

UDC: 629.783 : 77.03
528.873 : 629.783

VAŽNIJI SATELITSKI PROGRAMI SISTEMATSKOG SNIMANJA ZEMLJE

Potpukovnik dr *Miodrag Regodić*, Vojna akademija

Rezime:

Mnogobrojne prirodne i društvene pojave se neprekidno prate, izviđaju, snimaju i analiziraju u funkciji ispoljavanja čovekovog uticaja na njihova kretanja. Sve su češća stalna i povremena satelitska praćenja i snimanja koja se obavljaju u različite svrhe. U radu su predstavljeni važniji satelitski programi sistematskog snimanja Zemlje, koji se međusobno razlikuju po visini putanje, brzini obilaska oko Zemlje, opremi koju nose, posebno senzorima, te vrstom i kvalitetom snimaka površine Zemlje.

Ključne reči: satelit, satelitska snimanja, elektromagnetna energija, snimak, senzor.

SOME MAJOR SATELLITE PROGRAMMES OF THE SYSTEMATICAL SURVEY OF THE EARTH

Summary:

Numerous natural and social phenomena are constantly being observed, surveyed, registered and analyzed in the light of man's actions and influence on their course. It is obvious that permanent and periodical satellite observations and registrations conducted for various purposes are unavoidable nowadays. The paper deals with more important satellite programmes of the systematical survey of the Earth, which mutually differ according to the height of their orbit, their cruising speed, equipment they are equipped with, sensors in particular, as well as the type and quality of their images of the Earth.

Key words: atmospheric corrosion, preservation, polyamid-polyethylene foil, permeability for water vapour, silica.

Uvod

Pojavom veštačkih Zemljinih satelita počela je nova epoha u istraživanjima Zemlje, ali i drugih planeta. Namena im je višestruka: vojna izviđanja i rana upozoravanja i procene, komunikacijska navigacija, meteorološka opažanja, geodetska merenja, istraživanje prirodnih resursa (obnovljivih i neobnovljivih) i dr. Ti sateliti kruže oko Zemlje kroz svemirski prostor pod delovanjem gravitacijskih polja okolnih nebeskih tela, po zakonima nebeske mehanike.

Sistematska daljinska snimanja obavljaju se u različite svrhe. Ona mogu biti namenjena ispitivanju meteoroloških uslova i praćenju njihovih promena, proučavanju velikih vodenih površina (oceanografija), praćenju kretanja ljudi i naoružanja u vojnoobaveštajne svrhe, i drugo. Za struke i nauke koje se bave površinom Zemlje (geonauke) veoma su značajna sistematska satelitska snimanja namenjena proučavanju Zemljinih resursa. Ovim snimanjima započeo je i razvoj savremene daljinske detekcije.

Zahvaljujući razvoju tehnologije kosmičkih istraživanja, posebno naglašene tokom poslednjih decenija prošlog veka, omogućeno je i snimanje Zemlje iz kosmosa. Uvedeni su novi senzori koji omogućavaju registrovanje elektromagnetne energije i van granica vidljivog dela spektra. Ovi senzori, razvijeni za potrebe kosmičkih snimanja, sada se primenjuju kod aero, kao i kod terestričkih snimanja.

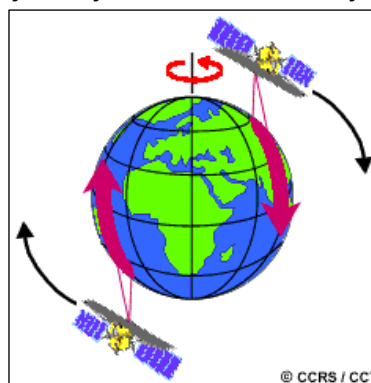
Zapis i prikaz registrovane elektromagnetne energije obavljaju se, po pravilu, u digitalnom obliku. Time su široko otvorene mogućnosti primene računara u obradi, analizi snimaka i prikazu dobijenih rezultata. Digitalni zapis je, takođe, naknadno uveden kod aero i terestričkih snimanja.

Snimanja iz kosmosa obavljaju se sistematski i ponavljaju u kratkim intervalima koji se, po pravilu, mere danima. Omogućeno je praćenje procesa i pojava u vremenu i prostoru (promene snežnog pokrivača, poplave, posledice trusova, promene pustinjskog reljefa usled peščanih oluja, itd.). Sistematska snimanja obavljaju se u različite svrhe. Ona mogu biti namenjena ispitivanju meteoroloških uslova i praćenju njihovih promena, proučavanju velikih vodenih površina, stalnom praćenju kretanja ljudi i naoružanja u vojnoobaveštajne svrhe, i drugo.

Orbita i zahvat

Orbita je putanja kojom se satelit kreće. Satelitske orbite mogu se razlikovati po visini na kojoj se nalaze, rotaciji i orijentaciji u odnosu na Zemlju. Sateliti koji se kreću na velikim visinama imaju tzv. geostacionarne orbite i uvek snimaju jedan isti deo Zemljine površine u različitom periodu dana ili godine. Najčešće se koriste u meteorologiji ili komunikacijama.

Za potrebe daljinske detekcije sateliti imaju bliskopolarne orbite (slika 1). Oni putuju najčešće od severa ka jugu i od zapada ka istoku, što je u sprezi sa Zemljinom rotacijom. To im omogućava da pokriju više delova Zemljine površine tokom određenog vremena. Orbite su uglavnom i sunčano-sinhronizovane, što im omogućava



Slika 1 – Bliskopolarne orbite [7]

da prekriju određeni deo Zemljine površi u stalno, tačno određeno doba dana, koje se naziva *lokalno Sunčevo vreme*. To omogućuje da površina od interesa bude pod jednakom osvetljenošću tokom određenog godišnjeg doba svake godine ili perioda od nekoliko dana.

Površina koju je senzor na satelitu prikazao na snimku naziva se *zahvat* satelita. Ovi zahvati se u daljinskoj detekciji kreću od desetine pa do stotine kilometara. Kako se satelit kreće od pola do pola oko Zemlje, njegova pozicija zapad-istok ne bi trebalo da se menja. Međutim, pošto Zemlja rotira od zapada ka istoku stiže se utisak da se satelit kreće i prema zapadu. Zahvaljujući tome satelit zahvata novu površinu svakim uzastopnim prolazom.

Vreme za koje satelit na putanji oko Zemlje napravi jedan pun obrt jeste *period*. Satelit će napraviti pun obrt kada ponovo pređe preko iste tačke na površini Zemlje, koja se nalazi tačno ispod satelita. Ta tačka naziva se *nadir*. Tačno vreme za koje satelit napravi pun krug varira od satelita do satelita. Interval potreban da satelit završi krug nije isto što i tzv. *Revisit Period* (period ponovnog pojavljivanja). Koristeći senzore kojima se može upravljati, moguće je videti objekat od interesa (kada nije u nadiru) pre i nakon što satelit pređe preko objekta. To čini da je *Revisit Period* kraći od perioda obnavljanja iste orbite. Ovaj podatak je jedan od veoma bitnih uslova za primenu satelita.

Vreme obilaska Zemlje

Satelit kruži preko polova sa otklonom od nekoliko stepeni od pravca sever-jug. Potrebno je naglasiti da je kružna putanja (orbita) satelita idealan slučaj i teško ostvarljiv u praksi. Jer, male greške u vektoru brzine u fazi stabilizacije satelita dovode do odstupanja od kružne putanje. Pri kruženju satelit obavlja neprekidno snimanje, odnosno registraciju elektromagnetne energije. Za to vreme Zemlja rotira ispod orbite satelita u smeru od zapada ka istoku. Na taj način je, tokom vremena, satelit u mogućnosti da snimi svaki deo Zemljine površine. Za satelit koji se kreće po eliptičnoj putanji oko Zemlje kaže se da je u *perigeju* – kada se nalazi na najmanjem udaljenju od njene površine, odnosno u *apogeju* – kada je najudaljeniji od nje. Tačke orbite na kojima je satelit najudaljeniji od Zemlje su na polovima, a tačke najmanjeg udaljenja na ekvatoru.

Vreme za koje bi satelit obišao Zemlju na putanji neposredno iznad morskog nivoa iznosi 84 minuta. Za prelazak cele orbite, odnosno za obilazak Zemlje duž polova, satelitu je bilo potrebno 103 minuta (Landsat). U toku jednog dana satelit je obilazio Zemlju približno 14 puta ($24 \text{ sata} \times 60 \text{ minuta} = 1.440 \text{ minuta}$; $1.440 \text{ minuta} : 103 \text{ minuta} = 13,98 \text{ prolaza}$).

Između dve orbite Zemlja se na ekvatoru pomeri prema zapadu za 2.875 km. Petnaesta orbita, prva po redu narednog dana, preklapa prvu orbitu prethodnog dana na ekvatoru za 14%. Preklapanje na polovima je

potpuno i iznosi 100%. Ciklus snimanja kod satelita Landsat 1 iznosio je 18 dana. Za to vreme satelit je načinio 251 prolaz oko Zemlje. Orbita započeta devetnaestog dana je 252. po redu i u potpunosti preklapa prvu orbitu načinjenu prvog dana (18 dana x 13,98 prolaza = 251,64 prolaza).

To znači da se svakog devetnaestog dana dobijaju snimci istog područja, što omogućava da se tako može pratiti razvoj određenih pojava u vremenu (vulkanske erupcije, otapanje snega i poplave, posledice katastrofalnih zemljotresa, dejstvo tornada i cunamija, i drugo). Sinhronizacijom rada više satelita vreme ponavljanja snimanja istog terena se skraćuje.

Ma koliko da je razređena, atmosfera na visinama satelitskih putanja pruža određeni otpor kretanju satelita. Iako je taj otpor minimalan, vremenom se brzina satelita na putanji smanjuje, a time postepeno menjaju elementi putanje, pre svega njena visina. Spuštanje putanje u niže gušće slojeve atmosfere izaziva intenzivnije smanjenje brzine satelita. Posle spuštanja putanje na visinu od 150 km satelit može da obiđe Zemlju još samo 1 do 2 puta. To određuje najniže moguće visine putanja foto-izviđačkih satelita, odnosno najmanje moguće približenje Zemlji u okolini perigeja pri manevrisanju ovih satelita.

Satelitske misije

Početak sistematskog snimanja površine Zemlje, time i začetak daljinske detekcije u današnjem obliku, vezuje se za uvođenje programa EROS (Earth Resources Observation System – Sistem za osmatranje Zemljinih resursa). Program je postavila i realizovala američka Agencija za aeronautička i kosmička istraživanja NASA (National Aeronautics and Space Administration). Prvi satelit ove namene, nazvan ERTS (Earth Resources Technology Satellite – Satelit za osmatranje Zemljinih resursa) lansiran je 23. jula 1972. godine u polarnu orbitu srednje visine od 900 km. Misija ERTS je kasnije preimenovana u LANDSAT (Land Satellite – Zemljin satelit).

Veliki uspeh programa Landsat doprineo je ubrzanom razvoju sistematskog satelitskog snimanja površine Zemlje. Brojne zemlje i međunarodne organizacije su tokom poslednjih decenija razvile programe istraživanja Zemlje iz kosmosa. Među njima se ističe Evropska kosmička agencija (ESA – European Space Agency), sa sedištem u Parizu, koja razvija program ERS (European Remote Sensing satellite – Evropski satelit za daljinsku detekciju).

Francuska satelitska kompanija Spot Image, sa sedištem u Tuluzu, sistematska snimanja obavlja sa satelita SPOT – Systeme Pour l'Observation de la Terre (Sistem za osmatranje Zemlje). U tabeli 1 prikazane su osnovne karakteristike najvažnijih satelitskih sistema za daljinsku detekciju lansiranih pre 2000. godine.

Tabela 1

Komerrijalni sistemi daljinske detekcije lansirani pre 2000. godine [5]

| Senzor | F (mm) | Dimenzije snimka (mm) | Visina leta (km) | Zahvat (km) | Prostorna rezolucija (piksel) | Odnos visine i baze |
|---------------|--------|-------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------|
| KFA1000 | 1 000 | 300x300 | 220/350 | 66x66 105x105 | 2,5–5 | 8,2 |
| KFA3000 | 3 000 | 300x300 | 220/350 | 22x22 35x35 | 1–2,5 | bez stereo opcije |
| KVR1000 | 1 000 | 180x(180) | 220/350 | 26x(26) | 1–2,5 | bez stereo opcije |
| SPOT | 2 086 | (150x150) | 830 | 60x(60) | 10/20m (digitalna) | do 1 |
| MOMS-02 | 220 | 600 piksela | 295 | 78x... | 13,5/4,5m (digitalna) | 1,3 |
| MOMS-2P | 660 | 9 000 piksela | 390 | 37x... 100x.../48x... | 16,5/5,8 m | 1,3 |
| IRS-1C/1D PAN | 980 | 12 000 piksela (3x4096) | 817 | 70x(84) | 5,8/23,5 m (digitalna) | do 1 |
| DPA ms | 40 | 6 000 piksela | (3,2) | (4,5) | 0,8 (digitalna) | – |
| DPA pan | 80 | 12 000 piksela | (3,2) | (4,5) | 0,8 | 1,1 |

Lansiranjem satelita IKONOS firme „Space Imagery“ i njegove pune operabilnosti, tokom 2000. godine, započeo je novi period u daljinskoj detekciji Zemlje. Na tržištu se pojavljuju satelitski snimci prostorne rezolucije 1m, koji su pogodni za kartiranje geodetskih i kartografskih podloga krupnijih razmera i pružaju veću mogućnost interpretacije objekata na terenu. Zatim, sledi lansiranje satelita QUICK BIRD firme „Earth Watch“ koji nosi identičan senzor kao IKONOS, prostorne rezolucije 0,61 m. Ovde se govori o komercijalno dostupnim snimcima, dok svakako postoje misije koje pružaju mnogo bolje performanse, ali se koriste isključivo za vojne i obaveštajne svrhe. Posle 2000. godine u orbitu je lansirano još nekoliko satelita sa senzorima različitih performansi, shodno nameni detektovanih snimaka (tabela 2).

Tabela 2

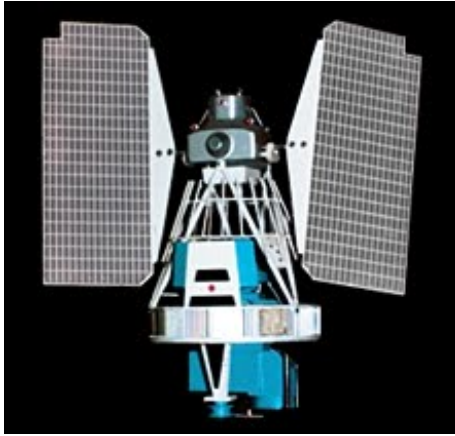
Komerrijalni sistemi daljinske detekcije lansirani posle 2000. godine [5]

| Misija | Earth Watch "Quick Bird" | | Orbital Sciences "Orb View3" | | Space Imagery "Ikonos" | | West Ind. Space Ltd "EROS" | | Earth Watch "Early Bird" | | Resource 21 "Resource21" | | | GEROS | |
|--------------------------------------|--------------------------|------------|------------------------------|-------|------------------------|--------|----------------------------|-------|--------------------------|--------|----------------------------|-----|-----|---|---|
| Godina lansiranja | 1. 2000 2. 2001 | | 2000 | | 1. sept 2000 | | 1. failed 2. 2000 | | failed | | 1. 2001 (2) 2. 2002 (2) | | | 1. 2000 (2) 2. 2001 (2) 3. 2002 (2) | |
| Tehnika snimanja | Pan | MS | Pan | MS | Pan | MS | Pan | Pan | MS | MS | | | Pan | MS | |
| Radiometrijska rezolucija | 11 bit | 11 x 4 bit | 8 bit | 8 bit | 11 bit | 11 bit | 10 bit | 8 bit | 8 x 3 bit | 12 bit | | | - | - | |
| Prostorna rezolucija | 0,82 m | 3,28 m | 1 i 2 m | 4 m | 1 m | 4 m | 1,3 m | 3.2 m | 15m | 10 | 20 | 100 | - | 10 m | |
| Broj kanala | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 4 | 2 | 1 | - | - | |
| Zahvat | 22 km | | 8 km | | 11 km | | 13,5 km | 6 km | 30 km | 205 km | | | - | | |
| Uzdužni nagib | ± 30° | | ± 50° | | ± 45° | | ± 45° | ± 30° | | ± 30° | | | - | | |
| Poprečni nagib | ± 30° | | ± 50° | | ± 45° | | ± 45° | ± 28° | | ± 40° | | | - | | |
| Pozicija senzora | GPS | | GPS | | GPS | | GPS | GPS | | GPS | | | GPS | | |
| Očekivana tačnost sa kontrolnim tač. | hor | ver | hor | ver | hor | ver | hor | ver | hor | ver | 5 m abs | | | hor | - |
| | 2 m | 2 m | 7,5m | 3,3 m | 2 m | 3 m | 6 m | 4 m | 6 m | 4 m | 1 m rel | | | 3 m | - |
| Bez kontrol. tač. | 23 m | 17 m | 12 m | 8 m | 12 m | 8 m | 800m | - | 150 m | - | 30 m | | | 25 m | - |

Misija Landsat

Prvi Landsat satelit pod imenom ERTS (Earth Resources Technology Satellite), lansirala je NASA, 23. jula 1972, iz Vojnovazduhoplovne baze Calif. Satelit je bio opremljen TV-kamerom i eksperimentalnim senzorom nazvanim MSS (Multi-Spektral Scanner – Multi-spektralni skener). Godine 1975. NASA je promenila ime ERTS u Landsat-1, koji je sa MSS senzorom bio u operativnoj upotrebi do 1978. godine. Za vreme perioda upotrebe Landsat-1 je izradio preko 300.000 snimaka visokog kvaliteta.

Satelit Landsat-2 lansiran je 22. januara 1975. godine, a Landsat-3 5. marta 1978. godine. Ovi sateliti sa svojim MSS senzorom obezbedili su kontinuitet i još veći kvalitet u osmatranju i snimanju Zemljine površine. Satelit Landsat-4 je pušten u rad 16. jula 1982. godine i koristio je novi senzor TM (Thematic Mapper – uređaj za tematsko kartiranje), najavljujući tako napredniju generaciju teledetekcionih satelita. Senzor TM načinio je zna-

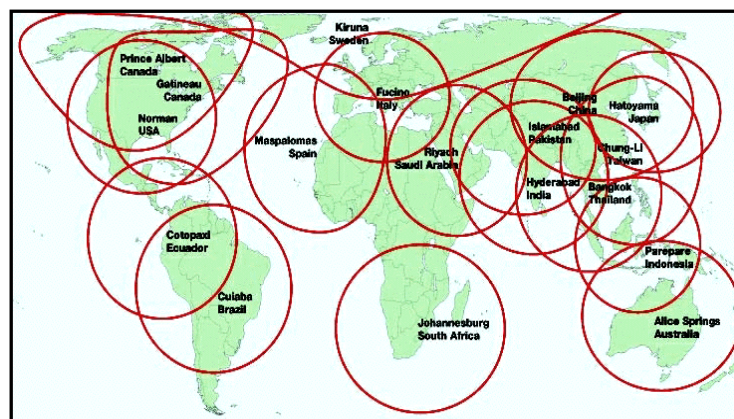


Slika 2 – Satelit Landsat-7 [2]

čajan napredak u dostizanju mnogo bolje rezolucije od 30 m. Landsat-5 je lansiran 1. marta 1984. godine i još se nalazi u operativnoj upotrebi, čime je nadmašio predviđeni upotrebnik vek. Landsat-6 je doživeo neuspelu misiju, pošto je izgubljen nakon lansiranja. Landsat-7 (slika 2), koji je lansiran 1998. godine, opremljen je ETM+ (Enhanced Thematic Mapper-Plus – poboljšani uređaj za tematsko kartiranje) senzorom koji obezbeđuje jedinstven kvalitet za senzorsko snimanje važnijih sitnorazmernih procesa na globalnom planu, kao što su: praćenje jednogodišnjeg i višegodišnjeg vegetacionog ciklusa, rasprostranjenost šumskih kultura, praćenje korišćenja poljoprivrednog zemljišta, urbanizma, vodenih resursa i drugo.

NASA je, uz podršku NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration – Nacionalni biro za okeanografiju i atmosferu) i USGS (United States Geological System – Geološki institut SAD), razvila i lansirala satelit Landsat-7. Satelit Landsat-7 je deo globalnog istraživačkog programa poznatog kao *NASA's Mission to Planet Earth* (NASA-ina misija planete Zemlje), koji predstavlja dugoročni program za proučavanje promena u životnoj sredini planete Zemlje. Zadatak ovog programa je praćenje prirodnih promena čovekove životne sredine.

Na slici 3 predstavljen je raspored stanica za prijem podataka sa satelita Landsat.



Slika 3 – Zemaljske stanice za prijem podataka misije Landsat [2]

Karakteristike orbite satelita Landsat-7 su:

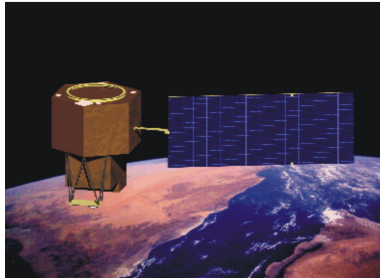
- velika poluosa orbite 7.077 km \pm 5 km
- altituda (visina orbite) 705 km
- inklinacija $98,2^\circ \pm 0,15^\circ$
- orbita polarna, sunčano sinhronizovana
- vreme silaznog čvora 10:00 AM \pm 15 min.
(lokalno Sunčevo vreme)
- period revolucije 98,8 min
- period ponavljanja iste orbite 16 dana

U tabeli 3 predstavljene su najznačajnije karakteristike misije Landsat-7.

Tabela 3

Karakteristike misije Landsat-7 [4]

| Landsat-7 | | | |
|-----------------------|--|------------|---------------------------|
| Lansiran | maja 1998. godine | | |
| Visina orbite | 705 km | | |
| Vreme prolaska orbite | 99 minuta | | |
| Ciklus snimanja | 16 dana | | |
| Broj orbita u ciklusu | 233 | | |
| Senzori | Osmokanalni multispektralni skener i ETM (Enhanced Thematic Mapper – poboljšani multispektralni skener za temetsko kartiranje) | | |
| | talasna dužina | rezolucija | spektralno područje |
| Kanal 1 | 0,45–0,52 μ m | 30 m | plavo |
| Kanal 2 | 0,52–0,60 μ m | 30 m | zeleno |
| Kanal 3 | 0,63–0,69 μ m | 30 m | crveno |
| Kanal 4 | 0,76–0,90 μ m | 30 m | blisko infracrveno |
| Kanal 5 | 1,55–1,75 μ m | 30 m | kratkotalasno infracrveno |
| Kanal 6 | 10,40–12,40 μ m | 120 m | termalno infracrveno |
| Kanal 7 | 2,08–2,35 μ m | 30 m | kratkotalasno infracrveno |
| Panhromatski | 0,50–0,90 μ m | 15 m | zeleno – blisko IS |
| Zahvat snimka | 185 x 185 km | | |
| Napomena | Novinu kod multispektralnog skenera predstavlja uvođenje panhromatskog kanala širokog opsega od vidljivog do bliskog infracrvenog dela spektra. Ovim kanalom dobijaju se kolor snimci visoke rezolucije (15 metara) vrlo dobrog kvaliteta. | | |



Slika 4 – Satelit EO-1 [6]

U okviru projekta Program za novi milenijum (New Millennium Program – NMP), razvijen je Landsat nazvan Zemljina orbitalna misija (Earth Orbiter Mission-EO-1). Upotrebom najsavremenije tehnologije i najnovijih naučnih otkrića poboljšava se kvalitet budućih sistema Landsat i istovremeno smanjuju troškovi eksploatacije. U tu svrhu u maju 1999. godine lansiran je eksperimentalni satelit EO-1 (slika 4).

Novе tehnologije u daljinskom snimanju Zemlje uključuju savremene senzore visoke spektralne rezolucije (Advanced Land Imager – ALI – Usavršeni instrumenti za snimanje Zemlje), zatim nova multispektralna integrisana kola, impulsne sisteme za savršeniju kontrolu orbite i položaja satelita na orbiti, prenos podataka optičkim vlaknima, nove ugljenične sisteme za hlađenje, nove kolektore sunčeve energije i drugo. Paralelno se radi na usavršavanju obrade registrovanih podataka i njihovog čuvanja. Eksperimentalni satelit ima masu 425 kg. Površina koju snima tokom jednog dana je od 4 do 12 025 km², u zavisnosti od broja senzora koji su uključeni u snimanje. U slučaju kada je aktivan samo multispektralni ili panhromatski senzor prikuplja se 16 snimaka na dan. Na snimcima je, u zavisnosti od vrste senzora, obuhvaćen prostor od 9,9 km do 37 km (slika 5).



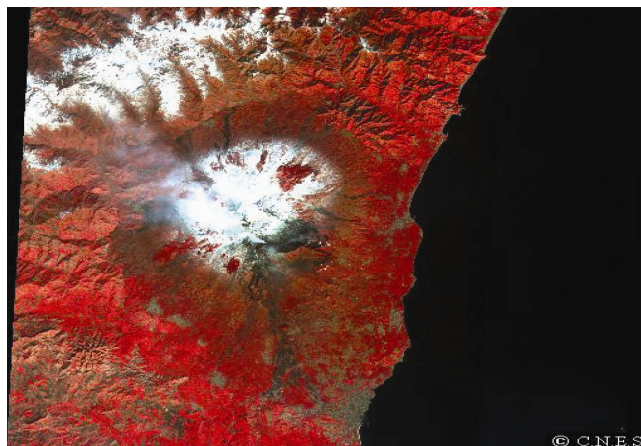
Slika 5 – Snimak Soluna načinjen tematskim maperom sa satelita Landsat [6]

Misija SPOT

Francuski satelit SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre – sistem za osmatranje Zemlje) projektovao je CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), francuski nacionalni centar za kosmička istraživanja, a razvijen je u saradnji sa Belgijom i Švedskom. Eksploatacijom SPOT sistema rukovode CNES i SPOT Image. Važno je pomenuti da je SPOT prvi otkrio kvar na nuklearnoj elektrani u Černobilu.

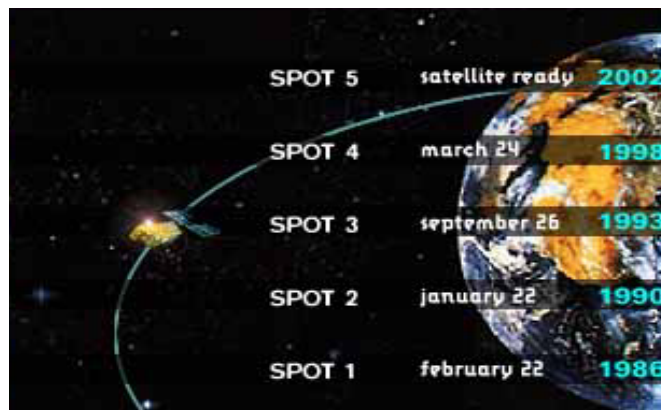
Sistem SPOT sastavljen je od svemirske komponente (satelita) i zemaljskog dela, koji obezbeđuje satelitsku kontrolu, programiranje, obradu snimaka i njihovu distribuciju. Satelitskom komponentom upravlja CNES koji vrši orbitalnu kontrolu satelita, preuzimanje podataka i arhiviranje, dok SPOT Image vrši obradu, distribuciju i marketing SPOT sistema. Rasteri dobijeni opažanjem Zemlje su kompatibilni sa svim tehnologijama Geografskog informacionog sistema (GIS) i kao takvi često se koriste za izradu topografskih podloga,

kao i za osmatranje vegetacije. SPOT Image takođe obezbeđuje proizvode za poljoprivredu, kartografiju, urbano planiranje, telekomunikaciju, praćenje vegetacije, praćenje prirodnih nepogoda, i drugo (slika 6).



Slika 6 – SPOT snimak vulkana Etna [6]

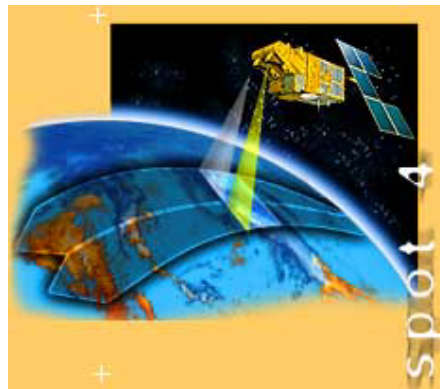
Satelitski sistem SPOT je u funkciji već 20 godina (slika 7). Na slici su prikazani datumi lansiranja satelita.



Slika 7 – Sateliti misije SPOT [8]

Satelit SPOT-4, lansiran 24. marta 1998. godine, savršeniji je od svojih prethodnika (slika 8). Projektovan je tako da mu se radni vek produži sa tri na pet godina, čime je očuvan kontinuitet misije SPOT. SPOT-4 ima senzore novije generacije, povećanog kapaciteta i rezolucije.

Satelit SPOT se svakih 26 dana nađe iznad iste tačke na Zemlji, kada se završava jedan ciklus kruženja zemlje i počinje novi.



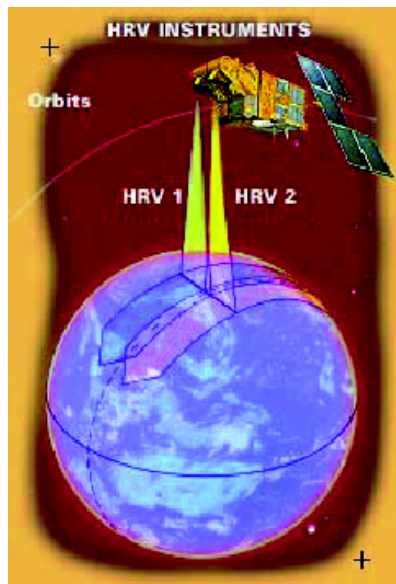
Slika 8 – Satelit SPO-4 [2]

Elementi orbite SPOT satelita su:

- altituda (visina orbite) 822 km
- inklinacija 98°
- orbita cikularna, skoro polarna, sunčanosinhronizovana
- vreme silaznog čvora 10:30 AM (lokalno sunčevo vreme)
- broj revolucija u jednome danu $14 + 5/26$
- skretanje traga na Zemlji ka zapadu posle svake revolucije ... 2 823 km
- period revolucije 101 min
- period ponavljanja iste orbite 26 dana

Svi sateliti SPOT imaju iste orbite, a međusobno se razlikuju samo u fazi. Raspoložu sa po dva HRV (High Resolution Visible) senzora visoke rezolucije (slika 9).

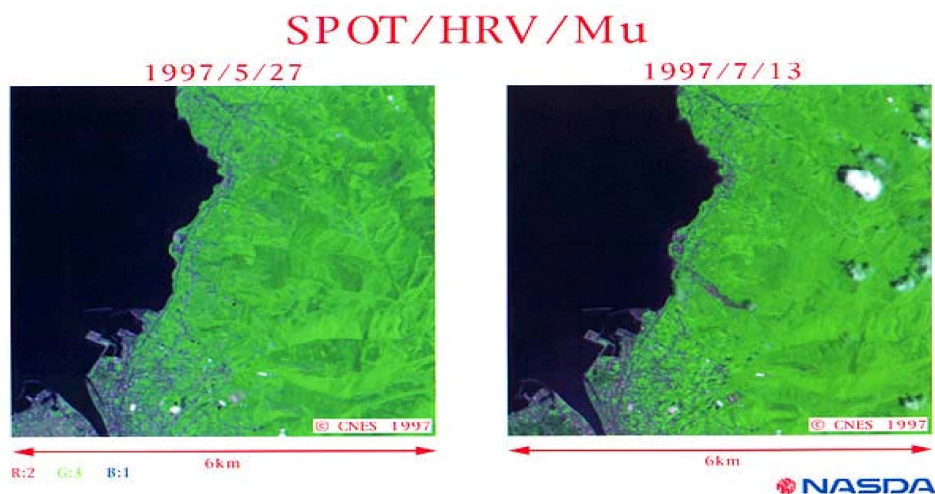
Položaj HRV ogledala može se kontrolisati sa Zemlje. Snimana teritorija ne mora se nalaziti ispod samog satelita, jer pored vertikalnog snimanja može se obezbediti i koso snimanje. Ugao kosog snimanja menja se u granicama $\pm 27^\circ$ i u ekstremnom slučaju snimljeni pojas na Zemlji je udaljen od nadira 450 km. Na taj način povećana je frekvencija ponovnog snimanja iste oblasti. Frekvencija snimanja iste oblasti zavisi i od geografske širine na kojoj se oblast nalazi. Za vreme istog orbitalnog ciklusa od 26 dana oblasti oko ekvatora mogu se snimati sedam puta, a oblasti na 45° severne i južne geografske širine 11 puta.



Slika 9 – Senzori High Resolution Visible [2]

Kombinacijom snimaka iste oblasti, koji su snimljeni sa različitih orbita, omogućen je stereoskopski efekat (slika 10), što predstavlja novi kvalitet SPOT snimaka.

Kada oba instrumenta snimaju istovremeno vertikalno, širina snimljenog pojasa na Zemlji je 117 km, sa međusobnim preklopom od 3 km, dok je površina koju pokriva jedan snimak 60 x 60 km.



Slika 10 – Stereo par HRV, SPOT snimaka [2]

Snimanja mogu biti:

- panhromatska crnobela sa rezolucijom od 10 m, a kod satelita SPOT-5 rezolucija je 5 m, i

- multispektralna kolor sa rezolucijom od 20 m, a kod satelita SPOT-5 10 m.

Prenos podataka do Zemlje sateliti SPOT mogu da izvrše na dva načina:

- u realnom vremenu, kada je satelit u zoni prijemne stanice na Zemlji, i

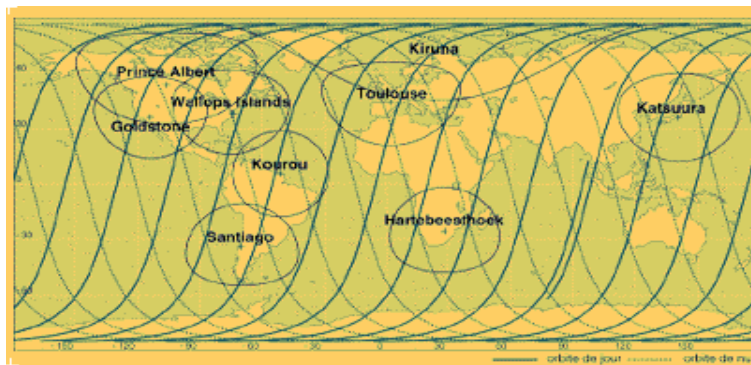
- odloženo, kada se satelit nalazi van zone prijemne stanice na Zemlji, pri čemu se snimljeni podaci čuvaju i naknadno prosleđuju zemaljskoj stanici.

SPOT-5 je uspešno lansiran 4. maja 2002. godine. To je prvi SPOT-ov satelit opremljen savremenim HRS senzorom (High Resolution Stereoscopic), koji mu omogućava stereoskopsko preklapanje dva susedna satelitska snimka (slika 11).



Slika 11 – Senzor High Resolution Stereoscopic [2]

Predviđeno je da SPOT-5 obavlja kontinuirani rad do 2007. godine. Glavna prijemna stanica SPOT podataka je Kiruna, koja se nalazi 20 km od Tuluza. Raspored ostalih zemaljskih stanica prikazan je na slici 12.



Slika 12 – Stanice za prijem SPOT podataka [2]

Misija Ikonos

Sateliti iz serije IKONOS su prvi komercijalni sateliti pomoću kojih se dobijaju digitalni snimci za daljinska istraživanja rezolucije od jednog metra.

Satelit IKONOS 1 lansiran je 26. aprila 1999. godine u organizaciji Space Imaging EOSAT (Kolorado, SAD) u vojnovazduhoplovnoj bazi u Vandenbergu. Lansiran je u sunčano-sinhronizovanu orbitu na visinu od 681 km. Trebalo je da prelazi ekvator između 10 i 11 sati pre podne (lokalno Sunčevo vreme). Satelit je izgradila kompanija Lockheed Martin Missiles & Space, Sunnyvale (Kalifornija, SAD). Neposredno nakon lansiranja satelit IKONOS 1 je izgubljen (satelit se nije odvojio od rakete, pa je zajedno sa njom izgoreo u atmosferi).

Dana 24. septembra 1999. godine uspešno je lansiran satelit IKONOS 2 (slika 13). Opremljen je optičkim sensorima visoke rezolucije, koji snimaju Zemljinu površ poprečno i uzdužno na pravac kretanja satelita.



Slika 13 – Satelit IKONOS 2 [5]

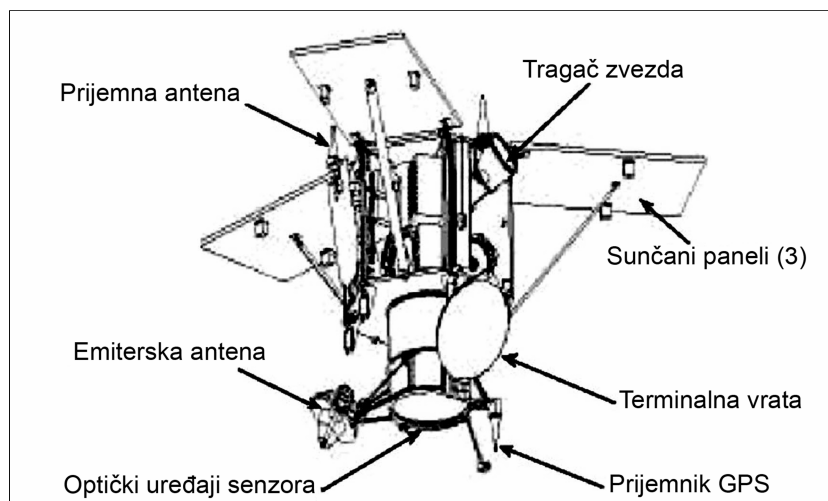
Kada se snimanje obavlja pod uglom manjim od 26° , rezolucijom od 1 m, omogućeno je ponovno snimanje istog područja svaka tri dana, a kada se snima rezolucijom od 1,5 m snimanje istog lokaliteta ponavlja se svakih 1,5 dana. Nominalni pojas snimanja (pri vertikalnom snimanju) širok je 11,3 km.

Glavne karakteristike satelita IKONOS prikazane su u tabeli 4, a na slici 14 vidi se konstrukcija ovog satelita.

Karakteristike satelita IKONOS [2]

Tabela 4

| IKONOS | |
|--|-----------------------------------|
| Visina orbite | 681 km |
| Inklinacija orbite | 98,1°, sunčano- sinhronizovana |
| Vreme uzlaznog čvora | 10:30 a.m., lokalno Sunčevo vreme |
| Revizit period | 3 dana sa 60° elevacije |
| | 11 dana sa 72° elevacije |
| | 141 dan sa 89° elevacije |
| Senzori | Panhromatski i multispektralni |
| Širina panhromatskog kanala | 13,816 piksela |
| Širina multispektralnog kanala | 3,454 piksela |
| Širina zahvata | 11 km u nadiru |
| Radiometrijska rezolucija | 11 bita |
| Prostorna rezolucija panhromatskog snimka | 1 m (0,82 m u nadiru) |
| Multispektralni kanali | Plavi, zeleni, crveni, blisko IC |
| Prostorna rezolucija multispektralnog snimka | 4 m (3,82 m u nadiru) |
| Plavo | 445–516 nm |
| Zeleno | 506–595 nm |
| Crveno | 632–698 nm |
| Blisko IC | 757–853 nm |



Slika 14 – Konstrukcija satelita IKONOS [2]

Elementi satelita IKONOS:

- prijemna antena – služi da primi zadatke sa zemaljske stanice;
- emitorska antena – služi da se podaci šalju u prijemnu stanicu na Zemlji u realnom vremenu;
- prijemnik GPS – prijemnik za satelitsku navigaciju;
- termalna vrata – služe za primanje termalnog zračenja sa površine Zemlje;
- sunčani paneli – ćelije koje primaju Sunčevu energiju i služe za napajanje satelita strujom;
- tragač zvezda – služi da odredi položaj satelita kada je potrebno precizno navesti satelit iznad interesnog područja.

Satelit IKONOS uključuje se samo kada je vreme da se izvrši snimanje, odnosno kada Glavni centar (*Primary Operation Center – POC*) ili Regionalni centar (*Regional Operation Center – ROC*) zatraže upotrebu satelita. Tada zemaljski centri mogu tražiti tačno određen deo na Zemlji koji žele da snime.

Iz programa misije satelita IKONOS isporučuju se sledeće vrste snimaka:

- georeferencirani snimci (Geo Product): Geo Product i Geo Ortho Kit Product;
- ortorektifikovani snimci (Ortho Product): Standard Ortho Product, Reference Product, Pro Product, Precision Product i Precision plus;
- stereo snimci (Stereo Product).

U tabeli 5 predstavljeni su specifikacija i osnovne karakteristike proizvoda IKONOS.

Tabela 5

Specifikacija proizvoda IKONOS [2]

| Nivo prethodne obrade | Poziciona tačnost [m] | | | Orto | Ugao optičke ose senzora | Mozaik | Stereo opcija |
|--|-----------------------|------|-----------|------|--------------------------|--------|---------------|
| | CE90 | RMS | MAP*** | | | | |
| Geo | 15 | – | – | NE | 60° do 90° | NE | NE |
| Standard Ortho | 50** | 25 | 1:100 000 | DA | 60° do 90° | NE | NE |
| Reference | 25,4 | 11,8 | 1:50 000 | DA | 60° do 90° | DA | DA |
| Pro | 10,2 | 4,8 | 1:12 000 | DA | 60° do 90° | DA | DA |
| Precision | 4,1 | 1,9 | 1:4 800 | DA | 72° do 90° | DA | DA |
| Precision Plus | 2 | 0,9 | 1:2 400 | DA | 72° do 90° | DA | DA |
| – bez uticaja izmeštanja reljefa; ** – i do 75 m CE90 u nenaseljenim, visokoplaninskim područjima; *** – odgovarajuća razmera kartiranja | | | | | | | |

Standardni snimci koji se isporučuju korisnicima nazvani su „Geo Product“ i oni se isporučuju u tri verzije: multispektralni, panhromatski i kombinacija panhromatskih i multispektralnih (*Pan-Sharpned*). Snimci se mogu isporučiti u tri kanala – RGB (RedGreenBlue – CrvenaZelenaPlava) ili u četiri kanala – RGB i blisko IC. Takođe, po želji naručioca podaci se isporučuju u formatu od 11 ili 8 bita po pikselu. Isporučeni snimci su georeferencirani i delimično korektovani. Geo Ortho Kit za razliku od Geo proizvoda omogućuje pun proces geometrijske korekcije, jer poseduje geometriju kamere.

Druga vrsta snimaka IKONOS, oznake „Ortho Product“, ima iste rezolucije kao i Geo, ali i dodatne korekcije, kao što su orto-korekcije, čime su uklonjene deformacije usled geometrije snimanja i visinskih razlika u reljefu. Ovi snimci mogu se naručiti sa različitom tačnošću, dok je za njihovu korekciju potrebna terenska kontrola i digitalni model terena. Tako poboljšani snimci omogućuju izradu podloga u razmeri 1 : 2 500.

Pomoću satelita IKONOS dobijaju se i stereoskopski snimci. U tabeli 6 prikazane su cene snimaka u odnosu na vrstu proizvoda po kvadratnom kilometru.

Tabela 6

Cene proizvoda IKONOS po km² [5]

| Proizvod: CARTERRA | Cena za Severnu Ameriku [USD] | Internacionalna cena [USD] | Cena za Evroaziju [USD] |
|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Geo | 7-35 | 29 | 18 |
| Reference | 29 | 73 | 36 |
| Pro | 39 | 98 | 47 |
| Precision | 49 | 122 | 59 |
| Precision Plus | 66 | 149 | 99 |

U tabeli 7 prikazana je tačnost pozicioniranja, srednja greška i mogućnost korišćenja proizvoda IKONOS u kartiranju.

Tabela 7

Proizvodi IKONOS u odnosu na tačnost i mogućnost kartiranja [5]

| Proizvod: CARTERRA | Tačnost $p = 0,90$ | RMS | Zadovoljava razmeru kartiranja |
|--------------------|-----------------------|--------|-----------------------------------|
| Geo | 50 m | 23,6 m | 1:100 000 |
| Reference | 25 m | 11,8 m | 1:50 000 |
| Pro | 10 m | 4,8 m | 1:12 000 |
| Precision | 4 m | 1,9 m | 1:4 800 |
| Precision Plus | 2 m | 0,9 m | 1:2 400 |

Snimci se isporučuju u digitalnom obliku na CD-ROM, DVD ili tvrdom disku u različitim formatima (TIFF, GeoTIFF, ERDAS lan, BIL, BIP i dr.), što zavisi od želje naručilaca. S obzirom na izuzetno dobru prostornu rezoluciju (odgovara rezoluciji aerofoto snimaka načinjenih sa visine od 3 000 m) i dobru radiometrijsku rezoluciju, primena snimaka je posebno prikladna za izradu i ažuriranje planova i topografskih karata u krupnoj razmeri (od 1:2 500 do 1:50 000). Na slikama 15 i 16 prikazani su primeri snimaka IKONOS.



Slika 15 – Snimak IKONOS RGB dobijen tehnikom Pan-Sharpened



Slika 16 – Panhromatski snimak IKONOS

Ostale misije

Nekada SSSR, a danas Ruska Federacija, razvija mnogobrojne programe kosmičkih istraživanja. Sistematska snimanja fizičke površine Zemlje namenjena daljinskoj detekciji obavljao je, pored ostalih, satelit Kosmos-1870. Drugi značajan program iste namene, povezan sa programom Kosmos, obuhvata seriju satelita nazvanih Resurs.

Pojedine zemlje razvijaju sopstvene nacionalne programe sistematskih kosmičkih snimanja površine Zemlje. Ovi programi realizuju se obično u saradnji sa jakim međunarodnim organizacijama i poznatim programima, kao što su ERS, LANDSAT, SPOT ili Kosmos (Resurs). Nisu usamljeni slučajevi da neke države potpuno samostalno realizuju satelitska snimanja. Među zemljama sa nacionalnim programima značajno mesto zauzimaju Indija, Kina i Japan.

Program Kosmos/Resurs

Programi *Kosmos* i *Resurs* predstavljaju najznačajnije ruske programe sistematskog snimanja površine Zemlje za potrebe daljinske detekcije. Program *Kosmos* obuhvata veliki broj satelita namenjenih različitim misijama kosmičkih istraživanja. Najvažniji iz misije daljinske detekcije je *Kosmos-1870*.

Resurs je program ranije sovjetskih, sada ruskih satelita namenjenih daljinskoj detekciji kojim rukovodi „Priroda“ – Centar glavne ruske geodetske i kartografske uprave (GUGK). Program obuhvata satelite serije F1 i F2. Sateliti prve serije imaju radni period od pola meseca, a druge mesec dana. Prvi *Resurs-F1* lansiran je pod imenom *Kosmos-1127* 5. septembra 1979. godine. Prvi iz *Resurs-F2* serije, pod nazivom *Kosmos-1906* lansiran je 26. decembra 1987. godine. Posebno značajni su sateliti misije *Resurs O1-3* i *Resurs O1-4*, koji od senzora imaju po četiri multi-spektralna skenera i osmokanalnu TV kameru.

Program ERS

Program ERS (European Remote Sensing satellite – Evropski satelit za daljinsku detekciju) razvila je Evropska kosmička agencija (ESA – European Space Agency), sa sedištem u Parizu. Ova agencija objedinjuje istraživačke kapacitete i sredstva više zemalja zapadne Evrope, a uspešno sarađuje sa SAD (NASA) i Ruskom Federacijom. Program ERS obuhvata misiju dva satelita, označena kao ERS-1 i ERS-2. Sateliti ERS opremljeni su radarskim sensorima.

Program IRS

Program IRS (Indian Remote Sensing satellite – Indijski satelit za daljinsku detekciju) razvila je vladina organizacija ISRO (Indian Space Research Organization - Indijska organizacija za kosmička istraživanja). U okviru ovog programa, prema raspoloživim podacima, lansirano je 8 satelita za sistematsko snimanje Zemlje. Prvi, označen kao IRS 1A, lansiran je 17. marta 1988. godine, a poslednji, IRS P3, 21. marta 1996. godine. Sateliti IRS opremljeni su multispektralnim kamerama tipa LISS (Linear Imaging Self Scanning – linearno sopstveno skeniranje).

Program JERS

Japan je u okviru obimnih kosmičkih istraživanja i lansiranja većeg broja satelita lansirao i poseban satelit namenjen sistematskom snimanju Zemlje za potrebe daljinske detekcije. Ovaj satelit nazvan je JERS-1 od Japanese Earth Resources Sensing satellite (japanski satelit za osmatranje Zemljinih resursa) i opremljen je radarskim sensorima SAR (Synthetic Aperture Radar) i OPS (Optical Scanner – radiometar sa kanalima u vidljivom i bliskom infracrvenom području i kratkotalasnom infracrvenom području).

Program Čajnasat

Program pod nazivom „Čajnasat“ (Chinasat), u značenju kineski satelit, realizuje Kina. Među brojnim satelitima drugih naučnih namena, inače zvanično nazvanih serija Dong Fang Hong, lansirano je i 19 satelita za daljinsku detekciju. Prvi od njih, Dong Fang Hong 03, lansiran je 26. jula 1975. Misiju je završio 14. septembra 1975. godine. Devetnaesti, označen kao Dong Fang Hong 43, lansiran je 20. oktobra 1996. Prestao je sa radom 4. novembra iste godine. Detalji o sensorima ovih satelita nisu dostupni. Pretpostavlja se da su opremljeni multispektralnim skenerima i klasičnim ili multispektralnim foto-kamerama. Opšte karakteristike misije

Dong Fang Hong ilustruje primer poslednjeg satelita označenog brojem 43. Ovaj satelit opremljen je multispektralnim kamerama tipa LISS (Linear Imaging Self Scanning – linearno sopstveno skeniranje).

Zaključak

Rezultati postignuti dosadašnjim snimanjima i istraživanjima Zemlje u različitim oblastima: geologiji, hidrologiji, šumarstvu, poljoprivredi, kartiranju zemljišta i vegetacije, inženjerskom projektiranju, fotogrametriji, kartiranju prirodnih i izazvanih katastrofa, prostornom planiranju, ekologiji, arheologiji, okeanografiji, vojnim i drugima potrebama predstavljaju snažan podsticaj razvoju novih senzora za snimanja i merenja iz svemira, kao i pri konstrukciji novih svemirskih letelica.

Uvođenje modernih tehnologija za upravljanje prirodnim bogatstvima i ažurno praćenje stanja na površini Zemlje zahteva pravovremene i objektivne informacije, često o trenutnom stanju i stvarnim mogućnostima kontrole promena koje su svakodnevne. Upravo zbog mogućnosti široke primene podataka dobijenih posredstvom veštačkih Zemljinih satelita, osiguran je široki spektar proizvoda satelitskih misija.

Pojava svake nove vrste transporta u prošlosti uticala je na vojne doktrine, strategiju, operativku i taktiku. Tako je bilo i sa pojavom kosmičkog transporta koji koristi satelitske putanje oko naše planete. Mogućnost dugotrajnog boravka u vasioni, nadletanje svake tačke na Zemljinoj površini i periodičnog ponavljanja nadletanja predstavlja značajnu novinu u korišćenju satelita za vojne potrebe, tim pre što nadletanje tuđe teritorije veštačkim satelitima ni do danas nije regulisano nikakvim međunarodnim sporazumima ili pravnim regulativama.

Pojedine zemlje razvijaju sopstvene nacionalne programe sistematskih kosmičkih snimanja površine Zemlje. Ovi programi realizuju se obično u saradnji sa jakim međunarodnim organizacijama i poznatim programima, kao što su ERS, LANDSAT, SPOT ili Kosmos (Resurs). Nisu usamljeni slučajevi da neke zemlje potpuno samostalno realizuju satelitska snimanja. Među zemljama sa nacionalnim programima značajno mesto zauzimaju Indija, Kina i Japan.

Literatura

[1] Canada centre for remote sensing: Fundamentals of Remote Sensing, Natural Resources Canada, 2002.

[2] Karsten, J.: Orthoimages and DEMs by QuickBird and IKONOS, EAR-SeL Symposium Prague, 2002.

[3] Oluić, M.: Snimanje i istraživanje Zemlje iz svemira, sateliti-senzori-prijava, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, 2001.