

# Tehnologija za prijenos podataka u lokalnim radijskim mrežama novih generacija

---

Iveković, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

*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:119:698588>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-15**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Domagoj Iveković**

**TEHNOLOGIJA ZA PRIJENOS PODATAKA U  
LOKALNIM RADIJSKIM MREŽAMA NOVIH  
GENERACIJA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2019.**

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

### **TEHNOLOGIJA ZA PRIJENOS PODATAKA U LOKALNIM RADIJSKIM MREŽAMA NOVIH GENERACIJA**

### **TECHNOLOGY FOR DATA TRANSFER IN LOCAL WIRELESS NETWORKS OF NEW GENERATIONS**

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Student: Domagoj Iveković

JMBAG: 0135245998

Zagreb, rujan 2019.

Zagreb, 28. ožujka 2019.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 2136

Pristupnik: **Domagoj Iveković (0135245998)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Tehnologija za prijenos podataka u lokalnim radijskim mrežama novih generacija**

### Opis zadatka:

Opisati razvoj radiokomunikacija i principe prijenosa podataka bežičnim putem. Navesti tehnike višestrukog pristupa prijenosnom mediju te njihova ograničenja. Objasniti način rada sustava s proširenim spektrom na primjeru starijih generacija lokalnih radijskih mreža. Navesti unaprjeđenja koja su uvedena kako bi se povećala učinkovitost prijenosa u novijim generacijama lokalnih radijskih mreža. Prikazati usporedbu generacija lokalnih radijskih mreža s obzirom na ranije objašnjena unaprjeđenja tehnika višestrukog pristupa i primjene spektralno učinkovitijih modulacijskih postupaka.

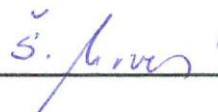
Mentor:



---

doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:



# **TEHNOLOGIJA ZA PRIJENOS PODATAKA U LOKALNIM RADIJSKIM MREŽAMA NOVIH GENERACIJA**

## **SAŽETAK**

Lokalne radijske mreže su neizostavni dio svakog kućanstva i poslovnih poduzeća. Gotovo je nemoguće zamisliti neupotrebljavanje bežičnih mreža bilo u privatne ili poslovne svrhe. Radijske mreže podrazumijevaju prijenos informacija bežičnim putem gdje se elektromagnetski val koristi kao nosioc signala. Za prijenos informacije između dva ili više uređaja nije dovoljno samo generirati elektromagnetske valove koji se šire prostorom već je potrebno definirati i protokole koji definiraju način na koji dva uređaja komuniciraju. U radu su prikazane osnove značajke bežičnih mrežnih tehnologija, orijentacija tržišta prema korisnicima bežičnih tehnologija te nekoliko praktičnih primjera koji se koriste u komercijalne svrhe.

**KLJUČNE RIJEČI:** Bežične mreže, IEEE 802.11, elektromagnetski val, protokol

# **TECHNOLOGY FOR DATA TRANSFER IN LOCAL WIRELESS NETWORKS OF NEW GENERATIONS**

## **SUMMARY**

Local wireless networks are indispensable part of every private or business facility. It is almost impossible to imagine an ordinary day without using wireless data transfer. Wireless networks imply data transfer wirelessly, where electromagnetic wave is used as a signal carrier. For data transfer between two or more devices, it is not enough to just generate electromagnetic waves which spread through space, it is necessary to define protocols, so that two computers can understand each other. In this work, basic features of IEEE 802.11 wireless technology, which been used by devices based on 802.11 and their use in commercial segment, is presented.

**KEYWORDS:** Wireless LAN networks, IEEE 802.11, electromagnetic wave, protocol

## Sadržaj

|   |    |
|---|----|
| 1. Uvod.....  | 1  |
| 2. Povijesni razvoj radiokomunikacija i osnovni principi radijskog prijenosa..... | 3  |
| 2.1 Princip stvaranja elektromagnetskog vala .....                                | 4  |
| 2.2 Frekvencija i valna duljina .....   | 5  |
| 2.3 Diskretni modulacijski postupci .....   | 7  |
| 2.4 QAM.....  | 8  |
| 2.5 Antene .....  | 9  |
| 2.5.1 Direkionalne antene .....   | 9  |
| 2.5.2 Panel antene.....   | 10 |
| 2.5.3 Omnidirekionalne antene.....  | 10 |
| 2.5.4 Ponašanje valova na različitim frekvencijama .....                          | 11 |
| 3. Tehnike pristupnom mediju .....  | 12 |
| 3.1 FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum .....                                | 12 |
| 3.2 DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum.....                                   | 13 |
| 3.3 CSMA / CA .....   | 13 |
| 3.4 RTS/CTS mehanizam.....  | 15 |
| 3.5 OFDMA.....  | 15 |
| 4. Prijenos u lokalnim radijskim mrežama starijih generacija.....                 | 17 |
| 4.1 IEEE 802.11 .....   | 17 |
| 4.2 IEEE 802.11a.....   | 17 |
| 4.3 IEEE 802.11b .....  | 17 |
| 4.4 IEEE 802.11g .....  | 17 |
| 4.5 IEEE 802.11n .....  | 17 |
| 5. Raznolikost lokalnih radijskih mreža.....                                      | 19 |
| 5.1 Bluetooth 802.15 .....  | 19 |
| 5.2 WiMax.....  | 19 |
| 5.3 ZigBee .....  | 20 |

|  |    |
|--|----|
| 5.4 LoRaWAN.....   | 21 |
| 6. Prijenos u lokalnim radijskim mrežama novijih generacija.....   | 22 |
| 6.1 IEEE 802.11ac .....  | 22 |
| 6.2 IEEE 802.11ax.....   | 23 |
| 6.3 Li - Fi.....   | 23 |
| 6.4 Usporedba 802.11 standarda starijih i novijih generacija ..... | 25 |
| 7. Bežični prijenos u komercijalnom segmentu.....                  | 26 |
| 7.1 Ponuda teleoperatera u Hrvatskoj.....                          | 27 |
| 7.2 Veće zarade teleoperatora.....                                 | 28 |
| 8. Primjena lokalne radijske mreže u privatne svrhe .....          | 30 |
| 8.1 Odabir usmjerivača.....  | 31 |
| 8.2 Širenje lokalne radijske mreže .....                           | 31 |
| 8.3 Sigurnost lokalne radijske mreže.....                          | 32 |
| 9. Protokolno funkcioniranje mreža.....                            | 33 |
| 9.1 Fizički sloj .....   | 33 |
| 9.2 Sloj podatkovne veze.....                                      | 33 |
| 9.3 Mrežni sloj.....   | 34 |
| 9.4 Transportni sloj.....  | 34 |
| 9.5 Sloj sesije.....   | 34 |
| 9.6 Prezentacijski sloj.....                                       | 35 |
| 9.7 Aplikacijski sloj.....   | 35 |
| 10. Zaključak.....   | 36 |
| LITERATURA .....   | 37 |
| POPIS ILUSTRACIJA .....  | 39 |
| POPIS TABLICA .....  | 39 |
| POPIS KRATICA.....   | 40 |

# 1. Uvod

Radijska tehnologija se koristi već dulje vrijeme u razne svrhe, no ona svakim danom sve više napreduje u smislu prijenosa veće količine informacije u manjem vremenskom periodu bežičnim putem na veće udaljenosti. Rad je zamišljen na način da prikaže razvoj bežičnih tehnologija od samog nastanka kao i njegovih fizikalnih svojstava do njihovih primjena u komercijalne svrhe gdje oni dolaze najviše do izražaja.

Rad je podijeljen u 10 cjelina:

1. Uvod
2. Povijesni razvoj radiokomunikacija i osnovni principi radijskog prijenosa
3. Tehnike pristupa prijenosnom mediju
4. Prijenos u lokalnim radijskim mrežama starijih generacija
5. Raznolikost lokalnih radijskih mreža
6. Prijenos u lokalnim radijskim mrežama novijih generacija
7. Bežični prijenos u komercijalnom segmentu
8. Primjena lokalne radijske mreže u privatne svrhe
9. Protokolno funkcioniranje mreža
10. Zaključak.

Drugo poglavlje opisuje kratak povijesni razvoj radiokomunikacija od njegovog nastanka te opisuje od čega se sastoji jednostavan sustav za bežični prijenos informacije.

Treće poglavlje opisuje načine na koje se može učinkovitije ostvariti bežični prijenos tako da se veća količina informacije prenese u manjem vremenu te je prikazano koji se principi prijenosa upotrebljavaju u današnje svrhe i kako oni rade.

Četvrto poglavlje prikazuje različite tehnologije za prijenos podataka u lokalnim radijskim mrežama koje se još uvijek koriste s naglaskom na 802.11 standarde. Svaka tehnologija je ukratko opisana te su prikazani neki primjeri korištenja iste.

Budući da 802.11 standard nije jedini za bežični prijenos podataka, u petom su poglavlju opisani drugi standardi te njihove karakteristike i primjene. Jedan od njih je 802.15 standard (Bluetooth) koji je bio najpopularniji prije nego je 802.11 standard skoro pa potpuno preuzeo primjenu u većini segmenata korištenja bežičnog prijenosa u komercijalne svrhe.



Šesto poglavlje opisuje karakteristike novih generacija radijskih mreža te su prikazane neke od značajnih usporedbi u odnosu na starije mrežne standarde. Zbog unaprjeđenja tehnologije, rastu i brzine prijenosa podataka što je glavna karakteristika novijih generacija bežičnih standarda.

U sedmom poglavlju su navedeni benefiti operatora i kako oni djeluju na tržištu telekomunikacija jer se sama tehnologija bežičnog prijenosa ne bi razvijala da nema korisnika koji su voljni platiti za korištenje uređaja koji se zasnivaju na bežičnim tehnologijama te će biti prikazano na koji način teleoperatori ostvaruju profit na korisnicima. Poglavlje uspoređuje tehnologiju i poslovanje jer velike korporacije poput Hrvatskog Telekoma i A1 bi možda imale puno manji profit da su svi njihovi korisnici zaljubljenici u suvremenu tehnologiju, što naravno nije slučaj te zbog toga velik udio korisnika plaća svoje usluge kod operatora puno više nego što bi zaista trebala zbog prevelike marketinške manipulacija, a opet zbog prevelike nezainteresiranosti samih korisnika jer nemaju svi vremena pratiti nove tehnologije.

Osmo poglavlje donosi neke od osnovnih metoda za poboljšano i udobnije korištenje bežičnih tehnologija u privatne svrhe. U radu su prikazani neki od uređaja koji su svima dostupni za nadogradnju postojeće bežične mreže te će biti prikazan princip usklađivanja više uređaja unutar lokalne mreže uz minimalnu potrošnju.

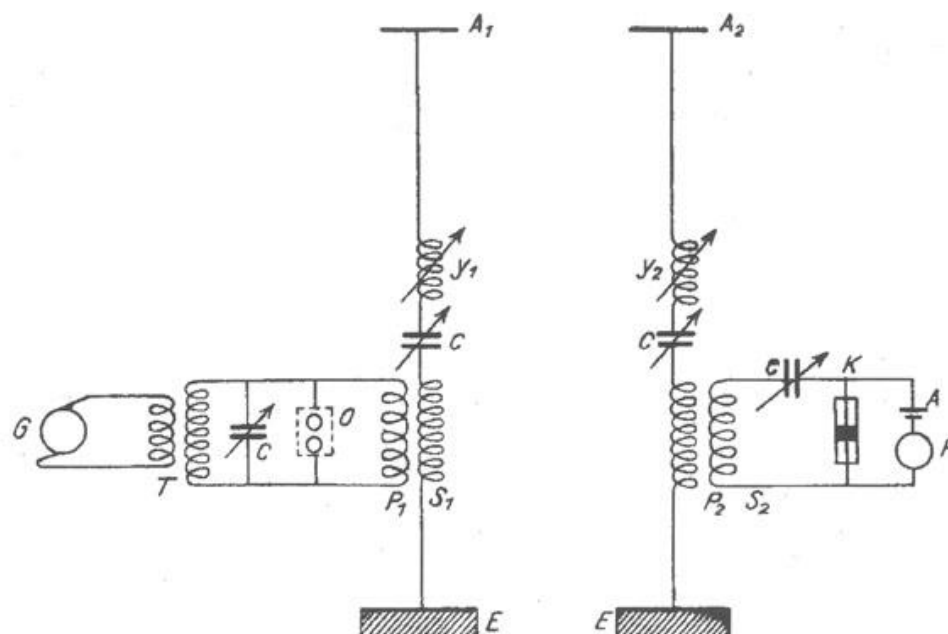
Osnovni principi rada mreža prikazani su u devetom poglavlju te je ukratko opisan princip rada svake mreže koja se može prikazati kroz OSI referentni model.

U posljednjem poglavlju iznesene su zaključne teze i dano je viđenje o potrebama korisnika za poznavanjem osnovnih načela funkcioniranja bežičnih mreža za prijenos podataka.

## 2. Povijesni razvoj radiokomunikacija i osnovni principi radijskog prijenosa

Radiokomunikacija je pojam koji je usko vezan za elektrotehniku i bežični prijenos informacije ne bi bio moguć bez posredovanja električnog i magnetskog polja. Uređaji koji rade na principu bežičnog prijenosa služe za primanje i prijenos signala u obliku elektromagnetskog vala koji se širi prostorom u određenim intervalima. Informacija se prenosi sustavnim mijenjanjem neke osobine radiovalova kao što je amplituda, frekvencija ili faza. To mijenjanje u svrhu prijenosa informacije se zove modulacija. Više o karakteristikama, strukturi i obilježjima elektromagnetskog vala bit će prikazano nakon osvrta na povijesni razvoj.

1867. godine čuveni fizičar James Clerk Maxwell postavlja opću teoriju elektriciteta na temelju Faradayevih predodžbi iz 1864. godine. Iz njegove teorije proizlazi da moraju postojati elektromagnetski valovi kojima bi brzina širenja morala biti jednaka brzini svjetlosti. Nešto kasnije, poznati fizičar Heinrich Hertz eksperimentalno dokazuje postojanje tih valova koji imaju svojstva kao svjetlost (širenje, odbijanje, lom i polarizacija). 1893. Nikola Tesla prijavljuje patent na svoje prve bežične odašiljačke i prijамne uređaje s rezonantnim krugovima te antenom i uzemljenjem.



Slika 1. Shema Teslinog patenta koji se sastoji od odašiljača i prijammika

Na slici 1 prikazan je jednostavan sustav koji služi za bežični prijenos informacije. Sastoji se od A1, A2 – antene, E – uzemljenje, P1, C i S2, C - rezonantni titrajni krugovi, Y1, C i Y2, C

-prilagodbe na antenu, G - generator visokofrekventne izmjenične struje, T – transformator, K – Koherer, A – akumulator, R – zvonce.

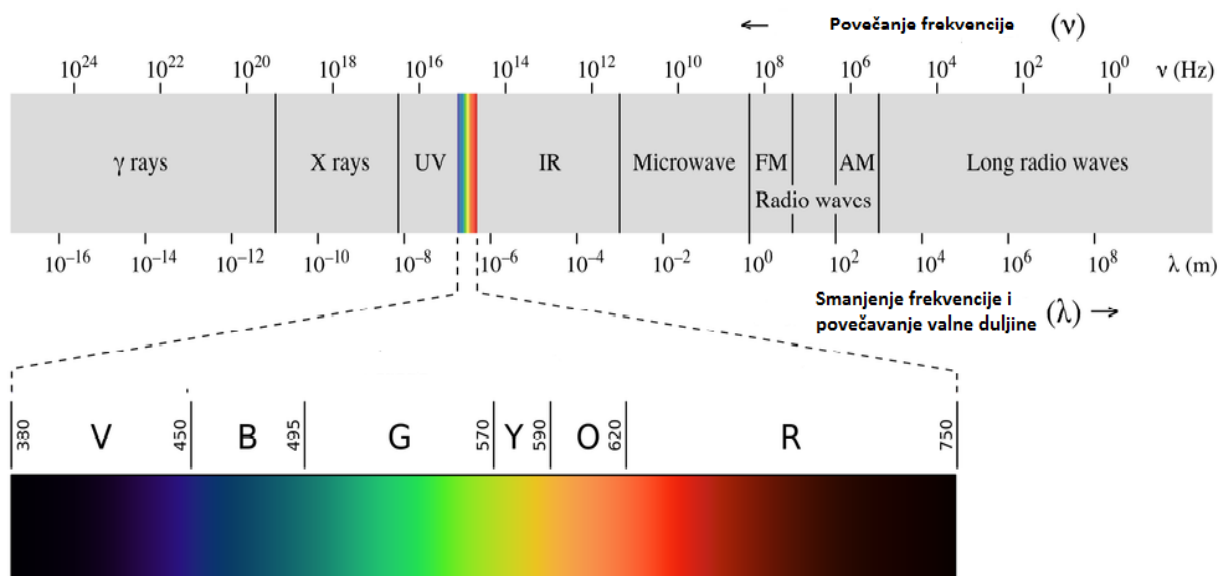
Veliki napredak radiokomunikacija dogodio se u drugom svjetskom ratu gdje je velesila poput SAD-a koristila radio valove za prijenos radiovalova te im je takav način komunikacije stvarao veliku prednost nad protivnicima. Veoma popularan uređaj za prijenos u to vrijeme je bio uređaj koji je danas poznat kao ‘walkie-talkie’ koji je se sastoji od prijamnog i odašiljačkog dijela. Za komunikaciju između dva korisnika su naravno bila potrebna dva takva uređaja. Današnji walkie-talkie je puno manji od onog koji se koristio u drugom svjetskom ratu zbog većeg napajanja i zbog samog napretka tehnologije. Unatoč mnoštvu uređaja i tehnologija koje se temelje na radijskom prijenosu, ovaj rad će biti usko usmjeren na ono što se danas koristi, a to je WLAN tehnologija.

Godine 1971., skupina istraživača na Sveučilištu Hawaii, stvorila je prvu radio komunikacijsku mrežu s komutacijom paketa pod nazivom ALOHAnet. ALOHAnet je bila prva bežična mreža ikad napravljena a danas je LAN (eng. Local Area Network) mreža dio svakog kućanstva. Prva mreža kao takva, sastojala se od sedam računala smještene na četiri otoka koji su komunicirali sa središnjim računalom bez uporabe telefonske linije. Sustavu su dodijeljena dva frekvencijska pojasa od 407,350 MHz i 413,475 MHz. Godinu kasnije ALOHAnet spaja se s kopnenim WLAN sustavom ARPAnet (Advanced Research Projects Agency Network). ARPAnet je razvijen od američkog ministarstva obrane za povezivanje sveučilišta i istraživačkih centara.

Prve generacije bežičnih LAN mreža imale su veoma mali kapacitet i male brzine prijenosa podataka. Današnja mreža koja se koristi je zapravo treća generacija WLAN tehnologije koja je definirana od standardizacijskog tijela IEEE pod nazivom 802.11 koji je prvi standard za bežične lokalne mreže nastao 1997. godine, a nakon toga javljaju se inačice.

## **2.1 Princip stvaranja elektromagnetskog vala**

Za prijenos informacija na daljinu, potrebno je postići elektromagnetsko zračenje. Ono predstavlja valove kraćih valnih duljina. Na slici 2 prikazan je frekvencijski spektar elektromagnetskih valova. Bitno je primijetiti da se od cjelokupnog spektra za radijski prijenos koristi samo mali dio.



Slika 2. Prikaz frekvencijskog spektra

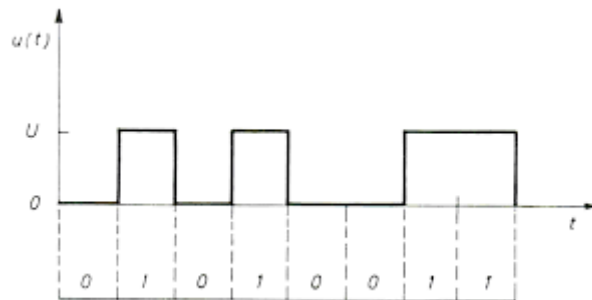
S gledišta telekomunikacija, svjetlosni spektar je također bitan u prijenosu informacija, ali se on manje koristi kao bežični prijenosni medij. Infracrveni spektar je također zanimljiv jer se koristi na malim udaljenostima između računala i digitalnih uređaja kao što su mobiteli i televizori. Najveća primjena je kod daljinskog upravljača koji koristi infracrvene svjetleće diode da bi se dobila uska zraka koja se modulira da bi se dobili razne naredbe za gašenje i paljenje televizora ili mijenjanje programa.

## 2.2 Frekvencija i valna duljina

Signal ne može postojati ako ne postoji određena promjena, a ta se promjena očituje u faznom pomaku, amplitudi i frekvenciji. Iako je frekvenciju lako definirati i lako je reći da je to samo broj određenih promjena koji su se dogodili u jednoj sekundi, bitno je malo bolje definirati značenje frekvencije. Za bolje razumijevanje bit će korišteno nekoliko analogija.

Kada bi se dva čovjeka nalazila na udaljenosti od npr. 300 metara u mraku, teško da bi mogli glasovno komunicirati, a da glasovno ne ometaju druge ljude iz okoline. Moguće je koristiti svjetiljku i dogovoriti se za određena pravila na koji način će se svjetiljka paliti i gasiti, koliko dugo svjetlo može biti upaljeno a koliko dugo ugašeno, dogovor oko vremena koje je potrebno za odgovor i puno ostalih stvari. U ovom slučaju, svjetlost će zamijeniti radioval koji je čovjeku nevidljiv, a dogovor između dva čovjeka će biti analogija za nešto što je u telekomunikacijskom svijetu poznato kao protokol. Jednostavnim paljenjem i gašenjem svjetla više puta u određenom

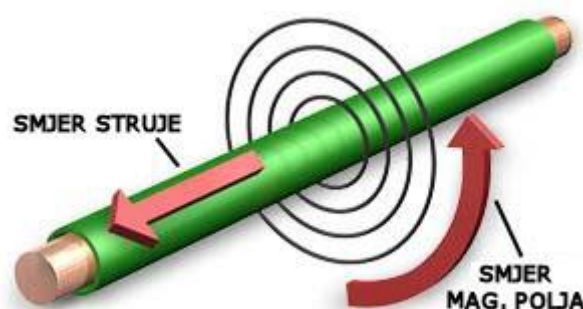
vremensku periodu će prva osoba dati drugoj signal za određenu aktivnost. Time je postignuta komunikacija u jednom smjeru što je definirano kao ‘Simplex’ a potvrda drugog čovjeka s paljenjem i gašenjem svjetiljke nekoliko puta u određenom vremenskom periodu dat će povratnu informaciju i time je postignuta komunikacija u oba smjera. Kada bi oba čovjeka svjetiljkama mogla istovremeno komunicirati, onda bi time bio postignut termin ‘Full Duplex’.



Slika 3. Grafički prikaz digitalnog signala

Kada bi se svjetiljka kratko upalila, zatim ugasila pa opet kratko upalila pa malo dulje bila ugašena pa malo dulje bila upaljena, to bi moglo predstavljati određenu informaciju a njena grafička aktivnost je prikazana na slici 3. Ako se svjetiljka pravilnim razmakom u jednoj sekundi upali i ugasi što bi predstavljao lijevi dio grafa, onda bi se moglo reći je da je frekvencija tj. razmak između ona dva stanja gdje je svjetiljka upaljena 2 Hertza.

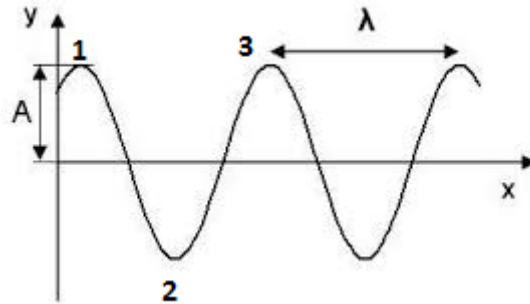
Objašnjenje frekvencije bit će još jasnije ako se uzme slučaj metalnog vodiča gdje elektroni idu malo u jednom smjeru a malo u drugom smjeru.



Slika 4. Prikaz električnog i magnetskog polja

Dakle, kao što je prikazano na slici 4, kretanje elektrona u vodiču uzrokuje magnetsko polje oko vodiča koje je u ravnini zakrenuto za 90 stupnjeva. Kada bi se smjer struje promijenio, magnetsko polje bi i dalje postojalo oko vodiča ali bi mu se promijenio smjer kretanja.

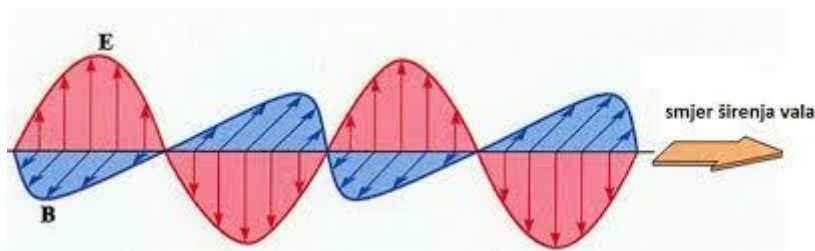
Graf koji prikazuje takvu promjenu prikazan je na slici 5.



Slika 5. Grafički prikaz promjene električnog polja u vodiču, [5]

U trenutku 1, smjer električnog polja postiže maksimalnu vrijednost koja se naziva amplituda dok u trenutku 2 smjer električnog polja maksimalnu vrijednost, ali u suprotnom smjeru. Razmak između trenutka 1 i 3 naziva se valna duljina, a vrijeme ponavljanja situacije u jednoj sekundi gdje elektronska struja dođe iz položaja 1 u položaj 3 zove se frekvencija.

Graf na slici 5 bi vrijedio i za efekt magnetskog polja u vodiču, no kada bi se prostorno prikazao graf električnog i magnetskog polja, ono bi izgledalo na sljedeći način:



Slika 6. Grafički prikaz električnog i magnetskog polja u prostoru

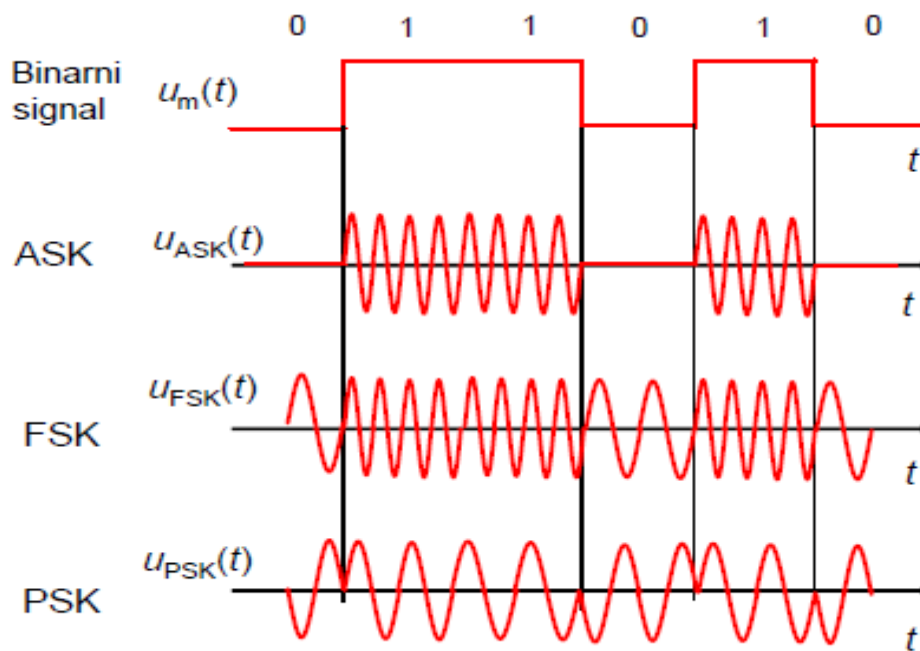
Kako raste vrijednost električnog polja, tako raste i vrijednost magnetskog polja s time da je magnetskog polje zaokrenuto za 90 stupnjeva u prostoru. Slika 6 zapravo prikazuje širenje elektromagnetskog vala, a mijenjanjem parametara tog vala u određenim trenucima kao što je frekvencija, amplitude ili faza, dobije se informacija.

### 2.3 Diskretni modulacijski postupci

Diskretni modulacijski postupci predstavljaju nastavak postupaka obrađenih analognih modulacijskih signala. Kod analognog signala, kao što je prikazan na slici 5, parametri koji se mogu mijenjati su amplitude, frekvencija i faza. Informacija u digitalnom obliku je opisana konačnim brojem binarnih znakova pa se predočuje diskretnim električnim signalom odnosno linijskim kodovima. Modulacijski signal poprima konačno mnogo diskretnih razina, a modulacijom se diskretno mijenja parametar sinusnog prijenosnog signala.

Temeljni modulacijski postupci zasnivaju se na diskretnoj promjeni amplitude, frekvencije ili faze te se razlikuje sljedeći modulacijski postupci:

1. Diskretna modulacija amplitude (ASK, Amplitude-Shift Keying)
2. Diskretna modulacija frekvencije (FSK, Frequency-Shift Keying)
3. Diskretna modulacije faze (PSK, Phase-Shift Keying).



Slika 7. Grafovi temeljnih diskretnih modulacijskih postupaka.

Prijenosni sustavi poput 802.11 standarda koriste diskretne modulacijske sustave te ih je potrebno razumjeti. Slika 7 prikazuje načine kako prezentirati određenu informaciju koristeći se mijenjanjem amplitude, faze ili frekvencije. Najzanimljivija diskretna modulacija je QAM modulacija, koju koriste moderni prijenosni sustavi.

## 2.4 QAM

QAM pripada skupini tzv. hibridnih modulacijskih postupaka kod kojih se modulacijom mijenjaju dva parametra sinusnog prijenosnog signala (amplituda i faza). Neka signal poprima dvije vrijednosti amplitude i 4 vrijednosti faze pomaknutih za 90 stupnjeva budući da je cijeli obrt 360 stupnjeva. Tako se može dobiti 16 različitih vrijednosti pa se taj signal zove 16-QAM signal. Daljnjim dodavanjem raznolikosti faznih i amplitudnih vrijednosti, može se dobiti 64-QAM pa čak i 1024 QAM signal.

## 2.5 Antene

Antena je naprava koja služi za pretvaranje elektromagnetske energije vezane za linije i valovode u prostorni elektromagnetski val i obratno. Prema tome, funkcija antene je dvojaka: ona služi kao element za prilagodbu između linije ili valovoda s jedne strane i slobodnog prostora s druge strane i ona zračenu energiju usmjerava po cijelom prostoru na unaprijed utvrđeni način.

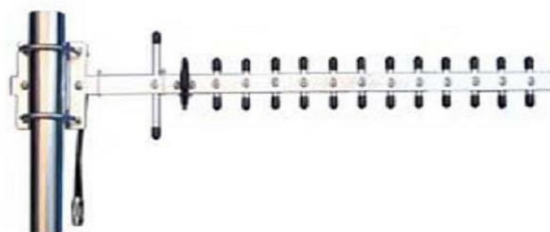
Antene definiraju osnovne 3 karakteristike: dobitak, usmjerenost i polarizacija

1. Dobitak je termin koji se koristi za mjerenje snage izražene u decibelima (dB). Što je veći dobitak, to antena ima veću snagu zračenja i konstruirana je tako da poveća snagu u željenom smjeru.
2. Usmjerenost je sposobnost antene da ostvari usmjeravanja elektromagnetske energije u nekom smjeru
3. Polarizacija je orijentacija širenja vektora električnog polja u odnosu na zemlju i može biti vertikalna, horizontala, kružna ili kombinirana, kao što je npr. elipsa.

Antene kod bežičnih sustava predstavljaju jedan od najbitnijih segmenata bežičnih sustav te ako je potrebno proširiti domet signala, potrebno je odabrati dobru vanjsku antenu s odličnim dobitkom i direkcionalnim ili omnidirekcionalnim svojstvima [1].

### 2.5.1 Direkcionalne antene

Direkcionalne ili usmjerene antene su one koje zrače u određenom pravcu i uglavnom se koriste za *point-to-point* topologiju gdje signal ide od jedne polazne do jedne odredišne točke. Koriste se kada se točno zna prema kojem području se želi proširiti signal.



Slika 8. Primjer Yagi antene



Yagi antena je idealna za velike udaljenosti jer ima izuzetno usmjeren prijam. Ona predstavlja odličan izbor kod *point-to-point* topologije zbog smanjenja interferencije s drugim izvorima elektromagnetskog zračenja, većeg dometa i povećane sigurnosti. Takva antena ima tipičan dobitak od 5 dBi do 20 dBi i koristi se za vanjsku upotrebu [8].

### 2.5.2 Panel antene



Slika 9. Primjer panel antene

Panel antene su također usmjerenog tipa i koriste se u unutrašnjoj i vanjskoj sredini te se može koristiti u topologiji *point-to-point* ili *point-to-multipoint*. Tipične vrijednosti dobitka kreću se od 8 dBi do 18 dBi.

### 2.5.3 Omnidirekionalne antene

Omni ili antene koje šire zračenje u svim smjerovima, bežični signal primaju i šalju podjednako u svim pravcima i dobitak takve antene u određenom smjeru je manji u odnosu na usmjerenu antenu tako da se uglavnom koristi za topologiju *point-to-multipoint*. Tipične vrijednosti dobitka kreću se od 8 dBi do 15 dBi ako se radi o većim antenama, ali u praksi na samim uređajima koji koriste 802.11 standard gdje se najviše koriste i one iznose oko 4 dBi. Praktične su jer pokrivaju veliko područje oko same antene što omogućuje spajanje puno uređaja oko same antene.



Slika 10. Primjer omnidirekionalne antene

#### 2.5.4 Ponašanje valova na različitim frekvencijama

Što je veća frekvencija zračenja, to je manja mogućnost da će elektromagnetski prijeći preko neke prepreke. Dobra analogija bi bila usporedba rad džepne svjetiljke i 2 uređaja koji komuniciraju putem radiovalova. Kada bi postojao zid visine i širine 3 metra te po jedna osoba sa svake njene strane, one bi si međusobno mogli slati određenu vrstu informacije. Kada bi jedna od osoba uperila svjetiljku u pravcu prema drugoj osobi, ta druga osoba ne bi ništa vidjela. Radi se o tome da radiovalovi rade na puno nižim frekvencijama za razliku od svjetlosnih frekvencija pa je tako radioval imuniji na prepreke dok se svjetlost emitira na puno većim frekvencijama te je njegova imunost na prepreke veoma slaba, tj. nikakva.

Slična situacija postoji kod širenja radiovalova viših i nižih frekvencija. Kod npr. 2,4 GHz spektra radiovalovi se šire puno bolje u prostoru s preprekama kao što su zidovi nego 5 GHz spektar. Iako 5 GHz spektar donosi veće brzine prijenosa, on je manje otporan na prepreke te nije najbolja opcija za pokrivanje signalom više prostorijski istovremeno sa samo jednom pristupnom točkom. Zato se u novije vrijeme koriste pristupne točke koje rade na obje navedene frekvencije gdje se postiže maksimalno iskorištenje bez međusobnih ometanja signala koji rade na različitom frekvencijskom pojasu.

### 3. Tehnike pristupnom mediju

Postoje razne metode pristupne mediju a one služe za bolji i učinkovitiji prijenos signala tj. informacije. Tehnika proširenog spektra (engl. naziv Spread Spectrum) je tehnika koja se ostvaruje korištenjem pseudoslučajnog binarnog niza kojima ima valni oblik sličan šumu. Ako se signal koji se želi prenijeti pomnoži sa pseudoslučajnim binarnim nizom, spektar snage signala proširuje osnovni pojas na šire frekvencijsko područje i signal poprima valni oblik šuma. Signal prilikom prijenosa skriva se unutar šuma komunikacijskog kanala i vraća se na prijašnju širinu pojasa dok se ostale smetnje proširuju. Na ovaj način smanjuje se gustoća spektra šuma u osnovom pojasu te poslije filtriranja od njega ostaje samo mali šum.

Prijamna strana prima signal koji se na njoj on sažima i dekodira. Zbog male gustoće snage, signal proširenog spektra omogućuje korisnicima nesmetano korištenje istog medija za slanje podataka prilikom čega se međusobno neće ometati za drugim prijamnim stranama. Prošireni spektar definira 3 tehnike, a to su FHSS i DSSS te Hybrid System koji je zapravo kombinacija prve dvije tehnike.

#### 3.1 FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum

Kod FHSS tehnike unutar frekvencijskog spektra se definiraju frekvencijski skokovi i u tim promjenama frekvencija se prenose informacije. Promjenama frekvencije upravlja pseudoslučajni slijed. FHSS radi tako da predajnik signala neko vrijeme šalje kratke nizove informacija na jednoj frekvenciji a zatim se prebacuje na drugu frekvenciju. Predajna i prijamna strana moraju biti sinkronizirane prema slijedu preskakanja da ne bi došlo do gubitka informacija.

*Time slot* označava vremenski interval za vrijeme u kojem se u određenom kanalu nalazi informacija i traje minimalno 625 mikrosekundi. Kod pojave interferencije na jednoj frekvenciji, informacije se ponovno šalju drugom frekvencijom. FHSS je veoma siguran način prijenosa zbog učestale promjene frekvencije te se je tako omogućeno rad više različitih bežičnih mreža unutar istog područja i to bez međusobnih ometanja. Kao i sve ostale tehnologije raspršenog spektra, sustavi s frekvencijskim skakanjem su poprilično otporni ali ne i potpuno imuni kada je u pitanju uskopojasna interferencija. Npr. ako postoji interferencija stranog signala s korisnim signalom na 2,453 GHz, onda će samo taj dio signala raspršenog spektra biti izgubljen, a ostali dio signala raspršenog spektra ostat će netaknut s time da će izgubljeni podaci biti ponovno poslani.

### 3.2 DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum

Tehnologija raspršenog spektra izravnog slijeda (sekvenciranja) primjenjuje modulacijski pristup koji koristi znatno veći spektralni opseg nego što je potrebno za prijenos podataka. Svaki bit informacije je zamijenjen širokopoljnim kodom. DSSS ima sposobnost rada u uvjetima niskog odnosa signal/šum uzrokovanog interferencijom ili niskom snagom pošiljatelja. Bežična mreža DSSS-om kodira podatke uzimajući niz podataka sa sloja veze podataka i pretvara ih u niz čipova. Sekvenca za proširenje spektra koja pretvara niz podataka u čipove je 11-bitna vrijednost.

Većina komercijalnih proizvoda koristi sekvencu za proširenje spektra manju od 20. Radna grupa IEEE 802.11 postavila je zahtjev za minimalnu sekvencu za proširenje spektra na 11. U slučaju operacija od 1 Mbit/s i 2 Mbit/s, 1 bit podataka je predstavljen 11-bitnom vrijednošću. Kao primjer naveden je niz bitova '10110111000'. Logička jedinica raspršuje se kao 10110111000, a 0 kao 01001000111. Tako proširen bit podataka se dalje obrađuje. Visoka sekvencu za proširenje spektra povećava otpornost signala na interferenciju.

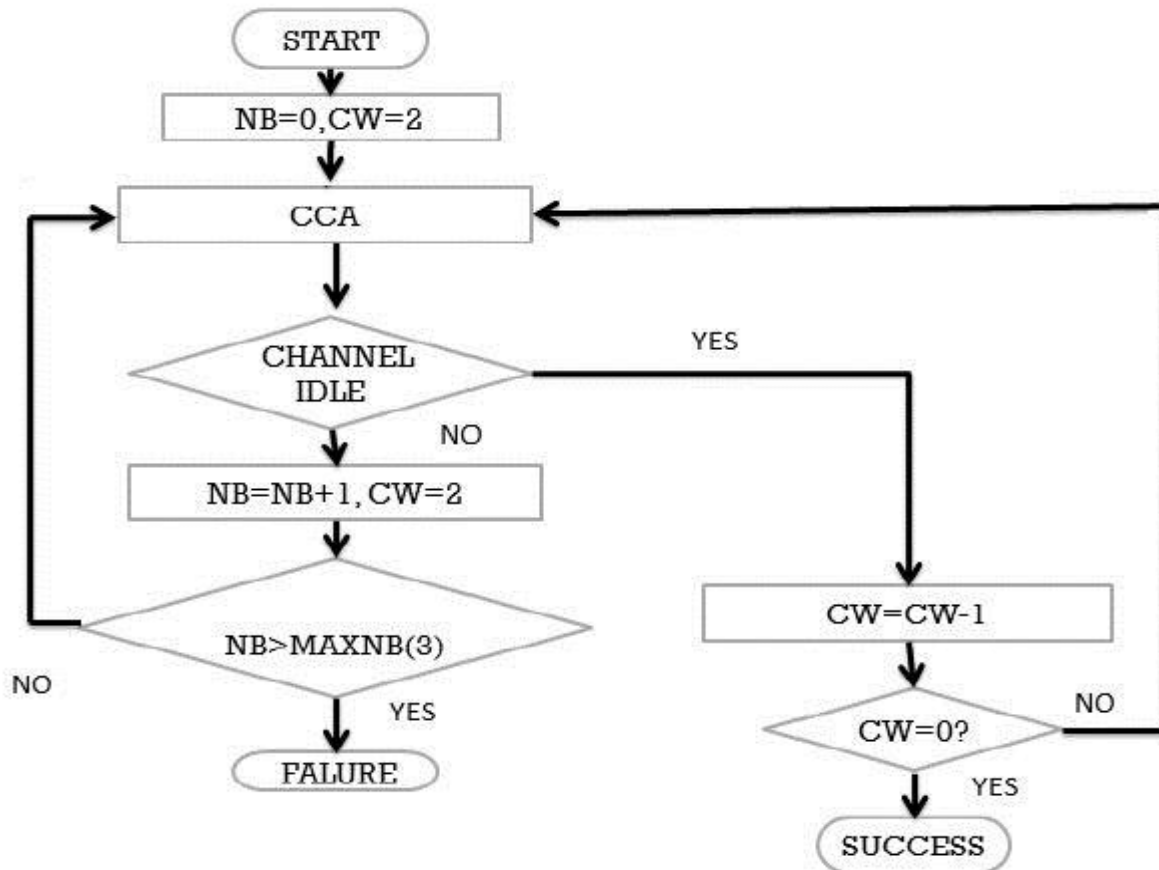
Kada se sekvencu za proširenje spektra pošalje preko bežičnog medija, tijekom prijena pojavljuje se interferencija na nekoliko različitih frekvencija kanala. Kako je prijenos proširen preko 22 MHz širokog kanala, samo bi nekoliko sekvenci trebalo biti pod utjecajem interferencije. Prijamnik je u stanju ponovno izgraditi izvornu sekvencu koristeći primljene čipove. Ovaj proces se može usporediti sa slanjem čistih bitova podataka koji zbog izgubljenih podataka tijekom interferencije zahtijevaju ponovno slanje.

DSSS je doživio veliki uspjeh na tržištu zbog svoje otpornosti, pogotovo u prisustvu interferencije. Standard 802.11b o kojem će kasnije u ovom radu biti više riječi, predstavio je DSSS koja omogućava operacije u WLAN mrežama brzine prijena do 5,5 Mbit/s i 11 Mbit/s u 2,4 GHz pojasu.

### 3.3 CSMA / CA

CSMA/CA (Carrier – Sense Multiple Access with Collision Avoidance) je pristupni mehanizam za 802.11 mreže. Princip je sličan kao i kod CSMA / CD koji se koristi u žičanim LAN mrežama (standard IEEE 802.3). U žičanim mrežama, mreža šalje signale sve dok se ne detektira neki paket u koje su sadržani podaci. CSMA/CA neće početi s odašiljanjem dok bilo koja druga točka u WLAN mreži ne emitira signal i dok ne dobije signal da ju drugi uređaj 'sluša'. Prije emitiranja signala, uređaj u lokalnoj mreži oslušava komunikacijski kanal kako

bi ustanovio da li ga neki od uređaja u mreži sluša. Ako postoji neki drugi uređaj, pričekat će se slučajno generirani vremenski odsječak i ponovno će nastaviti slušati komunikacijski kanal ako je kanal slobodan.



Slika 11. Dijagram toka koji opisuje rad CSMA/CA mehanizma

Objašnjenje pojmova sa slike :

- 1.) BP (*Back-off Period*) vremenski interval u kojem uređaj čeka prije nego zauzme kanal. Vremenski razmak je izražen u milisekundama i jedan BP traje 0,32 ms
- 2.) BE (*Back off Exponent*). Broj BP-a koji će uređaj pričekati prije traženja pristupa kanalu
- 3.) NB, dok se pokušava ostvariti transmisija podataka, NB označuje broj koliko je puta CSMA/CA algoritam blokiran
- 4.) CW – Pogodnost između čvorova gdje će se zauzeti kanal ako postoji čekanje na kanal
- 5.) CCA (*Clear Channel Assessment*) je proces gdje se identificira da li je kanal otvoren za transmisiju podataka

### 3.4 RTS/CTS mehanizam

Kako bi se spriječila kolizija između dvaju uređaja koja nastaje istovremenim emitiranjem signala, uveden je još jedan standard strane IEEE 802.11 pod nazivom RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send). RTS/CTS mehanizam funkcionira tako da ako je neki klijent u bežičnoj mreži poslao adresirani podatak na neku pristupnu točku (engl. *Access Point* - AP), taj AP će poslati RTS paket tom klijentu te ga tražiti vrijeme predaje tog podatka. Klijent odgovara CTS paketa u kojem govori AP-u da je spreman primiti njegovu transmisiju i transmisije između AP-a i ostalih klijenata neće započeti dok se ne završi prijenos. U isto vrijeme, svi ostali klijenti u mreži mogu vidjeti ovaj dogovor između klijenta i AP-a ali se ne priključuju komunikaciji.

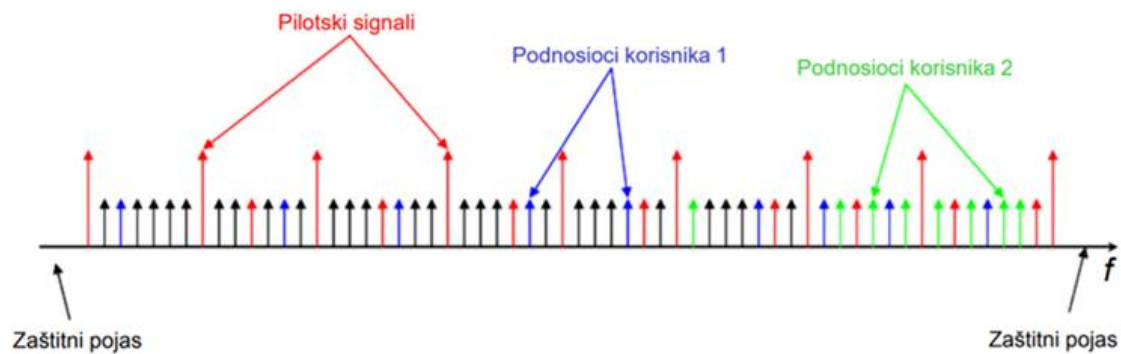
Ovaj način prijenosa podataka minimalizira mogućnost dolaska kolizije te se rješava problem tzv. skrivenog klijenta. Skriveni klijent javlja se kada postoje dva ili više klijenata koji nisu u doseg AP-a, ali ne i međusobno. U žičnim mrežama svaki klijent vidi svakog drugog klijenta dok kod bežičnih lan mreža to ne mora biti slučaj zbog ograničenosti emitiranja bežičnog signala.

### 3.5 OFDMA

Orthogonal Frequency Division Multiple Access je tehnika koja omogućuje prijenos informacija od više klijenata prema AP-u i obrnuto koristeći OFDM tehniku višestrukog pristupa. Svakom klijentu se dodjeljuje skupina podnosioca koje ekskluzivno koristi tijekom cijelog vremena trajanja sesija. Kada se prenosi informacija iz višestrukih izvora, vrlo je bitno da se pristigli signali približno usklađuju na AP-u.

Dakle, bitno je da prijenosi s različitih uređaja (klijenata) stignu do *Access point*-a s manjim vremenskim razmakom od duljine cikličkog prefiksa (zaštitnog intervala) kako bi se očuvala ortogonalnost između podnosioca i time izbjegla interferencija podnosioca. Ortogonalnost znači da je između njih biran odgovarajući frekvencijski razmak

Zbog razlike u udaljenost između AP-a i klijenata, dolazi do pomaka u vremenu propagacije signala koji mogu nadmašiti duljinu cikličkog prefiksa. Iz tog razloga potrebno je kontrolirati vrijeme odašiljanja signala na strani primatelja.



Slika 12. OFDMA višestruki pristup.

Slika 12 prikazuje OFDMA višestruki pristup s označenim pilotskim signalima. Svaki pilotski signal predstavlja podnosioca koji je moduliran poznatim sekvencama i služi za procjenu kanala i kao ispomoć u sinkronizaciji. Pomoću pilotskih signala računa se prijenosna karakteristika kanala u određenom trenutku i na određenoj frekvenciji, tj. poziciji pilota, a ostale vrijednosti kanala se utvrde iz postojećih vrijednosti.

Prednosti OFDMA pristupa:

1. Fleksibilnost primjene na različitim frekvencijskim pojasevima.
2. Omogućuje mrežnu pokrivenost s jednom frekvencijom gdje postoji problem pokrivenosti te daje izvrsnu pokrivenost.
3. Pruža frekvencijsku raznolikost širenjem podnosioca po cijelom korištenom spektru.
4. Omogućuje različite snage po kanalu ili potkanalu.

## **4. Prijenos u lokalnim radijskim mrežama starijih generacija**

Rad na normama za radijske lokalne mreže započeo je krajem osamdesetih godina prošlog stoljeća u okviru IEEE projekta 802 unutar kojeg je utemeljena radna skupina IEEE 802.11 za WLAN norme. Cilj je bio definirati norme za fizički sloj i za upravljanje pristupom prijenosnom mediju (MAC) u WLAN mrežama [11].

### **4.1 IEEE 802.11**

IEEE 802.11 bez slova iza brojki, prvi je WLAN standard izrađen 1997. godine. Nazvan je po imenu grupe razvojnih programera koji su radili na njegovom stvaranju. Omogućuje maksimalnu brzinu prijenosa od 2 Mbit/s na frekvenciji od 2,4 GHz.

### **4.2 IEEE 802.11a**

1999. godine objavljen je 802.11a standard. Fizički sloj za visoke brzine prijenosa u frekvencijskom području od 5 GHz. Omogućene su brzine prijenosa do 54 Mbit/s. Budući da su uređaji bazirani na tom standardu bili skupi za proizvodnju, nisu se pretjerano koristili. Ovaj standard koristi OFDM tehniku te je bilo moguće smanjiti brzine u rasponu od 6 - 48 Mbit/s. Realna brzina za takav standard je do 30 Mbit/s.

### **4.3 IEEE 802.11b**

802.11b je bežični standard koji je imao široku primjenu i njegova proizvodnja je bila mnogo jeftinija. Masovno se počeo ugrađivati u prijenosna računala te su se proizvodili i USB moduli za ugradnju na uređaje koji nisu podržavali taj standard. 802.11b radi u frekvencijskom području od 2,4 GHz i postiže brzine do 11 Mbit/s. Realna brzina je oko 5 Mbit/s te se u prijenosu koristi CSMA/CA tehnika.

### **4.4 IEEE 802.11g**

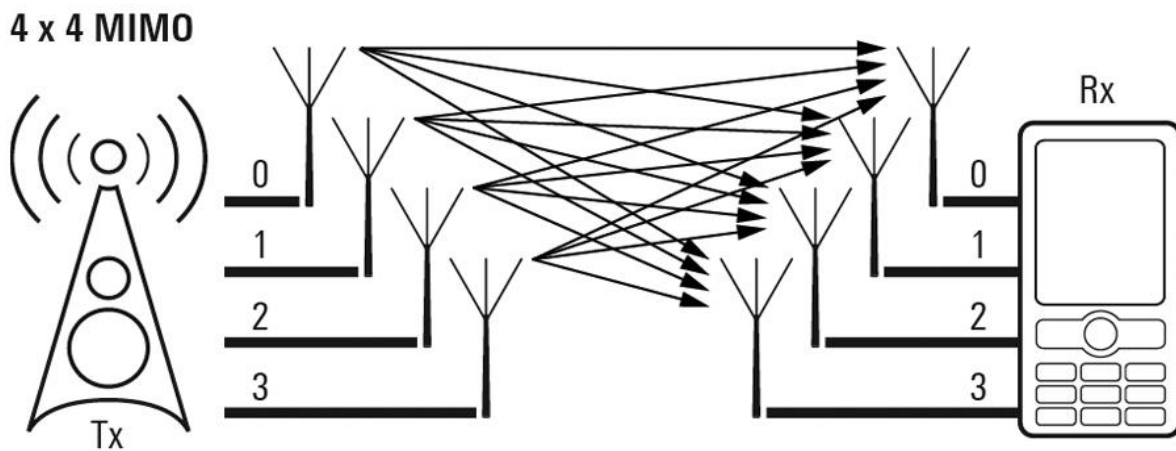
802.11g se pojavio 2002. Godine kombinirajući 802.11a i 802.11b u jednom standardu koji ima mogućnost slanja podataka do 54 Mbit/s u frekvencijskom pojasu od 2,4 GHz te je istodobno ovaj standard kompatibilan s 802.11b uređajima koji koriste bežični mrežni adapter na pristupnoj točki. Obilježavaju ga niski troškovi proizvodnje i velike brzine prijenosa.

### **4.5 IEEE 802.11n**

802.11n izgrađen je na temeljima prethodnih inačica norme 802.11. Princip odašiljanja signala zasniva se na MIMO (Multiple Input – Multiple Output) tehnici gdje je moguće odašiljanje i



primanje više signala odjednom koristeći više antena istovremeno za prijenos informacije s jednog uređaja na drugi. Uobičajeno je MIMO arhitekturu označavati s tri broja u obliku: a x b: c, gdje a označuje najveći broj odašiljačkih antena, b označava najveći broj prijarnih antene dok c predstavlja najveći broj prostornih snopova podataka. 802.11n standard predviđa uporabu konfiguracije 4 x 4: 5 [10]. Brzine koje se dobivaju ovom vrstom tehniku su od oko 100 Mbit/s pa do 500 Mbit/s. Rad mreža može biti omogućen u 2,4 GHz i 5 GHz spektru.



Slika 13. Shematski prikaz MIMO tehnike

Na slici 13 prikazan je princip MIMO tehnike gdje se vizualno može steći osjećaj kako radi bežična tehnologija koja je sposobna odašiljati i primati više signala odjednom na istoj frekvenciji.

## **5. Raznolikost lokalnih radijskih mreža**

Postoji niz standarda koji služe za bežični prijenos podataka, a bit će navedeni samo neki. Jedan od zanimljivijih je Bluetooth jer je bio veoma popularan u prijenosu podataka na malim udaljenostima putem mobilnih uređaja te se koristio i za umrežavanje dva ili više uređaja u svrhu gaming-a i zabave.

### **5.1 Bluetooth 802.15**

Bluetooth je bežični protokol za razmjenu podataka na kraćim udaljenostima (do 10 metara). Služi za spajanje nekoliko uređaja, a maksimalan broj uređaja koji može biti u jednoj mreži je 8. Za razliku od standarda 802.11 koji se najviše koristi za izlaz na javnu Internet mrežu, Bluetooth tehnologija se koristi uglavnom za slanje podataka u privatne svrhe. Tehnologija za prijenos podataka je već opisani FHSS koja definira podjelu podataka na manje dijelova te slanje na jednu od 79 definiranih frekvencija. U osnovnom načinu rada koristi se GFSK (Gaussian frequency-shift keying) modulacija te se postiže maksimalna brzina prijenosa do 1 Mbit/s. Frekvencijski pojas koji se koristi isti je kao i kod većine drugih uređaja u informacijsko komunikacijskoj tehnologiji (2,4 GHz). Standardi kod Bluetooth nemaju inačice u obliku 'a,b,g,n' ali imaju u obliku '2.0, 2.1, 3.0' gdje svaka iduća inačica označava određeno poboljšanje.

Isto kao 802.11 standardi koji imaju određenu vrstu enkripcije, Bluetooth koristi neke od metode identifikacije kao što su 48 bitne adrese koje određuju svaki uređaj u mreži, privatni autentifikacijski ključ koji je duljine 128 bitova, privatni ključ za kriptiranje dug od 8 do 128 bitova koji se koristi za šifriranje podatka te RAND (eng. Random number) – slučajni ili pseudoslučajni broj duljine 128 bitova koji se periodički mijenja a stvara ga sam Bluetooth uređaj.

### **5.2 WiMax**

WiMax je tehnologija koja se temelji na 802.16 standardu te je drastično povećan domet signala za razliku od 802.11 standarda. Umjesto dometa do maksimalno 100 metara, WiMAX ima radijus i do nekoliko desetaka kilometara, što je dovoljno da se pokrije radijus većih gradova. 802.16 standard je namijenjen za brzine od 30 do 40 Mbit/s a određenim nadogradnjama postižu se brzine od 1 Gbit/s. Dijelovi grada gdje ne dosežu telekomunikacijski vodovi su

idealni za implementiranje WiMAX tehnologije zato što je to puno jeftinije rješenje od kabliranja.

Glavni dijelovi arhitekture 802.16 standarda su bazna stanica i prijamnik. Isto kao kod 802.11 standarda, postoji pristupna točka na koju se povezuju ostali uređaji. Zapravo, GSM, UMTS i LTE mreže koje se upotrebljavaju u globalne svrhe funkcioniraju na sličan način. Uvijek postoji veza između uređaja koji predstavlja pristupnu točku i uređaja koji se povezuju na nju.

### 5.3 ZigBee

ZigBee je bežična tehnologija dizajnirana za upravljanje na daljinu te se rad temelji na senzorskim mrežama baziranim na IEEE 802.15.4 standardu. Standard je osnovan pod pokroviteljstvom grupe ZigBee Alliance. Glavne značajke ZigBee tehnologije podrazumijevaju uključivanje i isključivanje radijskog primopredajnika, detekciju elektromagnetskog od susjednih mreža te odabir kanala za odašiljanje primanje informacija koristeći se bežičnim prijenosom.

ZigBee radi jednom od tri frekvencijska spektra, a to su 915 MHz u Sjevernoj Americi i Australiji, 868 MHz u Europi te 2,4 GHz u ostatku svijeta. Princip rada se bazira u slanju paketa od uređaja do uređaja čija veličina ne prelazi 1024 bitova. To je vrlo malo u usporedbi s drugim bežičnim sustavima no kod ovog standarda nema ni potrebe za prijenosom većih paketa jer se uglavnom radi o senzorskim mrežama koje služe za uže područje primjene.

Primjer korištenja ZigBee tehnologije bila bi npr. divljina gdje obitavaju životinje. Veliko područje bi se moglo prekriti sa sensorima te bi oni mogli detektirati pokret i poslati događaj od interesa preko ostalih uređaja do onog koji taj događaj potražuje. Radi se o tome da takvih uređaja ima više te su oni sposobni jedni preko drugih slati informacije tako da nije potrebna direktna komunikacije između pristupne točke i drugog uređaja.

ZigBee podržava tri različite topologije mreže a to su '*point-to-point*', zvijezda i grozd (eng. Cluster). Topologija zvijezde bi bila ista kao kod 802.11 standarda a to bi značilo da svi uređaji šalju informacije na jednu glavnu pristupnu točku. Topologije *point-to-point* i cluster su puno zanimljivije jer se komunikacija može odvijati na razne načine i ne mora to uvijek biti određena glavna središnja pristupna točka. Moguće je po potrebi od jedne velike mreže napraviti više manjih mreža ako je to zaista potrebno.

Trajanje baterije je jedan od nedostataka senzorskih mreža jer se radi o jako malim uređajima gdje napajanje mora biti integrirano u sam uređaj te nije isplativo mijenjati bateriju nakon što

se ona potroši no uzimajući u obzir da način rada senzorskih mreža ne koristi puno električne energije i uzevši u obzir da je velika prednost koristiti uređaje koji ne zahtijevaju priključenje na električnu mrežu, trajanje baterije kod senzorskih mreža nije veliki nedostatak.

#### **5.4 LoRaWAN**

LoRa je bežična tehnologija za bežičnu komunikaciju na velikim udaljenostima te ujedno i jedna od najraširenijih LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) tehnologija na svijetu. Omogućava povezivanje baterijskih napajanih IoT (Internet of Things) uređaja te dvosmjerni prijenos male količine podataka na veliku udaljenost. Neke od prednosti i razlozi tašto se takva tehnologija upravlja jest veliki domet signala, mala potrošnja električne energije te velika sigurnost slanja podataka. Baterija koja je ugrađena u Lo-Ra uređaj je integrirana i može trajati između 10 i 20 godina.

Princip rada temelji se na bežičnom signalu koji koristi digitalnu FSK modulaciju te radi u frekvencijom spektru od 868 MHz i 915 MHz. U Europi se koristi 868 MHz pojas koji je podijeljen u 8 kanala gdje je razmak između centralnih frekvencija 300 kHz a između dva posljednja kanala razmak iznosi 1 MHz. Frekvencija koja se koristi u SAD-u, Australiji i još nekim zemljama je 900 MHz, a opseg je podijeljen u 12 kanala gdje je razmak između kanala 2,16 MHz.

## 6. Prijenos u lokalnim radijskim mrežama novijih generacija

Novije generacije lokalnih radijskih mreža se zasnivaju uglavnom na većim brzinama prijenosa podataka i boljim rješenjima što se tiče prilagođenosti prijenosa. Frekvencijski spektar se nastoji što efikasnije iskoristiti te se nastoje poboljšati softverski sustavi koji su usko vezani uz hardverski dio jer optimiziraju prijenos podataka na logičkoj razini. Iako usmjerivači i starijih generacija imaju upravljački program koji upravlja fizičkim dijelom dosta dobro, novije generacije nude puno širi spektar mogućnosti a neke implementacija u same uređaje su QoS (Quality of Service), upravljanje jakosti signala, PoE (Power over Ethernet) itd. Sve navedeno jest dio i starijih generacija uređaja baziranih na 802.11 standardu no jednostavno je nezamislivo u današnje vrijeme posjedovati neki uređaj nove generacije koji u sebi nema implementirano baš sve od navedenih mogućnosti. U nastavku su prikazana dva novija standarda novije zadnje tj. šeste. generacije Wi-Fi mreža.

### 6.1 IEEE 802.11ac

802.11ac je veliki evolucijski napredak u odnosu na 802.11n. Odlikuju ga velike brzine prijenosa koje je do sad bilo moguće postići isključivo putem Ethernet kabela. Velike brzine prijenosa se ostvaruju povećanjem širine kanala frekvencijskog pojasa povećanjem iznosa prostornog odašiljanja [6].

Tablica 1. Prikaz kalkulacija brzina za 802.11n i 802.11ac standard

| Standard     | Širina pojasa<br>(broj<br>podnosioca) | Broj prostornih<br>slijedova | Broj bitova po<br>podnosiocu                 | Vrijeme po<br>OFDM simbolu                |
|--------------|---------------------------------------|------------------------------|--|---|
| 11n ili 11ac | 56 (20 MHz)                           | 1-4                          | $\frac{5}{6} \times \log_2(64) = 5$          | 3,6 $\mu$ s (kratak<br>zaštitni interval) |
|              | 108 (40 MHz)                          |                              |  | 4 $\mu$ s (dugi<br>zaštitni interval)     |
| 11ac         | 234 (80 MHz)<br>2x234 (160<br>MHz)    | 5-8                          | $\frac{5}{6} \times \log_2(256)$<br>$= 6,67$ |   |

Bežični prijenos je produkt triju faktora: kanala širine frekvencijskog pojasa, gustoća konstelacije te broja prostornih dijelova kao što je prikazano u tablici 1. Npr. kanal širine 80 MHz poslan na 256 QAM s 3 prostorna slijeda i kratkim intervalom dovodi  $234 \times 3 \times 5 / 6 \times 8 \text{ bitova} / 3,6 \mu\text{s} = 1300 \text{ Mbit/s}$ .

802.11ac je namijenjen za rad samo u 5GHz frekvencijskom spektru jer se tako izbjegava velik dio smetnji na 2,4 GHz. Kao što je prikazano u izračunu, 802.11ac standard uvodi modulaciju većeg reda, do 256 QAM te dodatno povezivanje putem udruživanjem kanala do 80 ili 160 MHz i više prostornih tokova, do njih 8. Uvedena je i jedna od korisnih osobina verzije 802.11n koje uključuju mogućnost kratkog nadzora intervala (*short guard interval*) čime se ostvaruje povećanje brzine od 10% [5].

## 6.2 IEEE 802.11ax

Ovo je jedan od standarda zadnje Wi-Fi generacije, isto kao 802.11ac standard, koji nudi još veće brzine prijenosa. Radi u 2,4 GHz i 5 GHz frekvencijskom području te se ističe po 1024 QAM modulaciji. Brzine prijenosa podataka dostižu od 600 Mbit/s pa sve do 9607,8 Mbit/s. Iako su ukupne brzine i širine 802.11ac i 802.11ax standarda slične, deseci tehnologija implementirani su u ažuriranu specifikaciju koja bi trebala značajno poboljšati učinkovitost i propusnost budućih Wi-Fi mreža koje bi potencijalno mogle poslužiti desetke uređaja na jednom kanalu s brzina od nekoliko Gbit/s.

## 6.3 Li - Fi

Li – Fi ili Light Fidelity je nova tehnologija za bežičnu komunikaciju koja koristi svjetlosne signale za prijenos, a brzine su veće i do 100 puta u usporedbi s 802.11 standardnom. Takva vrsta tehnologija predstavljena je svijetu još 2011. godine i ideja je bila obične žarulje pretvoriti u bežične usmjerivače spajajući ih na adekvatan mikročip.

Princip rada Li – Fi bazira se koristeći LED svjetla koja se pale i gase u razmacima od nanosekunde pa je takvo treperenje neprimjetno ljudskom oku. Znanstvenici su u idealnim laboratorijskim uvjetima postigli brzinu prijenosa od 225 Gbit/s. Za takvu brzinu, tj. propusnost, prosječan korisnik ne bi imao prevelike koristi jer prosječni hard disk ili SSD (Solid state drive) na kojeg se spremaju podaci, imaju kapacitet spremanja do 500 MB/s. Prosječnom korisniku je za osobne potrebne dovoljna propusnost do 100 Mbit/s, ali kako tehnologija napreduje i kako veće kompanije imaju veće apetite, postoji potreba za rastom tih vrijednosti.

Velika prednost Li – Fi tehnologije je i u tome što je elektromagnetski spektar vidljive svjetlosti 10 000 puta širi od elektromagnetskog spektra radiovalova što ostavlja određenu širinu za primjenu novih tehnologija. Ugradnjom mikročipa u LED žarulju moguće je programirano uključivati i isključivati tu sklopku te slati željeni signal na prijavnike koji su u stanju pročitati taj signal i prevesti ga i smislenu cjelinu, tj. informaciju.

Zanimljivo je to što bi se primjenom takve nove tehnologije otvarali neke dodatne mogućnosti. Jedna od njih je ta da bi LED svjetla u kućanstvu mogla imati dvostruku funkciju. Osim što bi obasjavala, npr. dnevnu sobu ili neku drugu prostoriju, svjetla bi sudjelovala u kreiranju mreže na koju bi se spajali svi uređaji u stanu ili kući. Neki od gradova, poput Dubaija, imaju u planu integrirati ovu tehnologiju na svoje ulice i to putem uličnih svjetiljki kako bi se svi mogli spajati brzu mrežu.

Loša strana Li-Fi tehnologije jest ta što vidljiva svjetlost ne prolazi kroz zidove te je time ograničen domet no to ne znači da zbog toga neće biti primjenjiva u svakodnevnom životu. [9]

## 6.4 Usporedba 802.11 standarda starijih i novijih generacija

Tablica 1. Usporedba 802.11 standarda starijih i novijih generacija

|          |       |   |
|----------|-------|---|
| 802.11   | Wi-Fi | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Korištenje FHSS i DSSS tehnologije</li><li>2. Rad u 2,4 GHz spektru.</li></ol>   |
| 802.11a  | Wi-Fi | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Rad u 5 Ghz spektru u rasponu od 5,15-5,35 i 5,725-5,85Ghz</li><li>2. Korištenje OFDM tehnologije</li><li>3. Brzina prijenosa do 54 Mbit/s.</li></ol>  |
| 802.11b  | Wi-Fi | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Primjena DSSS tehnologije</li><li>2. Brzina prijenosa do 11 Mbit/s</li><li>3. Širina pojasa od 22 MHz sa 3 ne-preklapajuća kanala u rasponu frekvencija od 2,4 GHz – 2,4835 Ghz..</li></ol>  |
| 802.11g  | Wi-Fi | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Povećanje propusnosti podataka kod uređaja koji radi u 2,4 GHz spektru s time da je standard usklađen da može komunicirati sa uređajima baziranim na 802.11b standardu</li><li>2. Korištenje OFDM tehnologije</li><li>3. Brzine prijenosa do 54 Mbit/s.</li></ol>                        |
| 802.11n  | Wi-Fi | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Veće brzine prijenosa</li><li>2. Najčešće korišteni standard u komercijalne svrhe</li><li>3. Podržava prijenos podataka do 300 Mbit/s.</li></ol>   |
| 802.11ac | Wi-Fi | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Brzine prijenosa do 54 Mbit/s u 2,4 GHz pojasu te čak do 600 Mbit/s u 5 GHz frekvencijskom pojasu</li><li>2. MU-MIMO (multi-user MIMO) koja podržava posluživanje do 4 klijenta</li><li>3. 256-QAM modulacija za razliku od a/b/g standarda gdje se koristi 64 QAM modulacija.</li></ol> |
| 802.11ax | Wi-Fi | <ol style="list-style-type: none"><li>1. 1024-QAM modulacija</li><li>2. Korištenje OFDM tehnologije</li><li>3. Bolje mjerenje vremena i dulje trajanje baterije uz TWT (Target Wake Time)</li><li>4. MU-MIMO koja podržava do 8 klijenata.</li></ol>  |



## 7. Bežični prijenos u komercijalnom segmentu

Pojavom DSL tehnologija, teleoperatori su svojim korisnicima počeli davati pristupnu opremu (CPE – Customer Permission Equipment) koja je imala mogućnost spajanja na WiFi mrežu. U početku je korisnik dobio uređaj koji je imao jednostavnu svrhu, a to je bila sinkronizacija signala s centralom (DSLAM). Taj uređaj je popularno dobio nazive kao što su modem i usmjerivač iako bi modem kao naziv bio sasvim prihvatljiv. U početku se Internet (PPPoE) konekcija dizala preko računala, a modem je služio samo kao most (eng. Bridge) prema centrali i svaki korisnik Internet usluga je mogao imati samo jedno računalo spojeno na Internet žičanim putem.

Bežično spajanje s više uređaja preko jedne usluge teleoperatora je bilo moguće, ali korisnik je tada morao kupiti vlastiti uređaj koji bi imao funkciju dizanja Internet konekcije i dijeljenja iste s više ukućana. Konkurencija na tržištu i velika zainteresiranost korisnika je dovela davatelje Internet usluge do razine gdje 802.11 standard mora biti dio svake korisničke pristupne opreme. Dakle, mogućnost kreiranja WLAN-a je naglo porasla nedugo nakon uvođenja DSL pristupne tehnologije.

802.11 mreža bi se mogla opisati kao skup međusobno povezanih komponenti koje skupa čine jednu cjelinu. Ta cjelina se sastoji računala ili hostova koji primaju signal, antene koje su dio svakog uređaja u mreži i pristupne točke koji odašilje signal prema drugim uređajima u mreži.

U WLAN mreži najbitniji uređaj je pristupna točka (Access Point - AP) koja odašilje drugim uređajima signal. Uređaj koji služi za odašiljanje signala može raditi u 4 različita moda:

1. Client Mode – uređaj radi kao računalo (host ili klijent) koji se spaja na drugi AP uređaj. Kada AP radi u ovom modu, ne može primati ostale klijente jer se on ponaša kao klijent. Primjer takvog korištenja jest onda kada je neki uređaj dosta udaljen od originalne pristupne točke te se u tom slučaju drugi AP može iskoristiti za bolje hvatanje signala od originalnog AP-a.
2. Root Mode – AP uređaj je žičano spojen na usmjerivač ili modem te stvara bežičnu mrežu.
3. Bridge mode – AP uređaj radi kao bežični most koji koristi za spajanje dvije ili više mreža. Mostovi se mogu nalaziti na bilo kojoj lokaciji unutar iste lokacije ili se mogu nalaziti na različitim lokacijama.

4. Repeater Mode – Ovo je način kada se AP koristi gdje on radi kao obnavljač signala, tj. ponavlja postojeći signali od originalnog AP-a. Može povezivati klijente sa svog područja u mrežu i njihov promet prosljeđivati prema originalnom AP-u.



Slika 14. Prikaz tipičnog AP-a marke TPLINK

Uređaj sličan prikazanom na slici 14 je detaljno opisan u poglavlju 8.1 gdje je navedeno tipično korištenje pristupnih točaka u komercijalne svrhe budući da je autor ovog rada imao prilike raditi s takvim i sličnim uređajima u privatnom i poslovnom okruženju.

Na slici 7 se također mogu vidjeti 2 antene. Tipičan *Access point* ima dvije antene, no dolazi u kombinaciji s jednom do četiri antene i uglavnom se radi o omnidirekcionalnim antenama koje svoji signal odašilju u svim smjerovima. Moguće je koristiti i direkcionalne (Yagi) antene koje mogu biti veoma usmjerene prema nekoj točki ili području no korisnici takvih uređaja rijetko koriste takav način odašiljanja signala.

Svaki terminalni uređaj koji je definiran kao klijent ili host mora imati svoju antenu i mrežnu karticu (NIC – Network interface card). Takve kartice mogu biti ugrađene u uređaje što je najčešći primjer kod laptopa i mobilnih uređaja a isto tako mogu biti i zasebne što se koristi kod osobnih standardnih računala.

## 7.1 Ponuda teleoperatera u Hrvatskoj

Teleoperatori u Hrvatskoj u standardnim ADSL i VDSL paketima nude uređaje koji podržavaju 802.11b/g/n standarde. Dakle, 3 standarda u jednom uređaju što se tiče bežičnog prijenosa.

Takvi uređaji obično imaju 4 Ethernet port-a kojima je propusnost do 100 Mbit/s po portu te 1 preko kojeg se može ostvariti gigabitna brzina prijenosa podataka.

Iako u nekim, gušće naseljenim, područjima teleoperatori nude VDSL brzine do 100 Mbit/s, korisnici uglavnom neće koristiti puni kapacitet jer 802.11b/g/n u teoriji radi do 54 Mbit/s u 2,4 GHz spektru, a u praksi te brzine, uz dosta okolnih smetnji, dosežu uglavnom od 5 do 30 Mbit/s. U zadnje vrijeme, kako dosta korisnika migrira na usluge preko optičkog kabela, operatori su polagano počeli uvoditi usmjerivače koji rade istovremenu u 2,4 i 5 GHz spektru te se na 5 GHz u dostižu i nešto veće brzine u rasponima od 50 do 200 Mbit/s.

Jedan od operatora koji je u vrijeme pisanja rada proširio vlastitu mrežu putem optike, dosta se odvažio i ponudio svojim korisnicima 802.11ac standard koji bez problema može bežično slati podatke uređajima oko sebe na brzinama oko 500 Mbit/s, ako su pristupna točka i klijentski uređaj razmaknuti do 15 metara optičke vidljivosti. To je veliki korak na hrvatskom tržištu no realno, takve brzine prosječnom korisniku u privatne svrhe nisu potrebne iako su reklame koje utječu na populaciju veoma jake i budući da ima dosta uživatelja moderne tehnologije, dosta korisnika želi uživati velike brzine prijenosa podataka.

## **7.2 Veće zarade teleoperatora**

Budući da je Internet sam po sebi veoma jaka komercijalna riječ, većini korisnika je značenje WLAN mreže isto što i Internet. Kada se jedna lokalna s više uređaja poveže s drugom lokalnom mrežom koja broji više uređaja, nastane mreža koja je načinjena od dvije različite mreže. Kada se takve dvije mreže povežu još s dvije različite mreže i tako u nedogled, nastaje sve veća i veća mreža. Najveća takva poznata mreža zove se Internet.

Kada prosječan korisnik ima slab Wi-Fi signal na svojem najčešće mobilnom uređaju, dakle, signal između pristupne točke i njegovog mobilnog uređaja, on kaže da mu je Internet slab. Tako razmišlja značajan udio korisnika i tu se otvara veliki prostor za zaradu kod teleoperatora. Naravno, u tom dijelu zarade ne sudjeluju oni koji rade na najnižim radnim pozicijama kao što je tehnička podrška koja je dio svake veće tvrtke koja prodaje svoje proizvode.

O čemu se zapravo radi: snaga odašiljanja bežičnog signala je limitirana na 100 mW i antene koje su implementirane u sam uređaj koji je ponuđen korisniku od strane teleoperatora nemaju preveliki dobitak. Štoviše, nastoji se da korisnik dobi uređaj čiji signal na već preko 10 metara optičke udaljenosti postane neupotrebljiv.

Budući da kod korisnika snaga odašiljanja signala u WLAN mreži ima isto značenje kao snaga odašiljanja Interneta iako to nema pre velikog smisla a u isto vrijeme ima puno onih koji ne žive u stanovima manjima od 40 kvadrata, cijela stvar dolazi do onog djela gdje dolazi do puno scenarija gdje jedan veći stan a najčešće jedna veća kuća plaća teleoperatoru više usluga pružanja pristupa Internetu.

Dakle, iako je zapravo potrebno koristiti i plaćati usluge jednog izlaza (eng. Gateway) prema Internetu, zna se dogoditi da jedna obiteljska kuća plaća više takvih usluga. Usluga pružanja Interneta operatora ne košta ništa. Jedini trošak je povući do korisnika paricu i spojiti na nju Router. Ostali troškovi kao što je zakup vanjskih IP adresa je također zanemariv zato što se pružatelji Internet usluga (eng. ISP, Internet service provider) služe metodama koje obuhvate više različitih korisnika s jednom vanjskom IP adresom jedna od njih je CGNAT (Carrier Grade Network Address Translation).

## 8. Primjena lokalne radijske mreže u privatne svrhe

Tipična kućna mreža danas opslužuje velik broj uređaja: računala, telefone, tablete, konzole za igru, itd.. Neki od njih povezani se mrežnim kablom, a neki su, zbog bolje mobilnosti, povezani bežično. U samom srcu tog sustava nalazi se uređaj koji se naziva modem ili usmjerivač koji predstavlja vezu između vanjske najveće mreže Internet (Wide Area Network) i lokalne mreže (Local Area Network) [2].

Kućne mreže se prije sve koriste za pristup Internetu, ali njihovi potencijali su puno veći. Moguće je postaviti npr. NAS (Network Attached Storage) koji može služiti za centralnu pohranu podataka ili je moguće spojiti Printer koji će omogućiti printanje svim uređajima koji su spojeni u mreži ili mrežni poslužitelj (server) kojem se može pristupiti sa svakog računala u lokalnoj mreži.

Prije stvaranja mreže, potrebno je imati uvid u kapacitete i brzine koje se mogu ostvariti na pojedinim dijelovima mreže te je od velike koristi imati kraj sebe određena uputstva u kojem su objašnjene neke od funkcije usmjerivača koji će se koristiti za kreiranje kućne mreže. Ako se radi s usmjerivačem koji je dobiven od strane telekom operatora, neće se moći postići neke od naprednijih opcija ali osnovne stvari je moguće napraviti i na jeftinijim usmjerivačima.

Bilo bi korisno znati MAC (Media Access Control) adresu svakog uređaja zbog sigurnosti i boljeg nadzora uređaja u mreži. Svaki uređaj može imati neki naziv kojeg mu dodjeli sam korisnik no MAC adresa je nepromjenjiva te ako u nadzoru mreže bude sumnjivo da je spojeno više uređaja nego što bi trebalo biti ili ako se ustanovi da se događa iskorištavanje resursa mreže više nego što je planirano, lako se može po MAC adresi saznati koji uređaj generira određeno promet i o kojem se uređaju zapravo radi.

Neke od korisnih aplikacija, kod kojih sam njihov naziv govori za što služe, veoma su korisne kod WLAN mreža. Budući da 802.11 standard u 2,4 GHz spektru radi na 13 različitih kanala gdje se optimizacija može ostvariti na samo 3 kanala koji su međusobno potpuno odvojeni, bitno je znati koliko drugih mreža u 2,4 GHz pojasu postoji oko usmjerivača te na kojim kanalima rade. Koristeći aplikaciju 'Wi-fi Analyzer', lako se može dobiti uvid u stanje okolnih mreža te je s tim saznanjem lako prilagoditi našu mrežu da radi tako da ne interferira s ostalim mrežama, a isto tako se može uređaj podesiti da automatski mijenja kanal ako primijeti da neki drugi uređaj blizu njega radi na istom kanalu.

## 8.1 Odabir usmjerivača

Kao centralna točka u okviru kućne mreže, usmjerivač predstavlja početno mjesto za nadogradnju lokalne radijske mreže. Kao što je već navedeno u ovom radu, teleoperatori najčešće daju one manje kvalitetnije uređaje koji podržavaju uglavnom osnovne funkcije, ali ne i one naprednije koje bi bilo zanimljivo koristiti, a jedna od njih je QoS opcija tj. dodjeljivanje resursa po klijentu koji se spaja na pristupnu točku. To je veoma bitna stvar je propusnost podataka u mreži nije neograničena i ako se promet podataka u mreži zapuni, može doći do raznih problema koji uzrokuju nelagode u korištenju.

Optimalan standard bi bio 802.11ac koji može raditi na dvije frekvencije (2,4 GHz i 5 GHz). Prijenos na 2,4 GHz podržavaju svi uređaji pa je lako za očekivati da ona bude i zagušenija i podložnija interferencijama sa susjednim bežičnim mrežama. 5 GHz mreža je manje zagušena i postiže bolje performance što se tiče brzine prijenosa. Veoma je bitan i položaj antene na usmjerivaču. Preporuka je da usmjerivač stoji podignut na visini stola ili nešto više te da antena bude postavljena vertikalno te je veoma dobro odabrati uređaj koji ima više antena kako bi jedna mogla biti u vertikalnom, a druga u horizontalnom položaju zbog pokrivenosti signala u horizontalnom i vertikalnom smjeru.

## 8.2 Širenje lokalne radijske mreže

Za proširivanje mreže u npr. većoj kući, mogu se iskoristiti postojeći usmjerivači ili obnavljači signala. Postojeći usmjerivači se lako mogu iskoristiti kao pristupne točke prema glavnoj centralnoj točki. Stari usmjerivači koji su dodijeljeni od strane operatora obično su veoma ograničeni što se tiče promjena nekih parametara u njima, kao što je podešavanje IP-adrese samog usmjerivača i postavljanje njegovog načina rada. Netko tko bi baš jako htio uštedjeti na proširivanju vlastite mreže, mogao bi staviti bolji softverski dio 'firmware' na sam uređaj te ga tako umjesto klasičnog načina rada pretvoriti u *Access Point*. Najjednostavnije je koristiti već gotove uređaje koji imaju implementirane načine rada te je sam način rada samo potrebno odabrati.

Korištenjem pristupnih točaka, od jednog uređaja koji ima ograničeno područje odašiljanje signala može se stvoriti mreža koja pokriva solidnu kvadraturu kuće ili stana no kada bi svaki korisnik Internet usluga htio raditi takve stvari, teleoperatori ne bi imali zaradu kao što je opisano u prethodnom poglavlju.

### 8.3 Sigurnost lokalne radijske mreže

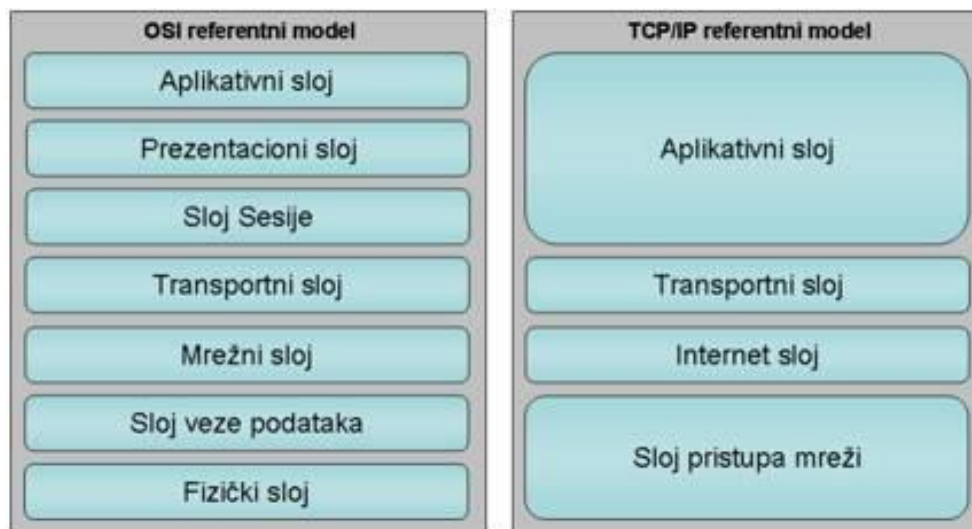
Ne bi bilo dobro kada bi lokalnoj bežičnoj mreži mogao pristupiti bilo koji uređaj osim ako vlasnik mreže iz nekog razloga želi omogućiti pristup svojoj mreži svakom slučajnom prolazniku koji posjeduje neki od terminalnih uređaja. Kada je riječ o privatnoj mreži, obično se misli na lokalnu mrežu koja ima izlaz (Gateway) prema drugim mrežama, a najčešće je ta druga mreža Internet. Neki od poslovnih korisnika, kao što su restorani i kafići, najčešće će dopustiti da se svi oko njega spajaju na njegovu lokalnu mrežu jer im to dođe kao dobra reklama, iako u današnje vrijeme će i oni htjeti staviti neku od enkripcija zbog sve većih apetita za brzinom prijenosa u silaznoj vezi suvremenih korisnika mrežnih usluga.

Enkripcija koja se može koristiti za zaštitu bežičnih mreža je WEP (Wireless Encryption Protocol). Dakle, tijekom spajanja na lokalnu mrežu, sustav će tražiti da se upiše lozinka koja se sastoji od najčešće 5 simbola. WEP protokol je opisan IEEE 802.11b standardom i koristi kriptografske ključeve duljine 64, 128 i 256 bitova. Kriptiranje i dekriptiranje podataka obavlja se tajnim ključem a protokol je taj koji je zadužen za izmjenu informacije između pristupne točke i klijenta.

Sljedeća metoda enkripcije koja se koristi je WPA (Wi-Fi Protected Access). Ona omogućava enkripciju podataka koristeći se 128 i 48-bitnim ključem. WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2) uključuje mehanizme koje koristi WPA s time da je uvedena CCMP (Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol) enkripcija a ona se temelji na AES (Advanced Encryption Standard) algoritmu koji kriptira blokove podataka veličine 128 bitova a ključ koji se kriptira može biti veličine 128,192 i 256 bitova [7].

## 9. Protokolno funkcioniranje mreža

Za komunikaciju između umreženih uređaja, kao i s Internetom, koristi se TCP/IP protokol. TCP (Transmission Control Protocol) je metoda koji se koristi za konekciju kroz mrežu dok je IP (Internet Protocol) način na koji se šalju podaci u paketima. TCP/IP složaj sastoji se iz četiri osnovna sloja koji uključuju aplikacijski, transportni, Internet i mrežni sloj [4].



Slika 15. Prikaz OSI modela i TCP/IP složaja

Svaki prijenos podataka mogao bi se opisati OSI referentnim modelom, no u korištenju mreža kao što je Internet, TCP/IP složaj veoma dobro opisuje njen rad.

### 9.1 Fizički sloj

Fizički sloj definiran je fizičkim medijem koji prenosi, električne, svjetlosne ili radio signale kroz mrežu. Podaci se s mrežne kartice (NIC-Network Interface Card) prenose na prijenosni medij u obliku signala prema utvrđenom postupku kako bi se na određitu signali mogli konvertirati u podatke. Karakteristike i zahtjevi prijenosa su strogo definirani i standardizirani.

Fizički sloj bitno se razlikuje od ostalih slojeva u tome što ispod njega nema sloja koji mu daje uslugu nego postoji samo pasivno okruženje. Primjena novog transmisijskog medija ili načina prijenosa implicira proširenje postojećih protokola ili pak definiranje novih. [4]

### 9.2 Sloj podatkovne veze

Sloj podatkovne veze zadužen je da podatke pošalje do fizičkog sloja. Podaci koje šalje sadrže sljedeće informacije:



1. Oznaka središta koja je najčešće izvedena kao MAC adresa (Media Access Control-fizička adresa mrežne kartice).
2. Oznaka pošiljatelja (engl. Sender ID). Ova oznaka je najčešće MAC adresa odredišnog računala.
3. Upravljačke informacije (engl. Control Information): informacije o tipu okvira, usmjeravanje te informacije vezane za segmentaciju.

Na ovom sloju obavlja se kontrola greške, odnosno osiguranje detekcije i korekcije greške, te se provjerava integritet na odredištu prispjelog paketa. [4]

### **9.3 Mrežni sloj**

Mrežni sloj na neki način određuje najbolji put za prijenos podataka između dva računala u mreži. Sloj upravlja s adresiranjem poruke te prevođenjem logičkih adresa kao što je IP adresa u fizičke adrese kao što je MAC adresa te osigurava putanju paketa u mreži prilikom prijena podataka. Ako je potrebno, mrežni sloj može dodatno segmentirati IP pakete u manje segmente ako to zahtijeva raspoloživiji prijenosni kapacitet mreže. [4]

### **9.4 Transportni sloj**

Sloj transporta segmentira i spaja podatke u jednu cjelinu te omogućava krajnju komunikaciju između dva računala prilikom razmjene podataka. Svaki paket se numerira i tada se šalje na odredišno računalo. Kada odredišno računalo primi paket, šalje povratnu informaciju pošiljatelju. Ako odredišno računalo nije primilo paket, tada se ponovno šalje nedostajući paket. Na ovaj način se obavlja kontrola pogreške prilikom prijena podataka. Sloj transporta pruža različite klase usluga što odgovara različitoj kvaliteti usluga (QoS) koje oružaju pojedine telekomunikacijske mreže. [4]

### **9.5 Sloj sesije**

Sloj sesije osigurava komunikaciju između aplikacija koje se izvršavaju na računalima u mreži i to se naziva sesija. Ovaj sloj izvršava sigurnosne funkcije kako bi utvrdio je li računalima dozvoljeno da uspostave mrežnu komunikaciju i osigurava da se upit za specifičan tip usluge postavi korektno. Ako sustav ima više mrežnih aplikacija, sloj sesije se brine da sve komunikacije funkcioniraju kako treba i usmjerava dolazeće podatke k pravoj aplikaciji. [4]

## 9.6 Prezentacijski sloj

Prezentacijski sloj definira način formatiranja podataka prilikom njihove razmjene između računala na mreži. Podaci koji se dobivaju od aplikacijskog sloja prevode se u prepoznatljiv oblik informacije. Ovaj sloj je odgovoran za sve konverzije podataka, kriptografsku zaštitu i konverziju protokola. Ako računala imaju dva različita skupa karaktera, npr. izvor podataka ima ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) skup karaktera, a odredišno računalo ima EBCDIC (*Extended Binary Coded Decimal Interchange Code*) skup karaktera, tada je potrebno izvršiti njihovu konverziju a za to je upravo odgovoran prezentacijski sloj. [4]

## 9.7 Aplikacijski sloj

Aplikacijski sloj omogućuje aplikacijama pristup mrežnim uslugama. Nije u vezi s programima koji zahtijevaju samo lokalne resurse nego programi moraju biti pisani tako da posjeduju komunikacijske komponente koje mogu komunicirati s aplikacijskim slojem. Tipovi programa koji koriste aplikacijski sloj su elektronička pošta, elektronička razmjena podataka, konferencijske aplikacije i World Wide Web kojeg pomoću browsera korisnik može čitati sadržaj stranica, pregledavati video sadržaje i slušati audio zapise koji se mogu nalaziti na različitim lokacijama na mreži. [4]

## 10. Zaključak

Povijesni razvoj radijskih mreža je veoma zanimljiv te se sam bežični pristup ne bi mogao ostvariti da nije bilo poznatih fizičara koji su otkrili kako prenijeti energiju na daljinu ne koristeći ništa osim slobodnog prostora. Zbog ograničenosti frekvencija za bežični prijenos podataka, uvijek će se razvijati nove tehnike pristupa mediju zbog što boljeg iskorištenja frekvencijskog spektra. Novije generacije lokalnih mreža će biti sposobne propuštati sve veće količine podataka prema uređajima u mreži i teško je predvidjeti što donose novi standardi.

Raznolikost bežičnih standarda u današnje vrijeme je velika te je ponuda na tržištu velika i ponuda je dovoljno široka za sve namjene. Iako je uređaj koji ima u sebi implementiranu tehnologiju baziranu na 802.11 standardu moguće kupiti u bilo kojem dućanu s informatičkom opremom, većinu takvih uređaja zapravo isporučuju teleoperatori svojim korisnicima. Iako je lokalnu mrežu moguće proširiti, veoma malo korisnika se odlučuje za kupnju dodatnih pristupnih točaka kojim bi nadogradili postojeću mrežu. Razlog tome je što ponuđena oprema zadovoljava korisnike, a sami nemaju dovoljno znanja kako bi se sami upustili u projektiranje vlastite mreže.

Oni koju se odluče za nadogradnju svoje bežične lokalne mreže, imaju veliki izbor uređaja koji su dostupni u svim informatičkim trgovinama te je puno načina za nadogradnju postojeće lokalne mreže. Bitno je poznavati osnovne principe kako uređaji rade te poznavati TCP/IP protokol, jer kao i u stvarnom svijetu, u tehnološkom svijetu je također sve određeno protokolima.

Lokalne radijske mreže su jednostavno neizostavni dio današnjice u pogledu prijenosa podataka i korištenju raznih usluga.

## LITERATURA

- [1] Zentner, Ervin: *Antene i radiosustavi*, Zagreb, 2001.
- [2] Ilišević, Saša: *Brzi vodič kroz kućne mreže*, Zagreb, 2002.
- [3] Kuzmanović, Branislav: *Osnove elektrotehnike 1*, Zagreb, 2006.
- [4] Mrvelj, Š.: *Predavanja iz Tehnologije telekomunikacijske mreže*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018.
- [5] Škrić, I. :*Budući razvoj IEEE 802.11 (Wi-Fi) standarda bežičnih mreža*, Osijek, 2016.
- [6] Šopar, S. : *Lokalne bežične mreže po IEEE 802.11 standardu*, Varaždin, 2004.
- [7] CARNet: *WPA2 zaštita*
- [8] Muštra, M.: *Predavanja iz Mobilni komunikacijski sustavi*, Fakultet Prometnih Znanosti, Zagreb, 2018.
- [9] Pure Li-Fi <http://purelifi.com/technology/> (kolovoz, 2019.)
- [10] Šišul, G.: *Odabrana poglavlja elektroničkih komunikacija – fizički sloj* [https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/ELEKOM\\_-\\_skripta.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/ELEKOM_-_skripta.pdf) (kolovoz, 2019.)
- [11] Bajtl, S: *Bežične mreže*, <https://repositorij.unipu.hr/islandora/object/unipu%3A199/datastream/PDF/view> (kolovoz, 2019.)
- [12] WE\_skripta, [http://spvp.zesoi.fer.hr/predavanja%202008/WE\\_skripta.pdf](http://spvp.zesoi.fer.hr/predavanja%202008/WE_skripta.pdf) (kolovoz, 2018.)
- [13] PC\_press, <https://pcpress.rs/sve-sto-bi-trebalo-da-znate-o-kucnoj-mrezi/> (kolovoz, 2018.)
- [14] sys.portal CARNET, <https://sysportal.carnet.hr/node/1310> (kolovoz, 2018)
- [15] UMREZENBLOG, <http://www.umrezen.in.rs/networking/carrier-grade-nat-cgnat-kod-domacih-provajdera/> ( kolovoz, 2018)
- [16] AT EASY DAY, <https://hr.ateasyday.com/articles/raznye-sovety-dlya-windows/nastrojka-lokalnoj-seti-v-windows-10-domashnyaya-set-cherez-wi-fi-router-mezhdu-windows-10-i-windows.html> (kolovoz, 2018)
- [17] Novi WiF standard 802.11ac, [https://bib.irb.hr/datoteka/969999.3.\\_Osvrt\\_na\\_petu\\_WiFi\\_generaciju\\_-\\_standard\\_802.11ac\\_Kranjcevic\\_Valic\\_Gligora.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/969999.3._Osvrt_na_petu_WiFi_generaciju_-_standard_802.11ac_Kranjcevic_Valic_Gligora.pdf) (kolovoz, 2018.)

- [18] NETWORKWORLD, <https://www.networkworld.com/article/3258807/what-is-802-11ax-wi-fi-and-what-will-it-mean-for-802-11ac.html> (kolovoz, 2018.)
- [19] RADIOMUSEUM, <http://www.radiomuseum-croatia.com/new/povijestradioprijamnika> (pristupljeno 01.08.2019.)
- [20] HRČAK <https://hrcak.srce.hr/file/123416> (pristupljeno 01.08.2019.)

## POPIS ILUSTRACIJA

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Shema Teslinog patenta koji se sastoji od odašiljača i prijamnika..... | 3  |
| Slika 2. Prikaz frekvencijskog spektra.....                                     | 4  |
| Slika 3. Grafički prikaz digitalnog signala .....                               | 5  |
| Slika 4. Prikaz električnog i magnetskog polja.....                             | 6  |
| Slika 5. Grafički prikaz promjene električnog polja u vodiču.....               | 7  |
| Slika 6. Grafički prikaz električnog i magnetskog polja u prostoru .....        | 7  |
| Slika 7. Grafički prikaz temeljnih diskretnih modulacijskih postupaka .....     | 8  |
| Slika 8. Primjer Yagi antene .....  | 9  |
| Slika 9. Primjer panel antene .....   | 10 |
| Slika 10. Primjer omnidirekionalne antene .....                                 | 11 |
| Slika 11. Dijagram toka koji opisuje rad CSMA/CA mehanizma .....                | 14 |
| Slika 12. OFDMA višestruki pristup .....  | 16 |
| Slika 13. Shematski prikaz MIMO tehnike.....                                    | 18 |
| Slika 14. Prikaz tipičnog AP-a marke TPLINK.....                                | 27 |
| Slika 15. Prikaz OSI modela i TCP/IP složaja.....                               | 33 |

## POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Prikaz kalkulacija brzina za 802.11n i 802.11ac standard ..... | 22 |
| Tablica 2. Usporedba 802.11 standarda starijih i novijih generacija.....  | 25 |

## **POPIS KRATICA**

16QAM – 16-level Quadrature Amplitude Modulation

64QAM – 64-level Quadrature Amplitude Modulation AP – Access Point

AP – Access Point

BPSK – Binary Phase Shift Keying

CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum

FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum

IEEE – Institute of Electrical and Electronic Engineers

IRDA – Infrared Data Association

Li-Fi – Light Fidelity

MAC – Medium Access Control

MIMO – Multiple Input Multiple Output

OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing

QPSK – Quadrature Phase Shift Keying

WEP – Wireless Encryption Protocol

Wi-Fi – Wireless Fidelity

WLAN – Wireless Local Area Network

WPA – Wi-Fi Protected Access

WPA 2 – Wi-Fi Protected Access 2



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 **TEHNOLOGIJA ZA PRIJENOS PODATAKA U LOKALNIM  
RADIJSKIM MREŽAMA NOVIH GENERACIJA**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom  
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 4.9.2019

Student:  
Domagoj Leković  
(potpis)