

Razvoj telekomunikacijskih mobilnih sustava

Liović, Hrvoje

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:980924>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-06**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnike, smjer Informatika

**RAZVOJ TELEKOMUNIKACIJSKIH MOBILNIH
SUSTAVA**

ZAVRŠNI RAD

Hrvoje Liović

Osijek, 2019.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA.....	1
2. OSNOVNI KONCEPT MOBILNIH SUSTAVA	2
2.1. POVIJEST MOBILNIH MREŽA I UREĐAJA.....	4
2.2. PRVA GENERACIJA MOBILNIH MREŽA – 1G.....	5
2.3. DRUGA GENERACIJA MOBILNIH MREŽA – 2G	7
3. TREĆA GENERACIJA MOBILNIH MREŽA – 3G.....	10
4. 4G LTE MREŽA	13
5. 5G MOBILNA MREŽA.....	18
6. ZAKLJUČAK.....	20
LITERATURA	21
SAŽETAK	22
ABSTRACT	22
ŽIVOTOPIS	23

1. UVOD

Komunikacijski sustavi od sedamdesetih godina prošlog stoljeća iznimno su napredovali te u tom kontekstu dolazi i do razvoja mobilnih mreža koje su se prvotno koristile samo unutar pojedinih specijaliziranih institucija dok su se s vremenom počele masovno primjenjivati u svakodnevnom životu. Porastom broja korisnika, povećale su se potrebe za unapređivanjem mobilnih mreža i njihovih funkcionalnosti.

Ovaj rad prikazuje razvoj mobilnih mreža kroz generacije s naglaskom na funkcionalnostima i brzini 3. i 4. generacije mobilne mreže te koncept 5G mobilne mreži, kao i budućnosti mobilnih mreža.

Sljedeće poglavlje opisuje osnovni koncept mobilnih telekomunikacijskih sustava te prvu analognu i digitalnu mobilnu mrežu kao i mogućnosti koje nudi svaka generacija. Treće poglavlje je bazirano na 3G i njenim karakteristikama, četvrto opisuje trenutno najnoviju generaciju mreža tj. 4G i njene funkcionalnosti. Peto sadrži koncept 5G te smjernice razvoja nadolazeće mreže.

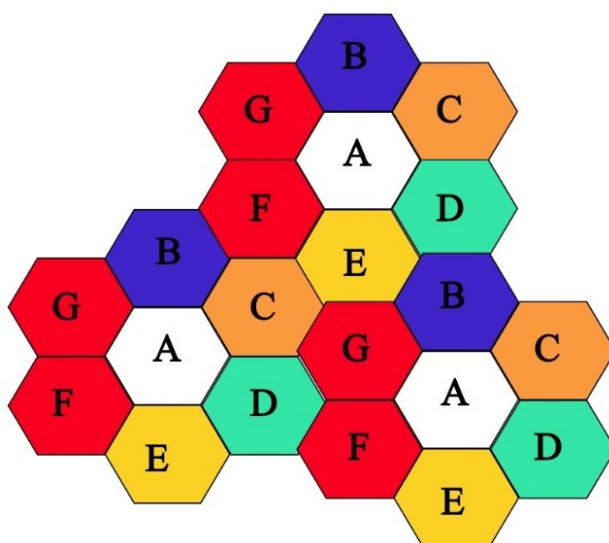
1.1. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Unazad dvadeset godina došlo je do naglog razvoja mobilnih telekomunikacijskih sustava koji su se i mijenjali i nadograđivali svakih nekoliko godina. Posljednja inačica je poznata pod imenom 5G. U radu je potrebno obraditi razvoj mobilnih telekomunikacijskih sustava, prikazati njihove karakteristike i usluge koje su pružali/pružaju i pokušati predvidjeti sljedeću generaciju tih sustava.

2. OSNOVNI KONCEPT MOBILNIH SUSTAVA

Osnovni uvjet svake mobilne mreže je visok kapacitet, da bi navedeni uvjet bio ispunjen moramo ograničiti područje pokrivanja svake bazne stanice na malu geografsku regiju zvanu ćelija. Iste frekvencije, vremenski isječci (eng. *slots*) te kodovi se ponovo koriste tako što se bazne stanice prostorno odvoje, prednost takvog sustava je povećanje iskoristivosti i kapaciteta.

Zbog ograničenosti frekvencijskog spektra bitna je efikasna raspodjela, rješenje je u alociranju ćelija koje koriste iste frekvencije na određenu udaljenost dovoljno da ne dođe do interferencije. Iz slike 2.1. možemo vidjeti da su sve ćelije jednako udaljene.

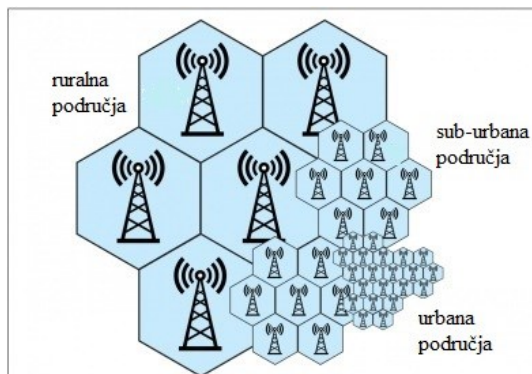


Slika 2.1. Prikaz ponovnog korištenja frekvencije u ćelijama.

Navedeni sistem se razlikuje od tradicionalnog radio-odašiljanja gdje bi jedna ćelija pokrivala cijeli grad.

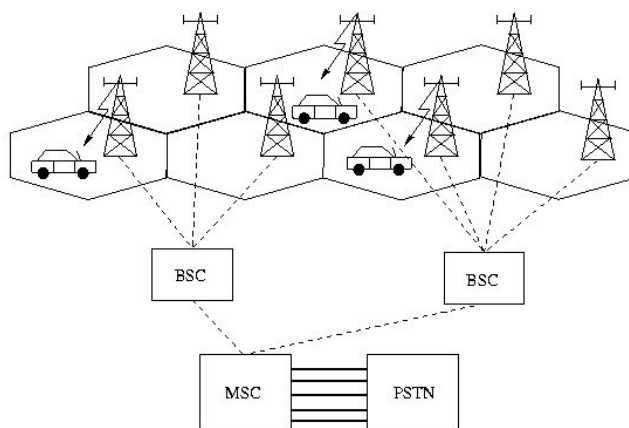
Da bi se korisnik mobilnog telefona slobodno i neovisno kretao željenim područjem nužno je omogućiti prijelaz iz jedne ćelije u drugu a da se pri tom komunikacija ne prekine, taj proces naziva se handover. Bazna stanica pri kojoj je korisnik spojen u svakome trenutku ima informaciju o jačini signala mobilnog uređaja, ako ta ista bazna stanica primi informaciju od susjedne bazne stanice da isti korisnik ima bolji signal tada se kontrolnim porukama usuglase te se korisnik prespaja na drugu baznu stanicu odnosno signalom jaču stanicu.

Ruralna područja zahtijevaju manji broj ćelija nego što je potrebno u urbanim područjima. Veće ćelije dijelimo na sub-ćelije te u gradskim područjima osiguravamo stabilnost i kapacitet za sve korisnike.



Slika 2.2. Koncept podjele ćelija[2].

Bazne stanice komuniciraju s drugim baznim stanicama te s mobilnim komutacijskim centrom (eng. *Mobile Switching Centre*) koji je direktno povezan s PSTN (eng. *Public Switched Telephone Network*). Korisnik u bilo kojem trenutku može uspostaviti komunikaciju sa drugim korisnikom bio on žično ili bežično dostupan. Slika 2.3. opisuje navedeni primjer.



Slika 2.3. Telekomunikacijski sustav[3].

2.1. POVIJEST MOBILNIH MREŽA I UREĐAJA

Mobilni telefoni dio su svakodnevice većine današnjih ljudi te je iznimno teško povjerovati da je samo prije petnaestak godina mobitel bio vrlo rijetko u upotrebi. Povijesni kontekst mobitela može se promatrati sve od razvoja radio-tehnologije pa do dvosmjernih radio uređaja u automobilima pa sve do pojave modernih mobilnih uređaja, ali i usluga koje nude.

Godine 1964. u St. Louisu u Sjedinjenim Američkim Državama je postavljen prvi telefon ugrađen u automobil (slika 2.1.1). Sustav je koristio jedan radio-odašiljač na vrhu visoke zgrade. Korišten je samo jedan kanal, te da bi razgovarali morate pritisnuti tipku za razgovor i pustiti da slušate [4]. Ovaj polu-dupleksni sustav još uvijek je u upotrebi, moderni CB-radio sustav koriste policajci i taksisti. U 60-ima sustav je poboljššan do dvo-kanalnog sustava, nazvanog poboljšani sustav mobilne telefonije (IMTS) [4]. Sustav nije mogao podržati puno korisnika jer su frekvencije bile ograničene.



Slika 2.1.1. Motorola Car Telephone Model TLD-1100[4]

Problem je riješen idejom korištenja ćelija kako bi se olakšala ponovna uporaba frekvencija. Više korisnika može biti podržano u takvom mobilnom radio sustavu. Prvi put je implementiran u napredni sustav mobilnih telefona (eng. *Advanced Mobile Phone System*, AMPS). AMPS je analogni sustav i dio je prve generacije mobilnih radio sustava, kasnije imamo digitalne sustave koji su dio druge generacije. U SAD-u se primjenjuju dva standarda za sustave druge generacije IS-95 (CDMA) i IS-136 (D-AMPS) [4]. Europa je konsolidirana na jednom sustavu koji se zove globalni sustav za mobilne komunikacije (GSM) [5]. Japan koristi sustav koji se zove osobni digitalni mobitel (eng. *Personal Digital Cellular*, PDC).

Martin Cooper zaposlenik Motorole 1973 godine izumio je prvi mobilni telefon ali potpunu verziju donosi na tržište 1983. godine. Smatra ga se ocem mobitela i prvom osobom koja je obavila telefonski razgovor na javnom mjestu.[6]

DynaTAC je prva serija mobilnih telefona proizvedena u Motoroli s težinom od 1.1kg te visinom od 25cm . Potpuno punjenje trajalo je oko 10 sati i nudilo je 30 minuta razgovora. [7] Slika prikazuje Martina Coopera s prvom verzijom mobitela DynaTAC



Slika 2.1.2. Prvi mobilni telefon[7]

2.2. PRVA GENERACIJA MOBILNIH MREŽA – 1G

Prvu generaciju pokretnih mobilnih mreža čine analogni sustavi s višestrukim pristupom u frekvencijskoj podjeli (eng. *Frequency Division Multiple Access*, FDMA). Frekvencijskom podjelom ostvarujemo komunikacijske kanale u radijskoj pristupnoj mreži (eng. *Radio Access Network*, RAN) tj. dodjelom posebne frekvencije svakom komunikacijskom kanalu. Različiti frekvencijski pojasevi dodjeljuju se za komunikaciju prema terminalu (eng. *downlink*) i komunikaciju od terminala prema mreži (eng. *uplink*). FDMA tehnika se rabi za prijenos govora i signalizaciju.

Najznačajniji sustavi 1G su AMPS (eng. *Advance Mobile Phone Systems Service*) u Sjedinjenim Američkim Državama te NMT (eng. *Nordic Mobile Telephony*) u Europi. Osnovna obilježja navedenih sustava sadržana su u tablici 2.2.1. Možemo uočiti da AMPS radi na znatno višim frekvencijama u odnosu na NMT te da nudi puno više kanala.

Tablica 2.2.1.: Karakteristike standarda –1G[8].

STANDARD	Frekvencija (MHz)	Razmak Kanala (kHz)	Broj kanala
NMT	453-457,5	25	180
450	463-467,5		
AMPS	824-849 869-894	30	832

Tablica 2.2.1. opisuje važnije značajke pojmova vezanih uz prvu generaciju, odnosno ona pokazuje promjene koje su se događale iz sustava u sustav te njihov napredak kroz povećanje frekvencijskog područja, većeg broja radio kanala, veće širine kanala, dupleksni razmak i polumjer ćelija, a sve je to utjecalo na podizanje kvalitete telekomunikacijskih usluga. Do navedenog razvoja trebalo je doći poradi toga što se povećavao broj korisnika usluga.

Sustavi prve generacije nude slabu razinu sigurnosti kao i kvalitetu signala. Omogućavali su korisniku samo glasovne pozive, ograničeni kapacitet mreže te malo područje pokrivanja signalom glavni su razlog razvoja nove generacije.

2.3. DRUGA GENERACIJA MOBILNIH MREŽA – 2G

Druga generacija mobilnih sistema predstavljena je krajem 1980-tih godina. Niske brzine prijenosa podataka i govora bile su uvedene. Uspoređujući s prošlom generacijom nova nudi veću spektralnu učinkovitost, bolje podatkovne usluge i napredniji roaming. Za navedene novitete zaslužne su tehnologije višestrukog pristupa TDMA (eng. *Time Division Multiple Access*) i CDMA (eng. *Code Division Multiple Access*).

Europa i veći dio svijeta uvodi GSM (eng. *Global System for Mobile Communications*) s ciljem da omogući jedinstveni svjetski standard. Kapacitet GSM sustava proširuje se u području 1800MHz sustavom DCS (eng. *Digital Communication System*). Karakteristike navedenog sustava opisana je tablicom 2.3.1.

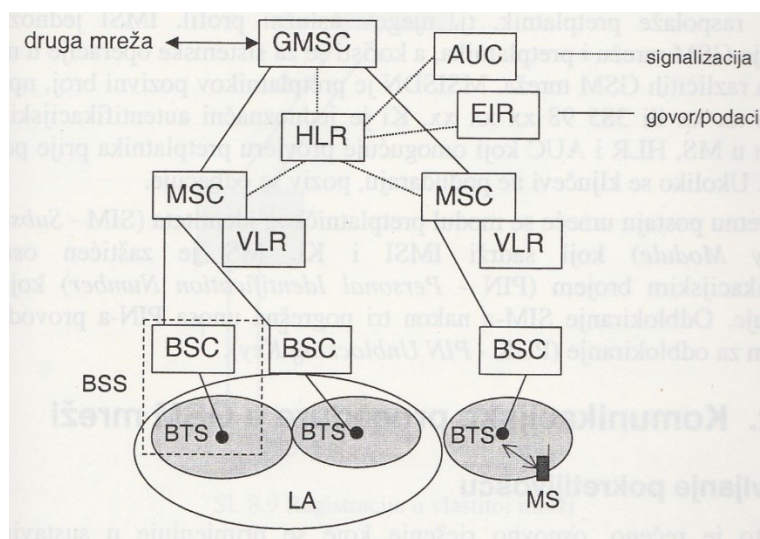
Tablica 2.3.2.: Karakteristike standarda –2G[8].

STANDARD	Frekvencija (MHz)	Razmak Kanala (kHz)	Broj kanala
GSM 900	890-915	200	992
DCS 1800 (TDMA)	935-960 1710-1785 1805-1880	200	2292
D-AMPS	824-849 869-894	30	832

Izvedbom novog sustava prelazimo na više frekvencije te povećavamo broj kanala. Iz priložene tablice možemo zaključiti da D-AMPS sustav koristi iste frekvencije kao i AMPS (tablica 2.2.1) razmak kanala te broj ali ne analogne već digitalizirane kanale.

U Sjedinjenim Američkim Državama 1991. godine predstavljaju standarde IS-54 (Digital AMPS) kojeg 1996. zamjenjuje IS-136. Oba sustava koriste hibrid FDMA i TDMA. U međuvremenu, IS-95 poznat kao cdmaOne pušten je u rad 1993. godine te omogućuje prijenos glasa i podataka kao što je npr. birani telefonski broj. Danas postoje dvije verzije navedenog standarda, IS-95A i IS-95B. Razlika navedenih je u brzini prijenosa podataka. IS-95A podržava prijenos do 14,4 kbit/s, dok IS-95B teoretski može podržavati do 115 kbit/s. [9]

GSM standard razvijen od strane ETSI (eng. *European Telecommunications Standards Institute*) opisuje protokole za 2G. Pušten je u rad 1991. te je danas jedan od globalnih standarda za mobilne komunikacije. Slika 2.3.1. prikazuje arhitekturu GSM-a.



Slika 2.3.1. Arhitektura GSM-a[8]

Prilazni pokretni komutacijski centar GMSC (eng. *Gateway Mobile Switching Centre*) ima dvije funkcije: obavlja povezivanje s drugim mrežama i omogućuje pristup GSM mreži.

MSC - (eng. *Mobile Switching Centre*) prilazni komutacijski centar koji spaja GMSC i BSS.

BSS – (eng. *Base Station Subsystem*) sastoji se od 2 dijela, kontrolnog BCS-a (eng. *Base Station Controller*) te primopredajnog BTS-a (eng. *Base Transceiver Station*)

BSC –upravlja s više BTS-ova koji sadrže antenske sustave.

MS – (eng. *Mobile Station*) korisnički terminal, općenito pokretna postaja, tj. pokretni telefon.

HLR – (eng. *Home Location Register*) domaći lokacijski registar, sadrži sve podatke o pretplatnicima, tj. uslugama koje koriste te lokaciju korisnika.

VLR – (eng. *Visitor Location Register*) gostujući lokacijski registar/registar posjetitelja, sastavni dio svakog MSC-a.

AUC – (eng. *Authentication Centar*) centar za provjeru autentičnosti sadrži autentifikacijski ključ kojim se provjerava pretplatnik pri svakom pozivu.

EIR – (eng. *Equipment Identification Register*) dodatna mogućnost koja služi za provjeru serijskog broja (eng. *IMEI – International Mobile Equipment Identity*) mobilne postaje je li uređaj u vlasništvu pretplatnika.

Standardizacija GSM mreže omogućuje uslugu kratkih poruka SMS (eng. *Short Message Service*) i prijenos podataka od maksimalno 9,6 kbit/s, međutim nešto kasnije povećava se na 14,4 kbit/s zahvaljujući drugačijim kodiranjem no bez promjene modulacijskog postupka koji bi zahtijevao promjenu radijskog dijela opreme.

GPRS (eng. *General Packet Radio Service*) je zamišljen da dopuni postojeći standard uvođenjem komutacije paketa unutar postojeće GSM arhitekture, GPRS je dakle proširenje. Vršiti distribuciju paketa podataka preko više kanala od nekoliko različitih terminala, time omogućuje bolju upotrebu propusnog dijela opsega. U teoriji moguće su brzine prijenosa od 114 kbit/s.

Značajke za operatora:

- bolje karakteristike bežičnog prijenosa podataka
- bolja iskoristivost kanala u odnosu na komutaciju kanala.

Značajke za krajnjeg korisnika:

- brži pristup
- stalna veza s internetom preko pokretnog terminala
- povećanje brzine komuniciranja
- naplata prema volumenu podataka, a ne trajanju komunikacije

Nešto kasnije sustav poboljšava brzine prijenosa podataka do 384 kbit/s pojavom EDGE (eng. *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*). Uvođenje zahtjeva promjenu radijskog dijela opreme zbog promjene modulacijskog postupka

3. TREĆA GENERACIJA MOBILNIH MREŽA – 3G

Cilj razvoja nove mreža je postizanje govorne, podatkovne te više medijske komunikacije za stacionarne i pokretne korisnike bez ikakvih vremenskih i prostornih ograničenja i to sve koristeći jedinstvenu adresu, odnosno broj.

Međunarodna unija za telekomunikacije (eng. *International Telecommunication Union*, ITU) definira zahtjeve za novu mobilnu mrežu s IMT-2000 standardom. Organizacija 3GPP (eng. *3rd Generation Partnership Project*) nastavlja rad na definiranju sustava koji bi ispunio navedeni standard. U Europi se razvija standard pod nazivom UMTS (eng. *Universal Mobile Telecommunications System*), istovremeno SAD razvijaju cdma2000[10].

Zahtjevi IMT-2000 standarda su sljedeći:

- mogućnost korištenja širom svijeta
- širi raspon telekomunikacijskih usluga
- komutacija paketa i kanala
- brzine od 144 kbit/s za visoku mobilnost
- brzine od 384 kbit/s za korisnike na ograničenom području
- brzine od 2048 kbit/s za stacionarne korisnike
- kompatibilnost s prethodnom generacijom

Također u ćelijsku strukturu uvodi se hijerarhija prema zoni, gustoći naseljenosti, brzini prijenosa te brzini kretanja, podjele su sljedeće[8]:

- piko – do 2048 kbit/s, zatvoreni prostori, vrlo velika količina korisnika, mirovanje
- mikro – od 384 do 2048 kbit/s, grad, velika količina korisnika, brzine kretanje 120km/h
- makro – od 144 do 384 kbit/s, prigradsko područje, srednja količina korisnika, brzine kretanje 120 - 500 km/h
- svjetska – do 144 kbit/s, ruralni krajevi, slaba naseljenost, brzine kretanje do 1000km/h

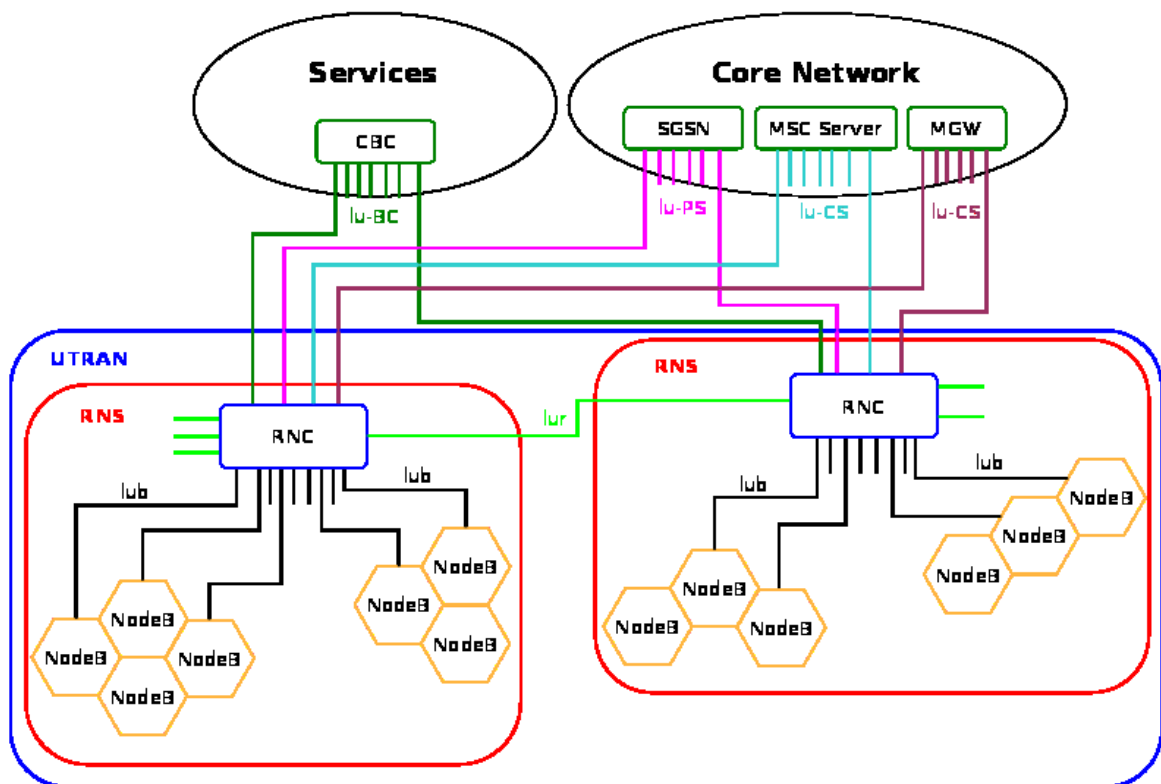
UTRA (eng. *Universal Terrestrial Radio Access*) je radio–sučelje UMTS-a koje ima dva različita načina rada FDD i TDD. FDD (eng. *Frequency Division Duplex*) koristi pojas 1920-1980MHz (uzlazno) uparen s 2110-2170MHz (silazno) . U navedenom pojasu koristi se metoda W-CDMA (eng. *Wideband Code Division Multiple Access*) koja koristi kanal širine 5MHz dok konkurentni sustavi poput CDMA2000 i prethodnika cdmaOne koriste kanal širine 1,25MHz. Upotreba W-CDMA metode pogodna je u ruralnim područjima gdje je potrebno postavljanje široko pojasne mobilne mreže[8].

Neke od prednosti metoda W-CDMA:

- veći kapacitet
- bolja pokrivenost od metoda TDMA i CDMA
- varijabilna i visoka brzina prijenosa
- prikladnost paketskog i kanalskog prijenosa

TDD (eng. *Time Division Duplex*) koristi dva ne uparena pojasa 1900-1920MHz i 2010-2025MHz. Koriste se oba ali su uzlazna i silazna veza odvojeni u vremenu. Omogućuje dinamičko dodjeljivanje većeg pojasa silaznoj vezi ako je potrebno. W-CDMA metoda zapravo kombinira CDMA i TDMA. Navedena opcija čini protok prometa učinkovitijem tako što ga propušta asimetrično.

Nešto kasnije pojavljuje se nadogradnja HSPA (eng. *High Speed Packet Access*) koja je zapravo spoj dva protokola HSDPA (eng. *High Speed Downlink Packet Access*) i HUSPA (eng. *High Speed Uplink Packet Access*). Omogućujući brzine od 14,4Mbit/s za silazno te 5,75Mbit/s uzlazno, time se povećavaju performanse postojeće 3G mobilnih mreža. Daljnjim razvojem 3GPP standarda pušta se u rad HSPA+ (eng. *Evolved High Speed Packet Access*) koji omogućuje 42,2Mbit/s za silazno te 22Mbit/s uzlazno što je duplo više od prethodne nadogradnje. Razvojem HSPA+ poput uvođenja veće modulacije (64QAM) te MIMO (eng. *Multiple-input multiple-output*) koji omogućuje veću propusnost i domet bez potrebe za povećavanjem frekvencijskog opsega moguće su teoretske brzine od 168Mbit/s silazno te 22Mbit/s uzlazno. Nažalost navedene nadogradnje nisu ušle u širu upotrebu jer se počeo razvijati 4G standard koji nudi veće brzine od nadogradnji iz 3G. Slika 3.1. prikazuje arhitekturu UMTS-a te veze između pojedinih sučelja.



Slika 3.1. Arhitektura UMTS-a[14].

RNS – (eng. *Radio Access Network*) osnovni element UTRAN arhitekture te ujedno ekvivalent podsustavu bazne postaje u GSM-u. Jedan ili više čvorova B s radijskim primopredajnikom čine RNS. Spojnost na jezgrenu mrežu se vrši preko Iu sučelja kao i komunikacija s drugim RNS-om preko Iur sučelja.

UTRAN – pristupni dio za korisnike

NodeB – radijski primopredajni dio

Iu-CS – dio za komutaciju kanala

Iu-PS – dio za komutaciju paketa

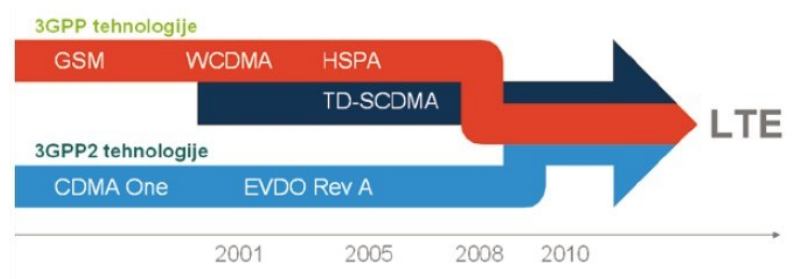
4. 4G LTE MREŽA

Četvrta generacija telekomunikacijskih tehnologija razvija se zbog potrebe za većim performansama, povećanja efikasnosti korištenja radio resursa te sniženja troškova održavanja opreme. Uvjeti postavljeni od strane ITU-a su da brzina prijenosa podataka korisnika u pokretu iznosi 100Mbit/s silazno te 50Mbit/s uzlazno kao i 1Gbit/s za fiksne lokacije. Također navedene usluge bi trebali zadovoljiti QoS (eng. *Quality of Service*). Glavna zadaća QoS-a je pružanje prioriteta propusnosti mreže (eng. *Bandwidth*) i kontrola varijacije u latenciji (eng. *Jitter*) [11]. Navedeni mehanizmi su nužni da bi aplikacije fluidno funkcionirale.

Neke od njih su:

- Televizija visoke rezolucije (eng. *High Definition Television*)
- Digital Video Broadcasting
- IP telefonija
- Real time audio
- Video konferencije
- Računalni oblak
- Visoka propusnost mrežnog prometa

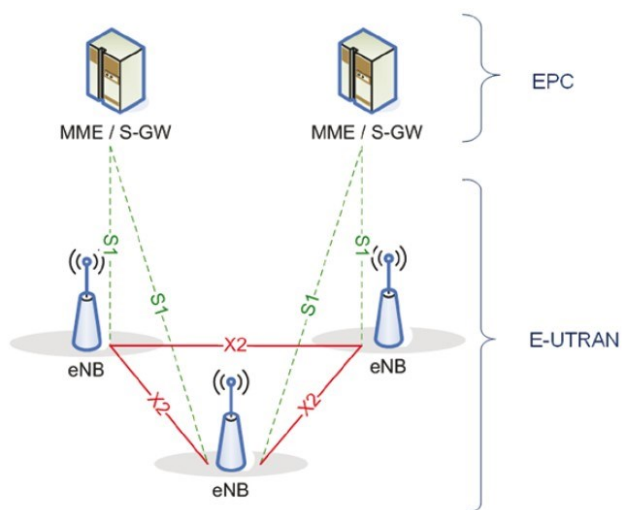
Velika većina operatora je pokazalo interes za upotrebu nove generacije pa je brz ciklus razvoja novog standarda rezultirao u svega 5 godina. Po prvi put zaživio je jedan globalni telekomunikacijski standard. Slika 4.1. prikazuje globalnu prihvaćenost LTE tehnologije kao evoluciju svojih postojećih mreža. Operatori iz cijelog svijeta koji koriste tehnologije van 3GPP, kao što su SAD i Azija također prihvaćaju novi standard.



Slika 4.1. Prihvaćanje LTE-a kao globalni standard[12]

Ključni ciljevi gledano sa strane performansi te mogućnosti koje LTE treba ispuniti su visoke brzine prijenosa, smanjenje čekanja, visoka spektralna efikasnost, pojednostavljivanja arhitekture te fleksibilnost upotrebe različitih frekvencijskih opsega. Značajnu uloga za implementaciju LTE tehnologije ima i pojas koji se oslobađa time što će se analogno emitiranje televizije prebaciti na digitalno. Naime pojas 790-862MHz je jako zanimljiv jer pruža mogućnost boljeg pokrivanja a sve zbog niske frekvencije koja u konačnici rezultira manjom potrebom baznih stanica za teritorijalno pokrivanje, posebice u ruralnim područjima. Za FDD način rada na raspolaganju je 30MHz upareno za silaznu vezu s pojasom 791-821MHz i 832-862MHz za uzlaznu vezu. TDD način rada ima opseg 797-862MHz tj. 65Mhz ne upareno.

Mreža zasnovana na tehnologijama koje smo prethodno definirali zapravo tvori EPS (eng. *Evolved Packet System*). Sastoji se od EPC (eng. *Evolved Packet Core*) i evoluiranog UTM-a tj. E-UTRAN (eng. *Evolved UTRAN*).[12]



Slika 4.2. EPS arhitektura[12]

EPC – pruža pristup vanjskim podatkovnim mrežama, servisima, upravlja sigurnosnim funkcijama i pretplatničkim informacijama, prati naplatu te mobilnost kao i ne-aktivne terminale

E-UTRAN – zadaća mu je obaviti sve radijske funkcije za aktivne terminale.

MME – (eng. *Mobility Management Entity*) logički čvor u kontrolnoj ravni

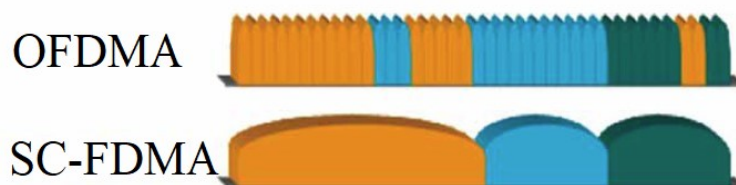
S-GW – (eng. *Serving Gateway*) logički čvor u korisničkoj ravni

Radijske postaje predstavljaju čvorovi eNB. Neke od funkcionalnosti koje uključuju su:

- Kontrolu ćelije i podršku MME skupu
- Kontroliranje mobilnosti
- Šifriranje
- Upravljanje re-transmisijom
- Raspodjela korisnika
- Automatizaciju rada i nadzora

Zračno sučelje LTE tehnologije bazira se na upotrebi ortogonalnog multipleksiranja frekvencijskim odvajanjem (OFDMA , eng. *Orthogonal frequency-division multiple access*) zajedno s višestrukim pristupom u silaznoj vezi (OFDM, eng. *Orthogonal Frequency-division Multiplexing*) te višestrukog pristupa s frekvencijskom raspodjelom na jednom nositelju (SC-FDMA, eng. *Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) za uzlaznu vezu. Uz navedeno bitna je i implementacija više-antenskih rješenja na kompletnoj opremi koje postižemo s MIMO (eng. *Multiple-input multiple-output*). Kao i tehnike odašiljačke i prijemne raznolikosti (eng. *TX/RX*) te upravljanje dijagramom zračenja antene (eng. *Beamforming*).

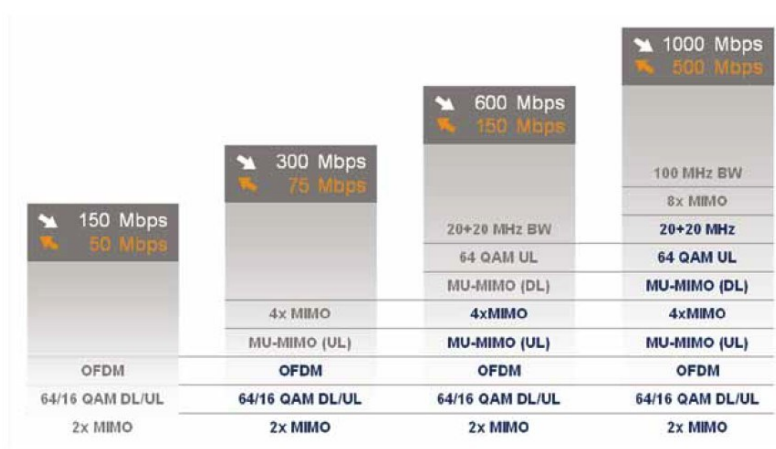
Prednosti OFDM modulacijske tehnike su mogućnost neusmjerenog ili grupnog odašiljanja, otpornost na među-simbolnu interferenciju (eng. *Inter Symbol Interference - ISI*) i frekvencijsko selektivno slabljenje (eng. *Fading*), također zadovoljava traženu spektralnu efikasnost definiranu od strane ITU. Svime navedenim modulacijska tehnika OFDM idealna je za urbana okruženja. Koriste se tri tipa modulacije QPSK(=QAM),16QAM te 64QAM, dok ostali nisu prihvatljivi zbog velikog šuma i smetnji.[12]



Slika 4.3. Usporedba silazne i uzlazne veze[12]

OFDMA modulacijska tehnika je prihvatljiva za silaznu vezu ali po pitanju uzlazne veze potrebno je korištenje SC-FDMA (eng. *Single-Carrier FDMA*). Ograničenost kapaciteta baterije te prednost zbog manjeg odnosa vršne i prosječne snage čini SC-FDMA poželjnim za upotrebu. Slika 4.3. prikazuje usporedbu navedenih modulacijskih tehnika.

Ciljanje performanse moguće je ostvariti kombinacijom svih navedenih tehnika LTE sučelja. Ostvarivanje maksimalne brzine prijenosa uzlazno/silazno ovisi isključivo o konfiguraciji. Povećanjem pojasa, korištenjem modulacija višeg reda te kombinacijom više od dvije primo/predajne antene moguće su brzine od 1Gbps silazno te 500Mbit/s uzlazno. Svime navedenim LTE se zapravo proširuje na LTE-Advanced. Slika 4.4. predstavlja razvojni put LTE prema LTE-A uz razne kombinacije koje su se kroz određeno vrijeme razvile.



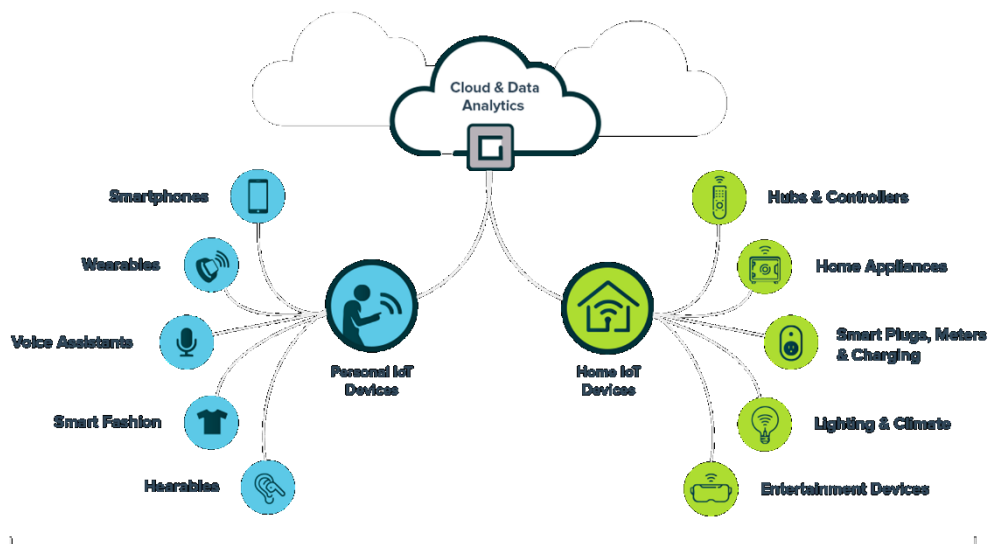
Slika 4.4. Razvojni put LTE prema LTE-Advanced[12]

Internet stvari (eng. *Internet of Things*, IoT) je mrežna tehnologija koja bi trebala unaprijediti i olakšati svakodnevni život. Koncept je stvaranje mrežnih uređaja koji će moći međusobno komunicirati i s kojima ćemo moći upravljati bilo kada, bilo gdje. [IoT]

Mogućnosti su:

- Pametno mjerenje (struja, gorivo, voda)
- Lociranje (ljudi, životinja, stvari)
- Kontrola i automatizacija (rasvjeta, grijanje)

Dijelimo ih na tri vrste : komunikacija stvari i ljudi, između stvari, između uređaja (eng. *Machine to machine*, M2M).



Slika 4.5. Mogućnosti IoT[15].

NB-IoT (eng. *Narrow Band-Internet of Things*) je standard definiran od strane 3GPP koji se bazira na LPWAN (eng. *Low Power Wide Area Network*) s ciljem da omogući široku paletu mrežnih uređaja i usluga. Fokus je na niskoj cijeni, korištenju u zatvorenim prostorima te što dužem vijeku baterije koju koristi mrežni uređaj. Frekvencijski pojas od 180KHz se koristi za komunikaciju, OFDM modulacijska tehnika za silaznu vezu a SC-FDMA za uzlaznu. Brzine prijenosa podataka su 50kbit/s silazno i 20kbit/s uzlazno, te i dalje povećavaju. [16].

LPWAN zahtjevi[17]:

- domet od 2-5km za urbana područja
- domet od 10-15km za ruralna područja
- nizak trošak izrade uređaja
- niska cijena za krajnjeg korisnika
- lagan razvoj
- podrška za masivan broj uređaja

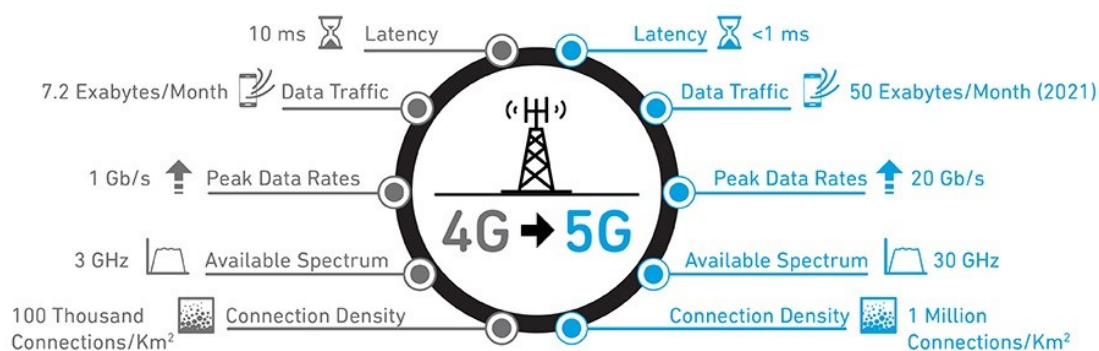
U bliskoj budućnosti očekuje se veliki razvoj IoT uređaja, kao i razvoj 5G mobilnih mreža koja bi trebala u potpunosti podržati sve zahtjeve za potpunu povezanost IoT uređaja, također većina telekoma je za uvođenje uskopojasnog IoT standarda jer ne zahtijeva velika i rizična ulaganja.

5. 5G MOBILNA MREŽA

Peta generacija mobilnih mreža još uvijek nije komercijalno zaživjela, no istraživanja i testiranja se intenzivno vrše. Razvoj nove mreže trebao bi poboljšati kapacitet mreže, stabilnost, odaziv, te dostupnost (slika 5.1.). Svime navedenim ostvaren je temelj za internet stvari (eng. *IoT*). Kompletna infrastruktura trebala bi biti ujedinjena samim time i efikasnija[18].

Neke od očekivanih funkcionalnosti su:

- kašnjenje manje od 1ms
- brzine do 10Gbit/s
- 100 % pokrivenost
- 99 % dostupnost sustava
- do 100x više spojenih uređaja
- smanjenje korištenja energije
- mogućnost bežičnog punjena telefona



Slika 5.1. Usporedba 4G i 5G mobilnih mreža

Noviteti poput milimetarskih valova omogućit će više prostora u frekvencijskom pojasu za nove uređaje, međutim porastom frekvencije dolazi do problema. Milimetarski valovi ne mogu dobro pokriti velike geografske površine, kao rješenje koristit će se puno manjih baznih stanica. Da bi se sva komunikacija brzo odvila potrebno nam je puno prvo/predajnih antena tj. metoda MIMO. Sama metoda nije dovoljna jer ako imamo jako puno milimetarskih valova istovremeno bez kontrole prometa, brzo će doći do zagušenja. Rješenje je u upravljanju dijagramom zračenja antene(eng. *Beamforming*).

Na samome kraju noviteta je potpuna dvosmjernost u komunikaciji (eng. *Full duplex*) koja dosad nije bila dostupna čak ni u prethodnim generacijama.

Tehnologije poput NFV (eng. *Network Functions Virtualisation*) već su puštene u rad i nastavit će se razvijati prema hiper-povezanosti u korak s 5G razvojem. Koncept NFV-a je kreiranje mrežnih funkcija ali softverski s ciljem da se izvode na serverima, u tom slučaju nema potrebe za instaliranjem dodatnog hardvera. Prednosti takvog sustava su smanjeni troškovi opreme i energije, veća fleksibilnost, manje vremena i rizika za implementaciju novih servisa u sustav[18].

6. ZAKLJUČAK

Razvoj tehnologije tijekom prošlog stoljeća, a posebno unatrag nekoliko desetljeća, dosegnuo je razmjere koji su prije navedenog vremena bili nezamislivi. Jedan od ključnih čimbenika uspjeha mobilne tehnologije je mogućnost pružanja velikog spektra usluga. Danas mreže postižu veliku pokrivenost i omogućavaju korisnicima laku dostupnost, brzu i efikasnu komunikaciju te jednostavan pristup internetu.

Današnje informacijsko društvo postaje sve više automatizirano. Mobilne aplikacije kao i ostale komunikacijske tehnologije potražuju sve veću povezanost i propusnost mreže. Sustavi koji korisnicima omogućuju navedene usluge su: GSM, GPRS, UMTS te LTE. 3G tehnologije prisutne su već duži niz godina, no sve više ih zamjenjuje 4G. Temeljna razlika između 3. i 4. generacije je brzina prijenosa podataka, metode kodiranja i prijenosa, prilazna tehnologija za mrežu, kompatibilnost sučelja s okosnicom mreže, QoS te sigurnost tj. zaštita.

4G mreža nastala je u sve većoj potražnji za paketnim sadržajem koji nije dio klasične glasovne telefonije. S napretkom mreže morat će biti dostupan i sve veći izbor usluga kako bi se zadovoljile sve veće potrebe krajnjih korisnika.

Peta generacija mobilnih mreža već je implementirana i u fazi je testiranja na pojedinim područjima. Neke od karakteristike koje nam omogućava su veće brzine u prijenosu podataka, smanjeno kašnjenje signala, veća pokrivenost te održavanje velikog broja korisnika na malim područjima.

Što će nam donijeti sljedeća generacija mobilnih mreža teško je predvidjeti jer u potpunosti nije još ni 5G globalno implementirana. Dosad je svaka nova generacija razvijana kako bi se povećala prijenosna brzina podataka i količina uređaja koja može pristupiti mreži, kako još uvijek ne znamo nedostatke 5G mreže u praksi, teško je predvidjeti poboljšanja sljedeće generacije.

LITERATURA

- [1] T.S. Rappaport, „Wireless communications, principles&practice, Prentice-Hall 1996
- [2] <https://www.tnuda.org.il/en/physics-radiation/radio-frequency-rf-radiation/cellular-communication-network-technologies> (31.1.2019)
- [3] <http://faculty.kfupm.edu.sa/ics/salah/082/ics343/handouts/mobile/mobileO.html> (31.1.2019)
- [4] A.S. Tanenbaum. Computer Networks. Prentice Hall, 1996.
- [5] Gsm data knowledge site, <http://www.mobiledata.com> (31.1.2019)
- [6] 38 years ago he made the first cell phone call CNN, <http://edition.cnn.com/2011/OPINION/04/01/greene.first.cellphone.call/index.html> (31.1.2019)
- [7] Inventor of Cell Phone: We Knew Someday Everybody Would Have One,((31.1.2019) www.edition.cnn.com/2010/TECH/mobile/07/09/cooper.cell.phone.inventor/index.html
- [8] Osnove Arhitekture Mreža, Alen Bažant i dr., 2004.
- [9] IJECT Vol. 1. Issue 1, December 2010, Evolution of mobile wireless communication: 1G to 4G, A. Kumar, Dr. Yunfei Liu, Dr. Jyotsna Sengupta, Divya
- [10] International Journal of Computer Science and Mobile Computing, Vol. 2, Issue. 8, August 2013
- [11] <https://www.cisco.com/c/en/us/products/ios-nx-os-software/quality-of-service-qos/index.html> (4.2.2019)
- [12] LTE – nova tehnologija za mobilni širokopojasni, Tomislav Blajić (2.2.2019)
- [13] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953>, (5.2.2019)
- [14] https://uk.wikipedia.org/wiki/UMTS_3-2019 (5.2.2019)
- [15] <https://www.reply.com/en/topics/internet-of-things/the-evolution-of-the-consumer-internet-of-things>(20.3.2019)
- [16] Preliminary specification 3GPP.pdf, www.3gpp.org
- [17] https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2017/Nov_IOT/NBTC-ITU-IoT/IoT_standards.pdf (20.3.2019)
- [18] Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije, ms. Sc. Branko Burazer

SAŽETAK

Prva generacija mobilne mreže puštena je u promet 1979. godine te je bila analogna i omogućavala isključivo glasovne usluge. S drugom generacijom mobilne mreže, GSM, koja je bila digitalna, počinje nagli razvoj mreže, tehnologije i mobilnih uređaja. Treća generacija mobilne mreže, uz usluge poziva i poruka, omogućuje značajno veće brzine pristupa internetu, do 14 mb/s. LTE mreža, koja je nasljednik 3G mreže, pruža još veće brzine prijenosa koje sežu do 100mb/s. Nadolazeća 5G mreža još je u povojima razvoja te uskoro očekujemo njenu standardizaciju.

Ključne riječi: razvoj telekomunikacijskih mreža, GSM,CDMA,TDMA, UMTS, LTE 1G, 2G, 3G, 4G, 5G

ABSTRACT

The first generation of the mobile network was put into circulation in 1979, and it was analog and enabled only voice services. With the second generation of mobile network, GSM, which was digital, the rapid development of network, technology and mobile devices began. The third generation mobile network, with call and messaging services, provides significantly faster Internet access speeds up to 14 Mbps. The LTE network, which is the successor to the 3G network, provides even higher transfer rates of up to 100mb/s. The upcoming 5G network is still in its infancy and we expect its standardization soon.

Key words: development of telecommunication networks, GSM, CDMA, TDMA, UMTS, LTE 1G, 2G, 3G, 4G, 5G

ŽIVOTOPIS

Hrvoje Liović je rođen 22. travnja 1992. godine u Osijeku. Osnovnu školu Vladimira Nazora pohađao je u Čepinu, a srednju školu završio u Osijeku u Elektrotehničkoj i prometnoj školi Osijek, stekavši zvanje Tehničara za računalstvo. Od osnovne škole pokazuje interes prema elektrotehnici i informatici. Maturirao je 2011. godine te upisuje stručni studij Informatike na Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek

Hrvoje Liović
