

Detekcija promene kadrova u video sekvenci primenom multifraktalne analize

Goran Zajić¹, Irini Reljin², Branimir Reljin²

Sadržaj — U radu se opisuje detekcija kadrova u video sekvenci, bazirana na multifraktalnoj analizi (MA). Svaki frejm iz video sekvence je opisan obeležjima niskog nivoa (boja i tekstura) koja formiraju vektore obeležja i unose se u matricu obeležja. Vrste matrice odgovaraju vektorima obeležja frejmova iz video sekvence, a kolone su vremenski nizovi pojedinačnih komponentata vektora obeležja. Multifraktalna analiza je primenjena na vremenske nizove a za detekciju promene kadrova se koristi činjenica da promena kadra predstavlja izraziti singularitet u vremenskom nizu posmatrane komponente obeležja. Metod je testiran na realnoj video sekvenci sa 64 kadra, koji su ručno označeni. Korišćenjem samo jedne komponente iz vektora obeležja ostvarena je tačnost detekcije promene kadrova od 76-92% (zavisno od izabranog praga) dok su kombinacijom dva obeležja svi kadrovi uspešno detektovani (tačnost 100%).

Gljučne reči — detekcija promena kadrova, video sekvenca, multifraktalna analiza, vektor obeležja.

I. UVOD

Brz razvoj digitalnih video tehnologija u poslednje vreme i niska cena opreme za snimanje video fajlova različitih formata, usloveli su eksplozivan porast broja video arhiva. Video kolekcije koje svaki korisnik video kamera može da poseduje davno su svojom veličinom prevazišle mogućnost pretraživanja istih prostim pregledanjem. U današnje vreme analiza i pretraživanja video kolekcija na osnovu sadržaja predstavlja poseban izazov istraživačima u ovoj oblasti, a detekcija promene kadrova u video sekvenci predstavlja tehniku koja je početni korak u procesu analize, odnosno pretraživanja video sekvenci.

Generalno posmatrajući mogu se definisati dva tipa promena između dva susedna kadra, nagla promena i postepena promena. Naglu promenu između kadrova lakše je detektovati nego postepenu, jer se kod postepene promene primenjuju komplikovani efekti pri editovanju video sekvence (kao što su *fade-out/fade-in*, *dissolve*, *wipe*, i dr.) koji obezbeđuju gradijentnu promenu između dva susedna kadra. Postepena promena predstavlja veliki problem pri detekciji promena kadrova. Vrsta promene između kadrova nije jedini faktor koji utiče na preciznost detekcije, postoje i drugi faktori koji dodatno utiču. Neki od tih faktora su nepredvidljiva promena osvetljenja

(*flashlight*), pomeranje kamere (*panning*, *zooming*, *tilting*) i nagla promena u sceni (*eksplozija*, *vatra*, *krvarenje*, itd.). S obzirom na sve faktore koji utiču, detekcija video kadrova može se sastojati iz više postupaka koji treba da dovedu do što preciznije detekcije stvarnih promena kadrova.

U skorašnje vreme predložen je niz algoritama za detekciju video kadrova. Najjednostavniji pristup predstavlja poređenje susednih frejmova po vrednosti intenziteta u skali sive boje [1]. Modifikovani pristup [2] predstavlja brojanje piksela čiji se intenzitet ili boja značajno menjaju. Ovakve metode su korisne kada su u pitanju jednostavne video sekvence jer su vrlo osetljive na promenu osvetljenja kao i pomeranja kamere i objekata. Unapređen metod baziran na poređenju sličnosti blokova predstavljen je u [3]. Ovakva pristup obezbeđuje da se izbegne pogrešna kategorizacija malih pomeranja objekata i kamere kao promena kadra. Sledeći korak u pravcu redukovanja detekcije na pomeranje kamere i objekata predstavlja poređenje *grayscale* ili kolor histograma kao statističke forme globalne informacije o nekoj slici [4]. Pored varijacije intenziteta, u raznim algoritmima za detekciju postepenih promena kadrova korišćena su još neka obeležja niskog nivoa, kao npr. informacije o ivicama [5], vektor pokreta [6].

Pored pomenutih algoritama predložen je i niz algoritama za detekciju kadrova baziran na mašinskom učenju. Primena nenadgledanog klasterovanja [7], skrivenih Markovljevih modela (HMM) [8], neuralnih mreža [9] i primena Support Vector Machine-a [10]. Postoji još dosta predloženih pristupa za klasterizaciju frejmova sa sličnim prostorno-vremenskim informacijama u isti video kadar.

U ovom radu se predlaže detekcija promena kadrova u video sekvenci primenom multifraktalne analize. Svaki frejm video sekvence je predstavljen svojim vektorom obeležja, koji se sastoji od obeležja za boju i teksturu. Vektori obeležja frejmova su smešteni u matricu obeležja čije vrste odgovaraju frejmovima a kolone su elementi vektora obeležja. Na taj način, svaka kolona je vremenska serija odgovarajućeg obeležja. Na kolone je primenjena multifraktalna analiza sa ciljem da se detektuju pozicije promene kadrova u vremenskom domenu.

Rad je organizovan na sledeći način. Posle Uvoda u poglavlju II dat je kratak opis multifraktalne analize. U poglavlju III opisana je metodologija koja je korišćena u procesu detekcije kadrova, a u poglavlju IV dati su rezultati primene multifraktalne analize vektora obeležja u detekciji promena kadrova. Zaključne napomene i pravci budućeg istraživanja dati su u poglavlju V.

Goran Zajić, Visoka ICT škola, Zdravka Čelara 16, 11000 Beograd, Srbija; E-mail: goran.zajic@ict.edu.rs.

Irini Reljin, Branimir Reljin, Elektrotehnički fakultet, Bulevar Kraljica Aleksandra 73, 11000 Beograd, Srbija, E-mails: irinits@gmail.com, reljinb@etf.rs.

II. MULTIFRAKTALNA ANALIZA

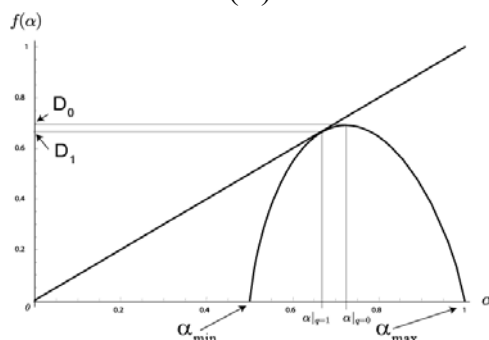
Multifraktalna analiza (MA) predstavlja način opisivanja neregularnih objekata i pojava, što je koncipirao i razvio Benoit B. Mandelbrot, a zatim primenio u rešavanju problema na mnogim poljima nauke [11]. Multifraktalni formalizam se zasniva na činjenici da visoko neuniformna raspodela verovatnoće, koja proizlazi iz neuniformnosti sistema, često poseduje veliki broj skalabilnih osobina uključujući i samosličnost [12]. Pri proučavanju tzv. dugotrajne zavisnosti (*long range dependency*) dinamike ponašanja nekih fizičkih pojava i struktura i neuniformne raspodele verovatnoće, može se pridodati i karakterizacija fraktalnih osobina dobijenih rezultata merenja.

Multifraktalna analiza proučava lokalne i globalne neregularnosti posmatranih veličina ili funkcija, na geometrijski ili statistički način [13]. Multifraktalni formalizam opisuje statističke osobine pomenutih singularnih rezultata merenja u vidu njihove generalisane dimenzije (lokalno svojstvo) i njihovog spektra singularnosti (globalno) [12]. Postoji više načina određivanja multifraktalnih parametara a jedan od najčešće korišćenih je tzv. *box-counting* metod koji se zasniva na sledećem postupku. Prekrijemo vremensku seriju merenja kvadratima stranice l i brojimo one kvadrate koji sadrže određenu izmerenu vrednost $\mu_i(l)$, što se može shvatiti i kao verovatnoća da se vrednost merenja μ nalazi u i -tom kvadratu. Pokazuje se da izmerena vrednost odgovara tzv. stepenom zakonu (*power law*)

$$\mu_i(l) \approx l^{\alpha_i}, \quad (1)$$

gde eksponent α_i opisuje fraktalnost strukture, a poznat je kao grubi Hölder-ov eksponent. Uzimajući različite veličine kvadrata dobiće se različite vrednosti eksponenta, ali će one konvergirati zajedničkoj vrednosti α , za datu meru μ , u graničnom procesu, kada $l \rightarrow 0$. Parametar α zavisi od pozicije u strukturi i opisuje njenu *lokalnu regularnost*. U celoj strukturi će, svakako, postojati veći broj kvadrata (tačaka, u graničnom procesu) sa istom vrednošću parametra α . Možemo, stoga, posmatrati raspodelu te veličine u strukturi, što je poznato kao multifraktalni (MF) spektar, $f(\alpha)$, koji daje opis *globalne regularnosti*. I MF spektar se može odrediti box-counting metodom. Ako prebrojimo sve kvadrate $N(\alpha)$ gde verovatnoća P_i ima jačinu singulariteta između α i $\alpha + d\alpha$, onda se $f(\alpha)$ može shvatiti kao fraktalna dimenzija strukture karakterisane vrednošću α , tj. u važnosti je

$$N(\alpha) \approx l^{f(\alpha)}. \quad (2)$$



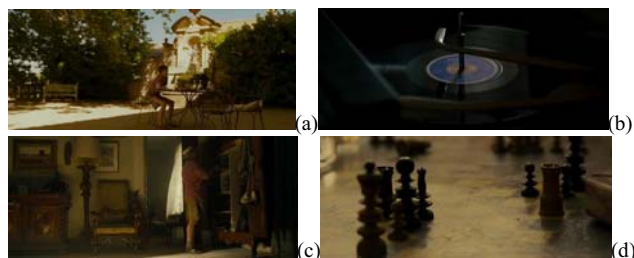
Slika 1. Primer multifraktalnog spektra

Ovaj formalizam vodi ka definisanju multifraktalne mere u obliku Hausdorff dimenzije raspodele eksponenta α [12]. Tipično, spektar $f(\alpha)$ je oblika parabole, kao na slici 1.

Nagle promene nivoa signala u vremenskim ili prostornim serijama predstavljaju singularitete tog signala. Izračunavanjem intenziteta singularnosti (eksponenta α) i MF spektra, dobijamo MF ekvivalent signala u prostornom ili vremenskom domenu iz kojeg je, inverznom MF analizom [14]-[15], moguće pronaći one delove u polaznoj strukturi koji su karakterisani određenim vrednostima α i/ili $f(\alpha)$.

III. METODOLOGIJA DETEKCIJE PROMENE KADROVA

Video signal sadrži sekvence frejmova koje smo opisali vektorom obeležja. Vektor obeležja se, stoga, može posmatrati kao vremenska serija i na svako obeležje se može primeniti MF analiza. Svaka promena kadra je karakterisana naglom promenom vrednosti koordinata u vektoru obeležja, dakle, naglom promenom singulariteta u MF spektru. Pronalaženjem pozicije nagle promene singulariteta mogu se detektovati promene kadrova, što je primenjeno u ovom radu. Za potrebe eksperimenta koristili smo uvodnu sekvencu filma *Good Year* redatelja *Ridley Scott-a*, iz 2006. godine, u trajanju od 4 minuta. Video sekvenca je konvertovana iz DIVX formata u nekomprimovani AVI format iz kojeg su ekstrahovani frejmovi. Ekstrahovano je ukupno $M=4512$ frejmova dimenzije 588x246 piksela. Na slici 2 prikazani su neki od ekstrahovanih frejmova iz pojedinih kadrova.

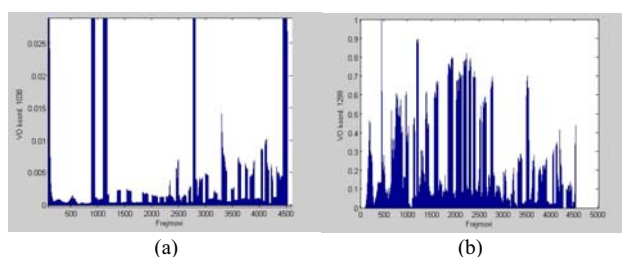


Slika 2. Primeri ekstrahovanih frejmova (a) frejm 440, (b) frejm 881, (c) frejm 952, (d) frejm 1004.

Za svaki frejm je formiran vektor obeležja sledećeg sadržaja [16]: HSV kolor histogram, momenti boje, Color Layout Descriptor, Structural Color Descriptor, Color Correlogram, obeležja Gabor transformacije, obeležja radijalnih Coccurrence matrica, histogram ivica i Wavelet obeležje, sa ukupno $N=1369$ koordinata. Odabrana sekvenca je karakterisana matricom dimenzije $M \times N = 4512 \times 1369$, koja predstavlja bazu obeležja. Kolone baze obeležja normirane su maksimalnom vrednošću unutar kolone i one predstavljaju vremenske serije na kojima će se izvršiti MF analiza.

Pozicija promene kadra definisana je pozicijom prvog frejma narednog kadra. Video sekvenca je, pre MF analize, vizuelno pregledana i ručno su obeleženi frejmovi koji predstavljaju promene kadrova. Ukupno je označeno 64 frejma koji reprezentuju promene.

S obzirom na veliki broj koordinata vektora obeležja koji je korišćen u eksperimentu, kreiran je kriterijum na osnovu kojeg je redukovan broj koordinata. Izvršeno je predprocesiranje baze obeležja tako što je izvršena provera kakva promena nivoa signala postoji na ručno obeleženim pozicijama. Kriterijum za selekciju određene kolone sastojao se iz dva uslova. Prvi uslov je zahtevao da na određenim pozicijama promene kadra dolazi do relativne promene vrednosti veće od 55 procenata u odnosu na prethodnu poziciju, računajući uvek od veće koordinate, bilo da vrednost raste ili opada. Drugi uslov je zahtevao da od 64 pozicija promene kadra više od 40 pozicija zadovoljava prvi uslov. Na osnovu ovako definisanog kriterijuma selektovane su kolone kod kojih su singulariteti na traženim pozicijama veoma naglašeni. Od početnih 1369 kolona sada smo dobili 41 kolonu u bazi obeležja koja je sadržala jednu koordinatu iz HSV histograma, 3 koordinate iz momenata boje, 2 koordinate iz kolor korelograma, 2 koordinate iz obeležja radijalnih Coocurrence matrica, 3 koordinate iz histograma ivica i 29 koordinata iz Wavelet obeležja. Na slikama 3 prikazani su vremenski nizovi kolona 1038 (Coocurrence obeležje) i 1299 (Wavelet obeležje) iz baze vektora obeležja, koje zadovoljavaju pomenuti kriterijum.



Slika 3. Vremenski nizovi kolona (a) 1038 i (b) 1299 baze vektora obeležja.

Za svaku od odabranih kolona iz baze vektora obeležja izračunat je eksponent α , multifraktalne analize, koji daje opis lokalne neregularnosti vremenske serije. Funkcija $f(\alpha)$ nije računata jer nas je interesovala upravo lokalna promena.

Najjednostavniji način da se izvede detekcija promene kadrova jeste da se metodom praga izdvoje singulariteti koji bi trebali da reprezentuju nagle promene vrednosti. Posmatranjem izračunatih vrednosti eksponenta α za svaki frejm određeni su pragovi i sve vrednosti ispod praga zamenjene su nulom. Za svaku od izabranih kolona baze obeležja određen je drugačiji prag zbog velikih oscilacija vrednosti po kolonama. Pikovi u vrednostima eksponenta α , koji preostaju nakon odsecanja, predstavljaju pozicije promene kadrova, sa greškom od jednog frejma unapred ili unazad. Ova greška je posledica same prirode promene vrednosti koordinate vektora obeležja kao i načina na koji se izračunava eksponent α .

IV. REZULTATI

Na osnovu vrednosti normiranih obeležja iz odabranih kolona izračunati su eksponenti α . Na slikama 4 i 5 prikazane su vrednosti eksponenta α za kolone 1038 i 1299 baze obeležja, koje pripadaju Coocurrence

obeležjima i Wavelet obeležjima tekture, respektivno. Na slikama 4(a) i 5(a) mogu se videti vrednosti eksponenta α za svaki pojedinačni frejm, dok se na slikama 4(b) i 5(b) mogu videti pikovi vrednosti eksponenta α koji su preostali nakon primene tehnike praga. Vidimo da se primenom praga značajno redukuje broj pikova i ostaju samo najistaknutiji. Međutim, odsecanjem vrednosti ispod praga uklanja se i deo korisnih informacija. Neke detektovane promene kadrova, koje nisu dovoljno izražene, mogu biti eliminisane. Ovaj nedostatak može se prevazići kombinovanjem više kolona tako da se izostanak detekcije nekih pozicija promene u jednoj koloni može nadomestiti detekcijom pozicije promene u nekoj drugoj koloni. U prikazanim rezultatima kombinovani su rezultati detekcija dve kolone baze vektora obeležja, kolone 1038 i kolone 1299. Problem pri objedinjavanju rezultata detekcije obe kolone predstavlja identifikacija pogrešno detektovanih promena kadrova. Postoje stvarne promene koje su detektovane u obe kolone, ali postoje i stvarne promene koje su detektovane u samo jednoj od kolona. Ova činjenica predstavlja problem, jer nije jednostavno odstraniti pogrešno detektovane promene prilikom objedinjavanja rezultata.

Prag odsecanja vrednosti je podešen manuelno. Kao što je već rečeno, nivoi pragova variraju od kolone do kolone i utvrđeni su vizuelno za potrebe eksperimenta. Vrednosti eksponenta α se značajno razlikuju za istu poziciju promene kadra i zavise od posmatrane kolone baze obeležja. Na nekim pozicijama promene neke kolone imaju veoma male vrednosti eksponenta α tako da ih je nemoguće detektovati na ovaj način.

Tabela 1. Rezultati detekcije promene kadrova za kolonu obeležja 1038

Kolona	Broj ispravno detektovanih kadrova*	Broj pogrešno detektovanih kadrova	Prag
1038	50/64	4	0.3
1038	49/64	0	0.5
1038	43/60	0	0.7

Tabela 2. Rezultati detekcije promene kadrova za kolonu obeležja 1299

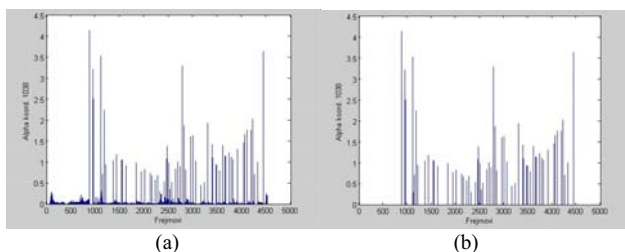
Kolona	Broj ispravno detektovanih kadrova*	Broj pogrešno detektovanih kadrova	Prag
1299	59/64	9	0.6
1299	46/64	3	0.8
1299	34/60	0	1.0

* Prva vrednost se odnosi na detekciju sa jednom kolonom obeležja, a druga na detekciju kombinacijom obe kolone obeležja

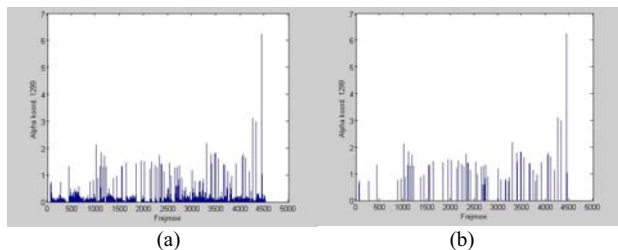
U tabelama 1 i 2 prikazani su rezultati detekcije promene kadrova po kolonama 1038 i 1299 za različite vrednosti pragova. U koloni ispravno detektovanih promena kadrova, prva vrednost prikazuje rezultat detekcije kada se detekcija vrši korišćenjem samo jedne kolone, a druga vrednost rezultat detekcije kada se pri detekciji koristi kombinacija obe kolone obeležja. Iz prikazanih rezultata se vidi da smanjivanje vrednosti pragova dovodi do povećanja broja ispravno detektovanih promena kadrova po kolonama, ali se povećava i broj pogrešno detektovanih promena. Nasuprot tome,

povećanjem vrednosti pragova se smanjuje broj pogrešno detektovanih promena, ali se i redukuje broj ispravno detektovanih promena. Ako se pretera sa povećanjem praga postoji opasnost da se neke od stvarnih promena kadrova uopšte i ne detektuju, ni u jednoj od kolona. To se može videti u tabelama 1 i 2 za vrednosti pragova 0.7 (1038 kolona obeležja) i 1.0 (1299 kolona obeležja) kada nemamo pogrešno detektovanih kadrova, broj ispravno detektovanih kadrova je znatno manji po kolonama, ali je i manji za 4 i ukupni broj ispravno detektovanih promena kadrova kombinovanjem obe kolone. Četiri stvarne promene kadrova nisu detektovane. Za prve dve vrednosti pragova u tabelama 1 i 2, sve označene promene kadrova su detektovane u jednoj od dve kolona 1038 i 1299.

Pogrešno detektovane promene mogu biti posledica primene raznih efekata pri montaži video sekvence, zatim nagle promene teksture ili osvetljenja unutar kadra. Ove promene predstavljaju singularitete koji se manifestuju kao pikovi vrednosti eksponenta α u odnosu na vrednosti eksponenta α ostalih frejmova u okviru kadra.



Slika 4. Vrednosti eksponenta α za kolonu obeležja 1038, (a) pre primene praga, (b) posle primene praga



Slika 5. Vrednosti eksponenta α za kolonu obeležja 1299, (a) pre primene praga, (b) posle primene praga

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je primena multifraktalne analize pri detekciji promena kadrova u video sekvenci. Multifraktalna analiza je primenjena na kolone baze vektora obeležja ekstrahovanih iz frejmova video sekvence. Detekcija promena kadrova izvršena je izdvajanjem singulariteta u alpha domenu analiziranih kolona baze obeležja, primenom metode praga.

Rezultati koji su prikazani pokazuju da se multifraktalna analiza može primeniti vrlo uspešno i u ovoj oblasti. Detektovane su sve stvarne promene kadrova uz prisustvo pogrešno detektovanih. Ovaj problem može se rešiti daljim usavršavanjem samog algoritma detekcije, implementiranjem neke vrste filtriranja koje će omogućiti uklanjanje pogrešno detektovanih kadrova.

Dalji izazovi u razvoju predstavljene tehnike detekcije promene kadrova, predstavljaju traženje optimalne

kombinacije kolona iz baze obeležja, automatsko određivanje pragova odsecanja i identifikacija odnosno odstranjivanje pogrešno detektovanih promena kadrova.

LITERATURA

- [1] Kikukawa T, Karafuto S. "Development of an automatic summary editing system for the audio-visual resources", *Trans Electr Inf*, 1992, 2(2): 204–212.
- [2] Meng J H, Juan Y J, "Chang S. Scene change detection in a MPEG compressed video sequence", *Inter. Sym. Electronic Imaging*, 1995. 14–25.
- [3] Hanjalic A. "Shot-boundary detection: Unraveled and resolved?", *IEEE Trans Circuits Syst Video Tech*, 2002, 12(2): 90–105.
- [4] Cernekova Z, Kotropoulos C, Pitas I. "Video shot segmentation using singular value decomposition", *Proc. ICME*, 2003. 301–302.
- [5] Nam J, Tewfik A H, "Detection of gradual transitions in video sequences using B-spline interpolation", *IEEE Trans Multimedia*, 2005, 7(4): 667–679.
- [6] Koprinska I, Carrato S, "Detecting and classifying video shot boundaries in MPEG compressed sequences", *Europe Conf. Signal Processing*, 1998. 1729–1732.
- [7] Zhuang Y T, Rui Y, Huang T S, et al. "Adaptive key frame extraction using unsupervised clustering", *ICIP*, 1998. 866–870
- [8] Boreczky J S, Wilcox L D, "A hidden Markov model framework for video segmentation using audio and image features", *ICASSP*, 1998. 3741–374.
- [9] Lienhart R, "Reliable dissolve detection", *SRMD*, 2001. 219–230.
- [10] Yuan J H, Zhang B, Lin F Z, "Graph partition model for robust temporal data segmentation", *Pacific-Asia Conf. Knowledge Discovery and Data Mining*, 2005. 758–763.
- [11] Mandelbrot B B, "The fractal geometry of nature", New York, W. H. Freeman and company, 1977.
- [12] Chhabra B A, Meneveau C, Jensen V R, Sreenivasan R K, "Direct determination of the $f(\alpha)$ singularity spectrum and its application to fully developed turbulence", *Physical Review A*, Vol. 40, No. 9, Nov. 1, 1989.
- [13] Evertsz G J C, Peitgen O H, Voss F R, "Fractal Geometry and Analysis", World Scientific Pub Co Inc, 1996.
- [14] Reljin I, Reljin B, "Fractal geometry and multifractals in analyzing and processing medical data and images", *Archive of Oncology*, Vol. 10, No. 4, pp. 283–293, 2002
- [15] Stojic T, Reljin I, Reljin B, "Adaptation of multifractal analysis to segmentation of microcalcifications in digital mammograms", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2006, Vol. 367, Pages 494–508, July, Elsevier Publisher.
- [16] Zajić G, Čabarkapa S, Kojić N, Radosavljević V, Reljin B, "Poređenje dve metode klasifikacija slika u CBIR sistemu sa modifikovanim vektorom obeležja" *ETRAN*, Vrnjačka Banja, Jun 15-19, 2009.

ABSTRACT

Shot-boundary detection (SBD) in video sequence, based on multifractal analysis (MA), is described. Each frame from video sequence is described by low-level features (color and texture features) forming the feature vectors (FV) and stored in feature matrix. Matrix rows correspond to FVs of frames from video sequence, while columns are time series of particular FV component. Multifractal analysis is applied to time series and shot boundaries are detected as high singularities of time series. Method is tested on real video sequence with 64 shots, manually labeled. By using only one FV component the accuracy of SBD detection was in the range 76–92% (depending on selected threshold) while by combining two FV components all shots are detected successfully (accuracy of 100%).

SHOT BOUNDARY DETECTION IN VIDEO SEQUENCE BASED ON MULTIFRACTAL ANALYSIS

Goran Zajić, Irini Reljin, Branimir Reljin