

Simulacija pristupne ravni u IEEE 802.11b/g QoS mrežama

Ljubica Pajević, Nataša Nešković

Sadržaj — U ovom radu izvršena je procena performansi infrastrukturne 802.11e mreže, u oba HCF (*Hybrid Coordination Function*) moda rada - EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*) i HCCA (*HCF Controlled Channel Access*). Pored poređenja prethodnih metoda u pogledu brzine protoka korisničkih podataka, međusobno i u odnosu na teoretski dobijene vrednosti, u okviru ovog rada predstavljene su i dodatne analize: procena uticaja primenjene modulacije na protok, kao i merenje protoka različitih kategorija saobraćaja i srednjeg kašnjenja paketa.

Gljučne reči — EDCA, HCCA, HCF, MAC layer, QoS, WLAN.

I. UVOD

Porastom popularnosti multimedijalnih aplikacija kao što su Internet telefonija, audio i video *streaming*, interaktivne igre, javlja se i potreba da se korisnicima obezbedi pristup multimedijalnim servisima kroz WLAN (*Wireless Local Area Network*) konekcije. Multimedijalne aplikacije zahtevaju određeni nivo kvaliteta servisa - QoS (*Quality of Service*), kojim se u mreži obezbeđuje garantovani protok, procenat izgubljenih paketa, ograničeno kašnjenje i varijacija kašnjenja (*jitter*), itd.

Prema starijim verzijama standarda IEEE 802.11, koji definiše podsloj kontrole pristupa bežičnom medijumu-MAC (*Medium Access Control*) i fizički- PHY (*Physical*) sloj WLAN mreža, dizajn slojeva je podržavao prenos podataka na principu *Best Effort*, gde nije postojala klasifikacija saobraćaja po prioritetu ili parametrima prenosa. U takvoj arhitekturi, paketi podataka različitih servisa tretiraju se na isti način, pa zbog čekanja u redovima za slanje može doći do gubitka paketa ili predugog kašnjenja paketa, što je neprihvatljivo za osetljive multimedijalne servise.

Stoga se u okviru najnovije verzije standarda [1] uvodi IEEE 802.11e, amandman koji se odnosi na podršku kvaliteta servisa u WLAN mrežama. Osnovni MAC mehanizam je DCF (*Distributed Coordination Function*), distribuirana metoda pristupa bežičnom medijumu koja se bazira na CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) protokolu. Druga dva mehanizma, koja predstavljaju nadogradnju DCF metoda su PCF (*Point Coordination Function*) i hibridna koordinaciona funkcija HCF (*Hybrid Coordination Function*), definisana u okviru IEEE 802.11e. HCF obuhvata dva nova metoda pristupa - EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*) i HCCA (*HCF Controlled Channel Access*).

II. QoS OGRANIČENJA 802.11 MAC

Najvažnije funkcije koje MAC sloj bežičnih mreža treba da podrži su kontrola pristupa kanalu, pružanje kvaliteta servisa (QoS) aplikacijama viših slojeva i funkcije koje obezbeđuju sigurnost u mreži. Kao i ostale funkcije, obezbeđivanje kvaliteta servisa predstavlja znatno složeniji zadatak u bežičnim nego u infrastrukturnim mrežama. Bežični linkovi imaju specifične karakteristike: relativno veliki procenat izgubljenih paketa, gubitak niza paketa, prijem paketa van redosleda, veliko kašnjenje i *jitter*. Protoci u bežičnom kanalu znatno su manji, a verovatnoća greške na fizičkom sloju veća je i do tri reda veličine u WLAN nego u LAN mrežama. Takođe, rezultat čestih kolizija i retransmisija je nepredvidivo kašnjenje paketa, što degradira kvalitet *real-time video* i govornih servisa.

III. HCF MEHANIZMI PRISTUPA BEŽIČNOM MEDIJUMU

A. EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*)

EDCA definiše četiri kategorije pristupa (AC- *Access Category*) za različite tipove saobraćaja: *Voice*, *Video*, *Best Effort* i *Background*. Diferenciranje servisa uvodi se na taj način što se, pri nadmetanju za medijum, za svaku AC koristi pridruženi set parametara. Saobraćaj se mapira u AC kategorije na osnovu prioriteta saobraćaja (UP- *User Priority*), definisanih u okviru IEEE 802.1p. Postoji osam UP. Paketima se dodeljuje odgovarajuća vrednost zavisno od tipa aplikacije, odnosno saobraćaja kom pripada, [1].

QoS stanica održava četiri reda za predaju paketa (za svaku AC) i četiri nezavisne tzv. *EDCA funkcije* za svaki red čekanja. EDCAF (*EDCA Function*) koristi unapređenu verziju DCF i nadmeće se za medijum na principima CSMA/CA i *backoff* algoritmu (kao i DCF), ali uzimajući u obzir parametre specifične za tu kategoriju. EDCAF svih stanica se nadmeću za TXOP (*Transmission Opportunity*). TXOP predstavlja ograničen vremenski interval u toku kojeg stanice mogu slati podatke u redu čekanja za odgovarajuću kategoriju, i to ukoliko vreme potrebno za slanje određenog okvira ne prelazi dužinu trajanja TXOP (kada to nije slučaj, vrši se fragmentacija pre slanja).

Svakoj EDCAF pridružen je set parametara koji uključuje:

- AIFS – vremenski period tokom kojeg je medijum slobodan pre nego se započne predaja paketa ili *backoff* procedura; jednak je celobrojnom umnošku AIFSN (*AIFS Number*) i vremena trajanja slot;
- CW_{min} i CW_{max} – veličine konkurentskog prozora korišćenog za *backoff* (minimalna i maksimalna vrednost širine prozora);

Ljubica Pajević, KTH, Stockholm, ljubica.pajevic@ee.kth.se
Nataša Nešković, Elektrotehnički fakultet, Beograd, natasha@etf.rs

- TXOP Limit – maksimalno trajanje predaje nakon pristupanja medijumu.

Vrednosti EDCA parametara razlikuju se kod AC kategorija. AC višeg prioriteta imaju manje vrednosti AIFSN, tj. čekaju kraće vreme pre nego što pokušaju da pristupe kanalu, dok nasuprot tome- AC nižeg prioriteta čekaju duže. Takođe, veličine CW_{min} i CW_{max} su manje za AC višeg prioriteta. TXOP Limit se podešava tako da AC višeg prioriteta dobijaju mogućnost predaje tokom dužeg vremenskog intervala. Dakle, viši prioritet neke AC podrazumeva manji period čekanja (AIFS), manje konkurentske prozore i duže vreme predaje, ograničeno sa TXOP Limit.

Kako su EDCA parametri pridruženi pojedinačnim AC, u standardu se koriste oznake AIFS[AC], CW_{min} [AC], CW_{max} [AC] i TXOP Limit[AC]. Osnovna razlika u odnosu na DCF je što EDCA koristi promenljive parametre, specifične za svaku kategoriju, umesto parametara DCF koji su isti za sve klase saobraćaja. Tabela 1. daje standardom predefinisane vrednosti ovih parametara.

TABELA 1: STANDARDNI EDCA PARAMETRI.

AC	CW_{min}	CW_{max}	AIFSN
AC_VO	7	15	2
AC_VI	15	31	2
AC_BE	31	1023	3
AC_BK	31	1023	7

EDCAF u okviru stanice funkcionišu kao virtuelne stanice, svaka funkcija nezavisno od drugih pokušava da dobije svoj TXOP. Postoje dva nivoa nadmetanja. Na internom nivou postoji nadmetanje između EDCAF jedne stanice, a na eksternom između EDCAF različitih stanica. Interna kolizija (koristi se i termin *virtuelna*) nastaje u situaciji gde, nakon isteka *backoff* vremena, dve ili više stanica istovremeno pokušavaju da pristupe medijumu. U tom slučaju, pristup medijumu garantovan je EDCAF najvišeg prioriteta AC od svih EDCAF koje učestvuju u koliziji. Ostale stanice ponašaju se kao u slučaju da je nastala eksterna kolizija, tj. udvostručice svoje konkurentske prozore i započeti *backoff* proceduru.

B. HCCA (HCF Controlled Channel Access)

Kod HCCA metoda takođe se koriste TXOP, ali sada mogućnost pristupa bežičnom medijumu određuje centralni element mreže - HC (*Hybrid Coordinator*). HC vrši funkcije planiranja rasporeda po kojem će prozivati stanice i razvrstavanja tokova podataka u redove, a na osnovu specifičnog dogovora sa stanicama na nivou sesije, kvalitet servisa se može konfigurisati sa velikom preciznošću. HC je centralizovani koordinator, ali se razlikuje od PC (*Point Coordinator*) iz PCF metode u nekoliko značajnih funkcija. Najvažnija razlika je da se razmena okvira između stanica u mreži može neometano obavljati kako tokom perioda bez nadmetanja, CFP (*Contention Free Period*), tako i tokom perioda nadmetanja- CP (*Contention Period*). Druga bitna razlika je da HC dodeljuje stanicama TXOP, dužina specificiranih u *polling* okviru i u toku kojih stanice mogu vršiti predaju u skladu sa ograničenjem trajanja TXOP. Ovaj metod uvodi kontrolu prijema saobraćajnih tokova, kako se ne bi

narušio kvalitet servisa već postojećih tokova. Postoje dva tipa kontrole prijema: *Contention-based* kontrola prijema (zasniva se na diferenciranju saobraćaja po prioritetu) i *Controlled-access* (ugovaraju se striktni parametri prenosa- zahtevani minimalni protok, maksimalno dozvoljeno kašnjenje i *jitter*, itd).

IV. REZULTATI SIMULACIJA

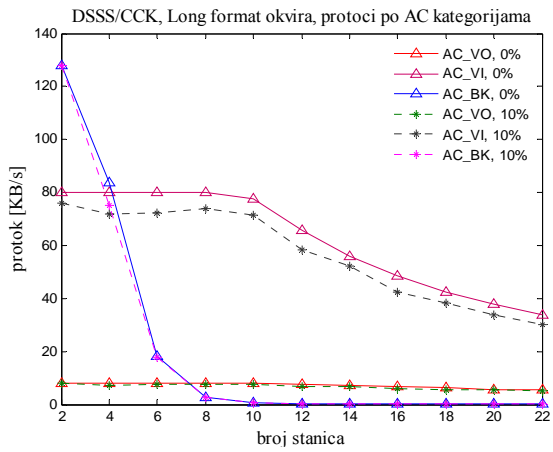
U okviru okruženja programskog jezika C, implementiran je simulator 802.11e mreže. Izvršene su simulacije za različite scenarije kako bi se upoređili mehanizmi pristupa bežičnom medijumu i odredili maksimalni protoci u realnim situacijama, kao i srednje kašnjenje paketa i protoci koje ostvaruju različite EDCAF funkcije. Topologija posmatrane mreže zasnovana je na infrastrukturnom modelu, sastoji se od jednog BSS (*Basic Service Set*) i promenljivog broja bežičnih stanica koje se povezuju sa centralnim AP-om (*Access Point*). Da bi se odredio maksimalni protok, posmatra se slučaj bez grešaka u prenosu, a simulirane su i situacije u kojima se uvodi određeni procenat izgubljenih paketa, kako bi se analiziralo i stanje mreže koje je bliže realnim situacijama od prethodno navedenog. Uvođenje procenta izgubljenih paketa je, zapravo, grubo modelovanje uzroka koji mogu dovesti do gubitka paketa ili prijema neispravnog paketa. Uzroci neuspešnog prenosa paketa u bežičnim mrežama su: interferencije u opsegu rada mreže, prijem signala nedovoljnog nivoa, *multipath* i *fading* usled kretanja stanica.

U okviru stanica implementirana je HCF funkcija. Sve stanice u mreži (uključujući i AP) su QoS stanice. Posmatrani su scenariji u kojima stanice koriste mehanizam pristupa medijumu na osnovu prioriteta saobraćaja (EDCA mehanizam) i scenariji u kojima se pristup bazira na parametrima prenosa (HCCA). U cilju upoređivanja ovih mehanizama, u HCCA modu rada predviđeno je da se sva komunikacija obavlja "prozivanjem" stanica, a ne i njihovim slobodnim pristupom tokom CP. Primenjen je i jednostavan algoritam kontrole prijema saobraćajnih tokova.

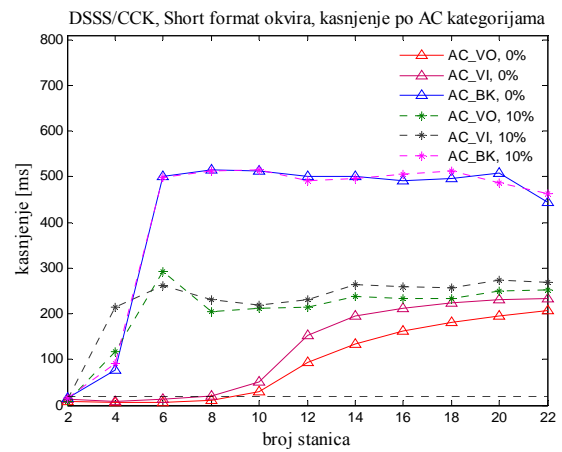
Na fizičkom sloju implementirane su dve tehnike prenosa: DSSS/CCK (*DSSS/Complementary Code Keying*) prenos (802.11b mreže) i DSSS-OFDM (802.11g mreže). Kod CCK modulacije korišćeni su i *Long* (duži) i *Short* (kraći) format okvira. Saobraćaj svih kategorija generiše se na principu CBR (*Constant Bit Rate*), tj. paketi se generišu u konstantnim vremenskim intervalima. U simulacijama sve stanice (po AC kategorijama) generišu pakete iste veličine. Paketi stariji od vremena *MSDULifeTime* se odbacuju. Tabela 2 daje pregled EDCAF parametara korišćenih u simulacijama.

TABELA 2: EDCAF PARAMETRI KORIŠĆENI U SIMULACIJAMA.

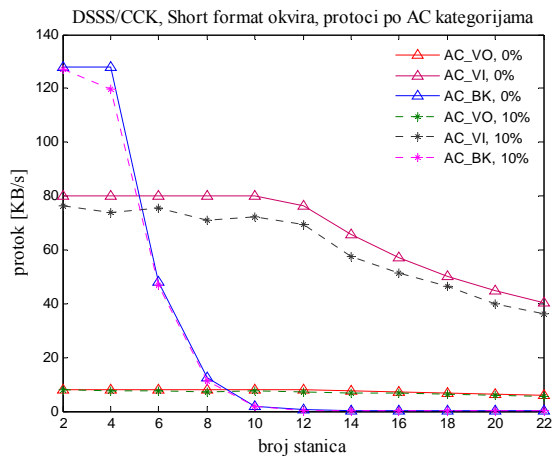
AC	AC_VO	AC_VI	AC_BK
Veličina paketa (<i>Byte</i>)	160	1280	1600
Interval između paketa (<i>ms</i>)	20	16	12.5
Generisani protok (<i>KByte/s</i>)	8	80	128



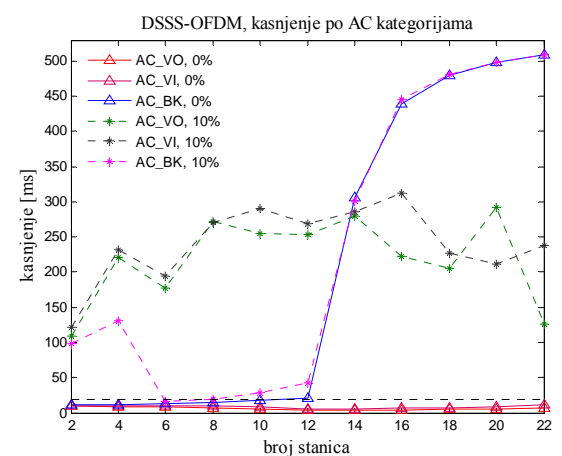
Sl. 1 Protoci po AC kategorijama za CCK (*Long* format)



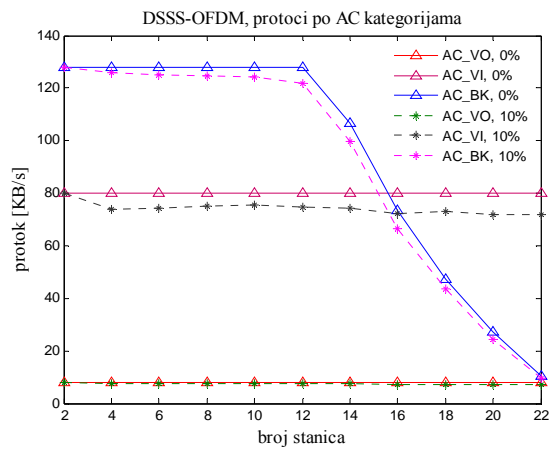
Sl. 5 Srednja kašnjenja po AC kat. za CCK (*Short* format)



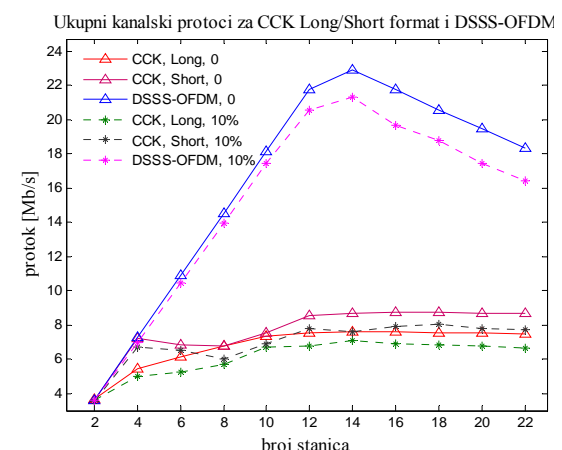
Sl. 2 Protoci po AC kategorijama za CCK (*Short* format)



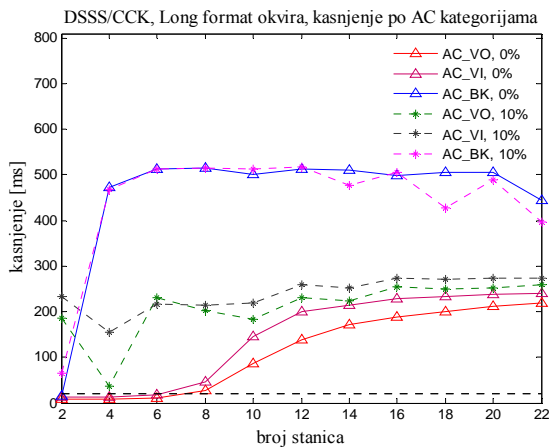
Sl. 6 Srednja kašnjenja po AC kat. za DSSS-OFDM



Sl. 3 Protoci po AC kategorijama za DSSS-OFDM



Sl. 7 EDCA: protoci za CCK Long/Short format i DSSS-OFDM

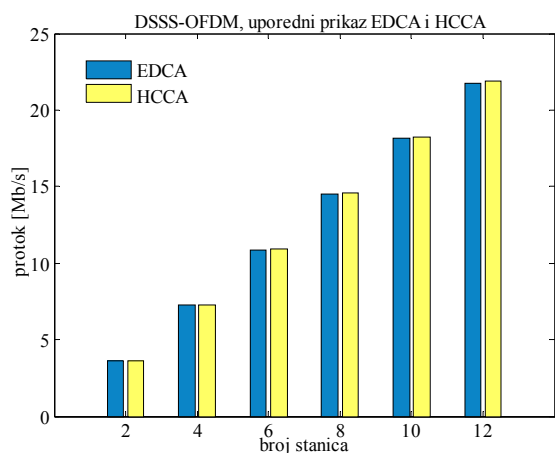


Sl. 4 Srednja kašnjenja po AC kat. za CCK (*Long* format)

Sl. 1-7 prikazuju rezultate dobijene simulacijama u EDCA modu rada, a Tabelom 3. i Sl. 8 uporedno su prikazani dobijeni protoci za HCCA i EDCA mehanizme, za različite tehnike prenosa.

TABELA 3: KANALSKI PROTOCI ZA HCCA I EDCA, DSSS/CCK PRENOS.

Broj stanica	Protok [Mb/s]			
	HCCA (Short PPDU)	HCCA (Long PPDU)	EDCA (Short PPDU)	EDCA (Long PPDU)
2	3.63	3.68	3.61	3.66
4	7.27	7.37	7.22	5.43



Sl. 8 Protoci za HCCA i EDCA; DSSS-OFDM prenos, bez grešaka u prenosu

V. ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da se dobijeni protoci u velikoj meri razlikuju od teoretskih vrednosti. Korisnički podaci, tj. podaci koji stižu sa viših slojeva na MAC sloj, koriste samo deo ukupnog kanalskog protoka, jer MAC i fizički sloj dodaju svoje informacije, koje nisu od značaja za korisnika, ali su neophodne za ispravno funkcionisanje slojeva. U cilju povećanja korisnog protoka, teži se smanjenju količine suvišnih informacija i/ili primeni efikasnijih modulacija, npr. korišćenje kraćeg formata okvira. Međutim, time se postiže slabija zaštita okvira na pojavu grešaka u prenosu. Uz to, deo protoka koristi se i za slanje upravljačkih i kontrolnih informacija, neophodnih za ispravan rad mreže.

Dobijeni maksimalni protoci za EDCA metod iznose 7.6Mb/s (duži format) i 8.7Mb/s (kraći format) za DSSS/CCK, odnosno 22.8Mb/s kod DSSS-OFDM, uz pretpostavku da u prenosu ne nastaju greške. Kada se uzme u obzir i procenat izgubljenih paketa (10%), protoci padaju na 8.1Mb/s i 7.1Mb/s, odnosno 21.3Mb/s.

Standardom definisani parametri EDCA kategorija favorizuju saobraćaj viših kategorija, ali istovremeno i onemogućavaju pristup kategorijama nižih prioriteta. Primećuje se da su u 802.11b mrežama, sa porastom broja stanica, tokovi saobraćaja nižeg prioriteta ozbiljno „ugroženi“ od strane saobraćaja višeg prioriteta. Iako se u scenarijima sa većim brojem stanica dobijaju i nešto viši kanalski protoci, preneti saobraćaj uglavnom čine paketi viših prioriteta (*voice* i *video*).

EDCA metod je primenjiv u situacijama kada je dovoljno izvršiti jednostavnu prioritizaciju saobraćaja (za aplikacije koje nisu vremenski zahtevne), ali ne i tamo gde je neophodno podržati striktno uslove prenosa. Primer za to je kašnjenje paketa na nivou MAC sloja. Kada postoji gubitak paketa u prenosu (realan slučaj), pre retransmisije, stanice moraju da čekaju relativno dugo vreme kako bi ponovo pristupile radio-kanalu, a paketi se gomilaju u redovima za slanje. To dovodi do velikog kašnjenja u prenosu paketa, a deo paketa se i odbacuje zbog predugog čekanja u izlaznom baferu.

Sa druge strane, HCCA metod obezbeđuje tražene parametre servisa za sve primljene tokove. Za aplikacije koje generišu *video* i *voice* pakete, neophodan je

konstantan tok paketa, određenog maksimalnog kašnjenja paketa i bez velikih varijacija u kašnjenju. To se rešava postavljanjem odgovarajuće vrednosti servisnog intervala, tako da ona bude manja od specificirane vrednosti maksimalnog servisnog intervala svih tokova.

U izvršenim simulacijama HC je, na osnovu parametara saobraćajnih tokova, prihvatao manji broj stanica nego što je u slučaju EDCA moda bilo opsluženo, odnosno maksimalan broj stanica je 4 za 802.11b i 12 za 802.11g mrežu. Međutim, kada se analiziraju grafici koji prikazuju protoke po EDCA kategorijama saobraćaja, jasno je da maksimalni broj stanica izračunat algoritmom HCCA kontrole prijema odgovara graničnom broju stanica koje mogu biti opslužene, na šta ukazuje pad protoka *background* saobraćaja. Ukupni protoci su u ovim slučajevima približno jednaki. Maksimalni protok u HCCA modu iznosi 22.9Mb/s (42% iskorišćenja) za DSSS-OFDM i 7.4Mb/s (67%) za DSSS/CCK (prenos je bez gubitaka paketa).

HCF uvodi znatna poboljšanja u pogledu kvaliteta servisa i omogućava pristup multimedijalnim servisima u 802.11 mrežama. Dalja poboljšanja HCF mogla bi da uključuju optimalnije podešavanje EDCA parametara ili efikasniji algoritam „prozivanja“ stanica kod HCCA pristupa.

LITERATURA

- [1] IEEE Standard 802.11 2007 (Revision of IEEE Std. 802.11 – 1999)
- [2] Lj. Pajević. Master rad: *Simulacija pristupne ravni u IEEE 802.11b i IEEE 802.11g mrežama uzimajući u obzir zahteve po pitanju kvaliteta saobraćaja*, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2009.
- [3] J. Farooq, B. Rauf, *Implementation and Evaluation of IEEE 802.11e Wireless LAN in GloMoSim*, Department of Computing Science Umeå University.
- [4] B.H. Walke, S. Mangold, L. Berlemann, *IEEE 802.11 Wireless Systems*, John Wiley and Sons, 2006.
- [5] N.R. Prasad, A.R. Prasad, *802.11 WLANs and IP Networking*, Norwood, MA: Artech House, 2005
- [6] D. G.U, J. Zhang, *QoS Enhancements in IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks*, IEEE Communications Magazine, June 2003, pp. 120-124
- [7] Engelstad, P.E., Österbö, O., *Analysis of QoS in WLAN*, <http://folk.uio.no/paalee>
- [8] Y. Ge, J.C. Hou, S. Choi, *An Analytic Study of Tuning Systems Parameters in IEEE 802.11e Enhanced Distributed Channel Access*, Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, jun 2007.
- [9] Q. Ni, L. Romdhani, T. Turetli, *A Survey of QoS Enhancements for IEEE 802.11 Wireless LAN*, Journal of Wireless Communications and Mobile Computing, Wiley 2004, Vol. 4, Issue 5, pp.547-566.

ABSTRACT

In this paper we evaluate performance of infrastructure 802.11e network, in both HCF operating modes: EDCA and HCCA. Beside comparing these two mechanisms in terms of total network throughput (between themselves as well as against the theoretical limit), in this paper we introduce further analyses: impact of modulation scheme on total throughput, measurements of throughput for different traffic categories and average packet delivery delay.

SIMULATION OF USER PLANE IN IEEE 802.11b/g QoS NETWORKS

Ljubica Pajević, Nataša Nešković