

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU



OSNOVE LTE TEHNOLOGIJE
–Diplomski rad–

Kandidat:

Pavel Crnomarković 1997/0195

Mentor:

doc. dr Zoran Čiča

Beograd, Septembar 2016.

SADRŽAJ

SADRŽAJ	2
1. UVOD.....	3
2. PREGLED TEHNOLOGIJA MREŽA MOBILNE TELEFONIJE PRE LTE (G4) STANDARDA	4
2.1 PRVA GENERACIJA (1G) MOBILNE TELEFONIJE	4
2.1.1. NTT (Japan).....	4
2.1.2. NMT (Skandinavija).....	5
2.1.3. AMPS (Severna Amerika)	6
2.2. DRUGA GENERACIJA (2G) MOBILNE TEHNOLOGIJE.....	7
2.2.1. GSM	7
2.2.2. Frekvencije nosioca GSM signala	10
2.2.3. Koderi govornih signala	10
2.2.4. SIM kartice.....	10
2.2.5. Metode zaštite u okviru GSM standarda.....	10
2.2.6. GPRS (2.5G).....	11
2.2.7. EDGE (2.75G).....	11
2.3. TREĆA GENERACIJA UMTS (3G)	12
2.3.1. UTRAN.....	13
3. LTE.....	15
3.1. OSNOVNO O LTE STANDARDU	15
3.2. OČEKIVANJA OD LTE STANDARDA	17
3.3. SAE TEHNOLOGIJA	20
3.4. E-UTRAN ARHITEKTURA	21
3.5. DIJAGRAMI PRESEKA STRUKTURE PROTOKOLA UNUTAR LTE ARHITEKTURE	22
3.5.1. Nosioci (Bearers) u LTE-u.....	23
3.5.2. LTE protokolski stek	24
3.6. MAC i PHY	28
3.6.1. Kanali	28
3.6.2. Mapiranje kanala na DL.....	29
3.6.3. Mapiranje kanala na UL.....	30
3.6.4. Random Access Procedure	30
3.7. POSTUPCI PRI KONEKTOVANJU UE NA VEB SERVIS	32
3.7.1. Prijavljivanje UE na Mrežu	32
3.7.2. Pristup servisu bez garancije kvaliteta	33
3.7.3. Pristup servisu sa garancijom kvaliteta.....	35
3.9. OFDMA	36
3.10. MIMO METODA	37
3.11. VoLTE (VOICE OVER LTE) SERVIS	38
4. ZAKLJUČAK.....	39
LITERATURA.....	41
SPISAK SKRAĆENICA	43

1. UVOD

Mobilni širokopoljasni internet je danas postao realnost i vrlo brzo se širi kako pripadnici „Internet generacije“ polako odrastaju, navikli da u svakom trenutku i na svakom mestu imaju kvalitetan širokopoljasni internet, a ne da za njegov pristup budu vezani za lokaciju svoje kuće, škole ili kancelarije.

Do početka 2016-te godine, očekivalo se da broj mobilnih pretplatnika sa širokopoljasmim internetom u svetu dostigne cifru od približno 5 milijardi. Ovi korisnici koriste HSPA i LTE mreže. HSPA (*High Speed Packet Access*) je standard koji omogućava mobilnim mrežama treće generacije (3G/WCDMA) da korisnicima pruže pristup širokopoljasmom internetu, ovo proširenje je standardizovano od strane 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) komiteta (tj. grupe) za standardizaciju 3G mobilnih mreža.

Uvođenje LTE (*Long-Term Evolution*) tehnologije donelo je mnogo više nego puko unapređenje dotadašnje tehnologije bežičnih mobilnih sistema. Ključna promena ogleda se u tome što je ova tehnologija od početka koncipirana primarno kao mreža za paketski prenos podataka (IP), a tek sekundarno kao mreža mobilne telefonije (za prenos govora). LTE standard se ubrzano nameće kao standard za narednu četvrtu generaciju mobilne telefonije (4G), svi bitni činiooci u svetu mobilne tehnologije, daju punu podršku ovom standardu tako da on neće imati problem da se nametne kao globalni standard.

Mobilni sistemi četvrte generacije (4G) donose mobilni internet velikih protoka koji može da se koristi na laptopovima, tabletima, pametnim telefonima (*Android, iOS, WinPhone, ...*) i drugim mobilnim uređajima.

Svaki standard koji se donosi političkom odlukom „grupe za standardizaciju“ naravno nosi neke sitne propuste. U dosadašnjoj eksploataciji glavne zamerke su u tome što usvojena arhitektura sistema nije u potpunosti u skladu sa IP (OSI) modelom protokola, takođe postoje i manji problemi sa interferencijom. Evolutivnim napretkom ovog standarda i ovi sitni propusti će se polako otklanjati.

Ovaj rad će predstaviti u osnovnim crtama LTE (4G) mobilnu tehnologiju, a pre toga biće izložen kratak pregled prethodnih generacija mobilnih mreža.

2. PREGLED TEHNOLOGIJA MREŽA MOBILNE TELEFONIJE PRE LTE (G4) STANDARDA

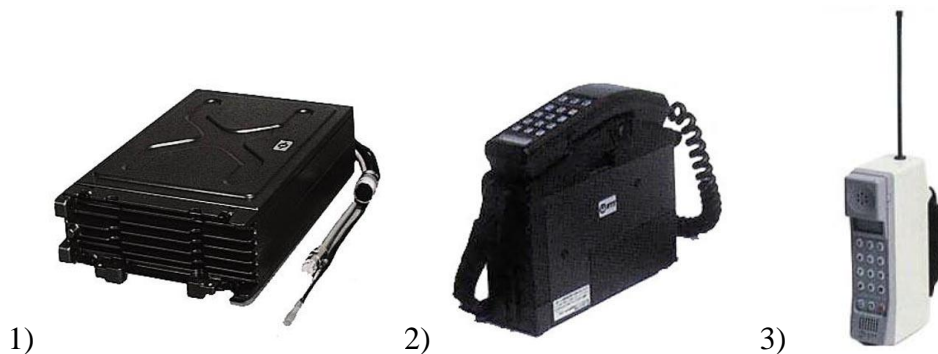
2.1 Prva generacija (1G) mobilne telefonije

U doba 1G generacije mobilne telefonije globalni standard nije postojao pa su se po regionima komercijalni provajderi udruživali i uspostavljali regionalne standarde ili izlazili na tržište sa sopstvenim standardom koji je pokrivaio samo domicilnu državu. Uporedo u više regiona-država tekle su pripreme za lansiranje lokalnih G1 mreža. U Italiji smo imali RTMI, u V. Britaniji TACS, u Zapadnoj Nemačkoj i Portugalu C-450, u Francuskoj Radiocom 2000 itd. sem ovih lokalnih standarda bilo je i nekoliko dosta uticajnih regionalnih standarda.

2.1.1. NTT (Japan)

Prva generacija mobilne telefonije pojavila se 1979 u Japanu, tačnije samo u okviru centra Tokija. Bila je to mreža po TZ-801 standardu (automobilski telefonija) japanskog državnog telekoma NTT. Veću komercijalnu primenu 1G generacija je doživela posle 1980-te godine. NTT je u toku te dekade koristio četiri mreže, svaku sa posebnim standardom TZ-801, TZ-802, TZ-803 i TZ-804.

Postojala je i konkurencija DDI provajdera sa mrežom po JTAC standardu. Dakle, u Japanu je tokom 1980-tih funkcionisalo nekoliko G1 mreža paralelno na istoj teritoriji. Ove tehnologije su bile striktno analogne, glas se prenosio analogno modulisan na nekoj višoj frekvenciji iznad 150 MHz, svaka od mreža je imala sopstvenu frekvenciju.



Slika 2.1.1.1. Evolucija NTT (G1) mobilnih korisničkih aparata [3]

Na slici 2.1.1.1. prikazana je izgled mobilnih uređaja, prve generacije, od starijih ka novijim:

- 1) TZ-801 Automobilski telefon *Panasonic TZ-801* (1979)
- 2) TZ-802 Prenosni mobilni telefon *Panasonic TZ-802A* (1985)
- 3) TZ-802 Ručni mobilni telefon *Panasonic TZ-802B* (1987)

2.1.2. NMT (Skandinavija)

U Evropi najveći region je pokrivaio NMT (*Nordic Mobile Telephone*) koji je korišćen u Norveškoj, Finskoj, Švedskoj, Holandiji, Rusiji, manje-više celoj istočnoj Evropi uključujući i Srbiju, zemljama Persijskog zaliva itd. Razvoj ovog sistema je trajao čitavu deceniju od 1970 do 1980 godine.

Tokom 1981 godine NMT mreže su simultano počele sa radom u Norveškoj, Danskoj, Finskoj i Švedskoj, postojale su u dve varijante NMT-450 i NMT-900. Iz samog imena se da zaključiti da su radile na frekvencijama 450MHz i 900MHz. Čelije ovih mreža nisu bile fiksne veličine, već zavisno od potrebe mogle su biti od 2Km do 30Km u prečniku. Mreže sa ćelijama manjeg prečnika davale su bolji kvalitet i pružale mogućnost za gušći saobraćaj tj. više opsluženih simultanih poziva preko iste bazne stanice.



Slika 2.1.2.1. NMT korisnički aparati [1][2]

Na slici 2.1.2.1. prikazani su sledeći mobilni uređaji:

- 1) NMT-450 automobilski *Ericsson* „Hot Line“ NMT 450 (1981) i ručni telefon *Ericsson* „Hot Line Pocket“ NMT 900 (1987)
- 2) NMT-900 Mobira ručni telefon *Mobira (Nokia)* „Cityman“ NMT 900 (1987)

Ovaj standard je od samog početka omogućavao pun dupleks pri razgovoru. Snage korisničkih aparata su bile u slučaju automobilskeg telefona limitirane na 15W (NMT-450) i 6W (NMT-900), a u slučaju korisničkog ručnog telefona 1W za obe varijante mreže. Handover je bio rešen na nivou hardvera, takođe roaming i naplata u okviru mreže bili su od starta rešeni preko NMT standarda.

Komunikacija mobilni aparat bazna stanica se obavljala preko jednog kanala. Govorna komunikacija je išla kao neskremljovani FM modulirani govorni kanal a signalizacija kao FFSK (*Fast Frequency Shift Keying*) sa brzinom od 600 do 1200 bit/sec. Posledica ovog rešenja je bila da su se pri handover-ima obavezno dolazilo do pojave jakog šuma u govornom kanalu. Standard se dugo zadržao u ruralnim delovima gde su velike površine pokrivene jednom ćelijom, a zbog prirode tehnologije pokrivenost morske obale ili ravničarskih predela je dosta dobra. Takođe, smetnje koje se javljaju pri slabijem prijemu, ne ometaju osnovnu komunikaciju pa je ovaj standard dosta dugo opstajao u bespućima Sibira ili korišćen na morskim površinama koje okružuju Island, međutim prenamena delova spektra koji koristi NMT standard tj. dodela njegovih frkvencija drugim tehnologijama dovela je do neminovnog gašenja navedenog standarda.

2.1.3. AMPS (Severna Amerika)

U Severnoj Americi, dakle Kanadi i SAD-u, Izraelu i Pakistanu zaživeo je AMPS standard. Komercijalna primena ovog standarda je krenula 1983. godine. AMPS se oslanja na FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) tehnologiju što znači da povećanjem broja korisnika raste i potreba za brojem kanala. Pošto se po kanalu fiksne (frekvencijske) širine može obavljati samo jedna konverzacija, mreže ove tehnologije obično pate od manjka kanala. Inicijalno standard je definisan sa 21 frekvencijom za kontrolne kanale i 395 parova frekvencija za govorne kanale, komunikacija se obavlja uvek u dupleks režimu.

Tokom godina stalno su dodeljivane nove frekvencije, čak i UHF 70-83 kanali analogne televizije. Na kraju AMPS je završio sa 416 parova frekvencija za govorne kanale. Svaki govorni kanal je uzimao 30MHz, što je u dupleksu činilo 60MHz po aktivnom korisniku, u frekvencijskim bendovima 824–849 MHz za predaju od korisnika ka baznoj stanici i 869–894 MHz za prijem od bazne stanice ka korisniku.



Slika 2.1.3.1. AMPS najznačajniji mobilni telefoni [5]

Na slici 2.1.3.1. prikazani su neki od AMPS mobilnih uređaja:

- 1) *Motorola DynaTAC 8000X* (1983) - prvi ručni „mobilni“ telefon
- 2) *Motorola MicroTAC 9800X* (1989)
- 3) *IBM Simon* (1994) - prvi „smartfon“

Standard je patio od mnogih problema. Zakonski je bilo zabranjeno prodavati prijemnike u gornjim opsezima AMPS standarda (frekvencije za predaju ka baznoj stanici) zbog čestih krađa kodova korisnika. Provajderi ovih mreža i korisnici su pretrpeli veliku štetu zbog nedovoljne zaštite kontrolnih kanala, bilo je izuzetno lako, već početkom 1990-tih krasti kodove mobilnih telefona i uz pomoć njih praviti štetu mreži i drugim korisnicima. Standard je sada već ugašen, zakonska obaveza održavanja usluge je istekla 2008 godine, bio je približno 25 godina u upotrebi.

2.2. Druga generacija (2G) mobilne tehnologije

Druga generacija (2G) mobilne telefonije predstavlja korak napred po svim bitnim parametrima u odnosu na prvu (1G) generaciju. Uvodi se skremblovanje i digitalizacija govornih kanala.

Uvode se novi servisi:

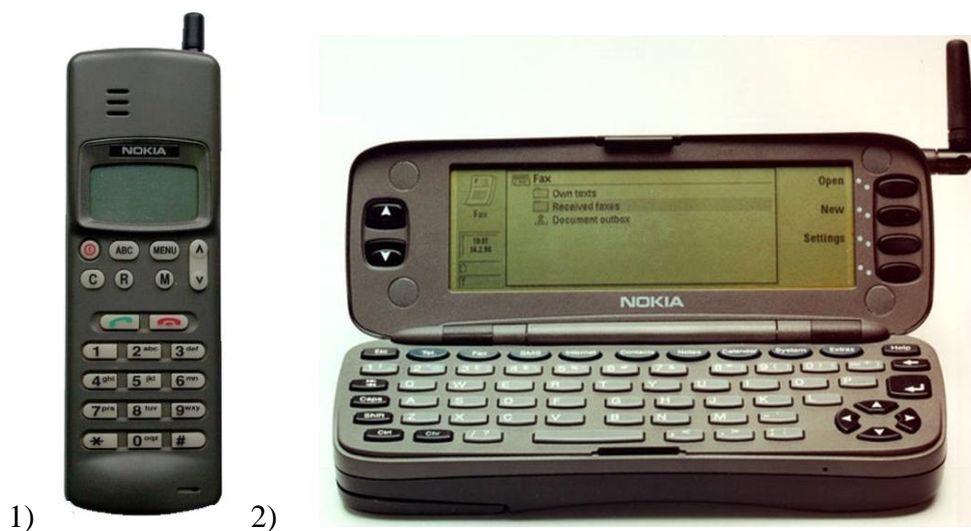
- 1) SMS (tekstualne poruke)
- 2) MMS (multimedijalne poruke)
- 3) fax poruke

Digitalizacijom govornih kanala i primenama kompresionih metoda povećava se spektralna efikasnost i postižu se daleko bolji rezultati u potiskivanju šuma u odnosu na prvu generaciju (1G) mobilnih mreža. Najvažniji predstavnici su CDMA u SAD-u i GSM u Evropi i u ostatku sveta.

2.2.1. GSM

GSM (*Global System for Mobile Communication*) je standard mobilne telefonije razvijen od strane ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) kojim se definišu protokoli za drugu generaciju (2G) digitalnih ćelijskih mreža mobilne telefonije. GSM je prvi put primenjen u Finskoj 1991. Do 2014 GSM se zadržao sa tržišnim učešćem od 90% u ukupnom svetskom tržištu mobilne telefonije, poslujući u ukupno 219 zemalja i teritorija.

Osnovni GSM standard je definisao mrežu mobilne telefonije, koja komutaciju radi na nivou kola, definisani su kanali za govornu komunikaciju, bilo je predviđeno da se prenos podataka ostvaruje preko signalnih kanala, ali sve se završilo na tome da se ovi kanali koriste za prenos SMS poruka, tek će ekstenzije GSM standarda (2.5G i 2.75G) omogućiti komotniji prenos podataka. Ovo je standard iz koga će se laganom evolucijom preko GPRS, EDGE, UMTS doći do LTE.

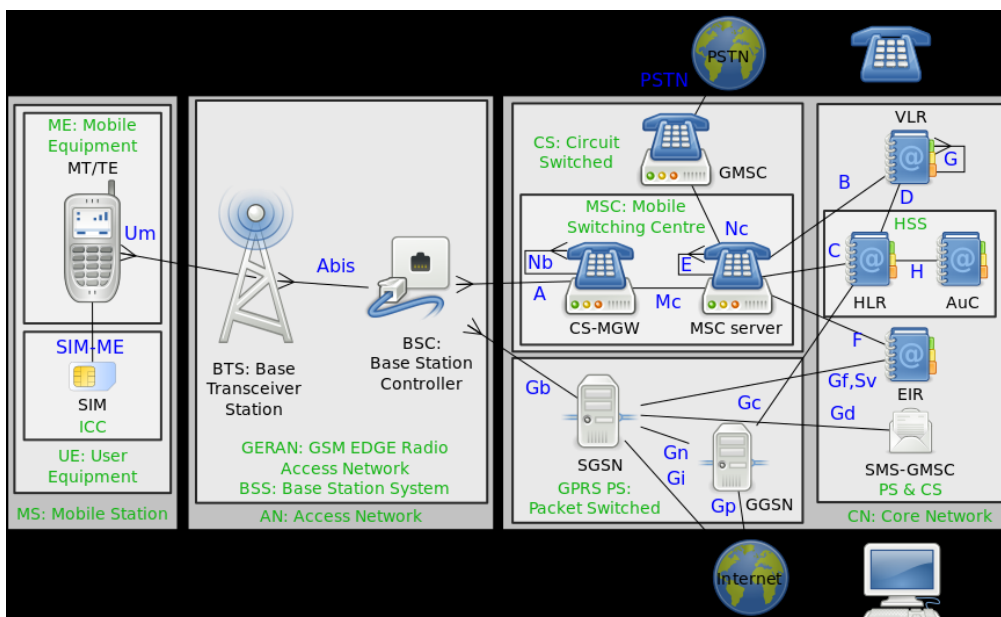


Slika 2.2.1.1. Počeci GSM standard [6][7]

Na slici 2.2.1.1. prikazani su neki od prvih GSM mobilnih uređaja:

- 1) Prvi GSM mobilni telefon *NOKIA 101* (1992)
- 2) Prvi GSM „smartfon“ *Nokia 9000 Communicator* (1996)

i) *Struktura GSM*



Slika 2.2.1.2. Struktura GSM mreže mobilne telefonije [6]

Struktura uobičajene GSM mreže (slika 2.2.1.2.) se sastoji od:

- 1) BSS (*Base Station Subsystem*) – Podsystem bazne stanice: bazne stanice i njihovi kontroleri
- 2) *Network and Switching Subsystem* – Podsystem mreže i komutacije: deo mreže najsličniji mreži fiksne telefonije, ponekad se samo naziva „*core network*“ – jezgro mreže
- 3) *GPRS Core Network* – Opcioni dodatak omogućava paketski saobraćaj prema Internetu
- 4) OSS (*Operations support system*) – Sistem za pružanje podrške tj. održavanje mreže

Na svakom od ovih podsystema postoje unapređenja u odnosu na 1G. Podsystem baznih stanica je značajno promenjen. Površina koju pokrivaju ćelije je promenljiva kao i kod 1G ali su klase ćelija fiksne pa sad ćelije mogu biti: makro, mikro, piko i femto veličine. Ovolike vrste ćelija služe da bi se prostor koji želi da se pokrije mrežom, mogao sa što manje interferencije pokriti, a da pokrivenost opet bude dobra tj. da se manje površine koje padnu u neku „senku“ mogu pokriti ovim minijaturnim ćelijama. Ako se želi podići propusna moć mreže, tj. broj korisnika koji na toj lokaciji mogu koristiti mrežu, recimo unutar neke zgrade, dodaju se pikoćelije koje pokrivaju samo tu zgradu.



Slika 2.2.1.3. Elementi GSM BSS [11]



Slika 2.2.1.4. Elementi GSM BSS [11]

Na slikama 2.2.1.3. i 2.2.1.4. prikazan je deo GSM podsistema, bazna stanica marke Siemens u outdoor okruženju i izgled otvorenog reka, takođe bazne stanice marke Siemens BS 1800MHz BTS, respektivno.

2.2.2. Frekvencije nosioca GSM signala

Frekvencije koje se koriste najčešće su 800-850-900 MHz i 1800-1900 MHz, sem ova dva opsega, koristi se i opseg 450-400 MHz tamo gde su ranije ukinute frekvencije za 1G mobilnu telefoniju. Pri emisiji signala koristi se TDMA tehnologija što omogućava da 8 korisnika koristi govorni kanal pun-dupleks kvaliteta ili 16 korisnika polu-dupleks kvaliteta. Ova tehnologija se oslanja na princip „vremenskih slotova“. Maksimalna brzina protoka jednog GSM TDMA kanala je 270,833 Kbit/sec koristeći svih 8 kanala, a trajanje jednog punog frejma (okvira) ovog TDMA kanala je 4,615 ms. Maksimalna snaga predaje za mobilne aparate je 2W za GSM 850/900MHz i 1W za GSM 1800/1900 MHz.

2.2.3. Koderi govornih signala

Koderi govornog signala se koriste da bi se govorni kanal širine 3,1 KHz (analogni signal) A/D (analogno/digitalnom) konverzijom komprimovao u bitski protok govornog kanala. Kod originalnog GSM-a se koristi LPC kompresija u dve varijante: prva sa protokom 6,5 Kbit/sec (kanal polovine pune širine) i druga 13Kbit/sec (kanal pune širine). Dakle, koderi se međusobno razlikuju i proširenjem standarda je uvek moguće dodati neki novi koder.

2.2.4. SIM kartice

SIM (*Subscriber Identity Module*) je kartica na koju je moguće beležiti nešto podataka. Svrha kartice je identifikacija prema mreži, čuvanje bitnih podataka korisnika kao što je imenik i ona omogućava da korisnik ima mogućnost da na jednostavan način zameni telefon, samo izvadi karticu i prebaci je u novi aparat. Takođe, ove kartice su pružale mogućnost operateru mreže da zaključa konkretni aparat na neku mrežu ili za neku konkretnu SIM karticu.

2.2.5. Metode zaštite u okviru GSM standarda

GSM mreže koriste više nivoa zaštite, prvi su *pre-shared keys* (fiksni ključevi za šifriranje, koji koriste ključ koji mora biti prethodno poznat korisniku tj. njegovom mobilnom aparatu), a drugi postavljanje raznih upita prema korisniku tj. njegovom aparatu. Ovo nisu jedine zaštite svaka mreža može po potrebi da doda neku dodatnu zaštitu. I pored evidentno mnogo ozbiljnijeg pristupa u odnosu na (1G), nivo razvoja hardvera je 2011 doveo do opasnih bezbednosnih proboja GSM-a koji su pokazali da je zaštita definisana po GSM standardu iz 1991 (upotrebljen stari Motorolin standard šifriranja), nedovoljna. Proširenja standarda koja su došla posle ovog trenutka (posle 2011) dala su velike pomake na planu bezbednosti.

2.2.6. GPRS (2.5G)

GPRS (*General Packet Radio Service*) je predstavljao je proširenje GSM standarda i pružao je mogućnost prenosa podataka, paketskim saobraćajem, spada u „*best-effort*“ servise što znači da će se mreža truditi da omogući što veći protok i što manje latencije prema korisniku ali da broj korisnika koji simultano koristi servis može lako ugroziti obećane performanse. Dakle servis funkcioniše, ali bez garancije kvaliteta usluge. GPRS pruža brzine protoka podataka od 56-114 Kbit/sec, suština ove tehnologije je u tome da budu iskorišćeni vremenski slotovi, koje je propustila u nekom trenutku da iskoristi GSM mreža, međutim ovaj princip polazi od pretpostavke da dotična GSM mreža nije zagušena i preopterećena saobraćajem govorne komunikacije, što ne mora uvek da bude tačno. GPRS je integrisan u GSM standard posle *GSM Release 97* specifikacije.

Servisi koje podržava ovaj standard su: SMS, „*Always ON*“ internet pristup (tj. „uvek na Internetu“), MMS, *Push-to-talk* (PoC – poludupleks konverzacija grupe ljudi tj. pravljenje konferencija), *Instant messaging* – varijanta *chat* komunikacije, WAP protokol – varijanta HTML protokola prilagođena brouzerima mobilnih telefona, P2P i P2M protokoli za paketsku komunikaciju.

GPRS koristi FDD (*Frequency Division Duplex*) i TDMA tehnologije. FDD je metoda kojom više korisnika deli iste frekvencije. Paketi su limitirani protokom koji pruža *time slot* GSM signala. UL (*uplink*) paketi se tretiraju po „R-ALOHA“ algoritmu, a DL (*downlink*) paketi po „*First Come First Serve*“ algoritmu. Koristi se metoda statističkog multipleksiranja u vremenskom domenu, tj. ne koriste svi korisnici sve resurse neprekidno pod punim opterećenjem tokom svog vremena.

2.2.7. EDGE (2.75G)

EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) tehnologija zahteva određene promene u radio delu 2.5G mreže ali relativno lako ju je implementirati na već postojeće mreže pošto ne traži promene u CN (*CORE NETWORK*), izuzev u softveru. Suština promene je prelazak sa GMSK (*Gaussian Minimum Shift-Keying*) na 8PSK (*8 Phase-shift keying*) čime se grubo rečeno triplira bitski protok u odnosu na GSM. Druga izmena se ogleda u prelasku na Hybrid-ARQ to je adaptivna metoda koja umesto da ako ima problema na prijemu paketa šalje ponovo isti paket ona menja odnos u broju bita redudanse i bita koji nprenose podatke tako da povećava verovatnoću da paket bude ispravno primljen. EDGE se pridržava propisane MSC (*Modulation and Coding Scheme*) šeme, tj. zavisno od kvaliteta radio kanala menja modulacije i broj redudantnih bita po koracima iz MSC šeme, pa time ili povećava protok ili poboljšava prijem paketa.

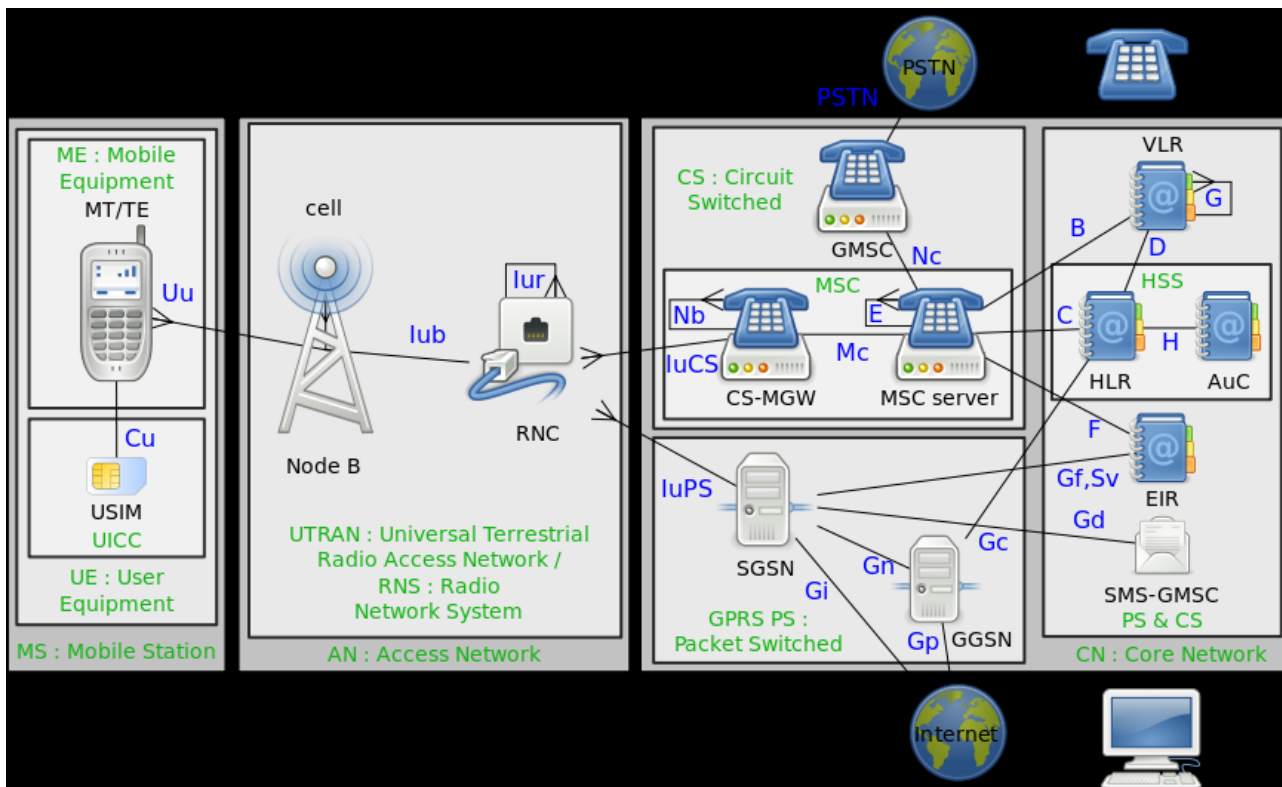
2.3. Treća generacija UMTS (3G)

Ova generacija je zamišljena, ne kao nadgradnja 2G mreža, već novi početak što se tiče infrastrukture, mreže ove generacije su unazad kompatibilne sa 2G mrežama ali ne i sa recimo EDGE, dakle korisnici koji imaju adekvatne mobilne aparate po 3G standardu, mogu u isto vreme da budu prijavljeni i na GSM mrežu kao i na UMTS mrežu. Glavna razlika i prednost u odnosu na GPRS i EDGE je u tome što bi 3G mreža trebalo da bude u stanju da pruže viši kvalitet usluge i da bude u stanju da donekle garantuje taj nivo usluge. Dva zastupljena standarda su CDMA2000 u Severnoj Americi i UMTS u Evropi i ostatku sveta.

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) je treća generacija (3G) ćelijskih mreža mobilne telefonije. Standard je razvijen i propisan od 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*). Za razliku od EDGE i CDMA2000 koji funkcionišu kao proširenje svojih 2G standarda, UMTS zahteva kompletno novu opremu i dodelu novih frekvencija. Po UMTS standardu mreža se sastoji od (slika 2.3.1.):

- 1) RAN (*Radio Access Network*) - *UMTS Terrestrial Radio Access Network* tj. skraćeno UTRAN
- 2) CN (*Core Network*) - *Mobile Application Part* ili skraćeno MAP
- 3) SIM (*Subscriber Identity Module*) - Autentifikacija se obavlja korisnika preko SIM kartice.

Tehnologija definisana u UMTS standardu se na još jedan način predstavlja i kao FOMA (*Freedom of Mobile Multimedia Access*) ili 3GSM.



Slika 2.3.1. Struktura UMTS mreže mobilne telefonije [9]

UMTS podržava maksimalan protok od 42Mbit/sec kada je *Evolved HSPA* (HSPA+) proširenje UMTS standarda implementirano u mreži. Naravno ovo je su samo teoretski rezultati u idealnom slučaju. Maksimum za originalni *UMTS Release '99* (R99) je 384 Kbit/sec, a za slučaj da je HSDP (*High-Speed Downlink Packet Access*) proširenje primenjeno na DL onda je maksimalan protok pri DL-u 7,2 Mbit/sec. Za upoređenje ovih brzina mogu da posluže maksimumi DL brzine prethodne generacije, recimo jedan GSM kanal sa komutacijom na nivou kola daje protok od 9,6 Kbit/sec, ovaj protok raste na 9,6 Kbit/sec po kanalu za HSCSD (*High-Speed Circuit-Switched Data*) i 14,4 Kbit/sec po kanalu za CDMAOne, a uobičajena su ograničenja na maksimalno četiri dodeljena kanala. Dakle UMTS i u najgorem slučaju pruža višestruko veće brzine *downlink*-a od prethodnih GSM, GPRS i EDGE tehnologija.

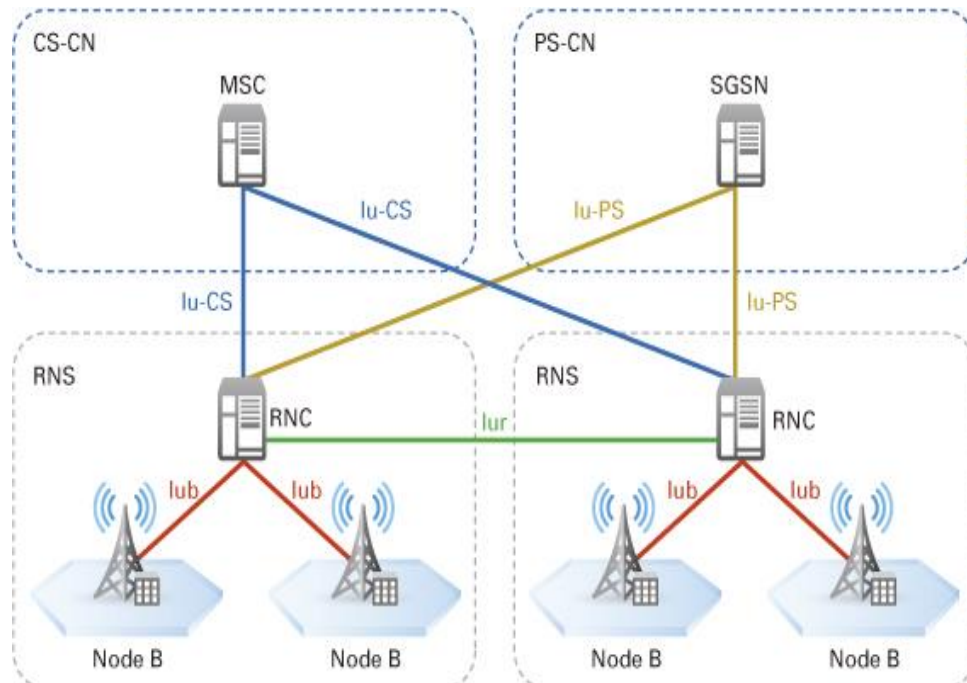
2.3.1. UTRAN

UTRAN (*UMTS Radio Access Network*) je mreža za pristup UMTS tehnologije mreža mobilne telefonije. UTRAN se sastoji od tri interfejsa: radio interfejsa UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*) koji postoji u tri varijante, onda nasleđenog GSM MAP (*Mobile Application Part*) interfejsa i familije nasleđenih GSM kodeka govornog signala.

UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*) je radio pristupna mreža mobilne telefonije po UMTS standardu i postoji u tri varijante:

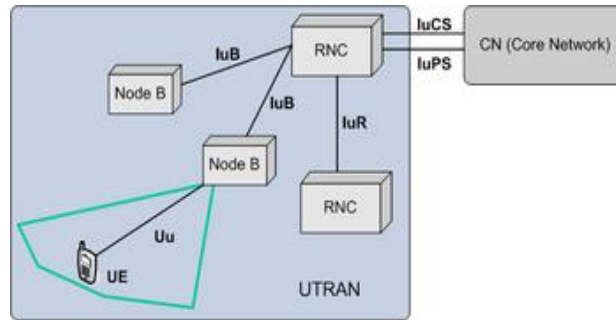
- 1) W-CDMA (WCDMA)
- 2) UTRA-FDD (UMTS-FDD) ili IMT-2000 (CDMA DS)

Ova pristupna mreža omogućava prenos govornih poziva, SMS, MMS kao i prethodne generacije mobilne telefonije, ono što je novo jesu brzine paketskog prenosa koje kod ove mreže za pristup, omogućavaju i višestruko nadmašuju protoke u mrežama prethodne generacije.



Slika 2.3.1.1. UTRAN [15]

Na slici 2.3.1.1. prikazana je arhitektura UTRAN mreže.



Slika 2.3.1.2. UTRAN [15]

Na slici 2.3.1.2. prikazana je arhitektura UTRAN mreže iz perspektive pojedinacnog RNC.



Slika 2.3.1.3. eNB [13]

Na slici 2.3.1.3. prikazan je *eNB NEC Macro Node B NB-880 (indoor) / NB-881(outdoor)*



Slika 2.3.1.4. UMTS BS [9]

Na slici 2.3.1.4. prikazana je UMTS bazna stanica locirana na krovu zgrade.

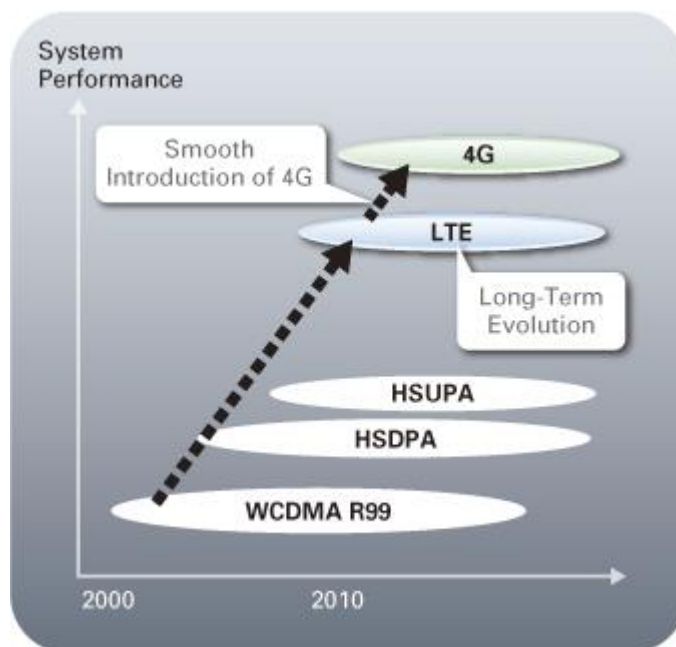
3. LTE

3.1. Osnovno o LTE standardu

LTE (*Long Term Evolution*) je naziv bežičnog interfejsa za mobilne telekomunikacione sisteme. To je poslednji korak (slika 3.1.1.) ka četvrtoj generaciji (4G) mobilnih radio tehnologija dizajniranih da se poveća kapacitet i brzinu kao i da se smanje latencije mreža mobilne telefonije. Za razliku od dosada aktuelnih generacija mobilnih telekomunikacionih mreža koje su kolektivno poznate kao 3G (UMTS, CDMA2000) LTE se reklamira kao 4G mreža, dakle ona nosi značajna poboljšanja u odnosu na 3G.

3GPP komitet [16] je postavio skup zahteva vrlo visokog nivoa i identifikovao ih kao glavne ciljeve LTE standarda:

- 1) Smanjenje troškova po prenesenom bitu
- 2) Poboľjšano pružanje servisa - više različitih servisa po istoj ceni uz poboljšano iskustvo korisnika
- 3) Povećanu slobodu i fleksibilnost pri korišćenju postojećih i lako dodeljivanje novih frekvencija
- 4) Pojednostavljenje arhitekture i uvođenje otvorenog interfejsa
- 5) Dopušta se razumna granica potrošnje snage



Slika 3.1.1. Planirani put evolucije do 4G standarda [15]

Pored toga što su promene vrlo skokovite između 3G (UMTS, CDMA2000) generacije i LTE tehnologije (4G) na njih se gleda kao na tehnološku evoluciju ka 4G generaciji. Najveća promena kod LTE tehnologije se ogleda u korišćenju potpuno novog radio interfejsa (tabel 3.1.1.). LTE koristi OFDMA/SC-FDMA umesto CDMA koji su koristile u raznim varijantama različite verzije 3G standarda. Pored ovoga postoji puno sličnosti u arhitekturi LTE (4G) i prethodnih 3G standarda pa postoji prostor da se delovi te arhitekture iskoriste i za 4G. LTE može da se posmatra kao još jedan evolutivni korak na polju funkcionalnosti, težnji ka većim brzinama protoka i opštem poboljšanju performansi.

Tabela 3.1.1. Teoretski protoci paketskog saobraćaja za 3G i LTE [14] [17]

	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA / HSUPA	HSPA+	LTE
Max downlink speed bps	384 k	14 M	28 M	100M
Max uplink speed bps	128 k	5.7 M	11 M	50 M
Latency round trip time approx	150 ms	100 ms	50ms (max)	~10 ms
3GPP releases	Rel 99/4	Rel 5 / 6	Rel 7	Rel 8
Approx years of initial roll out	2003 / 4	2005 / 6 HSDPA 2007 / 8 HSUPA	2008 / 9	2009 / 10
Access methodology	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SC-FDMA

Pojava LTE tehnologije je donela i nekoliko novih tehnoloških rešenja do tada nepoznatih u prethodnim tehnologijama ćelijskih mobilnih mreža. Ove tehnologije su omogućile da LTE pokaže bolju spektralnu efikasnost, kao i da obezbedi mnogo veće protoke podataka zbog čega se prvenstveno ova tehnologija i uvodi. Neke od ovih tehnologija su:

- 1) OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) tehnologija je uključena u LTE jer omogućava visok propusni opseg za prenos podataka, koji se prenose vrlo efikasno. Ova tehnologija i pored velikog propusnog opsega obezbeđuje visok stepen otpornosti na razne refleksije i smetnje.
- 2) MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) tehnologija prevazilazi jedan od glavnih problema sa kojim su se prethodni telekomunikacioni sistemi redovno sretali. Ovo je problem sa refleksijama (višestrukim propagacijama istog signala, reflektovanog od različitih objekata, koji na prijem stižu u različitim vremenskim trenucima), kod prethodnih sistema, refleksije su posmatrane kao neželjena pojava koju treba suzbijati pošto ometaju prijem korisnog signala. Ovde naprotiv MIMO tehnologija koristi propagaciju signala po različitim putanjama da bi se poboljšao prijem i povećao propusni opseg.
- 3) SAE (*System Architecture Evolution*) tehnologija omogućava bolje latencije i veću propusnost sistema, uz određene promene u arhitekturi mreže. Jedna od ovih promena je da se neke od funkcija koje su prethodno obrađivane u jezgri mreže (CN) sada prebačene ka periferiji mreže. Suštinski ove promene donose mnogo jednostavniju arhitekturu, „ravniju“ i bližu IP OSI modelu. Na ovaj način se značajno obaraju latencije i paketi podataka se sad mogu mnogo direktnije rutirati ka svom odredištu.

3.2. Očekivanja od LTE standarda

Tabela 3.2.1. Pregled glavnih karakteristika mreža po LTE standardu [17]

LTE BASIC SPECIFICATIONS	
PARAMETER	DETAILS
Peak downlink speed 64QAM (Mbps)	100 (SISO), 172 (2x2 MIMO), 326 (4x4 MIMO)
Peak uplink speeds (Mbps)	50 (QPSK), 57 (16QAM), 86 (64QAM)
Data type	All packet switched data (voice and data). No circuit switched.
Channel bandwidths (MHz)	1.4, 3, 5, 10, 15, 20
Duplex schemes	FDD and TDD
Mobility	0 - 15 km/h (optimised), 15 - 120 km/h (high performance)
Latency	Idle to active less than 100ms Small packets ~10 ms
Spectral efficiency	Downlink: 3 - 4 times Rel 6 HSDPA Uplink: 2 -3 x Rel 6 HSUPA
Access schemes	OFDMA (Downlink) SC-FDMA (Uplink)
Modulation types supported	QPSK, 16QAM, 64QAM (Uplink and downlink)

Sledeći ciljevi su usaglašeni između vodećih provajdera i proizvođača opreme u cilju definisanja početka evolucije 3G mreža (LTE) [15]:

- 1) Vršne brzine protoka podataka (*Peak data rate*):
 - a) Veoma brz DL sa vršnom brzinom protoka od 100Mbit/sec, preko dodeljenih 20MHz spektra u namenu DL-a (5 bps/Hz)
 - b) Veoma brz UL sa vršnom brzinom protoka od 50Mbit/sec, preko takođe dodeljenih 20MHz spektra u namenu *uplink*-a (2.5 bps/Hz)
- 2) Kašnjenja (latencije) u kontrolnoj ravni:
 - a) Vreme prelaska, iz stanja mirovanja (*Release 6 Idle Mode*) u aktivno stanje (*Release 6 CELL_DCH*), kraće od 100ms.
 - b) Vreme prelaska, iz prikrivenog stanja (*Release 6 CELL_PCH*) u aktivno stanje (*Release 6 CELL_DCH*), kraće od 50ms.
- 3) Kapacitet kontrolne ravni: najmanje 200 korisnika treba da bude podržano u aktivnom stanju da bi bio dodeljen spektar širine 5MHz
- 4) Kašnjenja u korisničkoj ravni: manja od 5ms pri uslovima minimalne opterećenosti (npr. jedan korisnik i jedan tok podataka) za paket podataka minimalne dužine

- 5) Protoci ka korisniku:
 - a) DL (*downlink*): prosečni korisnički protok po MHz upotrebljenog propusnog opsega, tri do četiri puta veći u odnosu na *3GPP Release 6 HSDPA (3G)* brzinu DL-a.
 - b) UL (*uplink*): prosečni korisnički protok po MHz upotrebljenog propusnog opsega, dva do tri puta viši u odnosu na *3GPP Release 6 Enhanced (3G)* brzinu UL-a.
- 6) Spektralna efikasnost:
 - a) DL: u opterećenoj mreži, cilj je da po lokaciji spektralna efikasnost (bita/sec/Hz po lokaciji) bude tri do četiri puta veća u odnosu na *3GPP Release 6 HSDPA (3G)* spektralnu efikasnost DL-a.
 - b) UL: u opterećenoj mreži, cilj je da po lokaciji spektralna efikasnost (bita/sec/Hz po lokaciji) bude dva do tri puta veća u odnosu na *3GPP Release 6 Enhanced (3G)* spektralnu efikasnost UL-a.
- 7) Mobilnost korisnika:
 - a) E-UTRAN (*Evolved UTRAN*) trebao bi biti optimizovan za niže brzine kretanja mobilnog korisnika od 0 km/h do 15 km/h (pri ovim brzinama mreža pruža najviše brzine protoka).
 - b) Pri višim brzinama kretanja korisnika od 15 do 250 km/h mreža bi još uvek trebalo da pruža visoke brzine protoka.
 - c) Mreža bi trebalo i za brzine korisnika od 120 do 350 km/h da pruži određeni nivo usluga, zavisno od dodeljenog frekvencijskog benda postoji mogućnost i za pružanje osnovnih usluga korisniku koji se kreće do brzine od 500 km/h.
- 8) Prostorna pokrivenost: brzina protoka podataka, spektralna efikasnost i mobilnost korisnika su najbolje zadovoljene sa veličinom ćelije prečnika 5km. Uz pristanak na blagu degradaciju prethodnih osobina ćelija može biti sa prečnikom do 30km. Ćelije sa prečnikom većim od 100km ne bi trebalo da budu razmatrane u LTE tehnologiji.
- 9) MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Services*):
 - a) Višestruka predaja (multikast) omogućava smanjenje složenosti, pri transmisiji paketa identični su modulacija, kodovanje, tehnika višestrukog pristupa, dodeljeni frekvencijski opsezi za korisničku opremu (*UE - User Equipment*) i sve to se pojednostavljuje u odnosu na unicast predaju.
 - b) Mogućnost simultanog (jednovremenog) pružanja usluge MBMS (multikast) i korišćenje kanala govorne komunikacije (unikast).
 - c) Otvorenost za upareno i neupareno korišćenje spektra (predaja - prijem).
- 10) Fleksibilnost pri upotrebi spektra:
 - a) E-UTRA će raditi dodelu spektralnih kanala različitih veličina, uključujući kanale širine: 1,25 MHz, 1,6 MHz, 2,5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz i 20 MHz. Svi ovi kanali se naravno dodeljuju i u UL i u DL smeru, takođe biće podržan i rad u uparenom i neuparenom režimu, dakle asimetrična upotreba kanala pri DL-u ili UL-u.

- b) Sistem će biti u stanju da podrži dopremanje sadržaja (*content delivery network*) preko više resursa, uključujući resurse radio opsega (neki od drugih resursa su snaga, adaptivne optimizacije, itd.) koji mogu biti unutar istog ili različitih radio opsega (bendova), u UL i u DL smeru, takođe ti kanali mogu biti izabrani kao susedni, a mogu i kao nesusedni. „Resurs radio opsega“ se definiše kao sav spektar dostupan na korišćenje datom operateru.

11) Mogućnost koegzistencije tj. paralelnog rada LTE (4G) i 3GPP radio pristupnih mreža:

- a) Koegzistencija unutar iste geografske celine kao i na konkretnoj mikro lokaciji između E-UTRAN (4G LTE) i UTRAN/GERAN (3G/EDGE) uz korišćenje bliskih kanala.
- b) E-UTRAN korisnički uređaji koji su u stanju da pored mreža ovog standarda koriste još i UTRAN/GERAN mreže, trebaju biti u stanju da u svakom trenutku prate i mere nivo signala i ako je to potrebno vrše handover ka UTRAN/GERAN mrežama ili kontra handovera od 3GPP mreža ka E-UTRAN.
- c) Vreme za koje se prekidaju *real-time* servisi pri handoveru između E-UTRAN i UTRAN/GERAN mreža treba biti kraće od 300ms.

12) Arhitektura mreže i mogućnost migracije:

- a) Potrebna je radio pristupna mreža E-UTRAN arhitekture (nova mreža).
- b) Arhitektura E-UTRAN mreže je adekvatna za paketski saobraćaj mada ona treba takođe da pruži sistemsku podršku saobraćaju *real-time* servisa kao i podršku saobraćaju govorne komunikacije.
- c) E-UTRAN arhitektura treba da minimalizuje mogućnost postojanja mikrolokacija na kojima se potpuno gubi prijem LTE mreže ili nekih servisa.
- d) E-UTRAN arhitektura podržava „sa kraja na kraj“ mreže praćenje kvaliteta servisa tj. QoS (*Quality of Service*).
- e) Protokoli za komunikaciju *backhaul* telekomunikacionih mreža trebaju biti dodatno optimizovani za primenu u LTE mrežama.

13) Zahtevi na polju menadžmenta radio resursa:

- a) Dodatna podrška za „sa kraja na kraj“ mreže praćenje QoS.
- b) Efikasna podrška za prenos servisa viših slojeva.
- c) Podrška za deljenje protoka između mreža različitih radio tehnologija (E-UMTS, UMTS, GERAN,...) ka nekom zajedničkom korisniku ili grupi korisnika...

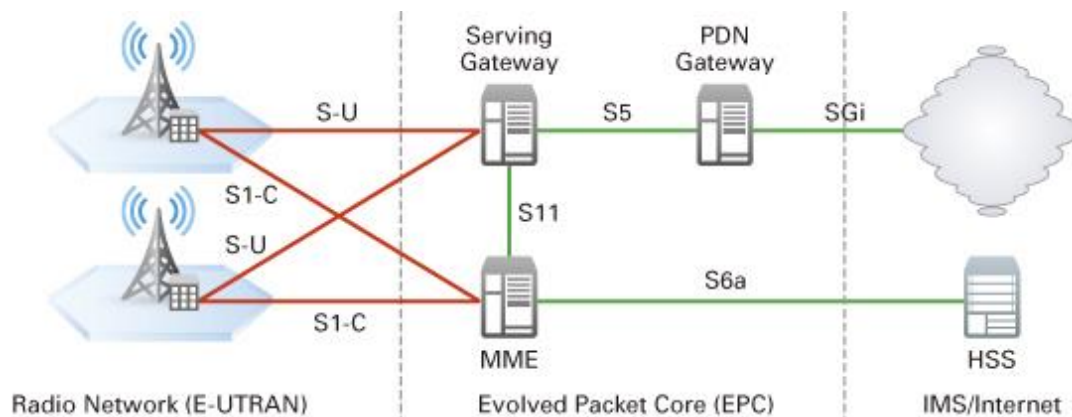
14) Kompleksnost:

- a) Cilj je minimizovanje broja opcija (za postizanje određenog servisa ili usluge).
- b) Obavezno izbacivanje suvišnih opcija.

Pridržavanje prethodnih preporuka (neke od glavnih stavki prikazane su u tabeli 3.2.1.) omogućava veće protoke podataka (50-100 Mbit/sec) i brža vremena uspostave veze što je najveći pomak u odnosu na 3G/3.5G mreže. Sve ovo je postignuto na taj način što je 3GPP izabrao OFDMA modulaciju kao i uvođenje MIMO principa u mrežu za radio pristup. LTE takođe uvodi metodu naprednog raspoređivanja protoka po zajedničkim kanalima za podatke. Bolje protoke takođe omogućavaju tehnologije HARQ (*Hybrid ARQ*), metoda za smanjenje grešaka pri paketskom prenosu primenjena na fizičkom (PHY) sloju i AMC (*Adaptive Modulation and Coding*).

3.3. SAE Tehnologija

SAE (*System Architecture Evolution*) je oblik arhitekture (slika 3.3.1.) i dizajna mreže prilagođen da pojednostavi saobraćaj prema drugim paketski (IP) orijentisanim mrežama. SAE arhitektura koristi eNB (E-UTRAN bazna stanica - *evolved NodeB*) i aGW (*access Gateway*), dakle uklanja RNC i SGSN iz 3G UTRAN arhitekture što pojednostavljuje radio deo mobilne mreže. Ovo takođe čini mogućim da ova mreža bude bliska ravnom IP modelu („*All-IP*“) mrežne arhitekture. SAE arhitektura, takođe, uključuje sve module potrebne za punu i nesmetanu saradnju tj. paralelan rad sa drugim bežičnim radio tehnologijama (WCDMA, WiMAX, WLAN, ...). Ove tehnologije mogu biti podržane od strane LTE arhitekture.



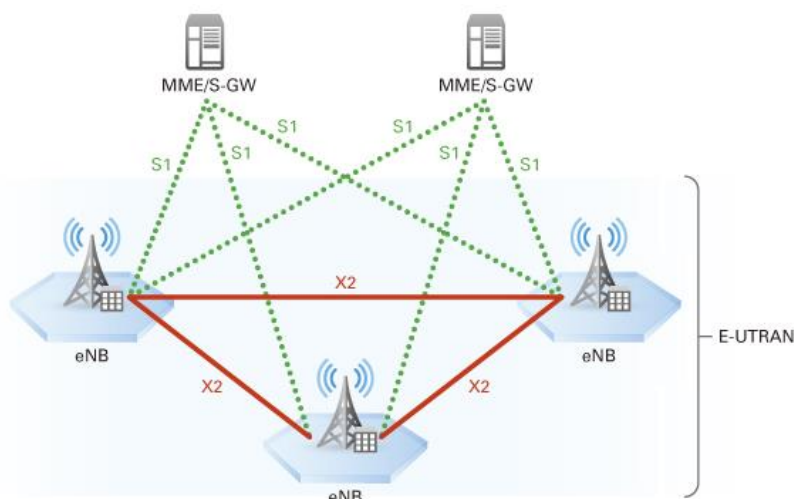
Slika 3.3.1. Arhitektura LTE mreže [15]

3.4. E-UTRAN arhitektura

Da bi bili zadovoljeni zahtevi predstavljeni pred LTE arhitekturu a pobrojani u prethodnom poglavlju, RAN deo UTRAN arhitekture morao je da bude radikalno promenjen. Ispravke su omogućile da LTE E-UTRAN bude mnogo ravniji što se tiče hijerarhije od nasleđene UTRAN (3G) arhitekture. Funkcija eNB je u odnosu na UTRAN arhitekturu promenjena pa sad ne obavlja samo funkciju bazne stanice (NodeB u UTRAN) ka radio interfejsu već integriše u sebe i funkciju RNC (Radio Network Controller u UTRAN).

Prema 3GPP TR 25.912 [16], E-UTRAN arhitektura je definisana kao:

„E-UTRAN (*Evolved UTRAN*) se sastoji od eNB, oni (eNB) omogućavaju E-UTRAN-u zaokruživanje protokola u U-ravni i C-ravni ka UE (korisničkoj opremi). eNB su između sebe povezani u smislu X2 interfejsa (slika 3.4.1.). Pretpostavlja se da obavezno postoji X2 interfejs koji je neophodan da bi eNB-ovi između sebe komunicirali, na primer ova komunikacija omogućava hendover UE uređaja u režimu *LTE_ACTIVE*. eNB-ovi su takođe povezani u smislu S1 interfejsa prema EPC (*Evolved Pocket Core*). Spomenuti S1 interfejs omogućava svako-sa-svakim vezu aGW-ova sa eNB-ovima.“



Slika 3.4.1. E-UTRAN interfejsi [15]

Na slici 3.4.1. prikazani su X2 i S1 interfejsi u E-UMTS arhitekturi.

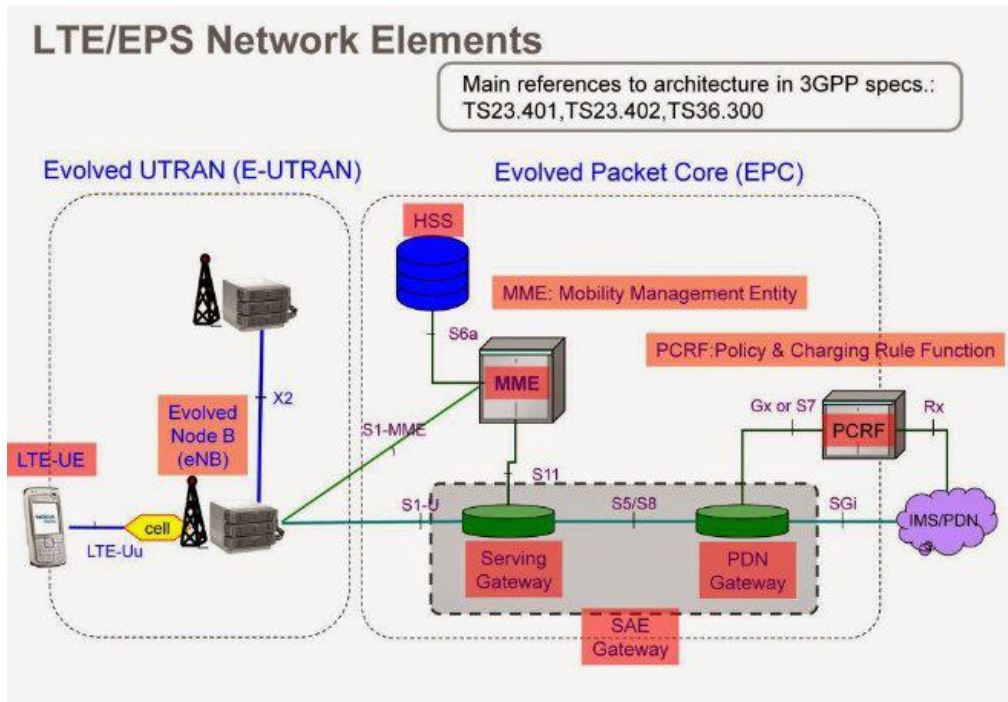


Slika 3.4.2. eNodeB modul[15]

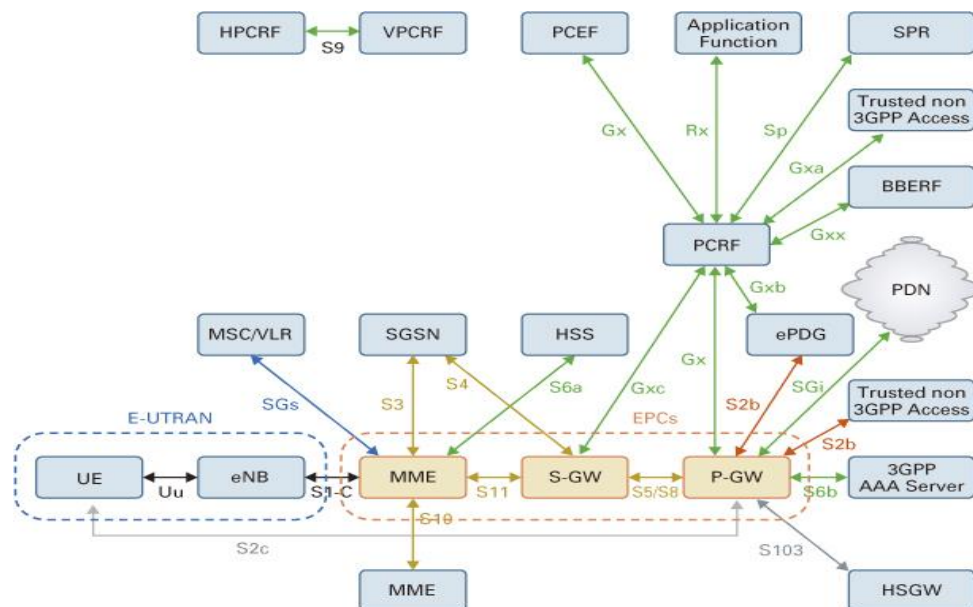
Na slici 3.4.2. prikazan je izgled eNB (LTE) modula, proizvođača NEC.

3.5. Dijagrami preseka strukture protokola unutar LTE arhitekture

Na slici 3.5.1. data je arhitektura LTE tehnologije, pri čemu su naznačeni linkovi između entiteta, a takođe i oznake interfejsa koji su implementirani na istim.



Slika 3.5.1. Arhitektura LTE tehnologije [24]



Slika 3.5.2. Detaljan dijagram LTE mreže [15]

Na slici 3.5.2. je dat detaljniji prikaz entiteta LTE mreže, gde su prikazani različiti interfejsi između mrežnih elemenata, ali mi ćemo se u ovom radu zadržati na izlaganju samo užeg dela jezgra mreže (dela mreže koji je uokviren isprekidanim linijama), kako njenih entiteta tako i protokolskog steka i protokola implementiranih u istim.

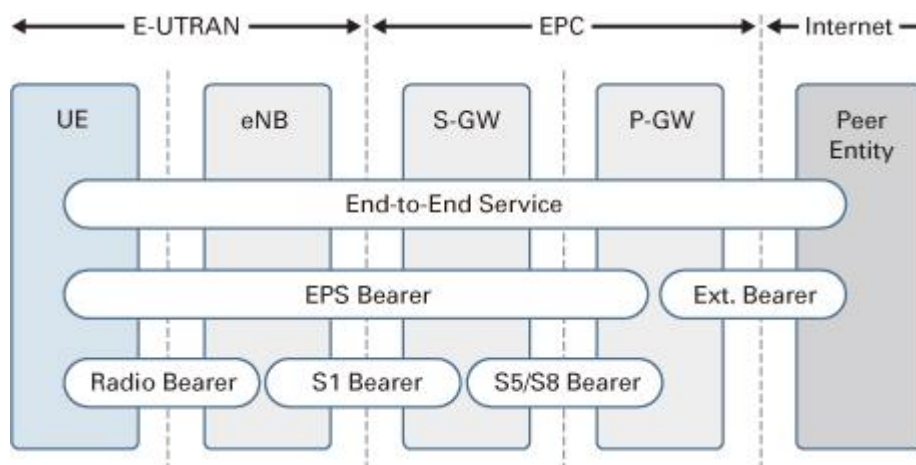
Funkcije određenih mrežnih elemenata su:

- **eNodeB (eNB):** Upravljanje radio resursima, kompresija IP zaglavljja, enkripcija toka korisničkih podataka, selekcija MME-a (*Mobile Managment Entity*), rutiranje podataka korisničke ravni prema S-GW, distribucija „*paging*“ poruka.
- **MME:** Vršiti NAS (*Non Access Stratum*) (najviši sloj protokolskog steka) signalizaciju i primenu sigurnosti, vrši odabir P-GW (*Packet data Gateway*) i S-GW (*Serving Gateway*), vrši upravljanje kako intra tako i inter hendoverom, autentifikaciju i *Bearer* menadžment.
- **S-GW:** Tačka inter-eNodeB hendovera, baferovanje (skladištenje) paketa na DL i iniciranje mrežno pokrenutih servisa, UL/DL zaduženje UE-a.
- **P-GW:** Alokacija IP adresa za UE, filtracija paketa i PDN (*Packet Data Network*) konekcija.

3.5.1. Nosioci (Bearers) u LTE-u

U LTE-u, nosioci koji povezuju krajnje entitete, UE i *Peer Entity*, (*end-to-end bearers*), realizuju se preko EPS (*Evolved Packet System*) nosilaca, koji predstavlja skup Radio, S1 i S5/S8 nosioca (slika 3.5.1.1.). Identitet svakog EPS nosioca je jedinstven za svakog UE povezanog na E-UTRAN. Identitet EPS nosioca je dodeljen od strane MME-a i on (*EPS Bearer*) je taj, koji nosi informacije, obično korisničke informacije.

Postoje tri tipa nosioca u LTE-u: Radio nosioci, S1 nosioci i EPS nosioci. UL TFT (*Traffic Flow Template*) mapa objedinjuje saobraćaj na UL u EPS nosilac, dok P-GW DL TFT mapa objedinjuje saobraćaj u EPS nosilac u DL smeru.



Slika 3.5.1.1. Kanali za prenos (podataka) (Bearer Data Services) unutar LTE arhitekture [15]

Nosioci (Bearers):

- **Radio Bearer:** Radio nosilac prenosi pakete EPS nosioca između UE i eNodeB.
- **S1 Bearer:** S1 nosilac prenosi pakete EPS nosioca između eNodeB-a i S-GW-a.
- **S5/S8 Bearer:** S5/S8 nosilac prenosi pakete EPS nosioca između S-GW-a i P-GW-a.

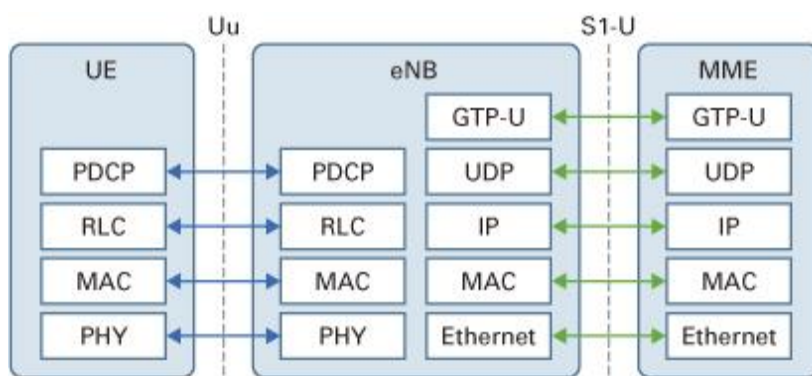
Postoji jedan na jedan preslikavanje, mapiranje, Radio, S1 i S5/S8 nosilaca i to predstavlja „end-to-end“ EPS nosilac, a takođe navedeni EPS nosilac realizuje dogovoreni QoS za određeni servis.

3.5.2. LTE protokolski stek

LTE protokolski stek prikazuje koji se sve protokoli koriste u razmeni informacija između mrežnih elemenata, koji možemo podeliti u dve ravni, korisničku (U) ravan, koja prvenstveno služi za prenos korisničkih podataka i kontrolnu (C) ravan (određeni autori ovu ravan nazivaju i signalizacionom (S)), koja ima prevashodnu ulogu da izvrši sva potrebna podešavanja korisničke ravni, pre početka prenosa korisničkih podataka.

i) Korisnička U-ravan protokolskog steka

U U-ravni presek strukture protokola je dat na slici 3.5.2.1.



Slika 3.5.2.1. Presek u U-ravni strukture protokola [15]

Na strani UE imamo sledeće entitete u U-ravni koji imaju svoje parnjake na strani eNodeB:

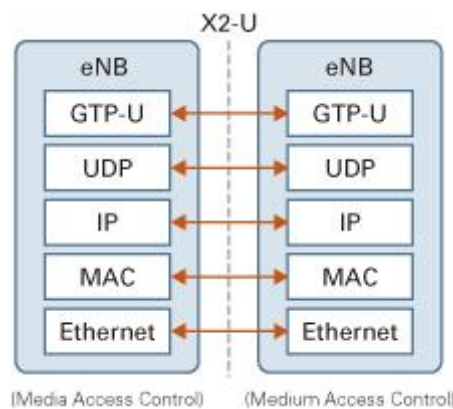
- **PDCP:** *Packet Data Convergence Protocol*, koji vrši kompresiju zaglavlja i dekompresiju zaglavlja IP paketa, održava PDCP broja sekvence (koji služi da bi znali redosled paketa), sigurnost podataka.
- **RLC:** *Radio Link Control*, čije su funkcije: konkatanacija, segmentacija i ponovno objedinjavanje RLC PDU (*Packet Data Unit*), uređivnje redosleda pristiglih paketa.
- **MAC:** *Media Access Control*, vrši određivanje prioriteta određenim tokovima saobraćaja prema UE, vrši korekciju greške putem HARQ (*Hybrid Automatic Repeat Request*) procedure.
- **PHY:** *Physical Layer*, vrši kodiranje podataka pre modulacije, meri interferenciju na radio interfejsu, kako bi mogao da proceni kvalitet kanala.

Na strani MME-a imamo sledeće entitete koji imaju svoje parnjake na strani eNodeB:

- **GTP-U:** *GPRS Tunnelling protocol – User Plane*, GTP-U protokol se koristi na S1-U, X2, S4, S5 i S8 interfejsima jezgra mreže. GTP-U tunel se koristi da prenosi enkapsulirane T-PDU (*Transport PDU*) i signalizacione poruke između datih krajnjih tačaka.
- **UDP:** *User Datagram Protocol*, ovaj protokol ne garantuje sigurnu isporuku paketa, ali zbog toga što nema mehanizame koji garantuju pouzdanu i tačnu isporuku paketa, to ga čini jednostavnim za implementaciju pogotovo za prenos govornog i video saobraćaja.
- **IP:** *Internet Protocol*, sadrži informacije o adresiranju, čime se postiže da svaki uređaj na mreži ima jedinstvenu adresu i može se lako identifikovati u celoj mreži, a takođe sadrži kontrolne informacije koje omogućavaju da paketi budu rutirani na osnovu poznatih (IP) adresa.
- **MAC:** *Media Access Control*, (gore izložen).
- **Ethernet:** *Ethernet*, najčešće korišćena tehnologija za lokalne mreže.

LTE pristupna mreža je mreža baznih stanica, eNodeB-ova, generišući ravnu arhitekturu (Slika 3.4.1.). Nema centralnog inteligentnog kontrolera, gde su bazne stanice međusobno povezane X2 interfejsom, a prema jezgru mreže sa S1 interfejsom (Slika 3.4.1.). Razlog za distribuiranje informacija između baznih stanica u LTE-u je da se ubrza vreme konekcije, a takođe i da se smanji vreme potrebno za handover što je prvenstveno bitno za servise u realnom vremenu.

Presek protokolskog steka, na X2 interfejsu u U-ravni dat na slici 3.5.2.2.



Slika 3.5.2.2. Presek u U-ravni strukture protokola [15]

U korisničkoj ravni između dva eNodeB-a imamo sledeće entitete:

- **GTP-U:** *GPRS Tunnelling protocol – User Plane*
- **UDP:** *User Datagram Protocol*
- **IP:** *Internet Protocol*
- **MAC:** *Media Access Control*
- **Ethernet:** *Ethernet*

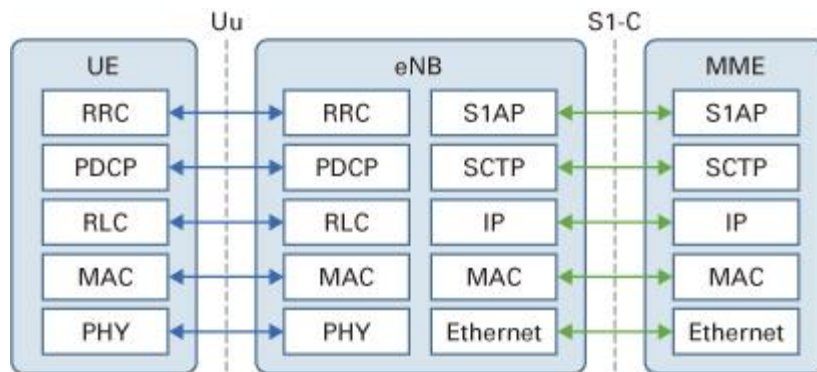
Svi navedeni entiteti su već izloženi gore, u istom odeljku.

ii) Kontrolna C-ravan LTE protokolskog steka

Presek u C-ravni strukture protokola na interfejsima S1-C i Uu dat je na slici 3.5.2.3.

Na strani UE imamo sledeće entitete u C-ravni koji imaju svoje parnjake na strani eNodeB:

- **RRC:** *Radio Resource Control protocol*, zadužen je za inicijalizaciju PDCP-a, RLC-a, MAC-a i PHY-a, tek posle inicijalizacije kreće prenos podataka, zadužen je za prenos brodkast (sistemskih) informacija, *RRC connection control* – UE mora da ima RRC konekciju da bi mogao bilo da šalje bilo da prima podatke, u suprotnom biće prebačen u *IDLE* mod, *Static Transition* – prebacivanje UE-a iz *IDLE* u *CONNECTED* mod i obratno, „*Paging*“ poruke, inicijalna aktivacija sigurnosnih postupaka, merenje – konfiguracija – obaveštavanje.
- **PDCP:** *Packet Data Convergence Protocol*, izložen gore u istom odeljku.
- **RLC:** *Radio Link Control*, izložen gore u istom odeljku.
- **MAC:** *Media Access Control*, izložen gore u istom odeljku.
- **PHY:** *Physical Layer*, izložen gore u istom odeljku.

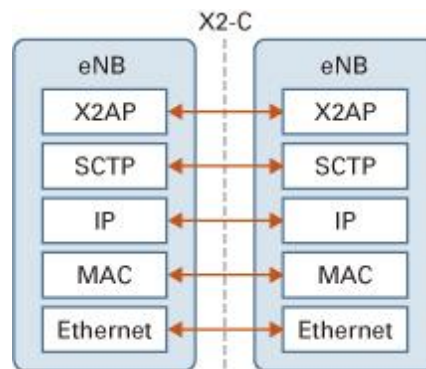


Slika 3.5.2.3. Presek u C-ravni strukture protokola S1-C (eNB/MME) i Uu (UE/eNB) [15]

Na strani MME-a imamo sledeće entitete u C-ravni koji imaju svoje parnjake na strani eNodeB-a:

- **S1AP:** *S1 Application Part*, je signalizacioni servis između E-UTRAN-a i EPC-a (*Evolved Packet Core*), koji ispunjava funkcije S1 interfejsa kao što su menadžment nosioca, funkciju mobilnosti UE, *Paging*, prijava greške, transfer statusa.
- **SCTP:** *Stream Control Transmission Protocol*, to je takođe transportni protokol kao TCP i UDP, predstavlja transportni protokol (kao UDP i TCP), ali prilagođen prenosu signalizacije u telefonskim i mobilnim mrežama.
- **IP:** *Internet Protocol*, izložen gore u istom odeljku.
- **MAC:** *Media Access Control*, izložen gore u istom odeljku.
- **Ethernet:** *Ethernet*, izložen gore u istom odeljku.

Takođe, X2 interfejs, ima svoju kontrolnu, C-ravan, koja se definiše između susednih eNodeB-ova. Presek, strukture protokola, u C-ravni na interfejsu X2-C (eNB/eNB) dat je na slici 3.5.2.4.



Slika 3.5.2.4. Presek u C-ravni strukture protokola na interfejsu X2-C (eNB/eNB) [15]

U kontrolnoj C- ravni između dva eNodeB-a imamo sledeće entitete:

- **X2AP:** *X2 Application Protocol*, opslužuje mobilnost UE u okviru E-UTRAN-a, obezbeđuje inter eNB i intra MME handover, minimizuje signalizaciju kroz EPC tokom handovera, takođe, pošto postoje direktni linkovi (tuneli) između eNB-ova, pomaže skaladištenju dolaznog saobražaja do momenta uspešno izvršenog handovera.
- **STCP:** *Stream Control Transmission Protocol*, izložen gore u istom odeljku.
- **IP:** *Internet Protocol*, izložen gore u istom odeljku.
- **MAC:** *Media Access Control*, izložen gore u istom odeljku.
- **Ethernet:** *Ethernet*, izložen gore u istom odeljku.

3.6. MAC i PHY

U ovom poglavlju biće izloženi određeni aspekti MAC i PHY sloja, sa akcentom, kako na kanale koji se koriste, tako i njihovo mapiranje na DL i UL.

LTE PHY je tipično pun dupleks. LTE može da podrži TDD (*Time Division Duplex*), ali to nije primarni cilj dizajna sistema. PHY funkcioniše kontinualno na DL, obezbeđujući više kanala simultano sa različitim modulacionim šemama.

LTE koristi koncept resursnih blokova, gde je resursni blok sadržan od 12 podnosilaca u jednom slotu (slot je vremenski period od 0.5 ms; jedan frejm, trajanja 10 ms, sadrži 10 sabfrejmova, a jedan sabfrejm sadrži dva slota). Transportni blok predstavlja grupu resursnih blokova sa istom modulacionom šemom i kodovanjem. Transportni blok odgovara podacima prenošenim u periodu vremena, alociranom određenom UE. Svaki radio podram je trajanja 1 ms, a svaki ram je trajanja 10 ms. Veći broj UE, može biti opsluživan na DL u određenom trenutku u jednom transportnom bloku. MAC kontroliše šta će biti poslato u određenom vremenskom slotu.

3.6.1. Kanali

U LTE standardu su definisani sledeći fizički kanali:

- **PBCH:** *Physical Broadcast Channel*, kodirani BCH (*Broadcast Channel*) transportni blok je mapiran u četiri podrama u okviru intervala od 40 ms.
- **PCFICH:** *Physical Control Format Indicator Channel*, Informiše UE o broju OFDM simbola korišćenih za PDCCH.
- **PDCCH:** *Physical Downlink Control Channel*, obaveštava UE o dodeli resursa PCH i DL-SCH, a takođe i o HARQ informacijama vezanim za DL-SCH.
- **PHICH:** *Physical Hybrid ARQ Indicator Channel*, prenosi HARQ ACK/NACK potvrde, kao odgovor na UL prenos.
- **PDSCH:** *Physical Downlink Shared Channel*, prenosi DL-SCH i PCH.
- **PMCH:** *Physical Multicast Channel*, prenosi MCH.
- **PUCCH:** *Physical UL Control Channel*, prenosi HARQ ACK/NACK potvrde, kao odgovor na DL prenos, SR (*Scheduling Request*) i CQI (*Cell Quality Indicator*) informacije.
- **PUSCH:** *Physical UL Shared Channel*, prenosi UL-SCH.
- **PRACH:** *Physical Random Access Channel*, služi za prenošenje „*random access*“ preambula.

Logički kanali postoje na vrhu MAC sloja. Oni predstavljaju ponuđeni servis od strane MAC sloja, a takođe su definisani po tipu podataka koji prenose. Tipovi logičkih kanala uključuju kontrolne kanale (za kontrolnu C ravan) i saobraćajne kanale (za korisničku U ravan).

U LTE standardu su definisani i sledeći logički kanali:

- **DTCH:** *Dedicated Traffic Channel*, kanal koji povezuje dve tačke, dodeljen jednom korisniku, za prenos korisničkih informacija.
- **PCCH:** *Paging Control Channel*, DL kanal za prenos *Paging* i sistemskih informacija.
- **BCCH:** *Broadcast Control Channel*, DL kanal za prenos kontrolnih informacija.
- **CCCH:** *Common Control Channel*, UL kanal za prenos kontrolnih informacija između UE i mreže.

- **DCCH:** *Dedicated Control Channel*, dvosmerni kanal između dve tačke, koji razmenjuje „dedicated“ kontrolne informacije između UE i mreže.
- **MCCH:** *Multicast Control Channel*, (definisani u *Release 9*)
- **MTCH:** *Multicast Traffic Channel*, (definisani u *Release 9*)

Transportni kanali se koriste u transportnim blokovima na najnižem nivou MAC sloja. Oni predstavljaju ponuđen servis za prenos podataka od PHY sloja i definišu kako će podaci biti preneti.

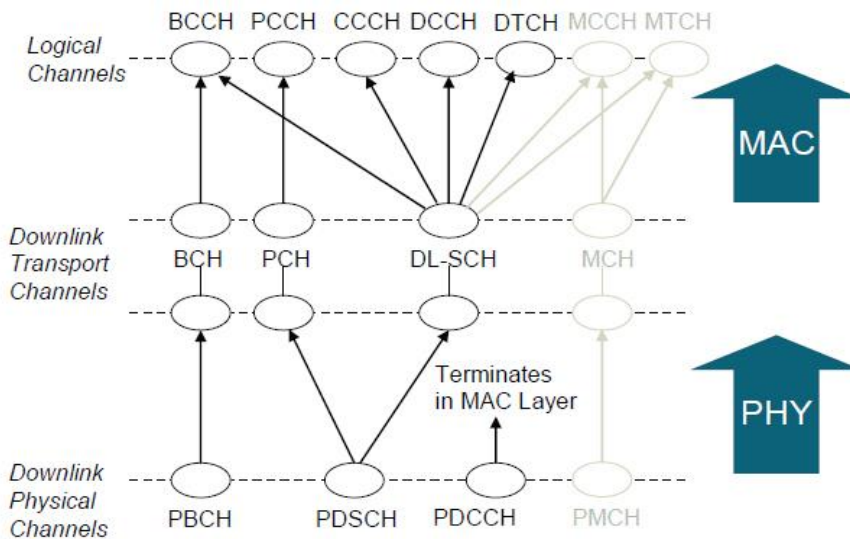
U LTE standardu su definisani sledeći transportni kanali:

- **PCH:** *Paging Channel*
- **BCH:** *Broadcast Channel*
- **DL-SCH:** *DL Shared Channel*
- **MCH:** *Multicast Channel*

3.6.2. Mapiranje kanala na DL

Kada je dostupan validan transportni blok, transportni kanali se mapiraju na logičke kanale. Slika 3.2.6.1. prikazuje kako kanali sa PHY sloja završavaju u MAC sloju, što se koristi za planiranje, signalizaciju i ostale „low level“ funkcije.

Multikast kanali su osenčeni na slici 3.2.6.1. jer nisu bili definisani u *Release 8* specifikaciji LTE standarda, oni su tek definisani u *Release 9* specifikaciji.



Slika 3.6.2.1. Mapiranje kanala na DL [26]

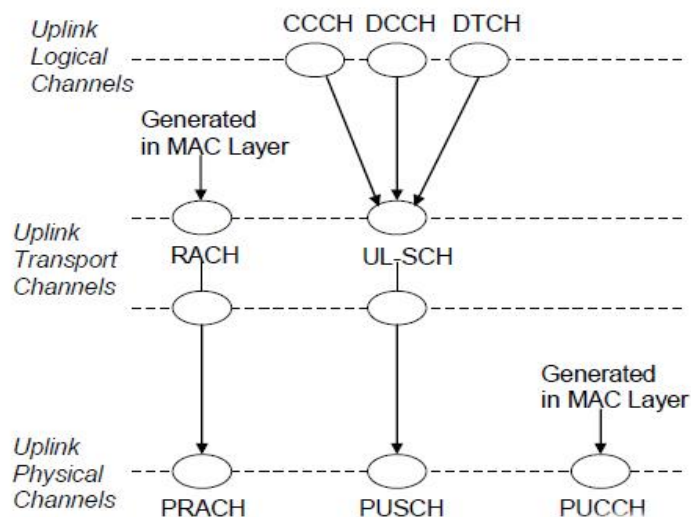
Transportni kanali koriste drugačiju modulacionu šemu i kodovanje. *Paging* i *Broadcast* kanali moraju biti korektno primljeni na bilo kom mestu unutar ćelije, tako da oni moraju koristiti robusniju modulaciju koja je otpornija na smetnje. DL-SCH može biti optimizovan od strane UE.

3.6.3. Mapiranje kanala na UL

MAC funkcionalnosti se značajno razlikuju na UL i DL. UL funkcionalnosti obuhvataju RACH (*Random Access Channel*), planiranje, kreiranje zaglavlja i odabir prenosnog formata.

MAC određuje prenosni format, kako pakovati informaciju, koja će modulaciona šema i kodovanje biti dostupno i podesiće PHY na odgovarajući način da bude spreman za prenos. UL-SCH je primarni transportni kanal.

Slika 3.6.3.1. prikazuje način mapiranja kanala na UL, gde se vidi kako su CCCH, DCCH i DTCH kanali mapirani u UL-SCH kanal.



Slika 3.6.3.1. Mapiranje kanala na UL [26]

Sav MAC prenos na UL-SCH mora biti planiran pomoću RAP (*Random Access Procedure*) preko RACH kanala. Kada UE nije konektovan, nisu mu dodeljeni ni prenosni blokovi. Prenos na UL-SCH zahteva alokaciju resursa od strane eNodeB-a i usklađivanje vremena da bi bio trenutno, u suprotnom potrebno je izvršiti RAP proceduru.

3.6.4. Random Access Procedure

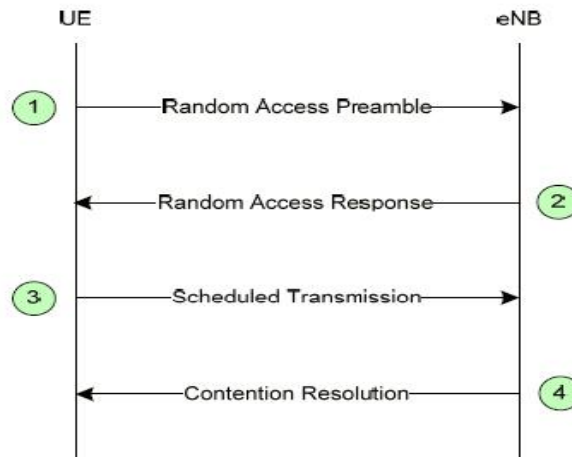
RAP procedura se koristi u sledeća četiri slučaja:

- Inicijalni pristup iz *IDLE* stanja (*RRC_IDLE*) ili zbog greške na radio linku.
- Handover.
- Tokom DL ili UL toka podataka u stanju *RRC_CONNECTED* pošto je UL PHY izgubio sinhronizaciju (moguće zbog „power save“ opcije).
- Kada imamo UL prenos podataka, a nemamo dodeljeni raspoređeni zahtev preko PUCCH kanala.

Postoje dva tipa RAP: *Contention-based*, koji se može primeniti na sva četiri gore navedena slučaja i *Non-Contention-based*, koji se samo primenjuje kod handovera i DL toka podataka za slučaj da UE nije sinhronizovan na mrežu, odnosno kada je UE u *IDLE* stanju.

i) *Contention-Based Random Access*

Slika 3.6.4.1. ilustruje četiri koraka RAP procedure. Kod ove procedure može doći do kolizije ako dva UE pokušaju da pristupe u istom trenutku eNodeB-u sa istim kodom u preambuli, ako do navedenog dođe, povlače se, čekaju slučajno vreme i pokušavaju ponovo.

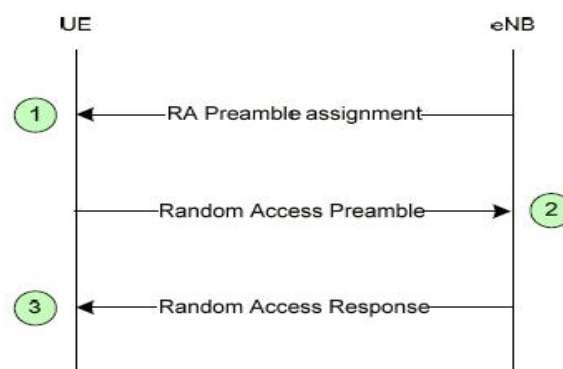


Slika 3.6.4.1. Contention Based Procedure [26]

- 1) *Random Access Preamble*: Šalje se preambula sa slučajno odabranim ID-jem.
- 2) *Random Access Response*: Odgovor se šalje po PDCCH kanalu.
- 3) *Scheduled Transmission*: Koristi se HARQ i RLC na UL-SCH i prenosi se UE identifikacija.
- 4) *Contention Resolution*: eNodeB koristi ovaj opcioni korak da okonča RAP proceduru.

ii) *Non-Contention Based Random Access*

U ovoj proceduri ne postoji mogućnost kolizije između UE-ova, jer su kodovi koji se koriste u preambuli dodeljeni od strane eNodeB-a. Slika 3.6.4.2. ilustruje tri koraka ove procedure. Prednost ove procedure je u tome što se latencije prilikom hendovera drže pod kontrolom.

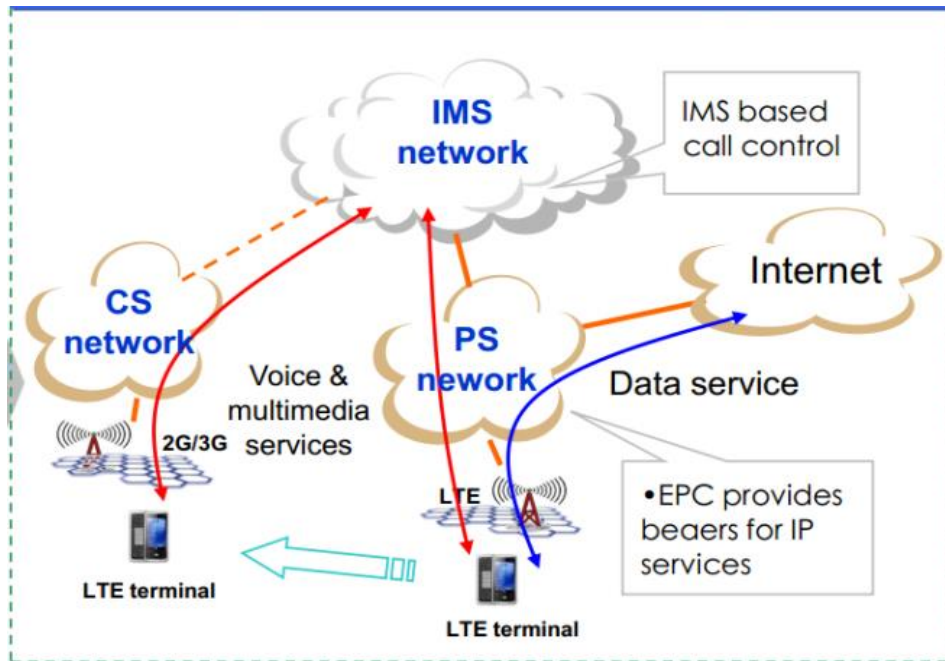


Slika 3.6.4.2. Non Contention Based Procedure [26]

- 1) *Random Access preamble assignment*: eNodeB dodeljuje 6-to bitni kod za preambulu.
- 2) *Random Access Preamble*: UE šalje preambulu sa dodeljenim kodom.
- 3) *Random Access Response*: Isto kao kod *Contention-Based RA*, odgovor se šalje po PDCCH kanalu, jedan ili više UE može biti adresirano u jednom odgovoru.

3.7. Postupci pri konektovanju Ue na veb servis

Evolucijom mobilnih tehnologija od 1G oreko 4G pa nadalje, dobijamo sve veće protoke, prvenstveno na DL, što omogućava uvođenje novih servisa, koji do tada nisu mogli biti implementirani zbog ograničavajućeg protoka.



Slika 3.6.1. Ilustracija pristupa određenim servisima preko LTE mreže [21]

Slika 3.6.1. ilustruje načine, odnosno postupke konektovanja na različite servise. U ovom radu biće obrađen postupak konekcije LTE terminala (UE) na veb servis (*Data service*), koji opisuje plava linija na slici 3.6.1.

3.7.1. Prijavlivanje UE na Mrežu

Da bi dobio servisne informacije od mreže, UE treba da selektuje mrežu i da se prijavi u ćeliji. Da bi se navedeno desilo, UE treba da se sinhronizuje sa mrežom na nivou rama. Zatim, trebaju mu informacije kao *Network ID (PLMN ID-Public Land Mobile Network ID)*, *Area ID*, *Cell ID*, kao i Radio mogućnost i mogućnost jezgra mreže, kako bi izvršio izbor mreže. Mreža emituje ove informacije, kako bi pomogla UE da izvrši proces selekcije mreže. Kada je UE sinhronizovan sa mrežom na nivou rama, on prima brokast informacije i selektuje ih.

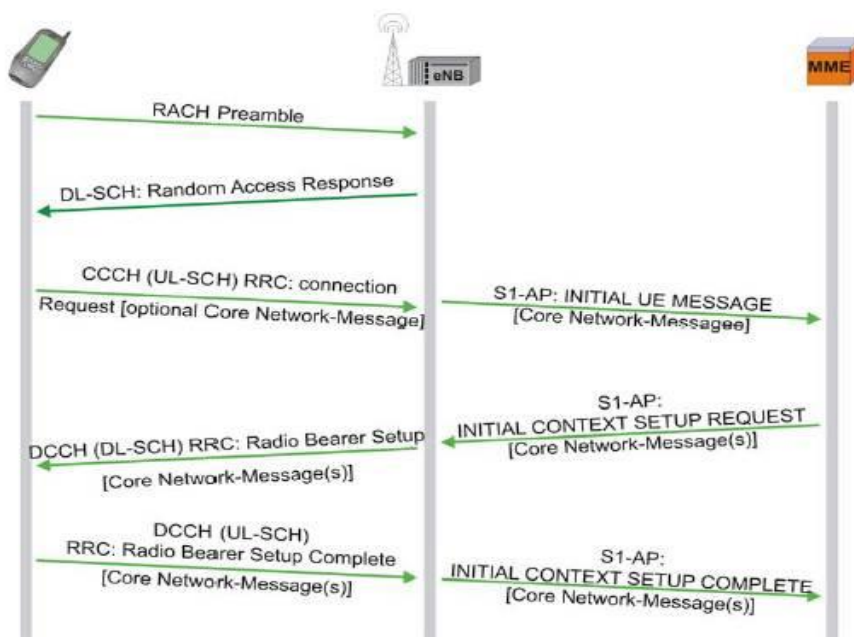
UE može da koristi usluge mreže, kada se sinhronizovao kako na DL tako i na UL. Posle PLMN i *Cell* selekcije UE je sinhronizovan sa mrežom na DL-u i sad treba još da se sinhronizuje sa mrežom na UL-u. U tu svrhu UE pokreće *Contention Based RAP* proceduru preko RACH kanala (što je detaljno izloženo u poglavlju 3.6.4), po uspešnom završetku ove procedura, UE je sinhronizovan sa mrežom i na UL.

Posle uspešno obavljene RAP procedure, UE inicira *Initial Attach* proceduru, kako bi se povezao na mrežu. Da bi to obavio, UE uspostavlja RRC konekciju sa eNodeB-om. Signalizacione informacije se razmenjuju preko DCCH kanala. Po uspešno obavljenoj *Attach* proceduri, UE odgovara sa RRC *Connection Complete message* porukom.

3.7.2. Pristup servisu bez garancije kvaliteta

Da bi UE (mobilni terminal) mogao da šalje i prima podatke preko mobilne mreže (u našem slučaju, LTE mreže), on mora prvo da konfigurira za paketsku komunikaciju.

Na slici 3.7.2.1. prikazana je *Initial Attach* procedura u LTE mreži koja počinje od UE u *IDLE* modu, sa osvrtom na kanale preko kojih se vrši komunikacija.

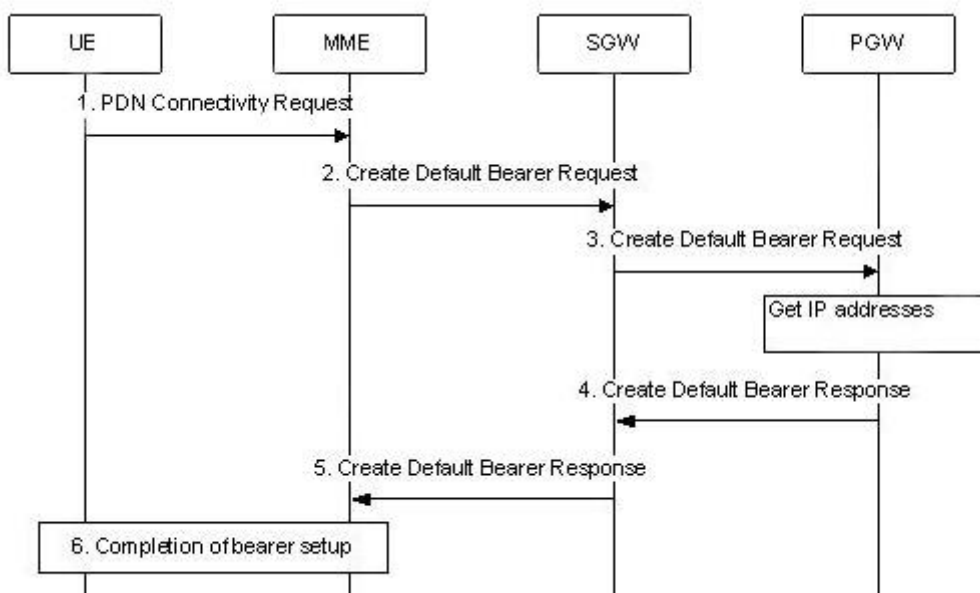


Slika 3.7.2.1. Initial Attach Procedure [23]

Kada se UE nađe u *IDLE* modu, radio konekcija treba da se uspostavi. Ključna odlika *initial context* procedure, u LTE tehnologiji, je da signalizacija pristupne radio mreže i signalizacija jezgra mreže rade u paraleli. Procedura koju obavlja jezgro mreže može biti bilo šta, kao *PDN connectivity activation*, registracija itd. Velika prednost koja se ovako ostvaruje, primenom paralelnog pristupa, je u tome što se latencija kontrolne ravni drži veoma niskom.

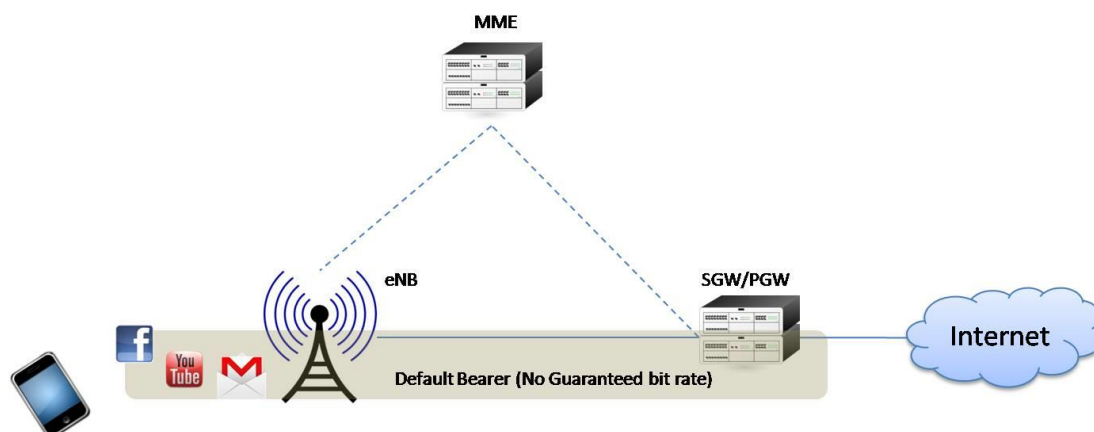
PDN konekcija koja je uspostavljena na nekom čvoristu mreže sadrži skup informacija koje mreža koristi kako bi utvrdila mehanizam za prosleđivanje paketa od i ka nekoj PDN IP adresi. Na slici 3.7.2.2. prikazana je *Initial Attach* procedura, a takođe i *PDN Connectivity* zahtev.

- 1) Tokom *Initial Attach/PDN Connectivity Request* zahteva, UE ukazuje da zahteva IP adresu (ili adrese).
- 2) MME šalje *Create Default Bearer* zahtev S-GW.
- 3) S-GW prosleđuje zahtev prema P-GW-u i P-GW dodeljuje IP adresu (ili adrese).
- 4) Ako je zahtevano od UE, P-GW uključuje IP adresu (ili adrese) u *Create Default Bearer Response*.
- 5) S-GW prosleđuje odgovor ka MME.
- 6) Završetak postupka uspostave PDN konekcije, *Completion of bearer setup*.



Slika 3.7.2.2. Uspostava PDN konekcije [22]

Posle uspešne *attach* procedure, kontekst je uspostavljen za UE u MME-u, *default bearer* je uspostavljen između UE i P-GW i UE-u je dodeljena IP adresa. Sada UE ima IP konektivnost i može pristupiti IP baziranim servisima, a takođe može pristupiti IMS servisima, ako je IMS mreža dostupna i ako UE ima pretplatu na istu.



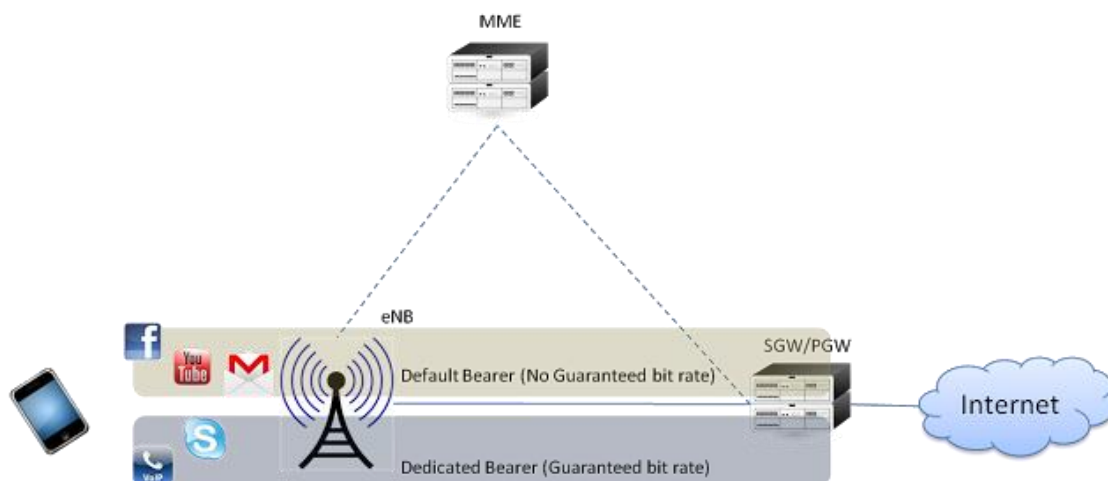
Slika 3.7.2.3. Ilustracija servis bez garancije kvaliteta [25]

Na slici 3.7.2.3. je na slikovit način prikazan pristup UE na servise koji ne zahtevaju garanciju kvaliteta (kao što su *Facebook*, *mail*, itd).

Kada se UE po prvi put poveže na mrežu, biće mu dodeljen *Default Bearer*, koji mu ostaje dodeljen sve dok je UE povezan na mrežu. *Default bearer* predstavlja „best effort“ najbolju uslugu koju mreža u datom momentu može da pruži (ovo ne znači i garantovani servis). Svaki *Default bearer* ima svoju IP adresu, a takođe UE može imati više *Default Bearer*-a i svaki će imati drugu IP adresu.

3.7.3. *Pristup servisu sa garancijom kvaliteta*

Ukoliko UE želi da pristupi nekom od servisa, koji zahteva određenu garanciju kvaliteta (kao što su VoIP i razni multimedijalni sadržaji), on takođe mora prvo mora uspostaviti PDN konekciju, nakon čega traži pristup IMS-u (*IP Multimedial Subsystem*), posle čega se vrši provera u HSS-u (*Home Subscriber Server*), da li je korisnik pretplaćen, odnosno da li mu je dozvoljen pristup određenom servisu, po dobijanju potvrde, korisnik pokreće SIP (*Session Initiation Protokol*) protokol, nakon čega pristupa određenom servisu kao što je npr. VoLTE što je detaljno izloženo u radu [27].



Slika 3.7.3.1. Ilustracija pristupa servisu sa garancijom kvaliteta [25]

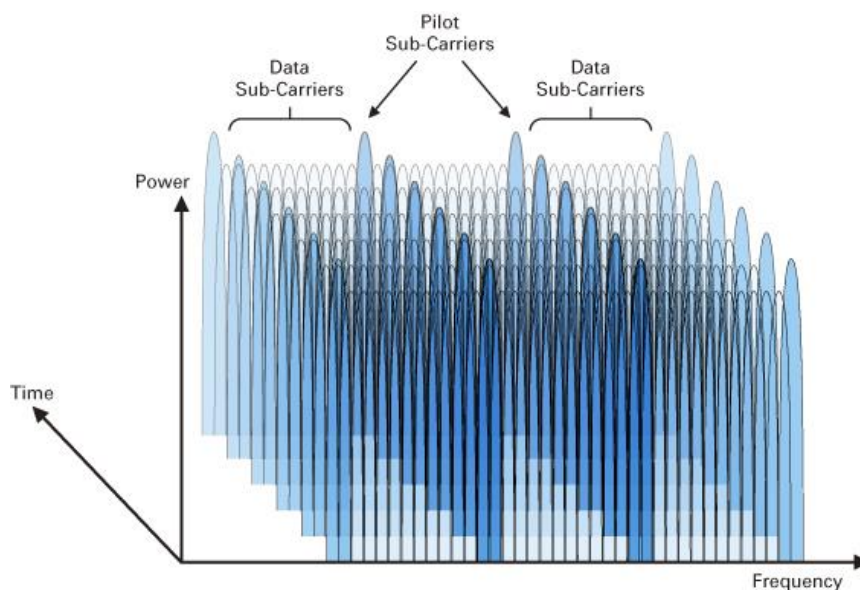
Na slici 3.7.3.1. je na ilustrativan način prikazan pristup dvema različitim grupama servisa jednim koje zahtevaju kvalitet servisa (VoIP, *Skype*) i drugu grupu servisa koji ne zahtevaju kvalitet servisa (*Facebook*, *Mail*), takođe je prikazano da je moguće da UE u istom trenutku može imati uspostavljeno više PDN konekcija (tokova podataka), u prikazanom slučaju dva, od koga prvi *Default Bearer*, služi za pristup servisima bez garantovanog kvaliteta, dok drugi *Dedicated Bearer*, služi za pristup servisu ili servisima koji traže garantovani kvalitet.

Dedicated Bearer obezbeđuje dodeljeni tunel do jednog ili više tokova saobraćaja (kao što su VoIP, video itd.). *Dedicated bearer* se ponaša kao dodatni nosilac iznad *Default bearea*-a. On ne zahteva svoju adresu jer je povezan za *Default Bearer* koji je prvobitno uspostavljen, takođe služi da pruži bolje korisničko iskustvo servisa koji traže garanciju kvaliteta.

3.9. OFDMA

Upotreba OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) metode za prenos signala je jedna od ključnih osobina LTE tehnologije. Naravno, ovu metodu prate i odgovarajuće tehnike višestrukog pristupa, u ovom slučaju to su OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) i SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) tehnike.

OFDM se koristi i u većem broju drugih tehnologija kao što su bežične mrežni standardi WLAN i WiMAX dalje tehnologije za emitovanje (emisiju) radio i TV programa DAB i DVB. OFDM ima mnogo prednosti uključujući robusnost na interferenciju i feding signala usled višestruke propagacije signala po višestrukim putanjama. Pored toga što se ova modulacija može pokazati kao posebno komplikovana ona nalazi svoju uspešnu primenu uz pomoć DSP (*Digital Signal Processing*) tehnologija. Uzimajući u obzir navedene prednosti OFDM i spomenute tehnologije višestrukog pristupa OFDMA postaje logično zašto su ove dve tehnologije izabrane za implementaciju u LTE (4G) standard ćelijske mobilne telefonije. OFDM je vrsta radio modulacijske tehnike koja koristi veliki broj vrlo gusto pakovanih nosilaca koji su modulirani sa podacima vrlo niskog protoka. Naravno može se očekivati da bi ovi signali međusobno pravili veliku interferenciju, međutim ako bismo ove signale napravili međusobno ortogonalnim izbegli bismo njihovu potencijalnu međusobnu interferenciju. Ovo je postignuto izborom, da razmak između nosilaca bude recipročan periodu jednog emitovanog simbola. Kada se signali demodulišu oni imaju ceo broj ciklusa periode jednog emitovanog simbola, a suma ovih signala stoga mora biti jednaka nuli. Dakle ovi signali stoga ne doprinose interferenciji. Podaci koji se prenose prvo se podele ravnomerno (na više tokova - koliko ima nosilaca) na sve nosioce, ovo znači da je moguće pri malom broju grešaka uz korišćenje tehnika za otkrivanje i korekciju grešaka otkloniti neki manji broj grešaka. Takođe znači da se pojave refleksije i intersimbolske interferencije mogu prevazići. Implementacijom mreže, gde se po velikom broju kanala prenose podaci sa malim protocima, mogu se uspešno otkloniti problemi fedinga usled nestabilnog prijema signala po višestrukim putanjama kao i problemi interferencije. Moguće je spuštanjem protoka po nosiocu čak formirati mrežu u kojoj se svi nosioci transmituju na istoj frekvenciji (SC-FDMA).



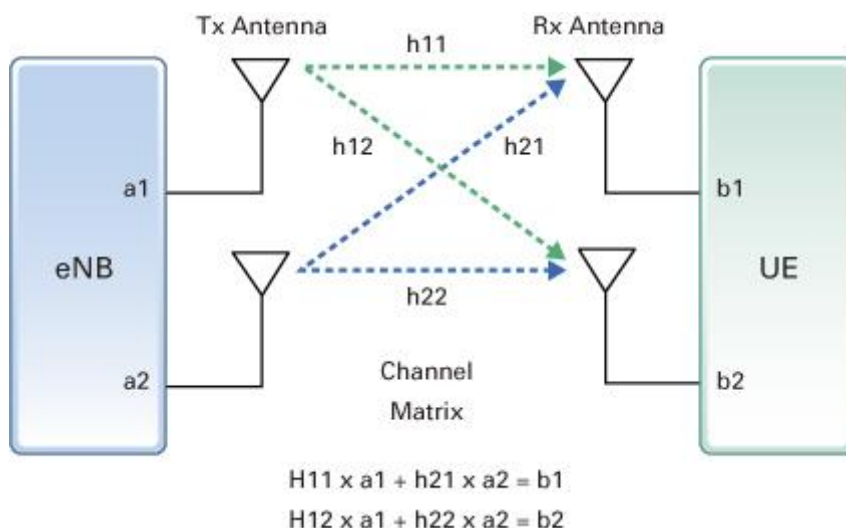
Slika 3.9.1. OFDMA metoda višestrukog prijema [15]

3.10. MIMO metoda

MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) metode se sve češće koriste u mnogim tehnologijama gde su visoki zahtevi po pitanju protoka podataka uključujući Wi-Fi i druge bežične i ćelijske tehnologije sa ciljem povećanja efikasnosti. Ono što je ključno za MIMO tehnologiju ona na prijemnoj i predajnoj strani koristi višestruke antenske nizove sa ciljem da iskoristi efekat prijema signala po višestrukim putanjama. Dakle MIMO omogućava povećanje protoka podataka za razliku od ranijih tehnologija kada bi ovaj efekat samo povećao intersimbolsku interferenciju.

Šema ovog antenskog sistema koji se koristi u LTE-u se blago razlikuje za UL i DL stranu, ova razlika potiče od toga da je implementacija komplikovanih MIMO sistema značajno diže cenu korisničke opreme (UE). Rešenje je nađeno u tome da se ušteda napravi na strani korisnika, dakle korisnička oprema (UE) uvek ima jeftiniju i jednostavniju implementaciju MIMO antenskog niza.

Za DL stranu sistem od dve antene na predaji (eNB) i dve antene na prijemu (UE) uzima se kao minimum mada se takođe prave varijante sa po četiri antene u nizu. U smeru UL-a koristi se asimetrična MIMO konfiguracija, korisnički terminal koristi pojedinačnu antenu i tako značajno pojeftinjuje, sve ovo omogućava da više korisničkih terminala simultano emituje na istom kanalu, ali oni ne prave jedni drugima smetnje ili interferenciju pošto koriste međusobno ortogonalne pilot signalne šeme pri emitovanju. MIMO tehnologija se takođe još naziva i SDMA metoda višestrukog pristupa pomoću prostorne podele.



Slika 3.10.1. MIMO antenski sistem [15]

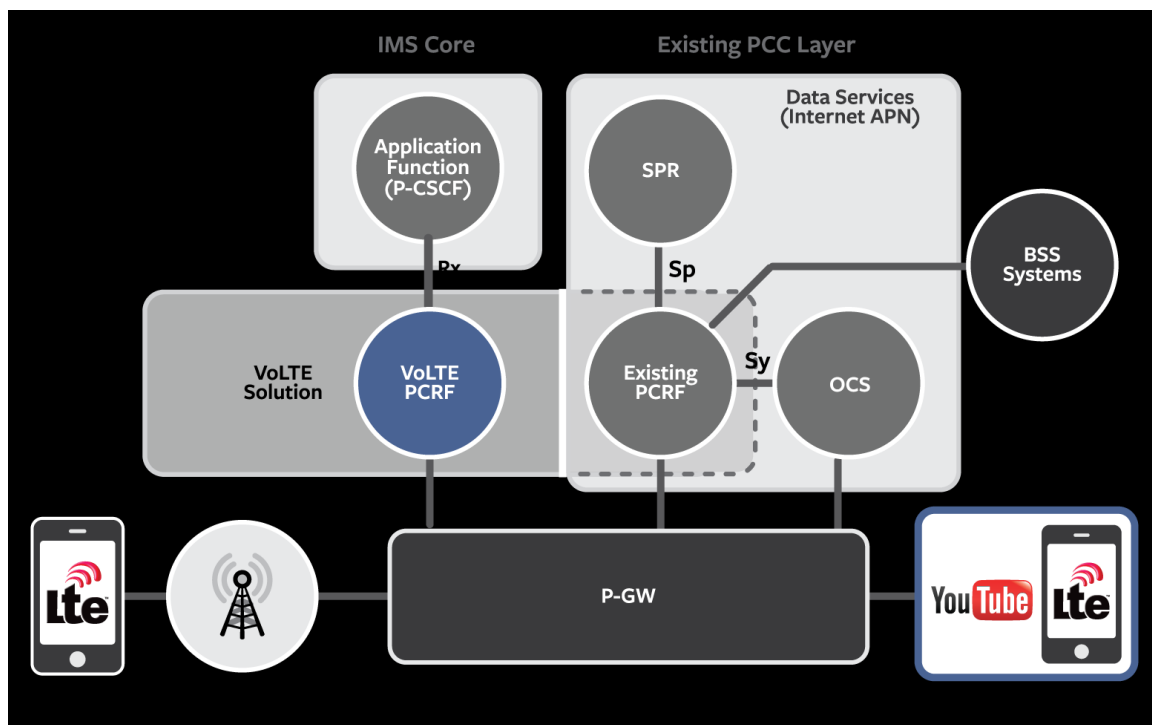
Na slici 3.10.1. prikazan je primer 2x2 MIMO antenskog sistema. Ovde su prikazana četiri nezavisna toka signala, koji imaju sledeće funkcije prenosa: h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} . Neka su nivoi signala kojina se napajaju predajne antene (Tx Antenna) a_1 i a_2 , tada će nivoi signala na prijemu (koji se indukuju na prijemnim antenama, Rx Antenna) biti b_1 i b_2 i važiće:

$$b_1 = h_{11} \cdot a_1 + h_{21} \cdot a_2$$

$$b_2 = h_{12} \cdot a_1 + h_{22} \cdot a_2$$

3.11. VoLTE (Voice over LTE) servis

LTE tehnologija je od samog početka osmišljena kao „All-IP“ što je donelo dosta problema oko implementacije VoLTE tehnologije. Ideja je bila da korisnik LTE mrežu koristi za multimediju, prenos podataka i slično, a za razgovor korisnik uvek može da se posluži 3G mrežom. Na kraju implementacija VoLTE servisa (slika 3.11.1.) je otklonila i ovaj problem.



Slika 3.11.1. VoLTE servis [18]

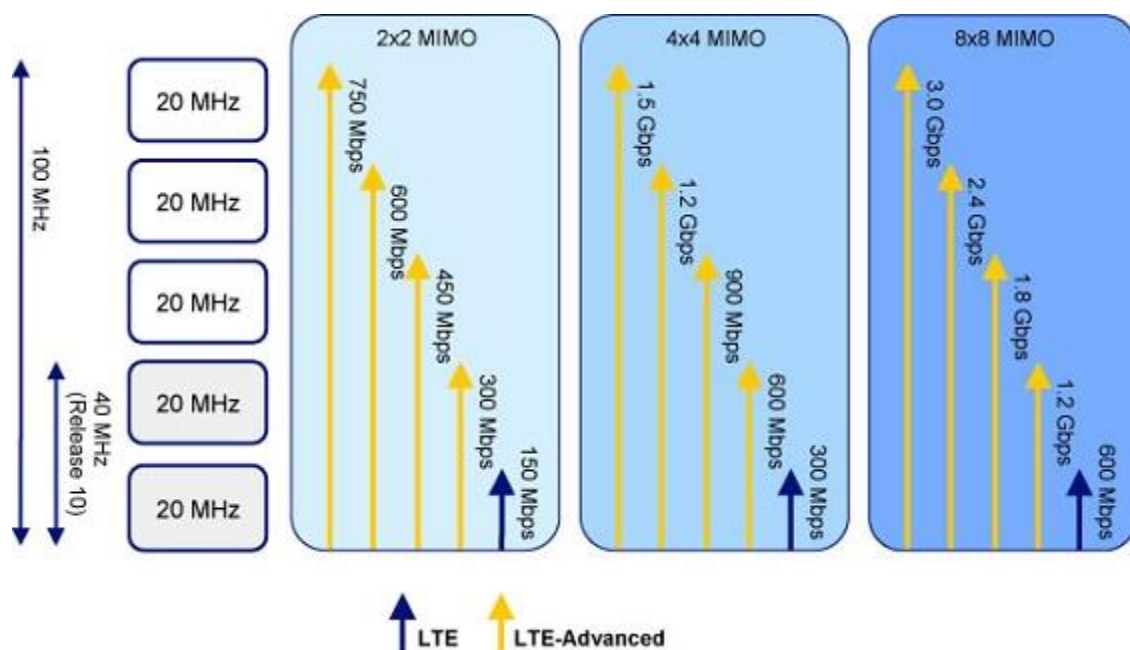
Ovaj servis je omogućen upotrebom IMS (*IP Multimedia Subsystem*) mreže koja pruža VoLTE servis uslugu LTE mreže. Zanimljivo je da VoLTE nema zahtev da se komunikacija između recimo dva VoLTE korisnika obavi „sa kraja na kraj“ obavezno samo po LTE mreži već može se upotrebiti bilo koja mreža koja zadovoljava po protoku i po QoS zahtevu. Dakle ako korisnički terminal ima dostupnu neku od adekvatnih mreža on će se njome poslužiti za VoLTE servis LTE mreže. Upotrebljeni koder za prenos zvuka je AMR-WB (*Adaptive Multi-Rate Wideband*) i pruža vrhunski kvalitet razgovora. Paketi koji se koriste za VoLTE servis su specijalno optimizovani, zaglavlje je maksimalno smanjeno, posebni koder za pakovanje govora takođe donosi značajne dobitke pa je VoLTE značajno efikasniji od kombinacije VoIP/LTE.

4. ZAKLJUČAK

LTE mreža kao i kao i svi ćelijski sistemi su dizajnirani da rade u licenciranom delu spektra. To znači da su veoma optimizovani i da su veoma kompleksni kako bi ostvarili najveću moguću efikasnost po pitanju iskorišćenja spektra. Kada se bira između efikasnosti i jednostavnosti uvek se bira efikasnost, kako bi se spektar na najbolji način iskoristio.

LTE koristi sve vreme na DL za prenos podataka, DL PHY je potpuno isplaniran, tako da nema praznina zbog arbitraže ili nadmetanja, osim kod inicijalnog pristupa putem „*random access*“ procedure. DL prenosi više logičkih kanala preko jednog linka, pa je dosta različitih tipova informacija multipleksirano zajedno u jednom transportnom bloku, kao razlika u odnosu na prethodne tipove mobilnih mreža, gde je jedan paket nosio samo jedan tip informacija u datom vremenu.

LTE standard više nije budućnost već sadašnjost, svi operateri mobilnih mreža u Srbiji već nude LTE rešenja. U svetu mnoge mreže koje sada izlaze na tržište, odmah se baziraju na nekom od LTE standarda i VoLTE servisu i tako gube potrebu za održavanjem mrežama sa komutacijom na nivou kola (tj. 2G i 3G mrežama). Na ovaj način, izbacuju se iz upotrebe 2G i 3G mreže usled zastarelosti (Kambodža [19]).



Slika 4.1. Budućnost LTE standarda - LTE-Advanced [15]

Određenim naprednim tehnologijama (slika 4.1.), kao što su MIMO, udruživanjem kanala, primenjenim na LTE, dobijamo LTE-Advanced, sa osetno većim protocima.

LTE standard nije do kraja zaživeo u svim delovima sveta a već se na naprednim tržištima pojavljuju sledeća generacija ovog standarda. Na primer u Japanu već funkcionišu mreže po LTE-Advanced standardu, a testiraju se po LTE-Advanced PRO standardima. Japanska mreža NTT DoCoMo je 25.02.2015 lansirala LTE-Advanced mrežu sa 225Mbit/sec DL-om [20].

LTE tehnologija ulazi polako u zrelu fazu, „dečije bolesti“ koje uvek prate novu tehnologiju polako se prevazilaze, tako da korisnicima sada ostaje samo da uživaju u ovoj do skora egzotičnoj i tako naprednoj tehnologiji, koja pruža visoke protoke, putem kojih se korisnicima omogućava upotreba i korišćenje servisa, za koje je do pre neku godinu, bila gotovo nemoguća implementacija na mobilne uređaje.

LITERATURA

- [1] <http://m3.idg.se/2.1022/1.277669/historien-om-ericsson-hotline>
- [2] <http://www.eliaskokoelmat.fi/en/aikamatka.php?kat=2&vk=1980&id=73>
- [3] <http://news.panasonic.com/global/press/data/en080403-5/en080403-5.html>
- [4] <http://mashable.com/2014/03/13/first-cellphone-on-sale/#vttgZA6ZYaq9>
- [5] http://www.phonearena.com/news/Heres-how-much-old-iconic-phones-would-cost-in-todays-money_id66028
- [6] <http://www.itp.net/584396-iconic-mobile-phones-from-the-80s-to-now?tab=photos&img=5>
- [7] <http://www.itp.net/584396-iconic-mobile-phones-from-the-80s-to-now?tab=photos&img=8>
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/GSM>
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/UMTS_\(telecommunication\)](https://en.wikipedia.org/wiki/UMTS_(telecommunication))
- [10] <http://telcomstar.com/gsm-bts/siemens/#>
- [11] <http://www.cellwork.de/mobilfunk/mobilfunk.html>
- [12] <http://broom02.revolvyy.com/main/index.php?s=Basetransceiverstation>
- [13] http://id.nec.com/en_ID/products/networking/for-network-service-providers/3g-mobile-communication/node-b-family.html
- [14] https://www.nttdocomo.co.jp/english/info/media_center/pr/2010/001494.html
- [15] <http://www.artizanetworks.com/index.html>
- [16] http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/125900_125999/125912/13.00.00_60/tr_125912v130000p.pdf
- [17] <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/3g-lte-basics.php>
- [18] <http://www.openet.com/areas-expertise/network-optimization/voice-over-lte-volte>
- [19] <http://www.telecomasia.net/content/seatel-cambodia-invest-400m-4g/>
- [20] https://www.nttdocomo.co.jp/english/info/media_center/pr/2015/0225_00.html
- [21] <https://ltemobilezone.wordpress.com/page/2/>
- [22] <https://windancersth.wordpress.com/tag/s-cscf/>
- [23] <http://www.exfo.com/corporate/blog/2010/long-term-evolution-part-2>
- [24] <http://www.linkedin.com/pulse/evolution-mobile-communication-from-1g-4g-5g-6g-7g-pmp-cfps>
- [25] <http://www.simpletechpost.com/2012/05/default-bearer-dedicated-bearer-what.html>
- [26] https://www.nxp.com/files/wireless_comm/doc/white_paper/LTEPTCLOVWWP.pdf

[27]http://telekomunikacije.etf.rs/predmeti/te4ks/docs/Diplomski/2011_0248_Tekst_diplomskog.pdf

SPISAK SKRAĆENICA

3GPP	3G Generation Partnership Project
8PSK	8 Phase-Shift Keying
aGW	Access GateWay (LTE)
AMC	Adaptive Modulation and Coding
AMR-WB	Adaptive Multi-Rate Wideband
ARQ	Automatic Repeat-reQuest
BSS	Base Station Subsystem
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	CORE NETWORK
DAB	Digital Audio Broadcasting
DVB	Digital Video Broadcasting
eNB	Evolved Node B (LTE)
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
E-UTRAN	Evolved UTRAN (LTE UTRAN)
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FDD	Frequency Division Duplex
FFSK	Fast Frequency Shift Keying
FOMA	Freedom of Mobile Multimedia Access
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GMSK	Gaussian Minimum Shift-Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
H-ARQ	Hybrid- Automatic Repeat-reQuest
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSCSD	High-Speed Circuit-Switched Data
HSPA	High Speed Packet Access
IP	Internet Protocol
LPC	Linear predictive coding
R-ALOHA	Reservation Aloha (University of Hawaii ALOHA protocol)

RAN	Radio Access Network
SC-FDMA	Single-Carrier Frequency Division Multiple Access
SIM	Subscriber Identity Module
TDMA	Time Division Multiple Access
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	LTE Advanced
MAP	Mobile Application Part
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Services
MSC	Modulation and Coding Scheme
MMS	Multimedia Messaging Service
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NMT	Nordic Mobile Telephone
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplex
SAE	System Architecture Evolution
SGS UE	User Equipment
SMS	Short Message Service
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VoIP	Voice over Internet Protocol
VoLTE	Voice over LTE
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of service
WAP	Wireless Application Protocol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access (UMTS 3G)
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network