

Mjerenje utjecaja interferencije bežičnog mikrofona na propusnost IEEE 802. 11 mreže

Bobić, Mislav

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:119:720025>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-17**



Repository / Repozitorij:

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



Zagreb, 11. travnja 2019.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5068

Pristupnik: **Mislav Bobić (0135221849)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Mjerenje utjecaja interferencije bežičnog mikrofona na propusnost IEEE 802.11 mreže**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati značajke fizičkog i podatkovnog sloja OSI modela IEEE 802.11 mreže u kontekstu interferencije. Provesti mjerenje utjecaja interferencije bežičnog mikrofona na propusnost IEEE 802.11 mreže i interpretirati dobivene rezultate.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

dr. sc. Ivan Forenbacher

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

MJERENJE UTJECAJA INTERFERENCIJE BEŽIČNOG MIKROFONA NA PROPUSNOST IEEE 802.11 MREŽE

MEASURING THE INTERFERENCE EFFECT OF A WIRELESS MICROPHONE SET ON THE THROUGHPUT OF IEEE 802.11 NETWORK

Mentor: dr.sc Ivan Forenbacher

Student: Mislav Bobić

JMBAG: 0135221849

Zagreb, rujan 2019.

MJERENJE UTJECAJA INTERFERENCIJE BEŽIČNOG MIKROFONA NA PROPUSNOST IEEE 802.11 MREŽE

SAŽETAK

IEEE 802.11 mreža koja djeluje u 2,4 GHz spektru koji je dio nelicenciranog ISM pojasa postala je manje pouzdana zbog toga što čitav niz drugih uređaja koristi taj isti pojas. Primjerice, bežični mikrofonski sustav, koji se koristi za prijenos zvuka glazbenih instrumenata, jedan je od takvih uređaja koji utječe na propusnost IEEE 802.11 mreže. Kako bi istražio taj fenomen, autor je proveo niz mjerenja parametara 802.11 mreže u laboratorijskom okruženju tijekom istovremenog rada sa bežičnim mikrofonskim sustavom. Dobiveni rezultati ukazuju na to da postoji značajan utjecaj rada bežičnog mikrofonskog sustava na propusnost IEEE 802.11 mreže. Prikazana su moguća rješenja kojima bi mogao izbjeći ovaj problem, poput bolje konfiguracije kanala, prebacivanje rada mreže u drugi frekvencijski pojas i izbjegavanje paralelnog rada ova dva sustava. Rezultati mogu pomoći anticipirati probleme prilikom modeliranja IEEE 802.11 mreža u 2,4 GHz spektru.

KLJUČNE RIJEČI: IEEE 802.11, interferencija, Wi-Fi, mjerenje

SUMMARY

IEEE 802.11 network works in 2.4 GHz spectrum which is a part of unlicensed ISM band, thus making it less reliable for networks based on 802.11 standard since a lot of other devices use this frequency. For example, a wireless microphone system used for sound transmission of musical instruments is one of the devices that impacts the throughput of IEEE 802.11 network. To research this phenomenon, the author performed a series of measures of 802.11 network parameters in a laboratory setting with the microphone system on. The results indicate that there is a significant effect of the wireless microphone system on the throughput of 802.11 network. Possible solutions to avoiding this problem are presented, such as better channel configuration, switching to a different frequency band, or avoiding parallel use of these two systems. The results may help anticipate problems when modelling IEEE 802.11 network in 2,4 GHz spectrum.

KEY WORDS: IEEE 802.11, interference, Wi-Fi, measurement

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Značajke 802.11 mreža	3
2.1. Osnovni dijelovi 802.11 mreža.....	3
2.2. Fizički sloj 802.11 mreže.....	5
2.2.1. <i>PLCP podsloj fizičkog sloja</i>	5
2.2.2. <i>PMD podsloj fizičkog sloja</i>	6
2.2.3. <i>PLME podsloj fizičkog sloja</i>	6
2.2.4. <i>DSSS Transmisijaska shema</i>	6
2.2.5. <i>FHSS Transmisijaska shema</i>	7
2.2.6. <i>OFDM modulacijska shema</i>	8
2.3. Sloj podatkovne veze 802.11 mreže	9
2.3.1. <i>LLCpodsloj</i>	9
2.3.2. <i>MAC podsloj</i>	9
2.4. Organizacije i standardi	13
2.4.1. <i>IEEE</i>	13
2.4.2. <i>Wi-FiAlliance</i>	13
2.4.3. <i>IEEE 802.11-Legacy mode</i>	14
2.4.4. <i>IEEE 802.11b</i>	14
2.4.5. <i>IEEE 802.11a</i>	15
2.4.6. <i>IEEE 802.11g</i>	15
2.4.7. <i>IEEE 802.11n</i>	16
2.4.8. <i>802.11ac</i>	17
2.4.9. <i>802.11 ax</i>	17
2.5. Opis 2.4 GHz pojasa u kontekstu korištenja 802.11 standarda	18
3. Opis fizičkog i podatkovnog sloja u kontekstu interferencije	20
3.1. Vrste interferencije	20

3.1.1.	<i>Uskopojasna interferencija</i>	20
3.1.2.	<i>Širokopojasna interferencija</i>	21
3.1.3.	<i>Interferencija po susjednom kanalu</i>	22
3.1.4.	<i>Interferencija po istom kanalu</i>	22
3.2.	<i>CSMA/CA metoda</i>	23
3.2.1.	<i>Usporedba CSMA/CA i CSMA/CD metoda</i>	23
3.2.2.	<i>Zahtjev za slanjem i odobrenjeslanja</i>	24
3.2.3.	<i>CarrierSense</i>	25
3.2.4.	<i>Multiple Access</i>	27
3.2.5.	<i>Collision Avoidance</i>	27
3.2.6.	<i>Problem skrivene stanice</i>	28
3.2.7.	<i>DCF</i>	28
3.2.8.	<i>CSMA/CA postupak</i>	29
3.2.9.	<i>Prednosti i mane CSMA/CA</i>	30
3.2.10.	<i>Protokoli koordiniranog višestrukog pristupa</i>	31
4.	<i>Metodologija mjerenja</i>	33
4.1.	<i>Uređaji</i>	34
4.1.1.	<i>Bežični mikrofonski sustav</i>	34
4.1.2.	<i>Usmjernik</i>	34
4.1.3.	<i>Analizator spektra</i>	35
4.2.	<i>Programska podrška</i>	35
4.2.1.	<i>Programska podrška za analizu spektra</i>	35
4.2.2.	<i>Programska podrška za mjerenje parametara 802.11 mreže</i>	35
4.3.	<i>Način provođenja mjerenja</i>	38
5.	<i>Prikaz rezultata mjerenja</i>	39
5.1.	<i>Rezultati mjerenja na 4. kanalu</i>	39
5.1.2.	<i>Speedtest by Ookla</i>	40

5.1.3.	<i>Speedcheck Internet Speed Test</i>	41
5.1.4.	<i>SpeedSmart</i>	43
5.2.	Rezultati mjerenja na 6. kanalu	45
5.2.1.	<i>Speedtest by Ookla</i>	46
5.2.2.	<i>Speedcheck Internet Speed Test</i>	48
5.2.3.	<i>SpeedSmart</i>	50
6.	Diskusija	53
7.	Zaključak.....	56
	Bibliografija	57
	Popis slika	59
	Popis tablica	61
	Popis kratica	63

1. Uvod

Mreže temeljene na 802.11 standardu dio su svakodnevice u svakoj urbanoj sredini. Razvojem bežičnih tehnologija za široku primjenu, nelicencirani dio frekvencijskog spektra postao je previše napućen. U takvim uvjetima, mreže temeljene na 802.11 standardu suočene su s pojavom interferencije, same među sobom, i od strane drugih uređaja. Bežični mikrofonski sustav koji se koristi za prijenos zvuka bez potrebe za upotrebom kabla, jedan je od potencijalnih izvora interferencije. Zbog toga je bitno utvrditi koliko takav uređaj, koji radi u 2,4 GHz pojasu može stvarno degradirati kvalitetu usluge u mrežama temeljenim na 802.11 standardu. U svrhu ispitivanja pojave interferencije između 802.11 mreže i bežičnog mikrofonskog sustava, proveden je niz mjerenja kako bi se utvrdilo postoji li korelacija između korištenja bežičnog mikrofonskog sustava i parametara 802.11 mreže.

Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Značajke 802.11 mreža
3. Opis fizičkog i podatkovnog sloja u kontekstu interferencije
4. Metodologija mjerenja
5. Prikaz rezultata mjerenja
6. Diskusija
7. Zaključak

U drugom poglavlju opisani su osnovni dijelovi 802.11 mreža. Nakon toga slijedi opis organizacija koje stoje iza 802.11 standarda i opis pojedinih standarda. Zatim slijedi opis fizičkog i podatkovnog sloja 802.11 mreža, njihovih podslojeva, i opis podatkovnih jedinica kojima se prenosi promet u ovim mrežama. Opisan je 2,4 GHz spektar u kojem je provedeno mjerenje interferencije.

Treće poglavlje se bavi opisom vrsta interferencije, i opisom mehanizmima koje 802.11 mreže posjeduju kako bi otkrila i izbjegla pojavu kolizije i interferencije.

Četvrto poglavlje opisuje korištene uređaje, okruženje, i programsku podršku pri mjerenju interferencije. Opisan je način na koji se mjerenje provodilo.

U petom poglavlju su detaljno prikazani rezultati svih mjerenja, kao i vizualni prikaz stanja u 2,4 GHz pojasu pri tim mjerenjima.

U šestom poglavlju dobiveni rezultati su se analizirali, i predstavljena su potencijalna rješenja za uočenu interferenciju.

2. Značajke 802.11 mreža

IEEE 802.11 je skup specifikacija fizičkog sloja i MAC (eng. *Mediumaccesscontrol*) podsloja podatkovnog sloja za uvođenje WLAN (eng. *Wireless localarea network*) komunikacije. 802.11 je serija modulacijskih tehnika preko zračnog sučelja koje imaju zajednički osnovni protokol. Ovi standardi predstavljaju osnovu za prijenos u bežičnim mrežama koje koriste Wi-Fi (eng. *Wireless Fidelity*). Korišteni segment radiofrekvencijskog spektra korištenog od strane 802.11 varira prema zemlji u kojoj se koristi. 802.11 standard specificira protokole i operacije bežičnih mreža. Bavi se samo fizičkim i podatkovnim slojem OSI (eng. Open Systems Interconnection) referentnog modela¹ prikazanog na slici 1. Cilj svih 802.11 standarda je kompatibilnost sa starijim standardima, kao i kompatibilnost na fizičkom i podatkovnom sloju. Prema tome, različiti 802.11 standardi bi se trebali razlikovati samo po karakteristikama fizičkog sloja.



Slika 1. OSI referentni model.

Izvor: [1].

2.1. Osnovni dijelovi 802.11 mreža

Stanica (eng. *Station*), koja se obično označava *STA*, je svaki uređaj koji ima sposobnost korištenja 802.11 mreže. Pod ovim pojmom se najčešće podrazumijevaju terminalni uređaji i pristupne točke. Stanica može biti fiksna, mobilna i prenosiva(1).

Pristupna točka (eng. *Access Point*), koja se obično označava *AP*, je hardverski uređaj u lokalnoj bežičnoj mreži koji omogućava bežično povezivanje uređaja preko 802.11 standarda na distribucijski sustav, žični ili bežični. Usmjernik (eng. *Router*) je primjer pristupne točke [1].

¹Konceptualni model kojim je se opisuje način na koji dva različita sustava mogu komunicirati.

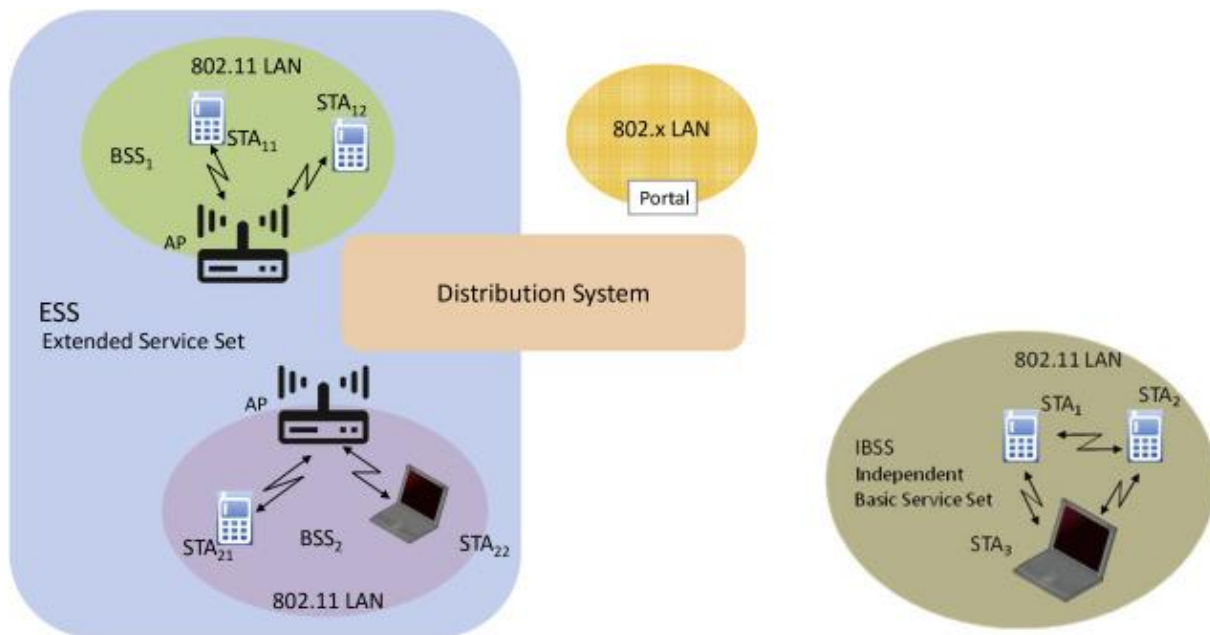
Osnovni servisni set (eng. *Basic Service Set*) sastoji se od jedne pristupne točke i jednog ili više klijenata [3]. Sastoji se od određenog broja stanica koje koriste isti MAC protokol i natječu se za pristup istom bežičnom mediju [2]. Radi u infrastrukturnom načinu rada, što znači da postoji pristupna točka i sav promet ide preko nje. Prostorna pokrivenost ovisi o korištenoj tehnologiji, opremi i standardu, a brzina prijenosa podataka još uz sve to ovisi i o udaljenosti terminalnog uređaja od pristupne točke [3]. BSS ima jedinstveni SSID (eng. *Service Set Identifier*) koji ga jedinstveno identificira u zoni prijema signala. [2]

Prošireni servisni set (eng. *Extended Service Set*) se sastoji od dva ili više osnovna servisna seta. Oni se spajaju na distribucijski sustav koji može biti žični ili bežični. Prošireni servis set označava konfiguraciju u kojoj su dva ili više osnovnih servis setova povezani zajedničkim distributivnim sustavom. Distribucijski sustav može biti ožičen, bežični, LAN, WAN ili bilo koja druga metoda mrežnog povezivanja. ESS mora imati najmanje dvije pristupne točke koje operiraju u infrastrukturnom modu. Slično kao i kod BSS-a, svi paketi u ESS-u moraju ići preko jedne od pristupnih točaka. ESS pokriva više ćelija, dozvoljava (ali ne zahtijeva), mogućnost *roaminga*. Ne zahtijeva se isti SSID u oba osnovna servis seta [3].

Neovisni osnovni servisni set (eng. *Independent Basic Service Set*) je zatvoreni sustav koji funkcionira kao *ad hoc* mreža. To znači da klijenti unutar te mreže bez posredništva pristupne točke jedni drugima izravno šalju podatke. Ovaj sustav je zatvoren, i nema pristup podacima izvan sustava. Za slučaj da za time postoji potreba, jedan od klijenata mora djelovati kao *gateway* prema nekom distribucijskom sustavu. Ovaj sustav ima jedan identifikator [3].

Distribucijski sustav (eng. *Distribution System*), koji se obično označava DS, je sustav koji se koristi za spajanje osnovnih servisnih setova i lokalnih mreža. Može biti žični i bežični [2].

Portal je komponenta kojom se integrira 802.11 arhitektura u žičnu lokalnu mrežu [2]. Shematski prikaz nabrojanih komponenti vidljiv je na slici 2.



Slika 2. Osnovna arhitektura 802.11 mreže, [2].

2.2. Fizički sloj 802.11 mreže

Fizički sloj svakog 802.11 standarda je osnova po kojoj se međusobno razlikuju pojedini 802.11 standardi, i u kontekstu 802.11 mreže se često označava PHY. Fizički sloj definira električne i fizičke specifikacije za uređaje. Definira odnos između uređaja i transmisijskog medija. Glavna svrha mu je uspostavljanje i prekid veze s komunikacijskim medijem. Sudjeluje u procesima poput rješavanja sukoba (eng. *Contention resolution*) unutar dijeljenog medija i kontrole toka u kojem se komunikacijski resursi učinkovito dijele između više korisnika. Sudjeluje u modulaciji odgovarajućih signala koji se prenose preko komunikacijskog kanala i konverziji prilikom prikaza digitalnih podataka u korisničkoj opremi. Fizički sloj je podijeljen u 3 podsloja [4].

2.2.1. PLCP podsloj fizičkog sloja

Fizički sloj procedure usklađivanja (eng. *Physical Layer Convergence Procedure*) djeluje kao adaptacijski podsloj. Odgovoran je za CCA (eng. *Clear Channel Assessment*) funkciju koja će kasnije biti detaljno opisana i izradu paketa za različite tehnologije fizičkog sloja(2). MAC podsloj podatkovnog sloja komunicira s ovim podslojem fizičkog sloja pomoću seta instrukcijskih naredbi poznatijih kao *primitives*. PLCP po naredbi MAC

podslajpodatkovnog sloja priprema podatkovne jedinice MAC protokola, poznatije kao MPDU, za prijenos. PLCP minimizira ovisnost MAC podsloja o PMD podsloju mapiranjem MPDU-ova u format okvira pogodan za prijenos od strane PMD. PLCP dostavlja okvire koji pristižu bežičnim medijem MAC podsloju podatkovnog sloja. PLCP dodaje polja fizičkog sloja, preambulu i zaglavlje u MPDU. Ona sadrže informacije koje su potrebne odašiljačima i prijemnicima fizičkog sloja. MPDU spojen sa tim poljima čini PPDU (eng. *PLCP ProtocolDataUnit*), prikazan na slici 5. Struktura okvira PPDU-a omogućuje asinkroni prijenos MPDU-ova između stanica. Kao rezultat, fizički sloj prijemne stanice mora uskladiti svoje sklopovlje sa svakim pojedinačnim ulaznim okvirom [2].

2.2.2. PMD podsloj fizičkog sloja

Podsloj zavisnosti fizičkog medija (eng. *PhysicalMediumDependent*), poznatiji kao PMD, definira karakteristike i metode slanja i primanja podataka preko bežičnog medija [3]. Prema uputama PLCP podsloja ovaj podsloj pruža mogućnost transmisije i primanja podatkovnih jedinica fizičkog sloja između dvije stanice preko bežičnog medija. Da bi to postogao, PMD se izravno povezuje s bežičnim medijem i osigurava modulaciju i demodulaciju pri prijenosu okvira [2].

2.2.3. PLME podsloj fizičkog sloja

Entitet upravljanja fizičkim slojem (eng. *PhysicalLayer Management Entity*), poznatiji kao PLME, je konceptualni entitet uključen u fizički sloj 802.11 mreže. Zadužen je za aktivnosti poput ugađanja kanala [4].

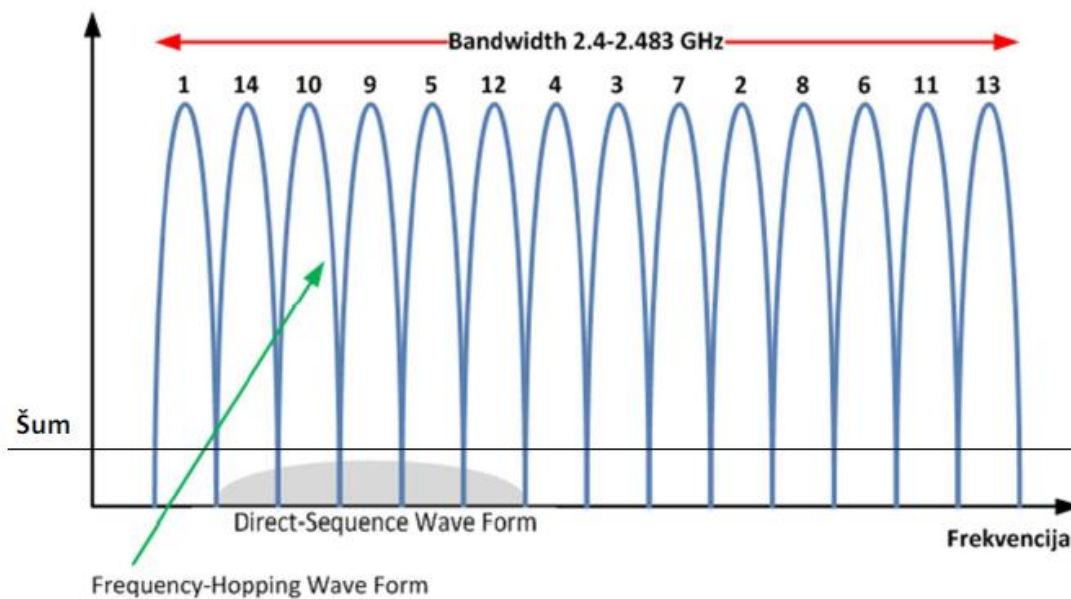
2.2.4. DSSS Transmisijska shema

Prošireni spektar izravnog sekvenciranja (eng. *DirectSequenceSpread Spectrum*), skraćeno DSSS, je modulacijska tehnika fizičkog sloja određenih 802.11 mreža. Korištenjem ove tehnike, odaslani signal zauzima puno širi frekvencijski pojas od frekvencijskog pojasa informacijskog signala. Signal nosioca pojavljuje se preko cijelog spektra uređajeve transmisijske frekvencije. DSSS transmisije multipliciraju podatke koji se prenose „signalom šuma“ (eng. *Noise signal*). Signal šuma je pseudoslučajna sekvenca vrijednosti 1 i -1, na puno

višoj frekvenciji od originalnog signala. Rezultirajući signal se tada može koristiti za preciznu rekonstrukciju originalnih podataka na prijemu. To se postiže množenjem sa istom pseudoslučajnom brojanom sekvencom. Ovaj proces naziva se *de-spreading*. Rezultirajući učinak povećanja omjera signala i šuma na kanalu naziva se procesni dobitak. Ako neželjeni odašiljač emitira na istom kanalu, ali s različitom sekvencom, ili bez ikakve sekvence, *de spreading* neće ostvariti nikakav procesni dobitak za taj signal. Ovaj efekt je osnova za tehniku višestrukog pristupa s kodnom raspodjelom (CDMA) DSSS-a, koji omogućuje višestrukim odašiljačima da dijele isti kanal unutar granica unakrsnih korelacijskih svojstava njihovih pseudoslučajnih sekvenci [4]. Kod DSSS-a signal se nalazi ispod razine termalnog šuma, zbog čega ga je teško detektirati ili blokirati [5].

2.2.5. FHSS Transmisijaska shema

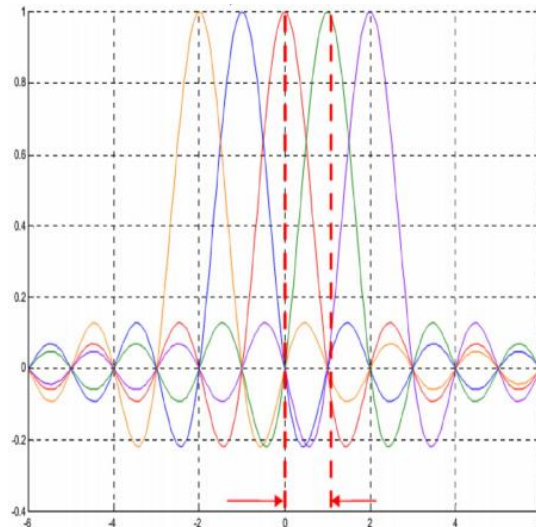
Prošireni spektar varirajućih frekvencija (eng. *Frequency Hopping Spread Spectrum*), skraćeno FHSS, je također modulacijska tehnika fizičkog sloja između ostalih, i 802.11 mreža. Ova tehnika iskorištava svojstvo koje se naziva frekvencijska okretnost. To je sposobnost radija da brzo i kontinuirano mijenja frekvencije na kojoj se šalje signal unutar radiofrekvencijskog opsega. U kontekstu 2,4 GHz pojasa, radi se o 83,5 MHz. FHSS radi na način da nosioc kontinuirano mijenja frekvenciju prema pseudoslučajnoj sekvenci. Ta sekvenca je zapravo lista frekvencija na koje će nosioc skočiti, po definiranim vremenskim intervalima. Kada prođe sve frekvencije iz sekvence, ponavlja postupak, sve dok informacija nije poslana do kraja. Prijemnik je sinkroniziran s predajnikom. Prijemna strana koristi demodulirani signal [3]. Na slici 3 prikazan je princip rada DSSS i FHSS transmisijaskih shema.



Slika 3. Princip rada FHSS i DSSS, [4].

2.2.6. OFDM modulacijska shema

Tehnika frekvencijskog multipleksa ortogonalnih podnosilaca s višestrukim pristupom (eng. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*), skraćeno OFDM, je metoda kodiranja digitalnih podataka na više frekvencija podnosioca, koju koriste 802.11 a, g, n i ac standardi. OFDM omogućava širokopojasni prijenos podataka velike brzine dijeljenjem podataka na nekoliko umetnutih paralelnih tokova moduliranih na odvojene podnosioce [2], koji su prikazani na slici 4. Ova modulacijska tehnika je rješenje za suzbijanje štetnih učinaka više-stazne propagacije i inter-simbolne interferencije (ISI) i varijacije kašnjenja [4]. Podnosioci su ortogonalni, što znači da je maksimum svakog podnosioca na nultočki idućeg, zbog čega im se signali, matematički gledano, ne preklapaju. Kod OFDM-a, signal je jednako podijeljen među podnosiocima. Ovime se smanjuje brzina prijenosa podataka, ali se produžuje trajanje vremenskog segmenta, simbola, za podnosioce, i time smanjuje količina disperzije, koja je posljedica više-stazne propagacije. Fazni šum i nelinearna distorzija doprinose gubitku ortogonalnosti. Gubitak ortogonalnosti stvara interferenciju među podnosiocima [2]. Da bi se to spriječilo, dodaje se zaštitni interval, koji istovremeno sprečava inter-simbolnu interferenciju. Trajanje zaštitnog intervala je inverzno trajanju simbola. Signal sa manjom brzinom prijenosa podataka je otporniji na interverenciju i slabljene signala u prostoru (eng. *Fading*) [2].



Slika 4. Prikaz OFDM valova podnosioca u frekvencijskom spektru, [5].

2.3. Sloj podatkovne veze 802.11 mreže

Podatkovni sloj 802.11 mreže podijeljen je u 2 podsloja. Podsloj logičke kontrole veze (eng. *Logical Link Control*), skraćeno LLC, i podsloj kontrole pristupa mediju (eng. *Media Access Control*), skraćeno MAC. U nastavku slijedi opis i svrha navedenih podslojeva.

2.3.1. LLC podsloj

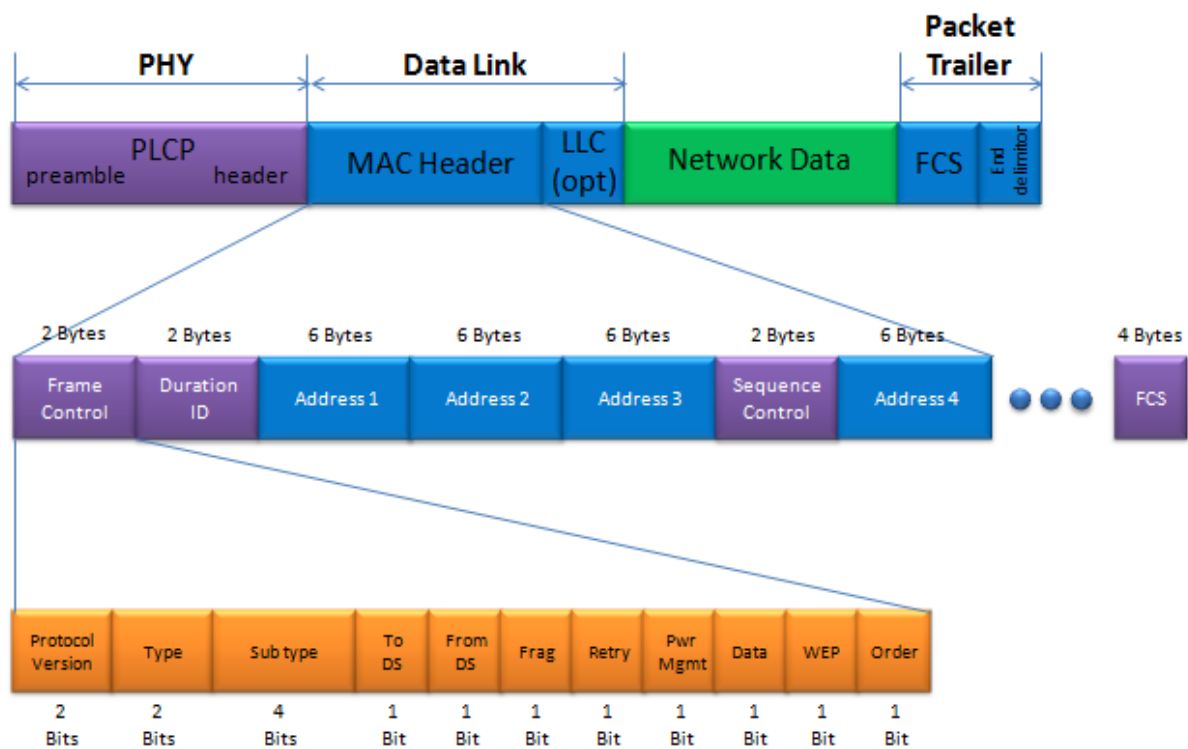
Podsloj logičke kontrole veze identičan je za sve 802 mreže, iako ga ne koriste sve mreže. U kontekstu 802.11 mreže, ponaša se kao sučelje između podsloja kontrole pristupa mediju i trećeg, mrežnog sloja OSI referentnog modela. Primarno se bavi multipleksiranjem i demultipleksiranjem protokola prenesenih preko MAC podsloja pri slanju i primanju podataka. Može pružiti kontrolu toka od-čvora-do-čvora i upravljanje greškama. U većini slučajeva time se bave protokoli transportnog, a nekad i aplikacijskog sloja [6].

2.3.2. MAC podsloj

MAC podsloj služi za obavljanje zadataka poput kontrole pristupa mediju, pouzdan prijenos i sigurnost, a može pružiti podršku i za roaming², autentifikaciju i čuvanje energije [2]. MAC prihvaća podatke LLC podsloja u formi MAC servisjedinice podataka (engl. *MAC*

²Sposobnost bežičnih klijenata da prelaze iz jednog BSS-a u drugi, u okviru jednog ESS-a, bez gubitka mrežne veze (20).

servicedata unit), skraćeno MSDU. Zadužen je za njihovo pouzdano slanje odgovarajućem sloju drugebežične stanice. Da bi to uspio, MAC dodaje informacijeMSDU-u u obliku zaglavlja i nastavka (engl. *trailer*)čime se formira ranije spomenuti MPDU. MPDU se zatim prosljeđuje fizičkosloju radi slanja preko bežičnog medija drugoj stanici [3].IEEE 802.11 definira dva podsloja MAC sloja, funkciju distribuirane koordinacije (eng. *DistributedControlFunction*), skraćeno DCF, i funkciju centralizirane koordinacije (eng. *Pointcoordinationfunction*), skraćeno PCF. DCF koristi CSMA/CA kao pristupnu metodu, budući da bežični LAN ne može implementirati CSMA/CD. Pruža samo asinkronu uslugu. PCF se implementira zajedno s DCF i većinom se koristi za vremenski ovisne prijenose. Koristi centraliziranu metodu pristupa bez nadmetanja. Pruža i asinkronu i vremenski ovisnu uslugu [7].



Slika 5. Struktura PPDU, Zaglavlja MAC okvira i polja kontrole okvira, [8].

Okvir MAC sloja čine 9 polja [9], a na slici 5 vidljiva je pozicija tih polja unutar PPDU.

Kontrola okvira (eng. *FrameControl*) – polje od 2 Byta koje određuje vrstu okvira i neke kontrolne informacije. Polja unutar kontrole okvira, također prikazana na slici 5 su:

1. Verzija protokola (eng. *ProtocolVersion*) – polje od 2 bita koje ukazuje na trenutnu verziju protokola [9]
2. Vrsta (eng. *Type*) – polje od 2 bita koje određuje funkciju okvira, tj. upravljanje (00), kontrolu (01) ili podatke [10]. Vrijednost 11 je rezervirana / se ne koristi [9].
3. Podvrsta (eng. *Sub Type*) – polje od 4 bita koje ukazuje na podvrstu okvira (npr. 0000 za zahtjev za povezivanjem, 1000 za *beacon* [9].
4. Prema distribucijskom sustavu (eng. *To Distribution System*) – polje od 1 bita, koje jednom kad se postavi pokazuje da je određeni okvir za distribucijski sustav [9].
5. Iz distribucijskog sustava (eng. *From Distribution System*) – polje od 1 bita koje pokazuje da okvir dolazi iz distribucijskog sustava [9].
6. Više fragmenata (eng. *More Fragments*) – polje od 1 bita. Kad je postavljeno na 1, ukazuje na to da za okvirom slijedi više fragmenata [9].
7. Ponovni pokušaj (eng. *Retry*) – polje od 1 bita. Kad mu je vrijednost 1, ukazuje na to da je okvir ponovni prijenos ranijeg okvira [9].
8. Upravljanje energijom (eng. *Power Management*) – polje od 1 bita koje ukazuje na način rada stanice nakon uspješnog prijensa okvira. Ako mu je vrijednost 1, ukazuje na to da stanica prelazi u način rada za čuvanje energije. Kada je postavljeno na 0, stanica ostaje aktivna [9].
9. Više podataka (eng. *More Data*) – polje od 1 bita koje pokazuje primatelju da pošiljalatelj ima više podataka za slanje nego što je dopušteno. Ovu funkciju može koristiti pristupna točka kako bi stanici u načinu rada za čuvanje energije javila da postoje paketi u zastoju [9].
10. Ekvivalent privatnosti žičnog medija (eng. *Wiredequivalentprivacy*) – polje od 1 bita koje pokazuje da se koristi standardni sigurnosni mehanizam 802.11 [9].
11. Redoslijed (eng. *Order*) – polje od 1 bita. Ako mu je vrijednost 1, primljeni okviri moraju biti obrađeni određenim redoslijedom [9].

Nakon polja kontrole okvira, slijede ostala polja MAC okvira:

Trajanje (eng. *Duration ID*) – polje od 4 bajta koje sadrži vrijednosti koje u μ s pokazuju trajanje korištenja nekog medija [9].

Adresa (eng. *Addresses*) – 1 do 4 polja od 6 bajtova koja sadrže adrese IEEE 802 MAC sloja, od kojih svaka adresa ima 48 bita. Značenje svake od adresa ovisi o bitovima sustava raspodjele u polju kontrole okvira. Adresa 1 je uvijek adresa primatelja, Adresa 2 uvijek sadrži adresu stanice koja odašilje okvir [9]. Tablicom 1 i tablicom 2 objašnjeno je značenje i sadržaj adresnih polja.

Tablica 1. Značenja DS kombinacija podatkovnih okvira u tablici 2, [10].

Prema/Iz sustava - vrijednosti	Distribucijskog značenje
Prema DS = 0, Iz DS = 0	Podatkovni okvir direktno iz jedne prema drugoj stanici s istim IBSS i istim tipovima upravljačkih i kontrolnih okvira.
Prema DS = 0, Iz DS = 1	Podatkovni okvir napušta DS.
Prema DS = 1, Iz DS = 0	Podatkovni okvir odaslan prema DS.
Prema DS = 1, Iz DS = 1	Okvir Bežičnog Distribucijskog sustava (eng. <i>Wireless Distribution System</i>) odaslan od jedne pristupne točke prema drugoj.

Tablica 2. Sadržaj adresnih polja, [10].

Prema DS	Iz DS	Adresa 1	Adresa 2	Adresa 3	Adresa 4
0	0	Adresa prijemnika = Odredišna adresa	Adresa odašiljača = Izvorišna adresa	BSSID (eng. <i>Basic Service Set Identifiers</i>)	/
0	1	Adresa prijemnika = Odredišna adresa	Adresa odašiljača = BSSID	Izvorišna adresa	/
1	0	Adresa prijemnika = BSSID	Adresa odašiljača = Izvorišna adresa	Odredišna adresa	/
1	1	Adresa prijemnika	Adresa odašiljača	Odredišna adresa	Izvorišna adresa

Kontrola niza (eng. *SequenceControl*) – polje od 16 bita koje se sastoji od 2 podpolja: broj niza (12 bitova) i broj fragmenta (4 bita). Budući da se okviri mehanizama potvrde (eng. *acknowledgementmechanismframes*) mogu udvostručavati, broj niza se koristi da izluči jedan od udvostručenih okvira.

Podaci (eng. *FrameBody*) –poljevarirajuće veličine koje sadrži informacije svojstvene svakom pojedinom okviru, a koje se transparentno prenose od pošiljatelja primatelju.

Kontrolna sekvenca okvira (eng. *FrameCheckSequence*) –polje od 4 bajta koje sadrži niz za otkrivanje grešaka od 32 bita kako bi se osiguralo da okvir nema grešaka.

2.4. Organizacije i standardi

2.4.1. IEEE

IEEE(eng. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) je neprofitna stručna udruga. Posredstvom svojih članova, IEEE je vodeći autoritet na širokom tehničkom području od računalnih znanosti, biomedicinske tehnike i telekomunikacija, preko električne energije, potrošačke elektronike te mnogih drugih područja. IEEE je najveća svjetska stručna udruga. IEEE je nastao 1884. godine utemeljen na idejama nekolicine znanstvenika s ciljem praćenja razvoja elektrotehnike. IEEE nastoji poticati, organizirati i pomagati tehničke aktivnosti širom svijeta. Glavni mu cilj je unaprijediti teorijska i praktična znanja u području elektrotehnike i računarstva. IEEE je pokrovitelj stručnih i znanstvenih skupova i aktivnosti u mnogim zemljama širom svijeta usmjerenih ka napretku elektrotehnike i računarstva. IEEE omogućuje članovima praćenje najnovijih dostignuća u spomenutim područjima. IEEE objavljuje danas više od četvrtine svih publikacija vezanih za elektrotehniku i računarstvo. Putem svojih članova širom svijeta, IEEE je vodeći autoritet u područjima računarstva, biomedicinskih tehnologija i telekomunikacija, energetike, potrošačke elektronike i mnogih drugih. Članovi se oslanjaju na IEEE kao izvor pouzdanih stručnih informacija, profesionalnih istraživanja i usluga. Kako bi poticao interes za inženjerska zanimanja, IEEE također pomaže srednjoškolicima, te studentima na sveučilištima širom svijeta [11].

2.4.2. Wi-Fi Alliance

Wi-Fi Alliance je globalna neprofitna organizacija koja se bavi proizvodima različitih proizvođača koji su certificirani na temelju 802.11 standarda. Cilj ove organizacije je ostvariti realizaciju jednog globalnog standarda za bežične lokalne mreže velike brzine. Više od 300 tvrtki su članice ovog saveza. Organizacija je do danas certificirala više od 10000

proizvoda. Do 1999. godine, Wi-Fi Alliance je bio poznat pod imenom Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA) [12].

2.4.3. IEEE 802.11-Legacy mode

Još se naziva i nasljeđeni način rada (eng. *Legacy mode*). Prva verzija IEEE 802.11 standarda je objavljena 1997. godine. Danas je zastarjela i nije u upotrebi. Specificira tri vrste tehnologija fizičkog sloja: difuzni infracrveni način prijenosa uz propusnost 1 ili 2 Mbit/s, FHSS (eng. *Frequency Hopping Spread Spectrum*) uz propusnost 1 ili 2 Mbit/s, i DSSS (eng. *Direct Sequence Spread Spectrum*) uz propusnost 1 ili 2 Mbit/s. DSSS i FHSS su koristile mikrovalnu transmisiju preko ISM (eng. *Industrial Scientific Medical*) pojasa, točnije u frekvencijskom pojasu od 2,4 GHz. Infracrveni prijenos, unatoč tome što je bio dio standarda, nije bio implementiran. Slabost ove izvorne specifikacije je u tome što nudi previše opcija zbog kojih je interoperabilnost postala prevelik izazov. DSSS verzija izvornog 802.11 standarda brzo je popularizirana dopunom 802.11b 1999. godine, koja je povećala brzinu prijenosa podataka na 11 Mbit/s [2].

2.4.4. IEEE 802.11b

802.11b ima maksimalnu brzinu prijenosa podataka 11 Mbit/s i koristi istu metodu pristupa mediju definiranu u originalnom 802.11 standardu. Proizvodi temeljeni na ovom standardu pojavili su se početkom 21. stoljeća. Ovaj standard je u osnovi proširenje modulacijske tehnike definirane u originalnom 802.11 standardu. Ovaj standard je postao široko prihvaćen kao posljedica značajnog povećanja maksimalne brzine prijenosa podataka i smanjenja cijene. Nedostatak ovog standarda je taj što je dolazilo do interferencije s ostalim uređajima koji su radili u frekvencijskom pojasu od 2,4 GHz, poput mikrovalnih pećnica, Bluetooth uređaja, bežičnih telefona, uređaja za nadzor djece i druge radio opreme. Problemi sa interferencijom i gustoćom korisnika unutar frekvencijskog pojasa od 2,4 GHz postali su glavno pitanje koje je zahtjevalo rješenje, kako je popularnost Wi-Fi mreže rasla [2].

2.4.5. IEEE 802.11a

802.11a je dodan izvornom standardu i ratificiran 1999. godine. Bio je prvi standard koji je radio u frekvenzijskom pojasu od 5 GHz. Koristi OFDM (eng. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) sa 52 podnosioca uz brzinu prijenosa podataka do 54 Mbit/s. Danas mnoge zemlje diljem svijeta dopuštaju korištenje 5 GHz pojasa. 802.11a nisu interoperabilni 802.11b s obzirom na činjenicu da rade u različitim frekvenzijskim područjima. Korištenje 5 GHz područja je prednost, s obzirom na činjenicu da puno uređaja različitih namjena koristi 2,4 GHz pojas. U slučajevima kada je pojas previše iskorišten dolazi do degradacije kvalitete usluge i gubljenja veze [2].

Nedostatak korištenja 5 GHz pojasa je smanjeni domet koji prozlaži iz činjenice da više frekvencije imaju manji domet. 802.11a signali ne mogu prodrijeti koliko oni u 802.11b jer se lakše apsorbiraju u zidovima i drugim čvrstim objektima na svom putu i zato što je gubitak putanje u jačini signala proporcionalan kvadratu frekvencije signala. S druge strane, OFDM ima prednosti u okruženjima s visokom razinom višestazne propagacije, poput ureda. Više frekvencije omogućavaju građenje manjih antena s većim dobitkom, čime se poništava negativna strana korištenja višeg frekvenzijskog pojasa [2].

Zbog činjenice da gotovo nema prisutnih izvora interferencije kao u 2,4 GHz pojasu, 802.11a standard ima prednost po pitanju pouzdanosti i dostupnosti u odnosu na 802.11b/g. Često dolazi do zabuna kada se radi o datumu objave 802.11 a i b standarda. Proizvodi temeljeni na 802.11a standardu su se duže proizvodili zbog komplikacija u proizvodnji s obzirom na korištenje 5GHz pojasa. Zbog toga, prva generacija proizvoda temeljenih na 802.11 standardu je imala i dosta problema i lošije performanse. U početku distribucije proizvoda temeljenih na 802.11b standardu, 802.11a nije bio u širokoj upotrebi jer je bio skuplji i 802.11b je brzo postao standard u širokoj upotrebi. 802.11a je kasnije korišten tamo gdje je postojala potreba za većom pouzdanosti i kapacitetom [2].

2.4.6. IEEE 802.11g

Korisnici su brzo prihvatili 802.11g standard u siječnju 2003., puno prije njegove ratifikacije, zbog želje za većim brzinama i smanjenjem troškova proizvodnje. 802.11g, kao i 802.11b, radi u pojasu od 2.4GHz, ali koristi istu shemu prijenosa temeljenu na OFDM-u kao

i 802.11a. Radi na maksimalnoj brzini prijenosa podataka fizičkog sloja od 54 Mbit/s. Hardver 802.11g standarda je potpuno kompatibilan s hardverom 802.11b. No, u mreži 802.11g standarda, prisutnost uređaja koji koristi 802.11b će značajno smanjiti brzinu cijele 802.11g mreže. Unatoč općoj prihvaćenosti 802.11g standarda, nedostatak joj je interferencija kao i kod 802.11b u već zagušenom pojasu od 2.4 GHz. K tome je i popularnost tog standard prouzrokovala i problem s prevelikom gustoćom korisnika u urbanim područjima. Kako bi se spriječila interferencija, u SAD-u i zemljama sa sličnim regulacijama mogu se koristiti samo tri kanala koja se ne preklapaju, kanali 1, 6, 11, odvojeni 25 MHz, dok se u Europi mogu koristiti četiri, kanali 1, 5, 9, 13, odvojeni 20 MHz. Čak i s tolikim razdvajanjem postoji intereferencija zbog bočnih komponenata signala, iako je značajno slabija [2].

2.4.7. IEEE 802.11n

802.11n uključuje mnoga poboljšanja za domet WLAN-a, pouzdanost i stvarnu propusnost. U fizičkom sloju su dodane tehnike naprednog procesiranja signala i tehnike modulacija kako bi se iskoristilo više antena i širi kanali. U MAC sloju, proširenja protokola efikasnije koriste dostupnu pojasnu širinu. Zajedno ova poboljšanja za visoku stvarnu propusnost podižu brzinu slanja podataka na do 600 Mb/s – više od deseterostrukog poboljšanja u usporedbi s 54 Mb/s koje je omogućavao 802.11a/g standard. 802.11n radi i na pojasu od 2.4 GHz i na onom od 5 GHz, no podrška za pojas od 5GHz je opcionalna. IEEE 802.11n nastavlja se na prijašnje 802.11 standarde dodajući MIMO (eng. *Multiple Input Multiple Output*) i kanale od 40 MHz u fizičkom sloju, a MAC sloju agregaciju okvira [2].

Iza većine poboljšanja u 802.11n standard stoji sposobnost da se u isto vrijeme prima i/ili odašilje kroz više antena. 802.11n definira mnoge „M x N“ konfiguracije antena, kao što su „1 x 1“ ili „4 x 4“. MIMO koristi više antena kako bi upravljao s više tokova informacija nego što je to moguće s jednom antenom. Jedan od načina na koje to postiže jest pomoću SDM-a (eng. *Spatial Division Multiplexing*), koji prostorno multipleksira više neovisnih tokova podataka koji se istovremeno prenose kroz jedan spektralni kanal ili pojasnu širinu. MIMO može značajno povećati realnu propusnost podataka povećanjem broja riješenih prostornih tokova podataka. Svaki prostorni tok zahtijeva posebnu antenu i na primatelju i na pošiljatelju. Broj istovremenih tokova podataka je ograničen minimalnim brojem antena koje se koriste na obje strane veze. No, zasebni radio uređaji mogu još ograničiti broj prostornih tokova koji nose jedinstvene podatke. $M \times N = Z$ formula pomaže identificirati sposobnost

danog radio uređaja. Prvi broj, M, je maksimalni broj odašiljačkih antena koje uređaj može koristiti; drugi broj, N, je maksimalni broj antena na primateljevoj strani koje uređaj može koristiti; treći broj, Z, je maksimalni broj prostornih tokova podataka koje uređaj može koristiti. Npr. radio uređaj koji može odašiljati na dvije antene i primiti podatke na tri, ali može slati i primiti samo dva prostorna toka bio bi označen kao $2 \times 3 : 2$ [2].

Druga karakteristika 802.11n standarda koja se može koristiti jesu kanali od 40 MHz. Proizvodi prije ovog standarda su koristili kanale koji su široki otprilike 20 MHz. Proizvodi 802.11n standarda mogu koristiti kanale od 20 ili 40 MHz, pod uvjetom da pristupna točka ima sposobnost korištenja kanala od 40 MHz. Kanali širine 40 MHz omogućuju dvostruku brzinu prijenosa podataka u fizičkom sloju. Veća pojasna širina može se koristiti i u načinu korištenja namijenjenom za frekvencije od 2.4 GHz ili 5 GHz, ali ne smije interferirati ni s jednim drugim sustavom koji koristi 802.11 ili neki drugi standard, kao na primjer, Bluetooth, koji koristi istu frekvenciju [2].

2.4.8. 802.11ac

Razvijan od 2011. do 2014. godine, kada je i objavljen. 802.11ac standard radi u 5 GHz pojasu. To predstavlja prednost u kontekstu interferencije koja je više prisutna u 2.4 GHz pojasu. Kanali su širine 80 MHz, a mogu se i spojiti u kanale širine 160 MHz. 802.11 ac podržava 256 QAM (eng. *Quadrature Amplitude Modulation*) modulacijski postupak. Koristi Multi-user MIMO kojeg nema u 802.11n standardu. U teoriji ima kapacitet od 1.3 Gbps s 3*3 MIMO i kanalima širine 40 MHz. Zaštitni intervali su duljine 400 ns. Moguća je pojava interferencije sa 802.11n standardom ukoliko isti radi u 5 GHz području [14].

2.4.9. 802.11ax

Standard u razvoju, poznatiji kao Wi-Fi 6. Predviđa se korištenje 2,4 i 5 GHz pojasa simultano kako bi se poboljšale performanse. Podržava 1024 QAM modulacijski postupak. Novost koja bi trebala biti uvedena ovim standardom je tehnologija ponovnog korištenja prostora (eng. *Spatial Reuse Technology*) kojom se postiže bolje poboljšava iskorištenost zračnog sučelja, lakše rješava problem interferencije nastale između više osnovnih skupova usluga (BSS), i povećava vjerojatnost uspješnih simultanih prijenosa. Uvodi se i TWT

(eng. *Target Wake Time*) mehanizam kojim se postiže manja potrošnja energije Wi-Fi uređaja [3]. Usporedba pojedinih standarda je prikazana u tablici 3.

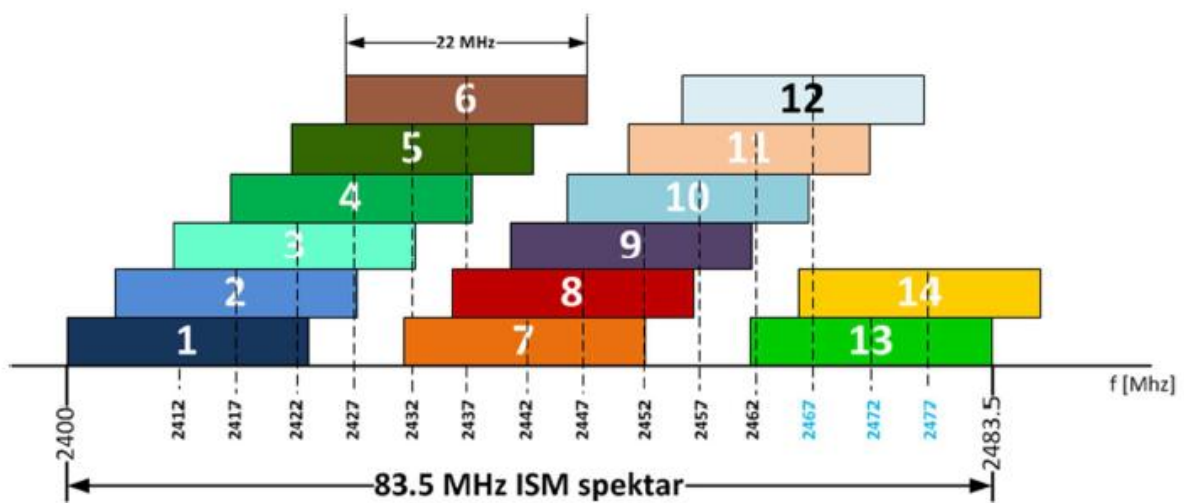
Tablica 3. Pregled karakteristika pojedinih 802.11 standarda. Izvori: [15] i [16].

802.11 Standard	Godina	Frekvencijsko područje	Bandwidth	Modulacija	Transmisijska shema	Brzina
Legacy mode	1997.	2,4 GHz	20 MHz	DBPSK, DQPSK	DSSS/FHSS	do 2 Mbps
802.11a	1999.	5 GHz	20 MHz	BPSK, QPSK, QAM	OFDM	do 54 Mbps
802.11b	1999.	2,4 GHz	20 MHz	CCK, DBPSK, DQPSK	DSSS	do 11 Mbps
802.11g	2003.	2,4 GHz	20 MHz	CCK, BPSK, QPSK, QAM	DSSS/OFDM	do 54 Mbps
802.11n	2009.	2,4/5 GHz	20/40 MHz	BPSK, QPSK, QAM	OFDM/MIMO	do 600 Mbps
802.11ac	2013.	5 GHz	40/80/160 MHz	BPSK/QPSK, do 256 QAM	OFDM/MIMO	do 6,93 Gbps
802.11ax	U razvoju	2,4/5 GHz	20/40/80/160 MHz	1024 QAM	OFDMA/MU-MIMO	do 11 Gbps

2.5. Opis 2.4 GHz pojasa u kontekstu korištenja 802.11 standarda

Kao što je već spomenuto, 2,4 GHz pojas korišten je u 802.11 Legacy, b, g, n i ax standardu. Ovaj frekvencijski pojas se koristi za mnoge svrhe s obzirom da je dio nelicenciranog pojasa korištenog za industrijske, medicinske i znanstvene svrhe, poznatijeg

kao ISM pojas. Problem interferencije u ovom pojasu nastaje zbog toga što ga svakim danom koristi sve više različitih uređaja, a pojas ne može biti širi nego što jest [2]. 2,4 GHz pojas je za korištenje 802.11 mreža podijeljen na 14 preklapajućih kanala. Svaki kanal je širine 22 MHz, te postoji mogućnost proširenja kanala na 40 MHz. Kanali su razmaknuti 5 MHz. Centralna frekvencija 1. kanala je 2.412 GHz, dok je centralna frekvencija 14. kanala 2,484 GHz. Uzmemo li u obzir sve navedeno, jasno je da je jedina mogućnost korištenja nepreklapajućih kanala korištenje samo 1., 6., i 11. kanala. Regulacijama u različitim dijelovima svijeta može biti zabranjeno korištenje nekih kanala. U Europi se, primjerice, ne koristi 14. kanal [4]. Na slici 6 prikazan je raspored kanala 14 kanala u 2.4 GHz pojasu.

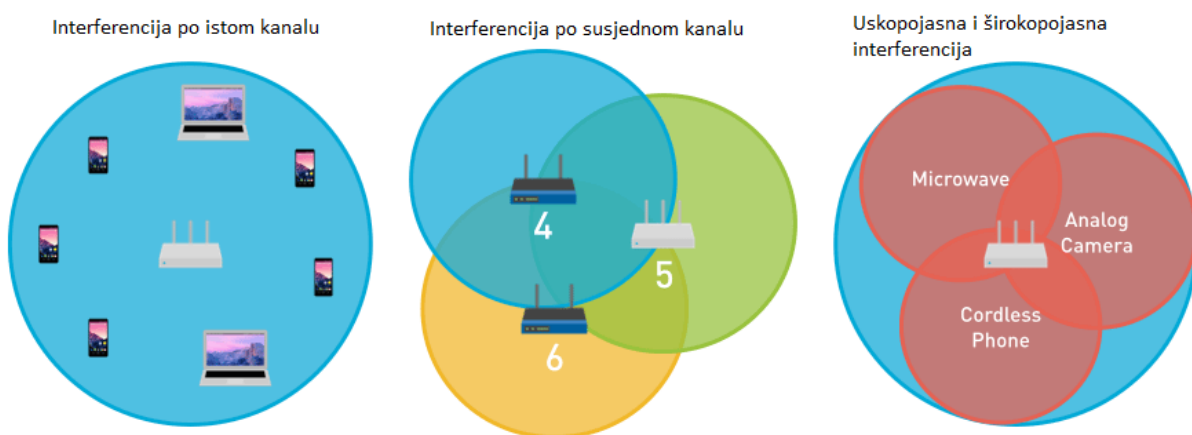


Slika 6. Raspored kanala u 2,4 GHz pojasu, [15].

3. Opis fizičkog i podatkovnog sloja u kontekstu interferencije

3.1. Vrste interferencije

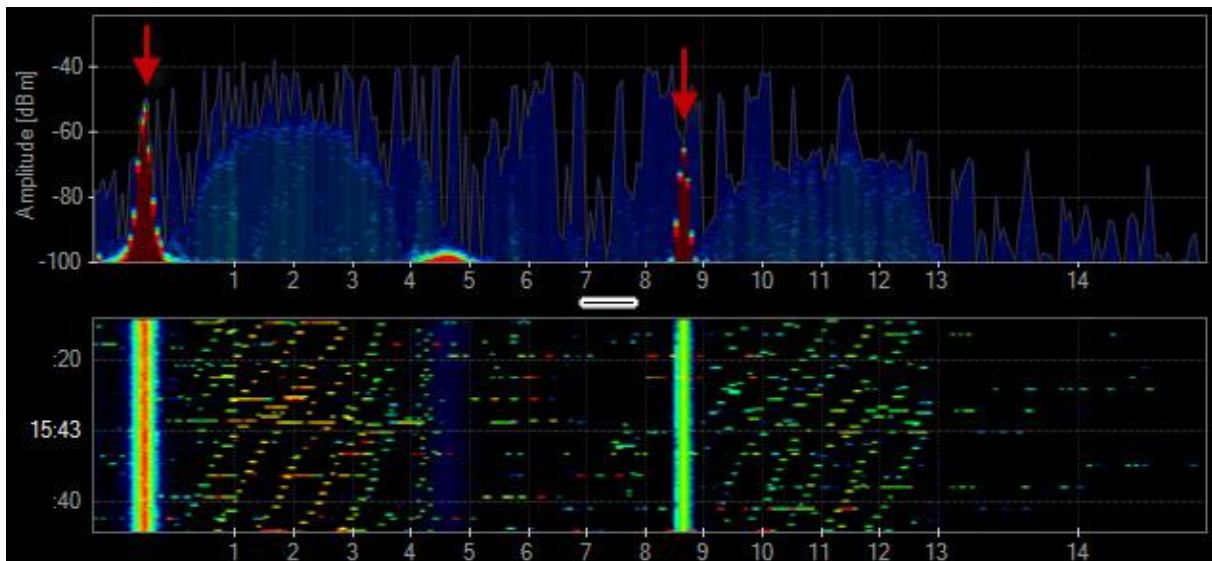
Interferencija kod 802.11 mreža može biti uzrokovana između više uređaja koji koriste ovaj standard, a mogu ju uzrokovati i uređaji koji ne koriste 802.11 standard, ali djeluju u istom frekvencijskom pojasu. U kontekstu ovog rada, biti će opisane vrste i način djelovanja interferencije, samo unutar 2,4 GHz spektra. Slika 7. prikazuje različite vrste interferencije koje će biti opisane u nastavku.



Slika 7. Prikaz pojedinih vrsta interferencije, [17].

3.1.1. Uskopojasna interferencija

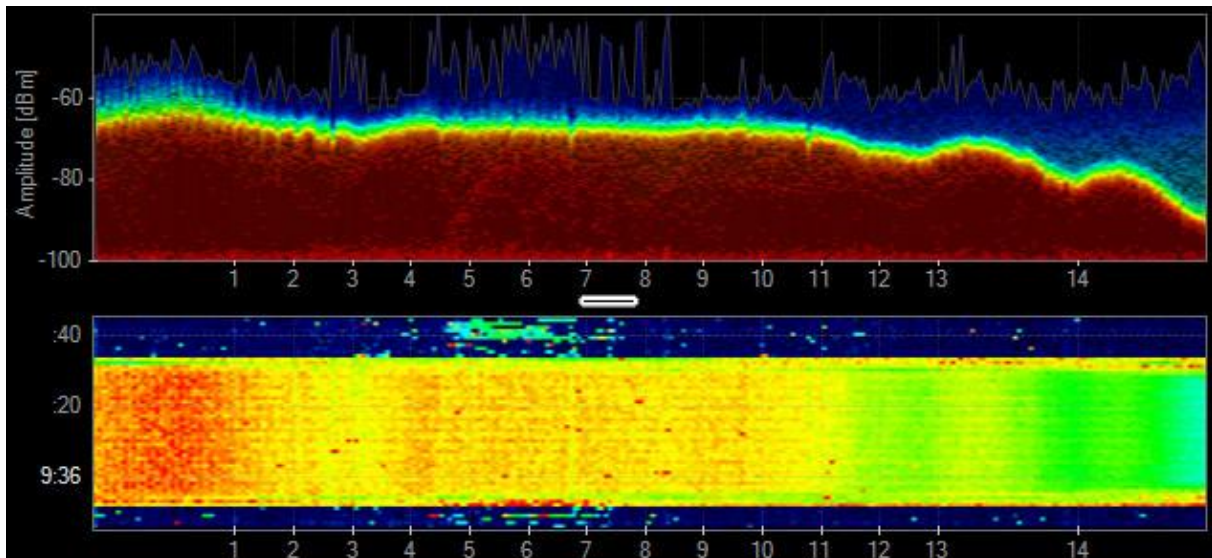
Uskopojasna interferencija (eng. *Narrowband Interference*) nastaje strani kada uskopojasni signali iz različitih izvora privremeno prekinu ili potpuno naruše prijenosni signal mreže, ovisno o njihovoj izlaznoj snazi, širini frekvencijskog spektra i učestalosti pojave. U većini slučajeva narušavaju mali dio kanala, zbog njihovog uskog opsega [3]. Širokopojasnu interferenciju uzrokuju non-Wi-Fi izvori. Ako se pojavi ova vrsta interferencije, tehnologija raspršenog spektra će najvjerojatnije uspješno sama riješiti problem, bez potrebe za manualnom konfiguracijom kanala. U slučaju da problem dosegne šire razmjere, potrebno je pomoću spektralnog analizatora pronaći izvor interferencije. Ukoliko je moguće, izvor je potrebno ukloniti. Ako to nije moguće, izvor interferencije se treba izolirati ili konfigurirati mrežu za učinkovit rad s uskopojasnom interferencijom [3]. Na slici 8. vidimo primjer uskopojasne interferencije u 2,4 GHz spektru, koja je nastala kao posljedica korištenja analognog zvučnika za niske frekvencije (eng. *Subwoofer*) [18].



Slika 8. Prikaz uskopojasne interferencije u 2,4 GHz spektru, [18].

3.1.2. Širokopolasna interferencija

Širokopolasna interferencija (eng. *Wideband Interference*) je uzrokovana širokopolasnim signalima koji interferiraju sa korištenim signalom preko cijelog korištenog frekvencijskog spektra [3]. Širokopolasnu interferenciju uzrokuju non-Wi-Fi izvori. *Bluetooth* tehnologija, propisana u IEEE 802.15 standardu, može biti izvor širokopolasne interferencije. Signal Bluetootha skače preko cijelog 2,4 GHz spektra. Mikrovalna pećnica je također stvara širokopolasnu interferenciju [3]. Problemi sa širokopolasnom interferencijom u 2,4 GHz spektru su puno složeniji jer se signal proteže preko cijelog spektra. Najjednostavnije rješenje kod pojave ovakvog tipa interferencije je, ukoliko je moguće, korištenje standarda koji koristi 5 GHz spektar, ili jednostavno, korištenje uređaja koji stvaraju ovaj tip interferencije u vrijeme dok 802.11 mreža nije korištena. Širokopolasna interferencija može biti namjerno uzrokovana, s dobrim ili lošim namjerama, pomoću uređaja za ometanje signala, poznatijeg pod nazivom *jammer* [18]. Na slici 9. prikazano je djelovanje ovog uređaja u 2,4 GHz spektru.



Slika 9. Prikaz širokopojasne interferencije u 2,4 GHz spektru nastale korištenjem *jammera*, [18].

3.1.3. Interferencija po susjednom kanalu

Susjedni kanali su oni kanali u frekvencijskom spektru koji se nalaze jedan pored drugoga. Kao što je već opisano, ti kanali se uvijek djelomično preklapaju. Interferencija po susjednom kanalu (eng. *Adjacent-Channel Interference*) nastaje onda kada različite pristupne točke djeluju na susjednim kanalima, čime jednim djelom koriste isti frekvencijski spektar. U tom, zajednički korištenom djelu spektra dolazi do interferencije. Posljedica ovakve interferencije je obično značajno smanjenje propusnosti. Rješenje problema interferencije po susjednom kanalu je konfigurirati pristupne točke na način da djeluju na nepreklapajućim kanalima, idealno 1., 6., i 11. kanal koji su kako je već spomenuto nepreklapajući. Drugo moguće rješenje je smanjiti snage pristupnih točaka do razine pri kojoj se pristupne točke neće fizički preklapati [3].

3.1.4. Interferencija po istom kanalu

Interferencija po istom kanalu (eng. *Co-Channel Interference*) nastaje kada više pristupnih točaka 802.11 mreže djeluje na istom kanalu [3]. Prijenos podataka u ovom slučaju funkcionira po principu *slušaj dok drugi govore*. Korištenje do nekoliko pristupnih točaka na istom kanalu ne utječe značajno na parametre prijenosa, i svakako predstavlja manji problem od interferencije po susjednom kanalu, gdje uređaji šalju podatke bez čekanja na svoj red

[15]. Problem nastaje kada imamo previše pristupnih točaka na istom kanalu [17]. Ukoliko dođe do takve situacije, problem se može riješiti po istom principu kao kod rješavanja problema interferencije po susjednom kanalu [3].

3.2. CSMA/CA metoda

CSMA/CA je metoda MAC podsloja podatkovnog sloja 802.11 mreža. U LAN (eng. *LocalArea Network*) mrežama, svi sudionici dijele isti transmisijski medij, sabirnicu. Bežične mreže ne koriste kablove, ali i sa bežičnim lokalnim mrežama, svi spojeni uređaji šalju i primaju podatke koristeći jedan transmisijski medij određenog radio opsega. To iziskuje potrebu za protokolima koji će regulirati korištenje medija u bežičnoj mreži. Najvažnije pravilo u svakodnevnoj komunikaciji je da samo jedna osoba priča u svakom promatranom trenutku. Kada svi pričaju istovremeno, nitko ne može razaznati informacije. Informacije se mogu preklapati i u mreži, baš kao u svakodnevnoj komunikaciji, osim što su u mreži u formi podatkovnih paketa. U mrežama ovu pojavu nazivamo kolizija. Višestruki pristup sa osluškivanjem nosioca i izbjegavanjem kolizije (eng. *CarrierSenseMultiple Access withCollisionAvoidance*), skraćeno CSMA/CA, nastoji istovremeno spriječiti pojavu kolizija i pružiti pravovremeno rješenje u slučaju da ipak dođe do kolizije. Korišteni protokol je također važna komponenta u tom procesu, jer bežične mreže ne mogu u slučaju kolizije slati podatke istim redom, kao što je slučaj kod korištenja kabla. U decentraliziranoj mreži, nužno je da se svi sudionici drže zadanog skupa pravila i organiziraju međusobnu komunikaciju samostalno i između sebe [19].

3.2.1. Usporedba CSMA/CA i CSMA/CD metoda

CSMA/CA prilagođava metodu rješavanja kolizija koja se koristi u polu-dupleks Ethernet mrežama, noseći se na taj način s izazovima koje nose bežične mreže, dok se CSMA/CD (eng. *CarrierSenseMultiple Access withCollisionDetection*) ne bavi izbjegavanjem kolizija na taj način. Umjesto toga, CSMA/CD protokol podrazumijeva da će se kolizije dogoditi, te stvara mehanizam koji upravlja ponašanjem sudionika u mreži u slučaju kolizije, na način da se izbjegne kolizija u prvom sljedećem pokušaju prijenosa. To se postiže postavljanjem arbitrarnog vremenskog perioda nakon neuspjelog prijenosa kada stanice čekaju, kako ne bi ponovno započele s prijenosom u isto vrijeme. Taj arbitrarni

vremenski period naziva se *backoff*. Bežične mreže ne mogu se toliko pomno nadzirati kao one žične. Kolizije se mogu dogoditi jer je prijenos započeo odašiljač van dometa nekog drugog odašiljača, i niti jedan odašiljač ne otkriva pokušaj prijena onog drugog. Dakle, potrebno je smanjiti vjerojatnost da će uopće doći do kolizije. CSMA/CA koristi ranije spomenuti *backoff* ranije u procesu slanja podataka, i to već pri prvom prijenu, na taj način smanjujući vjerojatnost da će sudionici započeti prijenos u isto vrijeme i prouzročiti koliziju. Osnovna ideja iza CSMA/CA protokola jest princip koji se naziva *Listenbefore talk* (LBT) – Slušaj prije nego što progovoriš. To znači da se kanal mora provjeriti prije početka prijena – ako je slobodan, prijenos može započeti. No, to je tek prvi korak. Nakon toga, druge funkcije preuzimaju zadatak osiguravanja da se kolizije u najvećem broju slučajeva izbjegnu [19].

3.2.2. Zahtjev za slanjem i odobrenjeslanja

Zahtjev za slanjem (eng. *Request To Send*), skraćeno RTS, i odobrenje slanja (eng. *Clear To Send*), skraćeno CTS, okviri su dio opcionalne ekstenzije u CSMA/CA koja se naziva RTS/CTS. Ovaj postupak djeluje u suprotnom smjeru od smjera slanja podataka. Ako sudionik utvrdi da je prijenosni medij slobodan, uređaj najprije primatelju šalje RTS okvir koji je svojevrsni zahtjev za slanjem. Ovime uređaj jasno daje do znanja da želi započeti prijenos i zauzet će medij na određeno vrijeme. S druge strane, primatelj pošiljatelju šalje CTS okvir, svojevrsno odobrenje slanja. Kao i sa RTS okvirom, svi ostali sudionici u dometu su na taj način obaviješteni da je medij trenutno zauzet. Tek tada uređaj pošiljatelja započinje prijenos podataka. Za to vrijeme sudionici nisu u mogućnosti otkriti kolizije ili interferenciju, stoga stanica primatelj mora poslati potvrdni okvir ACK (eng. *acknowledge*) kada paket podataka u cijelosti stigne na odredište. Ako se potvrdni okvir ne pojavi, pošiljatelj pretpostavlja da je došlo do neke komplikacije i ponovno šalje paket podataka. U tom slučaju ne mora ponovno čekati i ponavljati cijeli RTS/CTS postupak jer ima preferencijalno pravo (eng. *preferentialright*) na korištenje medija [19].

Nakon slanja paketa podataka, ako se koristi i RTS/CTS procedura, prijemni čvor šalje obavijest. No, i ta stanica čeka izvjesno vrijeme prije daljnjeg slanja. Vrijeme koje je potrebno da se obradi paket podataka naziva se IFS (eng. *InterframeSpace*), a njegovo trajanje ovisi o 802.11 standardu, no obično se kreće između 10 i 16 μ s. Proširivši CSMA/CA protokol s RTS/CTS moguće je smanjiti kolizije već s prvim RTS okvirom. I dalje je moguće da dva

sudionika mreže u isto vrijeme pošalju RTS okvir, no tada ni jednom od njih neće biti vraćen CTS okvir jer nijedan poslani RTS okvir nije ispravno stigao [19].

Dakle RTS/CTS rješava problem skrivenih stanica. Čak i ako se dva pošiljatelja ne prepoznaju jer si nisu u dometu, samo se gubitak RTS okvira riskira, ne i podataka. CSMA/CA tada preuzima djelovanje i prijenos se može normalno nastaviti [19].

Iako RTS/CTS rješava problem skrivene stanice, uzrokuje drugi problem: problem otkrivene stanice. U početku je situacija ista kao i kod problema skrivene stanice: jedna stanica nalazi se između dvije zbog čega one ne mogu doprijeti jedna do druge. Jedan od dva uređaja želi slati podatke stanici u sredini. Tada svaki dostupni čvor primi CTS okvir koji zaustavlja njihovo slanje. Kao što je već utvrđeno, na taj način se izbjegava problem skrivene stanice, no nastaje drugi. Treća stanica je u ovoj situaciji spriječena u svom slanju, čak i ako je neka četvrta stanica odredište pošiljke, tj. ako ona uopće ne bi prouzročila koliziju. Na ovaj način se usporava rad čitave mreže [19].

3.2.3. *CarrierSense*

Osluškivanje nosioca (eng. *Carriersense*), skraćeno je CS. Ideja CS-a jest da sudionici mogu slati podatke kroz mrežu samo ako je prijenosni medij slobodan. Stoga funkcija otkrivanja statusa nosioca (eng. *carrier status detection*) stalno provjerava kanal, te se podaci ne šalju dok kanal nije slobodan [19]. CS je jedan od najvažnijih dijelova modernih 802.11 mreža. 802.11 mreža je u suštini veza višestrukog pristupa. Pristup mediju se raspoređuje po svim stanicama u mreži. Wi-Fi ne koristi nikakve kontrole mehanizama koji određuju koje stanice imaju pristup slanju. Ovakva raspodijeljena priroda Wi-Fi mreže čini carriersense osnovnom komponentom rada i učinkovitosti mreže. CS se sastoji od dvije zasebne funkcije: CCA (eng. *Clear Channel Assessment*) i NAV (eng. *Network Allocation Vector*). Iz šire perspektive, CCA je fizički CS koji „sluša“ primljenu energiju na radijskom sučelju. NAV je virtualni CS kojeg stanice koriste kako bi rezervirale medij za obvezne okvire koji moraju slijediti trenutni okvir. Dok CCA otkriva zauzeti medij za trenutni okvir, NAV označava slobodni medij kao zauzeti kako bi ga rezervirao za prijenos okvira koji slijede odmah iza prijenosa trenutnoga [20].

3.2.3.1. CCA

Procjena dostupnostikanala (eng. *Clear Channel Assessment*), skraćeno CCA, je definiran IEEE 802.11-2007 standardima kao dio PMD (eng. *PhysicalMediumDependant*) i PLCP (eng. *Physical Layer Convergence Protocol*) sloja, koji su podslojevi fizičkog sloja. CCA se sastoji od dvije povezane funkcije, *Carrier Sense*, skraćeno CS i *Energy Detection*, skraćeno ED. CS se odnosi na sposobnost primatelja da otkrije i dekodira preambulu nadolazećeg 802.11 signala. Nadalje, CCA se mora prikazati kao zauzet kad je otkrivena preambula nekog drugog 802.11 signala, te ostati tako prikazan za vrijeme prijenosa okvira koji je određen pripadajućim poljem okvira. Svaki okvir čije se PLCP zaglavlje može dekodirati navodi CCA da javlja zauzetost medija onoliko dugo koliko je potrebno da se okvir prenese.

Polje definiranja duljine (eng. *Lenght*) u zaglavlju PLCP-a ukazuje ili broj mikrosekundi potrebnih za prijenos MPDU (eng. *MAC Protocol Data Unit*) teretu (eng. *Payload*) cjelokupnog okvira, ako se koristi DSSS tehnika proširenog spektra, ili broj okteta koji se prenose u MPDU teretu okvira, u slučaju korištenja OFDM (eng. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). To se onda, u kombinaciji s *Rate* poljem, koje identificira modulaciju koja se koristi za teret, koristi kako bi se odredilo vrijeme prijenosa. U svakom slučaju, *Rate* i *Length* polja daju primatelju informacije koje su potrebne da se demodulira okvir i odredi koliko dugo će medij biti zauzet. PLCP zaglavlje je uvijek kodirano istom brzinom prijenosa tako da prijemne stanice mogu dekodirati te informacije [20].

Wi-Fi uređaji imaju definiran prag detekcije signala (eng. *Signal Detection*), skraćeno SD, kako bi ispravno detektirali ostale Wi-Fi uređaje u okolini i dostupnost kanala. SD prag iznosi 4 dB SNR (eng. *Signal to NoiseRatio*) od donje granice razine šuma³ (eng. *NoiseFloor*) [21]. „Većina Wi-Fi uređaja podržava prijenos 1 Mbps pri snazi zaprimljenog signala -91dBm, a sve manje od toga prijemnik neće moći dekodirati.“ [8] To znači da pri snazi zaprimljenog signala -91 dBm, šum ne smije biti veći od -95 dBm, jer u tom slučaju transmisija neće biti moguća [8].

S obzirom da u okolini postoje i ostali uređaji koji ne koriste 802.11 standard, potrebna je i sposobnost detekcije takvih uređaja. Detekcija energije (eng. *Energy detection*),

³Donja granica razine šuma je važan aspekt rada svakog radio prijemnika, jer daje informaciju koja je minimalna razina signala koja može biti primljena. Donja granica razine šuma može biti definirana kao mjera signala koja je suma svih izvora šuma i neželjenih signala unutar sustava [13].

skraćeno ED, odnosi se na sposobnost primatelja da u frekvencijskom pojasu otkrije energiju koja ne dolazi od strane 802.11, pri čemu se oslanja na donju granicu razine šuma, energiju iz okruženja (eng. *Ambient Energy*), izvore interferencije, te 802.11 prijenose koje je nemoguće identificirati, a koji su možda oštećeni i ne mogu se više dekodirati. Za razliku od CS, koji može odrediti točno vrijeme zauzetosti medija trenutnim okvirom, ED mora provjeravati medij kako bi otkrio je li energija još prisutna. Nadalje, ED zahtijeva unaprijed određeni prag (eng. *Threshold*) koji određuje je li razina otkrivene energije dovoljna da se medij prijavi kao zauzet ili slobodan. Taj prag se naziva *Energy Detection Threshold* ili CCA razina osjetljivosti (eng. *Sensitivity Level*). ED prag je 20 dB viši od SD praga u slučaju korištenja kanala širine 20 MHz [21].

3.2.3.2. *Network allocation vector* (NAV)

Prije nego što uređaj u mreži započne prijenos podataka, prvo šalje informaciju sadržanu u *duration* polju RTS okvira svim sudionicima. Stanica otkriva koliko dugo će mreža biti okupirana prijenosom. Svaki drugi uređaj unosi ovu informaciju u svoj osobni vektor raspodjele mreže (eng. *Network allocation vector*). Na ovaj način, uređaji znaju vrijeme kada će pokušaj slanja biti moguć. NAV kontinuirano prebrojava i ažurira se samo novim informacijama dobivenim od drugih stanica na mreži. NAV može postaviti vrijednost brojača do maksimalno 32767 μ s. To je maksimalno dozvoljeno trajanje zauzimanja medija od strane predajnika. Uređaji u mreži su neaktivni dok ne istekne vrijeme. Ovime se postiže ušteda energije. Tek kada je brojač postavljen na vrijednost 0, uređaji postaju aktivni i provjeravaju mrežu. RTS prilagođava NAV, a potvrđni okvir ACK je signal svima u mreži da postave vrijednost NAV brojača na 0, kada je medij ponovno slobodan [19].

3.2.4. *Multiple Access*

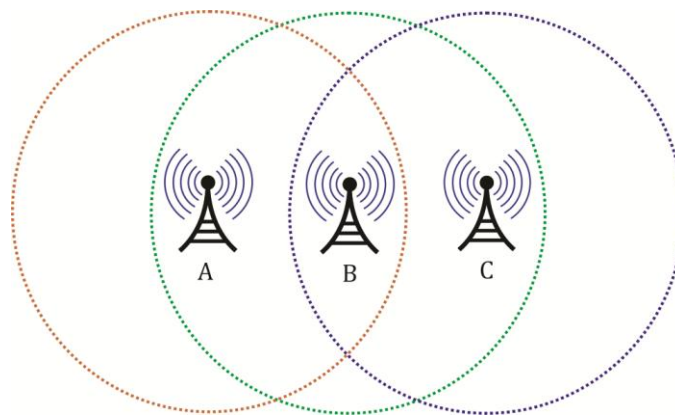
Višestruki pristup (eng. *Multiple Access*), skraćeno MA znači da nekoliko stanica dijele prijenosni medij, stoga je za funkcionalnu komunikaciju ključno da se svaka od njih pridržava protokola vezanja (eng. *binding protocol*) [19].

3.2.5. *Collision Avoidance*

Izbjegavanje kolizije (eng. *Collision Avoidance*), skraćeno CA. Kako bi se izbjegle kolizije, stvara se kompleksni raspored slanja kojim se osigurava da dva ili više sudionika u mreži ne započnu prijenos u isto vrijeme. Ako se i dogodi preklapanje, ono će biti otkriveno i prijenos će započeti ponovno [19].

3.2.6. Problem skrivene stanice

Problem skrivene stanice proizlazi iz tehničkih razlika između žičnih i bežičnih mreža. Stanice u bežičnoj mreži imaju ograničeni domet, tako da se može desiti da se sudionici mreže ne prepoznaju. Moguće je da se dvije stanice ne prepoznaju dok pokušavaju u isto vrijeme komunicirati sa stanicom između njih. Prijenosi se stoga mogu preklapati na prijemnom čvoru, što znači da će se podaci izgubiti. Niti jedan od odašiljača ne može otkriti koliziju i neće pokušati ponovno poslati podatke. Na slici 10 je prikazano kako izgleda problem skrivene stanice. CSMA/CA sam za sebe ne može riješiti ovaj problem, zbog čega je stvorena opcionalna ekstenzija: RTS/CTS (eng. *Request To Send* – Zahtjev za slanjem i *Clear To Send* – Odobrenje slanja) [5].



Slika 10. Problem skrivene stanice, [22].

3.2.7. DCF

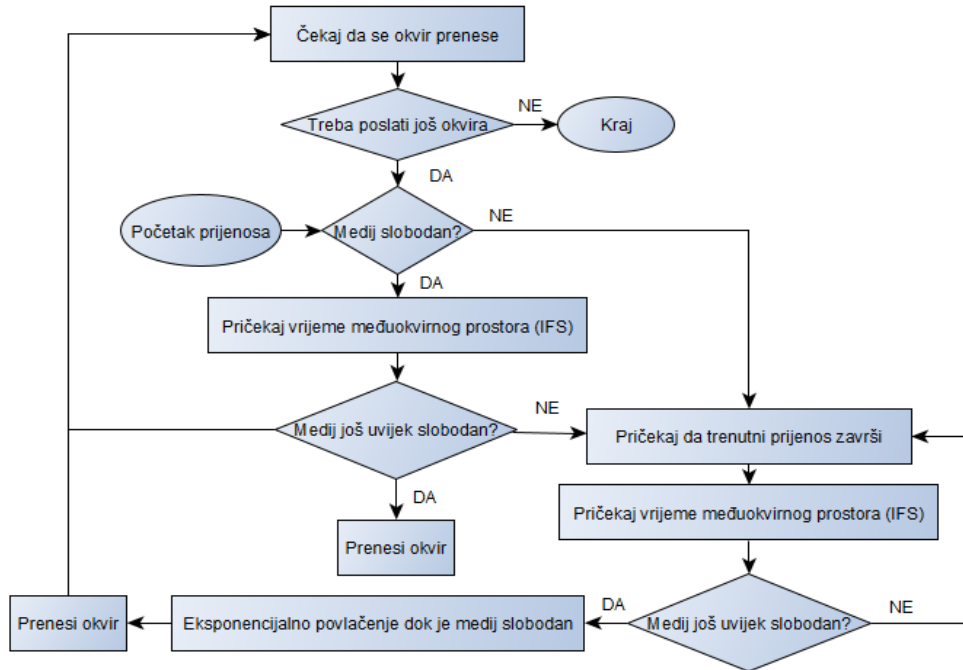
Unutar CSMA/CA, funkcija razdijeljene koordinacije (eng. *Distributed coordination function*), skraćeno DCF, kontrolira vrijeme za koje stanica čeka prije započinjanja prijenaosa u slobodnom mediju. Nadalje, DCF dodjeljuje sudionicima mreže određene periode vremena za obavljanje zadataka za koje su zaduženi, na taj način stvarajući obvezujuću vremensku strukturu rada (eng. *Binding Time Structure*), koja je ključna za izbjegavanje kolizija [19].

Prvi korak u stvaranju obvezujuće vremenske strukture rada mreže podrazumijeva da sudionici promatraju mrežu onoliko dugo kolika je duljina trajanja međuokvirnog prostora (eng. *DCF interframespace*, skraćeno DIFS) te na taj način utvrdili je li medij trenutno slobodan. U slučaju CSMA/CA protokola, medij je slobodan ako nijedna druga stanica u dometu ne prenosi ništa u isto vrijeme. DIFS (međuokvirni prostor) varira između 28 i 50 μ s. Contention window: Radi se o arbitrarnom periodu vremena u kojem stanice čekaju da započnu prijenos, i to nakon što utvrde da je medij slobodan. Ako i usprkos čekanju dođe do kolizije, vrijeme čekanja će se udvostručiti nakon svake kolizije [19].

Vremenski odsječak (eng. *Slot Time*) je vrijeme potrebno da se podaci prenesu kroz maksimalnu duljinu mreže. Za bežične mreže to vrijeme varira između 9 i 20 μ s, a ovisi o standardu koji se koristi [19].

3.2.8. CSMA/CA postupak

Ako sudionici mreže rade prema CSMA/CA protokolu, moraju se držati određenih koraka. Stanice najprije prate stanje prijenosnog medija. U slučaju WLAN-a, one prate stanje radijskog kanala i provjeravaju prenose li podatke ostali sudionici mreže – dok god su ti sudionici vidljivi. Ako se ispostavi da je medij zauzet, aktivira se tzv. *random backoff*: Određuje se arbitrarni vremenski period za vrijeme kojeg stanica čeka da započne novu provjeru stanja medija. Isto se događa i sa svim ostalim stanicama koje u tom trenu ne šalju ni primaju podatke. Arbitrarnost duljine perioda čekanja sprečava sudionike da opet u isto vrijeme krenu provjeravati ili slati podatke. Međutim, to se događa jedino kad stanica već nije obaviještena o zauzetom stanju medija, što obavlja NAV. Ako je mreža slobodna, stanica započinje DCF. Najprije se kanal pomnije provjerava onoliko dugo koliki je DIFS. Ako za to vrijeme kanal ostaje slobodan, opet započinje arbitrarno vrijeme čekanja, te nakon toga započinje razmjena RTS/CTS okvira (ako se ta ekstenzija koristi). Ako je RTS uspješno stigao do primatelja, on šalje CTS okvir time dajući odobrenje pošiljatelju da započne prijenos, te upozorenje svim ostalim sudionicima mreže da se medij trenutno koristi. Oni na to podižu pomoću NAV funkcionalnosti i ponovno čekaju da vide je li medij zauzet. Tek tada pošiljatelj započinje s prijenosom. Kad se prijenos završi, primatelj čeka onoliko dugo koliko traje SIFS te nakon toga odgovara ACK okvirom kako bi potvrdio pošiljatelju da je sve poslano u potpunosti primljeno, te kako bi vratio NAV na 0, time pokazujući da je mreža slobodna za novi prijenos [19]. Slikom 11 pojednostavljeno je prikazan ovaj proces.



Slika 11. Logika slanja MAC okvira. Izvor: [1].

3.2.9. Prednosti i mane CSMA/CA

CSMA/CA rješava neke probleme u bežičnim mrežama koje CSMA/CD ne može riješiti. No, ni taj proces nije bez svojih nedostataka: s jedne strane, neki problemi se nikad ne mogu u potpunosti riješiti, a s druge strane, CSMA/CA uzrokuje i neke nove poteškoće [19]. Tablicom 4. prikazane su prednosti i mane CSMA/CA.

Tablica 4. Prednosti i nedostaci CSMA/CA protokola, [19].

Prednosti	Mane
Pomaže spriječiti kolizije	Dulje vrijeme čekanja
Zahvaljujući povratnim informacijama (feedback), podaci se ne mogu neprimjetno izgubiti	Stvara dodatni promet
Izbjegava nepotrebni podatkovni promet zahvaljujući RTS/CTS ekstenziji	Rješava problem skrivenih stanica, ali samo RTS/CTS ekstenzijom
	Stvara problem otkrivene stanice RTS/CTS ekstenzijom

3.2.10. Protokoli koordiniranog višestrukog pristupa

Budući da postoji mnogo aspekata CSMA/CA postupka koji se mogu unaprijediti, isto se pokušavalo i učiniti, te na taj način otkloniti slabe točke. Razvijena su dva postupka koja oba slijede koncept CSMA, ali se vrlo rijetko koriste iz raznih razloga. Koordinirani protokoli višestrukog pristupa (eng. *Coordinated Multiple Access Protocols*) određuju jednu središnju organizacijsku točku: pravo pristupa individualnih stanica prijenosnom mediju više se ne koordinira između stanica. Umjesto toga, zahtjevi za pristupom prolaze kroz pristupnu točku, primjerice usmjernik [19].

3.2.10.1. Funkcija centralizirane koordinacije (eng. *Point coordination function*)

PCF se dodatno ugrađuje u CSMA/CA te zamjenjuje ili služi kao dodatak na funkciju razdijeljene koordinacije. Pristupna točka tada funkcionira kao koordinator (centralni koordinator) i komunicira pojedinačno sa svakom od stanica u mreži. Pritom specificira adrese stanica unutar mreže. Niti jedna stanica nema pravo pristupa mediju dok se to ne obavi. Centralni koordinator pritom ima upitnu listu (eng. *Polling*) za redoslijed individualnih stanica. *Polling* lista se slaže na način da centralna točka svakog sudionika mreže ispituje ima li podatke za prijenos, ili jednostavno jednog za drugim ili redoslijedom određenim nekim prioritetom. Prije nego pristupna točka započne sa zahtjevom, mora pričekati, kao što je to u slučaju s funkcijom razdijeljene koordinacije. Međuokvirni prostor PCF-a (eng. *PCF interframe space*) je za jedan vremenski odsječak kraći od DIFS-a i ima veći prioritet, tako da se PCF odvija prije funkcije razdijeljene koordinacije.

Ova metoda je jedan od načina rješavanja problema skrivene stanice: potrebni domet se može upola smanjiti ako je pristupna točka na dobroj poziciji. PCF postiže da se sudionici međusobno ne moraju prepoznati. Pristupna točka se samo treba postaviti u sredinu tako da može dohvatiti sve stanice u zvjezdastoj topologiji. Međutim, funkcija centralne koordinacije stvara jedan drugi problem: kako bi koristili tu funkciju, svi sudionici u mreži moraju biti u mogućnosti koristiti PCF, što nije uvijek slučaj. Kad uređaji ne sudjeluju u PCF procesu, oni i njihovi zahtjevi za prijenosom se jednostavno ignoriraju. Zbog toga je razvijen izmjenični sustav (eng. *alternating system*): PCF i funkcija razdijeljene koordinacije se izmjenjuju kako bi svim uređajima u mreži dali priliku da odašilju podatke. Pristupna točka za to pruža dva vremenska perioda. Prvo, postoji razdoblje slobodnog natjecanja (eng. *contention free period*)

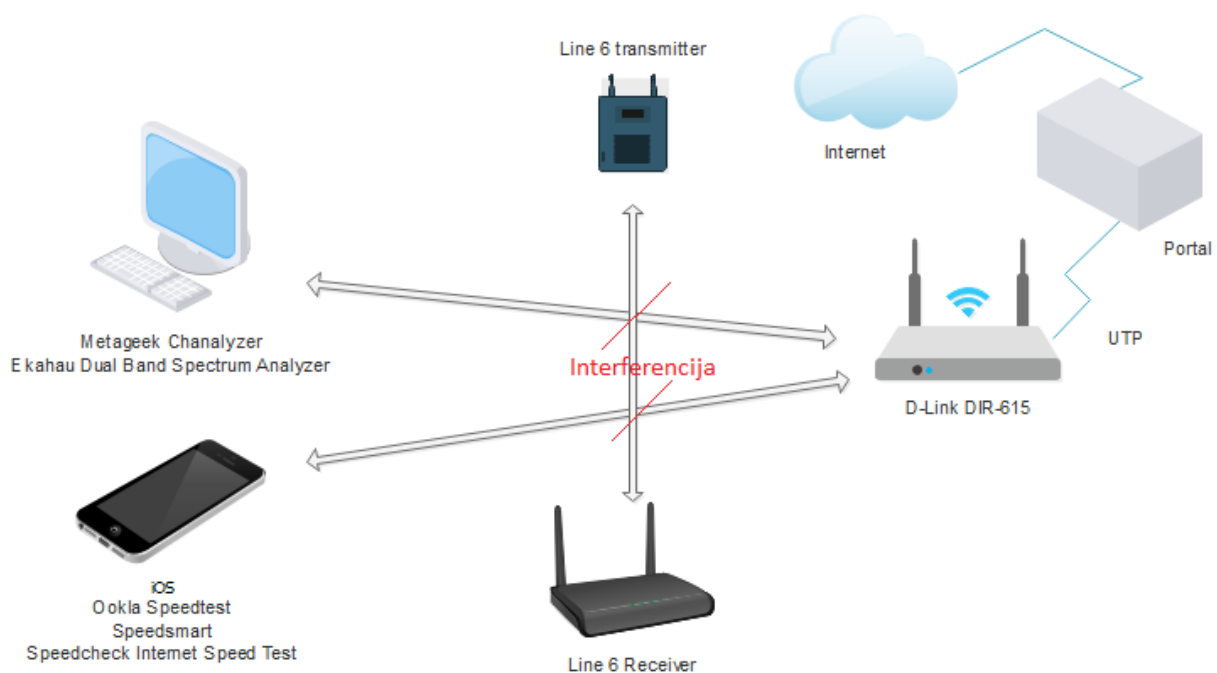
za vrijeme kojeg PCF osigurava koordinirani višestruki pristup. Drugo, postoji *contention period* (CP), u kojem se aktivira funkcija razdijeljene koordinacije i kolizije se izbjegavaju uz pomoć CSMA/CA. Ova izmjena se započinje slanjem signalnog okvira (eng. *beaconframe*), kojeg koordinator šalje svim stanicama [19].

3.2.10.2. Pristup kanalu kontroliran hibridno koordiniranom funkcijom (eng. *Hybrid coordination function controlled channel access - HCCA*)

Druga metoda s protokolima koordiniranog višestrukog pristupa iz naslova je snažno okrenuta ka PCF metodi. No HCCA drugačije regulira izmjenu tzv. *contention* i *contention free* perioda (CP i CFP). Umjesto izmjeničnog sustava, HCCA daje pristupnoj točki mogućnost da se u bilo kojem trenutku prebaci s CP na CFP. Ta opcija se naziva fazom kontroliranog pristupa (eng. *controlledaccessphase – CAP*). Tokom tog perioda, hibridni koordinator, koji je i u ovom slučaju pristupna točka, koordinira tko smije i kada slati podatke, te tu odluku donosi prema prioritetu. Koordinator određuje prioritet prema klasama prometa (eng. *trafficclasses*), koje specificiraju stanice. Na ovaj se način drugačiji prioriteti mogu dodijeliti drugačijim klasama. HCCA period slanja postaje prilika slanja (eng. *transmitopportunity – TXOP*). Tokom te faze pošiljatelji mogu poslati koliko god okvira mogu, ne samo jedan. Ako je okvir prevelik za taj period, mora se razlomiti i poslati u dijelovima. Na ovaj način se sprječava sporije stanice da usporavaju one brže. Tijekom CP-a primjenjuje se pojačani distribuirani pristup kanalu (eng. *enhanced distributed channel access – EDCA*), iza kojeg također postoji određeni redoslijed prema prioritetu. No, taj redoslijed u ovom slučaju ne organizira središnja točka, već se stanice sudionice samo poredaju kao s DCF. Čvorovi koji imaju važne podatke za prijenos ne trebaju čekati čitavi period DIFS-a. Umjesto toga, takve stanice pričekaju samo za vrijeme AIFS (eng. *arbitration interframe space*) [19].

4. Metodologija mjerenja

Mjerenja su provedena u Laboratoriju za mjerenjemodeliranje i optimiziranje informacijsko-komunikacijskih mreža⁴ i usluga na Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Motivacija za provedbu izvršenih mjerenja bile su prethodno uočene smetnje pri radu bežičnog mikrofonskog sustava u urbanim okruženjima. U tu svrhu, proveden je niz mjerenja kako bi se utvrdilo dolazi li zbilja do interferencije zbog 802.11 mreže. S obzirom da se u kontekstu 802.11 mreže bežični mikrofonski sustav tretira kao izvor interferencije, mjerenja koja su provedena ispituju utjecaj bežičnog mikrofonskog sustava na parametre 802.11 mreže, a ne obratno. U ovom poglavlju, biti će opisan način na koji su mjerenja provedena, korištene komponente, aplikacije i uvjeti u kojima su mjerenja provedena. Svrha provedenih mjerenja bila je ispitati koliko zbilja jedan bežični mikrofonski sustav koji radi u 2,4 GHz pojasu može utjecati na propusnost i druge parametre u 802.11 mreži, koja radi u i istom pojasu. Na slici 12 prikazana je arhitektura mreže prilikom mjerenja.



Slika 12. Arhitektura lokalne mreže prilikom mjerenja utjecaja interferencije.

⁴ Laboratorij je dio Zavoda za informacijsko-komunikacijski promet na Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu.

4.1. Uredaji

4.1.1. Bežični mikrofonski sustav

Tokom mjerenja korišten je *Line6 Relay G30* bežični mikrofonski sustav. Sustav se koristi za bežični prijenos zvuka glazbenih instrumenata, u rasponu od 10 do 20000 HZ, kako bi, isto kao i 802.11 standard, smanjio potrebu za korištenjem kablova. Sustav se sastoji od predajnika i prijemnika koji su prikazani na slici 13. Predajnik se napaja preko dvije AA baterije, a prijemnik preko utičnice. Sustav ima mogućih 6 kanala rada. Svaki od kanala nalazi se unutar 2,4 GHz pojasa.



Slika 13. Prijemnik i predajnik bežičnog mikrofonskog sustava, [23].

4.1.2. Usmjernik

Tokom mjerenja korišten je usmjernik *D-Link DIR-615*. Usmjernik podržava IEEE 802.11 b, g i n standarde. Radi u 2,4 GHz pojasu, točnije od 2,4 do 2,497 GHz. Ima dvije fiksne omni-direkionalne antene dobitka 2 dBi. Uređaj je certificiran od strane Wi-Fi Alliance organizacije [24]. Prikaz uređaja nalazi se na slici 14.



Slika 14. Usmjernik *D-Link DIR-615*, [24].

4.1.3. Analizator spektra

Kako bi bilo vidljivo što se dešava u frekvencijskom spektru, korišten je *EkaHau dual band USB spectrum analyzer*, vidljiv na slici 15. Ima domet -100 do -6.5 dBm. Detektira pojave unutar zračnog sučelja u 2,4 i 5 GHz frekvencijskim područjima [25].



Slika 15. *EkaHau dual band USB spectrum analyzer*, [25].

4.2. Programska podrška

4.2.1. Programska podrška za analizu spektra

Kako bi podatke dobivene od prethodno spomenutog analizatora spektra mogli vidjeti u samom spektru, korištena je *MetageekChanalyzer*⁵ programska podrška. U slijedećem poglavlju, pri prikazu rezultata mjerenja, dio rezultata biti će prikazan uz pomoć sučelja ovog alata.

4.2.2. Programska podrška za mjerenje parametara 802.11 mreže

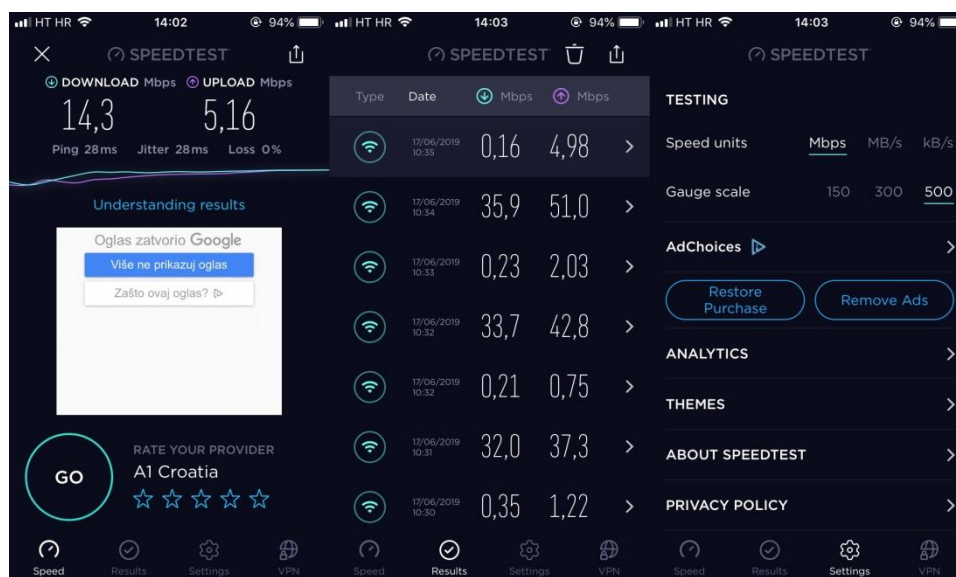
U svrhu izmjere mrežnih parametara, korištene su 3 mobilne aplikacije. S obzirom da su mjerenja parametara mreže provedena na terminalnom uređaju koji radi na iOS

⁵<https://www.metageek.com/products/wi-spy/>

operativnom sustavu, odabrane su i aplikacije koje rade na iOS operativnom sustavu. Izabrane su mobilne aplikacije sa najvišim ocjenama samih korisnika.

4.2.2.1. *Speedtest by Ookla*

Pomoću *Speedtest by Ookla*⁶ aplikacije, moguće je izmjeriti *Upload*⁷, *Download*⁸, *Ping*⁹, i postotak izgubljenih paketa. Ima mnoge dodatne opcije poput prikaza povijesti mjerenja i promjene mjernih jedinica. Na slici 16. prikazano je sučelje same aplikacije.



Slika 16. Sučelje *Speedtest by Ookla* aplikacije.

4.2.2.2. *Speedcheck Internet Speed Test*

Pomoću *Speedcheck Internet Speed Test*¹⁰ aplikacije, u osnovnoj besplatnoj verziji moguće je izmjeriti *Upload*, *Download* i *Ping*. Ova aplikacija također sprema povijest rezultata, nedostatak joj je velik broj reklama u besplatnoj verziji, zbog čega je slikom 17 prikazano sučelje preuzeto sa [26].

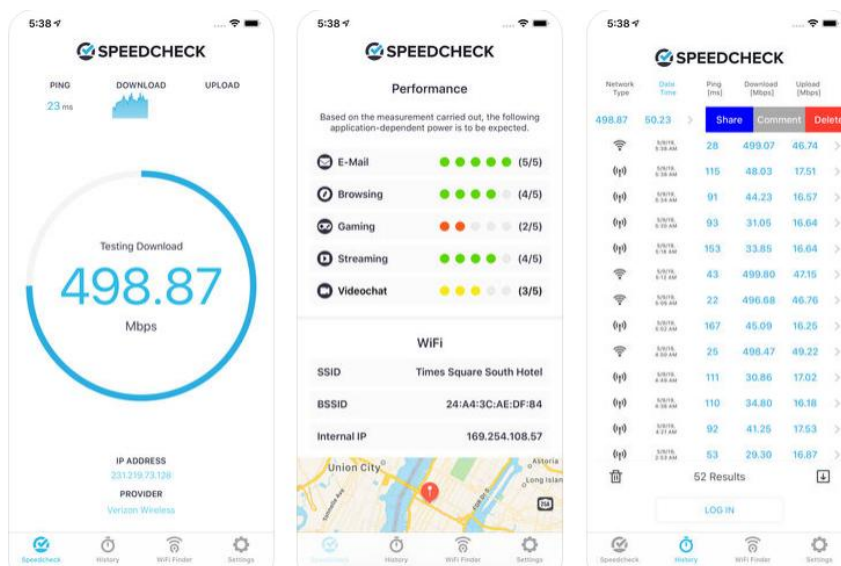
⁶<https://www.speedtest.net/apps/ios>

⁷Brzina kojom uređaji šalju podatke na mrežu [29].

⁸Brzina kojom mreža šalje podatke na uređaj [29].

⁹Vrijeme koje je potrebno da *host* odreagira na signal koji je poslao klijent [29].

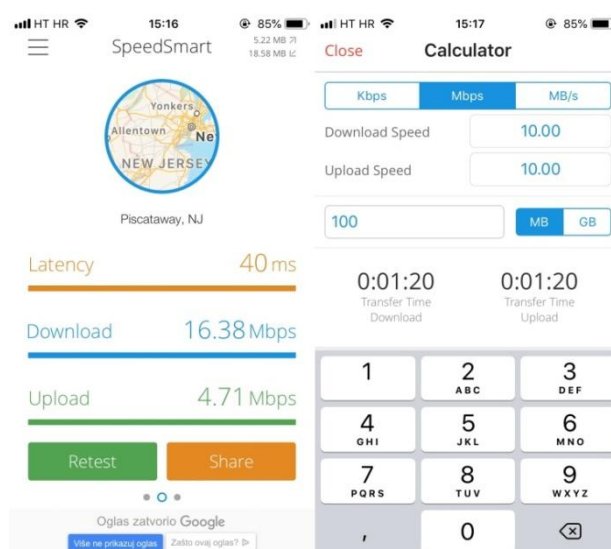
¹⁰<https://www.speedcheck.org/>



Slika 17. Sučelje *Speedcheck Internet Speed Test* mobilne aplikacije, [26].

4.2.2.3. *SpeedSmart*

Pomoću *SpeedSmart*¹¹ aplikacije moguće je izmjeriti latenciju, *Download* i *Upload*. Sadrži koristan kalkulator pomoću kojega se može izračunati vrijeme preuzimanja i slanja pri definiranoj brzini. Kao i ostale aplikacije sprema rezultate mjerenja. Na slici 18. je prikazano sučelje aplikacije.



Slika 18. Sučelje *SpeedSmart* aplikacije.

¹¹<https://speedsmart.net/>

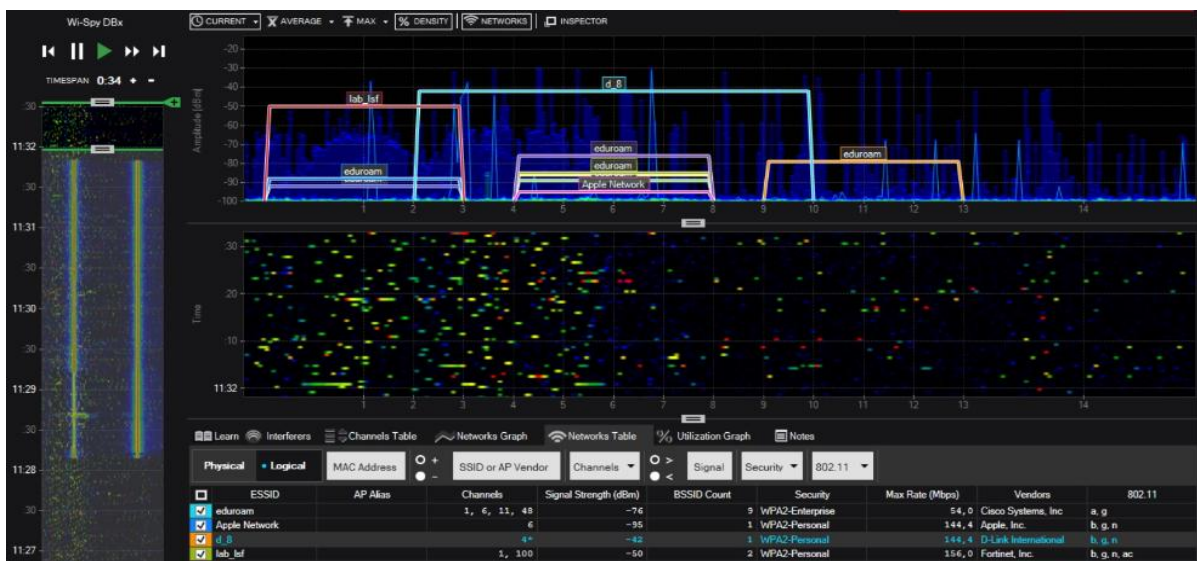
4.3. Način provođenja mjerenja

Prethodno spomenut usmjernik je spojen UTP kablom na posebnu mrežu, s mogućnošću pristupa Internetu. Usmjernik je radio u *b/g/n mixed* načinu rada. Mreža na kojoj je radio nazvana je d_8. Mjerenje je provedeno u 2,4 GHz pojasu. Korištena mreža konfigurirana je na 6. kanal pri prvom skupu mjerenja, a na 4. kanal pri drugom skupu mjerenja. Bežični mikrofonski sustav je tokom oba skupa mjerenja bio isto konfiguriran, sa dvije centralne frekvencije, od kojih se prva nalazi blizu centralne frekvencije 4. kanala, a druga između centralnih frekvencija 9. i 10. kanala. Provedeno je ukupno 360 mjerenja, 180 na 4. kanalu i 180 na 6. kanalu. Na svakom od kanala, po 60 mjerenja je provedeno u svakoj od 3 prethodno navedene aplikacije. Mobilni terminalni uređaj, na kojemu su radile aplikacije za mjerenje parametara mreže, bio je spojen na mrežu preko prethodno spomenutog usmjernika. Analizator spektra bio je uključen u prijenosno računalo sa instaliranim alatom *MetageekChanalyzer*. Mjerenja su provedena na način da su se mjerili parametri mreže dok je bežični mikrofonski sustav bio isključen, zatim neposredno nakon toga dok je bio uključen. U svrhu dobivanja preciznijih rezultata, mjerenja su provedena jedna za drugim, čime je postignuto da se u gotovo istom vremenskom periodu vidi točno koliko bežični mikrofonski sustav utječe na parametre relativno stabilne mreže. Tokom mjerenja promatrana je i razlika u iskorištenosti zračnog sučelja (eng. *Utilization*).

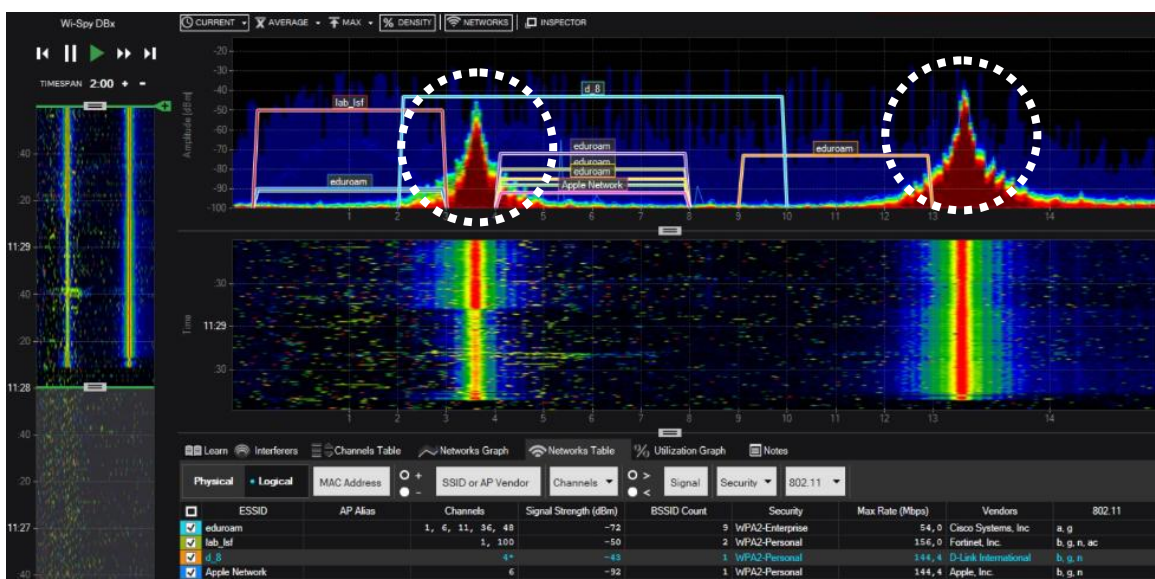
5. Prikaz rezultata mjerenja

5.1. Rezultati mjerenja na 4. kanalu

Kao što je već spomenuto, rezultati su dobiveni mjerenjem u 3 različite aplikacije. U nastavku slijede rezultati dobiveni tim mjerenjima, po pojedinim aplikacijama, na 4. kanalu. Prikaz izgleda i stanje 2,4 GHz frekvencijskog spektra tokom mjerenja bez bežičnog mikrofonskog sustava prikazan je na slici 19, a prikaz i stanje istog spektra tokom mjerenja sa uključenim bežičnim mikrofonskim sustavom je na slici 20.



Slika 19. 2,4 GHz spektar tokom mjerenja bez bežičnog mikrofonskog sustava na 4. kanalu.



Slika 20. 2,4 GHz spektar tokom mjerenja sa bežičnim mikrofonskim sustavom na 4. kanalu.

5.1.2. Speedtest by Ookla

U tablici 5. prikazani su rezultati mjerenja na 4. kanalu, korištenjem *Speedtest by Ookla* aplikacije. Mjerena je duljina *Pinga* u milisekundama, *Download* i *Upload* u Mbps, *Jitteru* milisekundama i postotak izgubljenih paketa. U tablici 6. prikazani su izmjereni statistički podaci temeljeni na podacima iz tablice 5.

Tablica 5. Rezultati mjerenja na 4. kanalu, dobiveni korištenjem *Speedtest by Ookla* aplikacije.

	Ping [ms]		Download [Mbps]		Upload [Mbps]		Jitter [ms]	
	Prije	Poslije	Prije	Poslije	Prije	Poslije	Prije	Poslije
1.	4	3	27,4	0,03	51,5	1,06	10	1,8
2.	3	3	29,3	0	50,4	0,83	0,49	1,3
3.	3	3	38,5	0,14	52,8	0,79	1,1	2,5
4.	3	3	18,8	0,03	50,04	2,22	1,1	1,9
5.	4	7	35	0	54	0	0,49	1,9
6.	3	134	33,3	0	53,2	0	0,96	300
7.	3	4	36,4	0,18	55,1	0,21	0,97	10
8.	2	3	43,2	0,25	54,1	0,24	1,3	2,6
9.	3	3	37,7	0,41	48,2	0,63	0,43	1
10.	2	3	43,4	0,35	53,8	1,45	0,36	0,73
11.	2	3	42,4	0,54	56,9	1,36	0,62	3,6
12.	2	2	40,6	0,5	43,8	5,36	0,99	1,6
13.	2	4	38,8	0,69	56,7	2,45	0,31	0,92
14.	3	3	33,1	0,37	56,9	3,68	1,2	1,1
15.	3	3	44,6	0,34	54,3	1,59	0,46	2,7
16.	2	4	33,2	0,3	55,8	2,57	1,9	0,92
17.	2	3	38,9	0,31	55,3	1,58	0,25	0,73
18.	3	3	39,2	0,48	55,3	2,14	1,3	1,3
19.	2	3	37,8	0,34	57	2,05	0,46	2,9
20.	2	3	43	0,49	53,8	1,49	0,77	2,1
21.	2	3	42,9	0,69	55	7,17	0,38	1,1
22.	2	2	40,8	0,51	55,9	0,45	0,6	1,4
23.	30	3	14,3	0,54	55,4	8,14	7	1
24.	4	2	40,2	0,69	49,3	6,71	0,79	0,59
25.	2	2	42,5	0,25	53,3	2,09	0,61	1,6
26.	2	3	37,9	0,32	57,4	0,7	1,5	1,8
27.	2	3	41,1	0,35	49,4	1,22	1,1	0,68
28.	2	2	32	0,21	37,3	0,75	1,3	0,86
29.	2	0,23	33,7	0,23	42,8	2,03	0,33	1,33
30.	2	2	35,9	0,16	51	4,98	0,77	0,73

Tablica 6. Statistički podaci temeljeni na rezultatima mjerenja korištenjem *Speedtest by Ookla* aplikacije.

		Prosjek	Standardna devijacija	Varijanca	Koeficijent varijacije
Ping [ms]	prije	3,43	5,06	25,63	1,47
	poslije	7,31	23,95	573,69	3,28
Download [Mbps]	prije	36,53	6,98	48,75	0,19
	poslije	0,32	0,21	0,04	0,64
Upload [Mbps]	prije	52,52	4,64	21,57	0,09
	poslije	2,20	2,17	4,71	0,99
Jitter [ms]	prije	1,33	2,03	4,12	1,53
	poslije	11,76	54,47	2.966,72	4,63

5.1.3. *Speedcheck Internet Speed Test*

U tablici 7. prikazani su rezultati mjerenja na 4. kanalu, korištenjem *Speedcheck Internet Speed Test* aplikacije. Mjerena je duljina *Pinga* u milisekundama, i *Download* i *Upload* u Mbps. U tablici 8. prikazani su izmjereni statistički podaci temeljeni na podacima iz tablice 7.

Tablica 7. Rezultati mjerenja na 4. kanalu, dobiveni korištenjem *Speedcheck Internet Speed* Test aplikacije.

	Ping [ms]		Download [Mbps]		Upload [Mbps]	
	Prije	Poslije	Prije	Poslije	Prije	Poslije
1.	9	35	6,33	2,37	12,85	22,01
2.	148	11	2,37	0,04	20,24	2,24
3.	11	10	24,2	0	53,97	0,86
4.	5	10	10,83	0	40,26	0,77
5.	14	20	34,28	0	53,33	0
6.	6	11	32,7	0	52,8	1,56
7.	17	10	10,39	0	10,92	0
8.	16	10	13,15	0	51,63	0,2
9.	10	5	30,34	0	50,8	1,06
10.	14	14	35,35	0,17	42,43	0,8
11.	23	9	31,18	0,19	49,49	1,26
12.	5	5	33,46	0	54,31	0
13.	5	10	38,54	0	52,79	0
14.	5	5	39,74	0	50,6	0,23
15.	12	6	36,33	0,13	53,48	0,4
16.	4	11	36,27	0,06	55,94	0
17.	10	5	36,97	0,17	54,42	1,19
18.	6	6	33,25	0,24	50,05	0
19.	5	14	42,35	0,16	54,48	0,85
20.	4	4	39,65	0,16	56,63	0,78
21.	4	4	42,27	0,11	54,99	0,16
22.	11	5	36,96	0,27	56,1	0,58
23.	5	10	41,02	0,38	54,69	0,44
24.	15	5	31,48	0,08	55,01	1,35
25.	5	121	39,9	0,32	56,49	0
26.	11	4	36,36	0,13	51,14	0
27.	4	5	35,3	0,03	54,9	0,49
28.	14	11	38,72	0,33	52,48	1,35
29.	5	5	40,59	0,23	57,31	1,51
30.	11	10	35,28	0,1	53,99	0

Tablica 8. Statistički podaci temeljeni na rezultatima mjerenja korištenjem *Speedcheck* *Internet Speed Test* aplikacije.

		Prosjek	Standardna devijacija	Varijanca	Koeficijent varijacije
Ping [ms]	prije	13,80	25,81	666,30	1,87
	poslije	13,03	21,29	453,34	1,63
Download [Mbps]	prije	31,52	11,22	125,83	0,36
	poslije	0,19	0,43	0,18	2,26
Upload [Mbps]	prije	48,95	12,26	150,35	0,25
	poslije	1,34	3,95	15,61	2,96

5.1.4. *SpeedSmart*

U tablici 9. prikazani su rezultati mjerenja na 4. kanalu, korištenjem *SpeedSmart* aplikacije. Mjerena je duljina latencije u milisekundama, i Download i Upload u Mbps. U tablici 10 prikazani su izmjereni statistički podaci temeljeni na podacima iz tablice 9.

Tablica 9. Rezultati mjerenja na 4. kanalu, dobiveni korištenjem *SpeedSmart* aplikacije.

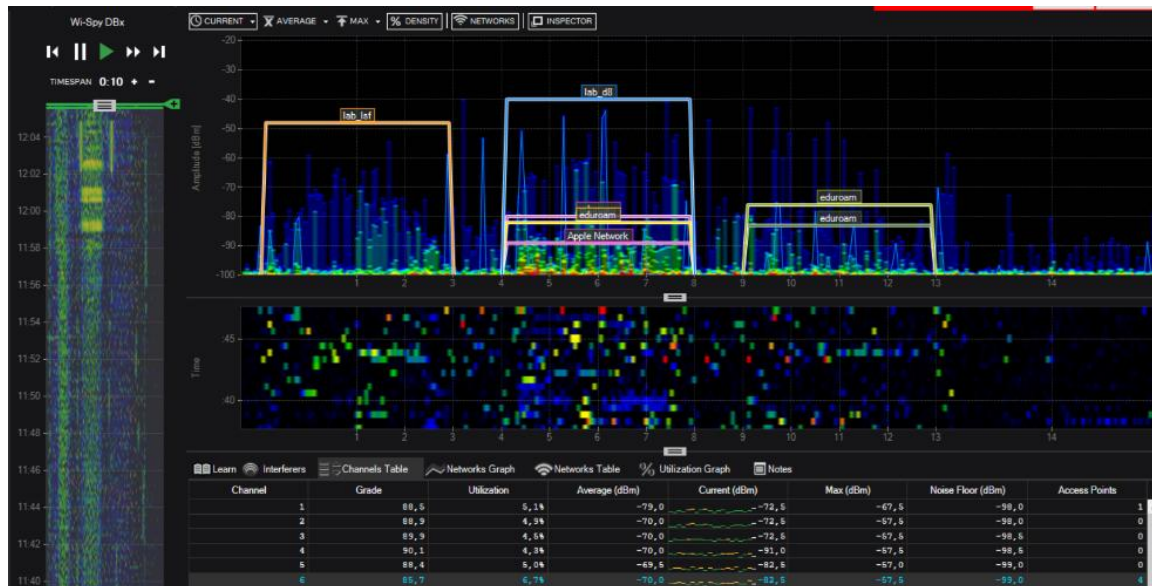
	Latency [ms]		Download [Mbps]		Upload [Mbps]	
	Prije	Poslije	Prije	Poslije	Prije	Poslije
1.	10	8	31,25	0,15	47,63	1,28
2.	7	9	30,37	0,3	43,15	2,79
3.	8	6	11,61	1,37	40,27	1,54
4.	9	7	25,97	0,25	47,05	0,73
5.	6	9	25,47	1,91	41,13	0
6.	746	768	25,87	0	26,62	0
7.	745	754	35,45	0	51,34	0
8.	9	7	41,78	0,44	52,25	4,94
9.	7	8	41,54	0,38	55,54	2,13
10.	11	9	45,55	0,32	55,18	0
11.	9	11	41,56	0,23	54,32	1,83
12.	7	7	44,42	3,19	55,6	0
13.	8	6	42,64	2,96	54,66	1,34
14.	9	7	38,36	3,09	52,15	0
15.	8	8	35,12	2,72	9,15	3,11
16.	8	8	46,14	2,28	55,01	1,92
17.	8	8	42,68	2,38	53,62	2,58
18.	7	10	42,31	2,86	54,03	1,48
19.	9	9	40,61	0,6	55,66	1,66
20.	8	9	36,39	1,77	54,12	4,98
21.	7	13	43,38	2,78	54,86	5,73
22.	9	14	37,36	0,21	53,79	0
23.	8	7	38,88	0,14	55,82	3,11
24.	11	7	41,76	0,16	53,64	0,58
25.	30	751	8,2	0,19	9,55	1,48
26.	8	9	43,35	0,33	54,83	0,67
27.	6	12	33,28	0,96	49,95	0,93
28.	9	15	34,1	0,11	53,38	0,96
29.	10	8	36,83	0,03	52,14	1,25
30.	9	9	34,55	1,22	40,87	0,52

Tablica 10. Statistički podaci temeljeni na rezultatima mjerenja korištenjem *SpeedSmart* aplikacije.

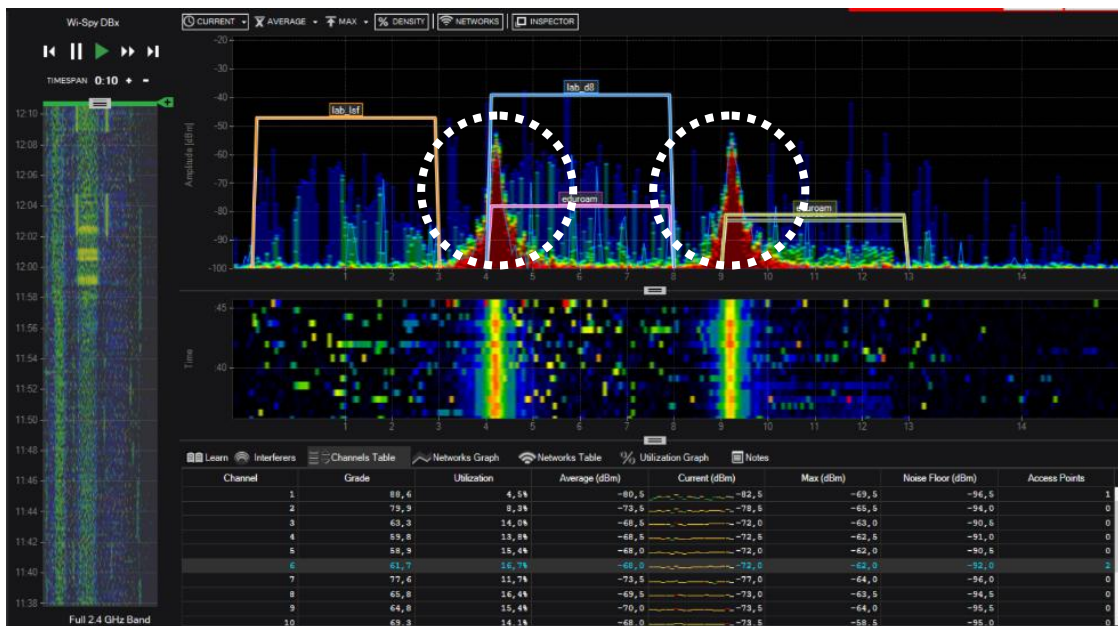
		Prosjek	Standardna devijacija	Varijanca	Koeficijent varijacije
Latency [ms]	prije	58,20	186,87	34.92	3,21
	poslije	83,77	228,50	52.21	2,73
Download [Mbps]	prije	35,89	9,13	83,37	0,25
	poslije	1,11	1,14	1,31	1,03
Upload [Mbps]	prije	47,91	12,33	151,97	0,26
	poslije	1,58	1,55	2,41	0,98

5.2. Rezultati mjerenja na 6. kanalu

Rezultati su, kao i pri mjerenju na 4. kanalu, dobiveni mjerenjem u 3 različite aplikacije. U nastavku slijede rezultati dobiveni tim mjerenjima, po pojedinim aplikacijama, na 6. kanalu. Prikaz izgleda i stanje 2,4 GHz frekvencijskog spektra tokom mjerenja bez bežičnog mikrofonskog sustava prikazan je na slici 21., a prikaz i stanje istog spektra tokom mjerenja sa uključenim bežičnim mikrofonskim sustavom je na slici 22.



Slika 21. 2,4 GHz spektar tokom mjerenja na 6. kanalu, bez bežičnog mikrofonskog sustava.



Slika 22. 2,4 GHz spektar tokom mjerenja na 6. kanalu, sa uključenim bežičnim mikrofonskim sustavom.

5.2.1. Speedtest by Ookla

U tablici 11. prikazani su rezultati mjerenja na 6. kanalu, korištenjem *Speedtest by Ookla* aplikacije. Mjerena je duljina *Pinga* u milisekundama, *Download* i *Upload* u Mbps, *Jitteru* milisekundama i postotak izgubljenih paketa. Također, s obzirom da je ovo bilo prvo mjerenje, mjerila se i iskorištenost zračnog sučelja, koja kasnije nije uvrštavana jer je vrlo jasno utvrđeno da bežični mikrofonski sustav nije imao utjecaja na taj parametar. U tablici 12. prikazani su izmjereni statistički podaci temeljeni na podacima iz tablice 11.

Tablica 11. Rezultati mjerenja na 6. kanalu, dobiveni korištenjem *Speedtest by Ookla* aplikacije.

	Ping [ms]		Download [Mbps]		Upload [Mbps]		Jitter [ms]	
	Prije	Poslije	Prije	Poslije	Prije	Poslije	Prije	Poslije
1.	2	3	22,8	1,38	19,1	6,75	1,4	1,2
2.	3	4	21,6	2,55	17,9	6,17	0,87	3,9
3.	2	3	19,9	2,47	15,9	6,61	1,1	0,84
4.	2	6	20,1	1,04	12,9	0,71	1,3	17
5.	2	6	17,3	1,08	15,2	5,93	2,7	2,2
6.	2	5	20,4	0,43	16,3	0,66	0,7	46
7.	2	4	21,1	1,01	15,3	6,04	1,5	5,1
8.	3	5	21,7	0,17	17,8	0,38	0,98	1,3
9.	2	3	22,8	3,45	15,1	5,45	5,4	1,2
10.	2	3	19,4	2,53	12,2	5,48	0,95	0,75
11.	3	4	20,9	0,96	10,3	5,84	0,74	0,54
12.	3	3	21,6	0,59	17,1	5,29	0,51	1,8
13.	3	2	19,5	2,53	11,8	5,64	0,77	2,5
14.	3	6	15,6	1,57	9,52	0,43	3,3	360
15.	3	3	14,8	1,18	6,2	0,5	0,97	0,82
16.	2	2	17,9	0,79	10,7	0,89	1,3	1,3
17.	2	4	20,1	1,26	8,85	0,58	1,7	3
18.	2	3	13,2	1,54	7,55	0,25	1,6	1,4
19.	3	5	9,77	0,99	13,6	3,61	2,4	1,6
20.	3	3	14,3	0,44	17,1	0,59	0,71	3,9
21.	4	3	20,5	2,68	13,9	2,71	410	0,84
22.	3	4	19,7	3,1	11,4	2,36	2,5	1,7
23.	2	3	13,4	2,77	18,1	4,38	2,9	3,2
24.	2	2	16,4	2,76	17,7	5,82	0,8	0,88
25.	3	2	10,7	1,84	11,2	3,36	0,45	6,9
26.	2	3	22,5	2,56	13,8	2,45	0,57	1,3
27.	4	3	9,8	3,2	17,7	2,36	1,1	3,4
28.	2	3	17,2	1,63	12	4,18	0,98	2,2
29.	3	3	11,4	3,6	14,3	4,15	10	1,1
30.	3	3	13,3	4,56	18,1	4,43	1,4	1,2

Tablica 12. Statistički podaci temeljeni na rezultatima mjerenja korištenjem *Speedtest by Ookla* aplikacije.

		Prosjek	Standardna devijacija	Varijanca	Koeficijent varijacije
Ping [ms]	prije	2,57	0,63	0,39	0,24
	poslije	3,53	1,17	1,36	0,33
Download [Mbps]	prije	17,66	4,08	16,67	0,23
	poslije	1,89	1,10	1,22	0,58
Upload [Mbps]	prije	13,95	3,48	12,10	0,25
	poslije	3,47	2,28	5,22	0,66
Jitter [ms]	prije	15,39	74,55	5,55	4,85
	poslije	15,97	65,53	4,29	4,10

5.2.2. *Speedcheck Internet Speed Test*

U tablici 13. prikazani su rezultati mjerenja na 6. kanalu, korištenjem *Speedcheck Internet SpeedTest* aplikacije. Mjerena je duljina *Pinga* u milisekundama, i *Download* i *Upload* u Mbps. U tablici 14. prikazani su izmjereni statistički podaci temeljeni na podacima iz tablice 13.

Tablica 13. Rezultati mjerenja na 6. kanalu, dobiveni korištenjem *Speedcheck Internet Speed* Test aplikacije.

	Ping [ms]		Download [Mbps]		Upload [Mbps]	
	Prije	Poslije	Prije	Poslije	Prije	Poslije
1.	8	11	22,61	2,03	15,15	7,32
2.	10	72	22,63	2,68	18,91	0
3.	14	40	19,93	4	14,34	4,88
4.	11	10	19,21	1,28	16,07	5,56
5.	8	149	21,72	0,51	16,32	2,49
6.	11	13	21,14	0,04	13,92	0,88
7.	11	20	16,02	1,41	11,29	2,12
8.	19	21	9,61	1,06	17,02	3,8
9.	21	92	6,48	0,51	13,69	1,66
10.	57	12	9,06	4,37	19,47	3,85
11.	54	45	13,18	0,48	20,63	2,72
12.	13	37	7,14	0,66	19,27	4,01
13.	20	11	10,55	3,91	21,17	1,15
14.	39	11	7,47	1	14,36	0,11
15.	11	31	10,56	2,06	19,69	3,23
16.	9	9	6,99	2,25	5,76	0,58
17.	10	13	7,15	2,23	14,77	0,93
18.	20	51	8,1	0,65	16,19	1,46
19.	8	15	5,8	0,62	12,14	2,74
20.	9	38	8,13	1,08	14,53	0,15
21.	11	21	5,75	0,76	16,97	0
22.	30	21	4,83	0,72	7,2	3,12
23.	16	9	11,18	2,11	11,47	1,99
24.	50	33	7,24	2,68	17,41	3,7
25.	11	37	7,39	2,33	13,07	2,11
26.	18	12	6,62	2,07	15,92	0,01
27.	10	34	16,12	1,23	16,62	1,38
28.	11	22	7,14	1,91	17,25	1,69
29.	17	33	5	0,64	8,55	0,01
30.	62	25	7,61	2,59	9,63	3,51

Tabela 14. Statistički podaci temeljeni na rezultatima mjerenja korištenjem *Speedcheck* *Internet Speed Test* aplikacije.

		Prosjek	Standardna devijacija	Varijanca	Koeficijent varijacije
Ping [ms]	prije	19,97	15,87	251,96	0,79
	poslije	31,60	29,30	858,73	0,93
Download [Mbps]	prije	11,08	5,85	34,27	0,53
	poslije	1,66	1,12	1,27	0,68
Upload [Mbps]	prije	14,96	3,85	14,85	0,26
	poslije	2,24	1,82	3,33	0,81

5.2.3. *SpeedSmart*

U tablici 15. prikazani su rezultati mjerenja na 6. kanalu, korištenjem *SpeedSmart* aplikacije. Mjerena je duljina latencije u milisekundama, i Download i Upload u Mbps. U tablici 16. prikazani su izmjereni statistički podaci temeljeni na podacima iz tablice 15.

Tablica 15. Rezultati mjerenja na 6. kanalu, dobiveni korištenjem *SpeedSmart* aplikacije.

	Latency [ms]		Download [Mbps]		Upload [Mbps]	
	Prije	Poslije	Prije	Poslije	Prije	Poslije
1.	8	11	5,58	0,03	6,87	0,61
2.	8	747	2,05	0	5,62	0
3.	17	9	1,68	0	3,95	0
4.	9	756	0,95	0	2,2	0
5.	11	755	2,79	0	5,24	0
6.	757	8	14,51	0,05	6,61	0,9
7.	10	16	3,34	0,41	10,39	0,72
8.	14	228	3,7	0,1	9,89	0,46
9.	8	16	2,5	0,1	5,77	0,06
10.	22	749	1,21	0	3,69	0
11.	6	786	10,78	0,14	6,42	0,49
12.	748	771	4,14	0,04	9,68	0,49
13.	1	411	4,3	0,1	7,7	0
14.	8	1	7,5	0,2	9,2	0
15.	6	13	2,29	0,3	5,25	0,36
16.	12	12	2,74	0	5,74	0
17.	761	750	5,38	0	6,28	0
18.	746	743	1,85	0	4,99	0
19.	791	117	1,76	0	6,11	0
20.	10	749	2,9	0	5,07	0
21.	752	8	14,51	0,06	6,61	0,9
22.	10	16	3,34	0,41	10,39	0,62
23.	14	228	3,7	0,12	9,89	0,46
24.	8	16	2,5	0,1	5,77	0,06
25.	748	771	4,14	0,04	9,68	0,49
26.	1	411	4,3	0,1	7,7	0
27.	8	1	7,5	0,2	8,2	0,11
28.	6	13	2,29	0,3	5,25	0,46
29.	670	12	14,51	0,09	6,61	0,9
30.	10	16	3,34	0,41	10,39	0,72

Tablica 16. Statistički podaci temeljeni na rezultatima mjerenja korištenjem *SpeedSmart* aplikacije.

		Prosjek	Standardna devijacija	Varijanca	Koeficijent varijacije
Latency [ms]	prije	206,00	332,03	110,24	1,61
	poslije	304,67	343,20	117,78	1,13
Download [Mbps]	prije	4,74	3,91	15,25	0,82
	poslije	0,11	0,13	0,02	1,20
Upload [Mbps]	prije	6,91	2,21	4,88	0,32
	poslije	0,29	0,33	0,11	1,12

6. Diskusija

Kroz dobivene rezultate vidljivo je da postoji direktan utjecaj bežičnog mikrofonskog sustava na propusnost 802.11 mreže.

Ping parametar je tokom većine mjerenja neznatno narastao (tokom korištenja *Speedsmart* aplikacije za mjerenje na 6. kanalu sa 8 na 11 milisekundi), no ne može se zaključiti da je to zbog utjecaja korištenja bežičnog mikrofona, jer je u nekim slučajevima bio i manji nakon uključenja bežičnog mikrofonskog sustava. (tokom korištenja *Speedcheck Internet SpeedTest* za mjerenje na 4. kanalu sa 13,80 na 13,03 milisekundi). Vidljivo je da je *Ping* tijekom korištenja određenih aplikacija veći u odnosu na druge, ako promotrimo sva mjerenja (*Speedtest by Ookla* daje najmanje rezultate za ping).xxx

Razlika u *jitter-u* prilikom mjerenja na 4. kanalu je značajna, gdje imamo značajno povećanje tog parametra pri korištenju bežičnog mikrofona (sa 1,33 milisekunde na 11,76 milisekunde u prosjeku). S obzirom da je samo jedna korištena aplikacija mjerila ovaj parametar (*Speedtest by Ookla*), a na 6. kanalu nije uočena gotovo nikakva razlika kod *jitter-a* pri korištenju bežičnog mikrofona, uzorak je premali da se izvede konkretan zaključak, ali se otvara prostor za istraživanje.

Latencija je vidljivo narasla (sa prosječno 58,20 milisekunde na 83,77 milisekunde na 4. kanalu i sa prosječno 206 milisekundi na 304,67 milisekunde na 6. kanalu) u slučaju mjerenja na oba kanala. S obzirom da je mjerena samo u jednoj aplikaciji (*Speedsmart*), koja je u više navrata stvarala probleme, ne može se zaključiti da postoji direktan utjecaj bežičnog mikrofona na taj parametar. S većim uzorkom i pouzdanijim mjernim alatom bi trebalo ispitati postoji li stvarno utjecaj.

Download i *Upload* su pri svim mjerenjima značajno pali pri uključenju bežičnog mikrofonskog sustava. Kao što je vidljivo iz prikaza frekvencijskog spektra u *MetageekChanalyzer* alat, bežični mikrofonski sustav se preklapa sa 802.11 mrežom u većoj mjeri kada je mreža na 4. kanalu u odnosu na situaciju u kojoj je na 6. kanalu. Rezultati *Download* i *Upload* parametara se poklapaju s tim rezultatima, drugim riječima, u oba slučaja su parametri značajno pali, ali u većoj mjeri na 4. kanalu.

Da se kojim slučajem radilo o istraživanju međusobnog utjecaja različitih 802.11 mreža, bolje rješenje bi bilo postaviti mreže na isti nego na susjedni kanal, kao što je

prethodno u radu objašnjeno. Budući da je bežični mikrofonski sustav non-Wi-Fi izvor interferencije, situacija je obratna, i princip komunikacije bi trebao biti što dalje to bolje.

Važno je naglasiti da su se u pojedinim mjerenjima pojavila značajnija odstupanja od većine izmjerenih vrijednosti. Tako je tokom mjerenja na 4. kanalu vrijednost pinga je u većini slučajeva iznosila između 2 i 7 ms, a izmjerene su veličine od 134 i 0.23 ms koje značajno odstupaju od tih vrijednosti. Iz tog razloga su vrijednosti standardne devijacije i varijance značajno veće, te bi ih trebalo korigirati ili eliminirati.

Bežični mikrofonski sustav nema nikakve mehanizme povlačenja poput 802.11 mreže, zbog čega njegov rad vrlo vjerojatno neće biti ugrožen radom 802.11 mreže u okolini. Posljedično, rad 802.11 mreža će biti uvijek ugrožen ako naiđe na ovakav izvor interferencije. Utjecaj bežičnog mikrofonskog sustava na iskorištenost zračnog sučelja (eng. *Utilization*) se u ovom mjerenju nije mogla ispitati zbog ostalih mreža u okolini, koje koriste isti zračni prostor.

Prema svemu navedenom, nameće se nekoliko rješenja problema interferencije. Prvo rješenje je, ukoliko je moguće, podesiti mrežu, u slučaju korištenja ovog konkretnog bežičnog mikrofonskog sustava, na 1., 7., ili 12. kanal, gdje će utjecaj mikrofona biti neznatan ili nikakav. Drugo rješenje je jednostavno ne koristiti ova dva sustava istovremeno, što možda i nije toliki problem. Svrha ovog mikrofonskog sustava je prijenos zvučnih informacija u prostor, obično glazbe ili javnog govora. U tom kontekstu, poželjno je da ljudi u okruženju slušaju te informacije, i pritom ne koriste usluge 802.11 mreže. Treće rješenje je, ukoliko je ikako moguće, prebaciti mrežu u 5 GHz pojas, ili nabaviti drugi mikrofonski sustav, koji radi u drugom frekvencijskom pojasu.

Potencijalni ograničavajući faktori pri ovim mjerenja su bile ostale 802.11 mreže u okruženju, koje se jasno vide na svim prikazima 2.4 GHz spektra. S obzirom da je mjerenje provedeno tokom više dana i u različitim vremenima, nije moguće specificirati točan broj i vrstu ograničavajućih faktora. Ono što se sa sigurnošću može zaključiti jest da utjecaj bežičnog mikrofonskog sustava na rad 802.11 mreže postoji, s obzirom na značajno smanjenje propusnosti mreže tokom korištenja bežičnog mikrofonskog sustava. Rezultati ovog istraživanja upućuju na potrebu za detaljnijim mjerenjima. Poželjno je da se ovakvo mjerenje obavi u idealnim uvjetima, bez prisustva drugih mreža i uređaja koji rade u 2.4 GHz pojasu. U današnje vrijeme pronalaženje lokacije s ovakvim uvjetima može biti izazov, s obzirom na raširenu upotrebu 2.4 GHz spektra.

Osim mjerenja utjecaja bežičnog mikrofonskog sustava na parametre 802.11 mreže, istraživanje se može proširiti i na mjerenje utjecaja drugih izvora interferencije, poput uređaja koji koriste Bluetooth standard i uređaja poput mikrovalne pećnice, koji rade u 2.4 GHz spektru.

Rezultati mjerenja dobiveni su korištenjem najbolje ocjenjenih besplatnih aplikacija u iOS sustavu. Iako su rezultati prilično ujednačeni, mjerenja bi bilo poželjno obaviti uz što kvalitetniju programsku podršku.

7. Zaključak

Mreže temeljene na 802.11 standardu se još uvijek razvijaju i njihova primjena svakim je danom sve šira. Istovremeno, sve veći broj uređaja raznih namjena koristi 2,4 GHz pojas kao i većina 802.11 standarda. Frekvencijski spektar je uvijek iste veličine, zbog čega postaje prenapučen. Wi-Fi mreže imaju razvijene mehanizme pomoću kojih mogu djelovati u istom pojasu bez značajnih problema.

CSMA/CA metoda relativno uspješno rješava problem kolizije, posebno u slučaju djelovanja više 802.11 mreža na istom području. Svojim mehanizmima, poput ED praga, koji je dio CCA, uspješno detektira moguće izvore interferencije. Problem je u tome što se tim mehanizmima smanjuju performanse rada 802.11 mreže, ukoliko je uočen potencijalni izvor interferencije. Svaki non-Wi-Fi uređaj, koji radi u istom frekvencijskom spektru kao i Wi-Fi mreža, predstavlja prijetnju normalnom radu Wi-Fi mreže iz razloga što ne posjeduje te iste mehanizme.

Bežični mikrofonski sustav čiji utjecaj je prikazan u ovom radu od trenutka puštanja u rad zauzima više manje istu količinu zračnog sučelja, i nema ugrađene nikakve mehanizme kojima bi dogovarao slanje informacija. To proizlazi iz njegove same svrhe, a to je slanje čistog i neprekinutog zvuka, a pri tom prijenosu, nema tolerancije na greške.

Rezultati dobiveni provedenim mjerenjima dovode do nekoliko zaključaka. 2,4 GHz pojas je prenapučen i očita je potreba za boljom standardizacijom frekvencijskog spektra. Mreže temeljene na 802.11 standardu nemaju dovoljno razvijene mehanizme kojima bi rješavali interferenciju nastalu od non-Wi-Fi izvora. Mjerenjem utjecaja bežičnog mikrofona utvrđeno je da takva interferencija značajno degradira propusnost u 802.11 mreži. Alternativa koja može predstavljati rješenje je da 802.11 mreža radi u 5 GHz pojasu, ili da bežični mikrofoni koriste isti pojas. To može stvoriti druge komplikacije, poput cijene i dometa, ali interferencija neće biti jedna od tih komplikacija.

Bibliografija

1. Barken L, Bermel E, Eder J, Fanady M, Mee M, Palumbo M, et al., urednici. "A Brief Overview of the Wireless World". *U Wireless Hacking*. San Diego: Elsevier Inc.; 2004. p. 3-21.
2. Certified Wireless Network Professionals. <https://www.cwnp.com/>. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na: http://media.techtarget.com/searchMobileComputing/downloads/CWAP_ch8.pdf.
3. Cisco. Cisco. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na: https://www.cisco.com/c/hr_hr/products/wireless/what-is-802-11ax.html.
4. Forenbacher I. Arhitektura lokalnih (LAN) mreža. Materijali za predmet Arhitektura telekomunikacijske mreže. Fakultet prometnih znanosti; 2018.
5. Question Solves. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na: <http://www.questionsolves.com/Website-Content/HiddenStationProblem.php>.
6. Dot11AP. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na: <https://dot11ap.wordpress.com/understand-the-osi-model-layers-affected-by-the-802-11-2012-standard-and-amendments/>.
7. Singh AK. GeeksforGeeks. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na: <https://www.geeksforgeeks.org/ieee-802-11-mac-frame/>.
8. Network Engineering. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na: <https://networkengineering.stackexchange.com/questions/25100/four-layer-2-addresses-in-802-11-frame-header>.
9. IEEE Hrvatska sekcija. IEEE. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na: https://www.ieee.hr/ieeesection/upoznajte_ieee/sto_je_ieee.
10. Technopedia. [Online]. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na: <https://www.techopedia.com/definition/536/wi-fi-alliance>.
11. National Instruments. NI. 2019. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na: <http://www.ni.com/en-rs/innovations/white-papers/16/introduction-to-802-11ax-high-efficiency-wireless.html>.
12. Revolution WIFI. 2011. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na: <http://www.revolutionwifi.net/revolutionwifi/2011/03/understanding-wi-fi-carrier-sense.html>.
13. Electronics Notes. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/radio-receiver-sensitivity/what-is-noise-floor.php>.

14. Forenbacher I. Privatne bilješke. ; 2019.
15. Forenbacher I. Osnove transmisijskih sustava 2. dio. Materijali za predmet Arhitektura telekomunikacijske mreže. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2018.
16. MetaGeek. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na:<https://www.metageek.com/training/resources/why-channels-1-6-11.html>.
17. Crane J. MetaGeek. 2019. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na:<https://support.metageek.com/hc/en-us/articles/200628894-WiFi-and-non-WiFi-Interference-Examples>.
18. Coleman D. Aerohive. 2018. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na:<https://blog.aerohive.com/what-is-clear-channel-assessment-cca/>.
19. Valliappan N. Quora. 2013. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na:<https://www.quora.com/Wireless-Technology-What-is-clear-channel-assessment-CCA>.
20. Hamidović H. WLAN Bežične lokalne računalne mreže Zagreb: InfoPress; 2009.
21. Thomann. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na:https://www.thomann.de/gb/line6_relay_g30.htm.
22. Kumar V. Shodhganga. ; 2017. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na:https://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/192494/9/09_chapter_1.pdf.
23. Tech Terms. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na:<https://techterms.com/>.
24. Apple Inc. App Store. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na:<https://apps.apple.com/us/app/speedcheck-internet-speed-test/id616145031>.
25. Computerware. Computerware. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na:<https://www.cwit.com/ustp/accessories/ekahau-spectrum-analyzer-detail>.
26. 1&1 IONOS Inc. IONOS. 2018. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na:<https://www.ionos.com/digitalguide/server/know-how/csmaca-carrier-sense-multiple-access-with-collision-avoidance/>.
27. D-Link. D-Link. Pristupljeno 20. srpnja 2019. Dostupno na:https://eu.dlink.com/uk/en/-/media/consumer_products/dir/dir-615/datasheet/dir_615_datasheet_en_uk.pdf.
28. Zawar Shah AAKOMM. "IEEE 802.11ac Vs IEEE 802.11n: Throughput Comparison in Multiple". *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)*. 2016.; 14.(4.): str. 94-101.
29. Syngress. *Building a Cisco Wireless Lan*: Elsevier, Inc.; 2002.

Popis slika

Slika 1. OSI referentni model.....	3
Slika 2. Osnovna arhitektura 802.11 mreže.	5
Slika 3. Princip rada FHSS i DSSS.....	8
Slika 4. Prikaz OFDM valova podnosioca u frekvencijskom spektru.	9
Slika 5. Struktura PPDU, Zaglavlja MAC okvira i polja kontrole okvira.	10
Slika 6. Raspored kanala u 2,4 GHz pojasu.	19
Slika 7. Prikaz pojedinih vrsta interferencije.	20
Slika 8. Prikaz uskopojasne interferencije u 2,4 GHz spektru.	21
Slika 9. Prikaz širokopojasne interferencije u 2,4 GHz spektru nastale korištenjem <i>jammera</i>	22
Slika 10. Problem skrivene stanice.	28
Slika 11. Logika slanja MAC okvira.....	30
Slika 12. Arhitektura lokalne mreže prilikom mjerenja utjecaja interferencije.	33
Slika 13. Prijemnik i predajnik bežičnog mikrofonskog sustava.	34
Slika 14.Usmjernik <i>D-Link DIR-615</i>	34
Slika 15. <i>Ekahau dual band USB spectrumalyzer</i>	35
Slika 16. Sučelje <i>Speedtest by Ookla</i> aplikacije.....	36
Slika 17. Sučelje <i>Speedcheck Internet Speed Test</i> mobilne aplikacije.....	37
Slika 18. Sučelje <i>SpeedSmart</i> aplikacije.	37
Slika 19. 2,4 GHz spektar tokom mjerenja bez bežičnog mikrofonskog sustava na 4. kanalu.	39

Slika 20. 2,4 GHz spektar tokom mjerenja sa bežičnim mikrofonskim sustavom na 4. kanalu.	39
Slika 21. 2,4 GHz spektar tokom mjerenja na 6. kanalu, bez bežičnog mikrofonskog sustava.	45
Slika 22. 2,4 GHz spektar tokom mjerenja na 6. kanalu, sa uključenim bežičnim mikrofonskim sustavom.	46

Popis tablica

Tablica 1. Značenja DS kombinacija podatkovnih okvira u tablici 2.	12
Tablica 2. Sadržaj adresnih polja	12
Tablica 3. Pregled karakteristika pojedinih 802.11 standarda.	18
Tablica 4. Prednosti i nedostaci CSMA/CA protokola.	30
Tablica 5. Rezultati mjerenja na 4. kanalu, dobiveni korištenjem <i>Speedtest by Ookla</i> aplikacije.	40
Tablica 6. Statistički podaci temeljeni na rezultatima mjerenja korištenjem <i>Speedtest by Ookla</i> aplikacije.	41
Tablica 7. Rezultati mjerenja na 4. kanalu, dobiveni korištenjem <i>Speedcheck Internet Speed Test</i> aplikacije.....	42
Tablica 8. Statistički podaci temeljeni na rezultatima mjerenja korištenjem <i>Speedcheck Internet Speed Test</i> aplikacije.	43
Tablica 9. Rezultati mjerenja na 4. kanalu, dobiveni korištenjem <i>SpeedSmart</i> aplikacije.	44
Tablica 10. Statistički podaci temeljeni na rezultatima mjerenja korištenjem <i>SpeedSmart</i> aplikacije.	45
Tablica 11. Rezultati mjerenja na 6. kanalu, dobiveni korištenjem <i>Speedtest by Ookla</i> aplikacije.	47
Tablica 12. Statistički podaci temeljeni na rezultatima mjerenja korištenjem <i>Speedtest by Ookla</i> aplikacije.....	48
Tablica 13. Rezultati mjerenja na 6. kanalu, dobiveni korištenjem <i>Speedcheck Internet Speed Test</i> aplikacije.....	49
Tabela 14. Statistički podaci temeljeni na rezultatima mjerenja korištenjem <i>Speedcheck Internet Speed Test</i> aplikacije.	50
Tablica 15. Rezultati mjerenja na 6. kanalu, dobiveni korištenjem <i>SpeedSmart</i> aplikacije. ...	51

Tablica 16. Statistički podaci temeljeni na rezultatima mjerenja korištenjem *SpeedSmart* aplikacije. 52

Popis kratica

ACK – *Acknowledge*

AIFS – *Arbitration Interframe Space*

AP – *Access Point*

BPSK – *Binary Phase Shift Keying*

BSS – *Basic Service Set*

BSSID – *Basic Service Set Identifier*

CA – *Collision Avoidance*

CAP – *Controlled Access Phase*

CCA – *Clear Channel Assessment*

CDMA – *Code Division Multiple Access*

CFP – *Contention-Free Period*

CMAP – *Coordinated Multiple Access Protocol*

CP – *Contention Period*

CRC – *Cyclic Redundance Check*

CS – *Carrier Sense*

CSMA/CA – *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*

CSMA/CD – *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*

CTS – *Clear to Send*

DBPSK – *Differential Binary Phase Shift Keying*

DCF – *Distributed Coordination Function*

DIFS – *DCF Interframe Space*

DQPSK – *Differential Quadrature Phase Shift Keying*

DS – *Distribution System*

DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum*

ED – *Energy Detection*

EDCA – *Enhanced Distributed Channel Access*

ESS – *Extended Service Set*

FC – *Frame Control*

FHSS – *Frequency Hopping Spread Spectrum*

HCCA – *Hybrid Coordination Function Controlled Channel Access*

IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

ISI – *Inter-Symbol Interference*

ISM – *Industrial Scientific Medical*

LAN – *Local Area Network*

LBT – *Listen Before Talk*

LLC – *Logical Link Control*

MA – *Multiple Access*

MAC – *Media Access Control*

MIMO – *Multiple Input Multiple Output*

MPDU – *MAC Protocol Data Unit*

MSDU – *MAC Service Data Unit*

NAV – *Network Allocation Vector*

NF – *Noise Figure*

OFDM – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

OSI – *Open Systems Interconnection*

PCF – *Point Coordination Function*

PHY – *Physical Layer*

PLCP – *Physical Layer Convergence Procedure*

PLME – *Physical Layer Management Entity*

PMD – *Physical Medium Dependant*

PPDU - *PLCP Protocol Data Unit*

QAM - *Quadrature Amplitude Modulation*

QPSK – *Quadrature Phase Shift Keying*

RF – *Radio Frequency*

RTS – *Ready To Send*

SC – *Sequence Control*

SD – *Signal Detection*

SDM – *Spatial Division Multiplexing*

SIFS – *Short Interframe Space*

SNR - *Signal to Noise Ratio*

SSID - *Service Set Identifier*

TWT - *Target Wake Time*

TXOP – *Transmit Opportunity*

WAN – *Wide Area Network*

Wi-Fi – *Wireless Fidelity*

WLAN – *Wireless Local Area Network*



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 Mjerenje utjecaja interferencije bežičnog mikrofona na propusnost IEEE
802.11 mreže

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

Student/ica:

U Zagrebu, _____

(potpis)