

JUGOSLAVENSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI

UDK:528.8 CODEN:BJAFDO YU ISSN 0351—4927

# BILTEN

SAVJET ZA DALJINSKA ISTRAŽIVANJA I FOTOINTERPRETACIJU

Broj 8



BILT. DALJIN. ISTRAŽ. FOTOINTERPRET.  
VOL. 1, BROJ 8, STR. 1—100

ZAGREB, 1987.

## PRIMJENA KLASIFIKATORA SATELITSKIH SLIKA OBLAKA U KLASIFIKACIJI PODLOGE

Mr. Bojan LIPOVŠČAK  
RHMZ SRH Zagreb

**SAŽETAK:** Primjena satelitskih podataka visoke rezolucije povezana je s problemom raspoznavanja i tužnjenja elemenata satelitske slike. U okviru projekta INTERACT u Hyderabadu — Indija razvijen je paket programa za automatsku klasifikaciju oblaka s visoko rezolutivnim slikama meteoroloških satelita serije NOAA-TIROS. Klasifikacija se temelji na primjeni višedimenzionalne normalne razdiobe kao funkcije diskriminacije između klasama naoblake. U ovom radu prikazana je upotreba automatskog klasifikatora satelitskih slika naoblake za klasifikaciju digitalnih podataka satelita LANDSAT. Primjenjena je trodimenzionalna normalna razdioba, te je na klasificiranoj slici identificirano 4 različite klase podloge, i to: tlo, vegetacija, mazlja i voda.

### I. UVOD

Prijem satelitskih podataka visoke rezolucije povezan je s obradom podataka i raspoznavanjem elemenata slike. Količina informacija koju sateliti emitiraju na Zemlju je ogromna te ju je nemoguće obraditi klasičnim metodama obrade slika. U obradi satelitskih podataka primjenjuju se metode raspoznavanja oblika (pattern recognition) kojima je osnovni cilj raspoznavanje oblika na satelitskim slikama i svrstavanje opaženih pojava i oblika u poznate klase. Klasifikacija satelitskih slika naoblaka nužna je za prikazivanje velike količine meteoroloških satelitskih podataka u prihvatljivom obliku. Lipovščak (1984) prikazuje razvoj metoda za klasifikaciju satelitskih slika oblaka i predlaže upotrebu višedimenzionalne normalne razdiobe u klasifikaciji oblaka.

Provjera rezultata klasifikacije oblaka povezana je s potreboćem dobivanja podataka o stvarnoj prirodi pojava i klasa — "ground truth" podataka na osnovi kojih se može izvršiti ocjena rada klasifikatora. Uobičajene metode ocjene točnosti klasifikatora temelje se na usporedbi razvijanih uzoraka u klase i poznatog broja elemenata klase koje se određuju. Metoda se primjenjuje za ocjenu rada klasifikatora koji identificiraju vrste podloge tla na temelju satelitskih slika — npr. Pettinger (1982). Prilikom klasifikacije vrsta podloga koja je prikazana u ovom radu nije se raspolagalo podacima o pravoj prirodi podloge koja se klasificira.

### 2. FIZIKALNE OSNOVE DALJINSKOG MJERENJA I KLASIFIKACIJE OBLAKA

Daljinska istraživanja (remote sensing) pomoći satelita temelje se na mjerenu radijaciju sistema Zemlja — atmosfera pomoći više kanalnih spektrometara. Područje spektra koje je predmet istraživanja pomoći više kanalnih skenera nazivano je optičko područje spektra a definirano je valnim duljinama od 0,3 do 15 μm. Za reflektirano zračenje snaga koju senzor prima je definirana kao:

UDK 528.8 : 629.783 : 551.576  
Prispjelo 20. lipnja 1986.  
Prihvaćeno 30. siječnja 1987.

$$L_{\lambda} = 1/\pi R E_{\lambda} \cos \theta_s \quad (1)$$

gdje je:

$E_{\lambda}$  — spektralna iradijanca — snaga zračenja po jedinici površine cilja,

R — dvostruki faktor refleksije,

$\theta_s$  — kut Sunca.

Za termički dio spektra je spektralna radijacija cilja definirana kao:

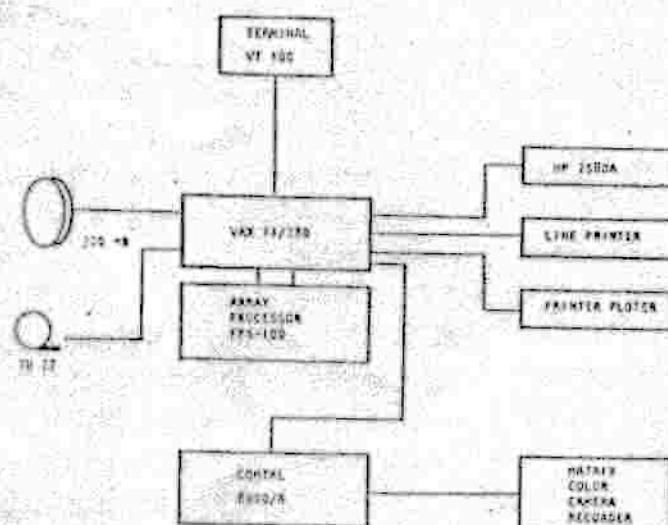
$$L_{\lambda} = 1/\pi E_{\lambda} \cos \theta_s \quad (2)$$

Spektralna iradijanca je definirana Planckovim zakonom radijacije, te je upadna snaga zračenja koja prima senzor satelita funkcija temperature objekta na tlu. Temperatura cilja se u vidljivom dijelu spektra (reflektivni dio spektra) naziva i temperaturna boja. Za daljinsko mjerjenje meteorološkim satelitom oblaci predstavljaju cilj, koji Sunčevu zračenje reflekira u vidljivom dijelu spektra a zrači energiju u infracrvenom dijelu spektra. Temperatura oblaka je funkcija visine na kojoj se oblak nalazi. Visina oblaka definira tip oblaka. Temperatura boje oblaka ovisi o gustoći oblacičnih čestica, njihovu sastavu (led ili voda) i veličini, dokle veličinama koje definiraju različite tipove oblaka. Možemo zaključiti da se satelitskim skenerima mijere svojstva oblaka koja omogućuju konstrukciju klasifikatora tipova oblaka temeljenog na fizikalnim osnovama. Upotreba automatskog klasifikatora rodova i vrsta oblaka koji je temeljen na fizikalnim svojstvima omogućuje njegovu upotrebu u klasifikaciji podloge ako ona ima različita fizikalna svojstva.

### 3. OPIS DIGITALNOG SISTEMA

#### UPOTRIJEBLJENOG ZA ANALIZU PODATAKA

Digitalni sistem za analizu podataka meteoroloških satelita na kojem je primijenjen klasifikator oblaka razvijen je u okviru projekta INTERACT (International Education and Research for Application of Computer Technology) koji se pod pokroviteljstvom UNDP-a, UNFSSST-a i vlade Indije odvija u Hyderabadu, Indija. Razvijen je računarski sistem za analizu i obradu satelitskih meteoroloških podataka koji je nazvan CIPSMAP (Computerised Image Processing System for Meteorological Applications). Sistem je orijentiran na obradu podataka satelita NOAA 6, 7 i 8, ali se uz programske izmjene može upotrebjavati za obradu i analizu podataka u digitalnom obliku skenera ostalih tipova geostacionarnih i polarno-orbitalnih satelita. U ovom radu prikazana je klasifikacija podataka satelita LANDSAT. Opis sistema, njegov dizajn, prikazan je u radovima Gupta i sur. (1983.), Lipovščak (1984.), Gupta i Murthy (1984.).



Slika 1. Shema sistema za obradu satelitskih podataka

Prijem satelitskih podataka obavlja se na stanicu NRSA (National Remote Sensing Agency) smještene u Shadnagatu (kraj Hyderabad), na trake velike gustoće podataka (Gupta 1983.). Trake se prenose na računarske trake normalne gustoće podataka i unose u bazu podataka sistema (disk jedinice). CIPSMAP je dizajniran za primjenu na računalu VAX 11/780, s FPS array procesorom i grafičkim procesorom COMTAL 8 000/R. (slika 1).

U radu su uzeti podaci satelita LANDSAT umjesto podataka satelita NOAA za koje je baza podataka i paket programa dizajniran. Primjenjeni su podaci kanala 4 (0.76–0.90 μm), 5 (1.55–1.75 μm) i 6 (10.40–12.50 μm) tematskog kartografa satelita LANDSAT. Podaci kanala 4 prvenstveno služe za prikaz vodenog tijela, kanal 5 za ispitivanje vegetacije, a kanal 6 za ispitivanje vegetacije, kartiranje tla i terminalno kartiranje (Oluse 1983.). Moć razločivanja instrumenata u točki ispod satelita je oko 30 metara.

Podaci se emitiraju na Zemlju u obliku 10 bitne informacije koja opisuje svaki element slike (pixel) u svakom kanalu skenera. Vrijednosti predstavljaju intenzitet sive skale na koju je preračunana snaga primljene radijacije na palubi satelita. Podaci satelita se prilikom unosa u bazu podataka preformiraju tako da podaci svakog kanala čine jednu sliku (Prakash 1984). Prije nego se pristopi obrati i analizi satelitskih podataka, oni prolaze kroz ove faze (Gupta i Murthy 1984):

- kalibracija podataka termičkih kanala skenera,
- određivanje vrijednosti albeda za podatke vidljivog dijela spektra,
- korekcija zbog različitog upadnog kuta zračenja Sunca za podatke iz vidljivog dijela spektra,
- korekcija zbog zakrivljenosti Zemlje,
- korekcija zbog okretanja Zemlje,
- navigacija slike prema geografskim koordinatama.

Prikazivanje podataka (slika) obavlja se pomoću grafičkog procesora COMTAL koji može prikazati tri nezavisne slike podataka i četiri grafičke slike (Murphy 1984). COMTAL je ograničen za upotrebu 8 bitne informacije, te se podaci prije prikaza na grafičkom računalu prevode iz 10 bitnog u 8 bitni oblik. Slike

se mogu pomoću MATRIX uređaja dobiti u obliku fotografije (što je primjenjivano u ovom radu) ili na grafičkom pisaču u obliku tvrde kopije.

#### 4. PRIMJENA NORMALNE RAZDIOBE U AUTOMATSKOJ KLASIFIKACIJI

Rezultati satelitskih mjerjenja pojedinih rodova i vrsta oblaka u nekom području valnih duljina spektra mogu se prikazati normalnom razdiobom (Simmer i sur. 1982., Coakley i sur. 1984.), što navodi na misao da se normalna razdioba primjeni kao funkcija diskriminacije za razlikovanje pojedinih rodova oblaka međusobno, kao i za razlučivanje što je Zemljina površina, a što su oblaci. Bez provjere raspodjele podataka pretpostavimo da su satelitom mjerene vrijednosti različitih vrsta podloge raspodijeljeni po pravilu normalne razdiobe.

Zahtjevi koji su postavljeni automatskom klasifikatoru oblaka, a koji se mogu prenijeti i na klasifikaciju podloge su ovi:

1. raspoznavanje se mora obaviti na osnovi radijskih svojstava podloge;
2. raspoznavanje se mora obavljati i za vrijeme noćnih i dnevnih preleta satelita, (noću su odsutni podaci u vidljivom dijelu zračenja);
3. raspoznavanje mora biti primjenjivo u svim geografskim širinama;
4. klasifikator mora biti modularan tako da je moguće u proces identifikacije imjeti dodatne postupke određivanja klase (pragovi, a priori vrijednost, tkivo i oblik rubova oblaka).

Osim raspoznavanja i svrstavanja oblaka u tipove klasifikator mora biti sposoban raspozнати i svrstati u klase podloge na Zemlji: tlo, vodu (oceane, jezera i rijeke), snijeg i led. S obzirom na svojstva oblaka (temperaturna područja u kojima se javljaju i svjetlina), Lipovščak (1983) predlaže raspoznavanje oblaka i vrsta podloge u 11 klasa.

Za raspoznavanje oblika na osnovi satelitskih podataka visoke moći razlučivanja primjenjeno je Bayesovo pravilo minimalnog gubitka a za učenje klasifikatora primjenjena je statistička metoda nadziranog učenja (Swain 1978).

Satelitsko mjerjenje u više kanala omogućuje primjenu više dimenzionalne normalne razdiobe kao funkcije diskriminacije među klasama. Primjenjena je trodimenzionalna normalna razdioba kao funkcija diskriminacije (Lipovščak 1986). Za 4 klase različitih oblika u istom kanalu mjerjenja dolazimo do 4 različite normalne razdiobe koje su definirane srednjakom i standardnom devijacijom, N — dimenzionalna normalna razdioba može se prikazati u obliku:

$$p(x) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} / \sqrt{\det(\Sigma)}} \exp(-\frac{1}{2}(x-\mu)^T \Sigma^{-1} (x-\mu)) \quad (3)$$

gdje je  $x$  vektor mjerjenja,  $\mu$  vektor srednjaka,  $\Sigma$  matrica kovarijanci,  $T$  transponirani vektor,  $/\sqrt{\det}$  determinanta matrice kovarijanci,  $n$  — dimenzija normalne razdiobe.

Normalna razdioba definirana je srednjakom i standardnom devijacijom. Iz skupa podataka za uče-

nje klasifikatora potrebno je izračunati srednjake i matriču kovarijanci za svaku klasu pojava. Na taj način je definirana funkcija diskriminacije za tu klasu. Višedimenzionalna normalna razdioba je definirana sa  $n + n(n+1)/2$  parametara, to su elementi vektora srednjaka i elementi matrice kovarijanci.

U sklopu trodimenzionalne normalne razdiobe potrebno je za svaku funkciju diskriminacije odrediti 9 elemenata, 3 srednjaka i 6 elementa matrice kovarijanci. Ovisno o broju klasi u koje se razvrstavaju treba odrediti i broj funkcija diskriminacije. Za 4 klase potrebno je odrediti 36 vrijednosti i time je definirano 4 različite trodimenzionalne normalne razdiobe.

Funkcija diskriminacije bazirana na višedimenzionalnoj normalnoj razdiobi uz upotrebu Bayesova pravila može se napisati u obliku koji je lako primjenjiv za računanje na računalu:

(4)

$$g_i(X) = \ln P_i(\mu_i) - 0.5 \ln |\Sigma_i| - 0.5 (X - \mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (X - \mu_i)$$

Kada se iz skupa podataka za učenje klasifikatora odredi matrica kovarijanci i vektori srednjaka za svaki korak klasifikacije, mora se računati samo krajnje desni član jednadžbe (4). Nakon što su izračunana vrijednosti funkcije diskriminacije za sve klase za jedan uzorak (element slike), pristupa se njegovom raspoznavanju i grupiranju. Pravilo postupka grupiranja u klase opisano je ovakvo:

Pretpostavimo da postoji skup od  $m$  funkcija od  $X$ ,  $g_i(X)$ , koje nazivamo funkcije diskriminacije. Neka  $i$  označava i — tu klasi. Onda  $X$  pripada klasi  $i$  onda i samo onda ako je funkcija diskriminacije  $g_i(X)$  veća ili jednakna funkciji diskriminacije  $g_j(X)$  za sve klase  $j = 1 \dots m$ .

U postupak koji je definiran navedenim pravilom moguće je ugraditi granice vrijednosti koje definiraju vjerojatnost da je pojava iz određene klase. Ako je izračunana vrijednost funkcije diskriminacije manja od zadatog praga vjerojatnosti, onda se element svrstava u klasu nepoznatog porijekla. Prag vjerojatnosti je veličina koja je granica za pridjeljivanje nekog podatka određenoj klasi. Značenje praga je da je vjerojatnost da podatak pripada nekoj klasi zanemarivo mala. Prag vjerojatnosti definira se unaprijed prije postupka identifikacije i to za svaku klasu posebno ili za sve klase jednakim iznosom. U radu je korišten prag vjerojatnosti 0.05, a algoritam za klasifikaciju je zamislen tako da sve elemente slike za koje je vrijednost funkcije diskriminacije manja od praga svrstava u klasu nepoznatog porijekla. Matematički prikazano:

$g_i(X) < P$	nepoznato porijeklo
$g_i(X) \geq P$	klasifikacija određivanjem maksimalne vrijednosti $g_i(X)$

(5)

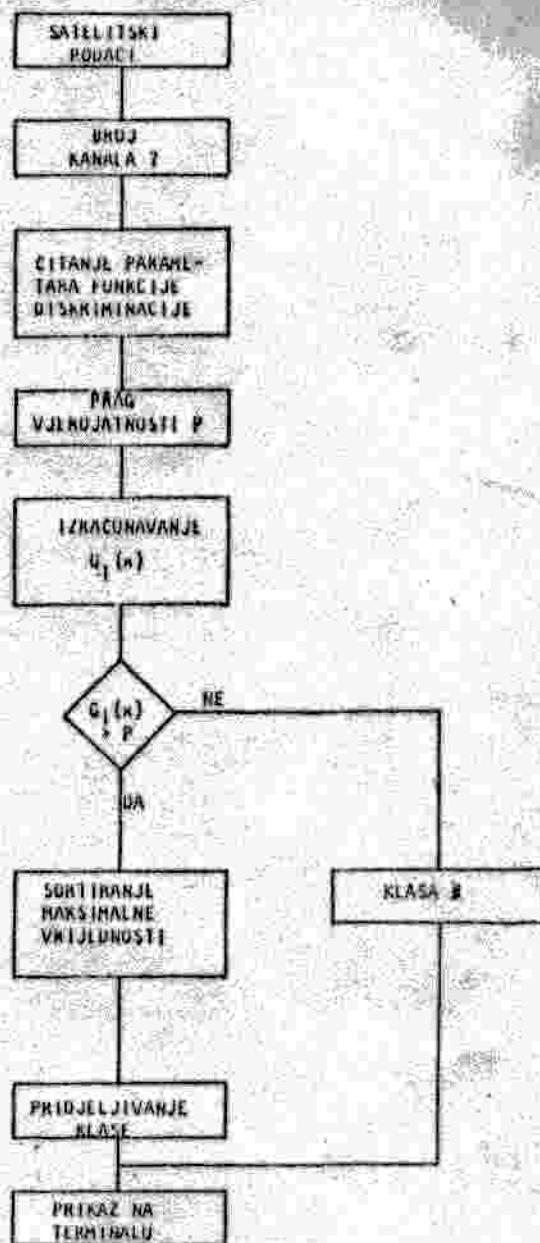
Dijagram toka klasifikacije jednog elementa slike prikazan je shematski na slici 2.

## 5. UCENJE KLASIFIKATORA

Proces učenja klasifikatora odnosno određivanja parametara funkcije diskriminacije sastoji se od pet koraka (Lipovščak 1986). Učenje klasifikatora provo-

di se uz pomoć podataka poznatih osobina čiji parametri određuju funkciju diskriminacije među klama.

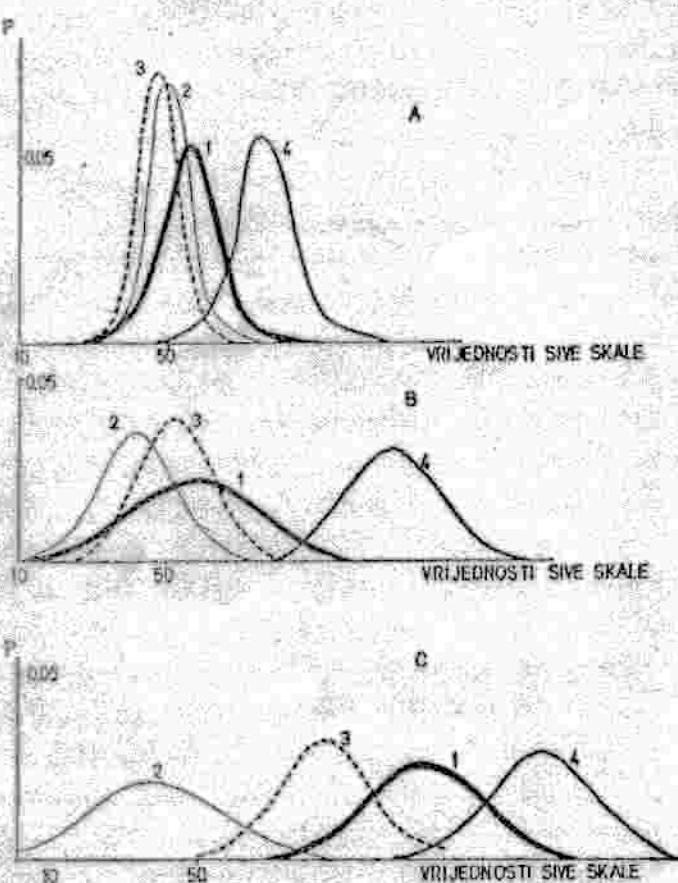
Za izdvajanje područja klase poznatih osobina, sa satelitske slike odabrane za učenje, iskorištena je mogućnost grafičkog računala da se na ekranu zaokruži područje određene klase. Podaci izdvojeni na slici jednog kanala i odgovarajuće vrijednosti ostalih kanala skenera prebacuju se u računalo istovremeno te se računaju statistički parametri za svaki element slike. Zaokruženo područje na slici odabranoj za učenje predstavlja poznati uzorak. Prilikom izračunavanja parametara nužno je označiti koji kanali višespektralnog skenera su prisutni. Program za izračunavanje parametara uvažava podatak o broju kanala te se izračunavanje obavlja po odgovarajućem algoritmu za računanje srednjaka i kovarijance. Klase pojava zaokružene su linijom na ekranu grafičkog računala te su sve vrijednosti sive skale elemenata slike iz zaokruženog poznatog uzorka upo-



Slika 2. Shematski prikaz postupka raspoznavanja oblika i svrstavanje u grupe iz satelitskih podataka visoke moci razlučivanja

treblijavane za računanje parametara funkcije diskriminacije. Za klasifikaciju slike preleta LANDSAT satelita priuvenjene su vrijednosti parametara funkcije diskriminacije prikazane tabelom 1. Klasa 1 pred-

stavlja slike (Slika 4). Koordinatne osi označene su u jedinicama sive skale, na X osi su vrijednosti za četvrti kanal, na Y osi za peti a na Z osi za šesti kanal satelitskog skenera. Krugovi predstavljaju položaj srednjaka u prostoru a krizici označuju projekcije na pojedine ravnine.



Slika 3. Normalne razdobe definirane parametrima funkcije diskriminacije:

- a) kanal 4 valne duljine od 0.76–0.90  $\mu\text{m}$ ;
- b) kanal 5 valne duljine od 1.55–1.75  $\mu\text{m}$ ;
- c) kanal 6 valne duljine od 10.4–12.5  $\mu\text{m}$ ;

stavlja vrijednosti parametara koji prikazuju naselja, klasa 2 vodu, klasa 3 šume, a klasa 4 tlo.

Vrijednosti parametara funkcije diskriminacije poslužile su za računanje pripadnosti normalnih razdoba za svaki kanal mjerjenja. Slika 3a prikazuje normalne razdobe definirane srednjakom i varijancom za četvrti kanal podataka skenera. Uočava se vrlo slabo razdvajanje klasa voda i šuma u dijelu spektra od 0.76 do 0.95  $\mu\text{m}$ . Rezultat ukazuje na moguće probleme prilikom klasifikacije slike na osnovi podataka skenera u tom dijelu spektra, odnosno na osnovi podataka samo jednog kanala. Može se očekivati pogrešna identifikacija klasa voda i šuma. Klasa tlo je izdvojena. Normalne razdobe definirane parametrima funkcije diskriminacije za peti kanal podataka skenera (Slika 3b) ukazuju na slabo razdvajanje klasa naselja i šuma, dok je klasa tlo dobro izdvojena. Klasa voda poprima najmanje vrijednosti sive skale. Slika 3c prikazuje normalne razdobe definirane parametrima funkcije diskriminacije za šesti kanal skenera. Uočava se razdvajanje svih klasa.

U trodimenzionalnom prostoru definiranom vrijednostima brojeva sive skale pomoći tri kanala može se zorno predočiti položaj srednjaka pojedinih

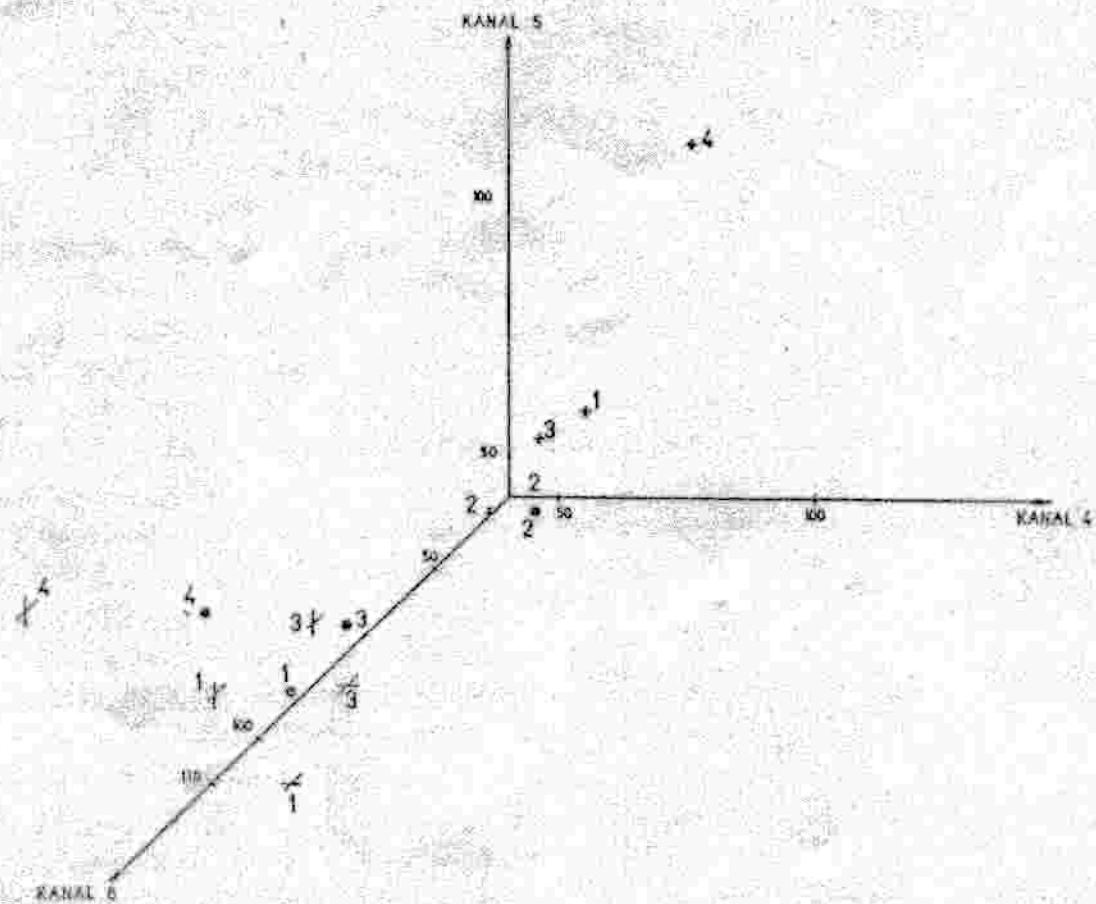
## 6. REZULTATI RASPOZNAVANJA SLIKE

Postupak raspoznavanja primijenjen je na podatke satelita LANDSAT koji prikazuju okolinu grada Mysore, Karnataka Indija (Slika 5). Grad se nalazi u središnjem dolnjem dijelu slike, a jezero Krishnaraia Sagara u donjem lijevom dijelu slike. Doljnji desni dio slike prikazuje šumski kompleks na obnovljenim zapadnim Gata. Slika prikazuje podatke kanala 5 tematskog kartografa satelita LANDSAT.

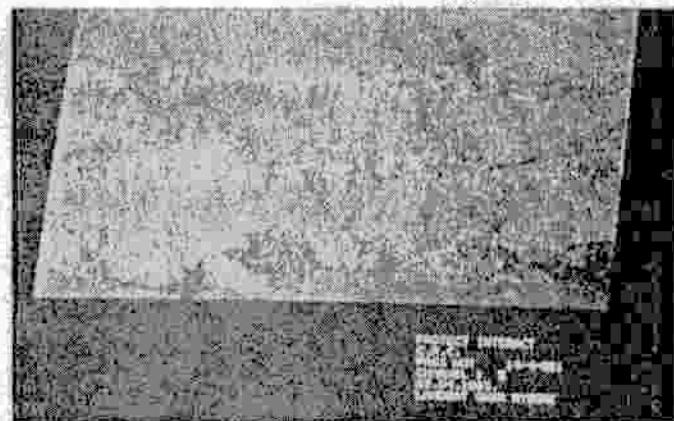
Algoritam klasifikacije definiran je jednadžbom (4) uz a priori vjerojatnost pojava klase jednake jedinici za sve klase. Drugi algoritam je modificirana varijanta algoritma klasifikacije u kojoj su uvedeni pragovi vjerojatnosti definirani postupkom (5). Klasifikator sve vrijednosti funkcije diskriminacije manje od vrijednosti zadane pragom vjerojatnosti odbacuje i svrstava u klasu nepoznatog porijekla. Na taj način dolazi do odbacivanja vrijednosti mjerjenja onih pojava koje klasifikator nije naučio raspoznavati ili koja odstupaju od vrijednosti parametara funkcije diskriminacije više od zadano praga. Pri tom postupku je primijenjena vrijednost praga 0.95 kao vrijednost svrstavanja elemenata u klasu nepoznatog porijekla.

Klasifikator svrstava pojave u klase označene brojevima od 1 do 4. Klasa 5 odgovara podacima koji su nepoznatog porijekla i nisu ni u jednoj od klasa koje je klasifikator naučio raspoznavati. Nakon razvrstavanja svaki se element slike prikazuje intenzitetom sive skale od 1 do 5. Postupkom raspoznavanja klasa broj podataka se znatno reducira, od maksimalnog broja raspoloživih podataka za svaki element slike,  $3 \times 8$  bita, postupkom se dobija  $1 \times 4$  bita informacije za svaki element slike. Prikazivanje slike na kolor monitoru omogućeno je postupkom pridjeljivanja boja vrijednostima sive skale. Svakoj vrijednosti sive skale koja odgovara nekoj od klasificiranih vrsta pojava pridjeljena je boja. Klasa 1 naselje obojena je crveno, klasa 2 voda plavo, klasa 3 šuma zeleno i klasa 4 tlo žuto (Slika 5). Klasa nepoznatog porijekla obojena je crno. Postupak raspoznavanja je takav da se svaki element slike razvrstava u određenu klasu, a klasificirana slika se prikazuje na ekranu rezolucije  $512 \times 512$  točaka. Za lakše raspoznavanje klasa pojava nakon klasifikacije izrađen je program koji na klasificirani sliki nanosi skalu boja koja se pridjeljuju pojedinoj klasu. Skala boja nanosi se na donji rub slike s rastućim vrijednostima klasa u desno.

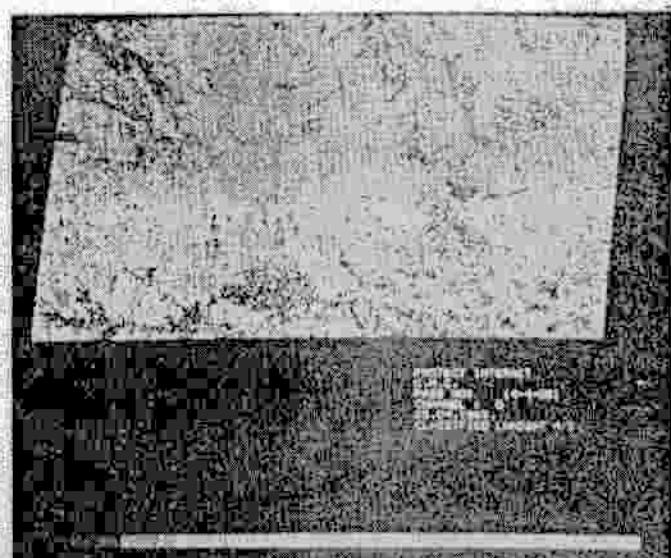
Na klasificiranim slikama raspoznavaju se 4 klase. Primjenom pravila raspoznavanja koje uključuje prag vjerojatnosti na klasificiranoj slici pojavljuje se klasa nepoznatog porijekla (Slika 6).



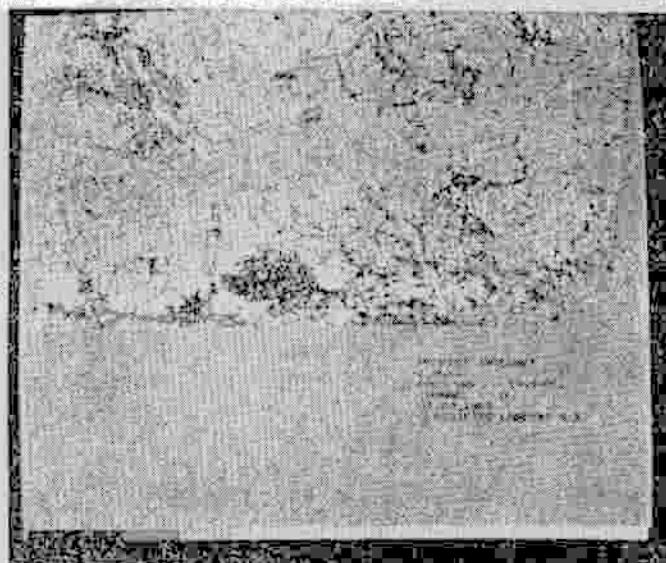
Slika 4. Prostorni položaj srednjaka funkcije diskriminacije za pojedine klase, koji je određen pomoću tri kanala mjerenja satelita LANDSAT prikazuju kružici, a njihove projekcije na glavne ravni prikazuju krizici.



Slika 5. Izvorna satelitska slika područja Mysore, Indija, satelit LANDSAT, kanal 5, 1.55-1.75 µm



Slika 6. Rezultat klasifikacije satelitske slike LANDSAT za četiri klase. Prag vjerovatnošći 0.



Slika 7. Rezultat klasifikacije satelitske slike LANDSAT za Polari Mase. Prag vjerojatnosti 0.05.

#### LITERATURA

- Cookier J. A., D. G. Hartman, 1984: Towards the objective analysis of clouds from satellite imagery data. *Jou. of Clim. and App. Met.*, Vol. 23, 1085-1099.
- Gupta R. K., 1983: An overview of facilities of ERSA for data reception from satellites. *Proceedings INDO-SOVIET symp. on space research*, Bangalore India, 408, 5 pp.
- Gupta R. K., N. N. Murthy, A. Prakash, V. Sharma, 1983: Digital image processing system for meteorological satellites. *CMC Techni-*  
*cal report on remote sensing system for meteorological AVHRR data*. CMC report, Secunderabad - India, 28 pp.
- Lipovščak B., 1983: Pattern recognition in meteorological satellite imagery. *CMC Techn. Digest*, Secunderabad-India, Vol. 5, No. 8, 17-19.
- Lipovščak B., 1984: Digital image processing system for meteorological satellites INTERACT approach. *RHMZ SRH Rasprave* 19, 75-78.
- Lipovščak B., 1986: Razvojiranje oblačnih sistema na osnovi numeričkih satelitskih podataka. Doktorska disertacija. Specijalista u Zagrebu, 137 pp.
- Murthy N. N., 1984: Cloud image processing. *INTERACT*, Internal report, MMRG Secunderabad, 25 pp.
- Obojić M., 1983: Daljnja miriranja u geologiji. *Daljnja istraživanja u geozemaljstvu*. JAZU, Zbornik, 141-265.
- Pettirolo L. R., 1982: *Digital image processing for Earth Observation*. Academic Press, London, 336 pp.
- Prakash A., 1984: The CIPSMA database. *INTERACT*, Internal report, CMMC Secunderabad, 78 pp.
- Swain P. H., S. M. Davis, 1978: *Remote sensing the quantitative approach*. McGraw-Hill, pp. 362.