

PRIMJENA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U KARTOGRAFIJI

Nedjeljko FRANČULA, Miljenko LAPAINE, Nada VUČETIĆ — Zagreb*

SAŽETAK. U članku se ukazuje na nužnost primjene daljinskih istraživanja u kartografiji. Opisuju se postupci geokodiranja satelitskih snimaka i navode kartografski zahtjevi. Dani su osnovni podaci o najvažnijim satelitima i sensorima s mogućnošću primjene u kartografiji. Opisana su inozemna istraživanja o primjeni daljinskih istraživanja u izradbi i obnovi topografskih karata i u izradbi fotokarata.

1. UVOD

Daljinsko istraživanje (engleski *remote sensing*, njemački *Fernerkundung*, francuski *télé-détection*) metoda je prikupljanja i interpretacije informacija o udaljenim objektima bez fizičkog dodira s objektom. Zrakoplovi, sateliti i svemirske sonde uobičajene su platforme za opažanja u daljinskim istraživanjima. Termin daljinsko istraživanje je obično ograničen na metode koje se koriste elektromagnetskom energijom kao sredstvom za otkrivanje i mjerenje značajki objekata. Takva definicija daljinskog istraživanja isključuje električna, magnetska i gravitacijska mjerenja kojima se mjeri snaga polja, a ne elektromagnetsko zračenje (Gierloff-Emden, 1989., 4). U užem smislu, daljinsko istraživanje je prikupljanje informacija o Zemljinoj površini s uređajima smještenim u satelitima i interpretacija tako dobivenih informacija.

O daljinskim istraživanjima u užem smislu do sada je u Geodetskom listu vrlo malo pisano (Oluić 1969, 1977). Najvažniji izdavački pothvat o daljinskim istraživanjima u nas je knjiga Donassya, Oluića i Tomašegovića (1983). Pregled stanja i perspektiva tehničkih aspekata daljinskih istraživanja u Hrvatskoj dao je Bajić (1994).

U nas od 1980. godine izlazi i časopis specijaliziran za daljinska istraživanja. To je Bilten Savjeta za daljinska istraživanja i fotointerpretaciju Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti (do 1990. Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti). Časopis izlazi jednom u godini i do danas je objavljeno 13 svezaka. U nekoliko članaka navode se i podaci o primjeni daljinskih istraživanja u kartografiji (Nikolić, Lazić 1987, Bajić 1988, Kralj 1989, Petrović 1989).

* Prof. dr. Nedjeljko Frančula, mr. Miljenko Lapaine, Nada Vučetić, dipl. inž., Geodetski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb.

Na postdiplomskom studiju Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu izrađen je jedan seminarski rad (Stević 1990) i obranjen jedan magistarski rad (Nikolić 1980) iz područja primjene daljinskih istraživanja u kartografiji.

2. UREĐAJI ZA REGISTRIRANJE ELEKTROMAGNETSKE ENERGIJE

Svako tijelo na Zemljinoj površini emitira energiju dijela elektromagnetskog spektra određene frekvencije i valne duljine. Emitirana energija objekata posljedica je uglavnom Sunčevog zračenja. Ona zavisi od svojstava objekata: njihovog sastava, boje i sposobnosti apsorpcije Sunčeve energije te sposobnosti emitiranja vlastite energije. Jedan dio emitirane energije gubi se u prolasku kroz slojeve atmosfere, a manji dio primaju specijalna osjetila tzv. senzori ugrađeni u letjelicama. Registriranje promjena u vrsti i količini primljene elektromagnetske energije i njena vizualizacija suština je daljinskog istraživanja, jer se na taj način dobivaju različite informacije o kvaliteti i kvantiteti objekata na Zemljinoj površini i odnosima među njima.

Uređaji za registriranje elektromagnetske energije dijele se prema različitim značajkama. S obzirom na izvore energije dijele se na pasivne i aktivne. Pasivni uređaji registriraju emitirano ili reflektirano zračenje objekata na Zemljinoj površini. U aktivnim uređajima koriste se vlastiti izvori energije, koja se odašilje prema Zemljinoj površini odakle se njen reflektirani dio prima i registrira, npr. u radarskim uređajima.

Uređaje dijelimo i s obzirom na geometrijska svojstva registriranih podataka. Fotografskim kamerama dobivaju se podaci u centralnoj projekciji. Optoelektronički skaneri daju podatke također u centralnoj projekciji ali nejedinstvenoj na čitavom snimku. Podaci dobiveni mehaničkim rotacijskim skanerima i radarima nisu u centralnoj projekciji (Buchroithner 1989, 29–49).

Duljina elektromagnetskih valova još je jedna značajka važna za podjelu uređaja daljinskih istraživanja. Za daljinska istraživanja Zemljine površine u obzir dolaze vidljivi dio spektra (0,4–0,7 μm) i mikrovalni (0,3–30 cm) (Gierloff-Emden 1989, 5).

S obzirom na oblik registriranih podataka neki uređaji daju podatke u analognom obliku (fotografska kamera), a drugi u digitalnom obliku (skaneri).

Senzor je sustav koji prima elektromagnetsko zračenje registrira ga mjeri i pohranjuje u obliku prikladnom za dalju obradu. Spektralno područje u kojemu senzor radi je vidljivo, infracrveno ili multispektralno i ono je najčešće podijeljeno na uže isječke koje nazivamo spektralnim kanalima).

Od uređaja za registriranje elektromagnetske energije osvrnut ćemo se ukratko samo na višespektralne skanere.

2.1. Višespektralni skaneri

Višespektralne skanere dijelimo u mehaničke rotacijske skanere i optoelektroničke tzv. linijske skanere (engl. *line scanner*).

Mehanički rotacijski skaneri skaniraju Zemljinu površinu po redovima okomitim na putanju satelita. Zračenje elementarnog dijela Zemljine površine pada na rotirajuće zrcalo, odnosno prizmu koja ga razlaže na spektralne dijelove, a detektori pretvaraju primljenu energiju u električne signale. Analogno-digitalni pretvarači pretvaraju električne signale u digitalan oblik, u kojemu se podaci šalju na Zemlju i registriraju na magnetske trake. To su magnetske trake s vrlo visokom gustoćom zapisa (High Density Digital Tape — HDDT) s kojih je podatke moguće prenijeti na kompjutorski kompatibilne trake (Computer Compatible Tape — CCT). Podaci se mogu registrirati na magnetske trake i na satelitu (Kraus, Schneider 1988, 122).

Optoelektronički skaner registrira zračenje čitavog reda okomitog na putanju satelita istovremeno, jer je u jedan red smješteno više tisuća detektora tipa CCD (Charge Coupled Device) (Gierloff-Emden 1989, 84).

2.2. Važnije značajke senzora za daljinska istraživanja

Postoje četiri značajke senzora za daljinska istraživanja važne za kartografiju (Lee 1991).

Spektralna razlučivost uključuje broj i širinu spektralnih kanala kojima raspolaže senzor. Npr. crno-bijela fotografija dobivena u jednom kanalu pokriva vidljivi dio spektra. Višespektralni ili multispektralni skaneri (MSS) raspolažu obično s više spektralnih kanala.

Druga značajka je *prostorna razlučivost*. To je najmanji element na površini Zemlje koji se na snimku može razaznati. Neke od postojećih razlučivosti za civilne potrebe jesu 30×30 m, 10×10 m, 5×5 m.

Treća značajka je *radiometrijska razlučivost*. To je broj sivih tonkih vrijednosti unutar jednog kanala, npr. 64 ili 256.

Vremenska razlučivost je četvrta značajka. To je vremenski razmak u kojemu satelit ponovno prelazi isto područje, npr. 16 ili 26 dana.

Za kartografiju su, nadalje, posebno važni ovi parametri: položajna točnost, visinska točnost i mogućnost raspoznavanja objekata.

3. NUŽNOST PRIMJENE DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U KARTOGRAFIJI

Još prije 23 godine pokazao je Koeman (1971) kako se pomoću satelitskih snimaka mogu poboljšati prikazi reljefa na kartama sitnih mjerila. Ilustrirao je to brojnim usporednim prikazima satelitskih snimaka i isječaka karata istog područja. Usporedbom jednog satelitskog snimka i karte u tom članku uočava se da na području Himalaja u Tibetu nedostaje jedan planinski vrh visok oko 5000 m. S istog snimka i karte lako je, nadalje, uočiti da oblici dvaju jezera na karti nisu dobro prikazani.

Satelitski snimci pružaju kartografu važnu pomoć i u procesu kartografske generalizacije. Već Schwidofsky (1967) ističe da je na satelitskim snimcima, jer su to direktna snimanja u sitnim mjerilima, ostvarena neposredna optička generalizacija. Polazeći od te tvrdnje Koeman (1970) ističe da satelitski snimci daju danas, prvi put u povijesti čovječanstva, sliku Zemljine površine u sitnim mjerilima (1:500000—1:5000000) bez subjektivne intervencije kartografa. Do danas karte mjerila sitnijih od mjerila 1:500000 bilo je moguće sastavljati jedino procesom kartografske generalizacije iz karata krupnijih mjerila.

Satelitski, pak, snimci jasno pokazuju makrooblike očišćene od nejasnoća prouzrokovanih suviškom mikrodetalja. Na taj način vrlo su pogodni izvornici za izradu karata sitnih mjerila na kojima i treba, prvenstveno, prikazati makrooblike. Na šest primjera Koeman (1970) pokazuje kako satelitski snimci pridonose objektivnijem prikazu makrooblika reljefa i obalne linije na kartama sitnih mjerila.

Danas, kad se satelitski snimci mogu upotrebljavati i za osuvremenjavanje i izradu topografskih karata, nužnost njihove primjene u kartografiji još je izraženija. To se najbolje vidi iz podataka u tablici 1.

Tablica 1. Pokrivenost kontinenata topografskim kartama u % površine 1987. (Brandenberger, Ghosh, 1991.)

Kontinent	1:25000	1:50000	1:100000	1:200000
Afrika	3	35	20	87
Australija i Oceanija	18	23	54	83
Azija	14	68	62	84
Europa	83	96	79	91
J. Amerika	7	30	53	78
S. Amerika	37	71	37	99
SSSR	100	100	100	100
Svijet	33	56	59	90
osuvremenjavanje 1980.—1987.	5	2	1	3

Iz podataka u tablici 1 vidljivo je da daljinska istraživanja imaju naročito veliku važnost za nedovoljno razvijene države Afrike, Azije i Južne Amerike. U osuvremenjavanju topografskih karata ima ta vrsta prikupljanja podataka podjednaku važnost za gotovo sve države svijeta.

4. GEOKODIRANJE SATELITSKIH SNIMAKA

Da bi se satelitski snimci mogli upotrijebiti za izradu ili osuvremenjavanje karata, nužno ih je *geokodirati*. To je postupak prestrukturiranja slikovnih elemenata tako da odgovaraju položaju u određenoj kartografskoj projekciji, najčešće projekciji državne izmjere.

Ako je satelitski snimak u analognom obliku, npr. fotografski snimak, treba ga u svrhu geokodiranja skanirati.

Crtanje slike u zadanoj kartografskoj projekciji izvršit će se fotoploteom. Za svaki piksel slikovne matrice treba odrediti sivu tonsku vrijednost. Budući da su poznate projekcijske koordinate svakog piksela te matrice, preslikamo ga na satelitski snimak. Pritom se ne dobiju cjelobrojne vrijednosti piksela satelitskog snimka, pa se siva tonska vrijednost dobiva interpolacijom između susjednih piksela. Može se primijeniti metoda najbližeg susjeda (nearest neighbourhood) ili neke složenije metode interpolacije (Lotz-Iwen, Schreier 1989; Kraus 1990, 422—427).

Za transformaciju točaka između kartografske projekcije i satelitskog snimka primjenjuju se tzv. parametarska i neparametarska transformacija, ovisno o tome određuju li se u postupku transformacije parametri senzora satelita ili ne.

Najjednostavnije rješenje je *neparametarska transformacija* primjenom afine ili polinomne transformacije. Vrlo dobri rezultati postižu se polinomima drugog stupnja. Ako se satelitski snimak podijeli na četiri ili više dijelova, zadovoljavajući rezultati postižu se i afinom transformacijom. Utjecaj reljefa na položajnu točnost, isključujući planinska područja, je razmjerno malen i gotovo nikada ne izaziva vidljiva odstupanja (Buchroither 1989, 60—61). Koeficijenti transformacije određuju se na osnovi određenog broja veznih (identičnih) točaka na karti i satelitskom snimku. Koordinate tih točaka, na satelitskom snimku (red i kolona) najčešće se određuju na ekranu monitora.

Ako se radi o planinskom području i o visokim zahtjevima točnosti, tada se zadovoljavajuća točnost geokodiranja može postići jedino *parametarskom transformacijom*. U postupku parametarske transformacije određuju se parametri senzora satelita uključujući nagibe i rotacije, na osnovi veznih točaka. Drugim riječima, nastoji se uspostaviti geometrijski model snimanja. To je centralna projekcija kojom se točke terena zadane u trodimenzionalnom koordinatnom sustavu (X, Y, Z) projiciraju u koordinatni sustav snimka (x, y). Traženih šest parametara su elementi vanjske orijentacije (prostorne koordinate projekcijskog središta i tri rotacije).

Ako je snimak dobiven mehaničkim rotacijskim skanerom, tada se prethodno svaki redak okomit na smjer leta *panoramskom korekcijom* prevodi u centralnu projekciju (Kraus 1989, 428—431). Kao što je spomenuto optoelektroničkim skanerima dobiva se svaki redak direktno u centralnoj projekciji.

Za određivanje šest parametara potrebne su po tri vezne točke u svakom retku skaniranja, što je praktički neostvarivo. Upotrebljivo rješenje zasniva se na činjenici da su elementi vanjske orijentacije susjednih redova gotovo isti. Prema tomu izračunati elementi vanjske orijentacije praktički vrijede za sve one redove u kojima se nalazi jedna ili više oslonih točaka. Elementi vanjske orijentacije međuredaka izračunaju se interpolacijom (Kraus 1989, 543).

Postupak geokodiranja uključuje nekoliko postupaka. Prvo treba za oslone točke iz projekcijskih koordinata izračunati geografske koordinate φ i λ . Iz geografskih koordinata i visine računaju se potom pravokutne prostorne geocentrične koordinate (X_g, Y_g, Z_g). Potom se te koordinate transformiraju u prostorne pravokutne koordinate, čija x, y ravnina tangira elipsoid u središnjoj točki zadanog područja (Kraus 1989, 350—353).

Kao što je vidljivo iz opisnog postupka za primjenu parametarskih transformacije nužan je digitalni model reljefa iz kojeg se za svaki piksel može odrediti visina.

5. KARTOGRAFSKI ZAHTJEVI

Da bismo mogli ocijeniti u kojoj su mjeri podaci dobiveni satelitima prikladni za izradu i osuvremenjavanje topografskih karata dani su u tablici

2 podaci o kartografskim zahtjevima na položajnu i visinsku točnost topografskih karata te raspoznatljivosti detalja.

U tablici 3 dani su podaci o idealnoj ekvidistanciji za planine, gore i ravnice u četiri mjerila za koja se, prema današnjem stanju tehnologije, mogu koristiti satelitski snimci.

Tablica 2. Kartografski zahtjevi (Konecny, 1992.)

1. Položajna točnost	
mjerilo	$\pm 0,2$ mm u mjerilu
1:25000	± 5 m
1:50000	± 10 m
1:100000	± 20 m
1:200000	± 40 m
2. Visinska točnost	
e (ekvidistancija)	σ_h
20 m	± 4 m
50 m	± 10 m
100 m	± 20 m
3. Raspoznatljivost detalja	
zgrade u gradu	2 m
staze	2 m
sporedne ceste	5 m
mali vodotoci	5 m
glavne ceste	10 m
blokovi zgrada	10 m

Tablica 3. Idealna ekvidistancija u metrima (Hake, 1975.; 222)

	1:25000	1:50000	1:100000	1:200000
planine ($\alpha_{\max} = 45^\circ$)	20	30	50	100
gore ($\alpha_{\max} = 25^\circ$)	10	15	25	50
ravnice ($\alpha_{\max} = 10^\circ$)	2,5	5	10	10

6. NAJVAŽNIJI SATELITI I SENZORI S MOGUĆNOŠĆU PRIMJENE U KARTOGRAFIJI

Nakon što je 1957. lansiran prvi satelit u putanju oko Zemlje (Sputnik—1), već 1960. sa satelita Explorer 6 učinjeni su prvi snimci Zemlje iz svemira (Khorram 1992). U idućim godinama lansirani su mnogi sateliti radi

snimanja i istraživanja Zemlje. Od svih tih satelita za primjenu u kartografiji najvažniji su američki Landsat 4 i 5, francuski SPOT i ruski (bivši SSSR) Kosmos (Hoffmann 1993).

Ovdje dajemo najvažnije podatke o tim satelitima i njihovim senzorima (Kraus, Schneider 1988, Konecny 1992, Strathmann 1993, Oluić 1994).

LANDSAT-4 (1982); LANDSAT-5 (1984)

senzor: mehanički rotacijski skaner Thematic Mapper (TM)

oblik podataka: fotografske reprodukcije i digitalni podaci (CCT, CD-ROM)

kanali: 1—7

površina snimka: 185×185 km

prostorna razlučivost: 30 m, 120 m (K6)

položajna točnost: $\sigma_p = \pm 20$ m

visinska točnost: $\sigma_h = \pm 25$ m; e = 125 m

raspoznavanje objekata: 80 m

vremenska razlučivost: 16 dana

radiometrijska razlučivost: 256

cijena*: CCT — 1 kanal DEM 3520, 7 kanala DEM 7720

u boji na papiru 1:250 000 DEM 3220

SPOT—1 (1986); SPOT—2 (1990); SPOT—3 (1993)

senzor: optoelektronički skaner High Resolution Visible (HRV)

oblik podataka: film 230 mm, CCT, CD-ROM

kanali: 4

površina snimka: 60×80 km (maksimalno)

prostorna razlučivost: 20 m, pankromatski 10 m

položajna točnost: $\sigma_p = \pm 3$ m (pankromatski)

visinska točnost: $\sigma_h = \pm 5$ m, e = 25 m (pankromatski)

raspoznavanje objekata: 25 m

vremenska razlučivost: 26 dana (nominalna)

radiometrijska razlučivost: 3×256

cijena: CCT pankromatski DEM 4700

crno-bijelo na papiru 96×96 cm 1:100 000/1:50 000 DEM 450

KOSMOS (podaci dostupni od 1987. godine)

senzor: Kosmičeskij fotoaparatus (KFA 1000)

oblik podataka: film $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$

mjerilo snimka: 1:250 000 — 1:280 000

površina snimka: $80 \text{ km} \times 80 \text{ km}$

prostorna razlučivost: 5—10 m

položajna točnost: $\sigma_p = \pm 4$ m

visinska točnost: $\sigma_h = \pm 15$ m, e = 75 m

raspoznavanje objekata: 25 m

cijena: dijapozitiv/negativ USD 1000

Primjenu u kartografiji sigurno će naći i snimci dobiveni posredstvom satelita ERS-1 što ga je u srpnju 1991. u putanju oko Zemlje lansirala Europska svemirska agencija. Taj satelit s radarom i sintetiziranom antenom (Synthetic Aperture Radar — SAR) namijenjen je u prvom redu istraživanju leda u morima i oceanima, a u ograničenom opsegu i za primjenu na kopnu (Schreier 1993).

* Sve cijene u ovom prikazu preuzete su iz istog izvornika (Strathmann 1993).

Odlukom ruske vlade od proljeća 1992. dostupni su za civilne potrebe satelitski snimci dobiveni fotografskim sustavom KWR—1000, a od 1993. i snimci dobiveni fotografskim sustavom KFA—3000. Snimci dobiveni pomoću oba ta sustava raspoložu prostornom razlučivošću 2—3 m. Na osnovi istraživanja koje su proveli Klostius, Kostka i Sulzer (1994) tvrde da su snimci KFA—3000 povećani u mjerilo 1:10 000 prava alternativa austrijskoj fotokarti 1:10 000. Zbog suviše malo podataka u literaturi o tim satelitskim fotografskim sustavima nismo se na njih u ovom prikazu detaljnije osvrnuli.

Satelitski snimci mogu se danas dobiti već transformirani u određenu kartografsku projekciju. Tako se podaci Thematic Mappera (Landsat 4 i 5) mogu dobiti transformirani, na osnovi dimenzija internacionalnog elipsoida, u jednu od ove tri kartografske projekcije: kosa prostorna Mercatorova projekcija (Space Oblique Mercator — SOM), poprečna konformna cilindrična projekcija šesterostupanjskih zona (Universal Transverse Mercator — UTM) i za polarna područja uspravna stereografska projekcija (Polar Stereographic-PS). Podaci se mogu dobiti i transformirani u traženu kartografsku projekciju, ako se za to potrebno područje dostave topografske karte (EOSAT 1990).

7. INOZEMNA ISTRAŽIVANJA O PRIMJENI DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U KARTOGRAFIJI

7.1. Istraživanja o primjeni satelitskih podataka u izradi i obnovi topografskih karata

Usporedba kartografskih zahtjeva (tablice 2 i 3) s položajnom i visinskom točnošću te raspoznavanjem objekata senzora na satelitima Landsat 4 i 5, SPOT i Kosmos pokazuju da satelitski snimci ne mogu biti jedini izvornici za izradu topografskih karata. Međutim, satelitski snimci mogu se uspješno primijeniti u obnovi tih karata.

Detaljnije podatke o mogućnostima primjene satelitskih snimaka u izradi i obnovi topografskih karata dajemo na osnovi nekih primjera i istraživanja provedenih u svijetu, za SPOT-ove snimke.

Područje Kanade s više od 9 milijuna kvadratnih kilometara pokriva 918 listova topografske karte mjerila 1:250 000 i 12922 lista karte mjerila 1:50 000.

Kanadski centar za primjenu geomatike počeo je 1985. u suradnji s francuskim Nacionalnim geografskim institutom istraživanje o mogućnostima primjene podataka dobivenih pomoću satelita SPOT u izradi topografske karte 1:50 000. U do sada provedenim istraživanjima došlo se do sljedećih zaključaka:

— Geometrijska točnost podataka dobivenih iz satelitskih snimaka zadovoljava nacionalne norme.

— Linearni i površinski objekti približno su isti kao i oni dobiveni iz aerofotogrametrijskih snimaka. Za identifikaciju točkastih objekata nužna je terenska dopuna. Ne može se dobiti pozicijska točnost jednaka aerofotogrametrijskoj.

— Poluautomatska metoda interpretacije, koja kombinira ljudsku inteligenciju i računalsku brzinu najučinkovitija je metoda za integriranje satelitskih podataka u topografske karte.

— Rezultati projekta ne omogućuju da se donese konačan zaključak o probitačnosti primjene satelitskih snimaka u izradi topografskih karata. Moguće

je, međutim, zaključiti da se raslinstvo, vode i ceste mogu uspješno prenositi sa satelitskih snimaka u topografske karte (Begin 1991).

KLM aerocarto i Geodetski fakultet Tehničkog sveučilišta u Delftu proveli su istraživanje o mogućnosti primjene SPOT-stereosnimaka za izradu topografske karte mjerila 1:50 000. To istraživanje pokazalo je da se glavni infrastrukturni detalji mogu izvrsno identificirati. Za manje objekte, međutim, točnost i cjelovitost interpretacije nisu bile dostatne.

Sa stajališta točnosti SPOT-stereomodel zadovoljava zahtjeve točnosti izrade karte 1:50 000 za ne suviše gusto naseljena područja.

Usporedba troškova s klasičnom aerofotogrametrijskom metodom pokazuje da se najviše uštede primjenom SPOT-snimaka postiže u snimanju, terenskoj kontroli, pripremi, kartiranju i uređivanju podataka. Ako troškove aerofotogrametrijske izrade označimo sa 100, tada su troškovi izrade karte iz SPOT-snimaka 51. Podaci se odnose na manje naseljena područja (Netherlands remote sensing board?).

Europska organizacija za eksperimentalna fotogrametrijska istraživanja (OEEPE) organizirala je istraživanje mogućnosti interpretacije SPOT-snimaka za izradu topografskih karata, u kojem je sudjelovalo pet specijaliziranih institucija. Na osnovi izvršenih interpretacija došlo se do sljedećih zaključaka:

SPOT-snimci ne omogućuju identifikaciju svih vrsta zemljišta koje se na kartama prikazuju. Dobro se mogu interpretirati vode, poljoprivredno zemljište i šume.

Vodene površine, s izuzetkom uskih tjesnaca s gustom vegetacijom mogu se uvijek identificirati.

Šume se mogu točno interpretirati ako se radi samo o jednoj klasi.

Velika gusto naseljena područja mogu se vizualno dobro interpretirati ako se prihvati određeni stupanj generalizacije. Mnoga mala izgrađena područja mogu se često otkriti, ali je njihovo svrstavanje u izgrađena područja mnogo teže.

Linijski objekti jasno su vidljivi. Glavne ceste mogu se vizualno dobro interpretirati. Postotak otkrivanja i identifikacije manjih cesta vrlo je visok, pogotovo pri rezoluciji od 10 metara. Međutim, točna klasifikacija cesta nije moguća samo na osnovi interpretacije snimaka.

Rijeke šire od 5 m lako se otkriju pri razlučivosti od 10 m.

Ocjenjujući na kraju prikladnost SPOT-podataka za izradu topografskih karata zaključeno je:

1. SPOT-podaci nisu dostatni kao jedini izvornik o objektima za izradu topografske karte mjerila 1:50 000.
2. SPOT-podatke moguće je primijeniti u obnavljanju sadržaja topografske karte pogotovo cestovne mreže.
3. Za područja gdje nema dobrih topografskih karata SPOT-podaci mogu poslužiti kao glavni izvornik u njihovoj izradi (Ahokas, Jaakkola, Sotkas 1990).

Izrađujući jedan list topografske karte 1:50 000 na području Etiopije Kihlbom (1992) zaključuje, među ostalim, da točnost dobivenih izohipsa ne odgovara u potpunosti uobičajenim međunarodnim normama.

Hoffmann (1993) izvještava o obnovi jednog lista austrijske topografske karte mjerila 1:50 000 na granici s tadašnjom Čehoslovačkom. Na čehoslovačkom teritoriju karta pokazuje stanje iz 1931. godine. Sadržaj lista obnovljen

je pomoću podataka sa SPOT-a i Landsata metodom kompjutorski podržane kartografije. Tako obnovljeni list ni po čemu se ne razlikuje od lista obnovljenog konvencionalnim metodama.

Ispitivanja u Meksiku na dva lista topografske karte 1:50 000 izrađena 1972. na osnovi snimanja iz 1970. pokazala su da je pomoću TM i pankromatskih SPOT-snimaka moguće registrirati oko 70% promjena nastalih od 1970. do danas. Čitava obrada podataka izvršena je pomoću osobnog računala i programskih paketa ARC/INFO i ERDAS (Sanches 1991).

7.2. Istraživanja o primjeni satelitskih snimaka u izradi fotokarata

Rat u Perzijskom zaljevu potvrdio je važnost točnih i brzo izrađenih fotokarata. Vojna kartografska agencija (Defense Mapping Agency — DMA) Sjedinjenih Američkih Država izrađuje danas fotokarte mjerila 1:100 000 na osnovi Landsatovih TM-snimaka. Osim sadržaja TM-snimaka fotokarta sadrži pravokutne koordinate sustava WGS84 i geografske nazive. Dodatno iz drugih izvornika ručno se digitaliziraju i neki objekti, koji se ne mogu uočiti na TM-snimcima, npr. neke ceste, željezničke pruge i građevine. Tako digitalizirani objekti prevode se iz vektorskog formata u rasterski i uklapaju s ostalim sadržajem. Pomoću elektrostatskog plotera u boji, razlučivosti 400 dpi, izrađuje se probni otisak. Reprodukcijski originali za četvorbojni tisak izrađuju se fotoploterom razlučivosti 1000 dpi (Seebald 1991).

Alwashe (1992) izvještava o izradi fotokarte grada AtTaifa i njegove okolice u Saudijskoj Arabiji na osnovi TM i SPOT snimaka. Fotokarta je izrađena u mjerilu 1:20000 i priložena u navedenom radu. Autor zaključuje da postignuti rezultat opravdava upotrebu satelitskih snimaka za izradu karata gradova u navedenom mjerilu, jer ušteda u vremenu i troškovima iznosi i više od 100%.

8. PERSPEKTIVE

Za vojne potrebe u putanji oko Zemlje nalaze se sateliti s fotografskim kamerama žarišne daljine 6 m, koje omogućuju da se na snimcima raspoznaju detalji veličine 50 cm.

Postoje realne osnove za pretpostavku da se s kamerama žarišne daljine 60 m (što je tehnički ostvarivo) dobije na snimcima piksel nastao preslikavanjem dijela zemljišta veličine 15 × 15 cm. (Kraus, Schneider 1989, 272).

Kad u doglednoj budućnosti sateliti i senzori takvih mogućnosti postanu dostupni i za civilne potrebe, postat će podaci daljinskih istraživanja nezaobilazni izvornici za izradu i održavanje topografskih karata.

LITERATURA

- Ahokas, E., Jaakkola, J., Sotkas, P. (1990): Interpretability of SPOT data for general mapping. OEEPE Official publication № 24.
- Alwashe, A. M. (1992.): Urban planning maps by use of aerial photographs and SPOT/TM datamerge, demonstrated with the city of At'Taif, Saudi Arabia. *Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung* 5, 159–165.
- Bajić, M. (1988): Daljinska istraživanja radarom u geoznanostima. *Bilten savjeta za daljinska istraživanja i fotointerpretaciju*, 9, 39–60.
- Bajić, M. (1994): Tehnički aspekti daljinskih istraživanja u Hrvatskoj: stanje i perspektive. *Zbornik radova*, 39. godišnji skup KoREMA, 14–26.

- Begin, D. F. (1991): System of integrated acquisition proceedings with satellite data. Technical papers 1991 ACSM-ASPRS annual convention. Vol. 3 Remote sensing, Baltimore, 1—5.
- Brandenberger A. J., Ghosh, S. K. (1991.): Stand der geodätischen and kartographischen Arbeiten aller Länder. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 9, 475—480.
- Buchroithner, M. (1989.): Fernerkundungskartographie mit Satellitenaufnahmen — Digitale Methoden, Reliefkartierung, geowissenschaftliche Applikationsbeispiele. Enzyklopedie der Kartographie, Band IV/2, Franz Deuticke, Wien.
- Donassy, V., Oluić, M., Tomašegović, Z. (1983): Daljinska istraživanja u geoznanostima. Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb.
- EOSAT (1990.): Landsat products and services catalog I. EOSAT, Maryland.
- Gierloff-Emden, H. G. (1989.): Fernerkundungskartographie mit Satellitenaufnahmen — Allgemeine Grundlagen und Anwendungen. Enzyklopedie der Kartographie, Band IV/1, Franz Deuticke, Wien.
- Hake, G. (1975.): Kartographie I. W. de Gruyter, Berlin, New York.
- Hoffmann, Ch. (1993.): Der Einsatz von Satellitendaten und computergestützter Kartographie zur Nachführung topographischer Karten. Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Band 6 — GIS und Kartographie, Wien, 172—181.
- Khorram, S. (1992.): Remote sensing — past, present and future. First international conference on surveying and mapping, Tehran, 233—243.
- Kihlbom, U. G. (1992.): Map production from satellite data. First international conference on surveying and mapping, Tehran, 167—183.
- Klostius, W., Kostka, R., Sulzer, W. (1994.): Das KFA—3000 Bild als kostengünstige Datenquelle bei Ausgaben der regionalen Planung. Vermessung & Geoinformation 3, 213—219.
- Koeman, C. (1970.): The impact of photography from space on small-scale- and atlascartography. Internationales Jahrbuch für Kartographie, X, 35—40.
- Koeman, C. (1974.): Die Geländedarstellung von Hochgebirge in kleinmasstäbigen Karten überprüft durch Satellitenbilder. Kartographische Nachrichten 1, 1—16.
- Konecny, G. (1987.): Cartography data acquisition and supporting activities. World cartography XIX, 1—8.
- Konecny, G. (1992.): Der Einsatz von Fernerkundungsdaten in GIS. ÖZ 2, 75—83.
- Kralj, A. (1989.): Transformacija satelitske scannerske slike v Gauss Krugerjev sistem. Bilten Savjeta za daljinska istraživanja i fotointerpretaciju, 10, 61—64.
- Kraus, K. (1990.): Fernerkundung, Band 2, Auswertung photographischer und digitaler Bilder, Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn.
- Kraus, K., Schneider, W. (1988.): Fernerkundung, Band 1, Physikalische Grundlagen und Aufnahmetechniken. Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn.
- Lee, Y. C. (1991.): Cartographic data capture and storage. Geographic information system, The microcomputer and modern cartography (ed. D. R. F. Taylor), Pergamon Press, 21—38.
- Lotz-Iwen, H. J., Schreier, G. (1989.): Geocodierte Datensätze abbildender Satelliten. Internationales Jahrbuch für Kartographie, Band XXIX, 155—162.
- Netherlands remote sensing board (?): Mapping from SPOT images, 1—4.
- Nikolić, M. (1980.): Korišćenje satelitskih snimaka kao dopunskih kartografskih izvora pri izradi opštegeografske karte razmera 1:500 000. Magistarski rad, Geodetski fakultet, Zagreb.
- Nikolić, M., Lazić, S. (1987.): Primjena satelitskih snimaka u kartografiji. Bilten Savjeta za daljinska istraživanja i fotointerpretaciju 8, 28—32.
- Oluić, D. (1994.): Novi sateliti za istraživanje Zemlje. Bilten Savjeta za daljinska istraživanja i fotointerpretaciju 13, 93—100.
- Oluić, M. (1969.): Novi postupci aeroprospekcije i njihove mogućnosti primjene u geološkim istraživanjima. Geodetski list 7—12, 184—194.
- Oluić, M. (1977.): O metodi daljinskih istraživanja. Geodetski list 1—3, 23—35.
- Petrović, D. (1989.): Primena digitalne obrade slika u kartografiji. Bilten Savjeta za daljinska istraživanja i fotointerpretaciju 10, 117—122.
- Sanchez, R. D. (1991.): Personal-computer-assisted change detection for 1:500 000 scale map revision in Mexico using satellite data. Technical papers 1991 ACSM-ASPRS annual convention, Vol. 3 Remote sensing, Baltimore, 389—395.
- Schreier, G. (ed.) (1993.): SAR Geocoding: data and systems. Wichmann, Karlsruhe.

- Schwedefsky, K. (1967.): Topographische Methoden heute und morgen. Kartographische Nachrichten 5, 161—168.
- Seebald, R.F. (1991.): Digital production of Landsat image maps. Technical papers 1991 ACSM-ASPRS annual convention, Vol. 3 Remote sensing, Baltimore, 401—405.
- Stević, D. (1990.): Primena daljinskih istraživanja u kartografiji. Seminarski rad, Geodetski fakultet, Zagreb.
- Strathmann, F. W. (1993.): Taschenbuch zur Fernerkundung. 2. Ausgabe, Wichmann.

APPLICATION OF REMOTE SENSING IN CARTOGRAPHY

The paper points to the necessity of applying the remote sensing in cartography. It describes the procedures of geocoding the satellite data and states the cartographic demands. There are basic data given in the paper, about the most important satellites and sensors which can be applied in the cartography. It also comes with the descriptions of some foreign researches made on the application of remote sensing in the production and renewal of topographic maps and in the production of photomaps.

Priljeno: 1994-02-19