

# Analiza saobraćaja MPEG-4 FGS skalabilno kodovanog videa

Ana Ljubisavljević, Elektrotehnički fakultet u Beogradu

**Sadržaj** — MPEG-4 FGS video kompresija realizovana je u cilju fleksibilnog prilagođavanja video *stream*-a dostupnim mrežnim resursima uz kontinuirano ostvarivanje optimalnog kvaliteta dekodovanog videa. Statističkom analizom MPEG-4 FGS saobraćaja ukazano je na izraženu eksplozivnost razmartane serije, kao i na osobine analizirane kompresije i konkretne video sekvence. Fraktalnom analizom utvrđeno je da je reč o samosličnom procesu dugotrajne zavisnosti koji ispoljava i multifraktalna svojstva. Konačno, analizom multifraktalnih spektara razmotrene su neregularnosti u saobraćaju video *trace*-a "News".

**Ključne reči** — eksplozivnost, *Fine Granularity Scalability*, Hurstov indeks, *Long-Range Dependence* procesi

## I. UVOD

U radu su analizirane saobraćajne karakteristike MPEG-4 FGS video *trace*-ova "News" koji su dostupni na [1]. MPEG-4 FGS profil razvijen je u cilju postizanja optimalnog kvaliteta dekodovanog videa kada dostupni protok na kanalu varira ili kada postoji potreba da jedan video *stream* dekoduju prijemnici sa različitim zahtevima u pogledu kvaliteta primljenog videa. Za dekodovanje FGS video signala nije neophodan prijem celog video *stream*-a, već se ono može obaviti na osnovu primljenog dela *stream*-a koji je "odsečen" u nekom od mrežnih uređaja radi postizanja adekvatnog protoka, ili pak u samom prijemniku zavisno od zahteva aplikacije [2]. Kvalitet dekodovanog videa uvek je optimalan za dati broj primljenih bita po frejmu, čime je postignuta kontinuirana *signal-to-noise* (SNR) skalabilnost [2], [3]. U delu II ovog rada ukratko je objašnjena MPEG-4 FGS kompresija.

U poglavlju III, komentarisani su rezultati statističke analize osnovnih saobraćajnih karakteristika video trejsa kao što su srednja, maksimalna i minimalna veličina frejma, maksimalna varijacija u veličini frejma, statistika GOP-ova i scena u videu, kao i statistika frejmova zavisno od tipa kompresije koji je primenjen u njima.

Komprimovani video saobraćaj ispoljava izrazitu eksplozivnost karakterističnu za procese dugotrajne zavisnosti (*long-range dependence* - LRD) [4]. Hurstov indeks koji opisuje fraktalna svojstva LRD procesa, određen je u delu IV preko tri metode definisane u [5]. Konačno, u delu V ovog rada dati su rezultati multifraktalne analize izvršene nad navedenim video *trace*-om u programskom paketu *Fraclab* [6].

## II. MPEG-4 FGS VIDEO KOMPRESIJA

MPEG-4 FGS podrazumeva prenos video signala u okviru *base layer*-a (BL) i *enhancement layer*-a (EL) u cilju ostvarivanja SNR skalabilnosti. Oba *layer*-a koduju se sa istim protokom frejmova (30fps) i u istoj prostornoj rezoluciji, ali sa različitom tačnošću kvantizacije. Da bi se obezbedio prikaz video sekvence na strani prijemnika, neophodno je da dekodirer ispravno primi i dekoduje kompletan BL koji u sebi nosi video osnovnog kvaliteta. EL se može "skratiti" prilikom transmisije na bilo kojoj bit-ravni u frejmu, tako da se dalje prenosi i dekoduje samo *enhancement sublayer*, dok se drugi deo odbacuje. Dekodovanjem *enhancement sublayer*-a povećava se kvalitet videa primljenog u BL-u zavisno od broja bita koji su primljeni u okviru njega, čime je postignuta kontinuirana SNR skalabilnost.

MPEG-4 FGS *base layer* komprimovan je uklanjanjem prostorne, vremenske, psihovizuelne i statističke redundanse. Nad blokovima dimenzije 8x8 piksela nekomprimovanog videa najpre je izvršena diskretna kosinusna transformacija (DCT), a zatim su DCT koeficijenti u procesu kvantizacije skalirani radi uklanjanja psihovizuelne redundanse. Potom je izvršeno skeniranje DCT koeficijenata cik-cak metodom i njihovo *run-length* kodovanje (RLC). Konačno, nad simbolima koji se sastoje od vrednosti nenultog DCT koeficijenta i broja nula koje se preskaču u procesu RLC-a, izvršeno je kodovanje sa promenljivom dužinom kodne reči (VLC, *Variable Length Coding*) u cilju uklanjanja statističke redundanse. Na ovaj način dobijeni su intrakodovani (I) frejmovi. Vremenska redundansa u BL-u uklonjena je prediktivnim kodovanjem sa kompenzacijom pokreta. Predikcijom iz predhodnih slika dobijeni su P frejmovi, dok su B frejmovi dobijeni bidirekcionom predikcijom iz predhodnih i narednih frejmova. Napokon, uvedena je periodična struktura grupe slika (GOP, *Group of Pictures*) koja se sastoji iz 12 frejmova u redosledu IBBPBBPBBPBB. Video *trace* q0/[1] sadrži veličine (u bitima) svih BL frejmova u redosledu kodovanja.

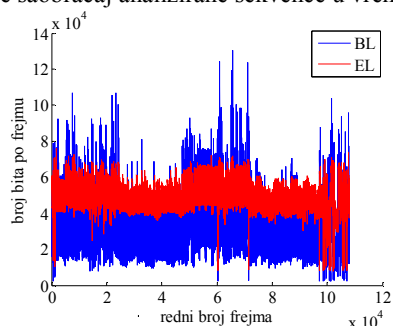
*Enhancement layer* u MPEG-4 FGS kompresiji prenosi razliku između DCT koeficijenata nekomprimovane slike i DCT koeficijenata prenesenih u okviru BL. Ona se predstavlja osmobicnim brojevima, koji se zatim skeniraju cik-cak metodom po bit-ravnima, počev od MSB-a pa sve do LSB-a svakog koeficijenta u okviru bloka. Simboli se sastoje od broja nula koje se "preskaču" do prve naredne jedinice u bitravni, a koduju se na osnovu VLC tabele za tu

bit-ravan. Veličine (u bitima) pojedinačnih EL bit-ravni nalaze se u *trace*-u bitplanes/ [1].

Dodatno, u procesu analize MPEG-4 FGS video saobraćaja, korišćen je i *trace stats* u kome se nalazi broj frejmova koji čine pojedinačne scene video sekvence u smislu sličnog semantičkog sadržaja (između dva "reza").

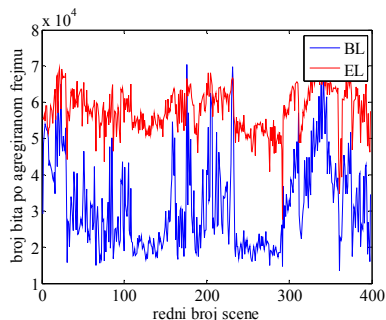
### III. STATISTIČKA ANALIZA

Video sekvenca "News" sastoji se iz 108000 frejmova raspoređenih u 9000 GOP-ova u trajanju od 1h. Sekvenca je podeljena u 399 različitih scena. BL sekvenca je komprimovana kao MPEG-4 *high quality* sa formatom odabiranja 4:4:4 za Y, U i V komponente. Na ovaj način obezbeđen je prenos videa visokog kvaliteta već u okviru BL-a, tako da su za kodovanje razlika DCT koeficijenata koje se prenose u EL bile dovoljne samo dve bit-ravni - BP1 i BP2. Maksimalni protok EL je 1000bps. Na sl. 1. prikazan je saobraćaj analizirane sekvence u vremenu.



Sl. 1. Vremenski prikaz saobraćaja sekvence "News"

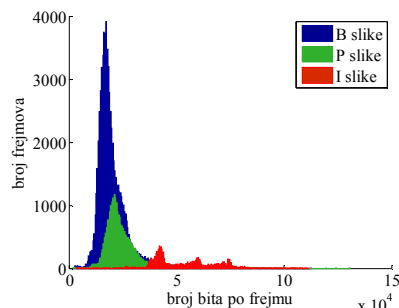
Već sa sl. 1 vidljiva je velika eksplozivnost saobraćaja i u BL i u EL analiziranog *trace*-a, pri čemu pojedini delovi sekvence proizvode izraženije pikove u saobraćaju od drugih. Ova osobina naročito je izražena na sl. 2 na kojoj je dat vremenski prikaz saobraćaja usrednjenog po scenama *trace*-a, pa se pretpostavlja da je ona posledica kolažnog sadržaja sekvence "News" koja se sastoji iz "head and shoulders" kadrova niskog protoka, ali i iz brzopromenljivih scena složenog video sadržaja koje je neophodno kodovati sa više bita.



Sl. 2. Vremenski prikaz scena sekvence "News"

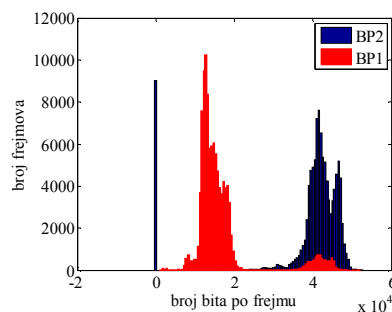
U tabeli 1 dati su srednja vrednost (Sr), varijansa (Var), koeficijent varijacije (Cov), minimalna, maksimalna kao i odnos između maksimalne i srednje vrednosti veličine pojedinačnih frejmova, GOP-ova i scena u BL-u i odgovarajućim bit-ravnima EL-a. Jasno je da je BL u proseku kodovan sa manje bita nego EL. Takođe, vidi se da saobraćaj u BL-u ima izraženije pikove (veći Cov i Max/sr) od onog u EL-u. I frejmovi u BL-u su kodovani sa više bita od P i B frejmova, dok u EL-u sve tri vrste frejmova imaju približno isti broj bita, što ukazuje na činjenicu da interkodovanje u EL-u nije primenjeno. Ostaci DCT koeficijenata I frejmova u EL-u kodovani su u okviru samo jedne bit-ravni, za razliku od P i B frejmova. Pretpostavka je da su I frejmovi preneseni dovoljno "precizno" već u BL-u, tako da EL pre svega ima zadatak da popravi kvalitet P i B slika.

Na slikama 3 i 4 prikazani su histogrami broja pojavljivanja pojedinih frejmova određene dužine u BL-u i odgovarajućih bit-ravni u EL-u.



Sl. 3. Histogram frejmova, BL

Histogram veličine frejmova na slici 3 sporo opada usled velike eksplozivnosti saobraćaja. Funkcija raspodele B i P frejmova opada približno monotono, dok kod I frejmova postoje pikovi raspodele na 45000, 60000 i 70000 bita po frejmu, što je posledica kolažnog sadržaja sekvence. P i B frejmovi u proseku nose manji broj bita od I frejmova usled prediktivnog kodovanja u BL-u.



Sl. 4. Histogram frejmova, EL

Na slici 4 vidi se da BP2 u proseku nosi više bita po frejmu od BP1. Pik na 0 bita po frejmu u BP2 nastao je jer je DCT ostatak I slika u EL kodovan 1 bitom, dok vrh na oko 42000 bita po frejmu u BP1 proizvode pre svega I i B frejmovi što se vidi iz njihovih srednjih veličina u tabeli 1.

TABELA 1: OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI *TRACE*-A "NEWS"

BL frejm	BL					EL, BP1 frejmovi					EL, BP2 frejmovi							
	I	P	B	GOP-ovi	scene	I	P	B	GOP-ovi	scene	I	P	B	GOP-ovi	scene			
Sr (b)	24645	53223	26158	20506	295740	6670900	16560	41278	14636	42121	198720	4482400	38611	0	42124	42121	463340	10451000
Var (b)	13329	14917	11409	8353.2	105540	10418000	7959.2	3777.3	2719.2	4013	31717	7332900	12266	0	4095.1	4013	43527	17234000
Cov	0.5408	0.2803	0.4362	0.4047	0.3569	1.5617	0.4806	0.0915	0.1858	0.0953	0.2596	1.6359	0.3177	-	0.0972	0.0953	0.0939	1.649
Min(b)	2136	3648	2136	2320	35984	44264	1256	7960	1504	7896	27832	23816	0	0	0	7896	92408	47088
Max(b)	130592	111184	130592	112448	951096	57390904	52024	52024	42048	52288	308512	40585520	52288	0	51792	52288	563672	99002200
Max/Sr	5.2989	2.089	4.9925	5.4837	3.216	8.6032	3.1416	1.2603	2.8729	1.2414	1.5525	9.0544	1.3542	-	1.2295	1.2414	1.2165	9.4728

#### IV. FRAKTALNA ANALIZA

Već na osnovu vremenskog prikaza video *trace*-a "News" (sl. 1) zaključuje se da je analizirani saobraćaj vrlo eksplozivan, što je osobina LRD procesa. Agregacijom u dužim vremenskim intervalima kao što je scena (sl. 2) eksplozivnost saobraćaja se ne smanjuje čime je ispoljena samosličnost karakteristična za fraktale. Dimenzija fraktala, Hurstov indeks, ima vrednost iz opsega (0.5,1) u slučaju LRD procesa. U daljem tekstu biće opisana tri načina za proračun Hurstovog indeksa kao i rezultati za odbirke analiziranog video *trace*-a dužine 13500, 54000 i 108000 frejmova.

##### A. Analiza preko periodograma

Za samoslične procese važi formula:

$$p(\Omega) \sim c * |\Omega|^{1-2H}, \Omega \rightarrow 0 \quad (1)$$

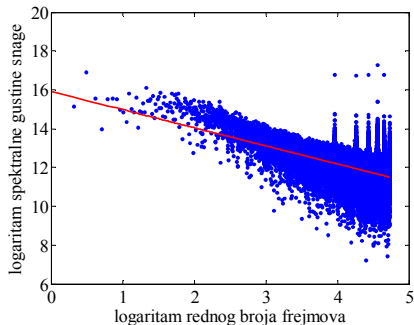
Ovde je  $p(\Omega)$  spektralna gustina snage samosličnog procesa,  $H$  njegov Hurstov koeficijent, a  $c$  je konstanta.

Za potrebe analize video *trace*-a "News" pretpostavljeno je da (1) važi za  $\Omega$  iz intervala  $[-\pi, \pi]$  čime je unesena aproksimacija zbog koje se ovom metodom dobijaju veće vrednosti Hurstovog koeficijenta od stvarnih.

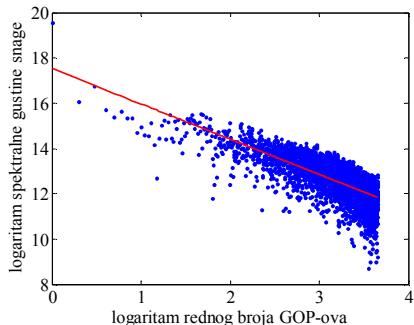
Spektralna gustina snage izračunata je kao kvadrat amplitudskog spektra  $N$  elemenata video trejsa. Hurstov koeficijent dobijen je iz (1) metodom linearne regresije iz koeficijenta pravca log-log prave opisane formulom:

$$\log p(\Omega) = \log c + (1-2H) \log |\Omega| \quad (2)$$

Prilikom proračuna, prvih i poslednjih 10% elemenata video *trace*-a nisu uzeti u obzir usled neustaljenosti na granicama procesa. Na slici 5 prikazan je periodogram veličine frejmova u BL-u. Pikovi u desnom delu periodograma predstavljaju harmonike i posledica su periodičnog rasporeda frejmova u GOP-u, što je očigledno iz periodograma veličine GOP-ova prikazanom na slici 6 gde takva struktura nije zabeležena.



Sl. 5. Periodogram, frejmovi BL,  $N=108000$



Sl. 6. Periodogram, GOP-ovi BL,  $N=9000$

##### B. Analiza agregacijom varijanse

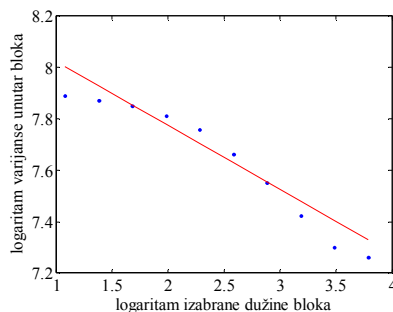
Kod LRD procesa varijansa procesa formiranog iz srednjih vrednosti unutar nepreklopajućih blokova usrednjavanja opada na način definisan formulom:

$$\text{var}\{X(m)\} \sim c * m^\beta, m \rightarrow \infty, 0 < \beta < 1 \quad (3)$$

Ovde je  $c$  konstanta a veza između Hurstovog koeficijenta i parametra  $\beta$  je:

$$H = 1 - \beta/2 \quad (4)$$

U konkretnom slučaju, za najmanju dužinu bloka izabrana je dužina  $m=12$  frejmova kako bi se izbegao efekat intra-GOP korelacije, a varijansa je računata u 10 tačaka za blokove uzoraka niza koji su celobrojni umnošci osnovne veličine bloka  $m$ . Na slici 7. prikazan je dijagram zavisnosti logaritma izračunate varijanse u funkciji logaritma dužine bloka usrednjavanja  $N$  frejmova u BL-u. Prilikom proračuna prave najmanjih kvadratnih odstupanja čiji koeficijent pravca je parametar  $\beta$  iz 4, zanemareno je prvih i poslednjih 10% vrednosti  $m$ , jer na početku i na kraju *trace*-a agregacija nije ustaljena.



Sl. 7. Agregacija varijanse frejmova, BL,  $N=108000$

##### C. R/S statistika

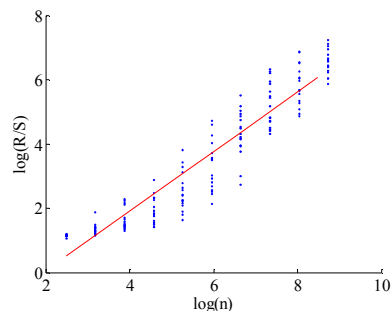
Po metodi reskaliranih opsega ( $R$ ), Hurstov koeficijent računa se iz formule:

$$E[R(n)/S(n)] \sim c * n^H, n \rightarrow \infty \quad (5)$$

Ovde je  $S$  standardna devijacija vremenske serije  $X(n)$ ,  $H$  je Hurstov koeficijent,  $c$  konstanta a reskalirani opseg  $R$  nad nepreklopajućim blokovima sumiranih frejmova  $Y(n)$  definisan je kao:

$$R(n) = \max(Y(t) - Y(n) * t/n) - \min(Y(t) - Y(n) * t/n), 0 \leq t \leq n \quad (6)$$

Veličine blokova  $n$  odabrane su kao celobrojni umnošci broja 12 u cilju eliminisanja intra-GOP korelacije. Vrednost  $R/S$  računata je nad  $K$  nepreklopajućih odbiraka svake veličine bloka, kako bi se uzelo u obzir globalno ponašanje procesa. Hurstov koeficijent određen je kao koeficijent pravca prave najmanjih kvadratnih odstupanja tačaka u *Pox* dijagramu (sl. 8) koji predstavlja log-log zavisnost  $R/S$  u funkciji  $n$ .



Sl. 8. *Pox* dijagram, frejmovi BL,  $K=17$

TABELA 2: HURSTOV INDEKS USREDNEN ZA RAZLIČITE DUŽINE  
ODBIRAKA TRACE-A "NEWS"

	Periodogram			Histogram			R/S		
	BL	BP1	BP2	BL	BP1	BP2	BL	BP1	BP2
13500	0.9487	0.9371	0.9916	0.8392	0.8933	0.8842	0.9534	0.8064	0.7308
54000	0.9514	0.9496	1.012	0.8792	0.9124	0.9026	0.9051	0.7619	0.7285
108000	0.9642	0.9082	1.033	0.8759	0.9179	0.9113	0.9261	0.8042	0.7592

U tabeli 2 date su vrednosti Hurstovog indeksa usrednjene nad odbircima dužina 13500, 54000 i 108000 frejmova video trace-a "News", izračunate po opisanim metodama. U svim razmatranim slučajevima Hurstov indeks je veći od 0.5, što dokazuje da video saobraćaj kako u BL-u, tako i u bit-ravnima EL-a ispoljava osobine LRD procesa. Varijacije Hurstovog indeksa izračunate za različite dužine odbiraka datog trace-a ukazuju na multifraktalnu prirodu saobraćaja analiziranu u delu V.

## V. MULTIFRAKTALNA ANALIZA

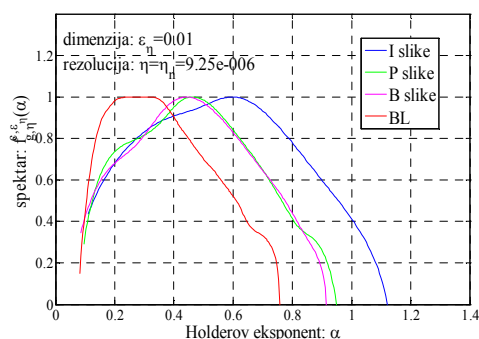
Multifraktalne osobine vremenskih serija ne mogu se globalno dimenzionisati merom poput Hurstovog indeksa usled njegovih varijacija u različitim delovima serije. Za definisanje multifraktalnih procesa uveden je grubi Holderov eksponent  $\alpha$  određen formulom:

$$\alpha = \frac{\log \mu(box)}{\log \varepsilon} \quad (6)$$

Ovde je  $\mu$  mera boksa posmatranog nad delom vremenske serije, a  $\varepsilon$  dimenzija veličine boksa. Ovako definisan Holderov eksponent je zapravo fraktalna dimenzija serije mera pojedinih bokseva.

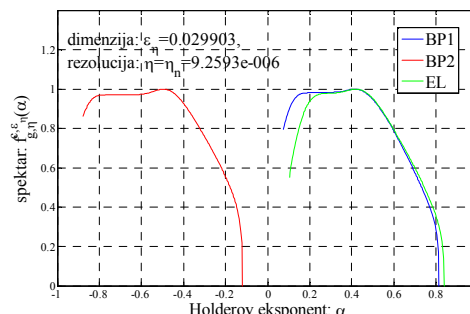
Frecencijska raspodela  $\alpha$  predstavlja se multifraktalnim spektrom. U radu je dat spektar velikih devijacija koji daje podatak o verovatnoći nalaženja date vrednosti  $\alpha$  pri analiziranoj rezoluciji  $\eta$  i odgovarajućoj dimenziji  $\varepsilon_\eta$  definisanim nad vremenskom serijom.

Na slikama 9 i 10 prikazani su multifraktalni spektri MPEG-4 FGS saobraćaja pojedinih vrsta frejmova u BL-u i bit-ravni u EL-u.



Sl. 7. Multifraktalni spektri BL

Analizom multifraktalnog spektra na sl. 7 uočeno je da je raspon  $\alpha$  najveći kod I frejmova, što ukazuje najveću varijabilnost saobraćaja koji oni proizvode. Na oblik spektra saobraćaja u BL-u više utiče saobraćaj P i B frejmova, što je i razumljivo s obzirom na strukturu GOP-a u kojoj se oni češće pojavljuju. Deformacija u odnosu na parabolični oblik spektra BL-a pri većim vrednostima  $\alpha$  nastala je usled brzopromenljivih scena u sekvenci "News".



Sl. 7. Multifraktalni spektri EL

Multifraktalni spektri BP1 i BP2 bitravni prikazani na sl. 7 identičnog su oblika što je i očekivano s obzirom na to da prenose isti video sadržaj. Multifraktalni spektar celog EL ima izražena dva maksimuma na paraboličnoj krivi što ukazuje na aditivnu prirodu ovog saobraćaja koji nastaje sabiranjem saobraćaja iz dve bit-ravni.

## VI. ZAKLJUČAK

U radu su predstavljeni rezultati analize MPEG-4 FGS video saobraćaja s obzirom na karakteristike primenjene kompresije i sadržaj same sekvence. Ovaj rad je značajan jer su u njemu prvi put analizirana fraktalna i multifraktalna svojstva MPEG-4 FGS video kompresije. Rezultati rada mogu se iskoristiti za modelovanje MPEG-4 FGS saobraćaja i unapređenje same kompresije.

## LITERATURA

- [1] <http://trace.eas.asu.edu/>
- [2] W. Li "Overview of Fine Granularity Scalability in MPEG-4 Video Standard", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Tehnology*, vol 11, NO. 3. pp. 301-317, March 2001
- [3] P. Cuetos, M. Reisslein, K. Ross, "Evaluating the Streaming of FGS-Encoded Video with Rate-Distortion Traces", *Institut Eurecom Tehnical Report, RR-03-078*, pp. 1-33, June 2003.
- [4] I. Reljin, B. Reljin "Fractal and Multifractal Analyses of compressed video sequences", *Facta Universitatis (Niš)*, pp. 401-414, vol 16, Dec. 2003.
- [5] M. S. Taqqu, V. Tevelovsky, W. Willinger, "Estimators for Long-range Dependence: an empirical study", *Fractals*, vol 3, No 4, pp. 785-788, 1995.
- [6] <http://complex.futurs.inria.fr/FracLab/>

## ABSTRACT

MPEG-4 FGS coding is designed for video streaming adaptable to available network resources to provide optimal quality of decoded video. Analyzed video exhibits high variability as consequence of applied compression and contents of the sequence itself. Moreover, it was shown that video trace exhibits selfsimilarity and long-range dependence that are fractal and multifractal properties.

**Traffic Analysis of MPEG-4 FGS-Encoded Video**  
Ana Ljubisavljević