

Časopis je namijenjen stručnjacima, inženjerima, studentima i izlazi kvartalno. Svrha časopisa je izvještavanje o istraživanju, naučnom razvoju, proizvodima i novostima iz svijeta telekomunikacija

BOSANSKOHERCEGOVAČKO
UDRUŽENJE ZA TELEKOMUNIKACIJE
SARAJEVO

Izdavač/Publisher

Bosanskohercegovačko udruženje
za telekomunikacije

Urednički odbor/Editorials Board

dr. Draguljub Milatović, dipl. ing. el.

dr. Himzo Bajrić, dipl. ing. el.

dr. Nediljko Bilić, dipl. ing. el.

dr. Mirko Škrbić, dipl. ing. el.

dr. Narcis Behlilović, dipl. ing. el.

mr. Akif Šabić, dipl. ing. el.

mr. Radomir Bašić, dipl. ing. el.

mr. Hamdo Katica, dipl. ing. el.

mr. Edina Hadžić, dipl. ing. el.

mr. Stipe Prlić, dipl. ing. el.

Džemal Borovina, dipl. ing. el.

Glavni i odgovorni urednik /Editor and Chief
mr. Nedžad Rešidbegović, dipl. ing. el.

Lektor/Linguistic Adviser
Indira Pindžo

Tehnički urednik/Technical Editor
mr. Jasminko Mulaomerović, dipl. ing. el.

Računarska obrada/DTP
Narcis Pozderac, TDP d.o.o. Sarajevo

Štampa/Printed by
SaVart

Časopis je evidentiran u evidenciji javnih
glasila pri Ministarstvu obrazovanja, nauke
i informisanja Kantona Sarajevo pod brojem
NKM 42/02.

Časopis *TELEKOMUNIKACIJE* u pravilu
izlazi četiri puta godišnje.
Cijena časopisa je 5 KM, za pravna lica
10 KM i za inostranstvo 5 EUR.
Račun broj: 1610000031970047 kod
Raiffeisen bank d.d. Sarajevo

Adresa Uredništva
Bosanskohercegovačko udruženje
za telekomunikacije
Zmaja od Bosne 88
71000 Sarajevo
web: www.bhtel.ba
E_mail: bhtel@bih.net.ba
Tel.: 033 220-082

SADRŽAJ / CONTENTS

Harun Mutapčić, dipl. ing. el.	
Kvalitet doživljaja krajnjeg korisnika u mobilnim uslugama QoE (Quality of end-user Experience) of mobile services	3
Hakija Grabovica, dipl. ing. el.	
Utjecaj tehnološko-ekonomskih kriterija na izbor pristupnih tehnologija kod mobilnih operatera Influences of techno-economical criteria affecting the selection of access technology at mobile operators.....	13
Asaf Sarajlić, dipl. ing. el.	
NFC Tehnologija u MicroPayment sferi mobilnog plaćanja NFC Technology in the Mobile MicroPayment.....	25
Haris Lučkin, dipl. ing. el., Emina Lučkin, dipl. ing. el.	
Kanalno kodiranje kod MIMO kanala MIMO Channel Coding.....	31
Sabina Glumčević, Samra Mujačić, Suad Kasapović	
Evaluation video transmission using MyEvalVid RTP tool in network simulator ns2	47

Time For Transformation Is Come

In the last years operators have been transformed from a narrowband to a broadband company.

This is driven by the market and continually delivering value to the customers through the excellence of the people and networked IT services. Maintaining their focus on being a world-class services organization and helping the customers profit from convergence, the telecom companies have to be transformed on the several levels.

Communications is one of the keys to innovation and is a fundamental requirement for the major player in the global economy. The internet has evolved such that it is not simply a means to transfer information between organizations. The internet has spurred innovation in many ways – social networking, content generation, economic development and delivery of services, to mention just a few. For organizations to continue to drive innovation and remain competitive, a new infrastructure is required. In the last 10 years, the dramatic increase in connectivity and applications has created IT complexity. Multiple legacy systems and networks, all requiring helpdesks and support staff, maintained by multiple vendors.

And because so many applications are now ‘mission critical’, many organizations find that their IT is constraining, not enabling performance. You can find yourself spending a disproportionate amount of budget on service and support for existing infrastructure.

So what can you do when organizational agility is a given not an option? You need to consolidate your networks into a single, integrated IP infrastructure capable of supporting the full range of business applications necessary and at the same time, drive cost reduction by simplifying service and support. To have the right customer insights to support and optimize the clients business processes with outstanding ICT services.

It is not just about growing, but also refreshing the whole infrastructure to make sure that it's ready for Voice over IP, for mobility, for security at the highest level. It's the broadest and it's the rich IP network that will exist. MPLS will be either second or third in revenue streams along with PSTN voice and broadband. It will need to improve performance to become the benchmark on customer satisfaction and loyalty.

Poor BSS/OSS design and performance is a root cause for customer complaints (no FTR delivery, long lead times, miscommunication), so The Next Generation BSS/OSS development needs a business approach! When an operator considers implementing an NGN they tend to focus their effort almost totally on the network. However there is no point in having a perfectly converged network which is capable of supporting lots of new and existing services quickly and easily if your OSS is not integrated and can not provision these services. Now day's networks are more sophisticated and intelligent however they can not provision services, fix problems, bill customers, deal with customer complaints by themselves! Most OSS systems are geared towards managing resources and infrastructure at layer 4 and below where the network lives, and not at layers 4 and above where many of the content rich, converged services will be created. Therefore when looking at building an NGN the operator MUST consider their OSS.

TMF – Telemanagement Forum's program NGOSS (New Generation Operations Systems and Software) gives us tools for BSS & OSS development and defines strategic approach to standardization of OSS market. As part of NGOSS-a TMF have been developed several industrial agreed solutions that become frame for quick and flexible integration.

M. Sc. Nedžad Rešidbegović

Kvalitet doživljaja krajnjeg korisnika u mobilnim uslugama *QoE (Quality of end-user Experience) of mobile services*

Sažetak

Porastom mobilnih podatkovnih usluga, postalo je veoma važno za operatore da precizno mjeri QoS i QoE svoje mreže, da bi najpreciznije i najpotpunije procijenio viziju vrijednosti koju pruža korisnicima. Stoga, temeljna mjera kvaliteta mreže i usluga koje ona nudi postalo je pretplatničko opažanje njihovih performansi. Kvalitet doživljaja krajnjeg korisnika je vrlo bitan parametar koji operator mora konstantno mjeriti i unapređivati na najefektivniji i troškovno efikasniji način da bi postigao korisničku lojalnost i održao konkurentsku prednost.

Ključne riječi: QoE, QoS, KPI

Abstract

With the growth of mobile data services, it has become very important for an operator to accurately measure the QoS and QoE of its network to assess the most accurate and complete vision of the value offered to users. Therefore, the ultimate quality measure of a network and the services it offers has become how subscribers perceive their performance. Quality of end-user experience is a very important parameter which operator has to measure constantly and improve it further in the most effective and cost-efficient way to achieve customer loyalty and maintain competitive advantage.

Key words: QoE, QoS, KPI

INDEKS POJMOVA

I SKRAĆENICA

- 3GPP** (Third-Generation Partnership Project) – Projekt partnerstva treće generacije
- BSC** (Base Station Controller) – Kontroler bazne stanice
- CN** (Core Network) – Jezgro mreže
- GGSN** (Gateway GPRS Support Node) – Čvor za podršku GPRS gatewaya
- HLR** (Home Location Register) – Registar domaćih korisnika
- KPI** (Key Performance Indicators) – Ključni pokazatelji performansi
- NMS** (Network Management System) – Sistem mrežnog menadžmenta
- QoE** (Quality of end-user Experience) – Kvalitet doživljaja krajnjeg korisnika
- QoS** (Quality of Service) – Kvalitet usluge
- RNC** (Radio Network Controller) – Kontroler radio-mreže
- SGSN** (Serving GPRS Support Node) – Čvor za podršku GPRS usluga
- UE** (User Equipment) – Korisnička oprema
- UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System) – Univerzalni sistem mobilnih telekomunikacija

1. UVOD

*“Najlakši način da dobijete
ono što želite
jeste da pomognete drugima
da dobiju ono što žele”*
Deepak Chopra

Razvoj mobilnih komunikacija, u posljednjoj deceniji, popratila je liberalizacija telekomunikacijskog tržišta, koja je unijela velike promjene u poslovno okruženje. S gledišta mobilnih operatera, te promjene se uglavnom očituju kroz povećanu konkurenciju i zahtjevnije korisnike. Da bi opstali i zadržali svoj tržišni udio, mobilni operatori primorani su mijenjati svoje poslovne strategije. Nove poslovne strategije karakteriziraju kreiranje i uvođenje novih usluga, kultura kvaliteta i orijentacija prema korisniku. Njihova uspješna implementacija zahtijeva nove koncepte koji će osigurati korisničku lojalnost na dugoročnom planu. Upravo s razvojem paketski baziranih i mobilnih podatkovnih usluga izgrađena je QoS, a u novije vrijeme, i QoE paradigma.

Kvalitet doživljaja (QoE) nije mjera nego koncept koji uključuje sve elemente pretplatnikove percepcije usluge, a time i mreže i njenih performansi, te kako oni ispunjavaju njegova očekivanja. Postoji nekoliko faktora koji međusobno određuju QoE, uključujući cijenu, pouzdanost, raspoloživost, upotrebljivost itd. Ako je QoE visok, onda je korisnik sretan i zadovoljan. Nizak QoE nagovještava da korisnik ne doživljava mrežu baš najbolje. Najčešća posljedica toga je migracija korisnika u druge mreže u okruženju.

Da bi postigli ono što žele (korisničku lojalnost, konkurentsku prednost i profit), operatori moraju, prije svega, osigurati korisnicima ono što oni žele (visok QoE). Prema tome, temeljna mjera kvaliteta mreže i njenih usluga je postalo pretplatničko opažanje njihovih performansi. Stoga, postalo je veoma važno za operatore da precizno mjere (ocjenjuju i procjenjuju) QoS i QoE svoje mreže i dalje ih poboljšavaju na najefektivniji i troškovno efikasniji način. Mjerenje i unapređivanje QoE-a omogućava operatorima da najpreciznije i najpotpunije procijene stvarno funkcioniranje mreže i usluga, kao i viziju vrijednosti koju pružaju korisnicima.

2. ŠTA SU QOE I QOS?

Petražujući i pregledajući literaturu, mogu se naći različite definicije za QoE (Quality of end-user Experience) i QoS (Quality of Service). Neki nastoje definirati ove pojmove s poslovne, a drugi to rade s tehničke perspektive. U kontekstu ovog rada, termin QoE se koristi da se opiše percepcija (opažanje) krajnjih korisnika o tome kako su usluge upotrebljive. S druge strane, QoS opisuje sposobnost mreže da pruži uslugu sa osiguranim nivoom kvaliteta. S namjerom da korisnicima pruže najbolji QoE, mrežni i uslužni provajderi moraju omogućiti i upravljati uslugama i QoS-om na svojstvene i odgovarajuće načine.

QoE i QoS su toliko međuovisni da se moraju izučavati i upravljati sa općim razumijevanjem, od njihovog planiranja do implementacije i optimizacije. Prema tome, QoE i QoS su jedan drugome



Slika 1.
QoE je pod utjecajem i tehničkih (QoS) i netehničkih aspekata usluge

(međusobno) integralni dijelovi i nijedna rasprava o QoE-u ne bi bila potpuna a da se ne spomene QoS. QoE, međutim, nije samo ograničen na tehničke performanse mreže, također postoje i netehnički aspekti, koji velikim dijelom utječu na cjelokupnu korisničku percepciju (Slika 1). Ukratko, cilj mreže i usluga treba da bude postizanje maksimalne korisničke procjene (QoE), dok je kvalitet mreže (QoS) glavni element (modul) za što efektivnije postizanje tog cilja.

Ova dva termina opisana su na različite načine od različitih foruma, što je u mnogim slučajevima čitaoce dovelo do zabune. Vrlo je bitno razumjeti njihovu interakciju – kako je to opisano u sljedećem poglavlju. Stoga, ovdje su se nastojale prikazati definicije izvedene iz različitih gledišta da bi se došlo do općeg razumijevanja. Kroz ovaj rad, termini ‘QoS’ i ‘QoE’ će biti korišteni u kontekstu opisanom sljedećim definicijama [1]:

- **QoS** se definira kao sposobnost mreže da pruži (obezbjedi) uslugu na osiguranom nivou usluge. QoS obuhvata sve funkcije, mehanizme i procedure u ćelijskoj mreži i terminalu koji osiguravaju (garantiraju) pružanje ugovorenog kvaliteta usluge između korisničke opreme UE (User Equipment) i jezgra mreže CN (Core Network).
- **QoE** se odnosi na to kako korisnik opaža upotrebljivost usluge u korištenju (upotrebi), odnosno kako je on zadovoljan s uslugom u smislu, na-

primjer, upotrebljivosti, dostupnosti, mogućnosti zadržavanja (*retainability* – mogućnost zadržavanja u smislu nastavljanja korištenja) i integriteta usluge. Na integritet usluge utječu propusnost, kašnjenje, varijacija u kašnjenju (*jitter*) i gubici paketa u toku prijenosa korisničkih podataka. Pristupačnost usluge se odnosi na nedostupnost, sigurnost (autentifikacija, autorizacija i obračunavanje), pokretanje (aktivaciju), pristup, pokrivenost, blokiranje, i vrijeme postavke odgovarajuće noseće usluge. Mogućnost zadržavanja usluge, općenito, karakteriziraju prekidi veze (*connection losses*).

3. ODNOS IZMEĐU QOE-A I QOS-A

Ovdje će se definirati i objasniti razlike između QoS-a i QoE-a. To će nam pomoći da shvatimo zahtjeve operatora i zahtjeve krajnjeg korisnika. Termin ‘QoE’ se odnosi na korisnikovo opažanje o kvaliteti pojedine usluge ili mreže. Izražava se u ljudskim osjećajima kao što su ‘odličan’, ‘dobar’, ‘loš’ itd. S druge strane, QoS je u suštini tehnički koncept. On se mjeri, izražava i razumijeva u odnosu na mrežu i mrežne elemente koji obično imaju mali značaj za korisnika, ali veliki za sveukupni kvalitet doživljaja (QoE). QoE i QoS koncepti su prikazani na Slici 2.

Premda bi u mnogim slučajevima bolji mrežni QoS rezultirao i boljim QoE-om, ispunjavanje svih saobraćajnih QoS parametara ne bi garantiralo zadovoljnog korisnika. Izvrsna propusnost u jednom dijelu mreže i ne bi pomogla ukoliko nema pokrivenosti na malo udaljenijem kraju. Besprijekoran prijenos izobličenih paketa ne pridonosi sretnim korisnicima. Stoga, zaključak da se QoE poboljšava zbog toga što se QoS mehanizmi koriste da bi se, naprimjer, smanjila varijacija u kašnjenju (*jitter*) ili prosječno kašnjenje otpremanja paketa, možda neće biti ispravan u svim okolnostima. Ono što je bitno jeste dobar korisnički doživljaj ili QoE, a cilj QoS-a bi trebao biti da isporučiti (osigura) visok QoE.

Isporuka visokog QoE-a zavisi od sticanja razumijevanja faktora koji doprinose

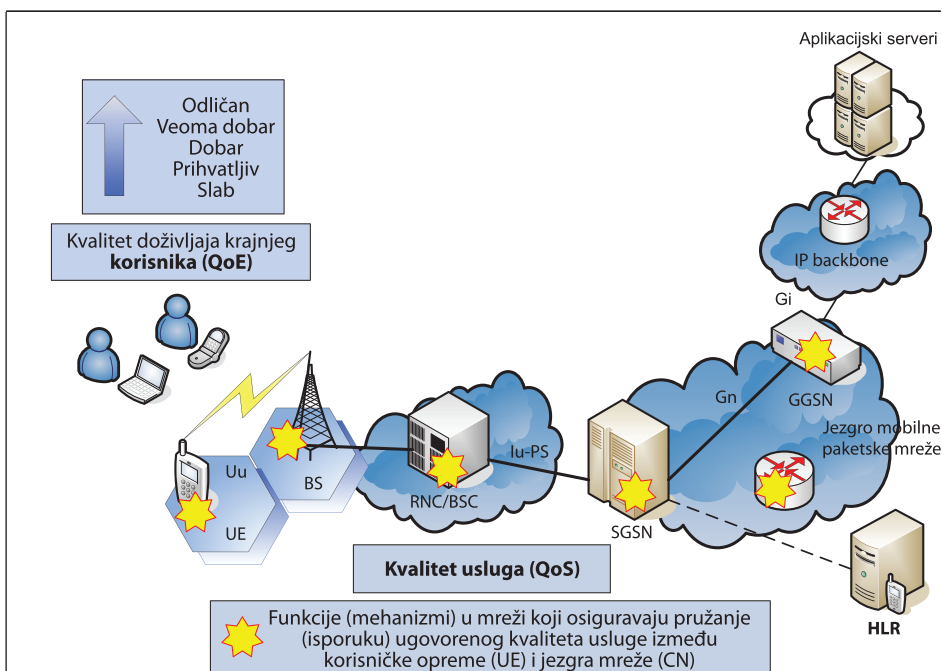
se korisničkoj percepciji ciljnih usluga, i primjena tog znanja da se definiraju operativni zahtjevi. Ovaj *top-down* (odozgo prema dolje) pristup umanjuje troškove razvoja i rizike korisničkog odbacivanja i prigovora (žalbe), osiguravajući da će uređaj ili sistem zadovoljiti korisničke zahtjeve.

QoS se često tretira kao *bottom-up* (odozdo prema gore) proces, koji se sastoji od povezivanja metodologija diferencijacije performansi od tačke do tačke (point-to-point) sa malim sagledavanjem toga šta se događa na osnovi s kraja na kraj (end-to-end). *Top-down* pristup je baziran na pretpostavci da je krajnji korisnik taj koji je temeljni uživalac dobiti od QoS-a. S namjerom da se ispune očekivanja krajnjeg korisnika, implementacija QoS-a u stvarnim mrežama mora biti fokusirana na gledište krajnjeg korisnika i mora pružiti nivoe performansi usluge neophodne za visoki QoE za korisnika. U praksi, to znači fokusiranje na korisnika – tj. na osobu koja plaća račune – i razumijevanje njegovih očekivanja od QoS performansi, te njihovo korištenje za upravljanje zahtjevima za specifične QoS mehanizme za pojedina mrežna područja kao što su korisnička oprema (UE), pristup, jezgro, *backbone* (glavna mreža), vanjske podatkovne paketske mreže i prateći interfejsi. Konceptualni modeli QoE-a i QoS-a s kraja na kraj prikazani su na Slici 3.

Postoji mnogo različitih scenarija za osiguranje QoS-a s kraja na kraj. Pod tim scenarijima se podrazumijevaju različiti primjeri uvezanih QoS mehanizama unutar različitih dijelova mreže koji zajedno mogu osigurati QoS s kraja na kraj. Pri tome, QoS s kraja na kraj (end-to-end QoS) predstavlja konzistentni postupak i uzajamni rad između QoS mehanizama implementiranih u različitim mrežnim područjima.

4. QOE LANAC VRIJEDNOSTI

Sveukupni QoE zavisi od toga koliko dobro operator ukomponira cjelokupni lanac vrijednosti onako kako je on viđen od korisnika. Ovaj QoE lanac vrijednosti

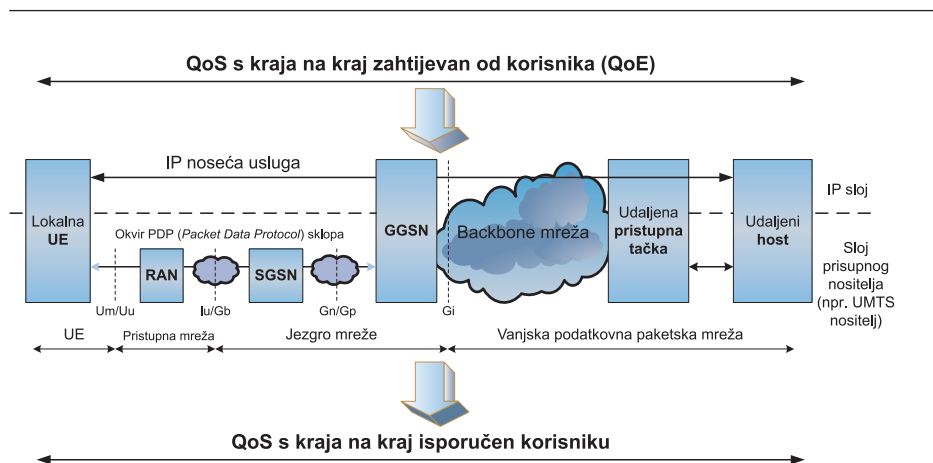


Slika 2.
QoE i QoS koncepti

opisan je na Slici 4. i uključuje sljedeće [1]:

- Provajdere (davalje usluga) mobilnog sadržaja, kreatora sadržaja, web-stranice, WAP stranice, igre, video, audio, portale itd.
- Mrežne i uslužne provajdere – tj. operatori mobilnih mreža i mobilni internet-provajderi usluga, koji su često u vlasništvu samih operatora i koji prenose sadržaj do korisnika;
- Korisnički uređaj i aplikacijski softwarei koji omogućuju korisniku da doživi sadržaj;
- Provajderi mrežne infrastrukture i sistemski integratori koji omogućavaju prethodne tri komponente u lancu vrijednosti.

Iako bi se svi u lancu vrijednosti mobilnih podatkovnih usluga trebali fokusirati na optimizaciju doživljaja, operatori mobilnih mreža su ti koji imaju najveći udio. Oni su u središtu ovog lanca i orkestriraju (upravljaju, nadgledaju, organiziraju) sa sve četiri ove komponente s namjerom da pruže cjelokupni doživljaj



Slika 3.
Top-down pristup i određenje QoS-a s kraja na kraj (E2E QoS)

korisniku. U isto vrijeme oni imaju najveći udio u osiguravanju visokog QoE-a.

Kvalitet i jednostavnost korištenja uslužnih mogućnosti mobilnih korisničkih uređaja (handsets) također imaju veliki utjecaj na QoE – neovisno od kvaliteta mrežne infrastrukture i sadržaja mobilnih usluga. Ukoliko korisnički uređaji nemaju sposobnost da prikladno pruže ono što se nudi, to će rezultirati nezadovoljnim korisnikom.

5. QOE ZAHTEJEVI

Zahtjevi krajnjeg korisnika u mobilnim podatkovnim komunikacijama su jednostavni – trebalo bi biti moguće da se brzo postave konekcije, da se osiguraju visoke i stabilne brzine prijenosa za isporuku trenutnih usluga u pokretu, te bi i cijena trebala da bude prihvatljiva. Pronalaženje pogodnog balansa između cijene i performansi zahtijeva od prodavača opreme i operatora razumijevanje kompletnog lanca s kraja na kraj. Ovo uključuje aspekte kao što su dizajn aplikacija, zahtjevi aplikacija, mogućnosti (svojstva) mreže koje utječu na aplikacijske performanse i to kako isporučiti zadovoljavajući doživljaj krajnjem korisniku u širokoj nacionalnoj mreži sa višestrukim uslugama. Slika 5. prikazuje različite aspekte isporuke doživljaja krajnjeg korisnika.

QoE je funkcija višestrukih slojeva protokola i mrežnih elemenata. Radio-in-

terfejs je najčešće usko grlo (u mreži), sa svojim ograničenjima u propusnom opsegu i pokrivanju. S jedne strane, postoji mnogo usluga, te nije moguće postupati sa svakom uslugom nezavisno u smislu planiranja, monitoringa itd. S druge strane, usluge imaju različite zahtjeve o pitanju kašnjenja i bitske brzine. Uzimajući u obzir činjenicu da su zahtjevi različiti, kapacitet mreže bi mogao biti povećan. Prihvatljivo rješenje je, stoga, da se osigura nekoliko "bitskih cijevi" pri čemu će svaka "cijev" biti nosilac višestrukih usluga sa sličnim QoS zahtjevima i gdje će mreža o pitanju prioritetizacije tretirati ove cijevi različito.

Prema tome, u mobilnim komunikacijama (UMTS) definiraju se četiri različite saobraćajne klase kvaliteta usluga koje se mogu ponuditi korisnicima. Klase kvaliteta kod UMTS-a prema 3GPP-u su [7]:

1. **Konverzijska klasa.** Veoma osjetljiva na kašnjenje podataka (telefonija, video-telefonija, VoIP itd.) – *Real Time*;
2. **Streaming klasa.** Asimetrična, sa manje osjetljivosti na varijacije u kašnjenju. Prikazivanje ili obrada podataka prije nego se učita cijeli file (podatak) (vijesti uživo, radio, muzika itd.) – *Real Time*;
3. **Interaktivna klasa.** Korisnik ne zahtijeva informaciju sve vrijeme (web browsing, pristup bazama podataka, lokacijski bazirane usluge) – *Non Real Time*;
4. **Pozadinska (background) klasa.** Aplikacije koje ne zahtijevaju trenutnu pažnju (SMS, E-mail, elektronske novine itd.) – *Non Real Time*;

6. QOE MONITORING

Iako je QoE po prirodi vrlo subjektivan, veoma je važno pronaći strategiju kojom će se on mjeriti što je moguće realističnije (praktičnije i objektivnije). U tom smislu, vrlo koristan može biti sljedeći pristup:

- Ključ je da se razumiju faktori (mjere) koji doprinose korisničkom opažanju.
- Primjena tog znanja u definiranju operativnih zahtjeva (vrijednosti).

- Pronaći metodologiju kojom će se ti faktori neprekidno mjeriti (alati, lokacija, statističko uzorkovanje) i kojom će se oni unapređivati kada je to potrebno.

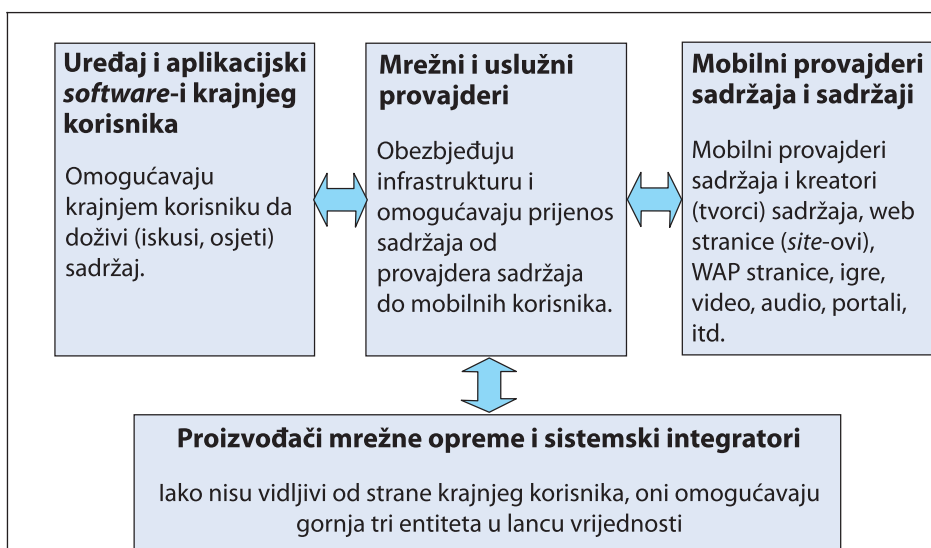
Mogućnost mjerenja QoE-a daje operatoru osjećaj doprinosa mrežnih performansi na cjelokupni nivo zadovoljstva korisnika u smislu pouzdanosti, raspoloživosti, skalabilnosti, brzine, tačnosti i efikasnosti. Zajedno, ovi elementi definiraju QoE i konkurentsku prednost putem današnjih paketski baziranih komunikacijskih mreža. Doživljaj se izražava ljudskom terminologijom (tj. osjećajima) radije nego objektivnim mjerama (mjernim jedinicama). Doživljaj može biti odličan, vrlo dobar, dobar, zadovoljavajući ili slab (siromašan). Dva su praktična pristupa (ili metode) u mjerenju QoE-a u mobilnim mrežama [1][2]:

1. Pristup prema nivou usluge (Service level approach) u kojem se koriste statistički uzorci populacije (broja) terminala.
2. Pristup prema sistemu mrežnog menadžmenta NMS (Network management system approach) u kojem se koriste QoS parametri.

6.1 Pristup prema nivou usluge, koristeći statističke uzorke

Ključ prvog pristupa jeste statističko uzorkovanje i uzimanje najrelevantnijih i najpreciznijih mjera u skladu s tim uzorkom. U ovom pristupu, pokazatelji performansi koji se najviše mjere su uglavnom na aplikacijskom nivou, pružajući tako realno gledište krajnjeg korisnika. Ovaj pristup se oslanja na statistički uzorak od ukupnog broja mrežnih korisnika da bi se mjerio QoE za sve korisnike u mreži. Ovaj proces uključuje:

- *Određivanje težinskog faktora ključnih aplikacija.* Potrebno je uspostaviti odgovarajući uslužni miks koji se mora odražavati na odgovarajuću vrstu usluga koje se najviše koriste u mreži. Svako aplikaciji u odabranom uslužnom miksu treba biti dodijeljena težinska vrijednost u procentima.
- *Identifikacija i dodjeljivanje težinskih faktora ključnim QoE pokazateljima performansi KPI (Key Performance*



Slika 4.
QoE lanac vrijednosti

Indicators). Svaka aplikacija ima jedinstvene ključne pokazatelje performansi – KPI koje je potrebno identificirati. Osim toga, težinska vrijednost svakog KPI pokazatelja se treba definirati, kako ona varira od aplikacije do aplikacije [5][6].

- *Planiranje (ili određivanje) odgovarajućeg statističkog uzorka (geografskih područja, saobraćajnog miksa, dnevnog vremena itd.) i mjerenje KPI pokazatelja shodno tome.* Ovo je najvažniji korak u ovom pristupu i on je ključ u postizanju preciznosti rezultata. Dobar uzorak će uzeti u obzir odgovarajuće zastupanje svih vrsta korisnika, uključujući različite terminale, odgovarajući uslužni miks i njegove težinske vrijednosti, obrasce korištenja u smislu dnevnog vremena, različitih geografskih raspodjela itd.
- *Primjena mobilnih agenata u korisničkim uređajima (handsets) da bi se rezultati učinili preciznijim.* Mobilni agenti u korisničkim uređajima mogu osigurati dodatne informacije u ovom procesu. Ovi mobilni agenti mogu biti instalirani u korisničkim uređajima odabranih korisnika iz pažljivo odabranog uzorka [1].
- *Davanje sveukupne QoE ocjene (indeksa) iz vrijednosti KPI pokazatelja*



Slika 5.
Tri aspekta isporuke zadovoljavajućeg QoE-a u mobilnim podatkovnim mrežama

za svaku posebnu uslugu i uslužni miks. Neka vrsta radne tabele ili aplikacije je potrebna da bi se proračunao konačni QoE index baziran na osiguranim ulazima. Taj alat mora biti veoma fleksibilan i prilagodljiv na mijenjanje okolnosti ili prilika – kao što su nove aplikacije, novi obrasci korištenja itd.

6.2 Pristup prema sistemu mrežnog menadžmenta, koristeći QoS parametre

Ovaj pristup čini metodologija pomoću koje se teške mjere QoS performansi iz različitih dijelova mreže mapiraju (preslikavaju) na ciljne QoE performanse koje su za korisnika perceptualne. Ova QoS mjerenja se vrše korištenjem NMS sistema, prikupljanjem KPI vrijednosti iz mrežnih elemenata i njihovim upoređivanjem sa ciljnim nivoima. Proces uključuje sljedeće:

- *Identificiranje odnosa između QoS KPI pokazatelja i njihov utjecaj na QoE.* Ovo je ključni korak u ovom pristupu. Ova oblast je u središtu pažnje već neko vrijeme te je i nekoliko studija urađeno u svrhu razumijevanja preciznog odnosa između nekih QoS KPI pokazatelja i percepcije krajnjeg

korisnika o performansama (QoE). Iako je postignut napredak, usljed mnogih praktičnih problema sveobuhvatno rješenje nije jednostavno postići.

- *Mjerenje QoS KPI pokazatelja u mreži.* Različiti sistemi mrežnog menadžmenta i njihovi dodaci vrše mnogo QoS mjerenja u mreži. Bilo bi praktično nemoguće mjeriti sve parametre za sve korisnike i za sve vrijeme, stoga bi dobro statističko uzorkovanje korisnika i usluga bilo potrebno i u ovoj metodi.
- *Procjena korisničkog QoE-a na osnovu izmjerenih QoS KPI pokazatelja, koristeći neka pravila mapiranja.* Potrebno je izvršiti mapiranje različitih QoS KPI pokazatelja na korisničku percepciju performansi, naprimjer, u nekoj proračunskoj tablici. Ulazi iz teških mjera QoS performansi bi se pohranjivali u toj tablici da bi se proračunao QoE baziran na identificiranom mapiranju.

U principu, ovaj pristup može biti idealan za operatore, ali zavisi od toga koliko dobro mapiranje odražava stvarni doživljaj. Identificiranje odgovarajućih odnosa između mrežnih QoS KPI pokazatelja i korisničkog doživljaja (QoE) predstavlja veoma izazovan zadatak i vrlo malo vjerovatno pruža najviši nivo preciznosti. Ovaj pristup je, prije svega, orijentiran ka proizvođačima opreme i nema fleksibilnosti i skalabilnosti.

Najbolja i mnogo realnija opcija bi bila da se koriste obje ove metode, i to u komplementarnom smislu, jer nadopunjuju jedna drugu. Zajedno ove dvije metode će pružiti bolju i mnogo precizniju sliku doživljaja korisnika te dati mogućnost mrežnom operatoru da procijeni iskorištenje radio i transportnih resursa za dati QoE (dobija se procent zadovoljnih korisnika). Prema tome, kombiniranjem ovih dvaju pristupa moguće je pronaći metodologiju kojom će se QoE neprekidno mjeriti i kojom će se on unapređivati kada je to potrebno. Proces mjerenja i unapređenja QoE-a prema toj metodologiji bi trebao pratiti proces opisan na Slici 6. [2].

7. QOE MJERE (MJERNE JEDINICE)

Pri identifikaciji QoE mjera prvo pitanje koje treba postaviti jeste: ‘Šta korisnik očekuje od pojedine ili od sve četiri komponente u QoE lancu vrijednosti?’ (Slika 4). Logično je da će biti onoliko različitih očekivanja koliko je i samih korisnika, ali većina ovih očekivanja se može grupirati u dvije osnovne kategorije [1][2]:

1. **Pouzdanost** – u ovom kontekstu označava raspoloživost, pristupačnost i održivost sadržaja, mreže, usluga i/ili aplikacijskog softwera korisničkog uređaja. Osim ovoga, pouzdanost označava i kvalitet usluge u smislu dostupnosti i mogućnosti zadržavanja (u smislu nastavljanja korištenja).
2. **Kvalitet** – odnosi se na kvalitet sadržaja, noseće usluge i/ili karakteristike (svojstva i mogućnosti) softwera korisničkog uređaja i aplikacija. Osim toga, odnosi se i na kvalitet u smislu integriteta usluge.

Nakon što smo ustanovili dvije dimenzije u kojima će korisnici procijeniti svoj QoE, vrijeme je da izvršimo pregled KPI pokazatelja koji opisuju ove dimenzije sa stanovišta mrežnih performansi. Ove mjere prikazane su u tabelama 1 i 2 [1][3]. Međutim, vrlo je bitno vrednovati ove KPI pokazatelje:

- Prvo, na osnovu četiriju QoS saobraćajnih klasa (konverzijska, streaming, interaktivna i pozadinska) i
- Drugo, na osnovu nekih najpopularnijih usluga koje spadaju u svaku od ovih saobraćajnih klasa.

Vrijednost svake od ovih mjera prevodi se na različit nivo utjecaja na stvarni QoE. Neke će biti potpuno nevažne u jednom slučaju, dok će u drugom slučaju biti najvažnije. Sve zavisi od vrste aplikacije usluge koju korisnik koristi. Karakteristike su različite i kao rezultat toga zahtjevi za sve aplikacije neće biti isti. S namjerom da se smanji okvir analiza performansi, bilo bi dobro da se razumiju različite aplikacije usluga prema četiri saobraćajnim klasama definiranim u 3GPP-u [7].

Tabela 1. QoE ključni pokazatelji performansi u vezani za pouzdanost

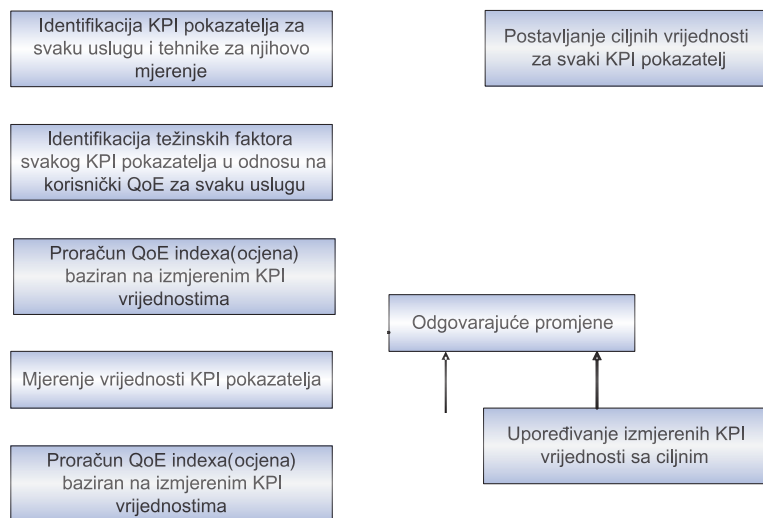
QoE KPI pokazatelji	Najvažnije mjere
Raspoloživost usluge (bilo gdje)	Odnos između pokrivene i nepokrivene teritorije (%)
Dostupnost (pristupačnost) usluge (bilo kad)	Odnos između odbijenih i uspješnih konekcija (%)
Vrijeme pristupa usluzi (vrijeme uspostavljanja usluge)	Prosječno vrijeme uspostavljanja poziva ili sesije (s)
Kontinuitet konekcije usluge (mogućnost zadržavanja usluge u smislu nastavljanja korištenja)	Odnos (omjer) prekida usluge (%)

8. OCJENA QOE-A NA OSNOVU IZMJERENIH KPI POKAZATELJA

Razvojem metoda opisanih u poglavlju 6, vrijednosti svakog od ovih KPI pokazatelja se mogu izmjeriti. Kao što smo i vidjeli, svaki KPI pokazatelj može imati različit težinski faktor za različite usluge. Naprimjer, *jitter* je veoma značajan za aplikacije realnog vremena kao što je *streaming*, ali je vrlo malo značajan za pretraživanje/surfanje (web browsing). Stoga se vrlo pažljivo mora izvršiti raspodjela težinskih faktora između različitih KPI pokazatelja za svaku uslugu.

Tabela 2. QoE ključni pokazateji performansi vezani za kvalitet

QoE KPI pokazatelji	Najvažnije mjere
Kvalitet sesije	Omjer gubitka paketa na aplikacionom sloju usluga (%)
Bitska brzina (brzina prijenosa)	Proječna bitska brzina noseće usluge postignuta kako je omjer bitske brzine zahtijevan od aplikacije (%)
Varijacija bitske brzine	Stabilnost noseće usluge: varijacija bitske brzine oko ugovorene bitske brzine (%)
Propusnost (propusna moć) aktivne sesije	Prosječna propusnost prema terminalima (kb/s)
Odziv sistema	Prosječno vrijeme odziva (s)
Kašnjenje s kraja na kraj	Prosječno kašnjenje s kraja na kraj (ms ili s)
Varijacija u kašnjenju	Jitter (%)



Slika 6.
Proces mjerenja i unapređivanja QoE-a

LITERATURA

- [1] Soldani D., Li M., Cuny M., *QoS & QoE Management in UMTS Cellular Systems*, John Wiley & Sons, June 2006.
- [2] White paper, *Quality of Experience (QoE) of mobile services: Can it be measured and improved?*, Nokia Group, 2006.
- [3] Soldani D., *QoS & QoE Management in UMTS Cellular Systems*, Special Course for Networking Technology for Ph.D. students at TTK, Lectures, Helsinki University of Technology, Fall 2006.
- [4] Executive summary, *Nokia Siemens Networks Optimized End User Experience – How to drive service revenues by optimizing the end user experience*, Nokia Siemens Networks, 2007.
- [5] ITU Recommendation, ITU G1010, *End-user multimedia QoS categories*, 2001.
- [6] 3GPP Specification, 3GPP TS 22.105, *Services and Service Capabilities*, v.4.3.0, 2002.
- [7] 3GPP Specification, 3GPP TS 23.107, *QoS Concept and Architecture*, v.4.4.0, 2002.

Kao drugi korak u ovoj procjeni se uzima to da se različite vrijednosti mogu utvrditi za doživljaj krajnjeg korisnika za svaku uslugu u cjelokupnom uslužnom miks. Svakoju usluzi bi se trebao davati težinski faktor prema njenoj vrijednosti za korisnika. Ova ponderiranja će varirati geografski, a također i s vremenom (npr., neka usluga može biti popularnija kod korisnika u Kini nego kod onih u Evropi). Može se pripremiti jednostavan model baziran na ovom pristupu, te se izmjerene vrijednosti mogu unijeti u ovaj model da bi se dobila ocjena za svaku pojedinu uslugu i da bi se dobila cjelokupna ocjena za uslužni miks [2].

9. ZAKLJUČAK

Mobilne podatkovne usluge sa svojim brzim razvojem polako postaju osnovna komponenta poslovnih strategija mobilnih operatora. Za svakog mobilnog operatora postalo je veoma važno da odgovori na zahtjeve svojih korisnika time što će, osim tehničkih zahtjeva, kao bitan faktor pri projektiranju i optimizaciji mreže uzeti u obzir i korisničko opažanje kvaliteta usluga. Korisničko opažanje usluga ukazuje operatoru na stvarno funkcioniranje mreže, bez obzira na to kako je ona tehnički realizirana. Stoga

je postalo veoma važno za operatore da inkorporiraju i precizno mjere QoS i QoE svojih mreža i dalje ih poboljšavaju na odgovarajuće načine.

Pozitivan QoE operatoru osigurava brže prihvaćanje novih usluga od korisnika kao i povećanje njihovog korištenja. To mu garantira i povećanje korisničke lojalnosti, kao i maksimiziranje prihoda od usluga. S druge strane, negativan QoE će rezultirati nezadovoljnim korisnicima, što dalje vodi do slabe percepcije tržišta i lošeg imidža operatora na telekomunikacijskom tržištu. Mobilni operatori koji pružaju superioran kvalitet doživljaja krajnjeg korisnika (QoE) uživat će značajnu tržišnu prednost, dok će se operatori koji ignoriraju važnost QoE-a suočavati sa bespotrebnim troškovima, gubitkom prihoda i smanjenjem tržišnog udjela. Stoga, jedini način da se prevlada u ovakvoj situaciji jeste da se isplanira strategija kojom bi se QoE neprestano mjerio i unapređivao. Ignoriranje QoE-a, pri projektiranju, planiranju i dizajniranju sistema i usluge, kao i čekanje da korisnici glasaju sa svojom lojalnošću, jeste skupo i može imati čak i gore posljedice.

Prema tome, mjerenje i unapređivanje QoE-a predstavlja izazov koji se postavlja pred svakog mobilnog operatora i koji mora biti poduzet da bi se najpreciznije i najpotpunije procijenilo zadovoljstvo korisnika uslugama, a time i stvarno funkcioniranje mreže. Mogućnost mjerenja QoE-a daje operatoru osjećaj doprinosa mrežnih performansi na cjelokupni nivo zadovoljstva korisnika a time mu otvara i mogućnosti da poveća korisničku lojalnost i konkurentsku prednost kroz današnje mobilne podatkovne mreže.

»Kada da očekujem Triple Play
uslugu u svom domu?«

MileG@te

Glas, Širokopojasni Internet i Televizija preko jedne linije, preko jedinstvenog sustava.

Milegate NGN Access Nod, uređaj slijedeće generacije će korisniku dati bezgraničano "Triple Play" iskustvo. Integracija glasa, Širokopojasnog Interneta i Televizije postaje realnost. Brzina: neblokirajuća arhitektura, omogućava preko 20 Mbs prema svakom korisniku istovremeno. Realizacija: MileGate obitelji, sa izvedbom od 1-8 U daje visoku gustinu sučelja sposobnu da se integrira u bilo koju mrežnu topologiju - Bez obzira da li se planira centralizirana arhitektura ili distribuirana arhitektura sustava sa vanjskim instalacijama. **MileGate - Vaša vrata za pristup budućnosti.**



Za KEYMILE program, molimo vas
da kontaktirate UNIS Telekom d.d.

UNIS Telekom d.d.

Dr. Ante Starcevcica 50
88000 Mostar, BiH
Telefon: (036) 314-407
Fax: (036) 314-408
www.unistelekom.ba



SUPER BRZI INTERNET

Ako Vas uspavljuje čekanje da se nešto skine s Interneta, sigurno će Vas razbuditi nova ponuda super brzog Interneta!

ADSL START	512/128 kbit/s
ADSL MEDIUM	1024/192 kbit/s
ADSL PROFI	2048/256 kbit/s

 **HTMOSTAR**

Besplatni info telefon: 0800 888 88
www.ht.ba

Utjecaj tehnološko-ekonomskih kriterija na izbor pristupnih tehnologija kod mobilnih operatora

Influences of techno-economical criteria affecting the selection of access technology at mobile operators

Sažetak

Kao rezultat brojnih utjecaja, danas u svijetu postoji veliki broj mobilnih bežičnih pristupnih tehnologija za pružanje govornih i podatkovnih servisa. Možemo ih grubo podijeliti na grupu koju čine mobilni ćelijski sistemi različitih generacija, GSM/GPRS/EDGE, UMTS, HSPA koje razvija 3GPP i grupu IEEE standarda, Wi-Fi (802.11x), WiMAX (802.16x). Svi ovi standardi imaju različite karakteristike u smislu brzina prijenosa, veličine ćelije, spektralne efikasnosti, mobilnosti itd. To ih čini konkurentnim, ali ujedno i komplementarnim. Zato će uspješni operatori u budućnosti morati integrirati različite tehnologije, da bi bili tržišno uspješni. Uz to, mobilne komunikacije su jedan od najdinamičnijih, najprofitabilnijih, ali i investicijski najzahtjevnijih tržišnih sektora sadašnje i buduće ekonomije. U takvom okruženju za svakog operatora je veoma važno znati izabrati "pravu" pristupnu tehnologiju ili njihovu kombinaciju.

Cilj rada je prezentirati tehnološko-ekonomske kriterije koji utječu na izbor tehnologije, prikazati opći model i putem primjene u realnom okruženju provjeriti taj model na primjeru operatora "BH Telecom" d.d. Formirani model će pomoći u procesu donošenja odluke za izbor pristupne tehnologije iz zadatog skupa tehnologija.

Ključne riječi: UMTS, Wi-Fi, WiMAX, HSPA, tehnološko-ekonomski kriteriji, opći model za izbor tehnologije, AHP, softver Expert Choice, analiza osjetljivosti

Abstract

As a result of numerous influences, today there are variety of mobile wireless access technologies for providing voice and data services around the world. We can roughly categorize them into group consisting of mobile cellular systems of different generations, EDGE, UMTS, HSPA developed within 3GPP, and group of IEEE standards, Wi-Fi (802.11x), WiMAX (802.16x). All of these standards have different characteristics in terms of data rate, cell size, spectral efficiency, mobility, etc. That make them competitive, but at the same time complementary technologies. Therefore, a successful operators in the future will have to integrate different technologies to be market successful. Additionally, mobile communications are one of the most dynamic, most profitable, but also the most investment demanding market sectors of today's and future's economy. In such environment it is of highly importance for any operator to know how to choose "right" access technology.

The aim of research is to present techno-economical criteria affecting the selection of technology, to show a common model and through applying in realistic environment check the established model out on operator "BH Telecom d.d.". Established model will help the other operators in the process of decision making to choose access technology from a given set of technologies.

Key words: UMTS, Wi-Fi, WiMAX, HSPA, a techno-economical criteria, a common model to choose the technology, AHP, software Expert Choice, sensitivity analysis;

1. UVOD

Tokom proteklih godina mnoge suštinske promjene zahvatile su mobilne bežične komunikacije. Jedan od pokretača ovih promjena jeste integracija mobilnih uređaja u živote ljudi, prvenstveno zahvaljujući mobilnosti. Karakter te mobilnosti se postupno mijenjao, od govornih ka sve važnijim podatkovnim servisima s naglaskom na "širokopojasnost", rast broja korisnika po ćeliji i u sistemu, te raznolikost i zahtjevnost servisa. Premda će govor i dalje biti neizbježan dio komunikacija, on će sve češće biti udružen s drugim tipovima informacija, i tako formirati multimedijske aplikacije.

Kako bi se nametnuli "žičnim" sistemima pristupa Internetu, mobilni bežični sistemi morali su obezbijediti zadovoljavajući QoS (Quality of Service) za RT (Real Time) aplikacije, uz istovremenu veliku slobodu kretanja. Zato su se mobilne bežične mreže razvijale kroz niz generacija mobilnih ćelijskih sistema, te dopuna postojećih i razvoja novih BWA standarda. U njima su se mijenjale i/ili kombinirale različite tehnike višestrukog pristupa, povećavao kapacitet, brzina i način prijenosa, sigurnost, pouzdanost i dostupnost od regionalnog do globalnog nivoa. Posljedica toga je da danas imamo veliki broj komplementarnih i/ili konkurentnih pristupnih tehnologija.

Već postoji izvjestan broj prilično razvijenih standarda za pružanje govornih/podatkovnih servisa u bežičnim pristupnim mrežama, ali i onih standarda koji su trenutno u razvoju. Ove standarde možemo grubo podijeliti na dvije grupe: (a) mobilne ćelijske sisteme različitih generacija, poput GSM/EDGE, UMTS WCDMA i CDMA2000 razvijenih od 3GPP i 3GPP2 udruženja; i (b) IEEE standarde, poput Wi-Fi (802.11x), WiMAX (802.16x), itd. Sve ove tehnologije imaju različite ključne karakteristike u smislu mogućih brzina prijenosa podataka, veličine ćelije, spektralne efikasnosti,

INDEKS POJMOVA I SKRAĆENICA

- 3G** (3 Generation) – Treća generacija bežičnih mobilnih ćelijskih sistema
- 3GPP** (3G Partnership Program) – Ugovor o saradnji između ETSI-a (Evropa), ARIB/TTC-a (Japan), CCSA-a (Kina), ATIS-a (Sj. Amerika) i TTA-a (Južna Koreja), čiji je zadatak da specifikira standarde 3G telefonije, u okviru ITU projekta IMT-2000
- AHP** (Analytic Hierarchy Process) – Analitički hijerarhijski proces
- CAPEX** (Capital Expenditures) – Kapitalni troškovi ili ulaganja
- FCS** (Fast Cell site Selection) – Procedura brzog izbora ćelije
- FDD** (Frequency Division Duplex) – Dupleks s frekvencijskom raspodjelom za uplink i downlink smjer signala u isto vrijeme
- HSDPA** (High Speed Downlink Packet Access) – Brzi paketski pristup u downlinku
- HSPA** (High Speed Packet Access) – Brzi paketski pristup obuhvata tehnologije HSDPA i HSUPA
- HSUPA** (High Speed Uplink Packet Access) – Brzi paketski pristup u uplinku
- MIMO** (Multiple Input Multiple Output) – Više ulaza više izlaza
- NPV** (Net Present Value) – Trenutna ili tekuća neto vrijednost (NPV) projekta ili investiranja je definirana kao suma trenutnih vrijednosti i godišnjeg novčanog toka (annual cash flows) umanjena za početne investicije
- OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplex) – Ortogonalni frekvencijski multipleks
- OPEX** (Operating Expenditures) – Troškovi rada i održavanja (mreže)
- QoE** (Quality of end-user Experience) – Kvalitet doživljaja krajnjeg korisnika
- QoS** (Quality of Service) – Kvalitet servisa
- WCDMA** (Wideband Code Division Multiple Access) – Širokopojasni višestruki pristup na temelju kodne raspodjele
- Wi-Fi** (Wireless Fidelity) – Oznaka za skup standarda IEEE 802.11x
- WIMAX** (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – Svjetska interoperabilnost za mikrotalasni pristup. Često sinonim za standard IEEE 802.16
- WLAN** (Wireless Local Area Network) – Bežična lokalna mreža

podrške za mobilnost, mrežne arhitekture, cijene itd.

Jasno je da se uspješni operatori u budućnosti neće moći osloniti na samo jedan standard bežične pristupne tehnologije, nego će morati integrirati različite tehnologije da bi bili tržišno uspješni. Izbor tehnologije zato nije lak zadatak, a u konkurentskom i standardizacijski orijentiranom industrijskom okruženju, od ključnog je značaja za svakog operatora izabrati “pravu” pristupnu tehnologiju ili kombinaciju više njih. Ona treba biti respektabilan konkurent fiksnim sistemima prijenosa podataka, i imati mogućnost uzajamnog rada s drugim tehnologijama. Za bežične pristupne tehnologije veoma je bitan optimalan odnos veličine područja pokrivanja, mogućnosti mobilnosti i brzine prijenosa. Operator mora imati na umu i fleksibilnost poslovnog modela, da bi zadovoljio potrebe korisnika i postigao profit. Uz to, frekvencijski spektar je važan parametar jer može činiti veliki dio početnih ulaganja. Da bi operator mogao što prije krenuti u eksploataciju, poželjno je da tehnologija bude već oprobana i zrela, sa širokim izborom proizvođača opreme, podrške i potrebnih dodatnih servisa.

Cilj je prezentirati utjecaj različitih tehnološko-ekonomskih kriterija na izbor pristupne tehnologije kod mobilnih operatora iz zadatog skupa trenutno aktualnih tehnologija. Najprije su predstavljene tehnologije UMTS WCDMA sa FDD modom, IEEE 802.11x, IEEE 802.16x i HSPA (High Speed Packet Access), a razlozi izbora su:

- UMTS WCDMA tehnologija s FDD modom danas ima veliku globalnu zastupljenost (Evropa i veliki broj azijsko-pacifičkih zemalja), a podržavaju je i mnogi dominantni operatori i vendori;
- IEEE 802.11x je postao veoma raširen standard bez obzira na svoja ograničenja u dometu i mobilnosti;
- IEEE 802.16x, s obzirom na deklarirane mogućnosti u fiksnom i mobilnom pristupu, može biti konkurent 3G sistemima;
- HSPA, kao evolucija UMTS WCDMA tehnologije, povećava brzine pri-

jenosa i poboljšava spektralnu efikasnost, koristeći isti opseg kao UMTS.

S obzirom na složenost problema, odlučivanje obuhvata veliki broj kriterija koji se različito reflektiraju na operatora i korisnika. Zato su prezentirani oni tehnološko-ekonomski kriteriji koji utječu na izbor tehnologije. Kako postoji veliki broj kriterija, može se napraviti opći model za izbor pristupne tehnologije, primjenljiv kod bilo kojeg operatora. U tu svrhu je korištena AHP metoda, kao jedna od metoda za odlučivanje, i programski paket *Expert Choice* koji podržava ovu metodu. Na kraju je provjeren formirani model u realnom okruženju na primjeru operatora “BH Telecom” d.d.

2. PRISTUPNE TEHNOLOGIJE

Još od 1800. godine, kada je M.G. Marconi uspostavio prvi radio link, bežični sistemi su se neprekidno primjenjivali i evoluirali, poboljšavajući karakteristike, mogućnosti, vrstu i broj korisnika. Početne primjene nalaze svoje mjesto u vojsci, policiji, a s razvojem civilnih aplikacija komercijalni bežični sistemi zauzimaju vodeće mjesto. Usljed različitih potreba, prilika i mogućnosti razvoja, karakteristike mobilnih bežičnih tehnologija postaju tehnološko-ekonomski različite.

2.1 UMTS WCDMA sa FDD modom

Treća generacija mobilnih komunikacionih sistema pojavljuje se kao odgovor na sisteme koji su povećali kapacitet postojećih 2G sistema, a istovremeno s obavezom da pruži korisnicima platformu koja omogućava neprekinuti i svuda prisutni pristup širokoj lepezi novih, kako kanalno, tako i paketski komutiranih servisa. Ključni faktor su brzine prijenosa u vanjskim i unutrašnjim okruženjima, koje trebaju biti od minimalno 144 kbps za korisnike s brзом pokretljivošću, 384 kbps za korisnike sa srednjom pokretljivošću, do 2 Mbps za korisnike s malom pokretljivošću. Praktično, WCDMA omogućava maksimalne brzine prijenosa od 384 kbps s latencijom od 100 do 200 ms [1].

WCDMA radio-interfejs je radikalno udaljavanje od uskopojasne TDMA tehnike korištene u GSM/EDGE-u. U fokusu je FDD mod koji zahtijeva dodjelu dvaju odvojenih frekvencijskih opsega za uplink i za downlink. Time je moguća istovremena predaja i prijem signala, a veličina ćelije nije ograničena propagacijskim kašnjenjem. Suština dizajna WCDMA radio-interfejsa je povećanje brzine prijenosa uz prihvatljivo područje pokrivanja, ali i veća fleksibilnost korištenja spektra, imajući u vidu i asimetričnost saobraćaja [2]. Time se povećava broj korisnika i omogućavaju različite aplikacije s potrebnim QoS i sigurnošću. Dodajući tome potrebu kompatibilnosti s GSM/GPRS-om, formirana je slojevit arhitektura protokola radio-interfejsa, koju čini veliki broj različitih kanala.

UMTS koristi DS-SS (Direct Sequence-Spread Spectrum) tehniku širenja spektra. Ona podrazumijeva direktno množenje simbola korisnika njemu dodijeljenom kodnom sekvencom brzine 3,84 Mcps. Time se spektar relativno uskopojasnog signala svakog korisnika širi na propusni opseg od 5 MHz. Kodne sekvence su jedinstvene pa se, množenjem primljenog signala širokog spektra istom sekvencom, "skuplja" spektar signala proširenog tom istom sekvencom. Prijenos podataka putem datog fizičkog kanala obavlja se u određenim intervalima. Unutarćelijska i međućelijska interferencija je veliki problem za CDMA sisteme. Bez dodatnih postupaka, visok stepen interferencije značajno će smanjiti performanse u smislu zahtijevanog kapaciteta sistema i/ili područja pokrivanja, te kvaliteta i brzine prijenosa [3]. Primjenom metoda poput kontrole snage, handovera, MUD algoritama i različitih antenskih tehnika moguće je kontrolirati i smanjenje interferencije.

Kako UMTS u biti nije zamjena nego proširenje 2G/2.5G sistema za potrebe većeg prijenosa podataka, cilj je bio postići uzajamni rad novog s prethodnim sistemima, da bi se ubrzala migracija tehnologije. Rezultat je prvo izdanje specifikacija, 3GPP Release '99, koje se uglavnom bavi pristupnom mrežom UTRAN, uključujući već spomenuti novi radio-

interfejs, a zadržavajući jezgro mreže sličnim onom u postojećem GSM/GPRS sistemu [4].

UMTS raspolaže s četiri QoS klase za pojedine grupe aplikacija, podijeljenih u skladu s osjetljivošću servisa na kašnjenje saobraćaja (konverzijska, streaming, interaktivna, i background klasa). Prva klasa servisa je veoma osjetljiva na kašnjenje, a najmanju osjetljivost na kašnjenje imaju servisi zadnje klase. 3GPP QoS arhitektura omogućava dodjelu QoS-a po servisu i/ili po krajnjem korisniku i daje mogućnost UE (User Equipment)/aplikaciji da zahtijeva svoje QoS parametre. To daje mogućnost šireg izbora servisa i većeg nivoa personalizacije servisa.

Spektar je jedan od najvećih problema svih generacija mobilnih bežičnih standarda u smislu raspoloživosti i podesnosti, a za globalnu UMTS primjenu to je faktor od fundamentalnog značaja. Zato se ujednačenost raspodjele spektra nastojala postići putem konferencija na globalnom nivou (npr. WRC2000). Kako 3G sistemi obuhvataju fiksna unutrašnja i vanjska okruženja sa sporim i brzim kretanjem, WCDMA radio-interfejs ograničen je na 2x5 MHz iz više razloga (ciljane brzine prijenosa uz prihvatljivo područje pokrivanja, nedostatak spektra, i smanjenje efekata višeputanskog prostiranja signala) [5].

2.2 IEEE 802.11 standardi: WLAN

WLAN je nastao kao alternativa žičnim mrežama za prijenos podataka u okruženjima gdje je teško instalirati tradicionalnu žičnu infrastrukturu poput Ethernet, zbog čega u biti predstavljaju njihovo bežično proširenje. Bitna osobina koja proističe iz toga je jednostavna instalacija, bez potrebe za vlastitom infrastrukturom jezgra mreže.

WLAN ima razvojni put od sistema ograničene primjene do sistema koji bi trebao podržati QoS potreban najzahtjevnijim aplikacijama poput multimedije i govora. Najveći problem bila je standardizacija. Uvođenjem standarda on postaje jedan od vodećih trendova posljednjih godina u informatičkoj industriji. Danas se gotovo ne proizvode prijenosni računari bez ugrađene WLAN kartice, a sve

je više i PDA uređaja s WLAN podrškom. Da bi se spriječila mogućnost razvoja međusobno nekompatibilne opreme, formirano je industrijsko udruženje proizvođača bežične opreme, „Wi-Fi Alliance“.

Bitan podstrek razvoju WLAN standarda bilo je usvajanje ISM (Industrial, Scientific and Medical) pojasa za nelicencirano korištenje radio-talasa (bežični telefoni, mikrovalne peći, Bluetooth uređaji). WLAN koristi nelicencirani ISM spektar u dva opsega: 2.4 GHz i 5 GHz. Nelicenciran opseg ima određena pravila kojih se treba pridržavati, dok se regulacija nelicenciranog spektra bitno razlikuje u pojedinim zemljama. 2.4 GHz uglavnom je svuda slobodan. U Evropi je 5 GHz spektar, osim nelicencirane upotrebe, dodijeljen raznim službama (vojne, pomorske, meteorološke), a u SAD-u su uvedene nelicencirane frekvencije, poznate kao U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure) [9].

Prva ozbiljna nadogradnja WLAN standarda – 802.11b, koristi DS-SS tehniku modulacije za prijenos podataka na fizičkom sloju. Svi WLAN standardi s većim brzinama prijenosa (802.11a/g) zasnovani su na OFDM modulaciji. IEEE 802.11b podržava fizičke brzine prijenosa do 11 Mbps s dometom 35-100 metara, 802.11a pruža više brzine prijenosa do 54 Mbps, ali s dometom 30-50 metara, dok 802.11g pruža brzine do 54 Mbps s dometom od 25 do 100 metara.

Veća prodaja i integracija u svakodnevnu tehnologiju zahtijeva velika ulaganja u razvoj standarda, da bi se ostalo u trendu i tržištu ponudilo više i bolje. Premda je sigurnost bila slaba tačka WLAN-a, danas je uveden niz mehanizama i protokola za zaštitu, poput WPA, EAP-a i AES-a. Za povećanje brzine prijenosa predviđena je kombinacija OFDM/MIMO, što omogućava istovremenu primopredaju signala putem više antena, ali je standard nedovršen. Premda je 802.11s standard u početnoj fazi razvoja, metro Wi-Fi sistemi zasnovani na zamkastoj mrežnoj topologiji privlače dosta pažnje za Wi-Fi pristup u centru grada.

Bez podrške za aplikacije s QoS zahtjevima i klasama servisa, WLAN ne može adekvatno podržati servise poput

govora i video-konferencije, za šta je zadužen 802.11e standard, dok 802.11r standard treba ubrzati proces handovera između pristupnih tačaka pri kretanju korisnika. Oba standarda nisu konačna.

U okviru 3GPP standardizacije postoji šest različitih scenarija povezivanja UTRAN i WLAN mreža [10]. Cilj je postupna integracija, pa svaki scenarij obuhvata prethodna svojstva i predstavlja naredni korak u procesu integracije, i shodno tome postupno uvođenje novih elemenata u arhitekturu.

2.3 IEEE 802.16 standardi: WiMAX

IEEE 802.16 grupa, zadužena za razvoj standarda radio-interfejsa za BWA pristup, imala je kao rezultat 802.16 standard P2M (Point to Multipoint) širokopojasnog bežičnog pristupa za LOS komunikaciju u licenciranom dijelu opsega 10-66 GHz. Potom je uslijedio amandman standarda, koji je uključio NLOS komunikaciju u opsegu 2-11 GHz, koristeći fizički sloj zasnovan na OFDM tehnici. Sljedeće izdanje, IEEE 802.16-2004, orijentirano je na FWA pristup i poznato je kao fiksni WiMAX. Krajem 2005. godine, IEEE grupa je dovršila i odobrila IEEE 802.16e-2005, koji je osnova WiMAX rješenja za širokopojasni NWA i MWA pristup, poznat kao mobilni WiMAX [11].

Mobilni WiMAX nudi velik skup svojstava s dosta fleksibilnosti u smislu opcija primjene i potencijalne ponude servisa. Njegov je fizički sloj zasnovan na OFDM tehnici koja pruža dobru otpornost na višeputansko prostiranje signala i omogućava mu da radi u NLOS uvjetima. Maksimalna fizička brzina koja se može postići je 74 Mbps sa 20 MHz kanalom. S 10 MHz kanalom i TDD modom s odnosom DL/UL=3, maksimalna fizička brzina je 25 Mbps/6,7 Mbps. Upotrebom MIMO tehnologije, u dobrim uvjetima prostiranja signala moguće su i veće brzine. WiMAX adaptivna arhitektura fizičkog sloja dopušta prilagođavanje brzine prijenosa raspoloživom propusnom opsegu kanala. Podržan je AMC mehanizam, s promjenom sheme, kako po korisniku, tako i po okviru, a na osnovu uvjeta u kanalu, dok su na DLL sloju omogućene

retransmisije. Također, podržava TDD i FDD mod, a utemeljen je na adaptivnom OFDMA pristupu s tipičnim radijusom ćelije 1,5-5 km [12].

MAC podsloj ima konjeksijski orijentiranu arhitekturu s podrškom za različite aplikacije (govor i multimedija). Tako WiMAX podržava *best effort*, CBR (Constant Bit Rate), VBR (Variable Bit Rate), RT i NRT (Non-RT) podatkovni saobraćaj. Osim toga, MAC je dizajniran da podrži veći broj korisnika, s višestrukim konjeksijama po terminalu, svaka sa svojim QoS zahtjevima. Kad je riječ o sigurnosti, WiMAX od početka ima ugrađenu snažnu sigurnost korisničkih podataka i sprečavanje neautoriziranog pristupa. WiMAX forum je definirao referentnu mrežnu arhitekturu temeljenu na *all-IP* platformi. Isporuka servisa s kraja na kraj mreže ide preko IP arhitekture koja se oslanja na IP-temeljene protokole za transport, QoS, menadžment sesija, sigurnost i mobilnost.

Kao i Wi-Fi, frekvencijski spektar predviđen za WiMAX sisteme obuhvata licencirana i nelicencirana frekvencijska područja, što je ovisno o pojedinim zemljama i njihovim regulatornim tijelima. WiMAX koristi licencirane (2,3-2,69 GHz, npr. SAD, J. Koreja; 3,3-3,8 GHz, npr. Evropa, Azija) i nelicencirane (5,8 GHz, npr. SAD) opsege.

Mobilni WiMAX ima predviđene mehanizme za pouzdan neprekinut handover za aplikacije koje mogu podnijeti manje kašnjenje. Poboljšanja fizičkog sloja, poput češće estimacije kanala i kontrole snage, također su predviđena za mobilne primjene. Ipak, podrška za punu mobilnost nije dio prvog izdanja WiMAX specifikacija.

U kontekstu 3GPP standardizacije, WiMAX još nije aktivno uključen u proces standardizacije uzajamnog rada sa UMTS-om. U tom smislu, 3GPP TSG SA radna grupa je uputila poziv WiMAX forumu i IEEE 802.16 da aktivno učestvuju u definiranju mogućih scenarija uzajamnog rada između 3GPP i WiMAX sistema.

2.4 HSPA

Prvi korak evolucije 3G sistema ka IP-temeljenim mrežama je 3GPP Release 5. Uz izmjene u jezgri mreže uvodi se poboljšanje u downlinku, poznato kao HSDPA, koje može pružiti i do 6 puta veću propusnost i brzu adaptaciju linka na promjenljive uvjete u kanalu. Drugi korak evolucije je Release 6, koji, između ostalog, uvodi HSUPA tehnološku nadogradnju u uplinku. Ove dvije tehnologije, zajedno poznate kao HSPA, omogućavaju interaktivne servise s mnogo većim brzinama i značajno poboljšavaju kapacitet mreže [6].

Cilj HSDPA je poboljšati kapacitet downlinka i tako ukloniti potencijalno usko grlo sistema. Teoretska brzina prijenosa za jednog korisnika je 14,4 Mbps, dok se brzina u praktičnim primjenama ograničava na 2 Mbps, 3,6 Mbps i 7,2 Mbps. Također, HSDPA smanjuje kašnjenje, što je veoma bitno za sticanje dojma širokopojsnosti. Mogućnosti HSDPA se dalje mogu povećati ili kombinacijom HSDPA-MIMO ili korištenjem novih frekvencija, koje bi se dodijelile samo HSDPA-u [7].

HSDPA je kombinacija više tehnika (nova struktura okvira, nova shema brze retransmisije i nova shema adaptivne modulacije i kodiranja) od kojih svaka doprinosi poboljšanju downlink kanala. On je u biti softverska nadogradnja uz minimalno hardversko proširenje u RNS (Radio Network Subsystems), a bez izmjena jezgra mreže, pa je jednostavan, postupan i brz za primjenu. Drugo, HSDPA efikasno koristi spektar za prijenos podataka pa može smanjiti cijenu po megabajtu isporučenih podataka.

On je najpodesniji za background i streaming klase servisa, koje generiraju više downlink nego uplink saobraćaja, a nemaju stroge zahtjeve o pitanju kašnjenja i varijacije kašnjenja. Za punu mobilnost između ćelija koje podržavaju ili ne podržavaju HSDPA, uvedena je procedura brzog izbora ćelije FCS (Fast Cell site Selection).

Interesovanje za aplikacijama sa simetričnim saobraćajem, poput multimedijjskih poziva i video-konferencije,

uvjetovalo je povećanje propusne moći uplinka. Nakon uspješnog uvođenja HSDPA, 3GPP je počeo istraživati mogućnosti korištenja HSDPA tehnika za uplink, što je rezultiralo kroz Release 6 u vidu HSUPA tehnologije koja povećava uplink brzine do teoretskih 5,8 Mbps. Maksimalne brzine prijenosa u početnoj fazi bi trebale biti 1-2 Mbps, dok bi se u drugoj fazi povećale na 3-4 Mbps [8].

HSUPA nije samostalna tehnologija, već koristi većinu svojstava Release '99. Naime, WCDMA i HSUPA dijele sve mrežne elemente u jezgri mreže i radio-pristupnoj mreži. Zato je i HSUPA softverska nadogradnja, uz eventualno minimalno hardversko proširenje u RNS, a bez izmjena jezgra mreže, te je stoga jednostavan i brz za primjenu.

Kao podrška mobilnosti, nove primjene podržavaju soft handover. Međufrekvencijski i međusistemijski handover su, također, unaprijeđeni za HSUPA, kako bi bilo moguće održati vezu u svim slučajevima (prelazak u Release '99 mrežu, prelazak u ćeliju s više 5 MHz-nih frekvencija, i prelazak u područje GSM/GPRS mreže).

HSPA podiže brzine prijenosa na 1-2 Mbps u praktičnoj primjeni, pa i do 3 Mbps u dobrim uvjetima. Kako HSPA smanjuje latenciju ispod 100 ms, način izvršavanja aplikacija koji "vidi" krajnji korisnik sličan je onom u DSL vezi.

3. KRITERIJI

Raznovrsnost i brojnost kriterija, njihova međusobna ovisnost, te potreba da se općim modelom koji će biti naknadno uveden što preciznije opiše problem iz realnog svijeta, zahtijevaju kategorizaciju kriterija. Zato ćemo ovdje kategorizirati tehnološko-ekonomske kriterije koji utječu na izbor pristupnih tehnologija kod mobilnih operatora, oslanjajući se na razmatranja koja su data u prethodnom poglavlju.

3.1 TEHNIČKO-TEHNOLOŠKI ASPEKTI

3.1.1 Performanse propusnosti

Propusnost podataka je važno mjerilo kvantitativnih performansi mrežne

propusnosti. Nažalost, ono često ima funkciju marketinškog alata koji koriste različite organizacije i/ili proizvođači. Usljed toga veličina propusnosti jako varira, vodeći često pogrešnim tvrdnjama. Propusnost tehnologije se opisuje na dva načina. Prvi način se odnosi na najveću moguću brzinu prijenosa putem radio-linka, temeljenu na raspoloživoj modulaciji najvišeg reda i najmanjem iznosu overheada korekcionog koda. Usljed overheada, aplikacijska propusnost može biti 10-20 % manja [13]. Drugi način je dati stvarno izmjerenu propusnost u praktično realiziranoj mreži, koristeći aplikacije poput FTP (File Transfer Protocol) pod povoljnim radio-uvjetima (malo mrežno opterećenje i povoljno prostiranje signala).

3.1.2 Latentnost mreže

Iako se propusnost obično koristi kao mjerilo performansi radio-interfejsa, sama nije dovoljna za opisivanje njegovih performansi sa stajališta aplikacija. Latencija se definira kao RTT (Round Trip Time) vrijeme potrebno informaciji da pređe put od izvorišta do odredišta, i nazad, uključujući i vrijeme potrebno odredištu da obradi poruku od izvorišta i generira odgovor.

Latencija i propusnost imaju jak utjecaj na dizajn TK sistema, s obzirom na to da poboljšanja u jednom smjeru idu često na račun drugog. Za aplikacije kao što je prijenos datoteka od najvećeg je značaja propusnost, s obzirom na to da se takve aplikacije ne završavaju dok se ne prenesu svi podaci. Za RT aplikacije od najvećeg je značaja latencija, jer su osjetljive na kašnjenje.

3.1.3 Karakteristike mobilnosti

Veličina ćelije i mogućnosti handovera u znatnoj mjeri određuju način bežičnog pristupa. Kako razmatrane tehnologije trebaju osim govora prenijeti i veliku količinu RT i NRT saobraćaja, uz istovremeni rast broja korisnika, handover i mobilnost dobijaju još više na značaju.

Važno pitanje za primjenu bilo koje ćelijske tehnologije jeste potrebni broj baznih stanica koji je ovisan o brojnim faktorima. Veličinu ćelije, osim same pristupne tehnologije, određuje veličina

servisnog područja koje će bazna stanica pokrivati, potrebni kapacitet ćelije, i tip ponuđenog servisa s pripadajućim QoS-om. Pri tome se u razmatranje moraju uključiti radna frekvencija, geografska svojstva područja, gustina populacije i vrsta okruženja.

3.1.4 Spektar

Efikasnost korištenja spektralnih resursa je jedan od najvažnijih kriterija za donošenje odluke o podesnosti uvođenja neke bežične tehnologije. Evoluciju podatkovnih servisa karakterizira rast broja korisnika sa sve većim zahtjevima za propusnim opsegom. Kako tržište prijenosa podataka raste, razvoj bežičnih tehnologija velike spektralne efikasnosti će biti od najvećeg značaja. Tri tehnike višestrukog pristupa (TDMA, CDMA i OFDM) često se prikazuju kao one sa suštinskim prednostima nad drugim, posebno u smislu fleksibilnosti korišćenja raspoloživog opsega kanala [13].

Sve frekvencije nisu jednako povoljne za rad svakog sistema, a opseg je dijeljen u određeni broj opsega i od nacionalnih i od međunarodnih regulatornih tijela, u različito vrijeme. Posljedica su različite dodjele spektra različitim sistemima u cijelom svijetu [13]. Globalna neujednačenost spektra otežava primjenu standarda u više regija i/ili država, što je problem kako tehnološkog, tako i ekonomskog karaktera.

3.2 EKONOMSKI ASPEKTI

3.2.1 Kapitalni troškovi (CAPEX)

CAPEX ili kapitalni troškovi su ulaganja u dugoročnu/stalnu materijalnu i nematerijalnu imovinu i uključuju relativno velike izdatke u sadašnjosti za koje se očekuje da će generirati novčane tokove u budućnosti, u razdoblju dužem od godinu. Mogućnost korištenja postojeće infrastrukture predstavlja važan kriterij koji direktno utječe na cijenu i brzinu implementacije sistema, a ujedno minimizira ukupni CAPEX [14].

3.2.2 Operativni troškovi (OPEX)

OPEX predstavlja tekuće troškove održavanja i korištenja proizvoda, po-

sla ili sistema, poput nabavke potrošnog materijala, i upošljavanja radnika, raznih stalnih i/ili povremenih testiranja i sl. Javljaju se od momenta puštanja u komercijalni rad mreže i posljedica su troškova funkcioniranja sistema [14]. Kod OPEX troškova je najupitnija cijena licence i uvjeta koje licenca postavlja pred operatore, što određuje Regulatorna agencija za komunikacije.

3.2.3 Neto Sadašnja Vrijednost

NPV ili Neto Sadašnja Vrijednost je standardna mjera koja se koristi za procjenu dugoročnih projekata i može se dobiti uspoređivanjem svih kvantifikativnih potencijalnih prihoda sa inkrementalnim troškovima pri izgradnji i korištenju mreže. NPV indikator od koristi je operatorima pri donošenju odluke o investiranju u najpovoljniju primjenu novih tehnologija, kako bi postigli poboljšanje pokrivenosti i kapaciteta u svojim mrežama.

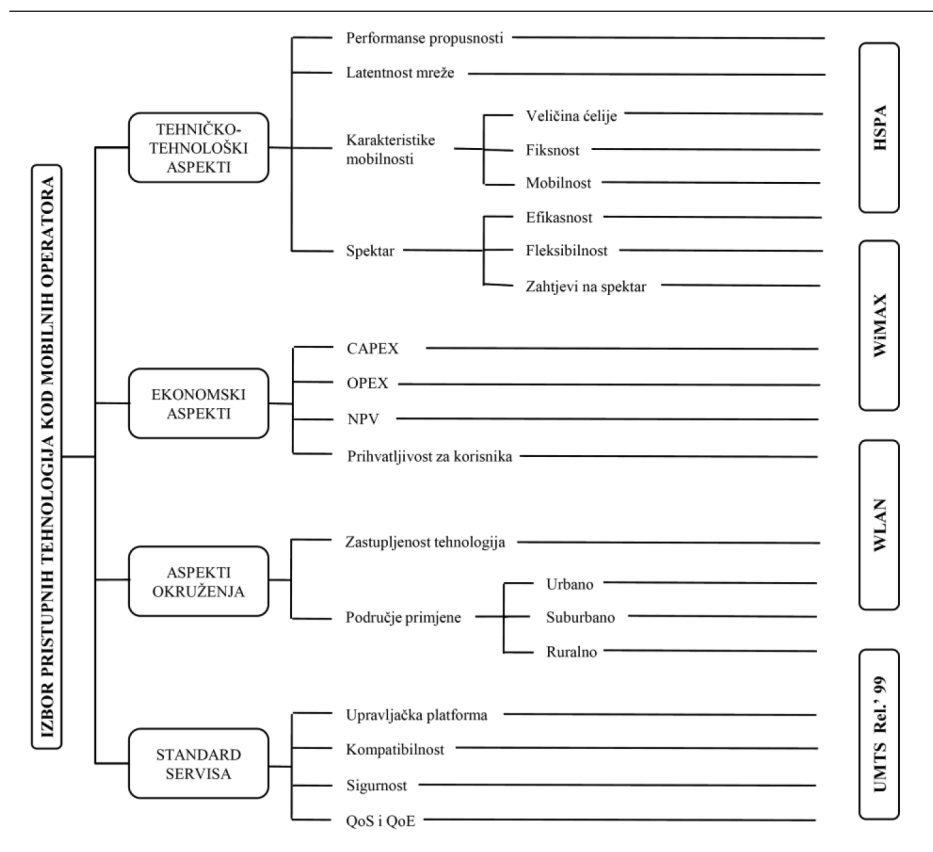
3.2.4 Prihvatljivost za korisnika

Sve razmatrane tehnologije trebaju različite, dopadljive i pristupačne uređaje s visokim stepenom autonomije napajanja, integracije različitih pristupnih tehnologija (Bluetooth, IR, Wi-Fi), i multimedijjskih dodataka (podrška za mp3, kamera i video visoke rezolucije). Zajedno s ostatkom mreže, uređaji obezbjeđuju rad aplikacija i sadržaja, te tako formiraju vrijednosnu mrežu i omogućavaju isporuku "cijelog proizvoda" krajnjem korisniku.

3.3 ASPEKTI OKRUŽENJA

3.3.1 Zastupljenost tehnologija

Za operatora su, osim trenutnih, od velikog značaja i mogućnosti razvoja tehnologija u budućnosti, kako bi mogao opravdati svoja ulaganja. Mogućnosti razvoja mogu se vidjeti kroz različite studije, statističke prikaze prihvatanja tehnologije, ili aktivnosti na poboljšavanjima standarda [14]. Dominirajući operatori i proizvođači opreme u velikoj mjeri određuju tempo razvoja tehnologije, stvarajući prostor za pojavu novih aplikacija i globalizaciju tehnologije.



Slika 1.
Opći AHP model za izbor pristupnih tehnologija

3.3.2 Područje primjene

Područje primjene s obzirom na fizičku lokaciju na kojoj se pruža servis, u općem slučaju dijelimo na urbano, suburbano i ruralno. Svaki od ovih scenarija ima sebi svojstvene geografske, infrastrukturne, arhitektonske, ekonomske i populacijske karakteristike. U pojedinim zemljama te razlike su više, a u drugim manje izražene, ali je činjenica da one uvijek postoje.

3.4 STANDARD SERVISA

3.4.1 Upravljačka platforma

Iako upravljačka platforma nije direktno u vezi s pristupnom tehnologijom, ona je od velikog značaja za cjelokupni sistem, jer pomaže operatoru da brzo uspostavi mrežu i znatno pojednostavi menadžment grešaka u radu, performansi, i konfiguracije, što se direktno odražava i na kvalitet pruženih servisa.

3.4.2 Kompatibilnost

Izvjesno je da u skorije vrijeme neće postojati jedna globalna tehnologija, što nameće potrebu uzajamnog rada tehnologija i formiranje heterogenih mreža. Heterogenost je tehnološki i ekonomski problem rješavanja konzistentne naplate i primjene jedinstvene politike za upotrebu različitih tehnoloških resursa istog operatora i/ili između pojedinih operatora.

3.4.3 Sigurnost

U biti, sve TK tehnologije dizajnirane su tako da se onemogućiti neovlašteni pristup svim resursima mreže i/ili podacima korisnika. To se naročito odnosi na bežični pristup, koji je najosjetljiviji na upade. Zato je jedan od primarnih zahtjeva u standardizaciji obezbjeđenje sigurnosti i privatnosti na mreži.

3.4.4 QoS i QoE

Danas ljudi ne kupuju i troše tehnologiju, već ponuđene servise i sadržaje. Nove multimedijске aplikacije imaju različite zahtjeve o pitanju prijenosa podataka, te je QoS kontrola u dinamičnoj mreži s velikim brojem korisnika, različitim RT i NRT aplikacijama i ograničenim spektrom od velikog značaja. Uz to, kombinacija male latencije i velike propusnosti radio-interfejsa omogućava korisniku doživljaj širokopojsnosti, gdje aplikacije imaju veoma brz odziv te tako bolji QoE (Quality Of Experience).

4. MODEL ZA IZBOR TEHNOLOGIJE

Planiranje u telekomunikacijama je složen proces koji mora uzeti u razmatranje različite međusobne odnose tehnološko-ekonomskih kriterija. Naime, do skorijeg vremena na raspolaganju je bio mali broj pristupnih tehnologija, te je proces izbora bio relativno trivijalan. Danas je situacija bitno drugačija; osim što postoji više široko dostupnih tehnologija s težnjom ka razvoju univerzalnih pristupa, značajno je veća složenost interakcije između kriterija koji učestvuju u procesu odlučivanja.

S obzirom na to da proces odlučivanja nije imun od unošenja izvjesnog subjek-

tiviteta donosioca odluke i ostalih zainteresiranih učesnika, nije moguće postići apsolutnu objektivnost. U procesu odlučivanja donosilac odluke mora raspolagati podacima o alternativama koji se mogu prikazati u tabeli odlučivanja. Bilo koja metoda za uspoređivanje i rangiranje alternativa u problemima odlučivanja, a na temelju podataka iz tabele odlučivanja, mora na neki način uzeti u obzir prednosti koje neka alternativa ima u odnosu na druge, usporediti te prednosti s njezinim nedostacima i sve to izraziti jednim brojem. Ako kriteriji imaju različite važnosti, treba uračunati i njihove težine. Za formiranje modela, u ovom slučaju se koriste metode utemeljene na određenim pretpostavkama koje se matematički opisuju. Najpoznatije su metode: AHP, TOPSIS, te ELECTRE i PROMETHEE s više varijanti.

AHP (Analitički Hijerarhijski Proces) metoda spada u najpoznatije i posljednjih godina najviše korišćene metode za višekriterijsko odlučivanje [15]. Vrlo je slična načinu na koji pojedinac intuitivno rješava složene probleme tako što ih rastavlja na jednostavnije. AHP objedinjuje primjenu podataka, iskustava, procjenljivosti i intuicije na logičan i temeljit način. Pri tome, uspoređivanjem alternativa i kriterija u parovima, ona olakšava strukturiranje složenih problema i obavljanje procjene, a također omogućava objedinjavanje objektivnih i subjektivnih razmatranja u procesu odlučivanja [16]. AHP razlaže složeni, nestrukturirani problem na njegove sastavne elemente, uređuje ove elemente u hijerarhijski redoslijed, dodjeljuje numeričke vrijednosti subjektivnim procjenama relativne važnosti svakog elementa, i sintetizira procjene da bi se odredio prioritet elemenata. AHP metoda je analitička jer koristi matematičko/logičko rasuđivanje, a hijerarhijska jer strukturira složeni problem odlučivanja u više nivoa/komponenti (cilj, kriteriji, potkriteriji i alternative).

Kao podrška razvoju modela koristi se programski paket *Expert Choice*. To je programski paket koji je u potpunosti utemeljen na AHP metodi dr. Thomasa Saatyja. Kreirao ga je dr. Ernest Forman, profesor nauka o odlučivanju na poslov-

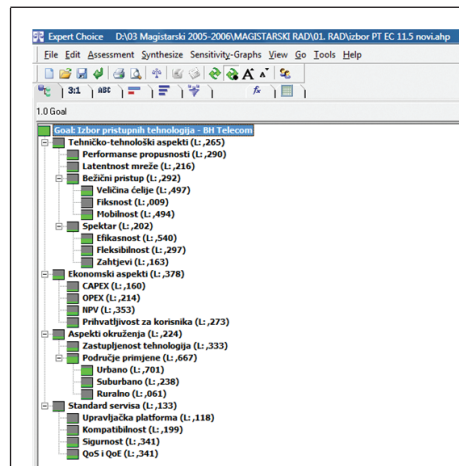
noj školi Univerziteta "George Washington" (Washington, SAD), kao alat za pomoć u odlučivanju. Program omogućava strukturiranje hijerarhijskog modela problema odlučivanja na više načina, te također uspoređivanje u parovima na nekoliko načina. Proces uspoređivanja u parovima se može obaviti pomoću riječi, brojeva ili grafičkih stupaca, i u pravilu uključuje redundantnost koja vodi smanjenju greške mjerenja i formiranja mjere konzistentnosti procjene uspoređivanja. Ovaj programski paket podržava složene hijerarhije s više potkriterija, uz mogućnost procjene velikog broja alternativa. Kako se odluke često donose putem grupnog konsenzusa, iako se članovi grupe često teško mogu sastati, ili je teško čuti mišljenje svakog člana tokom sastanka, *Expert Choice* omogućava da se mišljenje svakog člana ugradi u proces odlučivanja [17].

Nakon postavke problema u hijerarhijskom obliku, sljedeći korak je određivanje prioriteta. Svaki čvor se procjenjuje spram drugih čvorova istog nivoa u odnosu na njegov izvorni čvor.

Ove procjene elemenata na svakom nivou *Expert Choice* modela poznate su kao uspoređivanja u parovima i čine se u smislu: važnosti (pri uspoređivanju kriterija u odnosu na njihovu relativnu važnost), preferencija (pri uspoređivanju preferencija po alternativama u odnosu na kriterij), ili vjerovatnoće (pri uspoređivanju neizvjesnih slučajeva u odnosu na vjerovatnoću njihove pojave) [17].

AHP metodu možemo koristiti zbog njene jednostavnosti, lakoće upotrebe i raspoloživog računarskog programa koji je podržava. Ovaj metod utemeljen je na čvrstoj matematičkoj postavci, a proveden je veliki broj eksperimenata kojima se nastojala opravdati njegova upotreba. U [18], i [19] navedeni su brojni primjeri studija koje opravdavaju upotrebu kombinacije AHP/*Expert Choice*. Od 1995. godine, *Expert Choice* se koristi u 57 zemalja širom svijeta, a postoji više od 1000 različitih akademskih i istraživačkih radova, te navođenja AHP metode.

S krajnjim ciljem "Izbor pristupnih tehnologija kod mobilnih operatora", 20 kriterija razvrstano je u četiri kategorije



Slika 2.
Dodijeljene vrijednosti procjene
u programu *Expert Choice*

LITERATURA

- [1] Jordi Perez Romero, Oriol Sallent, Ramon Agusti, and Miguel Angel Diaz-Guerra, *Radio Resource Management Strategies In UMTS*, John Wiley & Sons, 2005.
- [2] Daniel Collins, Clint Smith, *3G Wireless Networks*, McGraw-Hill Professional, 2001.
- [3] Jonathan P. Castro, *The UMTS Network and Radio Access Technology: Air Interface Techniques for Future Mobile Systems*, John Wiley & Sons, 2001.
- [4] Mooi Choo Chuah, Qingqing Zhang, *Design and Performance of 3G Wireless Networks and Wireless LANs*, Springer, 1 edition, 2005.
- [5] Jaana Laiho, Achim Wacker, Toma Novosad, *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*, John Wiley & Sons, 2006.
- [6] Juha Korhonen, *HSDPA- An Introduction*, TTPCom White Paper, 2004.
- [7] Harri Holma and Antti Toskala, *HSDPA /HSUPA for UMTS High Speed Radio Access for Mobile Communications*, John Wiley & Sons, 2006.

LITERATURA

[8] Peter Rysavy, *Mobile Broadband: EDGE, HSPA, LTE, 3G Americas*, 2006.

[9] Ivan Barbić, *Primjenjivost bežičnih lokalnih mreža u informacijskim sustavima poduzeća*, magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet, Zagreb

[10] 3GPP TR 22.934 v6.2.0 *Feasibility study on 3GPP System to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking*

[11] Mulej Aleš, seminarska naloga *Mobilni WiMAX 802.16e*, Univerza v Ljubljani, maj 2006.

[12] Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*, Prentice Hall, March, 2007.

[13] Peter Rysavy, *Data Capabilities: GPRS to HSDPA*, 3G Americas, September 2004.

[14] Harald Gruber, *The Economics of Mobile Telecommunications*, Cambridge University Press, 2005.

[15] T. L. Saaty, *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, 1990.

[16] Prof.dr.sc. Tihomir Hunjak, *Višekriterijsko odlučivanje: AHP metoda*, materijali s predavanja, Fakultet organizacije i informatike, Varaždin 2005.

[17] Dokumentacija programskog paketa Expert Choice 2000 Enterprise v10.0, Expert Choice Inc. 1982.-2000.

[18] T. N. Andrew, P. Rahoo, and T. Nepal, *Enhancing the selection of communication Technology for rural telecommunications: An analytic hierarchy process model*, International Journal of Computers, Systems and Signals, Vol. 6, No. 2, 2005.

prvog nivoa: "tehničko-tehnološki aspekti", "ekonomski aspekti", "aspekti okruženja", i "standard servisa". Hijerarhijski model razvijen u skladu s AHP metodom, potrebe *Expert Choice* programskog paketa, dat je na Sl. 1., zajedno s ciljem, svim relevantnim kriterijima i alternativama. Bilo koji kriterij može imati presudan značaj za izbor tehnologije. Postupak je sljedeći: "Individualne relativne težine dodijeliti svakom kriteriju nakon uspoređivanja u parovima. Naprimjer, pri uspoređivanju 'ekonomskih aspekata' sa 'aspektima okruženja', s obzirom na cilj, dodijeli se relativna težina ovim kriterijima. Ako omjer nekonzistentnosti za sva uspoređivanja u parovima bude veći od 0,2, treba ponoviti postupak procjene. Na kraju, **sve četiri tehnologije usporede se u parovima sa svakim od kriterija**".

5. PRIMJENA MODELA

Model sa Slike 1. je opći model. Da bismo vidjeli koliko je uspješan i kakve rezultate će dati, provjerit ćemo ga u realnom okruženju, na primjeru mobilnog operatora "BH Telecoma" d.d.. Za obradu je korišten programski paket *Expert Choice*, verzija 11.5. Ovisno o konkretnom kriteriju, korišten je odgovarajući način procjene usporedbe kriterija u parovima, i odgovarajući tipovi usporedbe u parovima. Korišćenje programa je jednostavno i dobro objašnjeno u pratećoj programskoj dokumentaciji, a vrijednosti unesene u program date su na Sl. 2.

Rezultati izvršavanja modela pomoću programa *Expert Choice*, zajedno s ukupnim omjerom nekonzistentnosti, dati su na Sl. 3. Dobijeni omjer nekonzistentnosti je na dvije decimale jednak nuli i zadovoljava teoretsku vrijednost 0,1, što ukazuje na vjerodostojnost uspoređivanja kriterija u parovima.

Vjerodostojnost dobijenog redosljeda alternativa kratko ćemo analizirati. Za četiri kategorije kriterija prvog nivoa modela dodijeljene su relativne težine kao na Sl. 4. Ekonomskim aspektima data je najveća težina. Naime, na tržištima u razvoju, na kakvom je "BH Telecom" d.d., nisu problematični samo troškovi operatora (CAPEX i OPEX),

nego i NPV vrijednost, zastupljenost, ali i cijena korisničke opreme. Logično je pretpostaviti da će najznačajnija ulaganja biti u segmentu radio-pristupne mreže, s obzirom na to da ona u svim sistemima mora kvalitetno zadovoljiti potrebe pokrivenosti i mobilnosti korisnika. Ulaganja na segmentu jezgra mreže jesu posljedica uvođenja novih funkcija, novih servisa, te proširenja kapaciteta mrežnih elemenata i interfejsa. Također, znatno niža nominalna stopa rasta BDP-a nego u drugim evropskim zemljama odražava se na ukupnu kupovnu moć potencijalnih korisnika, smanjujući tako ARPU.

Zato je u datom modelu UMTS dodijeljena veća težina NPV kriterija, u okviru ekonomskih aspekata, u odnosu na ostale tehnologije. Navedena je tvrdnja od ključnog utjecaja na dobijene rezultate, i unosi u model znatnu subjektivnost koja je utemeljena na racionalnim argumentima.

Na drugom mjestu su tehničko-tehnološki aspekti. Svi učesnici TK tržišta trebaju razumjeti potrebe korisnika o pitanju servisa, u koje spadaju veliko područje pokrivanja i velika propusnost podataka, QoS kontrola, mala latencija i spektralna efikasnost. Aspekti okruženja su na trećem mjestu, i reflektiraju mogućnosti uključivanja "BH Telecoma" d.d. u ambijent evropskih operatora, te mogućnosti pokrivanja specifičnih područja (urbana, suburbana i ruralna) određenom tehnologijom. Kako su tehnologije prilično ujednačene u okviru standarda servisa, ova kategorija je na posljednjem mjestu rangiranja.

Razvoj mobilnih komunikacija u proteklih 10 godina u BiH ukazuje na dinamičan razvoj kapaciteta, tehnologija i servisa, kakav dosad nije zabilježen ni u jednoj oblasti. Sadašnja infrastruktura mreže "BH Telecoma" d.d., nove tehnologije koje su već uspješno implementirane, kao i stručni radni kadar, te relevantni strani partneri daju garant spremnosti uspješnog uvođenja i primjene novih širokopojasnih tehnologija, s osnovnim ciljem da firma bude i ostane lider na bh. telekomunikacijskom tržištu.

Iz dosadašnjih razmatranja vidljivo je da u ovom trenutku najviše preferencija

ima UMTS za pružanje širokopojsasnih servisa s brzinama do teoretskih 2 Mbps u urbanim i suburbanim područjima. Posebno je važno to da UMTS nije investicija visokog rizika, s obzirom na to da nije "greenfield" investicija. UMTS bi koegzistirao s postojećom GSM mrežom, pri čemu nasljeđuje mnogo: postojeće lokacije baznih stanica, jezgro mreže, prijenosnu *backbone* i pristupnu mrežu, postojeće *roaming* partnere itd. Prateći i usklađujući se s potrebama tržišta, naknadno se može uvoditi tehnički superiornije, ali investicijski zahtjevnije HSPA poboljšanje UMTS-a. Preostale dvije tehnologije, WLAN i WiMAX, u ovom trenutku mogu upotpuniti ponudu "BH Telecoma" d.d., prvenstveno za pružanje podatkovnih servisa u urbanom, suburbanom i ruralnom području, pri čemu prednost ima WiMAX.

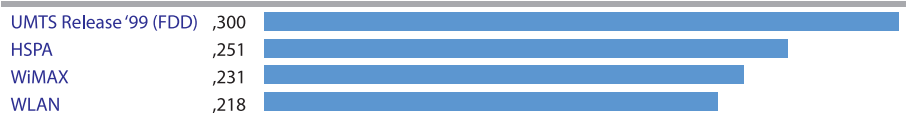
Vizija "BH Telecoma" d.d. trebala bi se sastojati od želje da se servisi koje je moguće realizirati u 3G mreži učine dostupnim svim korisnicima na području cijele BiH, po pristupačnim cijenama. Stoga, cilj uvođenja UMTS-a nije samo povećati broj korisnika i područje pokrivanja, s obzirom da je to moguće i sa GSM-om, već prvenstveno zadovoljiti potrebe krajnjeg korisnika pružanjem novih servisa, koji dosad nisu bili mogući, na kvalitetniji način. Osim društveno-ekonomskog cilja, uvođenje UMTS tehnologije je bitno i sa tehnološkog stanovišta. To prvenstveno znači obezbjeđivanje kompatibilnosti s drugim tehnologijama, mrežama, operatorima itd.

6. ZAKLJUČAK

Danas je telekomunikacijski sektor jedan od najdinamičnijih, najprofitabilnijih, ali i investicijski najzahtjevnijih sektora svjetskog tržišta, na kojem je sve više učesnika koji traže svoje mjesto i priliku za prihod. Ono što je najopasnije za bilo kojeg operatora jeste neprepoznavanje stvarnih tehničkih i ekonomskih potencijala tehnologija, a upravo tehnološke mogućnosti su polazište za formiranje poslovnog modela sa skupom servisa, te izrade ekonomske analize o mogućnostima ostvarivanja prihoda. Strogo

Synthesis with respect to: Goal: Izbor pristupnih tehnologija - BH Telecom d.d.

Overall Inconsistency = ,00



Slika 3.

Ukupni prioriteti alternativa i omjer nekonzistentnosti

razdvajanje tehnoloških i ekonomskih mogućnosti nije moguće niti po jednom kriteriju. Iz toga slijedi da operator mora formirati kriterije kako bi zauzeo stav, ocijenio potrebu uvođenja i donio ispravnu odluku o izboru tehnologije.

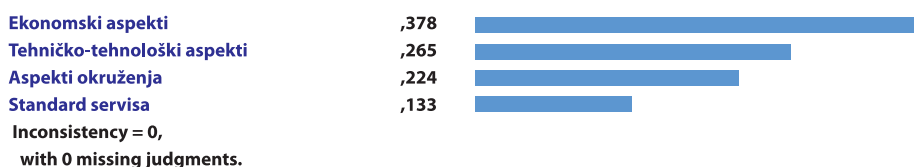
Pri tome se može koristiti raznim tehnikama odlučivanja, nastalim kao rezultat stalne ljudske potrebe da se o nečemu donosi odluka. Svaki operator može slobodno ocjenjivati težine kriterija, ali se pritom mora rukovoditi kako stvarnim potencijalom i zahtjevima tehnologija, tako i svojim postojećim kapacitetima infrastrukture i korisničke baze. Odavde očigledno slijedi da nijedna tehnika odlučivanja, pa ni predložena AHP, ne može u potpunosti isključiti utjecaj ljudskog faktora. Da bi metoda funkcionirala, potrebno je izvršiti subjektivne procjene relativne važnosti kriterija. Ipak, kombinacija AHP/*Expert Choice* predstavlja elegantan i efikasan pristup pri izboru tehnologije, a proces donošenja odluke bi se mogao iskustveno poboljšavati, povećavajući na taj način tačnost i smanjujući vrijeme potrebno za izbor.

LITERATURA

[19] Maggie C.Y.Tam, & V.M. Rao Tummala, *An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system*, Omega Vol. 29, Issue 2, p. 171-182, 2001.

Priorities with respect to:

Goal: Izbor pristupnih tehnologija - BH Telecom d.d.



Inconsistency = 0,
with 0 missing judgments.

Slika 4.

Relativne težine pojedinih kategorija kriterija prvog nivoa



Ericsson svojom vodećom ulogom u kontinuiranom tehnološkom razvoju oblikuje budućnost komunikacija koje se temelje na mobilnom i širokopojasnom Internetu. Isporučujući svoja kreativna komunikacijska rješenja u više od 140 zemalja svijeta, Ericsson potiče stvaranje moćnih globalnih komunikacijskih kompanija

Ericsson d.o.o.
Fra Anđela Zvizdovića 1/X
71000 SARAJEVO, Bosna i Hercegovina
tel.: +387 33 252 260
fax: +387 33 209 419
<http://www.ericsson.com/ba>

ERICSSON 
TAKING YOU FORWARD

NFC Tehnologija u MicroPayment sferi mobilnog plaćanja

NFC Technology in the Mobile MicroPayment

Sažetak

Near Field Communication tehnologija (također poznata kao ISO 18092) jeste wireless tehnologija kratkog dometa koja omogućava razmjenu podataka između uređaja koji se dodiruju ili su na vrlo maloj razdaljini (do maks. 20 cm, mada obično do 5 cm). Zbog ovako kratkog dometa, NFC transakcije su same po sebi inherentno sigurne.

Obezbeđuje jednostavnu i sigurnu dvosmjernu interakciju između uređaja, tako da je ostvarena puna interoperabilnost između uređaja i servisa. Ima potencijal da učini gotovo sve bežične tehnologije dovoljno jednostavnim, tako da ih svako – baš svako – može koristiti. NFC je otvorena tehnologija, i odobrena je kao ISO/IEC globalni standard u 2004. godini.

Ključne riječi: Mobilno Plaćanje, MicroPayment, MacroPayment

Abstract

Near Field Communication is recently wireless technology of short distance, that allows exchange of data among NFC enabled devices, which are in touched or in short distance (to the 5cm). Because of such short distance, NFC transactions are inherently safe and confident.

NFC provides easy and secure two-way interaction among devices, and in such way is accomplished full interoperability between terminals and services. This technology has a potential to make major of wireless payment transactions to be completely easy for anybody. NFC is an open technology, approved as ISO/IEC global standard, since 2004.

- snimi mobitelom fotografiju i odmah šalje na NFC printer ili monitor;
- koristi još mnoge druge mogućnosti...

Prema procjenama – Frost & Sullivan, 3/07 – U naredne tri godine trećina mobilnih telefona će biti opremljena NFC-om. Također, prema procjenama – Strategy Analytics, 9/06 – Plaćanjima putem mobilnog telefona do 2011. god. u svijetu, u oblasti mikrotransakcija, bit će potrošeno blizu 36 milijardi USD.

Istraživanja rađena na više od 30 država, širom svijeta, pokazuju veoma velik odziv korisnika i visok stepen prihvatanja ovakvih servisa kod mobilnih korisnika.

II. RADIO FREQUENCY IDENTIFIKACIJA

Radio Frequency identifikacija (RFID) je metod automatske identifikacije objekata, prikupljanja podataka o tom objektu i unošenje tih podataka direktno u kompjuterski sistem putem radiovalova, koji koristi RFID ugrađene tagove – primopredajnike koji imaju dva dijela: integrirani krug za smještanje podataka, procesiranje, modulaciju i demodulaciju RF signala, a drugi dio je antena. RFID tag se ugrađuje u uređaj (mobilni telefon, PDA, NFC stanica: rampa za karte ili cash registri i sl.), ili se stavlja na životinju ili osobu. NFC tehnologija omogućava mobilnim uređajima da pročitaju informaciju koja se nalazi smještena u tagovima na sveprisutnim objektima. Tagovi, jasno uočljivi, mogu biti pričvršćeni, tj. fiksirani za fizičke objekte kao, npr., smart poster, ulični znakovi, kutije od lijekova, certifikati, pakovanja raznih proizvoda i sl. Tehnologije tipično smatraju se kao AIDC uključuju: bar kodove, RFID, biometriku, magnetne trake, smart kartice...

Cilj bilo kojeg identifikacijskog sistema jeste preneti i smjestiti podatke u odgovarajuće uređaje – tagove/etikete, i dobiti/pročitati te podatke pomoću čitača u odgovarajućem trenutku i mjestu, radi izvršenja određene aplikacije. Podaci u tagu mogu poslužiti za, npr., identifikaciju nekog proizvoda, robe, lokacije



Slika 1.
Oznaka NFC taga

I. UVOD

Tehnologija je bazirana na RFID automatskoj identifikaciji, što je čini kompatibilnom s postojećom beskontaktnom infrastrukturom koja se već koristi u javnom transportu i plaćanju, kako bi se omogućio brz i nesmetan tok ljudi u javnim transportnim sistemima i ticket okruženjima. NFC je primarno namijenjena za korištenje u mobilnim telefonima, tako da NFC mobilni telefoni, na neki način, postaju jedina stvar koju je potrebno uvijek imati sa sobom.

Sa ovakvim NFC mobilnim telefonom, koji se obraća NFC Micropayment platformi hostiranoj kod mobilnog operatora, korisnik će moći da:

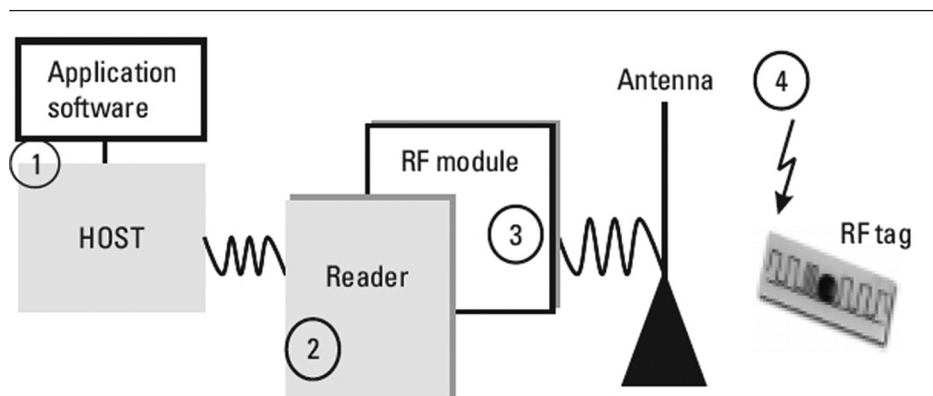
- izvrši plaćanja (micropayment) jednostavno, samo što prinese telefon Card readeru ili ga dodirne;
- pročitati i pokupi informaciju sa smart postera ili smart billboarda;
- uzme odgovarajući ticket za, npr., prolazak kroz određena vrata, parking garaže, pozorište i sl.;
- memorira određene sigurnosne informacije za pristup i ulaz u neki objekt;

INDEKS POJMOVA

I SKRAĆENICA

NFC – Near Field Communication

RFID – Radio Frequency Identification
NFC Tag



Slika 2.
Osnovni RF ID sistem

vozila, boje automobila i rezervnog dijela, životinje...

U osnovi, tagovi se koriste za prijenos:

- identifikatora (u kojima je smješten numerički ili alfanumerički string za identifikaciju, ili služi kao pristupni ključ za podatke smještene na nekom drugom upavljačkom/informacionom sistemu);
- data fajlova (u kojima je informacija organizirana za komunikaciju ili kao sredstvo iniciranja drugih akcija).

RFID tagovi mogu biti vrlo različitih oblika i dimenzija (mogu biti u obliku kreditnih kartica, kada se koriste u aplikacijama za pristup i prolaz). Osim dimenzije i oblika, RFID tagovi se razlikuju i prema veličini memorije (64 bits do 1Mbyte), prema vrsti memorije (read-only, read-write, write-once read-many), tipu memorije (EEPROM, FRAM...), cijeni itd. Više RFID tagova se može istovremeno čitati.

RFID tagovi mogu biti aktivni ili aktiv/pasiv backscatteri.

Aktivni tagovi napajaju se iz svoje interne baterije koja opslužuje memoriju, radijski prijenos i integrirani krug, veličine memorije su do 1Mbyte tipično su read-write, zbog interne baterije imaju veći domet. Skuplji su, većih dimenzija i kraćeg vijeka trajanja.

Backscatter RFID tagovi obezbjeđuju napajanje putem el. magn. signala generiranog sa čitača. Imaju manji domet nego aktivni tagovi, ali su zato lakši, jeftiniji i dužeg vijeka trajanja.

II.1. Osnovni RFID sistem

Osnovni RFID sistem se sastoji od:

1. transpondera ili RF taga koji je elektronski programiran s određenom informacijom, tj. u njega je upisana informacija;
2. primopredajnika s dekodeom (koji kontrolira prikupljanje podataka u sistemu i komunikaciju);
3. antene ili zavojnice (antena emitira radijske signale da aktivira tag i upiše ili pročita podatke iz taga).

Tag, koji se nalazi na nekom objektu pobuđuje se i ispituje pomoću antene, koja je veza između taga i primopredajnika. Na taj način se prikupe ID broj taga i drugi dostupni podaci, naprije kao analogni RF valovi koji se zatim konvertiraju u digitalnu informaciju.

Antene mogu biti različitog oblika i veličine; mogu biti ugrađene, npr., u okvir vrata da primaju podatke sa taga na osobama ili stvarima koje prolaze kroz vrata; ili, npr., mogu biti montirane na graničnim naplatnim kabinama za praćenje saobraćaja koji prolazi.

Elektro-magnetno polje koje zrači antena može biti konstantno prisutno kada se očekuje u kontinuitetu veliki broj tagova, ili može biti aktivirano pomoću senzora kada se ne zahtijeva da bude konstantno polje.

Često je antena u istom kućištu sa primopredajnikom i dekodeom, koji služe kao čitač. Čitač emitira radiovalove u dometu od, npr., nekoliko do više desetaka centimetara, zavisno od izlazne snage i frekvencije.

Kad RFID tag prolazi kroz takvu el. magn. zonu, prima aktivacijski signal sa čitača. Čitač zatim pročita kodirani podatak iz tagovog integr. kruga i podatak se, onda, prosljeđuje host-računaru na procesiranje.

II.2. Near Field komunikacija

NFC Standardi

NFC tehnologija je bazirana na RFID identifikaciji, gdje su tek odskora tehnologija i standardi došli do te tačke kada mnoštvo realnih aplikacija ne samo da je izvodljivo, nego je i ekonomski isplativo.

NFC tehnologiju podržavaju svi vodeći proizvođači mobilnih uređaja, infrastrukture i tehnologije. Temelji NFC standarda su ISO, ECMA (Europska Computer Manufacturers Association) i ETSI standardi. NFC je u skladu s glavnim internacionalnim standardom za rad sa smart karticama – ISO 14443. U junu 2006. NFC Forum je uveo standardiziranu arhitekturu, inicijalne specifikacije i formate tagova za NFC uređaje. Oni uključuju format za razmjenu podataka (NFC Data Exchange Format – NDEF) i tri inicijalne specifikacije za smart poste-re, text i Internet (Record Type Definition – RTD).

NFC forum je objavio četiri tag-formata koja svi NFC uređaji moraju podržavati. Oni su bazirani na ISO 14443 tipovima A i B (međunarodni standardi za beskontaktnu smart karticu), i proizvode ih Philips, Sony i drugi proizvođači.

Tipovi 1 i 2, bazirani na ISO 14443 A, imaju malu memoriju (1 i 2 kbytea), jeftiniji su i pogodni su za jednostavnije aplikacije. Rade sa relativno malom brzinom (106kbps) i setuju se sa specifičnim skupom komandi. Tip 3 je baziran na FeliCa (izveden iz ISO 18092 standarda za komunikaciju u pasivnom modu) koji ima veću memoriju (do 1MB) i veću brzinu prijenosa (212 kbps). Pogodan je za kompleksnije aplikacije, ali je i skuplji. Tip 4 je baziran na ISO 14443 i specificira memoriju od 64 KB, sa brzinom prijenosa od 106 i 424 kbps.

NFC radi na principu indukcije magnetnog polja unutar nelicenciranog RF banda od 13.56 MHz.

Brzine prijenosa su: 106 kbit/s, 212 kbit/s or 424 kbit/s. NFC uređaji mogu istovremeno primati i slati podatke. Da bi dva uređaja komunicirala putem NFC-a, jedan mora imati NFC čitač/pisač, drugi mora imati NFC tag. Tag, koji je povezan s antenom, jeste u biti integrirani krug koji sadrži podatke koji se upisuju ili čitaju sa čitačem.

Koriste se dva načina kodiranja, kao što se vidi u narednoj tabeli:

II.3. NFC aplikacije

NFC tehnologija je uglavnom namijenjena za korištenje u mobilnim telefonima.

Tabela 1. NFC Standardi

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
RF Interface	ISO 14443 A-2	ISO 14443 A-2	FeliCa (ISO 18092, passive communication mode at 212 kbits/sec)	ISO 14443-2
Initialization	ISO 14443 A-3	ISO 14443 A-3	FeliCa (ISO 18092, passive communication mode at 212 kbits/sec)	ISO 14443-3
Speed	106 kbits/sec	106 kbits/sec	212 kbits/sec	106-424 kbits/sec
Protocol	Specific Command set	Specific Command set	FeliCa protocol	ISO 14443-4 ISO 7816-4 commands
Memory Size	Up to 1 KB	Up to 2 KB	Up to 1 MB	Up to 64 KB
Cost (memory dependent)	Low	Low	Moderate	Moderate
Use cases	Tags with small memory for single application		Flexible tags with larger memory offering multi-application capabilities	

ma. Olakšava: prikupljanje/čitanje podataka, plaćanje za robe i usluge, korištenje javnog prometa, razmjenu podataka između uređaja. Stvarni kvalitet NFC-a leži u njegovoj ulozi enablera koji omogućava realizaciju komunikacije i transakcija na jednostavan i intuitivan način, dodir ili primicanjem mobilnog telefona određenom uređaju, gdje NFC ostvaruje komunikaciju izvođenjem „handshakea“ između ta dva uređaja. Iako je samo iniciranje Handshakea uvijek pod kontrolom korisnika, NFC eliminira potrebu za izvođenjem manualne konfiguracije.

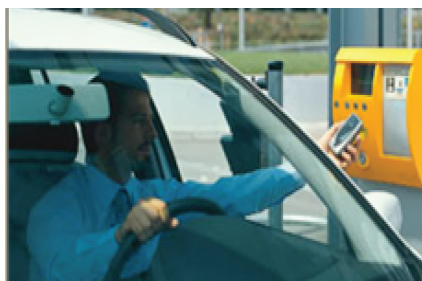
Koji su sve uređaji pogodni za NFC: mobilni telefoni; pokretni križevi na ulazima da se prolazi jedan po jedan; automati za prodaju; parking mehanizmi; cash registri i POS uređaji; ATM-ovi; vrata na javnim garažama, parkinzima i

Tabela 2. Tipovi kodiranja i brzine u NFC komunikaciji

Active Device	Passive Device
424 kbps Manchester, 10% ASK	Manchester, 10% ASK
212 kbps Manchester, 10% ASK	Manchester, 10% ASK
106 kbps Modified Miller, 100% ASK	Manchester, 10% ASK



Slika 3.
Korištenje NFC-a za prolaz/pristup



Slika 4.
Korištenje NFC-a za prolaz/pristup
u javnom prometu

sl.; smart poster; autobuska i tramvajska stajališta;

Primarno se koristi za:

- povezivanje elektronskih uređaja – gdje se NFC koristi za međusobnu komunikaciju kao, npr., bežične komponente u kućnim ili uredskim sistemima, ili slušalice za glavu koje idu sa mobilnim telefonom;
- iniciranje servisa i pristup digitalnom sadržaju – gdje se NFC tehnologija koristi kao pristupni kanal za pokretanje servisa, npr., korištenje mobilnog telefona da se pročita "smart" poster sa ugrađenim RF tagom;
- realizaciju beskontaktnih transakcija, uključujući ona za payment i ticketing, tj. plaćanja, pristup i prolaz i ticketing.

Payment i ticketing jeste NFC nadogradnja na postojeću mobilnu payment infrastrukturu, a same payment i ticketing aplikacije bile su jedan od pokretača za osnivanje NFC foruma. Banke i mobilni operatori su veoma zainteresirani za implementaciju payment i ticketing aplikacija na NFC mobilne telefone. Istraživanja koja je provela VISA International pokazuju da 89 posto onih koji su probali neku od mobilnih transakcija preferira njihovo korištenje u odnosu na konvencionalne metode plaćanja. Inicijalno, NFC će se koristiti za transakcije manjeg iznosa, međutim, kada je razvijena mikro i makro payment platforma, odnosno transakcijska i sigurnosna infrastruktura, NFC uređaji sa čitačem će moći obavljati bilo koju vrstu transakcija kao i kreditne kartice. Uz to, NFC plaćanje je jednostavnije

nego plaćanje cashom, a korisnici će imati i zapis čak i za najmanje plaćanje, što sa cashom nemaju. Sama naplata se može vršiti sa prepaid/postpaid pretplatničkih kartica putem MicroPayment sistema plaćanja, gdje mobilni operator to realizira kroz Biling svoj postojeći sistem, ili se naplata vrši sa bakovnih računa korisnika kroz MacroPayment sistem plaćanja, gdje je mobilni operator povezan sa bankom koja odrađuje naplatu, baš kao u slučaju credit/debit kartica. Međutim, u praksi je puno više zastupljen drugi način naplate, gdje mobilni operator pravi ugovor i partnerstvo s bankom zbog poslovnog modela i odnosa koje banke već imaju sa trgovinama, transportnim organizacijama i sl., jer, u protivnom, sam mobilni operator morao bi imati ugovore sa svakim od pojedinih partnera.

- Mobile ticketing u javnom prometu – ekstenzija postojeće beskontaktno infrastrukture
- Mobile Payment – mobilni telefon radi kao debit/ credit card za plaćanje
- Smart poster – mobilni telefon se koristi da čita RFID tagove na billboardima, reklamama, oglasnim pločama – da bi prikupio informacije

Korisnik sa NFC telefonom dotiče NFC tag koji mu obezbjeđuje određenu informaciju (npr., kratki tekst, ili URL, ili tel. broj itd.).

Tipičan primjer je smart poster, koji može, npr., promovirati neki novi proizvod, uslugu ili događaj, gdje korisnik, dotičući svojim NFC telefonom tag na posteru, dobija, npr., URL sa web siteom, gdje se mogu naći šire informacije. Također se koristi za dobijanje informacija za robu u trgovini, o lijekovima, o dolasku/odlasku itd.

- Povezivanje elektronskih uređaja

Najčešći scenarij je kada se NFC koristi da se uspostavi jedna druga wireless konekcija (npr., Bluetooth ili WiFi) putem koje će se prenijeti informacije. Znači, čim se uspostavi NFC konekcija (reda milisekundi), može početi razmjena informacija između uređaja direktno putem NFC-a ili putem Bluetootha ili WiFi-a. Naprimjer, kada ljudi žele razmijeniti elektronske business kartice sa mobilnih

telefona putem Bluetootha, NFC-om se jednostavno dodirnom, vrlo brzo obavi handshake i uspostava konekcije (nema skeniranja lokalnog prostora da se locira drugi telefon, nema passkodova niti bilo kakvih drugih settinga, nema rizika da se uspostavi konekcija sa pogrešnim uređajem), a zatim se sama business card prenosi putem Bluetootha. Također, primjer kada korisnik želi isprintati fotografije koje je napravio kamerom na svom mobilnom telefonu – jednostavno dodirne NFC printer i na taj način uspostavi konekciju sa printerom, nakon čega počinje Bluetooth prijenos digitalnih fotografija na printer.

III. ZAKLJUČAK

NFC tehnologija omogućava dalji razvoj payment i ticketing scenarija, jer definira standarde „elektronskog novčanika“ za NFC uređaje, a što će na koncu zamijeniti mnoštvo kartica (credit, debit, loyalty) kojima se ljudi danas koriste.

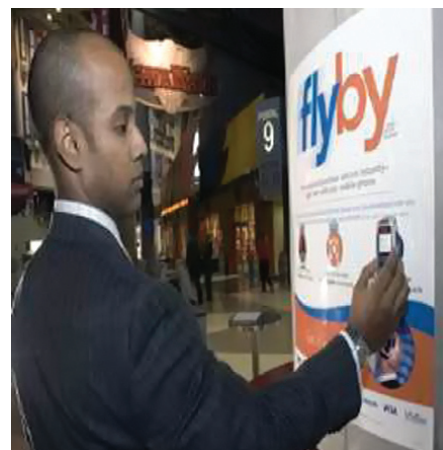


Slika 5.
Korištenje NFC-a za čitanje podataka i plaćanje

Prema istraživanju ABI Researcha, polovina mobilnih telefona do kraja 2010. godine bit će opremljena NFC-om.

NFC omogućava i maksimalno pojednostavljuje korištenje novih interaktivnih servisa, koji generiraju prihod, kao npr. kupovanje, skladištenje, informiranje, ticketing, transport, pristup i prolaz, igre i razmjenu bogatih multimedijalnih sadržaja itd. Na strateškom nivou, NFC omogućuje telekom operatorima da uspostave novi komunikacijski kanal prema korisnicima.

“BH Telecom”, pošto ima već razvijenu MobilePymment infrastrukturu, a u toku su završni detalji u vezi s povezivanjem i uspostavom partnerskog odnosa s bankama, trebao bi da u narednom periodu predvidi proširenje i NFC kao jedan od pristupnih kanala na BHT m-commerce platformu, kako u sferi mikrotransakcija, tako i u sferu makrotransakcija.



Slika 6.
Korištenje NFC-a za čitanje podataka na smart posterima

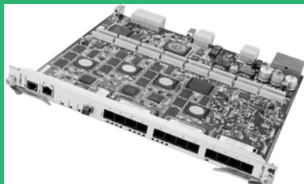
LITERATURA

- [1] Alexander Joseph Huber, Josef Franz Huber, UMTS and Mobile Computing, ARTECH HOUSE, INC, 2006.
- [2] Christophe Duverne, Gerhard Romen, Thierry Barba, NFC Technology and the Road Ahead, NFC Forum and GSM Association, February 2007.
- [3] Paula Berger, Near Field Communication: a Look at 2008, NFC Forum, February 2008.



Elatec Vertriebs GmbH
Hans-Stiessberger-Str. 2a,
D-85540 Haar, GERMANY
Phone: +49 89 46 23 070
Fax: +49 89 460 24 03
Info@elatec.de
www.elateceurope.com

**Djelatnost Elatec Vertriebs GmbH obuhvata oblasti Smart Card & Scratch Card
RFID, IT – Security, Banking & Loyalty.**



SITRONICS Telecom Solutions BH d.o.o. Sarajevo je domaća firma koja proizvodi široki spektar telekomunikacijske opreme i IS, koji se zasnivaju na modernim tehnologijama i vlastitim tehnološkim istraživanjima. SITRONICS Telecom Solutions BH d.o.o. je novo ime firme BS telecom d.o.o. koja je osnovana 2002 godine i od tada uspješno posluje na prostoru Bosne i Hercegovine i inostranstva. Firma je integrisana u razvojni sistem SITRONICS Telecom Solution, Czech Republic a.s. Firma zapošljava 50 mladih stručnjaka od kojih je 95% visokoobrazovanih.

Polje djelovanja:

- razvoj softvera za telekomunikacione i informacione sisteme
- dizajn elektronskih ploča
- instalacija i održavanje telekomunikacionih i informacionih sistema

SITRONICS Telecom Solutions BH zapošljava tim profesionalaca koji su orijentirani ka budućnosti i otvoreni za nove ideje, tehnologije i rješenja.

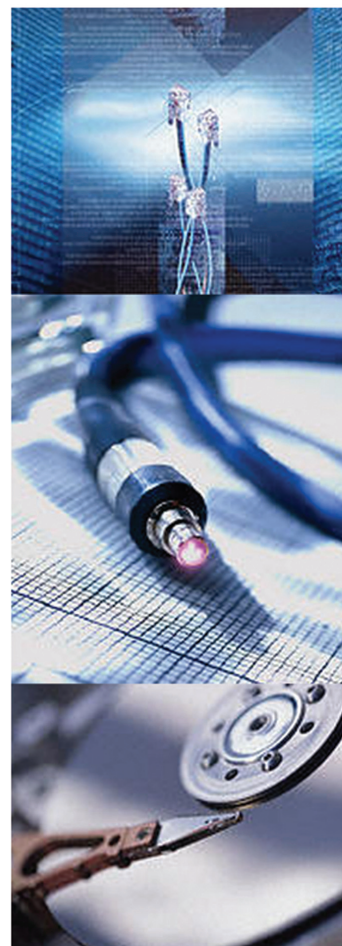


Unis Telekom dd Mostar

Dr Ante Starcevic 50

tel 036 314 407 fax 036 314 408

www.unistelemkom.ba unis@unistelekom.ba



Kanalno kodiranje kod MIMO kanala

MIMO Channel Coding

Sažetak

Proces vremensko-prostornog kodiranja za MIMO (Multiple Input Multiple Output) kanale privukao je u posljednje vrijeme posebnu pažnju u sferi bežičnih komunikacija. Osnovna ideja vremensko-prostornog kodiranja je korištenje diverzitija pri prijenosu putem kanala sa višeputanjским fadingom, koristeći višestruke predajne antene. U radu će prvo biti govora o karakteristikama kanala s fadingom, a zatim će biti opisan i sam MIMO kanal. Dalje će biti obrazloženi vremensko-prostorni blokovski kodovi, te najzad i sami vremensko-prostorni Trelis kodovi.

Ključne riječi: MIMO, vremensko-prostorni kodovi, fading, Alamouti kod, diverziti

Abstract

Space-time coding for MIMO channels has lately become important issue for wireless telecommunications. The major idea of space-time coding is using diversity for transmitting in the multipath fading channel, which is accomplished by using multiple transmit antennas. In this paper characteristics of fading channel will be described first, and then MIMO channel, space-time block codes, and, finally space-time Trellis codes.

Key words: MIMO, space-time codes, fading, Alamouti code, diversity

UVOD

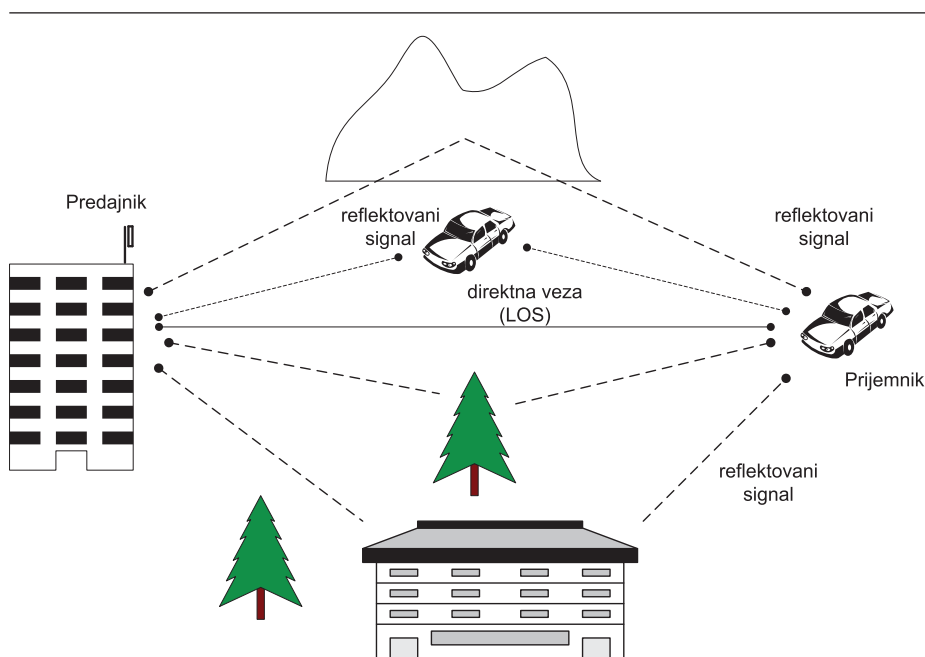
Vremensko-prostorne kodove prvi put uvodi, 1998. godine, profesor Vahid Tarokh na MIT (Massachusetts Institute of Technology) institutu kao novo sredstvo za obezbjeđenje diverzitija u bežičnim fading kanalima korištenjem više antena na predajnoj strani. Dva osnovna primjera vremensko-prostornih kodova su vremensko-prostorni Trelis kodovi, koje je uveo Tarokh, i vremensko-prostorni blok kodovi, koje je uveo Alamouti. Vremensko-prostorni blok kodovi sadrže blok ulaznih simbola, formirajući tako matricu na izlazu, čije kolone predstavljaju vrijeme, a redovi broj antena na predajnoj strani. Međutim, ovi kodovi ne obezbjeđuju dobitak pri kodiranju. Osnovna prednost ovih kodova je ta što nam omogućavaju potpuni diverziti sa veoma jednostavnom shemom dekodiranja.

S druge strane, vremensko-prostorni Trelis kodovi sadrže jedan ulazni simbol u datom trenutku, formirajući tako vektor simbola, pri čemu je svaki simbol pridružen jednoj predajnoj anteni. Za razliku od vremensko-prostornih blok kodova, Trelis kodovi omogućavaju dobitak pri kodiranju i dobitak usljed diverzitija. Njihov osnovni nedostatak je izuzetno kompliciran proces proizvodnje (visok stepen kompleksnosti kodera i dekodera).

1. KANALI S FADINGOM

Bežične komunikacije podrazumijevaju prijenos informacija između predajne i prijemne antene korištenjem elektromagnetnih talasa uz dodatno slabljenje i unos aditivnog šuma u sam prijemni signal. Kao što je poznato, signal koji se prenosi, može se prostirati putem više različitih putanja (multiple reflection), kao što je prikazano na slici u nastavku.

Ako se nalazimo u urbanom području, signal koji emitira GSM/UMTS bazna stanica može se reflektirati od okolne zgrade, auta, drveća itd., što podrazumijeva da će prijemni signal na mobilnom aparatu predstavljati superpoziciju reflektiranih signala, različitih amplituda i faza. Ovo je tipičan slučaj za većinu bežičnih kanala. U ovom slučaju govorimo o Rejljevom (Rayleigh) fadingu.



Slika 1.
Višeputanski efekt

INDEKS POJMOVA

ISKRAĆENICA

BPSK – (Binary Phase Shift Key)

CCI – (Cochannel Interference)

LOS – (Line Of Sight)

MIMO – (Multiple Input Multiple Output)

SNR – (Signal -to-Noise Ratio)

Prijemni signal, u tom slučaju, može se predstaviti u sljedećoj formi:

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_n \alpha_n(t) e^{-j2\pi f_c \tau_n(t)} s(t - \tau_n(t)) + n(t) \\ &= \sum_n \alpha_n(t) e^{-j\theta_n(t)} s(t - \tau_n(t)) + n(t) \end{aligned}$$

gdje:

$s(t)$ predstavlja emitirani signal;

$\alpha_n(t)$ je slabljenje na n -tom putu (koje može biti vremenski zavisno);

$\tau_n(t)$ predstavlja kašnjenje na n -tom putu i

$e^{-j2\pi f_c \tau_n(t)}$ predstavlja promjenu faze nosioca frekvencije f_c usljed kašnjenja sa fazom

$$\theta_n(t) = 2\pi f_c \tau_n(t);$$

$\alpha_n(t)$, $\theta_n(t)$ i $\tau_n(t)$ se mogu posmatrati kao slučajni procesi.

Šum $n(t)$ predstavlja kompleksan, stacionaran, Gausovski slučajni proces sa srednjom vrijednosti jednakom nuli i nezavisnim realnim i imaginarnim dijelom sa autokorelacionom funkcijom $E[n(t)n^*(s)] = N_0\delta(t-s)$.

Ako broj reflektiranih talasa posmatramo kao kontinualan, onda se primljeni signal može predstaviti kao:

$$r(t) = \int \alpha_s(t) e^{-j\theta_s(t)} s(t - \tau_s(t)) ds + n(t).$$

Često su kašnjenja u dovoljno sličnom odnosu sa simbolskim periodom koji je za sve praktične svrhe zakasnjelih signala $s(t - \tau_n(t))$ isti, te važi da je $s_n(t - \tau_n(t)) = s(t - \tau(t))$ za sve n .

Međutim, i u ovom slučaju promjene faze zbog kašnjenja mogu biti značajne. Pošto je f_c uobičajeno veliko (u opsegu MHz i GHz), male promjene u kašnjenju mogu uzrokovati velike promjene faze. Fading u ovom slučaju primarno uzrokuje promjene faze $\theta_n(t)$. Faza $\theta_n(t)$ koja slučajno varira, a povezana je sa faktorom $\alpha_n e^{-j\theta_n}$, rezultira signalima koji se u određenom trenutku konstruktivno sabiraju, a u drugom trenutku se sabiraju destruktivno. Ukoliko se radi o destruktivnom slučaju, tada se dešava fading.

Ukoliko se sada usvoji aproksimacija da su sva kašnjenja ista, i iznose τ , onda vrijedi:

$$r(t) = \sum_n \alpha_n(t) e^{-j\theta_n(t)} s(t - \tau) + n(t) = g(t) s(t - \tau) + n(t)$$

gdje je:

$$g(t) = \sum_n \alpha_n(t) e^{-j\theta_n(t)} \cong g_I(t) + jg_Q(t) \cong \alpha(t) e^{-j\varphi(t)}$$

predstavlja kompleksni amplitudski faktor koji je vremenski zavisan. Prijenosna funkcija kanala je tada:

$$T(t, f) = \alpha(t) e^{-j\varphi(t)}$$

sa amplitudnim odzivom $|T(t, f)| = |g(t)| = \alpha(t)$. Ukoliko sve frekvencijske komponente imaju isti dobitak $\alpha(t)$, to znači da kanal uzrokuje pojavu ravnog fedinga (flat fading). Upravo ravni feding predstavlja onaj model kanala za koji se mogu koristiti vremensko-prostorni kodovi, o kojima će kasnije biti više govora.

Naime, utjecaj fedinga na primljeni signal može biti različit. Naprimjer, ukoliko pretpostavimo da 90 posto ukupnog vremena primljeni signali se konstruktivno sabiraju, tada to rezultira u dobrom SNR-u (signal to noise ratio) na prijemnoj strani, tako da je vjerovatnoća greške jednaka nuli, ali za preostalih 10 posto vremena kanal unosi

duboki feding, što znači da je vjerovatnoća greške u osnovi 0.5. Prosječna vjerovatnoća greške je u tom slučaju 0.05, što je izuzetno visoka vrijednost za praktične primjene, iako prijemnik većim dijelom vremena radi dobro.

Naime, kao što znamo, postoji tehnika diverzitija koja se koristi za kompenzaciju smetnji na feding kanalu, i obično se implementira korištenjem dviju ili više prijemnih antena. Ova tehnika se koristi da reducira dubinu i trajanje fedinga. Na sljedećoj slici dat je prikaz simulacije amplitude $g(t)$ za određeni kanal sa dvije različite realizacije tog kanala. Sa slike je očigledno da ne mora važiti da će oba signala biti u isto vrijeme oslabljena. Uvijek postoji vjerovatnoća da će najmanje jedan od ova dva signala predstavljati pouzdani kanal. Posmatrano s druge perspektive, ukoliko je u jednom trenutku vremena kanal loš, u drugom bi trebao biti dobar. Ova razmatranja vode ka raznim formama diverzitija.

Vremenski diverziti (time diversity) koristi princip da se ista informacija ponavlja u određenim intervalima, pri čemu se računa na vremenski slučajnu prirodu fedinga. To znači da ako feding u jednom trenutku ima jak utjecaj na signal, nakon određenog vremena taj će utjecaj biti znatno manji.

S druge strane, frekventni diverziti (frequency diversity) ima samo jednu prijemnu antenu, ali se zato ista informacija prenosi na dvije različite frekvencije, koje se obično razlikuju za 2–3 posto. Time se postiže smanjenje utjecaja fedinga, ali na račun neefikasnog korištenja frekventnog opsega.

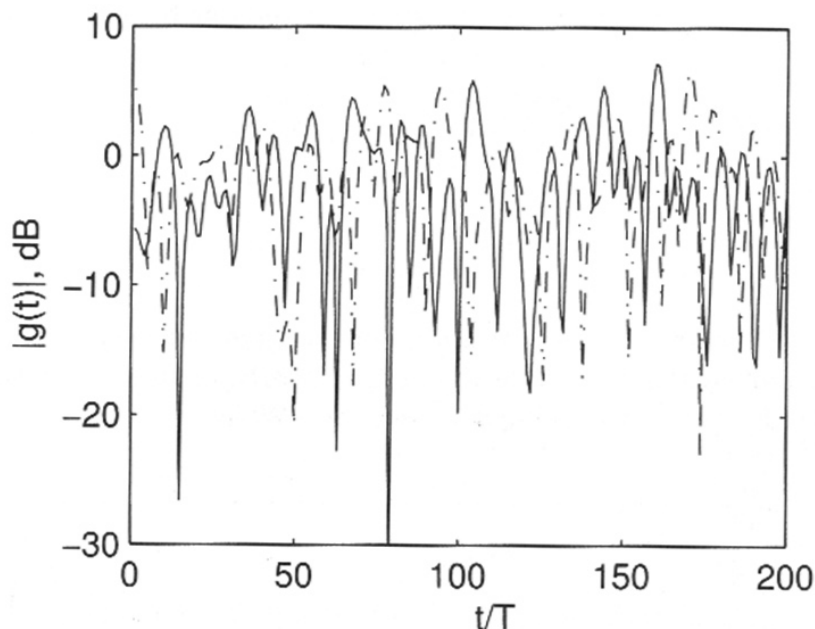
Prostorni diverziti (space diversity) se formira korištenjem dviju antena koje se nalaze na određenom međusobnom rastojanju. Signali iz tih antena dovode se do bazne stanice, čime se nivo ukupnog signala obično povećava za 3–6 dB (ovisno o korelaciji signala koji su primljeni na antenama). Prostorni diverziti odlikuje prednost veoma dobre propusnosti (nema potrebe za ponavljanjem informacije kao kod vremenskog diverzitija) i optimalne širine propusnog opsega (široki propusni opseg kao kod frekventnog diverzitija), ali na račun dodatnog, skupog hardvera. Vremensko-prostorni kodovi predstavljaju osnovno sredstvo za obezbjeđivanje prostornog diverzitija.

1.1 Rejljev feding

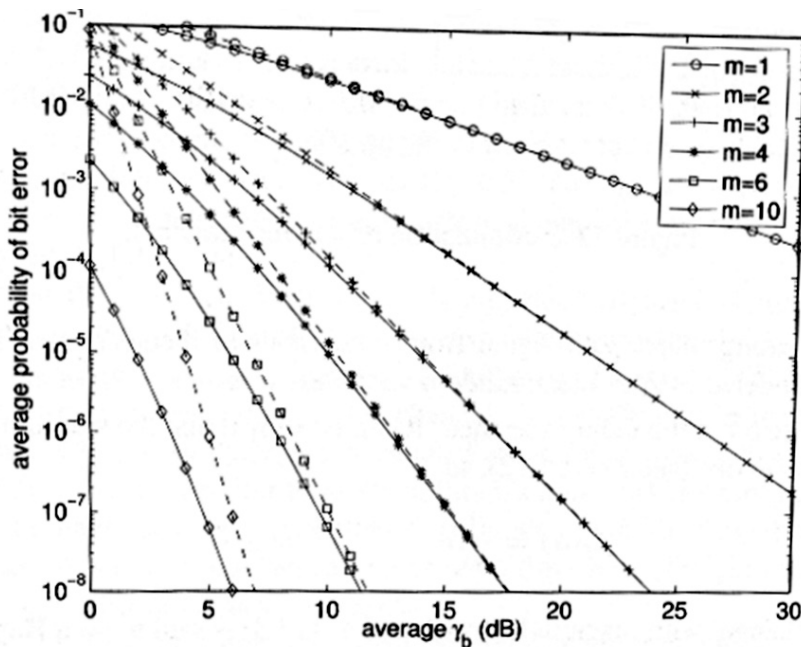
S obzirom na to da amplitudski faktor $g(t)$ predstavlja sumu reflektiranih talasa, on može biti posmatran (na bazi centralne granične teoreme) kao kompleksna Gau-

sovska slučajna varijabla. Stoga faktor $g(t) = \sum \alpha_n(t) e^{-j\theta_n(t)} \cong g_I(t) + jg_Q(t)$ sadrži članove $g_I(t)$ i $g_Q(t)$, koji predstavljaju nezavisne, jednako raspodijeljene slučajne varijable.

Ukoliko ne postoji jak, direktni talas od predajnika do prijemnika, onda se ove slučajne varijable modeliraju kao slučajne varijable sa srednjom vrijednošću jednakom nuli, tako da je $g_I(t) \approx \zeta(0, \sigma_f^2)$ i $g_Q(t) \approx \zeta(0, \sigma_f^2)$, gdje parametar σ_f^2 predstavlja varijansu fedinga. Može se pokazati da amplituda $\alpha = |g(t)|$ ima Rejljevu raspodjelu, te je:



Slika 2.
Simulacija kanala s fedingom



Slika 3.
BPSK moduliran signal u kanalu s
ravnim fedingom

nekoliko zadnjih simbola, i da se slučajna faza $\varphi(t)$ mijenja dovoljno sporo tako da bi mogla biti estimirana sa zanemarivom greškom. Ovo predstavlja kvazistacionarni model. U tom slučaju se može koristiti konvencionalna detekcija BPSK signala. To rezultira u vjerojatnoći greške za određene vrijednosti parametra α kao:

$$P_2(\alpha) = P(\text{bitska greška} | \alpha) = Q\left(\sqrt{\frac{2\alpha^2 E_b}{N_0}}\right).$$

Vjerovatnoća bitske greške može se dobiti i usrednjavanjem po zavisnosti α , kao:

$$P_2 = \int_0^{\infty} P_2(\alpha) f_{\alpha}(\alpha) d\alpha.$$

Uvrštavajući vrijednosti za $P_2(\alpha)$ i $f_{\alpha}(\alpha)$ u izraz za P_2 dobijamo:

$$P_2 = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{\gamma}_b}{1 + \bar{\gamma}_b}}\right)$$

gdje je:

$$\bar{\gamma}_b = \frac{E_b}{N_0} E[\alpha^2].$$

Na Slici 3. kriva koja odgovara $m=1$ pokazuje performanse uskopojasnog kanala s fedingom u funkciji $\bar{\gamma}_b$ (dB). Naravno, postoji značajna degradacija u odnosu na BPSK u slučaju kanala u kojem djeluje samo aditivni bijeli Gausovski šum.

2 DIVERZITI PREDAJA I PRIJEM: MIMO KANAL

Glavna osobina MIMO (Multiple Input Multiple Output) sistema jeste mogućnost da pretvori višestruku propagaciju (multipath propagation), što je obično nedostatak u bežičnim komunikacijama, u prednost koja se sastoji u povećanju brzine prijenosa

$$f_{\alpha}(\alpha) = \frac{\alpha}{\sigma_f^2} e^{-\alpha^2 / 2\sigma_f^2} \quad \alpha \geq 0.$$

Kanal s ravnim fedingom i amplitudskom raspodjelom prikazanom sa $f_{\alpha}(\alpha)$, predstavlja kanal s Rejljevim fedingom.

U izrazu

$$r(t) = \sum_n \alpha_n(t) e^{-j\theta_n(t)} s(t - \tau) + n(t) = g(t) s(t - \tau) + n(t),$$

može se pretpostaviti da je parametar τ poznata veličina (a može se dobiti i estimacijom), te se može zanemariti iz daljih razmatranja. U tom slučaju, vrijednost $r(t)$ je jednaka:

$$r(t) = g(t) s(t) + n(t).$$

Posmatrajmo sada signal $r(t)$ kao BPSK moduliran signal koji se prenosi sa energijom po bitu E_b . Nadalje pretpostavimo da je $g(t) \cong \alpha(t) e^{-j\varphi(t)}$ takav da mu je amplituda $\alpha(t)$ konstantna na

podataka. Pokazuje se da mogućnost predaje i prijema putem više antena ne samo da odbija feding; još bolje, ta mogućnost, zapravo, iskorištava štetne posljedice samog fedinga u korist povećane propusne moći, tj. kapaciteta.

Upotreba MIMO strategije prijenosa pruža različite oblike poboljšanja mogućnosti sistema. To su: grupni dobitak, dobitak diverzitija, dobitak multipleksiranja i smanjenje interferencije. Činjenica je da se sve prednosti ne mogu iskoristiti istovremeno. Iz tog razloga uvijek je potrebno tražiti kompromis.

Grupni dobitak (array gain) pokazuje za koliko se povećava srednji odnos signal–šum (SNR) u prijemniku, u odnosu na jednoantenski sistem. Postiže se odgovarajućom obradom signala na predajnoj, odnosno na prijemnoj strani, tako da se predajni, odnosno primljeni signali koherentno udružuju. Za postizanje takvog dobitka potrebno je poznavati kanal na prijemnoj, odnosno predajnoj strani, a veličina dobitka ovisi o broju predajnih, odnosno prijemnih antena. Raspolaganje informacijom o kanalu na prijemnoj strani najčešće nije problematično, dok je taj podatak na predajnoj strani teže pribaviti. Naime, bazna stanica posjeduje informacije, tj. procjene parametara o kanalu samo u *uplink* pravcu, na osnovu kojih se može vršiti proizvoljna obrada pri prijemu. Kada je riječ o predaji, postavlja se pitanje koliko su ti podaci validni za *downlink*, tj. za formiranje dijagrama zračenja pri predaji.

Diverziti se može korisno upotrijebiti u bežičnim komunikacijama za borbu protiv fedinga signala i poboljšanja pouzdanosti linka. Postoje različite tehnike, premda se sve baziraju na istom principu: prenijeti isti signal po više neovisnih (ili nekoreliranih) feding kanala. Što je veći broj neovisnih kanala, veća je vjerovatnoća da barem jedan od njih nije zahvaćen fedingom.

MIMO sistemi koriste prostorni diverziti. Prostorni diverziti iskorištava činjenicu da će feding koji “vidi” više antena na strani prijemnika/predajnika biti neovisan kada je udaljenost između antena dovoljno velika. Potrebno rastojanje ovisi o uvjetima propagacionog okruženja, i može se kretati od $1/2$ talasne dužine (za okruženja sa mnogo disipacije iz svih upadnih uglova) do više talasnih dužina (za slučaj sa jakim LOS komponentom i malim brojem upadnih uglova). Za razliku od frekvencijskog i vremenskog diverzitija, kod prostornog diverzitija nije potreban dodatni propusni opseg niti dodatno vrijeme (tj. kašnjenje). Prostorni diverziti ne zahtijeva ni dodatnu obradu signala, premda u izvjesnoj mjeri povećava kompleksnost implementacije.

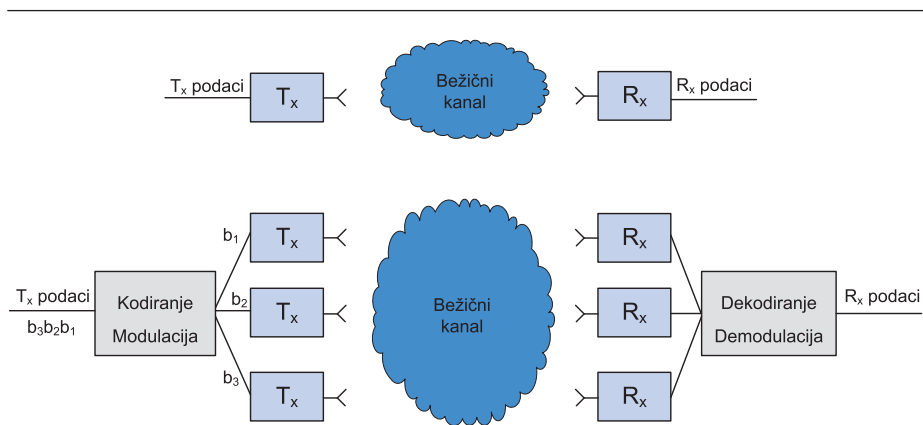
Kada koristimo više antena samo na prijemnoj strani, govorimo o *prijemnom diverzitetu*, a u suprotnom slučaju, kada je prisutno više antena samo na predajnoj strani, govorimo o *predajnom diverzitetu*. Kod MIMO sistema postoji više antena, kako na prijemnoj, tako i na predajnoj strani, čime se jednostavno postiže visok stepen diverzitija. Stepenn diverzitija jednak je broju međusobno neovisnih kanala sistema, što je ovisno o samom kanalu i poziciji antena. Sa M predajnih i N prijemnih antena postoji $M*N$ potkanala, te je *maksimalni stepen diverzitija* $M*N$. Što je veći stepen diverzitija, manja je vjerovatnoća greške.

Osim prostornog diverzitija, moguće je koristiti i druge, kao što su vremenski, frekvencijski, ugaoni i polarizacijski diverziti.

Dobitak prostornog diverzitija postizemo korištenjem više antena samo na predajnoj ili samo na prijemnoj strani, dok prostorno multipleksiranje zahtijeva postojanje više antena na obje strane veze. To povećavanje kapaciteta je utoliko povoljnije, jer za njega nije potrebno dodatno proširivanje propusnog opsega niti dodatna predajna snaga.

Korištenjem više antena možemo znatno povećati propusnu moć. Ako nam je glavni cilj ušteda snage, a ne povećanje propusne moći, možemo koristiti MIMO arhitekturu i imati istu propusnu moć kao kod jednoantenskog sistema, ali sa mnogo manjom predajnom snagom. Obično, MIMO sistemi se koriste za istovremeno postizanje povećanja propusne moći i smanjenja snage, te se dobitak multipleksiranja smanjuje.

Ko-kanalna interferencija (CCI) nastaje zbog ponovne upotrebe frekvencije u bežičnom kanalu. Pomoću više antena moguće je razdvajati signale sa različitim prostor-



Slika 4.
Jednoantenski i višeantenski sistem

nim potpisom (spatial signature), te tako smanjiti CCI. Pri prijenosu putem bežičnog medija svaki signal je označen s putanjom po kojoj se kretao. Za smanjenje interferencije neophodno je poznavanje kanala traženog signala. Odgovarajućim uobličavanjem signala može se smanjiti interferencija korištenjem i predajne strane, gdje se signal što bolje usmjerava ka željenom korisniku. Tako se smanjuje ometanje ostalih korisnika, što omogućava češće korištenje istih frekvencija i na taj način povećanje kapaciteta višestrukih sistema.

Upotrebom inteligentnih predajnih i

prijemnih shema kombiniranja, ukupne performanse sistema mogu biti u znatnoj mjeri poboljšane.

Slika 4. prikazuje opću blok shemu jednoantenskog i višeantenskog sistema.

Kod konvencionalnih inteligentnih antena samo je predajna ili samo prijemna strana opremljena sa više antena. Obično se radi o baznoj stanici, jer tamo ima dovoljno prostora za smještanje dodatnih antena, pa su troškovi na taj način manji nego kao kad bi više antena ugrađivali u svaki mobilni uređaj. Osnovna ideja inteligentnih antena jeste u uobličavanju snopa antene (tzv. beamforming). Usmjeravanjem energije u željenom smjeru povećava se srednji odnos signal–šum (grupni dobitak). To se može ostvariti ili na predajnoj ili na prijemnoj strani.

Naime, u nastavku ćemo generalno posmatrati, u određenoj mjeri, problem prijenosa kroz jedan MIMO kanal. U početku ćemo posmatrati kontinualno-vremenski model kanala, a potom ekvivalentan diskretno-vremenski.

Pretpostavimo da je signal:

$$s_i(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_{ik} \phi(t - kT)$$

emitiran iz i -te antene u sistemu od n antena, gdje a_{ik} parametar predstavlja kompleksnu amplitudu signala predstavljenu iz konstalacije signala za k -ti simolski period, a $\phi(t)$ predstavlja oblik prenesenog impulsa, normaliziran na jedinicu energije (Slika 5).

Ovakav signal prolazi kroz kanal sa impulsnim odzivom $\tilde{h}_{ji}(t)$ i prima se na j od ukupno m prijemnih antena, formirajući tako signal:

$$r_j(t) = s_i(t) * \tilde{h}_{ji}(t) + n_j(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_{ik} [\phi(t - kT) * \tilde{h}_{ji}(t)] + n_j(t).$$

Svaki $\tilde{h}_{ji}(t)$ može predstavljati odziv usljed rasijavanja i *multipath* efekta, kao i u slučaju jednog fading kanala. Ukupni signal koji se prima na strani j -tog prijemnika, a koji potječe od svih prenesenih signala, jeste:

$$r_j(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{i=1}^n a_{ik} [\phi(t - kT) * \tilde{h}_{ji}(t)] + n_j(t),$$

uz pretpostavku da je šum $n_j(t)$ dobiven na prijemnoj strani, a ne na pojedinačnim kanalima.

Predstavljajući, nadalje, signale kao:

$$a(k) = \begin{bmatrix} a_{1,k} \\ a_{2,k} \\ \vdots \\ a_{n,k} \end{bmatrix}; \quad r(t) = \begin{bmatrix} r_1(t) \\ r_2(t) \\ \vdots \\ r_m(t) \end{bmatrix}; \quad n(t) = \begin{bmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \\ \vdots \\ n_m(t) \end{bmatrix}$$

možemo pisati:

$$r(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} H(t-kT)a_k + n(t),$$

gdje $H(t)$ predstavlja matricu $m \times n$ impulsnih odziva sa:

$$h_{ji}(t) = \phi(t) * \tilde{h}_{ji}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(\tau) \tilde{h}_{ji}(t-\tau) d\tau.$$

Ukoliko je proces koji predstavlja šum $n(t)$ bijeli i Gausovski, sa nezavisnim komponentama, tada logaritamska likelihood funkcija (likelihood vjerovatnoća) postiže maksimum ukoliko se pronađe sekvenca signala $a \in \mathcal{S}^n$, minimizirajući izraz:

$$J = \int_{-\infty}^{\infty} \left\| r(t) - \sum_{k=-\infty}^{\infty} H(t-kT)a_k \right\|^2 dt$$

$$J = \int_{-\infty}^{\infty} \|r(t)\|^2 - 2 \sum_{k=-\infty}^{\infty} \operatorname{Re} \left[a_k^* \int_{-\infty}^{\infty} H^H(t-kT)r(t) dt \right] + \int_{-\infty}^{\infty} \left\| \sum_k H(t-kT)a_k \right\|^2 dt.$$

gdje je $\|x\|^2 = x^H x$, a gdje se eksponent H odnosi na transponirano-konjugiranu matricu, dok $*$ predstavlja kompleksnu konjugaciju. U ovom općem slučaju, minimizacija se može postići estimatorom sekvence sa maksimalnom likelihood vjerovatnoćom. Ovakav estimator predstavlja Viterbijev algoritam. Neka je dalje:

$$r_k = \int_{-\infty}^{\infty} H^H(t-kT)r(t) dt,$$

što predstavlja izlaz prilagođenog filtera, prilagođenog na preneseni signal i kanal.

Zamjenom $r(t)$ u r_k možemo pisati:

$$r_k = \sum_{l=-\infty}^{\infty} S_{k-l} a_l + n_k,$$

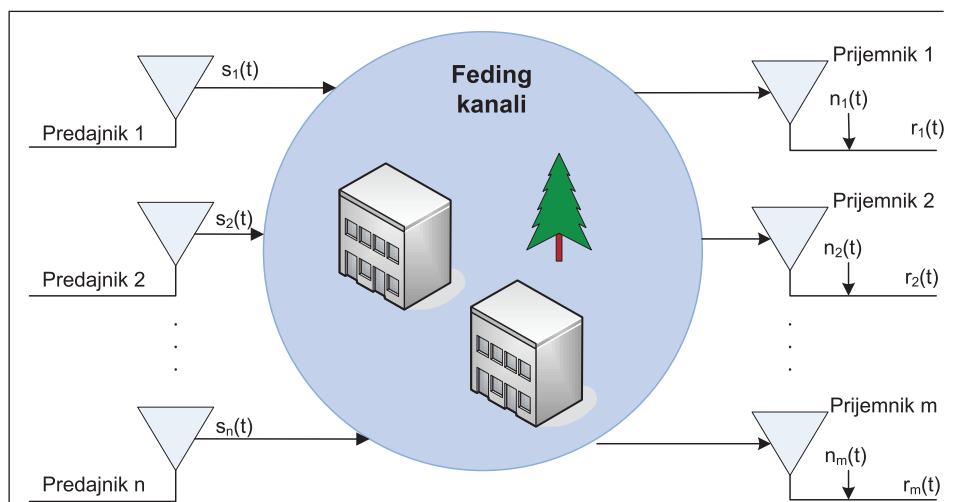
gdje su:

$$S_k = \int_{-\infty}^{\infty} H^H(t-kT)H(t) dt,$$

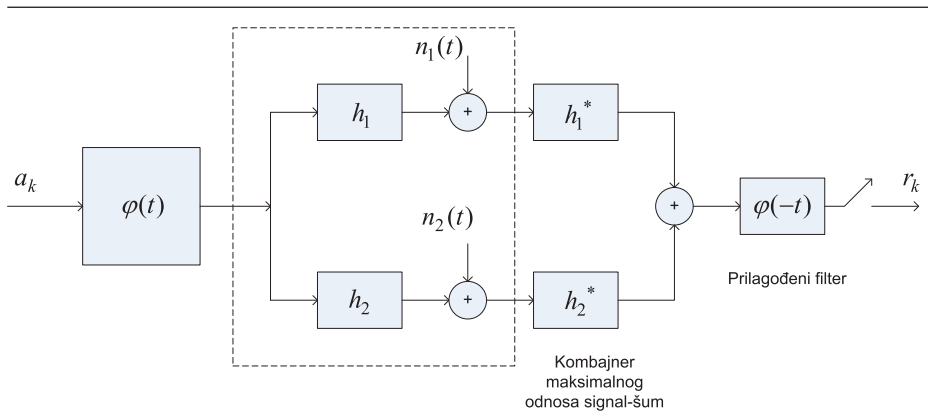
$$n_k = \int_{-\infty}^{\infty} H^H(t-kT)n(t) dt.$$

2.1 Uskopojasni MIMO kanal

Posmatrajmo uskopojasni MIMO kanal kod kojeg je frekventni odziv u osnovi konstantan za signale koji se prenose



Slika 5.
Jednoantenski i višeaentenski sistem



Slika 6.
Dvije prijemne antene i kombajner maksimalnog odnosa signal-šum

putem kanala. U ovom slučaju, prenese-ni signal $\varphi(t)$ (koji emitiraju sve antene) prima se kao:

$$H(t) = \varphi(t)H.$$

Prilagođeni filter $H^H(-t)$ može se razložiti u proizvod H^H i prilagođenim filterom sa faktorom $\varphi(-t)$.

Primijetimo da uskopojasni slučaj može nastupiti u slučaju kanala s ravnim fadingom, gdje su koeficijenti kanala h_{ji} slučajno vremenski zavisni zbog, npr., višestrukih interferirajućih signala nastalih usljed rasijavanja.

Kao poseban slučaj, pretpostavimo da

se signal $s(t) = \sum_k a_k \phi(t - kT)$ prenosi (tj. da postoji samo jedna predajna antena)

putem kanala, a da se koriste dvije prijemne antene sa:

$$r_1(t) = h_1 s(t) + n_1(t) \text{ i } r_2(t) = h_2 s(t) + n_2(t),$$

gdje su h_1 i h_2 kompleksni i konstantni za vrijeme najmanje jednog simbolskog intervala.

Tako je $H = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix}$.

Prijemnik najprije računa:

$$\begin{aligned} H^H r(t) &= h_1^* h_1 s(t) + h_2^* h_2 s(t) + (h_1^* n_1(t) + h_2^* n_2(t)) = \\ &= (|h_1|^2 + |h_2|^2) s(t) + (h_1^* n_1(t) + h_2^* n_2(t)) \end{aligned}$$

a zatim prosljeđuje ovaj signal preko prilagođenog filtera $\varphi(-t)$, kao što je prikazano na slici u nastavku, da bi nastao signal:

$$r_k = (|h_1|^2 + |h_2|^2) a_k + n_k,$$

gdje je n_k kompleksna Gausova slučajna varijabla sa $E[n_k] = 0$ i

$E[n_k n_k^*] = (|h_1|^2 + |h_2|^2) N_0$. Tako prijemnik sa maksimalnom likelihood vjerovatnoćom primjenjuje sljedeće pravilo odlučivanja:

$$\hat{a}_k = \arg \min_a |r_k - (|h_1|^2 + |h_2|^2) a|^2.$$

Ovaj detektor se zove kombajner maksimalnog odnosa signal-šum.

2.2 Performanse diverzitija sa kombajnerom maksimalnog odnosa signal-šum

Razmatrajmo sada performanse jednog predajnika, sa m prijemnika, koristeći kombajner maksimalnog odnosa signal-šum. Pretpostavimo da je poslat signal $a \in S$. Izlaz iz prilagođenog filtra je:

$$r_k = \|h\|^2 a_k + n_k,$$

gdje je $n_k = h^H n$ kompleksna Gausovska slučajna varijabla sa:

$$E\left[|n_k|^2\right] = N_0 \|h\|^2 = N_0 \sum_{j=1}^m |h_j|^2.$$

Definirajmo sada efektivni odnos signal–šum kao:

$$\gamma_{eff} = \|h\|^2 \frac{E_b}{N_0} = \sum_{j=1}^m |h_j|^2 \frac{E_b}{N_0} \cong \sum_{j=1}^m \gamma_j,$$

gdje je $\gamma_j = |h_j|^2 \frac{E_b}{N_0}$ efektivni odnos signal–šum za j -ti kanal. Pretpostavimo sada od-

mjeravanje takvo da je prosječan SNR $E[\gamma_j] = \frac{E_b}{N_0}$ za $j=1, 2, \dots, m$.

Prijenos od jedne antene a zatim rekombiniranje više primljenih signala kroz kombajner sa maksimalnim odnosom signal–šum rezultira u kanalu sa jednim ulazom i jednim izlazom. Za BPSK prijenos (pretpostavljajući da kanal varira dovoljno sporo tako da h može biti adekvatno estimirano), vjerovatnoća greške kao funkcija efektivnog odnosa signal–šum je:

$$P_2(\gamma_{eff}) = Q(\sqrt{2\gamma_{eff}}).$$

Kao u slučaju jednog fading kanala, ukupna vjerovatnoća greške postiže se usrednjavanjem kanalnih koeficijenata. Pretpostavimo, za slučaj jednog fading kanala, da je svaki koeficijent h_i kompleksna Gausova slučajna varijabla, takva da je $\gamma_i \chi^2$ raspodjela sa dva stepena slobode. Ako svaki h_i varira neovisno (što se može pretpostaviti ako su prijemne antene najmanje razdvojene za pola talasne dužine), onda je $\gamma_{eff} \chi^2$ raspodjela sa $2m$ stepena slobode. Može se pokazati da je pdf takve raspodjele dat sa:

$$f_{\gamma_{eff}}(t) = \frac{1}{(m-1)!(E_b/N_0)^m} t^{m-1} e^{-tN_0/E_b}; \quad t \geq 0.$$

Ukupna vjerovatnoća greške je:

$$P_2 = \int_0^{\infty} f_{\gamma_{eff}}(t) P_2(t) dt.$$

Rezultat ovog integrala je:

$$P_2 = p^m \sum_{k=0}^{m-1} \binom{m-1+k}{k} (1-p)^k,$$

gdje je:

$$p = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\gamma_{eff}}{1+\gamma_{eff}}} \right)$$

vjerovatnoća greške koju smo ranije izračunali za diverziti na jednom kanalu. Slika 3. nam prikazuje rezultat za različite vrijednosti parametra m . Očigledno je da diverziti tehnika omogućava značajno poboljšanje performansi.

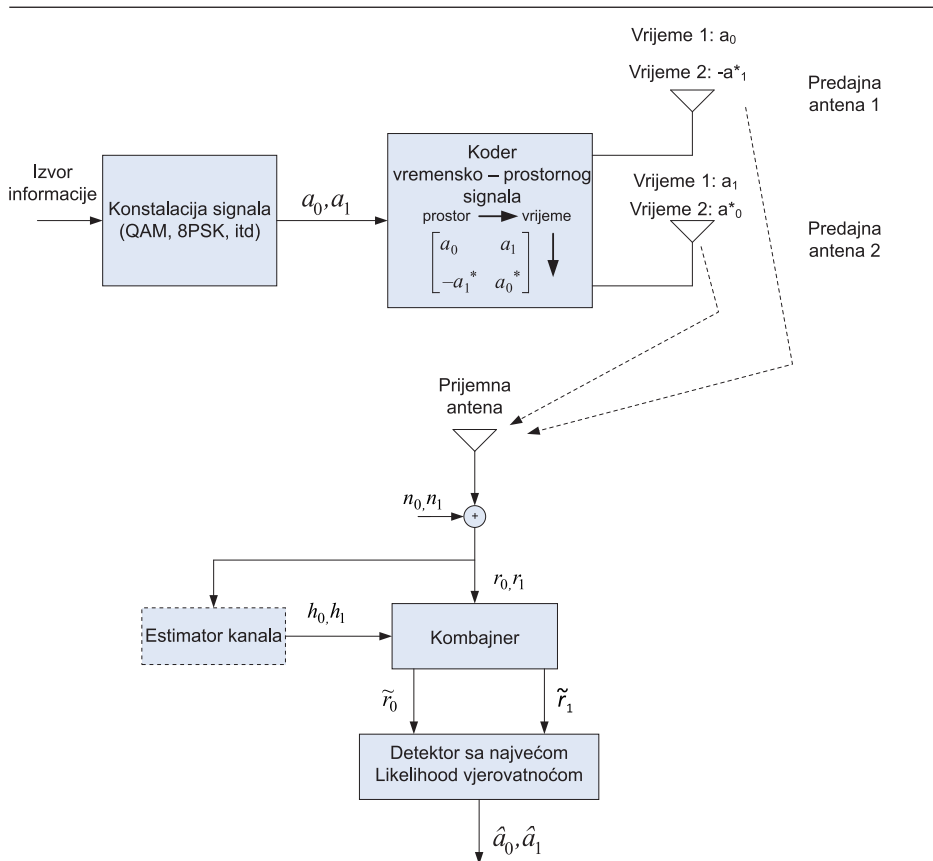
Na većim odnosima signal–šum, p može biti aproksimirano sa:

$$p \approx \frac{1}{4\gamma_{eff}}.$$

Za $m > 1$ vjerovatnoća greške može se aproksimirati uzimajući da je $(1-p)^k \approx 1$, tako da je:

$$P_2 \approx p^m \sum_{k=0}^{m-1} \binom{m-1+k}{k} = p^m \binom{2m-1}{m-1} \cong K_m p^m.$$

Koristeći aproksimaciju $m=1$, dobijamo:



Slika 7.
Diverziti prijenos

zbjeđuju vremensko-prostorni kodovi.

3.1 Alamouti kod

Na samom početku prezentirat ćemo Alamouti kod, koji je i u najvećem broju slučajeva pretežno korišten kod.

Posmatrajmo shemu diverziti predajnika na Slici 7.

Svaka antena šalje sekvence podataka iz konstelacije signala S . U Alamouti kodu, okvir podataka traje dva simbolska perioda. U prvom simbolskom periodu, antena 1 šalje simbol $a_0 \in S$, dok antena 2 šalje simbol $a_1 \in S$. U drugom simbolskom periodu, antena 1 šalje simbol $-a_1^*$, dok antena 2 šalje simbol a_0^* . Pretpostavlja se da feding koji unosi kanal varira dovoljno sporo da je konstantan na dva simbolska perioda (tj. kvazistatička pretpostavka se odnosi na čitavo trajanje kodne riječi). Kanal nastao od antene 1 do prijemnika se modelira kao $h_0 = \alpha_0 e^{-j\varphi_0}$, a kanal od antene 2 do prijemnika se modelira kao $h_1 = \alpha_1 e^{-j\varphi_1}$.

Primljeni signal za prvi signal (tj. uzorkovani izlaz iz prilagođenog filtra) je:

$$r_0 = h_0 a_0 + h_1 a_1 + n_0$$

a za drugi signal je:

$$r_1 = -h_0 a_1^* + h_1 a_0^* + n_1.$$

Prijemnik sada primjenjuje kombajning shemu, računajući:

$$\tilde{r}_0 = h_0^* r_0 + h_1 r_1^*$$

$$\tilde{r}_1 = h_1^* r_0 - h_0 r_1^*.$$

$$P_2 \approx \left(\frac{1}{4\gamma_{eff}}\right)^m \begin{bmatrix} 2m-1 \\ m \end{bmatrix}.$$

Dok se vjerovatnoća greške u AWGN kanalu smanjuje eksponencijalno sa odnosom signal–šum, u feding kanalu vjerovatnoća greške se smanjuje recipročno odnosu signal–šum sa eksponentom jednakim diverzitetu m . Kažemo da ova shema ima red diverzitija m .

3 VREMENSKO-PROSTORNI BLOKOVSKI KODOVI

Vidjeli smo da performanse u jednom kanalu s fedingom mogu biti poboljšane koristeći se prijemnim diverzitetjem. Međutim, u većini slučajeva se od prijemnika očekuje da bude mobilan i prilagodljiv po veličini, kao što je to mobilni uređaj ili PDA terminal, te stoga nije moguća praktična implementacija više antena u prijemu. S druge strane, predajnik na baznoj stanici može sadržavati veći broj predajnih antena, što je i u interesu, kako bi se omogućila implementacija diverzitija koji bi podrazumijevao više antena na predajnoj strani za razliku od antena na prijemnoj strani. Navedeno upravo obe-

Zamjenom izraza r_0 i r_1 u izraze $\tilde{r}_0$ i $\tilde{r}_1$ dobijamo:

$$\tilde{r}_1 = (|h_0|^2 + |h_1|^2) a_1 - h_0^* n_1 + h_1 n_0^*.$$

$$\tilde{r}_1 = (|h_0|^2 + |h_1|^2) a_1 - h_0^* n_1 + h_1 n_0^*.$$

Ključno opažanje je da $\tilde{r}_0$ zavisi samo od a_0 , tako da se detekcija može odnositi

samo na a_0 . Slično $\tilde{r}_1$ zavisi samo od a_1 , ponovo se pozivajući na isto pravilo detekcije jednog signala.

Prijemnik sada primjenjuje pravilo odlučivanja maksimalne likelihood vjerovatnoće na svaki signal odvojeno:

$$\hat{a}_0 = \arg \min_{a \in S} \left| \tilde{r}_0 - (|h_0|^2 + |h_1|^2) a \right|^2$$

$$\hat{a}_1 = \arg \min_{a \in S} \left| \tilde{r}_1 - (|h_0|^2 + |h_1|^2) a \right|^2.$$

U cjelini, ovakav predajnik može slati dva simbola na dva simbolska perioda, tako da ovo predstavlja kod sa brzinom 1. Također, on omogućava diverziti koji je jednak 2. Pretpostavljajući da je ukupna prenesena snaga sa dvije antene u ovoj kodnoj shemi jednaka ukupnoj prenesenoj snazi, koristeći se konvencionalnom metodom za diverziti kod prijemnika, snaga predajnika mora se podijeliti sa dva za svaku antenu. Ovo razdvajanje snage rezultira u redukciji performansi za 3 dB (slabljenje jednog splitera) u poređenju sa $m=2$, koristeći dvije prijemne antene, ali u ekvivalentnim performansama.

Pretpostavimo da, za razliku od Alamouti sheme, kombinirajući shema proizvodi vrijednosti koje su mješavina predajnih signala. Pretpostavimo, npr.:

$$\tilde{r}_0 = aa_0 + ba_1 + \tilde{n}_0$$

$$\tilde{r}_1 = ca_0 + da_1 + \tilde{n}_1$$

za određene koeficijente a , b , c i d . Ovo možemo zapisati kao:

$$r = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{n}_0 \\ \tilde{n}_1 \end{bmatrix} \cong A \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{n}_0 \\ \tilde{n}_1 \end{bmatrix}.$$

Onda pravilo odlučivanja *maksimalne likelihood* vjerovatnoće mora maksimizirati zajedno:

$$[\hat{a}_0, \hat{a}_1] = \arg \min_{a \in S} \| \tilde{r} - Aa \|^2.$$

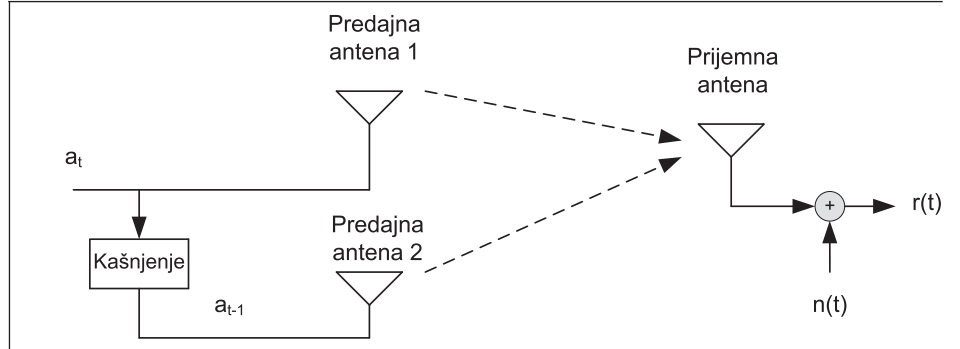
Traženje se obavlja na vektoru dužine 2, a ukoliko unutar njega konstelacija ima M tačaka, kompleksnost pretrage je $O(M^2)$. U slučaju m -arnog diverzitija kompleksnost raste kao $O(M^m)$. Ovaj porast kompleksnosti izbjegava se kod Alamouti koda, zbog ortogonalnosti matrice kodiranja.

Za jednostavnost proračuna bitno je da se simbol pojavljuje samo u jednom kombiniranom signalu na prijemu.

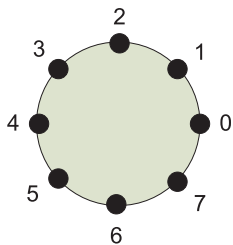
Alamouti kod se primjenjuje u IEEE 802.11 i 802.16a bežičnim standardima.

3.2 Uopćenija formulacija

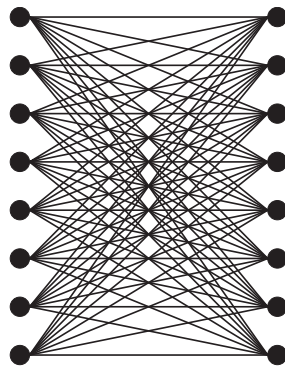
Sada ćemo postaviti uopćenije okvire za prostorno-vremenske kodove, kod kojih je Alamouti kod poseban slučaj. U svrhu uopćenosti, dozvolit ćemo diverziti na pre-



Slika 8.
Diverziti s kašnjenjem



00,01,02,03,04,05,06,07
 10,11,12,13,14,15,16,17
 20,21,22,23,24,25,26,27
 30,31,32,33,34,35,36,37
 40,41,42,43,44,45,46,47
 50,51,52,53,54,55,56,57
 60,61,62,63,64,65,66,67
 70,71,72,73,74,75,76,77



dajnoj i prijemnoj strani, sa n predajnih i m prijemnih antena. Okviri koda traju jedan simbolijski period (dakle, za Alamouti, $n=2$, $m=1$ i $l=2$). U trenutku t , simboli $c_i(t)$, $i=1, 2, 3 \dots n$ se prenose simultano sa n predajnih antena. Signal $r_j(t)$ na anteni j je:

$$r_j(t) = \sum_{i=1}^n h_{j,i} c_i(t) + n_j(t), \quad j=1, 2, \dots, m$$

gdje je $c_i(t)$ kodiran simbol koji prenosi antena i u vremenu t . Kodna riječ za ovaj ram je sekvenca:

$$c = c_1(1), c_2(1), \dots, c_n(1), c_1(2), c_2(2), \dots, c_n(2), \dots, c_1(l), c_2(l), \dots, c_n(l)$$

dužine nl .

3.3 Proračun performansi

Prije razmatranja kako dizajnirati kodne riječi, prvo ćemo formirati red diverzitija za kodnu shemu. Posmatrajmo vjerovatnoću da dekodir sa maksimalnom *likelihood* vjerovatnoćom odlučuje za signal

$$e = e_1(1), e_2(1), \dots, e_n(1), e_1(2), e_2(2), \dots, e_n(2), \dots, e_1(l), e_2(l), \dots, e_n(l)$$

putem signala c koji je odašiljan, za dato stanje kanala. Ovu vjerovatnoću možemo prikazati kao:

$$P(c \rightarrow e | h_{j,i}, j=1, 2, \dots, m, i=1, 2, \dots, n).$$

U AWGN kanalu, ova vjerovatnoća može biti ograničena na način (povezujući je sa Q funkcijom)

$$P(c \rightarrow e | h_{j,i}, j=1, 2, \dots, m, i=1, 2, \dots, n) \leq \exp(-d^2(c, e) E_s / 4N_0),$$

gdje je:

$$d^2(c, e) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^l \left| \sum_{i=1}^n h_{j,i} (c_i(t) - e_i(t)) \right|^2.$$

Neka je $h_j^T = [h_{j,1}, h_{j,2}, \dots, h_{j,n}]^T$ i $c_t^T = [c_1(t), c_2(t), \dots, c_n(t)]^T$ i isto tako e_t . Tada je:

$$d^2(c, e) = \sum_{j=1}^m h_j^T \left[\sum_{t=1}^l (c_t - e_t)(c_t - e_t)^H \right] h_j^*.$$

Neka je $A(c, e) = \sum_{t=1}^l (c_t - e_t)(c_t - e_t)^*$. Tada je:

$$d^2(c, e) = \sum_{j=1}^m h_j^T A(c, e) h_j^*,$$

pa vrijedi da je:

$$P(c \rightarrow e | h_{j,i}, j=1, 2, \dots, m, i=1, 2, \dots, n) \leq \prod_{j=1}^m \exp(-h_j^T A(c, e) h_j^* E_s / 4N_0).$$

Slika 9.
Konstalacija 8-PSK signala i Trellis kod
za koder s diverziti kašnjenjem

Matrica $A(c,e)$ se može napisati kao:

$$A(c,e) = B(c,e)B^H(c,e),$$

gdje je:

$$B(c,e) = \begin{bmatrix} e_1(1) - c_1(1) & e_1(2) - c_1(2) & \dots & e_1(l) - c_1(l) \\ e_2(1) - c_2(1) & e_2(2) - c_2(2) & \dots & e_2(l) - c_2(l) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_n(1) - c_n(1) & e_n(2) - c_n(2) & \dots & e_n(l) - c_n(l) \end{bmatrix}.$$

Drugim riječima $A(c,e)$ ima kvadratni korijen koji je jednak $B(c,e)$. Poznato je da bilo koja matrica koja ima kvadratni korijen jeste konačna i nenegativna, te sve njene svojstvene vrijednosti su nenegativne.

Simetrična matrica $A(c,e)$ može se predstaviti kao:

$$VA(c,e)V^H = D,$$

gdje je V unitarna matrica formirana od svojstvenih vektora matrice $A(c,e)$, a D je dijagonalna matrica sa realnim nenegativnim dijagonalnim elementima λ_i .

Neka je $\beta_j = Vh_j^*$. Onda je:

$$\begin{aligned} P(c \rightarrow e | h_{j,i}, j = 1, 2, \dots, m, i = 1, 2, \dots, n) &\leq \prod_{j=1}^m \exp(-\beta_j^H D \beta_j E_s / 4N_0) \\ &= \prod_{j=1}^m \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i |\beta_{i,j}|^2 E_s / 4N_0\right) \end{aligned}$$

Pretpostavljajući da su elementi h_i Gaussovi sa srednjom vrijednošću jednakom nuli, te normalizirani na varijansu 0,5 *per dimension*, onda su $|\beta_{i,j}|$ raspoređeni po Rejljevoj raspodjeli sa gustoćom:

$$p(|\beta_{i,j}|) = 2|\beta_{i,j}| \exp(-|\beta_{i,j}|^2).$$

Prosječne performanse dobivaju se integracijom:

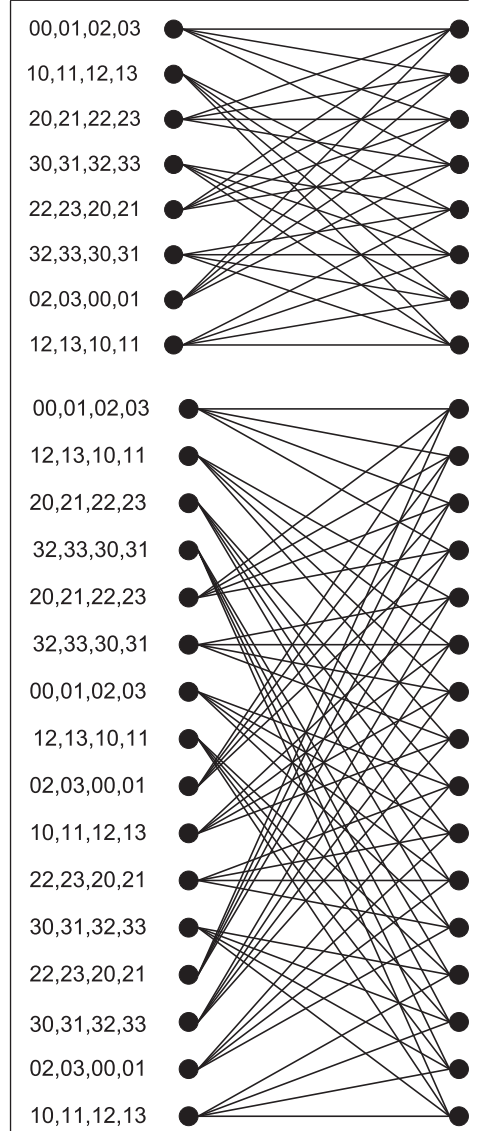
$$P(c \rightarrow e) \leq \int \prod_{j=1}^m \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i |\beta_{i,j}|^2 E_s / 4N_0\right) \prod_{i,j} 2|\beta_{i,j}| \exp(-|\beta_{i,j}|^2) d|\beta_{1,1}| \dots d|\beta_{n,m}|.$$

Može se pokazati da je:

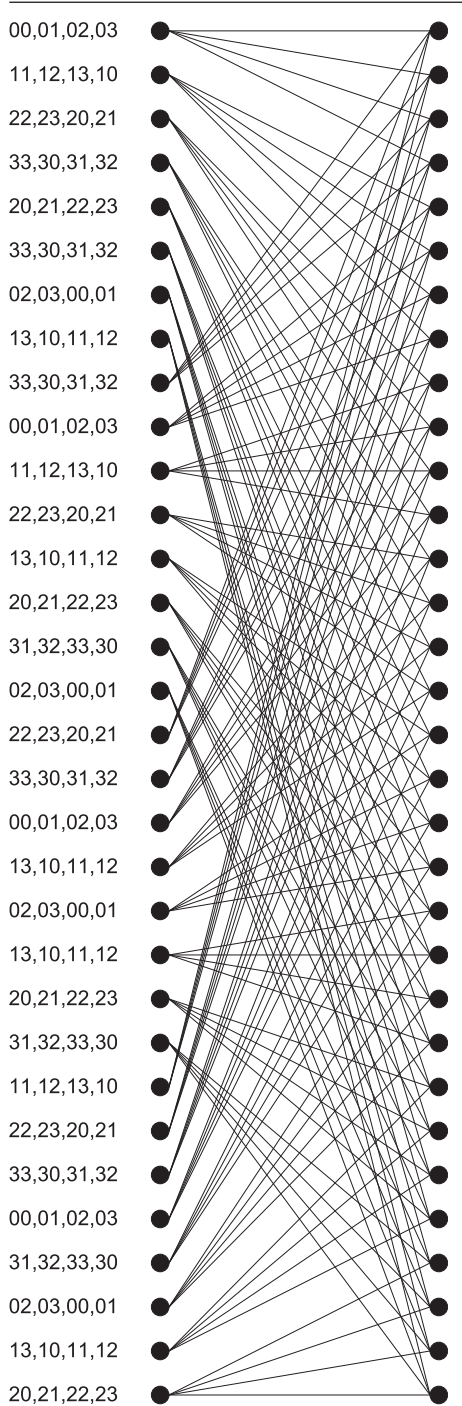
$$P(c \rightarrow e) \leq \left(\frac{1}{\prod_{i=1}^n (1 + \lambda_i E_s / 4N_0)} \right)^m.$$

Neka je r rang matrice $A(c,e)$, tako da postoji $n-r$ svojstvenih vrijednosti $A(c,e)$ jednakih 0. Onda prethodni izraz može biti dalje aproksimiran kao:

$$P(c \rightarrow e) \leq \left(\prod_{i=1}^r \lambda_i \right)^{-m} (E_s / 4N_0)^{-rm}.$$



Slika 10.
Prikaz vremensko-prostornih kodova za 4-PSK signal sa 8, 16 i 32 stanja



Slika 10. (nastavak)
Prikaz vremensko-prostornih kodova za 4-PSK signal sa 8, 16 i 32 stanja

Poredeći s prethodno dobijenim izrazom $P_2 \approx \left(\frac{1}{4\gamma_{eff}}\right)^m \binom{2m-1}{m}$, možemo vidjeti

da vjerovatnoća greške opada recipročno s odnosom signal–šum sa stepenom rm . Iz ovoga proizlazi sljedeća teorema:

Teorema: Red diverzitija za kodiranje je rm .

Iz ove teoreme možemo postići kriterij ranga: da bi se postigao maksimalan diverziti mn , matrica $B(c,e)$ mora imati puni rang za svaki par kodnih riječi c i e .

Faktor $\left(\prod_{i=1}^r \lambda_i\right)^{-m}$ u izrazu za $P(c \rightarrow e)$ interpretira se kao prednost kodiranja.

U kombinaciji sa diverzitetom drugog faktora postizemo sljedeća dva kriterija za Rejli-jeve prostorno-vremenske kodove: sa ciljem postizanja maksimalnog diverzitija $B(c,e)$ mora biti punog ranga za svaki par kodnih riječi c i e . Najmanje r za bilo koji par kodnih riječi vodi diverzitetu rm .

Dobit kodiranja se maksimizira maksimiziranjem sume determinanti svih $r \times r$ kofaktora elemenata $A(c,e) = B(c,e)B^H(c,e)$, pošto je suma jednaka produktu determinanta kofaktora.

4 VREMENSKO-PROSTORNI TRELIS KODOVI

Trelis kodovi također mogu biti korišteni za obezbjeđivanje diverzitija. U nastavku će biti prikazani pojedini primjeri iz literature.

Primjer 1: Posmatrajmo sliku u nastavku. Ovo je jedan primjer diverzitija s kašnjenjem, koji sadrži, osim prostornog, i vremenski diverziti. Signal koji se odašilje sa dvije predajne antene u nekom vremenu t sastoji se od trenutnog simbola a_t i prethodnog simbola a_{t-1} . Tako je prijemni signal dat kao: $r_t = h_0 a_t + h_1 a_{t-1} + n_t$. Ukoliko su parametri kanala $\{h_0, h_1\}$ poznati, onda se ekvalizator može upotrijebiti za detekciju prenesene sekvence.

Imajući u vidu da koder signala u našem slučaju posjeduje memorijski element, navedeni primjer može se posmatrati kao jednostavni Trelis kod, tako da se postupak dekodiranja signala može obaviti korištenjem Viterbijevog algoritma. Ukoliko se koder signala koristi zajedno sa 8-PSK signalom, tada će postojati osam stanja. U tom slučaju, Trelis kod i izlazna sekvence su prikazane na slici u nastavku. Izlaz koji je predstavljen pored svakog stanja je par (a_{k-1}, a_k) za svaki ulaz.

Za sekvencu simbola $a_1, a_2, \dots, a_n$, koder s diverzitetom i kašnjenjem može, također, generirati prostorno-vremenski blok kod kodne riječi:

$$A(a_1, a_2, \dots, a_n) = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & \dots & a_{n-1} & a_n & 0 \\ 0 & a_1 & a_2 & a_3 & \dots & a_{n-1} & a_n \end{bmatrix}.$$

Dvije nule koje su date na početnoj i krajnjoj koloni obezbjeđuju da Trelis kod počinje i završava u stanju 0. Koristit ćemo se sljedećim kriterijem. Matrica $B(a,e) = A(a) - A(e)$ je, imajući u vidu linearnost postupka kodiranja, jednaka $A(a')$, gdje je $a' = a - e$. Kolone koje sadrže prve i zadnje elemente od a' su linearno nezavisne, te je matrica B punog ranga, tako da ovaj kod omogućava diverziti od $m=2$ sa 2 bita/sekundi/Hz.

Primjer 2: Na slici u nastavku dat je prikaz vremensko-prostornih kodova za 4-PSK signal (koji prenosi 2 bita/sekundi/Hz), koristeći se sa 8, 16 i 32 stanja. Svaki od ovih kodova obezbjeđuje red diverzitija 2. Slika 11a. nam daje prikaz vjerovatnoće greške (dobijeno simulacijom) za ove kodove za slučaj kada imamo dvije predajne i dvije

prijemne antene. S druge strane, Slika 11b. prikazuje slučaj kada imamo dvije predajne i jednu prijemnu antenu.

ZAKLJUČAK

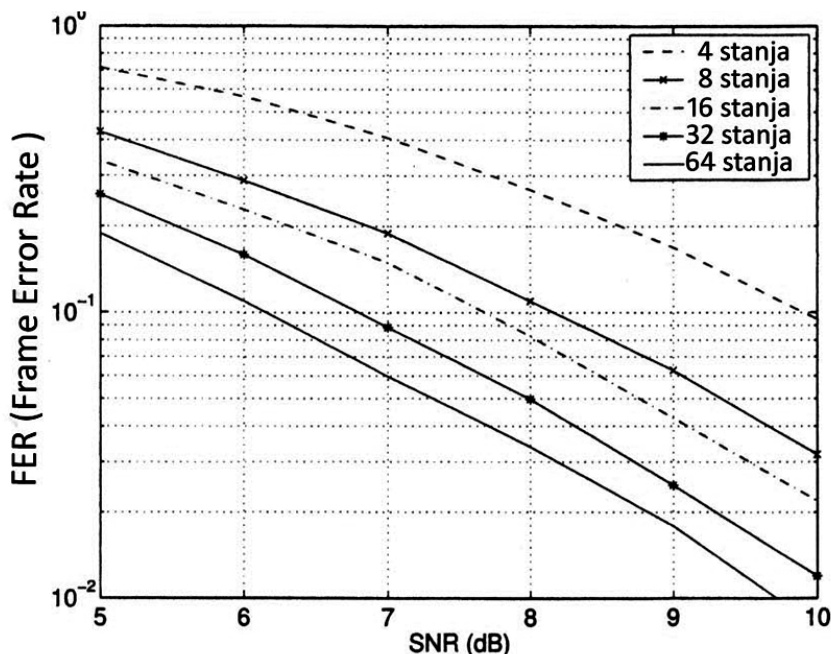
MIMO tehnologija predstavlja jednu implementaciju tzv. „inteligentnih antena (smart-antena)“. Da bi se optimizirala predajna i prijemna struktura, sistem inteligentnih antena mora kombinirati višestruke antenske elemente sa optimalnim procesiranjem signala. Potrebno je da postoji kompromis između povećanja kvaliteta usluge (QoS) i pokrivanja, uključujući uvijek skupe troškove i cijenu opreme.

U radu je bilo govora o vremensko-prostornim kodovima, i njihovoj primjeni kod MIMO kanala. Pri tome se krenulo od matematskog opisa kanala sa fedingom, preko opisa MIMO kanala i korištene diverziteti tehnike, da bi se definirali i sami vremensko-prostorni kodovi.

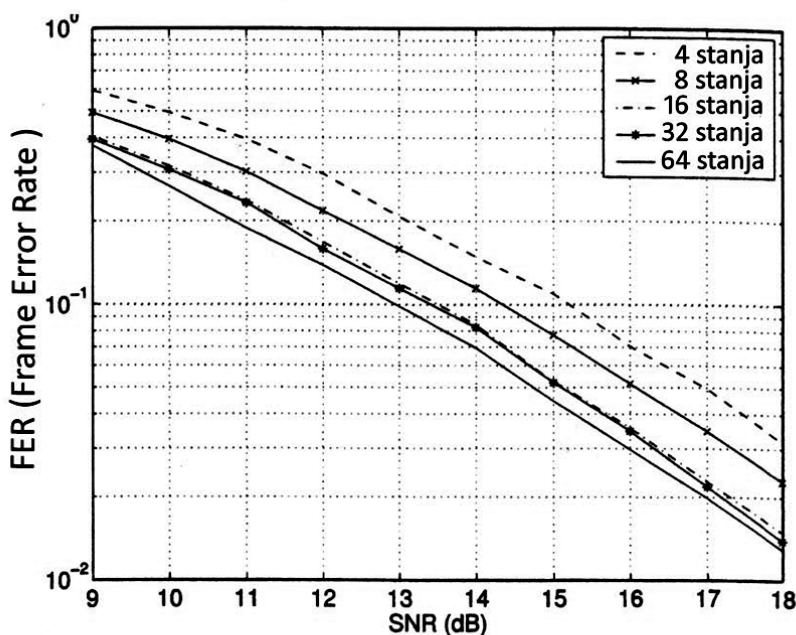
Pri analizi i kreiranju vremensko-prostornih kodova posmatran je kanal s Rejlijevom fadingom. Performanse procesa kodiranja kod ovih kodova nisu razmatrane za slučaj drugih propagacijskih okruženja. Stoga, jedan od ključnih ciljeva bi bio da se odrede i definiraju ove performanse pod raznim uvjetima u propagaciji signala.

LITERATURA

- [1] Todd K. Moon, *Error Correction Coding*, Wiley, 2005.
- [2] Horst Bessai, *Mimo Signals and Systems*, Information Technology: Transmission, Processing and Storage, 2005.
- [3] Narcis Behlilović, *Prenos podataka I*, Postdiplomski studij na odsjeku za telekomunikacije, ETF



(a) dvije prijemne i dvije predajne antene



(b) jedna prijemna i dvije predajne antene

Slika 11. FER za različite slučajeve broja prijemnih i predajnih antena

VODEĆI BH TELEKOM INŽENJERING

KONSALTING
PLANIRANJE
PROJEKTOVANJE
INŽENJERING
RAZVOJ SOFTVERA
POSTPRODAJNA PODRŠKA
HARDVER/SOFTVER NADOGRADNJA

KOMUTACIONI SISTEMI
TELEKOMUNIKACIONE MREŽE
PRISTUPNE MREŽE/
GIS TEHNOLOGIJE
PRIJENOSNI SISTEMI/
KABLOVSKI, OPTIČKI
RADIO MREŽE



www.e-comm.energoinvest.com

Hamdije Čemerlića 2, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Tel: (**387 33) 703 600; 703 601; Fax: (**387 33) 657 458



**OVLAŠTENI PARTNER ZA
BOSNU I HERCEGOVINU**

UNIS Telekom d.d. Mostar
Dr. Ante Starčevića 50
88000 Mostar
tel 036 314 407
fax 036 314 408
unis@unistelekom.ba

UNIS Telekom d.d.

Evaluation video transmission using MyEvalVid RTP tool in network simulator ns2

Abstract

To develop an evaluation tool-set which go toward more realistic simulation is always an important topic in video transmission over network. This paper describes multimedia video file transmission using Cygwin program (Cygwin is an environment which provides common unix/linux functionality on a windows host system), network simulator ns2 program and an evaluation tool-set which go toward more realistic simulation and provides real-time network performance implementation - My EvalVid RTP. The simulation is the most accessible and productive way to appreciate efficiency of a network on the stage of its designing and network simulator ns2 is the most popular effective and extensible simulation tool targeted at networking research and educational use. This tool-set can evaluate not only the video delivered quality but also the voice delivered quality.

Key words: cygwin, network simulator, Eval Vid, RTP

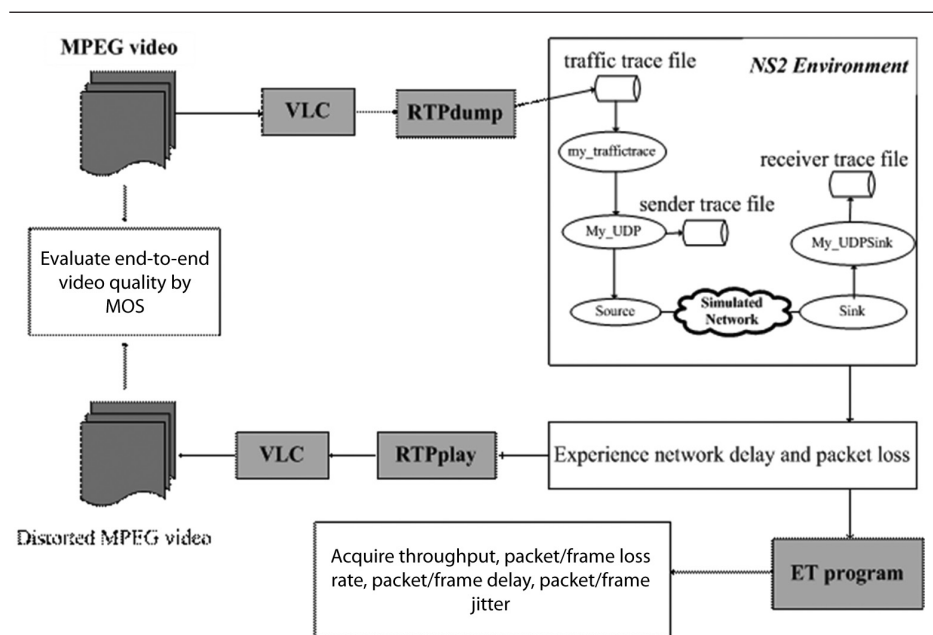


Figure 1.
Simulation of video transmission over network

ABBREVIATIONS

Cygwin – Cygnus Windows
Eval Vid – Evalution Video
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP – Internet Protocol
LAN – Local Area Network
MOS – Mean Opinion System
MPEG – Moving Picture Experts Group
NS – Network Simulator
QoS – Quality of Service
RTP – Real Time Protocol
UDP – User Datagram Protocol
VLC – Video LAN

I. INTRODUCTION

To develop an evaluation tool-set which go toward more realistic simulation is always an important topic in video transmission over network. The simulation is the most accessible and productive way to appreciate efficiency of a network on the stage of its designing and network simulator ns2 is the most popular effective and extensible simulation tool targeted at networking research and educational use. While we have considerable confidence in ns, ns is not a polished and finished product, but the result of an on-going effort of research and development. In particular, bugs in the software are still being discovered and corrected. Users of ns are responsible for verifying for themselves that their simulations are not invalidated by bugs.

EvalVid (evaluation video) is a framework and tool-set for evaluation of the quality of video transmitted over a real or simulated communication network. It is targeted for researchers who want to evaluate their network designs or setups in terms of user perceived video quality. Besides measuring QoS parameters of the underlying network, like loss rates, delays, and jitter, a subjective video quality evaluation of the received video is provided. Currently H.264, MPEG-4 and H.263 are supported.

II. PREPARATIONS

Motive of this work is to analyze network parameters effect to the streaming video and to help others by giving instructions to repeat scenario case.

Before we start with simulation we need to take some steps and install some programs:

1.) **Cygwin:** Cygwin is an environment which provides common unix/linux functionality on a windows host system. First thing to do is to install cygwin program. Program for cygwin installation can be easily found on Internet. During installation next pluggins must be chosen: XFree86-base, XFree86-bin, XFree86-prog, XFree86-lib, XFree86-etc, make, patch, perl, gcc, gcc-g++, gawk, gnuplot, tar and gzip. During cygwin installation,

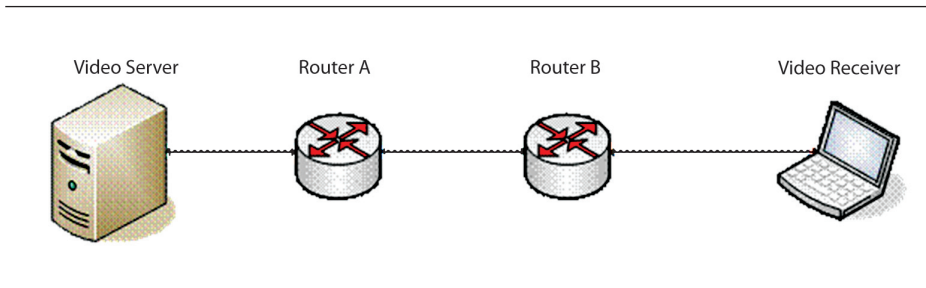


Figure 2.
Wired network scenario

we faced certain problems. For the first time execution, it should generate some environment parameter setting files and should create a folder named “username” under home directory, where “username” is login to windows system (in this case sabinag). The actual path would be: c:\cygwin\home\sabinag. (It should be noticed that the login name shouldn’t consist any space, because it may cause errors during ns2 installation). However, all this didn’t happened that way and we get conclusion - installation of cygwin doesn’t work correctly at computer as part of LAN system (host). We tried with other computer, which one wasn’t part of LAN, and problem was solved.

2.) *ns2*: Next step is to install ns2 version 2.27 or later. Since ns2 is open source program it can be, also, easily found on Internet but on the other side, there are still bugs in software. Ns2 folder is copied into cygwin folder:

```
c:\cygwin\home\sabinag\ns-
allinone-2.28
```

To integrate Evalvid into NS2 one need to do some modifications of original ns2 files and compile:

```
Administrator@SABINAG ~/ns-
allinone-2.28/ns-2.28
$ ./configure ; make clean; make
depend; make
```

Here, we also faced some problems that we didn’t completely solve. We tried different versions of ns2 (2.27, 2.28, 2.29 and 2.31) at different computers, but with each of them faced different problems.

3.) *VLC*: install VLC program and then copy RTP_tools and myevalvid_RTP folders into c:\cygwin\home\sabinag. (folders can be found at: <http://www.cs.columbia.edu/IRT/software/rtp-tools/>)

After all the steps are done successfully, we can start simulation.

III. SIMULATION

We combine NS2 with VLC and RTP-tools to develop another tool-set which can evaluate the performance of video transmission.

In framework from Fig. 1 we can use MPEG video files available from network to be input source. When we want to evaluate the performance of video transmission by this new tool-set, we first stream MPEG video file by VLC and extract the information of the video file to obtain the traffic trace file by RTPdump and other program. After obtaining the traffic trace file, we evaluate the performance of the proposed mechanism by using the traffic trace file in NS2 environment. When finishing simulation, we can obtain two trace files: sender trace file and receiver trace file. Next, we can use ET program to analyze sender trace file and receiver trace file to obtain network-level performance metric, such as throughput, delay and delay jitter and so on. In addition, we also can obtain the distorted MPEG video file through RTPplay and VLC. Finally, we can evaluate the end-to-end video quality by MOS.

We took two scenarios, one is for wired networks and the other is for wireless access networks.

```
1191322321.432629 RTP len=1328 from=192.168.144.131:2098 v=2 p=0 x=0 cc=0 m=0 pt=33 (MP2T,0,90000) seq=4828 ts=1678252787 ssrc=0x3cc0 data=
1191322321.433008 RTP len=1328 from=192.168.144.131:2098 v=2 p=0 x=0 cc=0 m=0 pt=33 (MP2T,0,90000) seq=4829 ts=1678230274 ssrc=0x3cc0 data=
1191322321.433455 RTP len=1328 from=192.168.144.131:2098 v=2 p=0 x=0 cc=0 m=0 pt=33 (MP2T,0,90000) seq=4830 ts=1678232875 ssrc=0x3cc0 data=
1191322321.433831 RTP len=1328 from=192.168.144.131:2098 v=2 p=0 x=0 cc=0 m=0 pt=33 (MP2T,0,90000) seq=4831 ts=1678235477 ssrc=0x3cc0 data=
1191322321.434191 RTP len=1328 from=192.168.144.131:2098 v=2 p=0 x=0 cc=0 m=0 pt=33 (MP2T,0,90000) seq=4832 ts=1678238079 ssrc=0x3cc0 data=
1191322321.434570 RTP len=1328 from=192.168.144.131:2098 v=2 p=0 x=0 cc=0 m=0 pt=33 (MP2T,0,90000) seq=4833 ts=1678240681 ssrc=0x3cc0 data=
1191322321.434945 RTP len=1328 from=192.168.144.131:2098 v=2 p=0 x=0 cc=0 m=0 pt=33 (MP2T,0,90000) seq=4834 ts=1678243283 ssrc=0x3cc0 data=
```

Figure 3.
Stream file

1) Wired network

In this scenario, each link is bidirectional. The bandwidth of link between Video Server and Router A is 10 Mb and the delay is 1 ms. The setting of the link between Router B and Video Receiver is the same. In addition, the bandwidth of the link between Router A and Router B is set from 0.2 Mbps to 1 Mbps at an interval of 0.2 Mbps. The delay is 1 ms and the queue capacity is 10. Therefore, the bottleneck of the scenario is the link between Router A and Router B.

To generate the video stream by using VLC and extract the packet information by using rtpdump:

- open VLC program and open file
- in "Advanced options", check "Stream/Save" and click "Settings..."
- check "RTP" and input IP address of your computer and any port number
- start cygwin and command:
Administrator@SABINAG ~/myevalvid_rtp
\$./rtpdump -F hex
192.168.144.131/1234 >
stream

File will be streamed out, received by rtpdump, and the data received will be saved in "stream" file. When finishing streaming, return to the cygwin and click ctrl+C to stop receiving the data transmitted by VLC.

- Re-execute rtpdump program, but change parameter to become "-F dump". This is because we have to save the data payload of each rtp packet.

```
Administrator@SABINAG ~/myevalvid_rtp
$ ./rtpdump -F dump
192.168.144.131/1234 >
stream2
```

- Execute work1.exe program to analyze the information of "stream" file.
Administrator@SABINAG ~/myevalvid_rtp
\$./work1.exe
Input reading VLC stream
record file name : stream
Input writting send record
file name : analysis
Program start...
Program end...

```
00000000h: 23 21 72 74 70 70 6C 61 79 31 2E 30 20 31 39 32 ;
00000010h: 2E 31 36 38 2E 30 2E 32 2F 35 34 30 32 30 0A 45 ;
00000020h: DC 6D 12 00 06 06 F9 C0 A8 00 02 04 D3 07 F5 05 ;
00000030h: 38 05 30 00 00 00 F9 66 80 21 72 7A 0C F0 2A EE 00 ;
00000040h: 00 2E BF 47 40 00 30 A6 00 FF FF FF FF FF FF FF ;
00000050h: FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF ;
00000060h: FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF ;
00000070h: FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF ;
00000080h: FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF ;
00000090h: FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF ;
000000a0h: FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF ;
000000b0h: FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF ;
000000c0h: FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF ;
```

Figure 4.
Stream2 file

After finishing analyzing the "stream" file, we obtain the "analysis" file. The information of "analysis" is as it is at Fig. 5. (The first column is inter sending time, and the second column is rtp packet payload size).

- In next step we faced lot of problems we couldn't solve - execution the network scenario by ns2 (Wired.tcl)
Administrator@SABINAG /seminarski
\$ ns wired.tcl 1
invalid command name
"Agent/my_UDP"
while executing
"Agent/my_UDP create _o335 "
Changing code in this line
didn't solve the problem.
proc getopt {argc argv} {
 global opt
 lappend optlist nn
 for {set i 0} {\$i < \$argc}
 {incr i} {
 set opt(\$i) [lindex
\$argv \$i] } }
getopt \$argc \$argv
set ns [new Simulator]
set nd [open out.tr w]
\$ns trace-all \$nd
set packetSize 1500
set s1 [\$ns node]

After finishing simulation, it should generate "sd" (sender trace file) and "rd" (receiver trace file).

- Considering step above was finished successfully, next step would be to execute work2.exe program

The "rd" file we input is receiver trace file, and "lost" file record mainly the

```
0.000000      1328
0.002663      1328
0.065138      1328
0.096943      1328
0.143306      1328
0.174898      1328
0.175277      1328
0.175724      1328
0.176100      1328
0.176460      1328
0.176839      1328
0.177214      1328
0.190138      1328
0.221483      1328
0.252646      1328
0.283896      1328
0.299490      1328
0.330799      1328
```

Figure 5.
Analysis file

```

$ ./work2.exe
Input reading receive record file name : rd
Input writting lost table file name : lost
Input the lost packet size :1328
Program start...
Program end...

```

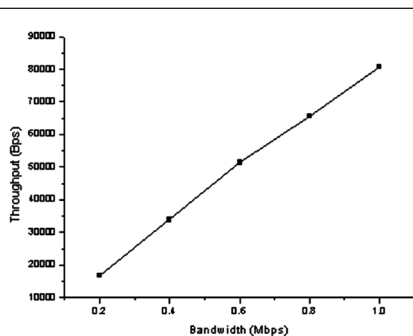


Figure 6.
Throughput/bandwidth

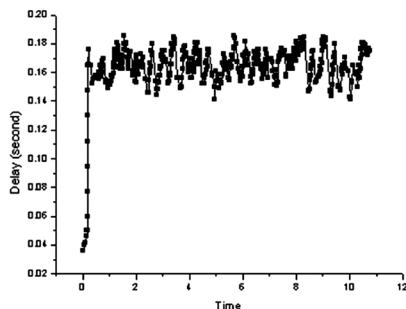


Figure 7.
Delay/time

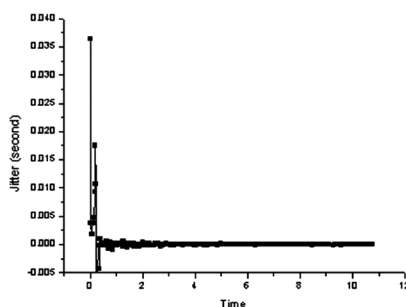


Figure 8.
Jitter/time

packets that are lost when transmitting. The format of the “lost” file is as follows. The item of “Input the lost packet size” must input rtp packet payload size, not input total packet size. The size of “sd” and “rd” files is IP header + UDP header + rtp payload. We need rtp payload size here.

- i) Next step is to execute work3.exe program. This program will analyze “lost” file and remove the lost information from data received by rtpdump. Therefore, we can obtain the data that is the same as received in the receiver (such as “received” file).
- j) Play the content of “received” file, receive by VLC and save “distorted.mpeg”. This video file can be used to compare the quality with the original video file. Re-execute VLC. Click “File”->“Open Network Stream...”. Check “Stream/Save” and click “Settings”. Check “File” and input as filename distorted. Check “MPEG 1” in “Encapsulation Method”
- k) Transmit “received” file to VLC program by rtpplay.
- l) Stop VLC program, we can use media player to view the results. From the above steps, we can get sd, rd and lost trace file. Therefore, we use these file to get throughput, delay, and jitter by Et program.

Figure 6. shows throughput comparison for different wired network conditions.

We can see that throughput directly depends of bandwidth but always has a little bit lower value then bandwidth. We get a result we expected-throughput can never really reach bandwidth.

The following figures present delay, delay jitter and throughput for bottleneck link 0.6 Mbps.

As we can see from Fig.7, delay always gets values between 0.14s and 0.18s, so it doesn’t depend of streaming time. This conclusion is also improved by next figure, Fig.8 - jitter gets value around zero.

Here we see that 2s from beginning of streaming video throughput gets almost constant value that keeps until end of streaming.

2) Wireless access network

In this scenario, the video server transmits video streams over the Internet and wireless links to the video receiver. The maximum transmission packet size is 1500 bytes. The link between the wireless access point and the video receiver is IEEE 802.11b 11 Mbps. For simplicity, we assume that the link between the video server and the wireless access point has a 10 Mbps bandwidth and 10 ms latency. In addition, the packet error rate of the link between wireless access point and video receiver is set from 0 to 0.1 Mbps at an interval of 0.01.

All the steps are same as wired scenario except step g) – execution of network scenario Wireless.tcl.

Finally, we can get three files for throughput, delay and jitter separately. Therefore, we draw the following by these files. Here, we present several simulation results for wired networks.

The following figure is throughput for different packet error rate in wireless networks.

Fig. 11 shows that increasing packet rate effects throughput to decrease.

At fig. 12 we can see that time doesn’t much effect video delay. Delay changes value between 0.025s and 0.065s, which is insignificant. Next figure, fig. 13, also, improves the previous conclusion.

Figure 14 presents dependence throughput of time. Time doesn’t much effect to streaming throughput, throughput gets almost constant value that keeps until end of streaming.

IV. CONCLUSION

In this paper we analyze two network scenario- wired and wireless access

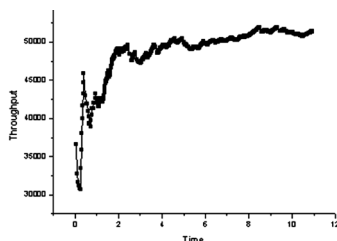


Figure 9.
Throughput/time

network, using network simulator ns2, and how networks parameters effects to streaming video. We get next conclusions:

- 1) installation of cygwin doesn't work correctly at PC as part of LAN (host)
- 2) simulation results for different wired network conditions, bottleneck link:
 - a) throughput depends of bandwidth, almost linear increase
 - b) streaming time doesn't effect to delay
 - c) delay jitter doesn't depend of streaming time
 - d) quality of transmitted video file depends of bandwidth, for low bandwidth there is obvious distortion of video and voice
- 3) simulation results for wireless access networks, different packet error rate:
 - a) throughput depends of packet error rate, almost linear decrease
 - b) streaming time doesn't effect to file delay
 - c) delay jitter doesn't depend of streaming time
 - d) streaming time doesn't effect to throughput

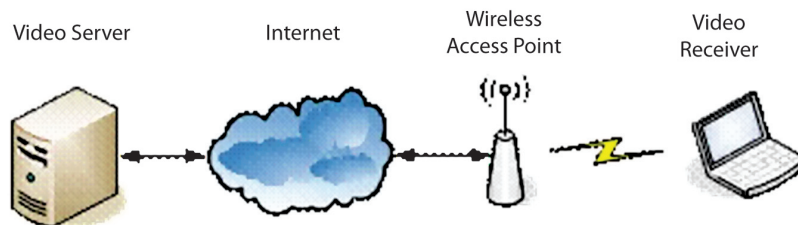


Figure 10.
Wireless scenario

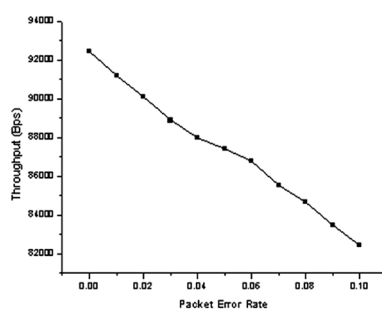


Figure 11.
Throughput/packet error

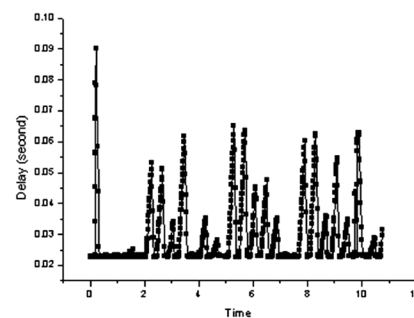


Figure 12.
Delay/time

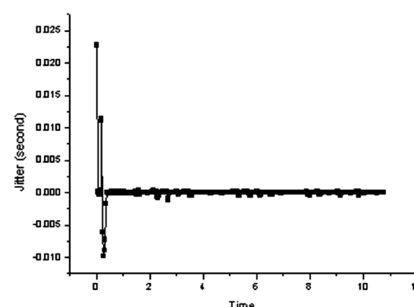


Figure 13.
Jitter/time

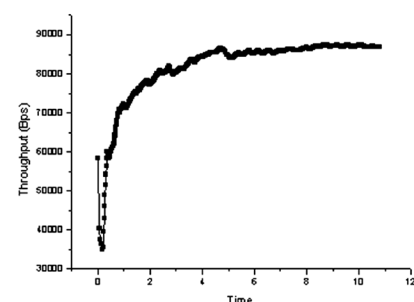


Figure 14.
Throughput/time

REFERENCE

- [1] „Introduction to multimedia“, K. R. Rao, Zoran S. Bojkovic, Dragorad A. Milovanovic, John Wiley & Sons, Inc.
- [2] „Multimedia Wireless Networks: Technologies, Standards, and QoS“, Aura Ganz, Zvi Ganz, Kittu Wongthavarawat, Prentice Hall PTR
- [3] „Distributed Multimedia Database Technologies Supported by MPEG-7 and MPEG-21“, Harald Kosch, CRC PRESS LLC
- [4] “An Evaluation Framework for More Realistic Simulations of MPEG Video Transmission”, Chih-Heng Ke, Ce-Kuen Shieh, Wen-Shyang Hwang, Artur Ziviani, Journal of Information Science and Engineering
- [5] „EvalVid - A Framework for Video Transmission and Quality Evaluation“, Jirka Klaua, Berthold Rathke, and Adam Wolisz

UPUTSTVA AUTORIMA

Pored neophodnog kvaliteta i zahtjeva za redovitim izlaženjem, podizanje stručne i tehničke razine časopisa glavna je zadaća svakog izdavača. U skladu sa tim nakanama, te zbog različitosti oblika i formi u kojima su nam do sada pristizali radovi za publikovanje, molimo buduće saradnike i autore priloga da se pridržavaju sljedećih uputstava.

U *Telekomunikacijama* se objavljuju izvorni – još neobjavljeni – naučni i stručni prilozi telekomunikacijskog i informatičkog sadržaja te kraća saopštenja o novostima (stručni susreti, literatura, događaji značajni za struku). Objavljivanjem rukopisa autor svoja autorska prava, u skladu sa Zakonom o autorskim pravima, prenosi na izdavača.

1. Konačna verzija priloga šalje se na adresu Uredništva na CD-u ili e-mailom na adresu uredništva, na kojoj je naznačeno ime autora i datoteke. Grafički prilozi trebaju biti u posebnim datotekama. Zajedno sa CD-om, autor treba poslati i jedan primjerak ispisa na papiru. U slučaju eventualnih razlika, poštovaće se prilog na CD-u.
2. Rukopis mora biti pisan sa proredom (1,5), slovima veličine 12, sa marginama 2,5 cm i tipom slova *Times New Roman*. O konačnom izgledu priloga odlučuje urednički odbor. Naučni i stručni radovi trebaju biti u obimu od oko 4000 riječi (20000 znakova ili do 12 kartica teksta), a saopštenja ne više od 1000 riječi.
3. Naučni i stručni prilog mora imati **rezime** na jezicima naroda BiH (obima do 1000 znakova) i abstract. Rezime mora sadržavati osnovne postavke (nikako samo zaključak ili zgusnuti sadržaj priloga). Na kraju treba dodati ključne riječi (ne više od njih 10). **Abstract** je engleski prijevod rezimea i mora ga obezbijediti autor.
4. **Ilustracije** moraju biti kvalitetne (fotografije dovoljno kontrastne, a crteži i grafikoni jasno odštampani na papiru). Slike i tabele trebaju biti označene arapskim brojevima identično i u prilogu, i pod ilustracijama (npr. “Sl.: ...” odnosno “Fig.: ...” ili “Tabela 1: ...”). Računarske slike moraju se dati na CD-u kao posebne datoteke sa naznakom u kom su programu rađene. Bitmapirane slike moraju biti u formatu tif ili jpg i imati rezoluciju 300–350 dpi (ako su slike u mjerilu 1:1).
5. **Bibliografija** mora biti na kraju priloga i uređena po abecednom redu (počevši od “a”), a ako isti autor ima više radova, onda i po godinama izdanja (od starijih godišta ka mlađim). Autorima se preporučuje da izbjegavaju bilješke pod crtom (fusnote). Primjeri pisanja bibliografskih jedinica:
 - za **članak jednog autora**:
Karić, A., 1992: Razvoj GIS-a u BiH.– PTT novine, XII, 7, 23–35, Sarajevo
 - za **članak više autora**:
Perić, N. & Bašić, K., 1976: Zamjena koračnih centrala u pošti Sarajevo.– Glasnik inženjera i tehničara, 12, 44–52, Beograd
 - za **knjigu** (monografiju):
Laković, J., 1998: *Leksikon GSM-a*.– Svjetlost, str. 232, Sarajevo
6. **Citiranje** u tekstu je obavezno, pri čemu je potrebno navesti samo autora i godinu izdanja citiranog djela: (Karić 1992), a ako je potrebno i stranu: (Karić 1992, 24) ili (Karić 1992, 24–26). Ako je citirano više autora odjednom, treba ih navesti zajedno u zagradi: (Karić 1992, 24; Perić & Bašić 1976).
7. Autori priloga moraju imati dozvolu za objavljivanje sadržaja koji su zaštićeni sa “copyright” i ta dozvola mora biti navedena u prilogu.
8. BH TEL ima “copyright” za priloge objavljene u *Telekomunikacijama*.

U slučaju nejasnoća ili dvojbi urednik i članovi Redakcije će se sa zadovoljstvom osobno posavjetovati sa autorima.

Urednik