

Arhitektura pokretnih komunikacijskih mreža

Jug, Emil

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:377518>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Emil Jug

ARHITEKTURA POKRETNIH KOMUNIKACIJSKIH MREŽA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ARHITEKTURA POKRETNIH KOMUNIKACIJSKIH MREŽA

**ARCHITECTURE OF MOBILE COMMUNICATION
NETWORK**

Mentor: Ivan Forenbacher, dipl. ing.
Student: Emil Jug, 0135229324

Zagreb, rujan, 2015.

ARHITEKTURA POKRETNE KOMUNIKACIJSKE MREŽE

Sažetak

Prva generacija mobilne mreže (1G) je puštena u promet od strane Japanskog operatera 1979 godine. Mreža je bila analogna i omogućavala je isključivo glasovne usluge. Međutim, sa drugom generacijom mobilne mreže (2G, GSM), koja je bila digitalna, počinje i nagli razvoj mreže, tehnologije, i mobilnih uređaja. Treća generacija mobilne mreže (3G, UMTS) , uz usluge poziva i poruka, omogućuje značajno veće brzine pristupa Internetu. LTE mreža (4G), koja je nasljednik 3G mreža, pruža još veće brzine prijenosa. Razvoj mobilnih mreža se nastavlja dolaskom 5G mreža.

KLJUČNE RIJEČI: Arhitektura; pregled; GSM; UMTS; LTE; 5G

ARCHITECTURE OF MOBILE COMMUNICATION NETWORK

Summary

The goal of present paper is to provide an overview of mobile network architectures through diverse technological generations. First generation of mobile network (1G) was released by the Japanese operator in 1979; it was analog network and allowed only voice services. Second generation of mobile network (2G, GSM) was digital and characterized by a rapid development of technology, network components, and cell phones. Third generation of mobile network, known as 3G (UMTS), beside voice and messaging services, enabled access to the Internet at significant higher speeds. LTE network (4G), being the successor of UMTS, provides even greater transmission speeds and greater affordability. The development of mobile networks continues with the advent of 5G networks.

KEY WORDS: Architecture; overview; GSM; UMTS; LTE; 5G

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. EVOLUCIJA POKRETNIH KOMUNIKACIJSKIH MREŽA	3
2.1. Osnovni mobilni ćelijski koncept	4
2.2. Prva generacija mreže.....	4
2.3. Razvoj ćelijskih sustava.....	6
3. ARHITEKTURA GSM MREŽE	9
3.1. Transmisijski sustav GSM mreže.....	9
3.2. Temeljni mrežni GSM čvorovi	9
3.3. General Packet Radio Service – GPRS	13
3.4. Enhanced Data Rates For The Gsm Evolution – EDGE	14
4. ARHITEKTURA UMTS MREŽE.....	15
4.1. Počeci razvoja treće generacije	15
4.2. Transmisijski sustav UMTS mreže	16
4.3. Temeljni mrežni UMTS čvorovi	17
4.4. Nadogradnja na postojeću UMTS arhitekturu	19
4.5. Razvoj High Speed Download Packet Access – HSDPA	20
5. ARHITEKTURA LTE MREŽE.....	22
5.1. Transmisijski sustav LTE mreže	23
5.1.1. Radijsko sučelje.....	23
5.1.2. Multiple Input Multiple Output sustavi	25
5.2. Ciljevi LTE-a.....	26
5.3. Temeljni mrežni LTE čvorovi.....	27
5.4. E-UTRAN	27
5.5. Evolved Packet Core – EPC.....	28
6. NADOLAZEĆE GENERACIJE POKRETNIH KOMUNIKACIJSKIH MREŽA	30
7. TRENUTNO STANJE NA HRVATSKOM TRŽIŠTU	33
7.1. Vipnet.....	33
7.2. Hrvatski telekom	35
8. ZAKLJUČAK	40
LITERATURA.....	41
POPIS KRATICA	43
POPIS SLIKA	46

POPIS TABLICA.....	47
--------------------	----

1. UVOD

Pokretna komunikacijska mreža obuhvaća prijenosne sustave i, prema potrebi, opremu za prospajanje ili usmjeravanje i druga sredstva koja omogućuju prijenos signala radijskim ili drugim elektromagnetskim sustavom bez obzira na vrstu podataka koji se prenose te omogućavaju uspostavljanje komunikacijske veze i u uvjetima fizičkog kretanja korisnika usluga te mreže. Naziv završnog rada je: Arhitektura pokretne komunikacijske mreže te se sastoji od slijedećih 7 cjelina:

1. Uvod
2. Evolucija pokretnih komunikacijskih mreža
3. Arhitektura UMTS mreže
4. Arhitektura LTE mreže
5. Nadolazeće generacije pokretnih komunikacijskih mreža
6. Trenutno stanje na hrvatskom tržištu
7. Zaključak

U drugom poglavlju će biti riječi o frekvencijskim opsezima te o razvoju 1G mreže. Zatim će biti opisani i sami razvoj ćelijskog sustava na kojima se danas temelje sve generacije pokretnih mreža. Biti će opisana arhitektura GSM mreže te nadogradnje na spomenutu (GPRS i EDGE) te će biti opisane glavne promjene i frekvencijsko područje na kojem djeluje.

Treće poglavlje obuhvaća samu arhitekturu UMTS mreže poznatu kao 3G mreža. Zahvaljujući 3GPP standardizacijskom tijelu, napravljena je mreža koja omogućuje velike brzine prijenosa podataka, ali u određenim uvjetima. Kao što 2G mreža ima nadogradnju, tako i u 3G mreži postoje nadogradnje koje omogućuju još veće brzine prijenosa.

Četvrto poglavlje donosi pregled 4G mreže poznatijom pod skraćenicom LTE (eng. *Long Term Evolution*) donijela je brzine prijenosa podataka do čak 100 Mbit/s. Arhitektura LTE-a i sami ciljevi te ortogonalni frekvencijski višestruki prijenos biti će objašnjeni u četvrtom poglavlju ovog rada.

U petom poglavlju će biti riječi o nadolazećoj generaciji odnosno biti će riječi o 5G te o samom njegovom razvoju i implementaciji te promjenama koje će donijeti nova generacija mreže.

U šestom poglavlju će se malo usporediti dva trenutno najveća telekomunikacijska operatera u Republici Hrvatskoj (Hrvatski Telekom i Vipnet) te o samim brzinama prijenosa podataka koji oni nude na određenim mjestima Hrvatske.

2. EVOLUCIJA POKRETNIH KOMUNIKACIJSKIH MREŽA

Medij za bežične komunikacije je otvoren prostor, a informacije se prenose putem elektromagnetskih valova. Elektromagnetsko zračenje predstavlja sredstvo za mnoge naše interakcije sa svijetom: svjetlo omogućuje da vidimo, radio valovi omogućuju gledanje televizijskog programa i slušanje radio programa, mikrovalovi se koriste kod radarskih komunikacija i slično.

Elektromagnetsko zračenje je glasnik ili predstavlja signal koji se šalje od pošiljatelja do primatelja. Pošiljatelj bi mogao biti televizijska postaja, zvijezda ili plamenik na štednjaku. Prijamnik može biti televizor, oči ili nešto slično. Kako bi se odvojili različiti bežični komunikacijski sustavi, spektar elektromagnetskih valova je podijeljen na više frekvencijskih područja. U tablici 1. vidljivo je koji elektromagnetski valovi imaju kakve opsege frekvencija te koje su im valne duljine.

Tablica 1: Elektromagnetski spektar. Podaci od [11].

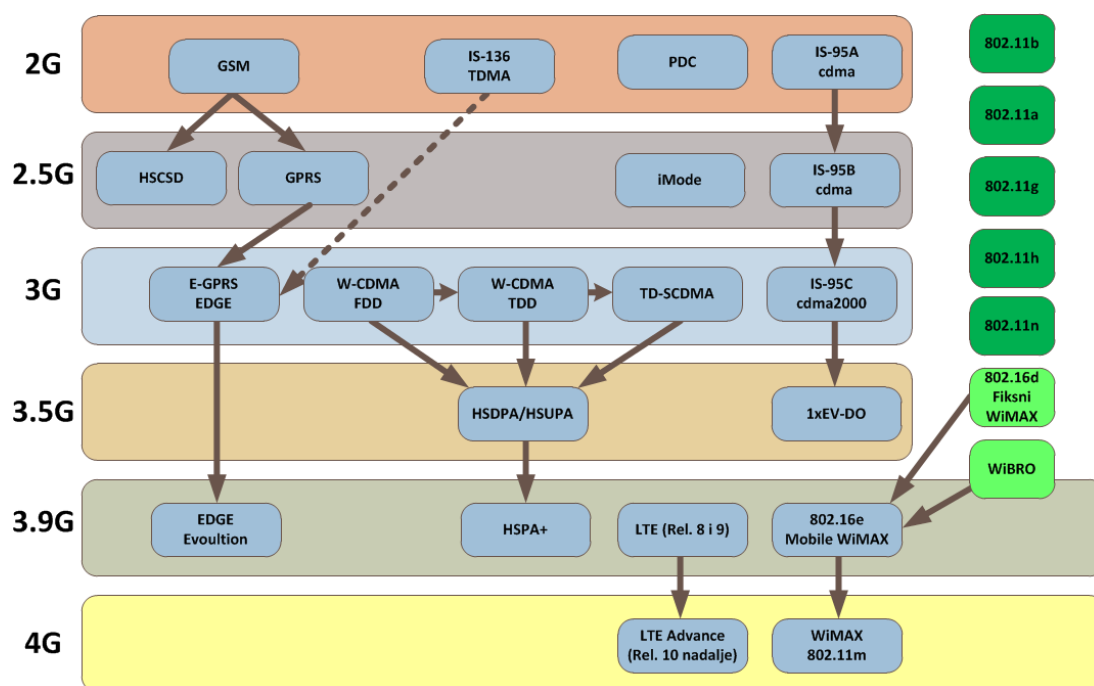
SIMBOL	NAZIV	OPSEG FREKVENCIJA	VALNA DULJINA
VLF	Vrlo niske frekvencije	3-30 kHz	100-10 km
LF	Niske frekvencije	30-300 kHz	10-1 km
MF	Srednje frekvencije	300-3000 kHz	1000-100 m
HF	Visoke frekvencije	3-30 MHz	100-10 m
VHF	Vrlo visoke frekvencije	30-300 MHz	10-1 m
UHF	Ultra visoke frekvencije	300-3000 MHz	100-10 cm
SHF	Super visoke frekvencije	3-30 GHz	10-1 cm
EHF	Ekstremno visoke frekvencije	30-300 GHz	10-1 mm

Sve ove različite vrste elektromagnetskog zračenja zapravo razlikuju samo u jednom - njihovoj valnoj duljini (frekvenciji). Rezultat širenja elektromagnetskog zračenja prema valnim duljinama (frekvencijama) jest elektromagnetski spektar.

2.1. Osnovni mobilni ćelijski koncept

Pod mobilnom komunikacijom podrazumijeva se komunikacija između dva sudionika između kojih je jedan od ta dva sudionika mobilan. Veza se uspostavlja koristeći mobilni terminalni uređaj, dok mreže određuju način prijenosa informacije. [26]

Na slici 1. je prikazani razvoj mobilnog ćelijskog koncepta i razvoj tehnologija kroz generacije. Također su prikazani i standardi koji su vezani za pojedinu generaciju koji će kasnije biti objašnjeni.



Slika 1: Evolucija bežičnih tehnologija. Podaci od [4].

2.2. Prva generacija mreže

Razvoj suvremenih mobilnih tehnologija se razvija sve više i više posljednjih 30 godina. Prva generacija mobilnih mreža NMT (eng. *Nordic Mobile Telephony*) pojavila se kasnih 1970.-tih godina koja predstavlja analogne komunikacijske sustave za prijenos govora.

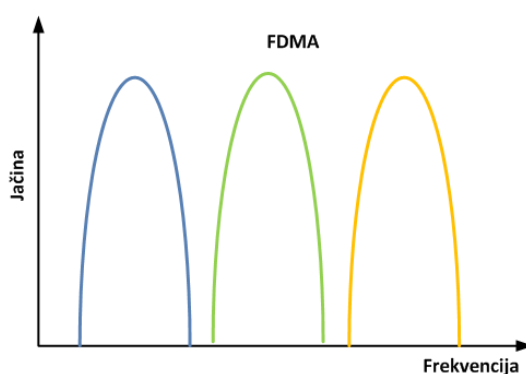
Koncepcija NMT sustava zasnovana je na bliskom međudjelovanju sa sustavom javne telefonske mreže. Zbog potrebne kompatibilnosti, sučelje između mobilnih stanica i fiksnih dijelova sustava isto je u svim zemljama. Pa ipak, u Hrvatskoj se, zbog nemogućnosti korištenja odgovarajućih frekvencija, koristi drugačije frekvencijsko područje, što je uzrok nekompatibilnosti. Zbog toga “hrvatske” NMT mobitele nije bilo moguće koristiti u drugim

državama koje imaju NMT sustav, osim u Sloveniji, koja je također koristila isto frekvencijsko područje. [8].

U svijetu postoje dva osnovna sustava NMT tehnologije, a to su NMT450 i NMT900. Brojevi u tim sustavima označavaju frekvencijsko područje na kojem djeluju ovi sustavi, što znači da NMT450 djeluje na frekvencijskom području od 450 MHz, a NMT900 na frekvencijskom području od 900 MHz. [5]

Također, NMT mreža koristi tehnologiju višestrukog pristupa po frekvenciji FDMA (*eng. Frequency Division Multiple Access*). To je tehnologija koja je izvediva samo onda kad je iskoristiva širina prijenosnog pojasa prijenosnog medija veća od ukupne širine prijenosnog pojasa svih signala koji se multipleksiraju na dotični medij.

Prilikom pristupa većeg broja signala na jedan medij bitno je da se frekvencijski pojasevi moduliranih signala ne preklapaju. Kada je taj uvjet ispunjen, tada je moguć i istodobni prijenos većeg broja frekvencijskih signala kroz zajednički prijenosni medij, čime se ostvaruje bit FDMA. [1]



Slika 2: Princip rada FDMA tehnike.

Na slici 2. vidljivo je da je svakom korisniku dodijeljena različita frekvencija. Signali svi putuju paralelno po komunikacijskom linku, ali su podijeljeni po frekvencijama, odnosno svaki signal putuje na drugom dijelu frekvencijskog spektra.

2.3. Razvoj ćelijskih sustava

Do razvoja ćelijskih mobilnih sustava i njihove implementacije dolazi zbog ograničenja konvencionalnih mobilnih telefonskih sustava: ograničeno područje posluživanja, male performanse usluge, neefikasno iskorištavanje frekvencijskog spektra. [13]

Stoga, prema [13], zahtjevi postavljeni pred drugu generaciju mreže GSM (*eng. Global System for Mobile Communications*) sustav mogu se iskazati kroz sljedeće:

- Povećanje kapaciteta sustava uz bolju iskoristivost raspoloživog spektra
- Mogućnost korištenja GSM opreme neovisno o državnim granicama (*engl. roaming*)
- Povećanje kvalitete radio-veze kao i povećanje opsega ponuđenih usluga
- Smanjenje cijene korisničke opreme kao i cijene infrastrukture
- Smanjenje veličine korisničke opreme
- Povećanje efikasnosti baterijskog punjenja mobilnih stanica
- Smanjenje veličine ćelija
- Kompatibilnost sa digitalnim ISDN mrežama
- Povećanje "sigurnosti" razgovora (smanjenje mogućnosti prisluškivanja)

Osnovni koncept efikasnog iskorištavanja spektra kod dizajniranja mobilnih radio-sustava može biti podijeljen u nekoliko elemenata i svaki element može biti analiziran u odnosu na druge. Osnovni elementi, prema [13], su:

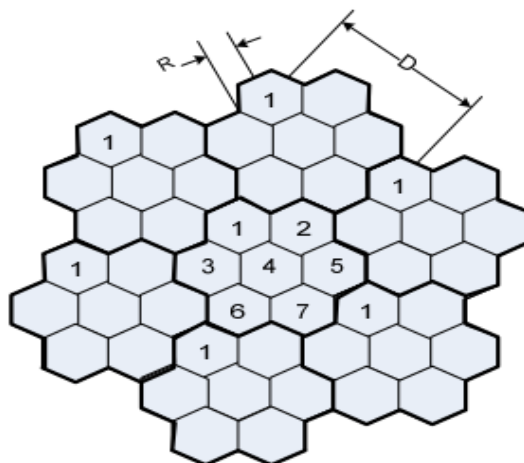
- koncept ponovne upotrebe frekvencijskih kanala
- redukcijski faktor istokanalne interferencije
- zahtijevani omjer signala nositelja i smetnje
- mehanizmi prekapčanja/preuzimanja
- dijeljenje ćelija

Ponovna upotreba iste frekvencije je osnovni koncept ćelijskog mobilnog radio-sustava te korisnici na različitim geografskim lokacijama mogu istovremeno koristiti isti frekvencijski kanal. Ponovnom upotrebom iste frekvencije može se drastično povećati efikasnost spektra, ali ako se sustav valjano ne dizajnira, može uzrokovati ozbiljne probleme kao što je interferencija. [13].

Koncept ponovne upotrebe iste frekvencije može biti upotrijebljen u vremenskoj i prostornoj domeni. Upotrebe iste frekvencije u vremenskoj domeni rezultira zauzimanjem iste frekvencije u različitim vremenskim slotovima i to se naziva TDMA (*eng. Time Division Multiple Access*).

Ponovna upotreba iste frekvencije u prostornoj domeni, prema [13], može biti podijeljena u dvije kategorije:

- ista frekvencija dodijeljena je na dva različita geografska područja kao što su AM i FM radiostanice koje upotrebljavaju istu frekvenciju u dva različita grada.
- ista frekvencija koristi se nekoliko puta na istom području u jednom sustavu, ta shema se zapravo koristi u ćelijskom sustavu. Postoji mnogo ćelija sa istom frekvencijom. Ukupni dodijeljeni frekvencijski spektar dijeli se u K uzoraka sa ponovnom upotrebom iste frekvencije.



Slika 3: Uzorak ponovne uporabe frekvencija. Slika preuzeta od [13]

Na slici 3. prikazan je način na koji je osmišljeni ćelijski koncept. Naime, slovo R označava polumjer ćelije i sve ćelije su jednake veličine. Slovo D označava minimalnu udaljenost na kojoj je ponovno moguće upotrijebiti istu frekvenciju da ne bi došlo do interferencije. Ta udaljenost se izračunava prema sljedećoj formuli, prema [13]:

$$D = \sqrt{3 * K} * R \quad (1)$$

gdje je već ranije spomenuto D minimalna udaljenost na kojoj je ponovno moguće upotrijebiti frekvenciju, R polumjer ćelije dok je K broj klastera odnosno broj ćelija u grupi bez ponavljanja.

Prema [13], broj ćelija K se također dobiva po formuli a ona glasi:

$$K = i^2 + i * j + j^2 \quad (2)$$

gdje najmanji K koji je moguće dobiti iznosi 3.

3. ARHITEKTURA GSM MREŽE

Druga generacija mreže, odnosno *Global System for Mobile Communications* (GSM) je generacija mreže koja uvodi veliku promjenu u svijet telekomunikacija. Naime, NMT mreža je bila analogna mreža koja je omogućavala samo uslugu prijenosa govora, dok kod GSM-a, uključujući mreže nadalje, je digitalni sustav koji omogućuje usluge prijenosa govora i podatka.

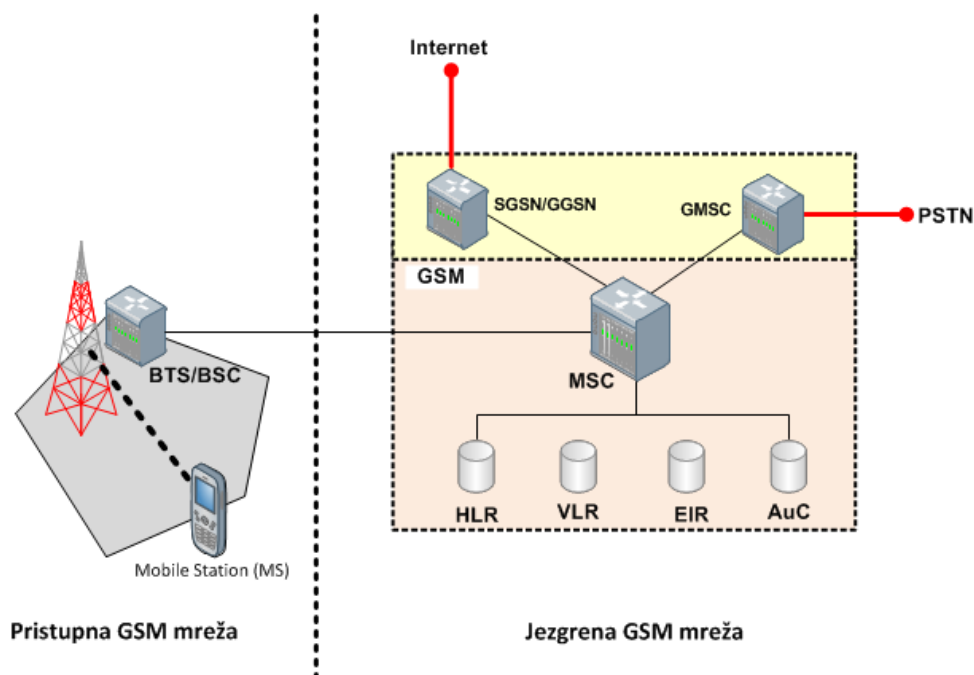
3.1. Transmisijski sustav GSM mreže

Pojavom GSM-a pojavio se i novi način višestrukog pristupa, a to je pristup po vremenskoj raspodjeli, odnosno TDMA. Dodijeljeno frekvencijsko područje podijeli se na kanale, koji se dijele na veliki broj vremenskih raspورا. Svakom korisniku se dodjeljuje jedan vremenski raspор, tako da preko jednog kanala posluđuje 8 korisnika. [24]

Prema [24], frekvencijski opseg GSM sustava je 890 - 915 i 935 – 960 MHz. Broj frekvencija je 126, dok je broj kanala $124 \times 8 = 992$. Širina jednog kanala je 200kHz, dok je domet, odnosno pokrivenost jedne bazne stanice (ovisi o konfiguraciji tla i okoline) od 0,2 do 35km.

3.2. Temeljni mrežni GSM čvorovi

Na slici 4. prikazana je arhitektura GSM mreže te je moguće zaključiti da se mreža sastoji od tri glavna dijela odnosno od pokretne postaje (*eng. Mobile Station, MS*), od pristupne mreže (*eng. Access Network, AN*) i od jezgrene mreže (*eng. Core Network, CN*).



Slika 4: Arhitektura GSM-a. Podaci od [2].

Mobilna stanica je dio mreže GSM-a gdje pripada terminalni uređaj, odnosno pokretni telefon, te SIM kartica (*eng. Subscriber Identity Module*). SIM kartica se nalazi unutar mobilnog terminalnog uređaja te kao takva ima poseban broj koji samo nju označuje i preko toga broja je moguće uspostaviti kontakt s osobom koji posjeduje SIM karticu. Također, sadrži prostor na koji se mogu spremati informacije (brojevi ostalih SIM kartica) te ima zaštitu PIN-om od neovlaštenog korištenja.

Pristupna mreža odnosno AN je mreža koja sadrži baznu postaju BTS (*eng. Base Transceiver Station*) i kontroler bazne stanice BSC (*eng. Base Station Controller*). BTS je bazna stanica kojom se ostvaruje pristup do MS. Ona uključuje opremu koja se odnosi na radio i transmisijska sučelja potrebna u jednoj ćeliji ili na jednoj lokaciji. [2]

BTS ima kontrolu nad jednom ili više ćelija te on radi s najmanje jednim parom frekvencija. Radijus jedne BTS je otprilike 100 m do 35 km, ovisno o konfiguraciji terena. Također, bazna stanica sadrži jednu ili nekoliko radio antena, radio primopredajnik i link prema kontroleru baznih stanica.[13]

BSC je upravljač bazne stanice za nekoliko grupiranih baznih stanica, prisutan u GSM-u, a kod ostalih ćelijskih standarda funkcije BSC-a ugrađene su u MSC. BSC se smatra centralnom točkom sustava pristupne mreže te upravlja radio mrežom i prema [6], izvodi sljedeće funkcije:

- upravljanje pozivima i prekapčanjima,
- upravljanje radio mrežom
- transkodiranje i prilagođavanje brzina
- koncentracija prometa
- upravljanje transmisijom za bazne stanice
- daljinsko upravljanje baznim stanicama

MSC (*eng. Mobile Switching Center*) je komutacijsko čvorište ćelijske mreže koje obavlja osnovne komutacijske funkcije i specijalizirane funkcije vezane uz pokretnu mrežu. MSC je odgovoran za uspostavu, usmjeravanje, upravljanje i nadzor poziva od i prema mobilnim korisnicima. Uz svaki MSC, prema [6] dolaze i baze s podacima o vlastitim pretplatnicima i pretplatnicima drugih mreža:

- Domaći lokacijski registar HLR (*eng. Home Location Register*)
- Gostujući lokacijski registar VLR (*eng. Visitor Location Register*)
- Centar za provjeru autentičnosti AuC (*eng. Authentication Centre*)
- Registar identifikacije opreme EIR (*eng. Equipment Identification Register*)

HLR sadrži podatke o svim pretplatnicima GSM mreže. To je centralna baza podataka koja sadrži detalje o svakom pretplatniku mobilnog telefona koji je autoriziran da može koristiti jezgrenu mrežu GSM mreže. HLR sprema podatke o svakoj SIM kartici izdanoj od mobilnog operatera, a svaki SIM ima jedinstven identifikator koji se naziva IMSI (*eng. International Mobile Subscriber Identity*) te on predstavlja primarni ključ za svaki HLR zapis.[2]

Za svakog pretplatnika koji se nalazi na području kontrole VLR registra, VLR sadrži izabrane podatke iz HLR registra nužne za kontrolu poziva i obračun pretplatničkih računa istih. Iako svaka funkcionalna cjelina može biti upotrijebljena zasebno, proizvođači opreme objedinjuju VLR s mobilnim komunikacijskim centrom.[2]

AuC je baza podataka koja pamti tajni ključ koji služi za autorizaciju korisnika i za kriptiranje komunikacije svakog pretplatnika. Povezani je s HLR-om i može biti ugrađen u isti uređaj. [2].

Baza podataka koja sadrži listu mobilnih uređaja koji mogu pristupiti sustavu, gdje se svaka mobilna jedinica identificira s IMEI (*eng. International Mobile Station Equipment Identity*) kodom naziva se EIR baza podataka. Ukoliko vlasnik uređaja prijavljuje krađu, u EIR registru se IMEI kod označava kao nedozvoljeni za uporabu. U skladu s već dosad navedenim, važno je spomenuti i GMSC (*eng. Gateway Mobile Switching Center*) koji ima prevodilačku funkciju između fiksne i mobilne mreže. [2]

3.3. General Packet Radio Service – GPRS

Pristup Internetu uvelike se počeo koristiti pojavom 2.5 generacije mreže odnosno GPRS (*eng. General Packet Radio Service*). GPRS je nadogradnja na drugu generaciju mreže koji za razliku od GSM podržava komutaciju paketa te omogućuje slanje i primanje informacija pokretnom mrežom.

GPRS omogućuje komunikaciju paketa na način da rezervira kanale za prijenos podataka samo u onom trenutku kada korisnik zaista ima podatke za poslati, u suprotnom frekvencije ostaju slobodne za korištenje od strane drugih korisnika. Maksimalna količina podataka koja može biti prenesena ovisi o broju korisnika, dok se naplata vrši po ostvarenom prometu, a ne trajanju podatkovne veze.

Raspon radio-sučelja GPRS-a kreće se u rasponu od 1 do 8. Ovisno o broju okvira koji se koriste, brzine prijenosa kreću se od 9.6 kbit/s uz jedan okvir, do 171.2 kbit/s uz upotrebu svih 8 okvira. Budući da je u GPRS tehnologiji komutacijom paketa omogućen pristup Internetu, GPRS predstavlja temeljnu tehnologiju na kojoj su razvijene i ostale tehnologije za mobilni pristup Internetu. [2]

Kao što je već rečeno, GPRS predstavlja nadogradnju na već postojeći GSM sustav tako da se arhitektura GPRS-a ne razlikuje previše od arhitekture GSM-a.

Novi entiteti koji su prisutni u mreži su SGSN (*eng. Service GPRS Support Node*) i GGSN (*eng. Gateway GPRS Support Node*). Također, događaju se promjene i u pristupnoj mreži gdje se BSC proširuje s paketskom kontrolnom jedinicom odnosno PCU (*eng. Packet Control Unit*). PCU se povezuje s paketskim dijelom mreže protokolom IP (*eng. Internet Protocol*). [2].

SGSN, odnosno uslužni GPRS potporni čvor, ima za ulogu da veza između pristupne mreže i GGSN obavlja funkcije paketske komunikacije i da se poslužuje korisnika. GGSN-ova je funkcija povezivanje korisnika s drugim podatkovnim mrežama. [2]

3.4. Enhanced Data Rates For The Gsm Evolution – EDGE

Postojeće društvo, a posebno mladi, pred tehnologiju i znanost stavljaju nove zahtjeve. Tako, kao poboljšanje GSM mreže, nastaje EDGE (*eng. Enhanced Data rates for the GSM Evolution*). Radi se o promjeni modulacijske tehnike u GSM mreži. Dakle, ako se umjesto GMSK modulacijske tehnike primijeni 8PSK (*eng. 8 Phase Shift Keying*) tehnika, dobije se brzina od 48 kbit/s na jednom kanalu. Ukoliko se kombinira 8 takvih kanala na istom nosiocu postižu se brzine čak i do 384 kbit/s. [5]

Međutim, sve značajke i poboljšanja gotovo su neusporediva s mogućnostima koje se mogu postići nadogradnjom postojećih i uvođenjem novih tehnologija za bežični pristup Internetu u vidu propusnosti, mobilnosti, sigurnosti i brzine prijenosa podataka. Time je globalna tehnološka industrija bila prisiljena raditi na novim tehnologijama, što predstavlja početak evolucije treće generacije mreža.

4. ARHITEKTURA UMTS MREŽE

2G tehnologije nisu pružale mogućnosti u dovoljnoj mjeri te je počeo rad na stvaranju sljedeće generacije poznate kao 3G. Glavna razlika kojom se 3G tehnologija ističe je upotreba preusmjeravanja paketa za prijenos podataka. 2G mreža je bila uglavnom usmjerena prema pozivima i porukama, dok je prijenos podataka bio moguć, ali uz male brzine prijenosa.

Kod 3G je najviše pažnje posvećeno upravo većim brzinama prijenosa i pristupa Internetu. Uz to, standardizacija je usredotočena više na potrebe nego na tehnologiju (u smislu povećanja brzine i količine prijenosa podataka), što je neizbježno dovelo do nastanka mnogo konkurentskih standarda.

4.1. Počeci razvoja treće generacije

Slijedeći unaprjeđenja nastala uvođenjem paketskog prijenosa podataka u 2G mrežama (isprva GPRS, kasnije i EDGE) te temelje postavljene od strane Međunarodne telekomunikacijske unije ITU (*eng. International Telecommunications Union*) tijekom devedesetih se godina intenzivno standardiziraju i 3G tehnologije.

3G standardi razvijeni su od strane Međunarodne telekomunikacijske unije pod imenima IMT-2000 (*eng. International Mobile Telecommunications 2000*) ili UMTS (*eng. Universal Mobile Telecommunications System*). 3G mobilni sustav ističe mogućnost širokopojasne komunikacije. 3G mreža koristi paketni prijenos, a obično se nalazi na 2 GHz frekvencijskom pojasu te ima svoje opće zahtjeve, prema [13], a to su:

- brzine prijenosa podataka od 2 Mbits (uređaji i korisnici su stacionarni)
- 384 Kbit/s za korisnika koji se kreću pješačkom brzinom
- 144 Kbit/s za korisnike koji su u pokretnom vozilu.

Kako je bila sve veća potreba za podatkovnim uslugama, bilo kada i bilo gdje, trebala se osigurati velika brzina prijenosa kod UMTS-a, te se tada počinje koristiti nova tehnologija poznata kao WCDMA. [8]

4.2. Transmisijski sustav UMTS mreže

Dva glavna 3G standarda su WCDMA (*eng. Wideband Code Division Multiple Access*) i CDMA2000, a koji se provodi u dva tijela ITU-a: 3GPP (*eng. Third-Generation Partnership Project*) i 3GPP2 (*eng. Third-Generation Partnership Project 2*). Prve komercijalne 3G mreže pokrenute su 2001. godine u Japanu i 2003. u Europi.

Danas korisnici svjedoče uspješnom evolucijom WCDMA mreža uvođenjem brzog paketskog pristupa (HSPA – *eng. High Speed Packet Access*) kroz kontinuirana unaprjeđenja koja donose nova izdanja 3GPP specifikacija. 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).

Korištena modulacija u UMTS je *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK)[23]. WCDMA je tehnologija pristupa koja je ista kao i CDMA (*eng. Code Division Multiple Access*) samo je jedina razlika u širini frekvencijskog pojasa. CDMA koristi 1.25 MHz širinu frekvencijskog pojasa dok WCDMA koristi 5 MHz širinu frekvencijskog pojasa. [14]

Ovakva se tehnologija uvelike razlikuje od FDMA i TDMA. Riječ je o tome da se signal koji se emitira po kanalu širi i po cijelom frekvencijskom kanalu, koji je kodiran, a znaju ga samo prijemnik i predajnik. Kako je svaki signal u kanalu jedinstven, može se razlikovati od ostalih, ispravno primiti i obraditi u prijemniku. [14]

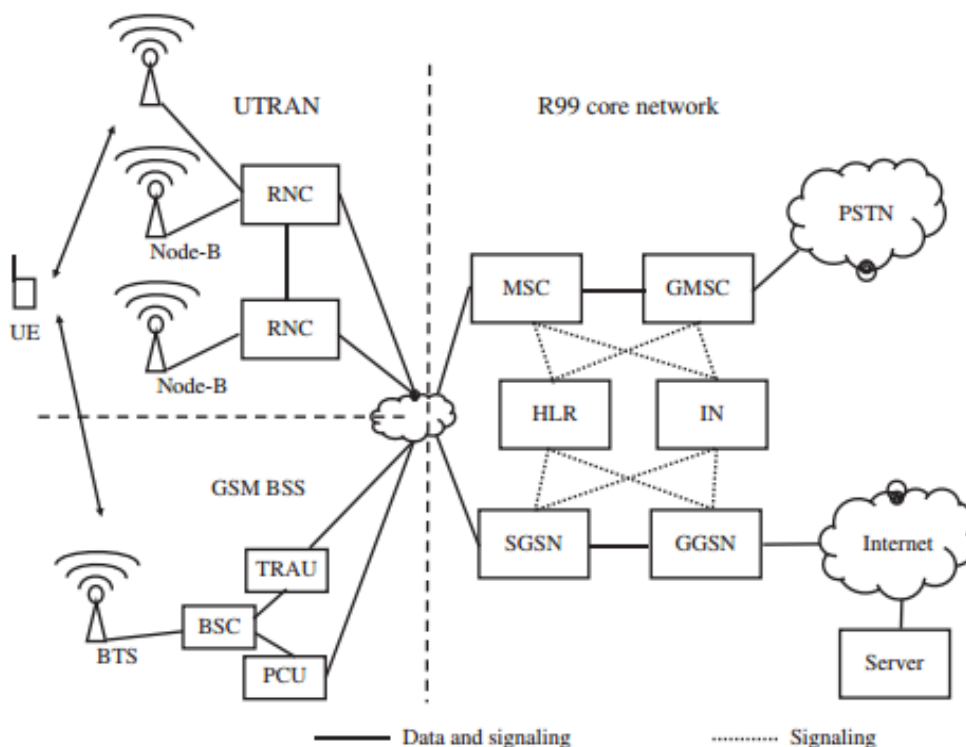
Bitno je spomenuti i pojam „disanje ćelije“. Kad se uspoređi s tradicionalnim TDMA sustavom, pokrivanje u WCDMA-u ovisi o opterećenju ćelije. Što je više prometa, veća je i interferencija, a time i manja dozvoljena udaljenost između bazne postaje i korisničke opreme. U sustavu gdje se prometno opterećenje mijenja, to će izazvati rast ili smanjenje ćelije u nekom vremenskom periodu. Taj efekt nazivamo „disanje ćelije“. [8]

4.3. Temeljni mrežni UMTS čvorovi

Pojavom WCDMA tehnologije dolazi do značajnije promjene u arhitekturi samih mreža. Tako je 3GPP je objavio prvu verziju kombinacije GSM/UMTS koja se zove Release 99 gdje broj označava godinu kada je prvi put pušteno u rad. Ostale nadogradnje se nazivaju Release 4, Release 5, Release 6 i tako dalje sve do Release 10 kad 3GPP kombinira između GSM, UMTS, LTE i LTE-Advanced. [3].

Release 99 sadrži sve specifikacije za puštanje u rad UMTS mreže. S obzirom da se koristi potpuno novi način radijskog pristupa (WCDMA), javljaju se novi elementi u arhitekturi mreže koji se zajedno nazivaju UTRAN (*eng. UMTS Terrestrial Radio Access Network*) prikazano na slici 6.

Koncept baznih stanica i kontrolera baznih stanica je prekopirano iz GSM mreže. Kako su ti mrežni elementi u GSM nazvani BTS i BSC, kod UTRAN mreži oni su nazvani Node-B i RNC (*eng. Radio Network Controller*)(Slika 5). Nadalje, mobilna stanica, odnosno MS, u UMTS mreži dobiva naziv UE (*eng. User Equipment*). [3]



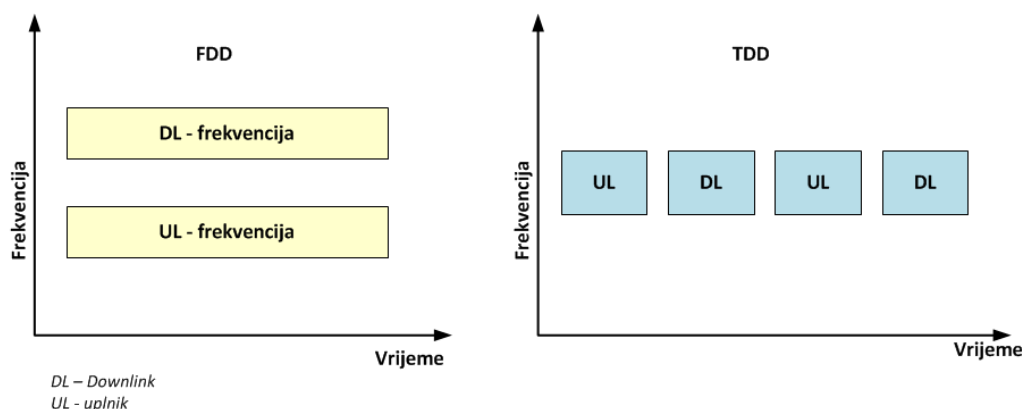
Slika 5: GSM/UMTS mreža. Slika preuzeta od [3].

UTRAN mreža, prema [13], je konceptualno podijeljena na 4 zone:

1. Zona 1 – Unutarnji prostori - pokriveni piko ćelijama
2. Zona 2 – Urbana područja – pokrivenost mikro ćelijama
3. Zona 3 – Ruralna i prigradska područja – pokrivenost makro ćelijama
4. Zona 4 – Globalno područje – *Mobile Satellite Systems* pokrivenost

Brzine prijenosa signala obrnuto su proporcionalne povećanju mobilnosti, tj. brzini kretanja korisnika unutar područja pokrivenosti. [13]

UMTS mreža radi na dvosmjerni prijenos, odnosno dupleks koji istodobno omogućava kontinuiranu i istodobnu komunikaciju u silaznoj vezi (DL, *down-link*), od bazne postaje prema korisničkim mobilnim uređajima i uzlaznoj vezi (UL, *up-link*), od korisničkog uređaja prema baznoj postaji (*full duplex*). U realizaciji dupleksnog prijenosa, mogu se koristiti dva pristupa: frekvencijski dupleks FDD (*eng. Frequency Division Duplex*) i vremenski dupleks TDD (*eng. Time Division Duplex*). (slika 8.)



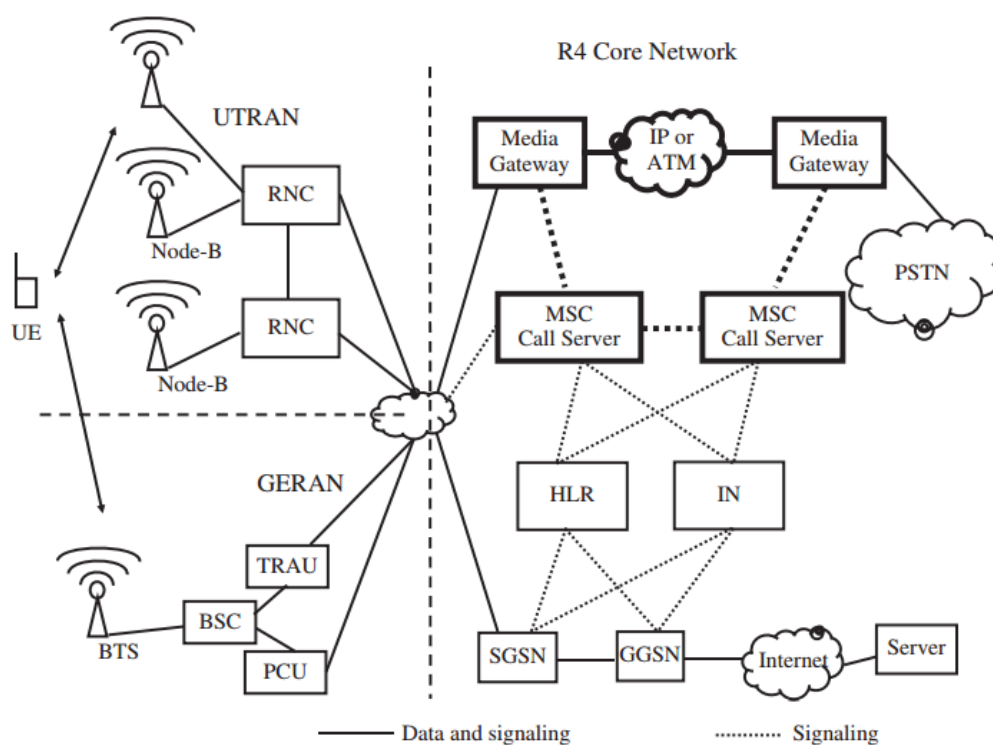
Slika 6: Usporedba FDD-a i TDD-a. Podaci od [15].

Vidljivo je prema slici 6. da su na frekvencijskom dupleksu (lijeva strana slike) silazna i uzlazna veza odvojeni frekvencijski i da je silazna veza uvijek na višoj frekvenciji od uzlazne. Također, koriste se i dva odijeljena bloka frekvencija između kojih se nalazi zaštitni interval. Kod vremenskog dupleksa (desna strana slike), vidljivo je da su silazna i uzlazna veza odijeljena vremenski i da se može koristiti samo jedan blok frekvencija koji se dijeli na vremenske odsječke za uzlaznu i za silaznu vezu.

4.4. Nadogradnja na postojeću UMTS arhitekturu

Kako je 3GPP zaslužan za razvoj i implementaciju UMTS mreže, tako je 3GPP zaslužan i za ostale nadogradnje koje se događaju. Tako je 3GPP nadogradnjom na UMTS imenom Release 4 donio nova poboljšanja u mreži. Kako je Release 99 imao *circuit-switched* za pozive i za prijenos podataka koji su se prenosili u 64 kbit/s vremenskim odsječcima, u Release 4 verziji dolazi do novog koncepta koji se naziva BICN (*eng. Bearer-Independent Core Network*), tako da se prijenos podataka i pozivi prenose unutar IP paketa. [3]

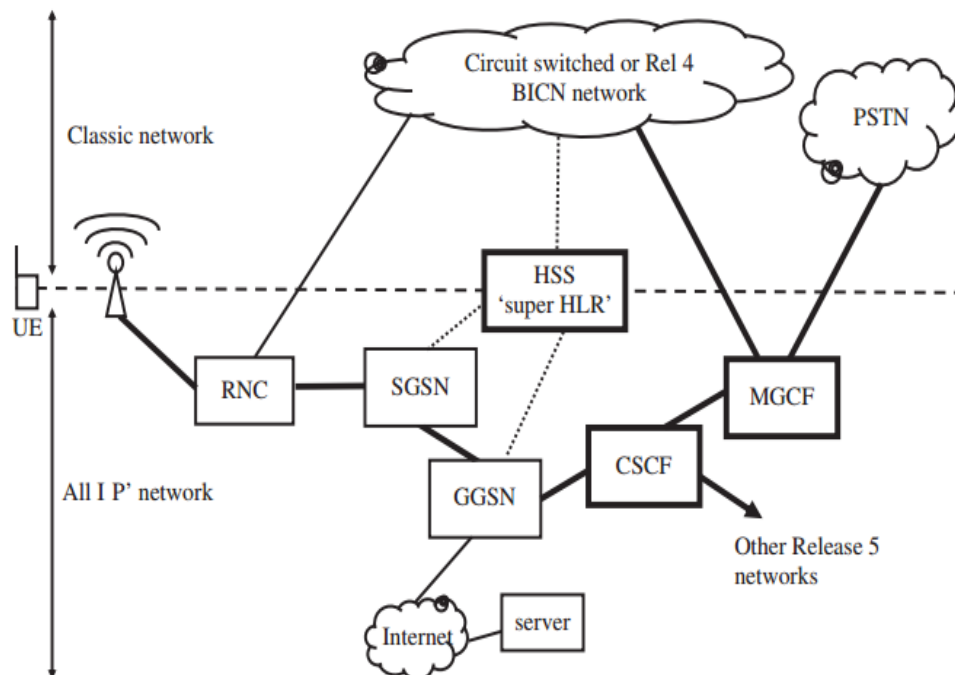
U tu svrhu, MSC je podijeljen u MSC-Server (MSC-S), koji je odgovoran za upravljanje pozivima (*eng. Call Control, CC*) i upravljanje mobilnosti (*eng. Mobility Management, MM*), i Media Gateway (MG), koji je odgovoran za pretvorbu formata podataka korisnika za različite metode prijenosa. (Slika 7) [3]



Slika 7: Nadogradnja na UMTS. Slika preuzeta od [3]

4.5. Razvoj High Speed Download Packet Access – HSDPA

Korak naprijed u svim IP bežičnim mrežama je IMS (*eng. IP Multimedia Subsystem*) kojega je kao temelj postavio 3GPP kada je Release 5 izašao. Umjesto korištenja *circuit-switched* dijela mreže, IMS koristi *packet-switched* dio mreže koji je prikazan slikom 8.



Slika 8: UMTS Release 5. Slika preuzeta od [3]

Uloga IMS-a je višestruka. U jezgrenoj mreži bežičnih operatora IMS treba omogućiti integraciju raznih naprednih i višemedijskih usluga te postići konvergenciju postojećih mreža s Internetom u jedinstvenu pokretnu širokopojasnu mrežu. U mreži nepokretnih operatora IMS treba napraviti jedinstvenu platformu za pružanje usluga, a time i unificirati mjesto odakle se usluge pružaju odvajajući usluge od mreže. [10]

Također, bitna zadaća IMS-a je omogućiti konvergenciju pokretne i nepokretne mreže. U konačnici, jednom implementirana „sve-IP“ mreža će služiti prijenosu svih vrsta prometa i podataka, bilo da je riječ o glasu, videu ili datotekama. [10]

Jezgra IMS se sastoji od niza čvorova koji tvore CSCF (*eng. Call Session Control Function*). CSCF je u osnovi SIP (*eng. Session Initiation Protocol*) koji je u početku razvijen za fiksne linije i jedan je od ključnih protokola za većinu VoIP telefonskih usluga dostupni na tržištu danas.[3]

CSCF radi korak dalje i poboljšava SIP standard s brojem funkcionalnosti potrebne za mobilne mreže. Na taj način, IMS može prenositi glasovne pozive preko IP, ne samo u jezgri mreže, ali s kraja na kraj koji je između dva mobilna uređaja. [3]

Najvažnija nova funkcionalnost koja je uvedena u 3GPP Release 5 je novi prijenos podataka koji se zove HSDPA (*eng. High-Speed Download Packet Access*) za povećanje brzine prijenosa podataka od mreže do korisnika. Dok 384 kbit/s je maksimalna brzina u izdanju 99, HSDPA povećao brzinu po korisniku, pod normalnim uvjetima, na nekoliko megabita u sekundi. [3]. Maksimalna brzina, prema [3], najviše ovisi o sljedećim uvjetima:

- maksimalnoj propusnosti mobilnog uređaja
- sofisticiranosti prijamnika i antene mobilnog uređaja
- sposobnosti mreže
- radio uvjetima na mjestima gdje se koristi mobilni uređaj (jačina signala i smetnje od susjedne bazne stanice)
- propusnosti mreže između bazne stanice i ostalih mreža
- broj ostalih aktivnih korisnika koji istovremeno razmjenjuju podatke

Kako je ranije spomenuto, ukoliko se mobilni uređaj nađe u neposrednoj blizini bazne stanice da prima bolji signal, može se postići prijenos podataka u velikim brzinama. Međutim, i u malo slabijim radio uvjetima te korištenja više korisnika iste ćelije istovremeno, brzina može i dalje iznositi nekoliko megabita po sekundi.

5. ARHITEKTURA LTE MREŽE

Kada se spominje LTE zapravo se misli na tehnologije koje specifira 3GPP (u svojem osmom izdanju specifikacija, Release 8) kao temelj za evoluciju 3G mobilnih mreža. Stvarna mreža zasnovana na tim tehnologijama tvori evoluirani paketski sustav EPS (*eng. Evolved Packet System*).

3GPP Release 10 predstavlja napredni LTE standard (LTE Advanced) i ubraja se u pravu četvrtu generaciju. Među značajnijim karakteristikama i zahtjevima, prema [7], za napredni LTE je i sljedeće:

- vršne brzine prijenosa podataka za silaznu vezu 1Gbit/s, a za uzlaznu vezu 500 Mbit/s
- frekvencijsko područje 70 MHz-a za DL i 40 MHz za UL
- dvostruko veća brzina podataka na rubu ćelije u odnosu na LTE
- prosječna brzina prijenosa podataka po korisniku 3 puta veća u odnosu na LTE

LTE tehnologija može omogućiti brzine prijenosa od barem 100Mbit/s te osigurava telefoniju, televiziju visoke rezolucije HDTV (*eng. High Definition Television*) i širokopojasni pristup Internetu u potpuno IP temeljenoj okolini. Iste bazne stanice i stupovi korišteni za 3G mogu se koristiti i za LTE uz prilagodbu opreme i softvera.

Postojeće LTE mreže uglavnom rade na 1800 i 2600 MHz spektru, a kada se ukine analogna televizija uvest će se spektar od 800 MHz koji će zbog svoje prirode omogućiti bolju pokrivenost. Uređaji koji su namijenjeni tržištu će vjerojatno podržavati sve tri frekvencije tako da postoji mogućnost izostanka kompatibilnosti.

Glavna razlika između 3G odnosno UMTS-a i LTE-a mreže su brzina prijenosa podataka, metode prijenosa, pristupna tehnologija za Internet, kompatibilnost sučelja s okosnicom mreže, kvaliteta usluge i zaštita. Mreža 4G nastala je zahvaljujući sve većoj potražnji za paketnim sadržajem koji ne spada pod klasičnu glasovnu telefoniju. Kako mreža napreduje, tako će morati biti i dostupan sve veći izbor sadržaja, kako bi se zadovoljile potrebe korisnika.

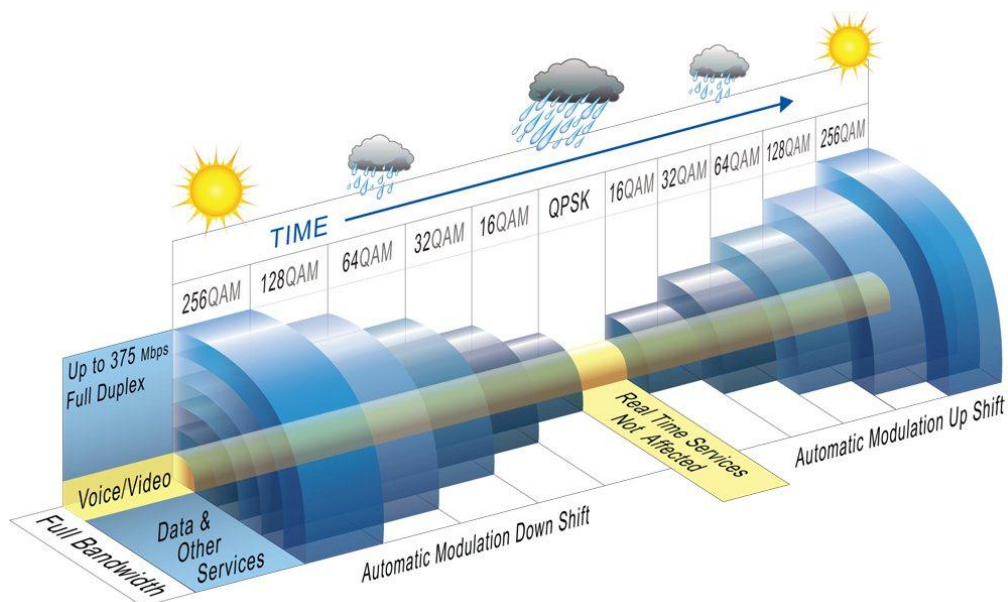
Budući da je zaključeno kako će novo radijsko LTE sučelje zahtijevati i odgovarajuću evoluiranu arhitekturu sustava SAE (*eng. System Architecture Evolution*), u proljeće 2005.

godine 3GPP grupa za tehničke specifikacije arhitekture sustava (TSG SA) pokrenula je prateće istraživanje. [6]

5.1. Transmisijski sustav LTE mreže

5.1.1. Radijsko sučelje

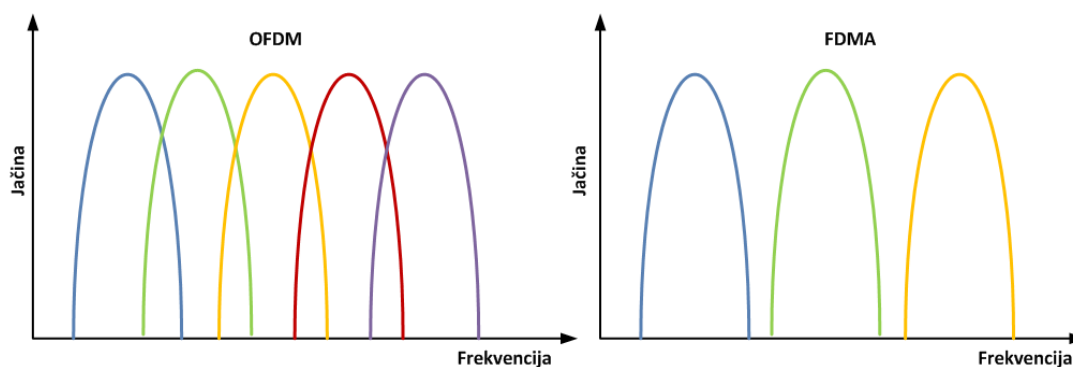
LTE radijsko sučelje zasniva se na upotrebi adaptivnih modulacijskih tehnika, odnosno kvadrature amplitudne modulacije (engl. *Quadrature Amplitude Modulation*, QAM-N). Pojam „adaptivno“ označava da se modulacijska tehnika može prilagoditi sukladno stanju i kvaliteti radio veze (Slika 9).



Slika 9: Ilustracija adaptivnih modulacija . Preuzeto od [24].

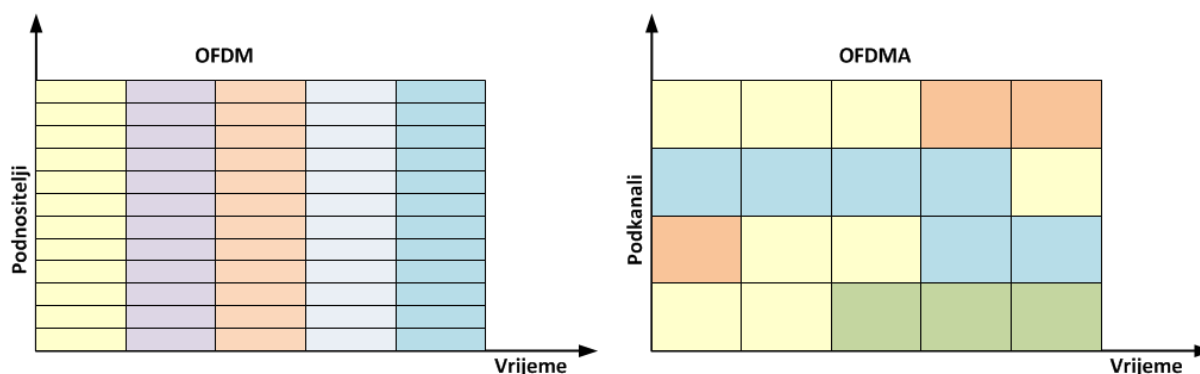
LTE koristi tehnike višestrukog pristupa primjenom ortogonalnog multipleksiranja frekvencijskim odvajanjem OFDM (eng. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) s OFDMA (eng. *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) višestrukim pristupom u silaznoj vezi te višestrukog pristupa s frekvencijskom 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. MIMO. [6]

OFDM je tehnika koja kombinira modulacijske i multipleksirajuće tehnike. Izrazito je otporna na frekvencijsko slabljenje i stoga pokazuje dobre performanse u visoko vremenski disperzivnim radijskim okružjima. Sveukupni tok podataka razdvaja se iz serijskog u veliki broj paralelnih tokova koji se potom prenose na zasebnim podnositeljima (*engl. Subchannel*, Slika 10.). Budući da svaki podnositelj ima nisku brzinu prijenosa simbola, njihovo trajanje je produženo. Kako su podnositelji postavljeni tako da svi ostali imaju vrijednost nula u trenutku uzorkovanja pojedinog podnositelja, ostvarena je njihova potpuna ortogonalnost¹. [6]



Slika 10: Usporedba OFDM i FDMA.

Budući da kod OFDM sustava, samo jedan korisnik može slati podatke preko svih podnositelja u bilo kojem trenutku, OFDMA tehnika je jedno od rješenja koja dozvoljava većem broju korisnika istovremeno slanje podataka na različitim podnositeljima. Moguće je dodijeljivanje određenog broja podnositelja određenom korisniku u određenom vremenskom periodu. Takvo udruživanje podnositelja naziva se podkanal (*engl. Subchannel*). Usporedba OFDM i OFDMA prikazana je slikom 11.

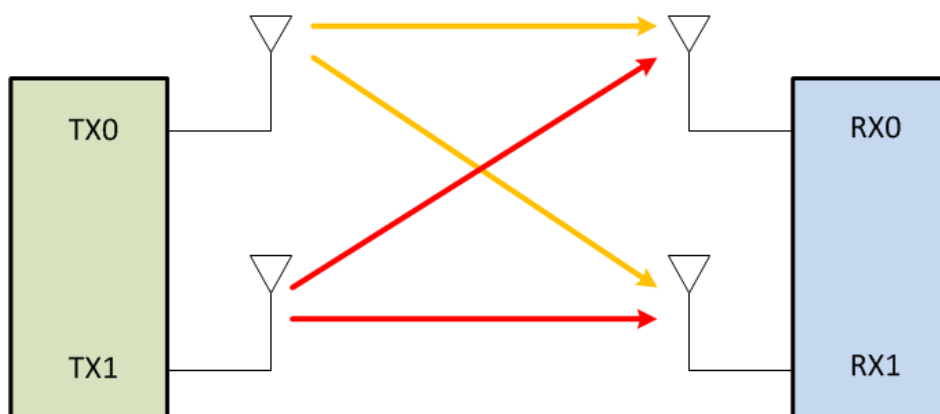


Slika 11. Usporedba OFDM i OFDMA

¹ Dvije funkcije (signali) su ortogonalne ako je površina funkcije koja je rezultat njihovog umnoška na intervalu (a, b) jednaka nuli.

5.1.2. Multiple Input Multiple Output sustavi

Vrsta sustava koji se baziraju na principu „pametnih“ antena nazivaju se MIMO sustavi (*engl. Multiple Input Multiple Output*). Sastoje se od odašiljačke i prijamne strane na kojima se nalaze antenski nizovi s antenskim elementima. S M odašiljačkih elemenata odašilje se drugačiji podatkovni niz, dok se na prijammniku s N elemenata prima superpozicija svih odaslanih signala. Na taj je način ostvareni pouzdani sustav s $M \times N$ mogućih načina prijenosa signala. U današnje vrijeme postoje izvedbe 2x2, 4x4 i 8x8. (Slika 12) [9]



Slika 12: Princip rada 2x2 MIMO sustava.

Efektivno korištenje radijskog spektra postaje sve bitnije, kako zbog njegove ograničenosti, tako i zbog visokih korisničkih zahtjeva koji su prisutni u suvremeno doba. Dakle, u današnje se vrijeme, vrijeme društva znanja i novih tehnologija, naglasak stavlja na visoku propusnost podataka, kratko vrijeme kašnjenja i sl. To je izvedivo korištenjem različitih adaptivnih metoda - kodiranje, antenski sustav i sl. [9]

MIMO sustav postaje učinkovit pomoću više antena na odašiljačima i prijemnicima za slanje podataka na različitim putevima, ali na istoj frekvenciji. Takav se sustav može koristiti za povećanje brzina prijenosa² odašiljanjem paralelnih tokova podataka prema pojedinom korisniku te se takva tehnika, ukoliko je omjer signala i šuma visok, a radijski kanal sadrži visoka raspršenja (npr. sustavi unutar zgrada), primarno primjenjuju u silaznoj vezi. [3]

² U 2015. godini, na području Republike Hrvatske najveće moguće teoretske brzine u LTE mreži su do 150 Mbit/s. Ta brzina je upravo moguća korištenjem 2x2 MIMO sustava uz širinu kanala od 20 MHz.

5.2. Ciljevi LTE-a

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).

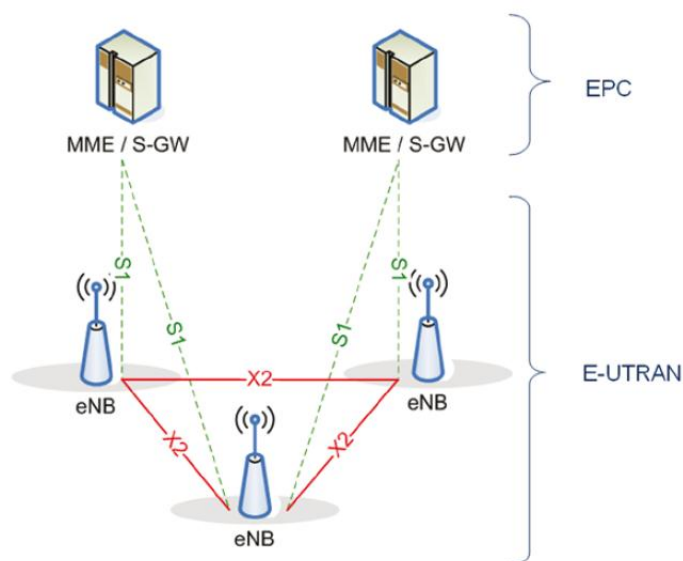
Ključni ciljevi s aspekta performansi i mogućnosti, prema [6] koje 3GPP stavlja pred LTE su:

- 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 ravni poradi poboljšanja performansi protokola u višim slojevima kao i smanjenje kašnjenja povezanog s procedurama u kontrolnoj ravni (npr. uspostava sjednice/sesije, ispod 100 ms)
- visoka spektralna efikasnost – 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,
- 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 najvažnijih elemenata u implementaciji LTE mreža bit će dostupnost i cijena frekvencijskog spektra. Kako bi se ostvarila što veća podatkovna propusnost, potreban je i što širi spektar, te se time javlja i potreba za nabavkom dodatnih frekvencijskih područja. [6]

5.3. Temeljni mrežni LTE čvorovi

Kada se spominje LTE i SAE zapravo se referencira 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. EPS se sastoji od evoluirane paketske jezgrene mreže EPC (*eng. Evolved Packet Core*) i evoluirane UMTS zemaljske radijske pristupne mreže E-UTRAN (*eng. Evolved UTRAN*). (Slika 13) [6]



Slika 13: Arhitektura EPS sustava. Slika preuzeta od [6]

Kontroler radijske mreže (RNC) je smijenjen, a njegove funkcije postaju dio čvora B, čime se postiže smanjeno kašnjenje signala. Sučelja S1 i X2 utemeljena su na IP protokolu. LTE arhitektura sadržava i dva logička pristupna elementa: S-GW (*eng. Serving Gateway*) - koji opslužuje mobilni uređaj primajući i šaljući pakete, te P-GW (*eng. Packet Gateway*) - predstavlja sučelje prema vanjskim paketnim mrežama te provodi i dodatne funkcije (dodijeljivanje adresa, filtriranje i usmjeravanje paketa). [6]

5.4. E-UTRAN

U usporedbi 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, dio njegovih funkcionalnosti prebačen je u EPC (konkretnije S-GW), no većina njih se prebacuje u eNB. [6]

eNB predstavlja čvor radijske pristupne mreže zadužen za radijsko odašiljanje i prijem od strane korisničke upreme u jednoj ili više ćelija (najčešće tri).

Lista eNB funkcionalnosti, prema [6], uključuje:

- kontrolu ćelija i podršku MME skupu – eNB posjeduje i kontrolira radijske resurse svojih ćelija, koji su zahtijevani od i odobreni određenom MME skupu
- kontrolu mobilnosti – za aktivne terminale, uključuje UE naloge za obavljanje mjerenja i izvršenja prekapčanja kad je to potrebno,
- sigurnost kontrolne i korisničke ravnine – šifriranje
- 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
- upravljanje retransmisijom,
- raspoređivanje korisnika – uz podršku definiranih QoS klasa,
- funkcionalnosti fizičkog sloja tj. pseudo-slučajno kodiranje, odašiljačke diverzite, procesiranje antenskog upravljanja, OFDM modulaciju,
- mjerenje i prijavljivanje – podaci prikupljeni mjerenjima koriste se za upravljanje radijskim resursima RRM (*eng. Radio Resource Management*),
- automatizirani rad i nadzor.

5.5. Evolved Packet Core – EPC

Evoluiranu paketsku jezgrenu mrežu tvore slijedeći 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 prema [6], obrađuje sljedeće funkcije vezane uz mobilnost i upravljanje sesijom:

- UE attach/detach procedura – omogućuje mobilnoj stanici da se registrira na mrežu ili odregistrira sa iste,
- sigurnost – funkcije autentifikacije i autorizacije radi provjere identiteta korisnika,
- upravljanje EPS nositeljem – uspostava, izmjena i raskidanje EPS nositelja,
- mobilnost neaktivnih korisnika – nadzor korisnika, pri čemu se položaj korisnika prati samo na razini područja praćenja TA (*eng. Tracking Area*)
- pozivanje korisnika (*eng. Paging*)
- prekapčanje prema drugim tehnologijama – upravlja mobilnost prilikom prelaska prema drugim mrežama

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 čvora. P/S-GW predstavlja glavnu 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, dok se isti P-GW zadržava sve dok je korisnički terminal priključen na mrežu. [6]

P/S-GW, prema [6], 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 (*eng. Point of Presence, PoP*) 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, prema [6] obavlja i sljedeće funkcije korisničke ravnine:

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

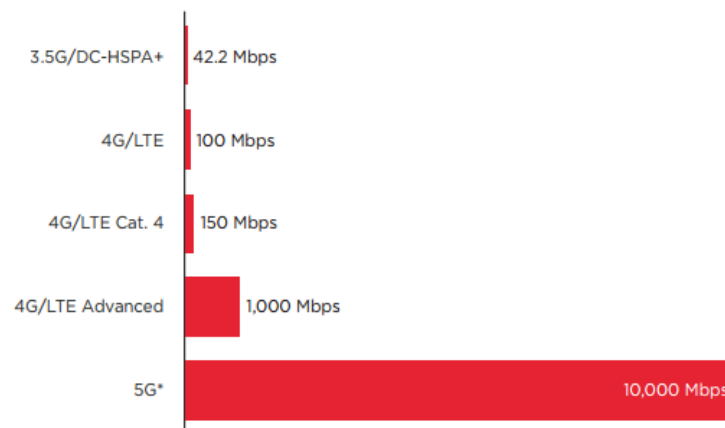
6. NADOLAZEĆE GENERACIJE POKRETNIH KOMUNIKACIJSKIH MREŽA

4G mreža je dizajnirana za poboljšanje sposobnosti, zbog većih brzina prijenosa i zbog manje latencije naspram 3G. Nova, 5G mreža je više od evolucije mobilnog širokopojasnog pristupa. 5G mreža će biti ključan dio budućega digitalnog svijeta odnosno sljedeća generacija sveprisutne ultravisoke širokopojasne infrastrukture koja će podržavati transformaciju procesa u svim gospodarskim sektorima. [25]

Osim toga, 5G mreža će biti ključna za Internet stvari (*eng. Internet of Things, IoT*), gdje će pružati platformu za povezivanje masivan broj objekata na Internet. Senzori i aktuatori će se širiti posvuda i s obzirom da oni imaju malu potrošnju energije da sačuvaju životni vijek baterije, mreža će ih učinkovito podržavati. Budući pametni mobilni uređaju, roboti i ostali nosivi uređaji će stvoriti lokalnu mrežu koristeći mnoštvo različitih načina pristupa.[25]

Glavna očekivanja od 5. generacije mobilnih komunikacija, prema [7], mogu se sažeti u sljedeća poboljšanja ili nove funkcionalnosti:

- prosječna brzina prijenosa podataka u pokretu oko 1 Mbit/s
- veća učinkovitost upotrebe radijskog spektra
- poboljšana komunikacijska sigurnost, posebno zbog primjene pametnog radija
- manje dimenzije i puno duže trajanje baterije odnosno veća energetska učinkovitost
- bolja rubna radijska pokrivenost i veća brzina podataka reda 10 Gbit/s po ćeliji
- ukupno povratno kašnjenje od 1 ms
- mogućnost raspodjele podataka prilikom slanja i primanja kroz dva različita komunikacijska kanala odnosno dvije različite pristupne mreže
- za povećanje kapaciteta mreže primjenjivat će se tzv. MIMO tehnologija prostornog multipleksiranja radio signala pomoću većeg broja prijemnih i odašiljačkih antena
- bežični internet koji će omogućiti širokopojasnu komunikaciju i masovnu primjenu multimedijiskog sadržaja

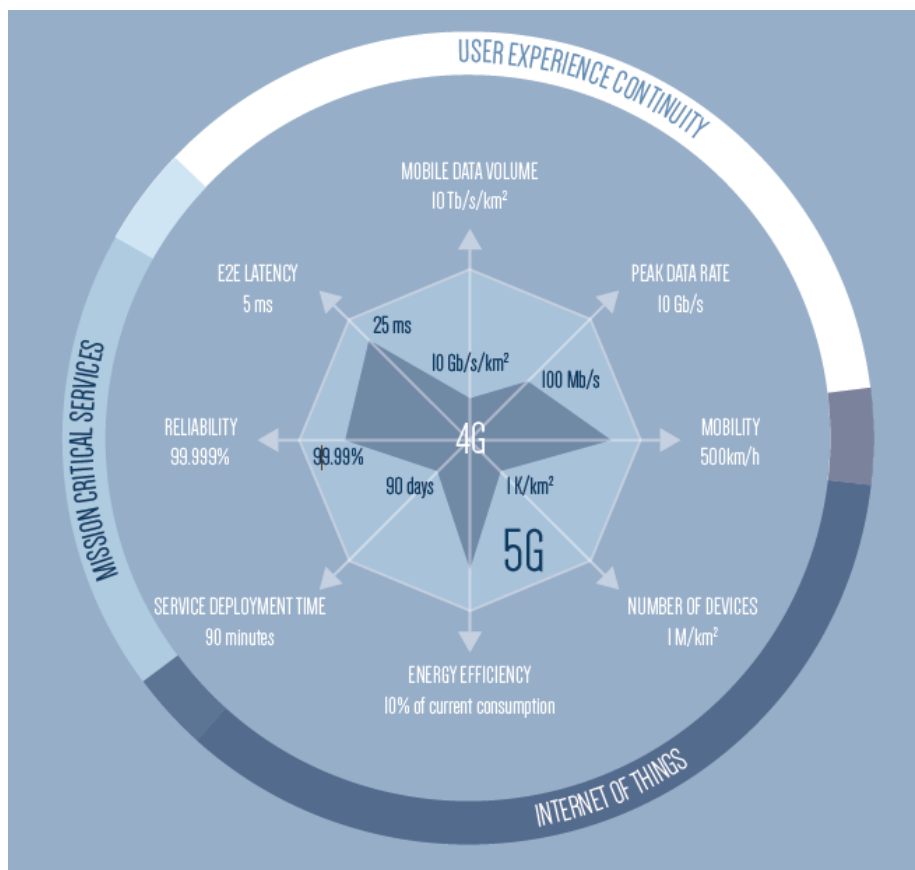


Slika 14: Usporedba brzine prijenosa između 5G i ostalih mreža. Slika preuzeta od [22]

Arhitektura 5G, u odnosu na prethodne generacije će doživjeti promjenu kako bi zadovoljila poslovanje te zahtjeve koji se stavljaju pred nju. To se najviše odnosi na kašnjenje i pouzdanost te podršku kod novih poslovnih modela i scenarija. [25]

Slika 15. prikazuje odnos između 5G i 4G generacije. Vidljivo je da će se kod pete generacije brzina prijenosa podataka drastično povećati te će ona iznositi čak 10 Gbit/s, dok je kod četvrte generacije to 100-150 Mbit/s; da će kod IoT biti spojeno oko milijun uređaja na km^2 i da će pouzdanost ove mreže iznositi 99,99%

Kako bi peta generacija mobilnih komunikacija u nadolazećem desetljeću postala realnost, jedan od većih izazova s kojima se istraživači moraju suočiti jest osiguranje nesmetane interoperabilnosti između nekoliko tipova mobilnih pristupnih mreža, kao i jezgrenih mreža. Također, smanjenjem količine različitih mrežnih elemenata smanjit će se i broj signalizacijskih linkova koji troše ograničene prijenosne resurse. [7]



Slika 15: Usporedba 4G i 5G [25]

Uvođenjem 5G mreža i pružanjem IoT usluga događa se povezanosti u kojoj milijarde uređaja razmjenjuju podatke (od satova do svjetiljka, od hladnjaka do grijanja, mobitela do garažnih vrata itd.). Sveprisutnost Interneta putem povezanih uređaja omogućit će daljinsko upravljanje svime. Do 2020. godine predviđa se da će biti povezano 50 milijardi predmeta. 5G će postati nova tehnološka platforma koja će omogućiti razvoj novih aplikacija, poslovnih modela i industrija. [25]

7. TRENUTNO STANJE NA HRVATSKOM TRŽIŠTU

U Republici Hrvatskoj postoje mnogo telekomunikacijskih operatora koji pružaju različite usluge korisnicima, no najviše se ističu Hrvatski Telekom kao vodeći operator te drugi po redu Vipnet. U 2015., Hrvatski Telekom, prema [20], ima 2 241 000 korisnika koji koriste njihovu pokretnu mrežu, zatim 1 121 000 koji koriste njihovu fiksnu mrežu te 387 000 korisnika koji koriste televiziju kao usluge koje nudi Hrvatski Telekom. Vipnet s druge strane, ima oko 1 740 000 korisnika, prema [17], koji koriste usluge spomenutog operatora.

7.1. Vipnet

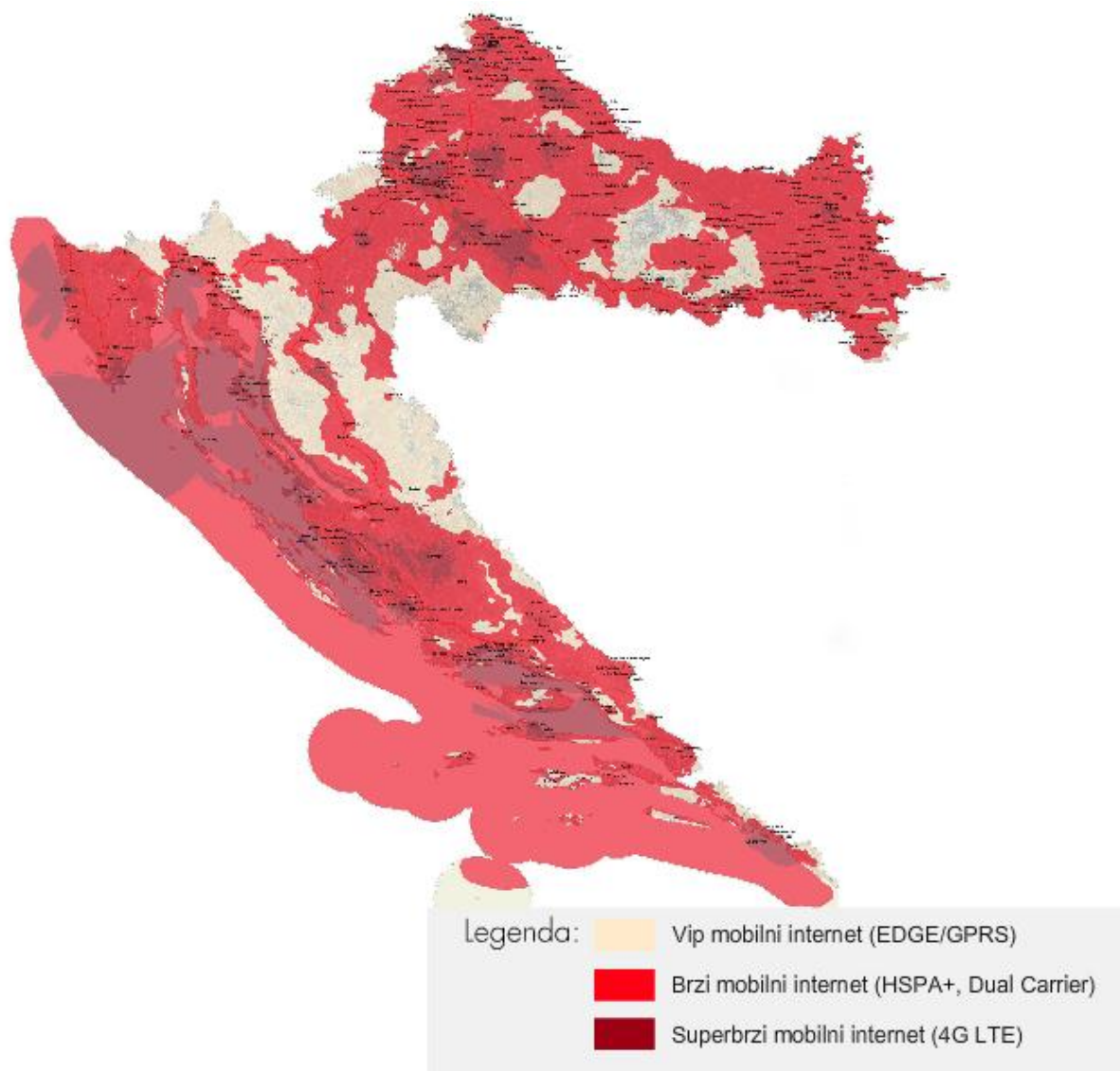
Vipnet je dolaskom na domaće telekomunikacijsko tržište postao prvi privatni mobilni operater u Hrvatskoj. Nakon što je u rujnu 1998. godine dobio koncesiju za drugu GSM mrežu u Hrvatskoj, s komercijalnim je radom započeo je 1. srpnja 1999. Vipnet je na domaće tržište uveo konkurenciju u mobilnu telefoniju što je u tom trenutku rezultiralo padom cijena do 50 posto te povećanjem kvalitete usluga. U kolovozu 2011. godine Vipnet je kupio B.net, najvećeg hrvatskog kabelskog operatera koji nudi fiksnu telefoniju, širokopojasni pristup internetu i televizijske usluge. [17]

Započetu strategiju konvergencije nastavlja 2013. godine preuzimanjem satelitske televizije tvrtke Digi TV te Vipnet na kraju 2014. godine broji 1,74 milijuna korisnika.[17]

Vipnet je prvi ponudio tehnologije GPRS, EDGE, UMTS te HSDPA, a u ožujku 2007. godine prvi je u Europi predstavio mobilni pristup internetu preko HSDPA mreže. Vipnet je prvi i jedini operater na hrvatskom tržištu koji je krajem 2009. godine započeo s uvođenjem tehnologije za prijenos podataka HSPA+ koja omogućava brzine do najviše 21 Mbit/s kod preuzimanja, odnosno 5,7 Mbit/s kod slanja podataka. U ovom trenutku preko 50 posto Vip 3G mreže ima HSPA+ funkcionalnost, odnosno HSPA+ tehnologija dostupna je u gotovo svim gradovima u Hrvatskoj. [17]

Osim daljnjeg uvođenja tehnologije HSPA+, iste je godine predstavljena tehnologija Dual Carrier HSDPA kojom se postiže brzina do 42 Mbit/s, a Osijek je bio prvi grad u kojemu su, zahvaljujući daljnjem razvoju sustava, već dostupne i brzine četvrte generacije od 42 Mbit/s. Zahvaljujući tehnologiji Dual Carrier HSDPA, u 24 hrvatska grada dostupna je brzina bežičnog prijenosa podataka od 42 Mbit/s. U listopadu 2010. godine, Vipnet kao prvi operater u Hrvatskoj i među prvima u svijetu na telekomunikacijsko tržište uvodi glasovnu tehnologiju HD zvuk. [17]

U listopadu 2010. Vipnet je prvi proveo testiranje mreže četvrte generacije, odnosno LTE tehnologije u živoj Vip mreži pri čemu je postignuta brzina od 136,3 Mbit/s. Ujedno, Vipnet je u 2011. godini započeo testiranje 4G mreže i na frekvencijama od 1800 MHz i 2600 MHz. U rujnu 2011. godine, testiranju prednosti LTE tehnologije pridružili su se i korisnici. U veljači 2012. godine Vipnet je pustio u rad prvu komercijalnu LTE mrežu u Hrvatskoj, te svojim korisnicima ponudio nove podatkovne tarife i uređaje za mrežu četvrte generacije. [17]



Slika 16: Karta pokrivenosti podatkovnom uslugom kod Vipneta. Slika preuzeta od [18]

Na slici 16. vidljiva su mjesta na kojima je moguće korištenje određene mreže koje pruža Vipnet.

7.2. Hrvatski telekom

Hrvatski Telekom vodeći je davatelj telekomunikacijskih usluga u Hrvatskoj koji pruža usluge nepokretne i pokretne telefonije, veleprodajne, internetske i podatkovne usluge. Osnovne djelatnosti Hrvatskog Telekoma i o njemu ovisnih društava jesu: pružanje elektroničkih komunikacijskih usluga te projektiranje i izgradnja elektroničkih komunikacijskih mreža na području Republike Hrvatske. [19]

Uz usluge nepokretne telefonije (pristup i promet usluga nepokretne telefonije te dodatne usluge nepokretne mreže), Grupa također pruža internetske, IPTV i ICT usluge, usluge prijenosa podataka (najam vodova, Metro-Ethernet) te usluge pokretnih telefonskih mreža GSM, UMTS i LTE. [19]

U listopadu 1999. godine Temeljem raspisanog javnog natječaja Vlada Republike Hrvatske donijela odluku o prihvaćanju ponude Deutsche Telekoma AG, koji je za 35% dionica HT-a platio 850 milijuna američkih dolara. Dodatna potvrda uspješnosti projekta je i nagrada uglednog časopisa Central European prvoj fazi privatizacije HT-a. Dvije godine kasnije Deutsche Telekom AG postaje većinskim vlasnikom HT-a, s udjelom u vlasničkoj strukturi 51%, dok je vlasnik preostalog dijela Vlada Republike Hrvatske. [19]

U siječnju 2003. Hrvatski Telekom osniva tvrtku kćer - HT mobilne komunikacije d.o.o., u 100%-tnom vlasništvu HT-a. Izdvajanjem pokretnih komunikacija taj sektor još kvalitetnije i bolje posluje te je u poziciji da svoje resurse u potpunosti iskoristi za razvoj pokretnih komunikacija, što će najbolje osjetiti najšira javnost, tj. korisnici usluga. Također, izdvajanje pokretnih komunikacija dio je zahtjeva regulatora o transparentnosti uvida u poslovanje pojedinih usluga HT-a. [19]

21. svibnja 2010 dolazi do promjene imena. Tvrtka Društva službeno se promijenila iz tvrtke HT – Hrvatske telekomunikacije d.d. u tvrtku Hrvatski Telekom d.d. [19]

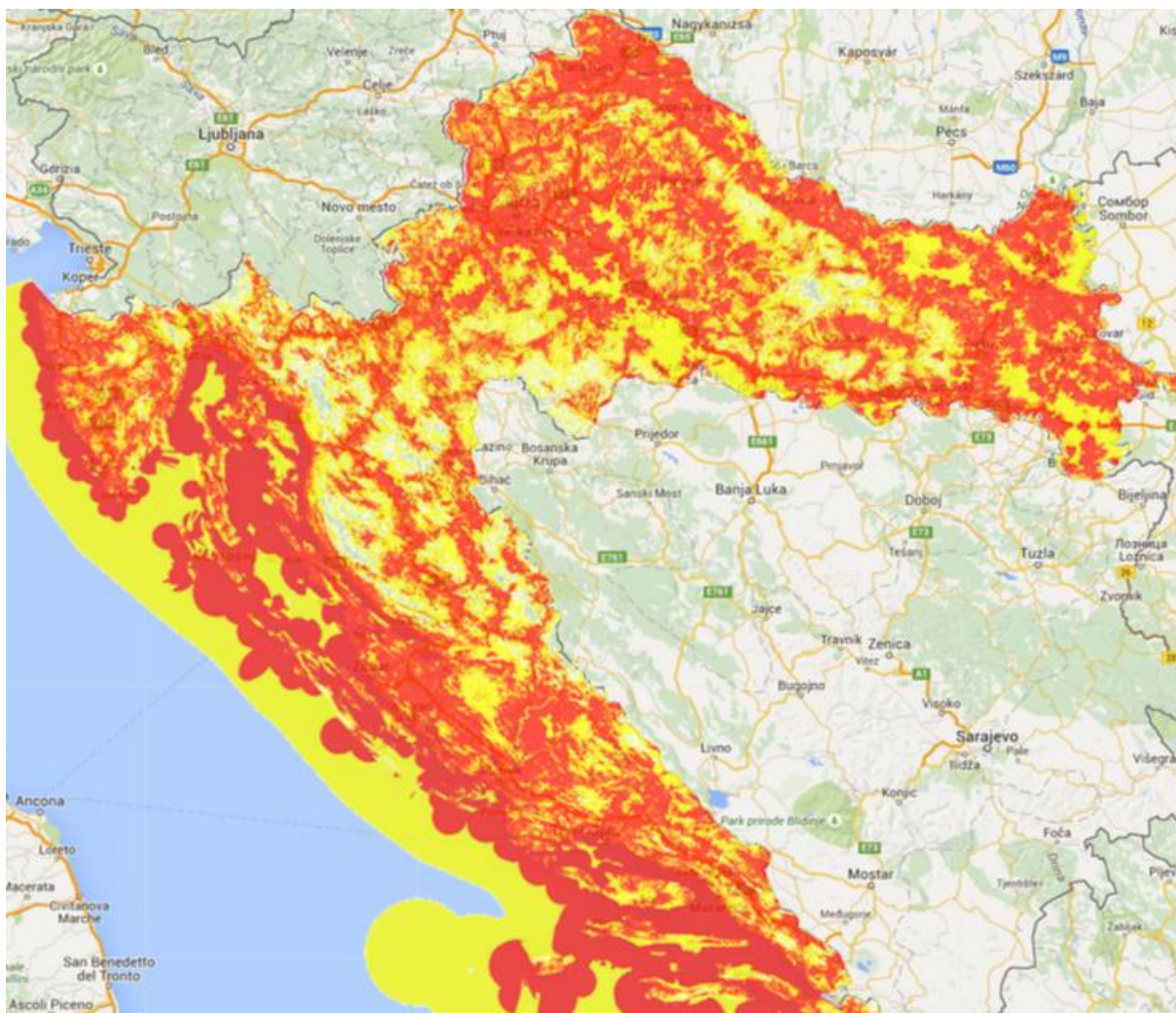
Organizacijska struktura Hrvatskog Telekoma dizajnirana je na način koji kompaniji omogućuje fleksibilnost i efikasnost te potpunu posvećenost korisnicima.

Kompanija je organizirana u nekoliko funkcionalnih jedinica:

- poslovne jedinice za privatne i poslovne korisnike,
- funkcije podrške i upravljanja,
- tehničke funkcije i
- funkcije za korisničko iskustvo. [20]

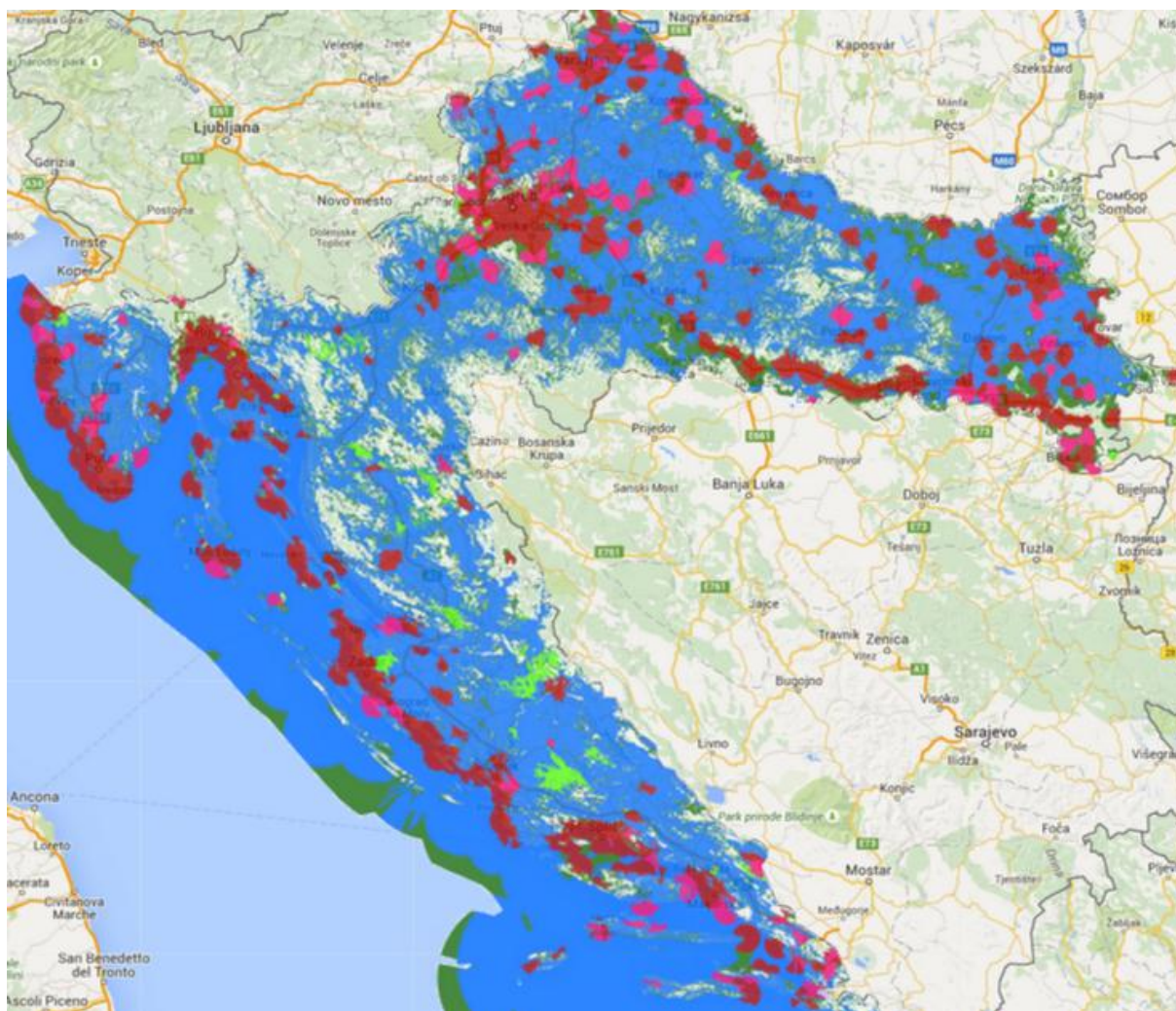
Segmenti usluga koja pruža Hrvatski Telekom su:

- Fiksna telefonija i Internet
- Mobilne mreže
- Prijenos podataka [20]



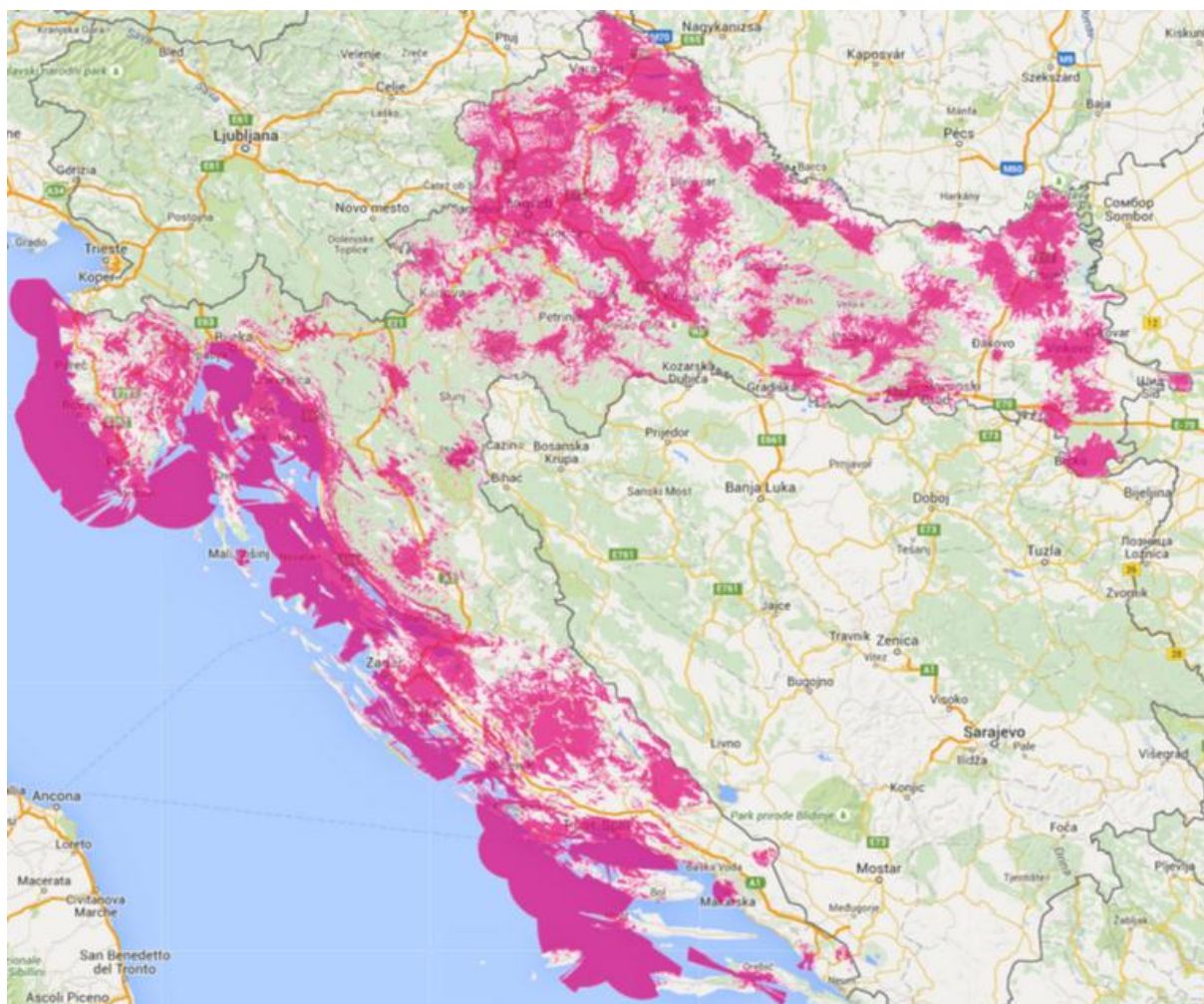
Slika 17: Karta pokrivenost za 2G mrežu. Slika preuzeta od [21]

Na slici 17. prikazano je pokrivenost teritorija s 2G mrežom. Crvenom bojom označuje brzinu prijenosa do 240 kbit/s u zatvorenom prostoru do je žutom bojom označena brzina prijenosa do 240 kbit/s u vanjskom okruženju. [21]



Slika 18: Karta pokrivenosti 3G mrežu. Slika preuzeta od [21]

Na slici 18. prikazano je pokrivenost teritorija sa 3G mrežom. Tamno zelenom bojom je dio mreže koji nudi brzinu prijenosa podatka do 3.6 Mbit/s u vanjskom okruženju. Nadalje crvenom bojom, rozom, plavom i svijetlo zelenom bojom je prikazana brzina u zatvorenom prostoru. Za crvenu boju vrijedi brzina prijenosa podataka do 42.2 Mbit/s, za rozu boju 21.1 Mbit/s, za plavu boju 7.2 Mbit/s dok za svijetlo zelenu boju vrijedi 3.6 Mbit/s.[21]



Slika 19: Karta pokrivenosti za 4G mrežu. Slika preuzeta od [21]

Za trenutno najbržu mrežu, koja još nije toliko razvijena, karakteristična je brzina do 150 Mbit/s na označenim mjestima.(Slika 19)[21]

8. ZAKLJUČAK

Prva mobilna mreža (1G) bila je analogna i koristila je frekvencijsku modulaciju čime nam je omogućila prijenos govora. To je izazvalo nagli razvoj mobilne telefonije te se uskoro razvija 2G mreža koja je, za razliku od 1G mreže, digitalna te koristi drugačiju modulacijsku tehniku, a uz prijenos govora omogućuje nam i pristup Internetu. Dodatni razvoj se događa kod 2,5G gdje se prijenos informacija vrši komutacijom paketa.

3G mreža nam je omogućila još veće brzine prijenosa i mogućnost da korisnici imaju pristup raznim informacijama s bilo kojega mjesta, u bilo koje vrijeme. To su glavne značajke suvremenih komunikacijskih mreža.

Put prema budućoj generaciji pokretnih sustava nastavljen je razvojem 4G mreže, a koja nam omogućuje još veće brzine prijenosa, prikaz televizije u visokoj rezoluciji te širokopojasni pristup Internetu u potpuno temeljenoj IP okolini.

Korisnicima mobilnih usluga izrazito je bitno da imaju brz i uvijek na raspolaganju pristup Internetu. S druge strane, telekomunikacijskim je operatorima nadasve ključno da se što prije ostvare različiti načini povezivanja sada raspoloživih sustava u punom smislu. Razvojem 5G mobilnih mreža, sve će postati povezano i ne samo da će ljudi komunicirati, nego će i same stvari komunicirati. Na taj će se način današnje društvo zajednički razvijati te još jednom dokazati da svijet zaista postaje „globalno selo“.

LITERATURA

- [1]. Bažant, A., Gledec, G., Ilić, Ž., Ježić, G., Kos, M., Kunštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikac, B., Sinković, V.: *Osnove arhitekture mreža*, Zagreb, 2007, (2.izdanje)
- [2]. Pérez A. Mobile Networks Architecture. United States: ISTE Ltd and John Wiley & Sons; 2012.
- [3]. Sauter M. From GSM to LTE : an introduction to mobile networks and mobile broadband. United States: John Wiley & Sons; 2010. Preuzeto od: https://aliazizjasem.files.wordpress.com/2012/01/mobile_networks2.pdf
- [4]. Holma H.: Početak ere mobilnog broadbanda. Objavljeno: srpanj, 2011. Preuzeto sa: <http://planb.tportal.hr teme/139994/Dr-Harri-Holma-Pocela-era-mobilnog-broadbanda.html#.VVCOFpntmko> (svibanj, 2015.)
- [5]. Županić B., Gadže M., Janković A.: Od analognih do digitalnih sustava pokretne telefonije. Objavljeno: 2004. Preuzeto sa: http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_2_2004/pokretna_telefonija.pdf (srpanj, 2015.)
- [6]. T. Blajić.: LTE – nova tehnologija za mobilni širokopojasni pristup. Objavljeno: 2010. Preuzeto sa: http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_1_2010/04.pdf (srpanj, 2015.)
- [7]. Burazer B.: BUDUĆNOST MOBILNIH KOMUNIKACIJA I IZAZOVI NORMIZACIJE. Preuzeto sa: <http://www.hzn.hr/UserDocsImages/pdf/EIS-Budu%C4%87nost%20mobilnih%20komunikacija%20i%20izazovi%20normizacije.pdf> (srpanj, 2015.)
- [8]. Modlic B., Grgić S., Kos T., Grgić M., Šišul G.: RADIJSKE TEHNOLOGIJE ZA ŠIROKOPOJASNI NEPOKRETNOSTI PRISTUP I MJERENJA. Objavljeno: prosinac, 2008. Preuzeto sa: <http://www.hakom.hr/UserDocsImages/2010.g/Zeno/Studije/Radijske%20tehnologije%20za%20sirokopojasni%20nepokretni%20pristup%20i%20mjerenja.pdf> (srpanj, 2015.)
- [9]. Katanić A. Modeliranje radijskog kanala za MIMO sustave. Preuzeto sa: http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/KvalDoktIspit_AnaKatalinic.pdf (kolovoz, 2015.)
- [10]. Tutman M.: Utjecaji uvođenja mreža nove generacije i IP višemedijskih podsustava na sustave operativne potpore. Preuzeto sa:

- http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/KvalifikacijskiIspit-TutmanMihaela.pdf
(kolovoz, 2015.)
- [11]. <http://www.fpz.unizg.hr/zto/PRSUS/Radiokomunikacije.pdf> (svibanj, 2015.)
- [12].
http://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/chap2_0201760320/elementLinks/02fig14.gif
(srpanj, 2015.)
- [13]. http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa/Materijali/9_predavanje.pdf (srpanj, 2015.)
- [14]. <http://www.quora.com/What-is-the-difference-between-CDMA-and-WCDMA-network-sim> (srpanj, 2015.)
- [15]. [http://www.telecomsource.net/showthread.php?1126-FDD-LTE-\(FD-LTE\)-vs-TDD-LTE-\(TD-LTE\)-Networks](http://www.telecomsource.net/showthread.php?1126-FDD-LTE-(FD-LTE)-vs-TDD-LTE-(TD-LTE)-Networks) (srpanj, 2015.)
- [16]. <http://networkenhancers.blogspot.com/2013/02/wireless-101-part-2.html> (srpanj, 2015.)
- [17]. <http://www.vipnet.hr/profil> (srpanj, 2015.)
- [18]. <http://www.vipnet.hr/karta-pokrivenosti> (srpanj, 2015.)
- [19]. <http://www.t.ht.hr/o-nama/> (srpanj, 2015.)
- [20]. <http://www.t.ht.hr/o-nama/profil-grupe/#section-nav> (srpanj, 2015.)
- [21]. <http://www.hrvatskitelekom.hr/karta-pokrivenosti> (srpanj, 2015.)
- [22]. <http://gsmintelligence.com/research/?file=141208-5g.pdf&download> (rujan, 2015.)
- [23]. <http://www.umtsworld.com/umts/faq.htm#f13> (rujan, 2015.)
- [24]. <http://robrusnak.com/technical-illustration-for-hitless-adaptive-coding-and-modulation/> (rujan, 2015.)
- [25]. <http://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochure-v1.pdf>
- [26].
http://www.academia.edu/9262052/Sistemi_i_servisi_mobilnih_telekomunikacija_Predavanje_1 (rujan, 2015.)
- [27]. http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_2_2006/radijska_mreza.pdf (rujan, 2015.)

POPIS KRATICA

3GPP	(eng. Third-Generation Partnership Project)
3GPP2	(eng. Third-Generation Partnership Project 2)
AN	(eng. Access Network)
AuC	(eng. Authentication Center)
BICN	(eng. Bearer-Independent Core Network)
BSC	(eng. Base Station Controller)
BTS	(eng. Base Transceiver Station)
CC	(eng. Call Control)
CDMA	(eng. Code Division Multiple Access)
CN	(eng. Core Network)
CSCF	(eng. Call Session Control Function)
EDGE	(eng. Enhanced Data rates for the GSM Evolution)
EIR	(eng. Equipment Identification Register)
EPC	(eng. Evolved Packet Core)
EPS	(eng. Evolved Packet System)
E-UTRAN	(eng. Evolved UTRAN)
FDD	(eng. Frequency Division Duplex)
FDMA	(eng. Frequency Division Multiple Access)
GGSN	(eng. Gateway GPRS Support Node)
GMSC	(eng. Gateway Mobile Switching Center)
GPRS	(eng. General Packet Radio Service)

GSM	(eng. Global System for Mobile Communication)
HDTV	(eng. High Definition Television)
HLR	(eng. Home Location Register)
HSDPA	(eng. High-Speed Download Packet Access)
HSPA	(eng. High-Speed Packet Access)
IMEI	(eng. International Mobile Station Equipment Identity)
IMS	(eng. IP Multimedia Subsystem)
IMSI	(eng. International Mobile Subscriber Identity)
IMT – 2000	(eng. International Mobile Telecommunications 2000)
IoT	(eng. Internet of Things)
IP	(eng. Internet Protocol)
ITU	(eng. International Telecommunications Union)
LTE	(eng. Long Term Evolution)
MG	(eng. Media Gateway)
MIMO	(eng. Multiple Input Multiple Output)
MM	(eng. Mobility Management)
MME	(eng. Mobility Management Entity)
MS	(eng. Mobile Station)
MSC	(eng. Mobile Switching Center)
NMT	(eng. Nordic Mobile Telephony)
OFDM	(eng. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)
OFDMA	(eng. Orthogonal Frequency-Division Multiple Access)
PCU	(eng. Packet Control Unit)

P-GW	(eng. Packet Data Network Gateway)
PoP	(eng. Point of Presence)
QoS	(eng. Quality of Service)
RLC	(eng. Radio Link Control)
RNC	(eng. Radio Network Controller)
RRM	(eng. Radio Resource Management)
SAE	(eng. System Architecture Evolution)
SC – FDMA	(eng. Single Carrier Frequency Division Multiple Access)
SGSN	(eng. Service GPRS Support Node)
S-GW	(eng. Serving Gateway)
SIM	(eng. Subscriber Identity Module)
SIP	(eng. Session Initiation Protocol)
SON	(eng. Self Organizing Networks)
TA	(eng. Tracking Area)
TDD	(eng. Time Division Duplex)
TDMA	(eng. Time Division Multiple Access)
UE	(eng. User Equipment)
UMTS	(eng. Universal Mobile Telecommunications System)
UTRAN	(eng. UMTS Terrestrial Radio Access Network)
VLR	(eng. Visitor Location Register)
QPSK	(eng. Quadrature Phase Shift Keying)
WCDMA	(eng. Wideband Code Division Multiple Access)

POPIS SLIKA

Slika 1. Evolucija bežičnih tehnologija	4
Slika 2. Prikaz rada FDMA tehnike	5
Slika 3. Uzorak ponovne upotrebe frekvencija	7
Slika 4. Arhitektura GSM-a	10
Slika 5. GSM/UMTS mreža	17
Slika 6. Usporedba FDD-a i TDD-a	18
Slika 7. Nadogradnja na UMTS	19
Slika 8. UMTS Release 5	20
Slika 9. Ilustracija adaptivnih modulacija	23
Slika 10. Usporedba OFDM i FDMA	24
Slika 11. Usporedba OFDM i OFDMA	24
Slika 12. Princip rada 2x2 MIMO sustava	25
Slika 13. Arhitektura EPS sustava	27
Slika 14. Usporedba brzine prijenosa između 5G i ostalih mreža	31
Slika 15. Usporedba 5G i 4G	32
Slika 16. Karta pokrivenost podatkovnom uslugom kod Vipneta	35
Slika 17. Karta pokrivenosti za 2G mrežu	37
Slika 18. Karta pokrivenosti za 3G mrežu	38
Slika 19. Karta pokrivenosti za 4G mrežu	39

POPIS TABLICA

Tablica 1. Elektromagnetski spektar

3