Pokretne mreže pete generacije - pregled trenutnog stanja i smjernice budućeg razvoja

Vukelić, Valentina

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:967453

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

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

Stručni studij

POKRETNE MREŽE PETE GENERACIJE – PREGLED TRENUTNOG STANJA I SMJERNICE BUDUĆEG RAZVOJA

Završni rad

Valentina Vukelić

Osijek, 2016.

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek, 17.09.2016.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju

Ime i prezime studenta:	Valentina Vukelić
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Informatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	AI4291, 29.08.2013.
OIB studenta:	95687033485
Mentor:	Doc.dr.sc. Krešimir Grgić
Sumentor:	
Predsjednik Povjerenstva:	Prof.dr.sc. Drago Žagar
Član Povjerenstva:	Dr.sc. Višnja Križanović-Čik
Naslov završnog rada:	Pokretne mreže pete generacije – pregled trenutnog stanja i smjernice budućeg razvoja
Znanstvena grana rada:	**Telekomunikacije i informatika (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak završnog rada	Prema očekivanjima, već u bliskoj budućnosti pokretne mreže četvrte generacije (4G) neće više biti u mogućnosti u potpunosti zadovoljiti naglo rastuće potrebe za kvalitetnim povezivanjem sve većeg broja različitih uređaja. Stoga se intenzivno radi na razvoju mrežnih arhitektura i tehnologija koje će omogućiti još veći kapacitet i brzinu prijenosa, uz smanjenje kašnjenja i poboljšanje kvalitete usluge - mreže pete generacije (5G). Potrebno je sustavno analizirati moguće mrežne arhitekture i tehnologije za 5G mreže, vodeći računa o njihovim različitim aspektima (performanse, kvaliteta usluge, sigurnost, energetska učinkovitost...)
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 Jasnoća pismenog izražavanja: 3 Razina samostalnosti: 3
Datum prijedloga ocjene mentora:	17.09.2016.

Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 28.09.2016.

Ime i prezime studenta:	Valentina Vukelić
Studij :	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnike, smjer Informatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	AI4291, 29.08.2013.
Ephorus podudaranje [%]:	1

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Pokretne mreže pete generacije – pregled trenutnog stanja i smjernice budućeg razvoja**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Krešimir Grgić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. Zadatak završnog rada 1

2. PREGLED GENERACIJA POKRETNIH MREŽA 2

2.1. Prva generacija pokretnih mreža – *1G* 2

2.2. Druga generacija pokretnih mreža – *2G* 3

2.3. Treća generacija pokretnih mreža – *3G* 4

2.4. Četvrta generacija pokretnih mreža – *4G* 4

2.5. Kratki pregled stanja mreža u Hrvatskoj prema provedenoj anketi te uvod u petu generaciju pokretnih mreža 6

3. ARHITEKTURA 5G POKRETNE MREŽE 8

4. TEHNOLOGIJE 5G MREŽE 12

4.1. Masivni *MIMO* (eng. *Massive MIMO*) 13

4.2. Upravljanje uzajamnog utjecaja (eng. *Interference Management – IM*) 15

4.3. Dijeljenje spektra (eng. *Spectrum Sharing*) 16

4.4. Guste mreže (eng. *Ultra Dense Networks*) 17

4.5. Više pristupna radijska tehnologija (eng. *Multi Radio Access Technology Association*) 18

4.6. Tehnologija koja na istom kanalu istovremeno i šalje i prima signal (eng. *Full Duplex Radios*) 19

4.7. Milimetarski radio valovi (eng. *A Millimeter Wave Solution For 5G Cellular Network*) 19

4.8. Komunikacija u oblaku (eng. *Cloud Tehnologies for Flexible 5G Radio Access Networks*) 21

5. KVALITETA USLUGE I APLIKACIJE *5G* MREŽE 23

5.1. Kvaliteta usluge u *5G* mrežama - *QoS* 23

5.2. Komunikacija stroja sa strojem (eng. *Machine to Machine Communication – M2M*) 23

5.3. Komunikacija uređaja s uređajem (eng. *Device To Device Communication System – D2D*) 25

5.4. Internet stvari (*eng.* Internet of Things – *IoT*) 27

5.5. Internet vozila *(*eng. *Internet of Vehicles – IoV)* 29

6. DOSADAŠNJE ISTRAŽIVANJE *5G* MREŽE 31

6.1. *Horizon* 2020 – projekt *METIS* 32

7. ZAKLJUČAK 34

LITERATURA 35

SAŽETAK 41

ŽIVOTOPIS 42

1. UVOD

Bilo je pitanje vremena kada će se početi pričati o novoj generaciji pokretnih mreža. Nakon *4G* mreže koja se trenutno koristi, u razvoju je i peta generacija pokretnih mreža koja bi trebala drastično promijeniti dosadašnje stanje. Naravno, ništa od toga neće biti moguće ako se ne provede potpuna rekonstrukcija mrežne arhitekture koja bi to omogućila. Nakon trenutne *4G* mreže, istražuje se što bi mogla donijeti peta generacija. Kako se najavljuje, ona bi se, ako se dovoljno razvije i usavrši, mogla pojaviti za nekih pet ili više godina, dok bi samo uvođenje trebalo uslijediti kasnije [1].

Ovaj rad bavit će se pokretnim mrežama pete generacije – pregledom trenutnog stanja te smjernicama budećeg razvoja. Završni rad će se razvijati na sljedeći način; drugo poglavlje će se baviti povijesnim razvojem pokretnih mreža – od *1G* do *4G* te uvodom u *5G* mrežu, treće poglavlje će se baviti arhitekturom mreže dok će četvrto uvesti u trenutno stanje *5G* mreža te raspisati tehnologije koje će se koristiti. Peto poglavlje će objasniti aplikacije te kvalitetu usluge dok će se šesto poglavlje baviti dosadašnjim istraživanjima te projektima vezanim za razvoj mreže.

1.1. Zadatak završnog rada

Prema očekivanjima, već u bliskoj budućnosti pokretne mreže četvrte generacije (*4G*) neće više biti u mogućnosti u potpunosti zadovoljiti naglo rastuće potrebe za kvalitetnim povezivanjem sve većeg broja različitih uređaja. Stoga se intenzivno radi na razvoju mrežnih arhitektura i tehnologija koje će omogućiti još veći kapacitet i brzinu prijenosa, uz smanjenje kašnjenja i poboljšanje kvalitete usluge - mreže pete generacije (*5G*). Potrebno je sustavno analizirati moguće mrežne arhitekture i tehnologije za *5G* mreže, vodeći računa o njihovim različitim aspektima (performanse, kvaliteta usluge, sigurnost, energetska učinkovitost...). Analizirati njihove mogućnosti implementacije i primjene kroz različite scenarije. Napraviti sustavan pregled trenutnog stanja razvoja *5G* mreža, i istaknuti glavne smjernice njihovog budućeg razvoja.

2. PREGLED GENERACIJA POKRETNIH MREŽA

Ovo poglavlje će predstaviti kraći pregled mobilnih generacija; kako su se razvijale, što je prethodilo njihovom razvoju, koje tehnologije koriste… Svaka generacija je donijela nešto novo; veće brzine, frekvencije te protok podataka [2].

2.1. Prva generacija pokretnih mreža – *1G*

Sve je krenulo od prve pokretne generacije koja se pojavila 1980-ih. Kao takva, *1G* mreža je bila puna mana; komunikacija između dvije osobe je bila veoma nepouzdana, veza je pucala te je moglo doći do neželjenog „upadanja“ treće osobe u poziv [1]. Mreža je bila analogna te nije bila u mogućnosti prenositi podatke [4].

Na koji način je funkcionirala *1G* mreža? 1G mreža je koristila *FDMA* (eng. *Frequency Division Multiple Access*) prijenos signala [4]. Takav prijenos funkcionira tako da dva uređaja komuniciraju i pri tome koriste samo jedan kanal bez obzira postoji li neki signal ili ne [5], a svakom kanalu se dodjeljuje posebna frekvencija. To znači da ako se htio ostvariti poziv s jednog uređaja na drugi, trebalo se povezati na mrežu baznih stanica nakon čega se glas modulirao na više frekvencije (150 *MHz* i više) [6]. To će se već u drugoj generaciji pokretnih mreža promijeniti tako što će se komunikacija poboljšati.

Prva generacija je koristila nekoliko standarda koji su vezani za pojedine države. Tako je *NMT* (*Nordic Mobile Telephone*) korišten u Danskoj, Finskoj, Islandu, Švedskoj i Norveškoj tzv. Nordijskim zemljama te u Švicarskoj, Nizozemskoj, Rusiji te dijelovima Istočne Europe. Nadalje, u Sjevernoj Americi i Rusiji se koristio *AMPS* (*Advanced Mobile Phone System*). Italija je koristila telekomunikacijski sustav nazvan *RTMI*, Ujedinjeno Kraljevstvo *TACS* (*Total Access Communication System),* a Francuska *Radiocom 2000*. Zapadna Njemačka, Portugal i Južna Afrika su koristili mrežu nazvanu *C-450*. Ipak, od svih nabrojanih, najznačajniji sustavi bili su *NMT* koji je bio zastupljen u Europi te *AMPS* u Sjedinjenim Američkim Državama [3].

2.2. Druga generacija pokretnih mreža – *2G*

Druga generacija pokretnih mreža pojavila se 1991. godine [3] te donijela promjene u vidu digitalnog prijenosa podataka [1]. Kako se razvijala, tako se podijelila na *2G-GSM, 2.5G-GPRS i EDGE-2.75G* [4] koje će biti opisane u tekstu ispod.

Sva navedena razdoblja *2G* generacije koriste *TDMA* (*Time Division Multiple Access*) i *FDMA* (*Frequency Division Multiple Access*) pristupnu radijsku mrežu dok je spektralna širina svakoj od mreža 200 *kHz* [4].

FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) dijeli jedan kanal ili propusni pojas na više njih prema frekvenciji. Svaki od kanala je dovoljno širok da bi se signal spektra mogao širiti. U principu, jedan razgovor zauzima jedan radio kanal [7]. *TDMA* (*Time Division Multiple Access*) funkcionira na način da svaki digitalni signal šalje neku poruku u kratkim vremenskim intervalima. Na taj način uređaj može slati kroz isti kanal svoj dio signala jedan za drugim tj. slijedno, a kako slijed dolazi tako se i razvrstava prema pripadnom odredištu. Jednostavnije rečeno, *TDMA* je omogućio da više korisnika koristi isti frekvencijski kanal tako što su se dijelili na vremenske odsječke [8].

Ova generacija je uvela i nove načine komunikacije. Uvodi se prijenos faksa, poruka i podataka [3], a brzina prijenosa podataka je 9.6 *kbit/s* [4]. Za razliku od prve generacije, poboljšana je kvaliteta prijenosa, povećan je kapacitet mreže te uvedena zaštita od zloupotrebe, a za korisničke podatke omogućeno je šifriranje. Mobilna oprema je u odnosu na prvu generaciju manja, jeftinija i lakša [3].

GPRS (*General Packet Radio Service*) je predstavio *2.5G* koja se od *GSM*-a razlikuje po tome što ima dva nova mrežna elementa: *SGSN* (*Serving GPRS Support Node*) koji brine o sigurnosti te je odgovoran za prijenos paketa podataka od/do mobilne stanice dok je drugi *GGSN* (*Gateway GPRS Support Node*). Ovaj element se koristi za komunikaciju s vanjskim mrežama, kontrolira prijenos te prati kretanje podataka [4].

Zadnja je *EDGE-2.75G* pokretna mreža. *EDGE* u nazivu predstavlja *Enhanced Data rates for GSM Evolution*. Brzina prijenosa podataka se kreće oko 470 *kbit/s* [4].

2.3. Treća generacija pokretnih mreža – *3G*

Treća generacija pokretnih mreža je puštena u rad krajem 2000. godine [1] te je samom svojom pojavom odgovorila na sve veću potražnju za mobilnim uslugama. Ova generacija koristi *W-CDMA* (*Wideband - Code Division Multiple Access*) sučelje koje radi unutar frekvencijskog spektra od 5 *MHz* te umjesto do sad korištene komutacije kanala, *3G* koristi komutaciju paketa. *CDMA* radi na principu dodjeljivanja drugačijeg koda tj. jedinstvene oznake svakom korisniku. *3.75G-HSOPA* i *3.9G-LTE* koriste *OFDMA* radijsku mrežu. Ova generacija se također dijeli na više njih, a to su *3G-UMTS, 3.5G-HSDPA-HSPA, 3.75G-HSOPA* te *3.9G-LTE*.

Treća generacija nudi veliku brzinu spajanja na servise bazirane na *Internet Protocol*-u (*IP*). Brzina prijenosa podataka iznosi do 2 *Mbit/s*. Treća generacija nudi bogate sadržaje kao što su bolja kvaliteta, brži prijenos, međunarodni pozivi po nižim cijenama… [1].

Budući da *3G* mreža uključuje uvođenje i upotrebu *W-CDMA* (*Wideband Code Division Multiple Access*), *UMTS* (*Universal Mobile Telecommunications Systems*) i *CDMA2000*, razvojne tehnologije kao što su *HSPA/HSDPA* i *EVDO* stvorile su generaciju između treće i četvrte. To je *3.5G* koji ima poboljšanu brzinu prijenosa podataka od 5 do 30 *Mbit/s* [1]. *CDMA* koristi široki pojas frekvencija te se na taj način svakom odašiljaču dodjeljuje jedinstvena oznaka što omogućava komunikaciju više korisnika putem istog kanala. Na taj način više mobilnih uređaja može biti stalno aktivno jer smiju tj. mogu koristiti jednake frekvencije [9]. Nakon nje slijedi *3.75G-HSOPA* (*High Speed OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Packet Access*). Koristi frekvencijski spektar u rasponu od 1.25 *MHz* do 20 *MHz*. Slijedi ju *3.9G-LTE* (*Long Term Evolution*) standard koji se odlikuje spektralnom širinom od 20 *MHz* te također koristi *OFDMA* [4].

2.4. Četvrta generacija pokretnih mreža – *4G*

Četvrta generacija mobilne tehnologije se pojavila oko 2010. godine. Ona je potomak *2G* i *3G* standarda. Svaka generacija je do sada ponudila nešto više od svoje prethodne generacije pa je tako i ova, *4G* mobilna mreža, ušla na velika vrata u svakodnevni život ljudi.

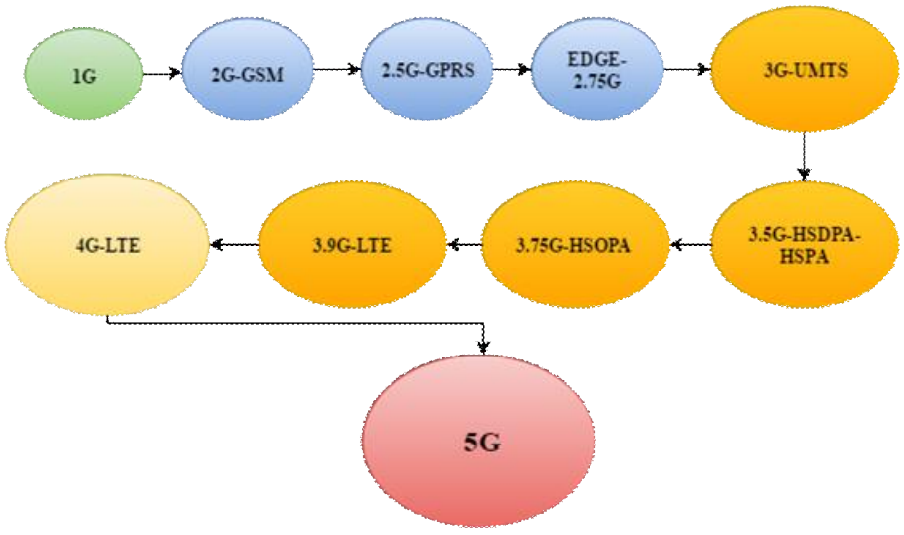
4G i *LTE* danas mnogi smatraju istim pojmom te se za *4G* mrežu ponekad koristi i naziv *LTE*. To nije sasvim ispravno, ali nije niti netočno. *LTE* se spominjao prvo u trećoj generaciji te se prvo s

njom povezivao, međutim danas, *4G* i *LTE* su postali istoznačnice te se koristi i jedan i drugi pojam kada se govori o četvrtoj generaciji.

4G je omogućila te i dalje omogućuje najbrži mobilni Internet na nekom od kompatibilnih *4G* uređaja. Svojom pojavom donijela je *IP* tehnologije koje omogućuju mobilnim uređajima širokopojasni pristup internetu gdje god da se nalazili. Mobilna *IP* tehnologija omogućava korisnicima internetsku vezu na bilo kojem mobilnom uređaju (telefon, laptop…) koji podržava pristup *Internetu*. U ovoj generaciji se više ne koriste kanali, čvorovi i terminali već *IP* (eng. *Internet Protocol*) mreža [10]. *4G* mreža omogućava korisnicima veoma brz *Internet* koji varira od grada do grada, tipa mobilnog uređaja, opterećenosti mreže te mnogih drugih faktora. Brzina prijenosa podataka je informativna jer kao što je navedeno, nemaju svi korisnici iste uvijete. Stoji da je brzina oko 1 *Gbit/s download* i 500 *Mbit/s upload* [4] za mobilne uređaje što često varira te ovisi od operatera do operatera, ali i o gore navedenim faktorima.

Spektralna širina za četvrtu generaciju se povećala, brzina također, a *4G* je sa sobom je dovela i neke aplikacije kao što su *MMS* (*Multimedia Messaging Service*), *DVB* (*Digital Video Broadcasting*) i video komunikaciju, televiziju u *HD* kvaliteti [1].

Od početka, od prve generacije pa do sada, mnogo se toga promijenilo te naravno poboljšalo. Dijagram 2.4.1. prikazuje razvoj generacija kako je slijedilo u prethodnom tekstu.

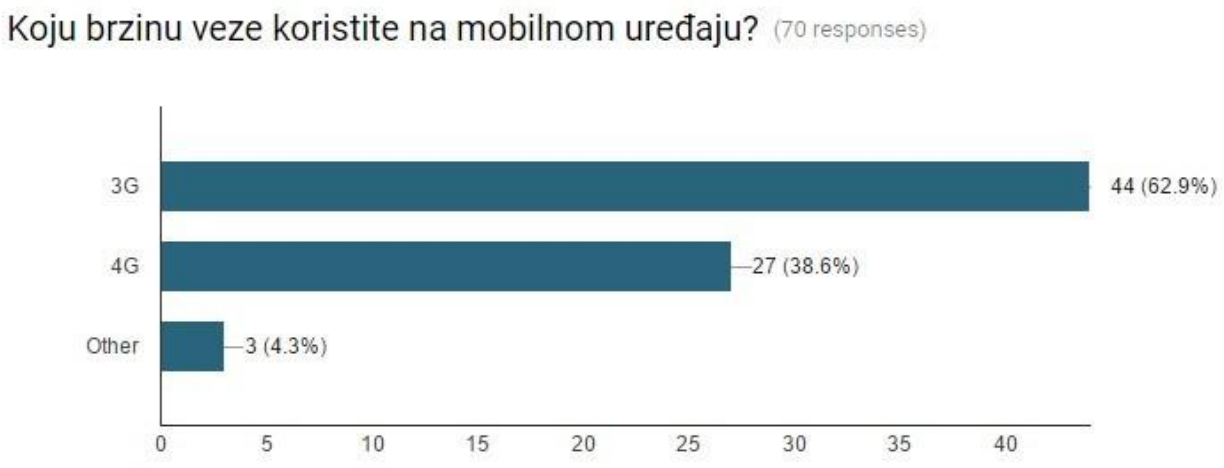


Slika 2.4.1. Razvoj generacija pokretnih mreža

2.5. Kratki pregled stanja mreža u Hrvatskoj prema provedenoj anketi* te uvod u petu generaciju pokretnih mreža

Kao što se dosad nagađalo, *5G* mreža se počela istraživati i kroz nekih 5-6 godina će ući u primjenu. U Hrvatskoj se još uvijek koristi i *3G* mreža dok *4G* imaju oni s boljim mobilnim uređajima. Na provedenoj online anketi koju sam sastavila, pitala sam ljude koji mobitel i koju brzinu veze koriste na mobilnom uređaju. Odgovori koje sam dobila nisu me iznenadili.

Slika 2.5.1. prikazuje postotak ljudi koji koriste *3G*, a koji *4G* brzinu veze. Većina ljudi još uvijek koristi mobitele koji ne podržavaju *4G* mrežu te još uvijek koriste *3G* što nije nimalo čudno jer su cijene mobilnih uređaja visoke, a tehnologija se brzo mijenja. Ljudima nije u interesu mijenjati uređaje tako često te njihovi uređaji ne podržavaju *4G* mrežu.

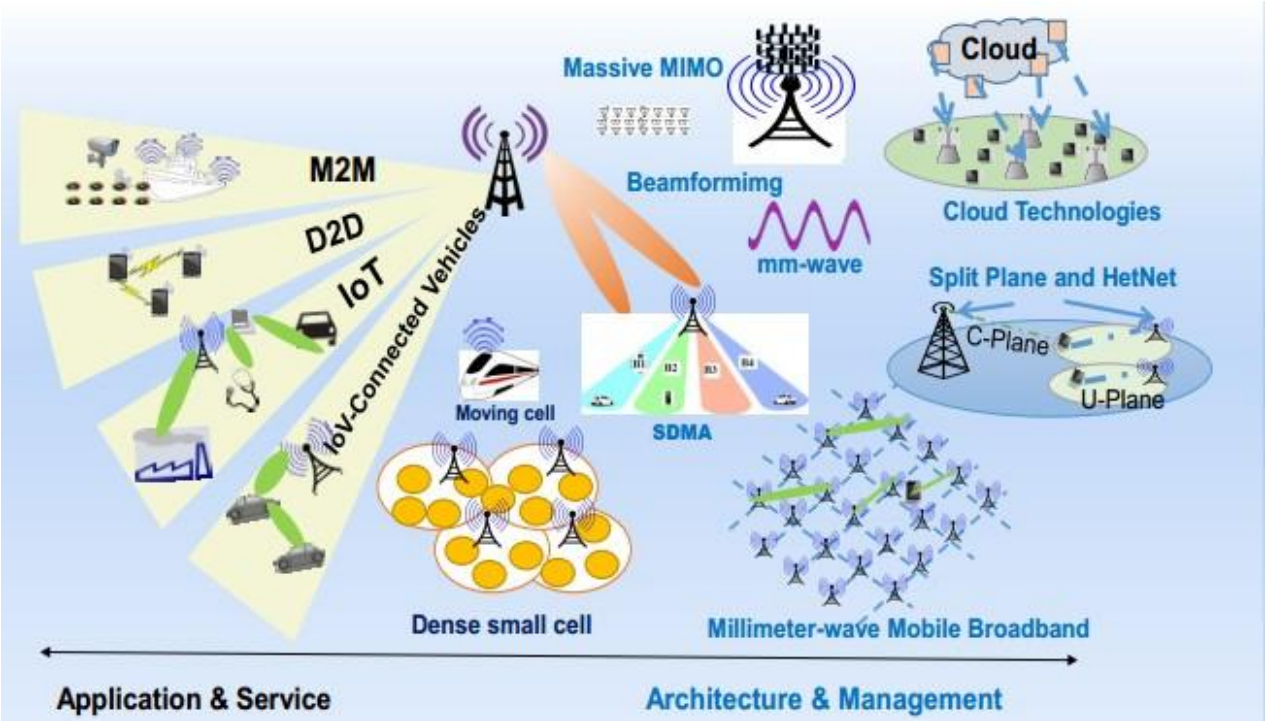


Slika 2.5.1. Omjer korištenja *3G* i *4G* veze

Veliko je pitanje, kada se *5G* mreža i pojavi kod nas, koliki postotak ljudi će ju koristiti. Već sad se vidi da iako smo već u *4G* mreži, da dobar dio ljudi i dalje koristi *3G* mrežu. U Hrvatskoj svakako postoji sraz s ostatkom svijeta te mislim da će se kod nas *5G* mreža početi stvarno koristiti tj. da će bar 70% ljudi imati uređaje koji podržavaju *5G* mrežu, tek godinama nakon što bude uvedena.

* Anketa provedena u svrhu analiziranja podataka vezanih uz temu završnog rada, https://docs.google.com/forms/d/1wBX95oEf4NvZLNKiql_YOuD_FUDpI3NR8WXw4QyUQnQ/viewform?c=0&w=1

Peta generacija se može podijeliti na dva dijela – različite tehnologije koje će se koristiti u arhitekturi *5G* mreže te aplikacije i usluge kao što je prikazano na slici 2.5.2.



Slika 2.5.2. Shematski prikaz sljedeće generacije pokretne mreže [2]

3. ARHITEKTURA 5G POKRETNE MREŽE

5G mobilna mreža je i trenutno još veoma nepoznata tema. Trenutno se samo priča o njoj i nagađa što bi se od tehnologija moglo koristiti na temelju već postojećih. Kao nova pokretna mreža smatra se da će biti bolja i stabilnija, imati potpuno novu, rekonstruiranu arhitekturu te koristiti nove standarde. Trebala bi imati puno bolje performanse od prijašnje *4G* te uvesti neka nova drastična poboljšanja. Nagađanja su da bi se trebala pojaviti oko 2020. godine [11].

Povećanje broja korisnika, zahtijeva i neke snažnije tehnologije koje bi se koristile u arhitekturi mreže. Prelaskom s *4G* na *5G* mrežu, dolazi i do prelaska na napredniju tehnologiju. To je *Beam Division Multiple Access – BDMA* i *Non- and quasi-orthogonal access* [1].

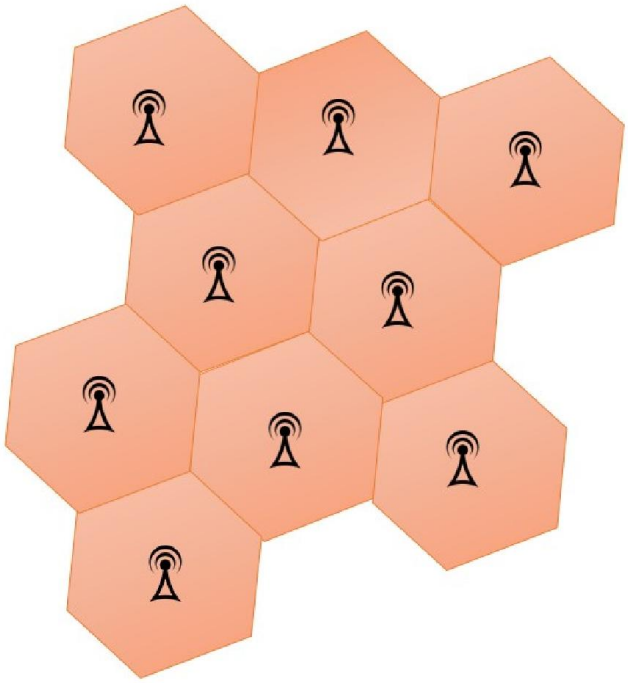
BDMA koncept se sastoji od bazne stanice i više pokretnih. U ovakvoj vrsti komunikacije, bazna stanica komunicira s pokretnim stanicama, a ortogonalni snop zraka se alocira na svaku od tih pokretnih stanica. Na taj način se tim pokretnim stanicama omogućuje višestruki pristup čime se značajno povećava kapacitet sustava [1]. Na taj način moguće je opskrbljivanje većeg broja korisnika istovremeno. Pokretna i bazna stanica se nalaze u tzv. *LOS*-u (eng. *Line of Sight*) gdje obje znaju točnu poziciju one druge. Na taj način mogu prenositi snopove direktno jedna drugoj te komunicirati bez uplitanja mobilne stanice [13].

Trenutne tehnologije poput *OFDMA*, koja dijeli i dodjeljuje ortogonalne frekvencije resursa kako bi povećala korisnosti, funkcionirati će još sljedećih možda pedesetak godina. Nadalje, neće biti potrebna rekonstrukcija kompletne bežične mreže koje su se koristile za vrijeme prve generacije pa nadalje. Naravno, moglo bi doći do nekih promjena, kao što je recimo redizajn arhitekture mreže, jer su zahtjevi korisnika sve veći i veći [1].

Istraživanja su pokazala da su korisnici veći dio svog vremena unutra, čak 80%, dok su vani svega 20%. To znači da bi signal da dođe do stanice koja se nalazi vani, morao prolaziti kroz zidove, a to bi rezultiralo velikim gubitcima jer bi se morao probijati kroz zapreke. Kako bi se savladao taj izazov, ideja je da se dizajnira tehnika koja će razlikovati vanjski i unutarnji pristup. Na taj način će probijanje signala kroz prepreke biti reducirano. Ta ideja bi se realizirala pomoću masivne *MIMO* tehnologije u kojoj bi se geografski široko rasprostranio niz antena koji bi imao desetke ili stotine antenskih jedinica. Obični *MIMO* koristi samo dvije ili četiri antene dok bi masivni *MIMO* sustavi koristili velik broj antena kako bi se postigao veliki kapacitet [1].

Kako bi se izgradila velika, masivna *MIMO* mreža, prvo treba vanjsku baznu stanicu koja bi trebala biti opremljena velikim nizovima antena. Među njima vjerojatno će biti i neke rasprostranjene oko

heksagonalne ćelije (Sl. 3.1.) i povezane s baznom stanicom putem optičkih kablova uz pomoć masivne *MIMO* tehnologije. Svaka zgrada bi trebala imati postavljene nizove antena koje bi komunicirale s baznom stanicom uz pomoć *LOS* komponenti. Te komponente bi onda funkcionirale na način da znaju poziciju one druge stanice. Bežične točke unutar neke zgrade su povezane s nizovima antena pomoću kablova kako bi korisnici unutra zgrade mogli neometano komunicirati. Na taj način, poboljšala bi se **energetska učinkovitost, prosječna propusnost ćelije, brzina prijenosa podataka** i **spektralna učinkovitost sustava** s tim da bi se povećanjem spektralne učinkovitost povisili troškovi infrastrukture [1].



Slika 3.1. Više povezanih heksagonalnih ćelija

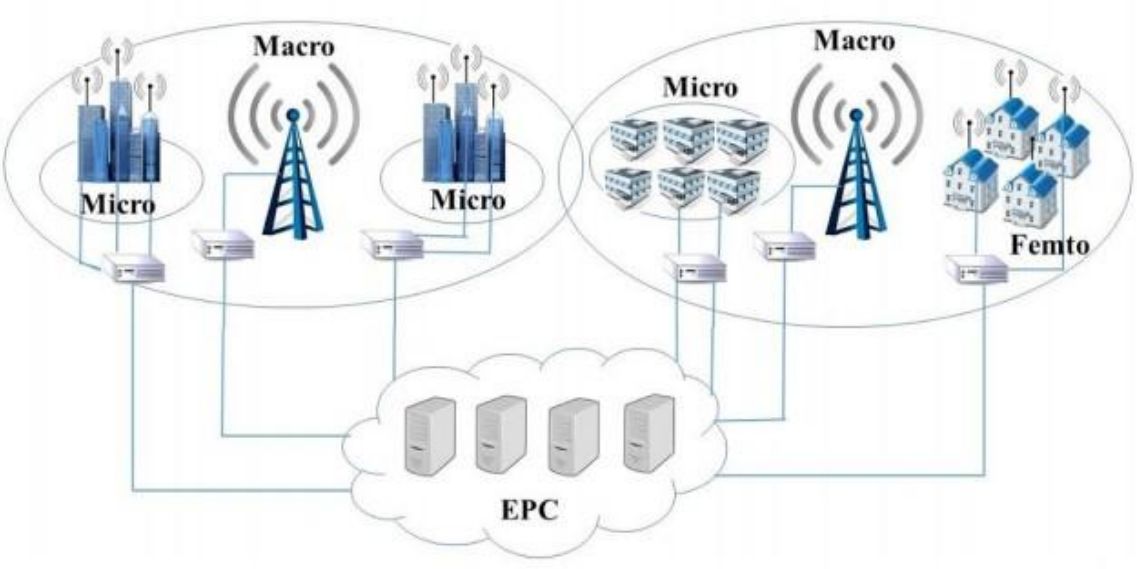
Za komunikaciju unutar nekog prostora, neke tehnologije kao što su *WiFi*, male ćelije, milimetarski radio valovi, korisne su samo za korištenje u malom dometu komunikacije. Tehnologije poput komunikacije milimetarskim radio valovima koriste više frekvencije koje se ne koriste u bežičnim tehnologijama jer se valovi lako mogu raspršiti. Međutim, u zatvorenim prostorima mogu povećati brzinu prijenosa podataka jer imaju veliku propusnost [1].

Arhitektura *5G* mobilnih mreža bi trebala biti heterogena. Mnogi su se sigurno zapitali što je heterogenost mreže? Heterogeno znači različito, raznoliko što će se u našem slučaju mreža odnositi na različite sastavnice koje mreža koristi. U ovom slučaju, **heterogena mreža** je mreža u kojoj različite ćelije na nekom području dijele mrežni promet, a svaka od tih ćelija ima različit domet.

Heterogena mreža (eng. *HetNet*) se sastoji od [10][20]:

- **malih ćelija** – mogu se nalaziti u zgradama ili u bilo kojem drugom okruženju. Upravo zbog svoje veličine, mogu se postaviti bilo gdje [12]
    - ***mikro* ćelija** – u mikro ćelijama, antene se nalaze ispod prosječne visine krovova [10], a njihov doseg je od 100 do 1000 m.
    - ***piko* ćelija** – mogu povećati mrežni kapacitet na mjestima gdje veliki broj korisnika želi pristupiti mreži (npr. kolodvor). Njihov doseg je od 10 do 200m.
    - ***femto* ćelija** – nalaze se u okruženju gdje nema mnogo korisnika (npr. kućno ili poslovno okruženje)
- ***makro* ćelija** – osiguravaju pokrivanje za korisnike u pokretu tj. one koji se kreću velikom brzinom kao što su recimo oni koji se nalaze u automobilima. Doseg makro ćelija je od 1 do 35 km.
- **releja** – slični prekidačima, mogu prekinuti dovod nečega što mjere
- **sustava** – omogućuje prijenos informacija, međusobnu komunikaciju [10]

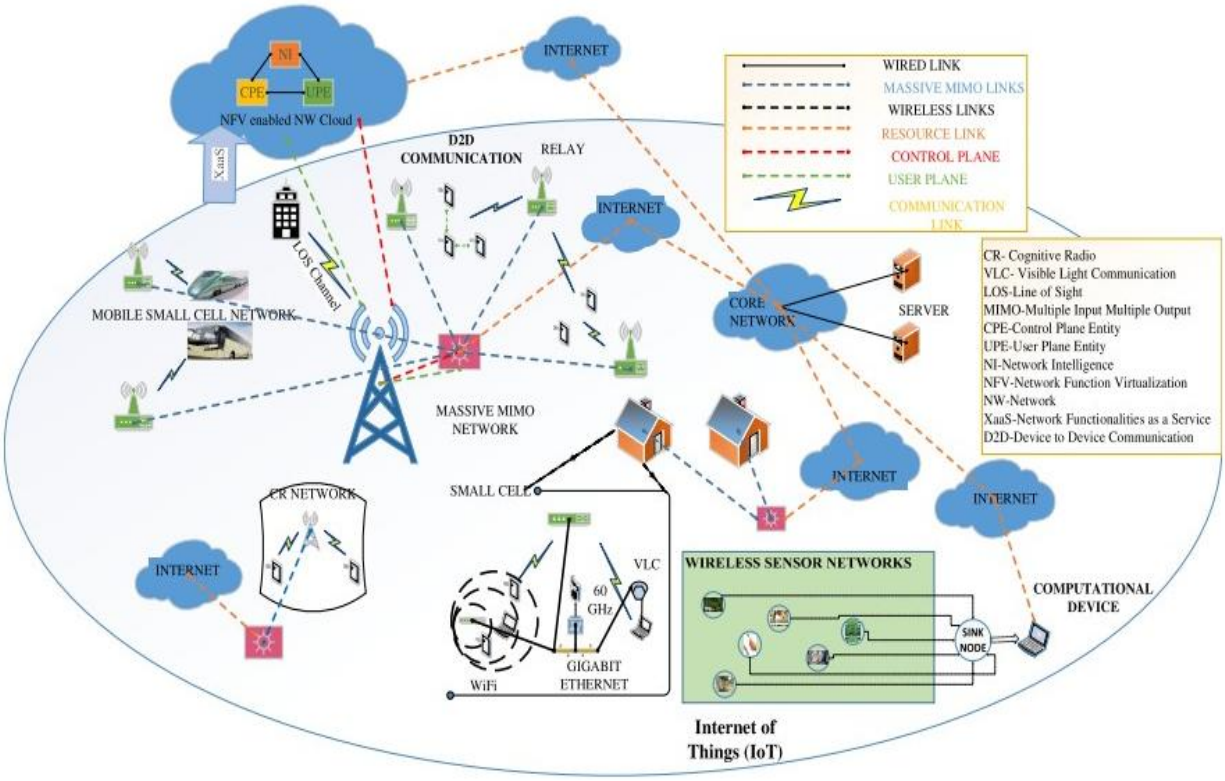
Svaka ćelija zauzima određeni prostor na kojem se rasprostire, a većinom se predstavljaju mrežom heksagonalnih ćelija (Sl. 3.1.). Slika 3.2. prikazuje heterogenu mrežu; dvije *makro* ćelije. Jedna se sastoji od dvije *mikro* ćelije, a druga od jedne *mikro* i jedne *femto* ćelije.



Slika 3.2. Heterogena mreža [2]

Smatra se da su male ćelije u arhitekturi *5G* mobilne mreže glavni element za daljnji razvoj. Dizajn i osobine ćelije su obećavajuće za bolju pokrivenost područja i brzinu prijenosa informacija [2]. Također, da bi ta mreža funkcionirala kako treba, tu će se naći i mnoge tehnologije koje će omogućiti neometanu komunikaciju među korisnicima.

Slika 3.3. prikazuje objedinjene komponente tehnologija te aplikacija koje bi se koristile u arhitekturi *5G* mreža – masivni *MIMO* (eng. *Massive MIMO*), *D2D* (eng. *Device To Device Communication System*), *M2M* (eng. *Machine to Machine Communication*), različite ćelije, komunikacija u oblaku, *IoT* (eng. *Internet of Things*)…Tehnologije će biti objašnjene u četvrtom poglavlju dok će se o aplikacijama saznati nešto novo u petom poglavlju.



Slika 3.3. Arhitektura *5G* mreže [1]

4. TEHNOLOGIJE 5G MREŽE

Peta generacija bi trebala uvesti neke nove standarde koji će se postupno razvijati i prilagođavati te omogućiti još bolju i stabilniju mrežu. Trebala bi donijeti bolju brzinu prijenosa podataka, smanjenje vrijeme kašnjenja te bolju kvalitetu usluge.

U sljedećih nekoliko točaka, kratko će se navesti uvjeti koje bi peta generacija trebala savladati [2].

- 1 ~ 10 *Gbit/s* prijenos podataka: skoro 10 puta veće povećanje u odnosu na *LTE* mrežu koja je imala brzinu prijenosa podataka 150 *Mbit/s*
- vrijeme odziva od 1 *ms*: skoro 10 puta veća ušteda u odnosu na *4G* gdje je iznosila 10 *ms*
- visoka propusnost (eng. *bandwidth*): omogućavanje povezivanja većeg broja uređaja s velikom propusnošću podataka
- velik broj povezanih uređaja: nastajanje *5G* mora omogućiti povezanost na tisuće uređaja
- dostupnost od 99.999%: *5G* predviđa da bi mreža praktički uvijek morala biti dostupna
- 100% pokrivenost tzv. „u svako vrijeme – svugdje“: *5G* bi trebala omogućiti potpunu pokrivenost bez obzira gdje se korisnik nalazio tj. koja je njegova lokacija
- redukcija korištenja energije za skoro 90%: pojavom velikih brzina prijenosa te masivnom povezanošću, razvoj zelene tehnologije bit će presudan u budućnosti
- izdržljivost baterije: redukcija u potrošnji struje bit će veoma bitna u nastajanju *5G* mreže

Da bi se gore navedeno omogućilo tj. poboljšalo u daljnjem razvoju, potrebno je napraviti drastična poboljšanja i rekonstrukciju u arhitekturi mobilnih mreža. Dosadašnje tehnologije koje su se koristile u prijašnjim generacijama će se iskoristiti u nastajanju i oformljivanju nove. U sljedećih nekoliko poglavlja bit će navedene i objašnjene sve tehnologije koje bi se prema istraživanjima trebale koristiti u *5G* mreži. To su [1]:

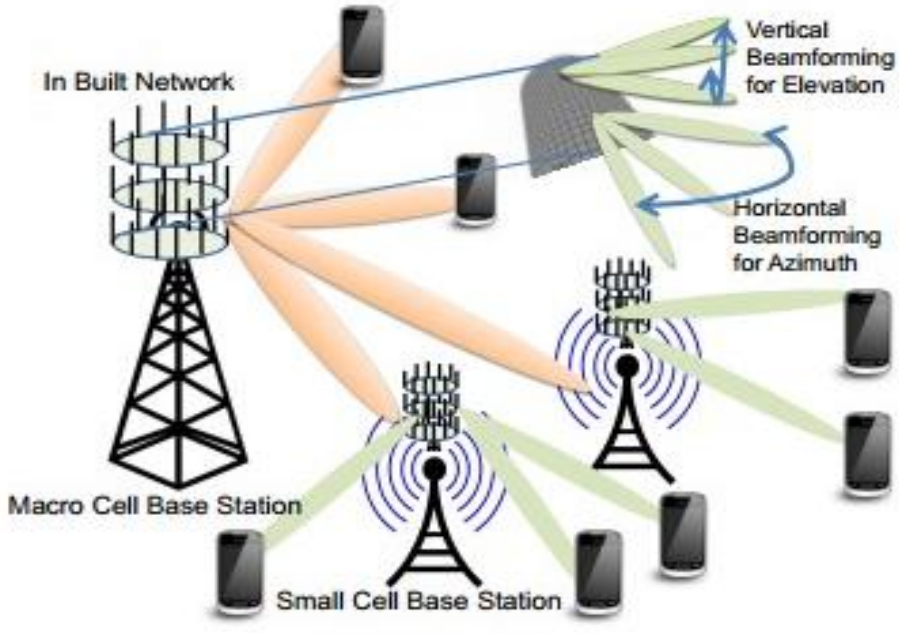
1. **Masivni *MIMO*** (eng. *Massive MIMO*)
2. **Upravljanje smetnjama** (eng. *Interference Management*)
3. **Dijeljenje spektra** (eng. *Spectrum Sharing*)
4. **Guste mreže** (eng. *Ultra Dense Networks*)
5. **Više pristupna radijska tehnologija** (eng. *Multi Radio Access Technology Association*)
6. **Tehnologija koja na istom kanalu istovremeno i šalje i prima signal** (eng. *Full Duplex Radios*)

7. **Milimetarski radio valovi** (eng. *A Millimeter Wave Solution For 5G Cellular Network*)
8. **Komunikacija u oblaku** (eng. *Cloud Tehnologies for Flexible 5G Radio Access Networks*)

4.1. Masivni *MIMO* (eng. *Massive MIMO*)

Masivni *MIMO* je tehnologija čiji akronim *MIMO* znači *multiple input, multiple output* što ukazuje na to da ima više ulaza i više izlaza tj. odašiljačkih i prijemnih antena istovremeno. Bazna stanica sadrži mnogo antena koje istovremeno uslužuju korisnike (Sl. 4.1.1.), a svaka od antena je postavljena tako da postigne što veću usmjerenost u prijenosu. Antene na baznoj stanici su u mogućnosti usmjeravati horizontalne i vertikalne snopove zraka te na taj način masivni *MIMO* poboljšava spektralnu i energetsku učinkovitost [2].

Zadnjih godina se sve češće koristi u području bežičnih komunikacija. Ovu tehnologiju odlikuje dobra propusnost i domet bez potrebe za povećanjem frekvencijskog opsega ili odašiljačke snage te na taj način povećava učinkovitost bežičnih komunikacijskih sustava dok se kapacitet kanala povećava kako se povećava broj antena [14].



Slika 4.1.1. Masivni *MIMO* i formiranje snopova zraka [2]

Masivni *MIMO* koristi *multipath* tj. više puteva širenja signala koji povećava propusnost i domet signala, a smanjuje pogreške u prijenosu podataka [14]. U budućim generacijama, svakako će se razviti kao snažna, sigurna, energetski i spektralno učinkovita tehnologija. Mnogo je prednosti korištenja masivne *MIMO* tehnologije [1]:

a) poboljšanje energetske učinkovitosti za 100 puta te kapaciteta 10 i više puta

Povećanje kapaciteta se događa uslijed prostornog multipleksiranja. Ono se najčešće upotrebljava u bežičnom prijenosu, a izvodi se na način da se više antena spaja u jednu tzv. multipleksirajuću koja može istovremeno raditi s više kanala. Broj kanala ovisit će o broju spojenih antena [15]. Bazna stanica može „poslati" energiju točno tamo gdje se nalaze terminali. Deset puta više terminala koristi istovremeno jedan izvor. To je također moguće zbog prostornog multipleksiranja. Na taj način se ne gubi na učinkovitosti. Nadalje, masivni *MIMO* sustavi bi trebali raditi na nekoliko stupnjeva nižim magnitudama što bi također pripomoglo energetskoj učinkovitosti jer bazne stanice troše mnogo energije.

b) korištenje jeftinijih komponenti manje snage

Uklanja se velik broj skupe i masivne opreme kao što su koaksijalni kablovi te se zamjenjuju jeftinijim. Nadalje, *MIMO* sustav će koristiti na stotine jeftinijih pojačala reda snage *mW* kao zamjenu za skupa pojačala reda snage *W*.

c) smanjenje latencije/vremena odaziva

Latencija je jedan od važnijih problema mreža sljedeće generacije. Glavni uzrok latencije je slabljenje. Signal se prenosi od baze, putuje različitim putevima te kad napokon dođe do terminala već je oslabljen, njegova snaga se reducira. Masivni *MIMO* će riješiti taj problem te više neće dolaziti do smanjenja.

d) pojačava jačinu protiv namjernog upadanja i ometanja

Upad u mrežu jedan je od glavnih prijetnji *cyber* sigurnosti. Masivni *MIMO* nudi poboljšanje tako što povećava snagu te štiti od zlonamjernog upadanja i ometanja.

4.2. Upravljanje uzajamnog utjecaja (eng. *Interference Management – IM*)

Vjeruje se da će se u budućnosti u *5G* mrežama koristiti nove tehnike kao što je ova vrsta upravljanja. Ona bi trebala omogućiti brži mrežni razvoj te mogućnost sustava ili nekog uređaja da funkcionira bez ikakvih ograničenja i poteškoća s nekim drugim sustavom ili uređajem. Javljaju se dva vida *IM*-a [16]:

- poboljšani prijemnici (eng. *advanced receivers*)
- zajedničko planiranje (eng. *joint scheduling*)

Kako bi se što bolje iskoristili limitirani resursi, sustavi su se do sad temeljili na ponovnom korištenju nekih tehnologija. Progušćivanje mreže tako je jedan od glavnih aspekata za poboljšanje kapaciteta i propusnosti. Tako bi se uz ponovno korištenje i progušćivanje, dogodilo značajno poboljšanje u opterećenju između mikro ćelija i lokalne mreže. Međutim, kako gustoća i opterećenje mreže rastu tako dolazi i do toga da među prijemnicima dolazi do interferencije. To je glavni problem zašto se *4G* mreža ne može dalje razvijati [16].

a) poboljšani prijemnici (eng. *advanced receivers*)

U novoj generaciji, kako bi se poboljšala izvedba te ne bi dolazilo do jake interferencije, potrebno je redizajnirati prijemnike. Novi napredniji prijemnici bi pokušali detektirati pa čak i dekodirati neki signal bez sheme za kodiranje, kanala, dodjele resursa… Takvi signali bi se mogli pokušati rekonstruirati na izlazu dekodera međutim moguće je da neće biti ispravno detektirani ili dekodirani s obzirom da takvi signali nisu namijenjeni za prijemnik. To bi se trebalo riješiti naprednijom tehnologijom te omogućiti dekodiranje nekog signala. Napretkom tehnologije, povećava se mogućnost broja odašiljačkih antena. U *LTE*, svaka bazna stanica je mogla imati do 8 antena što bi se sada povećalo [16].

b) zajedničko planiranje (eng. *joint scheduling*)

Zajedničko planiranje nije ništa drugo već suradnja sustava i opreme. Smatra se da bi u *5G* mreži, korisnički i mrežni dio trebali djelovati zajedno. Korisnički dio čine poboljšani prijemnici dok je mrežni dio zajedničko planiranje.

4.3. Dijeljenje spektra (eng. *Spectrum Sharing*)

Napretkom tehnologija, javlja se i potreba za povećavanjem spektra u odnosu na prijašnje generacije. Kako će nove generacije zauzimati veće dijelove radijskog spektra, tako taj novi spektar treba i stvoriti.

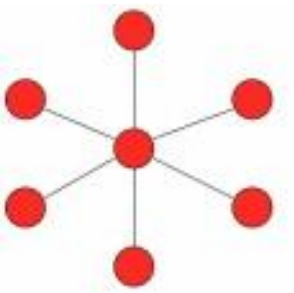
Radijski spektar ima nekoliko metoda upotrebe. To su [4]:

- licencirani spektar - dodijeljen je nekom operatoru na određeno vrijeme
- nelicencirani spektar - služi za slobodno korištenje
- dio spektra - pripada drugome operatoru kada ga ovaj drugi ne koristi
- neiskorišteni dio radiodifuznog spektra - naziva se „bijeli prostor“ (eng. *white space*)

Pametni radio (eng. *cognitive radio*) će omogućavati da se dijeli isti spektar na način da se pronalazi neiskorišteni dio te prilagodi zahtijevanoj tehnologiji. Smatra se da će se razviti kao potpuno programibilni bežični uređaji koji će imati širok spektar mogućnosti za što bolju mrežnu performansu [1]. Postoje dvije tehnike koje će omogućiti dijeljenje spektra sustavima, a definirani su kao centralizirano i distribuirano rješenje [1].

a) centralizirana tehnika dijeljenja spektra

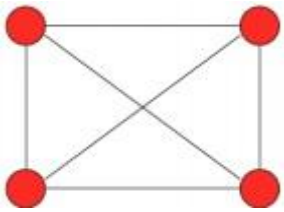
U ovom pristupu dijeljenja spektra, središnji server prikuplja informacije povezanih korisnika tj. uređaja. Ima ključnu ulogu u prikupljanju te analiziranju podataka [17][18]. Ti podatci se analiziraju te se na temelju toga izrađuje mapa spektra koja prikazuje neiskorišten spektralni prostor koji se može iskoristiti za komunikaciju. Ako postoji prevelik broj korisnika tj. informacija, širina pojasa za prijenos informacija postaje veoma velika. Ako do ove pojave dođe, onda samo pouzdaniji uređaji šalju informacije [17].



Slika 4.3.1. Centralizirani model

b) distribuirana tehnika dijeljenja spektra

U distribuiranom sustavu, svaki čvor je dostupan iz svakog te sam odlučuje koji dio slobodnog spektra će koristiti. Ova tehnika zahtjeva međusobno opažanje između kognitivnih uređaja. Na taj način svaki donosi odluku koji dio slobodnog spektra će iskoristiti bez sudjelovanja centralnog komunikacijskog čvora [1][18].



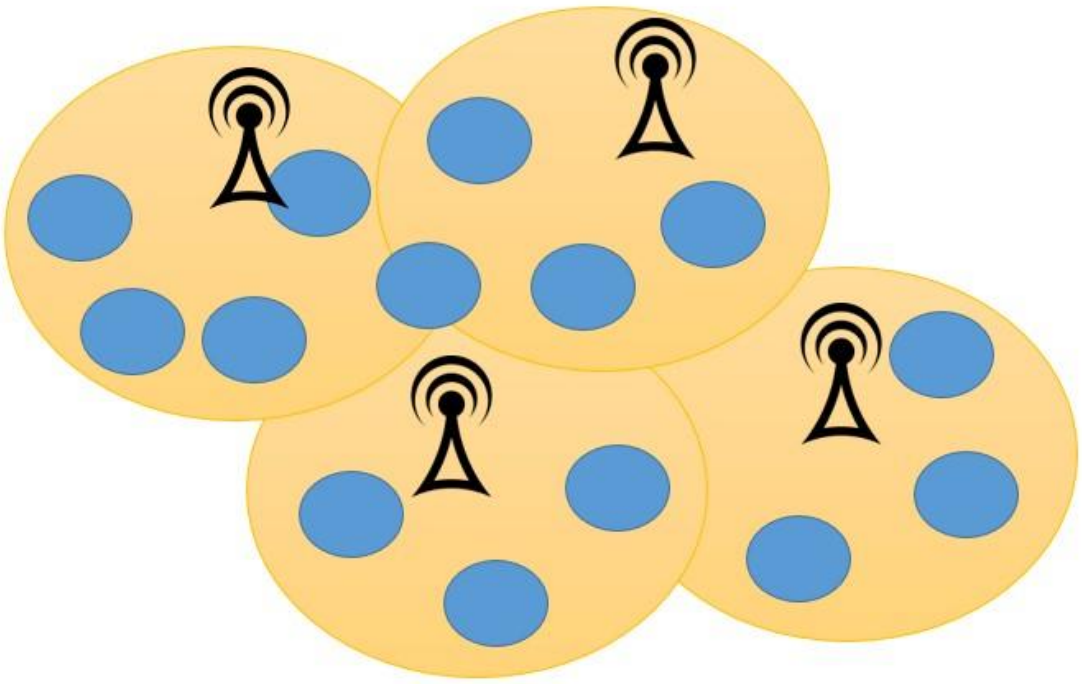
Slika 4.3.2. Distribuirani model

4.4. Guste mreže (eng. *Ultra Dense Networks*)

U ne tako dalekoj budućnosti, očekuje se ogroman rast prometa uslijed povećanog broja korisnika. Kako bi se s tim rastom i suočili, treba napraviti značajna poboljšanja u vidu infrastrukture te pogušćivanju mreže. Kako bi se postigla takva mreža, veoma važnu ulogu će imati i heterogenost mreže o čemu je bilo riječi u trećem poglavlju, Arhitektura *5G* pokretne mreže [1].

Ideja ovakvih mreža je smanjenje veličina ćelija što dovodi do boljeg iskorištavanja propusnog opsega. Kako bi se ostvarila besprijekorna pokrivenost, *5G* mreža mora sadržavati velik broj gusto raspoređenih malih ćelija [19]. Taj pristup bi poboljšao spektralnu efikasnost tako što bi smanjio udaljenost između odašiljača i prijemnika. Vrlo skoro će pametni uređaji i male ćelije biti u mogućnosti pružati najbolju bežičnu vezu s minimalnom interferencijom i manjom potrošnjom. Pogušćivanje mreže je jedan od načina na koji bi se povećao kapacitet i brzina prijenosa podataka do 2020. godine [1][20].

Slika 4.4.1. prikazuje shematski prikaz guste mreže koja se sastoji od više različitih ćelija koje su povezane. Kao što je gore navedeno, male ćelije (plavo) su gusto raspoređene oko glavne stanice.



Slika 4.4.1. Shema guste mreže

4.5. Više pristupna radijska tehnologija (eng. *Multi Radio Access Technology Association*)

Ova tehnologija, kao što joj i sam naziv govori, ujedinjuje više različitih radio tehnologija kao što su *WiFi*, *LTE*… U nadolazećoj *5G* mreži, novi uređaji bi trebali podržavati više standarda mreža kao što su *3G* i *4G*, a ne samo tehnologije vezane za novu generaciju [1]. Više pristupna radijska tehnologija će biti ključni dio umreženog društva. Dovest će do velikog porasta prometa, potrebe za povećanjem brzine prijenosa te velikog broja povezanih uređaja [21].

Heterogene mreže se sastoje od više od jednog sloja stanica različitih veličina (*mikro*, *makro*, *piko*, *femto*…) koje imaju različite uloge i odrađuju određene poslove kao što su povećanje kapaciteta mreže, optimiziranje pokrivenosti mreže, planiranje, suočavanje s različitim preprekama…Više pristupna radijska tehnologija bi spojila sve te slojeve u jednu mrežu uzimajući u obzir različite tehnologije koje koriste kao što su instalacija i implementacija, pokrivenost mreže, promet i dr. [22].

Više pristupna radijska tehnologija – *RAT*, omogućit će *5G* sustavima da upravljaju povezanošću na mrežu bez obzira na vrijeme i mjesto. Također, imala bi mogućnosti povezivanja svih uređaja bez ljudske intervencije te karakteristike poput bržeg prijenosa podataka, a uređaji bi konstantno

komunicirali jedni s drugima te bi u pozadini međusobno dijelili podatke [23]. Uz ovakvu vrstu komunikacije veže se pojam *ubiquitous connectivity.* Pojam *„ubiquitous“* se može definirati kao raširen i sveprisutan, a kad te pojmove primijenimo na tehnologiju *„ubiquitous“* će označavati tehnologiju koja je svugdje i u bilo koje doba prisutna svugdje. Također, na nju se veže i pojam *ubiquitous computing (ubicomp)*. To je primjer gdje se informacije obrađuju te povezuju s objektima ili događajima koji su prisutni u svijetu oko nas. Na taj način uređaji stalno međusobno komuniciraju integrirajući različite usluge s uređajima koje koristi npr. da se kućno okruženje prilagodi na najugodniju temperaturu ili da se osvjetljenje prilagodi dobu dana. Ova tehnologija će trebati veliku propusnost, ali će uvelike promijeniti živote ljudi [24].

4.6. Tehnologija koja na istom kanalu istovremeno i šalje i prima signal (eng. *Full Duplex Radios*)

Ovakva vrsta komunikacije*, full duplex*, u *5G* mreži neće biti moguća*. Full duplex* je izraz koji označava da se na istom kanalu istovremeno i primaju i šalju signali. Dosta dugo, mnogi su pokušali dokazati da se može ostvariti veza koja može na istom kanalu istovremeno i primati i slati signal, međutim to je nemoguće [1].

Ova tehnologija je do sada naišla na velike prepreke. Kada bi se ostvarilo tako nešto, bežična mreža bi morala smanjiti svoj spektar za pola kako bi se koristio samo jedan kanal. Kao primjer, navodi se *LTE* gdje su se i za *download* i za *upload* koristili odvojeni kanali jednake širine kako bi se dobio snažniji signal. U *5G* mreži, *full duplex* se ne može ostvariti zbog činjenice da ne postoji održiv i učinkovit dizajn koji bi mogao raditi u kombinaciji s *MIMO* tehnologijom. Da je moguć *full duplex* i da *MIMO* pošalje neki signal, prijenos signala s bilo koje od antena na neku drugu antenu uzrokovao bi velike smetnje te komunikacija ne bi bila moguća [1][25].

4.7. Milimetarski radio valovi (eng. *A Millimeter Wave Solution For 5G Cellular Network*)

Milimetarski radio valovi su jedna od obećavajućih tehnologija *5G* mreže. Kako raste broj korisnika i broj uređaja tako se javlja i potreba za novim standardima. *4G* mreža neće moći podnijeti toliku zakrčenost te ću ju zamijeniti nova i bolja s drugačijim tehnologijama [26].

Ovakva vrsta radio valova ima valnu duljinu od 1 *mm* do 10 *mm* a pripada frekvencijskom spektru od 30 *GHz* do 300 *GHz* [28]. Upravo taj veliki spektar će smanjiti zabrinutost oko zagušenja mreže, dok će obećavajuća brzina prijenosa podataka u rasponu gigabit-po-sekundi (*Gbit/s*) svakako biti poboljšanje u odnosu na prijašnju generaciju. Naravno, brzina prijenosa neće biti u svim mjestima u isto vrijeme jednaka kao što ni do sada s dosadašnjim generacijama nije bila, ali bi svakako smanjila vrijeme kašnjenja, a ostvarila bi se antenama koje se daju usmjeriti [1].

Jedna od glavnih prednosti milimetarskih radio valova je prijenos velikih količina podataka. Svi načini bežične komunikacije koriste određeni frekvencijski spektar i neku valnu duljinu. Svaki davatelj usluga (npr. televizija) koristi jedinstveni kanal tako da signali ne interferiraju nego komuniciraju u isto vrijeme. Ti kanali imaju propusnosti koja mora biti dovoljno široka da bi informacije mogle doći od predajnika do prijemnika tj. nekog korisnika. Ako komunikacija telefonom zauzima širinu od 6 *kHz*, a televizija u to vrijeme nešto odašilje i samim time šalje puno više podataka, ona zauzima 6 *MHz*. Kako je potrebno prenijeti mnogo informacija, potrebno je koristiti viši spektar frekvencija. Tada bi se koristili milimetarski radio valovi jer ih njihova visoka frekvencija čini pogodnima za slanje velikih količina podataka [28].

Ova vrsta tehnologije je još veoma malo istražena te će trebati godine da bude obrazložena kako treba. Do sad su istraživanja pokazala da se signal ne probija tako lako kroz zidove te da komponente za realizaciju ovakve tehnologije nisu nimalo jeftine. Još jedan od izazova je taj da ako predajnik i prijemnik nisu u *LOS*-u (eng. *Line of Sight*), dolazi do gušenja signala [29]. *LOS* je, prisjetimo se, tip odašiljanja i primanja podataka jedino ako odašiljačka i prijemna stanica znaju poziciju one druge bez ikakvih prepreka između njih.

Prednosti i nedostaci ove vrste tehnologije za 5G mobilnu tehnologiju su navedeni u tablici 4.7.1.

Tablica 4.7.1. *Prednosti i nedostaci milimetarskih radio valova.*

PREDNOSTI	NEDOSTACI
širok spektar [29]	korištenje u unutarnjem prostoru [27]
velike brzine prijenosa podataka [29][1]	osjetljivost na prepreke [27]
prijenos velikih količina podataka [29]	gubitci pri prijenosu [1]
smanjenje latencije [29][1]	osjetljivost na atmosferilije (npr. kiša) [1]

Povećanjem spektra, povećat će se i kapacitet dok će se latencija smanjiti [1]. To će omogućiti bolji pristup mreži te aplikacijama. Međutim, uslijed visokih frekvencija doći će do velikih gubitaka pri prijenosu informacija, a zbog slabe mogućnosti lomljenja signala, komunikacija će biti vrlo osjetljiva na prepreke kao što su ljudi ili namještaj [27].

4.8. Komunikacija u oblaku (eng. *Cloud Tehnologies for Flexible 5G Radio Access Networks*)

Prema [30] komunikacija u oblaku je *„koncept podjele programskog okruženja koji koristi Internet kao platformu te omogućuje da aplikacije i dokumenti poslani iz bilo kojeg dijela svijeta budu pohranjeni i čuvaju se na za to predviđenim poslužiteljima.“* Laički rečeno, s bilo kojeg mjesta u bilo koje doba dana je moguće pristupiti podatcima koji se nalaze u oblaku, putem bilo kojeg uređaja. To je ujedno i rezultat druge definicije koja kaže da se komunikacija u oblaku može definirati kao povezivanje tehnologije u oblaku i mobilnih uređaja [1]. Jedini preduvjet je posjedovanje internet veze. Ovakva tehnologija ima mnogo prednosti te će sigurno biti jedna od veoma bitnih tehnologija *5G* mreže.

U svrhu poboljšanja dosadašnje tehnologije i napretkom nove, treba napraviti preinake u arhitekturi dosadašnje mreže. Radi se na povećanju kapaciteta mreže dodavanjem više ćelija, implementaciji *MIMO* tehnologije, strukturi heterogene mreže… Pošto je ovakva tehnologija zasnovana na **centralizaciji** i **virtualizaciji**, mora poboljšati arhitekturu, mobilnost i mrežnu pokrivenost te energetsku učinkovitost dok u isto vrijeme treba smanjiti troškove mreže i rada [2]. Kao što je gore navedeno, centralizacija je jedno od glavnih obilježja ove tehnologije što znači da su svi podatci spremljeni na jednom mjestu odakle su dostupni korisnicima u bilo koje vrijeme. Arhitektura se temelji na tome da su svi podatci pohranjeni u glavnoj bazi (eng. *BaseBand Unit – BBU*) odakle se obavljaju svi procesi. Signali se prenose između udaljenih stanica (eng. *Remote Radio Heads – RRH*) i glavne baze [31][32]. Drugo obilježje je virtualizacija mrežnih uređaja (eng. *Network Functions Virtualisation – NFS*). To je tehnologija koja služi za dijeljenje različitih resursa. Različiti mrežni elementi bi se nalazili na velikim zajedničkim serverima smještenim u oblaku [4].

Malo je reći da je ovakva komunikacija veoma dobra za komunikaciju. Olakšava pristup podatcima, smanjuje financijske izdatke opreme te ju mogu koristiti stvarno svi. Tablica 4.8.1. donosi pregled prednosti i nedostataka tehnologije u oblaku.

Tablica 4.8.1. *Prednosti i nedostaci komunikacije u oblaku.*

PREDNOSTI	NEDOSTACI
centralizacija [1]	mogućnost zlonamjernog upada [34]
prekrivenost mreže [2]	problem sigurnosti [30]
energetska učinkovitost [2]	mogućnost kašnjenja [34]
reduciranje troškova [1]	ovisnost o pružatelju usluge [30]
opsluživanje velikog broja korisnika	troškovi [35]

Čuvanje podataka u oblaku može imati i kobne posljedice. Problem sigurnosti i zlonamjernih upada je jedan od njih. Pružatelj usluga mora garantirati da će svi podaci koji se nalaze u oblaku imati najvišu moguću zaštitu te da neće doći do njihove zloupotrebe, a da će administratori koji brinu za sigurnost upravljati podatcima što je bolje moguće [33][34]. Troškovi su također jedan od nedostataka jer se plaćaju na mjesečnoj bazi. Sve navedeno je zapravo neka ovisnost o pružatelju usluge. Koliko god se netko trudio izabrati najboljeg mogućeg, vjerodostojnog pružatelja usluga, uvijek može doći do nekih problema na koje niti oni sami ne mogu utjecati [35].

5. KVALITETA USLUGE I APLIKACIJE *5G* MREŽE

Širok raspon različitih aplikacija bit će veoma važan dio *5G* sustava. Koristit će se u javnim i privatnim sektorima kao što su poljoprivreda, zdravstvo, financije… [2] Ovdje će se konkretnije i opširnije opisati sljedeće aplikacije; *M2M* (eng. *Machine to Machine Communication*), *D2D* (eng. *Device To Device Communication System*), *IoT* (eng. *Internet of Things*), *IoV* (eng. *Internet of Vehicles)* te kvaliteta usluge u *5G* mrežama.

5.1. Kvaliteta usluge u *5G* mrežama - *QoS*

Za pretpostaviti je da će tehnologija *5G* mreža biti naprednija i bolja od dosadašnje. Trendovi i usluga će se poboljšati te će doći do bolje i kvalitetnije komunikacije. Kvaliteta usluge (eng. *Quality of Service – QoS*) bi trebala biti bolja u smislu povećanja količine podataka u mobilnim mrežama, a isto tako bi se trebao povećati i broj uređaja s mogućnošću pružanja različitih usluga [1].

Što je zapravo kvaliteta usluge (eng. *Quality of Service – QoS*)? Kvaliteta usluge se može definirati kao karakteristike koje se mjere, poboljšavaju te jamče zadovoljstvo korisnika [36]. Te karakteristike tj. parametri su minimalna propusnost (eng. *bandwidth*), latencija i kašnjenje (eng. *delay*), šumovi i smetnje u komunikaciji (eng. *echo*), gubitak paketa (eng. *loss*), jeka, sigurnost i opća pouzdanost te varijacija kašnjenja (eng. *jitter*) [37]. Kvaliteta usluge se može mjeriti kod različitih prijenosa kao što su to prijenos podataka, slika i videa [38][39].

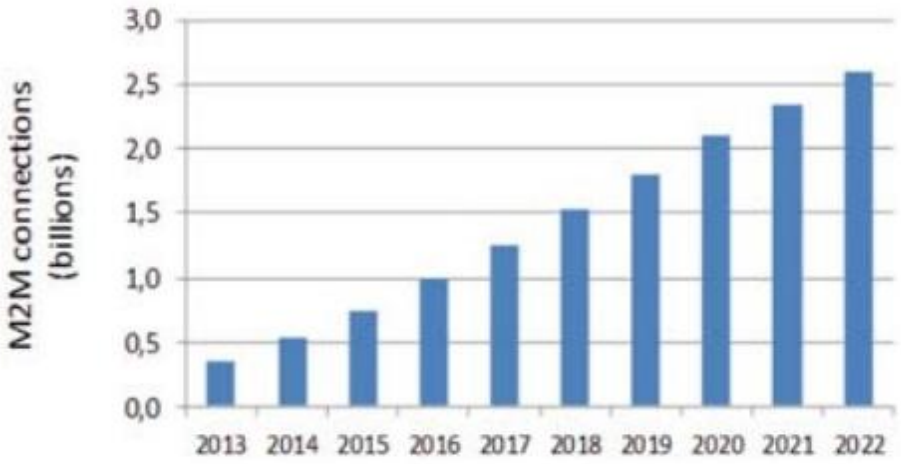
5.2. Komunikacija stroja sa strojem (eng. *Machine to Machine Communication – M2M*)

M2M ili *machine to machine* predstavlja pojam koji se odnosi na komunikaciju, žičani ili bežični prijenos podataka između više uređaja bez posredovanja čovjeka. Kako dolazi vrijeme kad čovjek više neće biti potreban kao posrednik, na ovaj pojam se još veže pojam *IoT* (eng. *Internet of Things*). *M2M* sustavi se smatraju dijelom *IoT* jer je *IoT* zapravo umrežavanje, spajanje „stvari“ oko nas, u našem svakodnevnom životu kako bi se omogućila komunikacija i razmjena podataka između ljudi i stvari. Primjer koji bi bolje dočarao što je zapravo *M2M* je recimo navodnjavanje tla u poljoprivredi [40]. Sustavi *M2M* se sastoje od mnogo računala, senzora te mnogih drugih

tehnologija za bežičnu ili žičanu komunikaciju, a uloga mu je da uspostavi uvjete koji će omogućiti uređaju da razmjenjuje informacije s poslovnom aplikacijom putem mreže tako da uređaj i/ili aplikacija budu baza za razmjenu informacija [41]. Na primjeru [43] navodnjavanja, uređaj će neko vrijeme skupljati podatke (senzor) te ih zatim proslijediti *M2M* sustavu koji će uspostaviti komunikaciju između uređaja i aplikacije koja prati navodnjavanje. Obradit će ga te na osnovu prikupljenih podataka odlučivati kada je potrebno navodniti tlo. Čovjek u tom postupku nije potreban. Još neki primjeri primjene *M2M* tehnologije su [43][44]:

- pametna kućanstva/zgrade
- zdravstvo
- sigurnost
- proizvodnja
- javni prijevoz
- različite djelatnosti npr. poljoprivreda…

Machina Research je proveo istraživanje [45] te su došli do rezultata da bi ukupan broj *M2M* veza s 5 milijardi (2014.) trebao porasti do 27 milijardi u 2024. godini što je povećanje od oko 18%.



Slika 5.2.1. Rast komunikacije stroja sa strojem – *M2M* [41]

5.3. Komunikacija uređaja s uređajem (eng. *Device To Device Communication System – D2D*)

Komunikacija uređaja s uređajem je definirana kao direktna komunikacija između dva mobilna korisnika bez zaobilaženja bazne stanice [46]. Ova vrsta komunikacije se u prošlim generacijama nije razmatrala jer nije bilo potrebe. Prvenstveno je bila zamišljena da osigura smanjenje troškova koji u prošlosti nisu bili značajni [47]. Međutim, napretkom tehnologije, trendovi su se promijenili te je i ova vrsta komunikacije dobila značajnu ulogu.

Komunikacija uređaj – uređaj bi mogla biti veoma dobar potez u *5G* komunikaciji. Kao jedna od prednosti se navodi da bi mogla zamijeniti oštećene bazne stanice ukoliko dođe do neke prirodne katastrofe [47].

Postoje dvije razine *5G* mobilnih mreža, razina *mikro* ćelije (eng. *BS-2-device*) koja je ujedno i uobičajen način komunikacije i razina uređaja (eng. *D2D*) [47]. Bazna stanica će i dalje raditi kako je i radila, posluživat će uređaje, ali uređajima će biti omogućena komunikacija jednih s drugima. Na taj način će se stvoriti *ad-hoc mesh* mreža – međusobna komunikacija između uređaja koji komuniciraju izravno bez posredstva neke fiksne infrastrukture.

Postoje 4 vrste komunikacije koje koristi razina uređaja. To su [1][47]:

a) Uređaj prosljeđuje informacije putem drugog uređaja – s BS

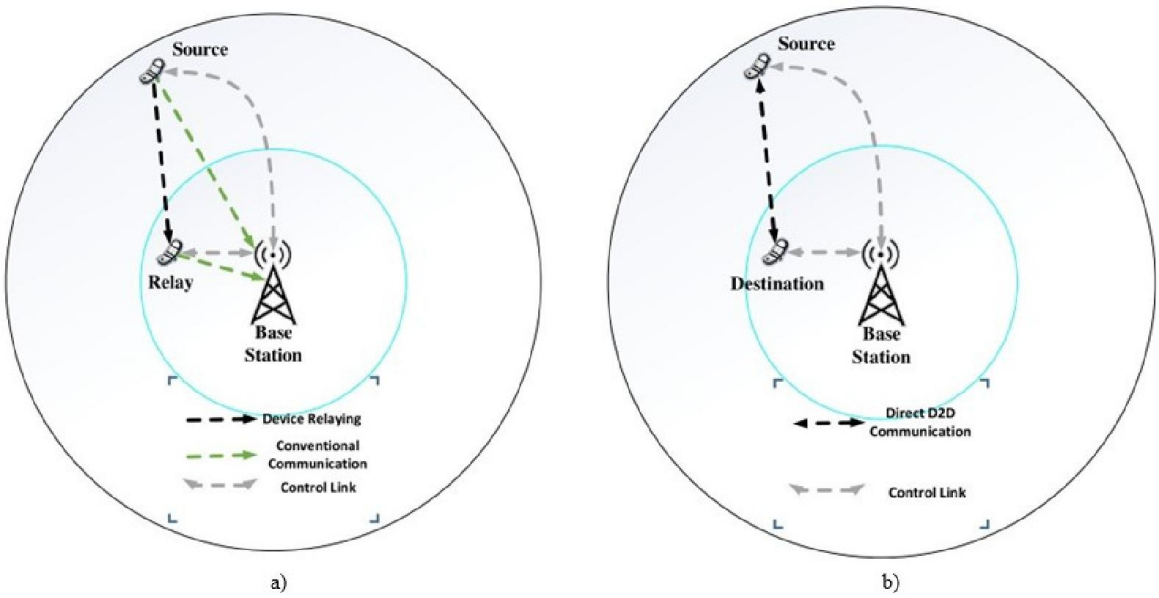
U ovoj vrsti komunikacije uređaj će komunicirati s baznom stanicom na način da će prosljeđivati informacije putem drugog uređaja. Zatim će bazna stanica uspostaviti djelomičnu ili potpunu vezu s tim uređajima. Na slici 5.3.1. pod a) je prikazana takva vrsta komunikacije.

Ova vrsta komunikacije je najskuplja jer zahtjeva veće resurse kao što je baterija, memorija i propusnost podataka.

b) Direktna komunikacija više uređaja – s BS

Uređaji komuniciraju direktno, ali da bi se uspostavila veza potrebna je bazna stanica kao što je prikazano na slici 5.3.1. pod b).

Ovakvu komunikaciju nadziru operatori koji bi umjesto toga da korisnici koriste neku drugu vrstu komunikacije, kao što su *WiFi* ili *Bluetooth*, mogli uvesti aukcije. Za spajanje na mrežu bilo bi potrebno ponuditi najveću ponudu. Ovako što bi operatorima donijelo velike prihode.



Slika 5.3.1. Uređaj prosljeđuje informacije putem drugog uređaja – s BS (a) te direktna komunikacija više uređaja – s BS (b) [1]

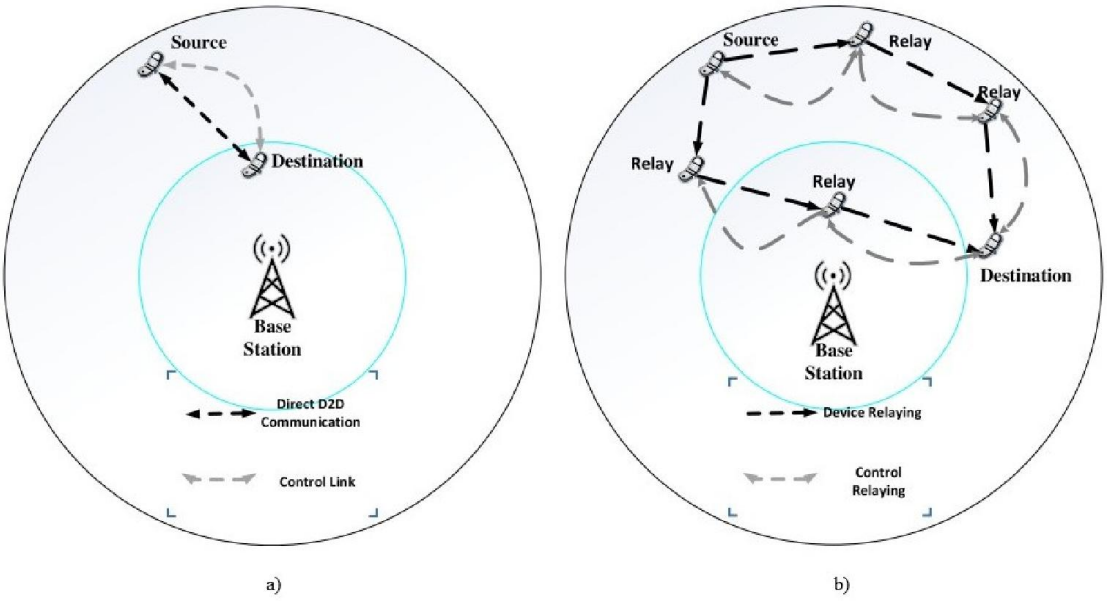
c) Uređaj prosljeđuje informacije putem drugog uređaja – bez BS

Bazna stanica nema ulogu u ovoj vrsti komunikacije. Uređaji za komuniciranje su odgovorni za uspostavu i koordiniranje komunikacije. Među sobom koriste prekidače za uspostavu veze. Bazna stanica nema nikakvu kontrolu u komunikaciji (Sl. 5.3.2. a)).

d) Direktna komunikacija više uređaja – bez BS

Oba uređaja imaju direktnu komunikaciju jedan s drugim bez kontrole bazne stanice.

Kao što slika 5.3.2. b) prikazuje, nekoliko uređaja komunicira međusobno, a kako nema centralnog uređaja tj. bazne stanice, dva uređaja trebaju pronaći jedan drugoga periodično odašiljući svoje informacije o identitetu. To će upozoriti uređaj o prisutnosti ovog drugog te će sami odlučiti hoće li ili neće početi komunikaciju.

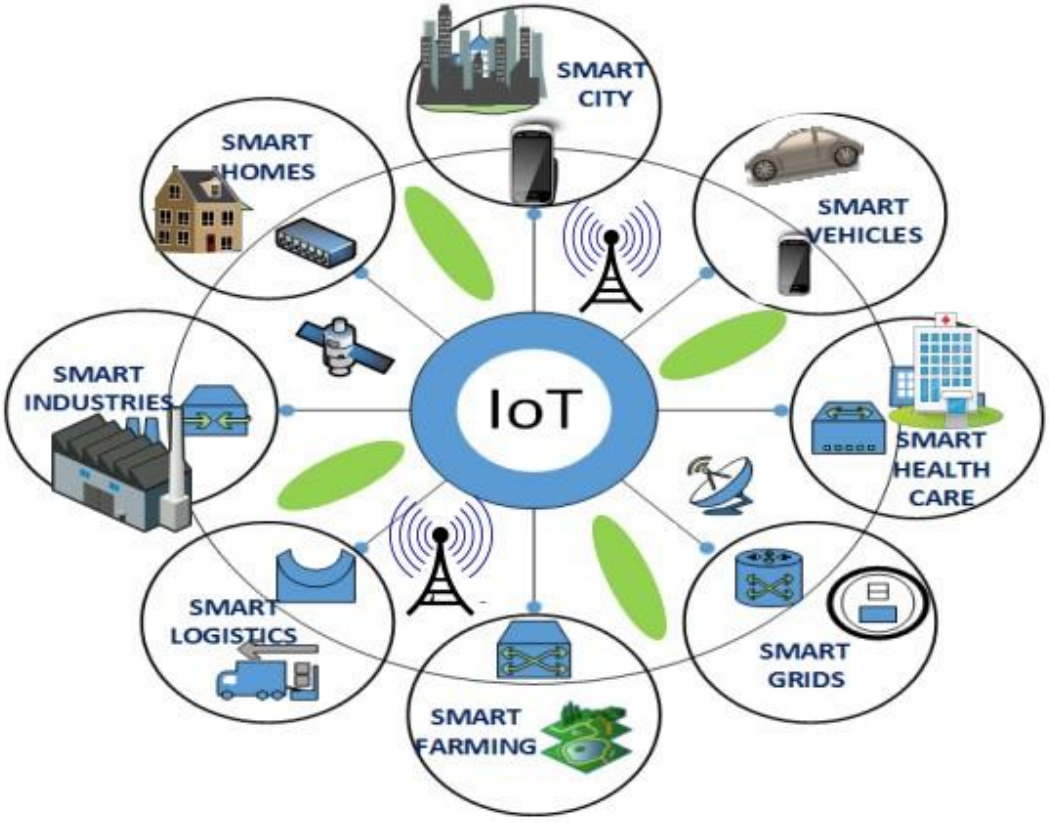


Slika 5.3.2. Uređaj prosljeđuje informacije putem drugog uređaja – bez BS (a) te direktna komunikacija više uređaja – bez BS (b) [1]

Ova vrsta sustava može donijeti poboljšanja u komunikaciji, ali samo ako su dobro osmišljena i dizajnirana. Da bi se usavršili, potrebno je riješiti još nekoliko problema. Jedan od problema je sigurnost. Ako će se omogućiti protok podataka kroz uređaje drugih ljudi, tada privatnost mora biti osigurana. Jedan od mogućnosti da se to riješi je zatvoren pristup. Time bi se omogućilo da uređaj ima popis svojim pouzdanih uređaja (npr. ljudi u firmi) koji bi mogli komunicirati direktno jedan s drugim. U slučaju da nisu pouzdani, komunikacija bi se odvijala uobičajeno komunikacijom bazna stanica-uređaj [47].

5.4. Internet stvari (*eng.* Internet of Things – *IoT*)

Internet stvari je sustav međusobno povezanih različitih „stvari“ – uređaja, objekata, životinja ili ljudi, koji imaju jedinstvene identifikatore, a prijenos podataka se odvija preko mreže bez interakcije čovjek-čovjek ili čovjek-računalo. Kao što slika 5.4.1. prikazuje, *IoT* povezuje različite stvari s Internetom u svrhu razmjene informacija te komunikacije s različitim uređajima [48]. Kao što se vidi, nalazi primjenu u mnogim djelatnostima, industrijama, domovima…



Slika 5.4.1. Internet stvari – *IoT* [2]

Slogan koji opisuje *IoT* glasi *„Anything, Anyone, Anytime, Anyplace"* što znači da Internet stvari povezuje bilo što, bilo koga u bilo koje vrijeme na bilo kojem mjestu. „Stvar" (eng. *thing*) može biti osoba ili životinja, bilo koji neživi predmet kojem se može dodijeliti *IP* adresa te da ima mogućnost prijenosa podataka preko mreže [48][49]. Primjer [48] je recimo automobil koji ima senzore koji će mu javiti kada mu gume imaju manji pritisak od dopuštenog ili slično. *Cisco* je proveo istraživanje [50] i procijenili su da bi *IoT* do 2020. imao oko 50 milijardi uređaja povezanih na *Internet* dok Intel predviđa [51] 200 milijardi uređaja do iste te godine.

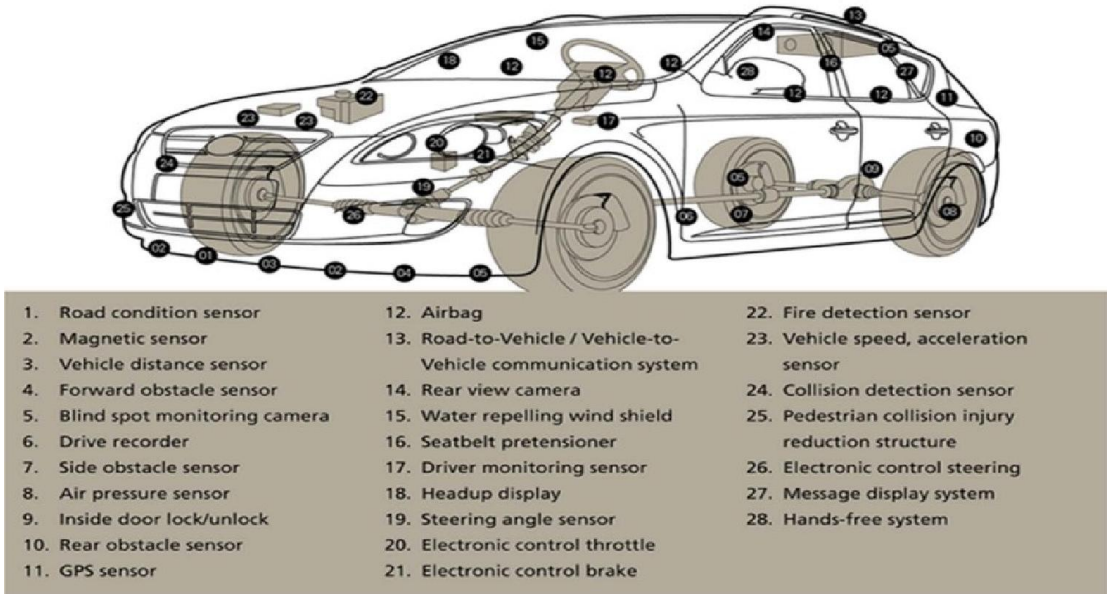
Kako bi povezivanje bilo moguće, faktor koji će to omogućavati je *IPv6*. Prelaskom s *IPv4* na *IPv6*, nema razloga za brigu da neće biti dovoljno *IP* adresa za *IoT*. Verzija 6 (*IPv6*) se razlikuje od verzije 4 (*IPv4*) po tome što ima više bitova za zapis adrese; čak 128 te samim tim osigurava i mogućnost za više *IP* adresa.

5.5. Internet vozila *(*eng. *Internet of Vehicles – IoV)*

Razvojem Interneta stvari – *IoT*, razvija se i *IoV*. Svakim danom sve je više i više vozila te je ujedno sve više i više nesreća koje se događaju, a glavni razlog nesreća su umor vozača te nedostatak upozorenja na cestama [53]. Kako bi se umanjile ili čak izbjegle nesreće, veoma važnu ulogu će imati Internet vozila. Vozači će se moći povezati s ostalim vozačima, dobiti saznanja o cestovnom prometu ili jednostavno biti obaviješten na vrijeme o mogućoj nesreći, zastoju ili sličnoj situaciji. Automobili će biti opremljeni mnoštvom senzora koji će komunicirati s okolinom te javljati vozaču informacije.

IoV se sastoji od tri mreže: mreže između vozila, mreže unutar vozila te mobilnog interneta u vozilu. Te tri mreže su integrirane u jednu te čine jedan veliki sustav razmjene informacija koristeći komunikaciju vozilo-vozilo (*V2V*), vozilo-cesta (*V2R*), vozilo-čovjek (*V2H*) i vozilo-senzor (*V2S*) [54][55].

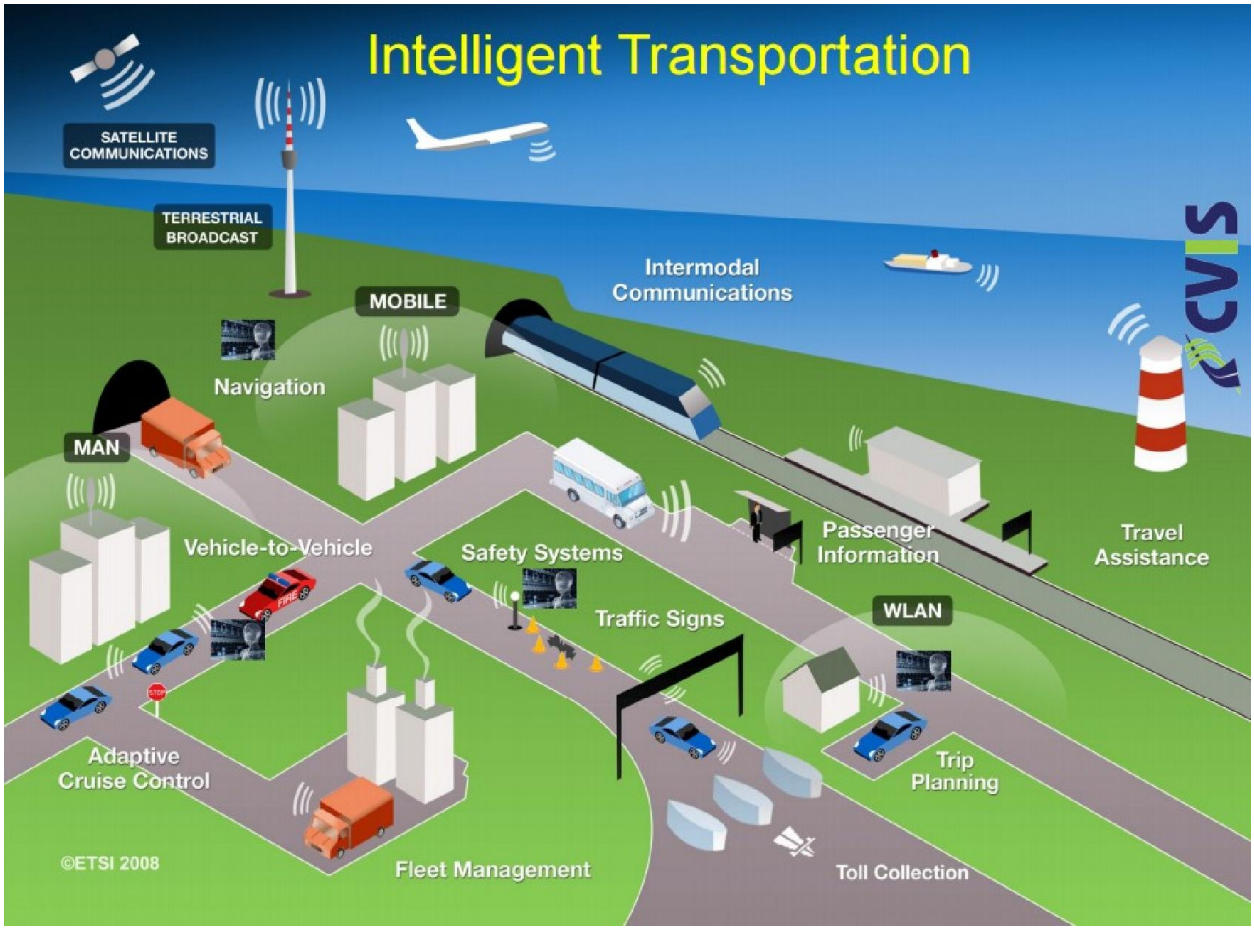
Smatra se da će Internet vozila riješiti mnoge probleme s kojima su se vozači, ali i ljudi oko njih susretali. Trebao bi riješiti probleme sigurnosti cestovnog prometa, zagađenja okoliša, potrošnje energije te problem velikih gužvi kroz razvoj automobila te drugih transportnih sustava [54]. Visoka propusnost, dostupnost te malo vrijeme odziva u *5G* mrežama obećavajući su faktor za pametnu i inteligentnu komunikaciju među vozilima [2] koji će imati mnoštvo senzora za komunikaciju s okolinom (Sl. 5.5.1.). Korak dalje će svakako biti pametni automobili koji će odlučivati o svakom koraku vožnje [57].



Slika 5.5.1. *IoV* automobil [56]

Koncept koji bi pomogao pri prijelazu na *IoV* je *Vehicular Cloud* tj. oblak koji će pružati sve potrebne usluge vozilima (Sl. 5.5.2.) [57].

IoV je tema koja otvara nove poglede na život te stvari oko nas. Nove prilike te izazove koje predstavlja u vođenju nove mreže vozila stvorit će prijelaz sa „Interneta vozila“ na „Vozila Interneta“. Drugim riječima, oblak koji će pružati usluge vozilima (eng. *Vehicular Cloud)* surađivat će s ostalim oblacima te na taj način nagraditi infrastrukturu vozila [58].



Slika 5.5.2. Pametna vožnja [56]

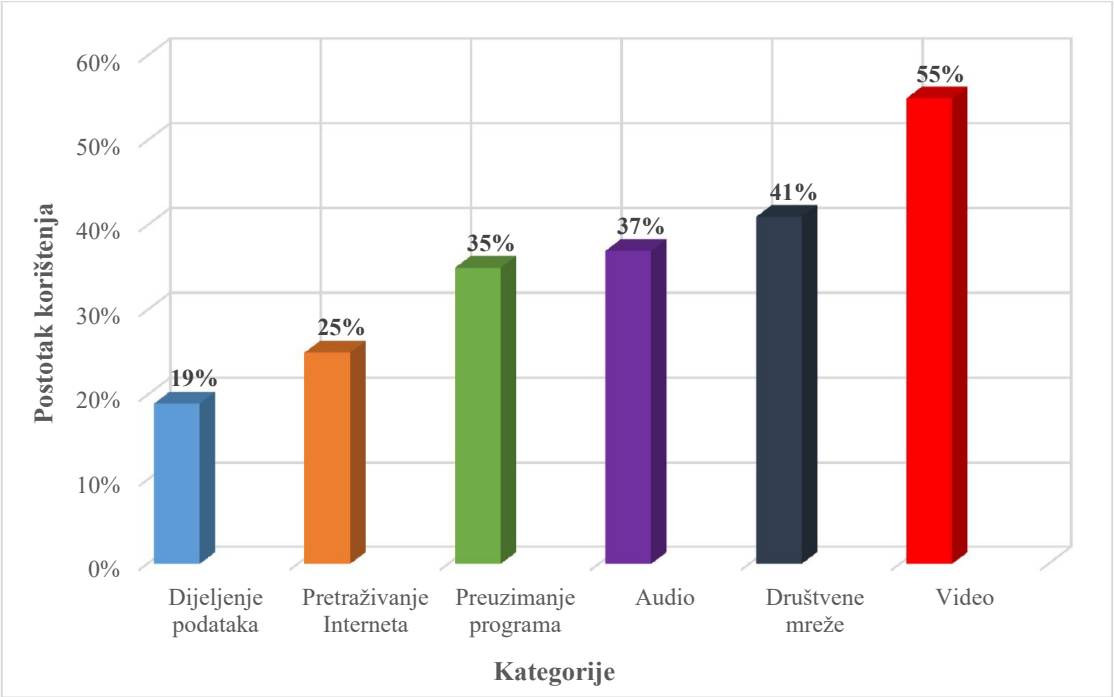
Zanimljivo je da su tvrtka *Ericsson*, *Volvo* automobili te proizvođači sportske zaštitne opreme – *POC* napravili prototip kacige koja bi pomogla biciklistima, ali i vozačima u prometu. Kaciga bi komunicirala s vozilom i obrnuto te upozoravala na udaljenost biciklist-vozilo tj. vozilo-biciklist [59]. Ovaj prototip dokazuje još jedan način sigurnijeg kretanja u prometu.

6. DOSADAŠNJE ISTRAŽIVANJE *5G* MREŽE

Tvrtka *Ericsson Nikola Tesla* ima veoma važnu ulogu u razvoju i istraživanju *5G* mreže. Kao što se već zna, pojava *5G* mreže se očekuje tek oko 2020. godine, a do tada se ispituje i istražuje koncept prilagodbe te standardizacije.

Upravo je ta tvrtka provela istraživanje te na demonstraciji uživo pokazao funkcioniranje *5G* uređaja i *5G* radio bazne stanice. Koristili su frekvencijski pojas od 15 *GHz* te naravno, naprednu *MIMO* tehnologiju [59]. Ericsson ima već nekoliko ispitnih mreža u Švedskoj i SAD-u te svatko tko želi doživjeti što će to točno *5G* mreža biti te na koji način će funkcionirati, može doći [60]. Profesor Mischa Dohler, voditelj Centra za istraživanja u telekomunikacijama na *King's College London* je povodom razvoja *5G* mreža rekao: *„Mobilne mreže velike brzine i pouzdanosti temelj su osjetnog interneta i Interneta vještina koji će ovime (5G mrežom) biti omogućen. Rezultati koji su postignuti u Ericssonovim 5G ispitnim mrežama u radu, poput mnogo veće brzine podataka i fleksibilnije povezanosti, kritični su za nove mogućnosti koje će potaknuti daljnji razvoj 5G.“* [60]

Tvrtka Ericsson je također, provela detaljno istraživanje te dala kompletan izvještaj, *Ericsson Mobility Report* [61], o *5G* tehnologijama. *5G* mreža će donijeti mnoga poboljšanja u komunikaciji, bolje performanse i naravno veće brzine prijenosa. Naravno, teško je reći što i kako će točno biti jer su *5G* standardi još uvijek u razvoju, ali Ericsson Nikola Tesla radi na otkrivanju svih nepoznanica. Smatra se da će do 2020. godine, 90% ljudi na svijetu koji su stariji od 6 godina, imati mobilni telefon, a mobilni video promet će se povećati deset puta te činiti 55 posto mobilnog podatkovnog prometa (dijagram 6.1.) [61]. Portal *CNET* je u članku [62] iznio rezultate svog istraživanja te su došli do zaključka da će za preuzimanje jednog filma prosječnog trajanja od dva sata u *5G* mreži uz brzinu od 10 *Gb/s* trebati svega 3.6 sekundi.



Slika 6.1. Mobilni promet [61]

6.1. *Horizon* 2020 – projekt *METIS*

Naravno, postoje izazovi koje treba savladati da bi se *5G* mreža potpuno uklopila te radili kako treba. Treba usavršiti sve tehnologije i aplikacije, nabrojane u prethodnim poglavljima, s arhitekturom nove mreže. Upravo zato, treba se provesti normizacija. Normizacija je proces definiranja odredbi za korištenje nekog proizvoda kako bi se postojeći ili mogući problemi što efikasnije riješili te samim time i poboljšali [4][63].

Horizon 2020 je europska inicijativa, novi projekt Europske Unije koji se bavi istraživanjem. U razdoblju od 2014. do 2020. godine osiguran mu je financijski proračun od 79.4 milijarde eura. Taj proračun se dijeli na četiri programa [64]. Nekoliko projekata [65], ujedno je jedan i *METIS* projekt, dobit će potrebna sredstva kako bi riješili probleme arhitekture i funkcionalnosti potrebnih kako bi *5G* mreža funkcionirala kako treba.

METIS projekt je nastao kako bi se integrirali europski tehnološki i znanstveni resursi te pomogli u izgradnji budućeg globalnog mobilnog i bežičnog komunikacijskog sustava. Pokrenut je radi stvaranja *5G* globalnog komunikacijskog sustava. Projekt istražuje tehnologije te ih prilagođava mreži da bi krajnji rezultat bio sustav koji je dovoljno učinkovit, prilagodljiv za promet na

različitim uređajima, pouzdan te cjenovno prihvatljiv za tržište [4]. Realizacija projekta se odvija u četiri koraka kako je prikazano tablicom 6.1.1. te bi trebala biti gotova do 2020. godine.

Tablica 6.1.1. *Razvoj METIS projekta. [4]*

Faza	**Period**	**Aktivnosti**
0.	2012.-2014.	projekt *METIS*
1.	2014.-2016.	bazično istraživanje – izgrađivanje vizije
2.	2016.-2018.	optimizacija sustava – priprema normizacije
3.	2018.-2020.	velika testna ispitivanja – početak normizacije

7. ZAKLJUČAK

Od pete generacije se očekuje mnogo. Napredak tehnologije će biti očit te će utjecati na daljnji razvoj mreže. U ovom završnom radu osvrt se daje na arhitekturu te na pregled tehnologija i aplikacija koje se navode da će imati velik i bitan utjecaj na petu generaciju. Arhitektura mreže je spona svih tehnologija i aplikacija koje će se koristiti kao što su masivna *MIMO* tehnologija, dijeljenje spektra, guste mreže, više pristupna radijska tehnologija, milimetarski radio valovi te komunikacija u oblaku. Najznačajnija tehnologija je svakako masivni *MIMO* koji će povećati energetsku učinkovitost i kapacitet te se bazirati na puno većem broju odašiljačkih antena od dosadašnje standardne *MIMO* tehnologije. Komunikacija u oblaku je također jedna od veoma bitnih tehnologija. Mnogim firmama će donijeti velike uštede, a omogućit će lak i brz pristup podatcima gdje god se nalazili. Naravno, mora se još doraditi problem sigurnosti, ali daljnji napredak će to vrlo vjerojatno i omogućiti.

Kvaliteta usluge bi se trebala drastično popraviti te biti na nivou. Imat će veliku važnost kod Interneta stvari – *IoT*. *IoT* će umrežavati tj. povezivati sve aplikacije – komunikacija stroja sa strojem, uređaja s uređajem te komunikaciju među vozilima. Kako se bude razvijao *IoT,* tako će se postupno s njim razvijati i aplikacije.

Peta generacija mreža se još mnogo treba istražiti kako bi se napravila podloga za dobru *5G* mrežu te riješili problemi vezani za dosadašnje i buduće greške kako bi sve funkcioniralo kako treba. U narednim godinama istraživači će imati mnogo posla, ali dosadašnja istraživanja drugih znanstvenika bi im svakako trebala biti vjetar u leđa da postignu značajne rezultate.

LITERATURA

[1] A. Gupta, R. K. Jha: Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies, IEEE Access, Vol. 3, str. 1206 – 1232, srpanj 2015.

[2] M. Agiwal, A. Roy, N. Saxena: Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. PP, str. 1-40, veljača 2016.

[3] B. Županić, M. Gadže, A. Janković: Od analognih do digitalnih sustava pokretne telefonije, Ericsson Nikola Tesla, Revija 17, str. 28 – 43, 2004.

[4] B. Burazer: Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije, Hrvatski zavod za norme, 2014.

[5] D. Radić, Informatička abeceda, Split-Hrvatska, http://www.informatika.buzdo.com/s930-intranet-bezicna-komunikacija.htm (30.05.2016.)

[6] C. S. Patil, R. R. Karhe, M. A. Aher, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering: Development of Mobile Technology: A Survey, Vol. 1, str. 374-379, studeni 2012.

[7] L. Frenzel, Fundamentals of Communications Access Technologies: FDMA, TDMA, CDMA, OFDMA, AND SDMA, http://electronicdesign.com/communications/fundamentals-communications-access-technologies-fdma-tdma-cdma-ofdma-and-sdma (01.06.2016.)

[8] RADIO ACADEMY, The Difference Between FDMA and TDMA, http://www.taitradioacademy.com/topic/the-difference-between-fdma-and-tdma/ (01.06.2016.)

[9] Webopedia, CDMA - Code-Division Multiple Access, http://www.webopedia.com/TERM/C/CDMA.html (01.06.2016.)

[10] Sigurnost mobilnih mreža - CARNet CERT, http://www.cert.hr/sites/default/files/NCERT-PUBDOC-2010-06-303.pdf (06.06.2016.)

[11] A. Rajput, N. Kumar: Fifth Generation Technology (Nano Technology), Oriental Journal of Computer Science and Technology, No. 1, Vol. 7, str. 173-176, travanj 2014.

[12] What Are Small Cells and Distributed Antenna Systems?, http://www.verizonwireless.com/news/article/2014/09/what-are-small-cells-and-distributed-antenna-systems.html (07.06.2016.)

[13] Beam division multiple access (BDMA) for 5G, http://learntelecom.com/files/BEAM_DIVISION_MULTIPLE_ACCESS_FOR_5G.pdf (07.06.2016.)

[14] Massive (Very Large) MIMO Systems, https://massivemimo.eu/ (07.06.2016.)

[15] Prostorno multipleksiranje, https://cetvrto4.files.wordpress.com/2010/10/multipleksiranje.ppt (08.06.2016.)

[16] W. Nam, D. Bai, J. Lee, I. Kang: Advanced Interference Management for 5G Cellular Networks, IEEE Communications Magazine, Vol. 52, str. 52 – 60, svibanj 2014.

[17] E. Hossain, V. K. Bhargava: Cognitive Wireless Communication Networks, Springer Science & Business Media, 23. lis 2007.

[18] M. Beslać: Tehnologije dinamičkog pristupa spektru u kognitivnim radijskim mrežama, FER, 2012.

[19] X. Ge, S. Tu, G. Mao, C. Wang, T. Han: 5G Ultra-Dense Cellular Networks, arXiv:1512.03143v1 (01.06.2016.)

[20] Što su to heterogene mreže?, www.ericsson.com/hr/etk/novine/kom0311/21.pdf (01.06.2016.)

[21] 5G radio access, https://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp-5g.pdf (02.06.2016.)

[22] Multi-RAT Planning, http://www.forsk.com/web/EN/202-multi-rat-planning.php (02.06.2016.)

[23] M. Elmenouar: By 2020 - 5G will Enable New Technology called "Multi-RAT" to address Capacity & User Throughput, https://www.linkedin.com/pulse/2020-5g-enable-new-technology-called-multi-rat-user-elmenouar (02.06.2016.)

[24] UBIQUITOUS COMPUTING, https://lbsitbytes2010.wordpress.com/2013/03/19/ubiquitous-computing-2/ (02.06.2016.)

[25] Full Duplex MIMO Radios, http://web.stanford.edu/~skatti/pubs/nsdi14-mimo.pdf (02.06.2016.)

[26] S. Sun, R. Mayzus,H. Zhao, Y. Azar, K. Wang, G. N. Wong, J. K. Schulz, M. Samimi, F. Gutierrez: Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!, IEEE Access, Vol. 1, str. 335 – 349, svibanj 2013.

[27] Y. Niu, Y. Li, D. Jin, L. Su, A. V. Vasilakos: A Survey of Millimeter Wave (mmWave) Communications for 5G: Opportunities and Challenges, arXiv:1502.07228v1 (03.06.2016.)

[28] Millimeter Waves, http://ethw.org/Millimeter_Waves (03.06.2016.)

[29] Will Millimeter Waves Maximize 5G Wireless?, http://www.scientificamerican.com/article/will-millimeter-waves-maximize-5g-wireless/ (03.06.2016.)

[30] Cloud computing, Nacionalno središte za sigurnost računalnih mreža i sustava, http://www.cert.hr/sites/default/files/NCERT-PUBDOC-2010-03-293.pdf (04.06.2016.)

[31] M. Peng, Y. Li, Z. Zhao, C. Wang: System Architecture and Key Technologies for 5G Heterogeneous Cloud Radio Access Networks, arXiv:1412.6677v1 (06.06.2016.)

[32] P. Rost, CJ. Bernardos, A. De Domenico, M. Di Girolamo, M. Lalam, A. Maeder, D. Sabella, D. Wübben: Cloud Technologies for Flexible 5G Radio Access Networks, IEEE Communications Magazine, Vol. 52, str. 68 – 76, svibanj 2014.

[33] Što je Cloud Computing ili usluga u “oblaku”?, http://www.sinarm.net/sto-je-cloud-computing-ili-usluga-u-oblaku/ (06.06.2016.)

[34] Prednosti i nedostaci cloud computing-a, http://www.itresenja.com/resenja/prednosti-i-nedostaci-cloud-computing/15585358/ (06.06.2016.)

[35] M. Simonovic: Tehnologija Cloud Computinga, http://www.singipedia.singidunum.ac.rs/attachment.php?attachmentid=3375&d=1392974787 (06.06.2016.)

[36] QoS (Quality of Service), http://searchunifiedcommunications.techtarget.com/definition/QoS-Quality-of-Service (10.06.2016.)

[37] Kvaliteta usluge, http://www.opuskomunikacije-tim.hr/sto-je-voip/47-kvaliteta-usluge (10.06.2016.)

[38] D. Grganić: Analiza QoS zahtjeva pojedinih aplikacija u višeuslužnim mrežama, https://zir.nsk.hr/islandora/object/fpz%3A270 (10.06.2016.)

[39] V. Tikhvinskiy, G. Bochechka: Prospects and QoS Requirements in 5G Networks, Journal of telecommunications and information technology, http://www.nit.eu/czasopisma/JTIT/2015/1/23.pdf (10.06.2016.)

[40] Tehnologije - M2M, http://www.bug.hr/mreza/tekst/m2m/96374.aspx (10.06.2016.)

[41] Concept and QoS requirements in 5G networks, http://www.raenitt.ru/publication/T-COM_9_2014.pdf (10.06.2016.)

[42] D. Boswarthick, O. Elloumi, O. Hersent: M2M Communications: A Systems Approach, John Wiley & Sons, 14. ožu 2012.

[43] M. Srbić: M2M DRUŠTVENO UMREŽAVANJE – RASPBERRY PI, https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Seminar_-_Matija_Srbic.pdf (10.06.2016.)

[44] Facts and statistics about M2M, http://www.statista.com/topics/1843/m2m-machine-to-machine/ (10.06.2016.)

[45] GLOBAL M2M MARKET TO GROW TO 27 BILLION DEVICES, GENERATING USD1.6 TRILLION REVENUE IN 2024, https://machinaresearch.com/news/global-m2m-market-to-grow-to-27-billion-devices-generating-usd16-trillion-revenue-in-2024/ (10.06.2016.)

[46] A. Asadi, Q. Wang, V. Mancuso: A Survey on Device-to-Device Communication in Cellular Networks, arXiv:1310.0720v6 (20.06.2016.)

[47] J. Moreira, R. Gonçalves: Device-to-Device Communication in 5G Cellular Networks: Challenges, Solutions, and Future Directions, MOBILE COMMUNICATION NETWORKS, str. 1 – 3, prosinac 2014.

[48] Internet of Things, http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT (02.08.2016.)

[49] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, M. Palaniswami: Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions, Future Generation Computer Systems, Vol. 29, str. 1645–1660, rujan 2013.

[50] Internet of Things (IoT) , http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html? (02.08.2016.)

[51] The Internet Of Things & IP Address Needs, http://www.networkcomputing.com/networking/internet-things-ip-address-needs/1170065007 (02.08.2016.)

[52] The "Internet of Things" based on IPv6, http://www.ipv6forum.com/iot/index.php/homepage (02.08.2016.)

[53] K. M. Alam, M, Saini, A. El Saddik: Toward Social Internet of Vehicles: Concept, Architecture, and Applications, IEEE Access, Vol. 3, str. 343 – 357, ožujak 2015.

[54] White Paper of Internet of Vehicles (IoV), http://mddb.apec.org/Documents/2014/TEL/TEL50-PLEN/14_tel50_plen_020.pdf (07.08.2016.)

[55] Internet of Vehicles: Your next connection, http://www1.huawei.com/enapp/28/hw-110836.htm (03.08.2016.)

[56] The Smart and Connected Vehicle and the Internet of Things http://tf.nist.gov/seminars/WSTS/PDFs/1-0_Cisco_FBonomi_ConnectedVehicles.pdf (07.08.2016.)

[57] IoV, http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6803166&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6803166 (08.08.2016.)

[58] IoV-VoI 2016, http://www.tech.dmu.ac.uk/~iwagne00/iov-voi2016/cfp.shtml (08.08.2016.)

[59] Ericsson Nikola Tesla Grupa, www.ericsson.hr/lgs.axd?t=16&id=1333 (09.08.2016.)

[60] Nove 5G inovacije za najviše brzine putem mobilne mreže, http://www.ericsson.hr/20150602-5g-inovacije (09.08.2016.)

[61] Ericsson Mobility Report (lipanj 2016.), https://www.ericsson.com/res/docs/2016/ericsson-mobility-report-2016.pdf (09.08.2016.)

[62] How 5G will push a supercharged network to your phone, home, car, http://www.cnet.com/news/how-5g-will-push-a-supercharged-network-to-your-phone-home-and-car/ (09.08.2016.)

[63] Normizacija, http://www.hzn.hr/default.aspx?id=87 (09.08.2016.)

[64] Horizon 2020, http://europski-fondovi.eu/program/horizon (10.08.2016.)

[65] EU PROJECTS, https://5g-ppp.eu/projects/ (10.08.2016.)

SAŽETAK

Vizija sljedeće generacije se temelji na velikim brzinama prijenosa podataka, smanjenju latencije, poboljšanju kapaciteta mreže te poboljšanju kvalitete usluge. Glavni problem je arhitektura mreže koja će se značajno morati promijeniti kako bi se implementirala nova rješenja. Ovaj završni rad se bavi razvojnim tehnologijama i aplikacijama koje će se koristiti u *5G* mobilnim mrežama te rješenjima koje bi trebala donijeti kao nova generacija. Fokus je na arhitekturi mreže, masivnoj *MIMO* tehnologiji, komunikaciji uređaj s uređajem te ostalim tehnologijama. Smatra se da će veliku ulogu u *5G* mreži imati ćelije, komunikacija u oblaku te Internet stvari – *IoT.* Mnogo će se projekati još morati provesti kako bi se mreža dovela do savršenstva te optimizirala na najbolji mogući način.

***Ključne riječi* – 5G, masivni MIMO, D2D, M2M, heterogena mreža, bazne stanice**

ABSTRACT

The vision of the next generation is based on high-speed data transmission, reducing latency, improving network capacity and quality of service. The main problem is a network architecture that will need to change significantly in order to implement new solutions. This thesis deals with emerging technologies and applications that will be used in 5G mobile networks and solutions that should bring as a new generation. The focus is on the network architecture, massive MIMO technology, device to device communication system and other technologies. It is believed that a large part in 5G network will have cells, cloud tehnologies and Internet of Things - IoT. A lot of projects still need to explore in order to achieve perfection and optimize the best possible way.

Index terms – 5G, massive MIMO, D2D, M2M, HetNets, base stations

ŽIVOTOPIS

Valentina Vukelić rođena je u Osijeku 13. studenog 1994. gdje je završila osnovnu i srednju školu. Nakon završene gimnazije, 2013. godine upisuje stručni studij informatike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku, sada Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (FERIT).

Već od osnovne škole pokazuje interes za informatiku te upisuje tečaj informatike u *Domu Tehnike* u Tvrđi na koji je išla četiri godine. Od malena je učila engleski te je uz redovni engleski u osnovnoj i srednjoj školi išla i u školu stranih jezika *Lanico* u trajanju od sedam godina te ima završen B2 stupanj engleskog jezika. Njemački je učila u osnovnoj i srednjoj u trajanju od osam godina. U sklopu stručne prakse, odradila je dva i pol mjeseca u *Euroherc osiguranju* u podružnici u Osijeku na odijelu informatike pod vodstvom sistem inženjera. Stečeno znanje joj je pomoglo na trećoj godini te dalo poticaj za daljnje usavršavanje. Također, 2016. godine upisuje i završava tečaj web programiranja u *Edunovoj – školi informatike i managementa*. Daljnji planovi su joj upis na razlikovnu godinu te završetak diplomskog studija računarstva nakon čega bi se voljela profesionalno baviti web dizajnom.