

# Eksperimentalna analiza efikasnosti EDCA tehnike u prenosu govora pri konkurentnom *best effort* saobraćaju

Mladen T. Koprivica, *Member, IEEE*, Mladen M. Ilić, Aleksandar M. Nešković, *Member, IEEE*,  
Nataša J. Nešković, *Member, IEEE*

**Sadržaj** — U ovom radu eksperimentalno je utvrđena efikasnost implementacije QoS mehanizma definisanog u okviru IEEE 802.11e standarda. U kontrolisanim laboratorijskim uslovima, za slučajeve uključenog i isključenog QoS mehanizma, izvršeno je merenje srednjeg i maksimalnog kašnjenja, *jitter*-a i broja izgubljenih paketa u govornoj komunikaciji između dva klijenta, pri konkurentnom *best effort* saobraćaju. Dobijeni rezultati pokazuju da se primenom QoS mehanizma dobijaju značajna poboljšanja u prenosu govora, što je posebno izraženo u slučaju značajnijeg opterećenja mreže.

**Ključne reči** — EDCA, IEEE 802.11e, QoS, VoWLAN

## I. UVOD

TEHNOLOGIJA prenosa govornog signala korišćenjem IP protokola (VoIP – *Voice over IP*), omogućila je prenos govora preko računarskih mreža. Kao poseban deo računarskih mreža, bežične lokalne računarske mreže (WLAN – *Wireless Local Area Network*), doživele su veliku ekspanziju poslednjih godina. S obzirom na veliku rasprostranjenost, jednostavnu realizaciju i mobilnost koju omogućavaju korisniku, WLAN mreže predstavljaju novu i veoma pogodnu infrastrukturu za prenos govornog signala (VoWLAN – *Voice over WLAN*). Međutim, WLAN mreže projektovane su prevashodno za servis prenosa podataka. Za razliku od prenosa podataka, prenos govora kao servis u realnom vremenu, postavlja strožije zahteve u vezi sa kašnjenjem i varijacijom kašnjenja (*jitter*) prilikom prenosa. Sa druge strane, prenos govornog signala pokazuje veću toleranciju na gubitak paketa u odnosu na prenos podataka.

Imajući u vidu potrebu za podrškom servisima u realnom vremenu, u okviru IEEE 802.11e amandmana

Mladen T. Koprivica (autor za kontakte), Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (telefon: 381-64-1213483, e-mail: [kopra@etf.rs](mailto:kopra@etf.rs))

Mladen M. Ilić, Huawei Technologies d.o.o, Vladimira Popovica 38, 11070 Beograd, Srbija (telefon 381-11-2209606, e-mail: [mladen.ilic@huawei.com](mailto:mladen.ilic@huawei.com))

Aleksandar M. Nešković, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (telefon: 381-64-1115983, e-mail: [neshko@etf.rs](mailto:neshko@etf.rs))

Nataša J. Nešković, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (telefon: 381-64-1115982, e-mail: [natasha@etf.rs](mailto:natasha@etf.rs))

implemetiran je mehanizam garantovanja kvaliteta servisa (QoS – *Quality of Service*) [1]-[3]. Tehnika pristupa bežičnom medijumu sa QoS, uvodi hibridnu koordinacionu funkciju (HCF – *Hybrid Coordination Function*), koja obuhvata dva nova metoda pristupa: EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*) i HCCA (*HCF Controlled Channel Access*).

U ovom radu urađena je eksperimentalna analiza efikasnosti EDCA tehnike u prenosu govora pri konkurentnom *best effort* saobraćaju. Izvršeno je merenje srednjeg i maksimalnog kašnjenja, *jitter*-a i broja izgubljenih paketa u govornoj komunikaciji između dva klijenta, u kontrolisanim laboratorijskim uslovima i to za slučajeve uključenog i isključenog QoS mehanizma.

Rad je organizovan u 5 poglavlja. U drugom poglavlju predstavljene su teoretske osnove EDCA tehnike. Merna topologija i način merenja dati su u trećem poglavlju. Četvrto poglavlje sadrži rezultate merenja. Na kraju, izveden je zaključak.

## II. EDCA METODA PRISTUPA

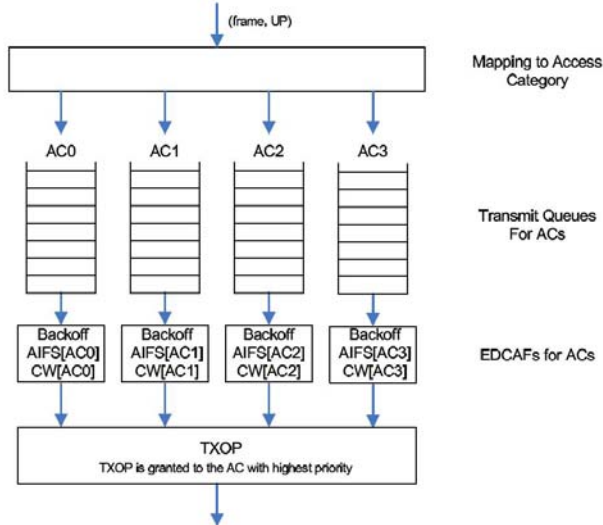
EDCA tehnika omogućava distribuirani mehanizam pristupa bežičnom medijumu, na osnovu različitih prioriteta saobraćaja. Ova tehnika predstavlja proširenje DCF (*Distributed Coordination Function*) tehnike, sa namerom da se ispune zahtevi za QoS.

EDCA koristi 4 pristupne kategorije (AC – *Access Category*): AC\_BK (*Background*), AC\_BE (*Best Effort*), AC\_VI (*Video*) i AC\_VO (*Voice*), pri čemu je AC\_BK kategorija najnižeg prioriteta, a AC\_VO najvišeg. Svaka kategorija ostvaruje zasebno pristup kanalu (Sl. 1), tj. u okviru jedne stanice postoje 4 nezavisne EDCA funkcije (EDCAF – *EDCA Function*).

Svakoj EDCAF pridružen je odgovarajući set parametara: AIFS (vremenski period tokom kojeg medijum treba da bude slobodan pre nego se započne predaja paketa ili *backoff* procedura),  $CW_{min}$  i  $CW_{max}$  (veličine CW – *Contention Window* korišćenog za *backoff*) i TXOP Limit (maksimalna dužina intervala predaje nakon pristupanja medijumu).

Vrednosti EDCA parametara razlikuju se za AC. AC višeg prioriteta imaju manju vrednost AIFS, tj. čekaju kraće vreme pre nego što pokušaju da pristupe medijumu. Takođe, veličine CW su manje za AC višeg prioriteta. TXOP Limit se podešava tako, da AC višeg

prioriteta dobijaju mogućnost predaje tokom dužeg vremenskog intervala. Dakle, što je viši prioritet neke AC, manji je period čekanja AIFS, manji su  $CW_{min}$  i  $CW_{max}$  i duže je vreme predaje, ograničeno sa TXOP Limit.

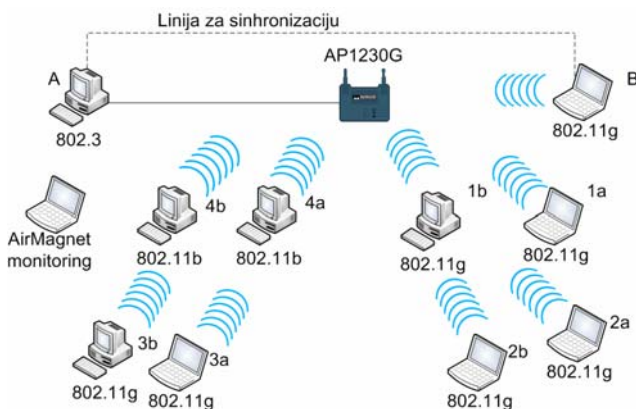


Sl. 1. AC kategorije, redovi čekanja i EDCAF funkcije

### III. MERNJA TOPOLOGIJA I NAČIN MERENJA

Za potrebe analize efikasnosti EDCA tehnike izvršena su merenja za slučajeve uključenog i isključenog QoS mehanizma, a zatim je urađeno poređenje dobijenih rezultata. Kao osnovni parametri u prenosu govora, merene su vrednosti srednjeg i maksimalnog kašnjenja, *jitter*-a i broja izgubljenih paketa u govornoj komunikaciji između dva klijenta, pri konkurentnom *best effort* saobraćaju.

Topologija na kojoj su vršena merenja prikazana je na Sl. 2. U osnovi topologije je AP (*Access Point*) Cisco Aironet 1230G sa 12.3(8)JA2 verzijom IOS-a, koji podržava IEEE 802.11g standard. Po *default*-u QoS je isključen, dok je za potrebe merenja sa uključenim QoS, definisana QoS polisa kojom se obezbeđuje mapiranje frejmova u odgovarajuće AC i definiše kvalitet servisa za različite tipove saobraćaja.



Sl. 2. Šematski prikaz merne topologije

Za potrebe merenja korišćen je *open source* softverski paket za simulaciju i merenje VoIP saobraćaja D-ITG (*Distributed Internet Traffic Generator*) [4]. Program se sastoji iz više modula od kojih su korišćeni: ITGSend -

aplikacija koja služi za generisanje željenog tipa saobraćaja (na Sl. 2 računar A – izvor VoIP paketa), i ITGRecv - aplikacija koja prihvata generisani saobraćaj i skladišti ga u log fajlove za dalju obradu (na Sl. 2 računar B – odredište VoIP paketa).

Ovakva postavka zahteva dosta preciznu sinhronizaciju internih satova između računara A i B. Zbog toga su računari A i B radili pod operativnim sistemom Linux *Ubuntu 7.10*. Prednost ovog operativnog sistema je u tome što ima malo aktivnih procesa (procesu su u *daemon* modu, tj. koji se aktiviraju po pozivu), pa je sistemsko kašnjenje malo. Sinhronizacija je izvršena tako što je na računaru A instaliran NTP (*Network Time Protocol*) server, dok se računar B sinhronizovao sa serverom preko posebne linije za sinhronizaciju. Greška sinhronizacije ovom metodom je ispod 100 $\mu$ s.

Merenje je izvršeno tako što su mereni parametri govornog saobraćaja bez konkurentnih klijenata, a potom je mreža opterećivana parovima klijenata od kojih je jedan bio izvor, a drugi prijemnik TCP *best effort* saobraćaja. Maksimalni broj konkurentskih klijenata bio je 8, pri čemu je poslednji par računara koristio WLAN kartice koje koriste IEEE 802.11b standard, tako da je u tom slučaju bio aktivan mešoviti režim rada WLAN mreže. Zahtevani protok na konkurentskim klijentima je bio 10% vrednosti od maksimalnog protoka definisanog na AP. Za simulaciju konkurentnog saobraćaja korišten je D-ITG program.

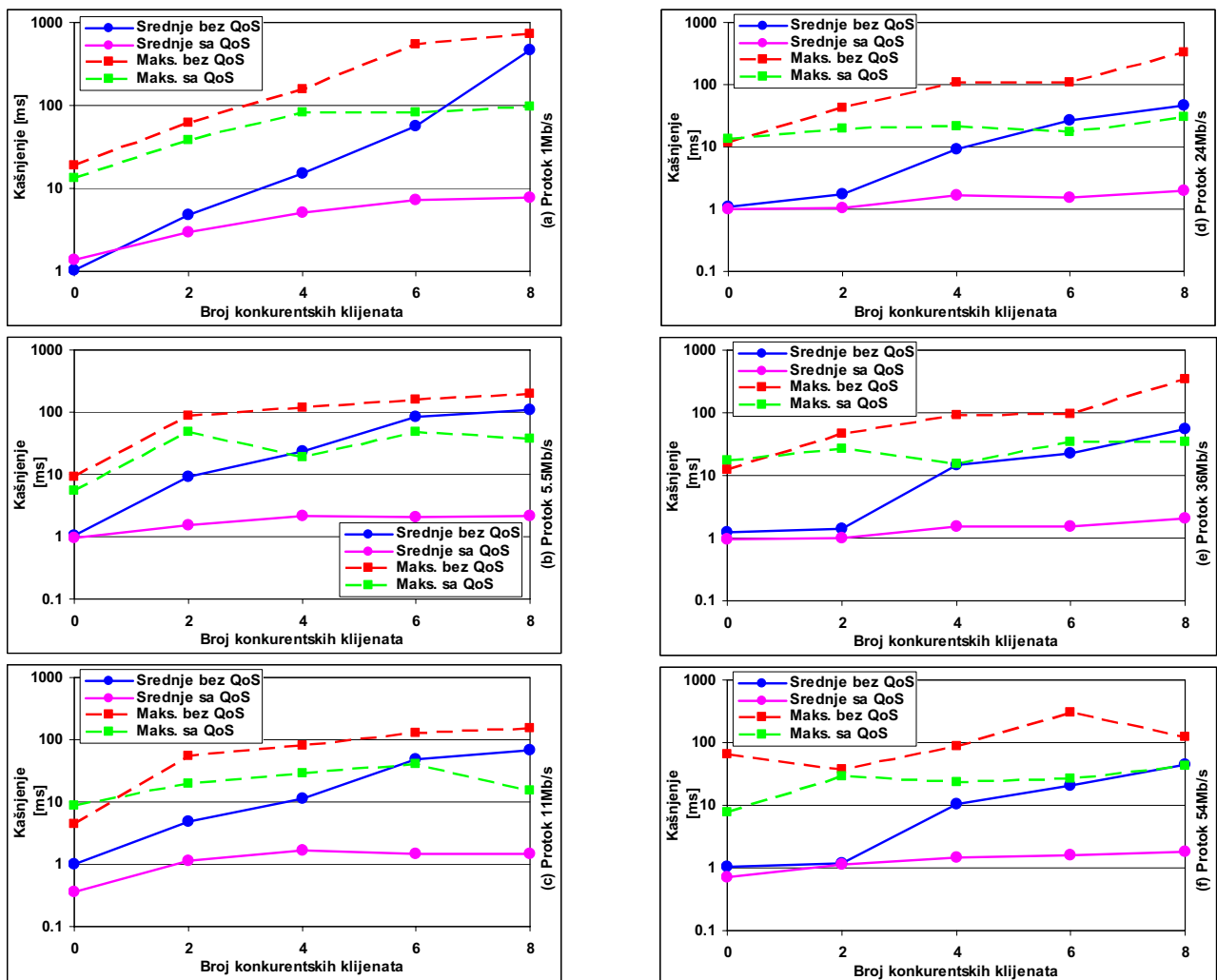
Sa obzirom na to da realno ostvarivi protok klijenta zavisi od njegove udaljenosti od AP, kao i da su udaljenosti klijenata od AP u mernoj topologiji bile relativno male, merenja su vršena tako što je WLAN mreža forsirana da radi na protocima 1, 5.5, 11, 24, 36 i 54Mb/s. Na ovaj način su analizom obuhvaćeni i realni slučajevi većih udaljenosti klijenata od AP.

Svako pojedinačno merenje vršeno je 5 puta, a kao rezultat su uzete srednje vrednosti parametara, sem u slučaju maksimalnog kašnjenja kad je uzeta maksimalna vrednost iz svih 5 pojedinačnih merenja. Trajanje jednog merenja bilo je 30 sekundi, a pred svako merenje je izvršena sinhronizacija. Za simulaciju VoIP paketa korišćen je G.729.2 kodek, bez uključenih opcija kompresije RTP (*Real-time Transport Protocol*) zaglavlja i detekcije tišine, sa protokom na aplikativnom sloju 12,8kb/s i 24kb/s na fizičkom sloju. Slanje VoIP paketa vršeno je na svakih 20ms.

Parametri koji definišu funkcionisanje EDCA, za svaku AC imali su *default* vrednosti za korišćeni AP (Tabela 1).

TABELA 1: VREDNOSTI EDCA PARAMETARA

Access Category		AC_BK	AC_BE	AC_VI	AC_VO
CWmin	AP	5	5	4	2
	Client	5	4	4	2
CWmax	AP	10	6	5	4
	Client	10	10	5	3
AIFSN	AP	7	3	1	1
	Client	7	3	2	2
TXOP Limit	AP	0	0	3008	1504
	Client	0	0	3008	1504



Sl. 3. Srednje i maksimalno kašnjenje u zavisnosti od broja konkurentskih klijenata i protoka

Merenja su izvršena na prvom kanalu – 2412 MHz, za koji je utvrđeno da je slobodan. Pri merenjima u okviru WLAN mreže korišćen je *Open Key* sistem autentifikacije. Svi ostali parametri AP su bili podešeni na *default* vrednosti. Za verifikaciju rada AP i klijenata korišćen je softverski paket *Airmagnet Laptop Analyzer* [5], koji poseduje mogućnost praćenja WLAN frejmova.

#### IV. REZULTATI MERENJA

Izmerene vrednosti srednjeg i maksimalnog kašnjenja, po svim protocima, za slučajeve uključenog i isključenog QoS mehanizma, prikazane su na Sl. 3, dok su vrednosti srednjeg *jitter*-a, za navedene slučajeve prikazane na Sl.4. Procenat izgubljenih paketa po svim protocima, za slučajeve uključenog i isključenog QoS mehanizma, dat je u Tabeli 2.

Rezultati merenja pokazuju da su srednja i maksimalna kašnjenja sa primenjenim QoS mehanizmom značajno manje vrednosti, u odnosu na slučaj isključenog QoS mehanizma (Sl.3). Čak i pri najvećim opterećenjima mreže, srednja kašnjenja sa primenjenim QoS mehanizmom su ispod 10ms. To nije bio slučaj bez QoS-a, pogotovo za protoke 1 i 5.5Mb/s, i najveća opterećenja, kada su vrednosti srednjeg kašnjenja bile približne ili čak preko maksimalne dozvoljene vrednosti od 150ms.

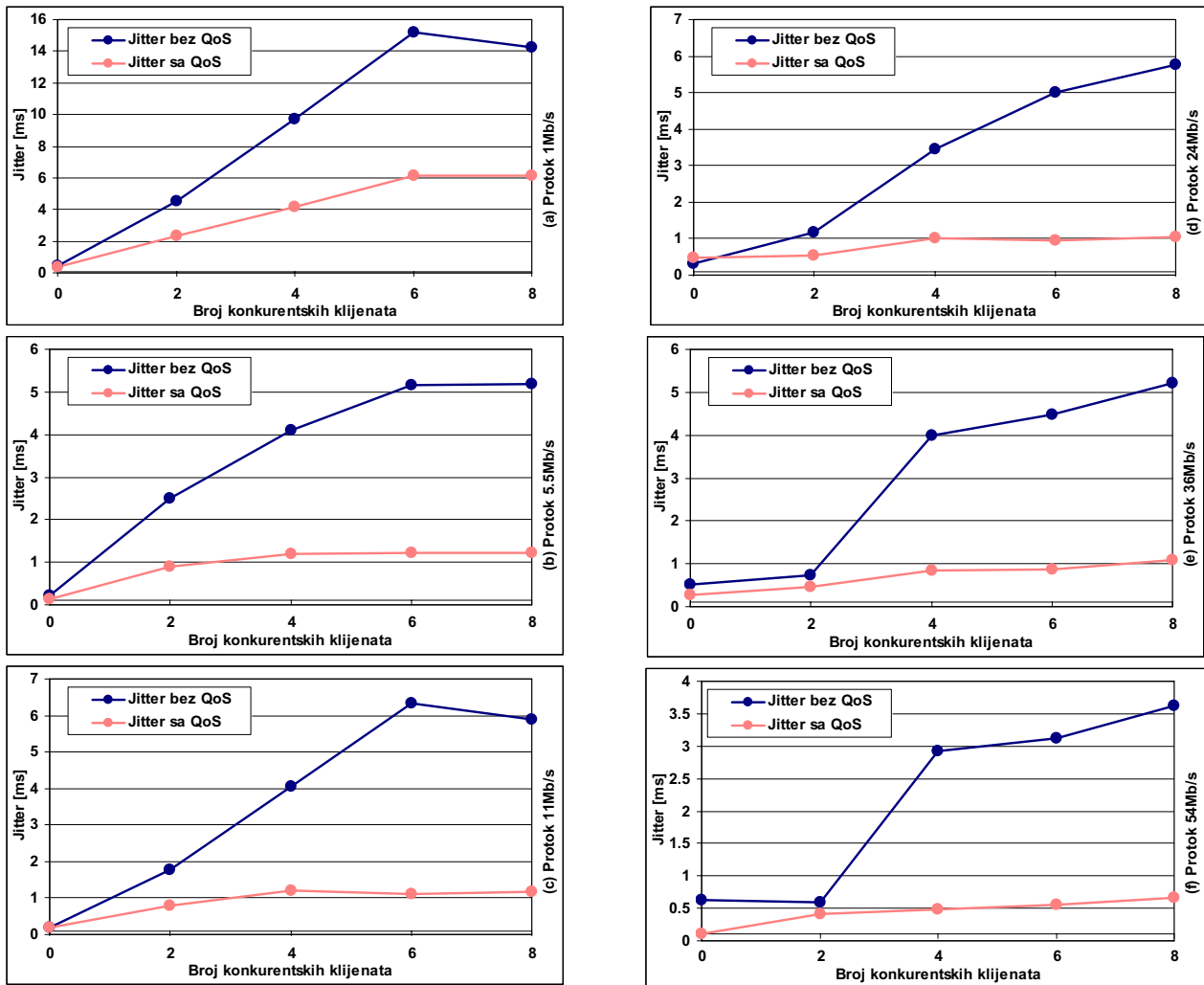
Maksimalna kašnjenja su primenom QoS mehanizma svedena na vrednosti ispod 100ms, što nije bio slučaj bez QoS-a, kada su pri znatnim opterećenjima mreže maksimalna kašnjenja često bila veća od 150ms.

Na Sl.4 pokazano je da se primenom QoS mehanizma srednji *jitter* smanjuje i po nekoliko puta. Najmanje procentualno smanjenje srednjeg *jitter*-a je u slučaju protoka 1Mb/s i iznosi približno 50%. Za protoke veće od 1Mb/s srednji *jitter* je sveden na vrednosti manje od 1.5ms, čak i pri najvećim opterećenjima mreže.

Kada je reč o broju izgubljenih paketa, iz Tabele 2 se vidi da se primenom QoS mehanizma on sveden na nulu sem u slučaju protoka 1Mb/s, kada ostaje približno isti.

TABELA 2: PROCENAT IZGUBLJENIH VOIP PAKETA

Broj konkurentskih klijenata	0	2	4	6	8
1Mb/s bez QoS	0.00	0.00	0.00	0.07	0.20
1Mb/s sa QoS	0.00	0.00	0.13	0.07	0.13
5.5Mb/s bez QoS	0.00	0.07	0.13	0.07	0.07
5.5Mb/s sa QoS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11Mb/s bez QoS	0.00	0.00	0.07	0.33	0.20
11Mb/s sa QoS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24Mb/s bez QoS	0.00	0.00	0.20	0.27	10.93
24Mb/s sa QoS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36Mb/s bez QoS	0.00	0.00	0.40	0.40	0.47
36Mb/s sa QoS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
54Mb/s bez QoS	0.00	0.00	0.27	0.40	0.47
54Mb/s sa QoS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Sl. 4. Srednji *jitter* u zavisnosti od broja konkurentskih klijenata i protoka

## V. ZAKLJUČAK

Merenjem je pokazano da je QoS mehanizam definisan u okviru IEEE 802.11e standarda veoma efikasan, što je naročito izraženo pri značajnijim opterećenjima mreže. Dobijeni rezultati merenja pokazuju da se korišćenjem QoS mehanizma dobijaju značajno manje vrednosti srednjeg i maksimalnog kašnjenja, *jitter*-a i broja izgubljenih paketa, u odnosu na slučaj isključenog QoS mehanizma.

Dalja ispitivanja bi trebala biti usmerena u pravcu optimizacije EDCAF parametara ( $CW_{min}$ ,  $CW_{max}$ , AIFS, TXOP) analizom uticaja njihovih promena na promene kvaliteta govornog servisa, kao i određivanje njihovog uticaja na maksimalno realno ostvarivi protok u mreži. Pored toga, trebalo bi izvršiti analizu uticaja RTS/CTS mehanizma i fragmentacije frejmova, kao i uspostavljanja simetrije na *uplinku* i *downlinku*, na kvalitet prenosa govora.

## ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju kolegama iz lokalne kancelarije kompanije Cisco Systems u Beogradu, na ustupljenoj opremi koja je bila deo merne topologije i bez koje izrada ovog rada ne bi bila moguća.

## LITERATURA

- [1] IEEE Standard 802.11e – 2005
- [2] IEEE Standard 802.11 – 2007
- [3] O. Aboul-Magd, *Wireless Local Area Networks Quality of Service*. New York: IEEE Press, 2007, pp. 97–145.
- [4] <http://www.grid.unina.it/software/ITG/>
- [5] [www.airmagnet.com](http://www.airmagnet.com)

## ABSTRACT

Experimental evaluation of QoS mechanism defined in IEEE 802.11e standard is presented in this paper. Measurements were carried out in controlled laboratory conditions, with and without configured QoS. Mean and maximum delay, jitter and packet loss are measured in voice communications between two clients, with competitive best effort traffic. The results show that QoS mechanism bring significant improvements in the transmission of speech, which is especially significant in the case of saturated network.

## EXPERIMENTAL EVALUATION OF EDCA IN VOICE TRANSMISSION WITH COMPETITIVE BEST EFFORT TRAFFIC

Mladen T. Koprivica, Mladen M. Ilić, Aleksandar M. Nešković, Nataša J. Nešković