

Primena IEEE 802.11e standarda na prenos VoIP i video signala

Mihajlo J. Urban

Sadržaj — U ovom radu dat je pregled IEEE 802.11e standarda kao mehanizma za uvođenje kvaliteta servisa u bežične lokalne mreže. Na samom početku opisan je način pristupa bežičnom medijumu definisan u izvornom IEEE 802.11 standardu. Zatim je opisano proširenje tog standarda mehanizmima kvaliteta servisa dato u IEEE 802.11e standardu. Na kraju, u trećem i četvrtom poglavlju, opisana primena ovih mehanizama na prenos audio i video signala.

Ključne reči — EDCF, H.264, IEEE 802.11e, QoS, Video, VoIP, WLAN.

I. UVOD

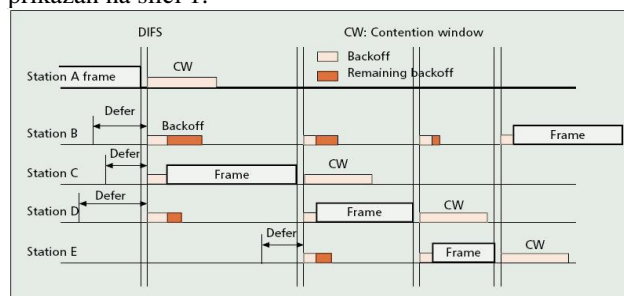
BEŽIČNE lokalne mreže današnjice su široko rasprostranjene i implementirane u velikom broju poslovnih zgrada, domaćinstava i *hot-spot*-ova. Aplikacije koje koriste IEEE 802.11 standard za pristup bežičnom medijumu se razvijaju svakodnevno, a korisnici zahtevaju sve više novih servisa i funkcionalnosti. Svakako jedna od najbitnijih funkcionalnosti je podrška aplikacijama koje zahtevaju kvalitet servisa. Implementacija prenosa video, audio, i drugih multimedijalnih aplikacija koje se prenose u realnom vremenu nije moguća bez mehanizama kvaliteta servisa.

II. MEHANIZAM PRISTUPA BEŽIČNOM MEDIJUMU PO IZVORNOM 802.11 STANDARDU

Standard 802.11 definiše arhitekturu pristupa bežičnoj mreži na MAC i fizičkom sloju. Definisana su dva načina pristupa MAC sloju: DCF (*Distributed Coordination Function*) i PCF (*Point Coordination Function*). DCF koristi CSMA/CA i poznat je po asinhronom prenosu podataka. Za razliku od DCF-a, PCF koristi centralno kontrolisan mehanizam prozivanja bežičnih stanica i podržava sinhroni prenos.

DCF je osnovni mehanizam pristupa medijumu i za *ad hoc* i za infrastrukturni mod rada. Procedura pristupa medijumu je sledeća. Po DCF-u svaka stanica koja želi da emituje podatke prvo proverava da li je medijum slobodan, odnosno da li neka druga stanica već vrši prenos. Ukoliko je detektovan slobodan medijum u DIFS (*Distributed InterFrame Space*) intervalu vremena, slanje paketa može početi odmah. Ukoliko je detektovano zauzeće medijuma, stanica će odložiti slanje dok se ne završi započeti prenos, odnosno dok se ne oslobodi medijum. Kada detektuje da je medijum slobodan stanica generiše interval pseudoslučajne

dužine koji predstavlja period odlaganja slanja i započinje odbrojanje u smislu smanjivanja dužine perioda sve dok je medijum slobodan. Po isteku intervala započinje slanje paketa. Dužinu intervala odlaganja slanja bira iz intervala od 0 do CW (*Contention Window* – kolizioni prozor). Interval odlaganja slanja se dekrementira za jedan svaki put kad je medijum slobodan u dužini jednog intervala slanja (*Slot Time*). Ako u procesu odbrojanja neka druga stanica započne slanje, proces odbrojanja se zaustavlja, preostalo vreme čekanja se pamti, a odbrojanje preostalog vremena se nastavlja kada medijum ponovo postane slobodan. Ako slanje ne bude uspešno smatra se da je došlo do kolizije. U tom slučaju dužina kolizionog prozora CW se udvostručava i započinje nova procedura čekanja odnosno odlaganja slanja. Ovaj proces se ponavlja sve dok prenos paketa ne bude uspešan ili se paket ne odbaci. Ova procedura utiče na poboljšanje stabilnosti mehanizama pristupa medijumu u uslovima zagušenja. Procedura odlaganja slanja se koristi da bi se smanjila mogućnost kolizija, biranjem različitih perioda čekanja pre slanja paketa. Krajnji efekat ove procedure je da će nakon osobađanja medijuma stanica sa najmanjim intervalom čekanja prva zauzeti medijum i započeti slanje svog paketa. S obzirom da vrednosti CWmin i CWmax zavise isključivo od fizičkih karakteristika medijuma, ovi parametri će biti isti za sve stanice, što znači da neće postojati razlike u prioritetu i tipu saobraćaja. Sve stanice i sve kategorije saobraćaja će imati isti prioritet prilikom pristupa bežičnom medijumu. Odavde vidimo da DCF ne može podržati različite zahteve aplikacija u pogledu kašnjenja i propusnog opsega. DCF mehanizam je prikazan na slici 1.



Sl. 1. DCF procedura slanja paketa.

PCF obezbeđuje mehanizam pristupa medijumu bez kolizija i predstavlja mehanizam prozivanja stanica od strane centralnog koordinatora PC (*Point Coordinator*). PCF ima i veći prioritet u odnosu na DCF i može ranije započeti slanje paketa jer je vreme čekanja kraće od DIFS. Implementacija PCF mehanizma u bežičnim uređajima je opcionalna, i proizvođači bežičnih uređaja ga najčešće ne

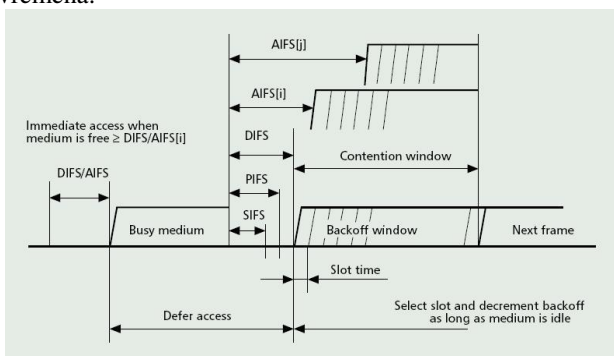
implementiraju u svojoj opremi.

III. MEHANIZAM PRISTUPA BEŽIČNOM MEDIJUMU PO 802.11E STANDARDU

Da bi podržala aplikacije sa QoS potrebama IEEE 802.11 radna grupa je definisala 802.11e standard. Osnovu 802.11e standarda čine dva nova mehanizma pristupa bežičnom medijumu koji se nazivaju poboljšana DCF ili EDCF (*Enhanced Distribution Coordination Function*) i HCF (*Hybrid Coordination Function*).

EDCF je mehanizam pristupa medijumu u režimu rada sa kolizijama. Kvalitet servisa se realizuje uvođenjem kategorija saobraćaja TC (*Traffic Category*). EDCF obezbeđuje različit prioritet pristupa bežičnom medijumu za osam različitih prioriteta stanica. Ovo je realizovano definisanjem četiri različite kateorije pristupa medijumu AC (*Access Category*), u okviru kojih je moguće definisati osam različitih prioriteta za stanice. Svaka bežična stanica može podržati do četiri različite kategorije pristupa sa osam različitih prioriteta saobraćaja.

U okviru svake AC vrši se pristup medijumu po unapređenoj varijanti DCF-a. AC-u sa većim prioritetom se dodeljuje kraći CW, čime se u najvećem broju slučajeva obezbeđuje da AC sa većim prioritetom izvrši slanje saobraćaja pre AC-a sa nižim prioritetom. Ovo se realizuje podešavanjem CW parametara $CW_{min}[AC]$ i $CW_{max}[AC]$, koji definišu interval iz koga $CW[AC]$ uzima vrednost. Za dodatnu diferencijaciju saobraćaja, razmak između slanja okvira IFS (*Interframe Space*), se različito definiše za pojedine kategorije saobraćaja. Umesto DIFS koristi se arbitraciona IFS (AIFS – *Arbitration Interframe Space*). AIFS uzima vrednost od najmanje DIFS i može se povećavati u zavisnosti od klase saobraćaja. Nakon što medijum postane slobodan stanica čeka AIFS period vremena pre početka procedure odlaganja slanja. Svaka AC u okviru stanice se ponaša kao zasebna virtuelna stanica. Nadmeće se za pristup bežičnom medijumu, nezavisno osluškuje medijum i započinje proceduru odlaganja nakon što je medijum slobodan AIFS interval vremena.



Sl. 2. Vremenski odnosi EDCF parametara.

Mehanizam pristupa medijumu sa prioritetom EDCF u okviru 802.11e standarda realizuje dodeljivanjem različitih vrednosti CW i različitih AIFS za različite AC. Na ovaj način definisani su različiti parametri pristupa medijumu za pojedine klase saobraćaja. Vremenski odnosi EDCF parametara prikazani su na slici 2.

HCF kontrolisani pristup bežičnom medijumu obezbeđuje veći prioritet od EDCF. Slanje saobraćaja

korišćenjem HC može se vršiti i za vreme perioda sa kolizijama i za vreme perioda bez kolizija. Ovim se omogućuje bežičnoj pristupnoj tački da samostalno emituje saobraćaj. HC predstavlja jednu varijantu PC, ali funkcioniše po drugačijim pravilima. HCF transfer je baziran na procesu prozivanja kontrolisanom od strane HC u okviru bežične pristupne tačke. HC vrši zauzimanje bežičnog medijuma u mometu kada treba da se izvrši slanje QoS saobraćaja, i proziva stanice koje imaju prioritet u komunikaciji dodeljujući im vreme pristupa medijumu koje je kraće nego kod EDCF i DCF. Na ovaj način HC rezerviše bežični medijum sa daleko manjom mogućnosti za nastankom kolizija.

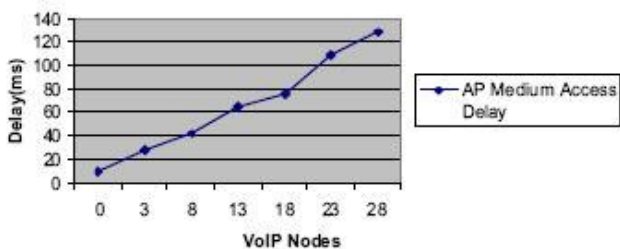
Distribuirana kontrola pristupa bežičnom medijumu EDCF je razvijena sa ciljem da se zaštite aktivni tokovi saobraćaja sa kvalitetom servisa, pre svega prenos govora i video signala. AP se oglašava u jednakim vremenskim intervalima i obaveštava sve stanice u dometu koliko propusnog opsega mogu uzeti sa slanje svog saobraćaja. Svaka stanica određuje interni transmisioni limit na osnovu vremena za transmisijsku dobijenog u prethodnom intervalu oglašavanja i transmisionom budžetu koje je dobila od AP-a. Kada se iscrpi transmisioni budžet za pojedinu AC novi tokovi podataka neće moći dobiti transmisiono vreme i neće moći pristupiti bežičnom medijumu, dok postojeći tokovi podataka koji su već započeli slanje ne mogu da dobiju dodatno transmisiono vreme.

IV. PRIMENA IEEE 802.11E NA PRENOS VOIP-A

Smatra se da će aplikacija prenosa govora putem bežičnih lokalnih mreža VoWLAN (*Voice over WLAN*), podržana intenzivnim razvojem VoIP tehnologije i širokom rasprostranjenošću bežičnih lokalnih mreža, doživeti buran razvoj i veliku primenu u bliskoj budućnosti. Prenos govora kroz bežičnu mrežu, kao aplikacija u realnom vremenu osetljiv je na kašnjenje, ali može da podnese određen broj izgubljenih paketa. Svaki paket govora mora biti prenet sa određenim maksimalno dozvoljenim kašnjenjem. Pored toga varijacija kašnjenja svakog paketa takođe mora biti kontrolisana jer se može desiti da degradira kvalitet prenetog govora čak i više nego veliko kašnjenje. Tradicionalno na prijemu se koristi bafer za kašnjenje pomoću koga možemo kontrolisati odnos kašnjenja i varijacije kašnjenja, odnosno možemo smanjiti varijaciju kašnjenja na račun povećanja kašnjenja. Iz ovog razloga smatraćemo da je kašnjenje osnovni parametar kvaliteta servisa za preneti govor u VoWLAN.

Mehanizam pristupa medijumu sa kolizijama i binarno eksponencijalna procedura čekanja ne mogu garantovati da će paketi prenetog govora biti isporučeni u okviru zahtevanih granica u pogledu kašnjenja. EDCF obezbeđuje samo statistički a ne deterministički baziran prioritet pristupa medijumu. Ovo znači da je prioritet garantovan samo u toku dugog perioda vremena, ali ne i prilikom svakog slanja kada može doći do kolizije. Iako inicijalno ima veliki AIFS i veliki interval odlaganja, posle određenog broja ciklusa odlaganja i paket sa malim prioritetom će odbrojati svoj period odlaganja, zauzeti medijum i započeti slanje. Ovo izaziva dodatno kašnjenje paketa govora. Sa ovako statistički baziranim pristupom medijumu nije moguće garantovati kašnjenje za sve pakete

prenosa govora. Sa povećanjem obima saobraćaja manjeg prioriteta pogoršava se i statistika za pakete prenosa govora, a ovo znači da se povećava kašnjenje. Na povećanje kašnjenja prenosa govora ne utiče samo povećanje obima drugih kategorija saobraćaja manjeg prioriteta, već i povećanje obima saobraćaja prenosa govora. Ako u bežičnoj mreži veliki broj stanica želi da emituje pakete govora koji imaju veliki prioritet, ovo će kumulativno unositi dodatno kašnjenje za prenos govora. Iz dva gore navedena razloga, povećanja obima *best effort* saobraćaja manjeg prioriteta i povećanja obima samog saobraćaja prenosa govora većeg prioriteta u nekom momentu uneto kašnjenje će preći maksimalno dozvoljenu granicu i to će praktično odrediti kapacitet bežične mreže za prenos govora. Na slici 3. prikazana je zavisnost kašnjenja *VoIP* saobraćaja od broja stanica koje emituju *VoIP*. U mreži pored *VoIP* saobraćaja postoji i tipični *best effort* saobraćaj poput FTP-a koji želi da zauzme što je moguće veći propusni opseg. Simulacija je rađena pod pretpostavkom da se za kompresiju govora koristi G711 kodek koji generiše protok od 64kbit/s na izlazu koda, odnosno 96kbit/s na liniji. G711 praktično predstavlja kodek koji zauzima najveći propusni opseg i ovo je najgori slučaj. S obzirom da je maksimalno dozvoljeno kašnjenje *VoIP* saobraćaja sa kraja na kraj mreže 150ms, samtraćemo da je maksimalno kašnjenje koje može nastati prilikom pristupa medijumu 100ms. Rezultati su pokazali da je pod ovim pretpostavkama maksimalan broj *VoIP* stanica u 802.11b EDCF mreži sedam, odnosno u 802.11g EDCF mreži dvadesetdva. Ovi rezultati potvrđuju da je kašnjenje ključni parametar za prenos govora u bežičnim mrežama. Povećanjem obima *VoIP* saobraćaja i *best effort* saobraćaja nije došlo da iscrpljivanja propusnog opsega bežične mreže, već je uneto kašnjenje prešlo maksimalnu dozvoljenu granicu.



Sl. 3. Zavisnost kašnjenja *VoIP* saobraćaja od broja *VoIP* stanica.

Da bi se smanjilo kašnjenje *VoIP* saobraćaja u EDCF mreži neophodno je smanjiti kašnjenje koje unosi *best effort* saobraćaj, s obzirom da nije moguće smanjiti kašnjenje koje unose druge stanice koje emituju *VoIP* saobraćaj. EDCF bi se mogao na jednostavan način modifikovati tako da AIFS za kategoriju *best effort data* saobraćaja bude jednak zbiru AIFS-a *VoIP* saobraćaja i kolizionog prozora maksimalne dužine za *VoIP* saobraćaj. U ovom slučaju slanje *data* paketa neće početi dok se ne završi slanje svih *VoIP* paketa. Ovim bi se obezbedio deterministički pristup za prenos govora, ali ovo nije efikasno u pogledu iskorišćenja propusnog opsega mreže.

V. PRIMENA IEEE 802.11E NA PRENOS VIDEO SIGNALA

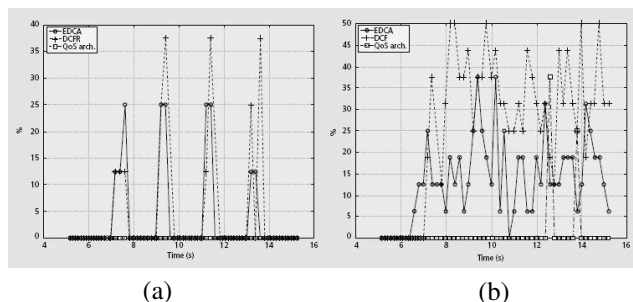
Za razliku od audio signala koji karakteriše mali propusni opseg, velika osetljivost na kašnjenje i mala osetljivost na gubitak paketa, video signal karakterišu pre svega veliki propusni opseg i velika osetljivost na greške u prenosu jer se kod savremenih kodeka javlja propagacija greške. H.264 video standard omogućava efikasno kodovanje video signala pri čemu se može obezbediti protok u opsegu od nekoliko Kbit/s do Mbit/s. Iz ovog razloga se H.264 standard koristi u mnogim multimedijalnim aplikacijama kao što su: videokonferencije, mrežne igre u realnom vremenu i distribucija TV signala.

Predložena arhitektura prenosa video signala u bežičnoj mreži bazirana je na mehanizmima na aplikativnom i MAC sloju mreže. Zasnovana je na tehnici podele podataka DP (*Data Partitioning*) i na mapiranju odgovarajućih podataka u odgovarajuće kategorije saobraćaja na MAC sloju. Implementacijom H.264 standarda na izlazu enkodera dobija se komprimovan video signal koji se sastoji iz više delova koji se nazivaju particije i koji su različitog prioriteta. U zavisnosti od značaja pojedinih particija za prenos video signala kao celine vrši se njihovo mapiranje u odgovarajuće kategorije pristupa medijumu AC na MAC sloju IEEE 802.11e mreže, koristeći EDCF. Osnovna ideja je da se obezbedi mala degradacija za najvažnije komponente video signala.

H.264 standard za kompresiju slike predstavlja trenutno najnapredniji standard, a dobre performanse ostvarene su ne samo eliminisanjem prostorno, već i vremenski redundantnih informacija u video signalu. Sem toga, u okviru H.264 standarda definisano je nekoliko tehnika koje obezbeđuju otpornost na uticaj grešaka u prenosu. Osnovna komponenta video signala kodovanog po H.264 standardu je video odrezak (*video slice*) koji se sastoji od nekoliko makroblokova MB (*macroblock*). Najbitniji parametri video signala koduju se u adresku koji se naziva PSC (*Parameter Set Concept*). Ovde su sadržane informacije o veličini slike, rezoluciji slike i mehanizmima opcionog kodovanja ako su primenjeni. PSC predstavlja osnovnu i najbitniju komponentu video signala. Tehnika podele podataka DP kreira više nizova podataka u okviru jednog video odreska, a zatim sve nizove sa velikom međusobnom korelacijom grupiše u particije. H.264 standard definiše tri različite grupe particija. Particija A, koja sadrži osnovne informacije kao što su tip makrobloka, parametri kvantizacije i vektori pokreta. Ovo je najvažnija komponenta video signala jer bez nje se ne mogu koristiti informacije sadržane u ostalim particijama. Particija B (intra particija), sadrži intra kodovane blokove i intra koeficijente. Particija B zahteva prisustvo particije A da bi se mogla koristiti u procesu dekodovanja. Particija B je druga po važnosti i sadrži informacije koje mogu da isprave greške nastale u prenosu i spreči dalju propagaciju greške. Particija C (inter particija), sadrži inter kodovane blokove i inter koeficijente. Informacije sadržane u particiji C najmanje su važnosti jer se ne koriste u procesu sinhronizacije koda i dekodera video signala. Da bi se koristile u procesu dekodovanja neophodno je prisustvo particije A, ali ne i prisustvo particije B.

Ukoliko u procesu dekodovanja video signala nedostaju intra ili inter particije (B ili C), informacije sadržane u particiji A se mogu iskoristiti za umanjeno uticaja grešaka. Na ovaj način jedinstveni video signal je podeljen na komponente različite važnosti, čime je omogućena primena IEEE 802.11e EDCF mehanizma na video signal. Pored ove tri particije video odrezak sadrži i slike za instant dekodovanje IDR (*Instantaneous Decoding Refresh*). Ovo znači da IDR sadrži informacije koje omogućavaju dekodovanje slike a da pri tome nisu neophodne informacije iz prethodnih slika.

IEEE 802.11e standard definiše četiri kategorije saobraćaja i bazirano na ovim kategorijama saobraćaja vrši se klasifikovanje i prioritizacija komponenti video signala. PSC komponenta video signala se mapira u kategoriju saobraćaja najvećeg prioriteta (AC3). PSC sadrži vitalne informacije o samom video signalu i poprilično je osetljiva na kašnjenje jer kašnjenje PSC-a povlači kašnjenje kompletnog video signala. U kategoriju nižeg prioriteta AC2 mapira se IDR saobraćaj i particija A. IDR sadrži i komponentu slike koja je osnova za dalje dekodovanje, a particija A sadrži osnovne komponente kodovanog signala i iz ovog razloga se ove dve komponente mapiraju u kategoriju AC2. Na kraju particije B i C nemaju izrazite zahteve u pogledu kvaliteta servisa jer sadrže manje bitne delove kodovanog signala. Ove komponente video signala se mapiraju u kategoriju AC1 da bi im se ipak dodelio određen prioritet u odnosu na *best effort* saobraćaj koji se mapira u kategoriju AC0.



Slika 4. Broj izgubljenih paketa (a) IDR (b) particije A

Na slici 4(a) prikazano je poređenje gubitka IDR komponente video signala u slučajevima kada se za prenos primenjuje QoS arhitektura opisana u ovom poglavlju, EDCF i DCF. QoS arhitektura obezbeđuje gubitak od 0%, uprkos povećanju opterećenja bežične mreže. Sa druge strane gubitak paketa kod EDCF iznosi 16%, dok kod DCF iznosi čak 30%. Ovo je pre svega rezultat toga što se IDR paketi u QoS arhitekturi prenose u okviru zasebne kategorije saobraćaja AC2. Za razliku od QoS arhitekture, kod EDCF IDR paketi se prenose zajedno sa svim komponentama H.264 video signala, dok se kod DCF IDR paketi prenose zajedno sa svim ostalim saobraćajem u bežičnoj mreži. Ovo dovodi do toga da se izlazni baferi veoma brzo prepune što dovodi do povećane verovatnoće odbacivanja paketa. Slika 4(b) prikazuje gubitak particije A. Interesantno je uočiti da QoS arhitektura ne samo da obezbeđuje bolje performanse za prenos IDR komponente

nego se slične performanse dobijaju i pri prenosu particije A. Gubitak paketa particije A prilikom prenosa korišćenjem QoS arhitekture iznosi 2%, dok je gubitak pri prenosu korišćenjem EDCF 13.75%, a korišćenjem DCF 27%.

Gubitak paketa particija B i C je veći prilikom primene QoS arhitekture u odnosu na gubitak prilikom primene EDCF i DCF. Ovo je ipak očekivano jer smo primenom QoS arhitekture pakete particija B i C svrstali u kategoriju saobraća AC1 sa nižim prioritetom i time im umanjili verovatnoću pristupa medijumu. EDCF obezbeđuje najbolje performanse za prenos particija B i C jer ih svrstava u AC2 kategoriju saobraćaja.

QoS arhitektura smanjuje kašnjenje koje se unosi pri prenosu IDR komponente video signala i particije A na minimum i obezbeđuje praktično trenutno prosleđivanje paketa iz izlaznih bafera. Sa druge strane primenom DCF IDR paketi i paketi particije A pristupaju medijumu bez prioriteta što dovodi do porasta kašnjenja prilikom slanja. Primenom EDCF IDR paketi i paketi particije A pristupaju medijumu u okviru iste kategorije saobraćaja zajedno sa drugim komponentama H.264 video signala, što takođe unosi veliko kašnjenje koje je manje nego u slučaju primene DCF.

LITERATURA

- [1] Gu D., Zhang J.; "QoS Enhancement in IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks", IEEE Communications Magazine, June 2003.
- [2] Xiao Y., Li H.; "Evaluation of Distributed Admission Control for the IEEE 802.11e EDCA", IEEE Radio Communications, September 2003.
- [3] Zhu J., Fapojuwo A.; "A New Call Admission Control Method for Providing Desired Throughput and Delay Performance in IEEE802.11e Wireless LANs", IEEE Transactions on Wireless Communications, February 2007.
- [4] Huang C., Liao W.; "Throughput and Delay Performance of IEEE 802.11e Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) Under Saturation Condition", IEEE Transactions on Wireless Communications, January 2007.
- [5] Whang P., Jiang H., Zhuang W.; "IEEE 802.11e Engagement for Voice Service", IEEE Wireless Communications, February 2006.
- [6] Ksentini A., Naimi M., Gueroui A.; "Toward an Improvement of H.264 Video Transmission over IEEE 802.11e through a Cross-Layer Architecture", IEEE Communications Magazine, January 2006.

ABSTRACT

The IEEE 802.11e standard is intended to solve the performance problems of WLANs for real time traffic by introducing priority access mechanisms in the form of the Enhanced Distributed Channel Function (EDCA). This article focuses on the transmission of VoIP and video streams over IEEE 802.11e-based WLANs. We estimate the channel capacity, acceptable load conditions and QoS parameters for some usage scenarios.

APPLICATION OF IEEE 802.11e FOR VoIP AND VIDEO SIGNAL TRANSMISSION

Mihajlo J. Urban