Prof. dr Zoran Stojiljković,
dipl. inž.,
Mr Predrag Pejnović,
dipl. inž.,
Mr Ljiljana Jovanović,
dipl. inž.

Prepoznavanje objekata snimljenih TV kamerom

Uvod

U ovom radu opisan je postupak prepoznavanja 5 tipova objekata snimljenih TV kamerom. Metod kojim se vrši karakterizacija oblika baziran je na momentnim invarijantama. Momentne invarijante nastale su iz relacija između momenata i matematički razvijenih algebarskih invarijanti [1].

U teoriji prepoznavanja oblika i analize scene [2] pokazano je da skup momenata predstavlja koeficijente u rednom razvoju nekog kompletnog opisa figure, zadatog funkcijom slike $f(x, y)$. Takođe, poznato je da momenti jednoznačno određuju i da su jednoznačno određeni funkcijom slike $f(x, y)$. Momentne invarijante, kao atributi slike, izračunavaju se u funkciji centralnih momenata. One imaju osobinu da zadržavaju svoje vrednosti kada se slika translira, rotira ili skalira. Pod skaliranjem podrazumevamo promenu veličine slike.

U teoriji digitalne obrade slike [3] posebna naučna oblast bavi se analizom slike. U analizi slike i računarskoj viziji, kao zasebnoj oblasti, postoje dva pristupa analizi slike. Prvi, obrada slike, na ulazu i izlazu sistema za obradu ima sliku. Drugi pristup na ulazu ima sliku,

a na izlazu podatke koji karakterišu sliku sa ulaza. Dakle, u drugom pristupu na izlazu se nalaze podaci, a ne slika. U teoriji vizuelnog prepoznavanja oblika primenjuje se drugi pristup. Podatke na izlazu sistema za analizu slike, koji su korišćeni u ovom radu, obezbeđuju momentne invarijante. Pomoću njih se vrši karakterizacija oblika na slici.

U novijim istraživanjima [4,5] analiziraju se različiti tipovi momenata i njihove osobine pri analizi slike. Posmatrano iz ugla prepoznavanja oblika, momenti i njihove invarijante mogu se smatrati relevantnim samo ako su im vrednosti osetljive na identifikaciju oblika (diskriminacija), a neosetljive na prisustvo šuma (robustnost). Diskriminacione osobine momentnih invarijanti analizirane su u praktičnoj primeni [6, 7, 8, 9, 11], a rezultati tih analiza bili su ohrabrujući. Robustnost, kao drugi pokazatelj kvaliteta momenata u prepoznavanju, analizirana je u [5]. Iz sprovedenih analiza zaključuje se da momenti višeg reda nose finije detalje u opisu slike, ali i da su mnogo osetljiviji na uticaj šuma od momenata nižeg reda. Ove kontradikcije nameću ograničenja pri izboru optimalnog reda momenata koje treba koristiti. Zato je generalno nemoguće odrediti koji je red

momenata najbolji u opštem slučaju. To zavisi od prirode oblika, koji se njima opisuju i svrhe za koju se primenjuju.

U eksperimentu koji će biti opisan u nastavku mi smo se opredelili za primenu centralnih momenata do trećeg reda zbog njihove analitičke jednostavnosti. Pri tom, ulazna slika bila je binarna, a dobijena je iz monohromatske slike snimljene TV kamerom.

Cilj je bio da se realizuje klasifikacija nekoliko objekata snimljenih sa realne scene. Za tu svrhu, od hardvera, na raspolaganju smo imali VHS TV kameru, video (frame grabber) ploču za AT/PC računar, AT/PC-286, monitor (512×512) i VAX 11/785. Snimljeno je ukupno pet klasa objekata: tenk, oklopno vozilo, avion, helikopter i brod. Svi objekti su modeli — dečije igračke. Snimci modela prikazani su u dodatku 1. Objekti su postavljeni na svetlu podlogu da bi se postupak segmentacije sveo na jednostavno filtriranje pragom nivoa osvetljenosti. Ugao snimanja, ugaonost između optičke ose kamere i tla na kome je objekat, bio je oko 60°, a objekat je transliran i rotiran u ravni tla za proizvoljne ugaone pomeraje. Prilikom snimanja objekta težilo se postizanju idealnih uslova, kao što su: nepokretnost kamere, konstantno rastojanje između kamere i objekta i orijentacija objekta pod svim uglovima u prostoru. Zbog ograničenja u memorijskom prostoru snimljeno je samo po 50 uzoraka iz svake klase. Svih 250 uzoraka smešteno je najpre u memoriju personalnog računara, a zatim, nakon formiranja digitalne slike, u memoriju VAX-a 11/785 na kome su izvršena izračunavanja invarijanti i klasifikacija.

Ekstrakcija atributa momentnim invarijantama

Svaka snimljena slika objekata softverski se prevodi u sivu sliku. Zatim se u programu vrši filtriranje intenziteta slike (thresholding) na osnovu

unapred odabranog praga, kako bi se kao rezultat dobila binarna slika objekata.

Izdavanje atributa zahteva analizu koja je direktna funkcija zadatih klasa uzoraka i podrazumeva određivanje invarijantnih atributa za separabilnost klase. Konačni cilj je minimizacija dimenzije mernog vektora i selekcija najpogodnijih atributa.

Algoritam koji je u ovom izveštaju primenjen zasnovan je na metodi centralnih momenata [7]. Centralni momenti binarne slike definišu se kao:

$$\mu_{pq} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})^p (v_i - \bar{v})^q \quad (1)$$

gde su $\bar{u}$ i $\bar{v}$ srednje vrednosti koordinata slike y i x, respektivno. N je broj piksela slike u kojima je vrednost 1. Kao atributi slike koriste se momentne invarijante, nastale transformacijama centralnih momenata na sledeći način:

$$M_1 = \mu_{20} + \mu_{02} \quad (2)$$

$$M_2 = (\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2 \quad (3)$$

$$M_3 = (\mu_{30} - 3\mu_{12})^2 + (3\mu_{12} - \mu_{30})^2 \quad (4)$$

$$M_4 = (\mu_{30} + \mu_{12})^2 + (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \quad (5)$$

$$M_5 = (\mu_{30} - 3\mu_{12}) (\mu_{30} + \mu_{12}) \{ (\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2 \} + (3\mu_{21} - \mu_{03}) (\mu_{21} + \mu_{03}) \{ 3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \} \quad (6)$$

$$M_6 = (\mu_{20} - \mu_{02}) \{ (\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \} + 4\mu_{11}(\mu_{30} + \mu_{12}) (\mu_{21} + \mu_{03}) \quad (7)$$

$$M_7 = (3\mu_{21} - \mu_{03}) (\mu_{30} + \mu_{12}) \{ (\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2 \} - (\mu_{30} - 3\mu_{12}) (\mu_{21} + \mu_{03}) \{ 3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \} \quad (8)$$

Momente invarijante, (2)–(8), date su u nenormalizovanom obliku, dok su u programu korišćene normalizovane vrednosti dobijene deljenjem invarijanti M_2 – M_7 invarijantom M_1 . Normalizovane invarijante neosetljive su na skaliranje oblika na slici.

$$M_2' = M_2/M_1^2$$

$$M_3' = M_3/M_1^3$$

$$M_4' = M_4/M_1^3$$

$$M_5' = M_5/M_1^6$$

$$M_6' = M_6/M_1^4$$

$$M_7' = M_7/M_1^6$$

U radu je korišćeno 6 navedenih momentnih invarijanti koje su izračunate za binarne slike objekata sa prirodne scene. Rezultati u tabeli dobijeni su izračunavanjem 12 invarijanti za svaki uzorak, po šest za siluetu i konturu, respektivno. Napomenimo da je softver za ekstrakciju podataka i klasifikaciju razvijen na programskom je-

OKLOPNO VOZILO

AVION

TENK

BROD

HELIKOPTER

Snimci pet tipova objekata koji su podvrgnuti klasifikaciji

ziku FORTRAN za VAX 11/785 pod operativnim sistemom VMS. I softver je, takođe, modifikovan i implementiran na računaru opšte namene, čime je znatno uprošćen postupak akvizicije slika i obrade podataka.

Prikaz rezultata klasifikacije

Da bi se proverila efikasnost momentnih invarijanti u prepoznavanju nabrojanih pet klasa, uzorci su podvrgnuti klasifikovanju. U tabeli, u drugoj koloni, dati su procenti tačnog klasifikovanja objekata. U trećoj koloni je naznačen broj nepoznatih uzoraka pri klasifikaciji. Ovaj broj sugerise da je

Tabela

Prikaz rezultata klasifikacije u prostoru obeležja

Metod za procenu invarijanti	Momentne invarijante (%)	Broj nepoznat. uzor. pri klasifikaciji
Kvadratni klasifikator	96,17	250
Linearni klasifikator	87,33	250
Zrakasti klasifikator	73,00	20
KNN najbližih suseda (KNN=2)	95,74	250
KNN najbližih suseda (KNN=3)	94,47	250
Bajesov estimator	97,64	1

klasifikacija i estimacija vršena raznim metodama [13]. Korišćeni su metodi resupstitucije (kvadratni, linearni, KNN klasifikator), rotacije (zrakasti klasifikator) i «live-one out» metod (Bajesov estimator) za procenu kvaliteta dobijenih podataka. Pri klasifikaciji i estimaciji korišćene su parametarske i nepa-

rametarske tehnike. Parametarske metode podrazumevaju normalnu raspodelu pri proceni funkcija gustina verovatnoće. Neparametarske metode ne koriste takve pretpostavke. One merni vektor nepoznatog uzorka dodeljuju onoj klasi kojoj je taj vektor najbliži. U tabeli parametarskim tehnikama pripadaju linearni i kvadratni klasifikator. Ostali klasifikatori i Bajesov estimator spadaju u neparametarske tehnike. Kvadratni, linearni, KNN suseda klasifikatori i Bajesov estimator opisani su i prezentirani u [10, 2], a zrakasti klasifikator u [12].

Zaključak

Cilj ovog rada bila je procena valjanosti momentnih invarijanti u prepoznavanju navedenih klasa objekata snimljenih TV kamerom. Može se očekivati da bi se procenat greške smanjio za veći broj referentnih uzoraka, pri čemu bi procenat greške težio grešci dobijenoj Bajesovim estimatorom. Dva rezultata iz priložene tabele treba tumačiti kao pesimističku (Zrakasti klasifikator) i optimističku prognozu (Bajesov estimator). Sa povećanjem broja uzoraka (optimalan broj u konkretnom slučaju bio bi 400 slika po klasi, 2000 ukupno) pesimistička procena težila bi optimističkoj. Kada se raspolaže većim brojem uzoraka, za istu metodu potrebno je više vremena za klasifikaciju, ako nije prethodno sprovedeno obučavanje sistema sa graničnim nagomilavanjem uzoraka [12, 14]. Tada će od veće baze slika biti odabrano najreprezentativnijih, na primer, 200 uzoraka. Teorijski gledano, odabrani uzorci, nakon obučavanja, nagomilali bi se na Bajesovim hiperpovršinama odluke. Dakle, sistem obučen na većem broju uzoraka po klasi, mogao bi da vrši klasifikaciju u realnom vremenu sa verovatnoćom tačnog klasifikovanja blizu 95%. Pri tom, podrazumevamo da je obrada slika i formiranje referentnog skupa uzoraka izvršeno off-line, a sama klasifikacija nepoznatog uzorka on-line.

- [1] M. K. Hu, »Visual Pattern Recognition By Moment Invariants«, IRE Trans. Inform. Theory, vol. IT-8, pp. 179—187, Feb. 1962.
- [2] R. O. Duda and P. E. Hart, »Pattern Classification And Scene Analysis«, Wiley, New York, 1973.
- [3] A. K. Jain, »Fundamentals of Digital Image Processing«, Prentice Hall, New York, 1989.
- [4] Y. S. Aby-Mostafa & D. Plaltis, »Image Normalization By Complex Moments«, IEEE Trans. on P. A.M.I., vol. PAM 1—7, pp. 46—55, Jan. 1985.
- [5] C. H. Teh & R. T. Chin, »On Image Analysis By The Methods of Moments«, IEEE Trans. on P.A.M.I., vol. PAM 1—10, pp. 496—513, July 1988.
- [6] S. A. Dudani, »An Experimental Study of Moment Methods For TV Image«, Ph. D. dissertation, The Ohio State Univ. Columbus, Ohio, 1973.
- [7] A. Dudani, K. J. Breeding, & R. B. McGhee, »Aircraft Identification by Moments Invariants«, IEEE Trans. on Computers, vol. C-26, No. 1, January 1977.
- [8] F. W. Smith and M. H. Wright, »Automatic ship photo interpretation by method of moments«, IEEE Trans. of Comput., vol. C-20., pp. 1049—1094, Sept. 1971.
- [9] S. Maitra, »Moment Invariants«, Proc. of the IEEE, vol. 67, No. 4, April, 1979.
- [10] Lj. Buturović, »PARIS-Interaktivni sistem za analizu i prepoznavanje oblika«, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu.
- [11] P. Pejnović, »Primena momentnih invarijanti u vizuelnom prepoznavanju oblika«, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, 1991.
- [12] Z. Stojiljković, »Klasifikacija i njeno poboljšanje adaptivnom promenom strukture inicijalnih klasa sa konstantnim brojem uzoraka«, Doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1977.
- [13] Devijer & Kittler, »Pattern Recognition: A Statistical Approach«, Prentice-Hall International Inc., London, 1982.
- [14] Lj. Jovanović »Neparametarski algoritmi obučavanja zasnovani na promeni strukture uzoraka«, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1991.