

Infrastrukturni zahtjevi na mobilne mreže uslijed velikog broja korisnika mrežnih igara na mobilnim uređajima

Juršić, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:090121>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Karlo Juršić

**INFRASTRUKTURNI ZAHTJEVI NA MOBILNE MREŽE
USLIJED VELIKOG BROJA KORISNIKA MREŽNIH
IGARA NA MOBILNIM UREĐAJIMA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

Zagreb, 30. studenog 2016.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Mobilni komunikacijski sustavi**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 3837

Pristupnik: **Karlo Juršić (0135227501)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Infrastrukturni zahtjevi na mobilne mreže uslijed velikog broja korisnika mrežnih igara na mobilnim uređajima**

Opis zadatka:

Opisati osnovne parametre mobilnih mreža koje koriste digitalizirani signal. Navesti i opisati razvoj infrastrukture mobilnih mreža, migraciju prema paketskom prijenosu i povećanje brzine prijenosa podataka. Naznačiti parametre kojima razvoj popularnosti mrežnih igara utječe na podatkovni promet i infrastrukturu mreže. Opisati mehanizme koji se koriste za upravljanje prometom i kontrolu prometa u mobilnim mrežama novijih generacija. Navesti smjernice budućeg razvoja mrežnih usluga s naglaskom na pakete usluga koje će biti u ponudi korisnicima.

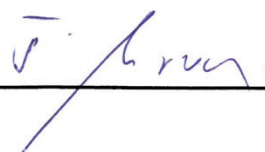
Zadatak uručen pristupniku: 22. studenog 2016.

Mentor:



doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**INFRASTRUKTURNI ZAHTJEVI NA MOBILNE MREŽE
USLIJED VELIKOG BROJA KORISNIKA MREŽNIH
IGARA NA MOBILNIM UREĐAJIMA**

**INFRASTRUCTURAL REQUIREMENTS ON MOBILE
NETWORKS DUE TO THE LARGE NUMBER OF
NETWORK GAME USERS ON MOBILE DEVICES**

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Student: Karlo Juršić, 0135227501

Zagreb, 2017.

INFRASTRUKTURNI ZAHTJEVI NA MOBILNE MREŽE USLIJED VELIKOG BROJA KORISNIKA MREŽNIH IGARA NA MOBILNIM UREĐAJIMA

SAŽETAK

Prva generacija mobilne mreže (1G) bila je analogna i omogućavala je isključivo glasovne usluge. Pojavom druge generacije (2G), koja je bila digitalna, kreće ubrzani razvoj mobilnih mreža, tehnologija i uređaja. To dovodi do pojave treće generacije (3G), koja uz klasične usluge omogućuje i povećane brzine pristupa Internetu. Kod razvoja 3G mreža javlja se i povećano korištenje raznih aplikacija, usluga i igara te tako dolazi do povećanja korisničkih zahtjeva. Mobilne igre se uvijek razvijaju tako da pritišću granice mobilnih mreža i posredno utječu na razvoj tehnologije, tehnike i same pružatelje usluga. Pružatelji mobilnih mrežnih usluga svojim korisnicima ograničavaju količinu prometa i dozvoljene brzine ovisno o tarifnom paketu, tj. cijeni koju plaćaju. Svaka nova generacija dovodi do povećanja količine podataka i brzina u tarifnim paketima, ali se cijene uvelike ne mijenjaju. Povećanje prometa i brzine se provodi pomoću mehanizama za kontrolu i upravljanje prometom, a pružatelji usluga ih koriste kako bi korisnicima ograničili usluge ovisno o cijeni. To se nastavlja i s novom generacijom, LTE mreža (4G), koje osiguravaju još veće brzine prijenosa podataka i brži pristup Internetu. Također dolazi do porasta u korištenju mobilnih igara i aplikacija što izaziva povećanje korisničkih zahtjeva. Ponovna potreba za većim brzinama i boljom uslugom dovodi do razvoja mobilnih mreža pete generacije (5G), a one će zasigurno ponovno pokrenuti razvoj idućih generacija.

Ključne riječi: mobilne mreže; infrastruktura; mobilne igre; pristup Internetu.

INFRASTRUCTURAL REQUIREMENTS ON MOBILE NETWORKS DUE TO THE LARGE NUMBER OF NETWORK GAME USERS ON MOBILE DEVICES

SUMMARY

The first generation of the mobile networks (1G) was analog and provided voice services only. With the emergence of the second generation (2G), which was digital, the mobile network, technology, and devices developed significantly. This led to the third generation (3G), which, along with classical services, also provided increased Internet access speeds. In the development of 3G networks, there was also an increase in the use of various applications, services and games and thus an increase in user demands. Mobile games are always evolving in a way that they push the limits and boundaries of mobile networks and thus affect technology, technique, and service providers. Mobile service providers provide their users with a limited amount of traffic and speeds depending on the tariff package, in other words the price they pay. Every new generation leads to an increase in data amount and speed in tariff packages, but prices do not change much. Increase in the amount of data per user and data rates is handled through traffic control mechanisms, and service providers use them to limit users' cost-based services. It continues with the new generation of LTE networks (4G), providing even greater data rates and faster Internet access. It also leads to a rise in the use of mobile games and applications and again triggers increasing customer requirements. New need for higher speeds and better service again leads to the development of fifth generation of mobile networks (5G), and they will surely again launch the development of next generation of networks.

Keywords: Mobile Networks; Infrastructure; Mobile Games; Internet Access.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Osnove mobilnih mreža	2
2.1 Nulta i prva generacija mobilnih mreža.....	2
2.2 Druga generacija mobilnih mreža	3
2.3 Treća generacija mobilnih mreža	5
2.4 Četvrta generacija mobilnih mreža	6
3. Razvoj infrastrukture mobilnih mreža.....	9
3.1 Čelijski koncept	9
3.2 Infrastrukturni dijelovi mreže.....	11
3.3 Modulacijski postupci.....	13
3.4 Sustavi višestrukog pristupa	16
4. Utjecaj mrežnih igara na promet i infrastrukturu	18
4.1 Zahtjevi igara na brzinu odziva mreže	19
4.1.1 <i>Multiplayer</i> igre.....	20
4.1.2 Ozbiljne igre	21
4.1.3 Lokacijski bazirane igre	21
4.1.4 Igre proširene i virtualne stvarnosti	22
4.2 Količina prometa i podjela igara prema količini prometa.....	23
4.2.1 Igre koje se pokreću iz pretraživača	23
4.2.2 Aplikacijske igre	24
4.3. Potrošnja energije mobilnih uređaja pri podatkovnom prometu u 4G	24
5. Mehanizmi za kontrolu i upravljanje prometom.....	27
5.1 OSI referentni model	28
5.2 TCP/IP	29

5.3 Mehanizmi, alati i tehnike QoS-a	30
5.3.1 QoS sa stajališta davatelja usluga	30
5.3.2 Reguliranje prometa	31
5.3.3 Oblikovanje prometa	32
5.3.4 Token Bucket	33
6. Smjernice budućeg razvoja mrežnih usluga s naglaskom na podatkovne pakete	34
6.1 Smjernice budućeg razvoja mrežnih tehnologija u Europi	35
6.2 Smjernice budućeg razvoja mrežnih tehnologija u Hrvatskoj	36
6.2.1 Pokrivenost 4G mreže	37
6.2.2 Usporedba tarifa i terećenja korisnika	38
6.3 5G	40
7. Zaključak	41
Literatura	42
Popis kratica	45
Popis slika	48

1. Uvod

U ovom radu bit će prikazan pregled zahtjeva nastalih uslijed velikog broja korisnika mobilnih mrežnih igara na mobilne mreže. Rad se sastoji od sedam poglavlja od kojih je prvo uvod, a sedmo zaključak. Poglavlja su podijeljena na sljedeći način:

Drugo poglavlje odnosi se na osnove mobilnih mreža. Opisane su njihove strukture, generacije i karakteristike te razvoj kroz godine.

U trećem poglavlju izlaže se tematika infrastrukture mobilnih mreža. Što je to ćelijski koncept, koji su dijelovi mreže i kakav je to mrežni dio. Također su spomenuti modulacijski postupci i sustavi višestrukog pristupa.

Četvrto poglavlje bavi se istraživanjem utjecaja mobilnih mrežnih igara na promet i infrastrukturu u mobilnim mrežama, koji su utjecaji mobilnih igara na infrastrukturu i kakve sve igre razlikujemo s obzirom na temu. Nadalje, govori se o količini prometa i igrama u tom kontekstu, kao i o potrošnji energije kada se koriste 4G mreže.

U petom poglavlju iznesene su osnove kvalitete usluge, a kroz nekoliko osnovnih mehanizama za kontrolu i upravljanje prometom objašnjeno je kako se upravlja količinom prometa u infrastrukturi i mrežama. Spomenuta su i dva IP bazirana referentna modela – OSI i TCP/IP.

Šesto poglavlje opisuje razvoj mrežnih usluga u mobilnim mrežama, s pozornosti usmjerenoj na paketski prijenos.

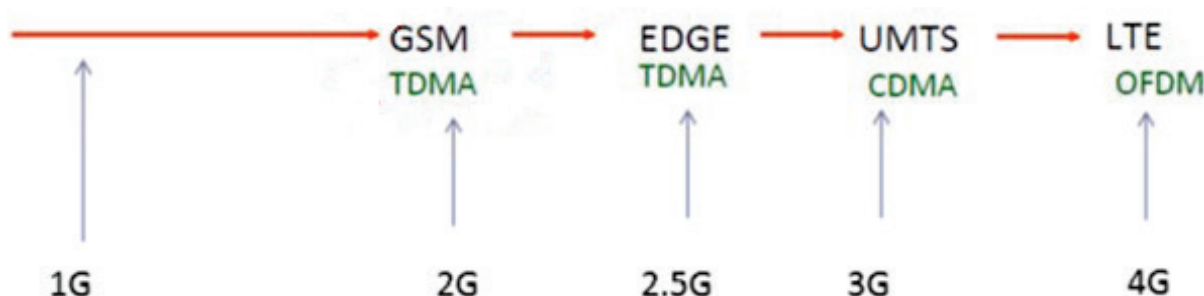
Ono na što je obraćena posebna pozornost je budući razvoj mobilnih mreža i prijenosa podataka komutacijom paketa. Kroz sva poglavlja proteže se ova glavna tema.

Korištene su metode, analize, sinteze i opisa pri izradi završnog rada, a najviše su pomogla predavanja iz raznih kolegija sa Sveučilišta u Zagrebu Fakulteta prometnih znanosti. Također se koriste i razni članci časopisa koji su pomogli u razumijevanju trendova i specifičnih tehnologija.

2. Osnove mobilnih mreža

Mobilna komunikacija pojavila se iz klasične telefonije. Kako bi se lakše razumjele mobilne mreže prvo je potrebno kratko objasniti telekomunikacije i telekomunikacijske tehnologije.

Telekomunikacija je prijenos informacija od izvorišta prema odredištu, na nekoj udaljenosti [1]. Za prijenos informacija koriste se različiti prijenosni mediji kao što su bakrena parica, koaksijalni kabel, optička vlakna ili, u slučaju mobilne komunikacije, zrak, tj. radiovalovi. Razvoj mobilnih mreža prikazuje se kroz generacije.



Slika 1. Ilustracija mobilnih generacija [2]

Na slici 1. prikazane su generacije mobilnih mreža i tehnologije koje su ih predstavljale na ovim prostorima, a u nastavku ovog poglavlja objašnjen je taj razvoj kroz generacije.

2.1 Nulta i prva generacija mobilnih mreža

Prije pojave prvih mobilnih mreža korištene su takozvane mobilne mreže „nulte generacije“. Nazivaju se tako jer nisu bile ćelijski formirane pa se često nazivaju i „pred ćelijske mreže“. Takve mreže su bile *Push To Talk* sustavi, MTS (eng. *Mobile Telephone Service*) sustavi ili sustavi mobilne telefonije, IMTS (eng. *Improved Mobile Telephone System*) ili poboljšani sustavi mobilne telefonije i AMTS (eng. *Advanced Mobile Telephone System*) ili napredni sustavi mobilne telefonije [3]. Ovi sustavi su nadogradnja na zatvorene sustave, a imali su i svoje javne telefonske brojeve. Prijenos je bio analogan u području od 152 MHz do 459 MHz i bio je omogućen samo prijenos govora. Prespajanje poziva vršilo se ručno u centrali.

Novonastale mreže prve generacije pojavile su se zbog novih tehnologija i većih potraživanja korisnika. One su također koristile analogni prijenos, ali su bile

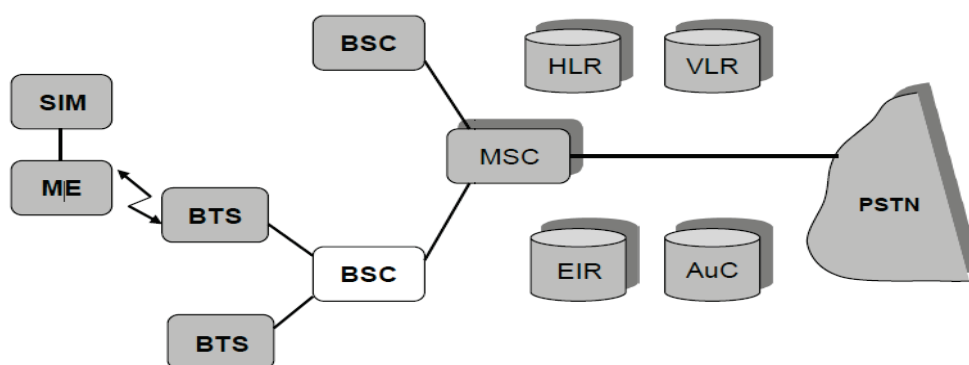
ćelijske građe i prekapčanje poziva vršilo se automatski. Zbog toga se pojavila mogućnost *handover*¹ poziva. Oni omogućavaju prijenos poziva iz jedne ćelije u drugu, u slučaju da se korisnik kreće područjem pokrivenim signalom [4]. Takvi sustavi su bili AMPS (eng. *Advanced Mobile Phone System*) u Americi, NMT (eng. *Nordic Mobile Telephony*) u nordijskim i nekim europskim zemljama i TACS (eng. *Total Access Communication System*) u Ujedinjenom kraljevstvu [3].

2.2 Druga generacija mobilnih mreža

1990-tih godina 1G mreže zamjenjuju, tada nove, digitalne mreže druge generacije. Druga generacija mobilnih mreža koriste digitalni prijenos koji povećava kvalitetu zvuka, sigurnost poziva i kapacitet mreža te imaju odvojene mobilne uređaje od pretplatničkih modula – SIM (eng. *Subscriber Identity Module*). Sustavi druge generacije bili su D-AMPS (eng. *Digital-Advanced Mobile Phone System*) u Americi, PDC (eng. *Personal Digital Cellular*) u Japanu i GSM (eng. *Global System for Mobile Communications*) u Europi, te su radili na jednom od 4 frekvencijska područja – 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz.

Elementi GSM arhitekture su SIM, ME (eng. *Mobile Equipment*), BTS (eng. *Base Transceiver Station*), BSC (eng. *Base Station Controller*), MSC (eng. *Mobile Switching Centre*), HLR (eng. *Home Location Register*), VLR (eng. *Visitor Location Register*), EIR (eng. *Equipment Identity Register*) i AuC (eng. *Authentication Centre*) [5]. SIM kartica služi identifikaciji korisnika, ME je mobilni telefon ili terminal, BTS je bazna stanica s antenskim sustavom i uređajima za primanje i slanje signala, a BSC služi kao nadzornik baznih postaja, tj. služi za upravljanje rada grupe BTS-ova, upravljanje funkcijama lociranja, upravljanje pozivima prema MSC-ovima i omogućuje prespajanje *handover* poziva između BTS-ova. BSC povezuje MSC i BTS-ove. MSC služi kao komutacijski centar za centrale u GSM mreži. Obavlja funkcije upravljanja rada BSC-ova, upravljanja, usmjeravanja, komutiranja, nadzora i raskidanja pozive od i prema PSTN (eng. *Public Switched Telephone Network*) mreži, te upravljanja prikupljanjem tarifnim podacima. Komunikacijski dio mreže sastoji se od HLR-a, VLR-a, AuC-a i EIR-a. Ovi elementi mreže služe kao registri korisničkih podataka. Tako HLR služi kao registar podataka o pretplatnicima unutar mreže, VLR služi kao registar podataka o pretplatnicima izvan mreže, a AuC i EIR služe autorizaciji i identifikaciji korisnika. Opisani elementi nalaze se na slici 2.

¹ Ako se mobilna stanica za vrijeme razgovora kreće i napušta područje pokrivanja bazne stanice u kojoj se nalazila, bazna stanica koju napušta zatražit će prekapčanje (*handover*) na drugu ćeliju.



Slika 2. Arhitektura GSM mreže

2G mreže, osim govornih usluga, uvele su SMS poruke i prijenos drugih vrsta informacija putem mobilne mreže. CSD (eng. *Circuit-Switched Data*) način povezivanja radi kao dial-up modem i prijenos je do 14,4 kbit/s, jednako brzo kao tadašnji modemi. Kako bi se podaci prenosili mrežom efikasno, mreže druge generacije koriste CDMA (eng. *Code Division Multiple Access*) i TDMA (eng. *Time Division Multiple Access*) metode višestrukog pristupa [2]. Šalju podatke istovremeno preko istog komunikacijskog kanal i tako nekoliko korisnika dijele isti frekvencijski pojas. Takav postupak zove se multipleksiranje.²

Nadogradnja na 2G sustave GSM je GPRS (eng. *General Packet Radio Service*) ili 2.5G. Dominantna govorna komunikacija pojavom prijenosa podataka opada, te se povećava podatkovni promet. Rastom podatkovnog prometa raste i potreba za većim brzinama podataka, koja je dovela do razvoja mreže GPRS. Uloga sustava GPRS bila je povećati brzinu prijenosa podataka. Uvodi stalnu povezanost i izbacuje *dial-up*³ način povezivanja. To znači da su korisnici uvijek dostupni dokle god je uređaj bio dobro postavljen. Sustavi podržavaju maksimalne brzine prijenosa podataka do 171 kbit/s, ali realno one su bile od 56 kbit/s do 114 kbit/s [6].

Iduća nadogradnja bila je 2.75G ili EDGE (eng. *Enhanced Data rates for GSM Evolution*). Uvođenje većih brzina prijenosa i mogućnost stalne povezanosti uzrokovali su ponovni porast u količini podatkovnog prometa. Kako bi se to riješilo izašao je sustav EDGE. Sustav koristi metode kodiranja koje su otpornije na šum i omogućuju bolji prijenos podataka. Nove metode kodiranja i prijenosa zahtijevaju kompleksniji hardver, veću ulaznu snagu te zbog boljeg prijenosa veću mogućnost pogreške. Mogu se koristiti bilo koje aplikacije bazirane na podatkovnim uslugama,

² Kod multipleksiranog signala svi izvori se prenose kroz jedan kanal, a na odredištu ti signali se odvajaju – demultipleksiraju.

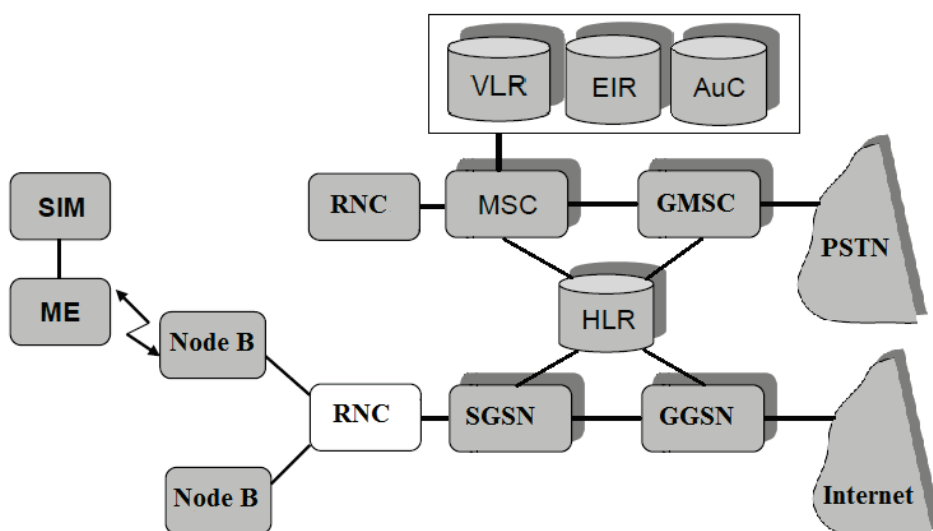
³ Način pristupa Internetu kod kojega korisnik koristi modem i telefonsku liniju za pozivanje.

kao što je povezivanje na Internet, igranje , skidanje i reprodukcija video sadržaja i dr. EDGE omogućuju brzine prijenosa podataka koje maksimalno iznose 473 kbit/s, a realno 120 kbit/s [6].

2.3 Treća generacija mobilnih mreža

Treća generacija ima za cilj ujediniti sustave mobilnih multimedijских komunikacija i smanjiti ograničenja usluga. Brzine koje omogućava UMTS (eng. *Universal Mobile Telecommunications System*) teoretski su 2 Mbit/s, ali realno dosežu 384 kbit/s. Bitno je naglasiti da ova generacija mreža donosi razdoblje širokopojsnog Interneta.⁴ Neke od 3G mreža su UMTS, CDMA2000 3x, TD-SCDMA, EDGE i dr.

Arhitektura UMTS mreže sastoji se od NodeB (ekvivalent BTS-a), RNC (eng. *Radio Network Controllers* - ekvivalent BSC-a), MSC. Nakon njih mreža se odvaja na telefonsku i podatkovnu. Podatkovnu čine SGSN (eng. *Serving Gprs Support Node*) i GGSN (eng. *Gateway GPRS Support Node*) koji se povezuju na internet. Telefonsku čine MSC i GMSC (eng. *Gateway Mobile Switching Centar*) koji se spajaju na PSTN ili ISDN (eng. *Integrated Services Digital Network*) mreže. Telefonska mreža ima i VLR koji je registar podataka o pretplatnicima izvan mreže, a EIR služe autorizaciji i identifikaciji korisnika [5]. Podatkovne i telefonske komponente dijele HLR koji je registar podataka o pretplatnicima unutar mreže. Na slici 3. ilustrirani svi opisani elementi UMTS arhitekture.



Slika 3. Arhitektura UMTS mreže

⁴ Naziv za načine povezivanja s Internetom koji omogućuju velike brzine prijenosa podataka.

Brzine prijenosa podataka u UMTS mrežama, teoretski su 960 kbit/s, a realno 384 kbit/s [5]. Prema određenim standardima mobilne mreže moraju imati brzine prijenosa podataka barem 384 kbit/s da bi se smatrale 3G mrežama. Sustavi 3G mreža koriste CDMA i WCDMA (eng. *Wideband Code Division Multiple Access*) metode višestrukog pristupa. WCDMA metoda višestrukog pristupa, kao i CDMA, koristi široki spektar frekvencija i shemu kodiranja, ali je predviđena za rad u širokopojasnom sustavu.

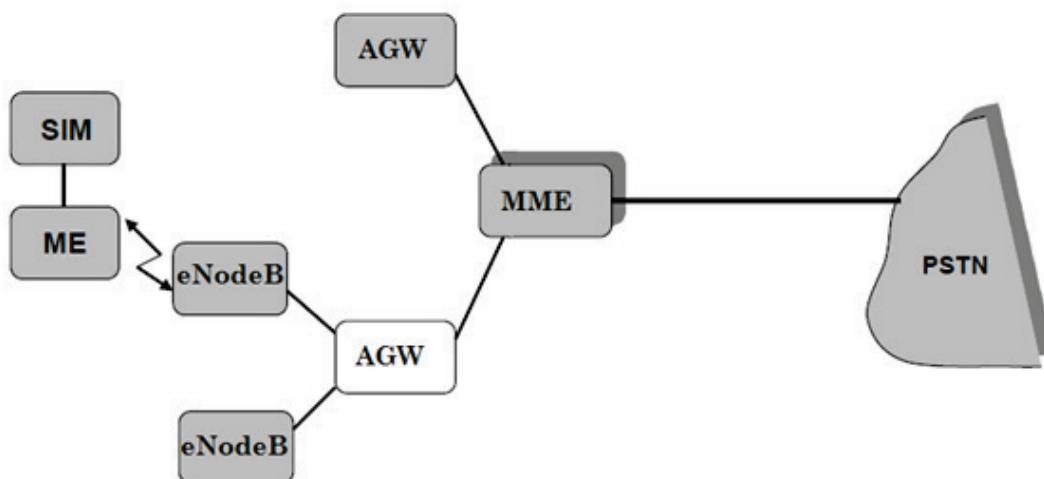
UMTS sustav nadograđen je boljim metodama višestrukog pristupa, FDMA, TDMA i CDMA. FDMA koristi frekvencijsku podjelu i tako omogućava korištenje jednog kanala od više korisnika. 3.5G naziva se HSPA i pruža znatno veće brzine prijenosa podataka. HSPA se dijeli na HSDPA i HSUPA. Brzine koje nudi su do 42 Mbit/s u silaznoj vezi, što je znatno više od prethodnih 384 kbit/s. HSPA je unaprijeđen u HSPA+ i time mu se brzina prijenosa podataka promijenila. Javljaju se brzine od 14 Mbit/s do teoretskih 84 Mbit/s [5].

Ono što sustavi treće generacije donose su povećanje brzine prijenosa podataka i time pridonose novim mogućnostima i čine usluge jednostavnim. Velike brzine povezivanja omogućavaju po prvi puta prijenos većeg niza različitih podataka, tj. multimedijskog sadržaja kao što su televizija i radio. Mobilni uređaji imaju sposobnosti reproduciranja visoko kvalitetnih video poziva, video sadržaja ili vrlo zahtjevne *online* igre⁵. Olakšan je pristup Internetu, skidanje i surfanje.

2.4 Četvrta generacija mobilnih mreža

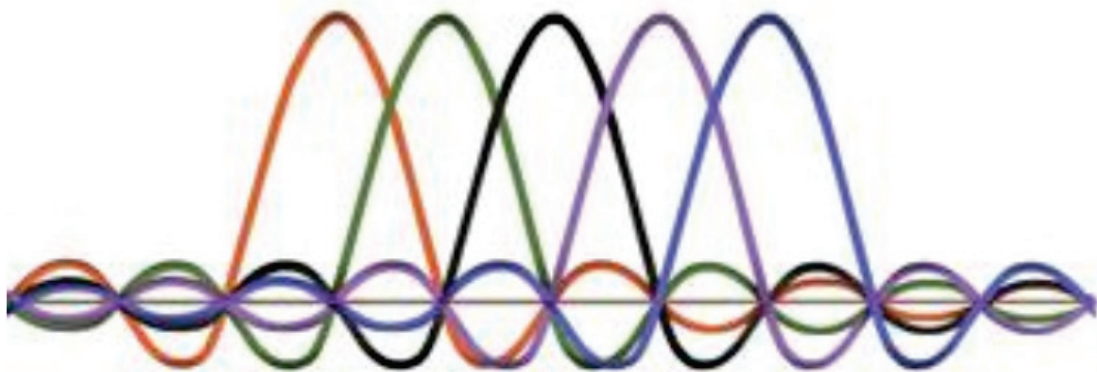
Treću generaciju zamjenjuje četvrta generacija (4G) radi porasta korisničkih zahtjeva i porasta u podatkovnom prometu. 4G mreže nazivaju se i LTE (eng. *Long Term Evolution*) mreže te donose brzine podatkovnog prometa mnogo veće od prijašnjih generacije. Brzine preuzimanja maksimalno su 1 Gbit/s, a realno do 173 Mbit/s [5]. Temeljene su na digitalnom prijenosu informacija komutacijom paketa i koriste IP protokol. Arhitekturu 4G sustava čime NodeB (ekvivalent BTS-a), AGW (eng. *Access Gateway*) i MME (eng. *Mobility Management Entity*) [5]. eNodeB je mrežna oprema koja je spojena na mobilnu telefonsku mrežu i izravno komunicira s mobilnim uređajima bežičnim putem. One su ekvivalent bazne stanice (BTS) u GSM mrežama. AGW je pristupni čvor, obično postavljen u telefonsku centralu a povezuje korisničke linije s jezgrenom mrežom. MME je ključni kontrolni čvor koji u LTE mreži. Slika 4. ilustrira navedene elemente arhitekture.

⁵ Vrsta igara koja zahtjeva stalnu povezanost s internetskom mrežom.



Slika 4. Arhitektura LTE mreže

Mobilne mreže 4G još uvijek su u razvoju i s vremenom će zamijeniti 3G sustave kompletno. Pogodne su za paketsku mobilnu komunikaciju – VoIP (eng. *Voice over Internet Protocol*), te razmjene multimedijskog sadržaja putem Interneta. Koriste modulacijske postupke visoke učinkovitosti, OFDM (eng. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), i MIMO (eng. *Multiple Input Multiple Output*) tehnologiju. OFDM znači frekvencijski multipleks ortogonalnih podnosilaca. Sadržaj poruke se ne modulira samo jednim nosiocem (prijenosni signal), već se modulira na s više podnosilaca da bi se povećala otpornost na pogreške u prijenosu, kao što je prikazano na slici 5., posebno u gradskim sredinama.



Slika 5. Ilustracija valnog oblika OFDM signala s 5 podnosioca [5]

MIMO sustavi⁶ su komunikacijska osnova mobilnih sustava četvrte generacije. Zajedno ove dvije tehnologije omogućuju slanje nezavisnog sadržaja istom frekvencijom.

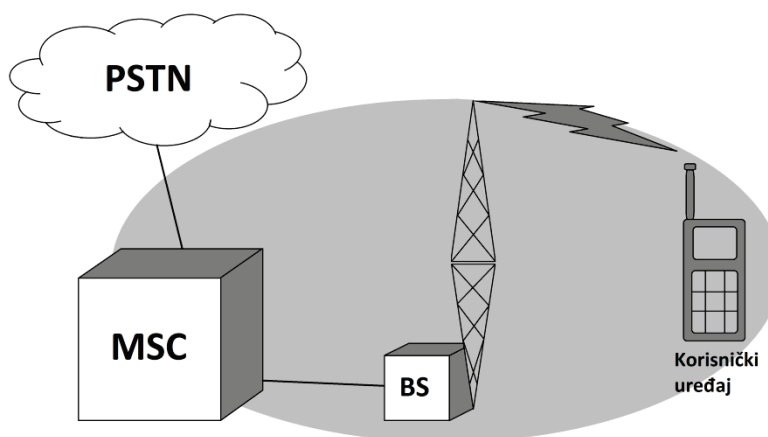
⁶ Skraćenica koja se odnosi na model komunikacijskog sustava s više prijemnika i odašiljača.

O nadogradnji sustava četvrte generacije rano je govoriti jer se još nije počela koristiti u potpunosti. Ako se govori o budućnosti 4G mreže govori se o petoj generacije mobilnih mreža ili 5G. One su zamišljene kao iduća faza mobilnih telekomunikacijskih sustava. planirane su za brzine prijenosa podataka veće od 4G-a, kao i druga poboljšanja. Prijenos podataka s brzinama od 1 Gbit/s, poboljšana konekcija, pokrivenost i učinkovitost signala, znatno manja latencija itd. Zbog većih brzina postojat će nove funkcionalnosti kao što su reprodukcija multimedijских sadržaja visoke kvalitete, IPv6 i dr. Ove mreže omogućit će korištenje nevjerojatnih usluga, aplikacija i igrice na mobilnim telefonima.

Ono što donose 4G mreže su velike brzine prijenosa podataka koje omogućuju korištenje većeg broja usluga od 3G mreža. Mrežne usluge kao što su HD (eng. *High Definition*) televizija, 4K video sadržaji, nove i zahtjevnije *online* igre, IP telefoniranje, *instant chat* i dr. Pristup Internetu u 4G mrežama postaje osnovna usluga.

3. Razvoj infrastrukture mobilnih mreža

Potreba za pokretnom ćelijskom strukturom javila se zbog nedostataka dotadašnjih mobilnih sustava. Prije ćelija mobilni telefonski sustavi bili su ograničenog dometa, malih performansi te nisu koristili frekvencijski spektar učinkovito. Ćelijske mobilne mreže konstruirane su tako da se signal distribuira pomoću baznih stanica, a područje pokrivanja se naziva ćelija. Svaka ćelija ima jednu fiksnu baznu stanicu koja odašilje signal. Bazne stanice tako opskrbljuju područje pokrivenosti sa signalom koji se može koristiti za prijenos glasovnih, podatkovnih i drugih vrsta informacija. Mobilna stanica uspostavlja vezu koristeći elektromagnetske valove između odašiljača i prijemnika. Kod takvog bežičnog prijenosa bitno je da je valna duljina dvostruko veća od duljine antene ($\lambda/2$), kako bi se ostvario optimalan rezultat, ali nije uvijek slučaj zbog ograničenja kod dizajniranja uređaja. Ćelije koriste različite frekvencije od susjednih ćelija kako bi se izbjegle interferencije i dobio optimalan prijenos i kvaliteta.

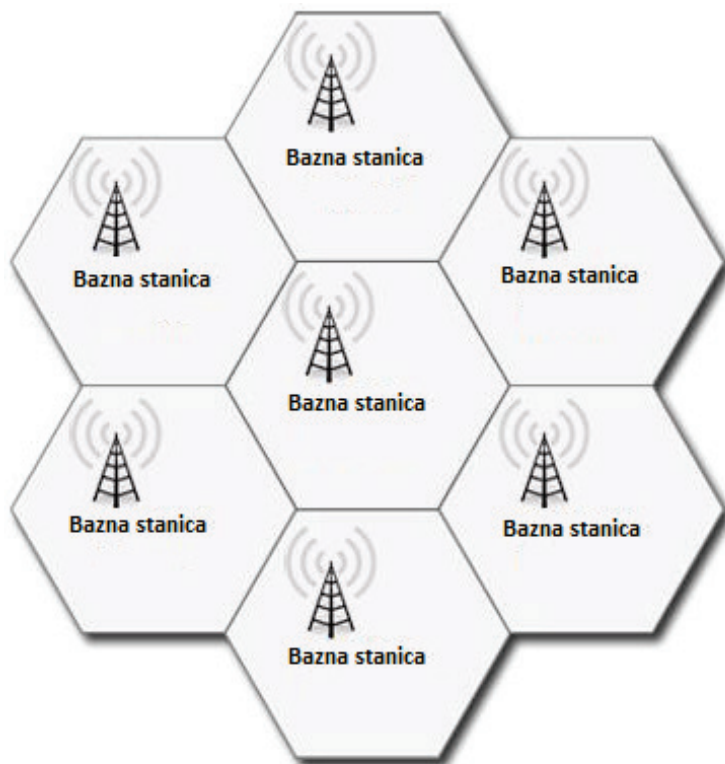


Slika 6. Pojednostavljeni prikaz komunikacije između korisnika i bazne stanice

3.1 Ćelijski koncept

Ćelijski koncept se pojavio početkom 19. st. ali tehnologija nije bila razvijena da postane više od koncepta. Prve ćelije bile su velike i nisu mogle posluživati velik broj korisnika. Korisnik je također morao ostati unutar pokrivenosti bazne stanice inače bi došlo do prekida signala. Pojmovi ponovnog korištenja frekvencije i prekapčanja javljaju se tek kasnije. Ćelijska struktura je implementirana tako da su bazne stanice udaljene jedna od druge tako da ne dolazi do prevelikih preklapanja, a da je cijelo područje pokrivanja pokriveno signalom. Takav način pruža pokrivenost signalom u širokom geografskom području. Također omogućuje da velik broj uređaja, kao što su mobilni uređaji, bude povezan i da komuniciraju međusobno kao i fiksnom

mrežom bilo gdje u mreži. Ono što je bitno spomenuti je da čak i ako se korisnici kreću kroz više od jedne bazne stanice tijekom prijenosa, se poziv ne prekida već se prespaja na drugu. Na slici 7. je ćelijska struktura koja služi kako bi se bolje prikazalo kako bazne stanice pokrivaju područje i u kakvom su međusobnom odnosu.

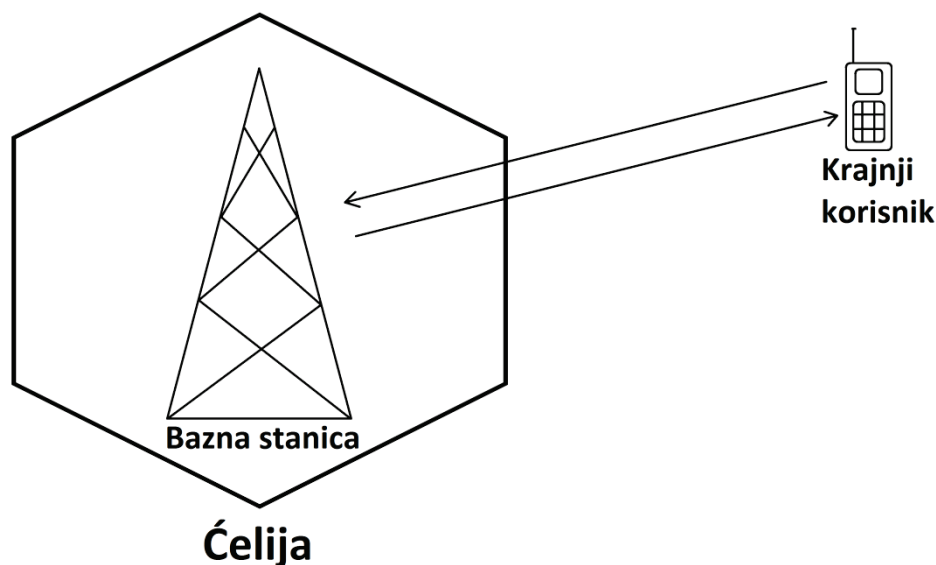


Slika 7. Prikaz ćelijske strukture [7]

Smanjenje potrošnje energije bežične mobilne mreže je bitan problem, a ćelije su s vremenom postajale sve manje te efektivnije raspolažu pruženim resursima kako bi se riješio taj problem. Na to je utjecao razvoja antena i antenskih sustava. Ćelije koje su nekad bile velike i nisu mogle prihvatiti veliki broj korisnika s vremenom su postajale manje i kapacitet im je rastao. Dijeljenje ćelija koristi se kako bi se poboljšala efikasnost i kako bi se efikasno iskoristio frekvencijski spektar. Za bolju kvalitetu signala i pokrivenost zaslužne su i usmjerene antene koje bolje pokrivaju neko željeno, teže dostupno, područje.

Moderni ćelijski koncept radi na principu dva para frekvencija, gdje je jedna za dolazni signal, a druga za odlazni – slika 8. Vrste kanala koje koristi su fizički i logički kanali. Fizički kanal je svaki vremenski odsječak (eng. *time slot*) u frekvenciji, a logički kanal služi za prijenos različitih vrsta informacija između MS-a i BTS-a, kao što su :

- Prometni kanal (eng. *Traffic channel*)
- Kontrolni kanal (eng. *Control channel*).



Slika 8. Ćelijski koncept

Ćelijske strukture generalno se dijele na tri vrste – makro, mikro i piko. Makro s radijusom stanica od 1 km do 30 km, mikro s radijusom stanica od 200 m do 2000 m i piko s radijusom stanica od 4 m do 200 m [9].

3.2 Infrastrukturni dijelovi mreže

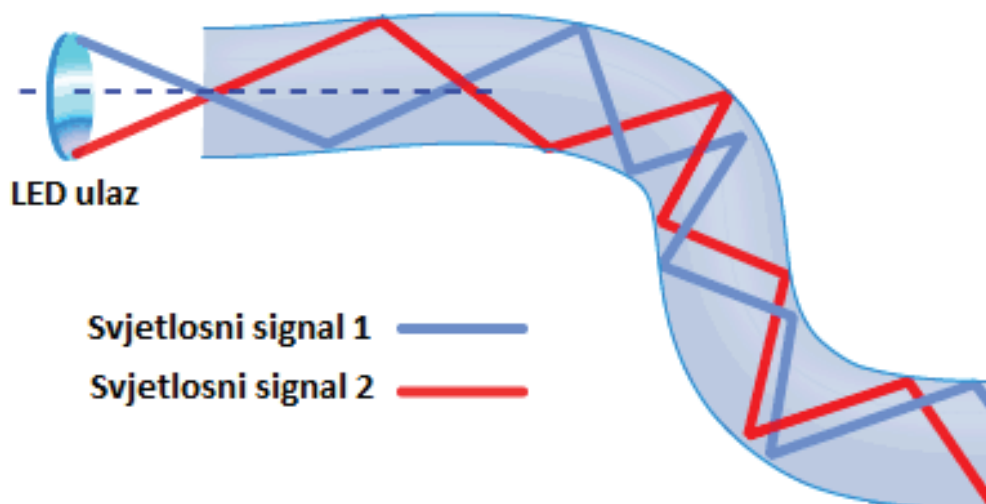
Telekomunikacijske tehnologije i infrastruktura moraju pratiti evoluciju ostalih tehnologija. To obuhvaća nove aplikacije, veće količine sadržaja i potrebu za boljom distribucijom signala. Ovo je, kao i svaka evolucija, stalno promjenjivi proces, ali ipak se mogu odrediti elementi koji sačinjavaju mrežu. Postoji više načina na koji se može podijeliti mreža, a neka osnovna podjela bila bi podjela neke MAN mreže (eng. *Metropolitan Area Network*). Ona se može podijeliti na prijenosne mreže na velike udaljenosti (eng. *Long-Haul Networks*) i pristupne mreže (eng. *Access Networks*). U ovom radu fokus će biti na pristupne i dio jezgrene mreže.⁷

Pristupna mreža kod klasične telefonske mreže je dio mreže koji povezuje korisnika s centralom. Kod mobilnih mreža dio između korisnika i centrale povezan je radiosignalom i taj dio neće biti obrađen detaljnije u ovom radu. Ono što je bitnije i više se tiče ovog poglavlja je dio mreže koji povezuje centrale, tj. koji prenosi informacije od izvorne do odredišne centrale. Centrale sadrže takozvano distribucijsko mjesto (eng. *Distribution point*) te su kao posljednja točka u mreži

⁷ Jezgrena mreža povezuje komunikacijske sustave, tj. centrale, i ostvaruje veze prema drugim mrežama.

zadužene za pružanje informacija korisnicima. Informacija se nakon toga kreće kroz mrežu koja je puna prespojnih točaka (eng. *Cross-connection point*) koje određuju usmjerenje. Kada je potrebno postoje i takozvani glavni razdjelnici (eng. *Main distribution frame*) koji distribuiraju veliki broj informacija na velike udaljenosti u kratkom vremenu. Kako bi ovakav sustav funkcionirao potreban je veliki kapacitet mrežne infrastrukture i pojedinih elemenata. Glavni vodovi su obično visokih kapaciteta i povezuju centrale s prespojnim točkama zbog bržeg prijenosa informacija. Evolucija usluga i porast količine prometa tjera pružatelje mrežne infrastrukture da sve više prelaze na optičke kablove zbog njihovog izuzetno većeg kapaciteta.

Optički kabeli počinju se javljati nakon razvoja optičkih vlakana koji se desio u drugoj polovici dvadesetog stoljeća. Tome je pridonio izum fiberskopa, a nakon uspjeha kod prijenosa svjetlosti kroz vlakno i pronalaska dovoljno jakog izvora svjetlosti počinje se koristiti za prijenos podataka. Prva optička vlakna bila su vrlo neefikasna zbog velikih prigušenja i rasipanja svjetlosti⁸, ali 1970-tih godina razvijeno je prvo optičko vlakno koje je imalo prigušenja manje od 20 dB/km. Ovakvo prigušenje bilo je više nego prihvatljivo za dotadašnje telekomunikacijske usluge. Prve brzine prijenosa iznosile su 45 Mbit/s za optička vlakna s više dioda, a kasnije se saznalo da su jednomodna vlakna i do 10 puta bolja za prijenose [10].



Slika 9. Princip rada svjetlovoda

⁸ Rasipanje svjetlosti ili disperzija je razlaganje složene svjetlosti na boje zbog ovisnosti indeksa loma o valnoj duljini svjetlosti. Nastaje kod loma svjetlosti (refrakcije), ogiba (interferencije), totalne refleksije i dr.

Slika 9. prikazuje način na koji se dva svjetlosna vala različitih frekvencija i pod različitim kutovima kreću kroz svjetlovod. Spektar efektivnog djelovanja optičkih vlakana je dosta ograničen te se ta područja zovu prozori. Prozori se nalaze između dijelova spektra gdje je prigušenje veliko. Prvi svjetlovodni sustavi bili su na 850 nm području, koje se naziva prvi komunikacijski prozor. Drugi komunikacijski prozor (eng. *S band*) je 1310 nm područje i on se pokazao kao bolji zbog manjeg prigušenja. Treći komunikacijski prozor (eng. *C band*) je 1550 nm područje s još manjim optičkim prigušenjem, a zadnji razvijeni i implementirani je četvrti komunikacijski prozor (eng. *L band*) u 1625 nm području [10].

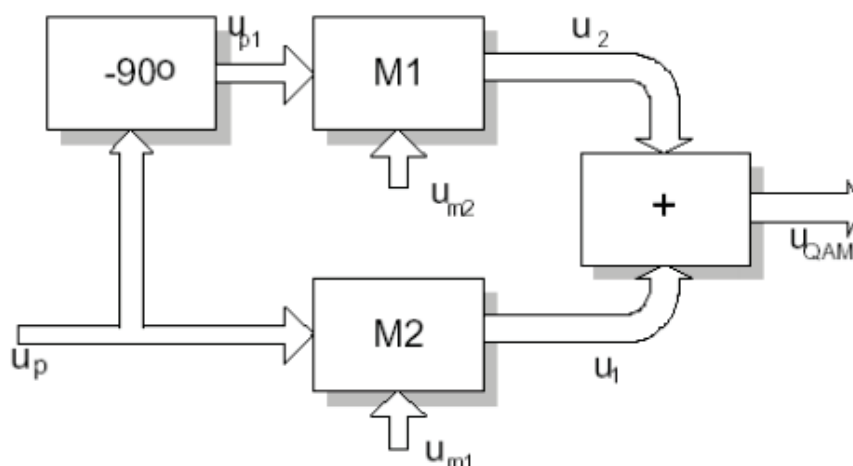
Optičko vlakno⁹ je najperspektivniji prijenosni medij budućnosti. Ne samo jer omogućava velik kapacitet radeći na frekvencijama elektromagnetskih valova u području svjetlosti, već i jer su brzine i kvaliteta također veće. Još jedan razlog zbog kojeg je optičko vlakno budućnost prijenosa informacija je i sirovina od koje se izrađuje – za razliku od ostalih medija, kao onih koji koriste bakar, optička vlakna izrađuju su od silicijevog dioksida (SiO_2) koji je dostupniji u prirodi [11]. Prednosti nad bakrenim medijima su manja interferencija, prigušenje i veća širina pojasa, a mana je visoka cijena implementacije u odnosu na bakrene vodiče.

3.3 Modulacijski postupci

Modulacijski postupci su načini pretvorbe signala iz jednog oblika u drugi, najčešće radi boljeg prijenosa. Moderni sustavi koriste većinom digitalne signale pa su i postupci modulacije i demodulacije digitalni. Digitalna modulacija je proces u kojem se digitalni signal utiskuje u signal nosioc i, ovisno o određenom parametru, modulira. Postoje tri osnovne vrste digitalne modulacije: modulacija amplitude (eng. *Amplitude Shift Keying*, ASK), faze (eng. *Phase Shift Keying*, PSK) i frekvencije (eng. *Frequency Shift Keying*, FSK). Koristeći kombinacije ova tri osnovna modulacijska postupka može se dobiti razne druge modulacije. Primjer može biti modulacija amplitude i faze nosioca može dati modulaciju koja se naziva ortogonalna amplitudna modulacija.

Kvadratura modulacija amplitude (eng. *Quadrature amplitude modulation*, QAM) je digitalna modulacija te prenosi dva digitalna toka bitova, promjenom, modulacijom amplitude dva vala nosioca pomoću promjene amplitude. Valovi nosioci iste su frekvencije, sinusni, ali su fazno pomaknuti jedan od drugoga za 90° , kao što je prikazano na slici 10.

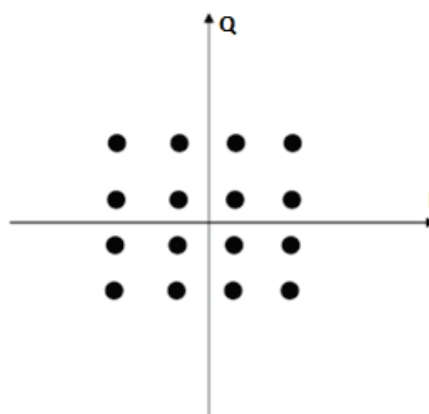
⁹ Optičko vlakno najčešće je napravljeno od stakla ili plastike, a služi za prijenos informacija pomoću svjetlosti. Nalaze se u optičkom kabelu, a kao prijenosni medij su mnogo brža, pouzdanija i sigurnija od bakrene parice.



Slika 10. Dobivanje QAM signala prikazano blok shemom [12]

Signal U_{m1} modulira amplitudu prijenosnog signala U_p , a signal U_{m2} istovremeno modulira amplitudu signala U_{p1} , koja je fazno zakrenuta za 90° u odnosu na U_p . U_{QAM} je rezultat zbrajanja ta dva signala, odnosno zbroj sinusoide i kosinusoide koje su iste frekvencije. Izraz za definiranje QAM sustava je 2^n - QAM, gdje je n broj bitova.

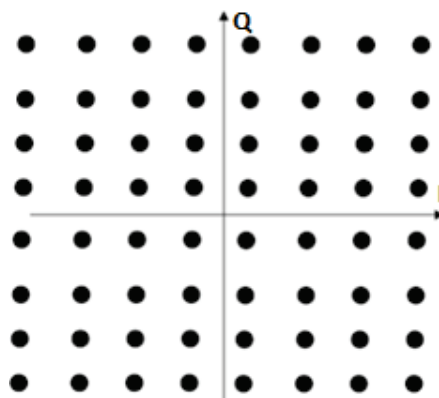
QAM modulacija često se označava s M-QAM. Razlog tome je gore navedena formula, koja kod 16-QAM modulacije glasi $2^4=16$. Sustav dakle izgleda kao što je prikazano na slici 11 [13]. Tok od 400 kbit/s se usporava i pretvara u tok simbola, 4 bita = 1simbol, i protok simbola je 100 ksymbols/s. Ovo služi kako bi se smanjila potrebna širina pojasa, ali se produljuje trajanje informacije.



Slika 11. Prikaz 16-QAM modulacije u koordinatnom sustavu [13]

QAM se koristi za radijske komunikacije i aplikacije za prijenos podataka. Osim toga, varijante QAM-a koriste se i za mnoge bežične tehnologije. Za većinu takvih aplikacija koriste se 64-QAM i 256-QAM. Slika 12. prikazuje 64-QAM pomoću

dijagrama. To je dijagram koji prikazuje raspored simbola, odnosno odnos amplitude i faze signala kod prijenosa pojedinog simbola.



Slika 12. Prikaz 64-QAM modulacije u koordinatnom sustavu [13]

Vrlo je bitno spomenuti korisnost i odnos signal/šum. Korisnost je omjer dobivene i uložene energije. Kada se govori o QAM sustavu govori se o spektralnoj učinkovitosti te ona označava koliko se bitova po sekundi informacije prenosi u pojasu od 1 Hz. Spektralna korisnost u osnovnom pojasu kada se provodi uzorkovanje je 2 bit/s/Hz. Kod digitalnih modulacijskih postupaka se korisnost povećava jer se bitovi pretvaraju u simbole. Tako je kod 16-QAM-a korisnost 4 bit/s/Hz, a kod 64 QAM-a je 6 bit/s/Hz. Spektralna korisnost je idealna korisnost sustava te je kod stvarnih manja. Manja je zbog toga što širina pojasa nije beskonačna i karakteristike filtra koji nije beskonačno strma, a to čini bitove "duljima" u vremenu. Zbog toga je stvarna spektralna korisnost manja i 20% od teoretske. Šum je zapravo ne korisna informacija koja nastaje prilikom prijenosa signala kroz sustav. Šum u kanalu utječe na čitanje pojedinih simbola jer mijenja amplitudu i fazu signala nosioca koji određuje položaj simbola u dijagramu stanja. Na prijamoj strani se signal nosioc pod utjecajem šuma, pomoću raznih postupaka, obrađuje tako da se šum što bolje neutralizira kako bi se mogao isčitati pravilan simbol. Odnos signal/šum (formula je S/N) je mjera kvalitete sustava. Odnos signal/šum pokazuje koliki je maksimalni raspon izlaznog signala, tj. razmak između najvećeg signala na pojačalu i razine šuma.

Prednost digitalnih sustava je veća tolerancija na šum. Bitno da je primljeni simbol što bliže originalnom simbolu, u konstelacijskom dijagramu, nego susjednima. Šum se smanjuje povećavanjem snage signala, a kako bi se smanjila mogućnost pogreške umeću se zaštitni bitovi radi korekcije moguće pogreške i njenog ispravljanja.

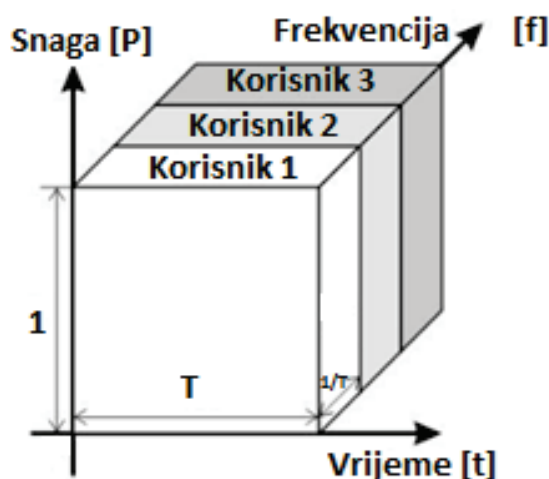
Ovo je razlog zašto neki sustavi koriste 64 QAM, a neki 256 QAM. Šum je isti u oba sustava, ali zbog smanjenog razmaka između simbola čini se kao da je porastao. Nekada je dakle bolje koristiti jednostavniji sustav zbog ekonomičnije izvedbe.

3.4 Sustavi višestrukog pristupa

Glavni problem bežičnih komunikacijskih sustava je omogućavanje pristupa što većem broju korisnika u što manjem frekvencijskom pojasu. U modernim digitalnim bežičnim sustavima koristi se nekoliko metoda višestrukog pristupa. Dvije starije metode višestrukog pristupa su s frekvencijskom raspodjelom (FDMA) i s vremenskom raspodjelom (TDMA). One koriste podjelu frekvencije i podjelu vremena kako bi omogućile višestruki pristup. Noviji sustav višestrukog pristupa je CDMA sustav koji koristi kombinaciju frekvencijske i kodne podjele. Ovaj rad će se fokusirati najviše na FDMA sustave višestrukog pristupa.

Višestruki pristup podjelom frekvencije ili FDMA je metoda pristupa kanalu koja omogućuje korisnicima individualnu dodjelu jednog ili više kanala ili frekvencija. Posebno je uobičajena u satelitskoj komunikaciji. Kao i druge metode višestrukog pristupa, koordinira pristup između više korisnika.

Kod FDMA, svi korisnici dijele frekvencijski kanal, ali svaki korisnik prenosi svoje informacije na svojoj frekvenciji. Odnosno, svaki korisnik prenosi i prima na različitim frekvencijama i svaki korisnik ima svoj jedinstveni frekvencijski prostor (eng. *slot*). Prednost ovakvog sustava je što se može koristiti s analognim i digitalnim signalima. Također nije osjetljiv na probleme sinkronizacije vremena koje TDMA ima (eng. *Jitter*). Nedostaci su ograničenja na ponovnoj upotrebi iste frekvencije u susjednim ćelijama i slab kapacitet.



Slika 13. Prikaz podjele frekvencije u koordinatnom sustavu kod FDMA [14]

Kod FDMA zajednička srednja propusnost dijeli se na pojedinačne kanale podjelom frekvencije kao što je prikazano na slici 13. Svaki korisnik dobiva svoj kanal u koji je utisnut signal s podacima.

Podržava fiksne usluge i usluge na zahtjev. Kod usluga u stvarnom vremenu ovaj sustav omogućava korisnicima da skoro nesmetano dobivaju željene podatke tako što iz omogućuje naizgled kontinuirani pristup frekvencijskom spektru. To čini tako da privremeno dodjeljuje frekvencije nosioca.

Najbolji primjeri FDMA sustava su kabelski televizijski sustav i radiodifuzija. Kao prijenosni medij, kod televizijskih sustava, koristi se koaksijalni kabel, a on se koristi za emitiranje stotina video/audio kanala. To se može ljepše prikazati kroz računicu. Ako kod koaksijalnog kabla propusnost iznosi oko 4 MHz do 1 GHz, širina pojasa može se podijeliti na potkanale od 4.5 MHz do 6 MHz, ovisno o standardu i frekvenciji sustava. Kod NTSC-a (eng. *National Television System Committee*), koji se koristi u Amerikama, govori se o 60 Mhz-nom sustavu i 6 MHz potkanalu. Za NTSC određeno je da je potrebo 4.2 MHz za prijenos multimedijalnog signala, a kada se na to doda 1.8 MHz za modulacijske postupke dobiva se 6 MHz. Kada je riječ o PAL (eng. *Phase Alternating Line*) sustavu širina potkanala varira ovisno o sustavu i frekvenciji, uvelike jer se koristi u ostatku svijeta gdje su standardi različiti.

Kod novijih digitalnih tehnologija čak ni to više nije ograničenje. Jedan kanal više ne mora koristiti samo jedan 7 MHz ili 8 MHz potkanal, već više kanala može dijeliti jedan zahvaljujući raznim vrstama kompresije i multipleksiranjima.

Još jedan dobar primjer je i korištenje u svjetlovodnim komunikacijskim sustavima. Jedan svjetlovodni kabel ima vrlo velik frekvencijski pojas koji se može podijeliti pomoću FDMA. Kod svjetlovodnih sustava različite vrste podataka prenose se istodobno, a svakoj je dodijeljen drugi svjetlosni pojas, tj. frekvencija za prijenos kroz medij. Frekvencija svjetla se najčešće ne koristi u ovakvom smislu kada se govori o FDMA sustavu, već se kod svjetlovoda on naziva WDMA (eng. *Wavelength division multiple access*) ili multipleksiranje valne duljine (eng. *Wavelength division multiplexing* - WDM).

4. Utjecaj mrežnih igara na promet i infrastrukturu

Igre postoje oduvijek, pa čak i u životinjskom svijetu. Prije nego što životinje počnu loviti kako bi se prehranile, igraju se međusobno i tako uče. Igre su uvijek bile bitan dio razvoja te su se razvijale kako se razvijao svijet. Razvojem tehnologije igre koje su bile na otvorenom, danas su se preselile u virtualne sfere. Iako omogućuju interakciju s prijateljima i drugim ljudima cijelo iskustvo je posve virtualno. To su igre na konzolama, računalima, pa čak i mobilnim uređajima.

Iako su video igre počele s razvojem 1950-tih godina povijest video igara proteže se čak deset godina prije, do 1940. godine, kada je napravljeno „prvo računalo“ isključivo za igranje jedne igre [15]. U to vrijeme znanstvenici su radili projekte u formatu jednostavnih igara i simulacija kao dio svojih istraživanja. Video igre¹⁰ nisu postale popularne još narednih 30 godina. Početak popularnosti dogodio se 1970-ih i 1980-ih godina, kada su video igre, igraće konzole te računalne igre i računala pušteni u prodaju i počela je komercijalna upotreba istih. Video igre su od tada postale popularan oblik zabave za svakoga te su postaje dio kulture u većini svijeta. U ovome radu fokus će biti na igrama koje se igraju putem mobilnih uređaja, kao što su pametni telefoni, te njihov utjecaj na razvoj tehnologije. Mobilne igre pronašle su svoje mjesto te su postale konkurencija za računalne i konzolne igre i postale su veliki dio u generiranju iznadprosječnih profita.

Uređaji koji pokreću mobilne igre mogu se nazvati i mobilni terminalni uređaji. Terminalni uređaji su svi krajnji terminali u mreži, a mobilni terminalni uređaji su prema tome krajnji mrežni uređaji koji su povezani na mrežu nekom od mobilnih tehnologija. Postoji mnogo vrsta terminalnih uređaja, a neki od njih su računala – stolna, prijenosna ili tablet, mobilni uređaji, čitači e-knjiga, pametni telefoni, igraće konzole, nosivi terminalni uređaji i dr. Toliko je elektroničkih uređaja danas umreženo da klasične klasifikacije više nisu dovoljne te ne postoji gotova klasifikacija svih terminalnih uređaja, a tome u prilog idu i novi uređaji koji se svakodnevno pojavljuju na tržištu.¹¹ Isto tako je i s uslugama, koje svakim danom napreduju i javljaju se nove. Usluge mobilnih terminalnih uređaja mogu se podijeliti na:

1. osnovne usluge
2. dodatne usluge.

¹⁰ Video igre se igraju koristeći računala ili igraće konzole priključene na računalo ili TV prijemnik.

¹¹ *Internet of Things*, kao i pametni kućanski uređaji, koji se svakodnevno pojavljuju.

Klasični mobilni terminalni uređaji pružaju osnovne usluge, kao što je komunikacija između dva korisnika, međutim danas gotovo niti jedan uređaj ne pruža samo osnovne usluge. Dodatne usluge mogu se podijeliti na:

1. teleusluge
2. usluge prijenosa i usmjeravanja
3. dopunske usluge.

Teleusluge su normalne telefonske usluge i odnose se na klasične telefonske komunikacije i slanje SMS (eng. *Short Messages Service*) poruka. Usluge prijenosa i usmjeravanja odnose se na usluge koje korisnicima pružaju mogućnost prijenosa podataka. Pod dopunske usluge spadaju prosljeđivanje poziva, stavljanje poziva na čekanje, blokiranje brojeva, i dr. Razlog zašto je ova podjela bitna su usluge prijenosa i usmjeravanja. Kada se govori o mobilnim igrima govori se o uslugama prijenosa podataka.

Posljednjih nekoliko godina, industrija mobilnih igara postiže sve veći rast i razvoj. Financijski pokazatelji prikazuju kako je tržište mobilnih igara u stalnom rastu. Mobilne igre danas zaokupljaju 17% tržišta svih video igara te također ostvaruju 27% dobitaka od ukupnih, gotovo, 100 milijardi američkih dolara godišnje [16] [17]. To je preko 27 milijardi američkih dolara koji odlaze na igranje raznih mobilnih igara. Statistike govore da preko pola odrasle svjetske populacije igra neku vrstu igri. Po ovim statistikama vidljivo je da je broj korisnika, tj. igrača, mobilnih igara velik i u porastu. Kao što je i broj igrača u porastu tako je i njihovo potraživanje. Korisnička očekivanja rastu konstantno, a ubrzanim razvojem tehnologije i njihova očekivanja su u konstantnom ubrzanom porastu. Zbog toga infrastruktura i usluge moraju skoro svakodnevno pronalaziti nova rješenja kako bi udovoljili korisnicima i ispunili njihova očekivanja. Zapravo, kako bi održali kvalitetu usluge (eng. *Quality of Service* - QoS) što višom.

4.1 Zahtjevi igara na brzinu odziva mreže

Kao i kod ostalih prijenosa podataka kroz mrežu, tako i kod mobilnih igara, javljaju se određeni zahtjevi i tolerancije. Kada je riječ o, na primjer, prijenosu slika kao informacije, potrebno je osigurati dovoljnu propusnost, ali se tolerira kašnjenje. Ako se pak govori o prijenosu nekog multimedijalnog sadržaja *stream*-anjem onda se traži veća propusnost, manje se tolerira kašnjenje te je potrebna vrlo mala varijacija kašnjenja. Kad je riječ o mobilnim igrima, koje se igraju putem mreže, onda je situacija vrlo zahtjevnja. Novije igre zahtijevaju veliku propusnost kako bi se mogle pokretati i koristiti. Također kašnjenja trebaju biti što manja i u određenim granicama kako bi korisnik mogao igrati na zadovoljavajući način, u protivnom igrači koji imaju manja kašnjenja imaju prednost u odnosu na one s većima.

Mobilne igre su zapravo interaktivne multimedijske aplikacije¹² koje koriste više različitih tipova podataka. One su kao i svaki multimedijski sadržaj te imaju za cilj stvaranje, grupiranje, prijenos, pohranu, obradu i prezentaciju informacija i sadržaja korisniku. Ono što ih čini različitima je interaktivnost. Interaktivnost je ta koja zahtjeva mala kašnjenja i brzi odziv kako bi se upotpunilo igračko iskustvo. Pošto su igre definirane kao interaktivne multimedijske aplikacije bilo bi dobro razdijeliti ih od ostalih sličnih sadržaja. Mogu se podijeliti ovisno o zahtjevima na mrežu, pa bi neka osnovna podjela bila na:

1. *multiplayer* igre
2. ozbiljne igre
3. lokacijski bazirane igre
4. igre proširene i virtualne stvarnosti.

4.1.1 Multiplayer igre

Ova vrsta mobilnih igara podržava više igrača. Više igrača istodobno, bilo na daljinu putem mreže ili lokalno putem WiFi mreže, može igrati istu igru. Igrači ne moraju svi igrati istodobno, niti moraju svi sudjelovati, ali imaju tu mogućnost. Načini na koje igraju mogu se razvrstati u svije kategorije:

1. sinkronizirane igre u realnom vremenu
2. asinkrone igre.

U sinkroniziranim igrama u stvarnom vremenu igrača iz cijelog svijeta se povezuju i zajedno sudjeluju. Ovakva izvedba nije otporna na kašnjenja i zahtjeva vrlo stabilnu konekciju. Razlog tome je u samom imenu, sinkronizirane znači da bi svi igrači trebali imati jednaku šansu reagirati na istu sinkroniziranu situaciju, a to im omogućuje stvarno vremenska komponenta. Igra se odvija u stvarnom vremenu i igrači imaju šansu reagirati u stvarnom vremenu također. Ako je dakle kašnjenje malo, do 30 ms, može se smatrati nezamjetnim i tako omogućiti svima da, virtualno, istovremeno odreagiraju na istu situaciju i tako čine igru pravednom i kompetitivnom. Kod asinkronih igara postoje metode koje se koriste kako bi ovakav način funkcionirao. Prva je da igrači svoje aktivnosti obave, a zatim se iste emitiraju u nekom kasnijem trenutku drugim igračima. Ovakav način je uobičajen u velikom broju mobilnih igara i daje dojam da se natječe u pravom vremenu. Druga metoda je da igrači igraju istu igru istovremeno, ali njihove aktivnosti se prenose kroz poteze (eng. *Turn*). Takve igre se nazivaju *turn-based* igre ili igre na poteze. Vrlo je jednostavno jer radi na principu sličnom šahu. Kod igri na poteze igrači obave svoje aktivnosti i

¹² Interaktivne aplikacije koje koriste više različitih vrsta podataka. Npr. zvuk, sliku, video, tekst i dr.

završe svoj potez, a zatim isto učini protivnik. Asinkrone igre rješavaju probleme i potrebu za kontinuiranom vezom i povezanosti u stvarnom vremenu. Ovakve igre često omogućuju igračima da nastave gdje su stali u slučaju da nastane problem s vezom ili ako se igra isključi. Zbog toga su otpornije na kašnjenja.

4.1.2 Ozbiljne igre

Ozbiljne igre (eng. *Serious games*) su igre namijenjene edukaciji ili nekoj vrsti doživljaja radije nego zabavi. Iako ovakve igre postoje već dugo razvojem modernih mobilni uređaji postaju prisutne i na njima. Ozbiljne igre se koriste već godinama kao edukacijska pomagala i sredstva za obuku. Implementacijom na mobilne uređaje sve više ozbiljnih igara rade se u svrhe obrazovanja, promoviranju životnog stila i zdravstvenoj edukaciji i promociji. Neki od primjera su logopedija (igre koje pomažu učiti izgovarati), rehabilitacija u bolnicama (testiranje i stimulacija oštećenih živaca), zdravstvena edukacija (planovi prehrane, kalkulator kalorija, brojači koraka...), učenje stranih jezika, edukacija u opasnim zanimanjima (vatrogasci, piloti, gorske službe spašavanja...) i dr. Neke od navedenih igara su zaživjele više nego druge, ali ubrzanim razvojem moderne tehnologije samo je pitanje vremena kada će sve ovo biti dostupno na dlanu. Bitno je također naglasiti da je razlika između ozbiljne igre i neke edukativne aplikacije često jako tanka. Mreža kod ovakvih igri ili aplikacija može i ne mora biti uključena, ali u svrhu ovog rada gledaju se samo one koje koriste mobilnu mrežu. Takve igre nude informacije kao što su lokacija, računanje koraka, prijedenu udaljenost i sl. Zbog ovakvih usluga nisu otporne na kašnjenje jer inače dolazi do pogrešnih računa ili krive lokacije. Potrebna im je stalna povezanost i stabilna mreža.

4.1.3 Lokacijski bazirane igre

Lokacijski bazirane igre su igre koje koriste GPS kao fokus svojeg sadržaja [18]. Ovakve igre su pogodne za mobilne uređaje zbog mobilnosti i već ugrađene GPS mogućnosti. One koriste lokacijske aplikacije kako bi odredile pozicije igrača u stvarnom svijetu i njih prenijele u virtualni svijet. Očita razlika između lokacijskih igara i ostalih je u tome što ostale ne zanima lokacija igrača niti ona utječe na igru. Dakle lokacijski bazirane igre se mogu igrati bilo gdje i u bilo koje vrijeme, ali rezultat je vrlo drugačiji od ostalih igara. Takav način igranja često ograničava progresiju ili kompletno zaustavlja igru nakon što je sve na određenoj lokaciji obavljeno. Kod lokacijskih igara igračima se koordiniraju kretanja kao glavni elementi igre i time zahtjeva da je igrač u stalnom pokretu. Igre koje su dobar primjer su „*Pokémon Go*“ i „*Ingress*“.

Lokacijski bazirane igre moraju imati pristup mreži i dosta veliku brzinu kako bi radile. Istovremeno moraju imati pristup lokacijskim uslugama. Zbog određivanja lokacije kao bitne komponente nisu otporne na kašnjenje i moraju imati vrlo stabilnu vezu kako bi što bolje odredile lokaciju u stvarnom vremenu. Bilo kakva kašnjenja ili varijacije kašnjenja dovode glavnu komponentu, određivanje lokacije igrača, u pitanje.

4.1.4 Igre proširene i virtualne stvarnosti

Proširena stvarnost (eng. *Augmented Reality* - AR) je izravan ili neizravan pogled na fizički, stvarni svijet u okruženju čiji su elementi nadopunjeni pomoću računalno generiranih osjetilnih podražaja. To mogu biti zvuk, video sadržaj, grafike ili GPS podaci. Dakle može se reći da je u AR-u modificirani pogled na stvarnost. AR igre koriste naprednu modernu tehnologiju kako bi elemente iz fizičkog svijeta upotpunile s virtualnim predmetima i tako omogućuju da se funkcije tehnologije stope sa stvarnosti. Time povećaju korisnikovu trenutnu percepciju stvarnosti. Dok virtualna stvarnost zamjenjuje stvarni svijet sa simuliranim, i trudi se to što efikasnije napraviti, proširena stvarnost proširuje percepciju s više informacija koje se ne mogu vidjeti golim okom. Ovakve aplikacije često koriste i lokacijski bazirane usluge implementirane uz svoje. Dobar primjer AR igre je također „*Pokémon Go*“.

Virtualna stvarnost (eng. *Virtual Reality* – VR) je nešto drugačija i najčešće ne zahtijeva nikakve lokacijske usluge kako bi se koristila. Ona korisnika, ili igrača, uranja u virtualni svijet. Razlika je što je korisnik u potpunosti isključen iz fizičkog svijeta i cilj samog VR-a je da ga što bolje uroni u virtualni. Ovakve igre najčešće koriste uređaje kao što su „*Oculus Rift*“¹³, ali moderni pametni telefoni su postali dovoljno sposobni da se čak i oni mogu koristiti kao VR pomagalo. Primjer je „*Samsung VR*“ koji koristi „*Samsung*“ pametni telefon kao zaslon, zvučnik i procesorsku jedinicu kako bi korisnik mogao koristiti VR igre na predviđeni način.

AR i VR imaju vrlo slične zahtjeve. Oboje trebaju stabilnu mrežu i velik protok podatak. U protivnom dolazi do trzanja i loše izvedbe igre, a zbog načina na koji se informacije prenose kod ovakvih igara to može izazvati mučnine, glavobolje i sveukupno loše korisničko iskustvo.

¹³ Oculus Rift je VR „*headset*“ koji koristi računalo kako bi korisniku dao što potpuniji i bolji doživljaj virtualne stvarnosti.

4.2 Količina prometa i podjela igara prema količini prometa

Količina prometa ovisi uvelike o vrsti igre. U ovome radu riječ je o prometu koji te igre ostvaruju i zbog toga se mogu podijeliti, s obzirom na izvedbu, na dvije vrste:

1. igre koje se pokreću iz pretraživača
2. aplikacijske igre.

Igre koje se pokreću iz pretraživača su igre koje ne zahtijevaju nikakvu instalaciju ili preuzimanje kako bi se pokrenule. To su igre koje se učitavaju i igraju direktno iz Internet pretraživača. Takva vrsta igri koristi veći podatkovni prijenos prilikom pokretanja jer se podaci preuzimaju svakim ponovnim pokretanjem.

Druga vrsta igara, aplikacijske igre, zahtjeva preuzimanje same igre direktno da uređaj prije mogućnosti pokretanja. Ovakva vrsta igri ima manju potrebu za prijenosom podataka osim prvog preuzimanja. Razlog tome je što se svakim novim pokretanjem podaci učitavaju s uređaja i nije potrebno ponovno preuzimanje.

4.2.1 Igre koje se pokreću iz pretraživača

Korisnici su željeli što više mogućnosti i više igara, ali pružatelji usluga nekada nisu imali sredstva niti potrebe kako bi napravili nešto da ugone svim različitim zahtjevima. Međutim, web stranice počele su koristiti *java* i *flash* aplikacije, bile su u boji, povećale su se razlučivosti, veća količina samog teksta i dr. Razvojem igara javila se potreba za nekim univerzalnim načinom pružanja igara izravno iz pretraživača. Povećana potreba za većom širinom pojasa (eng. *Bandwdith*) i unificiranim portalom za zabavu i informacijske usluge rezultirala je WAP-om.

WAP (eng. *Wireless Application Protocol*) je standard razvijen kako bi se riješili ti problemi. WAP je „lakša“ verzija HTTP-a (eng. *Hypertext Transfer Protocol*), a preglednici su dizajnirani za pokretanje u memoriji i *bandwidth*, širini pojasa, ograničenjima za mobilne telefone. WAP je zamišljen da smanji razlike između mobilnih mreža i Interneta i da dostavi veliki asortiman mobilnih usluga neovisno o korisnikovoj mreži, pružatelju usluga i terminalnom uređaju [19]. Omogućuje da korisnici mogu pristupiti informacijama s terminalnog uređaja kao i sa stolnog računala. Stranice su puno jednostavnije u dizajnu nego „WWW“ stranice jer su napisane u jednostavnijem jeziku – WML-u (eng. *Wireless Markup Language*). Na

temelju Internet modela, bežični uređaji sadrže „*microbrowser*“, a sadržaj i aplikacije se nalaze na web poslužitelju.¹⁴

WAP smanjuje gubitke, troškove izvedbe i povećava bazu pretplatnika poboljšanjem postojećih usluga (npr. sučelja glasovne pošte, omogućava neograničen raspon novih usluga i aplikacija za upravljanje i sl.) [19]. Nove aplikacije implementiraju se brzo i jednostavno, bez potreba za dodatnim preinakama na infrastrukturi ili uređaju. Krajnji korisnici koriste od WAP-a imaju zbog jednostavnog i sigurnog pristup informacijama na Internetu. Korisnici mogu preuzeti i tražiti podatke u kontroliranom, brzom i jednostavnijem okruženju, a sve to s mobilnog uređaja. Time mobilne igre koje se pokreću iz pretraživača mogu biti zahtjevnije, bolje, veće, a uz sve to da budu bolje od onih na prethodnim standardima.

WAP zamjenjuje nova inačica HTTP-a koji je danas univerzalan i koristi se svugdje. Razlog tome je i razvoj mobilnih uređaja koji više nisu ograničeni kao nekad. HTTP. HTTP je jedan od protokola aplikacijske razine koji postoji na Internetu. To je protokol za komunikaciju između poslužitelja i klijenta. HTTP klijent, web preglednik, najčešće započinje prijenos podataka nakon što uspostavi vezu s udaljenim web poslužiteljem.

4.2.2 Aplikacijske igre

Aplikacijske igre se moraju preuzeti na uređaj prije nego što se mogu pokretati. Takva vrsta igri zahtjeva veću količinu podatkovnog prometa prilikom svakog preuzimanja, ali zato svako iduće pokretanje ne zahtjeva ponovno preuzimanje podataka. Većina igara danas je aplikacijska zbog jednog razumljivog razloga. Aplikacijske igre dopuštaju bolje performanse i jače grafičke i ostale aspekte igre. Pošto se igra preuzima samo jednom takve zahtjevne performanse se ne moraju preuzimati ponovno svaki puta već je dovoljno samo imati uređaj koji ih podržava.

4.3. Potrošnja energije mobilnih uređaja pri podatkovnom prometu u 4G

4G ili LTE su tehnologije koje koriste 3GPP kao temelj za evoluciju 3G mobilnih mreža. 4G nastaje zbog sve veće korisničke potražnje za paketnim sadržajima koji nisu glasovna telefonska usluga [20]. Napredak mreže mora omogućiti dostupnost sve većeg izbora sadržaja, kako bi se zadovoljile potrebe korisnika. Mreže koje su zasnovane na 3GPP tehnologijama čine takozvani evoluirani paketski sustav ili EPS (eng. *Evolved Packet System*) [21]. LTE mobilna tehnologija osigurava brzine prijenosa od 100 Mbit/s i osigurava HDTV (eng. High

¹⁴ Web poslužitelj ili server je računalo na kojem su pohranjene web stranice.

Definition Television) te širokopojasni pristup Internetu u IP okruženju. Glavna razlika između 3G – UMTS, i 4G - LTE mreža su brzina prijenosa podataka kroz mrežu (3G od 144 kbit/s do 2048 kbit/s, 4G od 100 Mbit/s do 1 Gbit/s), metode prijenosa podataka kroz mrežu, kvaliteta usluge i zaštita.

Uz određene prilagodbe hardvera i softvera iste bazne stanice i odašiljači koji su se koristili za 3G mogu se koristiti za 4G. 4G mreže rade na 1800 MHz-om i 2600 MHz-om spektru, a ukidanjem analogne televizije uvesti će se 800 MHz-i spektar koji će zbog svoje prirode omogućiti bolju pokrivenost [20]. Terminalni uređaji koji koriste 4G mreže podržavat će vjerojatno sva tri pojasa.

Pametni telefoni (eng. *Smartphone*) su uređaji koji povezuju funkcionalnosti telefona, PDA-a (eng. *Personal Digital Assistant*), kamere i fotoaparata te računala te su zamijenili, gotovo u cijelosti, klasične mobilne uređaje [20]. Pametni telefoni će se koristiti kao željena skupina uređaja u ovom poglavlju.

Potrošnja energije će biti prikazana na primjeru Londonskog ispitivanja o potrošnji energije kod 4G mreža [22]. Mrežni podaci iz 3G radio-pristupne mreže ili RAN (eng. *Radio access network*), koja se sastoji od 96 makro baznih stanica (eng. *makro-base station*) pokriva područje od 6 km puta 9 km (54 km²). Ovi podaci koriste se za 3G prilagođene sustave za ispitivanje 4G mreže. Definiraju se sljedeći podaci vezani uz performanse i promet:

1. ćelijska propusnost (Mbit/s/stanici) – prosječna propusnost po ćeliji,
2. RAN propusnost (Mbit/s/km²) – prosječna propusnost po RAN-u,
3. prometna stopa (Mbit/s/stanici) - intenzitet paketa po ćeliji.

Operativna potrošnja snage od bazne stanice n u vremenu t definirana je kao:

$$P_{operativna,n,t} = N_{s,n} * N_{a,n} * [(P_{tx,n,t}) / (\mu_{amp,n}) * (R_{promet,n,t} / C_{ćelija,n}) + P_{dodatna,n}] + P_{povrat,n} \quad (1)$$

Prema makro baznoj stanici određene su približne vrijednosti od:

$N_s = 3$ sektora

$N_a = 1$ antena

$P_{tx} = 40$ W

$\mu_{amp} = 0,3$ – učinkovitost antene

$P_{overhead} = 150$ W

$P_{backhaul} = 50$ W.

Opterećenje se definira kao omjer intenziteta prometa i maksimalnog kapaciteta ćelije. Makro bazna stanica ima potrošnju snage od 900 W pod punim

opterećenjem. Štedljivi čvorovi (eng. *Low Power Node* - LPN) imaju sličnu potrošnju energije, s parametrima:

$N_{cell} = 1$ ćelija

$N_a = 1$ antena

$P_{tx} = 1$ mW po 5 W

$\mu_{amp} = 0.1$ – učinkovitost antene

$P_{overhead} = 10$ W

$P_{backhaul} = 20$ W.

LPN potroši između 30 W i 80 W pod punim opterećenjem.

Izmjereni parametri kod ispitivanja RAN-a korištenjem SISO (eng. *Single Input Single Output*) tehnologije za prijenos su:

1. broj baznih stanica – 96
2. visina antene – 20 m do 40 m
3. snage prijenosa – 40 W
4. potrošnja bazne stanice pod punim opterećenjem – 300 W
5. potrošnja bazne stanice u stanju mirovanja – 150 W
6. potrošnja u „sleep“ modu – 75 W.

Izmjereni parametri kod štedljivih čvorova na istom sustavu su:

1. štedljivih čvorova po baznoj stanici – 10
2. visina antene – 5 m
3. snaga prijenosa LPN-a – 1 mW do 5 W
4. potrošnja LPN-a pod punim opterećenjem – 25 W
5. potrošnja LPN-a u stanju mirovanja – 15 W
6. potrošnja LPN-a u „sleep“ modu – 5 W.

Vrsta prijenosa je komutacija paketa na veličini uzorka od 15 minuta kroz 2 dana. Prag QoS-a na izlazu je -4 dB ili 0,6 Mbit/s/stanici, a log-normalan šum 9 dB.

Potrošnja energije kod RAN-a proizlazi iz ispitivanja prosječne potrošnje snage svih stanica u vremenu (T):

$$E_{operativna, T, N} = \sum_t^T \sum_n^N P_{operativna, t, n}, \quad (2)$$

gdje je vremenski interval t dan u 15 minutnim intervalima u skladu s količinom prometa po stanici.

5. Mehanizmi za kontrolu i upravljanje prometom

Kod telekomunikacijskih usluga pojam QoS ili kvaliteta usluge odnosi se na mehanizme za kontrolu mrežnih resursa, kao na primjer propusnosti mreže. Mogućnost kao što je dodjeljivanje različitih prioriteta aplikacijama, korisnicima ili tokovima podataka zbog osiguravanja određene razine usluge. Postoje dvije definicije koje se mogu koristiti kada je riječ o QoS-u. Prva je vjerojatnost dostupnosti puta u telekomunikacijskoj mreži, a druga je skup zahtjeva u pogledu kvalitete kolektivnog ponašanja jednog ili više objekata [23]. Prema prvoj QoS je učinak performansi, a po drugoj skup zahtjeva. Kvaliteta usluge, QoS, i pripadajući pojmovi koji opisuju QoS - parametri, upravljački mehanizmi, mjere - predstavljaju važne elemente za pružanje bilo kakve usluge. Razumijevanje osnova, kada je riječ o kvaliteti usluga i upravljanju kvalitetom, baza je za bilo kakvo upravljanje QoS-om.

Višeuslužne mreže (eng. *Muli Service Network*) ili MSN su telekomunikacijske mreže koje omogućuju prijenos više vrsta usluga istom infrastrukturom. Razlikuju se od klasičnih mreža kao što je klasična telefonska mreža (eng. *Public Switched Telephone Network*), tj. PSTN, jer ona služi samo za prijenos jedne vrste informacija, govora. One u sebi imaju mehanizme za osiguravanje kvalitete usluge (QoS). Nekada su sustavi imali posebne kanale za svaku vrstu usluge, a to je bilo vrlo ekonomski neefikasno i imalo je velike troškove te su se javljali problemi kod upravljanja prometom. Svaka mreža bila je za prijenos jedne vrste informacija pa je zbog toga bilo vrlo malo mjesta za modifikacije koje istodobno utječu na druge.

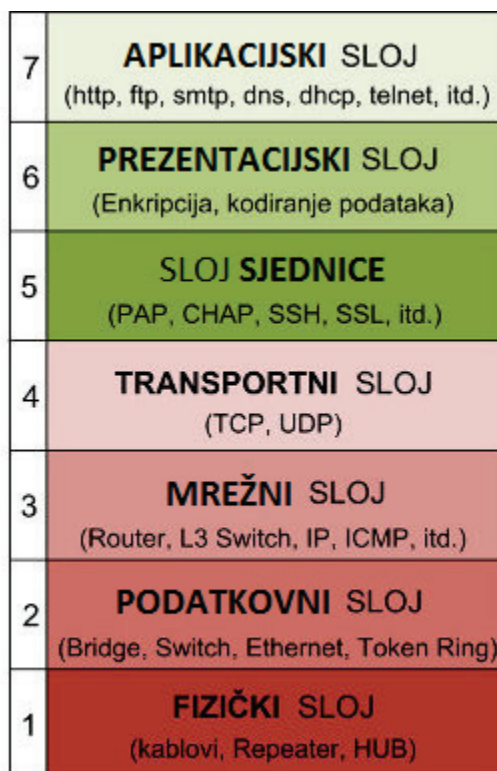
Povećana količina i raznovrsnost informacija dovela je do razvoja novih tehnologija i sustava kako bi se sustavi objedinili i unificirali. Tako je ITU-T, početkom 1980-tih godina, donio niz preporuka i zahtjeva koji su za cilj imali poboljšanja telekomunikacijske mreže. Riječ je bila uglavnom o optičkim vlaknima i novim višeuslužnim mrežama. ISDN (eng. *Integrated Services Digital Network*) je bila jedna takva mreža te je donijela bolju interoperabilnost. Nakon toga počelo se s implementacijom ATM (eng. *Asynchronous Transfer Mode*) jezgrene mreže koja je omogućavala prijenos govora i prijenos podataka [24]. U početku mreža nije bila zamišljena za prijenos Internet paketa (IP paketa), ali je sadržavala QoS mehanizme te je zbog toga implementacija IP-a bila moguća na postojeću infrastrukturu i sustav. ATM mreže zamijenjene su Ethernet-om¹⁵ i drugim sustavima temeljenima na IP-u. Razlog je bio cijena i održavanje.

¹⁵ Ethernet ili IEEE 802.3 je mrežna tehnologija LAN mreža koja je temeljena na prijenosu okvira, tj. datagrama.

5.1 OSI referentni model

IP bazirani model koji se pojavio je OSI referentni model. On je slojevito strukturiran te se komunikacijski sustav rastavlja na slojeve od kojih svaki obavlja svoju funkciju. OSI model pruža proizvođačima skup standarda kako bi osigurao što bolju kompatibilnost i interoperabilnost. On se koristi kao smjernica za sve mrežne komunikacije te definira postupke koji se obavljaju na određenim slojevima. Model je sastavljen od sedam slojeva gdje su niži slojevi zaduženi za mrežne funkcije, a viši slojevi za korisničke funkcije. Slojevi OSI modela su sljedeći, kao što je prikazano na slici 14.:

1. Fizički sloj
2. Podatkovni sloj
3. Mrežni sloj
4. Transportni sloj
5. Sloj sjednice
6. Prezentacijski sloj
7. Aplikacijski sloj.



Slika 14. OSI referentni model [25]

Svaki sloj zadužen je za obavljanje jedne od funkcija gdje se postupci obavljaju prema protokolima. Takvi protokoli razmjenjuju informacije putem poruka

koje u sebi sadrže korisničke podatke i upravljačke informacije [26]. Te informacije koriste se u mehanizmima za kontrolu i upravljanje mrežom. Korisničke informacije su jednako bitne kao i upravljačke kako bi se osigurala zadovoljavajuća QoS.

5.2 TCP/IP

Jedan od protokola koji je zadužen za kontrolu transporta informacija je TCP/IP (eng. *Transmission Control Protocol - Internet Protocol*). On je objedinio TCP i IP protokole i slijedi načelo slojevitosti, kao i OSI model. Razlika je u broju slojeva i njihovim ulogama. TCP/IP model sastoji se od četiri sloja:

1. Fizički sloj
2. Mrežni sloj
3. Transportni sloj
4. Aplikacijski sloj.

TCP je prijenosni protokol Interneta koji omogućuje pouzdanu isporuku podataka od izvorišta do odredišta u redoslijedu u kojemu su krenuli. Konekcijski je orijentiran jer uspostavlja logičku vezu između aplikacija prije slanja podataka. Glavna ideja TCP-a je velika vjerojatnost točne dostave paketa na odredište zbog male tolerancije na gubitke paketa. To je zbog zaštitnih mehanizama koji su implementirani u mrežu. Paket, kada stigne na odredište, šalje poruku izvorištu da potvrdi isporuku paketa. Ako poruka ne stigne na izvor paket se ponovno šalje [27]. TCP se koristi kada je potrebna sigurnost i pouzdanost kod prijenosa, a brzina može biti manja. Kada je potrebna brzina koristi se UDP (eng. *User Datagram Protocol*).

UDP je beskonekcijski orijentiran i ima veliku vjerojatnost gubitka paketa. To je zato što nema zaštitne mehanizme već se koncentrira na brzinu dostave paketa. On omogućuje slanje kratkih poruka među aplikacija. Zato se UDP koristi kada je bitnija brzina od pouzdanosti.

Još je potrebno spomenuti IP (eng. *Internet Protocol*), koji je mrežni protokol za prijenos podataka. On se koristi kako bi izvorišna i odredišna računala mogla uspostaviti podatkovne komunikacije kroz mrežu. Podatci IP mreže se šalju u blokovima koji se nazivaju datagrami. Prilikom slanja datagrama između izvorišta i odredišta unaprijed se određuje ruta kojom će podaci ići. Cilj IP-a je adresiranje i usmjeravanje datagrama, ali osigurava relativno nepouzdanu uslugu prijenosa. To je zato što osigurava uslugu koja ne garantira za pakete (eng. *Best effort*). Paket se, dakle, može izmijeniti, može se promijeniti redoslijed paketa, može se potpuno izgubiti tijekom prijenosa i dr. [25].

Dakle kao i sve druge aplikacije, igre, mogu koristiti TCP ili UDP način slanja paketa, ovisno o tome koliko su osjetljivi na kašnjenje ili koliko je bitna sigurnost podataka.

5.3 Mehanizmi, alati i tehnike QoS-a

Moderne telekomunikacije suočavaju se sa zahtjevima za kvalitetu usluge QoS. Kada se govori o analognoj telefoniji, QoS je označavao vjerojatnost dostupnosti rute u telekomunikacijskoj mreži. Za moderne mreže, ITU je definirao QoS prema preporuci ITU-T E.800 kao „ukupan efekt performansi određene usluge koja se određuje zadovoljstvom krajnjeg korisnika“ [28].

Razvoj novih naprednijih aplikacija i sofisticiranijih usluga, uzrokuje sve veću potrebu za standardnim performansama sustava. Razvoj dovodi do porasta u kompleksnosti parametara mreže. QoS, je iz toga, kvaliteta usluge povezana sa značajkama kao što su brzina prijenosa podataka, kašnjenje u mreži, vjerojatnost prekidanja, vjerojatnost pogreške, i dr.

Moderne mreže su sve višeuslužne mreže, a pošto one prenose mnoštvo različitih podataka trebaju osigurati zadovoljavajuću kvalitetu. QoS, se prema tome, odnosi na skup tehnika, alata i mehanizama za upravljanje mrežnim resursima, koji imaju za cilj sigurnu dostavu podataka korisniku uz zadovoljavajuću kvalitetu. Naravno različite usluge se tretiraju na različite načine i koriste različite tehnike, alate i mehanizme.

5.3.1 QoS sa stajališta davatelja usluga

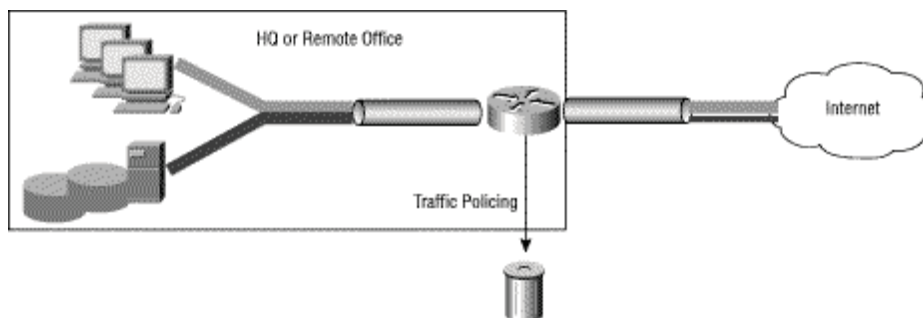
Kvaliteta usluge koju davatelj usluge ima u ponudi je razine kvalitete koja je očekivana od strane korisnika. Čest slučaj kod ponuđivanja usluga korisniku je da davatelji usluga svoje ponude objašnjavaju laičkim izrazima i ne-tehničkim žargonom, ali i u tehničkom smislu za informiranje korisnike ili za potrebe usporedbe različitih usluga. Terminologija za izražavanje performansi i značajki usluga je ponuđena od strane davatelja usluga ili mrežnog operatera te ona nije unificirana. Ne postoji zajednički jezik i termini između davatelja usluga. Kvaliteta usluge se frazira posebno za svaku uslugu, radi toga što korisnici kupuju samo određenu uslugu. Također, kako da bi se razlikovale usluge, jer svaka usluga ima jedinstvene performanse, a različiti parametri imaju različit utjecaj na QoS [23]. Kvaliteta usluge koja je ponuđena mora imati povezanost s korisničkim zahtjevima, to znači da ona mora proizlaziti iz njih. Ponuđena kvaliteta usluge mora biti izazvana s parametrima koje korisnik potražuje.

Stvarna kvaliteta usluge je razine kvalitete koju davatelj usluge osigurava korisniku ovisno o onome što mu nudi. Ta vrijednost bi trebala biti što bliža ponuđenim vrijednostima, ali nije uvijek tako. Zbog različitih tehničkih i tehnoloških aspekata, QoS nikada nije jednak vrijednostima koje su ponuđene, ali se trudi biti što bliži. Vrijednosti se obično izražavaju u određenom vremenskom razdoblju, kao na primjer greška u prijenosu (eng. *Error rate*) ima veliki utjecaj na prijenos podataka, a ne na prijenosa govora. Prijenos govora koji ima isti intenzitet pogreške u prijenosu, kao prijenos podataka, može imati visoku razinu kvalitete zato što pogreške nemaju velik utjecaj na slušatelja [23]. Kašnjenje (eng. *Delay*) nema veliki utjecaj na prijenos podataka, ali zato ima na prijenos govora. Kod prijenosa podataka kašnjenje nije toliko bitno jer se podaci ne očekuju u stvarnom vremenu (osim za *stream* usluge), ali se očekuju bez puno pogrešaka, dok kod razgovora ima veliki utjecaj na slušatelja kojemu razgovor kasni.

Isporučena kvaliteta usluga postiže se mjerenjima sa strane mreže te se parametri mrežnih performansi mogu nadzirati tako da se uzimaju uzorci tijekom perioda, dok se drugi parametri moraju nadzirati kontinuirano [23]. Najčešće se odabiru parametri koji imaju veze s parametrima za opisivanje ponuđene kvalitete zbog usporedbe istih.

5.3.2 Reguliranje prometa

Regulacija prometa (eng. *Traffic policing*) su mehanizmi kojima se sav prekoračeni promet u mreži, odbacuje (eng. *Drop*). Služi kako bi se promet u mreži mogao odvijati nesmetano, jer kod prekoračenja može doći do pucanja veza i raznih drugih problema. Ovo ne uključuje kašnjenja koja su u određenim granicama. Regulacija prometa omogućuje kontrolu maksimalne brzine prometa, bilo da je riječ o prijenosu ili primljene [29]. Konfigurirana je najčešće na sučeljima koja su na rubu mreže ili na izlazu iz same mreže. Regulacija se koristi kod dodjeljivanja brzine i količine mjesečnog prometa od strane pružatelja usluga. Njome pružatelji usluga mogu regulirati svoje usluge ovisno o cijeni koju korisnik plaća. Detaljnija usporedba tarifa i primjer ograničenja prometa bit će naveden u kasnijim poglavljima. Detaljnija usporedba tarifa i primjer ograničenja prometa bit će naveden u kasnijim poglavljima.

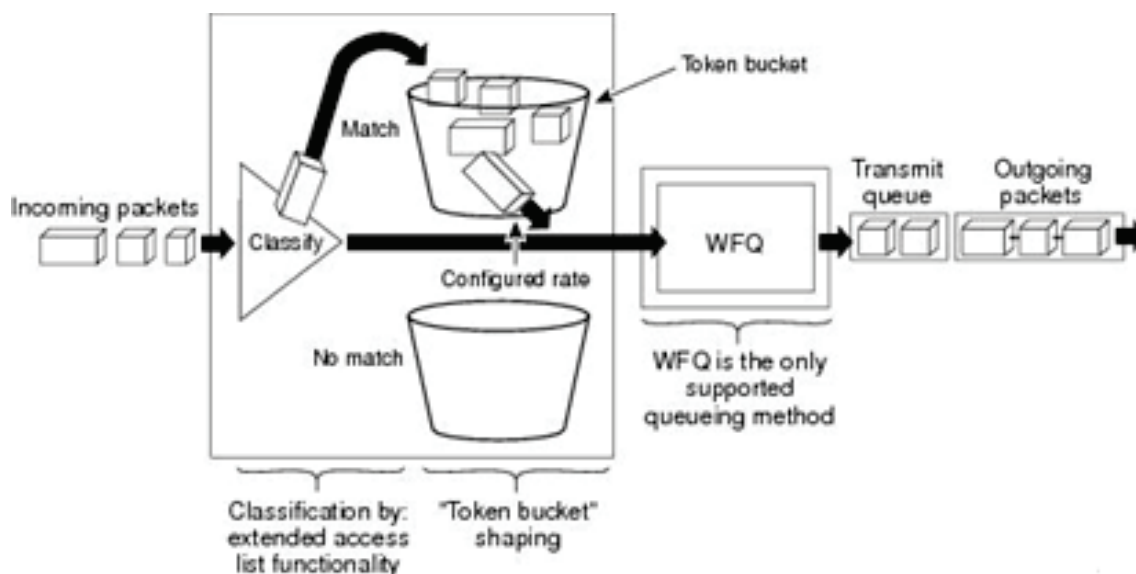


Slika 15. Regulacija prometa u mreži prilikom zagušenja [30]

Slika 15. prikazuje klasičnu regulaciju prometa kod točke zagušenja u mreži, gdje se značajke QoS-a većinski primjenjuju.

5.3.3 Oblikovanje prometa

Oblikovanje prometa (eng. *Traffic shaping*) je stavljanje prekoračenog prometa u mreži u redove čekanja (eng. *Queue*). Prekoračeni promet, tj. paketi stavljaju se u memorijski „buffer“¹⁶ čvora, tj. mrežnog uređaja.



Slika 16. Sortiranje prometa u klase i postavljanje u redove čekanja [30]

Na slici 16. ilustrirano je kako se sortira promet u klase i kako se paketi postavljaju u redove čekanja. U redove čekanja postavljaju se paketni samo ako prekoračuju predefiniranu normu. Metoda oblikovanja prometa konfigurira se samo u izlaznom smjeru, gdje se sav prekoračeni promet smješta u, gore navedene, redove čekanja i oblikuje se prema dogovorenoj politici. Glavna razlika oblikovanja i reguliranja je da se u oblikovanju prekoračeni paketi ne odbacuju, već se postavljaju u redove čekanja.

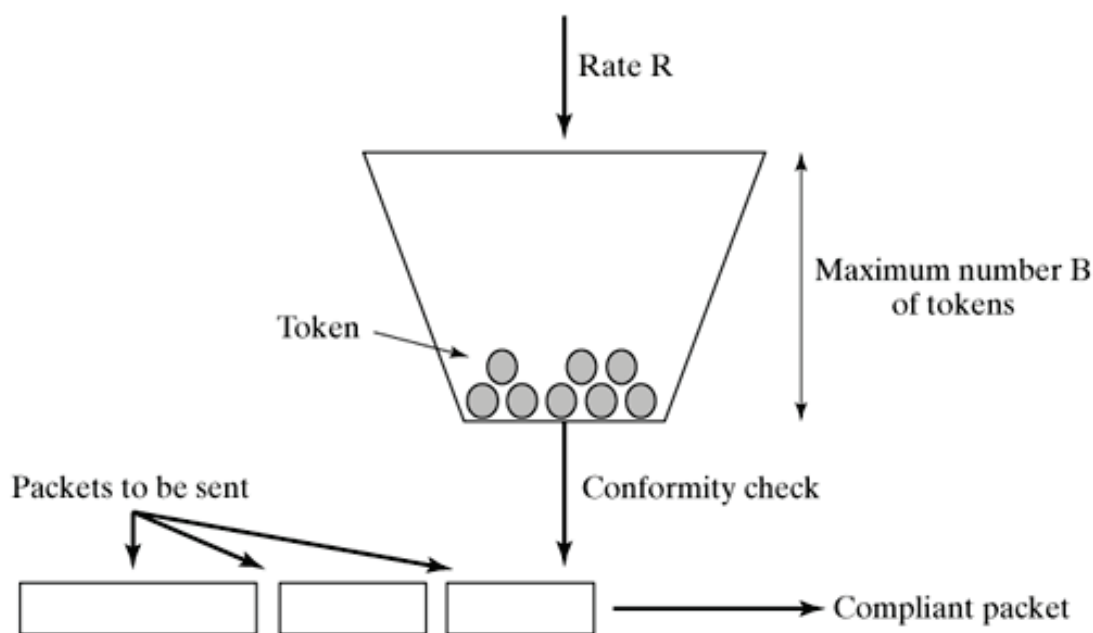
¹⁶ Buffer ili međuspremnik je oblik memorije koji radi na principu FIFO (eng. *First In-First Out*), tj. služi kao spremnik za višak paketa.

5.3.4 Token Bucket

Kanta za žetone (eng. *Token bucket*) je algoritam koji pruža tri mogućnosti za svaki dolazni paket u mreži. Svaki dolazni paket se stavlja u jednu od kategorija, a korisnik je taj koji odlučuje o tome što se dešava sa svakim paketom. Kategorije su podijeljene prema:

1. Dolazni paketi u definiranim granicama
2. Dolazni paketi prekoračuju granicu
3. Dolazni paketi prelaze obje granice

Najveća razlika između oblikovanja i reguliranja je mjera po kojoj se „žetoni u kanti“ pune. Ova metoda se izvodi tako da se žetoni postavljaju u kantu po izračunu. Svaki žeton daje dozvolu izvoru da šalje određen broj bitova u mrežu. Kako bi se slanje paketa ostvarilo prometni regulator mora maknuti broj žetona ili bajta (eng. *Byte*) iz kante jednako velik kao paket koji se treba poslati. Ako nema dovoljno prostora paket čeka dok kanta ne zaprimi dovoljan broj žetona ili se paketi odbacuju ili ponovno šalju, kao što je prikazano na slici 17. [31].



Slika 17. Ilustracija token bucket sustava [32]

Kanta ima određeni kapacitet. Ako je taj kapacitet pređen, novi žetoni, tj. bajti se odbacuju (eng. *Discard*). U tom slučaju nisu dostupni za nadolazeće pakete. Najveći nalet bitova (eng. *Burst*) koji izvor može poslati u mrežu proporcionalan je veličini kante. Dakle, *Token bucket* algoritam dopušta velike nalete bitova, ali ih ograničava i regulira.

6. Smjernice budućeg razvoja mrežnih usluga s naglaskom na podatkovne pakete

Moderno društvo informacijski je orijentirano i postaje sve više automatizirano. Informacijsko komunikacijske tehnologije (eng. *Information Communication Technology* - ICT), kao i mobilne komunikacije, intenzivno se razvijaju i ključan su element u razvoju društva s informacijsko komunikacijskog stajališta. Iako se četvrta generacija mobilnih mreža tek počinje široko primjenjivati već se intenzivno istražuje nova, peta, generacija - 5G. Budućnost mobilne komunikacije i mreža, koja leži u 5G-u, je očekivana uslijed porasta mobilnog prometa koji će uvelike sačinjavati širokopojasna komunikacija s multimedijalnim sadržajem.

Ono što je potrebno riješiti, kako bi se mogli pratiti korisnički zahtjevi budućnosti, su tehnološki izazovi kao bolja spektralna iskoristivost, virtualizacija mrežnih funkcija, interoperabilnost u pristupnoj i jezgrenoj mreži i energetska učinkovitost pojedinih elemenata[21].

Buduće generacije mobilnih mreža imat će pametni radio sustav, mrežne funkcije u oblaku, MIMO antensku tehnologiju, OFDMA pristupnu tehniku, itd. [21]. Izazovi koji se očekuju su veoma visok porast mobilnog prometa - čak do 100 puta veći broj povezanih uređaja, brzina prijenosa podataka do krajnjeg korisnika - između 1 Gbit/s i 10 Gbit/s, kašnjenje signala između uređaja - latencije od nekoliko ms i dr. Također se očekuje mogućnosti povećanja trajanja baterije uređaja niske potrošnje do 10 godina. Ušteda energije bi se mogla smanjiti do 90 % po pojedinom servisu. Ovo su naravno samo od nekih predviđanja, a realno stanje se može promijeniti samo na bolje od očekivanog s obzirom na razvoj moderne tehnologije.

Dakle, očekivanja od 5G-a mogu se jednostavnije prikazati i kao glavni ciljevi. 10 glavnih ciljeva prema kojima se stremlji su sljedeći:

1. prosječna brzina prijenosa podataka u pokretu do 1 Mbit/s
2. veća spektralna učinkovitost
3. poboljšana komunikacijska sigurnost - zbog pametnog radija (eng. Cognitive radio)
4. veća energetska učinkovitost - manji i efektivniji izvori energije
5. bolja radijska pokrivenost – posebno na rubovima
6. veća brzina podataka - 10 Gbit/s po ćeliji
7. latencija od 1 ms
8. gusta mreža piko ćelija
9. primjena MIMO tehnologije za povećanje kapaciteta sustava
10. primjena umjetne inteligencije u aplikacijama.

6.1 Smjernice budućeg razvoja mrežnih tehnologija u Europi

Europska komisija za komunikacije donosi programe rada za normizaciju usluga unutar Europske unije. Takvi dokumenti sastoje se od raznih mrežnih ispitivanja i istraživanja, a cilj im je da na pametan i održiv način potaknu razvoj i otvore radna mjesta u informacijsko komunikacijskom sektoru. Trenutna strategija razvoja donesena je 2013. godine, a planirana je do 2020. godine.

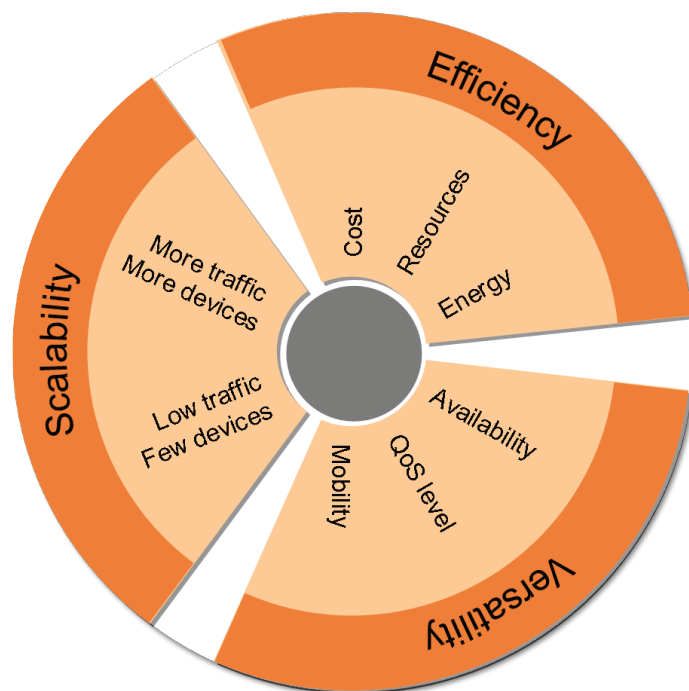
Cilj europskih normi je uklanjanje granica, zaštita korisnika i okoliša, interoperabilnost, smanjenje troškova te poticanje konkurencije na tržištu. Istraživanja koja su provedena u sklopu stvaranja strategije razvoja pokazala su da se normizacijom BDP povećava s 0,3% na 1% [33]. Europska komisija je 2011. godine predložila skup reformi, koje uključuju one donesene 1. siječnja 2013. godine [34], a cilj im je povećati odgovornost, transparentnost, fleksibilnost i područja primjene sustava.

Očekivanje je da se transparentnost, koja nastaje radi objave strategije razvoja i rada Unije, povećati učinkovitost i omogućiti bolje planiranje budućeg rada i razvoja. Tako se mogu navesti neke od EU inicijativa, kao što su Horizon 2020 i Metis projekt.

Horizon 2020 je najveći i najznačajniji EU programski okvir (eng. *Framework*) i unutar njega se financiraju projekti. On je razvojno- istraživački okvir od kojeg se očekuje da će privući značajne privatne ulagače i financijska sredstva i time osigurati da Europa postane globalni predvodnik u razvoju informacijskih tehnologija i znanosti. Ovime je Europa postavila temelje prema budućem održivom i cjelovitom razvoju usluga i tehnologija.

Jedan od ciljeva je da Europa postane središte znanosti, te da ubrza proces uklanjanja prepreka kada je riječ o inovacijama. Također da olakša i ubrza postizanje suradnje i dogovora između javnog i privatnog sektora – PPP (eng. *Public Private Partnership*) [35]. Time bi se olakšalo kreiranje jedinstvenog tržišta znanja, istraživanja i inovacije.

Cilj Metis projekta je postavljanje temelja i stvaranje europskog konsenzusa o budućem globalnom mobilnom i bežičnom komunikacijskom sustavu. Opći tehnički cilj projekta je razvoj koncepta budućeg mobilnog i bežičnog komunikacijskog sustava. Koncepta koji ima umreženo informacijsko društvo, a kombinira tehničke ciljeve i njihove rezultate kako bi to postigao [36]. Tehnički ciljevi kao što su cijena, potrošnja energije, kontrola prometa, mobilnost itd., kao što je vidljivo na slici 18.



Slika 18. Prikaz udruženja ciljeva projekta Metis [37]

Postojeće europske LTE mreže uglavnom rade na 1800 MHz i 2600 MHz spektru. Ubrzo će se potpuno ukinuti analogna televizija te će se njezin spektar uvesti kao 4G spektar - 800 MHz. On će zbog svoje prirode omogućiti bolju pokrivenost signalom.

6.2 Smjernice budućeg razvoja mrežnih tehnologija u Hrvatskoj

U Hrvatskoj je situacija vrlo štura i nedorečena jer Hrvatska država nema nikakve posebne zakone, odredbe ili planove za razvoj elektroničkih komunikacija. Sve što postoji nadovezuje se na Zakon o elektroničkim komunikacijama donesen 30. lipnja 1999. Godine [38]. On je samo postavljao preduvjete za privatizaciju fiksne telefonske mreže te tako olakšao konkurenciju na tržištu u Hrvatskoj. Zakon o elektroničkim komunikacijama tako služi uređivanju i kontroli elektroničkih komunikacija, ali je vrlo nedefiniran i nije fokusiran na nove tehnologije. Nešto što je uređeno njime je korištenje komunikacijskih mreža i pružanje komunikacijskih usluga, pružanje univerzalnih usluga, zaštita prava korisnika, izgradnja, implementacija, održavanje i korištenje komunikacijske infrastrukture i pripadajućih objekata i dr. Sve od navedenog, i ostalo, je onoga što Hrvatska ima u svojim zakonima i projektima, ali pošto je Hrvatska članica EU morat će se sada voditi njihovim odredbama.

Ono što je bitno u Hrvatskoj je frekvencijski pojas dodijeljen mobilnim komunikacijama. Točnije ono što je bitno su digitalne dividende. To je prelazak na digitalni TV signal oslobađanjem dijela spektra. Dio spektra koji je oslobođen je vrlo

pogodan za mobilne komunikacije zbog svojih prirodnih karakteristika. Pojas ima dovoljnu širinu spektra za ostvarivanje širokopojasnog pristupa te dovoljnu pokrivenost da je ekonomski isplativ. Dakle, digitalna dividenda je spektar koji se oslobađa, prelaskom analognih televizija na digitalno emitiranje, od 791 MHz do 821 MHz i 832 MHz do 862 MHz. Spektar je dodijeljen do 18. listopada 2024. godine, a javili su se T-Com i VIPnet kojima je navedeni spektar podijeljen [38]. Vipnetu je dodijeljen pojas od 791 MHz do 832 MHz, a T-Com-u od 821 MHz do 862 MHz. Pojasi su dodijeljeni 2012. godine, ali cilj je da se u 5 godina, do 2017., provede pokrivanje do 50 % teritorija.

Problem kod digitalne dividende je interferencija sa susjednim državama koje još uvijek spomenuti pojas koriste za digitalnu televiziju. Zbog toga je potrebna harmonizacija i dogovor s njima, ali je većina dogovora već postignuta i sve se provodi uredno.

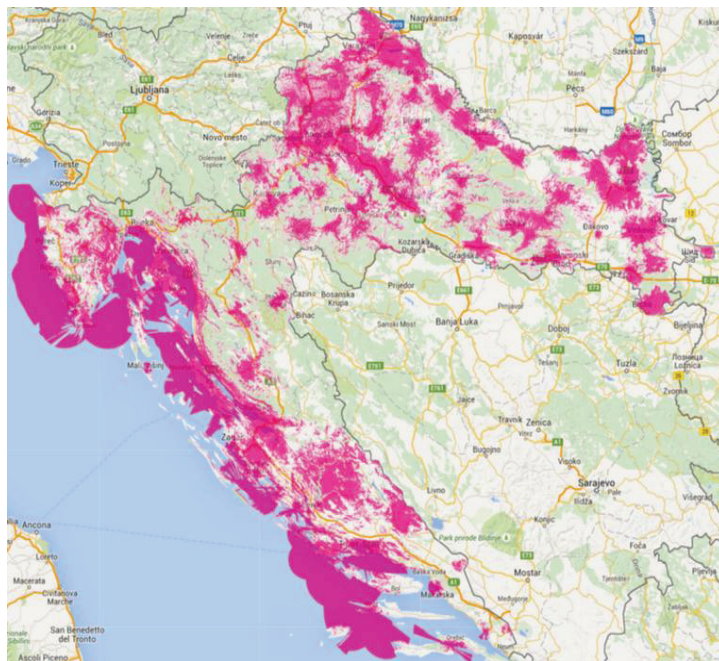
6.2.1 Pokrivenost 4G mreže

Iduća bitna stvar su 4G mreže i njihova rasprostranjenost. Kao primjer uzet će se T-Com te će se pomoću njih prikazati situacija 4G mreža u Hrvatskoj. Kao razlog tome može se uzeti i idući citat: „Kao tržišni lider u razvoju brzog mobilnog Interneta u Hrvatskoj napravili smo novi iskorak i od 2. mj. 2016. povećali maksimalnu brzinu mobilnog Interneta u 4G mreži do nevjerojatnih 262,5/50 Mbit/s (download/upload).“ [39] Kada se govori o pokrivenosti 4G mreže, T-Com ima iduću sliku kao primjer svoje pokrivenosti.



Slika 19. Pokrivenost 4G signalom – T-Com [40]

Slika 19. prikazuje pokrivenost 4G signalom u 2017. godini. Iako T-Com tvrdi da je ovo stvarna pokrivenost, efektivna pokrivenost je u stvarnosti puno manja, kao što prikazuje slika 20.



Slika 20. Efektivna pokrivenost 4G signalom – T-Com [40]

Na slici 20. vidljivo je da je pokrivenost 4G mreže većinom zastupljena i koncentrirana na urbana područja i veće gradove. Danas je pokrivenost sigurno gušća i nešto raširenija, ali više odgovara ovoj slici nego prethodnoj. To je zbog broja korisnika, ali i zbog samih lokacija. Lakše je uvoditi novu tehnologiju i infrastrukturu u urbanim sredinama i gradovima nego, na primjer, u Lici gdje je teren težak i nezahvalan, a broj korisnika malen.

6.2.2 Usporedba tarifa i terećenja korisnika

Četvrta generacija mobilnih komunikacija, zasnovana na LTE tehnologiji, donosi puno bolje iskustvo. Osim znatno većih brzina od trenutnih, 4G pruža mogućnosti kvalitetnijeg i količinski većeg bežičnog prijenosa podataka i brže pristupe aplikacijama, online igrama itd.

Kako bi se najbolje usporedile tarife i naplata uzet će se primjer jednog operatera i njegov napredak.

T-Com danas nudi velik broj različitih usluga, tarifa i cijena, a na primjeru ponude iz 2013. godine napraviti će se usporedba između onoga što nude sad i što je

bilo prije nekoliko godina. Bit će uspoređeni samo parametri koji su interesantni vezano za ovaj rad.

Kao prvi primjer, tarifa koju su nazvali „Za mlade“ 2013. godine pružala se korisnicima do 28 godina života, a pružala je neograničenu količinu podatkovnog prometa, gdje je samo 1 GB bio po maksimalnoj brzini, a sve preko ograničene brzine bi se preuzimalo po smanjenoj brzini od 64 kbit/s. Već tada bilo je ponuđeno surfanje na 4G mreži, ali s brzinom do 7,2 Mbit/s. Usluga se naplaćivala 125 kn mjesečno ako je korisnik uzeo i uređaj te 100 kn ako korisnik uzima samo tarifu.

Danas, 2017. godine, se ista takva usluga „Za mlade“ naplaćuje 149 kn mjesečno i pruža se korisnicima do 32 godine. Pruža neograničenu količinu mobilnog podatkovnog prometa, ali s do 3 GB po maksimalnoj brzini. Brzina preuzimanja je vidno veća nego prije i iznosi teoretski mogućih 262,5 Mbit/s.

Razlike su očite i nije ih potrebno dodatno uspoređivati, ali mogu se spomenuti cijene i brzine. Razlike u cijeni nisu izuzetno velike s obzirom na poboljšanje usluge, ali zato su brzine preuzimanja i preko 30 puta veće. I dopuštena količina preuzimanja je povećana s 1 GB na 3 GB. Zapravo jedino isto je ostala minimalna brzina preuzimanja nakon prekoračenja.

Druga tarifa koja se može usporediti je „Za surfanje“. 2013. godine takva tarifa nudila je dvije varijante, M i L. Obje su imale neograničenu količinu podatkovnog prometa, ali je kod M-a maksimalna brzina bila samo do 250 MB, a kod L-a do 1 GB. Sve prekoračenje bi se preuzimalo po smanjenoj brzini od 64 kbit/s. M paket je nudio samo 3G brzine surfanja, dok je L paket nudio 4G mrežu s brzinom do 7,2 Mbit/s. M usluga se naplaćivala 95 kn, a L 165 kn mjesečno.

Danas u ponudi više nisu dvije vrste za istu tarifu. Samo je jedna i nudi neograničen podatkovni promet s maksimalnim brzinama do 1,5 GB. Svako prekoračenje naravno ograničava brzinu na 64 kbit/s. Cijena je 139 kn, a maksimalne brzine su do 262,5 Mbit/s na 4G mreži.

Kod ove usluge vidljivo je da su objedinjene dvije usluge u jednu. To je zato što danas ima novih usluga specijaliziranih za pozive, poruke, surfanje i dr. Isto tako to je zato što nije isplativo stavljati ograničenja za surfanje na manje od 1 GB, kao ni brzine prijenosa podataka manje od 200 Mbit/s.

Iz ovih usporedbi vidljivo je da se cijene nisu drastično promijenile s obzirom na povećanja brzina i količinu podatkovnog prometa. To je zato što su danas usluge većinom multimedijalne i puno zahtjevnije s obzirom na količinu podataka. Također

danas se korisnici koriste Internetom svakodnevno za razliku od prije nekoliko godina. Upotreba Interneta je danas povećana i zbog novih uređaja, koji omogućuju i olakšavaju surfanje i igranje na njima. Kada je riječ o igrama onda je situacija drastično drugačija. One su zahtjevnije i kompleksnije nego prije, a isto tako i zahtijevaju bolje uređaje kako bi se mogle uopće pokretati. Neke mobilne igre već konkuriraju, a čak su i prošle, konzolnim igrama prvih i drugih generacija.

6.3 5G

Već danas, više od milijarde uređaja povezano je na 4G mobilne mreže diljem svijeta, a u skoroj budućnosti ona više neće biti dostatna kako bi zadovoljila potrebe povezivanja svih uređaja na Internet stvari (eng. *Internet of things*). Zato se pojavio razvoj nove generacije 5G mreža, koje bi se trebale do 2020. godine početi koristiti. 5G bi specifikacijama trebale omogućavati povezivanje preko 100 milijardi uređaja do 2025. godine. Tu su uključeni, osim pametnih uređaja, dronovi, automobili, kućanski uređaji i dr. Kako bi to bilo moguće na frekvencijskom području, koje dijele, potrebne su puno veće brzine prijenosa podataka te širi frekvencijski pojas, a naravno uz to i smanjenje latencije.

Dakle, s drastičnim ubrzanim povećanjem broja mobilnih uređaja, njihovom povećanom kompleksnosti i duljim trajanjem baterije, maksimiziranje QoS-a bit će veliki dio zadaća mreža sljedeće generacije. Još jedan važan aspekt će biti kako izdvojiti resurse prometa na pravičan i efektivan način. Pomoću mehanizama za maksimizaciju QoS-a na strani korisničkih uređaja i centralizirani mehanizmi za upravljanje prometom na kontrolnoj strani. Takav sustav implementira uređaje nove generacije i centralni upravljački sustavi u oblaku. Ovakav sustav je procijenjen kao jedan od najboljih na temelju rezultata raznih analiza. Dakle, 5G i uređaji novih generacija koristili bi centralni upravljački sustav iz oblaka, a ostali mehanizmi i postupci bili bi u samom uređaju. Time bi se oslobodio uređaj od nepotrebnih upravljačkih procesa i oslobodilo se mjesto za QoS i druge slične mehanizme i sustave. Neke od ovih inačica već se počinju implementirati, ali ipak je još daleko njihovo globalno korištenje i prelazak sa starijih generacija.

7. Zaključak

1G je bila analogna mreža i koristila je frekvencijsku modulaciju kojom je omogućavala prijenos govora. Zbog nje je nastao ubrzani razvoj mobilne telefonije, a nedugo nakon je razvijena i 2G mreža. Ona je bila digitalna, a uz prijenos govora omogućavala je i pristup Internetu. Ovo je prva takva tehnologija koja je omogućavala mobilni pristup Internetu. Idući veliki korak bio je 2,5G, kod kojeg se prijenos informacija provodio komutacijom paketa. Nakon njih dolaze 3G mreže, koje omogućuju još veće brzine prijenosa i mogućnost bolje pokrivenosti koja rezultira boljim pristupom informacijama neovisno o lokaciji, u bilo koje vrijeme. Ovo su prve glavne značajke modernih mobilnih mreža, velika pokrivenosti i velike brzine prijenosa informacija.

Zbog tih značajki počele su se razvijati razne aplikacije, usluge i igre, a s njima su se i povećavali korisnički zahtjevi. Svaka nova generacija aplikacija, usluga ili igri dovela je do potrebe za boljim mrežnim performansama. To je guralo proizvođače da stalno razmišljaju o razvoju mreže i tako se pojavio 4G.

4G mreže omogućuju korisnicima još veće brzine prijenosa podataka, širokopojasni pristup Internetu, gledanje digitalne televizije u visokim razlučivostima i dr. Iako se činilo da će 4G tehnologija i LTE plan razvoja biti vodilja jedno do dva desetljeća to se ubrzo promijenilo. Povećanjem brzina prijenosa povećao se i promet, a povećanjem prometa povećali su se zahtjevi aplikacija, usluga i igri. To je opet dovelo do porasta korisničkih zahtjeva i tako do koncepta i ideje za 5G.

Kroz rad dan je uvid u općeniti razvoj mobilnih mreža te u mobilne tehnologije i generacije. Opisan je razvoj i utjecaj pojedinih elemenata sustava na taj razvoj. Konkretno, utjecaj mobilnih igri i aplikacija na razvoj infrastrukture i daljnji razvoj mobilnih mreža. Mobilne igre svake generacije testiraju granice generacije u kojoj se koriste. Time utječu i na aplikacije te na posljeticu i na samu mobilnu mrežu. Povećani zahtjevi korisnika i povećani broj korisnika su prirodan poticatelj razvoja mobilnih mreža. Broj korisnika mobilnih igara raste svakodnevno, a razlog tome su sve snažniji i svestraniji mobilni uređaji, s kojima se povećava i broj korisnika mobilnih igara.

Bolje rečeno, svakim porastom mrežnih performansi, dolazi do povećanja zahtjeva za aplikacije te razvoje uređaja kako bi to pratili i naposljetku do rasta korisničkih zahtjeva. Porast korisničkih zahtjeva potiče razvoj mrežnih karakteristika koje dovode do povećanja zahtjeva aplikacija. Tako se ovaj ciklus ponavlja već dugi niz godina i ponavljat će se dokle god se mreže i uređaji budu mogli razvijati, jer će korisnički zahtjevi rasti sa svakom novom generacijom. Porast broja korisnika je ovdje kao prirodan faktor koji je uvijek prisutan, a svakom novom generacijom, koja je sve više orijentirana na pružanje boljeg iskustva korisniku, broj korisnika će se samo povećavati i tako pridonositi cijelom ciklusu.

Literatura

- [1] Šarić Ž., Definiranje osnovnih pojmova telekomunikacijskih mreža. Dostupno s: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/A/Arhitektura_telekomunikacijske_mreze/Materijali/2_Definiranje_osnovnih_pojmova_telekomunikacijskih_mreza.pdf
- [2] Mrvelj Š., Pokretne ćelijske mreže 2. i 3. generacije. Dostupno s: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa/I/Materijali/9_predavanje.pdf
- [3] Penttinen J.T.J., The Telecommunications Handbook, Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems. United Kingdom: Joh Wiley & Sons; 2015. Preuzeto s: [http://t2mh.com/gsm/The%20Telecommunications%20Handbook%20-%20Engineering%20Guidelines%20for%20Fixed,%20Mobile%20and%20Satellite%20Systems%20-%201st%20Edition%20\(2015\).pdf](http://t2mh.com/gsm/The%20Telecommunications%20Handbook%20-%20Engineering%20Guidelines%20for%20Fixed,%20Mobile%20and%20Satellite%20Systems%20-%201st%20Edition%20(2015).pdf)
- [4] <http://www.cert.hr/sites/default/files/NCERT-PUBDOC-2010-06-303.pdf> (Svibanj, 2017.)
- [5] Muštra M., Mobilne komunikacije. Dostupno s: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/M/Mobilni_komunikacijski_sustavi/Materijali/04_Mobilne_komunikacije.pdf
- [6] Peraković D., Funkcionalnosti terminalnih uređaja. Dostupno s: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Terminalni_uredaji/Materijali/03_-_Funkcionalnosti_terminalnih_uredaja.pdf
- [7] <http://www.vizocomsat.com/blog/difference-cellular-satellite-communications/> (Ožujak, 2017.)
- [8] <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr04/cellplan/cellsizes.html> (Ožujak, 2017.)
- [10] Šarić Ž., Svjetlovodni prijenosni sustavi i mreže, predavanje Šarić. Dostupno s: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/A/Arhitektura_telekomunikacijske_mreze/Materijali/Svjetlovodni_prijenosni_sustavi_i_mreze.pdf
- [11] Cvetković R., Optički predajnici, Veljača 2017. Dostupno na: <http://sr.scribd.com/doc/48655542/Opti%C4%8Dki-predajnici#scribd>
- [12] <http://www.fpz.unizg.hr/ztos/PRSUS/Modulacija.pdf> (Travanj, 2017.)
- [13] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/KVAZUPred7b.pdf (Travanj, 2017.)
- [14] <http://tutorialslaxman.blogspot.hr/2011/03/frequency-division-multiple-access-or.html> (Travanj, 2017.)

- [15] http://www.digitpress.com/library/books/book_complete_history_of_video_games.pdf (Travanj, 2017.)
- [16] <https://www.statista.com/statistics/260167/mobile-gaming-share-of-total-gaming-revenue-worldwide/> (Travanj, 2017.)
- [17] <https://newzoo.com/insights/articles/global-games-market-reaches-99-6-billion-2016-mobile-generating-37/> (Travanj, 2017.)
- [18] Von Bories F, Walz S, Boltger M.: Space time play – Computer games, architecture and urbanism: The next level. Berlin: Birkhäuser Verlag AG; 2007. Dostupno s: <http://www.politicalavenue.com/108642/GAME-DESIGN-BOOK-COLLECTION/376438414X%20Space%20Time%20Play.pdf>
- [19] <http://www.uky.edu/~jclark/mas355/WAP.PDF> (Svibanj, 2017.)
- [20] Jug E. Arhitektura pokretnih komunikacijskih mreža, završni rad, Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti; 2015., Dostupno s: <https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A65/datastream/PDF/view>
- [21] Burazer B., Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije. Zagreb: Hrvatski zavod za norme; 2013. Dostupno s: <http://www.hzn.hr/UserDocImages/pdf/EIS-Budu%C4%87nost%20mobilnih%20komunikacija%20i%20izazovi%20normizacije.pdf>
- [22] Guo W., Wang S., O'Farrell T., Fletcher S.: Energy Consumption of 4G Cellular Networks: A London Case Study. London: University of Sheffield; 2014. Dostupno s: <https://pdfs.semanticscholar.org/df2c/5e5eec664712f9b7e143b7346d21694b62b8.pdf>
- [23] Mrvelj Š., Ciljevi razine usluge (QoS/GoS/NP). Dostupno s: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa_I/Materijal_i/5predavanje.pdf
- [24] <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=426645> (Svibanj, 2017.)
- [25] <http://link-university.com/lekcija/OSI-model/4664> (Svibanj, 2017.)
- [26] Bošnjak I., Telekomunikacijski promet II. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb; 2001.
- [27] <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/routing-information-protocolrip/13769-5.html> (Svibanj, 2017.)
- [28] https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjX5-D_-PTTAhWhBsAKHRPNAK8QFggnMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.itu.int%2Frec%2FT-REC-E.800-200809-I&usg=AFQjCNHOJ6cBOtXzATiBsGMYK6NYDKYDkQ&sig2=nboNWvFi01YK7Gqu7vXVPg (Svibanj, 2017.)

- [29] http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/qos/configuration/guide/15_1/qos_15_1_book/traffic_policing.pdf (Svibanj, 2017.)
- [30] <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/quality-of-service-qos/qos-policing/19645-policevsshape.html> (Svibanj, 2017.)
- [31] http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_2/qos/configuration/guide/fqos_c/qcfcplsh.html (Svibanj, 2017.)
- [32] <http://flylib.com/books/en/3.475.1.95/1/> (Svibanj, 2017.)
- [33] <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2013/HR/1-2013-561-HR-F1-1.Pdf> (Svibanj, 2017.)
- [34] [http://www.hzn.hr/UserDocImages/pdf/Regulation%20\(Uredba\)%201025%202012%20hr.pdf](http://www.hzn.hr/UserDocImages/pdf/Regulation%20(Uredba)%201025%202012%20hr.pdf) (Svibanj, 2017.)
- [35] <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/horizon-2020-brief-eu-framework-programme-research-innovation> (Svibanj, 2017.)
- [36] <https://www.metis2020.com/> (Svibanj, 2017.)
- [37] <https://www.metis2020.com/about-metis/project-objectives/> (Svibanj, 2017.)
- [38] <http://www.mppi.hr/UserDocImages/Electronic%20Communications%20Act%20OG73-2008.pdf> (Svibanj, 2017.)
- [39] <https://www.hrvatskitelekom.hr/4g> (Svibanj, 2017.)
- [40] <https://www.hrvatskitelekom.hr/karta-pokrivenosti> (Svibanj, 2017.)

Popis kratica

MTS	(eng. Mobile Telephone Service)
IMTS	(eng. Improved Mobile Telephone System)
AMTS	(eng. Advanced Mobile Telephone System)
AMPS	(eng. Advanced Mobile Phone System)
NMT	(eng. Nordic Mobile Telephony)
TACS	(eng. Total Access Communication System)
SIM	(eng. Subscriber Identity Module)
D-AMPS	(eng. Digital-Advanced Mobile Phone System)
PDC	(eng. Personal Digital Cellular)
GSM	(eng. Global System for Mobile Communications)
ME	(eng. Mobile Equipment)
BTS	(eng. Base Transceiver Station)
BSC	(eng. Base Station Controller)
MSC	(eng. Mobile Switching Centre)
HLR	(eng. Home Location Register)
VLR	(eng. Visitor Location Register)
EIR	(eng. Equipment Identity Register)
AuC	(eng. Authentication Centre)
PSTN	(eng. Public Switched Telephone Network)
CSD	(eng. Circuit-Switched Data)
CDMA	(eng. Code Division Multiple Access)
TDMA	(eng. Time Division Multiple Access)
GPRS	(eng. General Packet Radio Service)
EDGE	(eng. Enhanced Data rates for GSM Evolution)
UMTS	(eng. Universal Mobile Telecommunications System)

RNC	(eng. Radio Network Controllers)
SGSN	(eng. Serving GPRS Support Node)
GGSN	(eng. Gateway GPRS Support Node)
GMSC	(eng. Gateway Mobile Switching Centre)
ISDN	(eng. Integrated Services Digital Network)
WCDMA	(eng. Wideband Code Division Multiple Access)
LTE	(eng. Long Term Evolution)
AGW	(eng. Access Gateway)
MME	(eng. Mobility Management Entity)
VoIP	(eng. Voice over Internet Protocol)
OFDM	(eng. Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
MIMO	(eng. Multiple Input Multiple Output)
HD	(eng. High Definition)
MAN	(eng. Metropolitan Area Network)
QAM	(eng. Quadrature amplitude modulation)
NTSC	(eng. National Television System Committee)
PAL	(eng. Phase Alternating Line)
WDMA	(eng. Wavelength division multiple access)
WDM	(eng. Wavelength division multiplexing)
SMS	(eng. Short Messages Service)
QoS	(eng. Quality of Service)
AR	(eng. Augmented Reality)
VR	(eng. Virtual Reality)
WAP	(eng. Wireless Application Protocol)
WML	(eng. Wireless Markup Language)
HTTP	(eng. Hypertext Transfer Protocol)
EPS	(eng. Evolved Packet System)

HDTV	(eng. High Definition Television)
PDA	(eng. Personal Digital Assistant)
LPN	(eng. Low Power Node)
RAN	(eng. <i>Radio access network</i>)
SISO	(eng. Single Input Single Output)
MSN	(eng. Multi Service Network)
PSTN	(eng. Public Switched Telephone Network)
ISDN	(eng. Integrated Services Digital Network)
ATM	(eng. Asynchronous Transfer Mode)
TCP/IP	(eng. Transmission Control Protocol - Internet Protocol)
UDP	(eng. User Datagram Protocol)
IP	(eng. Internet Protocol)
SLA	(eng. Service Level Agreement)
ICT	(eng. Information Communication Technology)
PPP	(eng. Public Private Partnership)

Popis slika

Slika 1. Ilustracija mobilnih generacija

Slika 2. Arhitektura GSM mreže

Slika 3. Arhitektura UMTS mreže

Slika 4. Arhitektura LTE mreže

Slika 5. Ilustracija valnog oblika OFDM signala s 5 podnosioca

Slika 6. Pojednostavljeni prikaz komunikacije između korisnika i bazne stanice

Slika 7. Prikaz ćelijske strukture

Slika 8. Ćelijski koncept

Slika 9. Princip rada svjetlovoda

Slika 10. Dobivanje QAM signala prikazano blok shemom

Slika 11. Prikaz 16-QAM modulacije u koordinatnom sustavu

Slika 12. Prikaz 64-QAM modulacije u koordinatnom sustavu

Slika 13. Prikaz podjele frekvencije u koordinatnom sustavu kod FDMA

Slika 14. OSI referentni model

Slika 15. Regulacija prometa u mreži prilikom zagušenja

Slika 16. Sortiranje prometa u klase i postavljanje u redove čekanja

Slika 17. Ilustracija token bucket sustava

Slika 18. Prikaz udruženja ciljeva projekta Metis

Slika 19. Pokrivenost 4G signalom – T-Com

Slika 20. Efektivna pokrivenost 4G signalom – T-Com



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada
pod naslovom **INFRASTUKTURNI ZAHTJEVI NA MOBILNE MREŽE USLIJED**
VELIKOG BROJA KORISNIKA MREŽNIH IGARA NA MOBILNIM UREĐAJIMA
na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 1.6.2017.

Student:

Jurica Karlo
(potpis)