

# Pojava sebi-sličnosti saobraćaja u pristupnoj mreži Telekoma Srpske

Zvezdan Stojanović, Đorđe Babić, član IEEE

**Sadržaj** — U radu je ukazano na pojavu sebi-sličnosti saobraćaja kod dial-up i ADSL saobraćaja u razmatranom segmentu mreže Telekoma Srpske. Navedene su osobine sebi-sličnosti kod telekomunikacionog saobraćaja i uzroci koje dovode do njegove pojave. Objasnjene su grafičke metode izračunavanja Hurstovog faktora koji se koristi kao mjera za određivanje stepena sebi-sličnosti. Upotrebom R/S metode na analizirani segment mreže Telekoma Srpske vršeno je izračunavanje Hurstovog faktora za dial-up i ADSL saobraćaj.

**Ključne reči** — Hurstov faktor, sebi-sličnost saobraćaja, R/S dijagram.

## I. UVOD

Do 1993 i do objavljivanja čuvenog Lelandovog rada, mrežni saobraćaj se isključivo dimenzionisao upotrebom Erlangovih dimenzionih formula kojim su se detaljno opisivale saobraćajne karakteristike klasičnog telefonskog saobraćaja. U [1], Leland je pokazao da saobraćaj LAN mreže posjeduje svojstvo sebi-sličnosti. Glavna razlika u odnosu na Poisson-ov saobraćajni model je u tome da kod Poisson-ovog saobraćaja, kako se povećava broj izvora saobraćaja, on postaje izglađeniji (less bursty), što nije slučaj kod Leland-ovog saobraćaja. Čak i kod velikog broja izvora saobraćaja, superponirani saobraćajni tok i dalje ima sporadičnu, naletnu (bursty) prirodu. Uz to, prema Leland-u saobraćaj pokazuje iste karakteristike, bez obzira koliki vremenski interval uzmemo u razmatranje,

U drugom veoma značajnom radu iz tog perioda su, koristeći slične tehnike kao Leland, Crovela i Bestavros dokazali da i WWW saobraćaj ispoljava svojstvo sebi-sličnosti (self-similarity) [2]. Crovela, Kihong Park i Gitae Kim su u svom radu ispitivali uticaj svojstva sebi-sličnosti Internet saobraćaja na mrežne performanse. Propusna moć mreže opada postepeno porastom sebi-sličnosti saobraćaja, a čekanje u redu za obradu raste. Da bi se postigao konstantan nivo propusne moći mreže ili gubitka paketa, bilo bi potrebno jako veliko povećanje bafera, što opet povećava čekanje u redu na obradu i narušava kvalitet servisa. Autori su u istom radu pokazali

i da se efekat sebi-sličnosti može umnogome smanjiti ako bi se povećao propusni opeg mreže, [3].

U nekim novijim radovima [12-16] je pokazano da klasični Poisson-ov model može da se koristi za modelovanje saobraćaja u nekim slučajevima, poput jezgra velikih mreža sa velikim protocima i u kratkim intervalima i kod mreža sa malim Hurstovim faktorom ( $H < 0,7$ ), [4] i [14].

Ovaj rad i rad [17] predstavljaju integralnu cjelinu.

## II. DEFINICIJA I OSOBINE SEBI-SLIČNIH PROCESA

U radu [1] je pokazano da komunikacioni saobraćaj ima sličnu strukturu bez obzira na veličinu razmatranog uzorka saobraćaja, (bez obzira da li su to milisekunde, sekunde, sati, dani, sedmice - scalling factor). Sebi-sličnost saobraćaja je blisko povezana sa pojmom fraktala koji se koriste za opisivanje objekata čiji su sastavni dijelovi identični (ili skoro) originalu bez obzira na faktor skaliranja, [4].

Osobina sebi-sličnosti podrazumijeva da se statističke osobine stohastičkog procesa ne mijenjaju bez obzira na nivo agregacije saobraćaja. Sebi sličnost se manifestuje [5] na sledeće načine:

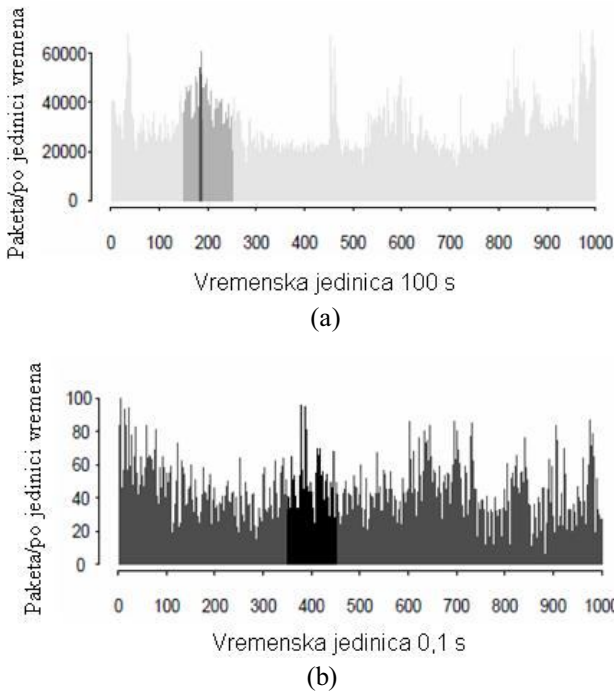
- Bez obzira na broj izvora saobraćaja, i bez obzira na veličinu posmatranog vremenskog intervala (sekunde, milisekunde, sati...) superponirani saobraćajni tok i dalje ima sporadičnu prirodu i osobinu sebi-sličnosti (Sl. 1)
- Zavisnost u širokom opsegu (LRD-Long Range Dependence): vremenska serija posjeduje LRD ako ima autokorelacije koje su izražene preko cijele vremenske skale. Brzina opadanja autokorelacije je hiperbolička, za razliku od procesa koji ispoljava zavisnost u kratkom opsegu (SRD) kod koga je opadanje korelacije eksponencijalno (tipičan Poisson-ov proces). Opadanje koeficijenta korelacije kod tipičnog LRD i SRD procesa je prikazano na Sl. 2.
- Sporopadajuća varijansa: tipičan primjer opadanja opadanja varijanse kod SRD i LRD procesa dat je na Sl. 3.
- Hurstov efekat: kao mjera stepena sebi-sličnosti saobraćaja koristi se Hurstov faktor, [1] i [4]. Pomoću njega se numerički izražava stepen sebi-sličnosti saobraćaja. Proces koji kod kojih se vrijednost Hurstovog faktora kreće u granicama  $1/2 < H < 1$  imaju zavisnost u širokom opsegu (LRD). Za

Dr. Zvezdan Stojanović, Telekom Srpske (telefon: 387-56-231-900, e-mail: [zvezdan.stojanovic@mtel.ba](mailto:zvezdan.stojanovic@mtel.ba))

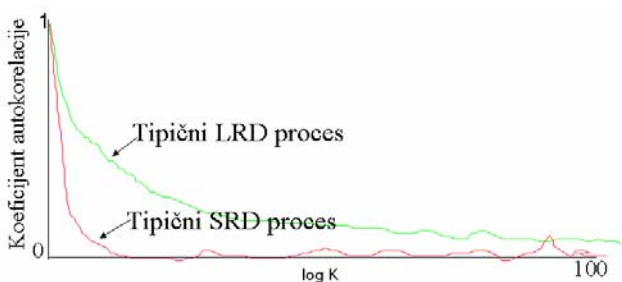
Dr. Đorđe Babić, Slobomir P Univerzitet Bijeljina, (e-mail: [dj.babic@spu.ba](mailto:dj.babic@spu.ba))

$H < 1/2$ , vremenske serije ispoljavaju zavisnost u kratkom opsegu (SRD).

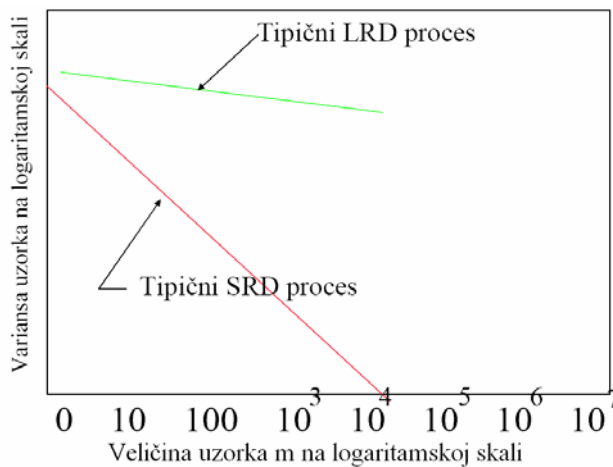
Sebi-sličnost saobraćaja se može definisati na različite načine. Jednu od definicija ćemo dati u nastavku, [7].



Sl.1. Pojava sebi-sličnosti saobraćaja kod Ethernet saobraćaja za različite vremenske intervale (100 i 0,1s)



Sl. 2. Opadanje autokorelacionog koeficijenta kod LRD i kod SRD procesa.



Sl. 3. Opadanje varijanse kod LRD i SRD procesa.

Posmatrajmo diskretni slučajni proces ili vremensku

seriju  $X(t)$ ,  $t \in \mathbb{Z}$ , pri čemu se  $X(t)$  interpretira kao saobraćajni volumen, mjereno u paketima, bajtima ili bitima u nekom vremenskom periodu  $t$ . U svrhu modelovanja saobraćaja, obično se uzima da je  $X(t)$  stacionarna vremenska serija, tj da se njeno ponašanje ili struktura ne mijenja sa pomjerajem u vremenu.

Neka je  $X(t)$  stacionaran u širem smislu (second-order stationarity) sa autokovarijansom funkcijom  $\gamma(r,s) = E[(x(r) - \mu)(X(s) - \mu)]$  nezavisnom od pomjeraja u vremenu  $\gamma(r,s) = \gamma(r+k,s+k)$  za sve  $r,s,k \in \mathbb{Z}$ . Pretpostavimo da postoje prva dva momenta i da su konačna  $\mu = E[X(t)]$  i  $\sigma^2 = E[(X(t) - \mu)^2]$  za svako  $t \in \mathbb{Z}$ . Pretpostavimo dalje da je  $\mu = 0$ . Zbog stacionarnosti tada je  $\gamma(r,s) = \gamma(r-s,0)$  i označimo autokovarijansu sa  $\gamma(k)$ .

Da bi se pokazala nepromjenjivost u odnosu na faktor skaliranja formirajmo agregirane procese  $X^{(m)}$  sa nivoom agregacije  $m$  preko (1):

$$X^{(m)}(i) = \frac{1}{m} \sum_{t=m(i-1)+1}^{mi} X(t) \quad (1)$$

$X(t)$  ćemo podijeliti u nepreklapajuće blokove veličine  $m$ ,  $i$  je indeks tih blokova. Označimo sada sa  $\gamma^{(m)}(k)$  autokovarijansnu funkciju od  $X^{(m)}$ . Proces  $X(t)$  je sebi-sličan, egzatno drugog reda sa Hurstovim parametrom  $H$  ( $1/2 < H < 1$ ) ako vrijedi (2)

$$\gamma(k) = \frac{\sigma^2}{2} ((k+1)^{2H} - 2k^{2H} + (k-1)^{2H}) \text{ za svako } k \geq 1 \quad (2)$$

Jednačina (2) implicira da je  $\gamma(k) = \gamma^{(m)}(k)$  za svako  $m \geq 1$ . Sebi-sličnost drugog reda ostaje i kod agregacije.

### III. UZROCI POJAVE SEBI-SLIČNOSTI SAOBRAĆAJA U TELEKOMUNIKACIONIM MREŽAMA.

Na pojavu sebi-sličnosti saobraćaja utiče više faktora, [17]. Neki od najvažnijih su:

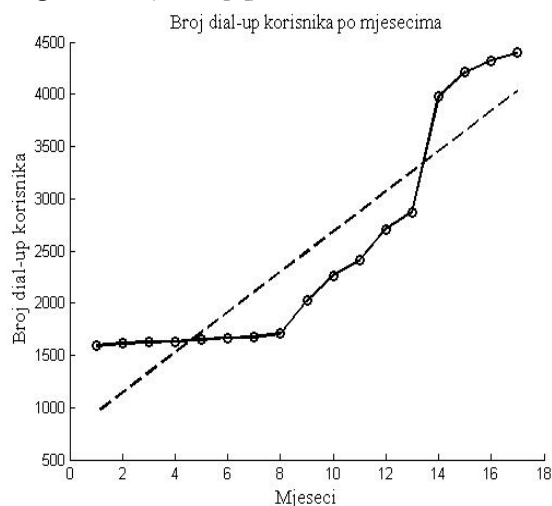
- Ponašanje korisnika i struktura podataka: uvođenjem širokopolasnog pristupa (prvenstveno putem ADSL-a i djelimično upotrebom infrastrukture kablovskih operatera u Republici Srpskoj) u pristupnoj mreži, povećavanjem raspoloživog protoka i smanjivanjem cijena tarifnih paketa navike pretplatnika se mijenjaju. Pretplatnici sve više vremena provode na Internetu i na osnovu analiziranih podataka u jednom dugom vremenskom periodu primjećeno je da vjerovatnoće pojavljivanja nekih ekstremno velikih i nekih ekstremno malih vrijednosti trajanja sesije nisu zanemarive. Raspodjela vremena trajanja sesije više odgovara raspodjelama sa dugačkim repovima (long-tail) nego eksponencijalnim. Proces koji imaju izraženu LRD osobinu se opisuju raspodjelama sa dugačkim repovima (Perato).
- Miješanje više različitih tokova paketa u svrhu

korištenja zajedničkih resursa: miješanjem toka koji posjeduje LRD svojstvo i onog koji ga ne posjeduje nastaje tok koji će imati LRD.

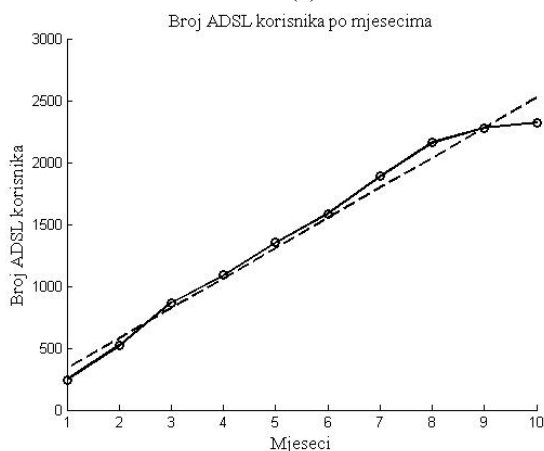
- Kontrolni mehanizmi TCP prenosnog protokola takođe dovode do pojava nelinearnosti u odzivu mreže i do pojave LRD-a. Ova pojava je slabije izražena kod UDP prenosnog protokola, jer se kod njega ti mehanizmi slabije koriste.
- Ograničenje resursa mreže, što može dovesti do dužeg čekanja u redu za obradu (baferovanja).

#### IV. ANALIZA SEGMENTA MREŽE TELEKOMA SRPSKE

Analiziran je dial-up saobraćaj u trajanju od 17 mjeseci (od januara 2008 god do maja 2009) i ADSL (od marta 2008 do oktobra 2008) zbog mogućnosti dobijanja podataka preko *billing* sistema Telekoma Srpske za obje kategorije saobraćaja za jedan segment mreže Telekoma Srpske, tj za Zvorničko numeraciono područje. Uvođenjem flat tarifnih paketa i naplatom po brzini protoka, a ne po količini preuzetih podataka nije više postojala potreba da se ADSL pretplatnici prate preko *billing* sistema (šire u [9]).



(a)



(b)

Sl. 4. Kretanje broja dial-up (a) i ADSL (b) pretplatnika u segmentu mreže Telekoma Srpske

Kretanje broja dial-up i ADSL pretplatnika u posmatranom periodu je prikazan na Sl. 4. Puna kriva je

nacrtna na osnovu stvarnih podataka, dok je isprekidana kriva, kriva linearne regresije, koja će biti kasnije korištena i kod R/S metoda za određivanje Hurstovog faktora.

Iako broj dial-up pretplatnika neprekidno raste taj porast je fiktivan i posljedica je činjenice da se pretplatnicima uz otvoren ADSL nalog nudi i nekoliko besplatnih dial-up naloga, dok vrijeme trajanja ADSL sesije i saobraćaj koji generišu ADSL pretplatnici neprekidno raste u odnosu na dial-up, [9].

Ovaj rad predstavlja dio jednog šireg projekta i ima za cilj da utvrdi na osnovu određivanja Hurstovog faktora za različite kategorije saobraćaja (dial-up i ADSL) kod koje je kategorije saobraćaja efekat sebi-sličnosti saobraćaja više izražen, odnosno da se ispita primijenjivost klasičnog metoda dimenzionisanja mreže zasnovanog na Erlangovim dimenzionim formulama na određenu kategoriju saobraćaja. Naime, za male vrijednosti Hurstovog faktora ( $H < 0,7$ ), efekat zavisnosti u širokom opsegu nije toliko izražen i može se primijeniti klasični metod analize zasnovan na Erlangovim dimenzionim formulama.

#### V. IZRAČUNAVANJE HURSTOVOG FAKTORA

Postoji više načina za izračunavanje Hurstovog faktora, [5], [6], [10]. Za te svrhe se koriste metode periodograma, *wavelet* metode, ali su u literaturi najzastupljenije grafičke metode, tj. crtanje dijagrama varijansa-vrijeme i R/S dijagrama, koji ćemo ovdje koristiti.

Na osnovu izračunate vrijednosti Hurstovog faktora, utvrdit ćemo da li se za analizu dial-up i ADSL saobraćaja, za posmatrani segment mreže Telekoma Srpske, može primijeniti klasični metod analize.

##### A. R/S metod određivanja Hurstovog faktora

Pri određivanju Hurstovog faktora za dial-up i ADSL saobraćaj, uzeli smo podatke o snimljenom saobraćaju u trajanju od šest mjeseci za ADSL i 12 mjeseci za dial-up. Na prikupljeni skup podataka iz Segmenta mreže Telekoma Srpske (Zvorničko numeraciono područje) primijenit ćemo R/S metod za određivanje Hurstovog faktora na razmatrane kategorije saobraćaja.

U nastavku izlaganja ćemo dati ukratko opis R/S metode.

Za vremensku seriju  $X_t$  ( $t = 1, 2, \dots, n$ ), sa aritmetičkom srednjom vrijednošću  $\overline{X}(n)$  i varijansom  $S^2(n)$ , definišimo R/S statistike (Rescaled Adjusted Range) sa  $R(n)/S(n)$ .  $R(n)$  se izračunava preko (3):

$$R(n)/S(n) = \frac{1}{S(n)} \left[ \max(0, W_1, W_2, \dots, W_n) - \min(0, W_1, W_2, \dots, W_n) \right] \quad (3)$$

pri čemu je:

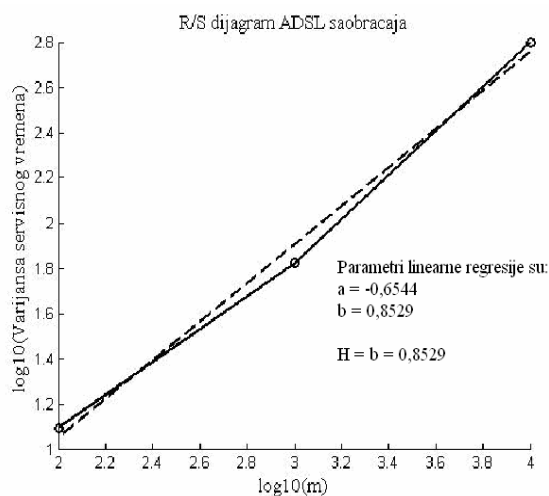
$$W_k = (X_1 + X_2 + \dots + X_k) - k\overline{X}(n), \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Ustanovljeno je da se za mnoge prirodne vremenske serije matematičko očekivanje može predstaviti relacijom:

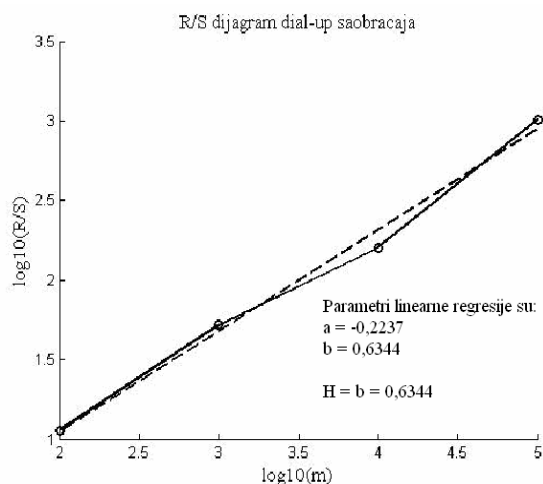
$$E \left[ \frac{R(n)}{S(n)} \right] \approx cn^H \quad (5)$$

za veliko  $n$ ;  $c$  je konstanta.

Pri crtanju  $\log[R(n)/S(n)]$ --- $\log(n)$  dijagrama, nagib krive će biti jednak Hurstovom parametru [10].



Sl.5. R/S dijagram ADSL saobraćaja



Sl. 6. R/S dijagram dial-up saobraćaja

Sa slike 6 vidimo da je izračunata vrijednost Hurstovog faktora za dial-up saobraćaj  $H=0,6344$  pa na osnovu naprijed rečenog slijedi da na ovu kategoriju saobraćaja može primijeniti klasičan metod analize, [16], [17].

## VI. ZAKLJUČAK

U radu je izračunat Hurstov faktor i na osnovu njegove vrijednosti je zaključeno da se na dial-up saobraćaj može primijeniti klasični metod dimenzionisanja.

## LITERATURA

- [1] W. E. Leland, W. Willinger, M. S. Taqqu and D. V. Wilson. "On the self-similar nature of Ethernet traffic", in *Proc. ACM SIGCOMM*, Sept. 1993., pp. 183-193.
- [2] M. E. Crovella and A. Bestavros, "Self-similarity in World Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes", Technical Report TR-95-015, Boston University, August 1995.
- [3] K. Park, G. Kim and M. Crovella, "On the effect of Traffic self-similarity on network performance", in *Proc. Of SPIE International Conf. on Performance and Control of Network System*, Nov. 1997., pp. 293-310.
- [4] Z. Sahinoglu and S. Tekinay, "On Multimedia Networks: Self-Similar Traffic and Network Performance", *IEEE Communications Magazine*, Number 37, Jan. 1999, pp. 48-52.
- [5] D.L.Mills, "Long-range Dependency Effects in Network Timekeeping", technical report, University of Delaware, avgust 2004.
- [6] C. Williamson, "Network traffic self-similarity", technical report, University of Saskatchewan, 2005.
- [7] K.Park and W.Willinger, "Self-similar network traffic and performance evolution", John Wiley & Sons, 2000.
- [8] ETF Sarajevo, "Samoslični procesi u teoriji prometa", radni materijal.
- [9] Z.Stojanović i Đorđe Babić, "Analiza ADSL i dial-up saobraćaja u segmentu mreže Telekoma Srpske", *17ti Telekomunikacioni forum TELFOR*, Beograd, Srbija, 2009 pp. 126-129.
- [10] M. Gospodinov, E. Gospodinova, "The graphical methods for estimating Hurst parameter of self-similar network traffic", *IIIB 19.1\_19.6 International Conference on Computer Systems and Technologies CompSysTech*, Veliko Tarnovo, Bulgaria, 2005., pp. IIIB.19-1-19-6.
- [11] A. Kos and J. Bešter, "Poisson Packet Traffic Generation Based on Empirical Data", *Journal of systemics, cybernetics and informatics*, Vol. 1, No 5, 2003., pp. 1-4.
- [12] J. Cao, W. S. Cleveland, D. Lin and D. X. Sun, "Internet traffic tends toward Poisson and independent as the Load Increases", *Nonlinear Estimation and Classification*, eds. C. Holmes, D. Denison, M. Hansen, B. Yu, and B. Mallick, Springer, New York, 2002.
- [13] T.karagiannis, M. Molle, M.Faloutsos, "A nonstationary Poisson view of Internet Traffic", *INFOCOM*, 2004 pp 1558-1563, Hong-Kong.
- [14] T. R. Staake, "IP Traffic Statistic-A Markovian Approach", M.S. thesis, Worchester Polytechnic Institute, USA, May 2002.
- [15] Z. Stojanović and Đ. Babić, "Traffic engineering for VoIP network based on PSTN statistical models", *9<sup>th</sup> IEEE International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services, TELSIKS*, Niš, Srbija, 2009., pp. 564-568.
- [16] Z.Stojanovic and Đ.Babić, "Bandwidth Calculation for VoIP Network Based on PSTN Statistical Model", *Facta Universitatis*, vol 23, No 21, april 2010, pp 73-88.
- [17] Z.Stojanovic and D.Tošić, "Kalkulator propusnog opsega za VoIP" *18ti Telfor 2010.*, submitted for publication.

## ABSTRACT

In this paper we describe R/S method to calculate Hurst parameter in the segment of Telekom Srpske's network. All calculations are based on the real data obtained from the billing system. Based on the value of the Hurst parameter, we conclude that the classical method of the network dimensioning can be used for dial-up traffic.

## Self-similarity in the Telekom Srpske's network

Zvezdan Stojanović, Đorđe Babić