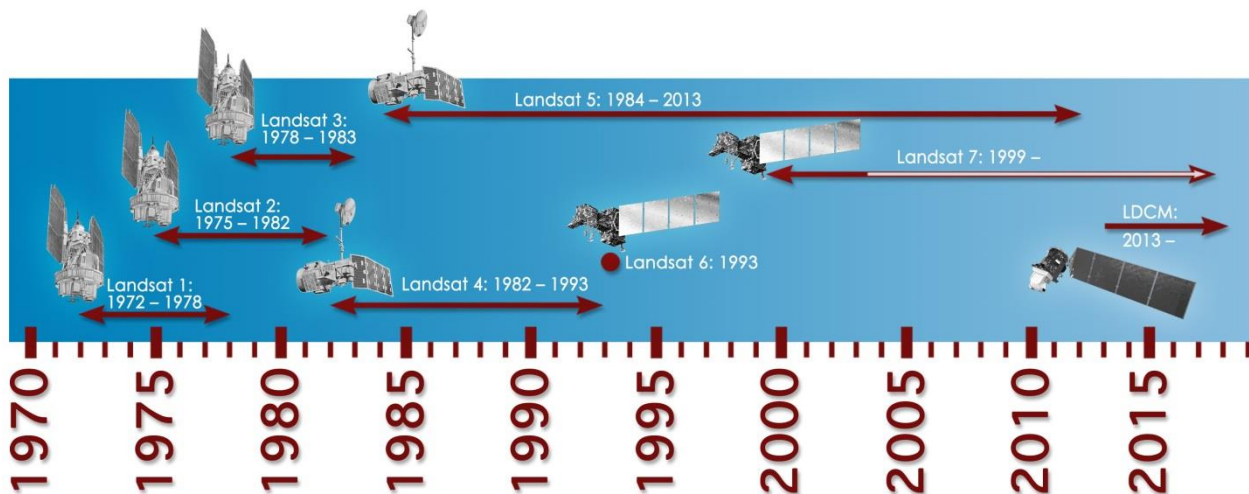
Ključne reči

Landsat, RBV, MSS, TM, ETM, ETM+, OLI, TIRS, optika, mehanika, rezolucija, kalibracija, spektralni opseg, odziv, senzor, pojas, snimak, skeniranje, putanja, bend, NASA, USGS, panhromatski, reflektujući, termalni, zrak, elektromagnetni spektar, IFOV, orbita

Uvod : Landsat platforme

Od 1972. godine Landsatovi sateliti su u kontinuitetu snimali podatke o zemljinoj površini, obalskoj zoni, koralnim grebenima, itd. Landsat program je napravljen u saradnji između US Geological Survey (USGS) i National Aeronautics and Space Administration (NASA) za potrebe snimanja zemljine površine iz svemira. NASA razvija instrumente za daljinski detekciju i svemirske brodove za satelite, senzore i drugi hardver potreban za ceo sistem. USGS se bavi prijemom podataka na Zemlji, kontrolom na Zemaljskim stanicama, obradom sirovih podataka i distribucijom podataka do korisnika. Landsat sistem je više od svih drugih eksperimentalnih misija doprineo boljem razumevanju i poimanju Zemlje, prostora koji nas okružuje, klimatskih promena, promena u vegetaciji i biodiverzitetu. Landsat misije već više od 40 godina prate i snimaju Zemlju, arhiva podataka prikupljenih tokom ovih misija je od neprocenjivog značaja. Podaci koji se dobijaju iz svemira, od Landsatovih satelita, višestruko su korisni za naučna istraživanja, u poljoprivredi, zaštiti životne sredine i kontroli šuma, za kontrolu i praćenje biodiverziteta, u geologiji, u geodeziji. Idejni tvorac Landsat 1 misije smatra se da je bio William Thomas Pecora, naučnik i inženjer koji je u periodu od 1965. godine do 1971. godine bio direktor USGS agencije. Landsat 1 misija je prvenstveno zamišljena kao eksperimentalni program, ali kada su prvi snimci stigli na Zemlju, naučnici i inženjeri su bili iznenađeni kvalitetom snimaka i nove mogućnosti su počele da se javljaju. Takođe, to što su misije nadživele svoj predviđeni vek trajanja je bila srećna ali neočekivana okolnost za tvorce Landsata. 80 – tih godina prošlog veka postojala je značajna tendencija da Landsat snimci postanu komercijalni, pošto do tad nisu bili dostupni privatnom sektoru. To je i učinjeno do polovine 80 – tih godina, Landsatovi podaci su postali dostupni privatnom sektoru što je dovelo do novih istraživanja, stvaranja novih zahteva i mogućnosti. Mogućnosti Landsatovih programa rastle su sa svakom novom misijom. Pregled Landsatovih misija kroz vreme, *slika 1*.

Slika 1, Pregled Landsatovih misija



Karakteristike Landsatovih misija

Landsat 1 misija je svakako posebna po tome što je prva, što predstavlja početak ere u kojoj će tehnologije daljinske detekcije preuzeti značajnu ulogu u sistemima osmatranja Zemlje i praćenja promena na Zemlji. Landsat 1 je lansiran 23. jula 1972. godine iz Vandenberg Air Force Base u Kaliforniji. Landsat 1 je nosio dve vrste senzora, to su bili RBV (Return Beam Vidicon) senzor i Multispectral Scanner (MSS). RBV senzor je ugašen samo 16 dana, u toku ostalog vremena koliko je trajala misija korišten je samo MSS senzor, koji je pokazao svoje prednosti u odnosu na RBV senzor. Landsat 2 misija je lansirana 22. januara 1975. godine i nosila je iste senzore kao i prethodna misija, s'tim što RBV senzor nije slao podatke u kontinuitetu, već samo povremeno. Landsat 3 misija je lansirana 5. marta 1978. godine i nosila je dve vrste senzora, RBV i MSS senzor. RBV senzor u Landsat 3 misiji bio je po dizajnu drugačiji, imao je dve kamere koje su registrovale panhromatske snimke. MSS senzor u Landsat 3 misiji je takođe bio drugačiji, imao je 5 bendova, i poslednji, ukupno osmi bend, je registrovao termalni opseg. Landsat 4 misija je lansirana 16. jula 1982. godine. i nosila je dve vrste senzora. U ovoj misiji se potpuno napušta upotreba RBV senzora, i koriste se MSS senzor i Thematic Mapper (TM) senzor. TM senzor je unapređen multispektralni senzor dizajniran da postigne snimanje bolje rezolucije, da budu jasnije granice između spektralnih bendova, da se poveća geometrijska i radiometrijska tačnost, u odnosu na MSS senzor. TM podaci se snimaju u sedam bendova istovremeno. Bend 6 je termalni bend, on registruje (toplotnu) infrared radijaciju. Landsat može samo pomoću ovog benda da snima noću. TM senzor je napravljen da bi se moglo odgovoriti na sve veće zahteve privatnog sektora, jer su u ovom periodu Landsat snimci postali komercijalno dostupni. MSS senzor je linearni senzor koji snima zemljinu površinu normalno na pravac orbitalne putanje. Kretanje samog satelita omogućava skeniranje linije duž putanje. Landsat 5 misija je lansirana 1. marta 1984. godine. Nosila je isti TM senzor kao i prethodna misija, a MSS senzor je imao iste karakteristike kao i MSS senzori u Landsat 1 i 2 misiji. Landsat 6 misija je lansirana 5. oktobra 1993. godine, ali nije dostigla orbitu. Ova misija nosila je drugačiji senzor nego prethodne misije, to je bio Enhanced Thematic Mapper (ETM), on je ima prvih sedam bendova istih kao i TM senzor i osmi bend panhromatski. Landsat 7 misija je lansirana 15. aprila 1999. godine. Ova misija je nosila ETM+ senzor, to je bio unapređen ETM senzor u odnosu na prethodnu misiju, ima osam bendova, povećana je rezolucija termalnog benda, dodata je i kalibracija na samom satelitu. ETM+ senzor obezbeđuje podatke vrlo visoke tačnosti tako da je postao standard za poređenje tačnosti drugih satelitskih misija. Landsat 8 je poslednji u nizu do sada lansiranih Landsat – ovih svemirskih misija. Lansiran je 11. februara 2013. godine. Kompletно je razvijen u saradnji između dve agencije, US Geological Survey (USGS) i National Aeronautics and Space Administration (NASA). Landsat 8 nosi dve vrste senzora Operational Land Imager (OLI) i The Thermal Infrared Sensor (TIRS). OLI senzor ima prostornu rezoluciju 30 m, dok termalni senzor, TIRS, ima prostornu rezoluciju 100 m. TIRS podaci se registruju zajedno sa OLI podacima koji su više prostorne rezolucije da bi se formirale radiometrijske i geometrijske korekcije. Radiometrijska rezolucija OLI podataka, kao i TIRS podataka je 12 bita. Prostorna rezolucija isporučenih podatak je 30 m. Landsat 8 snima u 11 bendova. Od toga, deseti i jedanaesti su termalni, podaci od TIRS senzora, osmi bend je panhromatski prostorne rezolucije 15 m, a prvi i deveti bend su za posebne namene. Prvi bend je specificiran za osmatranje obalske zone, a deveti za detekciju cirrus oblaka. Cirrus oblaci su sitni oblaci male gustine koji se teško registruju, a imaju negativnog uticaja na tačnost pri formiranju atmosferskih i drugih korekcija.

U tabelama 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 i 1.6 prikazani su podaci o sensorima za svaku misiju.

Tabela 1.1, Pregled karakteristika senzora Landsat 1 misije

Landsat 1 (23.07.1972. - 06.01.1978.)		
Sensors:		
Return Beam Vidicon (RBV) (23.07.1972. - 05.08.1972.)		
80 m ground resolution		
Band 1	Visible blue - green	475 - 575 μm
Band 2	Visible orange - red	530 - 680 μm
Band 3	Visible red to near IR	690 - 830 μm
Multispectral Scanner (MSS)		
80 m ground resolution		
Band 4	Visible green	0.5 - 0.6 μm
Band 5	Visible red	0.6 - 0.7 μm
Band 6	Near IR	0.7 - 0.8 μm
Band 7	Near IR2	0.8 - 1.1 μm
pixel size : 57x79 m		

Tabela 1.2, Pregled karakteristika senzora Landsat 2 i 3 misije

Landsat 2 (22.01.1975. - 27.06.1983.)		
Sensors: identical to Landsat 1		
Landsat 3 (05.03.1978. - 07.09.1983.)		
Sensors:		
Return Beam Vidicon (RBV)		
40 m ground resolution		
2 panchromatic cameras		
Multispectral Scanner (MSS)		
Band 4	Visible green	0.5 - 0.6 μm
Band 5	Visible red	0.6 - 0.7 μm
Band 6	Near IR	0.7 - 0.8 μm
Band 7	Near IR2	0.8 - 1.1 μm
Band 8	Thermal	10.4 - 12.6 μm
pixel size : 57x79 m		

Tabela 1.3, Pregled karakteristika senzora Landsat 4 i 5 misije

Landsat 4 (16.07.1982. - 14.12.1993.)		
Sensors:		
Multispectral Scanner (MSS)		
80 m ground resolution		
Band 4	Visible green	0.5 - 0.6 μm
Band 5	Visible red	0.6 - 0.7 μm
Band 6	Near IR	0.7 - 0.8 μm
Band 7	Near IR2	0.8 - 1.1 μm
pixel size : 57x79 m		
Thematic Mapper (TM)		
Band 1	Visible blue	0.45 - 0.52 μm
Band 2	Visible green	0.52 - 0.60 μm
Band 3	Visible red	0.63 - 0.69 μm
Band 4	Near IR	0.76 - 0.90 μm
Band 5	Near IR2	1.55 - 1.75 μm
Band 6	Thermal	10.40 - 12.50 μm
Band 7	Mid - Infrared	2.08 - 2.35 μm
pixel size : 30 m reflective 120 m thermal		
Landsat 5 (01.03.1984. - january 2013.)		
Sensors:		
MSS identical to Landsat 1 and 2		
TM identical to Landsat 4		

Tabela 1.4, Pregled karakteristika senzora Landsat 6 misije

Landsat 6 (05.10.1993.)		
Did not achive orbit		
Sensors:		
Enhanced Thematic Mapper (ETM)		
Band 1	Visible blue	0.45 - 0.52 μm
Band 2	Visible green	0.52 - 0.60 μm
Band 3	Visible red	0.63 - 0.69 μm
Band 4	Near IR	0.76 - 0.90 μm
Band 5	Near IR2	1.55 - 1.75 μm
Band 6	Thermal	10.40 - 12.50 μm
Band 7	Mid - Infrared	2.08 - 2.35 μm
Band 8	Panchromatic	0.52 - 0.90 μm
pixel size : 30 m reflective 120 m thermal 15 m panchromatic		

Tabela 1.5, Pregled karakteristika senzora Landsat 7 misije

Landsat 7 (15.04.1999.)		
Sensors:		
Enhanced Thematic Mapper (ETM+)		
Band 1	Visible blue	0.44 - 0.51 μm
Band 2	Visible green	0.52 - 0.60 μm
Band 3	Visible red	0.63 - 0.69 μm
Band 4	Near IR	0.77 - 0.90 μm
Band 5	SWIR 1	1.55 - 1.75 μm
Band 6	TIR	10.31 - 12.36 μm
Band 7	SWIR 2	2.06 - 2.34 μm
Band 8	Panchromatic	0.51 - 0.90 μm
pixel size : 30 m reflective		
60 m thermal		
15 m panchromatic		

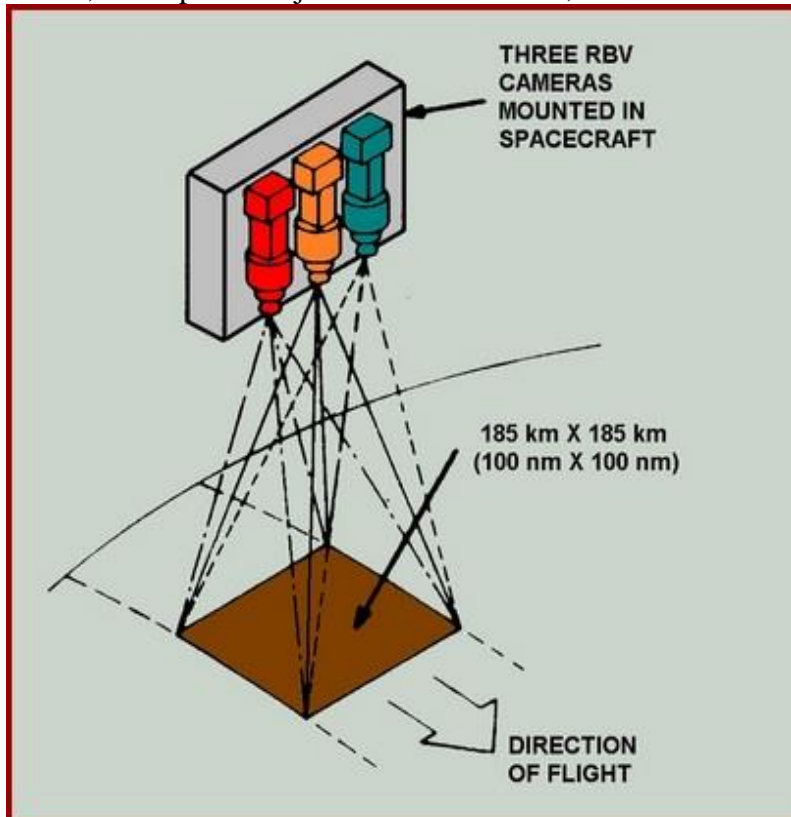
Tabela 1.6, Pregled karakteristika senzora Landsat 8 misije

Landsat 8 (11.02.2013.)		
Sensors :		
OLI (Operational Land Imager) and TIRS (The Thermal Infrared Sensor)		
Band 1	Coastal/Aerosol	0.43 - 0.45 μm
Band 2	Visible blue	0.45 - 0.51 μm
Band 3	Visible green	0.53 - 0.59 μm
Band 4	Visible red	0.64 - 0.67 μm
Band 5	Near IR	0.85 - 0.88 μm
Band 6	SWIR 1	1.57 - 1.65 μm
Band 7	SWIR 2	2.11 - 2.29 μm
Band 8	Panchromatic	0.50 - 0.68 μm
Band 9	Cirrus	1.36 - 1.38 μm
Band 10	TIR 1	10.60 - 11.19 μm
Band 11	TIR 2	11.50 - 12.51 μm
pixel size : 30 m reflective		
100 m thermal		
15 m panchromatic		

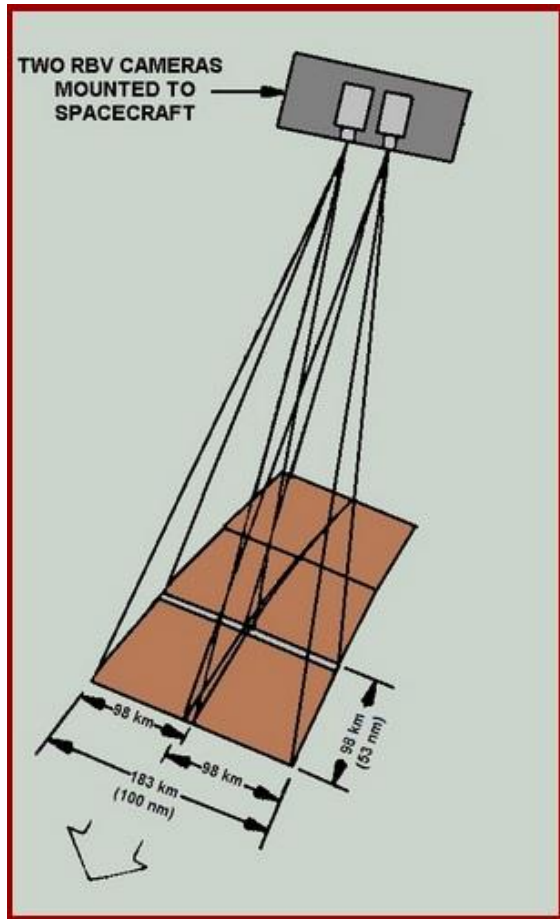
Return Beam Vidicon

Od samog nastanka Landsat programa, do današnjih dana, korišteno ukupno šest vrsta senzora. Prvi koji je započeo epohu snimanja zemljine površine iz svemira je Return Beam Vidicon (RBV), on je bio kratkog veka za Landsat 1 misiju, trajao je samo 16 dana, i snimio ukupno 1692 snimka. RBV senzor je dizajniran od strane „Radio Corporation of America“, on predstavlja ekvivalent video film kameri prostorne rezolucije 80 m, prvenstveno je bio zamišljen kao primarni senzor [1]. RBV sistem je bio predviđen za primenu u kartografiji, da odgovori na visoke zahteve u preciznosti geometrije [1]. Razlog zbog koga je morao biti ugašen je taj, što je njegova frekvencija slanja podataka stvarala elektromagnetne smetnje zbog kojih je čitav sistem mogao da skrene sa predviđene putanje. Ovaj senzor snima prostor po blokovima širine 185x185 km. Nakon što je obustavljena upotreba RBV senzora, Multispectral Scanner (MSS) se pokazao kao bolje rešenje. U sledećim Landsat misijama RBV senzor je korišten samo povremeno, dok je MSS senzor imao primarni značaj. U Landsat 1 i 2 misiji, RBV senzor se sastojao od tri kamere, raspoređene jedna pored druge, svaka je snimala određeni deo vidljivog elektromagnetnog spektra. U Landsat 3 misiji drugačije je to što se RBV senzor sastojao od dve kamere koje su raspoređene jedna do druge, svaka je snimala podatke iz panhromatskog dela spektra, ukupna širina polja snimanja je bila 90x90 km, odnosno 90x180 km sa određenim preklopom. Takođe, u Landsat 3 misiji je unapređen MSS senzor, imao je jedan bend više, to je bio osmi, termalni bend. Tri kamere RBV senzora su predviđene da registruju snimke simultano u tri različita opsega elektromagnetnog spektra. Na *slici 2* i *3* je prikazano kako izgledaju sistemi sa tri RBV kamere, odnosno sa dve RBV kamere.

Slika 2, Princip snimanja sa tri RBV kamere, Landsat 1 i 2 misije



Slika 3, Princip snimanja sa dve RBV kamere, Landsat 3



Tri kamere su dizajnirane isto osim što su u sklopu objektivna imale različite spektralne filtere kako bi svaka mogla da snima u zasebnom delu spektra. Sve tri kamere su bile postavljene tako da u isto vreme snimaju isto područje, odnosno IFOV (Instantaneous Field Of View) im je bio isti. „Instantaneous Field Of View“ se može neformalno definisati kao površina na zemlji koju vidi senzor u datom trenutku [2]. Kada su objektivni kamera bili zatvoreni, snimci u čuvani na RBV fotoosetljivom materijalu i potom skenirani da bi se kao izlazni signal dobio video signal.

Multispectral scanner

Multispectral scanner je senzor koji je, kao i RBV senzor, korišten u Landsat misijama od samog početka. Bio je u upotrebi zaključno sa Landsat 5 misijom. MSS sistem je razvijan prvenstveno radi testiranja novih elektro optičkih skener sistema i metoda multispektralnih analiza vezanih za takav sistem [1]. Neki od tehničkih detalja uključuju digitalnu transmisiju slike, za razliku od analogne koja je prisutna kod RBV senzora [1], to znači da podaci od MSS senzora karakteriše radiometrijska rezolucija od 6 bita. Još jedna važna karakteristika koja se pojavljuje sa MSS sensorima je radiometrijska kalibracija. Radiometrijska kalibracija je karakteristična za sve optičko mehaničke senzore. Radiometrijska kalibracija je neophodan preduslov za stvaranje visoko kvalitetnih naučnih podataka [6]. Svaki MSS senzor sadrži IC (Internal Calibrator) sistem, koji se sastoji od para lampi i rotirajućeg točka koji služi kao zatvarač. Točak zatvarač sadrži ogledalo i „neutral density“ (ND) filter. „Neutral dencity“ filter je uobičajen filter u optici i fotografskim uređajima koji se koristi kako bi smanjio količinu svetlosti koja prolazi kroz sočiva. ND filter smanjuje ili modifikuje intenzitet talasne dužine zraka, odnosno boje, kako bi se sprečilo razlivanje nijansi. Na *slici 4* je prikazan efekat ND filtera. Ogledalo u IC sistemu reflektuje svetlost na fokalnu ploču kroz ND filter.

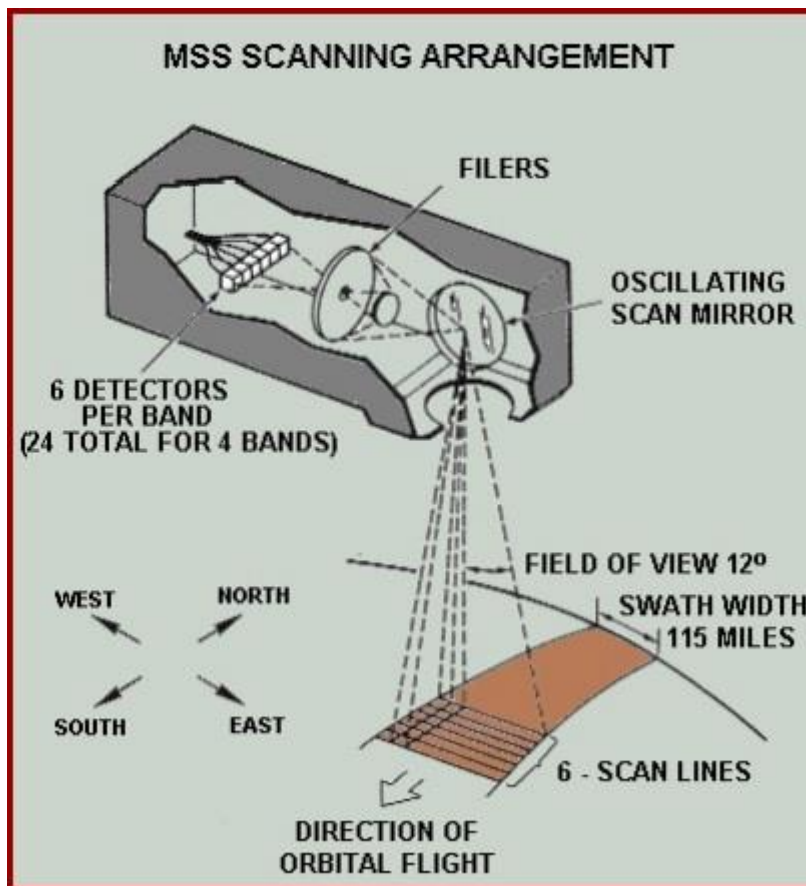
Slika 4, Efekat ND filtera



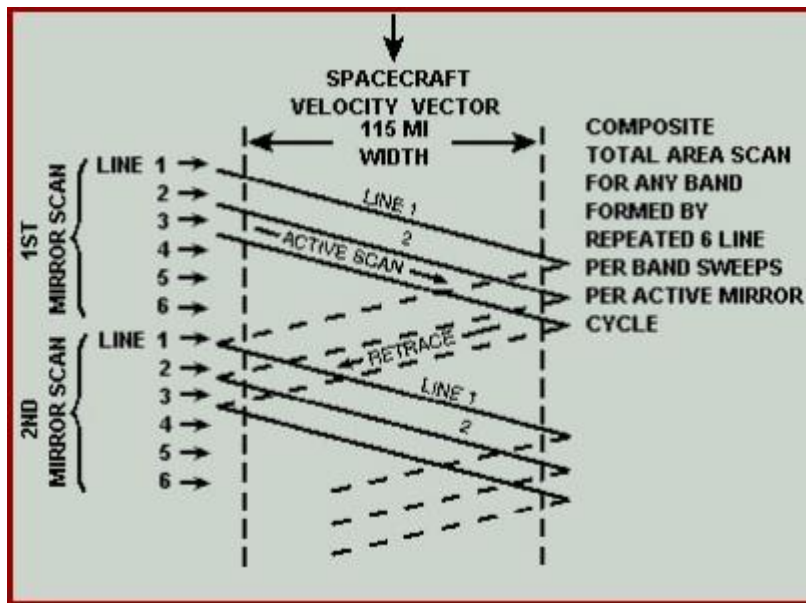
Izlazni signal IC sistema je svetlosni impuls na fokalnoj ploči, koji naglo raste zatim sporo opada [6]. Ovaj proces se ponavlja sa svakom linijom koja se skenira. Radiometrijska kalibracija MSS senzora se odvija u dva koraka. Prvo se sirovi podaci benda 1, 2 i 3 dekompresuju, odnosno linearizuju i svedu na rezoluciju od 7 bita koristeći poznate, fiksne „look - up“ tablice. „Look - up“ tablice su sastavljene pre lansiranja od izvedenih merenja. Sledeći korak je da se za svaki detektor i svaki bend individualno računaju koeficijent i offset nakon lansiranja. Ovo se radi primenom linearne regresije između podataka dobijenih u laboratoriji, pre lansiranja i podataka dobijenih nakon lansiranja kada satelit dostigne orbitu. Na osnovu linearne regresije podataka pre i posle lansiranja dobijaju se konačni koeficijenti radiometrijske korekcije za svaki bend. Procena ukupne kalibracione nesigurnosti za svaki MSS senzor je $\pm 10\%$, što je specificirana tačnost senzora [6].

MSS senzor je linearni skener koji osmatra Zemlju ortogonalno na orbitalnu putanju satelita. „Cross - track“ skeniranje je postignuto zahvaljujući rotirajućim ogledalima koji usmeravaju zrake. Za svaki spektralni bend simultano se skenira šest linija na putanji (*slika 5*). Ukupan broj skeniranih linija jednak je broju bendova pomnoženih sa šest. Na *slici 5* je prikazan način skeniranja i usmeravanja zraka kod MSS senzora. Skeniranje duž putanje omogućeno je zahvaljujući samom kretanju satelita. Na *slici 6* prikazano je „cross – track“ skeniranje. Prvih pet Landsat misija je nosilo MSS senzor koji je imao 4 benda, u Landsat 3 misiji je MSS senzor imao i dodatni, termalni bend. Kod MSS senzora IFOV je 68 m poprečno i 83 m duž putanje skeniranja. Širina pojasa koji se obuhvati skeniranjem je 185x185 km.

Slika 5, Metod skeniranja kod MSS senzora



Slika 6, Cross track skeniranje kod MSS senzora



Poznato je da je nakon obustave rada RBV senzora u Landsat 1 misiji, primarni značaj preuzeo MSS sensor. Dok je RBV sensor bio dizajniran da snima slike sa poznatom geometrijom, MSS je pravljen da obezbedi multispektralne podatke kao i podatke o pozicionoj tačnosti [2]. MSS podaci su se pokazali kao veoma kvalitetni, mnogo više nego što je bilo očekivano, i time jasno demonstrirali sav značaj i zasluge za satelitsko osmatranje Zemlje i podatke na taj način prikupljene [2]. IFOV za MSS sensor je 79x79 m. U Landsat 3 misiji postoji dodatni bend u MSS i u tom bendu, termalnom bendu, IFOV nije isti kao u ostalim. U termalnom bendu Landsat 3 misije IFOV je 234x234 m. Landsat MSS podaci su pokazali izuzetnu primenu u poljoprivredi, traženju naftnih izvora, u rudarstvu, u zaštiti životne sredine [3].

Thematic Mapper

Thematic Mapper je sensor koji je prvi put upotrebljen u Landsat 4 misiji, kada je RBV sensor iznabačen iz upotrebe. TM sensor je unapređen multispektralni sensor dizajniran da postigne snimanje bolje rezolucije, da budu jasnije granice između spektralnih bendova, da se poveća geometrijska i radiometrijska tačnost, u odnosu na MSS sensor. Procedura radiometrijske kalibracije kod TM senzora je nešto drugačija nego kod MSS senzora. IC sistem kod TM senzora sadrži tri lampe, crnu zastavu koja služi kao zatvarač, šuplje crno telo i optičke komponente potrebne da dovedu zračenje lampi i crnog tela do fokalne ploče [6]. Lampe služe za radiometrijsku kalibraciju reflektujućih bendova, a crno telo za kalibraciju termalnog benda [6]. Procedura radiometrijske korekcije se sastojala iz dve faze, kao i kod MSS senzora, to su faza pre

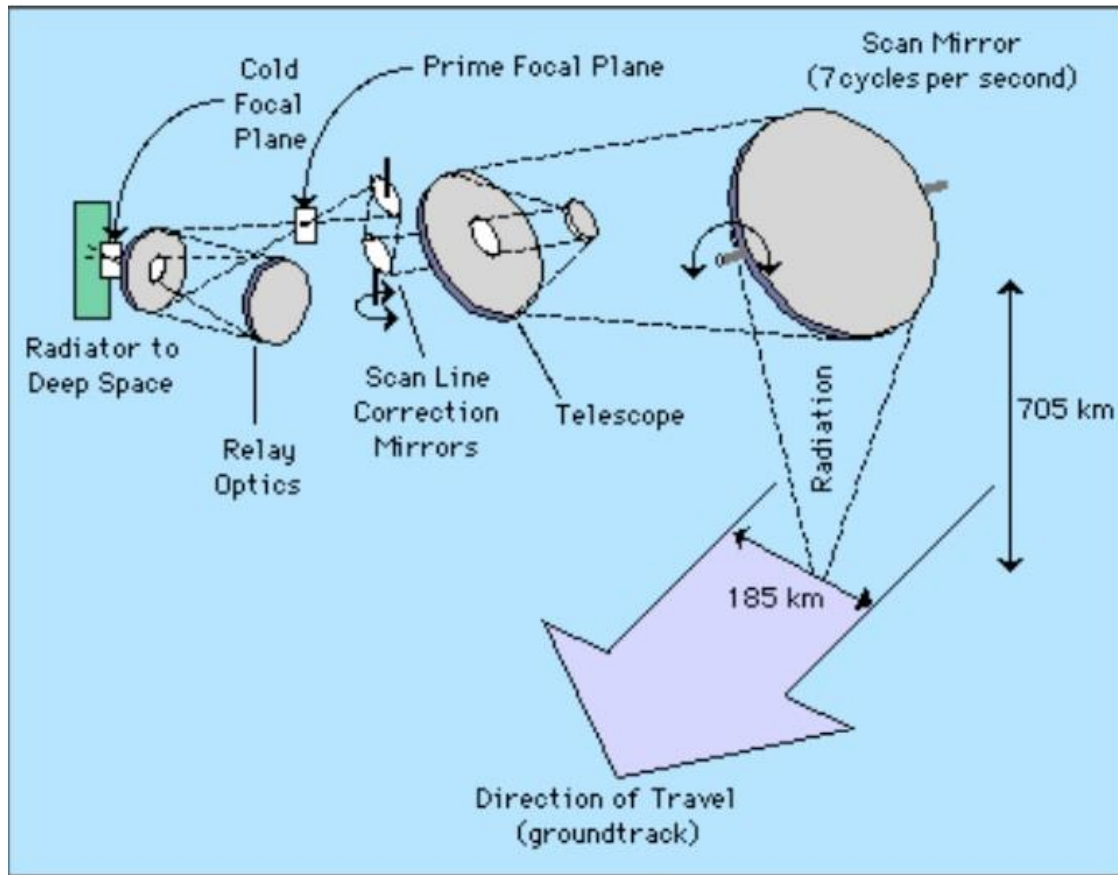
lansiranja i faza posle lansiranja kada satelit dostigne orbitu. U fazi pre lansiranja, efektivna radijansa svake lampe za svaki reflektujući bend je određena poređenjem odziva detektora prema internoj lampi i odziva istog detektora prema eksternom izvoru kalibracije. U merenjima pre lansiranja korišteno je osam stanja lampi. Ova merenja su kasnije korištena za određivanje linearne regresije sa podacima registrovanim u toku leta u orbiti, nakon lansiranja. Nagib krive linearne regresije predstavlja koeficijent radiometrijske kalibracije. Ono što je predstavljalo manu u ovakvom sistemu je to što se smatralo da su funkcije lampi nepromenljive tokom vremena, pa se svaka promena u odzivu tretirala kao promena u podacima. Pošto nije postojalo načina da se potvrdi nepromenljivost funkcije lampi nakon što je satelit lansiran jedini izvor informacija o lampama su oni pre lansiranja. Neke studije su pokazale da koeficijenti kalibracije nisu bili tačni za većinu misija [6]. Kalibraciona nesigurnost za Landsat 4 TM senzor je $\pm 10\%$, što odgovara specificiranoj tačnosti senzora. Za Landsat 5, kalibracija je ponovljena u 2003. godini i 2007. godini, pa je nakon svih korekcija ukupna kalibraciona nesigurnost ostala $\pm 5\%$.

TM podaci se snimaju u sedam bendova istovremeno. Bend 6 je termalni bend, on registruje (toplotnu) infrared radijaciju. Landsat može samo pomoću ovog benda da snima noću. Prostorna rezolucija snimaka je 30 m što je bilo najviše do tada postignuto. Sledeća generacija senzora se oslanjala na ovu, samo je poboljšana, to je Enhanced Thematic Mapper.

Enhanced Thematic Mapper i ETM+

Enhanced Thematic Mapper je senzor dizajniran za Landsat 6 misiju, ali nažalost ne postoje snimci snimljeni tim senzorom zato što satelit nikada nije dostigao orbitu i misija je izgubljena odmah po lansiranju. Unapređenje u odnosu na TM je u tome što je postojao i osmi bend. Taj bend je bio panhromatski, prostorne rezolucije 15 m. Po dizajnu senzor je bio isti kao i prethodni TM, razvijan od strane „Hughes Santa Barbara Research Center” (HSBRS). Nakon što je Landsat 6 misija doživela neuspeh već po lansiranju, Landsat 7 misija je lansirana pre predviđenog roka. Landsat 7 misija je nosila Enhanced Thematic Mapper + senzor. ETM + je unapređen u odnosu na ETM u tome što je šesti, termalni bend podeljen na dva opsega, High gain i Low gain, svaki prostorne rezolucije 60 m. ETM je imao 120 m prostornu rezoluciju u termalnom bendu. High gain registruje izuzetno jaku termalnu radijaciju, dok Low gain registruje izuzetno slabu termalnu radijaciju. Podaci procesirani nakon 25. februara 2010. godine su u svim bendovima svedeni na 30 m prostornu rezoluciju. Radiometrija rezolucija TM/ETM podataka je 8 bita, kao i ETM+ podataka. Važno je napomenuti da su MSS/TM/ETM senzori optičko mehanički i da prikupljaju podatke u svim bendovima istovremeno. Na *slici 7* se može videti arhitektura ETM+ senzora i način prikupljanja informacija.

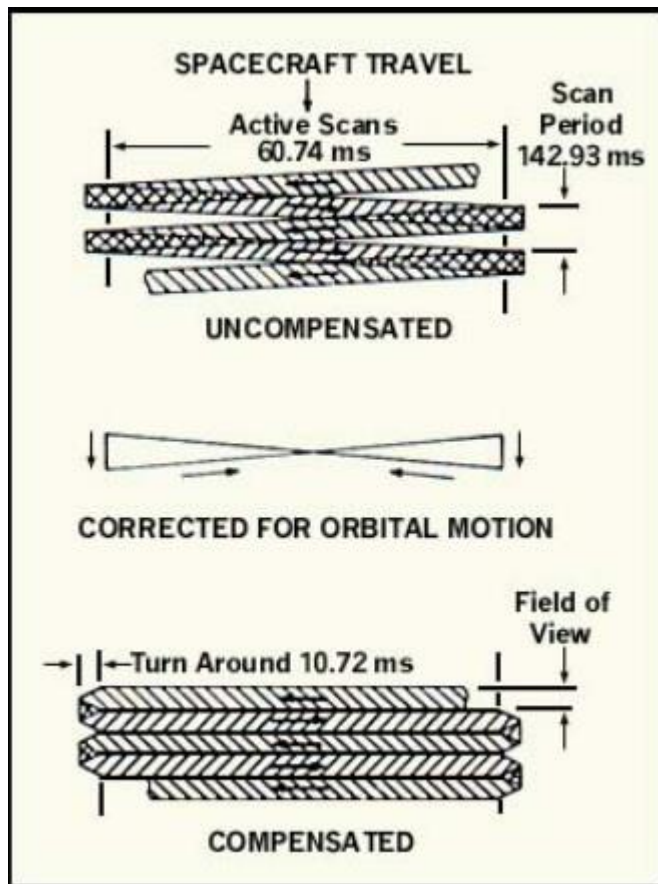
Slika 7, Arhitektura i način prikupljanja podataka kod ETM+ senzora



Landsat 7 misija je sa svojim ETM+ senzorom postala standard za tačnost podataka daljinske detekcije zbog izuzetno precizne radiometrijske kalibracije. ETM+ senzor ima tri „on board“ uređaja za kalibraciju. Prvi je Full Aperture Solar Calibrator (FASC), to je belo obojeni difuzni panel, drugi je Partial Aperture Solar Calibrator (PASC), on predstavlja optički mehanizam koji omogućava ETM+ da snima Sunce kroz male rupe, i treći je IC [6]. IC u ETM+ senzoru se sastoji od tri lampe, crnog tela i zatvarača, i optičke mehanike koja omogućava transfer energije do fokalne ploče. Kalibracija ETM+ senzora je izvršena koristeći poznate tačke na Zemlji kao i metodom „cross“ kalibracije sa drugim sensorima. ETM+ koeficijenti radiometrijske kalibracije i njihove promene se kontinuirano prate u orbiti uz pomoć mehanizama „on board“ kalibracije i kalibracije izvršene pre lansiranja. Ukupna kalibraciona nesigurnost ETM+ senzora je $\pm 5\%$. ETM+ senzor je Landsatov najstabilniji senzor, njegovi radiometrijski koeficijenti se ne menjaju više od 0.5% godišnje. Koeficijenti za kalibraciju ETM+ senzora dobijeni iz merenja pre lansiranja se objavljuju na internetu u formi Calibration Parameter File (CPF).

Svi podaci ETM+ senzora procesirani nakon 31. maja 2003. godine imaju anomaliju prouzrokovanu kvarom Scan Line Corrector (SLC). Zbog ovog kvara gubi se oko 22% podataka sa slike ali je radiometrijska tačnost ostala nepromenjena. Na slici 8 je prikazano kako izgleda putanja skenirane površine sa upotrebom SLC i bez upotrebe SLC.

Slika 8, Scan Line Corrector

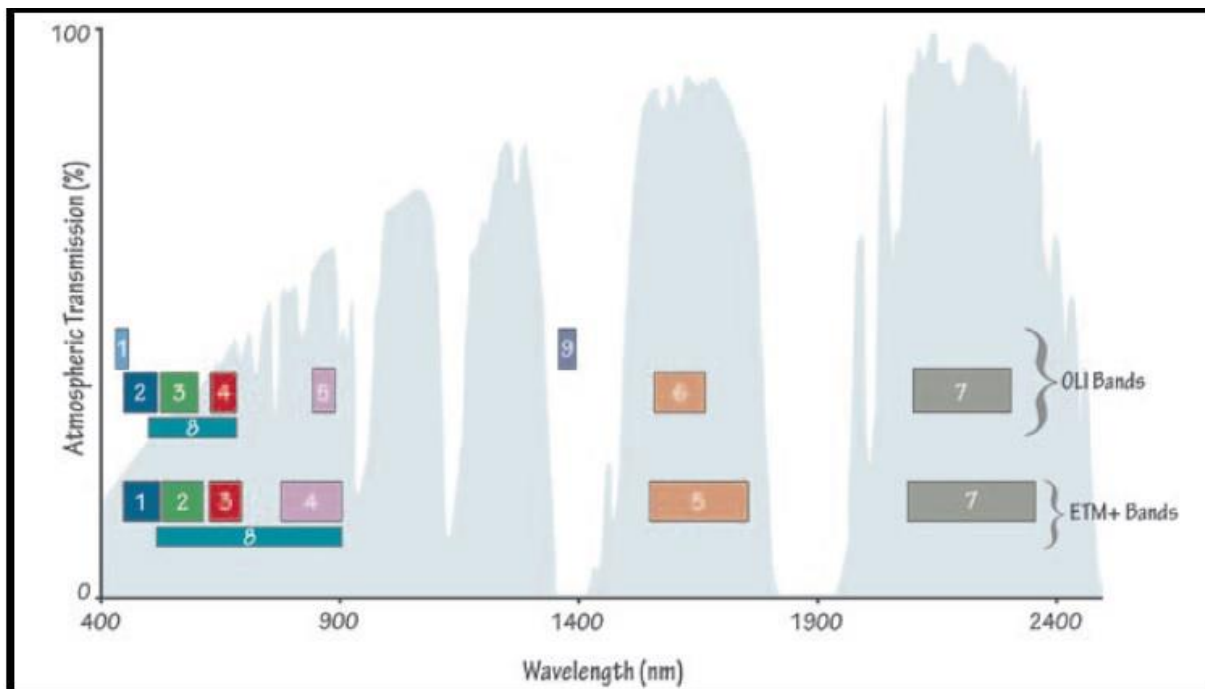


OLI (Operational Land Imager) i TIRS (Thermal Infrared Sensor)

Landsat Data Continuity Mission (LDCM) je nastala u saradnji između NASA i USGS agencija kao osma Landsatova misija [5]. Po lansiranju je usvojen naziv Landsat 8 za ovu misiju [5]. Landsat 8 misija nosi dve vrste senzora, to su OLI i TIRS senzor. OLI senzor je po dizajnu i funkciji sličan ETM+ senzoru koji je nosila prethodna misija, ali je u odnosu na njega znatno unapređen, a TIRS senzor se znatno razlikuje. OLI je napravljen u „Ball Aerospace & Technologies Corporation”, dizajniran po ugledu na NASA – in ALI senzor koji je bio testiran u eksperimentalnom EO – 1 satelitu. OLI senzor ima dva dodatna benda koja nema ETM+, to su prvi i deveti bend. Prvi bend, takozvani „Coastal band“, registruje deo elektromagnetnog spektra talasne dužine 0.43 - 0.45 μm . To je vrlo uzak talasni opseg, ovaj bend je specijalizovan za osmatranje morske obale i bliskog područja. Postojanje ovog benda omogućuje naučnicima da izmere količinu hlorofila u obalskoj zoni. Najveći deo hlorofila potiče od fitoplanktona. Količina i gustina fitoplanktona uslovljava kvalitet vode zato je naučnicima važno da prate ovaj parametar. Deveti bend, takozvani „Cirrus band“ je specijalizovan za detekciju cirrus oblaka. Cirrus oblaci su tanki, razvučeni oblaci male gustine, koji su ranije bili gotovo nevidljivi za detekciju, a njihovo prisustvo u atmosferi može znatno da utiče na atmosferske korekcije. Cirrus bend

obuhvata deo elektromagnetnog spektra talasne dužine 1.36 - 1.38 μm . To je takođe, vrlo uzak talasni opseg, specijalizovan samo za jednu namenu. Zahvaljujući ova dva benda, znatno više informacija možemo dobiti sa snimaka. Na *slici 9* je prikazano poređenje između bendova senzora ETM+ i OLI. Takođe, iz *tabele 1.6 i 1.5*, može se primetiti da su i ostali bendovi OLI senzora uži nego isti bendovi na ETM+ senzoru. Time je postignuto da se snimi veća količina detalja, jer je osetljivost senzora veća. Radiometrijska rezolucija OLI podataka je 12 bita, za razliku od ETM+ podataka gde je radiometrijska rezolucija 8 bita.

Slika 9, ETM+ i OLI senzor, poređenje talasnih dužina bendova

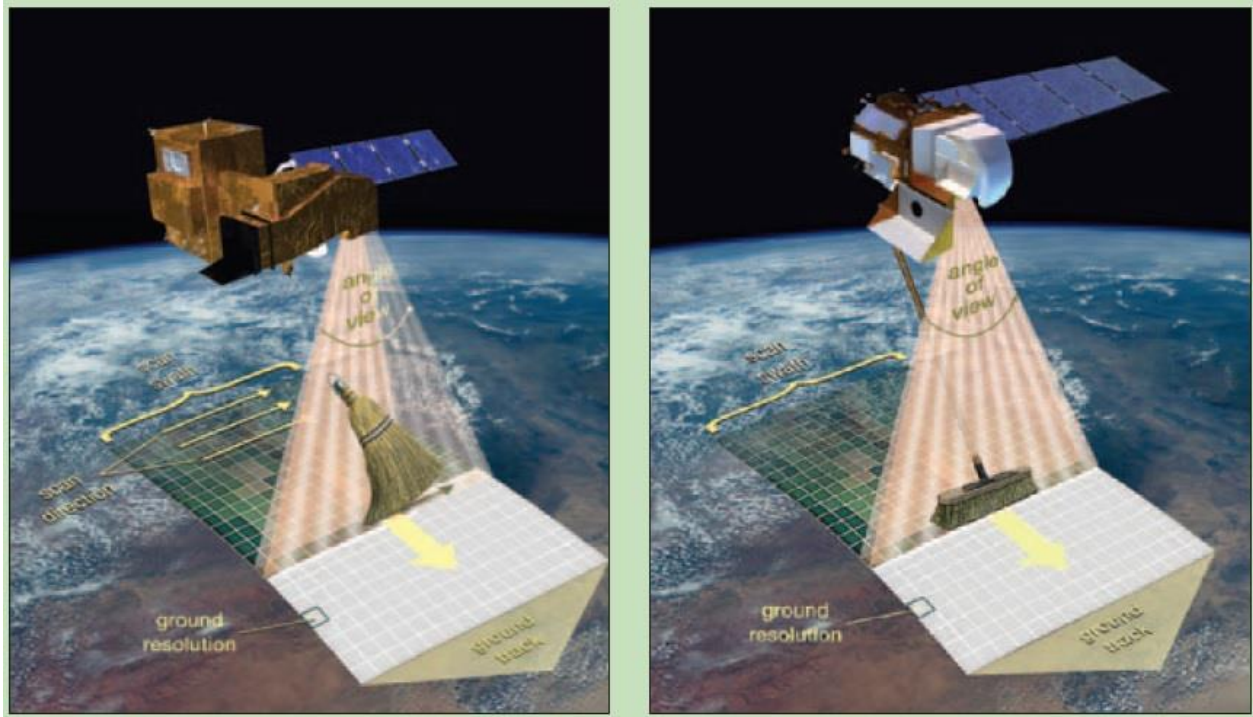


Za razliku od prethodnih Landsatovih senzora (MSS, TM, ETM, ETM+), koji su bili dizajnirani da skeniraju Zemlju po „wiskbroom“ pricipu („cross track“), u Landsat 8 misiji je OLI senzor dizajniran da skenira Zemlju po „pushbroom“ principu. „Wiskbroom“ princip se zasniva na tome da postoji ogledalo unutar senzora koje usmerava zrake tako da se cela širina pojasa od 185 km skenira liniju po liniju sa jedne strane na drugu naizmenično. „Pushbroom“ princip ne zahteva postojanje rotirajućih ogledala jer se cela širina pojasa skenira odjednom. Na *slici 10* je prikazan način skeniranja zasnovan na oba principa. Osnovna prednost „pushbroom“ principa je što ne zahteva ugradnju rotirajućih ogledala i što je sam senzor osetljiviji.

NASA je postavila visoke zahteve za radiometrijsku korekciju OLI senzora. OLI je dizajniran da proizvede podatke čija će apsolutna radijansa imati nesigurnost manju od 5%. Podaci sa OLI senzora su kompatibilni sa podacima sa ETM+ senzora. Takođe, kod OLI senzora je povećan odnos signal šum u odnosu na ETM+. Ovo povećanje je uvedeno na osnovu eksperimentalnih

rezultata dobijenih od ALI senzora. Ovo Na slici 11 je prikazana tabela sa vrednostima odnosa signal šum za OLI i ETM+.

Slika 10, „Wiskbroom“ (levo) i „Pushbroom“ (desno) princip skeniranja



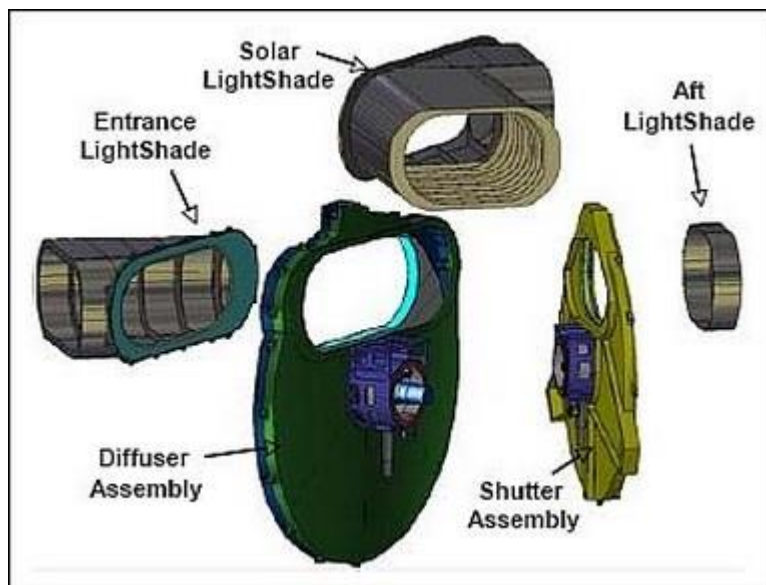
Slika 11, Odnos signal šum kod OLI i ETM+ senzora

OLI band	Ltypical SNR		Lhigh SNR	
	ETM + performance	OLI requirements	ETM + performance	OLI requirements
1	N/A	130	N/A	290
2	40	130	140	360
3	41	100	186	390
4	28	90	140	340
5	35	90	244	460
6	36	100	183	540
7	29	100	137	510
8	16	80	90	230
9	N/A	50	N/A	N/A

„Pushbroom“ sistem nasuprot „wiskbroom“ sistemu postavlja nove izazove za metode kalibracije i karakterizacije [8], najznačajniji među njima vezan je za fokalnu ploču koja ima 7000 detektora po spektralnom bendu i svi su postavljeni u redovima tako da istovremeno „vide“ celu širinu pojasa. Ugao pogleda pod kojim se skenira Zemlja je 15°. „On board“ kalibracion sistem OLI senzora se sastoji od dva difuzna panela, tri lampe i zatvarača. Kada je sistem okrenut prema

Suncu, kako bi sunčeva svetlost prošla kroz „solar lightshade“, difuzori reflektuju svetlos difuzno na otvor sklopa instrumenta i time obezbeđuju „full system full aperture calibration“. Na slici 12 prikazani su delovi kalibracionog podsistema. Primarni solarni difuzor se koristi svakih 8 dana da bi obezbedio „detector to detector“ normalizaciju odnosno da bi se ceo sistem kalibrisao. Ovakav sistem kalibracije zahteva da se satelit okrene prema Suncu u određenom položaju. Treći difuzor se koristi samo povremeno, svakih 6 meseci radi kontrole prva dva difuzora. Takođe je neophodno da sistem može da se rotira prema Mesecu svakog lunarnog ciklusa kako bi se obezbedio stalan i poznat izvog za praćenje stabilnosti celog procesa kalibracije.

Slika 12, Kalibracioni podsistem OLI senzora



Ovo je samo mali uvid u to kako funkcioniše „on board“ kalibracioni sistem OLI senzora. Pre lansiranja satelita vršena su mnoga testiranja senzora. Pre lansiranja, vršena su radiometrijska testiranja koja uključuju karakterizaciju šuma (random, coherent 1/f), linearnost, „stray light“, „bright target recovery“, senke [9]. Sve te metode kalibracije, pre i nakon lansiranja, kompletno ispitivanje senzora doveli su do toga da Landsat 8 postane vodeći sistem po tačnosti i pouzdanosti podataka i samih komponenti sistema.

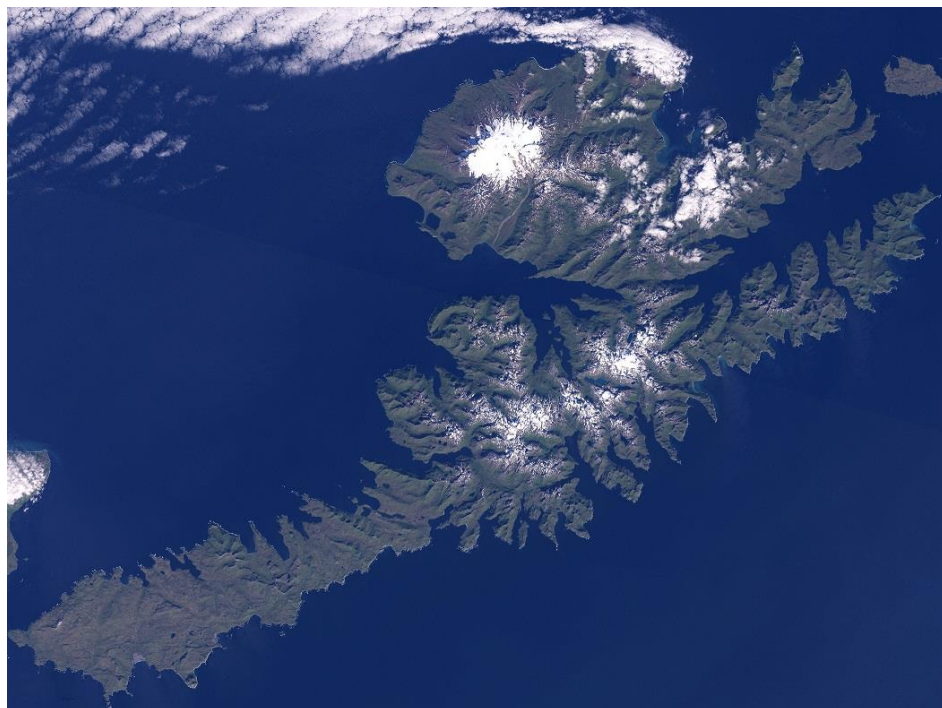
Sve na Zemlji emituje neku termalnu energiju. Fizika nam potvrđuje da je emitovana termalna energija srazmerna temperaturi tela. The Thermal Infrared Sensor (TIRS) je dodat Landsat 8 misiji kada je postalo jasno da su termalni podaci neophodni u menadžmentu vode i izvora vode, kao i u praćenju koliko se vode koristi u poljoprivredi [5]. Inženjeri su imali manje od četiri godine da dizajniraju i izgrade TIRS, pa su se okrenuli novoj tehnologiji. Nova tehnologija je zasnovana na upotrebi „Quantum Well Infrared Photodetectors“ (QWIP) koje je razvila NASA Goddard Space Flight Center (GSFC). QWIP su napravljeni od materijala koji je kompatibilan sa silikonom koji se koristi u kompjuterskoj industriji. To znači da se isti alati i tehnike koje industrija koristi za razvoj kompjuterskih čipova može koristiti i za razvoj QWIP. Ova

tehnologija je poznata inženjerima koji su radili na razvoju TIRS senzora zato su se opredelili za tu tehniku. QWIP funkcioniše na kompleksnom principu kvantne mehanike. Galijum arsenid poluprovodni čip „hvata“ elektrone koji su u stabilnom stanju dok se oni ne prebace na viši energetska nivo usled delovanja termalne svetlosti. Elektroni koji se prebace na viši nivo stvaraju električne struje koje su merljive i mogu se pretvoriti u digitalnu sliku. QWIP na TIRS - u detektuju termalnu svetlost u dva spektralna opsega, što nije ranije bio slučaj kada je postojao samo jedan termalni bend. TIRS je kao i OLI „pushbroom“ senzor, širina pojasa mu je 185 km, ali je prostorna rezolucija znatno smanjena i iznosi 100 m. Ovo smanjenje prostorne rezolucije je učinjeno radi jednostavnijeg i manje robusnog dizajna TIRS – a, jer je on dizajniran da bude operativan 3 godine, za razliku od OLI senzora koji je dizajniran da radi najmanje 5 godina. Podaci od TIRS – a su nezamenjivi u poljoprivrednim analizama gde se traži podatak o tome koja se količina vode nalazi na poljima. TIRS je takođe, kao i OLI prošao kroz više nivoa testiranja i kalibracije. Za termalni senzor „on board“ kalibracija se svodi na upotrebu apsolutno crnog tela. TIRS ima radiometrijsku nesigurnost 2% za temperature između 260 K i 330 K, odnosno manje od 4% za tela koja emituju temperaturu između 240 K i 260 K i između 330 K i 360 K [10].

Analiza rezultata : Poređenje između snimka dobijenog ETM+ senzorom i OLI senzorom

Već je objašnjeno koja su sve unapređenja sprovedena na OLI senzoru u odnosu na prethodni ETM+ senzor. Na *slikama 13 i 14*, prikazani su snimci obalske zone snimljeni ETM+ senzorom i OLI senzorom. Sa slika se jasno uočava koje se sve dodatne informacije dobijaju OLI senzorom. OLI senzor zahvaljujući svom prvom bendu „vidi“ plitko ispod vode, ali dovoljno da bi mogao da se proceni kvalitet vode, što nije bilo moguće ni sa jednim prethodnim senzorom.

Slika 13, Područje Aljaske ETM+



Slika 14, Područje Indijskog okeana OLI



Lični doprinos radu

Landsat je prvi započeo epohu satelitskih misija pre više od 40 godina. Kroz taj dugi vremenski period smenjivale su razne tehnologije i metode snimanja. Kako je napredovala nauka, kako je svaka satelitska misija donosila neke nove standarde, tako su napredovale i metode akvizicije i metode obrade podataka. Satelitski snimci nose u sebi višestruke informacije, koje su daleko značajnije od svega što čovek može da vidi golim okom. Senzori su najznačajniji deo celog satelitskog sklopa, jer su oni ti koje registruju podatke. Senzori su, kao i sve ostala oprema na satelitu napredovali kroz vreme. Tehnike detekcije su se menjale. U ovom radu prikazano je sumirano za sve Landsatove satelitske misije koje je senzore nosila i kakve su bile karakteristike tih senzora. Mnogo naučnih i stručnih radova je napisano na temu Landsatovih misija, ali su svi oni do detalja razradili samo neku od misija ili karakteristika. U ovom radu je prikazno hronološki kako su tekle Landsatove misije i kako su se zajedno sa njima razvijali i menjali senzori. Razumevanje načina funkcionisanja senzora je preduslov za razumevanje snimaka i svih informacija koji oni nose.

Zaključak

Sve Landsatove misije zajedno su nosile ukupno šest vrsta senzora. Može se reći da su Landsatove misije grupisane prema karakteristikama senzora. Tako, u prvu grupu svakako spadaju Landsat 1, 2, 3 misija, jer su one nosile istu vrstu senzora, RBV i MSS senzor. U prvoj i drugoj misiji ti senzori su potpuno isti, dok su u trećoj malo izmenjeni. U drugu grupu spadaju misije 4 i 5. U Landsat 4 misiji se napušta koncept RBV senzora i primarni značaj ostaje na MSS senzoru. Landsat 4 i 5 misija su nosile MSS senzor i TM senzor, koji je predstavljao unapređenje MSS senzora. Ove dve misije su otpočele epohu snimanja daljinskom detekcijom u kojoj primarni značaj imaju digitalni snimci, analogni snimci su potpuno prevaziđeni. Sledeća epoha dolazi sa Landsat 6 misijom koja je nosila ETM senzor ali kako satelit nije dostigao orbitu, nema podataka iz ove misije. Landsat 7 misija nosila je ETM+ senzor i postala je standard za tačnost i pouzdanost podataka daljinske detekcije. Landsat 8 misija je revolucionarna kad su u pitanju karakteristike senzora. OLI i TIRS senzor pomeraju granice mogućnosti daljinske detekcije. Sa posebnom pažnjom posvećenom kalibraciji senzora, Landsat 8 misija nameće nove standarde tačnosti i preciznosti podataka. Sa ovakvim hronološkim pregledom može se samo zaključiti da će sledeća Landsat misija doneti sa sobom nova unapređenja i dalji razvoj tehnologije daljinske detekcije kakav nije mogao da se pretpostavi u početku, kada je Landsat 1 misija lansirana sa skromnim očekivanjima da posluži samo u eksperimentalne svrhe. Danas se svet i funkcionisanje planete ne može zamisliti bez satelita, satelitski podaci imaju direktan uticaj na naš svakodnevni život, jer se ekologija, klima, poljoprivreda, prirodni resursi, resursi vode i nafte, danas u potpunosti prate kroz satelitske podatke. Landsatove misije imaju značajan globalni doprinos u tome, jer sa svojom srednjom prostornom rezolucijom daju podatke široke namene, bez kojih globalne analize ne bi bile moguće.

Reference

- [1] Timothy A. Warner, M. Duane Nellis, Giles M. Foody, *The SAGE Handbook of Remote Sensing*, first published in 2009 by SAGE Publications, pg. 125
- [2] James B. Campbell, Randolph H. Wynne, *Introduction to Remote Sensing*, fifth edition published in 2011, pg. 169
- [3] Darrel L. Williams, Samuel Goward, Terry Arvidson, *Landsat: Yesterday, Today, and Tomorrow*, PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING, October 2006, pg. 1173
- [4] Landsat 7 Science Data Users Handbook, National Aeronautics and Space Administration
- [5] Holli Riebeek, Laura Rocchio, Heather Hanson, Ellen Gray, Rachael Headley, *Landsat Data Continuity Mission*, NASA, 2011
- [6] Gyanesh Chander, Brian L. Markham, Dennis L. Helder, *Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors*, from journal ELSEVIER, downloaded from ScienceDirect, January 2009
- [7] K. Thorne, B. Markham, J. Barker, P. Slater, and S. Biggar, *Radiometric Calibration of Landsat*, an article from Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, July 1997
- [8] Brian L. Markham, Philip W. Dabney, James C. Storey, Ron Morfitt, Ed Knight, Geir Kvaran, Kenton Lee, *LANDSAT DATA CONTINUITY MISSION CALIBRATION AND VALIDATION*, downloaded from ntrs.nasa.gov
- [9] Brian L. Markham, Philip W. Dabney, Jeanine E. Murphy-Morris, Jeffrey A. Pedelty, Edvard J Knight, Geir Kvaran, Julia A. Barsi, *THE LANDSAT DATA CONTINUITY MISSION OPERATIONAL LAND IMAGER (OLI) RADIOMETRIC CALIBRATION*, downloaded from <http://www.nasa.gov/>
- [10] Kurtis Thome, Dennis Reuter, Cathleen Richardson, Ramsey Smith, *CALIBRATION OF THE THERMAL INFRARED SENSOR ON THE LANDSAT DATA CONTINUITY MISSION*, NASA

Ostala literatura:

<http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3227>

<http://landsat.usgs.gov/>

<http://ntrs.nasa.gov/>

<http://www.nasa.gov/>

Slike skinute sa:

<http://www.oneonta.edu/faculty/baumanpr/geosat2/RS%20Landsat/RS-Landsat.htm>

http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/#.U4CbK_1_vX4