

# Karakteristike bežične lokalne mreže

---

Vukoja, Ivana

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:096885>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

### **KARAKTERISTIKE BEŽIČNE LOKALNE MREŽE**

### **WIRELESS LOCAL NETWORK CHARACTERISTICS**

Mentor: doc. dr.sc. Ivan Forenbacher

Student: Ivana Vukoja

JMBAG: 0135248414

Zagreb, srpanj 2021.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, 28. travnja 2021.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**  
Predmet: **Arhitektura telekomunikacijske mreže**

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 6119**

Pristupnik: **Ivana Vukoja (0135248414)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Karakteristike bežične lokalne mreže**

Opis zadatka:

U radu je potrebno navesti pregled IEEE 802.11 standarda. Opisati način rada WLAN mreža i pripadajuću arhitekturu. Analizirati probleme u radu IEEE 802.11 mreža te moguće alternativne tehnologije.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

doc. dr. sc. Ivan Forenbacher

# **KARAKTERISTIKE BEŽIČNE LOKALNE MREŽE**

## **SAŽETAK**

Bežične lokalne mreže vrsta su lokalnih mreža koje za prijenos informacija i komunikaciju između dvije točke u prostoru koriste radiofrekvencijske valove. Predstavljaju relativno jeftino rješenje koje je lako implementirati u područjima gdje nedostaje žična infrastruktura. Bežične mreže pružaju mobilnost, ali sklone su različitim prijetnjama poput uskraćivanja usluge, raznih napada, prisluškivanja i promjene podataka. Bežična komunikacija korisniku daje veću mobilnost, a samim time brži i lakši pristup izvoru informacija. Ovaj rad pruža pregled tehnologija bežičnih lokalnih računalnih mreža zasnovanim na standardu IEEE 802.11.

**KLJUČNE RIJEČI:** Bežična lokalna mreža, mobilnost, tehnologija, IEEE 802.11 standard

## **WIRELESS LOCAL NETWORK CHARACTERISTICS**

### **SUMMARY**

Wireless local area networks (WLAN) are a type of local area network which are using radiofrequency waves to transmit information and communicate between two points in space. They are relatively inexpensive and easy to install solution in areas lacking of wired infrastructure. Wireless networks provide mobility but are prone to various threats such as denial of service, eavesdropping, replay attacks and data modification. Wireless communication gives the user greater mobility, and faster and easier access to the source of information. This paper will present the overview of wireless technology based on the IEEE 802.11 standard.

**KEYWORDS:** Wireless local network, mobility, technology, IEEE 802.11 standard

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. PREGLED WLAN STANDARDA.....	3
2.1. Standard 802.11b.....	4
2.2. Standard 802.11a.....	5
2.3. Standard 802.11g.....	6
2.4. Standard 802.11n.....	8
2.5. 802.11 standardi novijih generacija.....	9
3. Način rada WLAN mreže.....	12
3.1. OSI referentni model i IEEE 802.11.....	12
3.1.1. IEEE 802.11 fizički sloj mreže.....	14
3.1.2. IEEE 802.11 sloj podatkovne veze.....	16
3.2. 802.11 konfiguracija kanala.....	17
3.2.1. Spektar frekvencije Wi-Fi od 2,4 GHz.....	18
3.2.2. WiFi spektar od 5 GHz.....	19
4. Arhitektura WLAN mreža.....	21
4.1. Pristupne točke.....	21
4.1.1. Korijenski mod rada.....	22
4.1.2. Most mod rada.....	23
4.1.3. Ponavljački mod rada.....	23
4.2. Antene.....	24
4.2.1. Omni-direkionalna antena.....	25
4.2.2. Semi-direkcionalne antene.....	26
4.2.3. Direkcionalne antene.....	27
4.3. Topologija bežične lokalne mreže.....	27
4.3.1. Neovisna ili ad-hoc topologija.....	28
4.3.2. Infrastrukturna topologija.....	28
5. Problemi u radu WLAN mreža.....	31
5.1. Gubitak snage signala.....	31
5.2. Više-stazna propagacija.....	32
5.3. Zasjenjenje signala.....	33
5.4. Interferencija.....	34

6. Alternativa WLAN mrežama .....	36
6.1. Način funkcioniranja LiFi mreže .....	36
6.2. Li-Fi vs Wi-Fi.....	37
7. Zaključak .....	39
Popis literature .....	40
Popis Ilustracija.....	42
Slike .....	42
Tablice .....	42

# 1.UVOD

U današnje vrijeme uočena je snažna upotreba bežičnih računalnih mreža (WLAN). WLAN je skraćenica od Wireless Local Area Network, a predstavlja lokalnu mrežu koja koristi radio komunikaciju za pružanje mobilnosti korisnicima mreže, a istovremeno održava povezanost sa žičnom mrežom. WLAN u osnovi proširuje žičanu lokalnu mrežu. WLAN bežična povezanost ustaljeni je dio svakodnevnog života. Svi pametni telefoni imaju Wi-Fi (eng. Wireless Fidelity) tehnologiju ugrađenu kao jedan od osnovnih elemenata telefona koji omogućuje jeftinu povezanost. Uz to, računala, prijenosna računala, tableti, kamere i mnogo ostalih uređaja koriste Wi-Fi. Standard za Wi-Fi je IEEE 802.11. Različite varijante poput 802.11n ili 802.11ac su standardi unutar ukupne serije i definiraju različite varijante. Objavlivanjem ažuriranih inačica, cjelokupna tehnologija uspjela je ići u korak sa sve rastućim zahtjevima za više podataka i većim brzinama. Budućnost donosi još veće brzine te bolji rad WLAN uređaja, predstavljena je već nova Lifi tehnologija koja omogućuje prijenos podataka preko LED žarulje jako velikim brzinama.

Rad je podijeljen u sedam cjelina:

- 1.Uvod
2. Pregled WLAN standarda
3. Način rada WLAN mreža
4. Arhitektura WLAN mreža
5. Problemi u radu WLAN mreža
6. Alternativa WLAN mrežama
- 7.Zaključak

U drugom poglavlju ukratko je objašnjena povijest WLAN-a te njegova standardizacija. Opisani su IEEE 802.11 standardi te njihova osnovna podjela.

Treće poglavlje se bavi načinom rada WLAN mreže, te relacijom između IEEE 802.11 standarda i OSI referentnog modela. Prikazan je OSI referentni model po slojevima, te je najviše bazirano

na fizički sloj i sloj podatkovne veze jer su to slojevi kojima IEEE 802.11 pripada. Opisana je i konfiguracija kanala u 802.11 mreži.

Četvrto poglavlje arhitektura WLAN mreža opisuje temeljne uređaje potrebne za WLAN uspostavu konekcije. Opisane su pristupne točke, antene te topologija bežične lokalne mreže.

Peto poglavlje opisuje probleme u radu WLAN mreža koje su povezane sa smetnjama koje utječu na signal, kao što su gubitak snage signala, višestazna propagacija signala, zasjenjenje te interferencija.

Zadnje, šesto poglavlje alternativa WLAN mrežama predstavlja Li-Fi tehnologiju koja je još u fazi razvijanja te njenu usporedbu u odnosu na WiFi tehnologiju.



## 2. PREGLED WLAN STANDARDARDA

WLAN (bežična lokalna mreža) prvobitno je razvijena 90-ih za raspon 60 GHz. Godine 1997. tehnologija je prenesena na raspon 2,4 i 5 GHz. Kasnije je nastao IEEE 802.11, kao i HomeRF i HIPERLAN. Međutim, prevladao je IEEE 802.11 standard, koji je dalje razvijen u nekoliko koraka. IEEE (engl. Institute of Electrical and Electronic Engineers) je svjetsko stručno udruženje inženjera sa sjedištem u New Yorku, koje je definiralo brojne komunikacijske standarde. S ogromnim rastom broja bežičnih tehnologija, proizvođača i uređaja, uloga organizacija koje propisuju pravila i standarde vrlo je bitna u omogućavanju međusobne komunikacije uređaja. Standardi omogućuju uređajima različitih proizvođača međusobnu komunikaciju. IEEE razvio je najznačajnije standarde za bežične LAN operacije. [6] , [1]

Radna skupina IEEE 802.11 imala je cilj definirati norme za fizički sloj i za sloj za upravljanje pristupom prijenosnom mediju (MAC-engl. Media access control) u WLAN mrežama. Prvi rezultat radne skupine IEEE 802.11 bio je usvajanje norme IEEE 802.11 specifikacije fizičkog sloja i sloja za upravljanje pristupnom mediju radijskih lokalnih mreža (eng. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications) 1997. godine, koja je predviđala brzine prijenosa do 2 Mbit/s i rad u ISM frekvencijskom području od 2,4 GHz uz uporabu tehnologije proširenog spektra. Ova norma poznata je pod nazivom "izvorna" IEEE 802.11 norma. IEEE 802.11 standard poznat je i pod nazivom Wi – Fi (Wireless Fidelity). ISO/IEC inačica norme IEEE 802.11 objavljena je 1999. godine pod oznakom ISO/IEC 8802-11:1999 (IEEE 802.11-1999). Kada je 1997. objavljen prvi Wi-Fi standard, nije dodano slovo sufiksa. No kako su puštene odnosno napravljene daljnje verzije, dodano je sufiksno slovo za označavanje stvarne varijacije. Taj sufiks napisan je malim slovom. [2],[3]

Prema [3] IEEE ima preko 1100 aktivnih standarda, a još oko 600 je u razvoju. Jedna od zapaženijih standarda su IEEE 802 LAN / MAN grupa standarda, kod kojih je IEEE 802.11 jedna od poznatijih. Kako se Wi-Fi koristi u mnogo različitih svrha i ima razne mogućnosti, te se ugrađuje u ogroman broj uređaja različitih proizvođača, od velike je važnosti da ima međunarodno dogovorene standarde i specifikacije. Imajući standarde koji određuju točan rad tehnologije, moguće je osigurati da oprema različitih proizvođača može komunicirati na zadovoljavajući način.[3]

Skup standarda 802.11 trenutno uključuje šest tehnika modulacije koje sve koriste iste protokole sloja 2, a najpopularnije tehnike su one definirane a, b i g izmjenama izvornog standarda; sigurnost je izvorno uključena, a kasnije je poboljšana izmjenom 802.11i. Ostali standardi u obitelji (c-f, h-j, n) su poboljšanje usluge i proširenja usluge ili ispravke prethodnih specifikacija. 802.11b bio je prvi široko prihvaćeni standard za bežično umrežavanje, a slijedili su 802.11a i 802.11g.[7]

U tablici 1 prikazan je osnovni pregled temeljnih IEEE 802.11 standarda.

**Tablica 1** Usporedba IEEE 802.11 standarda

IEEE 802.11 standard	Godina	Frekencijski o područje	Bandwidth	Modulacija	Transmisijnska shema	Brzine
802.11	1997.	2.4 GHz	20 MHz	DBPSK, DQPSK	DSSS/FHSS	≤ 2 Mbps
802.11a	1999.	5 GHz	20 MHz	BPSK, QPSK, QAM	OFDM	≤ 54 Mbps
802.11b	1999.	2.4 GHz	20 MHz	CCK, BPSK, DQPSK	DSSS	≤ 11Mbps
802.11g	2003.	2.4GHz	20 MHz	CCK, BPSK, QPSK, QAM	DSSS/OFDM	≤ 54Mbps
802.11n	2009.	2.4/5 GHz	20/40 MHz	BPSK, QPSK, QAM	OFDM,MI MO	≤ 600Mbps
802.11ad	2012.	60 GHz	2160 MHz	BPSK, QPSK, QAM	OFDM,MI MO	≤ 6.76Mbps
802.11ac	2013.	5 GHz	40/80/160 MHz	BPSK, QPSK, QAM	OFDM,MI MO	≤ 6.93Mbps
802.1111 ax	2019.	2.4/5 GHz	do 160 MHz	QAM	OFDM,MU -MIMO	≤ 9.607Mbps

Izvor: [4]

## 2.1. Standard 802.11b

Iako je izvorni IEEE 802.11 standard bio uspješan, ukoliko govorimo o DSSS i FHSS sustavima, razvoj tehnologije ga je prerastao. Uskoro nakon implementacije 802.11 standarda, DSSS bežični LANovi su razmjenjivali podatke brzinama do 11 Mbps. IEEE 802.11b Wi-Fi standard bio je prva Wi-Fi varijanta koja je pokrenuta pomoću frekvencijskog opsega 2,4 GHz ISM - omogućila je brzinu prijenosa podataka od 11 Mbps. Bez standarda koji bi služio kao

vodič za izradu ovakvih uređaja problemi su se pojavili u interoperabilnosti i implementaciji. Proizvođači su razriješili većinu implementacijskih problema, te je posao IEEE-a bio relativno jednostavan: stvaranje standarda koji bi pokrivaio općenito prihvaćene operacije u bežičnom svijetu prisutne na tržištu. IEEE 802.11b specificira DSSS sustave koji operiraju na 1, 2, 5,5 i 11 Mbps. 802.11b standard ne predstavlja FSSS sustave te su 802.11b sustavi kompatibilni unatrag s 802.11 sustavima koji operiraju na 1 i 2 Mbps. 802.11b uređaji rade samo u 2,4 GHz ISM frekvencijskom opsegu između 2,4000 i 2,4835 GHz.[3],[1]

802.11b standard je korišten u značajnom broju prijenosnih računala što je doprinijelo njegovom uspjehu. Tek nakon što je u srpnju 1999. ratificiran 802.11b uređaji su postali dostupni, Wi-Fi je uvelike počeo s radom. Wi-Fi žarišne točke (eng. hotspots) postavljene su u mnogim uredima, hotelima i zračnim lukama, a ideja korištenja prijenosnih računala tijekom putovanja postala je daleko lakša.[3]

## **2.2. Standard 802.11a**

Standard IEEE 802.11a prvi je standard u seriji IEEE 802.11. Definira WiFi format za pružanje bežične veze u 5 GHz ISM opsegu dajući brzine neobrađenih podataka do 54Mbps. Iako je po abecedi prvi standard u seriji 802.11, objavljen je u isto vrijeme kad i IEEE 802.11b koji je imao za cilj povezivanje korištenjem 2,4 GHz ISM opsega.[9] Budući da je 802.11b popularnost stekao mnogo brže od 802.11a, neki vjeruju da je 802.11a stvoren nakon 802.11b. Zapravo je istovremeno stvoren i 802.11a. Zbog svojih većih troškova, 802.11a se obično koristi u poslovnim mrežama, dok je 802.11b postao standard u domovima. Koristeći tadašnju tehnologiju, IEEE 802.11a bio je skuplji i malo teži za implementaciju jer je radio na 5 GHz, a ne na 2,4 GHz, a kao rezultat toga bio je manje korišten.[9]

802.11a podržava propusnost do 54 Mbps i signale u reguliranom frekvencijskom spektru oko 5 GHz. Ova veća frekvencija u odnosu na 802.11b skraćuje raspon mreža 802.11a. Viša frekvencija također znači da signali 802.11a imaju veće poteškoće pri prodiranju kroz zidove i druge prepreke. Budući da 802.11a i 802.11b koriste različite frekvencije, te dvije tehnologije su međusobno nekompatibilne. Modulacija koju standard 802.11a koristi je ortogonalno frekvencijsko multipleksiranje (OFDM) kako bi se omogućio prijenos neobrađenih

podataka s maksimalnom brzinom od 54 Mbps, iako je realnija praktična razina u regiji srednje regije od 20 Mbps. Brzina prijenosa podataka može se smanjiti na 48, 36, 24, 18, 12, 9, a zatim 6 Mbit / s ako je potrebno. 802.11a ima 12 kanala koji se ne preklapaju koja se mogu koristiti u *indoor* okruženju, a 4 do 5 kanala od pomenutih 12 za potrebe *outdoor point to point* komunikacije. [9]

OFDM signal korišten za 802.11 sadrži 52 podnosioca. Od njih 48 se koristi za prijenos podataka, a četiri služe kao pilot podnositelji. Razdvajanje između pojedinih podnosioca je 0,3125 MHz. To proizlazi iz činjenice da je širina pojasa 20 MHz podijeljena sa 64. Iako se koriste samo 52 nosioca, koji zauzimaju ukupno 16,6 MHz, preostali prostor koristi se kao zaštitni opseg između različitih kanala. Različiti oblici modulacije mogu se koristiti na svakom od podnosioca 802.11a. BPSK, QPSK, 16-QAM i 64 QAM mogu se koristiti kao što to dopuštaju uvjeti. Za svaku postavljenu brzinu podataka postoji odgovarajući oblik modulacije koji se koristi. Unutar samog signala trajanje simbola je 4  $\mu$ s, koji uključuje zaštitni interval od 0,8  $\mu$ s. Iako se uporaba OFDM-a za sustave masovne proizvodnje kao što je 802.11a može činiti posebno složenom, nudi brojne prednosti. Korištenje OFDM-a omogućuje značajno smanjenje problema smetnji uzrokovanih efektima višestazne propagacije. Korištenje OFDM-a također osigurava učinkovitu i optimalniju uporabu radio-spektra. [9]

### **2.3. Standard 802.11g**

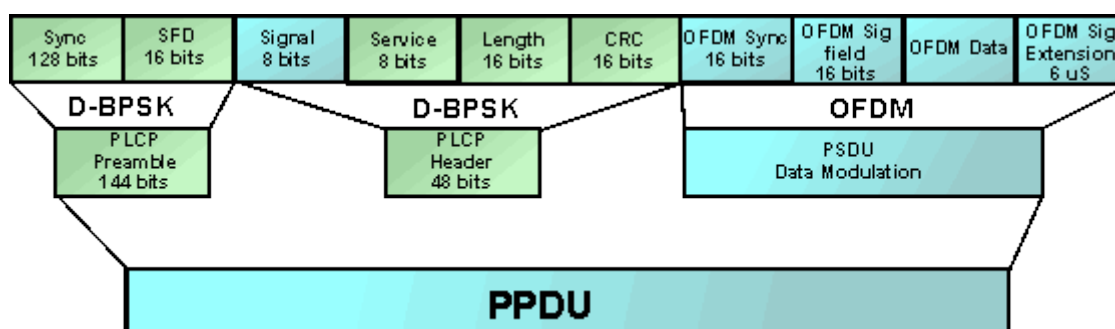
IEEE 802.11g je Wi-Fi standard koji je razvio IEEE 2003. godine za prijenos podataka putem bežične mreže. Radi na širini pojasa od 2,4 GHz i podržava brzine prijenosa podataka do 54 Mbps. Norma IEEE 802.11g je zadržala sva obilježja tehnologije iz inačice 802.11a, a koristi se frekvencijskim područjem rada inačice 802.11b (2,4 GHz). 802.11g na neki je način hibrid 802.11b i 802.11a inačice i vrlo je raširena u svijetu, a obilježavaju ju prednosti i nedostaci inačica iz kojih je nastala. Za razliku od 802.11a, 802.11g osigurava kompatibilnost unatrag s 802.11b. Za brzine od: 1, 2, 5.5 i 11 Mbit/s koristi se DSSS tehnologija i CCK ili QPSK/BPSK modulacijska shema (potpuno jednako kao i kod 802.11b), a za brzine: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 i 54 Mbit/s koristi se OFDM tehnologija i modulacijska shema ovisna o brzini. 802.11g proširuje podršku brzinama prijenosa podataka u 2,4 GHz opsegu do 54 Mbps na način da je osigurana kompatibilnost unatrag sa starijim 802.11b uređajima. U okruženjima u

kojima operiraju samo 802.11g uređaji, svi prijenosi se odvijaju na najvećoj mogućoj brzini. Ali, ali ako u mreži postoje računala temeljena na 802.11b, cijela mreža morat će raditi na 11 Mbps (maksimalna brzina koju 802.11b podržava). Ovo smanjivanje brzine se zbiva kod svih prijenosa bez obzira da li su oni između 802.11g ili 802.11b uređaja. Međutim, bežični usmjerivač 802.11g može se konfigurirati tako da prihvaća samo uređaje 802.11g, što će osigurati da vaša mreža radi najvećom brzinom. [1],[11],[2]

Prema [12], struktura paketa 802.11g sastoji se od dva glavna dijela:

1. Preambula / zaglavlje: Kao i bilo koja druga preambula / zaglavlje, služi za uzbunjivanje prijatelja, u ovom slučaju radija, da započinje prijenos, a zatim im omogućuje sinkronizaciju. Preambula se sastoji od poznate serije '1' i '0' koje omogućuju prijateljima sinkronizaciju s dolaznim prijenosom. Element Zaglavlje odmah slijedi uvodni dio i sadrži informacije o podacima koje treba slijediti, uključujući duljinu korisnog tereta.
2. Korisni teret: Ovo su stvarni podaci koji se šalju preko radio mreže i mogu se kretati od 64 do 1500 bajtova. U većini slučajeva preambula / zaglavlje šalju se u istom modulacijskom formatu kao i nosivost, ali to nije uvijek slučaj. Kada se koristi format DSSS-OFDM, zaglavlje se šalje pomoću DSSS-a, dok korisni teret koristi OFDM.

Početni standard 802.11 definirao je dugačku preambulu (144bit-a) PLCP okvira. U kasnijem standardu 802.11b definirana je neobavezna kratka preambula (74 bit-a). Tada je za 802.11g kratka preambula PPDU definirana kao obavezna.[12]



Slika 1. Prikaz 802.11g ERP-DSSS / CCK PPDU okvira Preuzeto od [12]

Objašnjenje pojmova iz okvira prikazanog na slici 1 prema [12]:

PPDU: Ovo je format u koji PLCP pretvara podatke za prijenos.

PLCP: Ovo je postupak konverzije PHY sloja i on transformira svaki 802.11 okvir koji stanica želi poslati u podatkovnu jedinicu PLCP protokola, PPDU.

PDSU: Ovo je jedinica podataka fizičkog sloja, ona predstavlja sadržaj PPDU-a, tj. Stvarne podatke koji se šalju.

Usluga(engl. Service): Ovo je polje uvijek postavljeno na 00000000. Norma 802.11 rezervira svoje podatke i format za buduću upotrebu. [12]

Za opciju ERP-OFDM PHY nakon ERP paketa mora slijediti razdoblje od 6  $\mu$ s bez prijenosa koje se naziva razdoblje produženja signala. Razlog tome je taj što je za razdoblje od 16  $\mu$ s dopušteno u 802.11a da omogući završetak obrade detektorom konvolucije prije dolaska sljedećeg paketa. Unutar 802.11g, za modulacijsku shemu ERP-OFDM i dalje je potrebno 16  $\mu$ s kako bi se osiguralo da se proces konvolucijskog dekodiranja može dovršiti unutar cjelokupnog vremena procesa. Da bi se to moglo dogoditi, uključeno je produženje signala od 6  $\mu$ s. To omogućuje odašiljačkoj stanici da izračuna polje trajanja u MAC zaglavlju. To zauzvrat osigurava da je NAV vrijednost 802.11b stanica ispravno postavljena i da se održava kompatibilnost. [12]

## **2.4. Standard 802.11n**

U ožujku 2007. godine, IEEE 802.11 radna skupina usvojila je nacrt standarda pod nazivom 802.11n. Nacrt je finaliziran u studenom 2008. godine, a službeno je ratificiran u srpnju 2009. Kada je uveden standard 802.11n, nudio je značajno poboljšanu razinu izvedbe za to vrijeme. Standard IEEE 802.11n zasniva se na principu MIMO (Multiple input – multiple output), koji karakterizira više odašiljačkih antena i više prijemnih antena koje rade na istoj frekvenciji. Prema IEEE nacrtu standarda 802.11n, uređaji su trebali podržavati brzine prijenosa od 100+ Mbps. No, već „draft 1” ili „pre-11n” uređaji koji su se nalazili na tržištu podržavali su brzine prijenosa od 140-160 Mbps. Prema [14] standard 802.11n ima maksimalnu brzinu prijenosa podataka oko 600 Mbps što je postigao usvajanjem tehnologija OFDM i MIMO. Uređaji 802.11n rade u opsezima 2,4 GHz i 5 GHz. [1], [13], [14]

Da bi mogao prenositi vrlo visoke brzine prijenosa podataka na bežičnom LAN-u, 802.11n je upotrijebio MIMO. To daje maksimalnu upotrebu dostupne propusnosti. MIMO je oblik antenske tehnologije koja koristi više prijemnih i odašiljačkih antena. Primjerice, na strani odašiljača prijenos se može podijeliti na dvije odašiljačke antene, čime se, u tom slučaju, udvostručuje efektivna brzina. Kako su odašiljačke antene odvojene nekom količinom prostora, signali će prolaziti različitim putovima od odašiljača do prijemnika. Postoji vjerojatnost da će neki signalni elementi biti jači od drugih i stići će ispred drugih, jer će ići manje problematičnim putovima i na putu trpjeti manja slabljenja. Sofisticirani softver za obradu signala iskoristit će višestazna propagacija za kombiniranje i korelaciju mnogih signalnih elemenata koji dolaze u različito vrijeme u jednu linearnu kombinaciju razumljivog signala izvedenog iz svake od dvije prijemne antene. Procesor signala u prijemu kombinirat će rezultate dviju antena i obnoviti izvorni tok podataka.

Iako se višestazna propagacija općenito smatra zaprekom signala, MIMO zapravo ovisi o njemu kako bi ispravno radio. Za 802.11n, tehnologije povezane s antenama značajno su poboljšane uvođenjem oblikovanja zraka i višestrukog prijenosa. Višestruki prijenos koristi više dostupnih antena i kombinira ili odabire najbolji podskup od većeg broja antena kako bi se postigli optimalni uvjeti signala. To se može postići jer u MIMO sustavu često ima viška antena. Kako 802.11n podržava bilo koji broj antena između jedne i četiri, moguće je da jedan uređaj može imati tri antene, dok će drugi s kojim komunicira imati samo dvije. Uvođenje IEEE 802.11n bio je važan korak naprijed u tehnologiji bežične LAN mreže. Omogućio je Wi-Fi ju da ide u korak s rastućim zahtjevima koje zahtijeva sve veći broj pametnih telefona i ostalih elektroničkih uređaja s omogućenom Wi-Fi mrežom [13], [14]

## **2.5. 802.11 standardi novijih generacija**

IEEE 802.11ad poznat je i kao WiGig (engl. Wireless Gigabit) ili 60 GHz WiFi, mikrovalni je oblik Wi-Fi mreže koji može pružiti prijenos podataka do 7 Gbps na frekvencijama oko 60 GHz. Prema [15] 802.11ad nastao je 2012. godine. Obično se koristi na kratkim udaljenostima, u većini slučajeva preko sobe, a sve vrlo velike količine podataka mogu se prenijeti vrlo brzo. Kako bi se promovirala i unaprijedila upotreba mikrovalne Wi-Fi mreže, uspostavljen je savez nazvan Wireless Gigabit Alliance. Surađujući s IEEE-om, obje su organizacije predane

unapređenju standarda. Bežični gigabitni savez stvoren je kako bi pružio jedinstveni multi-gigabitni standard bežične komunikacije među potrošačkom elektronikom, ručnim uređajima i osobnim računalima i pokrenuo industrijsku konvergenciju koristeći nelicencirani ISM (industrijski, znanstveni i medicinski) spektar od 60 GHz. 802.11ad je multi-gigabitna Wi-Fi tehnologija koja omogućuje preuzimanje i dijeljenje 4K videozapisa u nekoliko sekundi.

Dopunjuje učinkovitost 802.11ac podržavajući vrlo velike brzine - brzine od 4,6 Gbps. 802.11ad omogućuje i novu klasu aplikacija koje koriste multi-gigabitne brzine. 802.11ad koristi radio modul s do 32 antene na uređaju i pristupnoj točki (tj. žarišnoj točki) i dinamički stvara vrlo uske zrake koje se usredotočuju na određene korisnike. Ovo oblikovanje snopa dizajnirano je za rad sa širokim uzorkom spektra (do 2 GHz) kako bi korisnicima pružio multi-gigabitne brzine. 802.11ad nudi neviđenu učinkovitost snage po bitu koja ima do 5 puta veću propusnost uz potrošnju energije. Neki modeli 802.11ad koriste mmWave opseg od 60 GHz, nudeći rani uvid u 5G mobilna korisnička iskustva danas. [14],[16]

802.11ac je standard za Wi-Fi bežično umrežavanje koji je napredniji od prethodne generacije 802.11n standarda. Uzimajući u obzir malo poznatu izvornu verziju 802.11 definiranu 1997. godine, 802.11ac predstavlja 5. generaciju Wi-Fi tehnologije. U usporedbi s 802.11n i njegovim prethodnicima, 802.11ac nudi bolje mrežne performanse i mogućnosti implementirane kroz napredniji hardver i *firmware* uređaja. Tehnički razvoj 802.11ac započeo je 2011. iako je norma finalizirana krajem 2013. i službeno odobrena 7. siječnja 2014., potrošački proizvodi temeljeni na ranijim verzijama standarda pojavili su se ranije. Kako bi bio konkurentan u industriji i podržao sve češće aplikacije poput streaming-a videa koji zahtijevaju umrežavanje visokih performansi, 802.11ac dizajniran je za izvedbu slično Gigabit Ethernetu.

Zapravo, 802.11ac nudi teoretske brzine podataka do 1 Gbps. To čini kombinacijom poboljšanja bežične signalizacije tako što kanali koriste veće (šire) područje signalnih frekvencija i koristi veći broj MIMO radija i antena kako bi se omogućilo više simultanih prijenosa. 802.11ac radi u opsegu signala od 5 GHz, za razliku od prethodnih generacija Wi-Fi mreže koja je koristila kanale od 2,4 GHz. Da bi se zadržala povratna kompatibilnost sa starijim Wi-Fi uređajima, bežični mrežni usmjerivači 802.11ac također uključuju odvojenu podršku protokola 2,4 GHz u stilu 802.11n.



Još jedna nova značajka 802.11ac, koja se naziva oblikovanje snopa, dizajnirana je za povećanje pouzdanosti Wi-Fi veza u prepunim područjima. Tehnologija oblikovanja zraka omogućuje Wi-Fi radiom usmjeravanje signala u određenom smjeru prijemnih antena, a ne širenje signala na 180 ili 360 stupnjeva kao što to čine standardni radiji. Da bi se koristio u punoj funkcionalnosti, 802.11ac uređaji na oba kraja veze moraju podržavati novi standard. Iako su usmjerivači 802.11ac na tržište došli prilično brzo, čipovima koji podržavaju 802.11ac trebalo je puno više vremena da pronađu put do pametnih telefona i prijenosnih računala.[17]

Wi-Fi standard sljedeće generacije 802.11ax, poznat i kao Wi-Fi 6, najnoviji je korak prema budućnosti i razvoju Wi-Fi standarda. Standard se temelji na prednostima 802.11ac, dodajući učinkovitost, fleksibilnost i skalabilnost koja novim i postojećim mrežama omogućuje povećanu brzinu i kapacitet s aplikacijama sljedeće generacije. IEEE predložio je standard 802.11ax kako bi mogao spojiti slobodu i veliku brzinu Gigabit Ethernet bežične mreže s pouzdanošću i predvidljivošću koja se nalazi u licenciranom radiju. 802.11ax omogućuje poduzećima i pružateljima usluga da podržavaju nove zahtjeve na istoj infrastrukturi bežičnog LAN-a (WLAN), a istovremeno pružaju višu razinu usluge starijim aplikacijama. To donosi dobru podlogu za nove poslovne modele i povećano usvajanje Wi-Fi mreže.

802.11ax omogućuje pristupnim točkama da podržavaju više klijenata u gustim okruženjima i pruža bolje iskustvo za tipične bežične LAN mreže. Također pruža predvidljivije performanse za napredne aplikacije kao što su 4K ili 8K video, aplikacije za suradnju visoke razlučivosti visoke gustoće, potpuno bežični uredi i Internet stvari (IoT).

802.11ax koristi 1024-razinsku kvadraturno-amplitudnu modulaciju (QAM), što povećava maksimalnu brzinu podataka. Koristi se tehnika višestrukog pristupa zasnovana na ortogonalnoj frekvencijskoj podjeli višestrukog pristupa (OFDMA) radi smanjenja općih troškova i kašnjenja. Koristi i robusnu signalizaciju visoke učinkovitosti za bolji rad pri znatno nižoj indikaciji snage primljenog signala (RSSI). Kao i svaki drugi nedavni napredak za Wi-Fi, 802.11ax je kompatibilan s unatrag objavljenim standardima, nadograđujući se na postojeće tehnologije i čineći ih učinkovitijima. [18]

### 3. Način rada WLAN mreže

WLAN (Wi-Fi) je naziv za lokalnu računalnu mrežu u kojoj su dva ili više računala povezana bežičnim putem. Bežične mreže koriste se elektromagnetskim valovima (EM) za komunikaciju između dvije točke u prostoru. Elektromagnetski valovi nastaju gibanjem elektrona u prostoru, određenim brojem oscilacija u sekundi (frekvencija). Za prenošenje informacija bežičnim putem koriste se radiosignali, mikro i infracrveni valovi te vidljivi dio svjetla. Više frekvencije elektromagnetskog zračenja su bolje za prijenos, ali se ne koriste jer su sklone bržem prigušenju propagirajući kroz prostore vrlo heterogene morfologije koji uključuju različite objekte i prepreke.

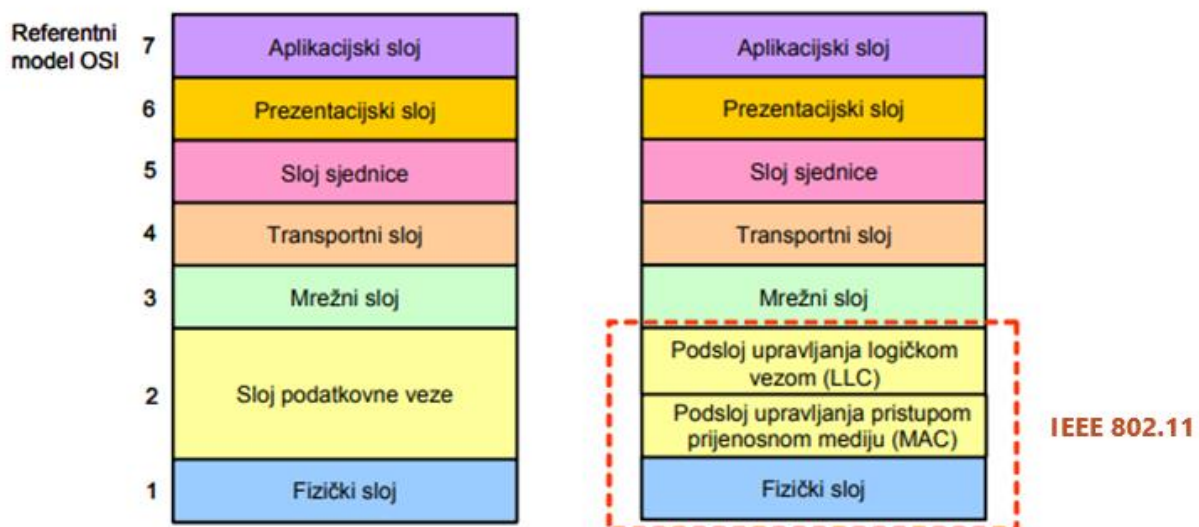
Kod bežičnih mreža postoji problem optičke vidljivosti koji uključuje...koji uključuje prepreke između primatelja i odašiljatelja. Opće je poznato ovisnost valne duljine i difrakcije, stoga je potrebno obratiti pažnju na veličinu prepreka. Primjerice, niži frekvencijski spektar od 2.4 GHz koristi valne duljine od cca 12 cm, dok onaj od 5 GHz valne duljine od cca 6 cm. Posljedično, kako spektar od 5 GHz koristi manje valne duljine i podložniji je prigušenju optimalno ga je koristiti za manju pokrivenost. S druge strane, 2.4 GHz spektar omogućuje veću pokrivenost ali značajno manje brzine prijenosa u odnosu na 5 GHz

Moderne bežične mreže rade većinom na 2.4 ili 5 GHz, daleko ispod vidljivog spektra. Kako je razvoj WLAN-a na tržištu išao paralelno s razvojem prijenosnih računala, danas gotovo sva računala imaju bežičnu karticu potrebnu da se spoje na ovakvu vrstu mreže. Wi-Fi (engl. Wireless Fidelity) je popularan naziv IEEE 802.11 niza standarda. Osim uređaja izrađenih po 802.11a standardu koji rade na frekvenciji od 5 GHz, druge implementacije koriste dio spektra oko 2.4 GHz u ISM nelicenciranom dijelu spektra (međunarodni dogovor- zajednički dogovor oko nekog općeg interesa).[20]

#### 3.1. OSI referentni model i IEEE 802.11

U ranim osamdesetima, međunarodna organizacija za standardizaciju (engl. International Standards Organization – ISO) uočila je potrebu za razvojem mrežnog modela

koji bi pomogao u realizaciji kompatibilnih uređaja i rješenja. Kao rezultat predstavljen je OSI (engl. Open System Interconnection) model. OSI model je najpoznatiji i najčešće korišten model za slikovni prikaz i umreženih okruženja. Proizvođači ga se pridržavaju kada projektiraju uređaje za mrežu. Model opisuje način na koji mrežni hardver i softver zajednički djeluju kako bi se omogućila komunikacija. Model također pomaže pri rješavanju problema tako što nudi referentni okvir koji opisuje kako komponente uistinu rade. Arhitektura OSI referentnog modela razvrstava mrežne komunikacije u sedam slojeva. Svaki sloj pokriva različite mrežne aktivnosti, opremu ili protokole. Slojevitost označava različite funkcije i usluge pri prijenosu podataka s jednog na drugo računalo preko mrežne instalacije. OSI model definira kako svaki sloj komunicira i surađuje sa slojevima koji su neposredno iznad i ispod njega. Svaki sloj osigurava neke usluge ili postupke koji pripremaju podatke za dostavu putem mreže do drugog računala. [1]



Slika 2. IEEE 802.11 u odnosu na referentni model OSI Preuzeto od [2]

Rad IEEE 802.11 standarda opisan je s prva dva sloja OSI referentnog modela (Slika 2): Fizičkom sloju (engl. Physical Layer) i Podatkovnom sloju (engl. Data Link Layer) koji se dijeli u dva podsloja MAC i LLC. [20]

### 3.1.1. IEEE 802.11 fizički sloj mreže

Fizički je sloj zadužen za prijenos podataka, bit po bit, preko fizičkog medija. To znači da na ovom sloju ne postoje jedinice podataka, niti zaglavlja. Za svaki fizički medij koristi se različita modulacija koja osigurava što točniji prijenos podataka. Kod bakrenih medija bitove se prenosi kao nizove različitih naponskih razina signala ili kao promjene naponskih razina, a kod optičkih medija prenose se nizovi impulsa ima svjetla/nema svjetla. Protokoli na ovome sloju ne detektiraju niti korigiraju pogreške, nego je to ostavljeno protokolima viših slojeva. Standardi definirani na fizičkom sloju određuju električne i funkcionalne karakteristike signala, te mehanička svojstva sučelja. Fizički sloj IEEE 802.11 standarda definira optiku ("Diffused Infrared") i radio tehnologije za bežični prijenos signala. On omogućava prijenos signala fizičkim vezama i definira mehaničke, električne/optičke, funkcijske i proceduralne karakteristike sučelja za pristup prijenosnom mediju. Značajke prijenosnog medija nisu dio fizičkog sloja. Fizički sloj je neovisan o vrsti signala koji se njime prenosi. [2],[21]

Prema [8] tri fizička sloja unutar 802.11 standarda uključuju:

- infracrveni frekvencijski pojas – zbog prirode tehnologije (nužnosti direktne optičke vidljivosti između uređaja), vrlo je malo ulagano u razvoj infracrvenog fizičkog sloja,
- FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum ,
- DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum

Spread Spectrum tehnika (prijenos signala u proširenom spektru) postoji više od 50 godina. Proširenje spektra ostvaruje se korištenjem pseudo slučajnog niza (*PN-pseudo noise*) koji je najčešće binarni niz i ima valni oblik sličan šumu. Prema [20] ako se korisni signal pomnoži s pseudo slučajnim nizom uzrokovat će proširenje spektra snage signala na šire frekvencijsko područje od njegovog osnovnog frekvencijskog pojasa (engl. baseband) te će signal poprimiti valni oblik šuma. Korisni signal se na taj način tijekom prijenosa skriva unutar šuma komunikacijskog kanala, a na prijemnoj strani se "sažima" i dekodira pomoću poznatog PN signala. Zbog male gustoće snage spread spectrum signala, više korisnika istovremeno može koristiti isti medij za prijenos podataka, a da se međusobno ne ometaju. [20]

Sustavi s proširenim spektrom signala definiraju se pomoću tri tehnike, FHSS i DSSS te Hybrid System koja je kombinacija prve dvije tehnike. Kod FHSS-a proširenje spektra provodi se

zajedno s postupkom modulacije, dok se kod DSSS-a proširenje spektra provodi prije primjene postupka modulacije.[20]

#### **3.1.1.1. FHSS**

FHSS ili Frequency Hopping Spread Spectrum modulacijska tehnika poznata je i pod nazivom Frequency-Hopping Code Division Multiple Access (FH-CDMA). Kod FHSS modulacije definiraju se frekvencijski skokovi unutar spektra, gdje se pod skokovima misli na ekstremno brze promjene frekvencija na kojima se prenose podaci. U slučaju varirajućih („skačućih“) frekvencija bežičnih LAN-ova korisni dio 2,4 GHz ISM opsega je širok 83,5 MHz prema FCC propisima i 802.11 standardu. U sustavima frekvencijskog variranja nositelj mijenja frekvenciju, ili skače, prema pseudoslučajnoj sekvenci. Nositelj će se zadržati na svakoj frekvenciji određeno vrijeme (engl. dwell time), a zatim tijekom kratkog vremena skoka (engl. hop time) skočiti na sljedeću frekvenciju. Kada prođe sve frekvencije s liste, predajnik će ponoviti sekvencu. Postupak ponavljanja niza će se nastaviti do potpune predaje/prijema informacije. Prijemni radio je sinkroniziran s predajnim radiom te predajnik cijelo vrijeme šalje a prijemnik prima na odgovarajućoj frekvenciji u odgovarajuće vrijeme. Signal se zatim demodulira i koristi od strane prijemnog računala. Stalnim mijenjanjem frekvencije FHSS sustav je otporan na preslušavanje, a postiže se i visoki stupanj sigurnosti prijenosa. IEEE 802.11 FHSS fizički sloj rabi Gaussovu diskretnu modulaciju frekvencije (GFSK, Gaussian Frequency Shift Keying) za prijenos podataka u 2,4 GHz području. Neke od prednosti FHSS tehnike su: smanjene uskopojasne smetnje (engl. narrowband interference) te povećan kapacitet signala. FHSS omogućava brzine prijenosa do 1-2Mbps.[1],[2],[20]

#### **3.1.1.2. DSSS**

DSSS ili Direct Sequence Spread Spectrum je modulacijska tehnika poznata i pod nazivom DS-CDMA (engl. Direct Sequence code division multiple access). DSSS je doživio priličan uspjeh na tržištu zbog svoje otpornosti, pogotovo u prisustvu interferencije. Podaci se šalju ISM frekvencijskim pojasom od 2.4G-2.4835GHz. ISM pojas se dijeli na 13 kanala od kojih se kod DSSS-a koristi svaki 5 kanal, jer kanali moraju biti međusobno udaljeni za 25MHz kako se ne bi preklapali. Tako je unutar cijelog pojasa moguće imati 3 korisnika, odnosno koristiti

prvi, šesti i jedanaesti kanal ili drugi, sedmi i dvanaesti kanal, itd. Kod DSSS-a moguće su brzine prijenosa podataka do 1, 2, 5.5 i 11Mbps. Tehnologija raspršenog spektra izravnog slijeda primjenjuje modulacijski pristup koji koristi znatno više spektralnog opsega negoli je potrebno za prijenos podataka. Svaki bit je zamijenjen širokopojasnim kodom, slično kao kod kodiranja, informacija je raspršena u više informacijskih bitova. DSSS ima sposobnost rada u uvjetima niskog odnosa signala/buke uzrokovanog interferencijom ili niskom snagom pošiljatelja. [1],[20]

### **3.1.2. IEEE 802.11 sloj podatkovne veze**

Sloj podatkovne veze unutar 802.11 sastoji se od dva podsloja (Slika2.), a to su: Logical Link Control (LLC) i Media Access Control (MAC). 802.11 koristi isto 802.2 LLC i 48-bitno adresiranje kao i ostali 802 LAN-ovi, što omogućuje vrlo jednostavno premošćivanje od bežične do IEEE žičane mreže, ali MAC je jedinstven za WLAN mreže. MAC 802.11 je vrlo sličan konceptu 802.3, jer je dizajniran da podrži više korisnika na zajedničkom mediju tako što pošiljatelj osjeti medij prije nego što mu pristupi. 802.3 Ethernet LAN-ovi koriste protokol Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA / CD) mehanizam, dok 802.11 bežični LAN-ovi koriste nešto izmijenjeni mehanizam CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) [22]

#### **3.1.2.1. LLC podsloj**

Logical Link Control ili LLC jedan je od dva podsloja sloja podatkovne veze referentnog OSI modela. Sloj kontrole logičke veze (LLC) dio je specifikacija IEEE 802. projekta. "LLC" se ponekad odnosi na sam protokol IEEE 802.2, koji je najčešći LAN protokol implementiran na sloju LLC. LLC je podsloj za upravljanje logičkom vezom (LLC, Logical Link Control), koji omogućava razmjenu jedinica podataka između dvije mrežne postaje. LLC(Logical Link Control) podsloj je zajednički za sve vrste IEEE 802 mreža, dok MAC podsloj ovisi o vrsti prijenosnog medija i tehnici prijenosa na fizičkom sloju. U kontekstu 802.11 mreže, ponaša se kao sučelje između podsloja kontrole pristupa mediju i trećeg, mrežnog sloja OSI referentnog

modela. Podsloj LLC implementiran je softverski u obliku pogonskog programa (driver) mrežne kartice stanice ili kao modul softvera mrežnog uređaja. Podsloj LLC je jednak za sve vrste lokalnih mreža, neovisno o korištenoj metodi pristupa mediju. [2],[23],[24]

### **3.1.2.2. MAC podsloj**

MAC podsloj definira mehanizam pristupa mediju namijenjen većem broju pokretnih čvorova koji žele pristupiti zajedničkom mediju. MAC može obavljati fragmentaciju paketa i zaštitno kodiranje, tj. enkripciju paketa. Upravljanje fizičkim slojem brine se o prilagodbi različitim uvjetima na linku i o održavanju baze upravljačkih informacija o sloju PHY. Upravljanje podslojem MAC bavi se sinkronizacijom, upravljanjem potrošnjom električne energije (power management) i pridruživanjem stanice (association i reassociation) pristupnoj točki. Funkcija pridruživanja omogućuje uspostavu bežičnih linkova između pokretnih stanica i pristupnih točaka u infrastrukturnom WLAN-u. Stanica koja se priključuje bežičnoj mreži može slati i primiti pakete tek nakon završetka procesa pridruživanja tom WLAN-u. [23]

## **3.2. 802.11 konfiguracija kanala**

Postoje dva regulatorna plana kanala koja se pojavljuju kada se raspravlja o 802.11 kanalima: ISM (engl. Industrial-Scientific-Medicine) pojas kanala i U-NII (engl. Unlicensed National Information Infrastructure) pojasevi. U 5 GHz (802.11n, 802.11ac, 802.11ax) definicije pojasa U-NII preklapaju se s onima definiranim u definicijama ISM-a. Definicije ISM-a kreirao je FCC (engl. Federal Communications Commission) u Sjedinjenim Američkim Državama. Definicije U-NII međunarodne su prirode. ISM frekvencije i većina dodjeljivanja frekvencija U-NII nisu licencirane. Uređaji koji komuniciraju u nelicenciranim frekvencijskim pojasevima nemaju regulatornu zaštitu od smetnji drugih uređaja koji emitiraju u njihovom pojasu. To je u prirodi svih uređaja koji komuniciraju u nelicenciranim frekvencijskim pojasevima. [25]

U-NII frekvencije je dizajnirala Federalna komisija za komunikacije Sjedinjenih Američkih Država (FCC) 1997. godine u opsegu 5 GHz. ISM (industrijski, znanstveni, medicinski) opseg frekvencija dizajnirala je Međunarodna telekomunikacijska unija (engl. International

Telecommunication Union) a primjenjivi je na uređaje koji se koriste u Sjedinjenim Državama i izvan njih, a opseg mu je u 2,4 GHz.[25]

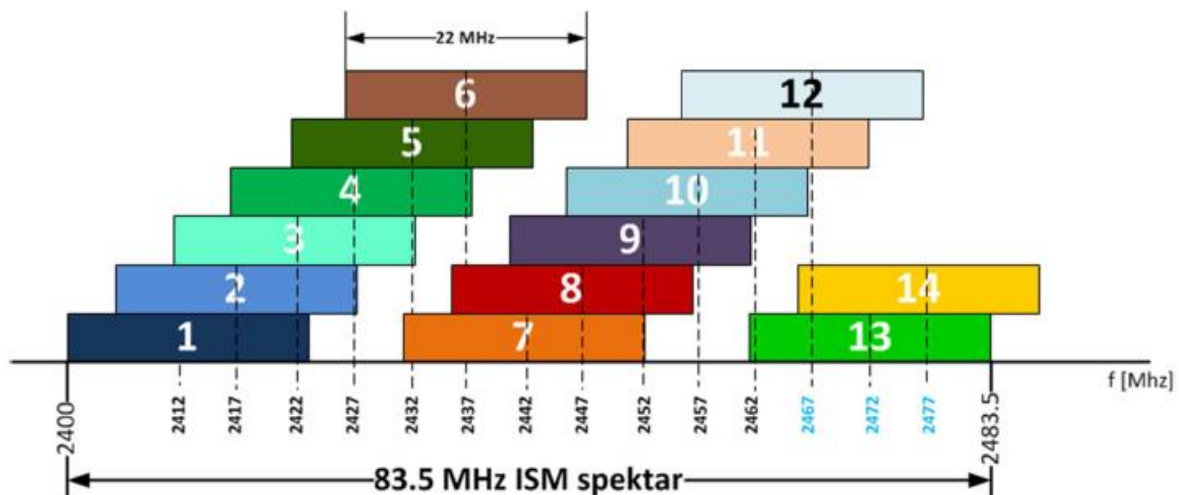
802.11 WiFi pristupne točke i WiFi klijentski uređaji koji rade na istom kanalu i koji se nalaze unutar dometa jedni drugih (to jest, mogu međusobno primati prijenose) rade pomoću pravila "preslušaj prije nego što progovoriš" za izmjenično slanje poruka. Ovo se pravilo temelji na provođenju procjene slobodnih kanala CCA (engl. Clear Channel Assessment). Kada WiFi uređaj (pristupna točka ili klijentski uređaj) otkrije da se nešto trenutno prenosi, odgađa prijenos te čeka nasumično vremensko razdoblje (vrlo kratko, slučajno vremensko razdoblje) i vraća se u fazu "preslušavanja" CCA postupka. Jedna važna karakteristika u vezi s CCA-om je da se svi uređaji koji mogu međusobno prepoznati prijenose na određenom kanalu izmjenjuju i stoga učinkovito dijele raspoloživi kapacitet kanala. Primjerice, ukoliko se modulira jedno frekventni sinusni val s uzorkom koji predstavlja bitove, rezultirajući valni oblik zahtijeva dodatne frekvencije, blizu noseće (centralne) frekvencije, kako bi se prilagodio modulacijskom procesu. To je razlog što WiFi kanal zauzima više od samo jedne frekvencije. Svaki WiFi kanal širok je 20 MHz kako bi prihvatio dijelove "gornjeg bočnog opsega" i "donjeg bočnog opsega" modulirane frekvencije nosača, a na svakoj strani 20 MHz kanala dodijeljeno je dodatnih 1 MHz, što čini ukupnu širinu svakog kanala 22 MHz .[25]

### **3.2.1. Spektar frekvencije Wi-Fi od 2,4 GHz**

Raspored kanala u 2.4 GHz pojasu definira četrnaest kanala (razmaknutih 5 MHz) gdje se svaki idući kanal preklapa u 75% pojasa. Svaki je kanal širok 20 MHz s dodatnih 1 MHz na donjem i visokom kraju kanala za međukanalni razmak. To rezultira time da svaki kanal zahtijeva 22 MHz propusnosti te imaju mogućnost proširenja na 40 MHz spajanjem kanala. Zbog razmaka nije moguće zapravo koristiti 11 kanala na istom mjestu, jer bi se širina od 22 MHz preklapala i uzrokovala neuspjeh u komunikaciji. Posljedica je da se smatra da opseg od 2,4 GHz 802.11 ima 3 upotrebljiva kanala koji se ne preklapaju: 1, 6 i 11. Najbolja praksa kod planiranja 802.11b/g mreža je korištenje samo ta 3 kanala. Neke implementacije mogu pokušati iskoristiti 4-kanalni pristup (1, 4, 7 i 11) s nadom da preklapanje neće uzrokovati ozbiljne probleme. Učinkovitije rješenje preklapanja kanala je jednostavno prelazak na



tehnologiju 802.11n, 802.11ac ili 802.11ax od 5 GHz. Upotreba pojedinih kanala (npr. 12, 13 i 14) može ovisiti o području primjene. Npr. u Europi se ne koristi 14. kanal. [4],[25]



Slika 3. Raspored kanala u 2.4 GHz spektru-Preuzeto od [4]

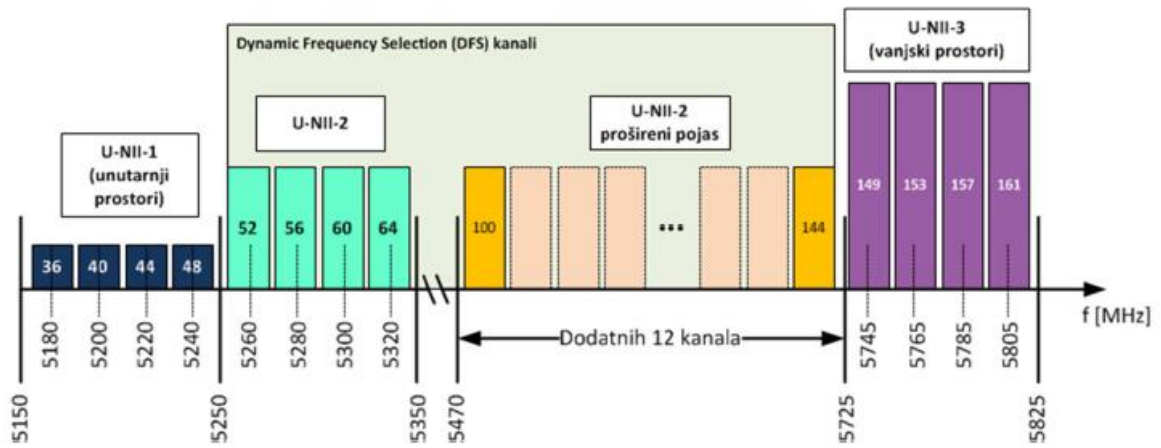
### 3.2.2. WiFi spektar od 5 GHz

Raspored kanala definiran za nelicenciranu uporabu u pojasu od 5 GHz definiran je prema specifikacijama radio prijamnika za licencirane nacionalne informacijske infrastrukture (U-NII) i ima 24 kanala. U-NII kanali su točno široki 20 MHz, međutim centralne frekvencije su im odvojene 20 MHz. Ukupno 20 kanala, prema [4], podijeljeno je u četiri skupine:

- U-NII-1,
- U-NII-2,
- U-NII-2 prošireni (engl. Extended) i
- U-NII-3.

Korištenjem kanala širine 40 MHz u 5 GHz pojasu nema preklapanja kanala te se kanali širine 40 MHz mogu slobodnije koristiti. Moguće je spojiti kanale od 160 MHz. U području DFS (engl. Dynamic Frequency Selection) moguća je interferencija sa vremenskim ili Doppler

radarom. Međutim, ako pristupna točka posjeduje DFS funkcionalnost, tada se automatski prebacuje na drugu frekvenciju odašiljanja u slučaju prisutnosti radara.[4],[25]



Slika 4. Raspored kanala u 5 GHz spektru-Preuzeto od [4]

## 4. Arhitektura WLAN mreža

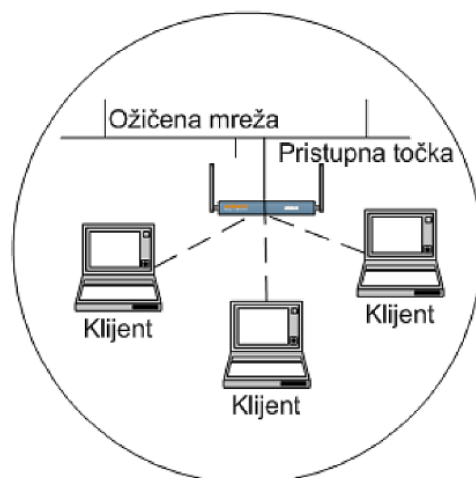
Wireless LAN (WLAN) standardi definiraju povezivanje uređaja u mrežu bežičnim načinom koristeći radio frekvencijski spektar. Da bi se na najbolji mogući način mogle dizajnirati, implementirati i koristiti bežične LAN mreže, mora postojati znanje o karakteristikama opreme koja stoji na raspolaganju. [4],[1]

Prema [4] osnovni mrežni elementi IEEE 802.11 mreža jesu:

- Terminalni uređaj
- Pristupna točka (engl. Access point)
- Antena

### 4.1. Pristupne točke

Pristupne točke (engl. Access Point – AP) osiguravaju točku pristupa mreži za bežične klijente. Pristupna točka (AP) središnji je uređaj u bežičnoj lokalnoj mreži (WLAN) koji pruža čvorište za bežičnu komunikaciju s ostalim stanicama u mreži. Pristupna točka obično je povezana na žičanu mrežu i pruža most između žičnih i bežičnih uređaja. Prva generacija pristupnih točaka, koje se sada nazivaju "fat" pristupnim točkama, počela se pojavljivati nakon ratifikacije standarda IEEE 802.11b 1999. godine i pružala je čitav niz funkcija obrade i kontrole u svakoj jedinici [1],[29]

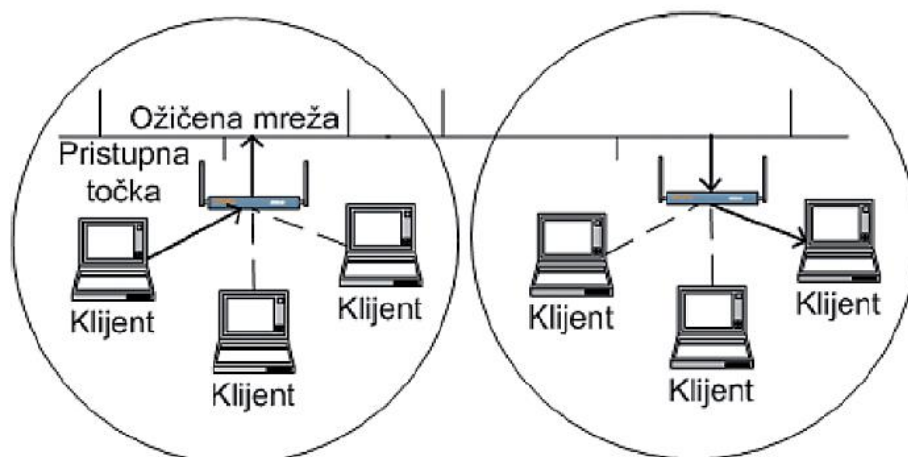


Slika 5. Pristupna točka na mreži-Preuzeto od [1]

Pristupne točke komuniciraju s bežičnim klijentima, ožičenom mrežom i s drugim pristupnim točkama. Pristupna točka može raditi na tri načina: korijenski mod (engl. Root Mode), most mod (engl. Bridge Mode) ili ponavljački mod (engl. Repeater Mode). Metode za konfiguriranje i upravljanje pristupnim točkama razlikuju se ovisno o proizvođaču opreme. Većina proizvođača nudi konfiguraciju i upravljanje preko konzole, telnet-a, USB-a, ugrađenog web servera za pristup preglednikom, a neke pristupne točke koriste prilagođeni softver za konfiguriranje i upravljanje. Karakteristike pristupnih točaka razlikuju se ovisno o tipu i proizvođaču. [1]

#### 4.1.1. Korijenski mod rada

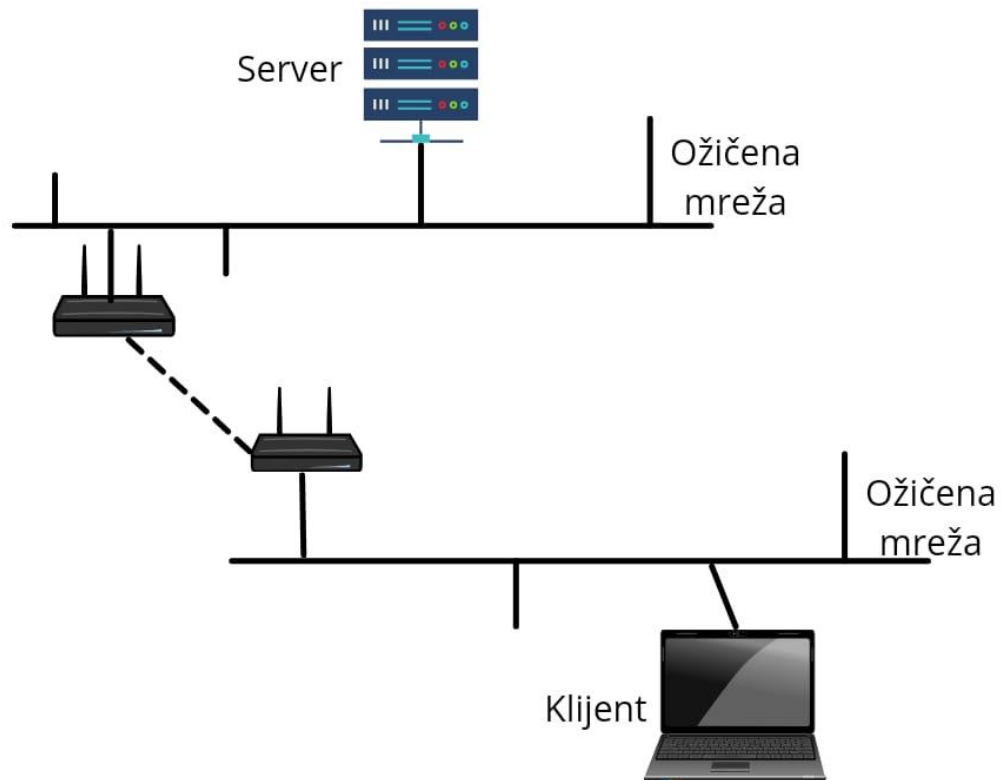
Korijenski mod (engl. Root mode) predstavlja osnovni način rada gdje predstavlja primarnu pristupnu točku na koju se klijenti izravno spajaju, a koja je u nastavku povezana žičano sa ostatkom mreže, obično preko svog Ethernet, sučelja. Većina pristupnih točaka je po pretpostavci konfigurirana za rad u korijenskom modu. Pristupne točke u korijenskom modu rada koje su povezane na isti ožičeni distribucijski sustav mogu komunicirati međusobno preko ožičenog segmenta. Pristupne točke komuniciraju međusobno radi koordiniranja *roaming* funkcija, kao što je npr. reasocijacija. Bežični klijenti mogu komunicirati s drugim bežičnim klijentima lociranim u drugim ćelijama kroz svoje pristupne točke, a preko ožičenog segmenta.[1],[4]



Slika 6. Pristupna točka u korijenskom modu (Root mode) rada - Preuzeto od [1]

#### 4.1.2. Most mod rada

U most modu (engl. Bridge mode) rada pristupna točka se ponaša istovjetno bežičnom mostu. Klijenti se ne asociraju s mostovima već se mostovi koriste za povezivanje dva ili više segmenata na bežični način. Pristupna točka premošćuje dva ili više (fizički odvojena) dijelova mreže od kojih svaka ima svoje ime (SSID).[1],[4]

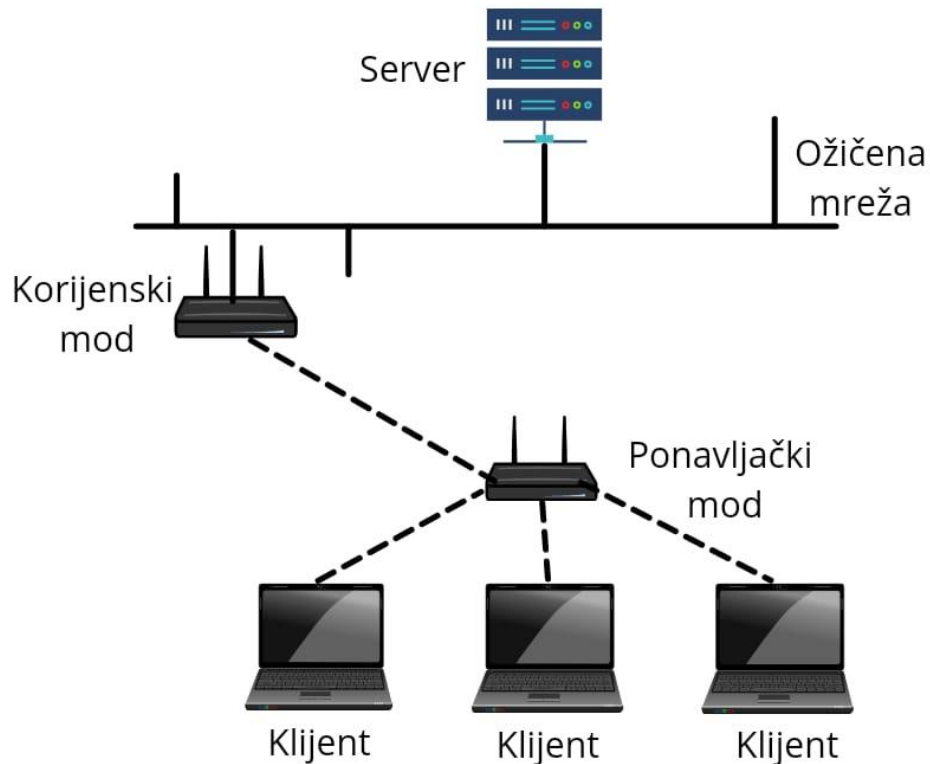


Slika 7. Pristupna točka u most modu rada

#### 4.1.3. Ponavljački mod rada

U ponavljačkom modu rada (engl. Repeater mode) pristupna točka je s jedne strane povezana sa korisnicima a s druge strane je, kao klijent, povezana sa drugom pristupnom točkom kako bi se proširio doseg WLAN mreže (jedan SSID). Pristupna točka omogućuje produženje bežične veze. Npr. jedna pristupna točka služi kao korijenska pristupna točka, a druga kao bežični mrežni ponavljač. Pristupna točka u ponavljačkom modu rada se povezuje s klijentima kao pristupna točka, a s korijenskom pristupnom točkom u produžetku kao klijent. Korištenje

pristupne točke u ponavljačkom modu rada nije preporučljivo, osim ako nije apsolutno nužno. Čelije oko svake pristupne točke u ovom scenariju moraju se minimalno preklapati oko 50%. Pristupna točka u modu ponavljanja komunicira s klijentima a također i s pristupnom točkom u produžetku preko bežične veze, čime se smanjuje propusnost i povećava kašnjenje na bežičnom segmentu. [1],[4]



Slika 8. Pristupna točka u ponavljačkom modu rada (Repeater mode)

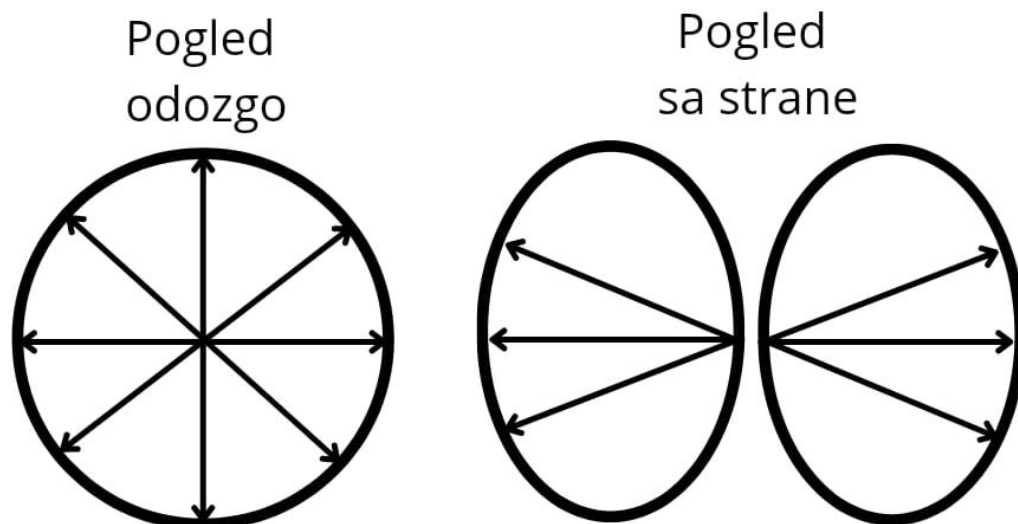
## 4.2. Antene

Antene su osnovni elementi uređaja koji čine da pristupne točke, mostovi, PC kartice i drugi bežični uređaji mogu komunicirati. Pristupne točke i bežične kartice imaju ugrađene antene, ili priključak za njih, s obzirom na veličinu tih uređaja, postoji ograničenje dometa djelovanja koje ugrađene antene mogu dati. RF antena je uređaj koji se koristi za pretvaranje visoko-frekventnih elektromagnetskih signala s linije prijenosa (kabel ili valni vodič) u šireće RF valove u zraku i obratno. Za bolji domet signala potrebna je vanjska antena koja pojačava

snagu primopredajnika. Za bolje fokusiranje EM energije koja izlazi, ili ulazi u radio, antena istovremeno pojačava osjetljivost prijemnika i signala koji se šalje. Snaga antene se izražava u decibelima (dB) koji se povećavaju prema logaritamskoj skali, tako da njihovo malo povećanje rezultira u značajnom povećanju osjetljivosti. Antene su najčešće korištene radi povećanja područja dohvata sustava bežičnih LAN-ova, ali odgovarajući izbor antena može također povećati sigurnost bežičnog LAN-a. Antene ne pojačavaju signal nego ga oblikuju. Dobro izabrana i postavljena antena može umanjiti curenje signala van radnog prostora i učiniti presretanje signala težim. Postoje tri glavne kategorije u koje sve bežične LAN antene spadaju: omni-direkcionalne, semi-direkcionalne i direkcionalne. U svaku od glavnih kategorija spada više tipova antena koje imaju različite RF karakteristike i odgovarajuću uporabu. Kako dohvat antene raste, oblast pokrivanja se sužava. Postoji više načina montiranja antena, u skladu s određenim potrebama. [1],[20]

#### **4.2.1. Omni-direkcionalna antena**

Najčešći tip bežičnih LAN antena je omni-direkcionalna (dipol) antena. Omni-direkcionalna antena je najčešće korištena antena u *indoor* uporabi koja zrači relativno jednako u svim smjerovima ovisno o dobitku antene (dBi). Dipol antena je dio standardne opreme na većini pristupnih točaka. Dipol antena je omni-direkcijska jer se Omni-direkcionalne antene koriste kad se zahtijeva pokrivenost u svim pravcima oko vodoravne osi antene. Omni-direkcionalne antene najdjelotvornije su kad su potrebne za velika područja pokrivanja oko središnje točke. Naprimjer, smještanje omni-direkcionalne antene u sredinu velike prostorije osigurat će dobru pokrivenost. Kad se koriste vani, omni-direkcionalne antene bi trebale biti smještene na vrh građevine, u sredini područja pokrivanja. Direkcijske antene koncentriraju svoju energiju u užu zraku. Izračena energija dipol antene koncentrirana je u području koje izgleda kao "krafna" s dipol elementom koji prolazi okomito kroz rupu od "krafne". Signal s omni-direkcionalne antene zrači u vodoravnoj zruci od 360 stupnjeva. Antene koje teoretski zrače u svim pravcima podjednako formirajući kuglu nazivaju se izotropni radijatori. Dipol antene zrače podjednako u svim pravcima oko svoje osi, ali ne zrače uzduž same žice, zbog čega se dobiva oblik krafne. Omni-direkcionalne antene velikog dohvata nude više vodoravnih područja pokrivanja, ali okomito pokrivanje područja je smanjeno. [1],[4]



Slika 9. Područje zračenja omni-direkcijske antene u evatorijalnoj (odozgo) i meridijanskoj (bočno) ravnini

#### 4.2.2. Semi-direkcionalne antene

Semi-direkcionalne (polu-direkcionalne) antene se izrađuju u više različitih stilova i oblika. Neke od najčešće korištenih semi-direkcionalnih antenskih tipova u bežičnim LAN-ovima su Patch, Panel i Yagi antene. Ove antene mnogo više usmjeruju energiju od predajnika prema jednom određenom smjeru, umjesto gotovo ravnomjerno u svim smjerovima, kao omni-direkcionalne antene. Koriste se za premošćivanje WLAN mreža.[1],[4]



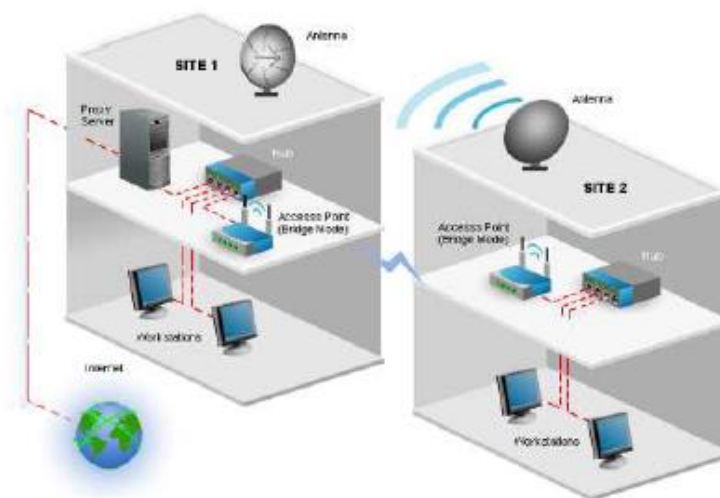
Slika 10. Prikaz Yagi antene(17dBi)-Preuzeto od [4]



Semi-direkcionalne antene su idealne za kratke i srednje udaljenosti premošćivanja. Naprimjer, dva ureda u zgradama razdvojenih ulicom koji trebaju dijeliti mrežnu vezu su idealan scenarij u kojem se može implementirati semi-direkcionalna antena. U nekim slučajevima semi-direkcionalne antene imaju bočne i zadnju stranu zračenja. [1]

#### 4.2.3. Direkcionalne antene

Direkcionalne antene emitiraju najužu zraku signala od svih antenskih tipova i imaju najveći dohvat od svih vrsta antena. Ove antene su idealne za veće udaljenosti i točka-točka (engl. point to point) bežične veze. Direkcionalne antene koriste se za točka-točka komunikacijske veze i mogu odašiljati na velike udaljenosti. Korištenjem direkcionalnih antena mogu se bežično povezati dvije zgrade koje su kilometrima udaljene i nemaju prepreka u zračnoj liniji. Direkcionalne antene imaju vrlo usku zraku i moraju biti precizno usmjerene jedna prema drugoj. Visoko-direkcionalna (> 20 dbi) antena zrači isključivo u jednom smjeru te se koristi za *point-to-point* linkove na velike udaljenosti. [1],[4]



Slika 11. Primjena visoko-direkcionalne antene pri proširenju dosega WLAN mreže u drugu zgradu- Preuzeto od [4]

### 4.3. Topologija bežične lokalne mreže

Prema [20] za spajanje WLAN mreža postoje dvije različite topologije:

- neovisni (ad hoc) WLAN
- infrastrukturni WLAN

### 4.3.1. Neovisna ili ad-hoc topologija

Neovisna ili ad-hoc topologija omogućuje međusobno povezivanje stanica, gdje svi terminalni uređaji komuniciraju međusobno koristeći bežične adaptere. Manji je domet u odnosu na infrastrukturni način. Takva je topologija pogodna za brzu i jednostavnu implementaciju. WLAN korisnik će koristiti ad-hoc topologiju kada želi napraviti mrežu bez bilo kakve infrastrukture. Nedostatak ad-hoc topologije je to što svi sudionici moraju biti međusobno u dometu radio signala. Ako se želi povećati domet radio signala tada se koristi infrastrukturna topologija sa središnjom pristupnom točkom (engl. AP – Access Point) koja može udvostručiti domet prijenosa između bilo koja dva pokretna čvora.[20]



Slika 12. Prikaz Ad-hoc topologije-Preuzeto od [20]

### 4.3.2. Infrastrukturna topologija

Infrastrukturne mreže se izgrađuju pomoću dvaju elemenata: bežične mrežne kartice i središnje pristupne točke (AP – Wireless Access Point). AP je uređaj koji ostale uređaje za bežično komuniciranje povezuje u lokalnu mrežu i karakteristična je za infrastrukturne WLAN-ove. AP je najčešće kabelom povezana s klasičnom LAN mrežom i služi za prijenos podataka između "žičnih" i

"bežičnih" uređaja, pa se na taj način ostvaruje povezivanje bežičnih uređaja na Internet. Dakle, infrastrukturna topologija pomoću AP-ova omogućuje integraciju pokretnih čvorova u ožičeni LAN.

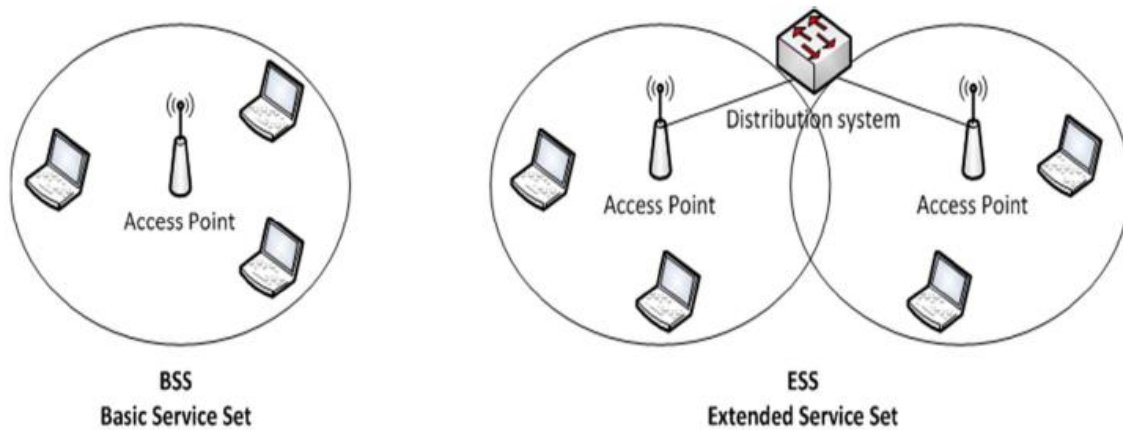


Slika 13. Infrastrukturna topologija WLAN-a-Preuzeto od [20]

Prema [4] postoje dvije izvedbe infrastrukturne topologije :

1. **Basic Service Set (BSS)**: Wireless LAN je uspostavljena korištenjem centralnog uređaja (pristupne točke) koja centralizira pristup i kontrolu nad skupinom bežičnih uređaja.
2. **Extended Service Set (ESS)**: Wireless LAN je uspostavljen spajanjem višestrukih Basic Service Set (BSS) preko sustava distribucije. Dvije ili više pristupne točke (AP) su spojene na istu lokalnu mrežu. ESS pruža veću pokrivenost područja koja omogućuje korisnicima da se kreću između AP ali i dalje biti dio LAN mreže.

Standard IEEE 802.11 definira osnovni skup usluga (engl. Basic Service Set – BSS) koji se sastoji od dva ili više pokretnih čvorova-stanica STA (station). Svaki BSS ima svoju jedinstvenu oznaku BSSID (engl. BSS Identifier). Područje pokrivanja bežičnog LAN-a unutar kojeg članovi BSS-a mogu međusobno komunicirati zove se osnovno područje pružanja usluge (engl. BAS – Basic Service Area). Distribuirani sustav (engl. DS- Distribution System – DS) definira način povezivanja dva ili više BSS-a, koji je najčešće žična ili optička veza. Bežični LAN zajedno s DS-om i BSS-ovima čini prošireni skupa usluga (Extended Service Set – ESS). ESS također ima jedinstvenu oznaku ESSID (ESS Identifier). [20]



Slika 14.. IEEE 802.11 WLAN BSS i ESS konfiguracija-Preuzeto od [4]

## 5. Problemi u radu WLAN mreža

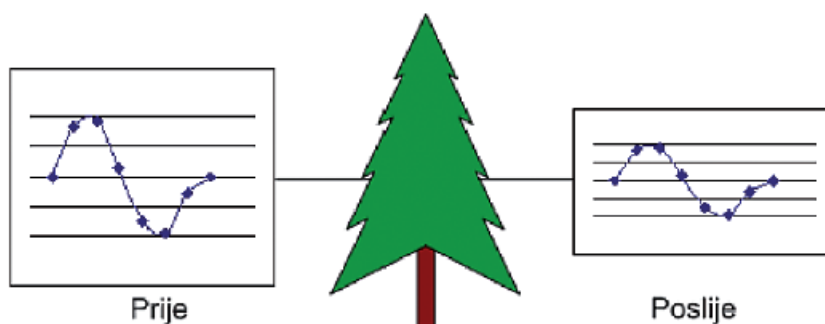
Kao što se i u tradicionalnim ožičenim mrežama pojavljuju problemi tijekom instalacije i korištenja, tako isto i bežični LAN-ovi imaju određeni skup problema koji su većinom povezani s ponašanjem radio-frekventnih (RF) signala.[1]

Prema [4] česti uzroci kod izobličenja signala koji se mogu javljati kod WLAN mreža, jesu:

- a) Gubitak snage signala
- b) Više-stazna propagacija
- c) Zasjenjenje
- d) Interferencija – posljedica komunikacije drugih uređaja (npr. mikrovalna pećnica, video odašiljač, bežični telefon i sl.) ili drugih WLAN uređaja u istom frekvencijskom spektru.

### 5.1. Gubitak snage signala

Gubitkom signala opisuje se smanjivanje snage signala. Mnogo stvari može uzrokovati gubitak RF signala. Gubici se mogu pojaviti dok je signal još u kابلu kao visokofrekventni signal naizmjenične struje ili kad je signal odaslan preko antene u zrak kao radio-val. Otpor u kablovima i konektorima uzrokuje gubitke zbog pretvaranja signala naizmjenične struje u toplotu. Razlike u otpornosti kablova i konektora mogu uzrokovati vraćanje snage natrag k izvoru, što može dovesti do degradacije signala. Objekti koji se nalaze na putu širenja odaslanog vala mogu apsorbirati, reflektirati, oštetiti ili potpuno anulirati RF signale. Sposobnost mjerenja i kompenzacije gubitaka je važna jer radio uređaji imaju odgovarajući prag osjetljivosti prijema. Prag osjetljivosti je definiran kao krajnja točka u kojoj radio može jasno razlikovati signal od pozadinskog šuma. S obzirom da je osjetljivost konačna, predajni uređaj mora odašiljati signal snagom koja omogućuje njegovo prepoznavanje na prijemniku.[1]

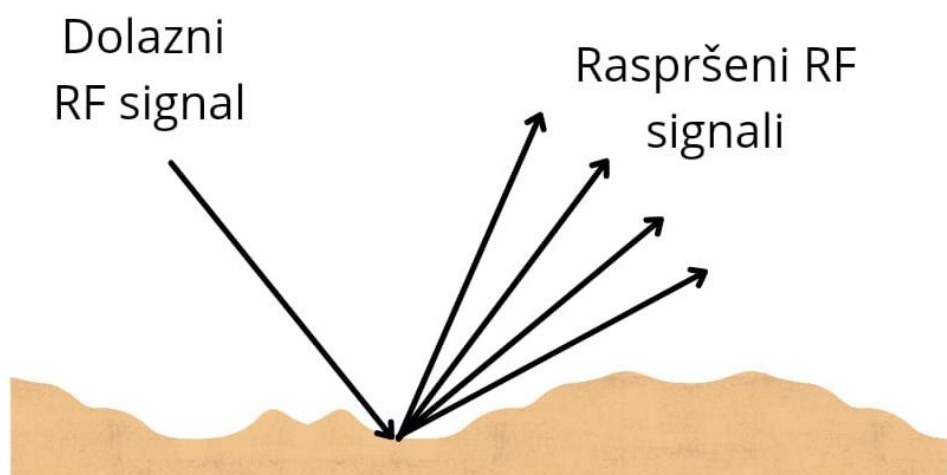


Slika 15. Prikaz prigušenja RF signala prolaskom kroz prepreku- Preuzeto od [1]

## 5.2. Više-stazna propagacija

Mikrovalovi koji se koriste kod WLAN mreža mogu propagirati pravocrtno od odašiljača do prijemnika. Ovo predstavlja idealan slučaj, kada je prisutan jasan LOS(engl. Line-of-Sight) između odašiljača i prijemnika. Međutim, u stvarnim okruženjima, zrak i udaljenost nisu jedina prepreka na koje signal može naići u WLAN mreži. Tipične prepreke kao što su prozori, vrata, zidovi, stolovi, pa čak i ljudi znatno će umanjiti jačinu signala WLAN prijenosa. Bez obzira na to, signal ipak može biti dovoljno nizak da održi konekciju desetak metara, sa približnom LOS ili kada LOS uopće ne postoji. To je direktna posljedica svojstva radio valova koji se prilikom propagacije reflektiraju, difraktiraju ili raspršuju preprekama poput prozora, vrata, zidova, stolova i ljudi.

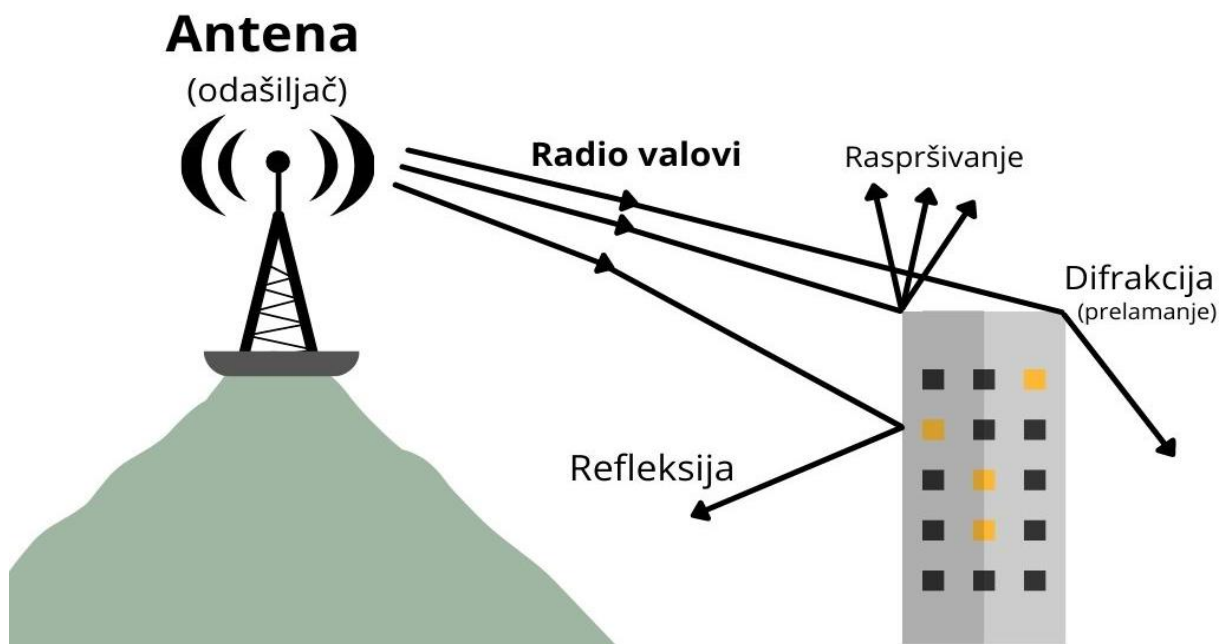
Raspršivanjem signala opisujemo istodobno reflektiranje valova u mnogo smjerova prilikom udara o neravnu površinu, male objekte ili druge grube površine koje se nalaze na stazi signala. Raspršivanje ovog tipa proizvodi mnogo refleksija malih amplituda i oštećuje glavni RF signal. Degradacija RF signala uslijed raspršivanja može dovesti do povremenog prekida komunikacije ili potpunog gubitka komunikacije. Posljedica je propagacija EM vala višestrukim stazama a, krajnji rezultat je zaprimanje većeg broja signala pomaknutih u fazi. Refrakcijom opisujemo savijanje radio-vala pri prolasku kroz medije različitih gustoća. Refleksija se pojavljuje kad šireći elektromagnetski val udari u objekt koji ima veoma velike dimenzije u odnosu na valnu duljinu širećeg vala. Refleksija RF signala može uzrokovati značajne probleme u bežičnim LAN-ovima. Reflektiranje glavnog signala od mnogo objekata u području odašiljanja označava se kao višestruke staze. [1],[4]



Slika 16. Više-stazna propagacija

### 5.3. Zasjenjenje signala

Zasjenjenje signala (engl. Shadowing) predstavlja varijaciju jačine signala kao posljedicu raznih prepreka različitih dimenzija u okolini, još se koristi naziv difrakcija (ogib) signala. Difrakcijom opisujemo zakretanje radio-vala oko zapreke na stazi između predajnika i prijemnika. Pri visokim frekvencijama, difrakcija ovisi o geometriji objekta zakrčenja, amplitudi, fazi i polarizaciji vala u točki difrakcije. Difrakcija se često (nepravilno) poistovjećuje s refrakcijom. Difrakcija vala predstavlja val koji se savija oko zapreke, za razliku od refrakcije kojom se opisuje val koji se savija kroz medij.



Slika 17. Prikaz zasjenjenja signala Podatci od [29]

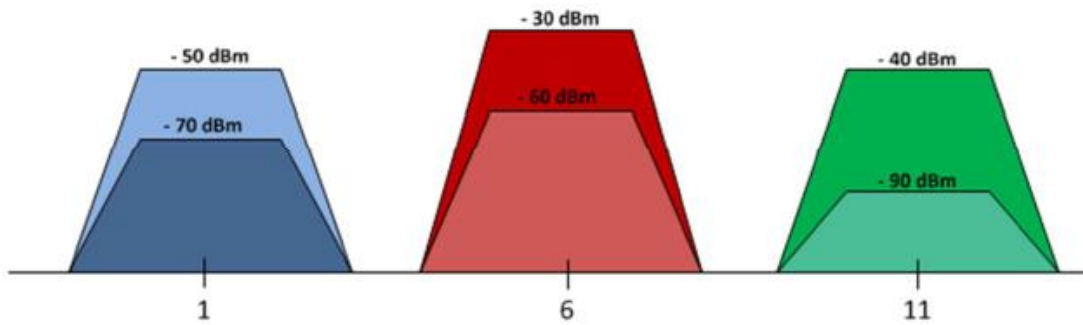
## 5.4. Interferencija

Interferencija podrazumijeva smetnje koje potječu od vlastitog ili drugih signala imaju za posljedicu izobličenje korisnog signala u prijenosu. [23]

U WLAN mrežama učestali ograničavajući faktor kvalitete prijenosa je interferencija. Interferencija podrazumijeva rad više WLAN uređaja u istom frekvencijskom pojasu. [4] Prema [4] postoje dvije osnovne vrste interferencije:

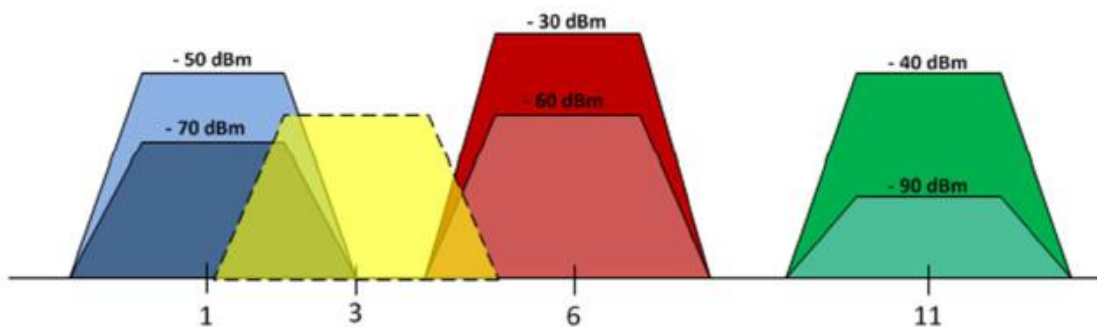
1. Interferencija po istom kanalu – više pristupnih točaka koristi isti kanal unutar kojeg terminalni uređaji komuniciraju po načelu slušaj dok drugi govore.





Slika 18. Istokanalna interferencija-Preuzeto od [4]

2. Interferencija po susjednom kanalu – više pristupnih točaka koristi susjedne, preklapajuće kanale unutar kojih terminalni uređaji komuniciraju istovremeno (bez čekanja na svoj red) što utječe na kvalitetu signala i kapacitet prijenosa.



Slika 19. Susjedno-kanalna interferencija- Preuzeto od [4]

## 6. Alternativa WLAN mrežama

Prema [26] WiFi mreže danas su postale sve prisutne u ljudskim životima. Zapravo je, prema istraživanju koje je putem mreže Line sprovedla tvrtka Opinium Research, najvažnija stvar bez koje njihovi ispitanici ne bi mogli živjeti. No bez obzira na lokaciju u svijetu problemi s internetskom vezom su česta pojava. Nova bežična mreža nazvana LiFi (engl. Light Fidelity) je vrsta bežične veze koja može biti i do 100 puta brža od WiFi-a.

LiFi je tehnologija bežičnog optičkog umrežavanja koja koristi LED diode za prijenos podataka. Jednostavnije rečeno, smatra se da je LiFi WiFi kao svjetlosni WiFi koji za prijenos informacija koristi svjetlost umjesto radio valova. Korištenje svjetlosti za prijenos podataka omogućuje LiFi-u da pruži nekoliko prednosti, poput rada u područjima osjetljivim na elektromagnetske smetnje poput bolnica i kabina zrakoplova, te radi na većoj propusnosti, nudeći veće brzine prijenosa.[26]

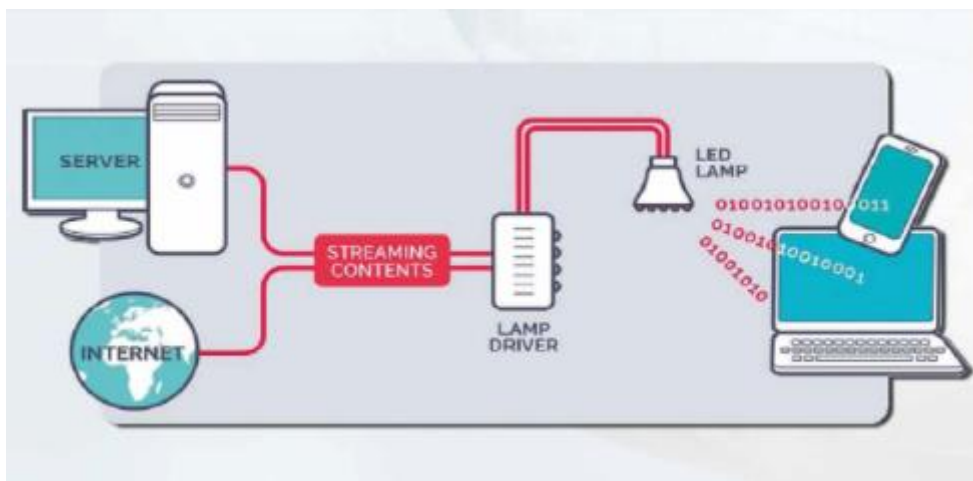
### 6.1. Način funkcioniranja LiFi mreže

LiFi je zamisao profesora Haraldha Haasa, voditelja katedre za mobilne komunikacije na Sveučilištu u Edinburghu. Izraz Light Fidelity (LiFi), sličan Wireless Fidelity, (WiFi) nastao je tijekom Haasova TED razgovora pod nazivom „Bežični podaci iz svake žarulje“ 2011. Tijekom svog govora pokazao je tehnološku inovaciju i mogućnosti LiFi-a sa samo 3 \$ vrijednom LED žaruljom koja je emitirala video visoke kvalitete, koji je čak i zastao kad je profesor spustio ruku ispod svjetla i iznad LiFi foto detektora, oduševljavajući svoju publiku.[27]

LiFi je sustav vidljivih svjetlosnih komunikacija koji prenosi bežične internetske komunikacije vrlo velikim brzinama. Ta tehnologija čini da LED žarulja emitira svjetlosne impulse koji nisu prepoznatljivi za ljudsko oko, a unutar tih emitiranih impulsa podaci mogu putovati prema i od prijemnika. Tada prijemnici prikupljaju informacije i tumače prenesene podatke. To je konceptualno slično dekodiranju Morseova koda, ali mnogo bržim tempom - milijunima puta u sekundi. Brzine prijenosa LiFi-a mogu prijeći 100 Gbps, 14 puta brže od WiGiga, poznatog i kao najbrži WiFi na svijetu. Da bi sustav Light Fidelity funkcionirao, upravljački sklop u LED žaruljama kodira podatke i prenosi ih uključivanjem i isključivanjem

LED brzinom koja je nezamjenjiva za ljudsku percepciju, a zatim se dekodira optičkim senzorom na prijenosnom računalu ili telefonu koja prima podatke.

Budući da LiFi koristi spektar vidljive svjetlosti, spektar koji je 10 000 puta veći u usporedbi s radio frekvencijskim valovima. RF-spektar WiFi-a na kraju bi se pretvorio i usporio zbog sve veće potrebe za povezivanjem današnje generacije. LiFi može isporučiti odličnu brzinu i dosljedne velike količine podataka s bilo kojim LED izvorom svjetla, što LiFi čini ekvilajzerom u eksponencijalno rastućem svijetu podataka. Iako sustav zahtijeva da LED svijetli, moguće je promijeniti intenzitet svjetlosti koji nije vidljiv ljudskom oku, ali dovoljno svjetlosti da i dalje prenosi podatke. Iako koristi energiju, kombinacija prijenosa svjetlosti i podataka također čini LiFi učinkovitim i održivim rješenjem. [26],[27]



Slika 20. Implementacija LiFi-a u trenutnu infrastrukturu koja prikazuje putanju podataka od poslužitelja do uređaja krajnjeg korisnika -Preuzeto od [28]

## 6.2. Li-Fi vs Wi-Fi

Pojam LiFi dolazi od izraza WiFi, a to je zato što postoji niz sličnosti. WiFi i LiFi šalju i primaju podatke bežično. WiFi koristi usmjerivače i radio frekvencije, dok LiFi koristi LED žarulje i svjetlosne signale za prijenos i primanje podataka. Ove dvije tehnologije su konkurentne. WiFi se širi u svim smjerovima s rasponima dužim od desetaka metara. Također može proći kroz prepreke poput zidova. Suprotno tome, LiFi mora imati vidokrug i vodljiv je s

rasponom od nekoliko metara. Dostupne frekvencije koje emitira WiFi su ograničene, odnosno opseg koji prenosi signal ne može se proširiti. Broj istovremeno dostupnih kanala je ograničen. U dobrim uvjetima trenutni WiFi može postići brzinu preuzimanja od oko 50 MB / s. Trenutni zapisi pokazuju da LiFi u laboratoriju postiže 8 GB / s, odnosno 160 puta brže (8 GB / s = prijenos od nekoliko sekundi za 1 DVD). Te se brojke stalno ažuriraju, odnosno povećavaju.

[28]

## 7. Zaključak

WLAN mreže su postale ključne za svakodnevni život, omogućavajući prijenos podataka na uređaje. Wi-Fi bežična povezanost ustaljeni je dio svakodnevnog života ljudi. Svi pametni telefoni imaju Wi-Fi tehnologiju ugrađenu kao jedan od osnovnih elemenata telefona koji omogućuje jeftinu povezanost. Uz to, računala, prijenosna računala, tableti, kamere i mnogi drugi uređaji koriste Wi-Fi. Wi-Fi pristup dostupan je na mnogim mjestima putem Wi-Fi pristupnih točaka. Domovi, uredi, trgovački centri, zračne luke, kafići i mnoga druga mjesta nude Wi-Fi pristup. Wi-Fi je tehnologija koja omogućava mnogim elektroničkim uređajima razmjenjivati podatke ili se bežično povezuju s internetom pomoću radio valova.

Danas se diljem svijeta koriste milijuni IEEE 802.11 uređaja koji rade u istim frekvencijskim opsezima, što čini potrebu za njihovim suživotom ključnom. Za implementaciju bežične mreže potrebno je poznavati cijeli skup tehnologija koje svakim danom postaju sve brojnije i kompleksnije jer se oslanjaju na već postojeće složene koncepte i uvode nove. Budućnost bežičnih mreža donosi nam Li-Fi koji stoji za *Light Fidelity and Visible Light Communications* (VLC) sustav, koji upravlja bežičnom komunikacijom koja putuje pri vrlo velikim brzinama. Tehnologija prijenosa koristi obične žarulje kao usmjerivače signala, i to iznimno brzo. Ne možemo znati hoće li bežične mreže ikad zamijeniti žične, ali svakim danom bežične mreže su u sve većoj prednosti.

## Popis literature

1. Haris Hamidović: WLAN Bežične lokalne računalne mreže
2. Grgić, S., Grgić, M., Kos, T., Modlic, B., Šišul, G.: Radijske tehnologije za širokopojasni nepokretni pristup i mjerenja (Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2008.). Dostupno s: <https://www.hakom.hr/> (lipanj,2021.)
3. Electronics Notes , WiFi Standards: IEEE 802.11URL: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wifi-ieee-802-11/standards.php>(lipanj,2021.)
4. Forenbacher, I.: Nastavni materijali iz kolegija Arhitekture telekomunikacijske mreže, Fakultet Prometnih Znanosti, Zagreb, 2019.
5. onlinekosten.de, WLAN-Standards: Drahtlos ins Netz per WLAN 802.11a, g, n, ac oder ax, URL: <https://www.onlinekosten.de/internet/wlan-standards/>(lipanj,2021.)
6. ETHW, Wireless LAN 802.11 Wi-Fi, URL: [https://ethw.org/Wireless\\_LAN\\_802.11\\_Wi-Fi](https://ethw.org/Wireless_LAN_802.11_Wi-Fi) (lipanj,2021.)
7. S. Šopar: Lokalne bežične mreže po IEEE 802.11 standardu, Varaždin, 2004 URL: <https://bib.irb.hr/datoteka/195261.Diplomski.pdf>(lipanj,2021.)
8. Electronics notes, Preuzeto sa: URL: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wifi-ieee-802-11/802-11a.php>(lipanj,2021.)
9. Bradley Mitchell, 802.11 Standards Explained: 802.11ax, 802.11ac, 802.11b/g/n, 802.11a URL: <https://www.lifewire.com/wireless-standards-802-11a-802-11b-g-n-and-802-11ac-816553> (lipanj,2021.)
10. TechTerms, Preuzeto sa: URL: <https://techterms.com/definition/80211g>(lipanj,2021.)
11. Electronics notes, Preuzeto sa: URL: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wifi-ieee-802-11/802-11g.php>(lipanj,2021.)
12. Horak R. Telecommunications and Data Communications Handbook. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.; 2007 URL: [http://pws.npru.ac.th/sarththong/data/files/ReallyUsefulEbooks.net\\_0470041412\\_Wiley.Telecommunications.and.Data.Communications.Handbook.Sep.2.pdf](http://pws.npru.ac.th/sarththong/data/files/ReallyUsefulEbooks.net_0470041412_Wiley.Telecommunications.and.Data.Communications.Handbook.Sep.2.pdf)(lipanj,2021.)
13. Electronics notes, Preuzeto sa: URL: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wifi-ieee-802-11/802-11n.php>(lipanj,2021.)
14. IEEE Standards Association, Preuzeto sa: URL: [https://standards.ieee.org/standard/802\\_11ad-2012.html](https://standards.ieee.org/standard/802_11ad-2012.html)(lipanj,2021.)
15. URL: <https://www.qualcomm.com/products/features/80211ad>(lipanj,2021.)
16. Bradley Mitchell, What Is 802.11ac in Wireless Networking? URL: <https://www.lifewire.com/802-11ac-in-wireless-networking-818284>(lipanj,2021.)
17. URL:<https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-802-11ax.html#~resources>(lipanj,2021.)
18. Geier J. Wireless LANs, Second Edition. Indianapolis, Indiana: Sams Publishing; 2002.- URL: [http://materias.fi.uba.ar/6637/material/SAMS\\_Wireless\\_Lans.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6637/material/SAMS_Wireless_Lans.pdf)(lipanj,2021.)
19. Jeren, B., Pale, P.: Sustavi za vođenje i praćenje procesa [http://spvp.zesoi.fer.hr/predavanja%202008/WE\\_skripta.pdf](http://spvp.zesoi.fer.hr/predavanja%202008/WE_skripta.pdf) (lipanj,2021.)

20. D. Androić, OSI referentni model ,URL: [http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje\\_2.pdf](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_2.pdf) (lipanj,2021.)
21. University od Notre Dame, 802.11 Data Link Layer URL:<https://www3.nd.edu/~mhaenggi/NET/wireless/802.11b/Data%20Link%20Layer.htm> (lipanj,2021.)
22. Bažant, A., Gledec, G.: Osnove arhitekture mreže, Element, Zagreb, 2003.
23. Network Encyclopedia, Preuzeto sa: URL: <https://networkencyclopedia.com/logical-link-control-llc-layer/>(lipanj,2021.)
24. Maui Communications Networks LLC, 802.11 Channel Frequency Allocation URL:<https://www.maui-communications.net/802-11-channel-frequency-allocation> (lipanj,2021.)
25. LiFi.co, Preuzeto sa: URL: <https://lifi.co/what-is-lifi/>(rujan, 2020.)
26. LiFi.co, Preuzeto sa: URL: <https://lifi.co/wp-content/uploads/2020/04/LiFi-eBook.pdf> (lipanj,2021.)
27. Luger Research, LiFi - What It Is, How It Works, What It Provides, How to Apply, and Its Future Prospects URL: <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/lifi-what-it-is-how-it-works-what-it-provides-how-to-apply-and-its-future-prospects> (lipanj,2021.)
28. Rackley,S.: Wireless Networking Technology ,Elsevier, Velika Britanija, 1998. URL: <http://home.ustc.edu.cn/~wfsun/lab/course/wireless/Steve%20Rackley%20-%20Wireless%20Networking%20Technology.pdf> (lipanj,2021.)
29. Tait communications,9 Channel Concepts Every System Designer Needs to Understand URL:<https://blog.taitradio.com/2015/09/23/9-channel-concepts-every-system-designer-needs-to-understand/> (lipanj,2021.)

# Popis Ilustracija

## Slike

Slika 1. Prikaz 802.11g ERP-DSSS / CCK PPDU okvira Preuzeto od [12] .....	7
Slika 2. IEEE 802.11 u odnosu na referentni model OSI Preuzeto od [2] .....	13
Slika 3. Raspored kanala u 2.4 GHz spektru-Preuzeto od [4] .....	19
Slika 4. Raspored kanala u 5 GHz spektru-Preuzeto od [4] .....	20
Slika 5. Pristupna točka na mreži-Preuzeto od [1] .....	21
Slika 6. Pristupna točka u korijenskom modu (Root mode) rada-Preuzeto od [1] .....	22
Slika 7. Pristupna točka u most modu rada .....	23
Slika 8. Pristupna točka u ponavljačkom modu rada (Repeater mode) .....	24
Slika 9. Područje zračenja omni-direkcijske antene u evatorijalnoj (odozgo) i meridijanskoj (bočno) ravnini .....	26
Slika 10. Prikaz Yagi antene (17dBi)-Preuzeto od [4] .....	26
Slika 11. Primjena visoko-direkcijske antene pri proširenju dosega WLAN mreže u drugu zgradu-Preuzeto od [4] .....	27
Slika 12. Prikaz Ad-hoc topologije-Preuzeto od [20] .....	28
Slika 13. Infrastrukturna topologija WLAN-a-Preuzeto od [20] .....	29
Slika 14. IEEE 802.11 WLAN BSS i ESS konfiguracija-Preuzeto od [4] .....	30
Slika 15. Prikaz prigušenja RF signala prolaskom kroz prepreku- Preuzeto od [1] .....	31
Slika 16. Više-stazna propagacija .....	33
Slika 17. Prikaz zasjenjenja signala Podatci od [29] .....	34
Slika 18. Istokanalna interferencija-Preuzeto od [4] .....	35
Slika 19. Susjedno-kanalna interferencija- Preuzeto od [4] .....	35
Slika 20. Implementacija LiFi-a u trenutnu infrastrukturu koja prikazuje putanju podataka od poslužitelja do uređaja krajnjeg korisnika -Preuzeto od [28] .....	37

## Tablice

Tablica 1 Usporedba IEEE 802.11 standarda -Podatci od [4] .....	4
---	---





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 **Karakteristike bežične lokalne mreže**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 26.6.2021 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(potpis)