



Tomislav Blajić

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

LTE – NOVA TEHNOLOGIJA ZA MOBILNI ŠIROKOPOJASNI PRISTUP

LTE – NEW TECHNOLOGY FOR MOBILE BROADBAND ACCESS

Sažetak

Današnja 3G tehnologija brzog paketskog pristupa (HSPA – eng. High Speed Packet Access) nametnula se kao nositelj naglog širenja širokopojasnog mobilnog pristupa internetu. Unatoč njenom konstantnom unapređivanju, zbog kapacitivnih ograničenja i limitiranih mogućnosti postizanja još viših performansi, kao i zbog zahtjeva za povećanjem efikasnosti upotrebe radijskih resursa i sniženjem troškova održavanja, krenulo se u razvoj nove tehnologije pod nazivom LTE (eng. Long Term Evolution – dugoročna evolucija 3G sustava). Navedeni zahtjevi proizlaze iz potrebe za podrškom novih naprednih usluga u mobilnom svijetu, od multimedijalne telefonije, preko prijenosa velike količine podataka kroz društveno umrežavanje do npr. streaminga HDTV signala, a sve uz mogućnost istovremenog pružanja širokopojasnog pristupa velikom broj korisnika mobilne mreže.

LTE se razvija kao novi globalno prihvaci 3GPP (eng. Third Generation Partnership Project) standard za evoluiranu UTRAN (eng. UMTS Terrestrial Radio Access Network) mrežu (E-UTRAN) uz istodobnu podršku u evoluiranoj jezgrenoj mreži (EPC – eng. Evolved Packet Core) proizašloj iz 3GPP studije evolucije arhitekture sustava (SAE – eng. System Architecture Evolution). Ključne tehnologije kojima se omogućuje postizanje visokih brzina prijenosa uključuju radijsko sučelje temeljeno na OFDM (eng. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) pristupu, upotrebu više-antenskih rješenja (MIMO – eng. Multiple Input, Multiple Output) te fleksibilnost upotrebe frekvencijskog spektra.

Abstract

3G technology for High Speed Packet Access (HSPA) enables mobile broadband growth that we can witness today. Despite continuous HSPA evolution, limitations in reaching even higher performances and higher capacity, together with existing demands for increased radio resource usage efficiency and lower operational expenses initiated development of new technology known as LTE (Long Term Evolution). These demands arise from the need to support new advanced mobile services, including multimedia telephony, transfer of high amount of data through social networking, mobile streaming of HDTV signal, all combined with mobile broadband access for high number of simultaneous users.

LTE is developed as new globally accepted 3GPP standard for Evolved UTRAN (E-UTRAN) with support for Evolved Packet Core (EPC) – result of 3GPP study for System Architecture Evolution (SAE). Key technologies for achieving high data rates include radio interface based on OFDM access, implementation of multiple antenna solutions (MIMO) and flexible usage of frequency spectrum.

KLJUČNE RIJEČI:	KEY WORDS:
LTE, Dugoročna evolucija 3G sustava	LTE, 3G Long-Term Evolution
SAE, Evolucija arhitekture sustava	SAE, System Architecture Evolution
EPC, Evoluirana paketska jezgrena mreža	EPC, Evolved Packet Core
E-UTRAN, Evoluirana UMTS zemaljska radijska pristupna mreža	E-UTRAN, Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
4G, četvrta generacija mobilnih komunikacija	4G, Fourth Generation Mobile Communications
3GPP standardizacija	3GPP standardization
Mobilni širokopojasni pristup	Mobile broadband
Zračno sučelje	Radio Interface
OFDM, Ortogonalno multipleksiranje frekvencijskim odvajanjem	OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplex
MIMO, Višeslojni prijenos, tj. višestruki ulaz – višestruki izlaz	MIMO, Multiple Input - Multiple Output, MIMO

1 Uvod

Razvoj suvremenih mobilnih tehnologija koji pratimo kroz protekla tri desetljeća hvata sve brži zamah pojavom svake nove tehnološke generacije. Prve celularne mreže (npr. NMT, AMPS i TACS, danas poznate i kao prva generacija, tj. 1G) zasnovane na analognom FDMA pristupu i govornim uslugama, razvijane su sedamdesetih godina prošlog stoljeća, a komercijalno su pokrenute početkom osamdesetih (npr. NMT 1981.). Već kod mreža druge generacije (GSM, D-AMPS, PDC, IS-95) korištenih za digitalni prijenos govora i podataka korištenjem TDMA ili CDMA pristupa, ciklus razvoja se skraćuje na ispod 10 godina. Tako je standardizacija GSM tehnologije započela 1982., dok se prve GSM mreže se pojavljuju 1991.

Slijedeći unaprjeđenja nastala uvođenjem paketskog prijenosa podataka u 2G mrežama (isprrva GPRS, kasnije i EDGE) te temelje postavljene od strane Međunarodne telekomunikacijske unije (ITU - International Telecommunications Union) kroz okvir za globalne 3G standarde (IMT-2000), tijekom devedesetih se intenzivno standardiziraju 3G tehnologije. Tako se krajem 1998.g. formira Projekt partnerstva za treću generaciju (3GPP – eng. Third Generation Partnership Project) – kolaboracija više telekomunikacijsko-standardizacijskih tijela iz svih dijelova svijeta, koja razvija tehničke specifikacije za WCDMA (eng. Wideband Code Division Multiple Access) pristup u FDD i TDD modu UMTS sustava. Prve komercijalne 3G mreže pokrenute su 2001.godine u Japanu i 2003. u Europi. Danas smo svjedoci uspješne evolucije WCDMA mreža uvođenjem brzog paketskog pristupa (HSPA – eng. High Speed Packet Access) kroz kontinuirana unaprjeđenja koja donose nova izdanja 3GPP specifikacija (Release 5: HSDPA, Release 6: HSUPA, Release 7 i 8: HSPA+). Upravo je 3GPP standardizacijsko tijelo koje je odgovorno za nastanak i razvoj LTE standarda kao nove tehnologije na putu k mobilnim mrežama četvrte generacije (4G).

3GPP			
> Rel 99/Rel 4	- WCDMA – inicijalni paketski prijenos	R99	384 kbps
> Rel 5	- High Speed Downlink Packet Access	HSPA	14.4 / 5.8 Mbps
> Rel 6	- Enhanced Uplink (HSUPA)		
> Rel 7	- High Speed Packet Access + (modulacija višeg reda, MIMO)	HSPA +	28 / 12 Mbps
> Rel 8	- High Speed Packet Access + (višestruki nosioci – multi carrier) - Long Term Evolution	HSPA +	42 Mbps
		LTE	>100 Mbps

Slika 1: Evolucija 3GPP tehnologija

U studenom 2004. godine, 3GPP grupa za tehničke specifikacije radijskih sučelja (TSG RAN) organizira prvu radionicu na temu dugoročne evolucije 3G radijskog sučelja. Ta radionica predstavlja polazišnu točku u razvoju LTE standarda. Preko 50 istraživačkih instituta, operatora i proizvođača opreme, a među njima i Ericsson, iznijelo je svoje poglede i prijedloge vezane uz evoluciju UMTS zemaljske radijske pristupne mreže (UTRAN – eng. UMTS Terrestrial Radio Access Network). Već tada su definirani osnovni zahtjevi: smanjeni troškovi po bitu informacije, visoke brzine prijenosa uz malo kašnjenje, poboljšano pružanje velikog broja usluga, fleksibilnost upotrebe različitih frekvencijskih opsega, pojednostavljena arhitektura, otvorena sučelja, umjerena potrošnja snage u terminalima. Zaključeno je i da evoluirana mreža mora donijeti znatna unaprjeđenja kako bi opravdala standardizacijske napore.

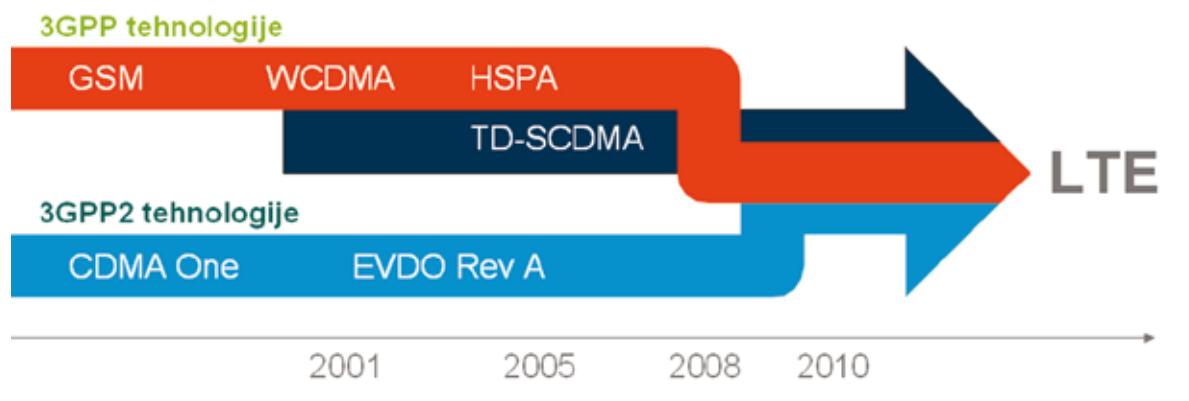
Na temelju zaključaka ove radionice te uz široku podršku članica 3GPP-a, krajem iste godine pokrenuta je studija izvodivosti čiji je cilj bio razvoj okvira za evoluciju postojeće 3GPP radijske pristupne tehnologije prema novoj tehnologiji visokih brzina prijenosa i niskog kašnjenja, optimiziranoj za paketni prijenos.

U proljeće 2005.godine 3GPP grupa za tehničke specifikacije arhitekture sustava (TSG SA) pokrenula je prateće istraživanje, budući da je zaključeno kako će novo radijsko LTE sučelje zahtijevati i odgovarajuću evoluiranu arhitekturu sustava (SAE – eng. System Architecture Evolution).

Paralelno s intenzivnim istraživanjima predvođenim 3GPP radnim grupama (RAN WG1-5, SA WG2), pokrenuta je i inicijativa za mobilne mreže slijedeće generacije (NGMN – eng. Next Generation Mobile Networks), koje provodi sedam velikih svjetskih mrežnih operatora. Cilj te inicijative je definiranje uskladene vizije tehnološke evolucije nakon 3G za konkurentno pružanje širokopojasnih bežičnih usluga. Početkom 2006. godine ova inicijativa izašla je sa svojim prioritetima ključnih karakteristika, preporukama i detaljnim zahtjevima na buduće tehnologije, uz veliki naglasak na troškove vezane za intelektualna prava (IPR – eng. Intellectual Property Rights).

Tijekom 2007. LTE tehnologija je napredovala od studije izvodivosti prema prvom izdanju tehničkih specifikacija – pokrenuta je nova (36.) serija specifikacija pod nazivom "Evolved UTRA (LTE) aspects". Prvi ključni korak razvoja LTE standarda predstavljalo je odobravanje specifikacija fizičkog sloja (zračnog sučelja) zasnovanog na OFDMA pristupu. Koncem 2008. konačno je odobreno "zamrzavanje" LTE standardiziranih funkcionalnosti kao dijela 8. izdanja (Release 8) 3GPP specifikacija, čime su one postale dovoljno stabilne za komercijalnu izvedbu.

Niz operatora pokazao je veliku opredijeljenost za upotrebu LTE tehnologije pa je efikasan i brz ciklus razvoja novog standarda (svega 5 godina) omogućio realizaciju planova rane implementacije već krajem 2009.godine. Ovdje je bitno je naglasiti da po prvi puta imamo priliku da zaživi jedan stvarno globalni telekomunikacijski standard. Naime, čak i operatori koji koriste 3G tehnologije izvan 3GPP svijeta (npr. CDMA 2000 u Americi i Aziji ili TD-SCDMA u Kini) prihvaćaju LTE kao tehnologiju za evoluciju svojih mreža.

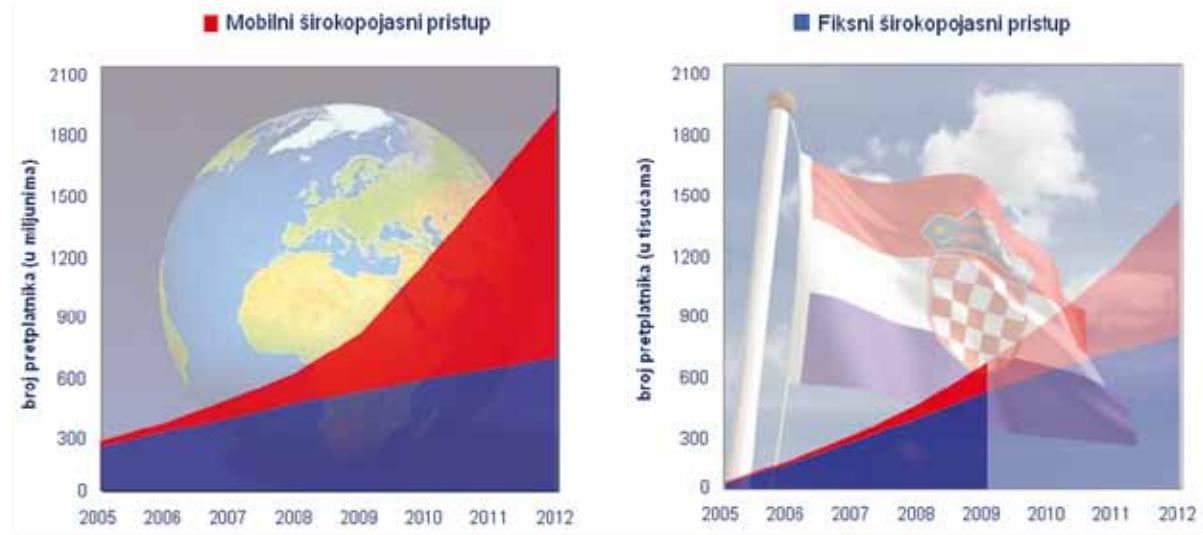


Slika 2: LTE – globalno prihvaćen standard

Kako se razvoj tehnologije nastavlja ubrzavati, tako se i 3GPP fokusira na daljnje poboljšavanje LTE standarda radi osiguravanja njegove optimalne učinkovitosti u budućnosti. To uključuje i razvoj novih specifikacija za LTE-Advanced (kao dio 10. izdanja specifikacija, Release 10, koje se očekuju već početkom 2011.) čija daljnja unaprjeđenja zapravo odgovaraju četvrtoj generaciji mobilnih sustava (4G) prema zahtjevima koje ITU postavlja pod nazivom "IMT Advanced".

2 LTE ciljevi

Danas smo svjedoci nagle promjene u načinu korištenja interneta - umjesto prethodne usmjerenoosti na informaciju i sadržaj sve bitniji postaje aspekt komunikacije, a samim tim i potreba stalne povezanosti. Širokopojasni pristup internetu postaje jedna od osnovnih potreba današnjeg svijeta, a u njegovom razvoju sve veći udio zauzima mobilni širokopojasni pristup. Predviđanja (Slika 3) pokazuju da bi do 2012. godine u svijetu trebalo biti više od 1,8 milijardi pretplatnika širokopojasnog pristupa, od čega bi čak dvije trećine bili mobilni korisnici (slični trendovi su vidljivi i u Hrvatskoj).



Slika 3: Predviđanja rasta širokopojasnog pristupa u svijetu i Hrvatskoj (izvori: OVUM, Strategy Analytics, HAKOM, Cullen International i Ericsson, 2009.)

Današnji rast udjela mobilnog internata možemo zahvaliti prvenstveno 3G tehnologiji brzog paketskog pristupa (HSPA), a razlozi leže u velikom zamahu u pogledu ostvarenog prometa, atraktivnim cijenama (na razini cijena fiksног pristupa) i paketima (npr. pretplata uz računalо) te velikom broju dostupnih uređaja (USB modemi, podatkovne kartice, kućni usmjernici, kamere...). Bitan element u cijeloj priči je i kontinuirana evolucija tehnologije koja povećava maksimalne brzine i kapacitet sustava.

Zahtjevi i očekivanja korisnika neprestano rastu zbog novih zahtjevnijih aplikacija, (npr. VoIP, mobilna TV, online igre, video na zahtjev i sl.), ali i želje za jednostavnijim korištenjem (npr. uz manje vrijeme čekanja i brži odziv). Operatori, s druge strane, teže što učinkovitijem načinu pružanja usluga (smanjeni troškovi po bitu informacije) uz zadržavanje prihoda i smanjenje troškova izgradnje i održavanja. Sve to djeluje kao pokretač dugoročne evolucije 3G sustava kroz uvođenje nove, fleksibilnije tehnologije (LTE).

Ključni ciljevi s aspekta performansi i mogućnosti koje 3GPP stavlja pred LTE su:

- » visoke brzine prijenosa – cilja se na vršne brzine prijenosa podataka veće od 100 Mbps u silaznoj vezi, odnosno 50 Mbps u uzlaznoj vezi, te ostvarivost 2-3 puta većih brzina na rubu ćelije u odnosu na HSPA Release 6,
- » smanjenje vremena čekanja – niska latencija (ispod 10 ms) u korisničkoj ravnini poradi poboljšanja performansi protokola u višim slojevima (npr. TCP) kao i smanjenje kašnjenja povezanog s procedurama u kontrolnoj ravnini (npr. uspostava sjednice/sesije, ispod 100 ms)
- » visoka spektralna efikasnost (bps/Hz/site) – 2-3 puta veća u odnosu na HSPA Release 6,

- » umjerena potrošnja snage u terminalima,
- » fleksibilnost upotrebe različitih frekvencijskih opsega – mogućnost upotrebe raznih frekvencijskih područja (bilo već postojećih ili novih), uz široku mogućnost izbora širine pojasa (1,4; 3; 5; 10; 15 ili 20 MHz), te izbor između FDD ili TDD moda rada,
- » pojednostavljena arhitektura – manje čvorova, a time i manje signalizacije, korištenje samo paketske domene (all-IP rješenje),
- » pojednostavljeno održavanje – podrška za samo-organizirajuće mreže (SON – eng. Self Organizing Networks), npr. mogućnost automatske konfiguracije,
- » isplativa migracija sa trenutačnih mreža - mogućnost ponovnog korištenja dosadašnjih investicija.

Jedan od najbitnijih elemenata u implementaciji LTE mreža bit će dostupnost i cijena frekvencijskog spektra - radi ostvarivanja što veće podatkovne propusnosti i kapaciteta najvećih dobitaka, potreban je i što širi spektar, a samim time se javlja i potreba za nabavkom dodatnih frekvencijskih područja. Slika 4 prikazuje danas identificirane LTE frekvencijske pojaseve.

Osim navedenih frekvencijskih područja, može se očekivati da će značajnu ulogu za implementaciju LTE tehnologije imati i pojas koji se oslobođa prelaskom emitiranja televizijskog programa s analogne na digitalnu tehnologiju (tzv. digitalna dividenda) - u Europi je riječ o području 790-862 MHz. Ovaj je pojas vrlo interesantan budući da pruža mogućnost znatno boljeg pokrivanja (zbog niskih frekvencija), što bi rezultiralo i manjim potrebnim brojem lokacija (pogotovo u slučaju ruralnog pokrivanja).

Premda je oslobođanje tog pojasa globalno definirano tek od 2015.godine, prema odlukama Svjetske radio konferencije iz 2007 (WRC-07 – World Radio Conference), moguće je i ranije izvršiti prenamjenu za mobilne tehnologije (IMT-2000). Prema inicijativi Europske komisije, za FDD mod rada na raspolaganju će biti dostupno 30 MHz upareno za silaznu (791-821 MHz) i uzlaznu vezu (832-863 MHz), dok je u slučaju TDD moda rada predviđeno neuparenih 65 MHz (797-862 MHz).

FDD			TDD		
Pojas	Identitet	Frekvencije (MHz)	Pojas	Identitet	Frekvencije (MHz)
1	IMT osnovni pojas	1920-1980/2110-2170	33,34	TDD 2000	1900-1920 2010-2025
2	PCS 1900	1850-1910/1930-1990	35,36	TDD 1900	1850-1910 1930-1990
3	GSM 1800	1710-1785/1805-1880	37	PCS centralni razmak	(1915) 1910-1930
4	AWS	1710-1755/2110-2155	38	IMT ekstenzija – centralni razmak	2570-2620
5	850	824-849/869-894	39	Kina TDD	1880-1920
6	850 (Japan)	830-840/875-885	40	2.3 TDD	2300-2400
7	IMT ekstenzija	2500-2570/2620-2690	u razvoju (FDD&TDD)		
8	GSM 900	880-915/925-960	22/41	3.5 GHz	3400-3600
9	1700 (Japan)	1750-1785/1845-1880	23/42	3.7 GHz	3600-3800
10	3G (Amerika)	1710-1770/2110-2170			
11	UMTS1500	1428-1453/1476-1501			
12	US 700	698-716/728-746			
13	US 700	776-788/746-758			
14	US 700	788-798/758-768			
17	US 700	704-716/734-746			
18	850 (Japan #2)	815-830/860-875			
19	850 (Japan #3)	830-845/875-890			
20	Digitalna dividenda	791-821/832-862			
21	1500 (Japan #2)	1448-1463/1496-1511			

Slika 4: Identificirani LTE frekvencijski pojasevi

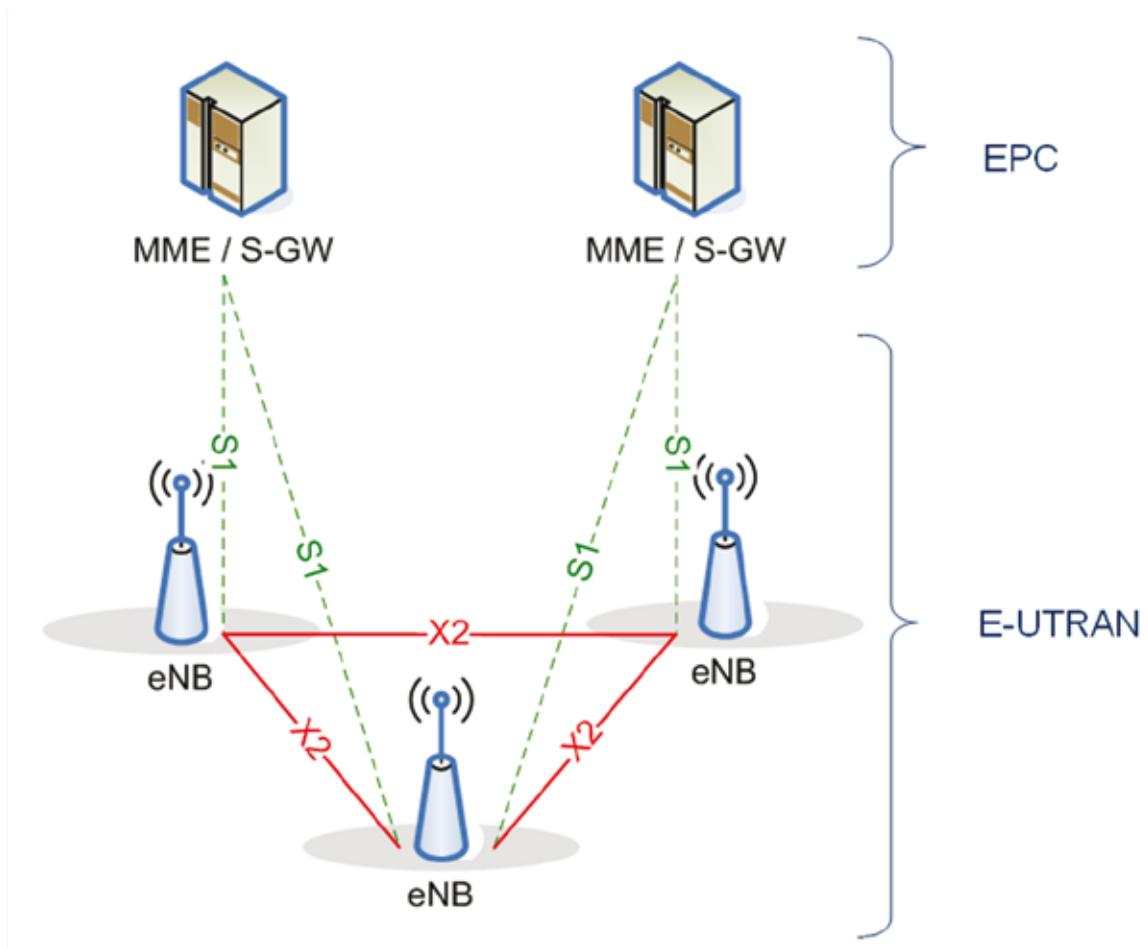
3 Arhitektura EPS sustava

Kada spominjemo LTE i SAE zapravo se referenciramo na tehnologije koje specificira 3GPP (u svojem osmom izdanju specifikacija, Release 8) kao temelj za evoluciju 3G mobilnih mreža. Stvarna mreža zasnovana na tim tehnologijama zapravo će tvoriti evoluirani paketski sustav (EPS – eng. Evolved Packet System). EPS se sastoji od evoluirane paketske jezgrene mreže (EPC – eng. Evolved Packet Core) i evoluirane UMTS zemaljske radijske pristupne mreže (E-UTRAN – Evolved UTRAN).

EPC pruža pristup prema vanjskim podatkovnim mrežama (npr. Internet) i operatorskim servisima (npr. MMS, MBMS), upravlja funkcijama vezanima uz sigurnost (autentifikacija, dodjela sigurnosnih ključeva), pretplatničke informacije, naplatu i mobilnost prema drugim pristupnim mrežama (GERAN, UTRAN, CDMA2000, WLAN ...), te prati mobilnost ne-aktivnih terminala.

E-UTRAN obavlja sve radijske funkcije za aktivne terminale. Sastoje se od radijskih osnovnih postaja (eNB – eng. e-Node B). Između EPC i E-UTRAN-a nalazi se S1 sučelje, dok su eNB povezane X2 sučeljem. Korisnički terminal povezan je izravno na E-UTRAN, no dio funkcionalnosti protokolnog složaja kontrolne ravnine zatvara se u EPC.

EPS podržava isključivo paketsku domenu (PS – eng. Packet Switched) – servisi koji tradicionalno koriste komutaciju kanala (CS – eng. Circuit Switched) prenositi će se također preko PS nositelja.



Slika 5: Generalna EPS arhitektura

3.1 EPC

Evoluiranu paketsku jezgenu mrežu tvore sljedeći logički čvorovi:

- » u kontrolnoj ravnini – MME (eng. Mobility Management Entity)
- » u korisničkoj ravnini – S-GW (eng. Serving Gateway) i P-GW (eng. Packet Data Network Gateway)

MME sadrži kontrolne funkcionalnosti koje su konceptualno slične kontrolnoj SGSN ravnini (najčešće se fizički i izvodi kao softverska funkcionalnost unutar SGSN čvora). MME zaključuje protokole kontrolne ravnine prema korisničkom terminalu te obrađuje sljedeće funkcije vezane uz mobilnost i upravljanje sesijom:

- » UE attach/detach procedura – omogućuje mobilnoj stanici da se registrira na mrežu ili odregistriira sa iste,
- » sigurnost – funkcije autentifikacije i autorizacije radi provjere identiteta korisnika, odobravanje pristupa mreži i praćenje korisničke aktivnosti,
- » upravljanje EPS nositeljem – uspostava, izmjena i raskidanje EPS nositelja,
- » mobilnost neaktivnih korisnika – nadzor korisnika u idle modu, pri čemu se položaj korisnika prati samo na razini područja praćenja (TA – eng. Tracking Area)
- » pozivanje korisnika (paging)
- » prekapčanje prema drugim tehnologijama (IRAT handover) – upravlja mobilnost prilikom prelaska prema drugim mrežama (GSM, WCDMA ...).

Korisnik je spojen na isti MME čvor sve dok se nalazi u unutar područja koje nadzire isti skup MME-ova (MME pool).

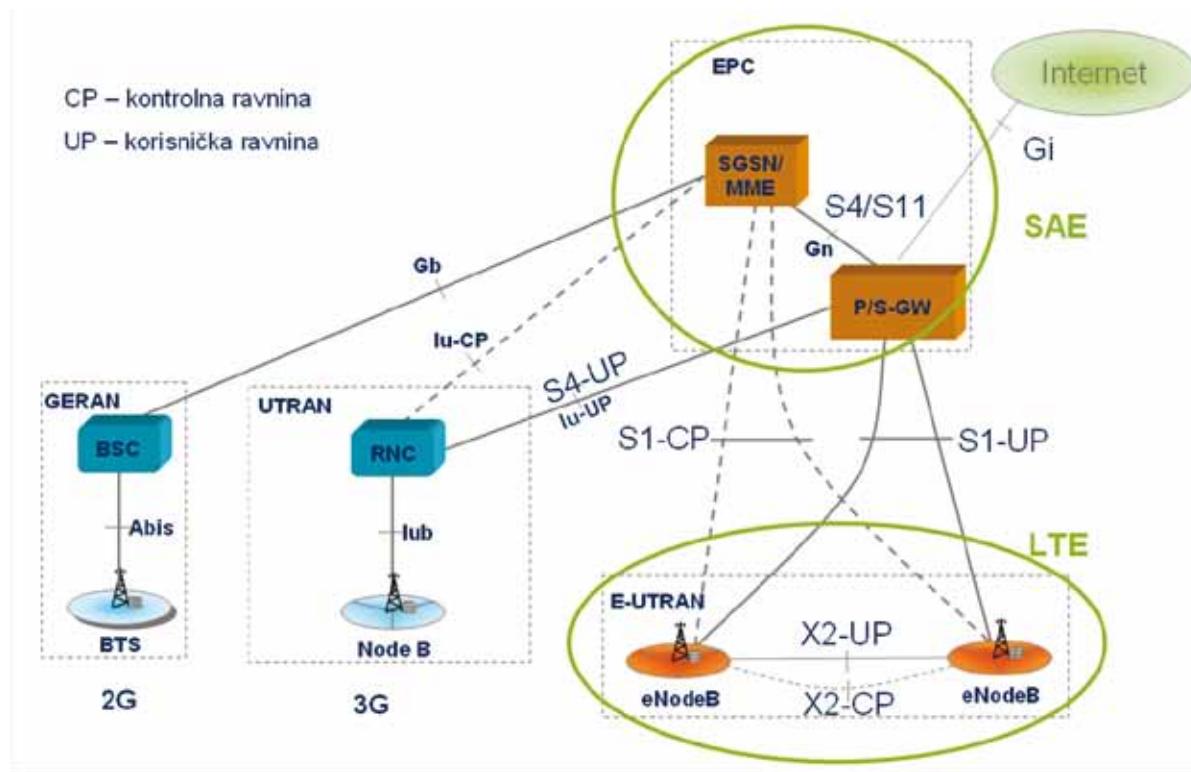
Funkcionalnosti S-GW i P-GW čvorova za slučaj bez roaminga nalaze se unutar mreže istog operatora te mogu biti implementirane u kombiniranom P/S-GW čvoru (također se koristi i naziv SAE-GW). Najčešće su izvedeni kao softverska nadogradnja postojećeg GGSN (eng. Gateway GPRS Support Node) čvora. P/S-GW predstavlja sidrišnu točku korisničke ravnine terminala koji se kreće između više eNB čvorova. Do promjene S-GW dolazi samo ukoliko korisnik prelazi u područje drugog S-GW skupa (S-GW pool), dok se isti P-GW zadržava sve dok je korisnički terminal priključen na mrežu.

P/S-GW obavlja sljedeće funkcije kontrolne ravnine:

- » upravljanje EPS nositeljem – pokreće uspostavu EPS nositelja nakon zahtjeva od strane viših slojeva,
- » sidrenje mobilnosti – P-GW predstavlja IP točku prisutnosti (PoP – eng. Point of Presence) za terminal koji je spojen na mrežu – on dodjeljuje IP adresu svakom terminalu čija mobilnost time biva skrivena prema fiksnoj mreži,

P/S-GW također obavlja i sljedeće funkcije korisničke ravnine:

- » kontrola i provođenje zadane kvalitete usluga (QoS) – povezivanje korisničkog toka podataka sa odgovarajućim QoS klasama te sprečavanje prekoračenja limita definiranih pretplatničkim ugovorom,
- » naplata,
- » zakonsko presretanje prometa.



Slika 6: Tipčna SAE/LTE implementacija - odgovarajuća sučelja i protokoli

3.2 E-UTRAN

U odnosu na UTRAN mrežu, E-UTRAN donosi značajno pojednostavljenje arhitekture – uključuje samo evoluirane radijske osnovne postaje (e-Node B, eNB). Kako se izostavlja čvor za upravljanje (RNC – Radio Network Controller), jedan dio njegovih funkcionalnosti prebačen je u EPC (točnije S-GW), no većina njih prebacuje se u eNB (što je trend započet već uvođenjem HSDPA u WCDMA mreže).

eNB predstavlja čvor radijske pristupne mreže zadužen za radijsko odašiljanje i prijem od strane korisničke upreme (UE – User Equipment) u jednoj ili više celija (najčešće 3).

Lista eNB funkcionalnosti uključuje:

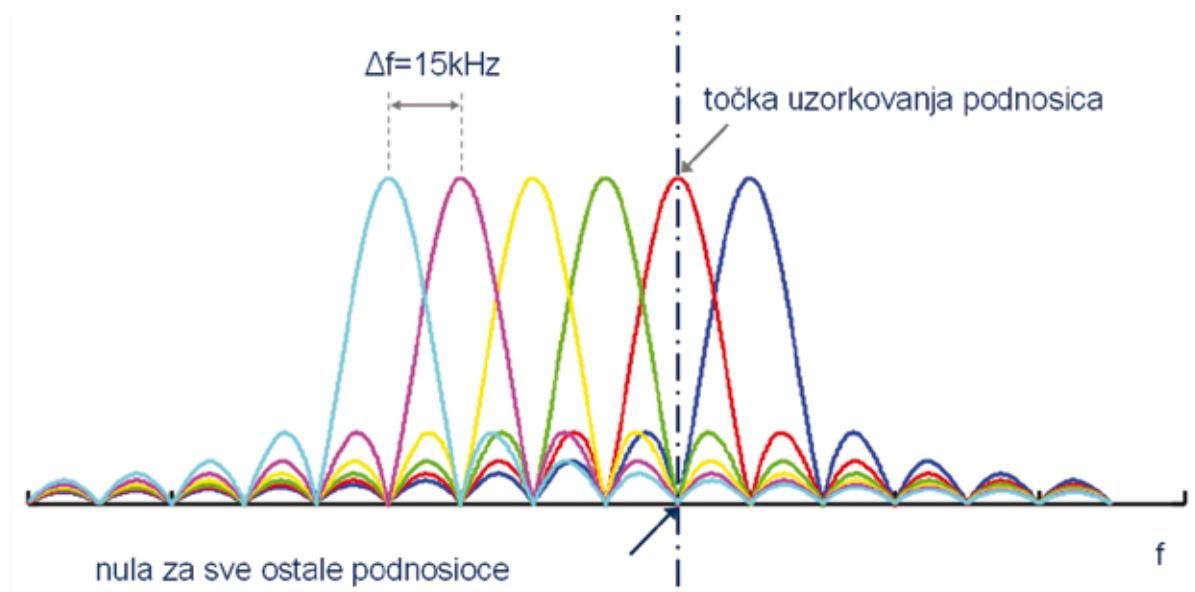
- » kontrolu celija i podršku MME skupu – eNB posjeduje i kontrolira radijske resurse svojih celija, koji su zahtijevani od i odobreni određenom MME skupu (eng. MME pool),
- » kontrolu mobilnosti – za aktivne terminalne, uključuje UE naloge za obavljanje mjerjenja i izvršenja prekapčanja (eng. handover) kad je to potrebno,
- » sigurnost kontrolne i korisničke ravnine – šifriranje (eng. ciphering),
- » upravljanje dijeljenim kanalom – pridjeljivanje resursa dijeljenog kanala i kanala za slučajni pristup,
- » segmentaciju i spajanje – na RLC (eng. Radio Link Control) sloju se obavlja adaptacija korisnih paketa na veličinu prijenosnog bloka (eng. transport block),
- » upravljanje retransmisijom (HARQ procesi),
- » raspoređivanje korisnika (eng. scheduling) – uz podršku definiranih QoS klasa,
- » funkcionalnosti fizičkog sloja tj. pseudo-slučajno kodiranje (eng. scrambling), odašiljačke diverzite, procesiranje antenskog upravljanja, OFDM modulaciju,
- » mjerjenje i prijavljivanje – podaci prikupljeni mjerjenjima koriste se za upravljanje radijskim resursima (RRM – eng. Radio Resource Management),
- » automatizirani rad i nadzor.

4 Osnovne značajke zračnog sučelja

LTE radijsko sučelje zasniva se na upotrebi ortogonalnog multipleksiranja frekvencijskim odvajanjem (OFDM – eng. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) s OFDMA (eng. Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) višestrukim pristupom u silaznoj vezi te višestrukog pristupa s frekvencijskom raspodjelom na jednom nositelju (SC-FDMA – eng. Single Carrier Frequency Division Multiple Access) u uzlaznoj vezi. Za ostvarivanje visokih brzina prijenosa bitna je i podrška više-antenskih rješenja kako na osnovnoj postaji, tako i u terminalima. To uključuje metode višeslojnih prijenosa, tj. višestruki ulaz – višestruki izlaz (MIMO – eng. Multiple Input Multiple Output), kao i tehnikе odašiljačke i prijemne raznolikosti (eng.TX/RX diversity) te upravljanja dijagramom zračenja antene (eng. beamforming).

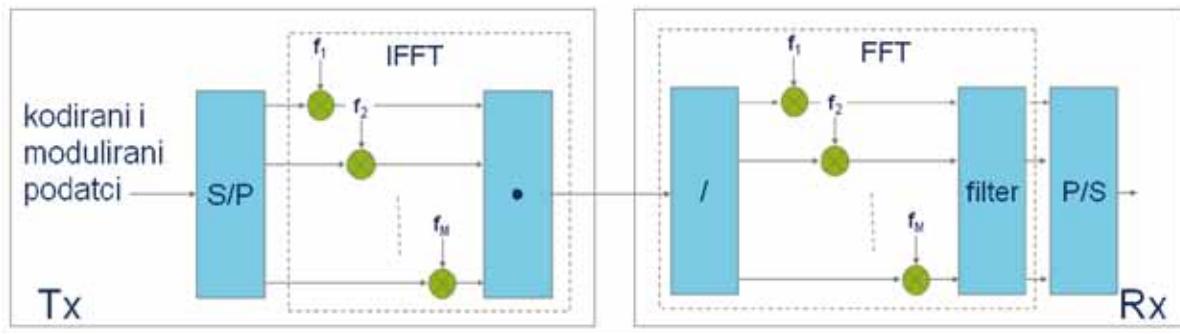
Izbor OFDM tehnologije za LTE omogućava prilagodbu prijenosnih parametara sustava u frekvencijskoj domeni, zadovoljavajući zahtjeve za spektralnom efikasnosti, a prikladna je i za neusmjereni ili grupno odašiljanje (eng. Broadcast/Multicast).

OFDM je modulacijska tehnika izrazito otporna na frekvencijski selektivno slabljenje (eng. fading) i stoga pokazuje dobre performanse u visoko vremenski disperzivnim radijskim okružjima (što je najčešći slučaj u urbanom okruženju). Sveukupni tok podataka razdvaja se u veliki broj tokova koji se potom prenose na zasebnim podnositeljima (eng. subcarriers). Budući da svaki podnositelj ima nisku brzinu prijenosa simbola (eng. symbol rate), njihovo trajanje je produženo. Samim time smanjen je i utjecaj među-simbolne interferencije (ISI – eng. Inter Symbol Interference). Kako su podnositelji postavljeni tako da svi ostali imaju vrijednost nula u trenutku uzorkovanja pojedinog podnositelja, ostvarena je njihova potpuna ortogonalnost.



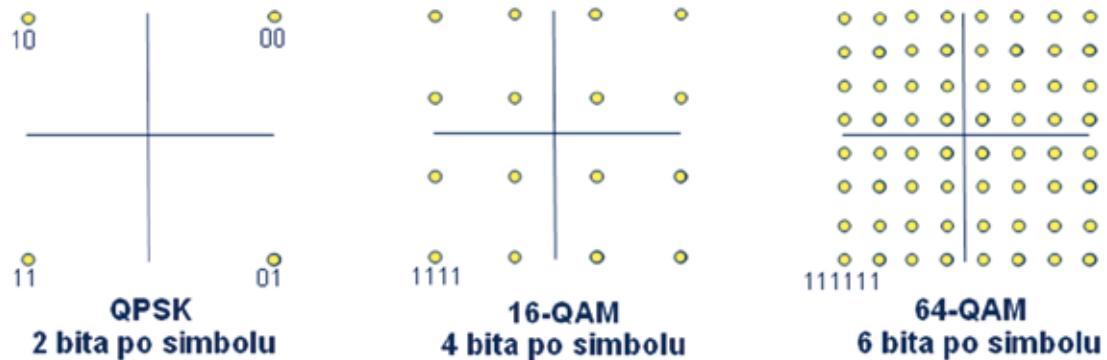
Slika 7: OFDM podnositelji

Implementacija OFDM tehnike je razmjerno jednostavna. OFDM odašiljač se tipično izvodi korištenjem inverzne brze Fourierove transformacije (IFFT), čija složenost nije velika. Ciklički prefiks se dodaje svakom simbolu prije odašiljanja kako bi se zadržala ortogonalnost uz minimiziranje među-simbolne interferencije. Korištenjem inverzne brze Fourierove transformacije prijemnik može potpuno detektirati odaslan signal, uz pretpostavku da je maksimalno raspršenje kašnjenja (eng. delay spread) u radijskom kanalu kraće od dužine dodanog cikličkog prefiksa.



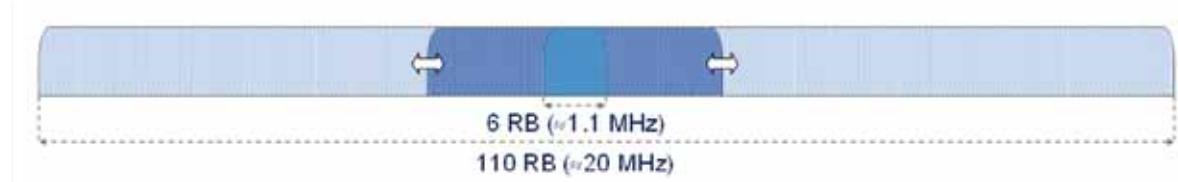
Slika 8: Implementacija OFDM tehnike uz pomoć IFFT/FFT u odašiljanju i prijemu

Svaki od podnositelja nosi jedan OFDM simbol koji sadrži informacijske bitove modulirane QPSK, 16QAM ili 64QAM modulacijom (dakle imamo 2,4 ili 6 bita po simbolu). Modulacija višeg reda je osjetljivija na smetnje te zahtijeva bolje radijske uvjete, tj. bolji odnos snage nositelja prema interferenciji (C/I – eng. Carrier to Interference).



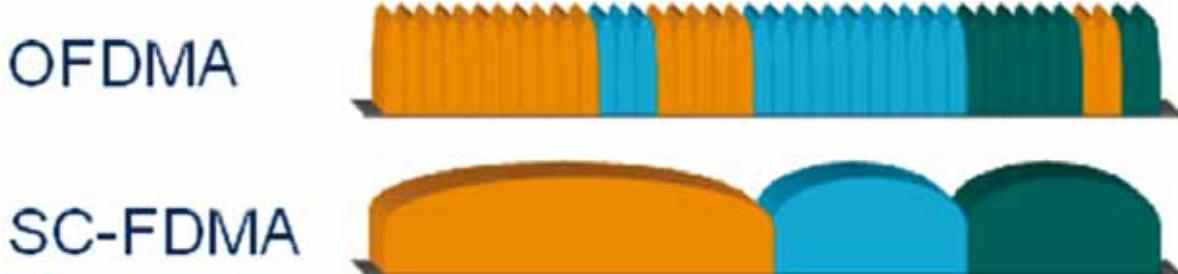
Slika 9: LTE podržane modulacije

Mijenjanjem broja podnositelja moguća je podrška za različite pridjeljenje širine frekvencijskog pojasa, od 1,4 MHz sve do 20 MHz. Pri tome je granularnost definirana na razini jednog resursnog bloka (RB – eng. Resource Block) kojeg predstavlja 12 podnositelja od 15 KHz (dakle ukupno 180 KHz). Centralni blok od 6 RB-a oko istosmernog nositelja (eng. DC carrier) predstavlja minimum zauzeća, dok se korištenjem više RB-a s bočnih strana može izvesti širenje. Pojedinoj mobilnoj stanicici može biti dodijeljeno maksimalno 100 RB-ova (ostatak 20 MHz pojasa otpada na filtriranje i zaštitni pojas), a dodijeljeni RB-ovi u silaznoj vezi ne moraju biti kontinuirani.



Slika 10: Promjenjiva širina frekvencijskog pojasa

Kod uzlazne veze koristi se posebna izvedba OFDMA pristupa, takozvani pred-kodirani OFDMA, odnosno SC-FDMA (eng. Single Carrier FDMA), čije je osnovno obilježje da pojedini korisnik dobiva kontinuirani skup podnositelja (koji onda djeluje kao jedan širi nositelj). Osnovna motivacija za takav pristup je smanjenje potrošnje baterije u mobilnom terminalu zbog manjeg odnosa vršne i prosječne snage (PAPR – eng. Peak to Average Power Ratio), a time i boljeg pokrivanja u uzlaznoj vezi.



Slika 11: Usporedba OFDMA i SC-FDMA pristupa

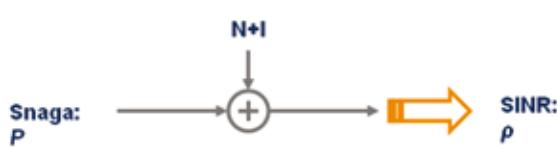
Korištenjem više antena na TX i RX strani moguće je ostvariti različite dobitke. Oblikovanje dijagrama zračenja pri tom osigurava veći odnos signal-šum te time i bolje pokrivanje, dok se višeslojni prijenos može iskoristiti za ostvarivanje većih brzina prijenosa. Prijelaz između različitih tehnika može biti dinamički.



Slika 12: Više-antenske tehnike za LTE

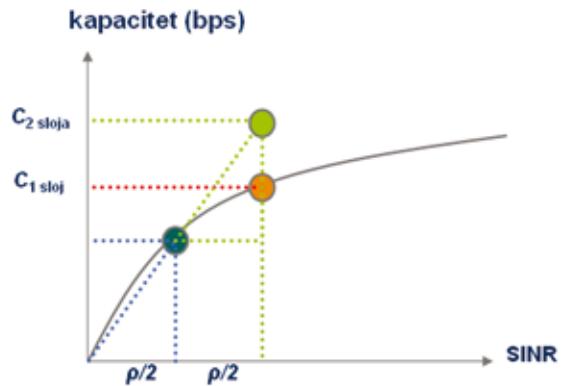
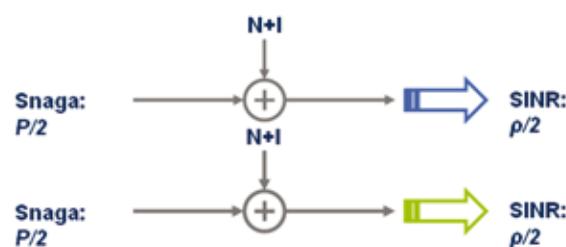
Dijagram zračenja oblikujemo tako da mijenjamo faze signala između pojedinih antena i na taj način laticu zračenja usmjeravamo prema ciljanom korisniku (time se smanjuje interferencija u ostatku ćelije). Kod MIMO tehnike dobitak ostvarujemo boljim iskorištavanjem postojećeg odnosa signal-šum. Za razliku od tehnika odašiljačke i prijemne raznolikosti gdje na više antena šaljemo iste (eventualno različito kodirane) informacije, za MIMO odašiljemo različite tokove podataka po pojedinom antenskom sloju i svaki od njih primamo na pojedinoj prijemnoj anteni. Time zapravo ostvarujemo linearni rast kapaciteta s povećanjem odnosa signal-šum, koji bi inače bio logaritamski, što bi limitiralo maksimalne vrijednosti. Može se uočiti da je zbog toga dobitak ostvariv uz MIMO više izražen u slučajevima visokog odnosa signal-šum. MIMO se može koristiti i u kombinaciji s oblikovanjem dijagrama zračenja.

Jednoslojni prijenos:



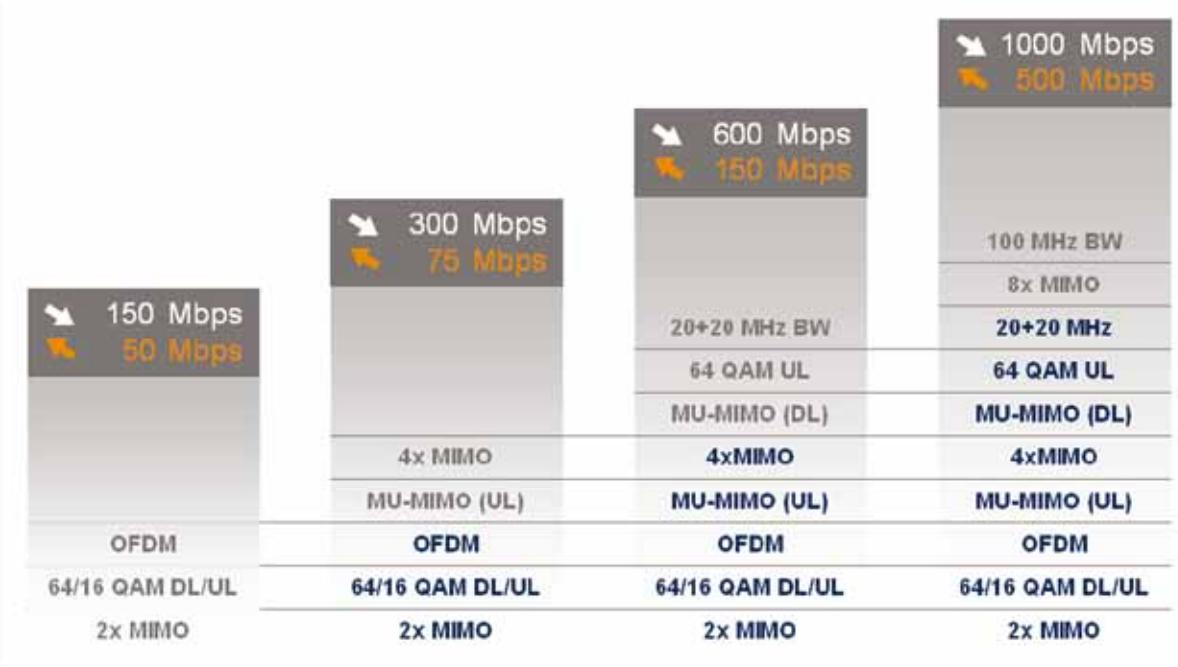
$$\text{kapacitet} = \text{širina pojasa} * \log_2(1+\text{SINR})$$

Višeslojni prijenos:



Slika 13: Dobitak kapaciteta u slučaju višeslojnog prijenosa (MIMO)

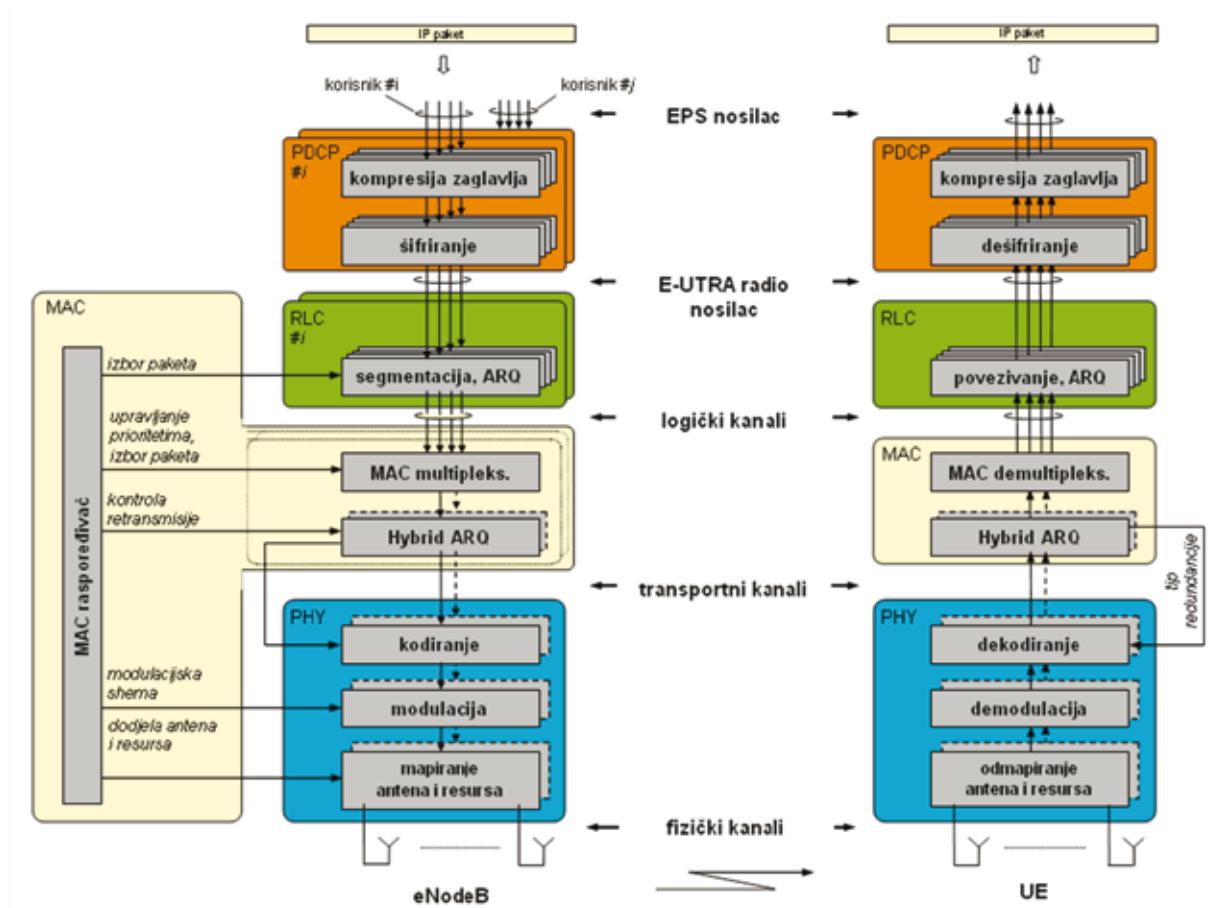
Kombinacijom svih navedenih elemenata LTE zračnog sučelja moguće je ostvariti ciljane performanse sustava. Maksimalne brzine prijenosa u silaznoj i uzlaznoj vezi ovisit će o konkretnoj konfiguraciji – one se povećavaju kasnijim korištenjem složenijih MIMO konfiguracija (4 umjesto 2 predajne i prijemne antene, kasnije i 8), korištenjem modulacija višeg reda (64 QAM) i u uzlaznoj vezi te povećanjem širine pojasa (bilo kombiniranjem više pojasa, bilo širenjem do 100 MHz). Time će biti ispunjeni i zahtjevi koji se stavljuju pred mreže četvrte generacije (4G), što će se ostvariti u sklopu LTE-Advanced tehnologije (3GPP Release 10).



Slika 14: Razvojni put LTE tehnologije prema LTE-Advanced

5 LTE protokolni složaj

Slika 15. prikazuje LTE protokolni složaj. EPS nositelj (koji odgovara PDP kontekstu) prenosi podatke s 3. sloja te uslugu sa kraja na kraj (end-to-end service). Njega na radijskom sučelju prenosi E-UTRA radijski nositelj kojeg pak prenose radijski kanali (logički, transportni i fizički).



Slika 15: Struktura LTE radijskog sučelja

Protokoli koji obavljaju zadaće radijskog sučelja su:

- » PDCP (eng. Packet Data Convergence Protocol) – mapira EPS na E-UTRAN radijski nositelj te provodi robusnu kompresiju zaglavija (ROHC),
- » RLC (eng. Radio Link Protocol) – vrši mapiranje na logičke kanale te obavlja segmentaciju, slijednu isporuku i retransmisije,
- » MAC (eng. Medium Access Control) – vrši mapiranje na transportne kanale, te je odgovoran za HARQ procese i raspoređivanje (eng. scheduling),
- » fizički sloj – obavlja mapiranje na fizičke kanale te provodi kanalno kodiranje, modulaciju i sl.

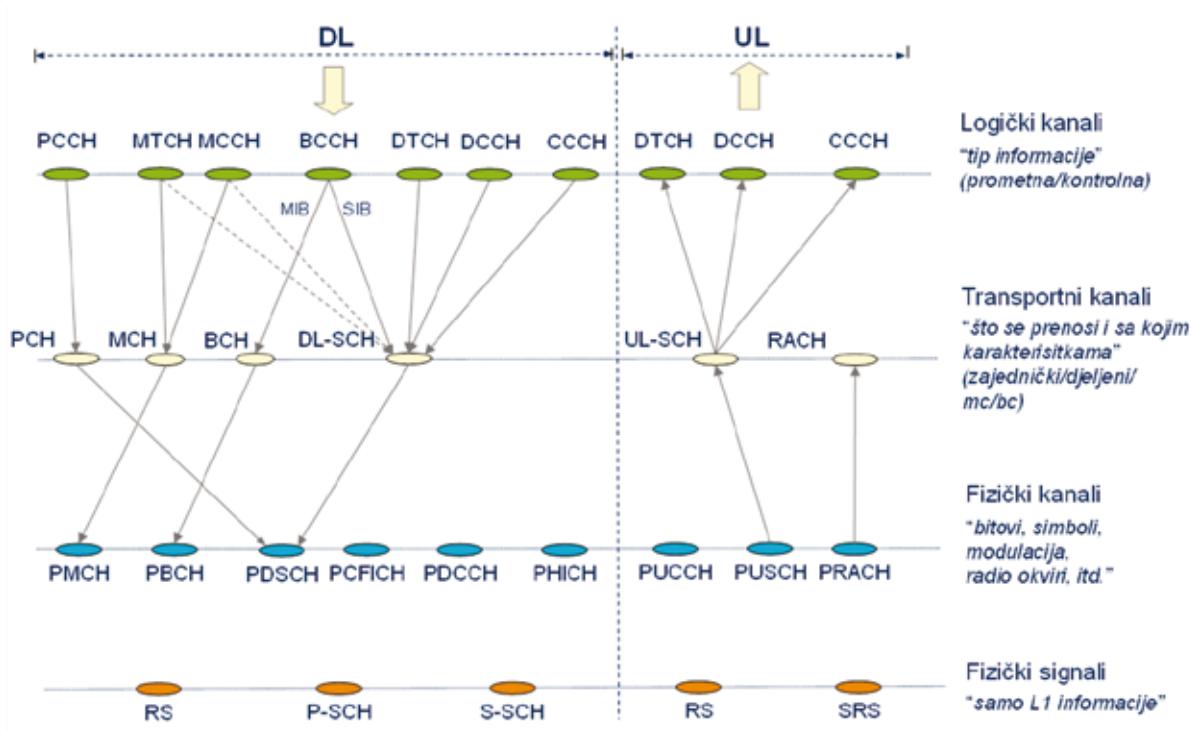
5.1 Struktura kanala

Logički kanali opisuju koji tip podataka se prenosi, a dijele se na kontrolne (za prijenos informacija kontrolne ravnine) i prometne (za prijenos informacija korisničke ravnine). LTE podržava sljedeće logičke kanale:

- » odašiljački kontrolni kanal (BCCH – eng. Broadcast Control Channel) – za odašiljanje sistemskih kontrolnih informacija u silaznoj vezi,
- » kontrolni kanal za upravljanje radio pozivima (PCCH – eng. Paging Control Channel) – za prijenos radio poziva (eng. paging) u silaznoj vezi (koristi se kad mreža ne zna točnu lokaciju mobilne stanice),
- » zajednički kontrolni kanal (CCCH – eng. Common Control Channel) – za odašiljanje kontrolnih informacija između mreže i UE u oba smjera (obično ga koriste one mobilne stanice koje nemaju RRC konekciju s mrežom i mobilne stanice koje koriste zajedničke transportne kanale kad pristupaju novoj ćeliji nakon rezbora ćelije),
- » pridijeljeni kontrolni kanal (DCCH – eng. Dedicated Control Channel) - dvosmjerni kanal za odašiljanje kontrolnih informacija između mreže i mobilne stanice (uspostavlja se kroz postupak RRC uspostave konekcije),
- » kontrolni kanal za grupno odašiljanje (MCCH – eng. Multicast Control Channel) - za prijenos MBMS raspoređivanja i kontrolnih informacija prema mobilnim stanicama koje koriste MBMS,
- » pridijeljeni prometni kanal (DTCH – eng. Dedicated Traffic Channel) – kanal dodijeljen samo jednoj mobilnoj stanici za prijenos korisničkih informacija (postoji u oba smjera),
- » prometni kanal za grupno odašiljanje (MTCH – eng. Multicast Traffic Channel) – za prijenos prometnih podataka prema mobilnim stanicama koje koriste MBMS.

Logički kanali mapiraju se na transportne kanale. Broj transportnih kanala za LTE je sveden na minimum kako bi se izbjegle česte promjene tipova kanala koje uvode nepotrebna kašnjenja:

- odašiljački kanal (BCH – eng. Broadcast Channel) – koristi se za prijenos specifičnih informacija u silaznoj vezi prema svim mobilnim stanicama na području jedne ćelije, ne podržava upravljanje dijagramom zračenja,
- dijeljeni kanal u silaznoj vezi (DL-SCH – eng. Downlink Shared Channel) – kanal čiji se resursi dijele između korisnika u silaznoj vezi, podržava adaptaciju veze izmjenama modulacije, kodiranja ili odašiljačke snage, diskontinuirani prijem (DRX – eng. Discontinuous Reception) te ima mogućnost upravljanja dijagramom zračenja,
- pozivni kanal (PCH – eng. Paging Channel) – odašilje se u cijeloj ćeliji, podržava diskontinuirani prijem,
- kanal za grupno odašiljanje (MCH – eng. Multicast Channel) – MBMS transportni kanal koji se odašilje na području cijele ćelije, podržava MBMS odašiljanje s više ćelija (MBSFN – eng. MBMS Single Frequency Network),
- dijeljeni kanal u uzlaznoj vezi (UL-SCH – eng. Uplink Shared Channel) – kanal čiji se resursi dijele između korisnika na uzlaznoj vezi, podržava adaptaciju veze izmjenama modulacije, kodiranja ili odašiljačke snage, a moguće je i upravljanje dijagramom zračenja,
- kanal za slučajni pristup (RACH – eng. Random Access Channel) – kanal u uzlaznoj vezi koji se koristi za ostvarivanje vremenske sinkronizacije te odašiljanje informacija za pribavljanje odobrenja za slanje podataka, više UE se najčešće natječe za njegovo odašiljanje.



Slika 16: Mapiranje kanala

Fizički sloj prima podatke za odašiljanje s MAC sloja u obliku transportnih blokova. Osim fizičkih kanala na koje se izravno mapiraju odgovarajući transportni kanali (PDSCH – eng. Physical Downlink Shared Channel, PUSCH – eng. Physical Uplink Shared Channel, PBCH – eng. Physical Broadcast Channel, PMCH – eng. Physical Multicast Channel i PRACH – eng. Physical Random Access Channel) imamo i fizičke kanale koji nose kontrolne informacije sa MAC sloja ili prema njemu:

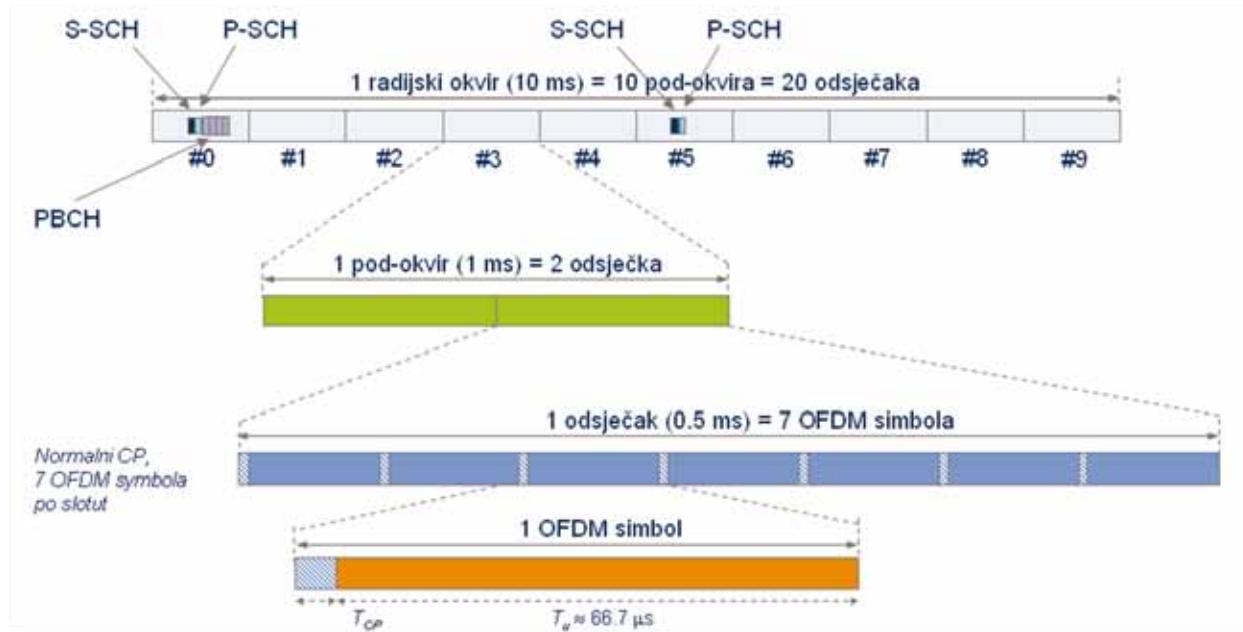
- » fizički kontrolni kanal u silaznoj vezi (PDCCH – eng. Physical Downlink Control Channel) – kontrolna signalizacija (za kontrolu snage, raspoređivanje u silaznoj vezi i odobravanje raspoređivanja u uzlaznoj vezi),
- » fizički kontrolni kanal u uzlaznoj vezi (PUCCH – eng. Physical Uplink Control Channel) – kontrolna signalizacija (zahtjevi za raspoređivanjem u uzlaznoj vezi, CQI, ACK/NACK),
- » kanal indikatora kontrolnog formata (PCFICH – eng. Physical Control Format Indicator Channel) – definira format PDCCH na silaznoj vezi,
- » kanal HARQ indikatora (PHICH – eng. Physical Hybrid ARQ Indicator Channel) – prenosi HARQ informacije (ACK/NACK) u silaznoj vezi.

Osim fizičkih kanala postoje i fizički signali koji podržavaju funkcije fizičkog sloja ali ne prenose nikakvu informaciju s MAC sloja:

- » referentni signali (RS – eng. Reference Signals) – za mjerjenja i koherentnu detekciju u silaznoj i uzlaznoj vezi, prenesena sekvenca jednoznačno definira ćelije (proizvod 3 ortogonalne sekvene i 168 pseudo-slučajnih sekvenci – ukupno 504 moguće sekvene),
- » sinkronizacijski signali (P-SCH i S-SCH – eng. Primary and Secondary Synchronization signals) – koriste se u silaznoj vezi u procesu izbora ćelije (definiraju sinkronizaciju na okvire i služe za detekciju identiteta ćelije),
- » referentni signal za ispitivanje (SRS – eng. Sounding Reference Signal) – za mjerjenja radi raspoređivanja u uzlaznoj vezi.

5.2 Struktura fizičkoga sloja radijskog sučelja

Slika 17. ilustrira vremensku domenu strukture LTE prijenosa u slučaju FDD radnog moda (vrijedi za silaznu i uzlaznu vezu, osim PBCH, P-SCH i S-SCH odsječaka koji su prisutni samo u silaznoj vezi). Svaki radijski okvir (eng. frame) od 10 ms sadrži 10 pod-okvira (trajanja 1 ms), od kojih se svaki sastoji od dva podjednaka odsječaka (eng. slot). Ovisno o trajanju cikličkog prefiksa (normalni – 4,7 µs ili produženi – 16,7 µs), jedan odsječak nosi 7, odnosno 6 OFDM simbola (trajanja 66,7 µs). Na razini jednog pod-okvira (1ms) obavlja se raspoređivanje (eng. scheduling) korisnika.

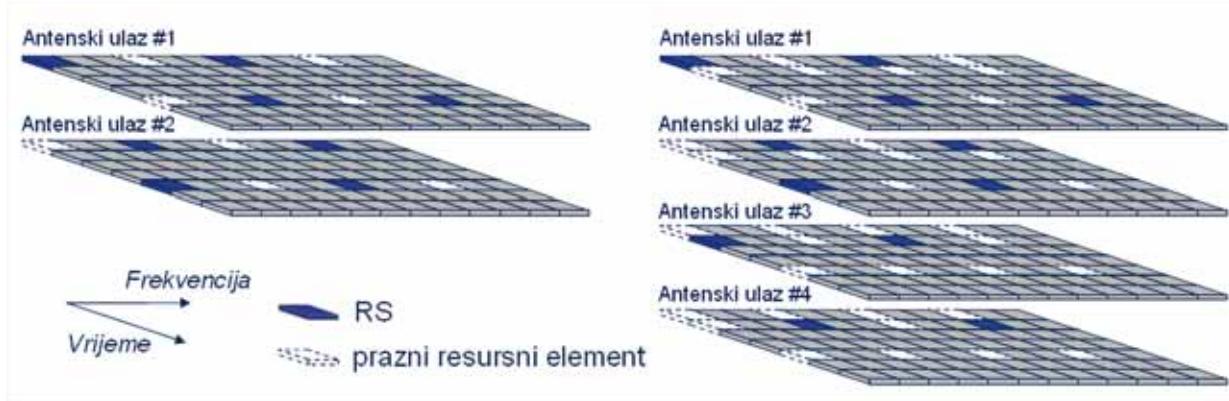


Slika 17: Struktura LTE-FDD moda u vremenskoj domeni

U slučaju TDD radnog moda struktura u vremenskoj domeni izgleda drugačije zbog same prirode tog moda (silazna i uzlazna veza se izmjenjuju u određenim pod-okvirima, ovisno o izabranoj konfiguraciji, tj. omjeru DL/UL prometa). To je ujedno i jedina stvarna razlika u korištenju FDD ili TDD radnog moda – sve ostalo je identično.

Dvanaest OFDM podnositelja za trajanja jednog odsječka (0.5 ms) čini jedan resursni blok (RB). Svaki resursni blok sadrži 84 resursna elementa (12 podnositelja x 7 OFDM simbola). Pojedini resursni elementi u silaznoj vezi pridjeljuju se odgovarajućim fizičkim kanalima ili signalima na sljedeći način (promatrajući vremensku i frekvencijsku domenu za FDD slučaj):

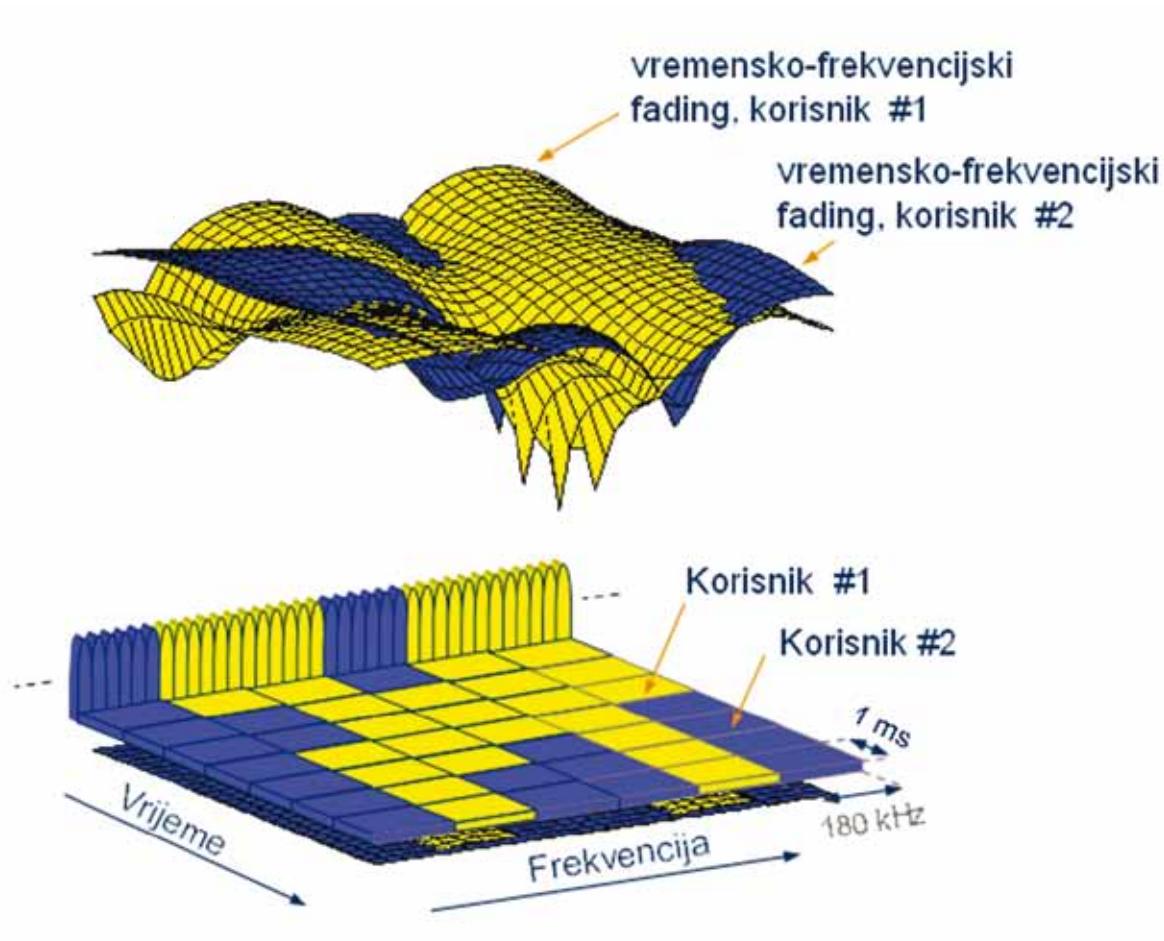
- » PBCH – šalje se u pod-okviru br. 0, odsječak br.1, simboli 0-3 tijekom 4 uzastopna radijskih okvira (tj. kroz 40 ms) – koriste se samo 72 centralna podnositelja (tj. 6 RB) u frekvencijskoj domeni,
- » SCH – šalje se u pod-okviru br. 0 i 5, odsječak br. 0 i 10, simboli 5 (S-SCH) i 6 (P-SCH) – koristi se samo 60 centralnih podnositelja (tj. unutar 6 RB) u frekvencijskoj domeni,
- » PDCCH – šalje se u 1-4 prvih simbola svakog odsječka, osim na resursnim elementima već iskorištenim za PCFICH i PHICH (po 4 resursna elementa na prvom simbolu), kao i za RS,
- » RS – umeću se na specifične pozicije u vremensko-frekvencijskoj mreži resursnih elemenata ovisno o antenskoj konfiguraciji (primjer - slika 18).



Slika 18: Raspored referentnih simbola (RS) za slučaj upotrebe više-antenskih rješenja (silazna veza)

5.3 Raspoređivanje resursa

Raspoređivanje (eng. scheduling) korisnika obavlja se u vremenskoj i frekvenčijskoj domeni na razini jednog odsječka (1 ms, trajanje dva RB), odnosno 12 podnositelja (širina jednog RB), što definira rasporedni blok (eng. Scheduling block). U silaznoj vezi korisniku mogu biti dodjeljeni razmaknuti rasporedni blokovi, na temelju adaptacije na kvalitetu signala u vremensko-frekvenčijskoj domeni.

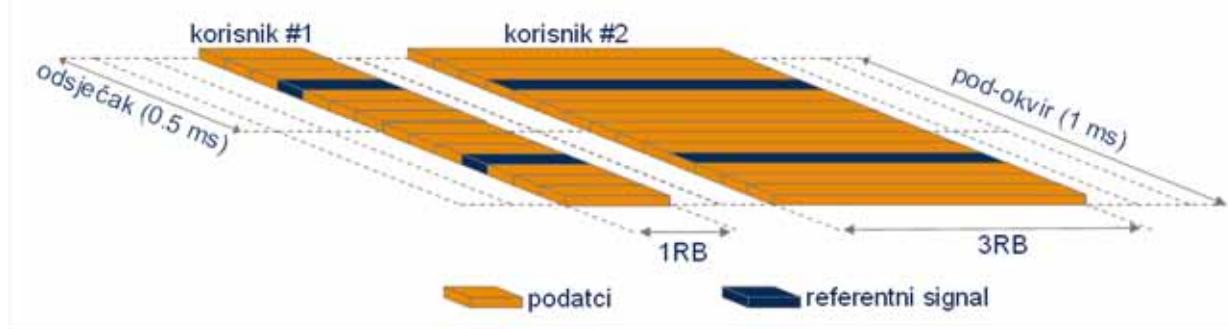


Slika 19: Raspoređivanje ovisno o kvaliteti kanala (silazna veza)

Iskoristivost resursnih elemenata u silaznoj vezi za korisnički promet (tj. PDSCH kanal) ovisi o korištenoj širini frekvencijskog pojasa. Tako za slučaj s 1,4 MHz čak do 40% svih resursnih elemenata otpada na kontrolne kanale, dok se u slučaju s 20 MHz to spušta i ispod 20% (budući da su PBCH i SCH definirani samo na centralnih 1,4 MHz).

U slučaju uzlazne veze raspodjela je nešto drugačija budući da se resursi jednom korisniku dodjeljuju kao kontinuirani blok (zbog SC-FDMA principa). Korisnik gledano u vremenskoj domeni može dobiti različit broj rasporednih bolokova svakih 1ms, no taj broj mora biti ili 1 ili višekratnik brojeva 2, 3 ili 5.

Referentni signali (RS) svakog korisnika šalju se na njegovim simbolima br. 3 i 11. Referentni signal za ispitivanje (SRS) se za sve korisnike šalje na simbolu br. 0, neovisno o dodijeljenom frekvencijskom pojusu za korisničke podatke (PUSCH). Fizički kontrolni kanal u uzlaznoj vezi (PUCCH) se dijeli između više korisnika, a šalje se na prvom i zadnjem resursnom bloku korištenog frekvencijskog opsega.



Slika 20: Raspoređivanje korisnika u uzlaznoj vezi

6 Ericsson i LTE

Ericsson kao jedan od ključnih nositelja globalnih otvorenih standarda od samih početaka sudjeluje u procesu razvoja i standardizacije LTE/SAE tehnologije. Ericsson vjeruje da samo globalni, otvoreni standardi mogu povećati telekomunikacijski promet i prihode za operatore širom svijeta te omogućiti prvorazredne neograničene komunikacije i usluge za korisnike. Zbog toga Ericsson igra veliku i aktivnu ulogu u svim najutjecajnijim međunarodnim standardizacijskim tijelima, uključujući i 3GPP.

Ericsson otpočetka aktivno sudjeluje i unutar LTE/SAE ispitne inicijative (LSTI – eng. LTE/SAE Trial Initiative) uz niz operatora i proizvođača opreme. Cilj te otvorene inicijative je industrijalizacija LTE/SAE tehnologije kroz demonstracije mogućnosti LTE/SAE opreme u odnosu na zahtjeve od strane 3GPP-a i NGMN-a, kao i stimulacija razvoja LTE/SAE ekosustava. Ericsson je prvi demonstrirao rad FDD i TDD moda na istoj platformi osnovnih postaja, poziv s kraja-nakraj (E2E) na ručnim uređajima, rad u više-čelijskom okruženju s više simultanih korisnika uz mobilnost te brzine od 1.2Gbit/s.

Nakon što je sredinom prosinca 2009.godine Telia Sonera u suradnji s Ericsson-om u Stockholmu pokrenula prvu komercijalnu LTE mrežu u svijetu, otpočela je nova era mobilnog širokopojasnog pristupa. Zahvaljujući pokazanim performansama mreže u Stockholmu, već mjesec dana kasnije Telia Sonera je izabrala Ericsson kao jedinog isporučitelja zajedničke jezgrene mreže u nordijskim i baltičkim državama, te kao isporučitelja LTE radio baznih stanica u Švedskoj i Norveškoj. Osim navedenog, Ericsson je do kraja 2010. godine potpisao LTE ugovore i s kompanijama Verizon Wireless i MetroPCS u SAD (prva komercijalno pokrenuta LTE mreža na američkom kontinentu), NTT DoCoMo u Japanu, China Mobile u HongKongu te s još nekoliko europskih operatora. U tijeku je također niz testiranja i demonstracija sa svim velikim operatorima, čije su LTE mreže pred komercijalnim pokretanjima.

Ericsson Nikola Tesla također aktivno sudjeluje u razvoju i implementaciji LTE sustava, npr. kroz razvoj novih funkcionalnosti koje će omogućiti nesmetano korištenje 2G/3G i LTE mreža. Tako npr. SRVCC (eng. Single Radio Voice Call Continuity) omogućava da poziv iniciran u E-UTRAN domeni s komutacijom paketa od strane IMS preplatnika bude nesmetano nastavljen nakon prebacivanja (eng. handover) u GERAN/UTRAN domenu s komutacijom kanala i obratno. CS fallback je pak komplementarna funkcija koja omogućava upotrebu standardnih servisa iz CS domene u domeni LTE/E-UTRAN. Stručnjaci Ericssona Nikole Tesle od samih početaka sudjeluju u definiranju metodologije dimenzioniranja radijskog dijela mreže (LTE RAN). U suradnji Ericssona Nikole Tesle i Hrvatskog Telekoma, krajem 2010.godine, Hrvatska se našla među prvim zemljama koje implementiraju probnu LTE mrežu.

6.1 Osnovne karakteristike radijske opreme

Posljednje generacije osnovnih postaja za WCDMA (iz RBS 3000 obitelji) i GSM (iz RBS 2000 obitelji) već su unaprijed pripremljene za uvođenje LTE rješenja. One će podržavati LTE na postojećem hardveru uz tek neznatnu hardversku dogradnju s novim radijskim jedinicama i dodatnom procesnom jedinicom u osnovnom pojasu (eng. baseband).



Slika 21: Univerzalni moduli za Ericssonove osnovne postaje (RBS)

Nova obitelj osnovnih postaja RBS 6000 predstavlja kompletno rješenje za multi-standardni čvor (GSM, WCDMA i LTE). Unutar istog kabineta nalaze se radijske jedinice (RU – eng. Radio Unit), digitalne jedinice (DU – eng. Digital unit), napajanje, transportna oprema, klimatizacija i baterije (u vanjskoj izvedbi). Radijske i digitalne jedinice isprva su dostupne ili u zasebnim varijantama po pojedinoj tehnologiji (npr. RUL i DUL za LTE), ili u multi-standardnoj varijanti (RUS i DUS) gdje se softverski određuje izbor podržane tehnologije (ili kombinacije istih).

Radijska jedinica uključuje primopredajnik (TRX), pojačalo, dupleks, antenske filtre i nadzor odnosa stojnih valova (VSWR). Tako npr. RU za LTE podržava 60 W izlazne snage na širini frekvencijskog pojasa od 20 MHz. Više radijskih jedinica može se kombinirati u različite konfiguracije (npr. 1-6 sektora, 1 ili 2 pojasa od 20 MHz). S 2 RU po sektoru podržani su MIMO, TX diversity te 4-smjerni RX diversity. Ugrađena je i podrška za TMA/ASC/RIU po 3GPP/AISG standardu.

Digitalna jedinica obavlja procesiranje u osnovnom pojasu (eng. baseband), distribuciju sinkronizacijskog signala, procesiranje kontrolnih informacija, sučelje za transportnu mrežu, međupovezivanje radijskih jedinica te sučelje za održavanje i nadzor. DU za LTE trenutačno podržava vršne vrijednosti protoka podataka od 173 Mbit/s, maksimalno 500 simultanih korisnika te potpunu IP povezivost uz gigabitno Ethernet sučelje prema transportnoj mreži.



Slika 22: RBS 6102 osnovna postaja

7 Zaključak

LTE predstavlja novi 3GPP standard za prijenos podataka u širokopojasnim mobilnim mrežama, na putu k četvrtoj generaciji (4G) mobilnih mreža. Osnovne karakteristike LTE-a zasnovanog na korištenju OFDM radijske pristupne tehnologije i više-antenskih rješenja (MIMO) uključuju ostvarivanje velikih brzina prijenosa (isprva do 150 Mbit/s, kasnije čak i do 1 Gbit/s) uz vrlo malo kašnjenje pri prijenosu i uspostavi konekcije (do 10 ms), a sve uz mogućnost istodobnog pružanja širokopojasnog pristupa velikom broju korisnika mobilne mreže.

Veliku prednost u uvođenju LTE tehnologije predstavlja njena fleksibilnost, posebice po pitanju korištenja različitih frekvencijskih opsega (od trenutačno aktualnih, do nekih novih, npr. 700 MHz ili 2,6 GHz) uz različite dostupne širine pojasa (od 1,4 do 20 MHz). Važno je napomenuti i pojednostavljenu arhitekturu samog sustava zasnovanu na evoluiranoj jezgrenoj mreži (EPC) i all-IP rješenju, kao i olakšani i automatizirani nadzor i upravljanje nad samom mrežom.

LTE tehnologija prošla je prilično brz proces od standardizacije do današnje komercijalne realizacije. Po prvi puta govorimo o globalnom, opće prihvaćenom standardu, i to od strane brojnih proizvođača opreme i terminala kao i mobilnih operatera diljem svijeta.

Popis kratica

3G – Third Generation
3GPP – Third Generation Partnership Project
AMPS – Advanced Mobile Phone Service
CDMA – Code Division Multiple Access
C/I – Carrier to Interference
D-AMPS – Dual-mode AMPS
DRX – Discontinuous Reception
EPC – Evolved Packet Core
EDGE – Enhanced Data rates for GSM Evolution
eNodeB – Evolved Node B
E-UL – Enhanced Uplink
E-UTRAN – Evolved UTRAN
FDD – Frequency Division Duplex
FDMA – Frequency Division Multiple Access
FFT – Fast Fourier Transform
GGSN – Gateway GPRS Support Node
GPRS – General Packet radio Service
GSM – Global System for Mobile Communications
HARQ – Hybrid Automatic Repeat Request
HSDPA - High Speed Downlink Packet Data Access
HSPA - High Speed Packet Access
HSPA+ – Evolved HSPA
HSUPA - High Speed Uplink Packet Access
IFFT – Inverse Fast Fourier Transform
IP – Internet Protocol
ISI – Inter Symbol Interference
ITU – International Telecommunication Union
LSTI - LTE/SAE Trial Initiative
LTE – Long-Term Evolution
MAC – Medium Access Control
MBMS – Multimedia Broadcast and Multicast Services
MIMO – Multiple Input, Multiple Output
NGMN – Next Generation Mobile Networks
MME – Mobility Management Entity
NMT – Nordic Mobile Telephony
OFDM – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OFDMA – Orthogonal Frequency-Division Multiple Access

QAM – Quadrature Amplitude Modulation
 QoS – Quality of Service
 QPSK – Quadrature Phase Shift Keying
 PAPR – Peak to Average Power Ratio
 PDC – Personal Digital Communications
 PGW – Packet Data Network Gateway
 RAB – Radio Access Bearer
 RAN – Radio Access Network
 RBS – Radio Base Station
 RLC – Radio Link Control
 SC-FDMA – Single Carrier - Frequency Division Multiple Access
 SGSN – Serving GPRS Support Node
 SGW – Serving Gateway
 SINR – Signal to Interference and Noise Ratio
 TACS – Total Acces Communication System
 TCP – Transmission Control Protocol
 TDD – Time Division Duplex
 TDMA – Time Division Multiple Access
 TD-SCDMA – Time Division - Synchronous Code Division Multiple Access
 TTI – Time Transmission Interval
 UE – User Equipment
 UMTS – Universal Mobile Telecommunication System
 UTRA – UMTS Terrestrial Radio Access
 UTRAN – UMTS Terrestrial Radio Access Network
 WCDMA – Wideband Code Division Multiple Access
 WLAN – Wireless Local Area Network
 VoIP – Voice over IP

Literatura

1. E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, P. Beming «3G Evolution - HSPA and LTE for Mobile Broadband», Academic Press - Elsevier, 1. izdanje, 2007.
2. 3GPP TR 36.300 (V8.10.0) « Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2», rujan 2009.
3. T. Blajić «Evolucija radijske pristupne mreže u mobilnim sustavima treće generacije», ETK Revija, studeni 2006.
4. T. Blajić, M. Družijanić, Z. Čimić «Prospects of MIMO Techniques for Broadband Wireless Systems», Mipro CTI, svibanj 2006.
5. T. Blajić, D. Nogulić, M. Družijanić «Latency Improvements in 3G Long Term Evolution», Mipro CTI, svibanj 2006.

6. N.Malić « Univerzalni sustav pokretnih telekomunikacija », ETK Revija, studeni 2003.
7. 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 16. prosinca 2010.