Mobilni pristup Internetu u urbanim sredinama

Čavara, Bruno

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:119:298502

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Bruno Čavara

MOBILNI PRISTUP INTERNETU U URBANIM SREDINAMA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 22. ožujka 2017.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 3989

Pristupnik: **Bruno Čavara (0135234721)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Mobilni pristup Internetu u urbanim sredinama**

Opis zadatka:

Navesti i opisati infrastrukturne zahtjeve za mobilni pristup Internetu. Usporediti tehnologije za podatkovni prijenos u pojedinim pristupnim tehnologijama. Analizirati potrebe za ostvarenje neprekidne komunikacije u mobilnom okruženju pri promjeni pristupne točke. Definirati zahtjeve za provedbu migracije s protokola IPv4 na protokol IPv6. Analizirati utjecaj broja korisnika i veličine ćelije na brzinu prijenosa koju korisnik može očekivati.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

MOBILNI PRISTUP INTERNETU U URBANIM SREDINAMA

MOBILE INTERNET ACCESS IN URBAN AREAS

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra
Student: Bruno Čavara, 0135234721

Zagreb, 2017.

SAŽETAK

Mobilni pristup Internetu danas ima veliki tehnološki i komercijalni značaj kao jedno od najčešćih sredstava korištenih u komunikaciji. Njegova dostupnost prelazi okvire urbanih sredina, ali zbog velikog broja korisnika na maloj jedinici površine ima posebne specifičnosti i karakteristike koje su opisane u ovom radu. Za unapređenje i daljni napredak kvalitete usluge potrebne su nadogradnje postojeće infrastrukture i ulaganja u nove tehnologije i tehnike prijenosa kao i migracija sa IPv4 protokola na verziju IPv6 čije su najznačajnije metode opisane u radu. Jedan od ključnih elemenata za visoku razinu kvalitete usluge u ćelijskoj mreži je i prekapčanje (*eng. handover*) čije su različite inačice obrađene u zasebnim poglavljima.

KLJUČNE RIJEČI: mobilni pristup Internetu; tehnologije za podatkovni prijenos; prekapčanje

SUMMARY

Mobile Internet access has a great technological and commercial importance in today's communication. Its availability goes beyond urban areas, but it has some special characteristics due to a large number of users. The key for further improvements and raising the quality of service is upgrading existing infrastructure, investing into new data transfer technologies, and migration from IPv4 protocol to IPv6, all of which are explained in this work. One of the key elements for a high quality of service level in cellular network is handover with its different forms which are described in separate chapters.

KEY WORDS: mobile Internet access; data transfer technologies; handover

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Infrastrukturni zahtjevi za mobilni pristup Internetu 2
   2.1. Kratki pregled arhitekture mobilnih mreža po generacijama 3
      2.1.1. Prva generacija – 1G 3
      2.1.2. Druga generacija – 2G 4
      2.1.3. Treća generacija – 3G 5
      2.1.4. Proces migracije s 3G na 4G mreže 6
      2.1.5. Osnovne karakteristike mreža četvrte generacije 8
3. Tehnologije za podatkovni prijenos u pristupnim tehnologijama 12
   3.1. FDD i TDD 12
   3.2. *Code Division Multiple Access* – CDMA 14
   3.3. Multipleks ortogonalnih podnosilaca – OFDM 16
      3.3.1. Važnost i uloga ortogonalnih podnosilaca 19
      3.3.2. Inačice OFDM-a 20
4. Prekapčanje 21
   4.1. Vrste prekapčanja 22
      4.1.1. Tvrdo prekapčanje 22
      4.1.2. Tvrdo prekapčanje u UMTS sustavima 23
      4.1.3. Meko prekapčanje 24
      4.1.4. 3G UMTS meko prekapčanje 24
      4.1.5. Mekše prekapčanje 25
      4.1.6. 3G UMTS mekše prekapčanje 26
5. Provedba migracije sa protokola IPv4 na protokol IPv6 27
   5.1. Dual stack mreža 27
   5.2. Tuneliranje 28
   5.3. Translacija 30
6. Zaključak 31

Literatura 32

Popis slika 34

Popis kratica 35

1. Uvod

Mobilni pristup Internetu značajno se razlikuje u urbanim i ruralnim sredinama. Najznačajniji čimbenici koji su razlog tome su znatno veći broj korisnika na urbanim područjima te veći zahtjevi za razinom usluge. Istovremeno, veću razinu usluge je zbog različitih otežavajućih infrastrukturnih i prostornih čimbenika u urbanoj sredini teže postići. Razvojem novih tehnologija pristupa došlo je do značajnog napretka, no konstantan rast broja korisnika zahtijeva unapređenje usluga te nova ulaganja u određene dijelove ćelijske mreže urbane sredine, a cilj završnog rada je objasniti neke od ključnih. Naslov završnog rada je: Mobilni pristup Internetu u urbanim sredinama. Rad je podijeljen u šest cjelina:

1. Uvod
2. Infrastukturni zahtjevi za mobilni pristup Internetu
3. Tehnologije za podatkovni prijenos u pristupnim tehnologijama
4. Handover
5. Provodba migracije sa protokola IPv4 na protokol IPv6
6. Zaključak.

U drugom poglavlju opisani su osnovni zahtjevi za mobilni Internet i najznačajnija infrastrukturna ulaganja koja su mobilni operateri u prošlosti ispunili kako bi se došlo do današnje razine kvalitete usluge u mobilnom pristupu mreži. Napravljen je kratki pregled arhitekture mobilnih mreža po generacijama. Opisane su također glavne značajke migracije s 3G na 4G mreže.

Treće poglavlje sastoji se od pregleda različitih tehnologija za podatkovni prijenos u pristupnim tehnologijama: FDD (*eng. Frequency Division Duplex*), TDD (*eng. Time Division Duplex*), CDMA (eng. *Code Division Multiple Access*) te OFDM (*eng. Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) s različitim inačicama.

Koncept prekapčanja opisan je u četvrtom poglavlju. Detaljnije su prikazane različiti oblici handovera sa njihovim značajkama: tvrdo handover, meki handover i mekši handover.

Peto poglavlje obuhvaća opis najznačajnijih metoda pri provedbi migracije sa protokola IPv4 na protokol IPv6: dual stack mreža, tuneliranje i translacija.

2. Infrastrukturni zahtjevi za mobilni pristup Internetu

Rapidan rast količine prometa ostvarenog mobilnim pristupom Internetu u drugoj je polovici prošlog desetljeća postavio pred mobilne operatere značajne poslovne i infrastrukturne zahtjeve. Pojava iPhonea i novih mobilnih uređaja na tržištu, kao i njihov uspjeh, definirala je buduće trendove i zahtjeve korisnika koji očekuju novo iskustvo pristupa mreži. Operaterima je to otvorilo nove mogućnosti poboljšanja kvalitete usluge (QoS – eng. *Quality of Service*) kroz lokacijski bazirane usluge (LBS – eng. *location based services*) i podatke prikupljene pojavom društvenih mreža. S ciljem sustizanja tih trendova, infrastruktura mobilnog interneta se morala prilagoditi, stoga su operateri morali osigurati:

- nadziranje korištenja javne imovine: bez obzira na unaprijeđenja omogućena uvođenjem HSPA (eng. *high speed packet access*), prosječno iskorištenje mobilne mreže u Europi je iznosilo oko 20%, dosežući postotak od 50% do 60% u većim gradovima. Sve većim rastom količine ostvarenog podatkovnog prometa, ovim mrežama je prijetilo preopterećenje
- povećati RAN (eng. *radio access network*) kapacitet: većina ranih HSPA adaptera su bili nadograđeni na 7,2 Mbit/s, a do kraja 2008. je došlo do povećanja na 14,4 Mbit/s
- povećati licencirani frekvencijski spektar: s obzirom na činjenicu da preko 70% korisnika mobilnoj mreži pristupa u zatvorenim prostorima, očekivalo se da će glavnu ulogu u razvoju imati Wi-Fi i femto ćelije (manje ćelijske bazne stanice koje učinkovitije dosežu korisnike u zatvorenom prostoru)
- unaprijediti jezgrenu, osnovnu mrežu (eng. *backhaul*): povećanja u podatkovnom prometu su operatere u većim metro centrima usmjerila ka korištenju jezgrenih mreža baziranih na vlaknima, te ka mikrovalovima u ruralnijim sredinama. Bez obzira na fizičku razinu, Ethernet se činio kao preferirana tehnologija na podatkovnoj razini mreže (eng. *link layer*)
- snažnije gateway uređaje: rast u podatkovnom prometu značio je nužan pomak prema usmjernicima (eng. *router*) veće snage, tj. prijenosnog kapaciteta
- optimizirati usmjeravanje podatkovnog prometa sa ciljem smanjenja kašnjenja (latencije) i troškova.

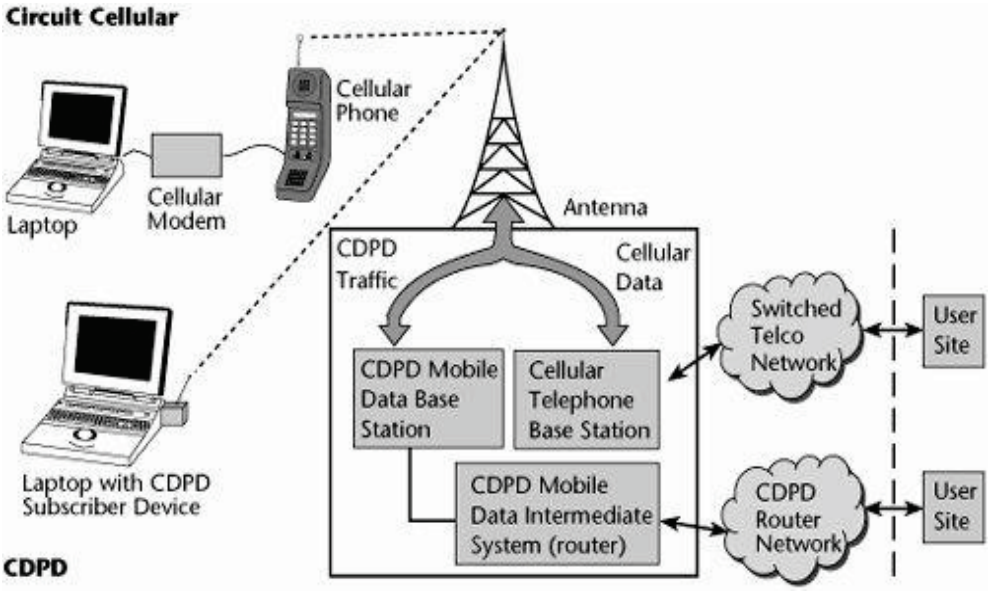
Navedena infrastrukturna ulaganja su bila ključna u razvoju arhitekture *all-IP* mreža, kao što je LTE (eng. *long term evolution*). [1]

2.1. Kratki pregled arhitekture mobilnih mreža po generacijama

Prve mreže zasnovane na analognom pristupu i govornim uslugama razvijane su sedamdesetih godina prošlog stoljeća, a u komercijalu upotrebu ušle su tijekom osamdesetih. Prelaskom na drugu generaciju, u uporabu ulazi digitalni prijenos govora i podataka, a ciklus razvoja i implementacije bio je kraći u odnosu na prvu generaciju. Mreže treće generacije (3G) pokrenute su 2001. godine u Japanu i 2003. godine u Europi. Do razvoja mreža četvrte i pete generacije dolazi u drugoj polovici desetljeća. [2]

2.1.1. Prva generacija – 1G

Prva generacija mobilne mreže ušla je u uporabu u lipnju 1978. godine u Sjedinjenim Američkim državama. 1G mreža se sastojala od distribuiranih primopredajnika koji su omogućavali komunikaciju s mobilnim telefonima. Njihova struktura je bila analogna, stoga su mogli biti korišteni samo za prijenos glasa. Za prijenos signala korištena je frekvencijska modulacija. Postojao je frekvencijski pojas od 25 MHz za prijenos od bazne stanice do mobilnog uređaja te jedan pojas od 25 MHz za suprotan smjer. Zbog potrebe za uslužavanjem većeg broja korisnika, pojasevi su bili razmaknuti pojasom od 30 kHz, što još uvijek nije bilo dovoljno učinkovito. [2] Arhitektura prve generacije mobilnih komunikacijskih sustava prikazana je na slici 1.



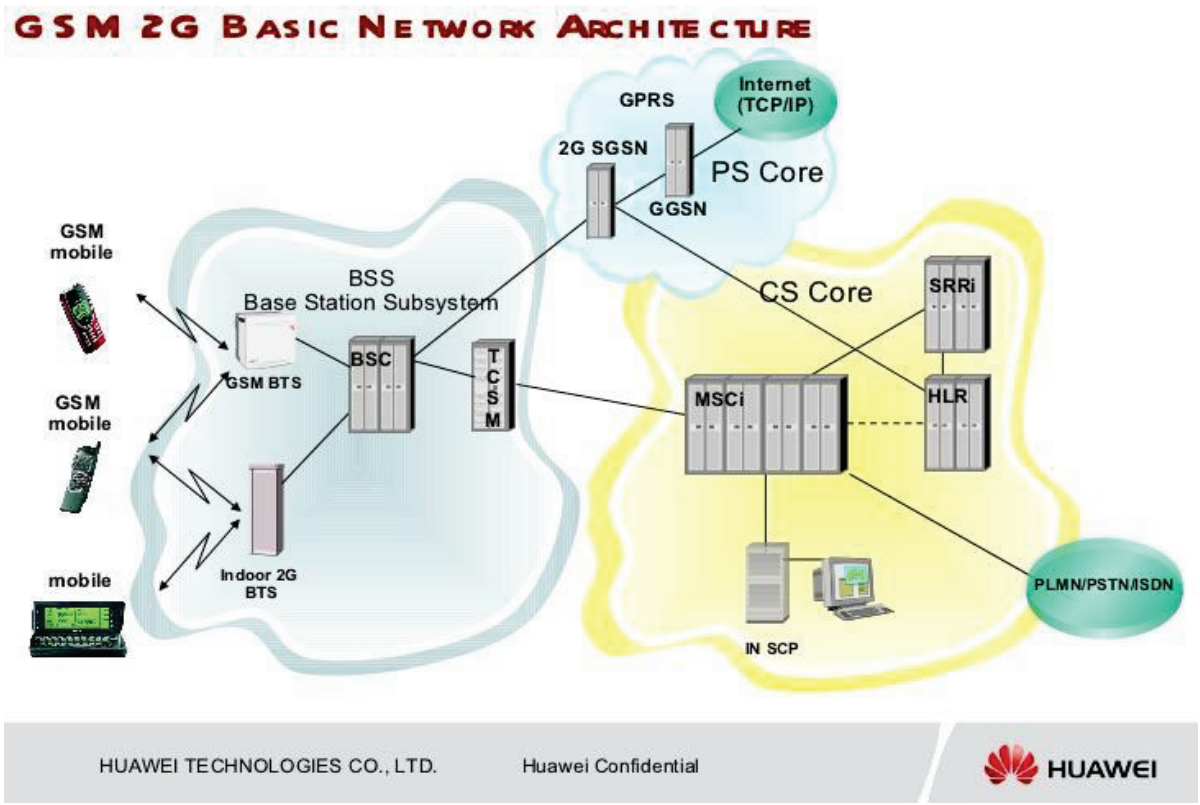
Slika 1. Arhitektura 1G mreže [3]

2.1.2. Druga generacija – 2G

Kako je s vremenom broj korisnika konstantno rastao, zahtjevi su se povećavali i došlo je do razvoja druge generacije mobilne mreže. Prvi 2G sustav je predstavljen u Finskoj 1991. godine. Za razliku od prve generacije, u drugoj generaciji je u potpunosti korišten digitalni prijenos. Implementacijom 2G mreže riješen je problem većeg broja aktivnih korisnika u mreži. Omogućena je dostupnost i mobilnost znatno većem broju korisnika.

Migracija na 2G mrežu također je značila i omogućavanje prijenosa podataka, za razliku od prve generacije gdje je dostupan bio isključivo prijenos govora. Tim korakom je omogućeno slanje SMS (eng. *Short Message Service*) poruka. Jedan od uspješnih primjera 2G mreže je GSM (eng. *Global System for Mobile Communications*), koji je razvijen tijekom osamdesetih godina 20. stoljeća, a primjena u Europi je započela 1991. GSM je omogućio iskorištavanje tri frekvencijska područja – 900 MHz, 1800 MHz i 1900 MHz. [2]

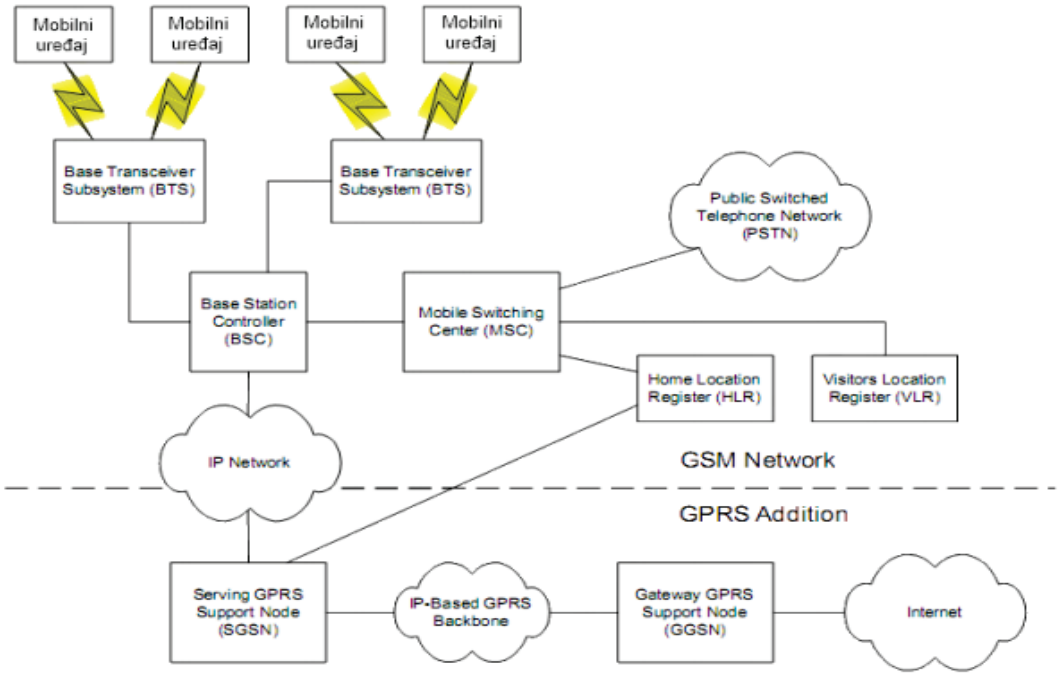
Arhitektura 2G mreže prikazana je na slici 2.



Slika 2. Arhitektura GSM 2G mreže [4]

U prijelaznom periodu na treću generaciju mobilnih mreža, došlo je do pojave 2.5G

mreže. Sa GPRS (eng. *General Packet Radio Service*) servisom je dostignuta brzina od 115 kbit/s, što se smatra naprednijom - 2.5G generacijom (arhitektura GPRS mreže prikazana je slikom 3), dok je EDGE (eng. *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) tehnologija omogućila 384 kbit/s što nazivamo 2.75G. [2]



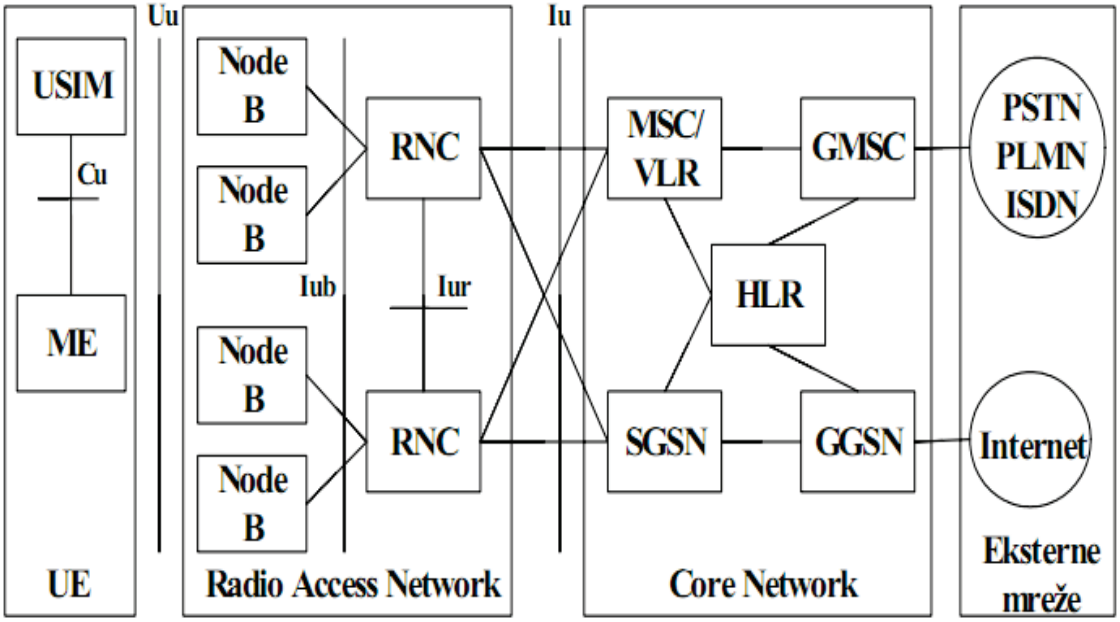
Slika 3. Arhitektura GPRS mreže [5]

2.1.3. Treća generacija – 3G

Mobilne sustave treće generacije odlikuju veliki kapacitet, velike brzine prijenosa podataka, kao i niz novih korisničkih servisa. Pored uobičajenih servisa, kao što su slanje i prijem elektronske pošte i preuzimanje audio i video sadržaja putem Interneta, na raspolaganju su video telefonija i video pošta. Treća generacija objedinjuje zemaljski fiksni i mobilni segment, te 3G sustavi omogućuju globalni roaming nezavisan od lokacije korisnika, mreže ili korištenog terminala. U okviru 3G sustava definirane su i minimalne brzine prenosa, ovisne o mobilnosti korisnika (200 kbit/s), dok je u praksi, uz ograničenu mobilnost korisnika, moguće ostvariti prijenos i od 2 Mbit/s. [2]

Standard za višestruki pristup (više istovremenih transmisija putem istog komunikacijskog kanala) u okviru 3G sustava je WCDMA (eng. *Wideband Code Division*

Multiple Access) koji radi u FDD i TDD modu. [2] Arhitektura treće generacije prikazana je na slici 4.



Slika 4. Arhitektura 3G mreže [6]

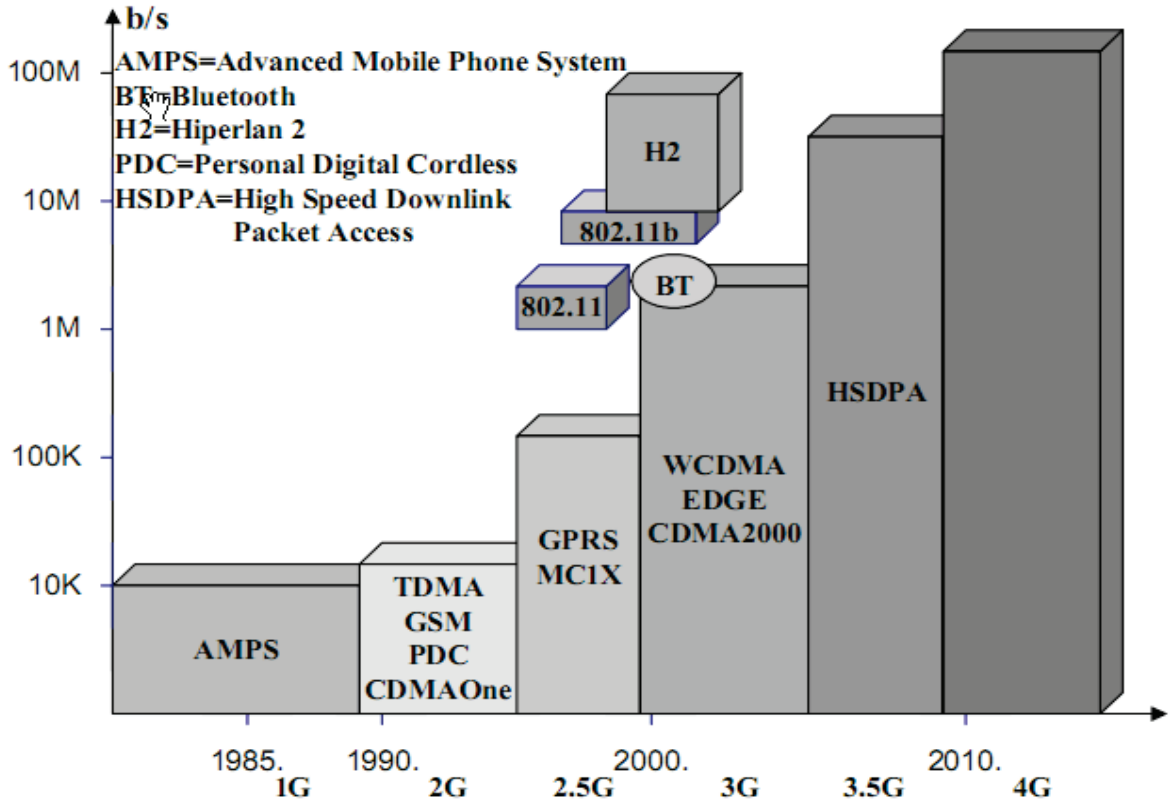
2.1.4. Proces migracije s 3G na 4G mreže

Dvije tehnologije koje u određenom obliku pretendiraju na 4G standard su LTE i WiMAX (eng. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*). Svojim inicijalnim verzijama one nisu zadovoljile stroge IMT Advanced (eng. *International Mobile Telecommunications Advanced*) specifikacije od 100 Mbit/s za mobilni i 1 Gbit/s za fiksni promet, ali se najčešće zahvaljujući pružateljima usluga i operaterima danas najčešće nazivaju 4G tehnologijama. Sa željom za što većim privlačenjem novih korisnika, kompanije su pojam "sljedeća generacija" u velikom broju slobodno interpretirale u mobilnoj tehnologiji. LTE, WiMAX i druge tehnologije koje omogućuju značajno bolje performanse i kvalitetu servisa se dakle naglašavaju kao mreže četvrte generacije, iako ne zadovoljavaju potpunosti IMT Advanced standard. [7]

Takvo stanje je uvjetovalo da International Telecommunication Union i službeno odobri LTE i WiMAX kao tehnologije za 4G u okviru formulacije koja podrazumijeva komplementarnost sa standardom i ostvarivanje značajnog napretka u odnosu na 3G.

Potreba za stvaranjem jednog globalnog sustava kojeg karakteriziraju velike brzine prijenosa podataka, globalni roaming i mnogobrojni servisi s odgovarajućim kvalitetama

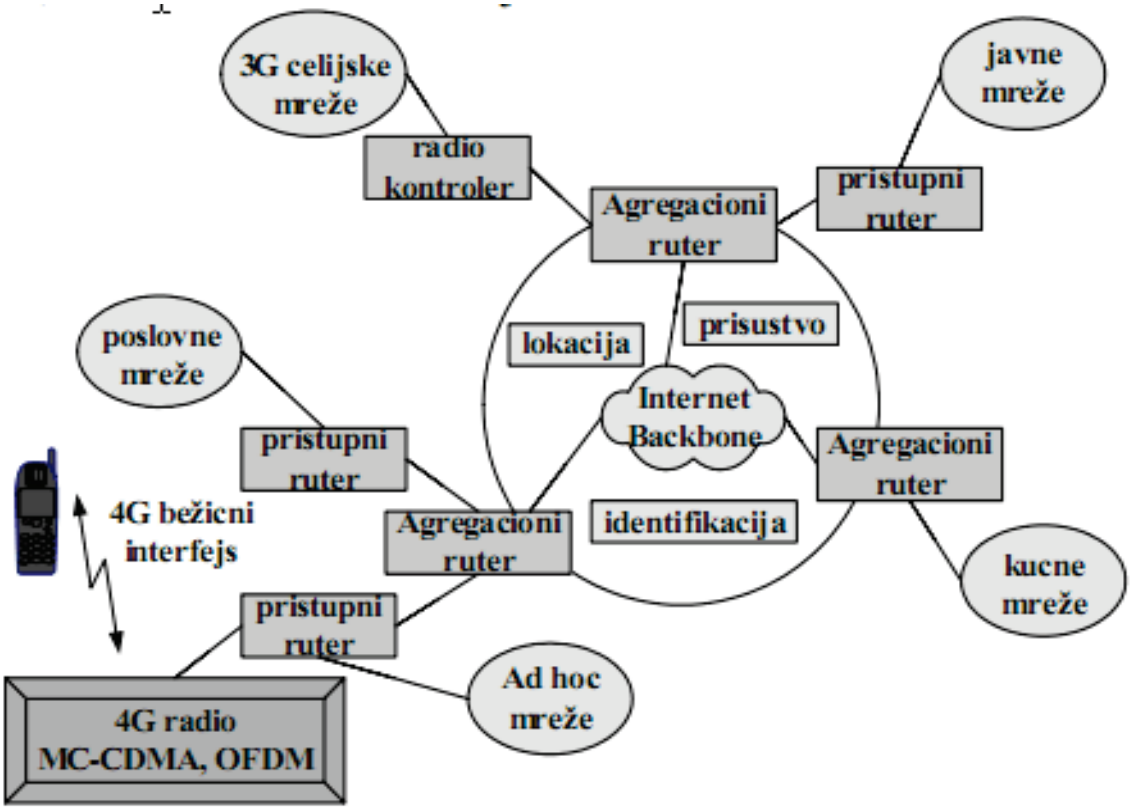
usluga (QoS) najvažniji je razlog za migraciju mobilnih telekomunikacijskih sustava prema četvrtoj generaciji. Formiranje globalnog sustava podrazumijeva integraciju fiksne, celularne i satelitske kao i WLAN (eng. *Wireless Local Area Network*) mreže. [7] Na slici 5. prikazan je razvoj suvremenih mobilnih telekomunikacijskih sustava:



Slika 5. Kronološki prikaz razvoja komunikacijskih tehnologija [8]

2.1.5. Osnovne karakteristike mreža četvrte generacije

Inicijalna testiranja mreže četvrte generacije pokazala su da je pored neograničene mobilnosti korisnika moguće ostvariti brzinu prijenosa između 20 Mbit/s i 100 Mbit/s, dok je u laboratorijskim uvjetima ostvaren protok od 1 Gbit/s. Zahvaljujući velikim brzinama protoka podataka, omogućeno je korištenje nekoliko aplikacija koje podržavaju videokonferencije i prikazivanje video sadržaja putem mobilnog terminala. 4G generaciju mobilnih standarda možemo definirati kao mrežu koja koristi Internet protokol u cilju kombiniranja različitih vrsta pristupnih mreža. U okviru 4G sustava, radio pristupna mreža RAN (eng. *Radio Access Network*) kao i samo jezgra mreže CN (eng. *Core Network*) zasnivaju se na komutaciji paketa što podrazumijeva potpunu IP arhitekturu jezgra mreže. [9] Arhitektura 4G mreže prikazana je na slici 6.



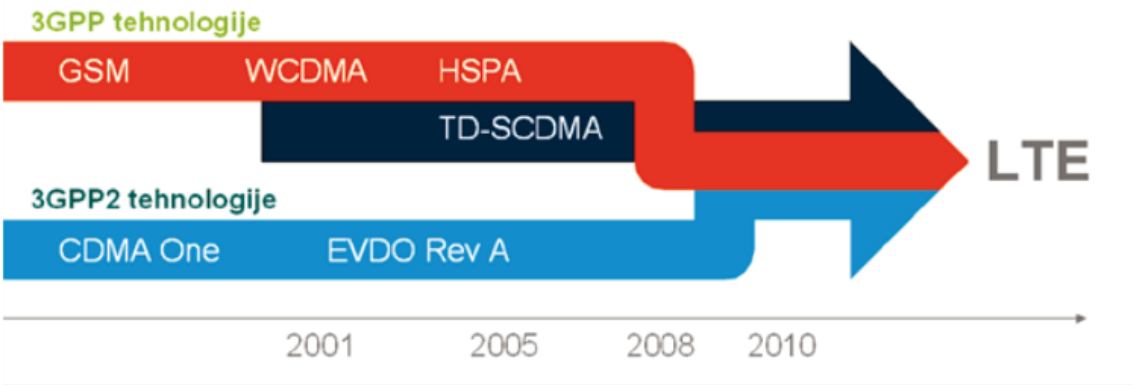
Slika 6. Arhitektura 4G mreže [10]

Ovakva arhitektura podrazumijeva i korištenje nekih novih mrežnih elemenata kao što su serveri i mrežni prolazi za pojedine vrste medija. Pristup aplikacijama bi trebao biti omogućen od strane servera, a mrežni prolazi pružaju mogućnost povezivanja na različite

vrste mreža (uključujući i mreže za pristup). Uspostavljanje heterogene arhitekture mreže ovog tipa podrazumijeva rješavanje mnogih problema, kao što su potpuna mobilnost korisnika, brz handover, zadovoljavajuća razina kvalitete servisa te sigurnost.

Četvrta generacija mobilnih mreža nastavak je na treću generaciju u pogledu sve većih kvantitativnih i kvalitativnih zahtjeva tržišta. Potencijalne i trenutne mogućnosti 4G mreža čine izmijenjen mobilni pristup Internetu, IP telefonija, *gaming* usluge, HD mobilna televizija, video konferencijske mogućnosti, 3D televizija i takozvano računarstvo u oblaku (eng. *cloud computing*). Dva standarda u komercijalnoj uporabi su WiMAX i LTE.

Tijekom 2007. godine LTE tehnologija je napredovala od studije izvodivosti prema prvom izdanju tehničkih specifikacija – pokrenuta je nova serija specifikacija pod nazivom "Evolved UTRA (LTE) aspects". Prvi ključni korak razvoja LTE standarda predstavljalo je odobravanje specifikacija fizičkog sloja (zračnog sučelja) zasnovanog na OFDMA (eng. *orthogonal frequency-division multiple access*) pristupu. Krajem 2008. godine odobreno je "zamrzavanje" LTE standardiziranih funkcionalnosti kao dijela 8. izdanja 3GPP (eng. *Third Generation Partnership Project*) specifikacija, čime su one postaju dovoljno stabilne za komercijalnu uporabu. Niz operatora pokazao je veliku opredijeljenost za upotrebu LTE tehnologije pa je učinkovit i brz ciklus razvoja novog standarda od pet godina omogućio realizaciju planova rane implementacije već 2009. godine. Tada i operatori koji koriste 3G tehnologije izvan 3GPP svijeta prihvaćaju LTE kao tehnologiju za evoluciju svojih mreža. [9] Evolucijski razvoj prema LTE mreži prikazan je na slici 7.



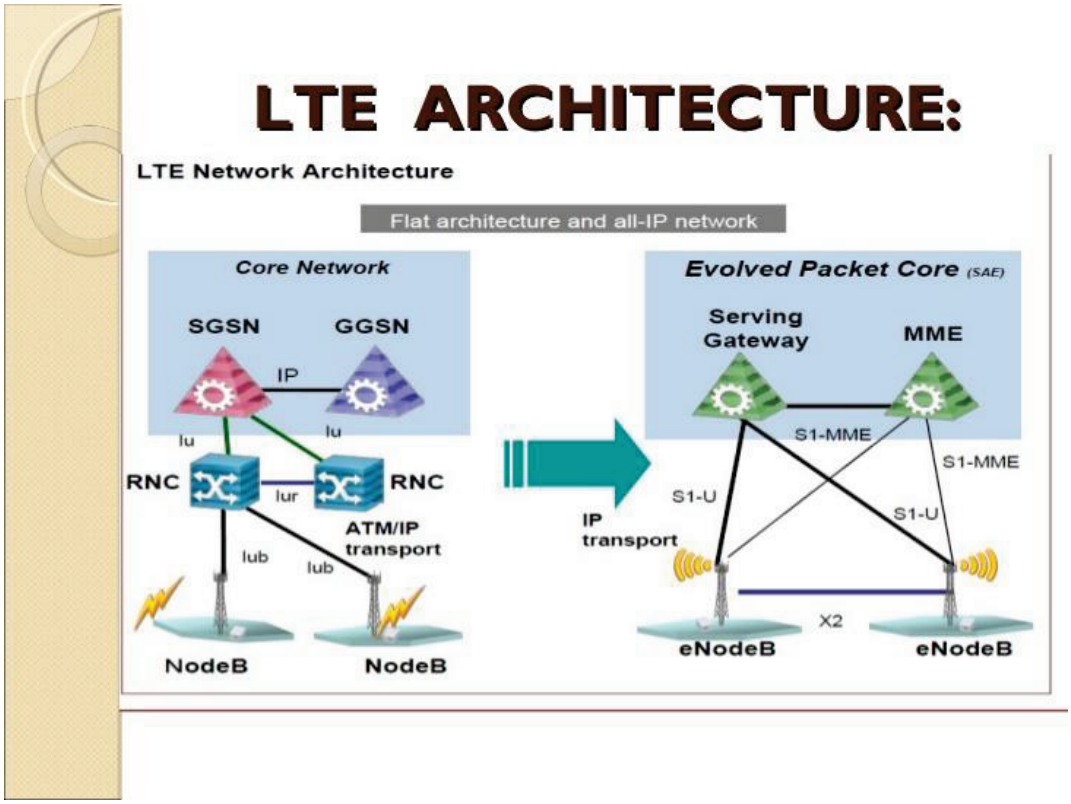
Slika 7. Proces razvitka LTE mreže [11]

S nastavkom ubrzavanja razvoja tehnologije, 3GPP se fokusira na daljnje poboljšavanje standarda LTE radi osiguravanja njegove optimalne učinkovitosti u budućnosti. To uključuje i razvoj novih specifikacija za LTE-Advanced čija daljnja unaprjeđenja

odgovaraju četvrtoj generaciji mobilnih sustava (4G) prema zahtjevima koje ITU (eng. *International Telecommunication Union*) postavlja pod nazivom IMT Advanced. Zahtjevi i očekivanja korisnika zbog novih zahtjevnijih aplikacija kao što su VoIP (eng. *Voice over Internet Protocol*), mobilna TV, online igre i video na zahtjev neprestano rastu, kao i želje za jednostavnijim korištenjem (uz manje vrijeme čekanja i brži odziv). S druge strane, operatori teže što učinkovitijem načinu pružanja usluga (smanjiti troškove po bitu informacije) uz zadržavanje prihoda i smanjenje troškova izgradnje i održavanja. Sve to utječe kao pokretač dugoročne evolucije 3G sustava kroz uvođenje nove, fleksibilnije tehnologije LTE.

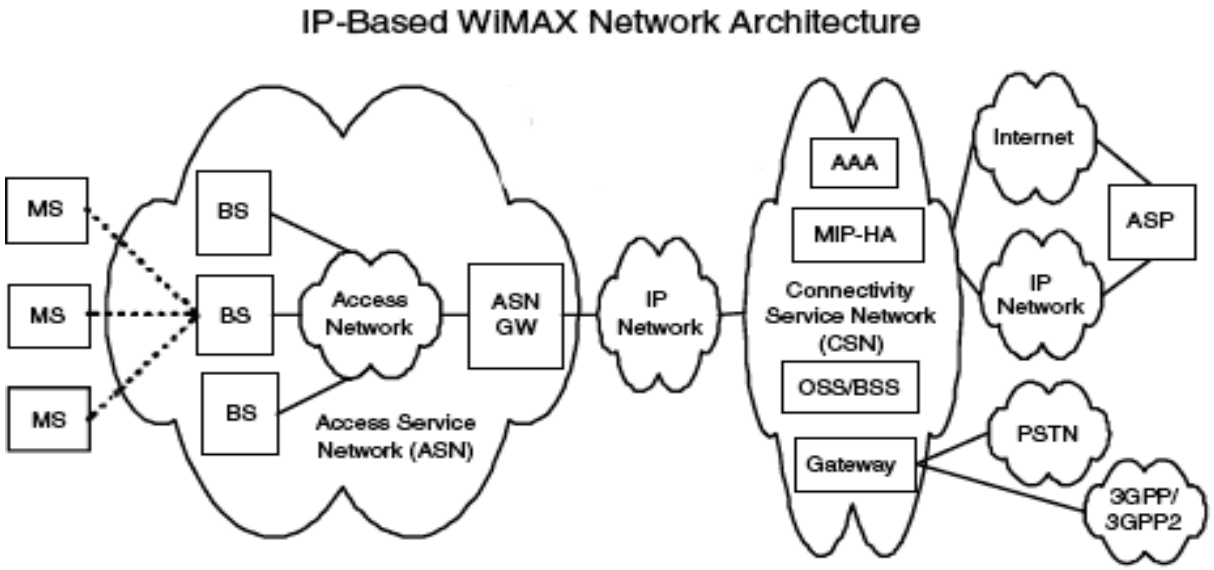
Jedan od najbitnijih elemenata u implementaciji LTE mreža je dostupnost i cijena frekvencijskog spektra, zbog omogućavanja što veće podatkovne propusnosti i kapaciteta najvećih dobitaka. Potreban je i što širi spektar, a samim time se javlja i potreba za uporabom dodatnih frekvencijskih područja. Veliku prednosti LTE tehnologije predstavljaju njena fleksibilnost po pitanju korištenja različitih frekvencijskih opsega uz različite dostupne širine pojasa. Sustav također ima pojednostavljenu arhitekturu zasnovanu na evoluiranoj jezgrenoj mreži i all-IP rješenju, kao i olakšani i automatizirani nadzor i upravljanje nad mrežom.

Proces od standardizacije do današnje komercijalne realizacije LTE tehnologije je bio relativno brz, te danas govorimo o globalnom, opće prihvaćenom standardu od strane brojnih proizvođača opreme i terminala. [9] Arhitektura LTE mreže prikazana je na slici 8.



Slika 8. Arhitektura LTE mreže [12]

WiMAX (eng. Worldwide *Interoperability for Microwave Access*) je bežična tehnologija koja omogućava širokopojasni bežični pristup Internetu uz upotrebu radiofrekvencijskog spektra od 2 GHz do 11 GHz. WiMAX odlikuje velika pokrivenost signalom, od 15 km do 50 km te velika propusna moć. Također se može koristiti kao alternativna tehnologija kada javnoj govornoj usluzi nije omogućen pristup (u slučajevima kad je gradnja žičane infrastrukture neisplativa). WiMAX ne treba telefonski priključak, nego koristi posebni WiMAX uređaj koji se priključuje na struju i spaja s računalom i telefonom. Na taj način korisnik može dobiti usluge širokopojasnog bežičnog pristupa Internetu te govorne i podatkovne usluge. Teoretske brzine prijenosa podataka u WiMAX mrežama iznose i do 70 Mbit/s. [9] Arhitektura WiMAX tehnologije prikazana je na slici 9.



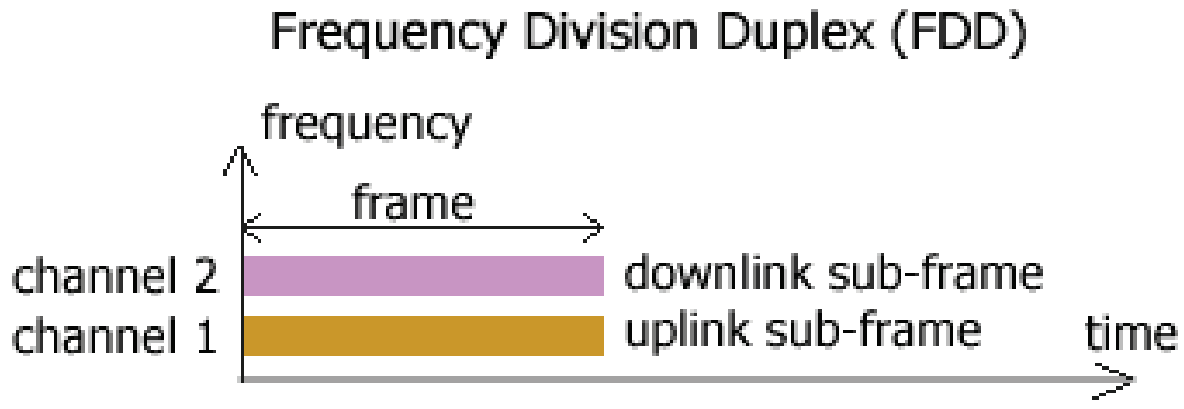
Slika 9. Arhitektura WiMAX mreža [13]

3. Tehnologije za podatkovni prijenos u pristupnim tehnologijama

Konvergencija glasovnih, video i podatkovnih usluga je ultimativni cilj pružatelja komunikacijskih usluga. U svrhu ostvarenja tog cilja, tehnologije koje povezujemo s tradicionalnim prijenosom govora zamijenjene su novijim tehnologijama koje omogućuju veću propusnost podataka, prateći zahtjeve današnjih korisnika. Pristupne tehnologije poput FDMA (eng. *Frequency Division Multiple Access*) i FDD (eng. *Frequency Division Duplex*) su prve inovativne tehnnologije koje su svojom primjenom donijele veće promjene. Danas na tržištu postoje druge tehnologije koje omogućuju ostvarivanje visokih performansi u pogledu propusnosti i ostalih zahtjeva proizašlih iz dinamične prirode današnjih mreža koje učinkovito pružaju glasovne, video, Internet i ostale podatkovne usluge.

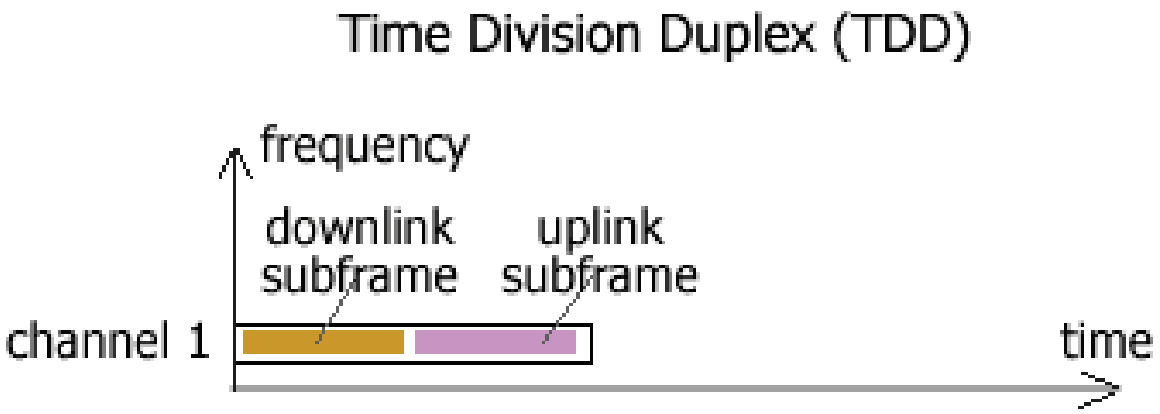
3.1. FDD i TDD

Frequency Division Duplex (FDD) i *Time Division Duplex* (TDD) dvije su najčešće tehnike dupleksiranja korištene u bežičnim fiksnim širokopojasnim mrežama. FDD, koji se prvotno koristio u isključivo glasovnim aplikacijama, podržava radio komunikaciju u dva smjera koristeći dva odvojena radio kanala [14] (prikazano slikom 10).



Slika 10. Frequency Division Duplex [15]

S druge strane, TDD koristi jedan frekvencijski pojas za prijenos (prikazano na slici 11).



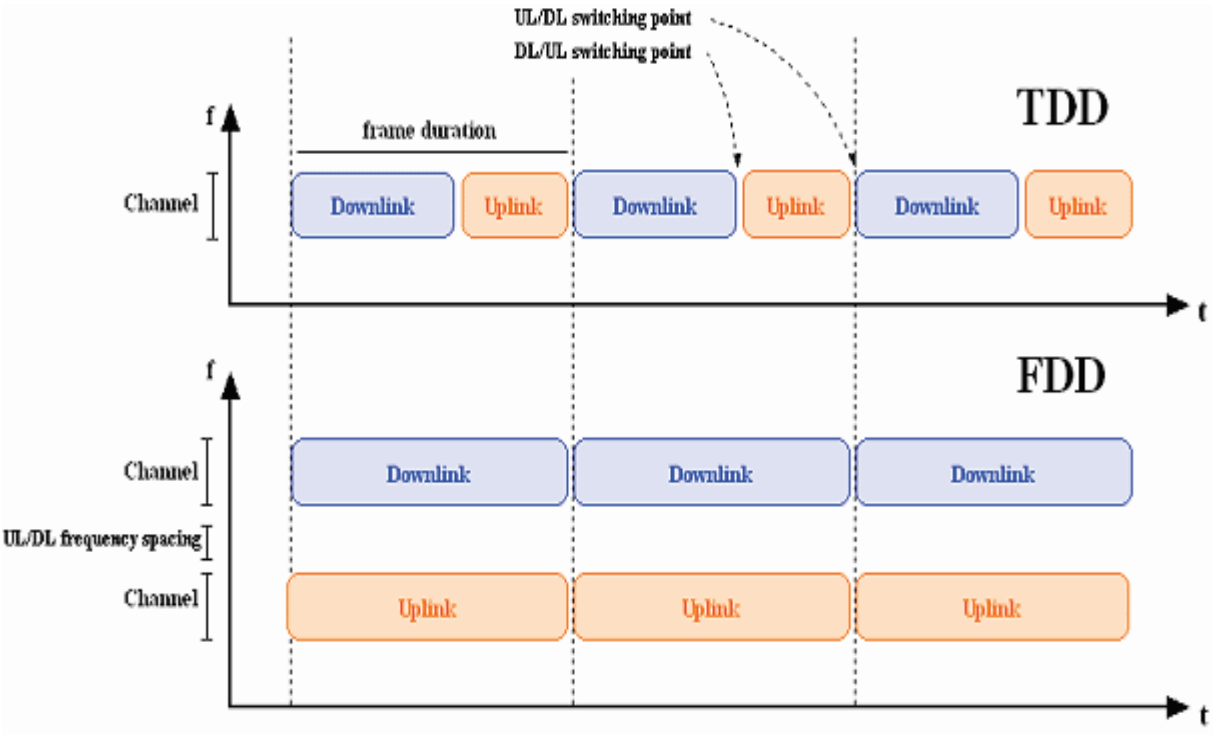
Slika 11. Time Division Duplex [15]

U fiksnim, bežičnim, od-točke-do-točke sustavima koji koriste FDD, jedan frekvencijski kanal se koristi za silazni smjer od točke A do točke B. Druga frekvencija se koristi za uzlazni smjer i podržava prijenos od točke B do točke A. Time je omogućen istovremeni prijenos u oba smjera. Između frekvencijskih pojaseva se nalazi manji razmak, kako bi se spriječile interferencije. Kod TDD-a, jednim frekvencijskim kanalom se prenosi signal u silaznom i uzlaznom smjeru.

FDD sustavi koriste kanale sačinjene od frekvencija jednakih propusnih kapaciteta. S obzirom da svaki kanal ima fiksnu propusnost, kapacitet kanala svake frekvencije je također fiksni i jednak kapacitetu svih drugih kanala u frekvencijskom spektru. Ovo svojstvo čini FDD idealnim u primjeni na simetričnim komunikacijskim aplikacijama u kojima se ista ili slična informacija prenosi u oba smjera, kao u glasovnim komunikacijama. [14]

TDD radi na principu prebacivanja prijenosnih smjerova tijekom vremena. Prebacivanje se odvija dovoljno brzo da je ono za korisnike zanemarivog trajanja. TDD može podržavati glasovne i druge simetrične komunikacijske usluge, kao i asimetrične podatkovne usluge. Također je moguće koristiti dinamičnu mješavinu obje vrste prometa. To se postiže tako što se daje prednost vremenskim intervalima za silazni smjer, u odnosu na interval namijenjen uzlaznom smjeru prijenosa. Ova asimetrija je korisna kod komunikacijskih procesa koje karakterizira nebalansiran tijek informacija. Primjer primjene za ovu tehniku je pristup Internetu, kod kojeg korisnik unosi kratku poruku u uzlaznom smjeru, a zatim prima velike količine informacija u silaznom smjeru.

FDD se također može koristiti za asimetrični prijenos. U tom slučaju propusnost silaznih i uzlaznih kanala mora biti precizno usklađena sa asimetrijom, kako bi se postigla maksimalna spektralna učinkovitost. S obzirom na nepredvidljivu prirodu Interneta i promjenjivost asimetrije, propusnost kanala u FDD-u je teško precizno podesiti. U ovom pogledu, TDD je učinkovitiji. [14] Usporedba načina funkcioniranja TDD-a i FDD-a je prikazana slikom 12.



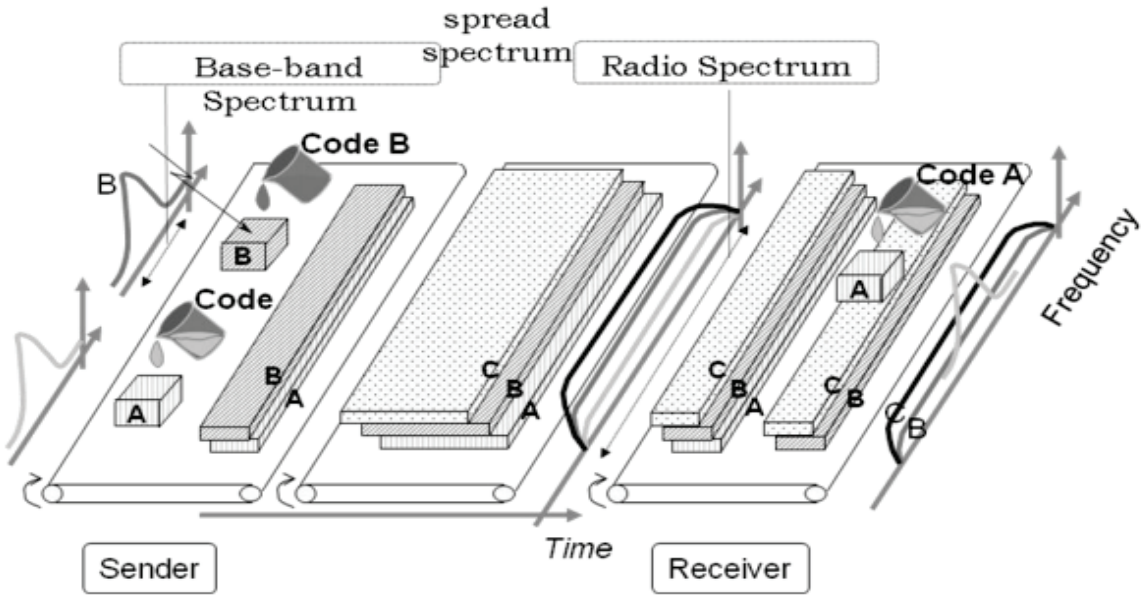
Slika 12. TDD i FDD usporedba [16]

3.2. *Code Division Multiple Access* – CDMA

Code Division Multiple Access (CDMA) je metoda pristupa kanalu, korištena od strane raznih telekomunikacijskih tehnologija. U komunikaciji podacima, jedan od osnovnih koncepta je ideja prijenosa nekolicini pošiljatelja istovremeno preko jednog komunikacijskog kanala. Ovo dozvoljava dijeljenje frekvencijskog kanala od strane nekolicine korisnika. Opisani princip se podrazumijeva pod pojmom multipleksiranje. CDMA koristi tehnologiju proširivanja spektra i specijalnu shemu kodiranja (gdje se svakom pošiljatelju dodjeljuje kôd), s ciljem ostvarenja multipleksiranja nekolicine korisnika na jednom fizičkom kanalu. [17]

CDMA omogućava do 61 istovremena korisnika u kanalu širine 1,2288 MHz tako što

obrađuje svaki glasovni paket sa dva PN (eng. *pseudo noise*) kôda. Osnovni pojas mnogih kanala sa različitim kodom može biti moduliran na istom nosiocu, kako bi se omogućila podrška za više različitih korisnika. Koristeći ortogonalnost kodova, interferencija između signala je minimalna. U obrnutom slučaju, prilikom primanja signala sa više mobilnih stanica, bazna stanica je u mogućnosti izolirati svaki, jer imaju drugačije ortogonalne kodove. Slika 13. pokazuje složenost sustava CDMA. Tijekom propagacije, miješa se signal svih korisnika, ali se koristi isti kod kao i onaj koji je korišten u vrijeme slanja na strani primatelja. [18]



Slika 13. CDMA [19]

Kapacitet CDMA ovisi o više faktora:

- obrada dobitka
- odnost signal/šum
- faktor govorne aktivnosti
- učinkovitost ponovne uporabe frekvencije.

Pojas korišten u CDMA je od 824 MHz do 894 MHz (50 MHz i 20 MHz razmaka). Frekvencijski kanal je podijeljen u kodne kanale, a 1,25 MHz FDMA kanala je podijeljeno u 64 kodna kanala.

CDMA je tehnika proširenja spektra. Svaki bit podatka je proširen kodnom sekvencom. To znači da se i energija po prenesenom bitu povećava. Dobitak možemo opisati sljedećim izrazom: P (dobitak) = 10log (W/R), gdje je W razina proširenja, a R razina podataka. Za CDMA, P (dobitak) = 10 log (1228800/9600) = 21 dB. Ovo je faktor dobitka i stvarna razina propagacije podataka. U prosjeku, prosječna transmisija zahtijeva najveći odnos signal/šum od 7 dB, za ostvarenje prigodne kvalitete prijenosa. Preneseno u omjerima, signal mora biti pet puta jači od šuma.

Prednosti CDMA:

- CDMA zahtijeva kontrolu snage, jer mora kontrolirati blizu-daleko efekt. Drugim riječima, korisnik blizu bazne stanice će "ugušiti" signal drugog korisnika. Svi signali moraju imati više-manje jednaku snagu na prijemniku.
- fleksibilna alokacija resursa
- više korisnika koristi isti frekvencijski pojas
- bez ograničenja broja korisnika, novi korisnici se lako dodaju
- bolja kvaliteta signala
- pri mijenjanju ćelija neprimjetno prekapčanje
- kompatibilnost sa drugim ćelijskim tehnologijama. [17]

3.3. Multipleks ortogonalnih podnosilaca – OFDM

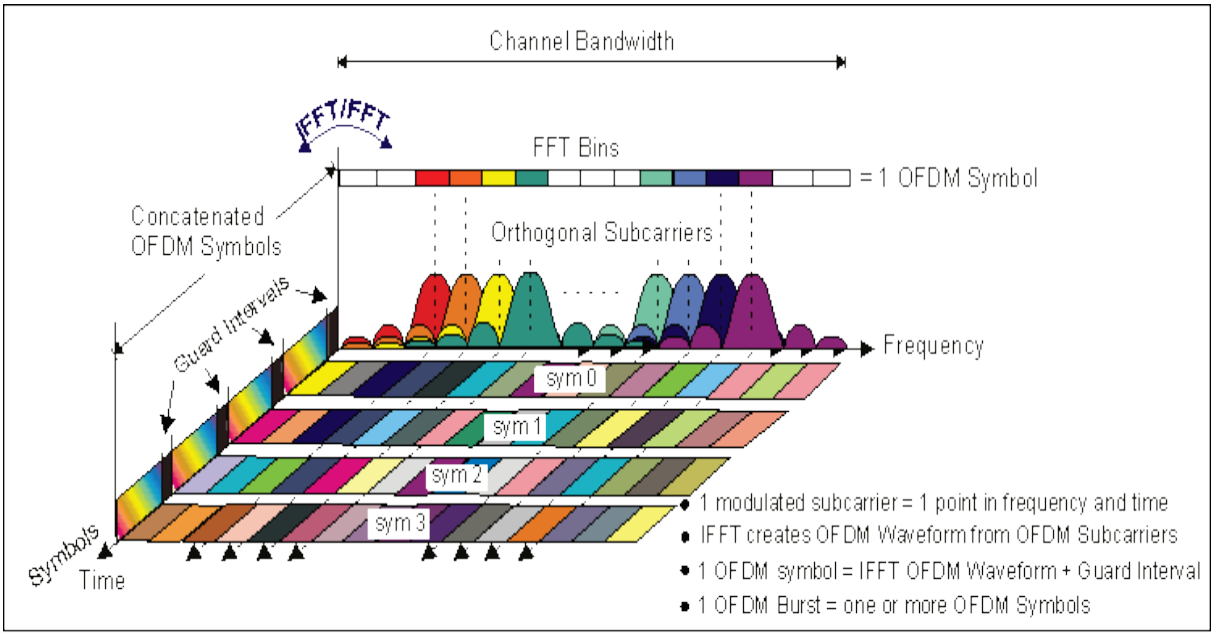
Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) je postupak multipleksiranja podnosilaca koji su modulirani nekim digitalnim modulacijskim postupkom. Umjesto odašiljanja podataka jednim podnosiocem, OFDM koristi veliki broj usko poredanih ortogonalnih podnosilaca koji se prenose paralelno. Svaki od podnosilaca je moduliran konvencionalnom modulacijskom shemom poput QPSK (eng. *Quadrature Phase Shift Keying*), 16QAM i slično. Kombinacija više podnosilaca omogućuje prijenos jednakih količina podataka kao i kod tradicionalnih modulacijskih shema jednog podnosioca, uz ekvivalentnu propusnost.

OFDM je baziran na dobro poznatoj FDM (eng. *Frequency Division Multiplexing*) tehnici. Kod FDM-a različita strujanja podataka su mapirana u različite, paralelne frekvencijske kanale. Svaki FDM kanal je odvojen od susjednog zaštitnim pojasom kako bi se smanjila mogućnost interferencije.

OFDM shema se u odnosu na FDM razlikuje u sljedećim stavkama:

- višestruki nosioci (tkz. podnosioci) nose informacije
- podnosioci su međusobno ortogonalni.

Slika broj 14 ilustrira glavne koncepte OFDM signala i odnose između frekvencijskih i vremenskih domena. U frekvencijskoj domeni je svaki susjedni podnosilac nezavisno moduliran kompleksnim podacima. Inverzna FTT pretvorba se obavlja u domeni frekvencijskih podnosilaca kako bi se proizveo OFDM simbol u vremenskoj domeni. Zatim se u vremenskoj domeni između simbola postavljaju zaštitni intervali sa ciljem sprječavanja interferencije na prijemniku. Na njemu se koristi FTT kako bi iz OFDM simbola dobili podatke u izvornom obliku. [20]



Slika 14. Frekvencijsko-vremenski odnos OFDM signala [21]

Podaci koji se prenose koristeći OFDM signal su prošireni na podnosioce, a svaki podnosilac ima svoj udio u korisnoj nosivosti. Time se smanjuje količina podataka koju nosi svaki nosilac. Prednost manje količine podataka po nosiocu je manja interferencija.

Prednosti OFDM sheme:

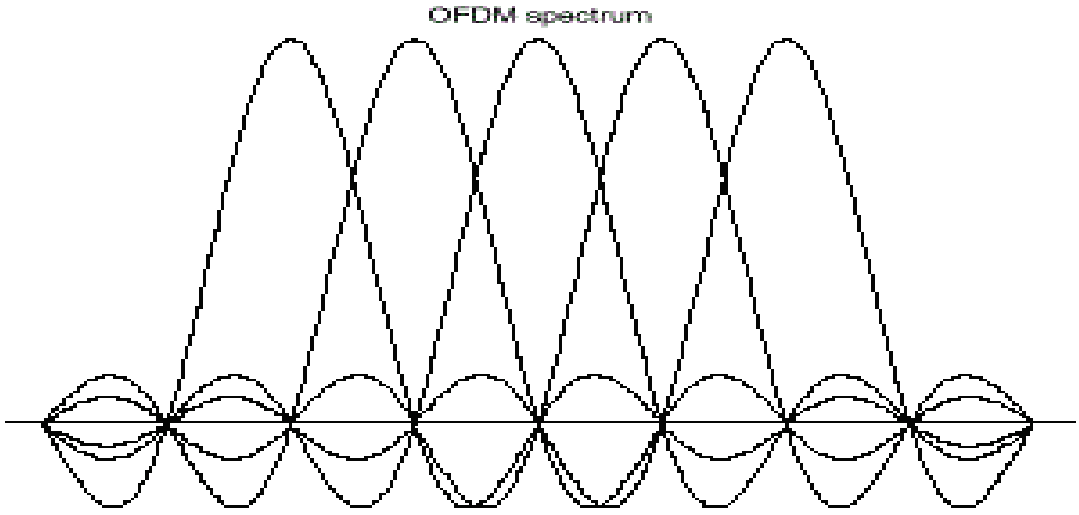
- otpornost na selektivno opadanje signala; jedna od glavnih prednosti OFDM-a, veća otpornost u odnosu na sheme jednog nosioca zbog dijeljenja kanala u višestruke uskopojasne signale koji su izloženi zasebno kao ravno padajući podkanali
- interferencijska elastičnost; interferencija koja se pojavljuje na kanalu može biti ograničena širinom kanala i na taj način neće utjecati na podkanale. To znači da se ne gube nužno svi podaci.
- učinkovita iskoristivost spektra; korištenje blisko postavljenih, preklapajućih podnosilaca omogućuje veću iskoristivost dostupnog frekvencijskog spektra, velika prednost korištenja OFDM-a
- ISI elastičnost; još jedna prednost OFDM-a je elastičnost na interferencije između simbola i okvira, kao rezultat male količine podataka na svakom podnosiocu
- elastičnost u pogledu korištenja uskog spektra; korištenjem prikladnog kodiranja kanala i preklapanja je moguće obnavljanje simbola izgubljenih zbog frekvencijske selektivnosti kanala i usko-pojasne interferencije. Ne gube se svi podaci.
- jednostavnije izjednačavanje kanala; jedan od problema CDMA sustava je kompleksnost izjednačavanja kanala koju je potrebno primijeniti na cijeli kanal. Korištenje višestrukih podkanala kod OFDM-a pojednostavljuje njihovo izjednačavanje.

Iako ima veliku primjenu, OFDM u svojoj primjeni ima i nedostatke poput:

- OFDM signal ima šumovitu amplitudnu varijaciju i relativno velik dinamički raspon. To utječe na učinkovitost RF pojačala na način da pojačala trebaju biti linearna i prihvatiti velike amplitudne varijacije, a ti faktori znače da pojačala ne mogu raditi na visokoj razini učinkovitosti
- još jedan nedostatak OFDM-a je osjetljivost na offset i odstupanje frekvencije podnosilaca. Sustavi sa jednim nositeljem su manje osjetljivi. [22]

3.3.1. Važnost i uloga ortogonalnih podnosilaca

OFDM signal može biti opisan kao skup blisko posloženih FDM podnosilaca. U frekvencijskoj domeni, svaki preneseni podnosilac rezultira u spektru sin(x)/(x) funkcije s bočnim izbočinama koje proizvode preklapajući spektar između podnosilaca (prikazano na slici 15). Ako podnosioci nisu međusobno razmaknuti na način da su maksimumi svakog na mjestima nul-točaka svih ostalih, dolazilo bi do interferencije. Preklapanje spektralne energije, u ovom slučaju, se ne miješa sa mogućnošću sustava da obnovi originalni signal. Prijemnik umnožava dolazeći signal s određenim brojem sinusoida kako bi obnovio izvorni niz poslanih bitova. [20]



Slika 15. Spektar OFDM signala [23]

Korištenje ortogonalnih podnosilaca omogućuje veću brzinu prijenosa, rezultirajući boljom iskoristivošću dostupnog spektra. Kod savršenog OFDM signala ortogonalnost sprječava interferenciju između preklapajućih nosilaca. Kod FDM sustava, bilo koje preklapanje u spektru susjednih signala će rezultirati interferencijom. U OFDM sustavima će do interferencije između podnosilaca doći samo ako dođe do gubitka ortogonalnosti. [20]

3.3.2. Inačice OFDM-a

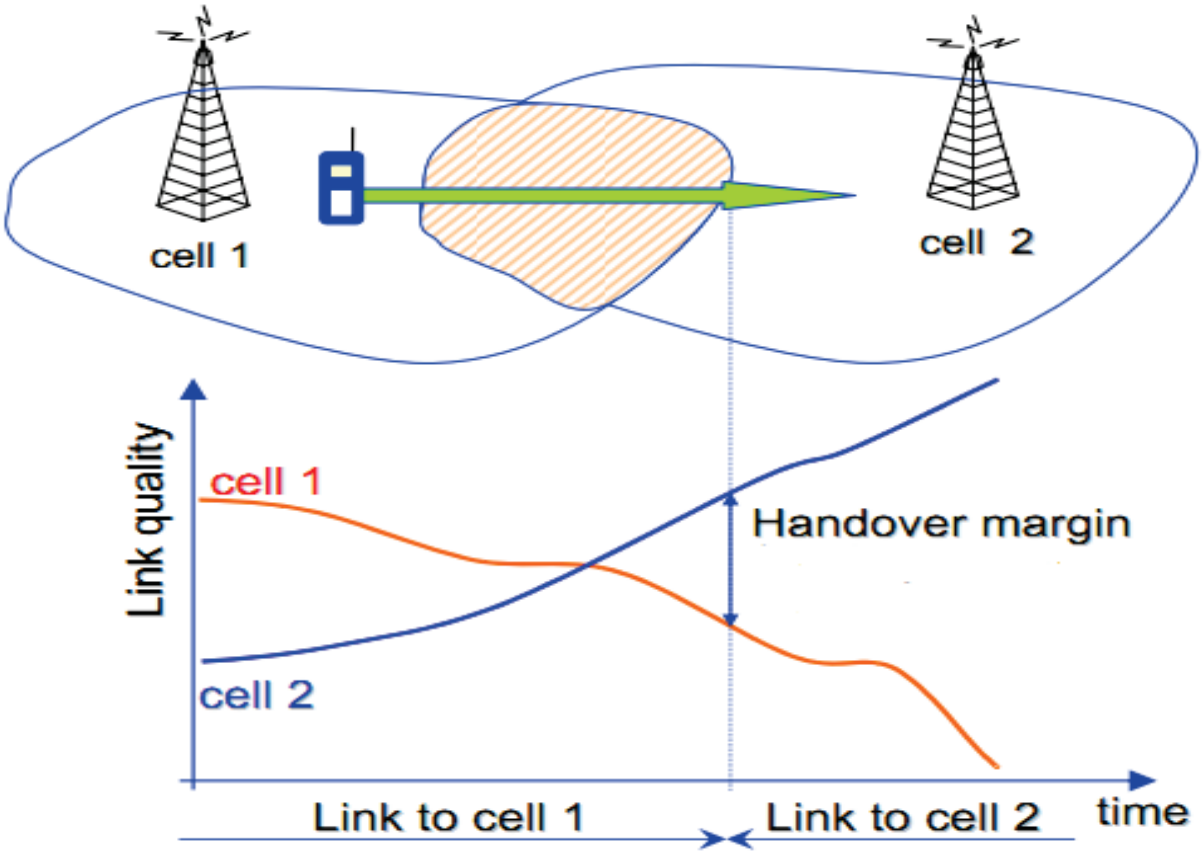
U uporabi se nalaze različite inačice OFDM-a:

- COFDM; *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*. OFDM format kod kojeg je kodiranje ispravljanja grešaka sadržano u signalu
- Flash OFDM; format OFDM-a razvijen od strane tvrtke Flarion. Riječ je o skokovitom obliku OFDM-a, koriste se višestruke nijanse za proširenje signala u određenom spektru
- VOFDM; *Vector* OFDM. Ovaj oblik OFDM-a koristi koncepte MIMO (eng. *Multiple Input Multiple Output*) tehnologije. Razvijen je od strane CISCO Systems. Podrazumijeva korištenje više antena za odašiljanje i prijem signala, što dovodi do poboljšanja brzine prijenosa.
- WOFDM; *Wideband* OFDM. Koncept ovog OFDM formata je korištenje stupnja razmaka između kanala koji je dovoljno velik da bilo koje frekvencijske greške nastale između odašiljača i prijemnika ne utječu na performanse usluge. Koristi se kod Wi-Fi sustava. [22]

4. Prekapčanje

Koncept ćelijskog sustava se temelji na velikom broju baznih stanica koje pokrivaju malo područje (ćeliju), te se kao rezultat toga iste frekvencije se mogu ponovno upotrebljavati. Ćelijski telefonski sustavi također omogućuju mobilnost korisnika. Sustav stoga zahtijeva da se pomicanjem korisnika iz područja jedne ćelije u područje druge ćelije omogući predavanje poziva iz domene bazne stanice prve ćelije u područje druge, bez prekida kontinuiteta u poziva. Za navedeno se koriste dva termina: ćelijski handover (češće korišten u Europi) i ćelijski handoff (češće korišten u Sjedinjenim Američkim Državama).

Prekapčanje je proces od velikog značaja za svaku ćelijsku telekomunikacijsku mrežu. Neophodno je osigurati njegovu stabilnost i pouzdanost. Neuspješno prekapčanje rezultira prekinutim pozivom. [24] Koncept prekapčanja jednostavno je prikazan slikom 16.



Slika 16. Jednostavan prikaz koncepta prekapčanja [25]

Iako je koncept prekapčanja relativno jednostavan, njegova implementacija u stvarne sustave najčešće nije. Mreža mora donijeti odluku kada je prekapčanje nužno i u kojoj ćeliji. Različiti ćelijski sustavi obavljaju prekapčanje na različite načine. Postoji niz parametara koje mreža uzima u obzir pri odluci o prekapčanju. Jedan od njih je jačina signala bazne stanice u kojoj je započeta komunikacija, kao i jačina signala baznih stanica u okruženju. Također je potrebna informacija o broju dostupnih kanala. Mobilni uređaj kontinuirano mjeri jačinu signala bazne stanice, te tu informaciju vraća natrag. Kada snaga signala bazne stanice u kojoj se uređaj nalazi počne padati ispod zadovoljavajuće razine, mreža tada pregledava i uzima podatke o jačini signala sa drugih mobilnih uređaja u okruženju. Zatim se obavlja provjera dostupnosti kanala te ako je barem jedan slobodan, on se u toj ćeliji rezervira za novog korisnika. Kada je spremna, trenutna bazna stanica uređaju prosljeđuje informacije o novom kanalu, koji zatim obavlja promjenu. U trenutku prelaska se šalje poruka potvrde. Ako je njeno slanje uspješno, mreža prekida vezu mobilnog uređaja sa starim kanalom, oslobađajući ga za nove korisnike. [24]

4.1. Vrste prekapčanja

Razvojem CDMA sustava gdje isti kanal može koristiti više korisnika, te gdje je moguće da susjedne ćelije koriste iste frekvencijske kanale, postoje različite vrste prekapčanja:

- tvrdo prekapčanje
- meko prekapčanje
- mekše prekapčanje.

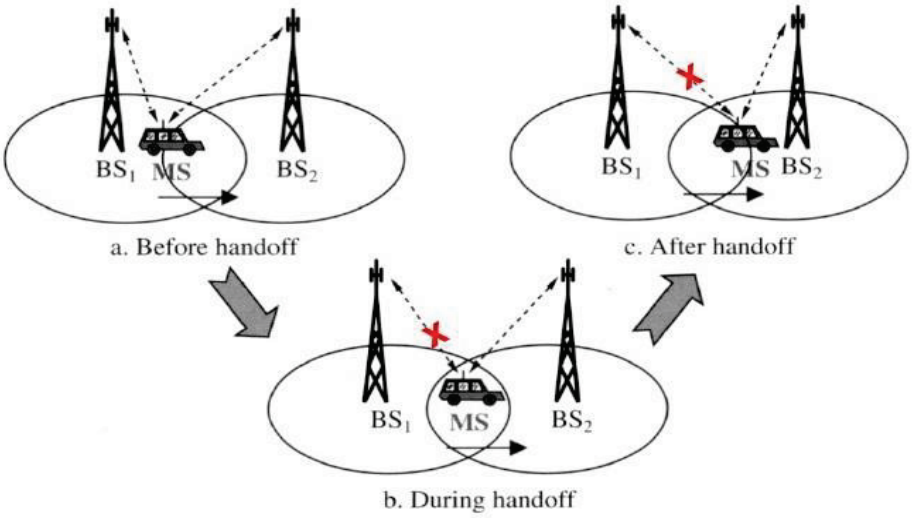
Iako imaju istu svrhu, različiti tipovi prekapčanja se izvode na različite načine i u drugačijim okolnostima. [24]

4.1.1. Tvrdo prekapčanje

Kod tvrdog prekapčanja postojeća veza mora biti prekinuta prije uspostavljanja nove. Primjer tvrdog prekapčanja je promjena frekvencija. Kako mobilni uređaj u pravilu prenosi podatke na jednoj frekvenciji, veza se mora prekinuti prije premještanja na novi kanal gdje se

ponovno uspostavlja konekcija. To se često naziva inter-frekvencijsko tvrdo prekapčanje.

Riječ je o najčešćem tipu tvrdog prekapčanja. Osim njega je moguće imati tvrdo prekapčanje kod kojeg frekvencijski kanal ostaje isti. Iako postoji kratki prekid u transmisiji, on je najčešće dovoljno kratak da bi bio neprimjetan korisnicima. [24] Pojednostavljen prikaz tvrdog prekapčanja se nalazi na slici 17.



Slika 17. Pojednostavljeni prikaz tvrdog prekapčanja [26]

4.1.2. Tvrdo prekapčanje u UMTS sustavima

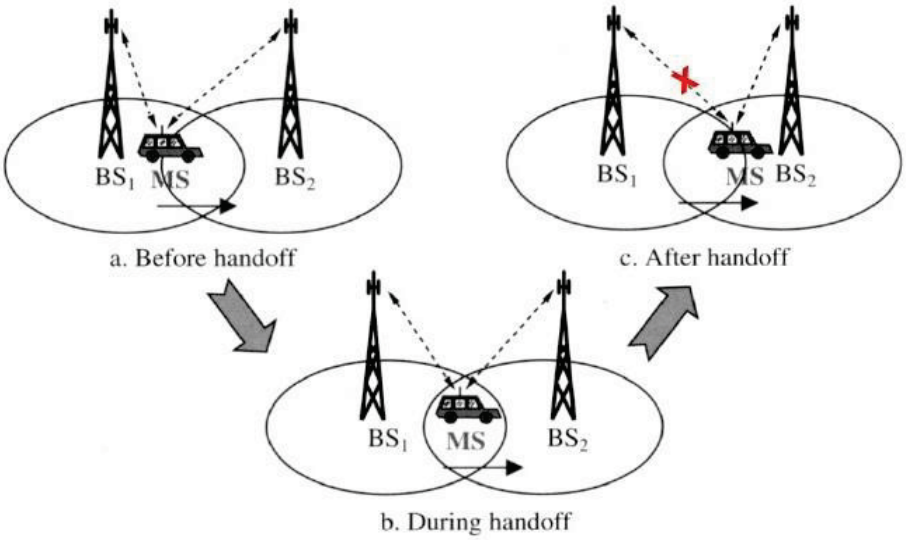
UMTS tvrdo prekapčanje se primjenjuje u sljedećim slučajevima:

- kada se korisnik kreće iz jedne u drugu, susjednu ćeliju koja je na drugoj frekvenciji
- kada dolazi do promjene moda prijenosa, primjerice prijelaz sa FDD na TDD
- kod prelaska iz jedne u drugu ćeliju koja nema slobodnih kapaciteta na postojećem kanalu, te je potreban prelazak na drugu frekvenciju.

Tvrdo prekapčanje kod UMTS-a (eng. *Universal Mobile Telecommunications System*) se susreće sa nekim sličnim problemima kao i kod GSM sustava. Kada su visoke razine korištenja usluge, kapacitet određene ćelije u koju korisnička oprema želi ući nekad nije dovoljan za primanje novih korisnika. Stoga je potrebna rezevacija
resursa za nove korisnike. [27]

4.1.3. Meko prekapčanje

Meko prekapčanje je oblik prekapčanja kod kojeg prije uspostavljanja nove konekcije nije nužno prekidati vezu sa prethodnom baznom stanicom. Nova veza je uspostavljena prije prekida veze sa inicijalnom stanicom. Kod UMTS-a se većina prekapčanja obavlja unutar-frekvencijskim mekim prekapčanjem. [24] Pojednostavljeni prikaz mekog prekapčanja se nalazi na slici 18.



Slika 18. Pojednostavljeni prikaz mekog prekapčanja [28]

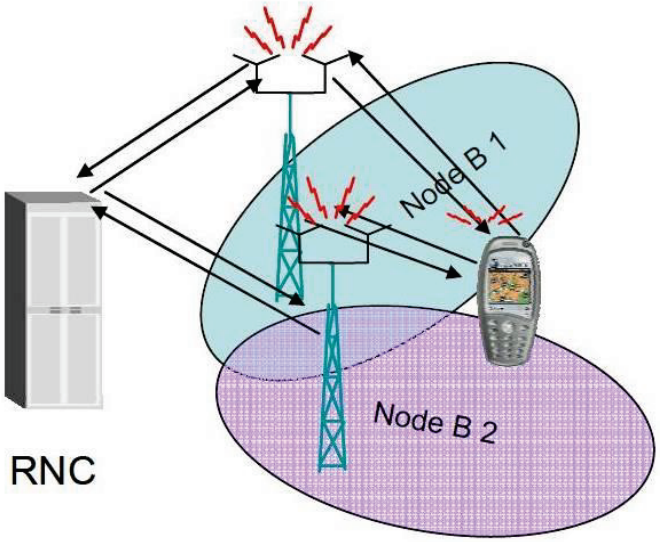
4.1.4. 3G UMTS meko prekapčanje

Meko prekapčanje je oblik prekapčanja omogućen implementacijom CDMA. Izvodi se kada je korisnička oprema na području preklapanja dvaju ćelija. Veza sa obje bazne stanice se može uspostaviti odmah i uređaj na taj način komunicira sa njima. S obzirom da ne mora doći do prekida veze sa jednom od stanica tijekom procesa prekapčanja, on se može izvoditi pouzdanije.

Meko prekapčanje koristi više simultanih linkova što znači da susjedne ćelije moraju raditi na istoj frekvenciji ili kanalu, s obzirom da korisnički uređaj nema višestruke odašiljače i prijemnike koji bi bili potrebni u slučaju rada na različitim frekvencijama. Prilikom izvođenja mekog prekapčanja, uređaj korisničke opreme prima signale sa dva NodeB-a i

kombinira ih koristeći RAKE prijemnik. U uzlaznoj vezi je situacija nešto kompliciranija s obzirom da kombiniranje signala ne može biti ostvareno u NodeB, s obzirom da ih je u proces uključeno više od jednoga. Umjesto toga, kombiniranje se ostvaruje po principu okvir-po-okvir. Najpogodniji okviri se biraju nakon svakog perioda preplitanja. Selekcija se obavlja korištenjem algoritma koji na primljenim signalima iz uzlazne veze mjeri odnos signal-šum. Ta informacija se zatim koristi za odabir najboljih okvira. U trenutku kad je meko prekapčanje završeno, veza sa starim NodeB se prekida, a korisnički uređaj nastavlja komunikaciju sa novim NodeB.

Meko prekapčanje koristi viši stupanj mrežnih resursa u odnosu na normalnu vezu ili tvrdo prekapčanje, što se nadoknađuje većom stabilnošću, pouzdanošću i performansama procesa prekapčanja. [27] Prikaz mekog prekapčanja u UMTS-u je dan slikom 19.



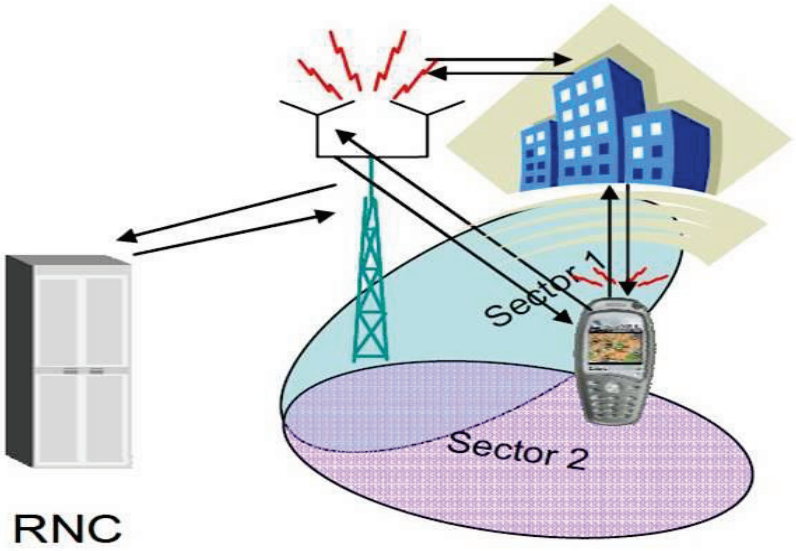
Slika 19. Prikaz mekog prekapčanja u UMTS mreži [29]

4.1.5. Mekše prekapčanje

Treći oblik prekapčanja je takozvano mekše prekapčanje. U ovoj inačici je novi signal ili dodan ili izbrisan iz aktivne grupe signala. Također se može pojaviti kada signal zamjenjujemo jačim signalom drugog sektora unutar iste bazne stanice. Ovaj tip prekapčanja se koristi u UMTS-u ili CDMA2000. [24]

4.1.6. 3G UMTS mekše prekapčanje

Pojavljuje se kada se nove radio veze dodaju sa istog NodeB-a. Do toga dolazi kada jedan NodeB poslužuje više sektora, što pojednostavljuje proces jer se ne mora ići u više mrežne slojeve. UMTS mekše prekapčanje je ostvarivo samo onda kada korisnička oprema može primiti signale iz dva sektora koja su posluživana od strane istog NodeB-a. To može biti rezultat preklapajućih sektora ili češće propagacija nastala reflekcijom od zgrada i slično. U uzlaznoj vezi signale prima NodeB. Signali iz dva sektora mogu biti rutirani na isti RAKE prijemnik i onda kombinirani kako bi pružili poboljšan signal. U silaznoj vezi je situacija nešto kompliciranija jer različiti sektori NodeB-a koriste različite kodove. Kao rješenje služi RAKE prijemnik koji primjenjuje pripadajuće sužavajuće kodove na dolazne signale. Kada taj proces završi, signali mogu biti kombinirani kao i prije. [27] Mekše prekapčanje je prikazano slikom 20.



Slika 20. Prikaz mekšeg prekapčanja [29]

5. Provedba migracije sa protokola IPv4 na protokol IPv6

Tranzicija sa IPv4 na IPv6 ne zahtijeva globalnu koordinaciju, stranice i davatelji mrežnih usluga mogu obavljati migraciju zasebnim tempom. Dodatan trud je uložen kako bi se pri tranziciji smanjio broj međusobno ovisnih elemenata prijelaza pa tako na primjer routeri ne moraju biti nadograđeni na IPv6 prije hostova.

Tri su najznačajnije opcije kada govorimo o migraciji na IPv6 sa postojeće mrežne infrastrukture:

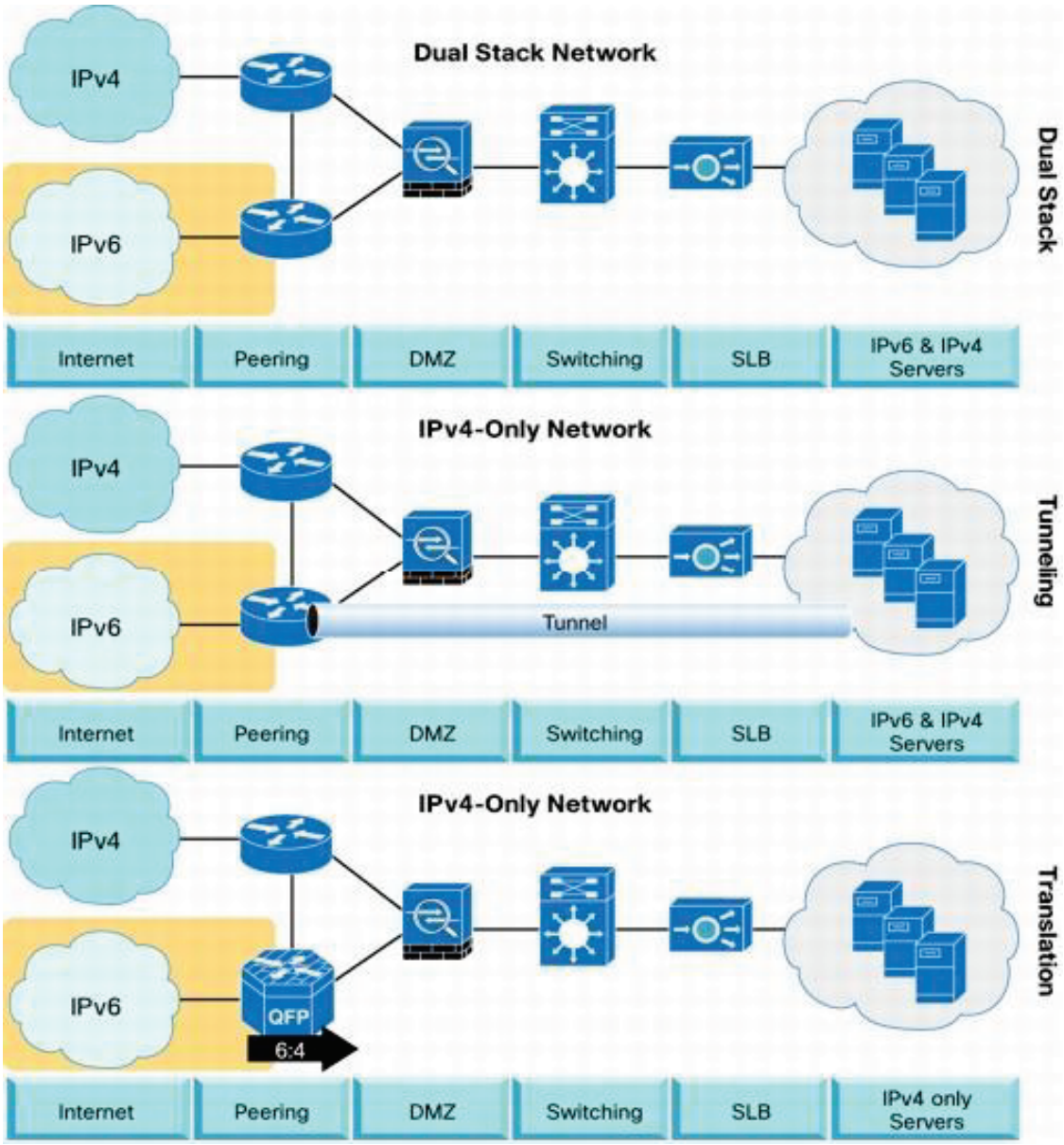
- dual stack mreža
- tuneliranje
- translacija. [30]

Tranzicijske tehnike su prikazane na slici 21.

5.1. Dual stack mreža

Dual stack je tranzicijska tehnologija u kojoj IPv4 i IPv6 rade zajedno preko dijeljenih linkova. U dual stack mreži su i IPv4 i IPv6 razmještene u infrastrukturi tako da konfiguracijski protokoli i protokoli usmjeravanja rade istovremeno sa adresiranjem IPv4 i IPv6. Poduzeća i davatelji usluga se pri implementaciji dual stack mreže susreću sa dva glavna izazova:

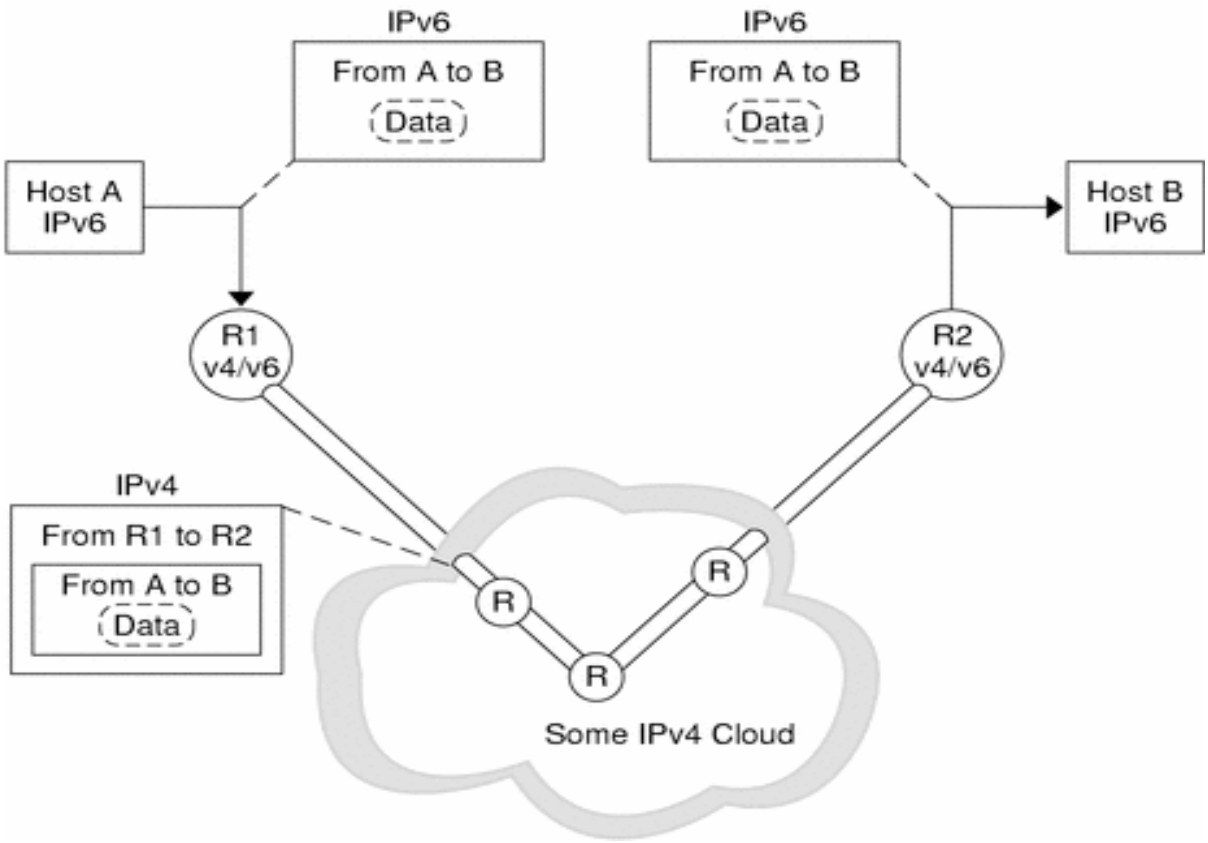
- dual stack zahtijeva sposobnost postojeće mreže da koristi IPv6, te su u većini slučajeva potrebne hardverske i softverske nadogradnje
- IPv6 treba biti aktiviran na skoro svim mrežnim elementima. Za ispunjenje tog zahtjeva je potrebno redizajniranje postojeće mreže. [30]



Slika 21. Dostupne IPv6 tranzicijske tehnike [31]

5.2. Tuneliranje

Kako bi se smanjile ovisnosti tijekom procesa tranzicije routeri na putu između dva IPv6 čvora ne moraju podržavati IPv6, a taj mehanizam nazivamo tuneliranje. IPv6 paketi su smješteni unutar IPv4 paketa koji su usmjeravani kroz IPv4 routere. [32] Mehanizam tuneliranja kroz IPv4 routere je prikazan slikom 22.



Slika 22. Mehanizam tuneliranja [33]

Prednost ovog pristupa je u tome što novi protokol može raditi bez interferencije sa starim protokolom, omogućavajući tako povezanost između korisnika novog protokola. Tuneliranje ima dva nedostatka:

- korisnici nove arhitekture ne mogu koristiti usluge osnovne infrastrukture
- tuneliranje ne omogućuje korisnicima novog protokola komunikaciju sa korisnicima starog protokola bez dual-stack hostova, što smanjuje razinu interoperabilnosti. [30]

5.3. Translacija

Za razliku od tuneliranja, translacijska metoda omogućuje prevođenje IPv6 prometa u IPv4 i obrnuto. Pri korištenju ove metode promet nije enkapsuliran nego konvertiran u tip na odredištu (IPv4 ili IPv6). Dvije su najčešće metode translacije IPv6 mreža:

- NAT-PT (eng. *Network Adress Translation-Protocol Translation*), omogućuje statičko ili dinamičko konfiguriranje translacije adrese IPv4 mreže u adresu IPv6 mreže i obrnuto
- NAT64, olakšava komunikaciju između isključivo IPv4 hostova i isključivo IPv6 hostova i mreža u prijenosu ili pristupu. Ovo rješenje omogućava davateljima usluga ubrzano usvajanje IPv6 dok se istovremeno odvija smanjenje korištenja IPv4 adresa. [34]

6. Zaključak

Mobilni pristup Internetu suvremeno je sredstvo komunikacije i pristupa informacijama koje svakim danom poprima sve veći značaj kroz neprestano povećanje broja korisnika i sve veću ulogu na tržištu komunikacija. Mobilna ćelijska mreža je zbog svojih obilježja u urbanim sredinama izložena brojnim potencijalnim poteškoćama zbog čestih infrastrukturnih ograničenja i stohastičke prirode prometa kao takvoga. Neprestani dolazak novih usluga zahtijeva poboljšanje performansi koje podrazumijeva ulaganja u infrastrukturu i implementaciju novih tehnika prijenosa. Sve nadogradnje trebaju biti kompatibilne sa već postojećim korisničkim uređajima i mrežom, što najčešće predstavlja još jedan otežavajući element.

Napredak koji je ostvaren od prve generacije analogne mobilne mreže iz 1978. godine je, gledajući iz današnje perspektive, enorman, a preostaje vidjeti u kojem smjeru će se nove usluge i način njihove implementacije u postojeću mrežu kretati u budućnosti.

Literatura

[1] Preuzeto s: http://www.cert.hr/sites/default/files/NCERT-PUBDOC-2010-06-303.pdf [18. ožujka 2017.]

[2] Preuzeto s: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:832949/FULLTEXT01.pdf [16. ožujka 2016.]

[3] Arhitektura 1G mreže, dostupno na: http://flylib.com/books/en/2.566.1.88/1/

[4] Arhitektura GSM 2G mreže, dostupno na: http://www.slideshare.net/ramraj_vaishnav/gsm-architecture-12083704

[5] Arhitektura GPRS mreže, dostupno na: http://www.cert.hr/sites/default/files/NCERT-PUBDOC-2010-06-303.pdf

[6] Arhitektura 3G mreže, dostupno na: http://www.it-modul.rs/01/2014/4g-cetvrta-generacija-mobilnih-telekomunikacionih-sistema/

[7] Preuzeto s: http://www.it-modul.rs/01/2014/4g-cetvrta-generacija-mobilnih-telekomunikacionih-sistema/ [17. ožujka 2016.]

[8] Kronološki prikaz razvoja komunikacijskih tehnologija, dostupno na: http://www.it-modul.rs/01/2014/4g-cetvrta-generacija-mobilnih-telekomunikacionih-sistema/

[9] Preuzeto s: http://arhiva.ericsson.hr/etk/revija/Br_1_2010/04.pdf [23. svibnja 2017.]

[10] Arhitektura 4G mreže, dostupno na: http://www.it-modul.rs/01/2014/4g-cetvrta-generacija-mobilnih-telekomunikacionih-sistema/

[11] Proces razvitka LTE mreže, dostupno na: http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_1_2010/04.pdf

[12] Arhitektura LTE mreže, dostupno na: http://www.slideshare.net/sampoorna02/long-term-evolution-lte-technology

[13] Arhitektura WiMAX mreža, dostupno na: http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_network_model.htm

[14] Preuzeto s: http://www.netkrom.com/legado/support/whitepapers/TDD_vs_FDD_in_wireless_backhaul_white_paper.pdf [17. svibnja 2017.]

[15] Frequency Division Duplex, dostupno na: http://www.conniq.com/WiMAX/tdd-fdd.htm

[16] FDD i TDD usporedba, dostupno na: http://www.atdi.us.com/generalWimax.php

[17] Preuzeto s: http://wireless-resource.blogspot.hr/2012/07/what-is-cdma-advantage-disadvantage-and_4266.html [13. svibnja 2017.]

[18] Preuzeto s: https://wsl.stanford.edu/~ee359/advantages.pdf [13. svibnja 2017.]

[19] CDMA, dostupno na: https://www.tutorialspoint.com/cdma/cdma_technology.htm

[20] Preuzeto s: http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/wlan-ofdm/content/ofdm_basicprinciplesoverview.htm [3. lipnja 2017.]

[21] Frekvencijsko-vremenski odnos OFDM signala, dostupno na: http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/wlan-ofdm/content/ofdm_basicprinciplesoverview.htm

[22] Preuzeto s: http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/ofdm/ofdm-basics-tutorial.php [3. lipnja 2017.]

[23] Spektar OFDM signala, dostupno na: http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr05/ofdm/ofdmmath.htm

[24] Preuzeto s: http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/cellular_concepts/handover_handoff.php [5. lipnja 2017.]

[25] Jednostavan prikaz koncepta prekapčanja, dostupno na: http://telecommunicationengineeringconcepts.blogspot.hr/2012/05/gsm-handoverhandoff.html

[26] Pojednostavljeni prikaz tvrdog prekapčanja, dostupno na: https://www.slideshare.net/Vamshiu/3-handoff-management

[27] Preuzeto s: http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/umts/umts-wcdma-handover-handoff.php [7. lipnja 2017.]

[28] Pojednostavljeni prikaz mekog prekapčanja, dostupno na: https://www.slideshare.net/Vamshiu/3-handoff-management

[29] Prikaz mekog prekapčanja u UMTS mreži, dostupno na: http://www.3glteinfo.com/soft-softer-handover-in-umts-system/

[30] Preuzeto s: http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/ios-nx-os-software/enterprise-ipv6-solution/white_paper_c11-676278.html [9. lipnja 2017.]

[31] Dostupne IPv6 tranzicijske tehnike, dostupno na: http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/ios-nx-os-software/enterprise-ipv6-solution/white_paper_c11-676278.html

[32] Preuzeto s: https://docs.oracle.com/cd/E19683-01/817-0573/transition-10/index.html [9. lipnja 2017.]

[33] Mehanizam tuneliranja, dostupno na: https://docs.oracle.com/cd/E19683-01/817-0573/transition-10/index.html

[34] Preuzeto s: https://www.petri.com/ipv6-transition [9. lipnja 2017.]

Popis slika

Slika 1. Arhitektura 1G mreže [3] 4
Slika 2. Arhitektura GSM 2G mreže [4] 5
Slika 3. Arhitektura GPRS mreže [5] 6
Slika 4. Arhitektura 3G mreže [6] 7
Slika 5. Kronološki prikaz razvoja komunikacijskih tehnologija [8] 8
Slika 6. Arhitektura 4G mreže [10] 9
Slika 7. Proces razvitka LTE mreže [11] 10
Slika 8. Arhitektura LTE mreže [12] 12
Slika 9. Arhitektura WiMAX mreža [13] 13
Slika 10. Frequency Division Duplex [15] 14
Slika 11. Time Division Duplex [15].. 15
Slika 12. FDD i TDD usporedba [16] 16
Slika 13. CDMA [19] 17
Slika 14. Frekvencijsko-vremenski odnos OFDM signala [21] 19
Slika 15. Spektar OFDM signala [23]. 21
Slika 16. Jednostavan prikaz koncepta prekapčanja [25] 23
Slika 17. Pojednostavljeni prikaz tvrdog prekapčanja [26] 25
Slika 18. Pojednostavljeni prikaz mekog prekapčanja [28]. 26
Slika 19. Prikaz mekog prekapčanja u UMTS mreži [29]. 27
Slika 20. Prikaz mekšeg handovera [29] 28
Slika 21. Dostupne IPv6 tranzicijske tehnike [31] 30
Slika 22. Mehanizam tuneliranja [33]. 31

Popis kratica

IPv4 (eng. *Internet Protocol version 4*) - Internet Protokol verzija 4

IPv6 (eng. *Internet Protocol version 6*) - Internet Protokol verzija 6

1G (eng. *first generation wireless telephone technology*) - prva generacija mobilnih mreža

2G (eng. *second generation wireless telephone technology*) - druga generacija mobilnih mreža

3G (eng. *third generation wireless telephone technology*) - treća generacija mobilnih mreža

4G (eng. *fourth generation wireless telephone technology*) - četvrta generacija mobilnih mreža

FDD (eng. *Frequency Division Duplex*)

TDD (eng. *Time Division Duplex*)

CDMA (eng. *Code Division Multiple Access*)

OFDM (eng. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

QoS – (eng. *Quality of Service*)

LBS – (eng. *location based services*)

HSPA - (eng. high speed packet access)

RAN - (eng. *radio access network*)

Wi-Fi - (eng. *wireless fidelity*)

LTE - (eng. *long term evolution*)

GSM - (eng. *Global System for Mobile Communications*)

SMS - (eng. *Short Message Service*)

GPRS - (eng. *General Packet Radio Service*)

EDGE - (eng. *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*)

WCDMA - (eng. *Wideband Code Division Multiple Access*)

WiMAX - (eng. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*)

IMT Advanced - (eng. *International Mobile Telecommunications Advanced*)

WLAN - (eng. *Wireless Local Area Network*)

CN - (eng. *Core Network*)

IP - (eng. *Internet Protocol*)

OFDMA - (eng. *Orthogonal frequency-division multiple access*)

3GPP - (eng. *Third Generation Partnership Project*)

ITU - (eng. *International Telecommunication Union*)

VoIP - (eng. *Voice over Internet Protocol*)

FDMA - (eng. *Frequency Division Multiple Access*)

PNC - (eng. *Pseudo Noise Code*)

QPSK - (eng. *Quadrature Phase Shift Keying*)

16QAM - (eng. *Quadrature Amplitude Modulation*)

FDM - (eng. *Frequency Division Multiplexing*)

COFDM - (eng. *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

VOFDM - (eng. *Vector OFDM*)

MIMO - (eng. *Multiple Input Multiple Output*)

WOFDM - (eng. *Wideband OFDM*)

UMTS - (eng. *Universal Mobile Telecommunications System*)

NAT-PT - (eng. *Network Adress Translation-Protocol Translation*)

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 **MOBILNI PRISTUP INTERNETU U URBANIM SREDINAMA** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student:

U Zagrebu, 14.6.2017. Bruno Šimunović

(potpis)