



**Tomislav
Blajić**

Tomislav Blajić

Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Hrvatska
Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Croatia

Ključne riječi:

Dugoročna evolucija 3G sustava

Super 3G

Brzi paketni pristup silaznom vezom

Unaprijeđena uzlazna veza

Multimedejske usluge neusmjerenoj i grupnog odašiljanja

Ortogonalno multipleksiranje frekvencijskim odvajanjem

Višeslojni prijenos, tj. višestruki ulaz – višestruki izlaz

Višestruki pristup s frekvencijskom raspodjelom na jednom nositelju

Evolucija arhitekture sustava

Key words:

3G Long-Term Evolution, LTE

Super 3G

High Speed Downlink Packet Access, HSDPA

Enhanced Uplink, E-UL

Multimedia Broadcast and Multicast Services, MBMS

Multiple Input - Multiple Output, MIMO

Orthogonal Frequency Division Multiplex, OFDM

Single Carrier Frequency Division Multiple Access, Single Carrier FDMA, SC-FDMA

System Architecture Evolution, SAE

Evolucija radijske pristupne mreže u mobilnim sustavima treće generacije

Sažetak

Mobilni sustavi treće generacije (3G – *3rd Generation*) zasnovani na širokopojasnom višestrukom pristupu s ko-dnom raspadnjelom (WCDMA – *Wideband Code Division Multiple Access*) implementiraju se diljem svijeta. Prve korake u razvoju ove tehnologije predstavljaju uvođenje brzog paketnog pristupa silaznom vezom (HSDPA – *High Speed Downlink Packet Access*) te unaprijeđene uzlazne veze (E-UL – *Enhanced Uplink*), kojima se ostvaruje vrlo komeptitivan radijski pristup.

No, kako zahtjevi i očekivanja korisnika i pružatelja usluga stalno rastu, unutar 3GPP projekta (3G Partnership Project) otpočelo se s razmatranjem sljedećeg velikog koraka u evoluciji 3G standarda (poznatim i kao Super 3G ili LTE – *Long-Term Evolution*), a koji bi osigurao dugoročnu konkurentnost 3G sustava. 3GPP je stoga pokrenuo studiju nazvanu *Evoluirana UMTS zemaljska radijska pristupna mreža* («*Evolved UTRA and UTRAN*»), čiji je cilj istražiti mogućnost ostvarivanja značajnog napretka performansi, prvenstveno povećanja brzine prijenosa i smanjenja vremena čekanja (latencije), a koji bi omogućili poboljšano pružanje usluga, kao i manje troškove za korisnike i operatore.

Tehnologije čijom se primjenom namjeravaju ostvarići željena poboljšanja uključuju uporabu ortogonalnog multipleksiranja frekvencijskim odvajanjem (OFDM – *Orthogonal Frequency Division Multiplex*) u silaznoj vezi te višestrukog pristupa s frekvencijskom raspadnjelom na jednom nositelju (SC-FDMA – *Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) u uzlaznoj vezi, korištenje više-antenskih rješenja, poboljšanja kakvoće usluga i unaprijeđenu arhitekturu sustava. Inicijalna dostupnost proizvoda temeljenih na novim specifikacijama predviđa se između 2009. i 2010. godine.

Evolution of radio access network in 3G mobile systems

Abstract

3rd generation mobile systems (3G) based on Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) are being deployed all over the world. The first step in enhancement or evolution of this technology is the introduction of High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) and Enhanced Uplink (E-UL), providing highly competitive radio access. As both user and operator demands and expectations continue to grow, 3G Partnership Project (3GPP) started to consider the next major step in the evolution of 3G standard (also known as Super 3G or LTE – Long-Term Evolution) to ensure long-term competitiveness of 3G. 3GPP has launched a study entitled «Evolved UTRA and

UTRAN» with the aim to investigate possibilities of achieving major performance growth, primary with higher data rates and lower latency, to improve service provisioning and reduce user and operator costs.

Technologies that promise to provide expected improvements include application of Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) access in the downlink and Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) in the uplink, the usage of multi-antenna solutions, enhancements in quality-of-service and evolved system architecture. The initial availability of products based on new specifications is foreseen between 2009 and 2010.

1. Uvod

Kod implementacije mreža utemeljenih na širokopojasnom višestrukom pristupu s kodnom raspodjelom (WCDMA - *Wideband Code Division Multiple Access*), pažnja je i dalje usmjerena na osiguranje kvalitetne pokrivenosti (uglavnom u urbanim sredinama), kao i na pružanje novih usluga (*Slika 1.*). Kasniji koraci u razvoju tih mreža zahtijevat će pokrivenost i u slabije naseljenim područjima te rast kapaciteta sustava. To je jedan od razloga za poticanje unaprjeđenja funkcionalnosti koje utječe na pokrivenost i kapacitet. Neke od tih funkcionalnosti dostupne su već danas, a neke će biti u bližoj budućnosti. Prethodno iskustvo u razvoju bežičnih sustava upućuje na to da oni ne pružaju svoje pune teoretske mogućnosti ukoliko se njihova implementacija izvodi kroz široko rasprostranjenu mrežu, bilo zbog ograničenja mogućnosti korisničke opreme ili mrežne opreme, bilo zbog radijskog pokrivanja. Povećana fragmentacija u razvoju bežičnih sustava također može usporiti daljnju evoluciju sustava treće generacije (3G – *3rd Generation*). Ipak, različiti modeli otkrivaju da će daljnja 3G evolucija biti u stanju podržavati potencijalno važne nove usluge:

- Prijenos govora putem internetskog protokola (VoIP – *Voice over IP*) – drastičnim smanjenjem zaglavljia pridjeljenih VoIP paketima, kapacitet i troškovna unaprjeđenja evoluiranog 3G sustava konačno će učiniti ostvarivim prijenos govora upotrebom VoIP rješenja. Ovime se u kraćem periodu operatorima pruža mogućnost komercijalne ponude VoIP usluga (prisutnost, poruke, multimedija), a ujedno na duže staze omogućava upotreba struktura u potpunosti temeljenih na IP rješenjima.
- Mobilna TV i radio – povećani kapacitet evoluiranog 3G sustava omogućiće jaču ponudu mobilnih TV i radijskih usluga, npr. tipično podržavajući 10 TV emitiranih kanala, 10 radijskih emitiranih kanala i polusatno dnevno korištenje TV i radijskog prijenosa na zahtjev
- Širokopojasni pristup Internetu – premda nije za očekivati od 3G evoluiranog sustava da prati performanse najnaprednijih fiksnih mrežnih tehnologija, poput digitalne preplatničke linije vrlo velike brzine prijenosa (VDSL – *Very high bit rate Digital Subscriber Line*) ili optičkog vla-

kna, otvara se mogućnost za pružanje usluge prema korisnicima koji nemaju pristup naprednim fiksnim uslugama (jer su npr. predaleko od najbližeg komutacijskog čvora). Ujedno se otvara i mogućnost za pružanje širokopojasnog pristupa Internetu na velikom području, pružanje usluge kupcima na istom nivou kojeg imaju kod kuće (odnosno, na radnom mjestu), a kada su izvan dometa fiksнog ili kratkodometskog bežičnog širokopojasnog pristupa.

Kako se općenito smatra da će u bližoj budućnosti doći do konvergencije prema korištenju internetskog protokola, pri čemu će sve buduće usluge biti prenošene povrh IP sloja, željena se evolucija usredotočuje na poboljšanja prema paktnoj (PS – *Packet Switched*) domeni.

Isprva evoluirani WCDMA sustav (eHSPA), a nešto kasnije i dugoročna evolucija (LTE – *Long-Term Evolution*), mogu pružiti znatne komercijalne prednosti (u usporedbi s alternativnim bežičnim tehnologijama) budući da se radi o evoluciji infrastrukture koja omogućava ponovno iskorištenje postojećih lokacija za osnovne postaje kao i opreme, a ujedno se smanjuju i troškovi implementacije i održavanja.

Važan element u poslovnom planu za 3G LTE bit će dostupnost i cijena frekvencijskog spektra. Radi ostvarivanja najvećih dobitaka, 3G će zahtijevati dodatni spektar sa zahtjevom za širinom pojasa od 20MHz za ostvarivanje najveće podatkovne propusnosti i kapaciteta. Zbog toga se možda pojavi i potreba za nabavom dodatnog frekvencijskog spektra (npr. IMT-2000 proširen pojas).

Dugoročna evolucija 3G sustava može ponuditi nove atraktivne izvore prihoda, ali bitno je da se pri tome ne zanemare mogućnosti koje još postoje unutar WCDMA sustava.

2. Evolucija WCDMA sustava

Današnji i unaprjeđeni 3G sustavi moraju uključivati i funkcionalnosti kojima će se povećati trenutačno dostupne performanse sustava. Potrebe novih usluga za visokim brzinama prijenosa kao i zahtjevi krajnjih korisnika za većim mogućnostima potiču evoluciju. Evoluirani WCDMA sustav (*Slika 2.*) podržava i unaprjeđuje širokopojasni pristup – usluge koje podržava sustav zasnovan na R99 specifikaciji poboljšane su u verzijama 5 i 6 (*Release 5 & 6*) 3GPP specifikacija.

2.1. Paketni prijenos velikim brzinama u silaznoj vezi

Prvi korak u evoluciji WCDMA sustava predstavlja uvođenje paketnog prijenosa velikim brzinama u silaznoj vezi (HSDPA – *High Speed Downlink Packet Data Access*), a koji se već nalazi i u komercijalnoj primjeni (*Slika 3.*). HSDPA pruža poboljšanu podršku za ne-garantirane (*best-effort*) paketne usluge ostvarujući:



Širokopojasne usluge i nove aplikacije



Slika 1. Širokopojasne usluge i nove aplikacije potiču evoluciju 3G sustava

- unaprijedenu kvalitetu komunikacije s kraja na kraj (*end-to-end*), čime se znatno ubrzava vrijeme potrebno za preuzimanje podataka (*download*);
- veće vršne brzine prijenosa – do 14 Mbps;
- smanjeno vrijeme čekanja (latencija) za 50 % (na oko 75 ms);
- 3 do 4 puta veći kapacitet sustava.

Iako je kod razvoja HSDPA tehnologije naglasak prvenstveno stavljen na usluge bez garantirane razine kakvoće, očito je da se i drugi tipovi usluga (npr. *streaming*) mogu okoristiti poboljšanjima koja nisu vidljiva samo u radijskoj pristupnoj mreži, već i u performansama koje opaža krajnji korisnik uslijed poboljšane interaktivnosti s npr. TCP/IP protokolom.

Sljedeći korak u evoluciji WCDMA sustava dolazi s verzijom 6 (*Release 6*) prema 3GPP specifikaciji, uz uvođenje poboljšane uzlazne veze (E-UUL - Enhanced Uplink), tehnologije poznate i pod nazivom paketni prijenos velikim brzinama u uzlaznoj vezi (HSUPA - High Speed Uplink Packet Access), a koja podržava :

- veće vršne brzine prijenosa u uzlaznoj vezi – do 5.8 Mbps;
- smanjeno vrijeme čekanja – do 50 ms;
- povećan kapacitet uzlazne veze: 50 - 100 %.

HSDPA i E-UUL, zajedničkim nazivom označeni kao paketni prijenos velikim brzinama (HSPA – *High Speed Packet Access*) značajno povećavaju kapacitet sustava, što omogućava podršku za veći broj istovremenih korisnika uz veće brzine prijenosa. Da bi se u potpunosti iskoristila praskovita priroda paketnih komunikacija kao i brze promjene u radijskom okruženju, HSPA primjenjuje brzu i dinamičku raspodjelu resursa u silaznoj i u uzlaznoj vezi, i to korištenjem:

- hibridnog ARQ protokola (HARQ) s mekim kombiniranjem (*soft-combining*) prilikom ponovnog slanja podataka;
- raspoređivanja (*scheduling*);
- brze prilagodbe veze uz korištenje modulacije višeg reda (samo za silaznu vezu).

Odgovarajuće funkcionalnosti su pri tom smještene u osnovnoj postaji kako bi se omogućila brza prilagodba i kratko vrijeme čekanja. Uz to je i vremenski period prijenosa (TTI – Time Transmission Interval) dodatno skraćen na 2 ms čime se postiže još brža prilagodljivost i dodatno skraćivanje vremena čekanja.

Premda su principi primjenjeni u silaznoj i uzlaznoj vezi slični, neke temeljne razlike utječu na projektiranje sustava – u silaznoj vezi tako dijeljene resurse predstavljaju snaga i broj kodova dostupan na osnovnoj postaji, dok je u uzlaznoj vezi snaga raspodijeljena među terminalima, a kritični resurs je količina interferencije koju unosi svaki pojedini korisnik.

2.2. Multimedejske usluge neusmjerenog i grupnog odašiljanja

Razvoj funkcionalnosti neusmjerenog odašiljanja (*broadcast*) kao i grupnog odašiljanja (*multicast*) uglavnom je potaknut kapacitivnim razlozima. Premda interaktivni radijski nositelji pristupa (*interactive radio access bearers*) i HSDPA isprva mogu podnijeti prometno opterećenje koje generiraju usluge poput mobilne TV, u dogledno vrijeme rast prometa će zahtijevati rješenje direktno usmjereno na efikasan rad s tim uslugama.

Uvođenjem podrške za multimedejske usluge neusmjerenog i grupnog odašiljanja (MBMS - *Multimedia Broadcast and Multicast Services*) u verziji 6 3GPP specifikacija, otvara se prostor za bolji istovremeni prijenos *streaming* usluga

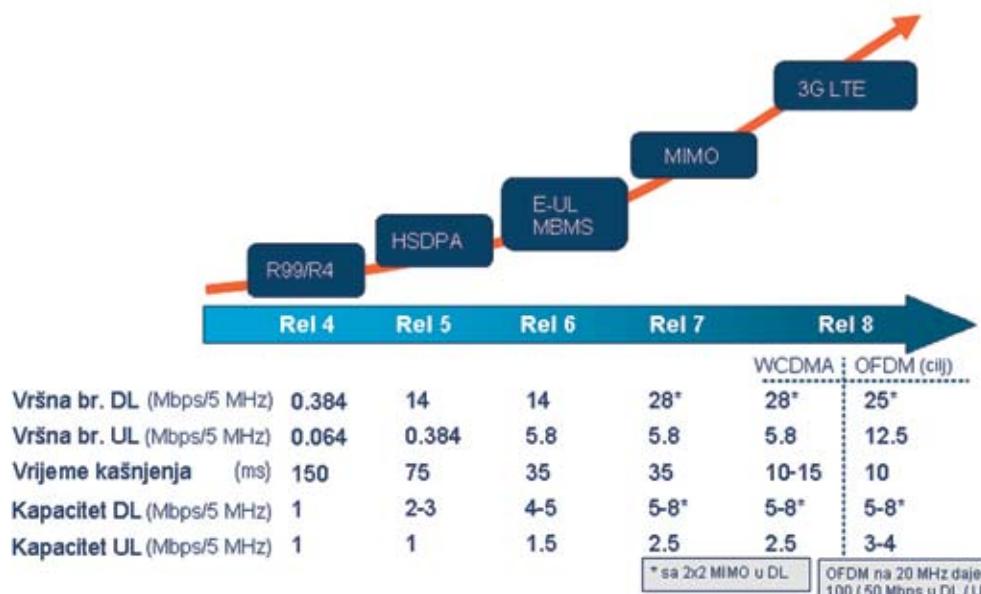
prema višestrukim korisnicima (Slika 4.). Rješenje MBMS omogućava neusmjereni odašiljanje od jedne točke prema više točki (*point-to-multipoint*), pružajući time efikasan prijenos IP prometa iz jednog izvora na višestruka odredista. Iz perspektive operatora, MBMS može biti vrlo atraktivno dugoročno rješenje za neusmjereni odašiljanje, budući da nema potrebe investiranja u potpuno novi sustav ili u dodatni frekvencijski opseg.

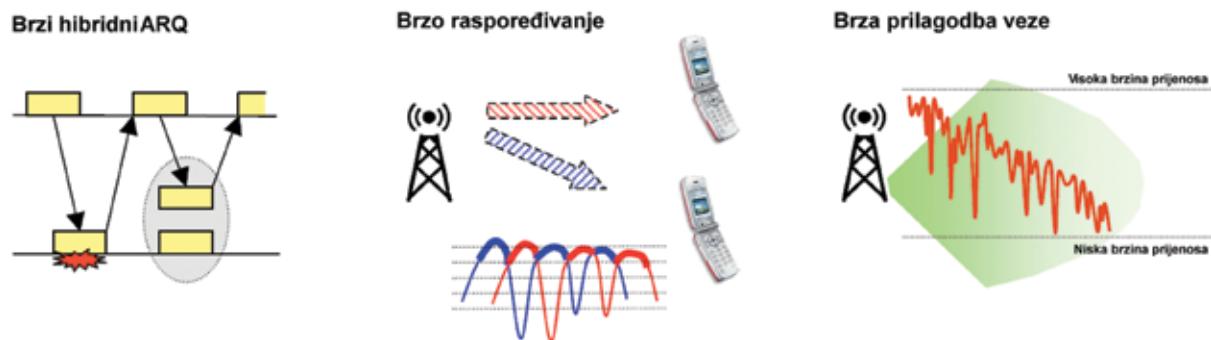
Kada je riječ o kapacitetu, prednost rješenja MBMS nad zasebnim vezama između dvije točke (*point-to-point*) dolazi do izražaja kada se više MBMS korisnika nalazi unutar iste ćelije. Kada se radi o veoma malom broju takvih korisnika, efikasnije je za svakog korisnika uspostaviti zasebne veze između dvije točke.

Unutar WCDMA sustava MBMS u potpunosti koristi već postojeće logičke i fizičke kanale, zahtijevajući samo 3 nova logička kanala (MCCH – kontrolni kanal, MSCH – kanal za raspoređivanje (*scheduling*), MTCH – prometni kanal te jedan fizički kanal (MICH – kanal za dojavu pokazatelja). Mreža koristi MICH za obaveštanje terminala o dostupnim MBMS informacijama na MCCH kanalu.

Uporabom MBMS tehnologije prema verziji 6 3GPP specifikacija, jedna ćelija s 5 MHz nositeljem može podržati 16 točka-prema-više-točki MBMS kanala uz korisničku brzinu od 64 kbps po kanalu uz terminal s jednom antenom. Razne mogućnosti u izvedbi terminala mogu još dodatno povećati kapacitet ćelije po nosiocu. Neposredna izvedba prijemnog diverziteta korištenjem dvije antene udvostručuje kapacitet (na 32 kanala). Uvođenje dodatnih tehnika za

Slika 2. Kontinuirana evolucija WCDMA radijske pristupne mreže





Slika 3. Osnovni principi HSDPA tehnologije

potiskivanje interferencije naprednim izvedbama prijemnika (npr. G-RAKE prijemnik) podiže kapacitet na 40 ili više kanala, rezultirajući ukupnim kapacitetom ćelije po nositelju od 2.5 Mbps i više.

Bitna karakteristika rješenja MBMS je njegova prilagodljivost – rješenje MBMS može koristiti samo dio ukupnog kapaciteta ćelije po nositelju, ostavljajući ostatak za standardne usluge. Svaki pojedini MBMS radijski nositelj može imati i drugačiju prijenosnu brzinu. Maksimalna podržana brzina iznosi 256 kbps, no uslijed ograničenja na terminalima (podržana rezolucija, veličina zaslona), 64 kbps biva dovoljno za prijenos vijesti, a 128 kbps za prijenos sportskih sadržaja.

Implementacija LTE zahtijeva daljnje poboljšanje spektralne efikasnosti za 4 do 6 puta u odnosu na verziju 6 3GPP specifikaciju te pružanje prijenosa većeg broja prijenosno neusmjerenih kanala.

2.3. Evolucija HSPA (eHSPA) tehnologije

Daljnja unaprijeđenja koja dolaze s verzijom 7 3GPP specifikacija, u potpunosti mogu iskoristiti potencijal HSPA kao najjače danas dostupne mobilne tehnologije, zadržavajući svoj položaj kroz glatku evoluciju sustava.

Ciljevi postavljeni pred evoluciju HSPA sustava trebali bi biti u rangu LTE zahtjeva unutar 5 MHz (Slika 5.):

Silazna veza:

- vršna brzina – najmanje 40 Mbps;
- prosječna korisnička propusnost – najmanje 10 Mbps;
- propusnost na rubu ćelije – najmanje 3 Mbps.

Uzlazna veza:

- vršna brzina – najmanje 10 Mbps;
- prosječna korisnička propusnost – najmanje 4 Mbps;
- propusnost na rubu ćelije – najmanje 1.5 Mbps.

Za ostvarivanje ovih ciljeva nužna pretpostavka je upotreba

modulacije višeg reda kao i tehnologije višestruki ulaz – višestruki izlaz (MIMO - Multiple Input-Multiple Output), a postoji i mogućnost izvedbe na više nositelja (npr. 10 MHz).

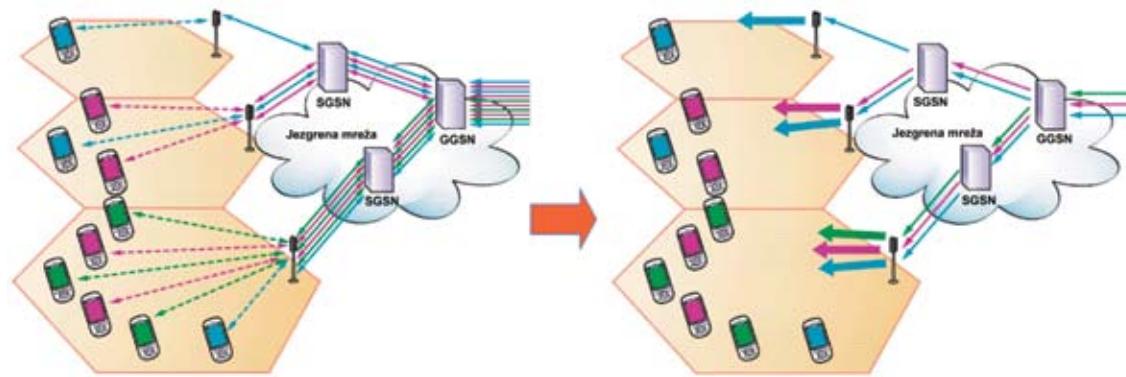
3. Dugoročna evolucija 3G sustava (3G LTE)

Glavni ciljevi dugoročne evolucije 3G sustava su daljnje unaprijeđenje pružanja usluga i smanjenja korisničkih i operativnih troškova. Ključni ciljevi s aspekta performansi i mogućnosti koji se stavljaju pred dugoročnu evoluciju 3G sustava su:

- potencijal za pružanje znatno viših brzina prijenosa u usporedbi s rješenjima HSDPA i E-UL, s ciljanim vršnim brzinama podataka većim od 100 Mbps u silaznoj vezi, odnosno 50 Mbps u uzlaznoj vezi;
- unaprijedeno pokrivanje – visoke brzine prijenosa uz pokrivanje širokog područja;
- potencijal za značajno smanjenje vremena čekanja (latencije) u korisničkoj ravnini zbog poboljšanja performansi protokola u višim slojevima (npr. TCP) kao i smanjenje kašnjenja povezanog s procedurama u kontrolnoj ravnini (npr. uspostava sjednice/sesije);
- povećani kapacitet sustava – utrostručenje kapaciteta u odnosu na današnje standarde.

Drugi ključni zahtjev dugoročne evolucije je potreba za jednostavnom i učinkovitom migracijom prema ovim tehnologijama. To je moguće ako se operatorima pruži:

- mogućnost postavljanja novog sustava u postojećem (već plaćenom) frekvencijskom spektru – ovaj zahtjev označava potrebu za fleksibilnom uporabom spektra i moguću implementaciju u različitim dijelovima pridjeljenog frekvencijskog područja (npr. 2G i 3G frekvencijsko područje);
- mogućnost ponovnog korištenja postojećih lokacija, već uloženih investicija, kao i opreme prijenosnih sustava;



Slika 4. Emitiranje sadržaja mobilne TV bez korištenja rješenja MBMS i s njim

- mogućnost zadržavanja postojeće baze krajnjih korisnika uz glatku zamjenu starih s novim uslugama – ovo također povlači potrebu za kontinuitetom usluge i mobilnosti između različitih sustava;
- mogućnost implementacije nove tehnologije u područjima koja su profitabilna, dok se na ostalim područjima operatori i dalje mogu osloniti na postojeće sustave za pokrivanje te donekle kapacitet – ponovno se povlači potreba za mobilnošću između različitih sustava.

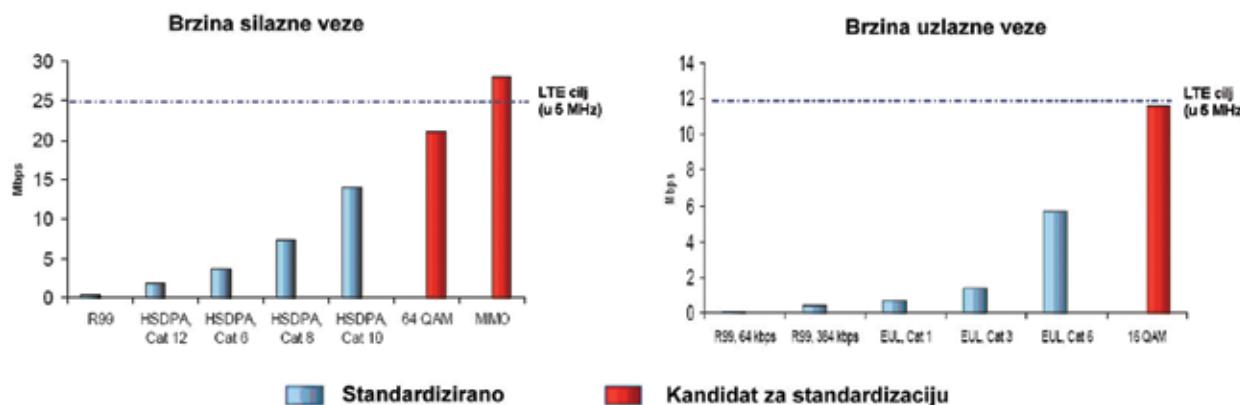
Također, proizvođači opreme moraju imati mogućnost ponovnog korištenja dosadašnjih razvojnih investicija, što bi značilo da mogu na tržištu brzo ponuditi stabilnu i kompetitivnu suvremenu opremu.

Za ostvarivanje postavljenih ciljeva glede performansi i mogućnosti (Slika 6.), 3GPP razmatra uporabu nekih novih radijskih tehnologija kao i ažuriranje i promjene u arhitekturi 3G radijske mreže.

Postavljeni ciljevi se mogu postići upotrebom sljedećih građevnih blokova:

- pojednostavljena arhitektura sustava;
- unaprijeđena kakvoća usluga (QoS – *Quality of Service*) i koncept povezanih slojeva (*link-layer*);
- upotreba prilagodljive višeslojne OFDM (AM-OFDM) tehnike kao nove radijske pristupne tehnologije;
- napredna više-antenska rješenja.

Očekuje se da bi unutar programa 3GPP standard za dugoročni razvoj 3G sustava mogao biti definiran do rujna 2007. Trenutačno su završene inicijalne studije te su napisani tehnički izvještaji o zahtjevima koji se postavljaju pred dugoročni razvoj 3G sustava i fizički sloj za E-UTRAN (25.814 i 25.913). S tim je usko povezan i rad na definiranju evolucije arhitekture sustava (SAE – *System Architecture Evolution*), koji premda mu se unutar programa 3GPP trenutačno pristupa nezavisno u odnosu na dugoročni razvoj 3G sustava, mora bit promatran kao nužan preduvjet za njegovu realizaciju. Trenutačno je (23.882) definiran referentni model evoluirane arhitekture na visokom nivou (*high-level*).



Slika 5. Ciljevi HSPA evolucije



3.1. Evolucija arhitekture sustava

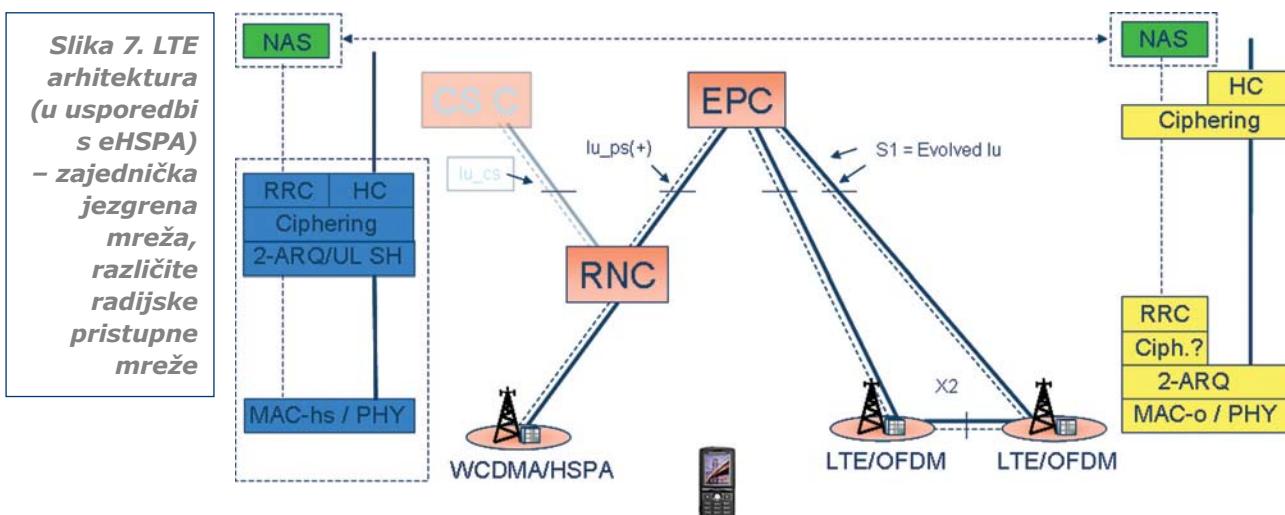
Zahtjevi za smanjenje latencije i troškova upućuju na smislenost razmatranja arhitekture sustava koja bi sadržavala manje mrežnih čvorova, budući da se time smanjuje sveukupna količina procesiranja u vezi s protokolima, broj sučelja kao i trošak testiranja sudjelatnosti (*interoperability testing*). Manji broj čvorova također rezultira u jednostavnijoj optimizaciji protokola radijskog sučelja (npr. sjedinjenjem određenih protokola u kontrolnoj ravnini). Kraći signalizacijski nizovi omogućavaju bržu uspostavu konekcije.

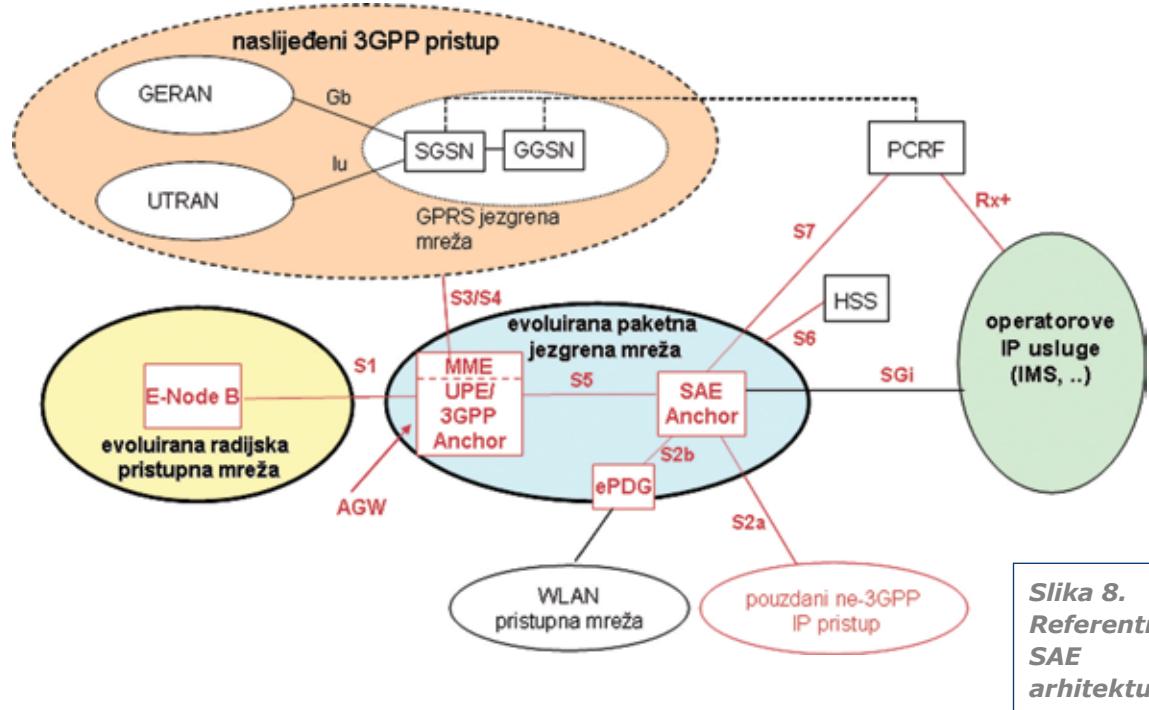
U verziji 6 3GPP standarda, usmjerni GPRS čvor podrške (GGSN - *Gateway GPRS Support Node*) služi kao sidreni čvor u polaznoj (*home*) mreži. Sav promet se tipično usmjerava prema polaznoj mreži zbog zadržavanja jezgovitog uslužnog okruženja. To omogućava operatorima

filtriranje prometa i osigurava sigurnost. Nadzornik radijske mreže (RNC - *Radio Network Controller*) upravlja radijskim resursima i lokalnom mobilnosti, nadzire nositelje i optimizira prijenosnu mrežu. Također služi i kao zaključna točka za neke radijske protokole. Uslužni GSN čvor (SGSN) ima ulogu sidrenog čvora u posjećenoj (*visited*) mreži te nadzire mobilnost i sjednice (sesije).

U evoluiranoj arhitekturi evoluirani čvor-B (*e-nodeB*) nastavlja upravljanje nižim slojevima radijskog sučelja, kombinirajući funkcionalnosti čvora-B i većinu funkcionalnosti RNC čvora. Logična evolucija bi predstavljala sjedinjenje SGSN i preostalih RNC funkcionalnosti u središnji sidreni čvor (*central anchor node*), premda alternativno rješenje uključuje raspodjelu SGSN i RNC funkcionalnosti uz potpuno ukidanje ovih čvorova (*Slika 7*).

Radne grupe koje se bave radijskom pristupnom mrežom u 3GPP standardizaciji, izdvajaju funkcije jezgrene mreže





Slika 8.
Referentna
SAE
arhitektura

(AGW – Access Gateway) koji je dio evoluirane paketne jezgrene mreže (ECP – Evolved Packet Core). Radne grupe koje se bave definicijom evolucije arhitekture sustava (SAE) ipak raspodjeljuju te funkcionalnosti u više zasebnih entiteta.

Prema referentnoj SAE arhitekturi (Slika 8.) funkcije kontrolne ravnine SGSN čvora postaju entitet upravljanja mobilnosti (MME – Mobility Management Entity). RNC funkcionalnosti koje nisu uključene u evoluirani čvor-B, zajedno s funkcijama korisničke ravnine SGSN čvora te funkcijama GGSN čvora uklopljene su u entitet korisničke ravnine (UPE – User plane entity) i 3GPP sidreni čvor (3GPP Anchor), pri čemu među njima još do kraja nije specificirana podjela funkcionalnosti. Unutar evoluirane paketne mreže nalazi se i SAE sidreni čvor (SAE Anchor) koji pruža sučelje prema ne-3GPP pristupnim sustavima (npr. prema WLAN pristupnoj mreži).

Ukoliko bi evoluirana arhitektura ipak zadržala središnji sidreni čvor, on bi osigurao dobre performanse prekapčanja (handover) uz minimalni prekid usluge (service interruption). Također, bilo bi omogućeno i prikrivanje pomača korisničke opreme (UE - User Equipment) od polazne (home) mreže. Središnji čvor bi donio korist i za prijenosnu mrežu:

- IP zaglavla mogla bi se sažeti u središnjoj točki, rezultirajući dobitkom u radijskom sučelju i krajnjoj vezi (last mile) prema čvoru-B;
- za trajanja prekapčanja između dva čvora-B, korisnički podaci mogli bi se proslijediti uz uporabu manje

resursa – bez središnjeg čvora isti podatkovni paketi mogli bi prelaziti krajnju vezu prema osnovnoj postaji i do tri puta.

Model upravljanja pokretljivosti (mobility management model) u verziji 6 3GPP specifikacija može biti pojednostavljen uz malo utjecaja na jezgrenu mrežu, zbog čega ovakva evolucija arhitekture ima potencijal da:

- skrati vrijeme čekanja (latency) u korisničkoj ravnini, jer imamo manje čvorova, a time i manje pakiranja i raspakiranja protokola;
- smanji složenost, jer je potrebno implementirati i testirati manje sučelja (čime je pojednostavljeno i testiranje sudjelatnosti);
- skrati vrijeme uspostave poziva ili nositelja uslijed sjedinjenja protokola u kontrolnoj ravnini;
- pojednostavi upravljanje pokretljivosti uz malen utjecaj na jezgrenu mrežu.

3.2. Kakvoća usluge

Zahtjevi za skraćenje kašnjenja uspostave konekcije vode k potencijalnoj evoluciji sadašnjeg 3GPP koncepta kakvoće usluga koja bi operatorima pružila jednostavne i učinkovite mehanizme za njenu kontrolu.

Logička veza kroz evoluiranu 3G mrežu povezana je sa zadanim QoS nivoom (takovu vezu možemo zvati tunel). Korisnik može imati više različitih tunela, povezanih s različitim nivoima kakvoće usluga. U današnjim 3G mrežama ovakav tunel sastoji se od PDP konteksta i pridruženog radijskog pristupnog nositelja (RAB).

Skraćivanje kašnjenja uspostave konekcije moguće je ako se tuneli uspostave unaprijed (tj. prije pokretanja korisničke sesije povezane s tunelom). Ovakva pred-uspostava zahtjeva manje signalizacije tijekom uspostave sjednice, što rezultira kraćim kašnjenjem. Tuneli bi mogli biti uspostavljeni odmah po uključivanju korisničke opreme. Ovakav pristup mogao bi se koristiti i za tunele povezane s uslugama koje traže zagarantiranu brzinu prijenosa (GB), poput VoIP usluga.

Da bi pred-uspostavljeni nositelji bili izvodivi i učinkoviti potrebno je:

- razdvojiti kontrolu pristupa (*admission control*) i procedure uspostave tunela u dvije zasebne procedure jer u suprotnom, resursi potrebni za preduspostavljene tunele rezervirali bi se nepotrebno;
- pružiti operatorima bolju kontrolu nad nivoima kakvoće usluga pridjeljenim (pred)uspostavljenim tunelima – ovo je moguće ostvariti definiranjem mrežno-upravljivih procedura za uspostavu tunela;
- pružiti operatorima bolju kontrolu nad multipleksiranim aplikacijskim tijekovima u pred-uspostavljenim tunelima – to se može ostvariti ako se mreži pruži kontrola nad paketnim filtrima kojima se mapira promet na različite tunele (u korisničkoj opremi, kao i u GSN+ čvoru).

Ovakva arhitektura kakvoće usluga pružila bi operatorima potpunu kontrolu nad razinama kakvoće usluge povezanih sa svakim pojedinim tunelom, nad definiranjem trenutka u kojem se pojedini tuneli uspostavljaju i nad aplikacijskim tijekovima mapiranim na pojedine tunele. Time dobivaju instrument za učinkovitu podršku kontrole kakvoće usluga.

3.3. Rješenja sloja veze

Protokoli sloja veze (*link layer*) u verziji 6 3GPP specifikacija, pružaju učinkovitu podršku za vršne brzine prijenosa podatka korištenjem tehnologija HSDPA i E-UU. No ako se gleda unaprijed, evolucija radijske pristupne mreže (RAN - *Radio Access Network*) morat će podržavati predviđene vršne brzine prijenosa veće od 100 Mbps. Štoviše, osim većih vršnih brzina, izvedba protokola sloja veze mora uzeti u obzir RAN arhitekturu, pouzdanost te efikasnost radijskih resursa i prijenosne mreže.

Osnovni gradivni blok protokola sloja veze predstavlja funkcija ponovnog prijenosa (retransmisijske) koja osigurava pouzdan i efikasan prijenos. HARQ (*Hybrid Automatic Repeat Request*) protokoli rade vrlo dobro u ovakovom okružju. Zato, kao i u verziji 6, hibridni ARQ protokol će se koristiti između korisničke opreme i čvora-B. Ukoliko se pojave greške u prijenosu, ovakav protokol može izvršiti učinkovit ponovni prijenos korištenjem tehnika dodavajuće zaliho-

sti (*incremental redundancy*) ili mekog kombiniranja (*soft-combining*).

Jedan nedostatak hibridnog protokola ARQ, izведенog prema verziji 6, predstavlja visoka cijena ostvarivanja niske preostale učestalosti pogrešnih blokova (*residual block error rate*), npr 10-5, koju traže protokoli viših slojeva (npr. TCP), do čega dolazi uslijed niske pouzdanosti pridruženih povratnih signala. Kako se ovi signali šalju učestalo, povećanje njihove pouzdanosti putem povećanja snage odašiljanja je skupocjeno. Promatrano sa strane evolucije arhitekture, najprihvatljivije rješenje za izvedbu protokola sloja veze i zaobilaznja ovog problema je izvedba dvoslojnog stoga ARQ protokola gdje se RLC protokol zaključuje u središnjem sidrenom čvoru. Iako je ovo rješenje slično izvedbi u verziji 6, znatno povećane vršne brzine prijenosa zahtijevat će izmjene RLC protokola. Uporaba relativno malih protokolnih podatkovnih jedinica (PDU – *Protocol Data Units*) stalne veličine nije dovoljno fleksibilna za rad sa širokim rasponom brzina prijenosa. Mali PDU-ovi vode ka prekomjernoj nadgradnji zaglavljiva (*header overhead*), veliki PDU-ovi pak unoše prekomjerno dopunjavanje (*padding*) nadgradnji za male pakete (što je slučaj kod VoIP okvira ili TCP potvrda). Zbog toga se predlaže da svaki korisni teret ili IP paket bude učahurenjen unutar jednog RLC PDU-a promjenjive veličine. Uz nadogradnju ili dopune paketnih jedinica, povećava se i spektralna efikasnost sustava.

3.4 Fizički sloj i upravljanje radijskim resursima

Važni ciljevi dugoročne evolucije 3G sustava su podrška visokih brzina prijenosa i sposobnost rada u različitim pridjeljenim frekvencijskim područjima. AML-OFDM (*Adaptive MultiLayer Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) predstavlja interesantan izbor tehnologije za pružanje niznih visokih brzina prijenosa (ako ga prati i veća širina prijenosnog pojasa) i fleksibilno pridjeljivanje frekvencijskog spektra. Ta tehnologija također omogućava i prilagodbu prijenosnih parametara sustava u frekvencijskoj domeni, zadovoljavajući zahtjeve za spektralnom efikasnosti, a prikladna je i za neusmjereni prijenos (*broadcast*).

OFDM je modulacijska tehnika koja je znatno otporna na frekvencijski selektivno slabljenje signala (*fading*). Zasniva se na prijenosu s višestrukim nositeljima gdje se sveukupni tok podataka razdvaja u nekoliko tokova nižih brzina koji se potom prenose na zasebnim nositeljima.

Implementacija OFDM tehnike je razmjerno jednostavna. OFDM odašiljač tipično se izvodi korištenjem inverzne brze Fourierove transformacije (IFFT), čija složenost nije velika. Ciklički prefiks se dodaje svakom simbolu prije odašiljanja. Korištenjem inverzne brze Fourierove transformacije prijemnik može potpuno detektirati odaslan signal, uz pretpostavku da je maksimalno raspršenje kašnjenja (*delay*

Prijenosna širina pojasa	1.25 MHz	2.5 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Trajanje pod-okvira	0.5 ms					
Razmak pod-nositelja	15 kHz					
Frekvencija uzorkovanja	1.92 MHz (1/2 x 3.84 MHz)	3.84 MHz	7.68 MHz (2 x 3.84 MHz)	15.36 MHz (4 x 3.84 MHz)	23.04 MHz (6 x 3.84 MHz)	30.72 MHz (8 x 3.84 MHz)
Veličina FFT prozora	128	256	512	1024	1536	2048
Broj zauzetih pod-nositelja	76	151	301	601	901	1201
Broj OFDM simbola po pod-okviru (kratki/dugi c.prefiks)	7/6					
Trajanje cikličkog prefiksa (μs/uzorak)	kratki	(4.69/9) x 6, (5.21/10) x 1*	(4.69/18) x 6, (5.21/20) x 1	(4.69/36) x 6, (5.21/40) x 1	(4.69/72) x 6, (5.21/80) x 1	(4.69/108) x 6, (5.21/120) x 1
	dugi	(16.67/32)	(16.67/64)	(16.67/128)	(16.67/256)	(16.67/384)
						(16.67/512)

Tablica 1. Parametri prijenosne sheme u silaznoj vezi

spread) u radijskom kanalu kraće od dužine dodanog cikličkog prefiksa. Prilagodljivi višeslojni OFDM zasnovan je na OFDM tehnici kojoj je pridodana podrška za višeslijedni (*multistream*) prijenos i prilagodbu parametara odašiljanja uvjetima u radijskom kanalu.

Mijenjanjem broja AML-OFDM nositelja, moguća je podrška za različite pridjeljenje širine frekvencijskog pojasa, od 1.25 MHz sve do 20 MHz. Fina zrnatost frekvencija koju pruža AML-OFDM olakšava ugađenu migraciju, npr. 2G frekvencijskog spektra. GSM operator može seliti frekvencijski pojasa na razini pojedinog 200 kHz nosioca koristeći tako samo dio dostupnih OFDM podnositelja. Osim toga moguće je i rad u uparenim ili neuparenim frekvencijskim pojasevima budući da AML-OFDM podržava dvosmjerni rad i s vremenskom i s frekvencijskom raspodjelom.

3.4.1. Silazna veza – OFDM s prilagodbom frekvencijske domene

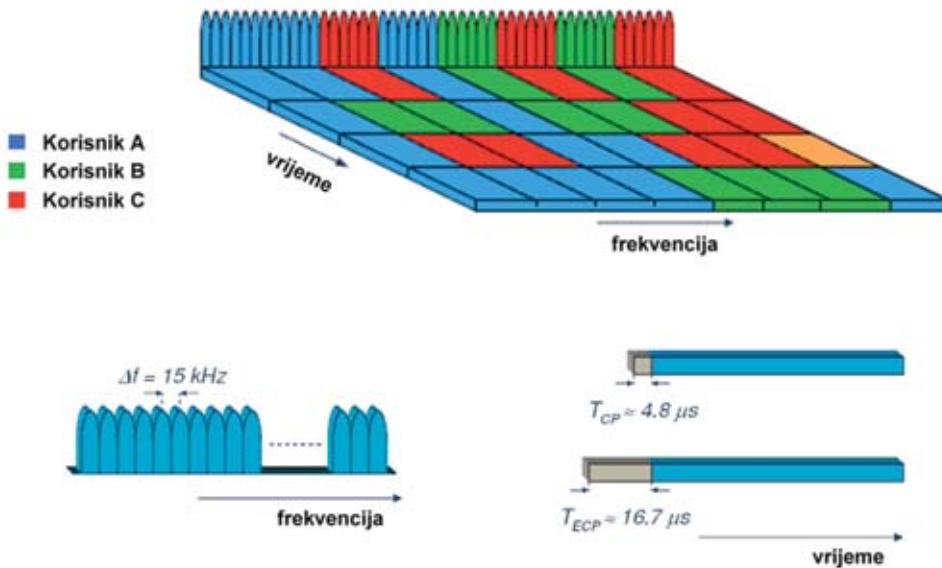
Osnovno ustrojstvo silazne veze AML-OFDM vremensko-frekvencijske strukture prikazuje *Slika 9*. Izbor 15 kHz razmaka među podnosiocima omogućava rad u širokom opsegu okruženja s različitim karakteristikama rasprostiranja. Ovime je ujedno omogućeno precizno prilagođavanje brzini takta WCDMA sustava, čime se znatno pojednostavljuje izvedba uređaja s podrškom za UTRA i E-UTRA sustav. Radi smanjivanja vremena čekanja izabrano je kratko trajanje okvira (0.5 ms). Ciklički prefiks trajanja 4.7 ms dostatan je za rukovanje s raspršenjem kašnjenja za većini scenarija pojedinačnog odašiljanja (*unicast*) jer dodaje samo umjerenu nadogradnju zaglavljia. Smanjenjem broja OFDM simbola unutar pod-okvira moguće je produljenje cikličkog prefiksa na 16.7 ms za vrlo velike celije promjera većeg od 120 km, a koje imaju veliko vremensko raspršenje. Usluge neusmjerenog odašiljanja šalju istovjetnu informa-

ciju iz višestrukih (sinkroniziranih) osnovnih postaja te će se također okoristiti produženim cikličkim prefiksom kod rješavanja nesinkroniziranosti. Pri tome korisnički terminal primljeni signal s više osnovnih postaja vidi kao višestazno rasprostiranje koje iskorištava OFDMA prijemnik. Osnovni parametri prijenosne sheme u silaznoj vezi dani su *Tablici 1*.

Slično kao i kod WCDMA/HSDPA sustava, promjene u radijskom kanalu u vremenskoj domeni iskorištavaju se kroz prilagodljivost veze i raspoređivanje (*scheduling*) ovisno o stanju kanala, čime se dobiva značajno povećanje spektralne efikasnosti. S evolucijom radijskog pristupa moguće je otići još jedan korak dalje – prilagodba parametara prijenosa ne samo u vremenskoj već i u frekvencijskoj domeni. OFDM tehnike mogu ostvariti velike dobitke u performansama sustava u slučaju velike promjenjivosti kanala preko cijele širine pojasa. Zato prilagodljivost u frekvencijskoj domeni postaje sve važnija kako se zahtijevana širina pojasa nekog sustava povećava. Informacija o kvaliteti kanala silazne veze dobiva se putem povratnih informacija koje odašilju terminali. Čvor-B rezervira vremensko-frekvencijske resurse u silaznoj vezi prema pojedinom korisniku te dinamički izabire odgovarajuću brzinu prijenosa mijenjanjem nivoa izlazne snage, omjera kanalnog kodiranja, kao i modulacijske sheme. U silaznoj vezi podržani su QPSK, 16 QAM i 64 QAM modulacijske tehnike.

3.4.2. Uzlazna veza – FDMA s jednim nositeljem i promjenjivom širinom pojasa

Za prijenos u ulaznoj vezi nužno je ostvariti efikasno odašiljanje snage korisničkih terminala kako bi se ostvarilo maksimalno pokrivanje (*Slika 10*). Zbog toga je prednost dana upotrebi višestrukog pristupa raspodjelom frekvencijskih na jednom nositelju (SC-FDMA – *Single Carrier FDMA*)



Slika 9. OFDM vremensko-frekvencijska struktura u silaznoj vezi

uz promjenjivu širinu pojasa. Tijekom svakog vremenskog intervala, osnovna postaja dodjeljuje terminalu jedinstvenu frekvenciju za odašiljanje korisničkih podataka i osiguranje ortogonalnosti unutar ćelije, čime se izbjegava interferencija unutar iste ćelije. U većini slučajeva, raspoređivanje u vremenskoj domeni koristi se za razdvajanje korisnika. Raspoređivanje u frekvencijskoj domeni također može biti uporabljeno za terminale s ograničenom snagom ili količinom podataka za odašiljanje. Prilagodba u frekvencijskoj domeni kod uzlazne veze se uglavnom ne koristi zbog manjka informacija o stanju kanala – terminal ne može kontinuirano odašiljati pilotski signal koji pokriva cijelu frekvencijsku domenu. Spora kontrola snage primjenjuje se za kompenzaciju gubitaka rasprostiranja i slabljenja uslijed zasjenjenja. Kako je prijenos u uzlaznoj vezi ortogonalan,

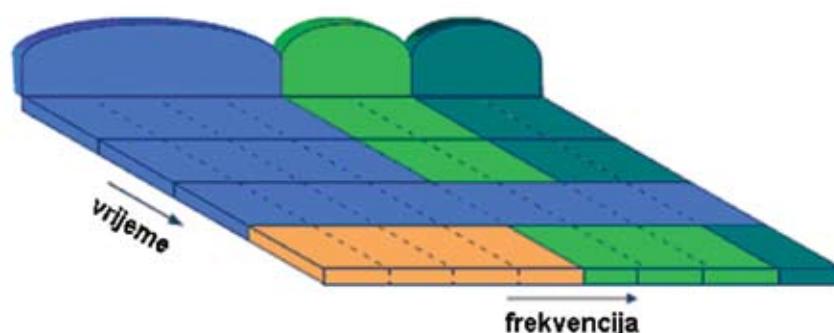
nema potrebe za brzom kontrolom snage koja bi rješavala blizu-daleko (*near-far*) probleme.

Interferencija uslijed višestaznog rasprostiranja rješava se u osnovnoj postaji, uz pomoć umetanja cikličkog prefiksa u odaslani signal. Parametri prijenosa, kodiranje i modulacija, slični su onima kod prijenosa u silaznoj vezi.

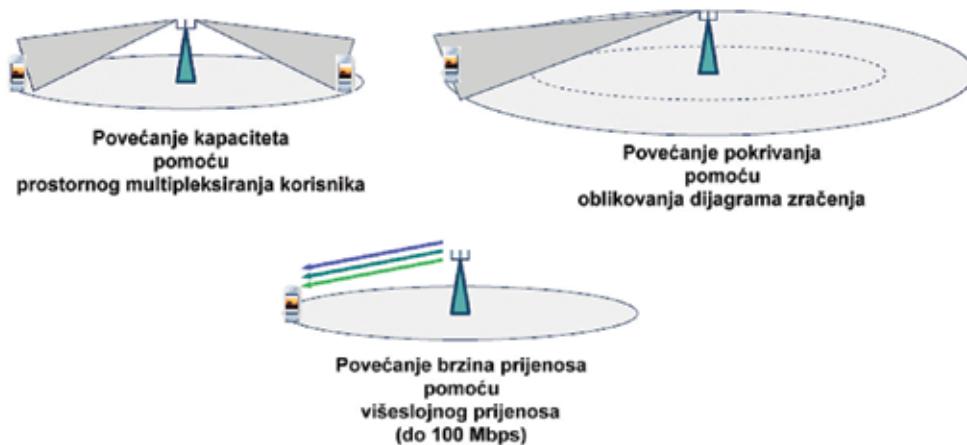
3.5. Više-antenska rješenja

Sheme koje koriste više antena, bilo da je riječ o oblikovanju dijagrama zračenja ili višeslojnom prijenosu, imaju značajnu ulogu u povećanju brzina prijenosa podataka, pokrivanja i kapaciteta.

Potencijal koji omogućuje korištenje prostorne domene, iako velik, danas još nije u potpunosti uporabljen.



Slika 10. SC-FDMA vremensko-frekvencijska struktura u uzlaznoj vezi



Slika 11. Napredna antenska rješenja

Višeslojni prijenos, poznat i kao višestruki ulaz - višestruki izlaz (MIMO – *Multiple Input, Multiple Output*) može se koristiti za povećanje brzina prijenosa odašiljanjem paralelnih tokova podataka prema pojedinom korisniku. Takve tehnike, koje su uglavnom primjenjive u scenarijima gdje je omjer signala i šuma (SNR - *Signal to Noise Ratio*) visok i gdje radijski kanal sadrži visoka raspršenja (npr. male ćelije ili sustavi unutar zgrada), primarno se primjenjuju u silaznoj vezi. Terminal razdvaja tokove podataka iskorištanjem karakteristika kanala, kao i znanja o kodnoj shemi koju je koristila osnovna postaja. Višeslojne prijenosne sheme u slučaju dugoročne evolucije moraju biti standardizirane. Jedan od obećavajućih pristupa, selektivna kontrola brzine po anteni (S-PARC – *Selective Per-Antenna Rate Control*) prilagođava broj slojeva i brzinu prijenosa po pojedinom sloju u odnosu na trenutačne uvjete u radijskom kanalu.

Oblikovanje dijagrama zračenja (*beamforming*) ili korištenje višestrukih antena (*Slika 11.*) za oblikovanje, povećava omjer signal prema šumu u prijemniku. Ova tehnika može biti uporabljena za povećanje pokrivanja određene brzine prijenosa ili spektralne efikasnosti sustava. Povećani omjer signal prema šumu javlja se uslijed većeg dobitka usmjerenosti prema korisniku, kao i boljoj kontroli raspodjele prostorne interferencije unutar ćelije. Oblikovanje dijagrama zračenja može se primijeniti i za silaznu i za uzlaznu vezu. Javlja se potreba za standardom kojim bi se takvo oblikovanje terminalu učinilo transparentnim. Algoritmi mogu evoluirati tijekom vremena kako bi se prilagodili određenim potrebama.

Obje tehnike mogu se kombinirati – dva toka podataka mogu se odašiljati preko dvije grupe antena, gdje se unutar svake grupe primjenjuje oblikovanje dijagrama zračenja. Oblikovanje dijagrama zračenja pri tom osigurava veći

odnos signal-šum, pa višeslojni prijenos može biti iskorišten za ostvarivanje većih brzina prijenosa.

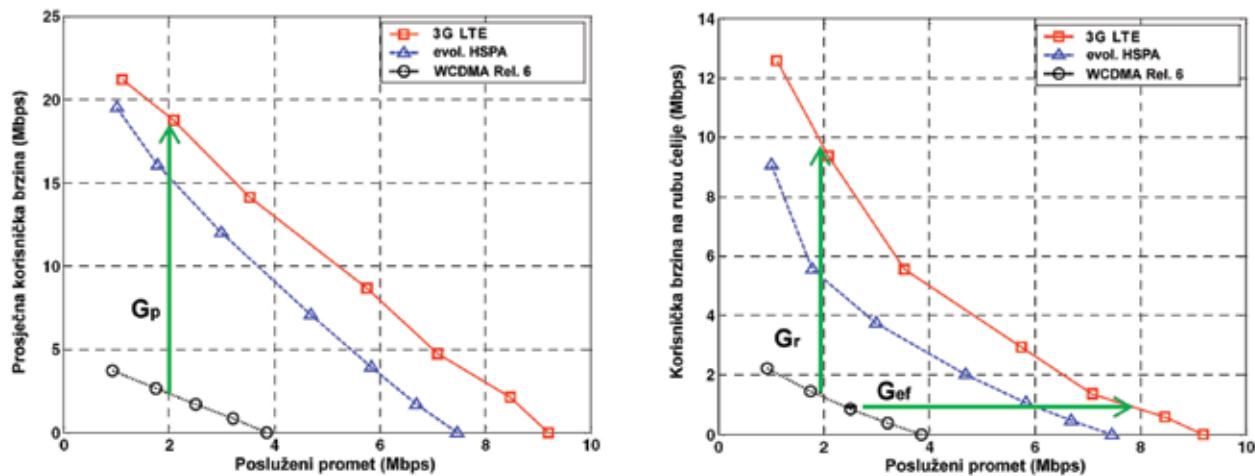
4. Procjena performansi

Performanse evoluiranog sustava moguće je vrednovati mjerjenjem brzine prijenosa aktivne radijske veze (brzina koju prima raspoređeni korisnik) pod različitim prometnim opterećenjima. Ukoliko više korisnika dijeli kanal, tada će brzina koju dobivaju (iznad MAC sloja) biti niža.

Ovakvim mjerjenjima moguće je procijeniti kvalitetu, kapacitet i pokrivanje. Polazna točka kod svih usporedbi je WCDMA sustav zasnovan na 3GPP verziji 6, uz korištenje jednostrukog prijenosa i jedne prijemne antene. Koncepti evoluirane radijske pristupne mreže pretpostavljaju MIMO rješenje s 2 antene u prijemu i predaji s uzastopnim potiskivačima interferencije u prijemniku, ali bez primjene prilagodbe u frekvencijskoj domeni. Prilikom usporedbe LTE i evoluiranog HSPA sustava pretpostavlja se zauzeće spektra od 5 MHz, dok su izostavljeni brojni aspekti protokola iznad fizičkog sloja (što vodi ka optimističnim rezultatima). Ovime je moguće procijeniti relativne prednosti uporabe OFDM i MIMO tehnika.

Slika 12. za različite sustave prikazuje usporedbu prosječne korisničke brzine i korisničke brzine na rubu ćelije s posluženim prometom za silaznu vezu i radijski kanal s tipično urbanim karakteristikama (uz udaljenost od 500m i gubitke prodiranja signala od 20 dB). Posluženi promet je definiran kao zbroj brzina aktivnih korisnika koji su jednoliko raspoređeni za prijenos.

Procjena performansi ukazuje na to da se konceptom evoluirane radio pristupne mreže mogu postići i više no trostruko veće brzine prijenosa (dubitak u odnosu na prosječne brzine prijenosa, G_p). Usporedbe kapaciteta (dubitak uslijed povećane spektralne efikasnosti, G_{ef}) i pokrivanja (dubitak u odnosu na brzine prijenosa na rubu ćelije, G_r) pokazuju slične rezultate. Iz prikazanih rezultata je očito da se i evoluirani HSPA sustav svojim performansama pri-



Slika 12. Usporedba performansi 3G LTE i evoluiranog HSPA sustava sa WCDMA sustavom verzije 6

bližava zahtjevima postavljenim pred dugoročnu evoluciju (promatrano unutar širine pojasa od 5 MHz).

Iako preliminarni, ovi rezultati pokazuju da postoji potencijal za unaprjeđenje kvalitete, kapaciteta i pokrivanja za pojedinog korisnika, odnosno za smanjenje ukupnog troška infrastrukture za ostvarivanje određenih zahtjeva za pokrivanjem i kapacitetom.

5. Ericssonov pogled

Ericsson vidi HSDPA kao vrlo važnu funkcionalnost koja WCDMA radijskoj pristupnoj mreži već danas osigurava veći kapacitet, bolju podatkovnu propusnost, skraćeno vrijeme čekanja te povećane vršne brzine za usluge s negarantiranom kakvoćom. Spektralno efikasna podrška viših brzina prijenosa sama po sebi osigurava korištenje budućih

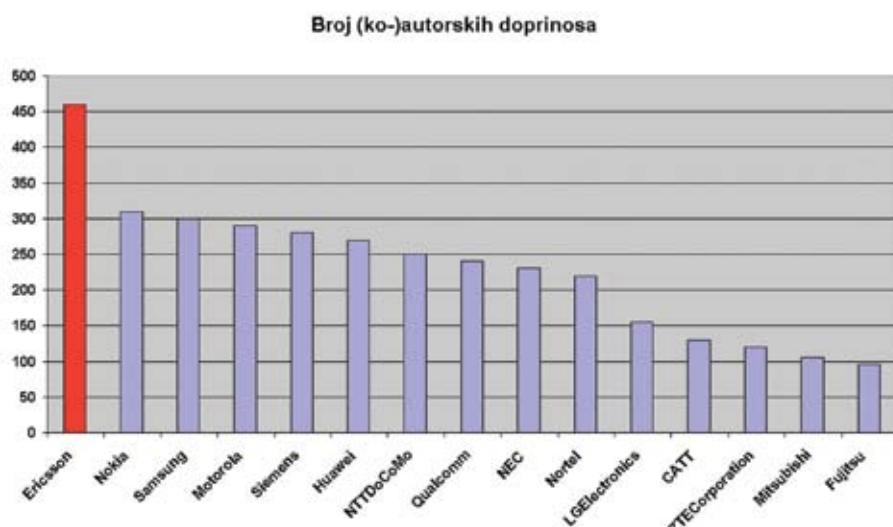
pojasno-zahtjevnijih usluga.

Vrhunske radijske performanse Ericssonove opreme (efektivno raspoloživa izlazna snaga te visoka osjetljivost prijemnika), fleksibilan portfelj osnovnih postaja, prilagodljiva radio pristupna mreža velikog kapaciteta i efikasna transportna rješenja omogućavaju vrlo kvalitetno i cjenovno učinkovito 3G pokrivanje.

Ericsson trenutačno vrlo aktivno sudjeluje u standardizacijskim programima 3GPP kako bi se osiguralo efektivno uvođenje 3GPP LTE sustava u verziji 8 3GPP specifikacija. Trenutačno se može pronaći više od 460 Ericssonovih 3GPP LTE ili SAE (ko)autorskih doprinosa (drugi na listi imaju 310 doprinosa), Slika 13.

Posljednja generacija osnovnih postaja (RBS 3106 i RBS

Slika 13. 3GPP LTE / SAE doprinosi - RAN1, RAN2, RAN3, RAN4, SA2 i SA3 (01-06 2006)



3206) već je unaprijed pripremljena za uvođenje LTE rješenja. One će moći upogoniti LTE na postojećem hardveru uz tek neznatnu hardversku dogradnju sa novim radijskim jedinicama i dodatnom procesnom jedinicom u osnovnom pojasu (baseband). Uz takvo rješenje RNC će zahtijevati samo softversku nadogradnju za podršku nove pristupne tehnologije.

Do 2010. g. za očekivati je HSPA pokrivenost unutar cijele WCDMA mreže. Daljnja evolucija HSPA inicijalno će biti namijenjena urbano-poslovnim zonama, uz performanse slične onima koje će pružati LTE unutar 5MHz. Takvu će pokrivenost upotpuniti i OFDM, pružajući vrlo visoke brzine prijenosa u odabranim područjima. LTE pri tome može biti osiguran i kroz cjenovno efikasnu nadogradnju osnovnih postaja te njihovu postupnu implementaciju. Da bi se osigurala pokrivenost i kontinuitet usluge, bit će nužno pružiti i efikasan mehanizam međudjelovanja HSPA i 3G LTE sustava.

6. Zaključak

Zbog povećanja konkurentnosti 3G tehnologije u dugoročnoj perspektivi, postojeći standardi moraju evoluirati. Razvoj HSPA tehnologije i MBMS funkcionalnosti tek su prvi koraci u tom smjeru. Krajnji cilj je ono što 3GPP naziva dugoročnom evolucijom 3G sustava (3G LTE).

Osnovni cilj evolucije je smanjenje korisničkih i operatorovih troškova te poboljšano pružanje usluga. Obećavajuće tehnologije za ostvarenje postavljenih ciljeva uključuju evoluciju arhitekture i koncepta kakvoće usluga, što rezultira kraćim vremenom čekanja, kraćim vremenima uspostave veze i sniženim troškovima. Evoluirani sloj veze i fizički sloj zasnovan na OFDM tehnicu koji podržava rješenja s višestrukim antenama omogućit će više brzine prijenosa te će poboljšati pokrivanje i kapacitet sustava. Procjene performansi upućuju na to da predložene tehnologije mogu zadovoljiti ciljeve postavljene pred bežične komunikacije za sljedeće desetljeće, pa i dalje.

7. Popis kratica

3G	-	<i>Third Generation</i>
3GPP	-	<i>Third Generation Partnership Project</i>
AGW	-	<i>Access Gateway</i>
AML-OFDM	-	<i>Adaptive MultiLayer Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>
ARQ	-	<i>Automatic Repeat Request</i>
ECP	-	<i>Evolved Packet Core</i>
eHSPA	-	<i>Evolved HSPA</i>
E-UL	-	<i>Enhanced Uplink</i>
FFT	-	<i>Finite Fourier Transform</i>
GGSN	-	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
GPRS	-	<i>General Packet radio Service</i>
G-RAKE	-	<i>Generalized Rake Receiver</i>
HARQ	-	<i>Hybrid Automatic Repeat Request</i>

HSDPA	-	<i>High Speed Downlink Packet Data Access</i>
HSPA	-	<i>High Speed Packet Access</i>
HSUPA	-	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
IFFT	-	<i>Inverse Finite Fourier Transform</i>
IP	-	<i>Internet Protocol</i>
LTE	-	<i>Long-Term Evolution</i>
MAC	-	<i>Medium Access Control</i>
MBMS	-	<i>Multimedia Broadcast and Multicast Services</i>
MCCH	-	<i>MBMS Point-to-multipoint Control Channel</i>
MICH	-	<i>MBMS Notification Indicator Channel</i>
MIMO	-	<i>Multiple Input, Multiple Output</i>
MME	-	<i>Mobility Management Entity</i>
MSCH	-	<i>MBMS Point-to-multipoint Scheduling Channel</i>
MTCH	-	<i>MBMS Point-to-multipoint Traffic Channel</i>
OFDM	-	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>
PDU	-	<i>Packet Data Unit</i>
QAM	-	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	-	<i>Quality of Service</i>
QPSK	-	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RAB	-	<i>Radio Access Bearer</i>
RAN	-	<i>Radio Access Network</i>
RLC	-	<i>Radio Link Control</i>
RNC	-	<i>Radio Network Controller</i>
SC-FDMA	-	<i>Single Carrier - Frequency Division Multiple Access</i>
SGSN	-	<i>Serving GPRS Support Node</i>
SNR	-	<i>Signal to Noise Ratio</i>
S-PARC	-	<i>Selective Per-Antenna Rate Control</i>
TCP	-	<i>Transmission Control Protocol</i>
TTI	-	<i>Time Transmission Interval</i>
UE	-	<i>User Equipment</i>
UMTS	-	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
UPE	-	<i>User Plane Entity</i>
UTRA	-	<i>UMTS Terrestrial Radio Access</i>
UTRAN	-	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
WCDMA	-	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
WLAN	-	<i>Wireless Local Area Network</i>
VoIP	-	<i>Voice over IP</i>

8. Literatura

- [1] E. Dahlman i drugi "The long-term evolution of 3G", Ericsson Review 2/2005.
- [2] Informa "3G LTE conference", dokumentacija, listopad 2006.
- [3] 3GPP TR 25.814 (V7.0.0) "Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA)", svibanj 2006.

- [4] 3GPP TR 25.913 (V7.3.0) "Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN)", ožujak 2006.
- [5] 3GPP TR 23.882 (V1.3.0) "3GPP System Architecture Evolution: Report on Technical Options and Conclusions", srpanj 2006.
- [6] T. Blajić, M. Družijanić, Z. Čimić "Prospects of MIMO Techniques for Broadband Wireless Systems", Mipro CTI, svibanj 2006.
- [7] D. Nogulić, M. Gadže, A. Janković "Multicarrier Modulation in Advanced Wireless Communication Systems", Elmar, srpanj 2006.
- [8] E. Dahlman i drugi "The 3G Long-Term Evolution – Radio Interface Concepts and Performance Evaluation", IEE VTC, proljeće 2006
- [9] Interna Ericssonova dokumentacija

Adresa autora:

Tomislav Blajić

e-mail: tomislav.blajic@ericsson.com

Ericsson Nikola Tesla d.d.

Krapinska 45

p.p. 93

HR-10002 Zagreb

Hrvatska

Uredništvo je primilo rukopis 29. studenoga 2006.