Analiza pokrivenosti i jačine ometajućih signala prije implementacije bežične računalne mreže

Radotić, Marin

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Algebra University College / Visoko učilište Algebra**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:225:141347

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Algebra Univerity College - Repository of Algebra Univerity College

VISOKO UČILIŠTE ALGEBRA

DIPLOMSKI RAD

Analiza pokrivenosti i jačine ometajućih signala prije implementacije bežične računalne mreže

Marin Radotić

Zagreb, rujan 2018.

Predgovor

Zahvala:

Zahvaljujem profesoru i mentoru Silviju Papiću dipl.ing. na savjetima, pomoći oko odabira teme završnog rada te izradi završnog rada.

Također zahvaljujem i Visokom učilištu Algebra bez kojeg moje studiranje ne bi bilo moguće te svim profesorima, asistentima i kolegama koji su mi pomogli tijekom studiranja.

Prilikom uvezivanja rada, Umjesto ove stranice ne zaboravite umetnuti original potvrde o prihvaćanju teme diplomskog rada kojeg ste preuzeli u studentskoj referadi

Sažetak

Analiza pokrivenosti i jačine ometajućih signala predstavlja ključan korak u implementaciji bežične računalne mreže. Bez učinkovite analize prije implementacije mreža neće raditi prema očekivanjima i potrebama korisnika što može rezultirati poteškoćama u radu zaposlenika kojima je bežična mreža nužna za uspješno obavljanje posla. Provedbom analize pokrivenosti prostora i jačine ometajućih signala prije implementacije detektiraju se svi potencijalni problemi i izvori smetnji koji mogu degradirati performanse bežične mreže te se postavke na mrežnim uređajima podešavaju tako da se minimalizira utjecaj detektiranih smetnji uz optimalnu pokrivenost prostora signalom odgovarajuće snage. U radu će biti opisani teorijski pojmovi nužni za pravilno razumijevanje analize i interpretacije rezultata dobivenih mjerenjima i sama analiza kroz teorijske pojmove i objašnjenja te primjena iste na stvarnom slučaju u praksi.

Rezultat rada je detaljan opis rada bežične računalne mreže i provedbe analize pokrivenosti i jačine ometajućih signala uz prikaz postupka analize u praksi.

Abstract

Wireless site survey is a key step in wireless network implementation. Without performing the survey before the implementation, the network will not work as expected and as needed by customers which can result in difficulties in the work of employees who need wireless network for their job. By performing the wireless site survey, all potential problems and sources of interference that could degrade the network performance are identified and their impact is minimized, along with providing optimal signal coverage and strength. The theoretical terms, which are necessary for proper understanding of the wireless site survey and interpreting its results which are gathered by surveying, and the survey itself through theoretical terms and explainations along with its application in an actual case in practise will be described in this paper.

The result of the paper is a detailed description of wireless networks and wireless site survey with a view of the survey in practice.

Sadržaj

1 Uvod ... 1
2 WLAN mreža ... 2
2.1 Komponente WLAN-a ... 2
2.1.1 Bežična pristupna točka ... 2
2.1.2 Antene ... 3
2.2 Radio Frekvencijski spektar ... 6
2.2.1 Frekvencijski pojas 2.4 GHz ... 7
2.2.2 Frekvencijski pojas 5 GHz ... 9
2.2.3 Planiranje frekvencijskih kanala ... 9
2.3 Regulative ... 11
2.3.1 Spektar 2.4 GHz ... 11
2.3.2 Spektar 5 GHz ... 12
2.4 Kodiranje i modulacija signala ... 12
2.4.1 Kodiranje ... 12
2.4.2 Modulacija ... 13
3 Što je Wireless Site Survey ... 18
3.1 Prikupljanje podataka o korisniku i korisničkih zahtjeva ... 18
3.1.1 Zahtjevi implementacije WLAN-a, ovisno o tipu organizacije: ... 19
3.1.1.1 Poslovni uredi ... 19
3.1.1.2 Obrazovne ustanove ... 20
3.1.1.3 Proizvodni pogoni ... 20
3.1.1.4 Skladišta ... 21
3.1.1.5 Maloprodaja ... 22
3.1.1.6 Transport ... 22
3.1.1.7 Hotelijerstvo ... 23
3.1.1.8 Zdravstvo ... 23
3.1.2 Utjecaj arhitekture zgrade/ureda na WLAN ... 24
3.2 Tipovi surveya ... 25
3.2.1 Analiza frekvencijskog spektra (Layer 1 survey) ... 25
3.2.1.1 Utjecaj smetnji na WLAN ... 26
3.2.1.2 Provedba layer 1 surveya ... 26
3.2.2 Analiza pokrivenosti prostora signalom (Layer 2 survey) ... 28

3.2.2.1 **Razmještaj AP-ova i granice ćelija** 28
4 Postupak provedbe site surveya 29
4.1 Analiza frekvencijskog spektra (Layer 1 survey) 32
4.2 Analiza pokrivenosti prostora signalom (Layer 2 survey) 4
5 Zaključak 9
Popis kratica 10
Popis slika 11
Popis tablica 12
Literatura 13

1 Uvod

U današnjem svijetu teško je zamisliti poslovni prostor bez bežične računalne mreže. Česta je pojava da zbog loše isplanirane i pogrešno konfigurirane implementacije performanse mreže ne ispunjavaju očekivanja. Zbog toga je prije implementacije potrebno napraviti plan implementacije i konfiguracije. Cilj ovog rada je prikazati analizu snage ometajućih signala i pokrivenosti prostora signalom prije implementacije bežične mreže (engl. *Wireless site survey*) kroz teoretske pojmove te primjenu istih u stvarnoj situaciji u praksi.

Rad započinje opisom teorijskih pojmova koji su ključni za pravilno razumijevanje analize pokrivenosti i jačine ometajućih signala. U drugom dijelu rada su izneseni i opisani teoretski pojmovi vezani uz samu analizu. Ti pojmovi uključuju informacije koje je potrebno prikupiti prije same provedbe analize te načine prikupljanja tih informacija, zahtjeve implementacije bežične mreže ovisno o tipu organizacije, utjecaj arhitekture samog prostora na implementaciju i konfiguraciju mreže te opis postupka analize te detalje na koje je potrebno obratiti posebnu pažnju. U trećem dijelu rada prikazan je sam postupak provedbe analize u tvrtki, što uključuje opis i uporabu specijaliziranih alata, interpretacije rezultata dobivenih kroz alate i primjenu tih rezultata na opremi u skladu sa zahtjevima korisnika.

Zadnji dio rada je zaključak u kojem su iznesena objašnjenja i prednosti koje donosi provedba analize pokrivenosti i jačine ometajućih signala prije implementacije bežične računalne mreže.

2 WLAN mreža

Bežična lokalna mreža (engl. *Wireless Local Area Network*, skraćeno WLAN) je bežična računalna mreža koja povezuje dva ili više uređaja koristeći bežičnu komunikaciju unutar određenog područja kao što je škola, bolnica, ured, poslovna zgrada, kuća i sl. Time omogućava korisnicima kretanje kroz područje pokriveno signalom uz konstantnu povezanost na mrežu. WLAN također omogućava povezivanje s internetom koristeći mrežni prolaz (engl. *Gateway*). Moderne WLAN mreže se baziraju na IEEE 802.11 standardima i često se nazivaju zajedničkim imenom Wi-Fi (engl. *Wireless Fidelity*).[1]

2.1 Komponente WLAN-a

Kako bi WLAN mreža mogla funkcionirati te da bi se ostvarila uspješna komunikacija krajnjih uređaja na lokalnoj mreži te naposljetku prema internetu potreban je uređaj na koji će se svi krajnji uređaji spajati. Taj uređaj se naziva bežična pristupna točka (engl. *Wireless Access Point*, skraćeno AP).

2.1.1 Bežična pristupna točka

AP je uređaj koji se koristi za kreiranje WLAN mreže. Pomoću antena propagira signal u željenom području. AP može biti dedicirani uređaj ili može biti integriran u usmjernik koji tada obavlja i funkciju usmjernika i funkciju AP-a (takvi uređaji se najčešće koriste u kućnim mrežama). Dedicirani AP se obično spaja na LAN mrežu pomoću mrežnog kabela te tako spojenim uređajima omogućava pristup LAN mreži te internetu.

Na AP-u, na konfiguracijskom portalu, možemo konfigurirati WLAN mrežu. Na portalu možemo konfigurirati na kojem frekvencijskom kanalu će AP raditi, kojom snagom će odašiljati signal te sigurnosne postavke WLAN-a.

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN

2.1.2 Antene

Antena je jedan od ključnih uređaja u WLAN mreži. Ona pretvara električne signale u elektromagnetsko polje i obratno. Svaki AP mora imati jednu ili više antena pomoću koje odašilje i prima signal. AP-ovi mogu imati ugrađene unutarnje antene ili mogu koristiti vanjske antene koje kod nekih modela mogu biti izmjenjive, ovisno o potrebama korisnika.



Slika 2.1 Različite vrste antena[2]

Antene imaju nekoliko parametara koji opisuju njezina glavna svojstva. Za *site survey* najvažniji parametri antena su: dijagram zračenja, usmjerenost i dobitak.

- Dijagram zračenja antene je grafički prikaz relativne snage polja koje antena odašilje ili prima te uz prikaz glavne latice (zrake koju antena odašilje) prikazuje bočne i stražnje latice. Zbog načina na koji antene zrače signal često je potrebno više dijagrama iz različitih perspektiva kako bi se adekvatno opisala antena, ali ako je zračenje antene simetrično oko osi X tada je najčešće dovoljan samo jedan dijagram.[3]
- Usmjerenost antene je mjera koja opisuje stupanj do kojega je radijacija antene koncentrirana u jednom smjeru. Mjeri gustoću snage koju antena emitira u smjeru najjačeg zračenja u odnosu na idealnu izotropnu antenu (izotropna antena je teoretska antena koja emitira signal jednakom snagom u svim smjerovima)[4]

[2] https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/prod_white_paper0900aecd806a1a3e.html
[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_measurement#Antenna_parameters
[4] https://en.wikipedia.org/wiki/Directivity

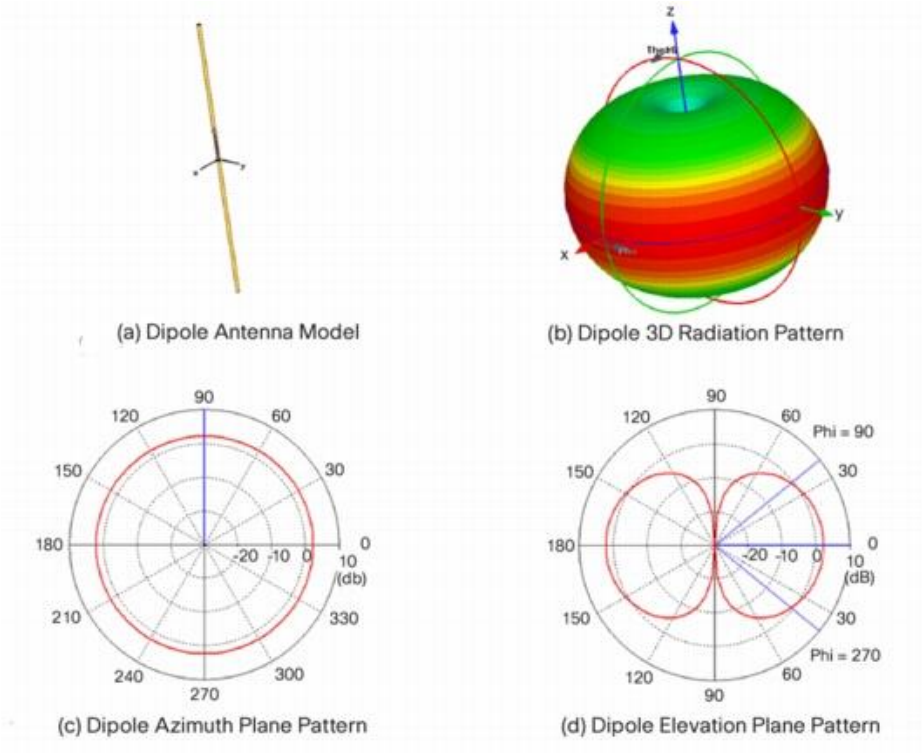
- Dobitak antene je mjera koja predstavlja učinkovitost antene u pretvaranju električnih impulsa u radio valove. Dobitak antene utječe na smjer u kojem antena radi. Što je veći dobitak antene, to je antena više direkcijska, tj. kut zračenja antene je uži.[5]

WLAN antene se mogu podijeliti prema više parametara, a za *site survey* je najvažnija podjela prema usmjerenosti.

Antene za WLAN se prema usmjerenosti dijele u dvije grupe: direkcijske i omnidirekcijske.

Omnidirekcijske antene odašilju i primaju signal u svim smjerovima oko antene. Time se dobiva fleksibilnost jer je moguće slati i odašiljati signal u bilo kojem smjeru bez potrebe za podešavanjem smjera antene. Omnidirekcijske antene se najčešće koriste na mjestima gdje je potrebno pokriti velik prostor signalom, kao npr. uredi, trgovački centri, proizvodni pogoni i sl.

Najraširenija omnidirekcijska antena je tzv. dipol antena.



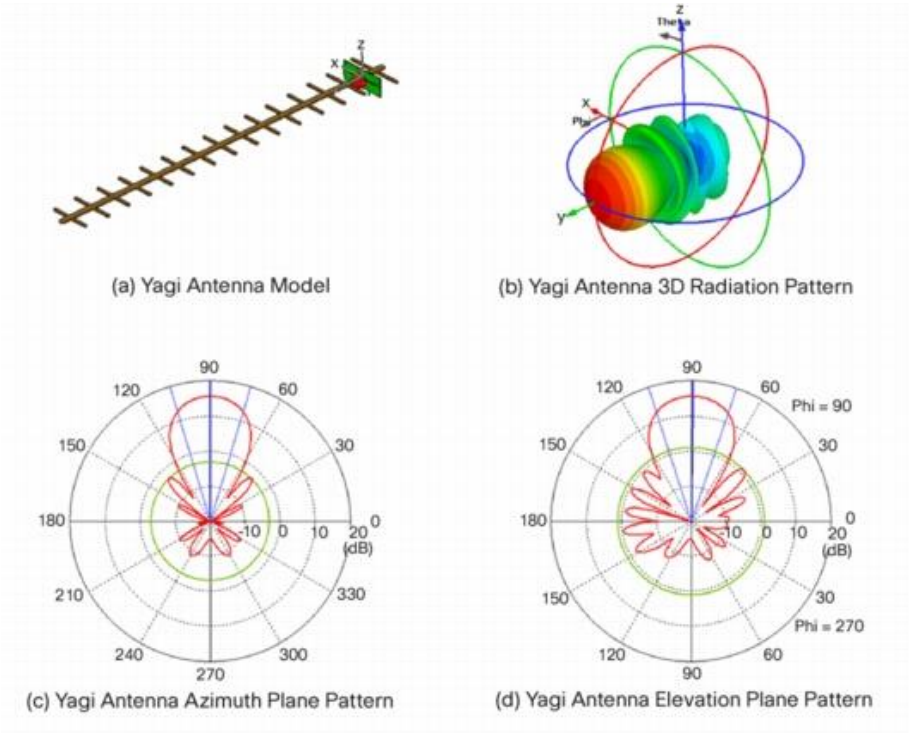
Slika 2.2 Dipol antena i njezini dijagrami zračenja[6]

[5] https://www.tp-link.com/us/FAQ-3.html
[6] https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/prod_white_paper0900aecd806a1a3e.html

Kao što možemo vidjeti na dijagramu, dipol antena odašilje signal u svim smjerovima u području oko antene.

Direkcijske antene mogu primati i odašiljati signal samo u jednom smjeru. Time se postiže veći domet signala u tom smjeru što je vrlo korisno u implementacijama u kojima je potreban uzak signal što većeg dometa. Direkcijske antene se najčešće koriste za *point-to-point* veze, kod implementacija s dugim i uskim područjem koje je potrebno pokriti signalom (npr. tunel), kada je potrebno postaviti AP na vanjski zid te pokriti mali dio prostora signalom (npr. sobe za sastanke).

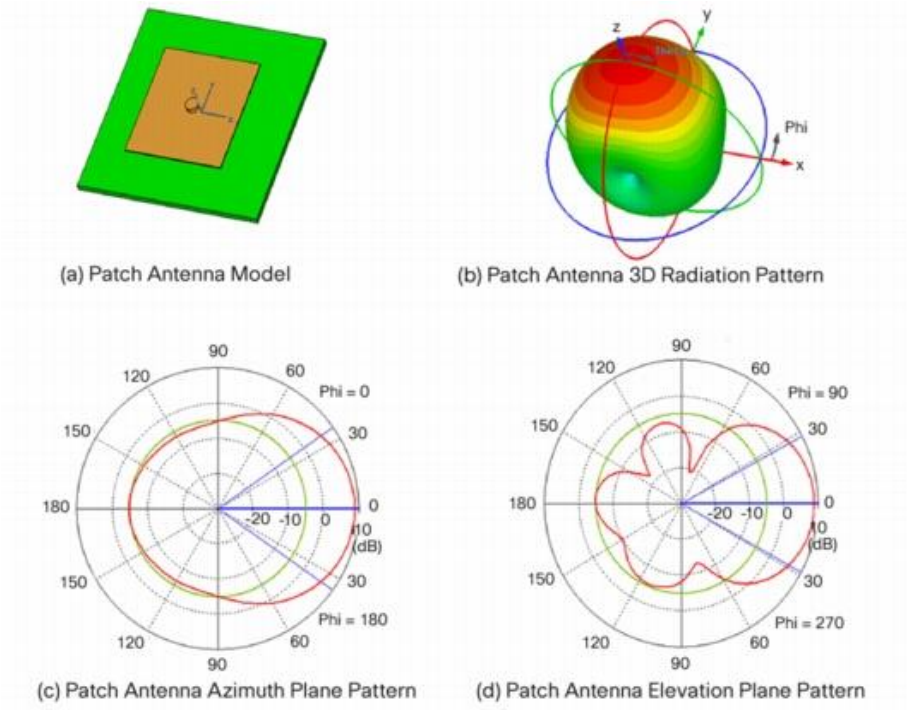
Najpoznatije direkcijske antene su *Yagi* antena i *patch* antena.



Slika 2.3 Yagi antena i njezini dijagrami zračenja[7]

Kao što možemo vidjeti na dijagramu, *Yagi* antena odašilje signal u smjeru u kojem je usmjerena, a u suprotnom smjeru i sa strane signal se ne odašilje.

[7] https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/prod_white_paper0900aecd806a1a3e.html



Slika 2.4 Patch antena i njezini dijagrami zračenja[8]

Patch antena je specifična po tome što ima vrlo širok kut zračenja što znači da može pokriti vrlo širok prostor. To je čini idealnom za implementacije koje zahtijevaju postavljanje antena na zidove uz pokrivanje što većeg i šireg prostora. Prilikom implementacije je potrebno obratiti pažnju na kut zračenja te mjesto na koje će se antena postaviti. Naprimjer, ako je antenu potrebno postaviti u kut bilo bi idealno kada bi kut zračenja antene iznosio 90 stupnjeva, a ako ju je potrebno postaviti na sredinu zida bilo bi idealno kada bi kut zračenja iznosio 180 stupnjeva.

2.2 Radio Frekvencijski spektar

Radio frekvencije su dio elektromagnetskog spektra koji obuhvaća raspon frekvencija od 3 Hz do 300 GHz. Elektromagnetski valovi u ovom rasponu se nazivaju radio valovi te imaju vrlo široku primjenu u modernoj tehnologiji, ponajprije u telekomunikacijama.

[8] https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/prod_white_paper0900aecd806a1a3e.html

Kako bi se spriječile interferencije između različitih korisnika, generiranje i odašiljanje radio valova se regulira nacionalnim zakonima koji su koordinirani s međunarodnom organizacijom koja se naziva Međunarodna Telekomunikacijska Unija (engl. *International Telecommunication Union*, skraćeno ITU).

Dijelovi radio spektra su licencirani i mogu se koristiti isključivo u svrhe za koje su licencirani, a ostale nelicencirane frekvencije se mogu slobodno koristiti za različite svrhe. Primjer licenciranog pojasa je raspon frekvencija 800/900 MHz i 1800/1900 MHz koje koriste mobilni operateri. To znači da navedene frekvencijske pojase smiju koristiti isključivo mobilni operateri koji posjeduju licencu izdanu od strane nadležnog tijela te nijedna druga tehnologija ne smije raditi u tom pojasu.

Wi-Fi radi u nelicenciranim pojasima, 2.4 GHz i 5 GHz što znači da osim Wi-Fi-a i druge tehnologije mogu koristiti isti frekvencijski pojas što može uzrokovati probleme prilikom implementacije WLAN mreže.

Frekvencija određuje karakteristike propagiranja signala. Na nižim frekvencijama valna duljina je veća što znači da će valovi lakše prolaziti kroz prepreke kao što su zidovi, voda i sl. Valovi niže frekvencije imaju veći domet nego valovi više frekvencije, što znači da će signal koji radi na 2.4 GHz imati veći domet nego signal koji koristi 5 GHz.

Karakteristike antene također imaju veliku ulogu u određivanju karakteristika WLAN mreže. Antena veće snage će imati bolji domet te će signal lakše prolaziti kroz prepreke. Također, važno je napomenuti da postoje dual-band antene koje rade s oba frekvencijska pojasa te ako se koriste potrebno je odraditi *survey* za oba pojasa.

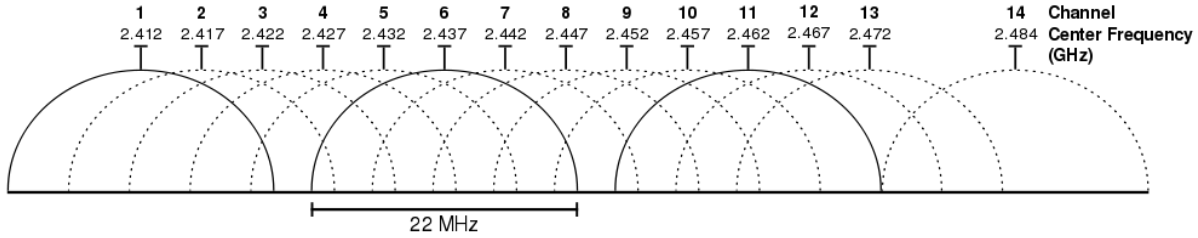
2.2.1 Frekvencijski pojas 2.4 GHz

Frekvencijski pojas 2.4 GHz se dijeli na ukupno 14 kanala. U Europi se koristi 13 kanala, u SAD-u 11, a u Japanu svih 14.

Standard IEEE 802.11b radi u frekvencijskom pojasu od 2.4 GHz i definira širinu kanala od 22 MHz.

Na slici su prikazani kanali te možemo uočiti da postoje preklapanja između kanala. Preklapanja su uzrokovana zato što udaljenost između dva kanala iznosi 5 MHz, a širina kanala iznosi 20 ili 22 MHz, ovisno o kojem se standardu radi.

Preklapanja mogu uzrokovati značajne interferencije i pad performansi mreže, stoga se preporučuje AP-ove postaviti na kanale koji se ne preklapaju. Naprimjer, ako planiramo postaviti 3 AP-a, jedan bi trebalo podesiti da radi na kanalu 1, drugi na kanalu 6 i treći na kanalu 11 jer se ti kanali ne preklapaju.



Slika 2.5 Kanali u frekvencijskom spektru 2.4 GHz[9]

Osim spomenutog 802.11b standarda postoji još četiri standarda[10]:

- 802.11a koji radi u frekvencijskom pojasu od 5 GHz, a širina kanala iznosi 20 MHz te može postići maksimalnu brzinu prijenosa podataka od 54 Mbps
- 802.11g koji radi u frekvencijskom pojasu od 2,4 GHz, a širina kanala iznosi 20 MHz te može postići maksimalnu brzinu prijenosa podataka od 54 Mbps
- 802.11n koji radi u oba frekvencijska pojasa, a širina kanala može iznositi 20 ili 40 MHz te može postići maksimalnu brzinu prijenosa podataka od 600 Mbps
- 802.11ac koji radi u frekvencijskom pojasu od 5 GHz, a širina kanala može iznositi 20, 40, 80 ili 160 MHz te može postići maksimalnu brzinu prijenosa od 1.3 Gbps

Ako je potrebno postići što veće brzine prijenosa podataka potrebno je konfigurirati WLAN da radi sa širinom kanala od 40 MHz u pojasu 2.4 GHz i 160 MHz u pojasu 5 GHz jer što je veća širina kanala postižu se veće brzine prijenosa.

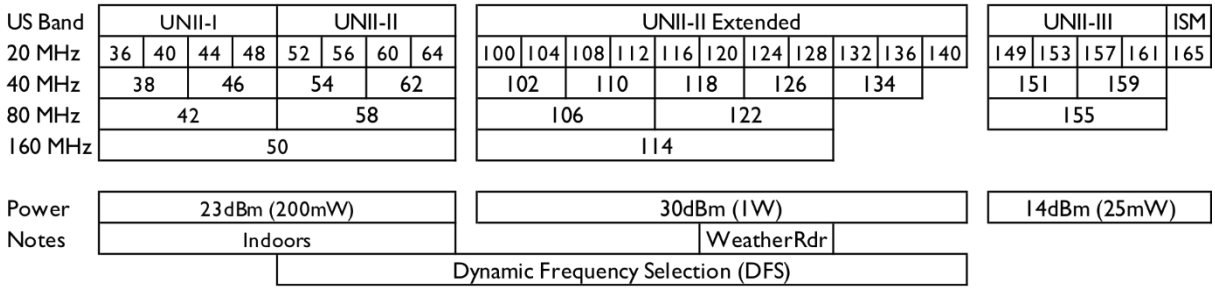
To ponekad nije moguće postići koristeći u frekvencijskom pojasu 2.4 GHz zbog malog broja kanala (ako se koristi širina kanala od 40 MHz tada jedan logički kanal zapravo zauzima dva kanala iz spektra npr. kanal 1 i 5 da bi se postigla širina od 40 MHz).

[9] https://www.extremetech.com/computing/179344-how-to-boost-your-wifi-speed-by-choosing-the-right-channel
[10] https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

Također, u većim implementacijama 13 kanala jednostavno nije dovoljno da bi se postigle veće brzine prijenosa koristeći veću širinu kanala te minimalizirao utjecaj interferencija između uređaja uzrokovanih preklapanjem kanala. Ovaj problem posebno dolazi do izražaja u implementacijama koje se protežu na više razina (katova) zgrade.

2.2.2 Frekvencijski pojas 5 GHz

U frekvencijskom pojasu 5 GHz takvi problemi ne postoje ili su minimalni. Kanali su podijeljeni tako da preklapanje susjednih kanala nije moguće. To se postiže upotrebom kanala širine 5 MHz te korištenjem svakog četvrtog mogućeg kanala čime se zapravo postiže efektivna širina kanala od 20 MHz bez mogućnosti preklapanja. Pojas 5 GHz je mnogo širi od pojasa 2.4 GHz te samim time na raspolaganju imamo mnogo više kanala što znači da je moguće povećanje širine kanala u svrhu postizanja većih brzina prijenosa i u velikim implementacijama.



Slika 2.6 Kanali u frekvencijskom spektru 5 GHz[11]

2.2.3 Planiranje frekvencijskih kanala

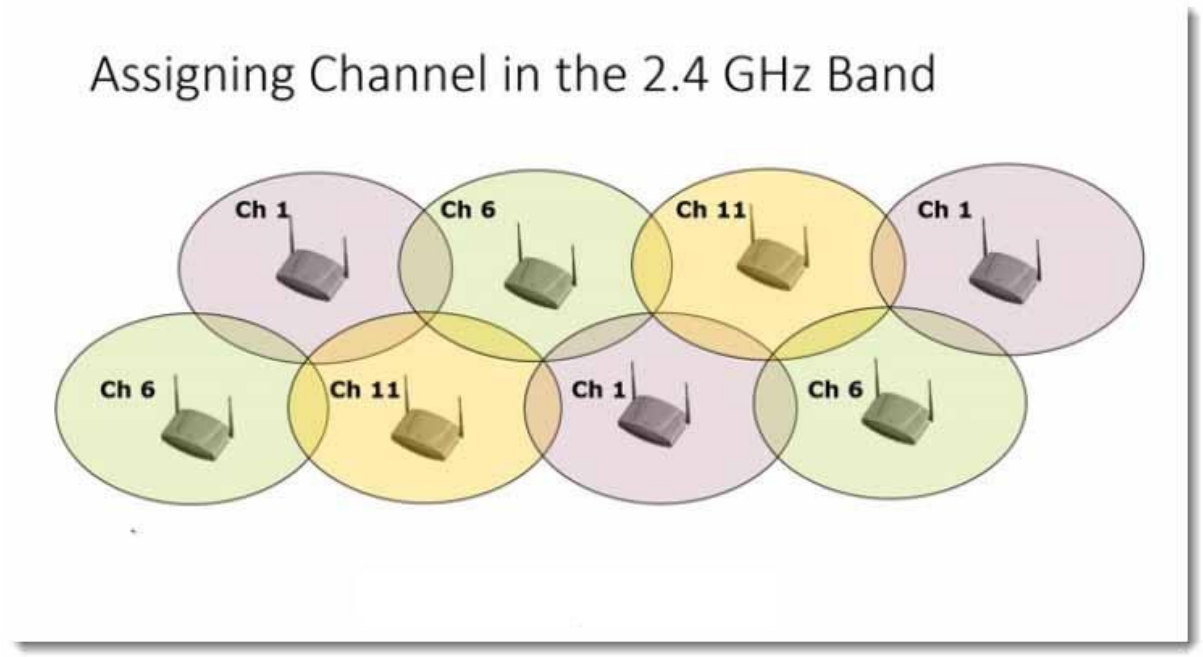
Jedna od najvažnijih odluka prilikom implementacije WLAN-a je odabir kanala na kojem će AP-ovi raditi. Susjedni AP-ovi bi trebali raditi na kanalima koji se ne preklapaju radi izbjegavanja interferencija. Prostor koji jedan AP pokriva signalom naziva se ćelija.

Postoje dvije vrste interferencije: interferencija unutar ćelija u istom kanalu (engl. *co-channel interference*) i interferencija unutar ćelija u susjednim kanalima (engl. *adjacent interference*).

[11] https://metis.fi/en/2018/02/5ghz-channels/

Interferencija unutar ćelija u istom kanalu se javlja kada susjedni AP-ovi rade na istom kanalu te se u prostoru u kojem se ćelije preklapaju javljaju smetnje i kvaliteta WLAN mreže nije zadovoljavajuća.

Interferencija unutar ćelija u susjednim kanalima se javlja kada susjedni AP-ovi rade na različitim kanalima, ali ti kanali se preklapaju (npr. kanali 1 i 2). Ovakva vrsta interferencije uzrokuje više problema u mreži od interferencije unutar ćelija u istom kanalu te može dovesti do odbacivanja paketa, TCP retransmisija i sl.



Slika 2.7 Pravilan raspored kanala u implementaciji više AP-ova[12]

Na slici možemo vidjeti primjer implementacije AP-ova u 2.4 GHz frekvencijskom pojasu. Koristeći kanale 1, 6 i 11 koji se ne preklapaju minimaliziramo interferencije unutar dijelova ćelija koji se preklapaju.

Nakon što je određeno na kojim kanalima će AP-ovi raditi, potrebno je odrediti koliko će se pojedine ćelije preklapati. Preklapanje ne smije biti preveliko zbog mogućnosti *co-channel* interferencije, a ne smije biti ni premalo zbog mogućnosti nastanka rupa u pokrivenosti prostora signalom.

[12] https://www.interfacett.com/blogs/3-problems-that-occur-when-deploying-in-the-2-4-ghz-band-in-wifi-networks/

Za klasični prijenos podataka tipični postotak preklapanja iznosi 10 do 15%, dok je za VoIP preporuka da preklapanje ćelija iznosi 20%. Razlike u postotku preklapanja nastaju iz protokola koji se koriste. Klasični prijenos podataka se prenosi TCP protokolom te ako dođe do gubitka pojedinih paketa u mreži TCP će se pobrinuti da se izgubljeni paketi ponovno pošalju. To će uzrokovati određenu latenciju prilikom učitavanja stranica/prijenosa podataka, ali svi potrebni paketi će stići do primatelja. VoIP za prijenos koristi UDP koji se ne brine za izgubljene pakete, stoga je potrebno veće preklapanje ćelija da bi se minimalizirao rizik od gubitka mreže zbog preslabog signala u određenom dijelu prostora.

Veće preklapanje ćelija povećava mogućnost *co-channel* interferencije što *site survey* i planiranje implementacije čini krucijalnim jer je potrebno osigurati da se ćelije dovoljno preklapaju da bi se osigurala dovoljna kvaliteta signala za uspostavu i održavanje poziva, uz minimaliziranje mogućnosti *co-channel* interferencije.

Ako je potrebno implementirati WLAN na više katova zgrade potrebno je uzeti u obzir signale s katova iznad i ispod. Signal prolazi kroz prepreke horizontalno, ali i vertikalno te je potrebno uzeti u obzir i te potencijalne smetnje. Implementacija istog rasporeda kanala na više katova će rezultirati međusobnim interferencijama između AP-ova na različitim katovima zbog prolaska signala kroz podove i stropove. Također, odabir antene ima veliku ulogu u prelijevanju signala između više katova. Tako će npr. omnidirekcijska antena uzrokovati mnogo više „curenja“ signala kroz pod i strop od npr. *Yagi* antene koja je direkcijska.

Većina navedenih problema (interferencije uzrokovane preklapanjem ćelija u istom ili susjednom kanalu, problemi prilikom implementacije WLAN-a na više katova zgrade...) se odnosi na WLAN u pojasu 2.4 GHz. U pojasu 5 GHz je takve probleme lako zaobići zato je širina pojasa veća te postoji više kanala koji se mogu koristiti.

2.3 Regulative

2.3.1 Spektar 2.4 GHz

ITU-R (radiokomunikacijski sektor ITU-a) je definirao radio frekvencijski spektar u rasponu od 2400 do 2500 MHz na svjetskoj razini kao industrijski, medicinski i znanstveni (IMS) spektar.

To znači da bilo koji IMS uređaj ima mogućnost emitiranja signala u ovom frekvencijskom spektru bez potrebe za licencom, uz uvjet da su uređaji u skladu s lokalnim regulativama koje definiraju razinu snage i tip signala koji uređaj emitira. Efektivna izotropska snaga zračenja (engl. *effective isotropic radiated power*, skraćeno EIRP) predstavlja zbroj izlazne snage uređaja i dobitka antene kojem su oduzeti gubici u kablovima. ETSI definira maksimalni EIRP za Europu te on iznosi 20 dBm. [13]

2.3.2 Spektar 5 GHz

U ovom spektru pravila su kompleksnija nego u spektru 2.4 GHz zato što je spektar podijeljen na četiri podspektra (UNII-1, UNII-2, prošireni UNII-2 i UNII-3). U Europi ETSI definira maksimalni EIRP koji iznosi 23 dBm u UNII-1 i UNII-2 podspektru te 30 dBm u proširenom UNII-2 podspektru dok za UNII-3 podspektar EIRP nije definiran. Sva tri podspektra (UNII-1, UNII-2, prošireni UNII-2) su slobodna za korištenje za implementacije unutar zatvorenih prostora, dok je jedino prošireni UNII-2 podspektar dopušten za implementacije na otvorenom prostoru.[14]

2.4 Kodiranje i modulacija signala

Svaki radio se sastoji od odašiljača i prijemnika. Funkcija odašiljača je da enkodira i modulira informacije u radio val, dok prijemnik demodulira i dekodira primljene informacije.

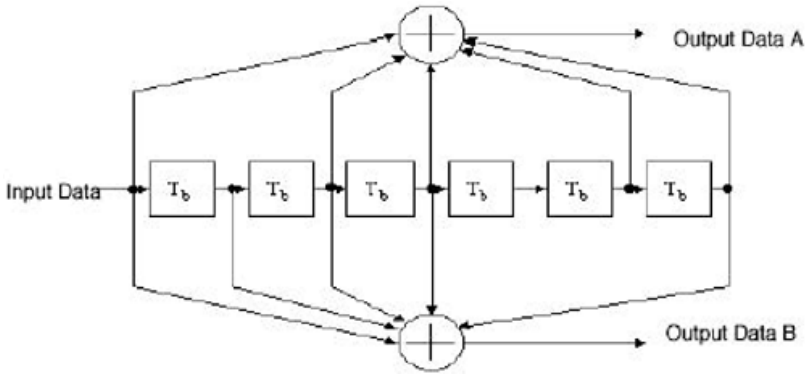
2.4.1 Kodiranje

Kodiranje dodaje redundanciju u tok podataka. Razlikujemo nekoliko tipova kodiranja, kao što su 1/2, 1/4, 3/4, 5/6. Kodiranje 1/2 dodaje redundanciju u podatkovni tok tako što se za svaki bit informacija koji je potrebno poslati zapravo šalje 2 bita, jedan informacijski i jedan redundantni bit. Tip kodiranja koji će se koristiti najviše ovisi o okruženju u kojem WLAN radi.

[13] Henry, Jerome: CCNP Wireless (642-732 CUWSS) Quick Reference, 2nd Edition, Cisco Press, 2012.
[14] Henry, Jerome: CCNP Wireless (642-732 CUWSS) Quick Reference, 2nd Edition, Cisco Press, 2012.

Ako u okruženju postoji mnogo smetnji i velika je gustoća AP-ova i klijentskih uređaja poželjno je koristiti 1/2 ili čak 1/4 kodiranje jer pružaju veliku razinu redundancije te ako dođe do gubitka jednog bita retransmisija paketa se neće desiti zbog redundancije. U slučajevima gdje nema mnogo smetnji, kodiranja 3/4 i 5/6 pružaju dovoljnu razinu redundancije.

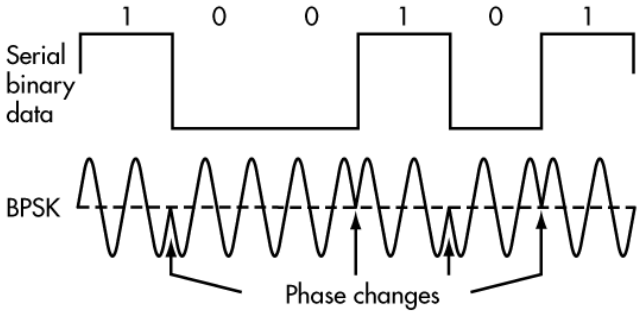
Osim redundancije, posljedica kodiranja je smanjena brzina prijenosa podataka koja je uzrokovana slanjem redundantnih bitova umjesto informacijskih bitova. Što se više redundantnih bitova šalje, brzina prijenosa podataka se više smanjuje.



Slika 2.8 Primjer implementacije 1/2 enkodera[15]

2.4.2 Modulacija

Modulacija predstavlja prikaz bitova u valnom obliku.

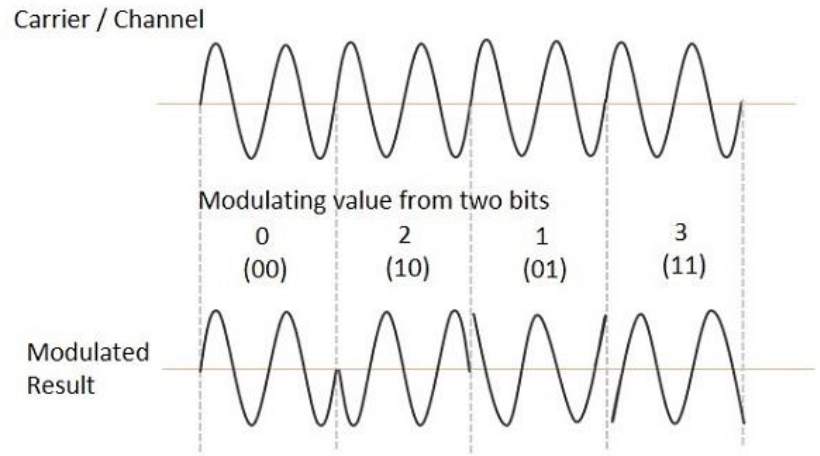


Slika 2.9 Primjer BPSK modulacije[16]

Slika prikazuje binarnu diskretnu modulaciju faze (engl. *Binary Phase Shift Keying*, skraćeno BPSK). Na slici možemo vidjeti da svaka faza prenosi jedan bit.

[15] https://flylib.com/books/en/2.92.1.83/1/
[16] https://www.electronicdesign.com/communications/understanding-modern-digital-modulation-techniques

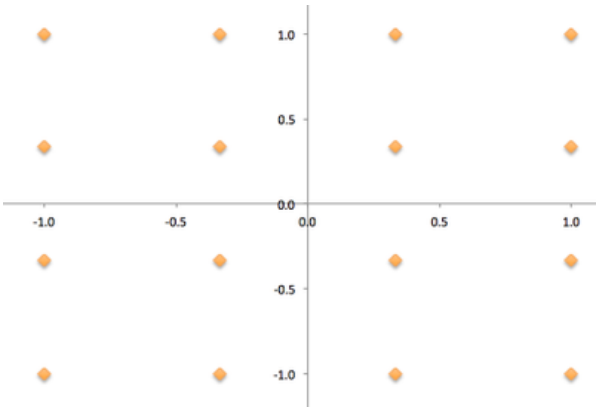
Ako faza kreće prema gore, to predstavlja 1, a ako kreće prema dolje, to predstavlja 0. BPSK podrazumijeva da se faze vala izmjenjuju za 180 stupnjeva , odnosno prenosi jedan bit po modulacijskom simbolu.



Slika 2.10 Primjer QPSK modulacije[17]

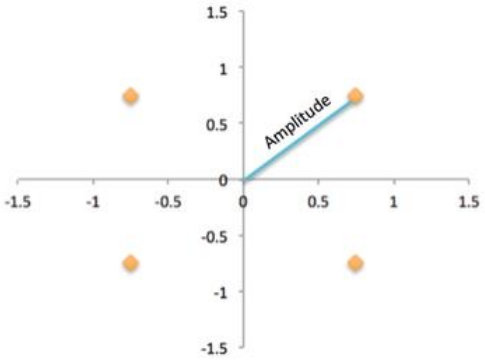
Slika prikazuje kvadraturnu diskretnu faznu modulaciju (engl. *Quadrature Phase Shift Keying*, skraćeno QPSK). QPSK podrazumijeva da se faze vala izmjenjuju za 90 stupnjeva, odnosno prenosi dva bita po modulacijskom simbolu. Prijenosom dva bita po modulacijskom simbolu umjesto jednog, brzina prijenosa podataka u istom frekvencijskom kanalu se povećava za duplo. Što se više bitova prenosi, brzina prijenosa podataka raste. Međutim, povećanje broja bitova koji se prenosi po modulacijskom simbolu koristeći diskretnu faznu modulaciju nije optimalno te se umjesto isključivo fazne modulacije u praksi koristi tzv. kvadraturna amplitudna modulacija (engl. *Quadrature Amplitude Modulation*, skraćeno QAM). QAM je kombinacija fazne i amplitudne modulacije te se osim izmjene faza izmjenjuje i amplituda vala.

[17]https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_quadrature_phase_shift_keying.htm



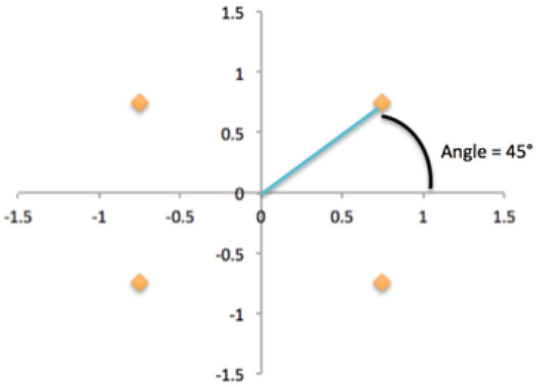
Slika 2.11 Primjer QAM modulacije[18]

Slika prikazuje točke u kvadrantima koje predstavljaju bitove 16QAM modulacije. Svaka označena točka u koordinatnom sustavu predstavlja fazu, odnosno amplitudu modulacije. Udaljenost točke od ishodišta predstavlja amplitudnu modulaciju, a kut koji zatvara točka između ishodišta i osi X predstavlja faznu modulaciju.



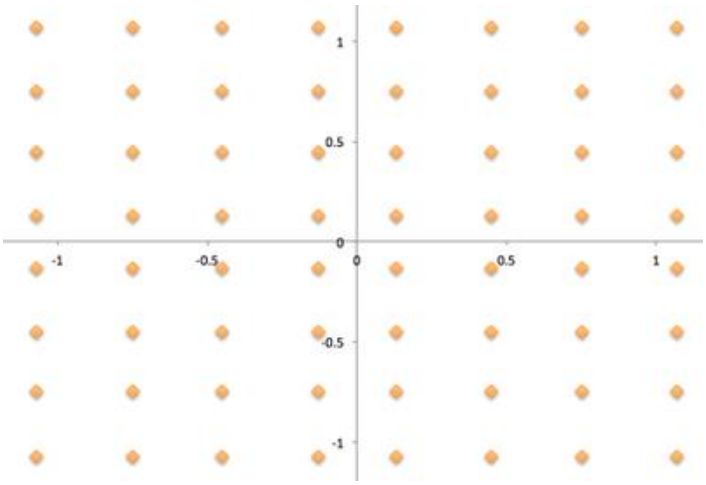
Slika 2.12 Vrijednost amplitude signala[19]

[18] https://community.arubanetworks.com/t5/Technology-Blog/What-is-QAM/ba-p/114747
[19] https://community.arubanetworks.com/t5/Technology-Blog/What-is-QAM/ba-p/114747



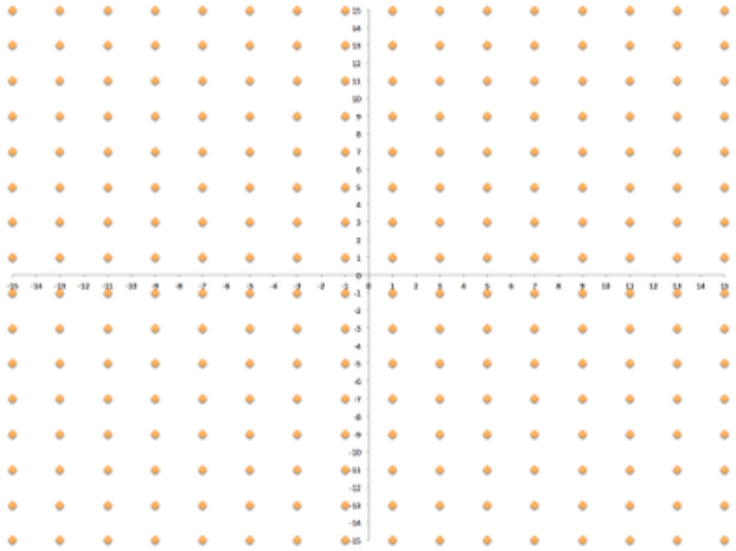
Slika 2.13 Vrijednost faze signala[20]

16QAM modulacija prenosi četiri bita po modulacijskom simbolu. Standard 802.11ac, osim 16QAM modulacije podržava 64QAM i 256 QAM koji prenose šest, odnosno osam bitova po modulacijskom simbolu.



Slika 2.14 Prikaz 16QAM modulacije[21]

[20] https://community.arubanetworks.com/t5/Technology-Blog/What-is-QAM/ba-p/114747
[21] https://community.arubanetworks.com/t5/Technology-Blog/What-is-QAM/ba-p/114747



Slika 2.15 Primjer 256QAM modulacije[22]

Na slikama je vidljivo da što je veća razina modulacije, u koordinatnom sustavu je više točaka što uzrokuje prijenos više bitova po modulacijskom simbolu te povećanje brzine prijenosa podataka. S obzirom na to da što je više točaka, manja je razlika između dvije točke te u uvjetima s mnogo smetnji u frekvencijskom spektru uređaji teže detektiraju koju vrijednost val predstavlja, stoga je potrebno naći optimalnu razinu QAM modulacije za svaku implementaciju. Na nekim uređajima je moguće podesiti da se npr. u blizini AP-a koristi jedna razina modulacije (npr. 256QAM) zbog jačine signala (pogotovo ako nema mnogo smetnji), a što se klijentski uređaj više udaljava od AP-a prema rubu ćelije razina modulacije se postepeno smanjuje što rezultira manjom brzinom prijenosa podataka na rubovima ćelija, ali uređaji će mnogo bolje detektirati signal s ruba ćelije ako se koristi 16QAM nego 256QAM zato što je mnogo manja gustoća točaka te se šalje manje bitova po modulacijskom simbolu.

[22] https://community.arubanetworks.com/t5/Technology-Blog/What-is-QAM/ba-p/114747

3 Što je Wireless Site Survey

Wireless Site Survey je postupak analize prostora u kojem je potrebno implementirati WLAN ili analiza postojeće implementacije WLAN-a s ciljem optimizacije istog te postizanja optimalnih performansi. Za provedbu *site surveya* koriste se specijalizirani alati koji pružaju detaljan uvid u RF okruženje u prostoru u kojem se *survey* provodi te imaju mogućnost izračunavanja optimalne implementacije na osnovu izmjerenih rezultata.

3.1 Prikupljanje podataka o korisniku i korisničkih zahtjeva

Prije provođenja samog *surveya* potrebno je prikupiti podatake o korisniku, odnosno tvrtki ili ustanovi u kojoj se *survey* provodi. Prikupljanje informacija se može provesti na više načina. U slučaju da *survey* provodi osoba koja nije zaposlenik tvrtke, nego vanjski konzultant, prikupljanje podataka o korisniku se obično provodi putem formulara s pitanjima na koja korisnik mora odgovoriti kako bi osoba koja provodi *survey* dobila potrebne informacije za kvalitetno provođenje *surveya*. U slučaju da *survey* provodi osoba koja je zaposlena u tvrtki ili ustanovi u kojoj provodi *survey*, detaljno prikupljanje informacija kroz formular nije potrebno jer osoba već ima uvid u većinu informacija. Ako postoje nejasnoće i nedoumice vezane uz informacije koje osoba koja provodi *survey* posjeduje i same ciljeve provođenja *surveya* potrebno je organizirati sastanak s odgovornom osobom iz tvrtke kako bi se razjasnile i utvrdile sve činjenice potrebne za kvalitetno provođenje *surveya*.

Informacije koje su potrebne za provođenje *surveya* su:

- Tip organizacije i specifični zahtjevi implementacije s obzirom na poslovanje
- Tlocrt zgrade/ureda
- Potencijalni izvori smetnji u radio frekvencijskom spektru
- Osnovne informacije o arhitekturi ureda i/ili zgrade (materijali od kojih su načinjeni zidovi, gdje se nalaze unutarnji prozori, postoje li metalne površine ili predmeti u uredu i sl.)
- Tipovi uređaja koji će se spajati na WLAN (prijenosna računala, pametni telefoni, tableti...)
- Model AP uređaja koje tvrtka planira implementirati

Različiti tipovi organizacija imaju različite zahtjeve za WLAN, tako na primjer poslovni uredi zahtijevaju drugačiju implementaciju WLAN-a od bolnica i obrazovnih ustanova itd. Također, ovisno o tipu tvrtke, postoje određeni specifični zahtjevi koje određuje poslovanje tvrtke, a koji definiraju kako će se implementirati WLAN. Naprimjer, velik broj tvrtki u svom poslovanju koristi VoIP i vrlo je važno da je pozive moguće uspostaviti u bilo kojem trenutku i s bilo kojeg mjesta u uredu/zgradi. Ako tvrtka planira koristiti WLAN za VoIP komunikaciju osoba koja provodi *survey* mora znati za tu činjenicu jer je WLAN potrebno optimizirati za VoIP i WLAN koji je optimiziran za standardni prijenos podataka ne zadovoljava uvjete koje VoIP zahtjeva.

3.1.1 Zahtjevi implementacije WLAN-a, ovisno o tipu organizacije:

3.1.1.1 Poslovni uredi

Karakteristika poslovnih ureda je velika gustoća uređaja, čemu pogoduje sve veća upotreba prijenosnih računala, pametnih telefona, tableta i sl. Obično se najviše koriste aplikacije koje pristup mreži koriste za standardni prijenos podataka (e-mail, prijenos datoteka, pristup bazama podataka, pregledavanje internet stranica, udaljeni pristup računalima i sl.). Ovisno o potrebama tvrtke, u nekim slučajevima se mnogo koriste i servisi ili aplikacije koje zahtijevaju veću propusnost te kontinuiranu pokrivenost unutar cijelog prostora. Primjeri takvih servisa i aplikacija su VoIP, CRM... Također je potrebno obratiti pažnju na okolinu u kojoj se ured nalazi te na urede ostalih tvrtki unutar iste zgrade (ako ih ima). Kod dizajna WLAN mreže u poslovnim uredima najvažnije je identificirati koji su najvažniji servisi/aplikacije koje će ga koristiti te mrežu dizajnirati uzimajući u obzir specifične zahtjeve koje ti servisi/aplikacije imaju. Potrebno je posebnu pažnju obratiti na područja koja nije lako pokriti signalom kao što su predvorja, auditoriji i velike sobe za sastanke. Za takva područja ponekad je potrebno iskoristiti kreativna rješenja, kao što je direkcijska antena s postavljenom niskom snagom prijenosa na AP-u. Mali uredi u poslovnim zgradama ili kućni uredi zahtijevaju malo drugačiji pristup. U takvim slučajevima obično nije potrebno provoditi detaljan *survey* te je implementacija svega nekoliko AP-ova dovoljna kako bi se postigli odgovarajuća pokrivenost prostora signalom i željena snaga signala u cijelom prostoru.

Najčešći problem kod takvih implementacija su interferencije koje nastaju od WLAN mreža drugih tvrtki unutar zgrade stoga je potrebno detaljno provesti *Layer 1 survey* kako bi se AP-ovi mogli postaviti na najbolje moguće kanale radi smanjenja utjecaja interferencija na WLAN mrežu. Također, potrebno je obratiti pažnju na prijenosnu snagu AP-ova te ju je potrebno postaviti tako da se koristi minimalna snaga potrebna da pokrivenost prostora signalom bude odgovarajuća.[23]

3.1.1.2 Obrazovne ustanove

Najveću pažnju prilikom implementacije WLAN-a u obrazovnim ustanovama treba posvetiti korisnicima, odnosno djeci ako se radi o osnovnoškolskim i srednjoškolskim ustanovama. AP-ove treba postaviti na mjesta koja nije lako dosegnuti te ih je potrebno fizički zaštititi kako ih se ne bi moglo oštetiti jer trepćuća svjetla mogu skrenuti pažnju djece na uređaj što može rezultirati destruktivnim ponašanjem prema istome. Implementacija WLAN-a u obrazovnim ustanovama obično zahtjeva standardnu pokrivenost prostora signalom kao i u ostalim slučajevima gdje se WLAN optimizira za standardni prijenos podataka. U nekim slučajevima se WLAN može koristiti i za ostale aplikacije, kao što je VoWLAN (Voice over WLAN) koji se najčešće koristi za video nadzor te je potrebno obratiti pozornost na zahtjeve takvih aplikacija prilikom provedbe *surveya*.[24]

3.1.1.3 Proizvodni pogoni

U proizvodnim pogonima WLAN se koristi za optimizaciju proizvodnog procesa.

Okruženja u proizvodnim pogonima predstavljaju sljedeće izazove prilikom implementacije WLAN-a:

- Refleksija signala - metalne grede, transportne trake, žičane ograde, metalne police ili sami proizvodi predstavljaju izvor refleksija signala
- Pokretni objekti - AP-ovi i antene moraju biti izvan dosega pokretnih objekata i vozila (npr. viličari) kako ne bi bili pomaknuti ili oštećeni prilikom kretanja vozila i prenošenja robe

[23] Henry, Jerome: CCNP Wireless (642-732 CUWSS) Quick Reference, 2nd Edition, Cisco Press, 2012.
[24] Henry, Jerome: CCNP Wireless (642-732 CUWSS) Quick Reference, 2nd Edition, Cisco Press, 2012.

- Interferencije - elektromotori u strojevima mogu predstavljati izvor ometajućih frekvencijskih signala
- Postavljanje opreme - proizvodni pogoni uglavnom imaju visoke stropove i metalne zidove. Postavljanje AP-ova i antena na zidove može biti vrlo teško, a strop može biti previsok te pokrivenost prostora signalom neće biti adekvatna.

Preklapanje ćelija u ovakvim okruženjima obično treba iznositi 10-15% kako bi se minimalizirao utjecaj smetnji. Također je potrebno uzeti u obzir prostor gdje uređaji koji koriste WLAN nisu statični nego su u pokretu, kakve su im putanje te mijenjaju li se s vremenom ili su uvijek iste. Potrebno je dobro procijeniti kolika će mrežna propusnost biti potrebna te kolika je tolerancija na latenciju, odnosno kašnjenje signala.[25]

3.1.1.4 Skladišta

U skladišnim prostorima zahtjevi za WLAN su sljedeći:

- mrežna propusnost ne treba biti izuzetno velika
- mrežni promet se uglavnom svodi na prikupljanje podataka i transakcije
- korisnici se obično mnogo kreću unutar skladišta

Prilikom provođenja *surveya* u skladištu potrebno je pažljivo procijeniti gustoću uređaja koji će koristiti WLAN. Ponekad može biti svega nekoliko korisnika tijekom prosječnog radnog dana, ali se ta brojka naglo poveća kada stigne pošiljka. Planiranje pokrivenosti prostora signalom u skladištu se znatno razlikuje od planiranja u poslovnim uredima. Skladišta obično imaju visoke stropove i visoke police između kojih su dugi prolazi. Također, u skladištu postoji mnogo predmeta i površina koji mogu reflektirati ili apsorbirati signal. U takvim uvjetima je *survey* nužno provesti kada je najveća moguća gustoća aktivnih uređaja.

Implementacija WLAN-a u takvim uvjetima nije jednostavna zbog mnogo smetnji i prepreka koje uzrokuju refleksije i apsorpciju signala. Kako bi se osigurala optimalna pokrivenost prostora (koji većinom uključuje prolaze između visokih polica) najbolje je implementirati AP-ove s vanjskim visoko direkcijskim antenama (*Yagi* antenama) te antene postaviti na sredinu prolaza između polica. Tako će svaki prolaz biti pokriven signalom visoke kvalitete, a refleksije i apsorpcija signala od strane polica i predmeta na njima će se minimalizirati.

[25] Henry, Jerome: CCNP Wireless (642-732 CUWSS) Quick Reference, 2nd Edition, Cisco Press, 2012.

Također, prilikom implementacije je potrebno uzeti u obzir vlažnost i temperaturu zraka u skladištu jer takvi uvjeti zahtijevaju posebna kućišta za AP-ove i antene kako bi ih se zaštitilo.[26]

3.1.1.5 Maloprodaja

Maloprodajne trgovine obično uključuju malo skladište i prostor trgovine. WLAN mreža se obično koristi za prikupljanje podataka, fiskalne blagajne i multimedijske stanice za reklamne sadržaje. Ponekad trgovine koriste WLAN i za zahtjevnije aplikacije kao što je VoWLAN (može se koristiti za video nadzor). Demonstracije proizvoda kao što su monitori za bebe, DECT telefoni mogu uzrokovati smetnje za WLAN mrežu jer rade u istom frekvencijskom spektru kao i WLAN.

Za prikupljanje podataka se uglavnom koriste fiskalne blagajne i čitači barkodova i ne zahtijevaju veliku mrežnu propusnost za svoj rad. Prije provođenja *surveya* potrebno je prikupiti informacije o uređajima (fiskalnim blagajnama i čitačima barkodova) koje trgovina koristi i provjeriti koje standarde 802.11 podržavaju zbog kompatibilnosti i optimalnih performansi. Ako trgovina ima prostor za dostavu koji se nalazi izvan prostorija, a na tom prostoru je potreban WLAN za čitače barkodova koje koriste dostavljači potrebno je osigurati da signal na tom prostoru bude odgovarajuće kvalitete.[27]

3.1.1.6 Transport

Organizacije koje se bave transportom uključuju autobusne i željezničke terminale i perone te zračne luke. U prostoru koji je potrebno pokriti signalom na takvim područjima postoje mnoge prepreke koje izazivaju refleksije signala te interferencije. Najčešće su prepreke velika metalna vozila (autobusi, vlakovi) koja stoje na peronima. Signal na peronima treba biti uzak, ali mora imati velik doseg. Za takve implementacije najbolje je odabrati AP-ove s visoko direkcijskim vanjskim antenama kao što su *Yagi* antene. Na zračnim lukama vanjski prostor može uzrokovati probleme prilikom implementacije zbog vremenskih uvjeta (također, potrebno je posebno kućište za AP-ove i antene). Avioni i ostala vozila predstavljaju velik izvor interferencija, a činjenica da su gotovo stalno u pokretu predstavlja problem za WLAN jer izvori interferencija nisu statični i ovisno o trenutku kvaliteta signala u prostoru može znatno varirati.

[26] Henry, Jerome: CCNP Wireless (642-732 CUWSS) Quick Reference, 2nd Edition, Cisco Press, 2012.
[27] Henry, Jerome: CCNP Wireless (642-732 CUWSS) Quick Reference, 2nd Edition, Cisco Press, 2012.

U putničkom dijelu terminala postoji manje problema za WLAN. Takvi prostori su uglavnom široke i duge prostorije bez mnogo zidova i prepreka. Velike gužve na terminalu mogu predstavljati veliki izazov prilikom provođenja *surveya,* a za pristup određenim prostorijama s opremom za *survey* nije moguć bez pratnje ovlaštenih osoba.[28]

3.1.1.7 Hotelijerstvo

Hoteli su zgrade s mnogo katova i malim sobama. AP-ovi su obično skriveni u stropu ili posebnim kučištima. Razlog tome je zaštita uređaja od vandalizma. Pokrivenost prostora signalom se uglavnom optimizira za standardni podatkovni prijenos i pristup internetu, ali u nekim slučajevima WLAN se može koristiti i za prikupljanje podataka (računalo na recepciji, upravljanje minibarom, blagajna i sl.). Gustoću uređaja koji koriste WLAN u hotelima je vrlo lako predvidjeti jer je broj osoba koje mogu biti u pojedinoj sobi poznat. Izazov mogu predstavljati velike konferencijske dvorane gdje gustoća aktivnih korisnika može biti izuzetno velika. Također, trebalo bi uzeti u obzir da je u većini slučajeva potrebno odvojiti WLAN za goste od WLAN-a za zaposlenike hotela zbog sigurnosnih razloga.[29]

3.1.1.8 Zdravstvo

Zdravstvene ustanove često koriste specifične aplikacije čije specifikacije određuju implementaciju WLAN-a. Naprimjer, prijenosni rendgenski uređaji mogu zahtijevati izuzetno visoku mrežnu propusnost. Neke bolnice također nude i besplatni WLAN za svoje pacijente.

Bolnice obično zahtijevaju pokrivenost signalom koji je optimiziran za visoku gustoću uređaja te visoku mrežnu propusnost. Velik izvor interferencija u bolnicama mogu biti uređaji koji rade u istom dijelu RF spektra kao i WLAN. Iako ti uređaju uglavnom ne koriste 802.11 standard, predstavljaju značajan izvor interferencija. Takvi uređaji koriste tzv. ISM spektar (Industrijski, znanstveni i medicinski frekvencijski spektar, engl. Industrial, Scientific and Medical radio band, skraćeno ISM). WLAN mreža predstavlja izvor interferencija za ISM uređaje isto kao što ISM uređaji predstavljaju izvor interferencija za WLAN. Zbog toga je potrebno saznati specifikacije ISM uređaja i implementaciju WLAN-a prilagoditi tako da se interferencije između WLAN-a i ISM uređaja minimaliziraju.

[28] Henry, Jerome: CCNP Wireless (642-732 CUWSS) Quick Reference, 2nd Edition, Cisco Press, 2012.
[29] Henry, Jerome: CCNP Wireless (642-732 CUWSS) Quick Reference, 2nd Edition, Cisco Press, 2012.

Većina bolnica zahtjeva pokrivenost signalom na više katova, a sobe su većinom male sa zidovima velike debljine (neke prostorije, kao što je prostorija za rendgen, mogu imati zidove obložene olovom zbog zaštite od radijacije). U takvim uvjetima preklapanje ćelija može predstavljati problem te je za uspješnu provedbu *surveya* potrebna konzultacija i pratnja zaposlenika IT odjela bolnice kako bi se analiza mogla izvršiti i u prostorijama s ograničenim pristupom (npr. operacijske sale). Prilikom provođenja *surveya* u bolnici potrebno je imati na umu da postoji mogućnost susreta s pacijentima u težem zdravstvenom stanju.[30]

3.1.2 Utjecaj arhitekture zgrade/ureda na WLAN

Informacije o arhitekturi ureda koje su vrlo bitne za *survey* su materijali od kojih su načinjeni unutrašnji zidovi u uredu te razmještaj unutrašnjih prozora (bitna informacija je i radi li se o jednostrukom ili dvostrukom staklu), postoje li u uredu veće metalne površine ili predmeti od kojih bi se signal mogao nepredvidivo odbijati. Sve te informacije pomažu u pravilnoj procjeni i analizi prostora u kojemu će se implementirati ili optimizirati WLAN.

Različiti materijali drugačije djeluju na signal, npr. signal mnogo lakše prodire kroz zid načinjen od gipsanih ploča nego kroz zid od cigle ili armiranog betona. Također, dvostruko staklo uzrokuje veće gubitke za signal nego jednostruko što također treba uzeti u obzir prilikom analize i implementacije WLAN mreže. U sljedećoj tablici se nalaze gubici uzrokovani prodiranjem signala kroz određene materijale.

Tablica 1 Gubitak snage signala prolaskom kroz različite materijale[31]

Materijal	Gubitak
Gipsana ploča	3 dB
Uredski prozor	3 dB
Staklena stijena (s metalnim okvirom)	6 dB
Porobeton	4 dB
Metalna vrata	6 dB
Metalna vrata u zidu od cigle	12 dB

[30] Henry, Jerome: CCNP Wireless (642-732 CUWSS) Quick Reference, 2nd Edition, Cisco Press, 2012.
[31] Henry, Jerome: CCNP Wireless (642-732 CUWSS) Quick Reference, 2nd Edition, Cisco Press, 2012.

Prilikom analize gubitaka kroz različite materijale potrebno je obratiti pažnju na činjenicu da je gubitak od 3 dB zapravo smanjenje snage signala za 50%, a gubitak od 10 dB je zapravo smanjenje snage signala za 1000%.

3.2 Tipovi surveya

Postoje dvije vrste *site surveya*, analiza radio frekvencijskog spektra (engl. *layer 1 survey*) te analiza pokrivenosti prostora signalom (engl. *layer 2 survey*). Za oba tipa *surveya* koriste se specijalizirani alati kao što su *Cisco Spectrum Expert* i *Channalyzer* za *layer 1 survey* te *Ekahau HeatMapper*, *AirMagnet Survey* i *Acrylic WiFi HeatMaps* za *layer 2 survey*.

3.2.1 Analiza frekvencijskog spektra (Layer 1 survey)

Layer 1 survey podrazumijeva analizu oba frekvencijska spektra te identifikaciju smetnji i izradu plana implementacije frekvencijskih kanala na osnovu dobivenih rezultata analize. Tijekom provođenja *layer 1 surveya* potrebno je uzeti u obzir činjenicu da izvori smetnji nisu samo druge WLAN mreže koje se nalaze u blizini, smetnje mogu uzrokovati i uređaji koji za rad koriste frekvencije iz RF spektra u kojem radi i WLAN. Primjeri takvih izvora smetnji su:

- Uređaji koji za komunikaciju koriste *bluetooth* (npr. bežične slušalice)
- Bežični telefoni
- Bežične kamere
- Neki tipovi LCD monitora
- Satelitski tanjuri
- Nezaštićeni kablovi
- Radar

Prije izrade plana implementacije potrebno je identificirati sve izvore smetnji koji mogu utjecati na kvalitetu WLAN signala i zbog toga je provedba *layer 1 surveya* ključna. Rezultat *layer 1 surveya* slika RF okruženja u prostoru te koristeći te informacije odabiru se kanali na kojima će WLAN raditi, a ovisno o jačini smetnji odlučuje se koji RF spektar će biti bolje optimiziran i primarno namijenjen za rad.

3.2.1.1 Utjecaj smetnji na WLAN

Omjer signal-šum (engl. *Signal-to-noise ratio*, skraćeno SNR) predstavlja omjer snage signala u odnosu na snagu šuma (smetnji). Za WLAN je ključno da je snaga signala uvijek veća od snage šuma kako bi uređaji mogli razaznati WLAN signal od šumova.

802.11 standardi su dizajnirani tako da WLAN može raditi u okruženjima s mnogo smetnji. Kako bi se izbjegle kolizije uređaji „slušaju“ prije početka prijenosa. Medij za prijenos podataka (u ovom slučaju zrak) mora biti slobodan (više uređaja ne smije slati signal na istoj frekvenciji u istom trenutku) kako bi uređaj mogao započeti s prijenosom. Ako je postoje smetnje na frekvenciji na kojoj uređaj radi uređaj neće započeti sa slanjem. Nakon određenog vremena uređaj ponovno „sluša“ te ako smetnji nema (drugi uređaj je završio s prijenosom) započinje prijenos, a ako nije ponovno čeka određeno vrijeme. Iz toga možemo zaključiti da smetnje uzrokuju kašnjenja u prijenosu jer što je više smetnji u spektru uređaj će više i češće morati čekati da se medij oslobodi kako bi mogao započeti prijenos. Također, smetnje utječu na razinu modulacije i kodiranja koju će uređaji koristiti. U dobrim uvjetima s malo smetnji u RF spektru uređaj može koristiti 64QAM ili čak 256QAM razinu modulacije kako bi se povećala mrežna propusnost i postigle veće brzine prijenosa. Što je više smetnji u RF spektru uređaj će koristiti nižu razinu modulacije zbog toga što je signal moduliran nižom razinom modulacije lakše demodulirati nego signal s visokom razinom modulacije. U dobrim uvjetima uređaji neće morati koristiti visoke razine kodiranja signala (kao što su 1/2 i 1/4) nego će koristiti niže razine jer u dobrim uvjetima nije potrebna visoka razina redundancije bitova. U uvjetima s mnogo smetnji visoka razina redundancije bitova je potrebna kako bi se izbjeglo odbacivanje mrežnih paketa i retransmisije. Iz toga možemo zaključiti da u okruženju s mnogo smetnji u RF spektru uređaji će morati koristiti niže razine modulacije i više razine kodiranja signala što za posljedicu ima smanjenu mrežnu propusnost i brzinu prijenosa.

3.2.1.2 Provedba layer 1 surveya

Layer 1 survey se može provesti na nekoliko načina. Najčešće se provodi pomoću specijaliziranih alata koji detektiraju sve signale u RF spektru te grafički prikazuju rezultate mjerenja. Takvi alati za rad zahtijevaju posjedovanje specijaliziranih kompatibilnih antena.

Neki alati za *layer 1 survey* kao što je *Cisco Spectrum Expert* imaju mogućnost da na osnovu rezultata analize te dodatnih parametara koje je potrebno unijeti izrade prijedlog implementacije s optimalnim brojem AP-ova te njihovim razmještajem u prostoru.



Slika 3.1 Izgled Cisco Spectrum Expert alata[32]



Slika 3.2 Pribor nužan za rad s Cisco Spectrum Expert alatom[33]

[32] https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/spectrum/expert/4-1/users/guide/se41/seconsole.html
[33] http://www.zones.com/site/product/index.html?id=002392855

Ako osoba koja provodi *survey* ne može koristiti specijalizirani alat za *layer 1 survey* može ga provesti i bez njega.

Bez analize pomoću alata, *layer 1 survey* se svodi na manualnu analizu prostora te identifikacije potencijalnih izvora smetnji, refleksije i sl. Za identifikaciju svih susjednih WLAN mreža potrebno je koristiti specijalizirani alat, no takvi alati ne zahtijevaju dodatnu opremu i često su besplatni. Osim identifikacije susjednih WLAN mreža pomoću, takvi alati prikazuju i određene informacije o tim mrežama (kanale na kojima AP-ovi rade, snagu signala i sl.). Na osnovu tih informacija se može napraviti procjena utjecaja susjednih WLAN mreža na WLAN tvrtke u kojem se *survey* provodi.

Osim susjednih WLAN mreža, potrebno je identificirati uređaje koji ne koriste WLAN, ali odašilju signal u istom frekvencijskom spektru (npr. uređaji koji za komunikaciju koriste *bluetooth*) te materijale i površine unutar samog prostora koje uzrokuju gubitke u snazi signala i refleksije signala (zidovi, police, staklene stijene, metalni predmeti i površine i sl.). Informacije o gubicima i refleksiji signala su ključne prilikom planiranja razmještaja AP-ova u prostoru te određivanja izlazne snage AP-ova jer ako se gubici ne uzmu u obzir određeni dijelovi prostora neće zadovoljavati zahtjeve organizacije vezane uz pokrivenost prostora signalom i minimalnu snagu signala u prostoru.

3.2.2 Analiza pokrivenosti prostora signalom (Layer 2 survey)

Layer 2 survey podrazumijeva planiranje i analizu pokrivenosti prostora Wi-Fi signalom. Tijekom provedbe *layer 2 surveya* potrebno je, ručno ili pomoću specijaliziranog alata, napraviti plan razmještaja AP-ova u prostoru uzimajući u obzir zahtjeve tvrtke i rezultate *layer 1 surveya*. Osim razmještaja AP-ova potrebno je procijeniti iznos izlazne snage signala koja je potrebna kako bi se zadovoljili zahtjevi korisnika. Također, potrebno je definirati granice ćelija za svaki AP.

3.2.2.1 Razmještaj AP-ova i granice ćelija

Plan razmještaja AP-ova u prostoru je od iznimne važnosti za implementaciju WLAN-a. AP-ovi moraju biti postavljeni tako da se može osigurati pokrivenost cijelog prostora signalom odgovarajuće snage prema zahtjevima korisnika.

AP-ove je potrebno pozicionirati tako da što veći postotak signala kojeg AP odašilje bude u prostoru kojeg treba pokrivati signalom te da što manje signala izlazi izvan granica tog prostora. Potrebno je obratiti pažnju na izlaznu snagu AP-ova koja ne smije biti veća od maksimalne izlazne snage koju je propisao ETSI (za Europske zemlje, FCC za SAD). Izlaznu snagu potrebno je odrediti tako da snaga signala u prostoru zadovoljava zahtjeve korisnika i da se ćelije pojedinih AP-ova preklapaju u određenom postotku (za prijenos podataka preklapanje ćelija iznosi od 10 do 15%). Kako bi mogli odrediti u kolikom postotku se ćelije preklapaju potrebno je odrediti gdje su granice ćelija pojedinih AP-ova.

Prije nego se odrede granice ćelija potrebno je definirati snagu signala koja će predstavljati granicu ćelije. Definirana granična snaga ćelije će predstavljati minimalnu snagu signala kojeg odašilje jedan AP koja zadovoljava zahtjevima, kada je snaga signala manja od granične snage ćelije AP-a može se reći da je AP izvan dometa jer njegov signal ne ispunjava postavljene zahtjeve. Za definiranje granične snage ćelije potrebno je uzeti u obzir parametre kao što su željena brzina prijenosa, širina kanala koju je potrebno implementirati, minimalna snaga signala koja zadovoljava zahtjeve korisnika i SNR. Kada je granična snaga ćelije određena potrebno je postaviti AP-ove na njihove pozicije i napraviti testnu implementaciju (ako se radi o modifikaciji postojeće nije potrebna testna implementacija, dovoljno je modificirati postojeću implementaciju izvan radnog vremena tvrtke kako se ne bi ometao rad zaposlenika), konfigurirati izlazne snage na AP-ovima prema procjeni te odrediti gdje su njihove granice ćelija, preklapaju li se u dovoljnom postotku i zadovoljava li testna implementacija zahtjeve korisnika vezane uz pokrivenost prostora signalom i snagu signala. Izlaznu snagu je potrebno modificirati sve dok se ne postigne optimalna izlazna snaga koja ispunjava zahtjeve korisnika i potreban postotak preklapanja ćelija.

4 Postupak provedbe site surveya

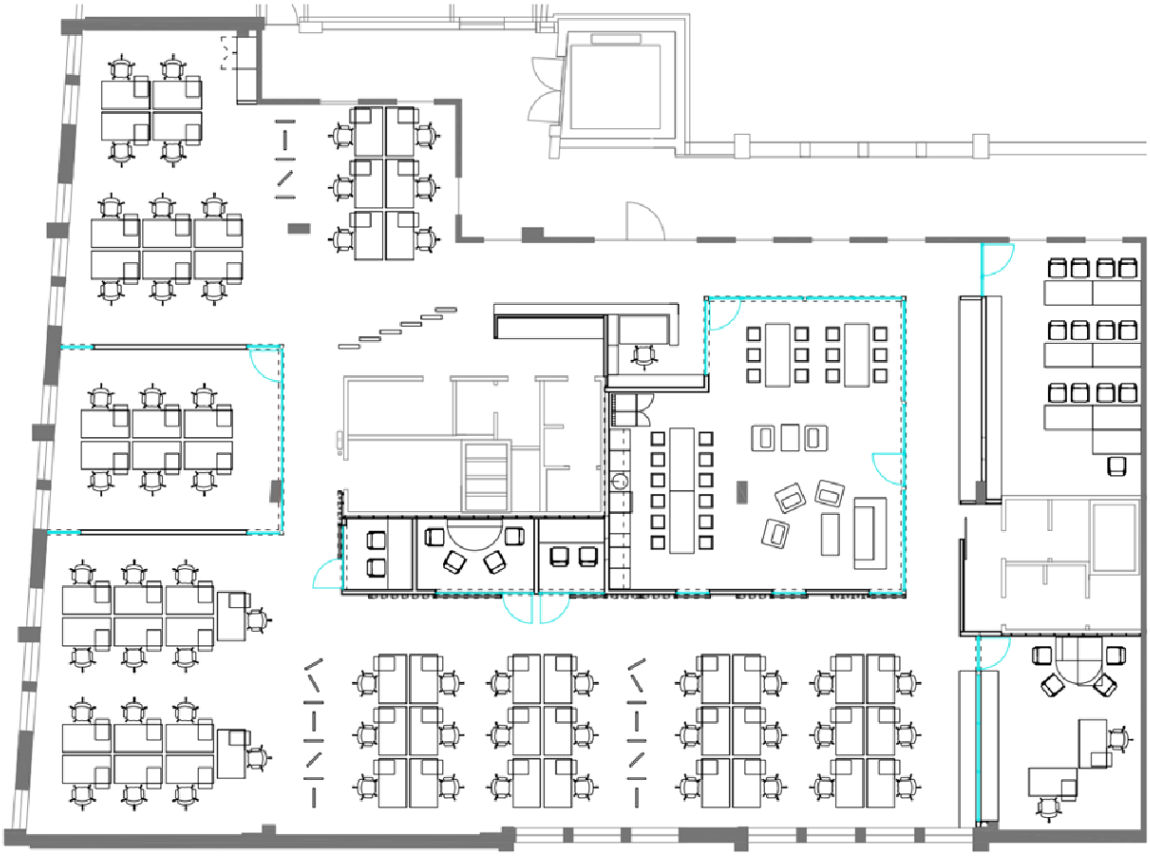
Za potrebe ovog rada, *survey* sam proveo u tvrtki SysKit d.o.o. u kojoj sam zaposlen.

SysKit d.o.o. je softverska tvrtka sa sjedištem u Zagrebu. Tvrtka se bavi proizvodnjom softvera za nadgledanje i izradu dokumentacije za različite tehnologije. Tehnologije koje portfelj tvrtke pokriva su SharePoint, Office 365, Windows Server, Remote Desktop Services i Citrix XenApp.

Poslovna zgrada u kojoj se ured tvrtke nalazi je Fabrika na Trešnjevci, u ulici Krste Pavletića. U zgradi je nekada bila tvornica, a danas je prostor preuređen u poslovne urede. Zgrada ima tri kata, a ured tvrtke SysKit se nalazi na posljednjem, trećem katu.

Zahtjevi tvrtke vezani uz WLAN sljedeći:

- Snaga Wi-Fi signala ne smije biti manja od -70 dBm
- Ne smiju postojati rupe u pokrivenosti prostora signalom
- WLAN treba biti optimiziran za podatkovni prijenos
- Sobe za sastanke moraju biti pokrivene signalom minimalne snage -60 dBm zato što se ponekad tijekom sastanaka zaposlenici sa svojim laptopima spajaju na WLAN te signal mora biti visoke kvalitete
- S obzirom na to da zaposlenici na svojim radnim mjestima ne koriste WLAN za pristup mreži na računalima, nego na mobitelima, u ostatku prostora tvrtke signal mora samo zadovoljavati minimalnu snagu i pokrivenost



Slika 4.1 Tlocrt ureda tvrtke SysKit

Na tlocrtu ureda možemo vidjeti da su radna mjesta raspoređena uz rubove ureda i zgrade, dok se u sredini nalaze recepcija, kuhinja, server soba, manja soba za sastanke, dvije sobe za video pozive i webinare, spremište, wc te garderoba. Na desnoj strani se nalazi velika soba za sastanke, wc i ured direktora. Ograđena prostorija na lijevoj strani ureda je prostorija u kojoj sjede zaposlenici korisničke podrške i prodaje. Unutrašnji zidovi u uredu su napravljeni od gipsanih ploča i stakla (stakleni dijelovi zidova su označeni plavom bojom).

Izvori smetnji za Wi-Fi signal su:

- WLAN mreže ostalih tvrtki u zgradi
- Uređaji koji za komunikaciju koriste *bluetooth*

WLAN pristupni uređaji koje tvrtka posjeduje su Ubiquiti UniFi AC Pro.



Slika 4.2 Ubiquiti UniFi AC PRO AP[34]

[34] https://www.amazon.co.uk/UBIQUITI-NETWORKS-UBI-UAP-AC-PRO-5Ghz-1300Mbps/dp/B016XYQ3WK

Specifikacije uređaja se nalaze u sljedećoj tablici:

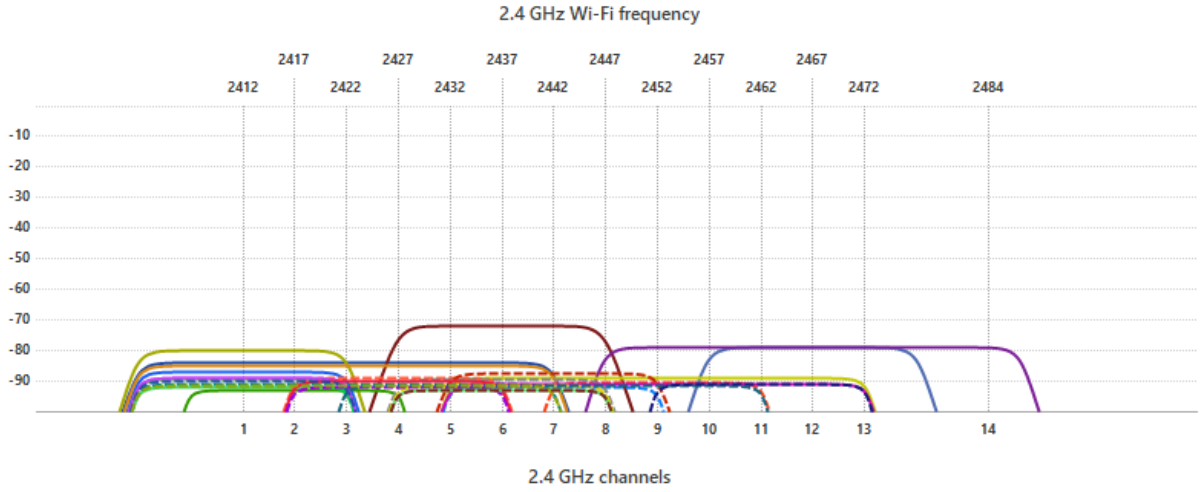
Tablica 2 Specifikacije Ubiquiti UniFi AC PRO uređaja[35]

UAP-AC-PRO	
Dimensions	196.7 x196.7 x 35 mm (7.74 x 7.74 x 1.38")
Weight with Mounting Kit	350 g (12.35 oz) 450 g (15.87 oz)
Networking Interface	(2) 10/100/1000 Ethernet Ports
Buttons	Reset
Power Method	PoE 802.3af/802.3at
Power Supply	UniFi Switch (PoE)
Max. Power Consumption	9W
Max. TX Power 2.4 GHz 5 GHz	 22 dBm 22 dBm
Antennas	(3) Dual-Band Antennas, 3 dBi each
Wi-Fi Standards	802.11 a/b/g/n/ac
Wireless Security	WEP, WPA-PSK, WPA-Enterprise (WPA/WPA2, TKIP/AES)
Mounting	Wall/Ceiling (Kits Included)
Operating Temperature	-10 to 70° C (14 to 158° F)
Operating Humidity	5 to 95% Noncondensing
Certifications	CE, FCC, IC

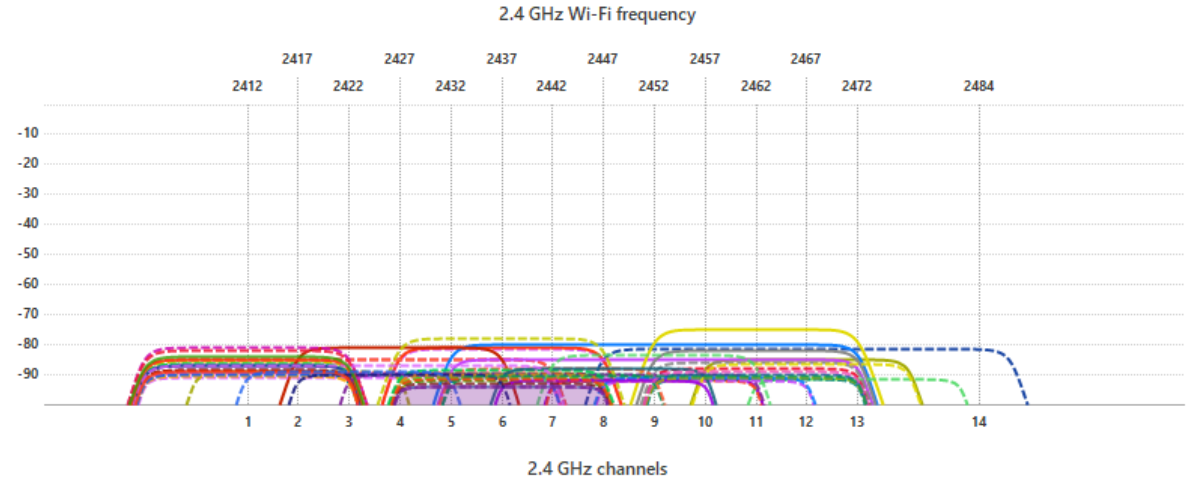
4.1 Analiza frekvencijskog spektra (Layer 1 survey)

Za potrebe *layer 1 surveya* korišteni su alati Netspot i *Bluetooth LE Scanner*. Ovi alati nisu alati za *layer 1 survey* kao što je to npr. *Cisco Spectrum Expert*. Netspot je alat koji služi za analizu WLAN mreža. Prikazuje sve WLAN mreže koje računalo otkriva te daje određene detalje o istima. Netspot je odabran zato što je za specijalizirane *layer 1 survey* alate potrebno imati i specijalizirane antene te alati ne podržavaju rad bez njih. Netspot pruža detaljan uvid u sve WLAN mreže koje detektira te ima mogućnost grafičkog prikaza oba frekvencijska spektra, jačine signala pojedinog WLAN-a te zauzeća kanala u spektru od strane istog. *Bluetooth LE Scanner* je alat za analizu *bluetooth* uređaja male snage. Alat je dostupan na pametnim telefonima koji koriste *Android* operacijski sustav. Omogućava detekciju *bluetooth* uređaja u dometu te pruža detaljan uvid u svaki od detektiranih uređaja.

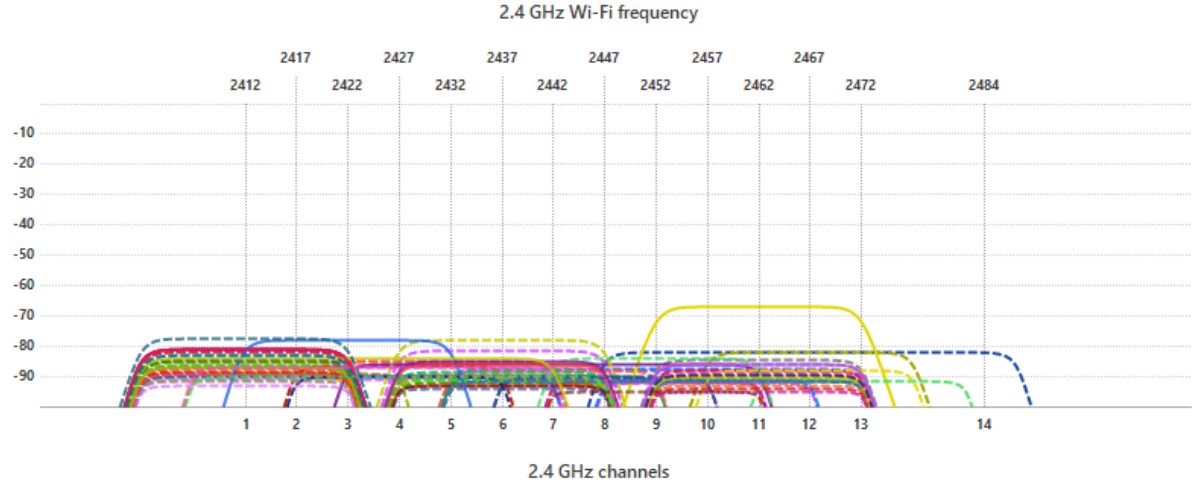
[35] Ubiquiti Networks: 802.11ac Dual-Radio Pro Access Point Quick Start Guide https://www.ubnt.com/, rujan 2018.



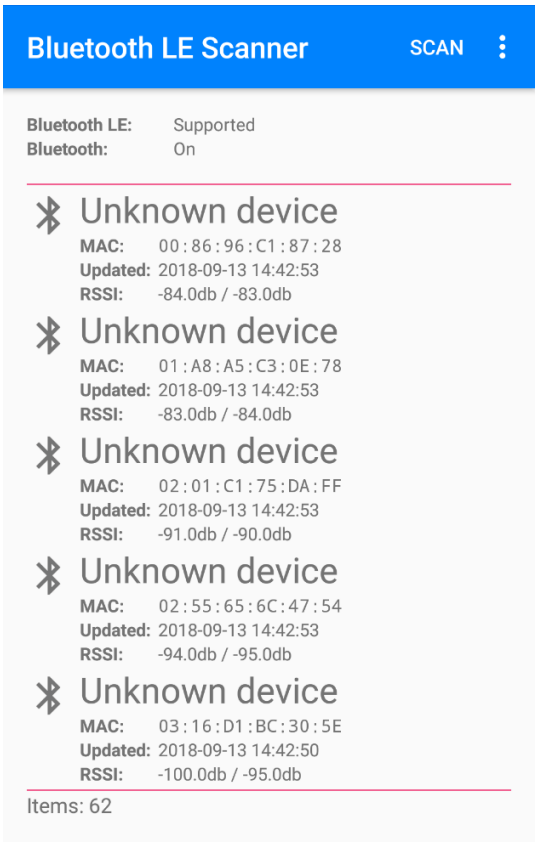
Slika 4.3 Pregled zauzeća kanala u spektru 2.4 GHz u donjem lijevom dijelu ureda



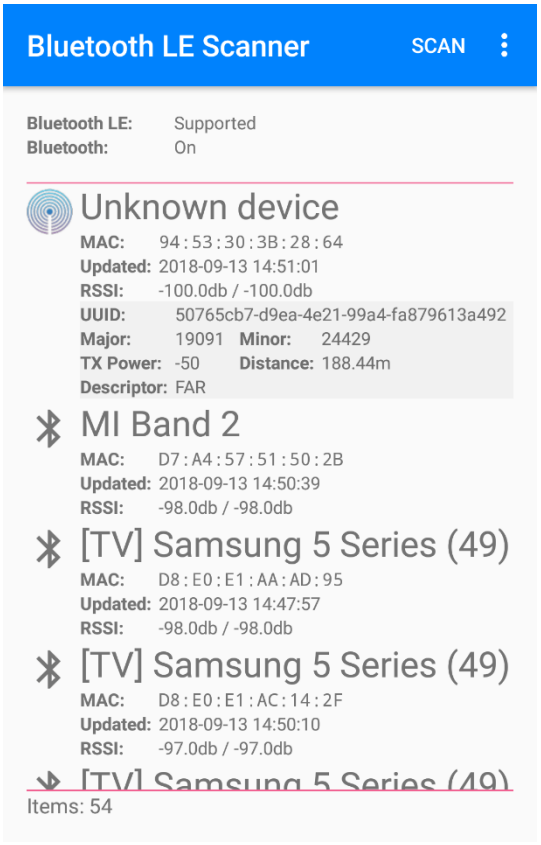
Slika 4.4 Pregled zauzeća kanala u spektru 2.4 GHz u donjem desnom dijelu ureda



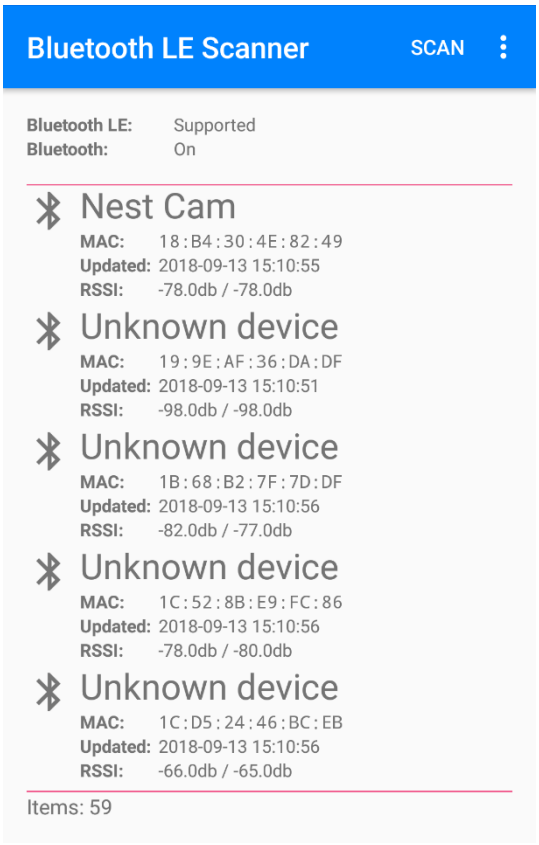
Slika 4.5 Pregled zauzeća kanala u spektru 2.4 GHz u gornjem desnom dijelu ureda



Slika 4.6 Rezultati skeniranja bluetooth uređaja u donjem lijevom dijelu ureda



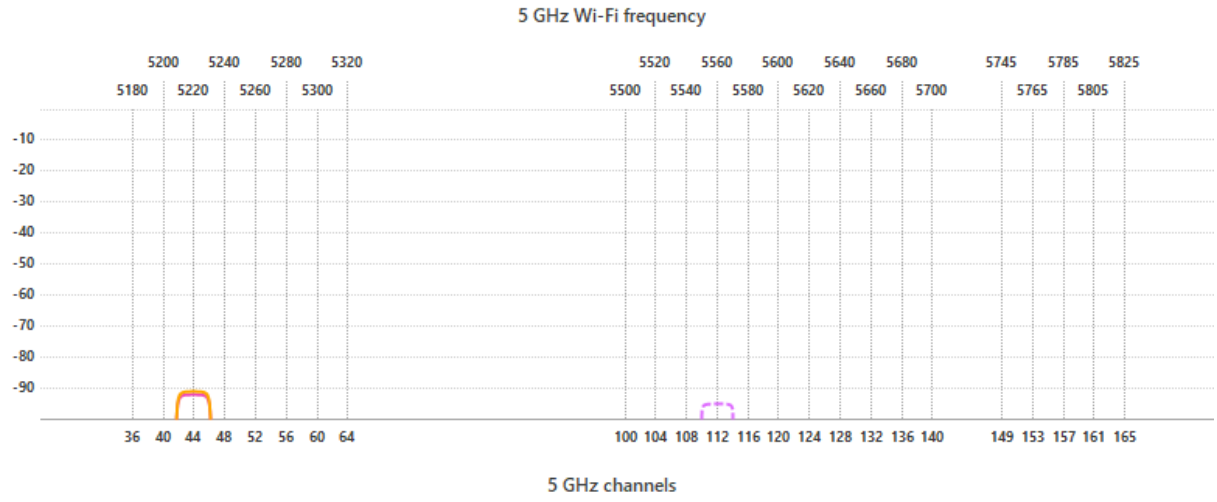
Slika 4.7 Rezultati skeniranja bluetooth uređaja u donjem desnom dijelu ureda



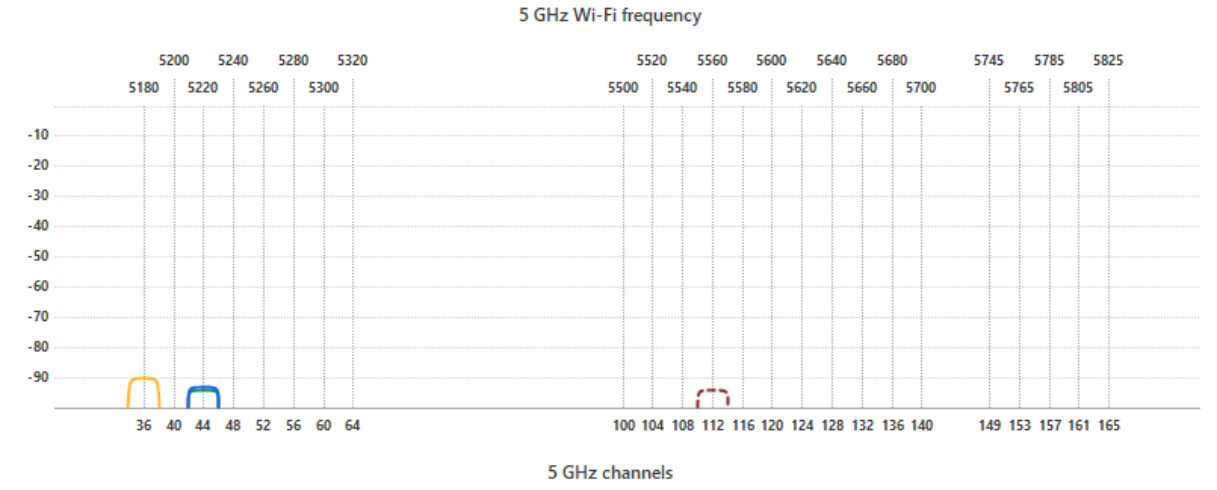
Slika 4.8 Rezultati skeniranja bluetooth uređaja u gornjem desnom dijelu ureda

Kao što možemo vidjeti na slikama, u frekvencijskom pojasu 2.4 GHz postoji velik broj WLAN mreža te je mogućnost interferencija vrlo velika. Snaga signala susjednih WLAN mreža se kreće od -70 dBm do -90 dBm. Također, broj detektiranih *bluetooth* uređaja je velik što povećava mogućnost interferencija u pojasu 2.4 GHz. Većina *bluetooth* uređaja su bežični miševi, tipkovnice i slušalice. Osim toga, u uredu su postavljene tri IP kamere kojima je moguće upravljati putem *bluetooth* veze te TV koji također odašilje *bluetooth* signal kao što je prikazano na slici 4.7. Snaga koju odašilju *bluetooth* uređaji u uredu se kreće od -60 dBm do -100 dBm. Prema najboljim praksama, kanali koje treba koristiti u tom pojasu su 1, 6 i 11, ili 1, 7 i 13, ovisno o rasporedu kanala ostalih WLAN mreža. Prema rezultatima prikazanim u alatima, nijedan mogući kanal nije dovoljno dobar za implementaciju WLAN-a jer bez obzira koji kanal odabrali, performanse mreže će biti degradirane zbog velikih interferencija. S obzirom na činjenicu da je interferencija unutar istog kanala manje štetna za performanse nego interferencija između susjednih kanala koji se preklapaju, kanali koje bi najbolje koristiti u ovom slučaju su 1, 6 i 11.

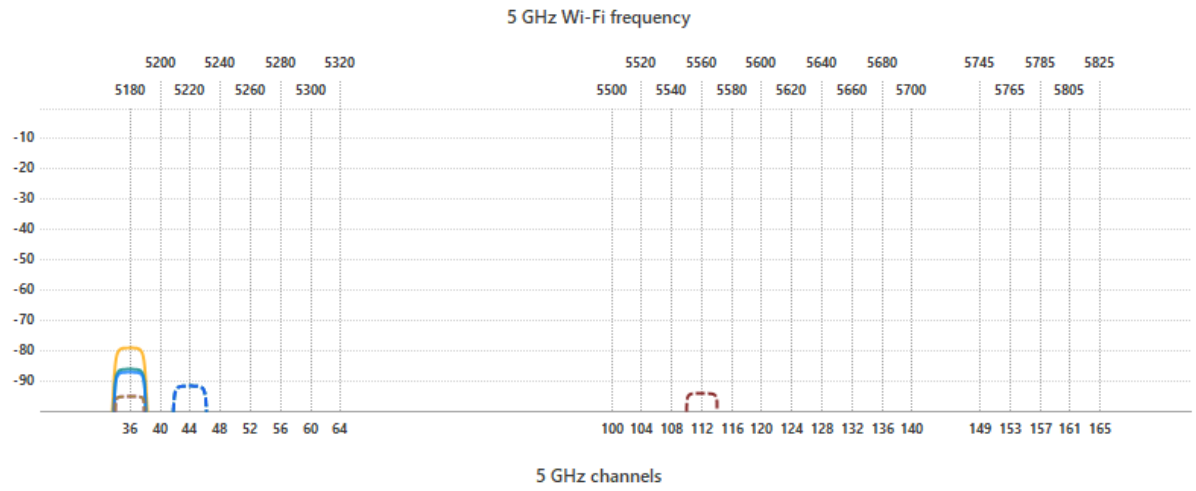
Implementacija kanala širine 40 MHz nije preporučljivo u ovom slučaju zato što bi performanse mreže bile lošije nego u slučaju implementacije klasičnih kanala širine 20 MHz. Razlog tome je činjenica da kanal širine 40 MHz zapravo istovremeno koristi dva kanala širine 20 MHz, što znači da koristi veći dio spektra u kojem je velika količina smetnji te se utjecaj smetnji višestruko povećava.



Slika 4.9 Pregled zauzeća kanala u spektru 5 GHz u donjem lijevom dijelu ureda



Slika 4.10 Pregled zauzeća kanala u spektru 5 GHz u donjem desnom dijelu ureda



Slika 4.11 Pregled zauzeća kanala u spektru 5 GHz u gornjem desnom dijelu ureda

U pojasu 5 GHz ima mnogo manje interferencija, tj. gotovo da i ne postoje. Kao što možemo vidjeti na slikama, u ovom spektru radu svega nekoliko WLAN mreža čiji je signal vrlo slab. S obzirom na dobivene rezultate, u spektru 5 GHz je moguće implementirati kanale širine 80 MHz te ih rasporediti tako da ne interferiraju međusobno uz minimalne interferencije s mrežama drugih tvrtki. Takva implementacija će znatno pridonijeti poboljšanju performansi mreže jer uporabom širokih kanala se povećava i sama brzina prijenosa podataka te mrežna propusnost.

Ostali izvori smetnji koje mogu uzrokovati pad performansi mreže su površine od kojih se signal može odbijati na neočekivan način. S obzirom na činjenice da zidovi i ostale površine unutar ureda ne predstavljaju velik izvor interferencija i da gubitak snage signala prolaskom kroz gipsane ploče i dvostruko staklo nije drastičan može se zaključiti da osim WLAN mreža drugih tvrtki unutar zgrade, smetnji koje će uzrokovati drastičan pad performansi WLAN mreže tvrtke nema. Manji pad performansi se može očekivati u kuhinji koja je u sredini ureda te prostoriji u kojoj sjedi tim za prodaju i podršku korisnicima zbog zidova koji su većinom napravljeni od dvostrukog stakla koje uzrokuje gubitke. Nešto lošije performanse WLAN mreže u kuhinji ne predstavljaju problem za poslovanje zato što se ondje ne održavaju važni sastanci na kojima zaposlenici koriste svoja prijenosnih računala te zaposlenici u tom prostoru uglavnom WLAN koriste za pristup internetu sa svojih pametnih telefona.

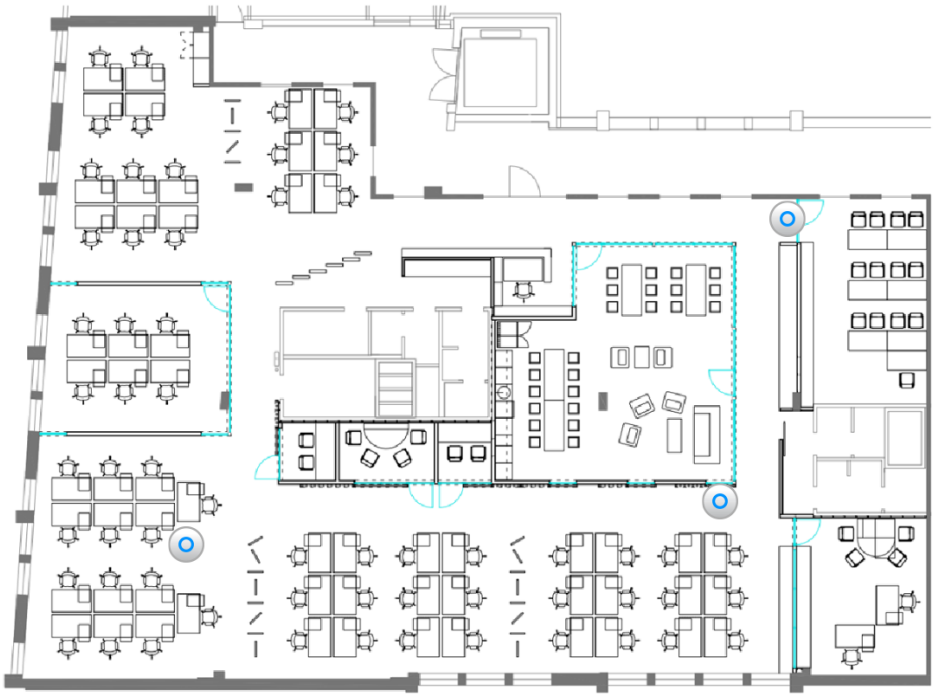
Na temelju analize frekvencijskog spektra zaključeno je da bi implementacija WLAN-a u tvrtki trebala imati sljedeće karakteristike:

- U spektru 2.4 GHz AP-ove treba konfigurirati na sljedeći način:
    - AP 1 – kanal 6
    - AP 2 – kanal 1
    - AP 3 – kanal 11
    - S obzirom na činjenicu da u ovom spektru ima mnogo WLAN mreža drugih tvrtki te uređaja koji koriste *bluetooth* što za posljedicu ima velike interferencije kanale na AP-ovima treba postaviti tako da ne interferiraju međusobno. Interferencije uzrokovane WLAN mrežama drugih tvrtki i uređaja koji koriste *bluetooth* se ne mogu izbjeći ni na koji način.
- U spektru 5 GHz AP-ove treba konfigurirati na sljedeći način:
    - AP 1 – kanal 58
    - AP 2 – kanal 106
    - AP 3 – kanal 122
    - S obzirom na činjenicu da u ovom spektru ima vrlo malo interferencija kanale na AP-ovima treba postaviti tako da ne interferiraju međusobnom uz minimalne interferencije s WLAN-ovima drugih tvrtki. Također, preporučljivo je konfigurirati AP-ove da koriste kanale širine 80 MHz radi postizanja najvećih mogućih brzina.
- Potrebno je izvršiti ažuriranje firmwarea na sva tri AP-a na najnoviju verziju kako bi AP-ovi mogli koristiti više kanala iz spektra 5 GHz. Zadana verzija firmwarea ne podržava rad na kanalima od 36 do 48, dok najnovija verzija podržava rad na kanalima od 36 do 128. Kanali od 132 do 140 i od 149 do 161 (dio UNII-II Extended i UNII-III dijela spektra) se ne mogu koristiti ni s najnovijom verzijom firmwarea.

Prema rezultatima *layer 1 surveya* zaključeno je da je WLAN potrebno optimizirati tako da većina uređaja koristi spektar 5 GHz zbog malih interferencija i veće širine kanala koje omogućavaju veće brzine prijenosa podataka. U spektru 2.4 GHz nije moguće izbjeći velike interferencije stoga će performanse WLAN mreže u tom spektru biti degradirane.

4.2 Analiza pokrivenosti prostora signalom (Layer 2 survey)

Nakon provođenja *layer 1 surveya* i prikupljanja svih potrebnih informacija o RF okruženju unutar prostora i nakon što su identificirane sve prepreke i površine koje utječu na kvalitetu signala u prostoru potrebno je napraviti plan implementacije ili izmjene postavki postojećeg WLAN-a.



Slika 4.12 Razmještaj AP-ova u uredu

Uzimajući u obzir zahtjeve tvrtke, pristupne točke su postavljene na mjesta označena na tlocrtu. Razlog za ovakav razmještaj AP-ova je zahtjev tvrtke za većom kvalitetom signala u sobama za sastanke te činjenice da u ostalim dijelovima prostora zaposlenici ne koriste WLAN za rad na službenim računalima nego samo na pametnim telefonima koji nisu nužni za obavljanje posla.

Nazivi AP-ova su sljedeći:

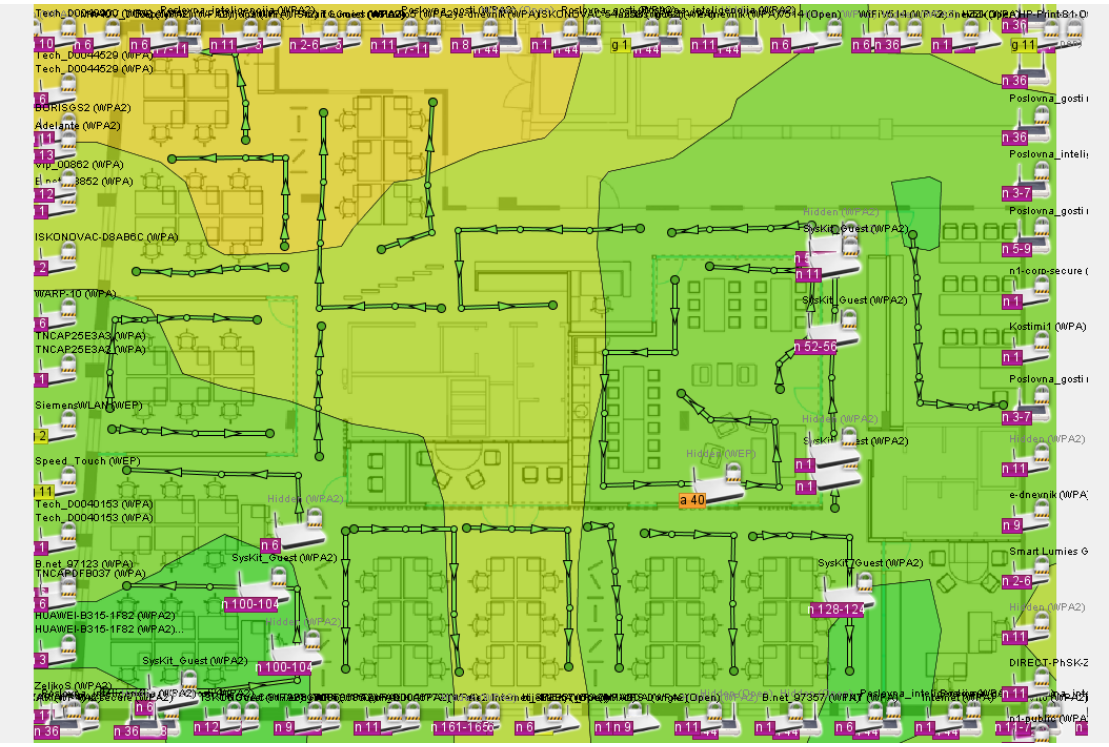
- AP u donjem lijevom dijelu ureda – AP 1
- AP u donjem desnom dijelu ureda – AP 2
- AP u gornjem desnom dijelu ureda – AP 3

Na temelju analize prostora zaključeno je da bi implementacija WLAN-a u tvrtki trebala imati sljedeće karakteristike:

- Izlaznu snagu na AP-ovima treba konfigurirati na sljedeći način
    - AP 1 – 13 dBm
    - AP 2 – 11 dBm
    - AP 3 – 6 dBm
    - Ovakvom konfiguracijom izlaznih snaga na AP-ovima postići će se odgovarajuća pokrivenost prostora signalom.
    - Preklapanje ćelija s ovakvom konfiguracijom neće biti idealno zbog blizine AP 2 i AP 3

Nakon što su preporučene konfiguracije primjenjene na AP-ove potrebno je napraviti analizu pokrivenosti prostora signalom te odrediti postotak preklapanja pojedinih ćelija. Također, osim pokrivenosti pažnju treba obratiti na snagu signala u prostoru jer prema zahtjevima tvrtke snaga ne smije biti manja od -70 dBm ni u jednom dijelu prostora, dok u sobama za sastanke snaga signala ne smije biti manja od -60 dBm.

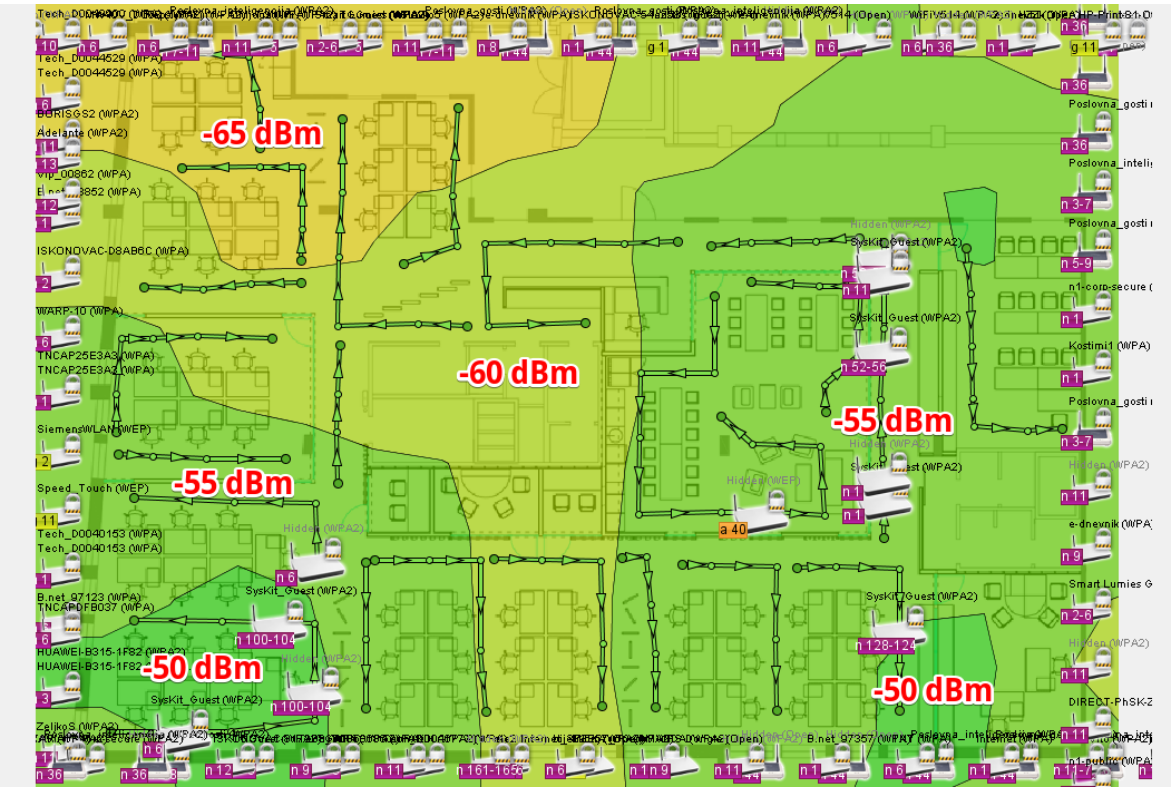
Za provođenje *layer 2 surveya* korišten je alat *Ekahau HeatMapper*. Za rad s alatom potreban je tlocrt prostora u kojem će se vršiti *survey*. *Survey* se izvodi tako da osoba koja ga provodi polagano hoda po prostoru, pritom označavajući svoju poziciju na tlocrtu svakih nekoliko koraka. Prilikom svakog označavanja pozicije alat zapiše kolika je jačina signala na tom mjestu. Kada je *survey* gotov, alat generira mapu pokrivenosti prostora signalom (tzv. *heat* mapu) na temelju rezultata koje je izmjerio.



Slika 4.13 Mapa pokrivenosti prostora signalom

Slika prikazuje mapu pokrivenosti prostora signalom nakon što su AP-ovi konfigurirani prema preporukama.

Na mapi možemo uočiti da nema rupa u pokrivenosti prostora signalom što zadovoljava zahtjev korisnika.



Slika 4.14 Mapa pokrivenosti prostora signalom s upisanim snagama signala prema bojama

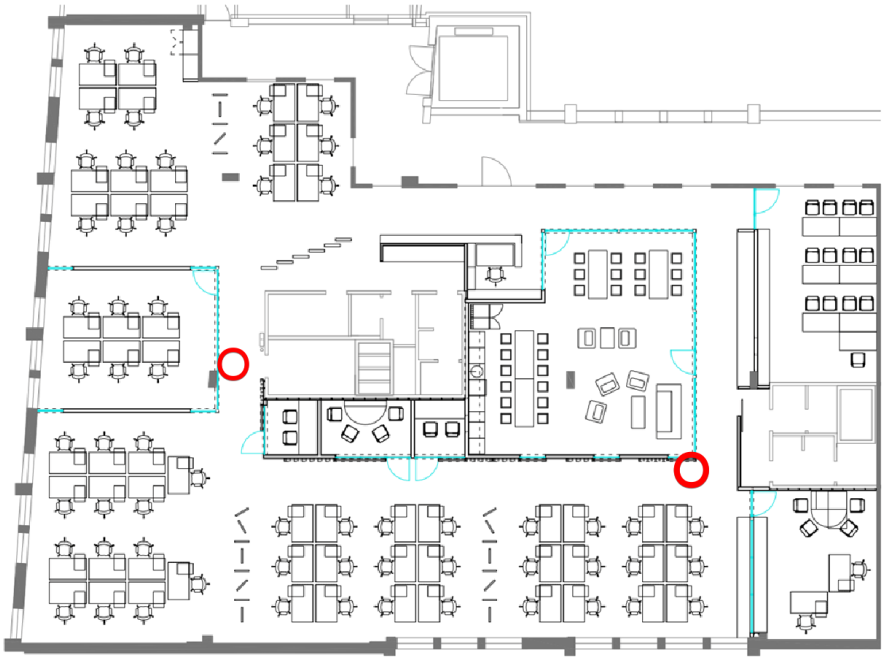
Na slici je mapa pokrivenosti prostora signalom na kojoj su upisani iznosi snage signala. Kao što možemo vidjeti signal zadovoljava zahtjeve korisnika u svim dijelovima prostora. Na mapi su upisane prosječne vrijednosti te stvarne vrijednosti u prostoru mogu biti veće ili manje za do -5 dBm.

Preklapanje ćelija u ovakvoj implementaciji nije idealno te se ćelije preklapaju u većem postotku nego što je preporučeno. Međutim, zbog zahtjeva tvrtke i razmještaja AP-ova koji je prilagođen tim zahtjevima preveliko preklapanje ćelija neće uzrokovati velike probleme i drastičan pad performansi WLAN mreže.

Iz dobivenih rezultata možemo zaključiti da ovakva implementacija WLAN-a nije idealna, ali zadovoljava zahtjeve i potrebe korisnika. U dogovoru s nadležnim osobama WLAN se može dodatno optimizirati.

Preporuke za dodatnu optimizaciju WLAN-a:

- AP-ove postaviti na mjesta označena na slici



Slika 4.15 Preporučena mjesta za razmještaj AP-ova

- AP 3 ugasiti
- Podesiti izlazne snage na AP-ovima nakon razmještanja tako da pokrivenost prostora signalom bude optimalna te da preklapanje ćelija iznosi 10-15% prema preporukama

5 Zaključak

Analiza pokrivenosti prostora signalom i jačine ometajućih signala predstavlja ključan korak pri implementaciji WLAN mreže. Bez provedbe analize WLAN mreža vrlo vjerojatno neće raditi optimalno, a uređaji i krajnji korisnici koji intenzivno koriste WLAN u svom radu neće biti zadovoljni. Pravilnom konfiguracijom WLAN mreže, odabirom kanala na kojima ima najmanje smetnji, optimizacijom izlazne snage i pravilnim razmještajem AP-ova povećavaju se performanse mreže, brzina prijenosa podataka i mrežna propusnost, smanjuje se broj odbačenih mrežnih paketa, problema s prijenosom podataka, pucanja mrežne konekcije i ostalih problema u WLAN mreži. Provedba analize olakšava posao mrežnim administratorima tako što otklanja potrebu za naknadnom analizom problema u WLAN mreži (kada korisnici prijavljuju probleme) zato što su svi potencijalni problemi identificirani i analizirani prilikom planiranja implementacije te je njihov utjecaj minimaliziran. Sve navedeno omogućava krajnjim korisnicima koji za posao koriste uređaje spojene na WLAN da posao obavljaju bez problema uzrokovanih lošom kvalitetom WLAN mreže.

Popis kratica

WLAN	*Wireless Local Area Network*	bežična lokalna mreža
AP	*Wireless Access Point*	bežična pristupna točka
ITU	*International Telecommunication Union*	međunarodna telekomunikacijska unija
EIRP	*Effective Isotropic Radiated Power*	efektivna izotropska snaga zračenja
BPSK	*Binary Phase Shift Keying*	binarna diskretna modulacija faze
QPSK	*Quadrature Phase Shift Keying*	kvadraturna diskretna modulacija faze
ISM	*Industrial, Scientific and Medical radio band*	industrijski, znanstveni i medicinski frekvencijski spektar
SNR	*Signal-to-noise ratio*	omjer signal-šum

Popis slika

Slika 2.1 Različite vrste antena 3
Slika 2.2 Dipol antena i njezini dijagrami zračenja 4
Slika 2.3 Yagi antena i njezini dijagrami zračenja 5
Slika 2.4 Patch antena i njezini dijagrami zračenja 6
Slika 2.5 Kanali u frekvencijskom spektru 2.4 GHz 8
Slika 2.6 Kanali u frekvencijskom spektru 5 GHz 9
Slika 2.7 Pravilan raspored kanala u implementaciji više AP-ova 10
Slika 2.8 Primjer implementacije 1/2 enkodera 13
Slika 2.9 Primjer BPSK modulacije 13
Slika 2.10 Primjer QPSK modulacije 14
Slika 2.11 Primjer QAM modulacije 15
Slika 2.12 Vrijednost amplitude signala 15
Slika 2.13 Vrijednost faze signala 16
Slika 2.14 Prikaz 16QAM modulacije 16
Slika 2.15 Primjer 256QAM modulacije 17
Slika 3.1 Izgled Cisco Spectrum Expert alata 27
Slika 3.2 Pribor nužan za rad s Cisco Spectrum Expert alatom 27
Slika 4.1 Tlocrt ureda tvrtke SysKit 30
Slika 4.2 Ubiquiti UniFi AC PRO AP 31
Slika 4.3 Pregled zauzeća kanala u spektru 2.4 GHz u donjem lijevom dijelu ureda 33
Slika 4.4 Pregled zauzeća kanala u spektru 2.4 GHz u donjem desnom dijelu ureda 33
Slika 4.5 Pregled zauzeća kanala u spektru 2.4 GHz u gornjem desnom dijelu ureda 33
Slika 4.6 Rezultati skeniranja bluetooth uređaja u donjem lijevom dijelu ureda 34
Slika 4.7 Rezultati skeniranja bluetooth uređaja u donjem desnom dijelu ureda 34
Slika 4.8 Rezultati skeniranja bluetooth uređaja u gornjem desnom dijelu ureda 35
Slika 4.9 Pregled zauzeća kanala u spektru 5 GHz u donjem lijevom dijelu ureda 1
Slika 4.10 Pregled zauzeća kanala u spektru 5 GHz u donjem desnom dijelu ureda 1
Slika 4.11 Pregled zauzeća kanala u spektru 5 GHz u gornjem desnom dijelu ureda 2
Slika 4.12 Razmještaj AP-ova u uredu 4
Slika 4.13 Mapa pokrivenosti prostora signalom 6
Slika 4.14 Mapa pokrivenosti prostora signalom s upisanim snagama signala prema bojama . 7
Slika 4.15 Preporučena mjesta za razmještaj AP-ova 8

Popis tablica

Tablica 1 Gubitak snage signala prolaskom kroz različite materijale 24
Tablica 2 Specifikacije Ubiquiti UniFi AC PRO uređaja 32

Literatura

[1.] Henry, Jerome: CCNP Wireless (642-732 CUWSS) Quick Reference, 2nd Edition, Cisco Press, 2012.
[2.] Alberto Teković, Bežične računalne mreže, Zagrebm 2010.
[3.] https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/wireless/5500-series-wireless-controllers/116057-site-survey-guidelines-wlan-00.html
[4.] https://assets.tequipment.net/assets/1/26/Documents/WhitePaper-WirelessSiteSurveyBestPractices.pdf
[5.] https://www.networkcomputing.com/wireless/wireless-site-surveys-basics/861543211
[6.] http://community.arubanetworks.com/t5/Technology-Blog/An-Intro-to-Co-Channel-Interference/ba-p/273248
[7.] https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN
[8.] https://www.interfacett.com/blogs/3-problems-that-occur-when-deploying-in-the-2-4-ghz-band-in-wifi-networks/
[9.] https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/prod_white_paper0900aecd806a1a3e.html
[10.] https://wlan1nde.wordpress.com/2014/11/26/wlan-maximum-transmission-power-etsi/
[11.] https://flylib.com/books/en/2.92.1.83/1/
[12.] https://www.electronicdesign.com/communications/understanding-modern-digital-modulation-techniques
[13.] https://en.wikipedia.org/wiki/Convolutional_code
[14.] https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_quadrature_phase_shift_keying.htm
[15.] https://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/quadrature-amplitude-modulation-qam/what-is-qam-tutorial.php
[16.] https://community.arubanetworks.com/t5/Technology-Blog/What-is-QAM/ba-p/114747
[17.] https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/wi-fi-antennas-part-1-fundamentals/
[18.] http://www.l-com.com/content/Article.aspx?Type=N&ID=10200
[19.] https://www.tp-link.com/us/FAQ-3.html
[20.] http://www.l-com.com/content/Article.aspx?Type=L&ID=10175
[21.] https://en.wikipedia.org/wiki/Directivity
[22.] https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_measurement#Antenna_parameters
[23.] https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_(radio)
[24.] https://en.wikipedia.org/wiki/Radiation_pattern
[25.] https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/spectrum/expert/4-1/users/guide/se41/seconsole.html
[26.] https://www.amazon.co.uk/UBIQUITI-NETWORKS-UBI-UAP-AC-PRO-5Ghz-1300Mbps/dp/B016XYQ3WK
[27.] http://www.zones.com/site/product/index.html?id=002392855
[28.] Ubiquiti Networks: 802.11ac Dual-Radio Pro Access Point Quick Start Guide https://www.ubnt.com/, rujan 2018.

„Pod punom odgovornošću pismeno potvrđujem da je ovo moj autorski rad čiji niti jedan dio nije nastao kopiranjem ili plagiranjem tuđeg sadržaja. Prilikom izrade rada koristio sam tuđe materijale navedene u popisu literature ali nisam kopirao niti jedan njihov dio, osim citata za koje sam naveo autora i izvor te ih jasno označio znakovima navodnika. U slučaju da se u bilo kojem trenutku dokaže suprotno, spreman sam snositi sve posljedice uključivo i poništenje javne isprave stečene dijelom i na temelju ovoga rada“.

U Zagrebu, 14.9.2018.