

ANALIZA UPORABNOSTI IN GOSPODARNOSTI IKONOSA V SLOVENIJI

Mihaela Triglav, univ. dipl. inž. geod.*

Izvleček

Članek predstavlja visokoresolucijski satelitski sistem Ikonos in naročanje njegovih izdelkov. Opisan je model georeferenciranja z direktno linearno transformacijo. Predstavljena je uporabnost 1-metrskih Ikonosovih digitalnih posnetkov v kartografiji in gospodarnost uporabe Ikonosa v Sloveniji.

Ključne besede:
daljinsko zaznavanje,
georeferenciranje,
Ikonos,
visokoresolucijski
satelitski sistemi,
kartografija

Abstract:

Analysis of applicability and competitiveness of Ikonos in Slovenia

The article presents high-resolution satellite Ikonos and how its products can be ordered. The model of georeferencing with the direct linear transformation is described. The usage of 1-m resolution Ikonos scenes in the cartography is presented.

Key words: remote
sensing, georeferencing,
Ikonos, high-resolution
satellites, cartography

219

1. UVOD

Na trgu se pojavljajo nove tehnologije zajema in obdelave podatkov, ki postajajo konkurenčne letalskemu aerosnemanju. Z visokoresolucijskimi satelitskimi sistemi lahko naenkrat pokrijemo veliko večja območja snemanja - prostorska ločljivost najboljših posnetkov pa je zaenkrat samo še 11 cm manjša od natančnosti digitalnih ortofoto posnetkov (DOF), narejenih iz cikličnih aerosnemanj (ločljivost teh je 0,5 m). V komercialni uporabi je že nekaj let visokoresolucijski satelit Ikonos z 1-metrsko prostorsko ločljivostjo v črno-beli tehniki (pankromatsko območje - PAN) in s 4-metrsko prostorsko ločljivostjo v multispektralni tehniki (barvni posnetek dobimo z družanjem več posnetkov, narejenih v različnih spektralnih pasovih MS - multispectral). V aprilu 2002 pa se je odprl za trg QuickBird s 61-centimetrsko prostorsko ločljivostjo v pankromatski tehniki in 2,44-metrsko v multispektralni tehniki. V projektu Spremljanje razvoja stroke in novih tehnologij, ki ga je Geodetski inštitut Slovenije izvedel po naročilu Geodetske uprave RS, smo se osredotočili na naročanje in obdelavo Ikonosovih posnetkov predvsem za topografsko uporabo. Poudariti moramo, da ob naročilu osnovnih Ikonosovih posnetkov ne dobimo podatkov o legi satelita v času snemaja, zato je georeferenciranje veliko težje, ponudniki pa za veliko višjo ceno ponujajo že georeferencirane posnetke.

* Geodetski inštitut Slovenije, Jamova 2, 1000 Ljubljana

2. OSNOVNE ZNAČILNOSTI IKONOSA

Satelit Ikonos je bil izstreljen 24. 9. 1999 v Kaliforniji. Njegova tirnica je 681 km nad zemeljskim površjem, giblje se s hitrostjo 6,79 km/s (geocentrična hitrost) in potuje po sončno sinhroni orbiti. Zemljo obkroži v 98,3 minute, padni vozle na ekvatorju prečka ob 10:30 po lokalnem času. Načrtovana življenjska doba je od 5 do 7 let.

Lastniki Ikonosa poznajo natančno lego satelita na tirnici iz GPS-jevega sprejemnika in treh digitalnih sledilcev zvezd na krovu satelita, ob nakupu novega posnetka nam tega podatka ne posredujejo. Ker ob naročilu najcenejših geoizdelkov Ikonosa podatkov o legi satelita ne dobimo, si pomagamo z drugimi metodami georeferenciranja.

Na krovu nosi satelit enoten optični sistem za pankromatsko in multispektralno snemanje z goriščno razdaljo 10 m. Optični sistem je postavljen pravokotno na smer leta, nagiba se lahko prečno nanjo, tako da lahko doseže največji nagib od nadirja 40 stopinj. Zaradi giblivosti snemalnega sistema je omogočeno tudi snemanje stereoparov.

Digitalni posnetek Ikonosa je velik 11,3 km x 11,0 km. Ikonos lahko ob enem preletu posname območje velikosti 4700 km². Če se zadovoljimo s slabšo prostorsko ločljivostjo 1,3 m, torej večjim kotom nagiba (optična os nagnjena za 45 stopinj), lahko naenkrat posname 13 km široke in 1000 km dolge pasove. Podatke zapisuje v 11-bitni radiometrični ločljivosti, kar pomeni 211 sivin v pankromatskem območju ali enako število barvnih odtentov na en spektralni razred.

3. NAROČANJE IKONOSOVIIH SCEN

3.1 Možnosti ob naročanju posnetka

Podjetje Space Imaging, ki trži Ikonosove scene, nam ponuja veliko različnih izdelkov Ikonosa: od geoizdelkov z najmanjšo pozicijsko natančnostjo do ortorektificiranih izdelkov Precision Plus, ki so tudi najdražji. V vsakem razredu izdelkov se le-ti razlikujejo glede na tip prikaza digitalnih posnetkov:

- pankromatski posnetek (1-metrška prostorska ločljivost PAN),
- združen multispektralni posnetek (4-metrška prostorska ločljivost MS),
- 1-m PSM: 1-metrški prostorski ločljivosti PAN in 4-metrški kompozit MS (v eno datoteko so združeni vsi spektralni pasovi MS),

- 1-m PAN + 4-m MS, ločeni vsak v svoji datoteki (IR ter trije barvni pasovi).

Natančnost orientacije posnetka, ki ga ponuja Space Imaging, glede na državno projekcijo, v kateri želimo prejeti digitalne posnetke, je prikazana v tabeli 1. To natančnost lahko sami izboljšamo z natančnim georeferenciranjem posnetkov.

	Razredi	Natančnost	Cena na km ²
Geo	Geo	50 m	40 USD
Stereo	Stereo	/	
Ortorekti - ficirani	Reference	25,4 m	45 USD
	Map	12,2 m	
	Pro	10,2 m	60 USD
	Precision	4,1 m	112 USD
	Precision Plus	2 m	

Tabela 1: Natančnosti različnih izdelkov

(Toutin et al, 2000 in Meinel et al, 2001).

Cena je povzeta po ceniku iz maja 2002 za enak izdelek, kot smo ga naročili v jeseni 2001 (PAN plus MS kot kompozit).

Za vse ortorektificirane izdelke (bolj natančne) moramo kot naročniki ponudnikom zagotoviti še podatke o izmerjenih oslonilnih točkah glede na željeno natančnost. Pri izračunu popravkov pa upoštevajo še parametre leta satelita. Oslonilne točke pomenijo dodaten strošek naročnika poleg že tako visoke cene za izdelavo ortorektificiranih posnetkov.

Cene naročila enega digitalnega posnetka velikosti 11,0 km x 11,0 km se razlikuje glede na tip izdelka in število uporabnikov tega posnetka. Obstajajo trije tipi licenčnih pogojev (različnih cen), ki so odvisni od števila uporabnikov. Če vzamemo licenco za dva do tri uporabnike, se osnovna cena dvigne za 30 %, če vzamemo licenco za 4 do 10 uporabnikov pa je cena kar 60 % višja od osnovne cene.

Cena se poveča tudi, če želimo imeti neko območje posneto prej kot v 60 dneh. Osnovni ceni dodamo še 3000 USD fiksnih stroškov ter povečamo osnovno ceno naročila za 20 %. V standardni ponudbi je zajet posnetek z do 20-odstotno pokritostjo z oblaki. Lahko se zgodi, da imamo srečo in na posnetku ni oblakov, drugače pa moramo oblačen posnetek sprejeti. Kot nadstandardni izdelek se šteje posnetek, na katerem zahtevamo manj kot 20 % oblakov, zanj doplačamo 25 % osnovne cene.

Od 31. 12. 2001 lahko z naročilom arhivskih posnetkov (ki jih imajo posnete pred naročilom) naročimo še podatke o poziciji satelita ob času snemanja tudi za manj natančne geoizdelke. Arhivski posnetki so cenejši od novih snemanj. Ažurne podake o cenah in naročanju najdemo na:

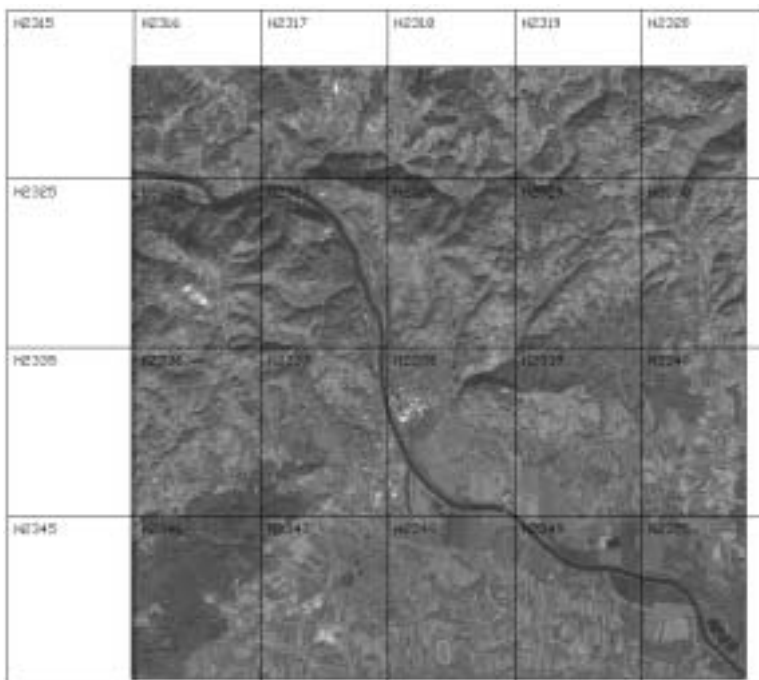
<http://www.si-eu.com> in

http://www.eurimage.com/Products/ps_home.html

3.2 Možnosti ob naročanju posnetka

V omenjenem projektu Spremljanja razvoja stroke in novih tehnologij smo naročili izdelavo posnetka za območje Krškega. To območje je bilo za prvi test zelo primerno zaradi enakomerne razgibanosti terena in popravkov, ki so jih zajemali za DTK 25 v tem letu, s katerimi smo delali primerjavo uporabnosti satelitskih posnetkov. Posnetek v grobem pokriva 20 listov TTN5 (Slika 1). Naročili smo ga v septembru, prevzeli pa v oktobru 2001. Natančnost naročenih podatkov je bila tipa Geo in tip prikaza posnetka 1-metrski PMS (1-metrski PAN, 4-metrski IR in kompozit 4-metrski RGB). Imeli smo srečo, da je bilo v oktobru lepo vreme, zato na posnetku skoraj ni oblakov in tudi posneli so ga zelo hitro.

Slika 1: Ikonosov posnetek in razrez listov TTN5. Slika vsebuje material © INTA Space Systems Inc, razrez TTN © GURS.



4.1 Primeri v svetu

Že pred komercialno uporabo Ikonosa je Fraser (2000) napovedal več možnosti georeferenciranja Ikonosovih posnetkov, brez poznavanja orbite satelita. Z izkušnjami, ki jih je pridobil ob transformacijah SPOT-ovih posnetkov, kjer so dosegli planimetrično natančnost 5-10 m in višinsko 10-20 m, je napovedal možnost uporabe zelo enostavnih dvodimenzionalnih transformacij za georeferenciranje Ikonosa.

Predlagane transformacije za georeferenciranje Ikonosa so (Fraser, 2000):

- formulacija blokovne izravnave s popravljenimi enačbami kolinearnosti za primer satelitskih scen (satelitski skener ima perspektivno projekcijo samo v prečni smeri leta, paralelno pa v smeri leta),
- model več projekcijskih centrov (kolinearne enačbe reparametriziramo s časovno odvisnimi polinomskimi funkcijami),
- racionalne funkcije (slikovne koordinate so direktne funkcije objektnih koordinat),
- direktna linearna transformacija z enim dodanim parametrom,
- afina projekcija (najprej digitalni posnetek transformiramo iz perspektivne v afino projekcijo, potem pa sledi nadaljnja obdelava).

4.2 Direktna linearna transformacija - DLT

Že Fraser (2000) je ugotovil, da je metoda DLT zelo primerna za georeferenciranje satelitskih posnetkov. Najbolj primerna je za posnetke omejenih velikosti. Transformacijo je preizkusil na posnetkih satelitov SPOT in IRS-1C, kjer je dosegel natančnost georeferenciranja na en slikovni element natančno.

DLT temelji na projektni geometriji, medtem ko je nastanek slike s pomočjo optike opisan z zakoni centralne projekcije. Satelitski posnetki so izdelani v paralelni projekciji - prečni satelitski skener ima perspektivno projekcijo samo v prečni smeri leta, paralelno pa v smeri leta. Pri DLT-ju so slikovne in objektno koordinate med sabo linearno povezane.

Ker imamo pri DLT-ju veliko število neznank, zanjo potrebujemo tudi veliko transformacijskih (oz. oslonilnih) točk. Pri uporabi te metode ne potrebujemo nobenega vedenja o tirnici in legi satelita v času snemanja.

Če bi imeli na območju satelitskega posnetka Krško večje število terenskih oslonilnih točk, ki jih uporabljamo za aerotriangulacijo, bi z njihovo pomočjo lahko izvedli natančno georeferenciranje. Žal pa je bila med tremi oslonilnimi točkami tega območja samo ena točka uporabna (v 1-metrski prostorski ločljivosti še lahko določimo detajl te točke) za georeferenciranje Ikonosove scene (glej Sliko 2).

Slika 2: Prikaz oslonilne točke številka 8052 na 0,5-metrski prostorski ločljivosti DOF-a (spodnja slika), 1-m PAN (zgoraj) in 4-m MS (v sredini). Izseki iz Ikonosa © INTA Space Systems Inc, DOF © GURS.



Slika 3: Detajl na 1-metrskem PAN posnetku Ikonosa. Izsek iz Ikonosa © INTA Space Systems Inc.



Georeferenciranje smo izvedli s povezavo identičnih veznih točk na 0,5-metrskem ortofotu (DOF), DMR-ju (velikost stranice kvadratne mreže 25 m) in posnetku Ikonosa. Določili smo 41 oslonilnih točk med DOF-om in Ikonosom. Oslonilne točke enakomerno pokrivajo območje satelitskega posnetka. Njihovo lego na DOF-u in Ikonosu smo določili z natančnostjo enega slikovnega elementa. Potem smo na DMR 25 vsaki oslonilni točki določili (interpolirali) višino, nakar smo z DLT-jem na vsako oslonilno točko preslikali rastrski satelitski posnetek. Z bilinearno interpolacijo smo nato transformirali ves ostali raster med štirimi vogalnimi oslonilnimi točkami.

4.3 Analiza natančnosti georeferenciranja

V tabeli 2 so predstavljena srednja kvadratna odstopanja na oslonilnih in kontrolnih točkah, dobljena po DLT-jevi transformaciji.

	MS	PAN
Oslonilne točke	2,76 m	1,32 m
Kontrolne točke		1,21 m

Tabela 2: Srednja kvadratna odstopanja (RMS) na oslonilnih in kontrolnih točkah

Na digitalnem posnetku 1-metrške prostorske ločljivosti smo izvedli še dodatno kontrolo natančnosti na 99 kontrolnih točkah, ki so bile vektorizirane iz DOF-a. Kontrolne točke smo izbrali na tleh (križišča, mostovi, betonske plošče, kamni sredi travnikov, poti na vrtovih). Največja odstopanja so se pojavila na robovih posnetka, in to tam, kjer v bližini ni oslonilne točke.

5. UGOTAVLJANJE UPORABNOSTI IKONOSOVIH SCEN

Možnost zajema kartografske vsebine z Ikonosove 1-metrške scene PAN smo proučevali s primerjavo popravkov za karto DTK 50, izmerjenih s fotogrametričnim zajemom, in popravkov, ki smo jih izmerili na georeferenciranem satelitskem posnetku. Ker so bili popravki za DTK 50 izdelani z generalizacijo zajema iz merila DTK 25, smo si podložili tudi skenogramme DTK 25. Ugotovili smo, da so razlike med popravki, zajetimi fotogrametrično za DTK 50, in popravki, izmerjenimi iz satelitskega posnetka, minimalne. Ker smo naknadno še obarvali 1-metrski satelitski posnetek PAN z barvnim posnetkom 4-m MS, je identifikacija objektov na takem posnetku še lažja.

Proučili smo možnost določitve naslednjih objektnih tipov:

- železnica - trase železnic so običajno brez vegetacije in je zato njihov zajem relativno enostaven,

- ceste, kolovozi in steze - če je med cesto in okolico velik kontrast, je zajem mogoč: stez in poti, ki so ožje od prostorske ločljivosti scene, pa ne moremo določiti,
- telekomunikacije - ker dimenzije nadzemnih vodov ne presegajo prostorske ločljivosti scene, jih lahko določamo samo posredno (gozdne poseke, če večji telekomunikacijski vodi mečejo sence ob ugodnem osončenju),
- vodotoki - zajem je mogoč, natančen zajem obalnih linij velikokrat onemogoča vegetacija; ta problem je tudi pri zajemu iz aeroposnetkov,
- vegetacija in vrsta tal - vizualno je težko določiti vrsto vegetacije, kar pa lahko rešimo z avtomatsko klasifikacijo objektov,
- naselja in objekti - zajem posameznih objektov na urbanih in nezaraščenih območjih je dovolj natančen, pojavlja se problem popolnosti zajema, ki je odvisen od vidnosti slemen (osvetljenost, vegetacija); z obarvanjem scene se temu skoraj izognemo.

Med samo analizo uporabnosti Ikonosovih posnetkov na kartah v merilu 1 : 50 000 smo ugotovili, da bi to zadoščalo že za nekatere tematske karte v merilu 1 : 10 000.

Prednost Ikonosovih posnetkov je njihova multispektralnost, kar omogoča tudi avtomatsko klasifikacijo objektov (stanje gozda, vodovje, urbanizacija ...) in druge analize.

6. FINANČNA PRIMERJAVA DOFA IN IKONOSA

Za državo, kot je Slovenija, ki že ima izdelan mehanizem cikličnega aerosnemanja celotne države in se lahko po naročilu izpelje tudi dodatna snemanja posebej zanimivih območij (plazovi, hitrejša urbanizacija ...), je naročanje Ikonosovih digitalnih posnetkov zaenkrat še negospodarno. Po izračunih, objavljenih v študiji GI Slovenije (2001), znaša Ikonosov posnetek (izdelek Geo 1-m PAN plus 4-m MS) 92 % cene celotne izpeljave cikličnega snemanja, aerotriangulacije in izdelave DOF-a (natančnost 0,5 m) območja iste velikosti. Konec decembra leta 2002 pa je Ikonosova cena padla in bi tako zdaj odšteli za isti izdelek le 69 % cene končne izdelave DOF-a. Vedeti pa moramo, da je to surov satelitski posnetek, ki ga moramo še georeferencirati, kar predstavlja dodaten strošek! Če bi vzeli že georeferenciran Ikonosov posnetek (npr. Precision), bi odšteli leta 2001 245 % cene končnega DOF-a, letos pa 195 %. Poudariti pa moramo, da ta dva izdelka nista neposredno primerljiva, ker imata različno prostorsko ločljivost.

7. SKLEP

Surove satelitske posnetke Ikonosa se da georeferencirati tudi brez poznavanja tirnice satelita v času snemanja - z uporabo metode DLT, kar smo dokazali tudi z omenjeno nalogo. Podatki, zajeti iz georeferenciranih posnetkov, so že dovolj natančni za izdelavo oz. dopolnitev kartografskih izdelkov meril manjših od 1 : 10 000, predvsem tematskih kart. S padanjem cen izdelkov visokoresolucijskih satelitskih snemalnih sistemov in razpoložljivostjo novih satelitov pa verjetno ni več tako daleč obdobje, ko bomo v Sloveniji začeli uporabljati satelitske posnetke tudi za izdelavo tematskih kart. Vsekakor pa je odločitev o izbiri satelitskih posnetkov ali aerofotografiranja na strani naročnikov.

8. ZAHVALA

Delo na projektu nam je omogočila Geodetska uprava Republike Slovenije, ki je razpisala projekt Spremljanje razvoja stroke in novih tehnologij. Analizo kartografske primernosti so izvedli na kartografskem oddelku Geodetskega inštituta Slovenije. Analizo natančnosti georeferenciranja in ostale naloge smo izvedli na fotogrametričnem oddelku Geodetskega inštituta Slovenije. Strokovno pomoč pri georeferenciranju so nam nudili na DFG Consulting, d. o. o. Vsem sodelujočim se najlepše zahvaljujem.

Literatura:

Fraser, C. S., *High-resolution satellite imagery. A review of metric aspects*, XIX Congress ISPRS, the Netherlands, Amsterdam, 2000

Geodetski inštitut Slovenije, *Spremljanje razvoja stroke in novih tehnologij, zaključni elaborat*. Ljubljana, Geodetska uprava Republike Slovenije, 2001

Gerlach, F., *Characteristics of Space Imaging's One-Meter Resolution Satellite Imagery Products*, XIX Congress ISPRS, the Netherlands, Amsterdam, 2000

Meinel, G., Reder, J., *IKONOS-Satellitenbilddaten - ein erster Erfahrungsbericht*, *Kartographische Nachrichten*, 2001, letnik 51

Toutin, T., Cheng, P., *Demystification of IKONOS*, *EOM*, 2000, letnik 9, št. 7, str. 17-21

Zhou, G., Li, R., *Accuracy Evaluation of Ground Points from IKONOS High-Resolution Satellite Imagery*, *PE&RE*, 2000, letnik 66, št. 9, str. 1103-1112

Recenzija: Janez Oven, Krištof Oštir

Prispelo v objavo: 2002-05-31