
ANALIZA IN OBDELAVA PODATKOV SKANIRANIH S SATELITI

TRETJAK dr. Ana, dipl.ing.agr.;
ŠABIČ Danijela, dipl.ing.mat.;
OREŠNIK Irena, dipl.ing.agr.;

Zavod SR Slovenije za statistiko
junij 1989, Ljubljana, YU

AVTORSKI IZVLEČEK

Podane so osnove delovanja satelitov za opazovanje površine Zemlje in opis skaniranja površine Zemlje. Opisane so radiometrične in geometrične korekcije in njihov pomen za uporabnika. Prikazan je princip obdelave skaniranih podatkov s satelitom.

AUTHOR'S ABSTRACT

The basic principles of satellite remote sensing techniques are explained, the generation of a scanned image of Earth's surface and the radiometric and geometric corrections presented with respect to user's needs. The techniques to evaluate and interpret these data are presented.

UVOD

4. oktobra 1957, je bil v vesolje izstreljen prvi satelit. To je bil sovjetski satelit SPUTNIK. Šele 1972 leta pa je bil izstreljen satelit za civilne potrebe opazovanja pojavov na površini Zemlje. To je bil ameriški satelit ERTS-1, prvi iz serije LANDSAT satelitov. S to letnico se tudi začel razvoj nove stroke, tako imenovane satelitske teledetekcije ali daljinskega zaznavanja s sateliti.

Kaj pomeni izraz 'detekcija'? Pomeni, da nekaj odkrivamo.

'Teledetekcija' pomeni, da odkrivamo nekaj iz daljave.

Izraz 'digitalna teledetekcija' pa pomeni, da iz daljave merimo oz. odkrivamo z numeričnimi postopki željeno ali iskano lastnost nekega predmeta ali pojava.

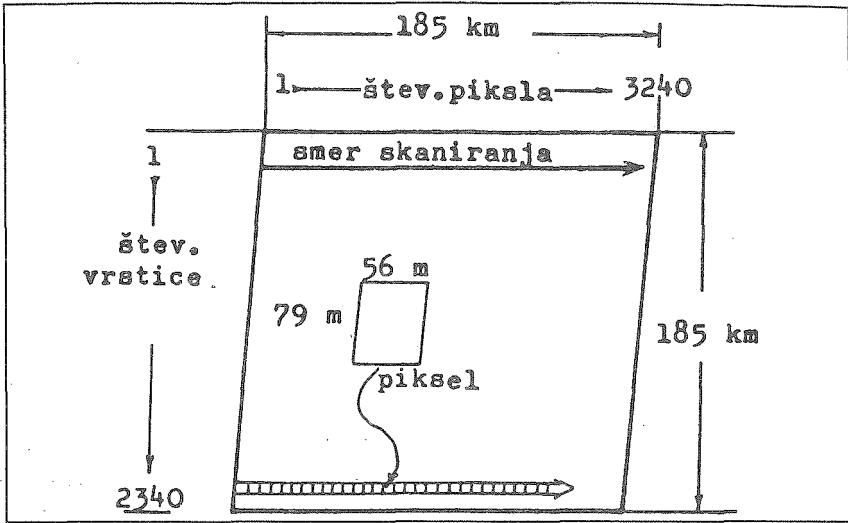
In končno izraz 'digitalna satelitska teledetekcija' pomeni, da merimo lastnosti predmeta ali pojava s pomočjo satelita, to je iz velike oddaljenosti.

Ogledali si bomo delovanje satelitov za opazovanje površine Zemlje, oziroma kako nastane satelitski posnetek Zemlje, nato

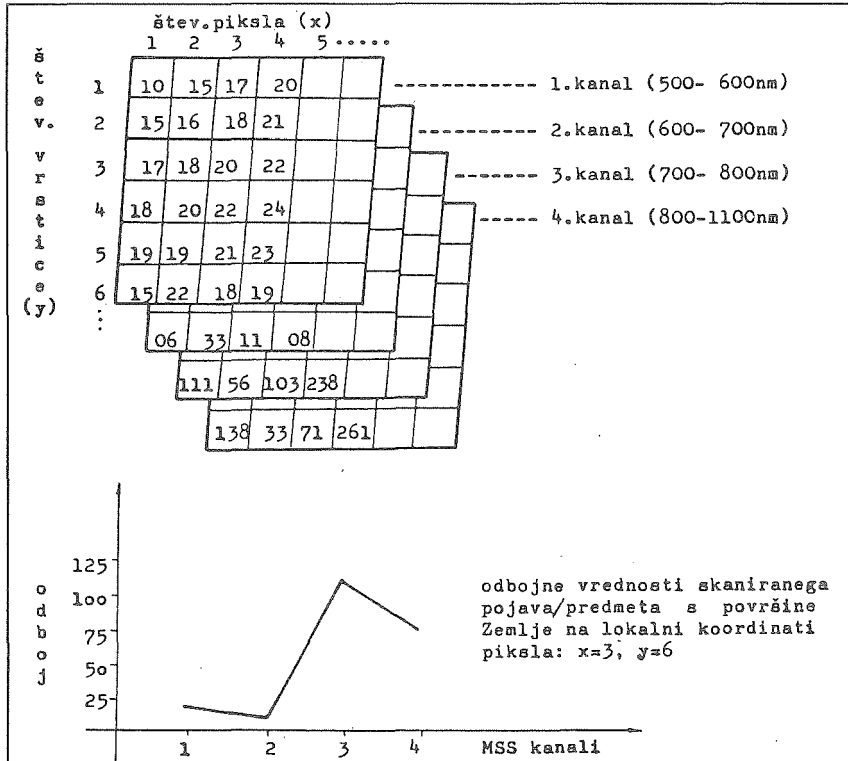
pa še osnove obdelave digitalnih, satelitsko zajetih podatkov s površine Zemlje.

Sateliti za opazovanje površine Zemlje so heliosinhroni, torej krožijo po točno določeni tirnici na višini 915 ali 725 km okoli Zemlje. Ves čas kroženja zbirajo s 185 km širokega pasu na Zemlji podatke odboja in sevanja elektromagnetnega valovanja (EMV; slika 1). Vsak predmet na Zemlji namreč odbija del prejete sončne energije, lahko pa tudi sam seva energijo določene valovne dolžine.

Detektorji na satelitu so selektivno občutljivi; to pomeni, da zajemajo odboj EMV le iz določenih pasov elektromagnetnega valovanja. Jakosti prejetega impulza EMV oziroma številu fotonov, ki jih v danem trenutku zabeleži detektor na satelitu, le-ta priredi numerično vrednost v razponu od 0 do 255 števil. Površini/predmetu, ki odbija vso prejeto sončno energijo (npr. bel predmet), bo detektor na satelitu določil vrednost 255. Predmetu/površini, ki vso sončno energijo absorbira (npr. črn predmet), pa bo določil vrednost 0.



Slika 1: shema skaniranja z landsat satelitom



Slika 2 : shema izseka iz skanirane MSS scene

Kot smo že omenili, sateliti krožijo okrog Zemlje in ves čas skanirajo oziroma zbirajo numerične vrednosti odbitega ali sevanega EMV s površine Zemlje. To delajo tako, da zabeležijo povprečno vrednost EMV s površine na Zemlji, ki je velikosti: 56mx79m ali 30mx30m ali 20mx20m ali 10mx10m. Tem površinam pravimo slikovni elementi ali piksli (slika 2). Velikost pikslov je odvisna od tipa skanerja na satelitu.

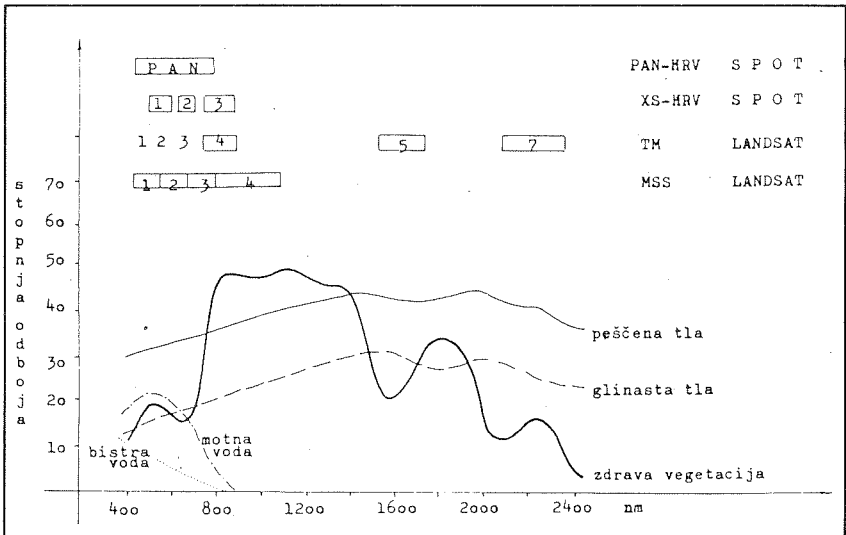
Skaner z ločljivostjo 56mx79m se imenuje MSS (MultiSpectral Scanner); skaner z ločljivostjo 30mx30m TM (Thematic Mapper). MSS in TM skanerja sta nameščena na NASA satelitih tipa Landsat. Skanerja z ločljivostjo 20mx20 in 10mx10m se imenujeta HRV (Haute Resolution Visible) in sta nameščena na francoskem satelitu SPOT. Pas skaniranja je na Landsat satelitih širok 185 km in na SPOT satelitu 60 km. Na sprejemnih postajah, kjer telemetrično sprejemajo skanirane podatke, le-te zapisujejo na magnetne trakove. Podatki v dolžini skaniranja 185 km za satelite Landsat in v dolžini skaniranja 60 km za satelit SPOT predstavljajo eno skanirano sceno.

Različni skanerji so občutljivi za različne valovne dolžine oz. skanirajo v različnem številu kanalov (slika 3).

Pomembna lastnost satelitsko skaniranih podatkov je torej njihova **ločljivost ali resolucija**. Ločimo štiri vrste resolucije:

1. **Spektralna ločljivost** se nanaša na širino in število valovnih dolžin EMV, za katere je občutljiv senzor na satelitu. Te intervale občutljivosti senzorja imenujemo tudi kanale ali bande (slika 3).

2. **Površinska ločljivost** je mera najmanjše možne sepa-rabilnosti skanerja med dvema ploskovnima ali linijskima objektoma oz. pojavoma. Pri skaniranju se s površinsko ločljivostjo navaja dimenzijo projiciranega hipnega ali trenutnega območja zaznave skanerja na površini Zemlje. Okrajšano se uporablja kratica IFOV (Instantaneous Field Of View). Ta podatek se vedno nanaša le na središče skanirane scene in ima v praksi odklone, ki so na posnetku navedeni skupaj z ostalimi tehničnimi podatki naročene scene. Povprečno površinsko ločljivost cele scene podajamo z izrazom piksel.



Slika 3: značilne spektralne krivulje odboja in vpijanja EMV nekaterih pojavov-predmetov na površini Zemlje ter občutljivost detektorjev na skanerjih satelitov

V praksi je uveljavljeno pravilo, da lahko med seboj razločujemo predmete ali pojave na Zemlji le s tistim skanerjem, ki ima površinsko resolucijo vsaj za polovico manjšo od velikosti proučevanega predmeta. Vedeti pa moramo, da sama površinska ločljivost ne jamči, da bomo proučevani predmet ali pojav na površini Zemlje ločili od sosednjih pojavov ali predmetov, če se med seboj ne ločijo tudi po svojih spektralnih lastnostih v določenih kanalih.

3. Časovna ločljivost se nanaša na pogostnost preleta satelita nad isto točko na površini Zemlje v določenem časovnem intervalu. Časovna ločljivost se vedno nanaša na frekvenco preleta in ne na samo možnost skaniranja. Tako ima npr. francoski satelit SPOT frekvenco preletov na 26 dni, ker pa lahko spreminja kot skanerja, lahko območje Slovenije skanira pod različnimi koti vsak drugi dan. Periodičnost skaniranja omogoča spremljanje časovnih sprememb, torej proučevanje dinamičnih pojavov, kar je zlasti pomembno in pri kmetijstvu in pri nesrečah večjega površinskega obsega.

Ko se uporabnik odloča za nakup skanirane scene mora poznati in upoštevati podatke ločljivosti za posamezen tip satelita in skanerja ter za določen datum skaniranja.

Množica podatkov, ki jo uporabnik dobi, ko kupi eno skanirano območje tipa MSS, TM ali SPOT, je razvidna iz razpredelnice:

tip skanerja	velikost območja v km	število kanalov	velikost piksla/m	število podatkov/sceno
MSS	185 x 185	4	56 x 79	34 225 000
TM	185 x 185	7	30 x 30	228 179 000
HRV-XS	60 x 60	3	20 x 20	27 000 000
HRV-PAN	60 x 60	1	10 x 10	36 000 000

Jasno je, da je tako množico podatkov mogoče obvladati le z računalnikom. Zdaj, ko vemo, kako dobimo satelitsko skanirane podatke in kakšne vrste podatki so to, pogledajmo še, kako te podatke obdelujemo in analiziramo.

Namen vsake obdelave in analize daljinsko zaznavnih podatkov so informacije o nekem

pojavo ali predmetu: kakšen pojav/predmet je to, kje vse se nahaja, v kolikšnem obsegu se pojavlja ter v kakšnem stanju je.

Prva stopnja obdelave satelitsko skaniranih podatkov je **predprocesiranje**. Vedeti moramo, da se pri skaniranju površine Zemlje pojavljajo določene **napake**, ki jih v grobem delimo v **radiometrične** in **geometrične**.

Radiometrične napake nastajajo zaradi neuskladenega delovanja senzorjev na skanerju satelita. Te lahko korigirajo že na sprejemnih postajah.

Geometrične napake pa so posledica vrtenja Zemlje, ukrivljenosti Zemlje, panoramske distorzije skaniranja, nelinearnosti skaniranja in nihanja satelita od začrtane orbite letenja. Napake, ki so posledica nelinearnosti skaniranja in nihanja satelita, so značilnosti posameznega tipa satelita oziroma skanerja. Te lahko korigirajo na sprejemnih postajah. Druge pa lahko zadovoljivo korigiramo le s poznavanjem terena, zato te korekcije večinoma izvajajo uporabniki sami. Končni učinek uporabe računalniških programov za geometrične korekcije je posnetek, ki ima lastnosti merila in projekcije karte. Zahtevana stopnja natančnosti geometrične korekcije skaniranega posnetka je odvisna od merila skaniranega piksla in od namena uporabe skaniranih podatkov. Če želimo na primer oceniti biomaso kmetijskih površin večjega območja, se lahko zadovol-

jimo tudi z geometrično nekorigiranimi podatki. Če želimo oceniti kmetijske površine, pa je potrebno skanirane podatke geometrično korigirati do tiste natančnosti, ki jo omejuje velikost piksla.

Druga stopnja obdelave skaniranih posnetkov je **izboljšava posnetkov**. Z matematičnimi algoritmi lahko spreminjamo odbojne vrednosti **posamičnim pikslom** določene scene ali pa uporabljamo transformacije na **vseh pikslih** scene. Prvi pristop uporabljamo pri izboljšavi dela posnetka, npr. pri odstranjevanju učinkov meglic v dolinah. Drugi pristop pa kadar želimo

izostriti posamezne pojave z ostrenjem robov pojava ali z večanjem kontrasta med pojavi, npr. pri določevanju geoloških prelomnic.

Sledi analiza vsebine posnetka, ki jo delimo v analizo linearnih elementov in analizo tematskih elementov.

Analizo linearnih elementov lahko opredelimo kot vizuelno obdelavo skaniranega posnetka. Pri tem interpretator analizira posnetek na ekranu in z digitalnikom sam vnaša mejne vrednosti linearnih pojavov. Kriterij odločitve je torej subjektiven in odvisen od strokovnega znanja interpretatorja.

Analizo tematskih elementov običajno imenujemo klasifikacijo skahirane scene. Valovna dolžine, v katerih satelit skanira, tvorijo pri računalniški obdelavi večrazsežen prostor, v katerem se odbojne vrednosti enakih ali sorodnih pred-

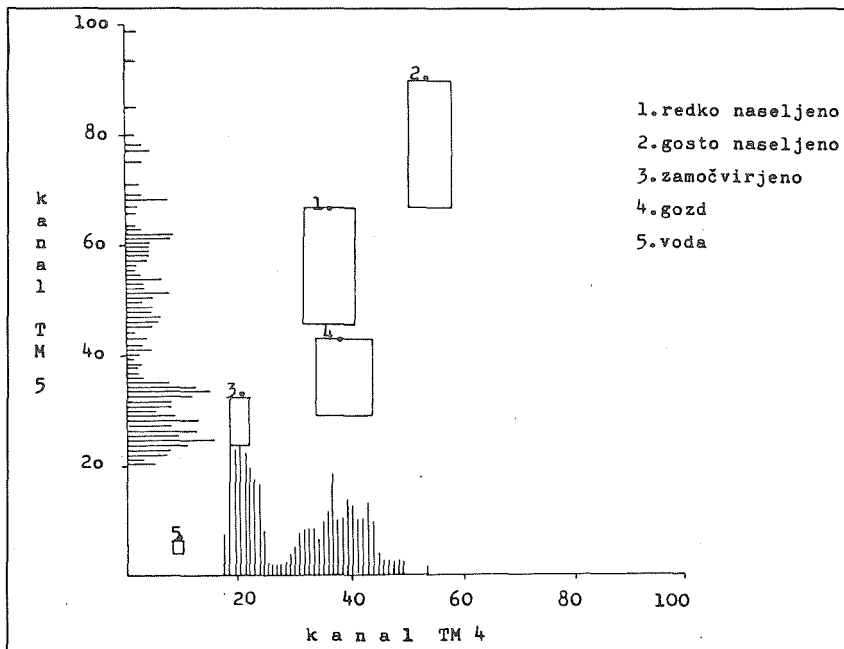
metov/pojavov razvrščajo v skupine, kopice ali klastre (slika 4).

Obdelava podatkov odboja EMV, ki so razvrščeni v večrazsežnem prostoru valovnih dolžin je možna na dva načina:

1. Nenadzorovano razvrščanje slikovnih elementov v kopice (klastre), ki predstavljajo razrede rabe tal.

2. Nadzorovano razvrščanje slikovnih elementov v vnaprej določene razrede rabe tal.

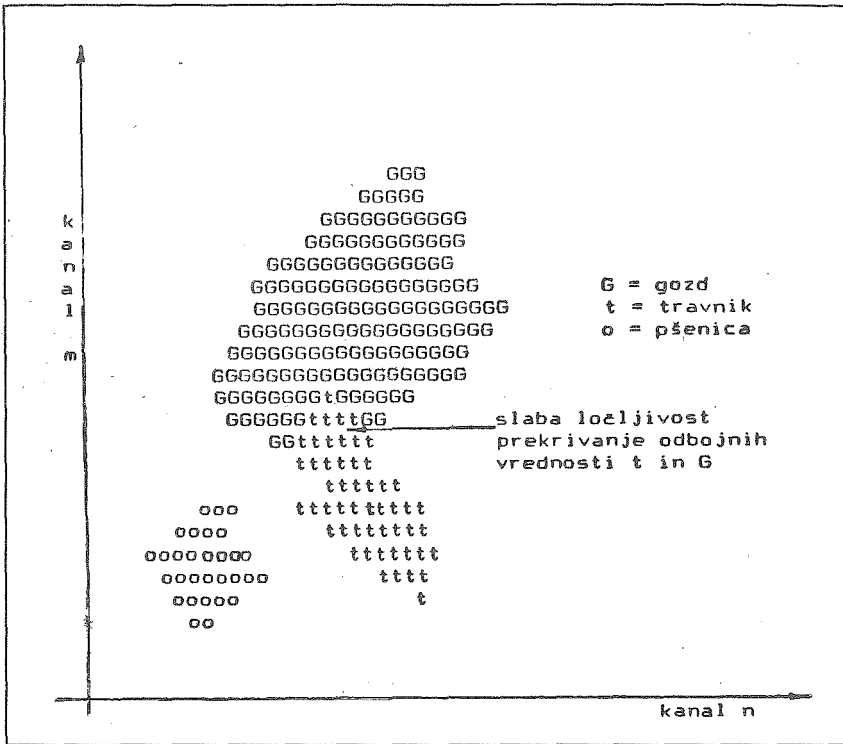
Za prvi način obdelave podatkov potrebuje računalniški program le koordinate območja, ki ga obdeluje ter poljubno, to je vsebinsko smiselno število razredov, v katere bo razvrstil vse odbojne vrednosti proučevanega območja. Število izbranih razredov, ki jih v tem primeru imenujemo klastre, lahko določimo sami. Če pa poz-



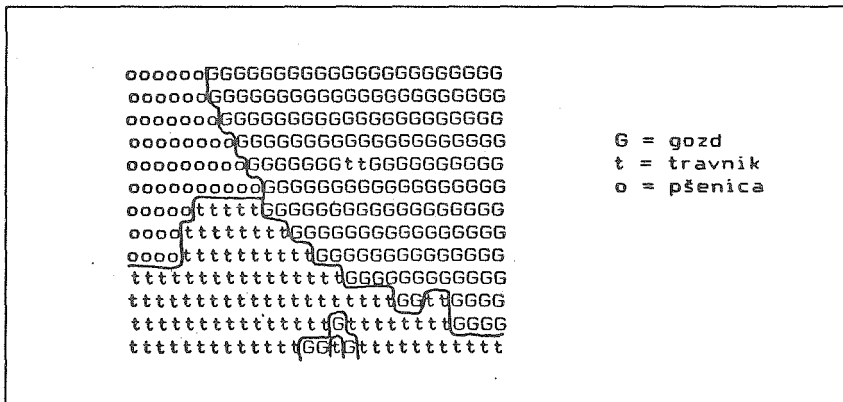
Slika 4: odbojne vrednosti vzorčnih površin petih razredov izrabe tal v 2-razsežnem prostoru kanalov TM-4 in TM-5 z izračunanim \bar{x} (središče pravokotnika) in variabilnostjo $\pm SD$ (meje pravokotnika) (Povzeto po: Jensen, J.R., 1986)

namo odbojne vrednosti sorodnih pojavov, lahko tudi vnaprej določimo matematična središča klastrov. Z ustreznim računalniškimi programom nato razvrstimo vse

piksele v posamezne razrede rabe tal in zanesljivost te klasifikacije preverimo še z ustreznim kartografskim izpisom (slika 5).



Slika 5a: razvrstitev pixlov v tri klastre ali razrede izrabe tal



Slika 5b: kartografski izpis pixlov, razvrščenih v 3 razrede izrabe tal

Ta način obdelave podatkov uporabljamo pri prvi tematski analizi posnetka, ko skušamo za izbrani posnetek ugotoviti število med seboj ločljivih razredov rabe tal. Obdelava je primerna tudi za izračun homogenosti vzorčnih površin pri kontrolirani klasifikaciji. V primeru, ko slabo poznamo lokalne razmere skaniranega območja ali pa ne moremo uporabiti drugih dopolnilnih podatkov s terena, je ta metoda edina, s katero lahko razvrstimo slikovne elemente v posamezne razrede rabe tal.

Pri **nadzorovanem razvrščanju** odbojnih vrednosti posameznih razredov izrabe tal pa potrebujemo podatke o vrsti in stanju vzorčnih površin na terenu ter njihove koordinate. Zato moramo podatke na terenu zbrati v času, ko satelit skanira. Vsak terenski vzorec mora biti dovolj velik, da je reprezentativen glede na variabilnost pojava in glede na ločljivost skanerja.

V naslednji stopnji obdelave prenesemo koordinate vzorca v skanirane podatke in izračunamo statistike teh vzorčnih ali vadbenih površin. Te statistike nam povedo, v kolikšni meri bo možno na skanirani sceni opredeliti vse slikovne razrede v izbrane razrede tal in s katero kombinacijo kanalov bomo najbolj ločevali posamezne pojave na terenu. V razpredelnici so izpisi odbojnih vrednosti za vadbene podatke dveh razredov rabe tal Vipavske doline-občine Ajdovščina. Povprečne vrednosti vadbenih podatkov vseh petih razredov rabe tal pa so prikazane v sliki 6.

KORUZA

kanal	X	SD
TM2	36,96	1,09
TM3	32,88	2,00
TM4	95,36	8,67
TM5	69,60	5,16
TM7	22,37	3,56

korelacijski koeficienti

	2	3	4	5
3	0,754			
4	-0,558	-0,740		
5	0,653	0,770	-0,569	
7	0,665	0,796	-0,778	0,866

kovariančna matrika

	1	2	3	4	5
1	1,190				
2	1,648	4,016			
3	-5,275	-12,857	75,133		
4	3,678	7,971	-25,463	26,655	
5	2,580	5,678	-23,979	15,905	12,659

ODPRTE NJIVE

kanal X SD

TM2	43,47	1,56
TM3	48,61	2,29
TM4	60,48	5,53
TM5	100,51	5,97
TM7	53,51	3,04

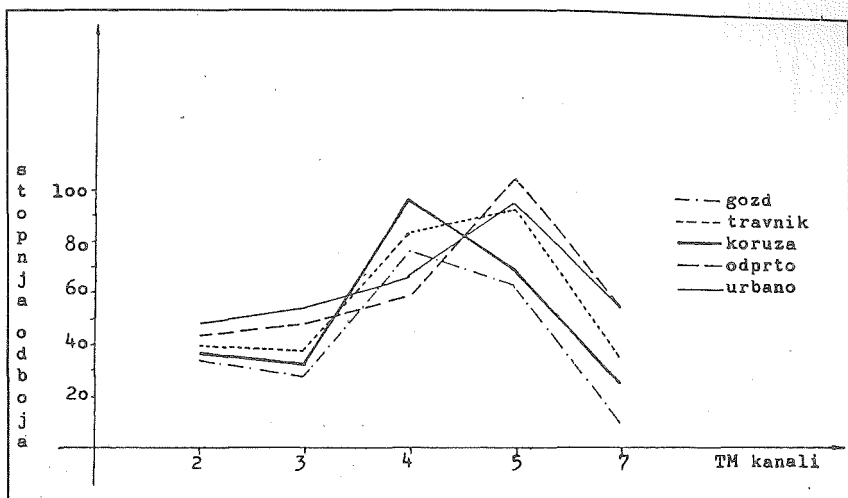
korelacijski koeficienti

	2	3	4	5
3	0,980			
4	0,639	0,634		
5	0,570	0,639	0,631	
7	0,677	0,740	0,483	0,872

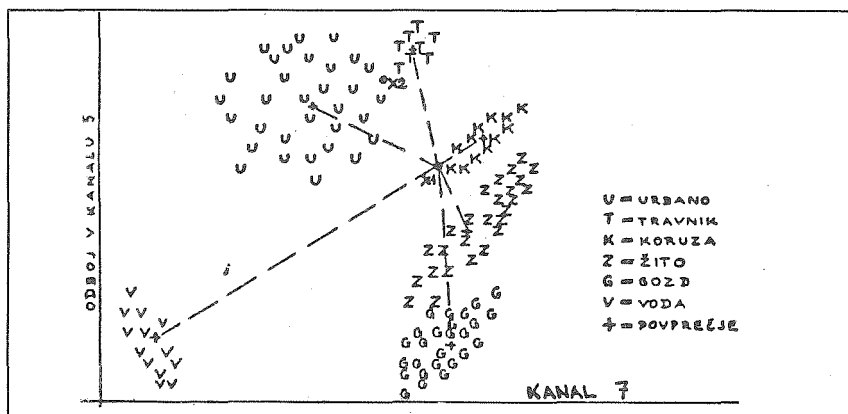
kovariančna matrika

	2	3	4	5	7
2	57,484				
3	76,551	106,099			
4	33,362	44,939	47,369		
5	65,471	99,750	65,739	229,462	
7	59,614	88,511	38,546	153,332	134,7

Naslednja faza obdelave je razvrščanje skaniranih odbojnih vrednosti v pripadajoče razrede rabe tal. Najbolj pogosto uporabljene klasifikacijske metode so: metoda najmanjših razdalj, ki sloni na izračunu evklidne razdalje med posameznimi slikovnimi elementi in povprečnimi vektorji (grafikon 1); paralelopiped metoda, ki upošteva variacijske širine vadbenih podatkov vsakega razreda (grafikon 2) in metoda maksimalne verjetnosti, ki upošteva variabilnost vadbenih podatkov posameznih razredov in njihovo korelacijo med kanali valovnih dolžin (grafikon 3). Ta je najbolj pogosto uporabljena, čeprav je računalniško bolj zahtevna in tudi bolj počasna, vendar se najbolj prilagaja posebnostim skaniranih podatkov (grafikon 4). Ti imajo namreč visoko stopnjo variabil-



Slika 6: povprečne vrednosti odboja vadbenih vzorcev petih razredov izrabe tal območja občine Ajdovščina, skanirano s TM-Landsat satelitom 2.8.86

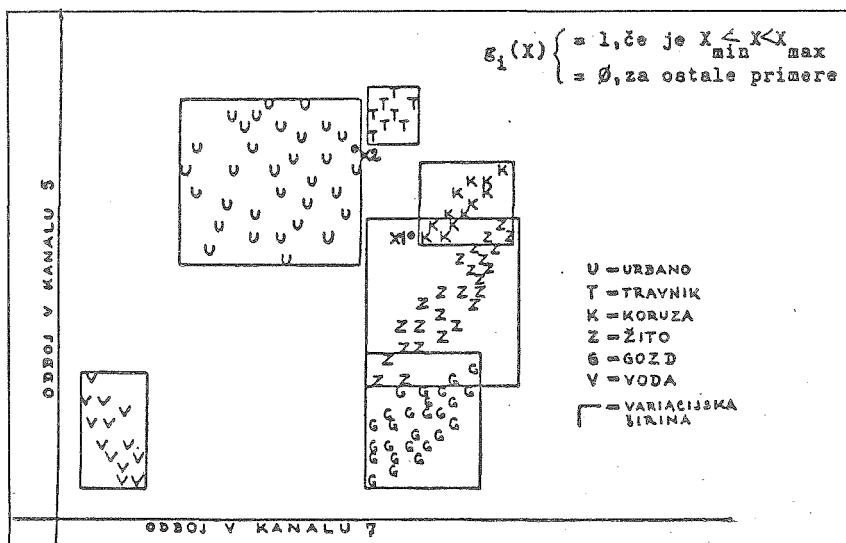


Grafikon 1: shematični prikaz razvrščanja osnovnih elementov v posamezne razrede rabe tal po metodi najmanjših razdalj (povzeto po : Lillesand in Kiefer, 1979)

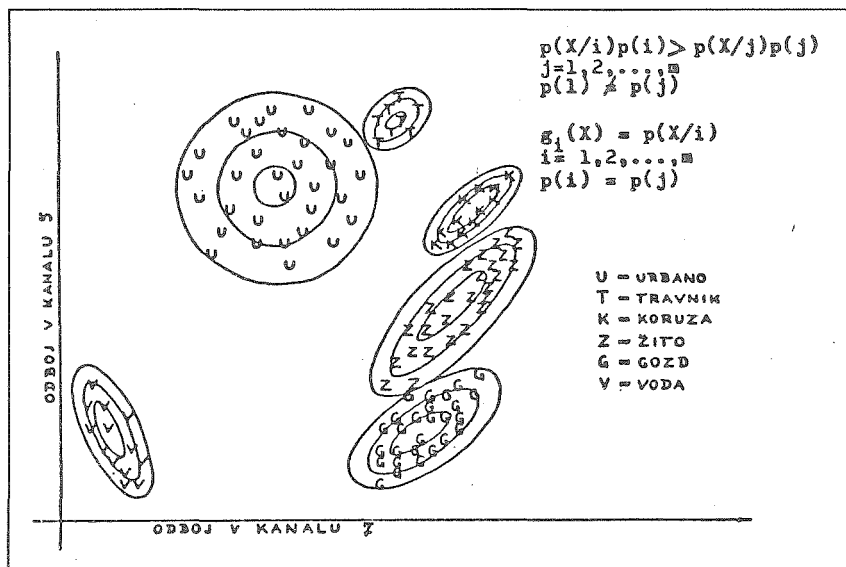
nosti, kar pogojuje pogosto prekrivanje posameznih razredov v n-razsežnem prostoru valovnih dolžin.

Končni rezultat obdelave digitalnih, satelitsko skaniranih podatkov je skupen

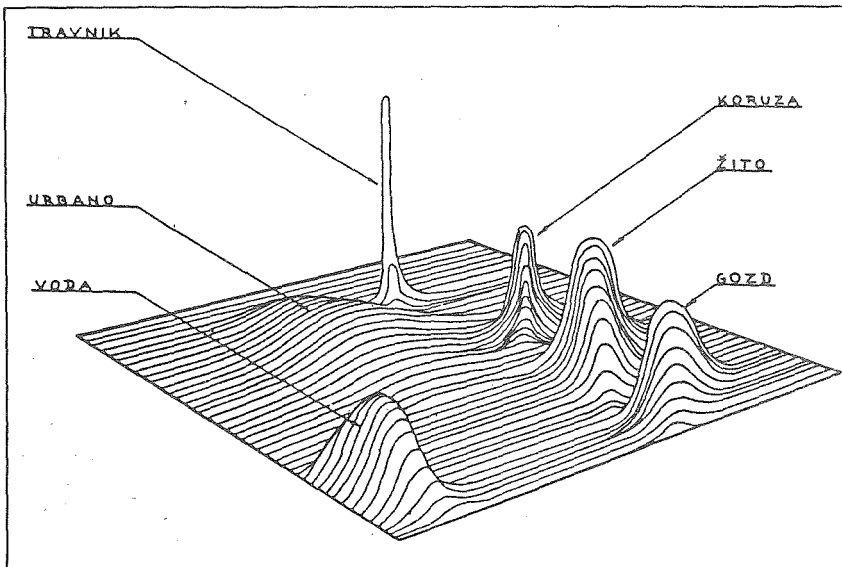
prikaz površin (ha) razredov rabe tal in analogen (kartografski) prikaz razvrstitve razredov rabe tal v prostoru. Za oba rezultata mora interpretator izračunati še oceno zanesljivosti in oceno natančnosti, s čimer posreduje oceno kakovosti izdelka.



Grafikon 2: shematičen prikaz razvrščanja slikovnih elementov v razrede rabe tal po paralelopiped metodi (povzeto po: Lillesand in Kiefer, 1979)



Grafikon 3: tirnice enake verjetnosti porazdelitvenih funkcij šestih razredov rabe tal, izračunane z metodo maksimalne verjetnosti



Grafikon 4: Shematičen prikaz verjetnostnih porazdelitvenih funkcij šestih razredov rabe tal, izračunanih z metodo **maksimalne verjetnosti** (povzeto po : Lillesand in Kiefer, 1979)

Na koncu si oglejmo še nekatere prednosti skaniranih podatkov pred klasičnimi, tako imenovanimi analognimi načini zbiranja podatkov o pojavih v prostoru. Skanirani podatki omogočajo:

- hitro analizo podatkov velikih površin;
- enolično obdelavo množice raznolikih podatkov;
- obdelavo podatkov v n-razsežnem prostoru;
- indeksiranje podatkov;
- multitemporalno analizo, to je časovno spremljanje sprememb v prostoru;
- povezovanje z drugimi numeričnimi in prostorsko opredeljenimi podatki;
- izdelavo informacijskega sistema v prostoru in s tem možnost izdelave geografsko informacijskega sistema - GIS.

LITERATURA

- Baronti, S., 1989, Geometric Corrections of Remotely Sensed Images, H4.SMR/383-02, ICTP, Italy, pp:1-9.
- Burrough, P. A., 1986, Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford Science Publications, Oxford.
- Congalton, R.G., 1988, A Comparison of Sampling Schemes Used in Generation Error Matrices for Assessing the Accuracy of Maps Generated from Remotely Sensed Data, Photogrammetric Eng. & R.S., Vol.54, No.5, pp: 593-601.
- Curran, P.J. and Williamson, H.D., 1988, Selecting a spatial resolution for estimation of per-field green leaf area index, Int. J. Remote Sensing, Vol. 9, No. 7, pp: 1243-1250.
- Hellden, U., 1987, An Assessment of Woody Biomass, Community Forests, Land Use and Soil Erosion in Ethiopia. A feasibility study on the use of remote sensing and GIS-analysis for planning purposes in developing countries, Lund studies in Geography, Lund University Press.
- Jensen, J. R., 1986, Introductory Digital Image Processing, Prentice-Hall, NJ.
- Lillesand, T. M. and KIEFER, R.W., 1979, Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley and Sons, NY.
- Rhind, D., 1988, A GIS research agenda, Int. J. Geographical Information Systems, Vol.2, No.1, pp: 23-28.
- Šabič, D., 1989, Nekontrolirana klasifikacija in optimizacija sheme vadbenih vzorcev satelitsko skaniranih podatkov s klaster analizo računalniškega paketa SPSS/PC, GV, Ljubljana, pp: 1-12.
- Tretjak, A., Bochanek, Z., Kawczynsky, C., 1983, Study of the application of various transformation techniques to Landsat data for an improved land-use classification, Final report at ITC-Enschede, The Netherlands, pp: 1-35.
- Tretjak, A., Poljak, M., Hlavaty, M., Šabič, D., Gruden, A., Podgornik, R., Banovec, T., 1987, Uporaba satelitskih metod teledetekcije za ocenjevanje izrabe tal in potrebe kmetijstva in gozdarstva, Zvezni razis-kovalni projekt, FAO:TCP/YUG-4502(T), pp: 1-87.
- Tretjak, A., 1988, računalniška obdelava satelitsko skaniranih podatkov, Seminar digitalna obrada slike, Savjet za istraživanja i fotointerpretaciju u suradnji sa Elektrotehničkim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu, JAZU, Zagreb, 10.-12.okt.88, pp: 1-12.