Bežično pozicioniranje pomoću Wi-Fi mreža

Balić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:405829

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni studij

BEŽIČNO POZICIONIRANJE POMOĆU WI-FI MREŽE

Diplomski rad

Luka Balić

Osijek, 2021.

SADRŽAJ

1.UVOD....1
2.POVIJEST Wi-Fi-a....2
2.1 IEEE 802.11 standardi....3
2.1.1 Prednosti Wi-Fi-a....4
2.1.1 Nedostaci Wi-Fi-a....5
2.2 Wi-Fi KOMPONENTE....5
2.2.1 Pristupne točke....5
2.2.2 Bežične WLAN kartice....6
2.2.3 Usmjerivač....7
2.2.4 Obnavljač....9
2.2.5 Mrežni prolaz....9
2.2.6 Antene....10
2.3 BEŽIČNI SIGURNOSNI PROTOKOLI....13
2.3.1 WEP (privatnost ekvivalentna žičanoj mreži)....14
2.3.2 WPA (Wi-Fi zaštićeni pristup 1)....14
2.3.3 WPA2 (Wi-Fi zaštićeni pristup 2)....14
2.3.4 WPA3 (Wi-Fi zaštićeni pristup 3)....15
3. PROBLEMATIKA POZICIONIRANJA U ZATVORENOM PROSTORU....17
3.1 Sustavi za pozicioniranje u zatvorenom prostoru....18
3.2 Tehnologije pozicioniranja u zatvorenom prostoru....20
3.2.1 Radiofrekvencijska identifikacija (engl. *Radio Frequency Identification, RFID*)....21
3.2.2 Ultra širokopojasni (engl. *Ultra Wideband, UWB*)....22
3.2.3 Infracrveni (engl. *Infrared, IR*)....22
3.2.4 Ultrazvučni (engl. Ultrasonic)....22
3.2.5 ZigBee....23
3.2.6 Bežična lokalna mreža (engl. *Wireless Local Area Network, WLAN*)....23
3.2.7 Na temelju ćelija (engl. *Cellular Based*)....23
3.2.8 Bluetooth....24
3.2.9 “Mrtvo računanje” (engl. *Dead Reckoning*)....24

3.2.10 Tehnologije temeljene na slici (engl. *Image Based Technologies*) 24
3.3 Tehnike pozicioniranja u zatvorenom prostoru.....25
3.3.1 Triangulacija (engl. *Triangulation*) 25
3.3.2 Trilateracija (engl. *Trilateration*).....25
3.3.3 Analiza scene (engl. *Scene Analysis*).....26
3.3.4 Tehnika blizine (engl. *Proximity*) 27
3.3.5 Tehnika analize vida (engl. *Vision Analysis*) 27
3.4 Algoritmi za pozicioniranje u zatvorenom prostoru.....28
3.4.1 Vrijeme dolaska (engl. *Time of Arrival, TOA*) 28
3.4.2 Vremenska razlika dolaska (engl. *Time Difference of Arrival, TDOA*).....28
3.4.3 Kut dolaska (engl. *Angle of Arrival, AOA*) 28
3.4.4 Parametar jačine primljenog signala (engl. *Received Signal Strength, RSS*) 29
4. MJERENJE WI-FI SIGNALA.....31
4.1 Wi-Fi Analyzer.....31
4.1.1 Mjerenje snage signala pristupnih točaka 32
5. GRAFIČKI PRIKAZ REZULTATA MJERENJA 34
6. ZAKLJUČAK 46
7. LITERATURA.....47
SLIKE.....48
SAŽETAK 49
ABSTRACT.....50
ŽIVOTOPIS.....51

1.UVOD

U vanjskom okruženju, zadovoljavajuću procjenu lokacije pruža GPS (engl. *Global Positioning System*). Međutim, takva tehnologija ne pomaže u zatvorenim prostorima tipa višekatnica, podzemnih garaža, skladišta, trgovačkih centara itd., gdje je nedostatak vidnog polja između satelita i prijemnika (engl. *Line of sight, LOS*). Upravo razvoj sustava za pozicioniranje u zatvorenim prostorima su omogućili rješavanje ovog problema.

Za unutrašnje pozicioniranje primjenjuje se nekoliko vrsta bežičnih tehnologija kao što su: tehnika infracrvenih zraka (IR), bežične Bluetooth tehnike, tehnike radiofrekventne identifikacije (RFID), ultrazvučne tehnike, ultraširokopojasne tehnike (UWB), WLAN, ultrazvučni sustav, no svima im je zajedničko, procjena najtočnije lokacije korisnika/uređaja u nekom zatvorenom prostoru. Neovisno o tome koja se tehnologija koristi, u postupku pozicioniranja postoje četiri parametra signala koji se koriste, a to su: snaga prijemnog signala (engl. *Received Signal Strength, RSS*), vrijeme dolaska signala (*Time Of Arrival, TOA*), vremenska razlika dolaska signala (engl. *Time Difference Of Arrival, TDOA*) i kut dolaska signala (engl. *Angle Of Arrival, AOA*). Procjena lokacije na temelju primljenog signala (RSS) je najpogodniji i najčešće korišteni parametar od navedenih za uvijete u zatvorenom prostoru. Velik broj ulaznih parametara utječe na propagaciju signala u zatvorenom prostoru kao što je: površina prostora, tip zgrade, raspored prozora, vrsta i debljina zidova, te kretanja ljudi unutar zgrade.

U ovome radu je opisana kratka povijest razvoja WLAN sustava, njegova struktura s prednostima i nedostacima, zatim ključnim komponentama koje sačinjavaju jednu bežičnu mrežu, te opisivanje problematike pozicioniranja pomoću Wi-Fi mreže, čime se ovaj rad i bavi.

Zadnji dio rada se bavi provedbom mjerenja snage signala pet pristupnih točaka u zgradi Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek – FERIT. Za provedbu mjerenja je korištena mobilna aplikacija Wi-Fi Analyzer, a hodnik 3. kata zgrade je poslužio kao prostor na kojem su mjerenja provedena.

Prikupljeni podaci su prikazani tablično i preko grafova, a primjenom određene metode će se pokušati promatrane točke s poznatim snagama signala svih pet AP-ova procijeniti lokaciju tih točaka, te usporediti rezultate dobivene sa stvarnom pozicijom koja nam je poznata i vidjeti kolike su greške pozicioniranja za danu metodu.

2.POVIJEST Wi-Fi-a

Prva interpretacija naziva Wi-Fi jest bila kratica od *Wireless Fidelity*. Naime, udruženje tvrtki *Wi-Fi Alliance* je tražilo od tvrtke koja se bavi “brendovima” da osmisli naziv koji će biti interesantniji od brojčane oznake bežične mreže tipa Standard 802.11. Tako je nastao naziv Wi-Fi i logo u kojeg se taj naziv upisuje.

Međutim, udruženje je napustilo takvu interpretaciju, tako da danas naziv Wi-Fi predstavlja skup mreža koje su definirane raznim varijantama standarda 802.11, odnosno naziv i zaštitni znak jedne klase proizvoda iz područja bežičnih mreža. Naziv Wi-Fi je zaštitni znak (engl. *trendmark*) već spomenutog udruženja tvrtki pod nazivom Wi-Fi Alliance. Udruženje broji preko 300 tvrtki koje se bavi proizvodnjom i promicanjem uporabe opreme za bežične mreže (engl. *Wireless LAN, WLAN*). Potvrda odnosno certifikat Wi-Fi Alliance je garancija da proizvodi iz područja bežičnih lokalnih mreža ispunjavaju zahtjeve standarda 802.11, ali također entiteti mogu ispunjavati navedene zahtjeve i bez posjedovanja spomenutog certifikata [1].

Vic Hayes često se smatra "ocem Wi-Fi-ja" koji je takav posao započeo 1974. godine kada se pridružio tvrtki NCR Corp. Izum preteče 802.11, namijenjen tada uporabi u blagajničkim sustavima, pripisuje se 1991. godine korporacijama NCR i AT&T. Prvi bežični proizvodi pod imenom WaveLAN su bili zaslužni za izum Wi-Fi-ja. Prva verzija standarda 802.11 jest “puštena” 1997.godine, pružajući brzine do 2 Mbit/s [2], te su danas razvijeni i mnogi drugi standardi o kojima će biti riječi nešto kasnije.

Uporaba Wi-Fi mreža je namijenjena u lokalnim prostorima primjerice poslovne zgrade ili više njih na jednom prostoru u sklopu sjedišta neke institucije. Bežično povezivanje računala na mrežu, te pružanje relativne mobilnosti računala jesu neke od značajki bežičnih mreža. Tamo gdje nije moguće ili dopušteno postavljati žice ovakav način veza je nužan, te uz to smanjuje troškove povezivanja. Doseg signala kod Wi-Fi mreža iznosi stotinjak metara ali i osjetno manje, što ponekada pogoduje komuniciranju primjerice iz parka ili dvorišta gdje se žice ne postavljaju.

Računalu je potreban mrežni adapter za standard 802.11 kako bi se spojio na Wi-Fi mrežu koji sadrži odašiljač i prijemnik (engl. *transceiver*) za bežične (elektromagnetske) signale. Adapter za Wi-Fi mreže može biti ugrađen u prijenosna računala ali i ne mora, te se u tom slučaju rješava problem ili spajanjem na USB port računala ili dodatnom ugradnjom.

Osnovnu strukturu Wi-Fi (bežične) mreže čine:

Pristupne točke (Access Points) ili kako ih još nazivaju (engl. *hot spots*) koje omogućavaju komunikaciju bežičnim putem između računala povezanih na jednu zajedničku pristupnu točku. Svaka pristupna točka omogućava komunikaciju onim čvorovima vezanim za tu pristupnu točku. Mobilni čvorovi su obično prijenosna računala, ali to mogu biti i razne druge naprave, od čitača bar koda do raznih medicinskih instrumenta. Komunikaciju između računala koji su povezani na različite pristupne točke omogućava distribucijski sustav preko kojeg su pristupne točke međusobno povezane.

Distribucijskim sustavom se nazivaju one pristupne točke grupirane u jednu bežičnu mrežu međusobno povezane putem određenog žičnog mrežnog sustava. Upravo njegova povezanost na Internet omogućava računalima bežični pristup Internetu. On je uglavnom lokalnih razmjera (mreža tipa Ethernet) ali isto tako može biti i obuhvatniji (prstenasti LAN ili neki prošireni LAN). Iako se računala povezuju na LAN bežičnim putem , njegov distribucijski sustav je obično neki žičani LAN.

2.1 IEEE 802.11 standardi

IEEE (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) standard 802.11 se može promatrati kao jednu klasu (sličnih) standarda koji definiraju niz mreža u istom području rada.

- *802.11a* standard ima teoretsku brzinu od 54 Mbit/s, no najčešće ona iznosi oko 30 Mbit/s. Za razliku od *b* i *g* standarda koji rade na frekvenciji od 2.4 GHz, WiFi kartice zasnovane na standardu *a* rade na frekvenciji od 5 GHz, te je radi toga standard *a* i skuplji.

- *802.11b* standard predstavljen 1999. godine u isto vrijeme kada i 802.11. Brzina protoka podataka u ovakvim mrežama ide i do 11 Mbit/s, no s druge strane radi velikih prepreka i smetnji ista brzina može pasti na vrlo malih 1 do 2 Mbit/s. Ovo je ujedno i najjeftinija varijanta WiFi mreže.

- *802.11g* je predstavljen 2003. godine i objedinio je prethodna dva standarda. Brzina mu je ista kao i kod standarda *a*, a frekvencija rada mu je na 2.4 GHz.

- *802.11n* se očekuje sredinom 2007. godine. Uz dosta povećanu brzinu prijenosa koja ide do 540 Mbit/s, standard *n* bi trebao prema očekivanjima raditi na frekvenciji od 2.4 GHz [3].

2.1.1 Prednosti Wi-Fi-a

1. Pogodnost - omogućuje se korisnicima pristup mrežnim resursima s gotovo bilo kojeg prikladnog mjesta u njihovom primarnom mrežnom okruženju (dom ili ured). Ovo je posebno relevantno radi sve veće zasićenosti prijenosnih računala.
2. Mobilnost - pojavom javnih bežičnih mreža korisnici mogu pristupiti internetu čak i izvan svog uobičajenog radnog okruženja. Na primjer, većina lanaca kafića svojim kupcima nudi bežičnu vezu s internetom uz malu ili nikakvu cijenu.
3. Produktivnost - korisnici povezani na bežičnu mrežu mogu održavati gotovo stalnu povezanost sa željenom mrežom dok se kreću od mjesta do mjesta. Za tvrtku to podrazumijeva da zaposlenik potencijalno može biti produktivniji jer se njegov posao može obavljati s bilo kojeg prikladnog mjesta.
4. Raspoređivanje - početno postavljanje bežične mreže temeljene na infrastrukturi zahtijeva nešto više od jedne pristupne točke. Žične mreže, s druge strane, imaju dodatne troškove i složenost stvarnih fizičkih kabela koji se provode na brojna mjesta (što čak može biti i nemoguće za teško dostupna mjesta u zgradi).
5. Proširivost - bežične mreže mogu uslužiti naglo povećan broj klijenata s postojećom opremom, dok u ožičenoj mreži dodatni klijenti trebaju dodatno ožičenje.
6. Trošak - bežične mreže i njihovo postavljanje su relativno isplativije za instalaciju u nekoj tvrtki [4].

2.1.1 Nedostaci Wi-Fi-a

1. Sigurnost - bežične mreže smatraju se ranjivijima na hakerske napade. To uključuje neovlašteni pristup vašoj osobnoj mreži i može dovesti do krađe osjetljivih podataka. Neophodno je postaviti jaku lozinku za bežičnu mrežu. Wi-Fi treba isključiti kada ga više ne koristi.
2. Domet - Tipični domet zajedničke 802.11g mreže sa standardnom opremom je reda veličine desetaka metara. Iako je dovoljan za tipičan dom, u većoj strukturi neće biti dovoljan. Da bi se dobio dodatni domet, morat će se kupiti repetitori ili dodatne pristupne točke. Troškovi za ove stavke mogu se brzo zbrojiti.
3. Pouzdanost - Kao i svaki radiofrekvencijski prijenos, i bežični mrežni signali izloženi su širokom spektru smetnji, kao i složenim učincima širenja koji su izvan kontrole mrežnog administratora.
4. Brzina - Brzina na većini bežičnih mreža (obično 1-54 Mbps) daleko je sporija od čak i najsporijih uobičajenih žičnih mreža (100 Mbps do nekoliko Gbps). Međutim, u specijaliziranim okruženjima možda će biti potreban protok žičane mreže [4].

2.2 Wi-Fi KOMPONENTE

Za dobar dizajn, implementaciju i korištenje bežičnih LAN mreža važno je dobro poznavanje karakteristika opreme odnosno ključnih komponenti koje sačinjavaju jednu bežičnu mrežu. U nastavku će biti pojašnjene pojedine komponente bežične mreže.

2.2.1 Pristupne točke

Engl. *Access point,* AP (pristupna točka) uređaj (Slika 1.) koji označava centralni dio jedne mreže, a njegova namjena je usmjerena povezivanju klijenata. Koristi se umjesto razvodnika, odnosno skupa različitih uređaja koji se ponašaju kao čvorište ili umjesto dial-in servera. Između ostalog, primjenjuje se i za povezivanje wireless klijenata s izlazom na Internet ili s LAN-om. Pristupne točke imaju ulogu engl. *bridg-eva* (mostova) između servera/rutera za pristup Internetu (resursi žičnog LAN-a) i bežičnih stanica. Konektor za antenu i za LAN je integriran u svaki access point. Ovisno od uređaja i proizvođača može raditi u nekoliko modova: *client* mod – spajanje na mrežu kao i uz pomoć obične kartice,

bridge mod – spajanje dvije ili vise mreža u jednu cjelinu, *repeater* mod – primjenjuje se ako domet mreže treba dodatno povećati [3].

Slika 1. *Bežična pristupna točka* [1]

2.2.2 Bežične WLAN kartice

Dio koji se koristi za spajanje računala ili drugih uređaja na lokalnu mrežu odnosno za komunikaciju računala putem računalne mreže. Također, bežične WLAN kartice se upotrebljavaju umjesto modema ili uobičajenih LAN kartica. Bežične WLAN kartice (Slika 2.) se ponašaju kao i kartice za standardnu mrežu. Iako imaju istu ulogu, te koriste iste protokole, upotrebljavaju radio valove za prijenos podataka, a medij za prijenos je zrak. Interfejsi na koje mogu biti povezani na računalo su: PCI, USB ili PCMCIA [3].

Slika 2. *Bežična WLAN kartica* [2]

2.2.3 Usmjerivač

Mrežni uređaj (Slika 3.) koji radi na mrežnom sloju, odnosno trećem sloju OSI modela. Primarna funkcija usmjerivača jest da usmjerava pakete u mreži do njihovog odredišta. Odredišna adresa smještena u paketu sačinjava informaciju koja se primjenjuje za ovu funkciju koja se obavlja tako da usmjerivač po primitku paketa dohvati odredišnu adresu, potom u tablici rutiranja nađe odgovarajući zapis, na koji port paket treba proslijediti, te odredi adresu sljedećeg usmjerivača na putu kome paket usmjeravamo. Spomenuti proces naziva se "*address lookup*". Engl. *Switching* odnosno proces komutacije se provodi nakon što se dobije tražena informacija, gdje se s ulaza paket komutira na željeni izlazni port odakle se paket šalje dalje.

Osim spomenutih osnovnih funkcija, usmjerivači provode i razne druge funkcije poput obrade kontrolnih paketa, provjere ispravnosti paketa, te najnovijih trendova koji postavljaju usmjerivačima dodatne zahtjeve. Promet koji korisnici generiraju je sve veći tako da je broj korisnika računalnih mreža u konstantnom porastu. Radi povećanih zahtjeva za prometom (npr. prijenos video materijala u realnom vremenu) primjenjuju se linkovi kapaciteta do nekoliko Gbit/s s tendencijom rasta do terabitskih brzina propusnih opsega. Usmjerivač pri ovako velikim kapacitetima generira milijun paketa u sekundi koje prosljeđuje na odgovarajuće izlazne portove, stoga bi obrada paketa trebala biti brža i efikasnija. Algoritmi usmjeravanja su zaduženi da ovaj process učine što efikasnijim.

Na osnovu mrežnih adresa usmjerivač održava i konfigurira svoje tablice usmjeravanja. U trenutku primitka paketa, usmjerivač provjerava adresu odredišta i adresu izvorišta, ako su na istoj mreži paket se odbacuje. U protivnom, paket se prosljeđuje uređaju na odredištu ako mu je mreža povezana na usmjerivač ili prvom sljedećem usmjerivaču na putanji do željenog uređaja. Elementi od kojih se sastoji ruta su: destinacija, prvi sljedeći uređaj na putanji i metrika (cijena ukupne rute do odredišta) koja u nekim protokolima predstavlja različito značenje.

Usmjerivač prosljeđuje pakete do mreža s kojima nije izravno povezan provodi na dva načina:

- statističke putanje – administrator određuje statistički putanje, te provodi izmjenu putanje ako dođe do promjene topologije mreže.
- Dinamičke putanje – administrator konfigurira protokol usmjeravanja. Ako se od nekog usmjerivača primi informacija o novoj topologiji, informacije o usmjeravanju se automatski ažuriraju samim procesom usmjeravanja [3].

Slika 3. *Bežični usmjerivač (router)* [3]

2.2.4 Obnavljač

Uređaj (Slika 4.) koji radi na prvom sloju OSI modela (fizičkom sloju), te se sastoji od dva priključka (porta). Drugim riječima, obnavljač primljeni signal na jednom priključku, prosljeđuje drugom priključku (portu). Prije nego što ga proslijede, obnavljači obnavljaju amplitude, oblik i vremenske reference primljenog signala (*3R* funkcionalnost). Obnavljač se podjednako odnosi i prema ispravnom i prema neispravnom signalu, odnosno nema saznanja o signalu kojeg pojačava. Prednost obnavljača jest što nudi jeftin način povećanja maksimalnih udaljenosti u mreži, premda mu je mana što može doći do sudara paketa pri istodobnom emitiranju dva obnavljača [3].

Slika 4. *Obnavljač (Repeater)* [5]

2.2.5 Mrežni prolaz

Hardverski uređaj (Slika 5.) i/ili softverski paket koji radi između transportnog i aplikacijskog sloja OSI modela, te mu je namjena usmjerena povezivanju dvaju različitih mrežnih okruženja, omogućavajući time komunikaciju između različitih arhitektura. Također, provodi prepakiravanje i pretvaranje podataka, tako da svaka od mreža može shvatiti podatke od one druge s kojom je povezana. Definira ga se, kao namjensko računalo koje podržavajući oba povezana okruženja, mora podržavati i proces prevođenja podataka iz jednog okruženja u

format drugog, odnosno prilagođava format poruke krajnjim aplikacijama kojima su namijenjene. U suštini, svrha gateway-a je konverzija protokola, te kao takvom u svrhu obrade i čuvanja podataka je potrebna znatna količina RAM memorije. Stoga, potreba korisnika različitih mreža da komuniciraju međusobno će uvijek postojati, neovisno o različitostima pojedinih autonomnih mreža, odnosno njihovih hardvera i softvera [3].

Slika 5. *Mrežni prolaz (gateway)* [6]

2.2.6 Antene

Uređaj kojemu je namjena pretvaranje visoko-frekventnih elektromagnetskih signala s kabela ili valnog vodiča u šireće RF valove u zraku i obratno. Adekvatnim izborom antene može se povećati sigurnost bežičnog LAN-a, ali se u najvećoj mjeri upotrebljavaju kako bi se povećalo područje dohvata sustava bežičnih LAN-ova. Odgovarajućim odabirom antene, te njezinog postavljanja, smanjujemo mogućnost presretanja signala kao i mogućnost curenja signala izvan radnog područja. Također, valja napomenuti da antene ne pojačavaju signal nego ga oblikuju. U skladu s onim što se želi postići montira se antena. Rastom dohvata, područje pokrivanja antene se sužava. Unutar glavne tri kategorije bežičnih antena ubrajaju se razni tipovi antena s njihovim RF karakteristikama i vrstom primjene. Bežične LAN antene se dijele na: omni-direkcijske, semi-direkcijske i direkcijske.

Omni-direkcijske (dipol) antene (Slika 6.) su najučestaliji tip LAN antena jednostavnim za dizajniranje. Zato što zrači energiju praktički podjednako u svim smjerovima oko svoje osi, naziva se još i omni-direkcijska antena. Izgled izračene energije kod dipol antena izgleda u obliku krafne gdje joj kroz rupu okomito prolazi dipol element. Izotropnim radijatorom se nazivaju antene koje teoretski zrače podjednako u svim smjerovima formirajući oblik kugle,

ali praktičnu izvedbu takve antene nije moguće napraviti. Sunce predstavlja idealni primjer izotropnog radijatora. Najdjelotvornija upotreba im je za velika područja pokrivanja oko središnje točke kao na primjer njezino smještanje u sredinu neke velike prostorije osiguravajući dobru pokrivenost. Često se koriste za dizajn točka-više točaka sa zvijezda topologijom, a u vanjskim uvjetima se smještaju na vrh građevine, a pogodne su i za područja tipa skladišta i sajmova gdje se očekuje pokrivenost od jednog kraja do drugog.

Semi-direkcijske antene koje se dizajniraju u različitim oblicima i stilovima, a uglavnom se koriste tipovi antena unutar bežičnih LAN-ova: Patch, Panel i Yagi antene (Slika 7.). Energiju od predajnika usmjeravaju prema zadanom pravcu, što ih razlikuje od omni-direkcijski antena koje praktički ravnomjerno u svim pravcima šire energiju . Uglavnom ih se koriste za kratke odnosno srednje udaljenosti kao npr. implementiranje ovakve antene između dvaju zgrada (ureda) kojima je potrebno dijeljenje mrežne veze.

Direkcijske antene (Slika 8.) s najvećim dohvatom od svih vrsta antena, te odašiljanje najuže zrake signala od svih antenskih tipova. Također, najprikladnije su za duga rastojanja, te bežične veze dizajna tipa točka-točka. Upotrebom ovakvih antena, bežično se povezuju kilometrima udaljene zgrade koje nemaju prepreka unutar zračne linije. Direkcijske antene moraju biti precizno usmjerene jedna prema drugoj radi vrlo uske zrake signala. Osnovni parametri antena su: polarizacija, dijagram zračenja, kut usmjerenosti, širina snopa glavne latice, usmjerenost, dobitak, faktor potiskivanja sekundarnih latica, impedancija antene [5].

Slika 6. *Omni-direkcijska (dipol) antena* [7]

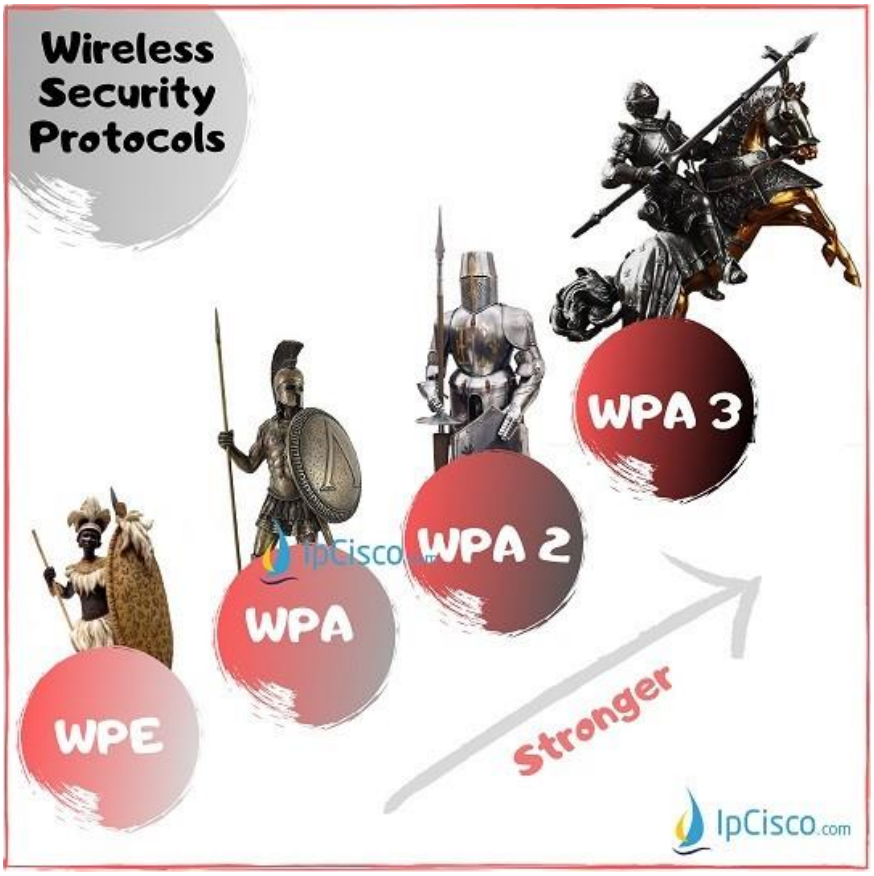
Slika 7. *Semi-direkcijska antenna* [8]

Slika 8. *Direkcijska antenna* [9]

2.3 BEŽIČNI SIGURNOSNI PROTOKOLI

Kako bi sigurnosni algoritmi za Wi-Fi postali sigurniji i učinkovitiji, od 1990-ih su prošli brojne izmjene odnosno nadogradnje. Ovisno o razini postavljene sigurnosti ovise podaci koji se pregledavaju. Posebice su ugrožene kućne bežične mreže kod kojih cijelo kućanstvo nebrojeno puta pregledava svoje mailove, bankovne račune i brojne druge stvari koje u slučaju loše razine sigurnosti mogu biti otuđene od neke treće strane.

Lozinke koje se koriste kod pristupnih točaka, od velike su važnosti u bežičnim LAN-ovima, no one predstavljaju samo jednu polovicu sigurnosti. Šifriranje lozinke predstavlja drugu polovicu sigurnosti. Dakle, sustav je ranjiv, osiguran ili više osiguran ovisno prema korištenom šifriranju lozinke. U nastavku je pobliže objašnjena grupa bežičnih sigurnosnih protokola (Slika 9.): WEP, WPA, WPA2 **i** WPA [6].



Slika 9. *Bežični sigurnosni protokoli* [10]

2.3.1 WEP (privatnost ekvivalentna žičanoj mreži)

Prvi od bežičnih sigurnosnih protokola, razvijen 1999., u svrhu zaštite bežičnih podataka između pristupih točaka (AP) i klijenata prema hakerima. WEP je koristio 64-bitnu enkripciju koja je u SAD-u do tada bila maksimalno dopuštena enkripcija, a nakon ograničenja razvili su se 128-bitni i 256-bitni WEP. Iako je bio u širokoj upotrebi, stručnjaci za kibernetičku sigurnost primjećuju brojne ranjivosti ovog prvog bežičnog sigurnosnog protokola, primjerice osjetljivost na hakiranje lozinki. WEP je službeno povučen 2004. od strane Wi-Fi Alliance-a [6].

2.3.2 WPA (Wi-Fi zaštićeni pristup 1)

Bežični sigurnosni protokol koji se razvio 2003. od strane Wi-Fi Alliance-a zbog ranjivosti WEP-a, a koji koristi 256-bitni WPA-PSK (unaprijed podijeljeni ključ). Dodatni sigurnosni mehanizmi koji su razvijeni s WPA-om su: MIC (engl. *Message Integrity Check*) mehanizam s kojim je sadržaj poruke postao sigurniji prema hakerima i TKIP (engl. *Temporal Key Integrity Protocol*) mehanizam koji primjenjuje sustav ključa po paketu puno sigurnijim od WEP fiksnog sustava ključeva. Nakon određenog vremena, TKIP standard za enkripciju je zamijenjen AES-om (engl. *Advanced Encryption Standard*).

Postoje dva načina rada WPA:

- Enterprise mode (WPA-EAP)
- Personal mode (WPA-PSK)

Enterprise mode se primjenjuje u poduzećima, a koji je s EAP-om (engl. *Extensible Authentication Protocol*) postao sigurniji. WPA Enterprise načinu rada je bio potreban poslužitelj za provjeru autentičnosti.

Personal mode se upotrebljava za pojedince gdje koristi unaprijed dijeljene ključeve. Implementacija i upravljanje ovim načinom rada je puno jednostavnije.

Iako djeluje puno sigurnije od WEP-a, na WPA- u su primijećene brojne sigurnosne ranjivosti [6].

2.3.3 WPA2 (Wi-Fi zaštićeni pristup 2)

Napredna verzija prvog WPA-a, razvijena 2006. gdje ranjivi dijelovi WPA-e postaju jači s WPA2. WPA2 je ponudio nove mehanizme šifriranja i provjere autentičnosti za pružanje sigurnijih mreža. Mehanizmi koji su se koristili umjesto prethodnog mehanizma TKIP su AES (engl. *Advanced Encryption Standard*) i CCMP (engl. *Counter Cipher Mode*). Ključna

svrha ovih protokola je šifriranje najtajnijih podataka. Smatra se da bi primjenjivanje AES-a na malim mrežama trebalo dodatno poboljšati sigurnost.

WPA2 donosi razna unaprjeđenja kao primjerice, premještanje klijenata s jedne pristupne točke na drugu bez ponovne provjere autentičnosti za što se može primijeniti predautentifikacija. Mreža osigurana WPA2 sigurnosnim protokolom (Slika 11.) je pogodna za kućne mreže ali isto tako ranjiva za Enterprise mreže radi toga što je napadačima otvoren pristup mreži, a nakon toga i pristup lozinkama. Najranjiviji segment WPA2 sigurnosnog protokola su napadi na rječnik [6].

2.3.4 WPA3 (Wi-Fi zaštićeni pristup 3)

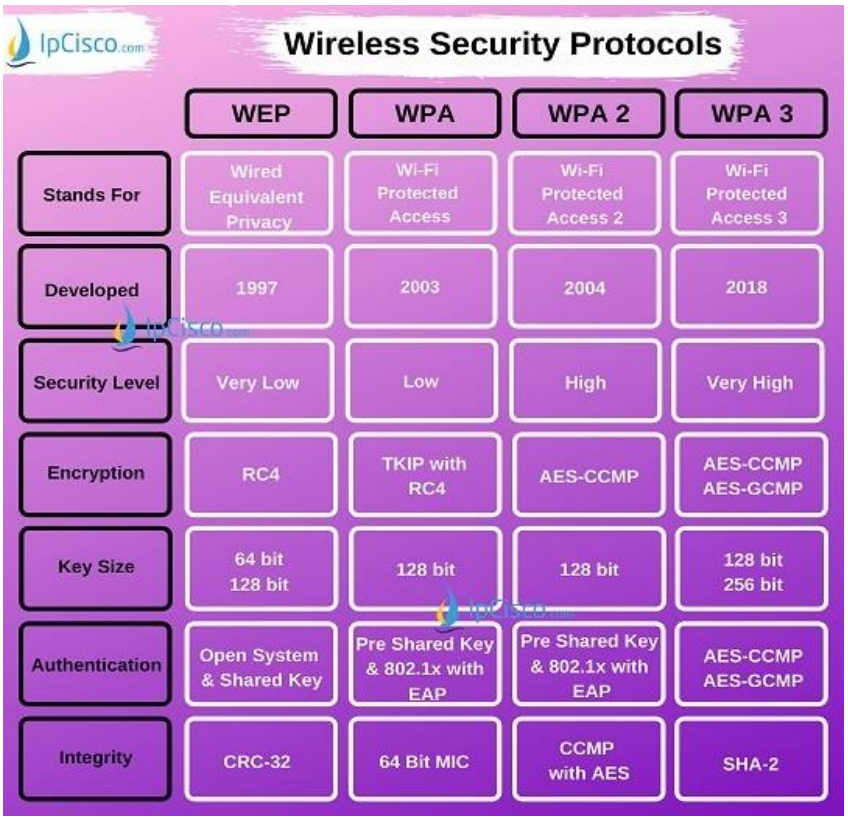
WPA3 omogućava robusniju autentifikaciju, pruža povećanu kriptografsku snagu za visoko osjetljiva podatkovna tržišta i održava otpornost mreža kritičnih za misiju. Također, uvjetuju primjenu zaštićenih upravljačkih okvira, zatim zabranjuju zastarjele naslijeđene protokole primjenjujući najnovije sigurnosne protokole. Korisnici WPA3-Personal dobivaju povećanu zaštitu od pokušaja pogađanja lozinke, dok korisnici WPA3-Enterprise mogu iskoristiti prednosti sigurnosnih protokola višeg stupnja za osjetljivije podatkovne mreže.

WPA3-Personal pruža robusniju provjeru autentičnosti temeljenu na lozinki što omogućuje bolju zaštitu pojedinačnim korisnicima, čak i onda kada lozinke koje su odabrane od strane korisnika ne zadovoljavaju tipične preporuke složenosti. Engl. Simultaneous Authentication of Equals (SAE) je tehnologija otporna na izvanmrežne napade rječnika gdje protivnik pokušava odrediti mrežnu lozinku pokušavajući mnoge lozinke bez daljnje mrežne interakcije.

WPA3-Personal omogućuje korisnicima odabir lozinki koje je lakše zapamtiti, zatim pruža poboljšanu zaštitu bez promjene načina na koji se korisnici povezuju na mrežu , te štiti promet podataka čak i ako je lozinka ugrožena nakon prijenosa podataka.

WPA3-Enterprise se često koristi za organizacije, te je sigurniji od WPA3-Personal načina rada. Kod ovoga načina rada postoji pomak sa 128-bitne razine sigurnosti na 192-bitnu sigurnost. Ova značajka pruža dodatnu sigurnost za sigurnosno osjetljiva područja primjerice za Vladu. WPA3 pristupne točke ili usmjerivači integrirani s Wi-Fi Certified Easy Connect™ tehnologijom imaju namjeru smanjiti složenost konfiguriranja Wi-Fi uređaja koji imaju ograničeno ili nikakvo sučelje za prikaz, posebice uređaja za IoT tržište. Poboljšanje omogućuje korisnicima dodavanje u Wi-Fi mreže pomoću drugog uređaja s robusnijim sučeljem kao što je korištenje pametnog telefona za skeniranje QR koda. Za današnju poslovnu mrežu od velike je važnosti naglasiti sigurnost bežične mreže, posebno kada postoje

velike potrebe da se kupcima ili zaposlenicima ponudi pouzdan Wi-Fi pristup. Slika 10. prikazuje tablicu sa svim ključnim razlikama redom navedenih bežičnih sigurnosnih protokola [7].



Slika 10. *Usporedba bežičnih sigurnosnih protokola* [12]

3. PROBLEMATIKA POZICIONIRANJA U ZATVORENOM PROSTORU

Usluge temeljene na lokaciji (engl. *Location Based Services, LBS*) primjenjuju podatke o lokaciji korisnika, zajedno s nekim drugim informacijama, kako bi korisnicima pružile korisne usluge. Općenito, LBS sustav se sastoji od pet osnovnih komponenti: (1) mobilni uređaj; (2) komunikacijska mreža; (3) komponenta za pozicioniranje koja je odgovorna za određivanje položaja mobilnog uređaja; (4) pružatelj usluga i aplikacija koji obrađuje zahtjeve korisnika i nudi tražene usluge; i (5) pružatelj podataka i sadržaja koji pohranjuje sve podatke koje korisnik može zatražiti.

Pozicioniranje se može podijeliti, prema okruženju u kojem se pozicioniranje provodi, u dvije kategorije: vanjsko pozicioniranje i pozicioniranje u zatvorenom prostoru. Vanjsko pozicioniranje se izvodi izvan objekata, dok se pozicioniranje u zatvorenom prostoru provodi unutar objekata poput kuća, bolnica, trgovačkih centara i drugih [10].

U vanjskom okruženju, zadovoljavajuću procjenu lokacije pruža GPS (engl. *Global Positioning System*). Međutim, takva tehnologija ne pomaže u zatvorenim prostorima, gdje je nedostatak vidnog polja između satelita i prijemnika (engl. *Line of sight, LOS*).

Pozicioniranje temeljeno na Wi-Fi mreži se zbog svoje široke dostupnosti donedavno smatralo povoljnim izborom za pozicioniranje u zatvorenom prostoru. Međutim, zbog složenosti unutarnjih okruženja, ovoj tehnologiji to još uvijek predstavlja značajnu ograničenost i izazov. Kretanje ljudi, promjene okolišnih postavki, radio smetnje, gubitak širenja signala uzrokovan raznim građevinskim materijalima, samo su od nekih nepredvidivih čimbenika koji utječu na unutarnje pozicioniranje. Vrlo važan čimbenik koji je potrebno uzeti u obzir kada se radi u zatvorenom okruženju su radio smetnje. Za prijenos signala, sve bežične mreže kao što su WLAN-ovi i mobilne telefonske mreže se oslanjaju na radiodifuzne stanice. Usmjerivači i veliki tornjevi za mobilne antene služe za prijenos signala u tim postajama. Nažalost, signali istih frekvencija od drugih izvora u blizini, mogu utjecati na korisnike bežičnih uređaja tako da signalima otežavaju da "teku glatko", te su moguće i značajnije promjene signala odnosno pojava poznata pod nazivom interferencija.

Također, na širenje signala u uredima enormni utjecaj dolazi zbog prepreka od namještaja odnosno zidova, dok u višekatnicama se javljaju gubici između susjednih katova (gubitak približno 6 dB), koji ovise o kakvom se građevinskom materijalu odnosno vrsti zida radi [8]. Objekti i prepreke dovode do velikog prigušenja i raspršenja signala. Aplikacije pozicioniranje u zatvorenom zahtijevaju veću preciznost i točnost u usporedbi s aplikacijama

za pozicioniranje na otvorenom kako bi se nosile s relativno malim površinama i postojećim preprekama. Malo područje pokrivanja s unaprijed određenom infrastrukturom, koridora, ulaza i izlaza, malih gradijenta temperature i vlažnosti i spore cirkulacije zraka su neke od karakteristika unutarnjeg okruženja koje olakšavaju pozicioniranje. Također, unutarnje okruženje je manje dinamično zbog sporije brzine kretanja unutar njega. Radi sve većih zahtjeva za što većom točnošću procjene lokacije korisnika, pozicioniranje u zatvorenom prostoru, postalo je aktivno područje istraživanja u kojem su predložena različita rješenja. Za rješavanje problema procjene lokacije primjenjuju se već neke od postojećih tehnologija, međutim pozicioniranje u zatvorenom prostoru ima svoje zahtjeve koji ga razlikuju od vanjskog pozicioniranja [10].

3.1 Sustavi za pozicioniranje u zatvorenom prostoru

Sustav za pozicioniranje u zatvorenom prostoru (engl. *Indoor Positioning System, IPS*) je sustav koji kontinuirano i u stvarnom vremenu procjenjuje lokaciju osobe ili objekta u unutarnjem okruženju. IPS-ovi se mogu upotrebljavati za različite primjene poput otkrivanja i praćenja predmeta, pružanja pomoći starijim osobama i osobama s invaliditetom u njihovim svakodnevnim aktivnostima sve do medicinskog praćenja vitalnih znakova i hitnih slučajeva. Također, IPS- ovi mogu imati korisnu primjenu u javnim zgradama poput trgovačkih centara i muzeja, omogućavajući turistima kretanje u muzeju, pomoć slijepim i slabovidnim. IPS-ovi se koriste i u bolnicama za precizno pozicioniranje pri robotskoj asistenciji tijekom operacija, za praćenje pacijenata i skupe opreme kako bi se spriječile krađe, te u žurnim službama (policija i vatrogasci) za operacije spašavanja. Na primjer, vrlo je ključno praćenje vatrogasaca u zgradi zahvaćenoj plamenom pri poduzimanju radnji kao što je spašavanje osoba, te kod procjene lokacije policijskih pasa obučenih za pronalazak eksploziva unutar zgrade, ukradenih proizvoda ili da pronađu izlaz u slučaju nužde u zadimljenom okruženju. IPS-ovi primjenjuju razne pristupe pozicioniranja koji se razlikuju u smislu točnosti, cijene preciznosti, tehnologije, skalabilnosti, robusnosti i sigurnosti.

Pojam točnosti, prema Zajedničkom odboru za vodiče u mjeriteljstvu (engl. *Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM*), definira se kao bliskost slaganja između vrijednosti izmjerene količine i stvarne vrijednosti izmjerene količine, odnosno točnost IPS-a jest prosječna euklidska udaljenost (najkraći razmak između dvije točke u jednom prostoru) između procijenjenog i pravog položaja. Iako je točnost IPS-a ključni pokretač za većinu aplikacija ono je još uvijek vrlo izazovno područje za mnoge istraživače na tom području.

Dostupnost se definira kao postotak vremena tijekom kojeg je usluga pozicioniranja dostupna za korištenje s potrebnom točnošću i integritetom. Povjerenje koje se može položiti u rezultate IPS-a definira se kao IPS Integritet. Komunikacijska zagušenja ili rutinsko održavanje mogu biti čimbenici koji ograničavaju dostupnost. Generalno, dostupnost se može promatrati na tri razine; niska dostupnost (< 95%), redovita dostupnost (> 99%) i visoka dostupnost (> 99,9%).

Područje pokrivenosti označava područje koje pokriva IPS. Iako, svaki IPS radi u različitom rasponu, najučinkovitiji sustavi su oni koji pokrivaju najširi raspon. Generalno, sustavi pozicioniranja dijele se na tri razine pokrivenosti; lokalno – označava ograničeno područje koje nije proširivo kao što je jedna soba ili zgrada, zatim skalabilno – se odnosi na sposobnost sustava da poveća područje dodavanjem hardvera, te globalno - kao što je GPS. Danas se rasponi postojećih IPS-a kreću od 5 do 50 metara, stoga je izazov osigurati sustav koji ima pokrivenost veću od 60 metara.

Skalabilnost IPS-a je parametar označava sustav koji osigurava normalnu funkciju pozicioniranja kada se skalira u jednoj od dvije dimenzije: geografiji i broju korisnika. Ljestvica broja korisnika podrazumijeva da se broj jedinica smještenih po zemljopisnom području u vremenskom razdoblju povećava. Sustav pozicioniranja može biti u mogućnosti locirati objekte diljem svijeta, unutar gradskog područja, u cijelom kampusu, u određenoj zgradi ili unutar jedne sobe je može biti lociran sustavom pozicioniranja.

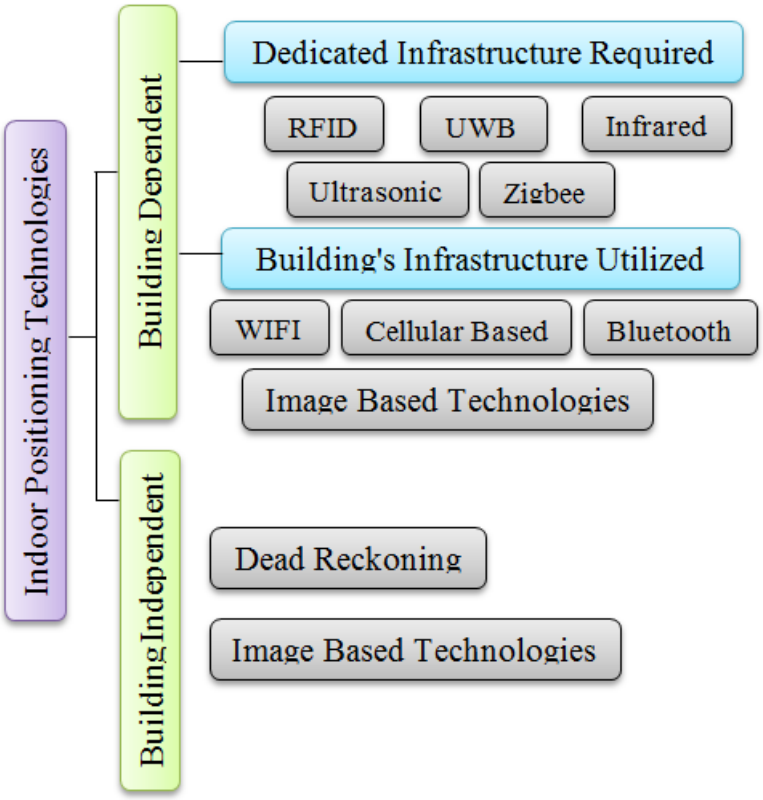
Novac, vrijeme, prostor i energija predstavljaju različite dimenzije u kojima se može mjeriti trošak IPS-a. Trošak instalacije i održavanja sustava uključuje troškove potrebne za instalaciju i održavanje sustava u funkciji, dok troškovi za kupnju komponenti i njihovu pripremu, te prostor i energiju za pokretanje tih komponenti predstavljaju trošak za infrastrukturne komponente i uređaje za pozicioniranje. IPS-ovi, koji ponovno koriste postojeću infrastrukturu kao što je mreža, isplativiji su. Kako bi se izbjeglo prekidanje usluga i pružila rješenja za veću mobilnost, energija se smatra kritičnim resursom u IPS-ovima.

Način na koji se osobni podaci korisnika prikupljaju i koriste je ključan kada se govori o privatnosti koja je iznimno važna za korisnike IPS-a. Implementiranjem i održavanjem sigurnosnih mehanizama za zaštitu podataka od upada, krađe i zlouporabe poboljšava se privatnost samog korisnika. Nažalost, u većini istraživanja sigurnosni aspekt IPS-a nije bio glavna briga kada se govori o pozicioniranju u zatvorenom prostoru [10].

3.2 Tehnologije pozicioniranja u zatvorenom prostoru

U zatvorenom prostoru treba pažljivo odabrati odgovarajuću tehnologiju pozicioniranja kako bi se napravio pravi balans između performansi i složenosti IPS-a. Također, istovremeno se može primijeniti spoj različitih tehnologija kako bi se stekle prednosti svake od njih. Tehnologije unutarnjeg pozicioniranja istraživači klasificiraju na mnogo različitih načina među kojima je podjela u šest klasa na temelju glavnog medija koji se koristi za određivanje položaja: 1) infracrvene (IR) tehnologije, 2) Ultrazvučne tehnologije, 3) Radiofrekventne (RF) tehnologije, 4) magnetske tehnologije, 5) tehnologije temeljene na viziji i 6) zvučne tehnologije zvuka.

Za razliku od prethodnih podjela, Slika 11. predstavlja podjelu za tehnologije unutarnjeg pozicioniranja prema infrastrukturi sustava kojeg koristi: ovisne o zgradi – one koje ovise o postojećoj tehnologiji u zgradi ili karti/strukturi zgrade. One se dalje dijele u dvije glavne kategorije: tehnologije unutarnjeg pozicioniranja koje zahtijevaju namjensku infrastrukturu – su 1) radiofrekvencija koja je ili RFID (radiofrekvencijska identifikacija) ili UWB (ultra širokopojasna), 2) infracrveni, 3) ultrazvučni, 4) ZigBee i 5) Laser, te tehnologije unutarnjeg pozicioniranja koje koriste infrastrukturu zgrade - su 1) WIFI, 2) Na temelju ćelija i 3) Bluetooth. S druge strane, tehnologije neovisne o zgradi ne zahtijevaju nikakav poseban hardver u zgradi kao što je „mrtvo računanje“ i tehnologije temeljene na slici. Kod mrtvog računanja, objekt može odrediti svoj trenutni položaj znajući prošli položaj, brzinu i smjer u kojem se kreće. Tehnologije temeljene na slikama uglavnom se oslanjaju na kameru (npr. senzor i obrada slike). Detalji o svakoj tehnologiji navedeni su u nastavku.



Slika 11. *Podjela tehnologija za pozicioniranje u zatvorenom* [16]

3.2.1 Radiofrekvencijska identifikacija (engl. *Radio Frequency Identification, RFID*)

Radiofrekvencijska identifikacija (engl. *Radio Frequency Identification, RFID*) označava sustav koji primjenom radio valova bežično prenosi identitet objekta ili osobe, te se najčešće primjenjuje u velikim sustavima za automatsku identifikaciju objekata. RFID tehnologija se bazira na razmjeni različitih frekvencija radio signala između dvije glavne komponente: RFID čitača i RFID oznaka. RFID oznake emitiraju radio signale koje primaju RFID čitači i obratno. RFID oznake i čitači primjenjuju unaprijed definiranu radio frekvenciju i protokole za slanje i primanje podataka između njih. Na svim objektima koje je potrebno pratiti, pričvršćene su RFID oznake koje se sastoje se od mikročipa koji uglavnom može pohraniti do 2 kB podataka i radio antene. Oznake se dijele na; aktivnu i pasivnu oznaku. S druge strane, antena, primopredajnik, napajanje, procesor i sučelje za spajanje na poslužitelj su komponente koje sačinjavaju jedan RFID čitač.

3.2.2 Ultra širokopojasni (engl. *Ultra Wideband, UWB*)

Prema FCC-u (engl. *Federal Communications Commission*) UWB se definira kao RF signal koji zauzima dio frekvencijskog spektra koji je veći od 20% središnje frekvencije nositelja ili ima širinu pojasa veću od 500 MHz. Ultra širokopojasni (engl. *Ultra Wideband, UWB*) označava komunikacijski kanal koji širi informacije kroz vrlo široki dio frekvencijskog spektra što omogućava UWB odašiljačima da dok prenose velike količine podataka troše vrlo malo energije. Za pozicioniranje UWB uglavnom koristi vrijeme dolaska (TOA) ili vremensku razliku dolaska (TDOA) RF signala kako bi se dobila udaljenost između cilja i referentne točke.

3.2.3 Infracrveni (engl. *Infrared, IR*)

U usporedbi s unutarnjim pozicioniranjem zasnovanim na vidljivoj svjetlosti infracrvena bežična komunikacija primjenjuje nevidljivi spektar svjetlosti odmah ispod crvenog ruba vidljivog spektra, što ovu tehnologiju čini manje nametljivom. Infracrveni (engl. *Infrared, IR*) se primjenjuje na dva različita načina; izravni IR i difuzni IR. Primjer izravnog IR-a predstavlja IrDA (engl. *Infrared Data Association*) koji primjenjuje ad-hoc standard za prijenos podataka od točke do točke dizajniran za komunikaciju vrlo male snage. IrDA zahtijeva komunikaciju između uređaja na vrlo kratkoj udaljenosti i do 16 Mbps. S druge strane, difuzni IR ima jače signale od izravnog IR i stoga ima duži doseg (9-12) metara. Difuzni IR primjenjuje širokokutne LED diode koje emitiraju signale u raznim smjerovima, što ne zahtijeva izravnu vidljivost ,a omogućuje jednu ili više veza.

3.2.4 Ultrazvučni (engl. Ultrasonic)

Ultrazvučni val se definira kao mehanički val koji je oscilacija tlaka koja se prenosi kroz medij, s tim da ima relativno kratak domet, a da ne interferira s elektromagnetskim valovima. Kao medije za širenje ultrazvučni sustavi za pozicioniranje koriste zrak i građevinski materijal. Pomoću mjerenja vremena dolaska (TOA) ultrazvučnih impulsa koji putuju od odašiljača do prijemnika moguće je procijeniti relativnu udaljenost između uređaja. Procjena koordinata odašiljača moguća je multilateracijom od tri ili više raspona do fiksnih prijemnika postavljenih na poznatim lokacijama.

3.2.5 ZigBee

ZigBee standard označava bežičnu osobnu mrežu male udaljenosti i niske brzine. Osnovni ZigBee čvor je vrlo mali i ima nisku složenost i nisku cijenu, a sastoji se od višekanalnog dvosmjernog radija i mikrokontrolera na jednom komadu silicija. ZigBee je dizajniran za aplikacije koje zahtijevaju nisku potrošnju energije i nisku propusnost podataka. Koordinacijom i komunikacijom sa susjednim čvorovima ZigBee tehnologija ostvaruje pozicioniranje. Postoje dvije različite grupe fizičkih uređaja koje se primjenjuju za ZigBee čvorove; uređaj pune funkcije (engl. *Full Function Device, FFD*) i uređaj smanjene funkcije (engl. *Reduced Function Device, RFD*).

3.2.6 Bežična lokalna mreža (engl. *Wireless Local Area Network, WLAN*)

U lipnju 1997. godine izglasan je WLAN IEEE 802.11 standard koji definira protokol i kompatibilno međusobno povezivanje opreme za prijenos podataka putem zraka u lokalnoj mreži (LAN) primjenjujući protokol CSMA/CA. IEEE 802.11 je trenutno najdominantniji lokalni standard bežičnog umrežavanja s brzinom prijenosa od 11, 54 ili 108 Mbps i rasponom od 50 do 100 m. Ovisno o poznavanju popisa bežičnih usmjerivača koji su dostupni u području u kojem sustav radi primjenjuje se Wi-Fi u sustavima za unutarnje pozicioniranje i navigaciju. RSS (engl. *Received Signal Strength*) je najpopularnija metoda WLAN pozicioniranja, dok su metode: vrijeme dolaska signala (TOA), vremenska razlika dolaska signala (TDOA) i kut dolaska signala (AOA) manje zastupljene u WLAN-u zbog složenosti vremenske odgode i kutnih mjerenja. S rasponom od 3 do 30 m, te stopom ažuriranja u rasponu od nekoliko sekundi iznosi točnost WLAN sustava za pozicioniranje koji koriste RSS.

3.2.7 Na temelju ćelija (engl. *Cellular Based*)

Za razliku od WLAN-a, GSM (engl. *Global System for Mobile Communications*) radi u licenciranim pojasevima koji sprječavaju smetnje drugih uređaja koji rade na istoj frekvenciji, s tim da su mreže GSM-a dostupne u većini zemalja koje pokrivaju WLAN s nižom preciznošću pozicioniranja. Pozicioniranje u zatvorenom prostoru na temelju mobilne mreže je moguće ako je zgrada pokrivena s nekoliko baznih stanica ili jednom baznom stanicom s jakim RSS-om kojeg primaju korisnici. Uzimanje otiska prsta na temelju razine snage signala (RSS) je metoda koja se najčešće primjenjuje za GSM unutarnje pozicioniranje.

3.2.8 Bluetooth

Za razliku od ZigBee tehnologije, Bluetooth standard je bežični standard za bežične osobne mreže (WPAN), dizajniran da bude tehnologija vrlo niske potrošnje za ravnopravnu komunikaciju koja radi u ISM pojasu od 2,4 GHz. U usporedbi s WLAN tehnologijom, brzina prijenosa je niža (1 Mbps), a raspon je kraći otprilike od 10 cm do 10 metara.

3.2.9 "Mrtvo računanje" (engl. *Dead Reckoning*)

Kod tehnologije „mrtvog računanja", objekt znajući prošli položaj i brzinu kojom se kreće, može približno odrediti svoj trenutni položaj. „Mrtvo računanje" (engl. *Dead Reckoning*) je navigacijska tehnologija koja zahtijeva da se počne s poznatom pozicijom, a zatim će dodati i pratiti promjene koje mogu biti u obliku pravokutnih koordinata ili brzine. Kako bi se poboljšala točnost i smanjila pogreška, tehnologija „mrtvog računanja" treba primjenjivati druge metode za podešavanje položaja nakon svakog intervala.

3.2.10 Tehnologije temeljene na slici (engl. *Image Based Technologies*)

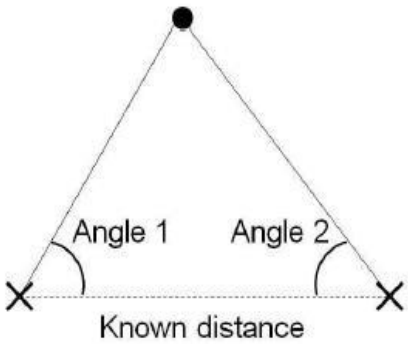
Tehnologije temeljene na slici, koje se ponekad nazivaju i optičkim metodama su tehnologije bazirane na kameri različitih vrsta kao što su kamera mobilnog telefona, višesmjerna kamera i trodimenzionalne kamere, međutim njihova izvedba varira zbog količine informacija koje se mogu izdvojiti iz njihovih slika. Napredak u tehnologiji detektora, razvoj algoritama u obradi slike, te povećanje brzine prijenosa podataka i računalnih sposobnosti samo su od nekih čimbenika o kojima ovisi uspjeh tehnologija baziranih na slici. mogu se kategorizirati u Postoje dvije glavne kategorije sustava za pozicioniranje temeljenih na slici: sustavi koji primjenjuju kretanje kamere u odnosu na krutu scenu za procjenu trenutne pozicije kamere i sustavi statičkih senzora koji lociraju pokretne objekte na slikama [10].

3.3 Tehnike pozicioniranja u zatvorenom prostoru

Postoji nekoliko tehnika pozicioniranja u zatvorenom prostoru koje se mogu primijeniti na različite tehnologije pozicioniranja u zatvorenom prostoru: 1) triangulacija, 2) trilateracije, 3) uzimanje otisaka prstiju, 4) blizina i 5) analiza vida.

3.3.1 Triangulacija (engl. *Triangulation*)

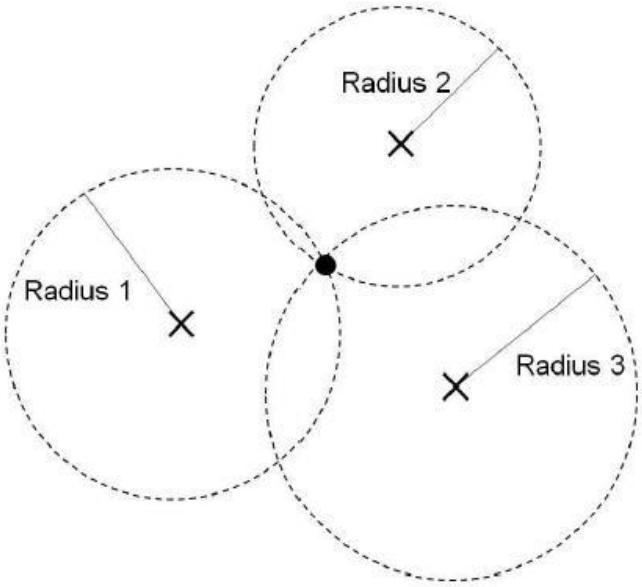
Princip triangulacije, prikazan je na Slika 11., a sastoji se od mjerenja upadnog kuta (ili kut dolaska – engl. *Angle of Arrival*, *AOA*), te od najmanje dvije referentne točke s tim da procijenjena pozicija odgovara sjecištu pravaca definiranih kutovima [9].



Slika 11. *Princip triangulacije* [11]

3.3.2 Trilateracija (engl. *Trilateration*)

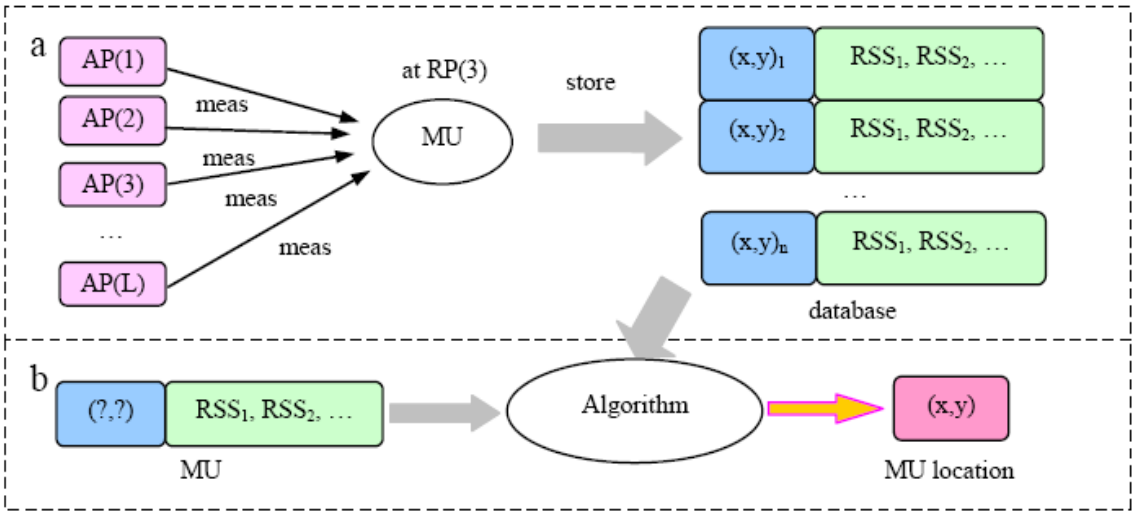
Princip trilateracije, prikazan je na Slika 12., te procjenjuje lokaciju procjenom njezine udaljenosti od najmanje tri referentne točke, odnosno procijenjena lokacija odgovara točki presjeka triju kružnica [9].



Slika 12. *Princip trilateracije* [12]

3.3.3 Analiza scene (engl. *Scene Analysis*)

Princip analize scene je princip u kojem se koristi tehnika otiska prsta (engl. *Fingerprinting*) poznata i kao metoda temeljena na mjerenju jačine primljenog signala (engl. *Received Signal Strength, RSS*). Tehnika otiska prsta se sastoji od dva koraka odnosno faze: offline faza i online faza. Tijekom offline faze (Slika 13.a) prikupljaju se na unaprijed identificiranim mjestima jačine signala od AP-ova koje se nazivaju referentnim točkama (RF). Cilj ove faze jest da se prikupi fingerprint baza podataka koja će se koristiti u online fazi, gdje se lokacija mobilnog korisnika određuje na temelju okolnih referentnih točka koje bi na ciljnom području trebale biti raspoređene ravnomjerno i homogeno. U online fazi (Slika 13.b) ovom tehnikom se proračunava RSS u realnom vremenu, te mjerenje procijenjenih koordinata položaja na temelju podataka pohranjenih tijekom offline faze [9].



Slika 13. *Dvije faze tehnike fingerprinting: (a) offline faza i (b) online faza* [13]

3.3.4 Tehnika blizine (engl. *Proximity*)

Princip blizine se uglavnom koristi u sustavima baziranim na radiofrekvenciji, te koristi mrežu antena s fiksnom lokacijom unutar zgrada. Kada osoba koja nosi mobilni uređaj postaje detektirana, najbliža antena je ona koja se uzima u obzir pri proračunu lokacije objekta. U slučaju kada je mobilni uređaj detektiran ne samo jednom antenom nego više njih, antena koja prima najjači signal je ona koja se uzima u obzir pri proračunu lokacije objekta [9].

3.3.5 Tehnika analize vida (engl. *Vision Analysis*)

Tehnika analize vida procjenjuje lokaciju na temelju slika primljenih na jednoj ili više točaka, gdje je uglavnom jedna ili više kamera fiksirano u području praćenja IPS-a kako bi pokrile cijelo mjesto i snimile slike u stvarnom vremenu na kojima se identificiraju praćeni ciljevi Kako bi se napravile procjene položaja, promatrane slike ciljeva se traže u prethodno izmjerenoj bazi podataka. Osim toga, tehnika pozicioniranja analize vida pruža koristan kontekst lokacije za usluge na temelju snimljenih slika [10].

3.4 Algoritmi za pozicioniranje u zatvorenom prostoru

Postoje četiri osnovna Algoritma za pozicioniranja u zatvorenom prostoru se dijele na četiri osnovna: Vrijeme dolaska (engl. *Time of Arriva, TOA*), vremenska razlika dolaska (engl. *Time Difference of Arrival, TDOA*), kut dolaska (engl. *Angle of Arrival, AOA*) i snaga primljenog signala (engl. *Received Signal Strength, RSS*). Svaki od njih ima svoje prednosti i nedostatke kao što je prikazano u tablici 1.1.

3.4.1 Vrijeme dolaska (engl. *Time of Arrival, TOA*)

Vrijeme dolaska (engl. *Time of Arrival, TOA*) koji se naziva još i vrijeme leta (engl. *Time of Flight, ToF*) jest algoritam koji mjeri vrijeme prijenosa signala između prijemnika i odašiljača, a temelji se na točnoj sinkronizaciji vremena dolaska signala koji se prenosi s mobilnog uređaja na nekoliko prijemnih beacona. Drugim riječima, svi prijemni signali zajedno s mobilnim uređajima točno su sinkronizirani s preciznim izvorom vremena. Mobilni uređaj prenosi signal s vremenskim žigom prema prijemnim svjetionicima. Kada je primljen, izračunavaju udaljenost između prijamnika i odašiljača na temelju brzine i izmjerenog vremena signala. Zatim se pomoću triangulacije procjenjuje lokacija mete.

3.4.2 Vremenska razlika dolaska (engl. *Time Difference of Arrival, TDOA*)

Vremenska razlika dolaska (engl. *Time Difference of Arrival, TDOA*) je algoritam koji mjeri vremensku razliku širenja između cilja i više baznih stanica, te dobiva razliku udaljenosti iz vremenske razlike. Prijenos s nepoznatim početnim vremenom prima se na različitim prijemnim čvorovima, pri čemu samo prijamnici zahtijevaju vremensku sinkronizaciju, gdje svaka razlika mjerenja vremena dolaska stvara hiperboličku krivulju u prostoru lokalizacije na kojem se nalazi lokacija mobilnog čvora. Sjecište više hiperboličkih krivulja određuje moguće lokacije mete, međutim, samo jedno raskrižje predstavlja stvarnu lokaciju mete za koju je potrebno prethodno znanje kako bi se uklonila nejasnoća položaja.

3.4.3 Kut dolaska (engl. *Angle of Arrival, AOA*)

Primjenjujući kut dolaska (engl. *Angle of Arrival, AOA*) algoritam, mobilni prijamnik procjenjuje kutove prijema signala za dva ili više izvora s poznatim lokacijama, dok se za

poboljšavanje točnosti , odnosno za procjenu položaja primjenjuju tri ili više svjetionika. Uspoređivanjem faze nosioca ili amplitude signala na više antena vrši se procjena položaja. Iz ovih proračuna, presjekom kutne linije iz svakog izvora signala određen je položaj ciljnog prijemnika.

3.4.4 Parametar jačine primljenog signala (engl. *Received Signal Strength, RSS*)

Parametar jačine primljenog signala (engl. *Received Signal Strength, RSS*) procjenjuje udaljenost nepoznatog čvora do referentnog čvora koristeći jačinu emitiranog signala, te je ostvariva samo s radio signalima. Općenito, veće vrijednosti RSS-a se bilježe približavanjem pristupnoj točki (AP), dok udaljavanjem snaga signala većinom opada. Na otvorenom, slabljenje jačine signala obrnuto je proporcionalno udaljenosti od AP-a. U zatvorenom prostoru radi postojanja mnogih prepreka poput namještaja, opreme, prozora i vrata dolazi do višestaznog prostiranja signala, kao što su refleksija i lomna difrakcija [10].

Tablica 1.1. *Usporedba algoritama za pozicioniranje u zatvorenom prostoru* [10]

Algoritam	***Prednosti***	***Nedostaci***
TOA	Najtočnija tehnika koja može filtrirati višesmjerne efekte u zatvorenim situacijama	Složen je za implementaciju, zahtjeva preciznu vremensku sinkronizaciju svih uređaja što je skupo
TDOA	Potrebno je samo sinkronizirati bazne stanice koje sudjeluju u pozicioniranju, bez precizne sinkronizacije između cilja i bazne stanice kao kod TOA	Potrebno je prethodno znanje kako bi se eliminirala dvosmislenost položaja, na njega utječe višestazna distorzija.
AOA	Budući da su sve potrebne informacije o vremenu odašiljača kodirane u signalu, prijemnik objekata ne mora održavati faznu koherentnost s vremenskim izvorom bilo kojeg svjetionika	Zahtjeva dodatne antene s kapacitetom mjerenja kutova što povećava cijenu implementacije AOA sustava, na njega utječe višestazno i NLOS širenje signala, te refleksije od zidova i drugih objekata. Zbog ovih čimbenika može značajno promjeniti smjer dolaska signala i time degradirati

		točnost, AOA proračuni su vrlo osjetljivi na domet. Kako se udaljenost od izvora povećava, tako se točnost položaja smanjuje.
RSS	Jednostavna je za implementaciju u usporedbi s tehnikama koje koriste kut dolaska (AOA) i vremensku razliku dolaska (TDOA), nema potrebe za specijaliziranim hardverom na mobilnoj stanici (MS) osim kartice bežičnog mrežnog sučelja.	Postojanje prepreka u zatvorenom prostoru može uzrokovati različite koeficijente prigušenja za RF signale. Stoga je uspostavljanje točnog propagacijskog modela vrlo teško.

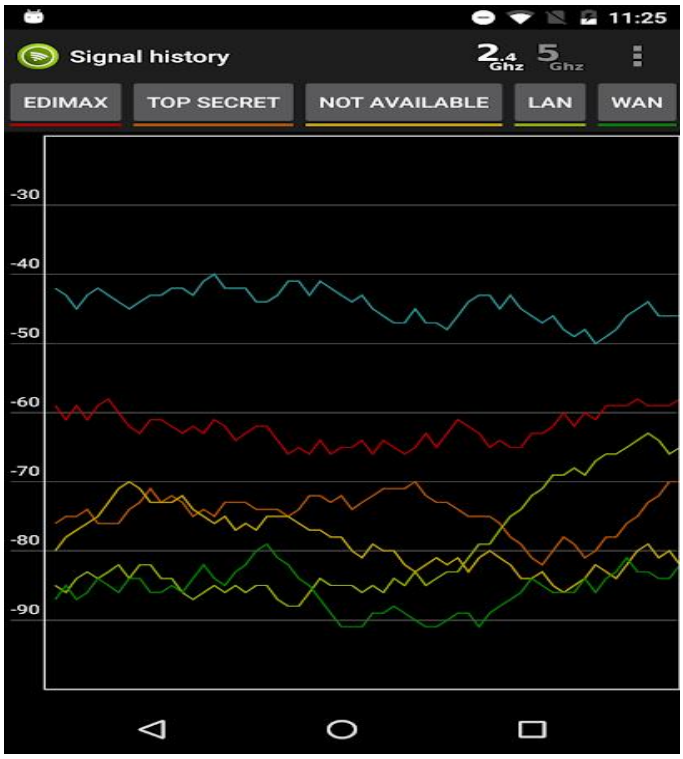
4. MJERENJE WI-FI SIGNALA

U praktičnom dijelu ovoga diplomskog rada izvršena su mjerenja snage signala pet pristupnih točaka u zgradi Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (FERIT- ul.Kneza Trpimira 2B). Kako bi se mjerenja provela kao prostor je poslužio hodnik trećega kata zgrade fakulteta, te za provedbu istih mjerenja je korištena aplikacija Wi-Fi Analyzer o kojoj nešto više u nastavku.

4.1 Wi-Fi Analyzer

Wi-Fi Analyzer je android mobilna aplikacija koja pruža korisne informacije o bežičnim signalima oko nas. Aplikacija pruža pregled dostupnih WLAN mreža , Wi-Fi skener podržava 2,4 GHz i 5 GHz wi-fi mreže, daje informacije pojedinačno o wi-fi kanalima, mjeri snagu signala, preporučuje najbolji kanal za novu pristupnu točku, pruža informacije o širini kanala (20/40/80 MHz). Kod svake WLAN mreže možemo iščitati MAC adresu, frekvenciju odnosno širinu kanala, te bežične sigurnosne protokole kojima pojedina mreža raspolaže (Slika 14.). Snagu signala aplikacija prikazuje na dva načina: dijagram promjene snage signala u vremenu (Slika 15.) i trenutni prikaz snage signala po pojedinom kanalu odnosno WLAN mreži.

Slika 14. *Prikaz informacija o pojedinoj mreži unutar Wi-Fi Analyzer aplikacije* [14]

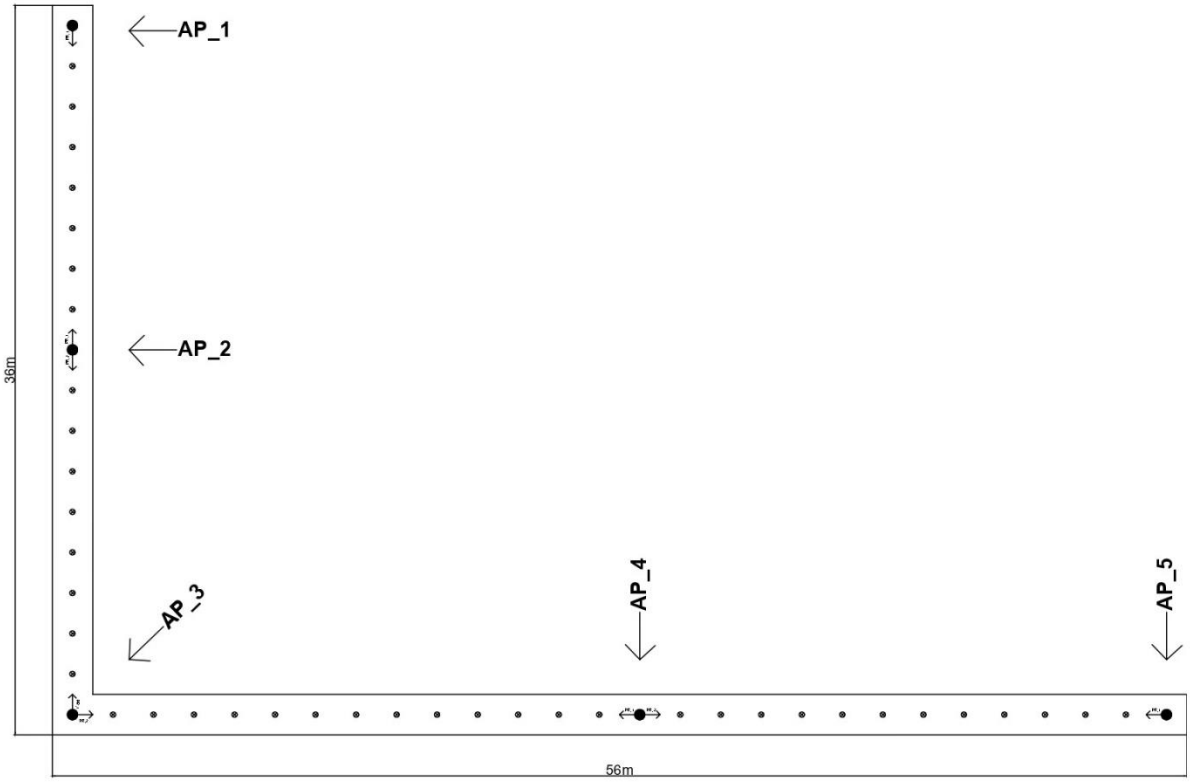


Slika 15. *Prikaz dijagrama promjene snage signala pojedine mreže u vremenu u Wi-Fi Analyzer aplikaciji* [15]

4.1.1 Mjerenje snage signala pristupnih točaka

Mjerenje snage signala pristupnih točaka provedeno je pomoću mobilnog uređaja i android aplikacije Wi-Fi Analyzer, na trećem katu zgrade FERIT-a odnosno na samom hodniku kata. Pet pristupnih točaka (AP_1, AP_2, AP_3, AP_4, AP_5) raspoređeno je na hodniku kata koji ima oblik slova "L". Položaj AP-a je ucrtan crnim kružićem i oznakom AP_X što je vidljivo na pojednostavljenom prikazu (Slika 16.). Za provedbu mjerenja od opreme su korišteni još i produžni kabel na namatanje, te tračni metar. Mjerenja su provedena tako da su pristupne točke postavljene na pod hodnika na pet različitih mjesta, te se pomoću mobilnog uređaja i aplikacije očitavala snaga signala pojedinog AP-a, od mjesta na kojem je postavljen pa na svaka dva metra od AP-a u jednom i drugom pravcu dokle got se signal mogao očitati, odnosno dok nije došlo do "pucanja" veze s pojedinim AP-om. Pored svakog AP-a je naznačena strelica koja označava smjer odnosno pravac mjerenja, te iz slike vidimo da AP_1 i AP_5 imaju samo jedan smjer odnosno pravac mjerenja (PR_1) jer su smješteni na samom početku/kraju jednog i drugog hodnika, dok ostali AP-ovi imaju dva pravca mjerenja/očitavanja signala (PR_1 i PR_2). Skica (Slika 16.) je izrađena u programskom

paketu AutoCAD 2017, u mjerilu 1:50. Također, na skici su naznačene malim kružićima ravnomjerno raspoređene mjerne točke na svaka 2 m od pojedine pristupne točke duž cijelog hodnika.



Slika 16. *Prostor u kojem su vršena mjerenja, pojednostavljen prikaz, mjerilo 1:50*

5. GRAFIČKI PRIKAZ REZULTATA MJERENJA

Dobiveni rezultati mjerenja prikazani su tablično (Tablica 1.1., Tablica 1.2., Tablica 1.3., Tablica 1.4., Tablica 1.5.), te vrijednosti unutar njih predstavljeni dijagramima (Slika 17., Slika 18., Slika 19., Slika 20., Slika 21.). Tablice sadrže veličinu *d[m]* što predstavlja udaljenost od pristupne točke, te izmjerenu snagu signala P_{PR} od pojedine pristupne točke u jednom pravcu ili dva pravca mjerenja (PR_1 i PR_2). Prazna polja u tablicama naznačuju da se signal često gubio odnosno da se nije mogao pravilno očitati.

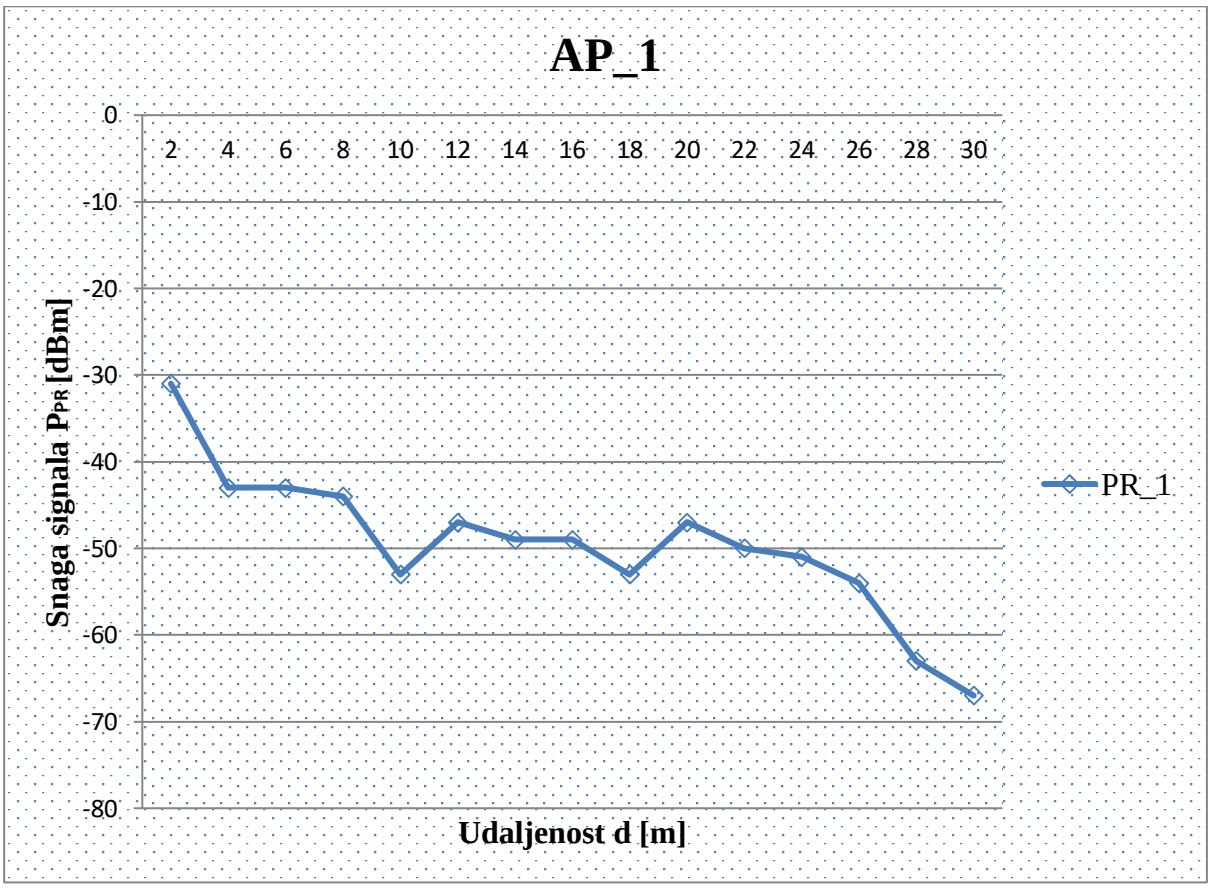
Vrijednosti koji se nalaze unutar tablice 1.1. su dobiveni mjerenjem snage signala na svaka dva metra u jednom pravcu od pristupne točke. Iz tablice su vidljiva minimalna odstupanja na određenim udaljenostima što je razumljivo radi nepredvidivosti rasprostiranja signala i okolnih utjecaja prostornih elemenata, no u biti pad snage signala je očit kako raste udaljenost od pristupne točke. Pošto je hodnik u obliku slova "L" nakon 30 m signal se teško očitavao i brzo nestajao, stoga se rezultati dalje nisu ni bilježili.

Tablica 1.2. *Ovisnost izmjerene prijemne snage P_{PR} o udaljenosti d od pristupne točke (AP_1)*

d[m]	***AP_1 – PR_1*** P_{PR} ***[dBm]***
2	-31
4	-43
6	-43
8	-44
10	-53
12	-47
14	-49
16	-49
18	-53
20	-47
22	-50
24	-51

26	-54
28	-63
30	-67

Iz prvog dijagrama ovisnosti vidi se samo jedan pravac mjerenja radi toga što je prva pristupna točka bila smještena na početak/kraj kraćeg hodnika (Slika 16.). Iz grafa su vidljiva minimalna odstupanja objašnjena ranije, ali je vidljiv očekivani pad snage signala s povećanjem udaljenosti.



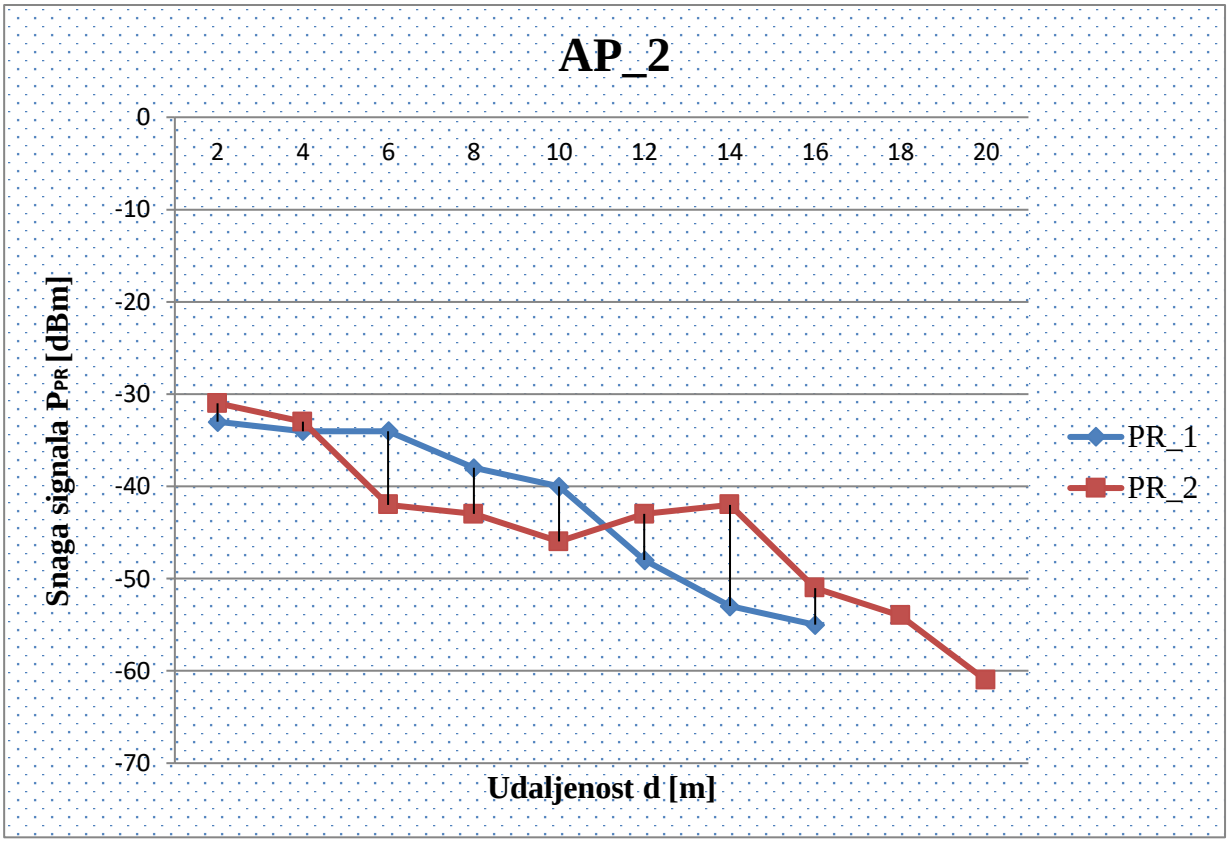
Slika 17. *Dijagram ovisnosti snage prijemnog signala* P_{PR} *o udaljenosti d od pristupne točke*

Druga pristupna točka bila je smještena na sredinu kraćeg hodnika (Slika 16.), stoga se mjerenje obavilo u dva pravca. Iz tablice 1.3. su također vidljiva minimalna odstupanja ali ništa značajnije.

Tablica 1.3. *Ovisnost izmjerene prijemne snage P_{PR} o udaljenosti d od pristupne točke (AP_2) u dva pravca mjerenja signala*

d[m]	***AP_2 – PR_1*** ***P_{PR} [dBm]***	***AP_2 – PR_2*** ***P_{PR} [dBm]***
2	-33	-31
4	-34	-33
6	-34	-42
8	-38	-43
10	-40	-46
12	-48	-43
14	-53	-42
16	-55	-51
18		-54
20		-61

Kod druge pristupne točke postoje dva pravca mjerenja što se vidi iz dijagrama (Slika 18.). Vrijednosti su približne u oba pravca očitavanja signal, te oboma pada snaga signala kako se udaljenost povećava uz naravno mala odstupanja. Na grafu se vidi prekid na 16 m kod prvog pravca očitavanja radi toga što završava hodnik.



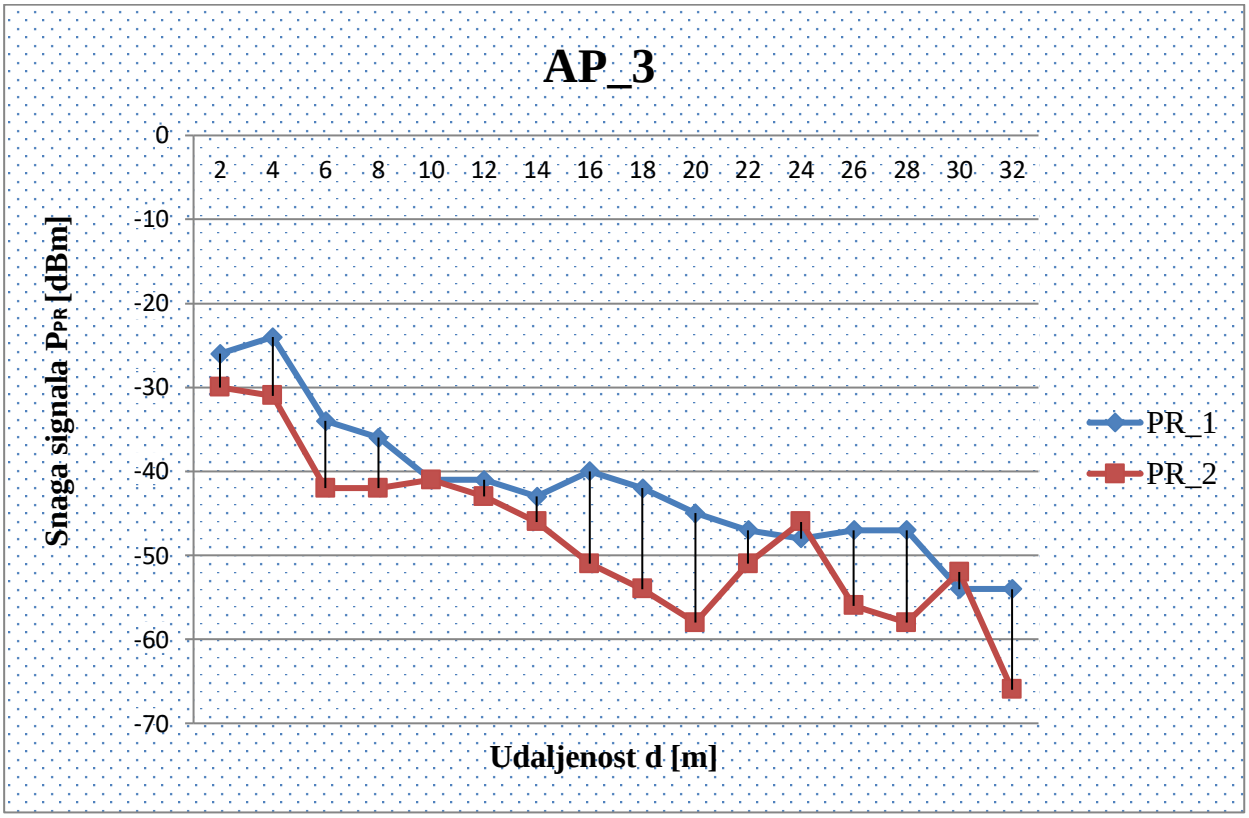
Slika 18. *Dijagram ovisnosti snage prijemnog signala* P_{PR} *o udaljenosti d od pristupne točke*

Treća pristupna točka smještena je na mjestu gdje se "lomi" hodnik na dva dijela (Slika 16.), stoga i kod nje postoje dva pravca mjerenja. U tablici 1.4. vide se očitane vrijednosti koje pokazuju također odstupanja uz standardno smanjivanje snage signala kako udaljenost raste.

Tablica 1.4. *Ovisnost izmjerene prijemne snage P_{PR} o udaljenosti d od pristupne točke (AP_3) u dva pravca mjerenja signala*

d[m]	***AP_3 – PR_1*** ***P_{PR} [dBm]***	***AP_3 – PR_2*** ***P_{PR} [dBm]***
2	-26	-30
4	-24	-31
6	-34	-42
8	-36	-42
10	-41	-41
12	-41	-43
14	-43	-46
16	-40	-51
18	-42	-54
20	-45	-58
22	-47	-51
24	-48	-46
26	-47	-56
28	-47	-58
30	-54	-52
32	-54	-66

Iz slike 19. uočava se dijagram treće pristupne točke u dva pravca mjerenja, te je vidljiv očekivan polagan pad kako udaljenost raste.



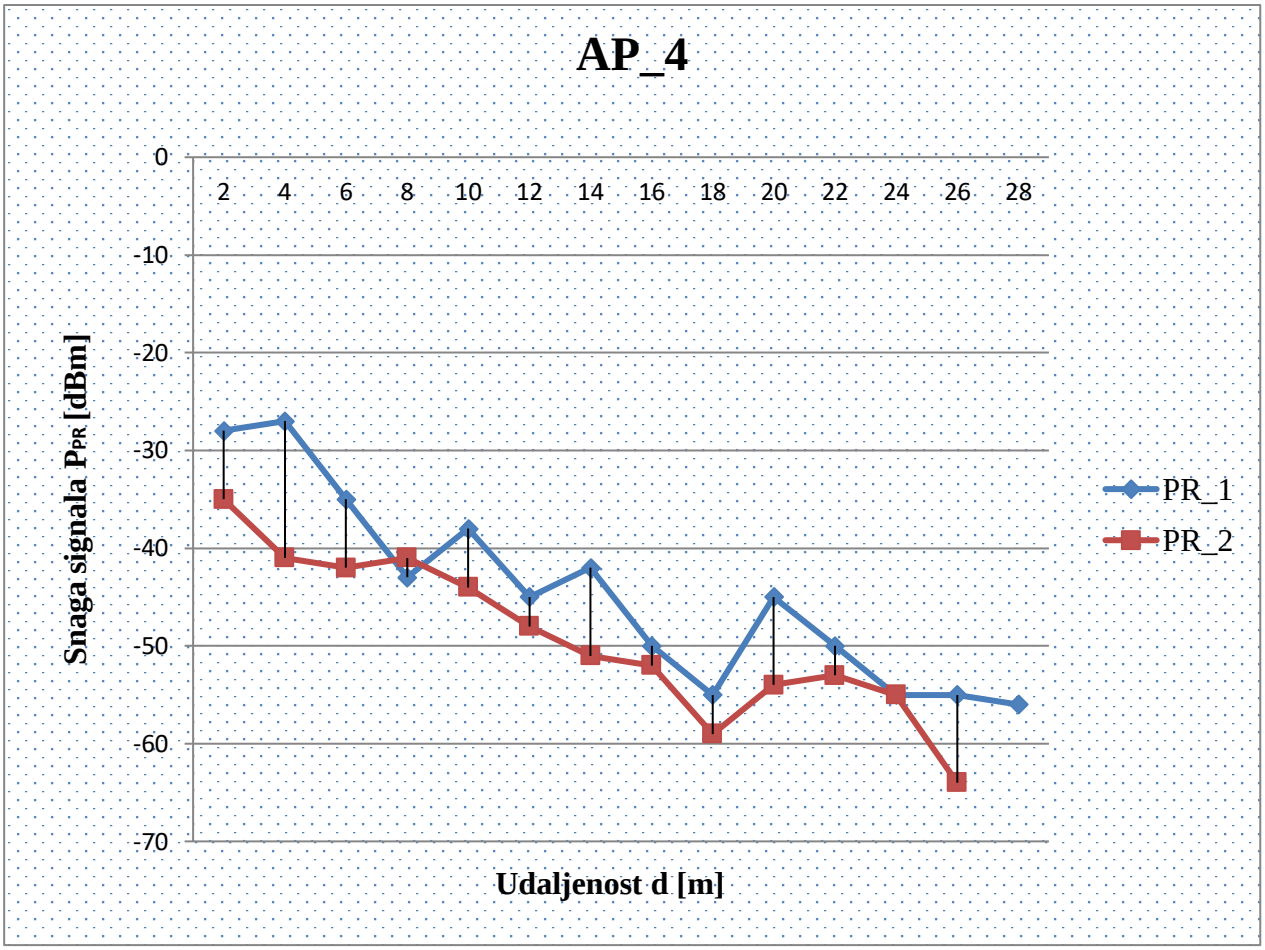
Slika 19. *Dijagram ovisnosti snage prijemnog signala* P_{PR} *o udaljenosti d od pristupne točke*

Iz tablice 1.5. vide se očitane vrijednosti signala četvrte pristupne točke smještene na sredini dužeg hodnika (Slika 16.). Također, uočavaju se odstupanja koja su očekivana s obzirom na moguću interferenciju s ostalim signalima u zgradi koji se emitiraju, te s obzirom na moguće prepreke na koje nailazi signal.

Tablica 1.5. *Ovisnost izmjerene prijemne snage P_{PR} o udaljenosti d od pristupne točke (AP_4) u dva pravca mjerenja signala*

d[m]	***AP_4 – PR_1*** ***P_{PR} [dBm]***	***AP_4 – PR_2*** ***P_{PR} [dBm]***
2	-28	-35
4	-27	-41
6	-35	-42
8	-43	-41
10	-38	-44
12	-45	-48
14	-42	-51
16	-50	-52
18	-55	-59
20	-45	-54
22	-50	-53
24	-55	-55
26	-55	-64
28	-56	

Slika 20. prikazuje dijagram s dva pravca mjerenja, te se može primijetiti približne vrijednosti oba pravca uz očekivani pad s povećanjem udaljenosti. Kod drugog pravca dolazi do prekida na 28 m jer se nailazi na kraj hodnika.



Slika 20. *Dijagram ovisnosti snage prijemnog signala* P_{PR} *o udaljenosti d od pristupne točke*

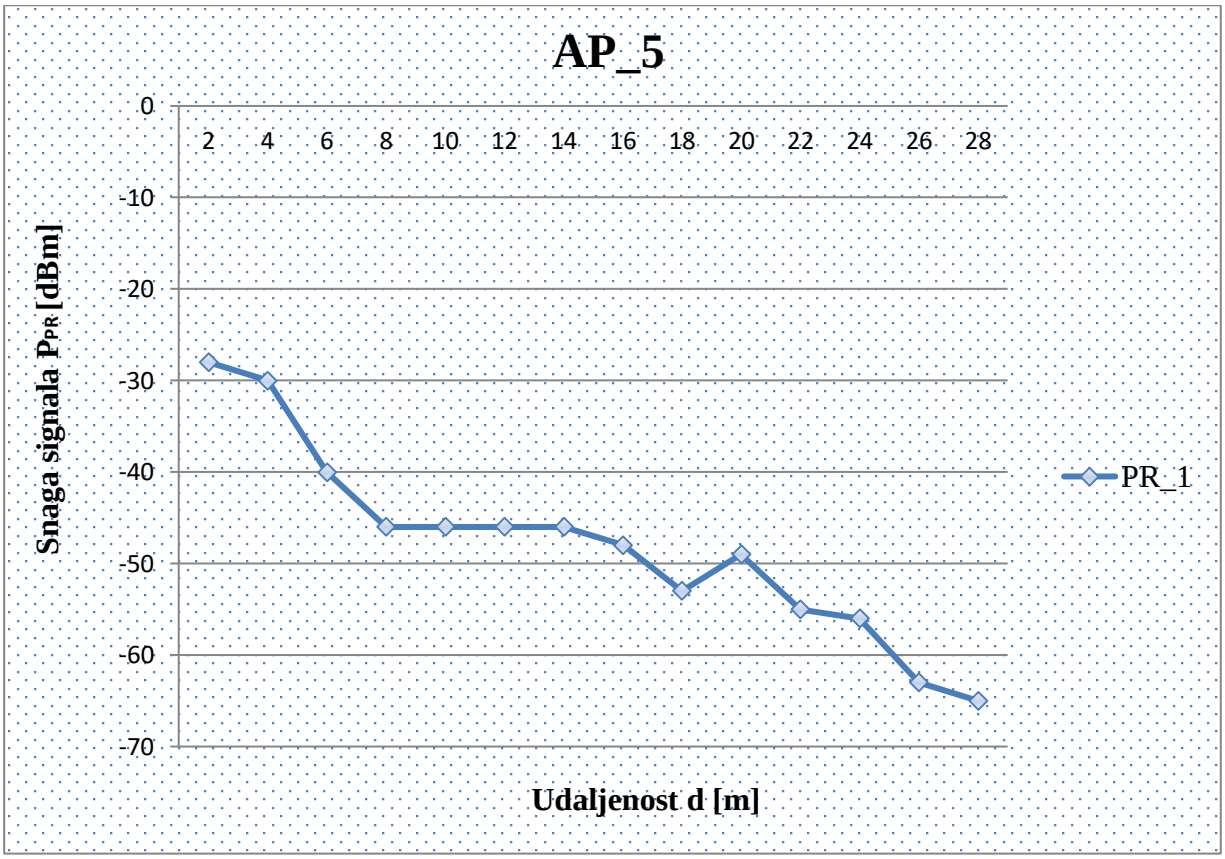
Kao i kod prve pristupne točke, peta pristupna točka smještena je na početak/kraj dužeg hodnika (Slika 16.), stoga postoji samo jedan pravac očitavanja signala. Već na 28 m dolazi do "pucanja" signala iz prijašnje moguće navedenih razloga.

Tablica 1.6. *Ovisnost izmjerene prijemne snage* P_{PR} *o udaljenosti d od pristupne točke (AP_5) u dva pravca mjerenja signala*

d[m]	***AP_5 – PR_1*** P_{PR} ***[dBm]***
2	-28
4	-30
6	-40

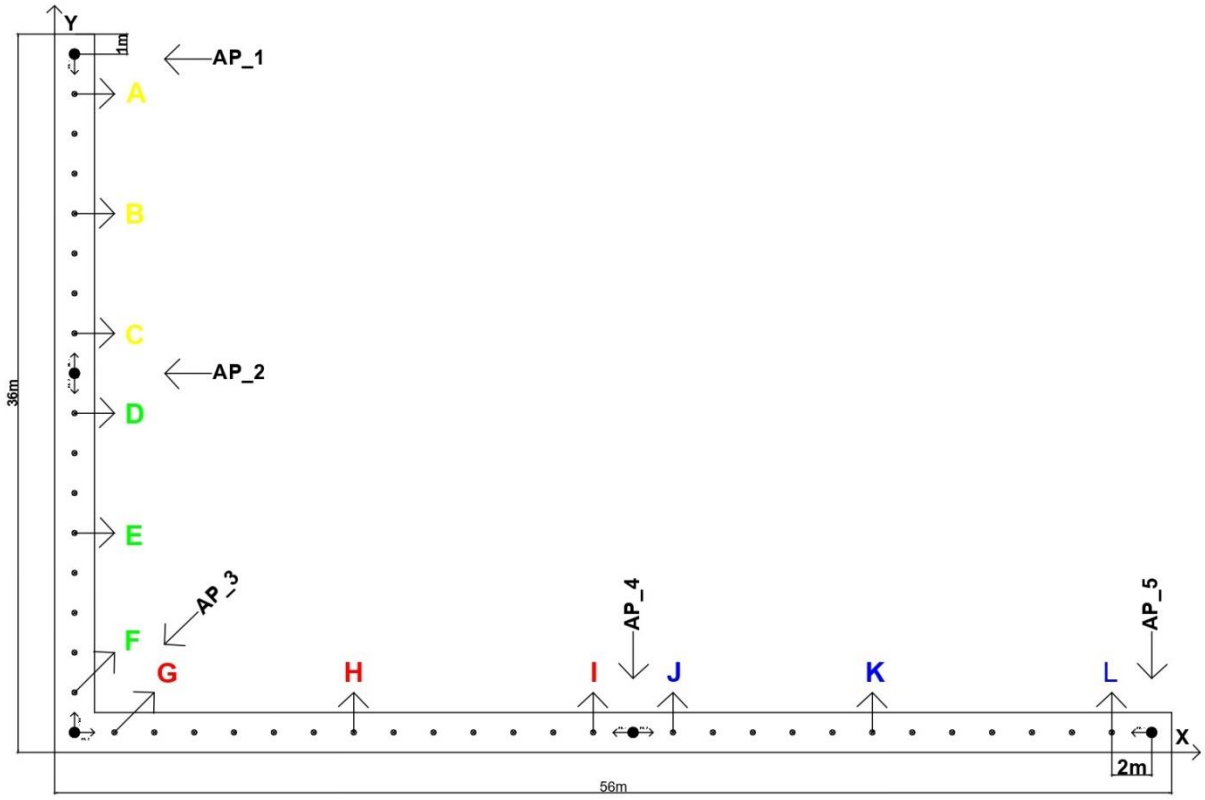
8	-46
10	-46
12	-46
14	-46
16	-48
18	-53
20	-49
22	-55
24	-56
26	-63
28	-65

Zadnji dijagram (Slika 21.) pokazuje minimalno odstupanje što je i očekivano uz postepeni pad snage signala kako se udaljenost od pristupne točke povećava.



Slika 21. *Dijagram ovisnosti snage prijemnog signala* P_{PR} *o udaljenosti d od pristupne točke*

Nakon što su tablično i dijagramima prikazane promjene snage signala svih 5 pristupnih točaka kako udaljenost raste na jednu i drugu stranu (gdje je to moguće), slika 22. prikazuje raspored promatranih mjernih točaka (po 3 između svakog AP-a) naznačenih raznim bojama, te slovima od A do L. Mjerne točke su ravnomjerno raspoređene duž cijelog hodnika, odnosno na svaka 2 m od pristupnih točaka. Cilj je pokazati kolika je izmjerena snaga signala svih 5 AP-ova u nekoj točki, te na temelju toga pokušati odrediti poziciju odabrane točke uspoređujući ju sa stvarnom pozicijom točke koja nam je poznata.



Slika 22. *Prikaz promatranih mjernih točaka u prostoru u kojem su vršena mjerenja, mjerilo 1:50*

Tablica 1.7. sadrži stupac koji pokazuje odabrane mjerne točke (po tri između svaka dva AP-a) slovima od A do L. Ostalih pet stupaca pokazuje izmjerenu prijemnu snagu svakog AP-a u pojedinim mjernim točkama naznačenim na Slika 22. Prazna polja u tablici 1.7. označavaju da se snaga signala nije mogla izmjeriti. Prvo što se vidi iz tablice 1.7. jest kako AP_3 ima najbolju pokrivenost signalom, s čak 10 od 12 odabranih mjernih točaka ravnomjerno raspoređenih duž cijelog hodnika što je i logično pošto se nalazi na mjestu gdje se hodnik "lomi" (Slika 22.). Također, polja sa žutom bojom označavaju najjaču izmjerenu snagu signala određenog AP-a za pojedinu mjernu točku, dok zelena boja označava najslabiju izmjerenu snagu signala pojedinog AP-a za tu mjernu točku.

Tablica 1.7. *Prikaz izmjerene prijemne snage P_{PR} svih AP-ova za pojedine mjerne točke*

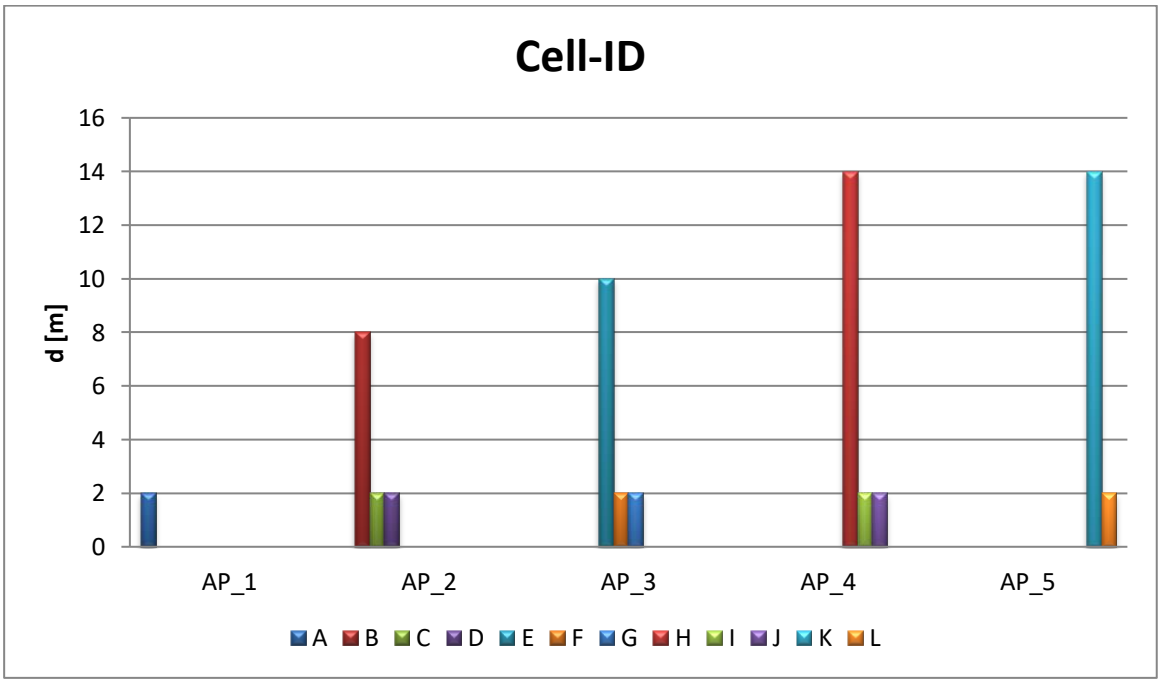
Mjerna točka	***AP_1 P_{PR} [dBm]***	***AP_2 P_{PR} [dBm]***	***AP_3 P_{PR} [dBm]***	***AP_4 P_{PR} [dBm]***	***AP_5 P_{PR} [dBm]***
A	-31	-53	-54		
B	-44	-38	-47		
C	-49	-33	-45		
D	-53	-31	-40		
E	-51	-43	-41		
F		-51	-26		
G		-61	-30	-55	
H			-46	-42	
I			-56	-28	-65
J			-52	-35	-56
K				-48	-46
L				-55	-28

Nakon što su tablično prikazane snage signala svih pet pristupnih točaka u pojedinoj mjernoj točki naznačenih na prostoru u kojem su vršena mjerenja, sljedeći korak je pokušati odrediti poziciju razmatrane mjerne točke. U ovome radu, koristit će se Cell-ID metoda. Metoda je zanimljiva radi svoje jednostavnosti i praktične upotrebe. U pripremnoj fazi se prikupljaju podaci o koordinatama svih pet pristupnih točaka, na temelju skice (slika 22.) prostora u kojem su vršena mjerenja. Ako se hodnik predoči u obliku koordinatnog sustava (x,y), a da pri tome su poznate udaljenosti koje su ucrtane na prostoru u kojem su vršena mjerenja, lako se očitaju pozicije svih pet pristupnih točaka, a tako i svih razmatranih mjernih točaka.

Metoda Cell-ID jest najjednostavnija i vrlo praktična jer se temelji na tome da se nepoznatoj lokaciji korisnika/uređaja dodjeljuje lokacija najbližeg predajnika, u ovom slučaju (WLAN) to su pristupne točke (engl. *Access Point, AP*). Drugim riječima, pozicija mobilnog korisnika koja se procjenjuje je jednaka poziciji pristupne točke koja je za datu mjernu točku dominantna. Dakle, prema tablici 1.6. primjenjujući ovu metodu, primjećuje se da mjerna točka A pripada pristupnoj točki AP_1 kao dominantnoj, zatim mjerne točke B, C, i D

pripadaju pristupnoj točki AP_2 kao dominantnoj, mjerne točke E, F i G pripadaju pristupnoj točki AP_3 kao dominantnoj, mjerne točke H, I, i J pripadaju pristupnoj točki AP_4 kao dominantnoj, te mjerne točke K i L pripadaju pristupnoj točki AP_5 kao dominantnoj.

Za mjerne točke A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K i L izvršeno je pozicioniranje pomoću Cell-ID metode, te su dobivene vrijednosti odnosno pozicije uspoređene sa stvarnom. Na temelju usporedbe određena je greška pozicioniranja (Slika 23.). U histogramu se uočavaju dvije vrste odstupanja: veća i ona relativno manja. Pozicija mjerne točke B odstupa za 8 m od stvarne pozicije, zatim za 10 m odstupanje od stvarne pozicije mjerne točke E, te naposljetku mjerne točke H i K odstupaju za 14 m od stvarne pozicije. Mjerne točke A, C, D, F, G, I, J i L odstupaju relativno malo u odnosu na ostale mjerne točke, svega 2 m.



Slika 23. *Prikaz histograma greške određivanja pozicije*

6. ZAKLJUČAK

U ovome radu se radilo na problemu rješavanja bežičnog pozicioniranja putem Wi-Fi mreže. Teorijski segment rada se bavio opisivanjem funkcioniranja općenito WLAN sustava i njegove strukture, a nakon toga i problematikom pozicioniranja u zatvorenom prostoru pomoću Wi-Fi mreže. Određivanje lokacije korisnika/uređaja se izvršilo tako da su se na hodniku (oblika slova "L") na pet različitih mjesta postavile pristupne točke i na udaljenostima 2 m od svakog AP-a duž cijelog hodnika izvršilo mjerenje prijemne snage signala pojedinog AP-a pomoću mobilne aplikacije Wi-Fi Analyzer. U prvom dijelu praktičnog dijela ovog rada, rezultati mjerenja su prikazani tablično i pomoću grafova. Na temelju skice prostora u kojem su izvršena mjerenja i već spomenutih rezultata mjerenja, se pomoću Cell-ID metode pokušalo procijeniti pozicija odabranih referentnih točaka (od A do L) raspoređenih duž cijelog hodnika. Nakon što je poznata snaga signala pojedinih AP-ova u ravnomjerno raspoređenim točkama duž cijelog hodnika (Tablica 1.6.), metodom Cell-ID, procijenjena pozicija mobilnog korisnika jednaka je poziciji pristupne točke koja je za datu mjernu točku dominantna. Slika 23. prikazuje greške pozicioniranja za danu metodu u razmatranim točkama. Iz grafa su vidljiva veća i relativno manja odstupanja u procjeni lokacije, uspoređujući ih sa stvarnim vrijednostima. Metoda je zbog svoje jednostavnosti i praktičnosti vrlo popularna, međutim obilježava ju jedan nedostatak, a to je loša točnost. Vrlo su zanimljiva rješenja zadržavanja dobrih osobina blizinskog lociranja, s tim da se poveća preciznost što je to moguće više. Postoje i razne druge metode kao što je Fingerprinting metoda, s puno većom preciznosti lociranja ali i dosta složenijom implementacijom. Također, kako je potreba bežičnog pozicioniranja putem Wi-Fi mreže sve veća u svijetu, tako su i kompanije razvile sustave koji u pozadini obavljaju složene algoritme i time znatno olakšavaju proces lociranja korisnika odnosno uređaja u zatvorenim prostorima.

7. LITERATURA

[1] Radovan, M. (2010). Računalne mreže (1), Rijeka

[2] CableFree. History-of-wifi-technology [online], Dostupno na: https://www.cablefree.net/wireless-technology/history-of-wifi-technology/

[3] Veinović, M., Jevremović A.: Uvod u računarske mreže, Beograd, 2008.godine

[4] Ipoint Technologies. Advantages and disadvantages to wireless networking [online], Dostupno na: https://ipoint-tech.com/wireless-networking-wi-fi-advantages-and-disadvantages-to-wireless-networking/

[5] Hamidović Haris: WLAN Bežične lokalne računalne mreže

[6] IPCisco.com: Wireless security protocols [online], Dostupno na: https://ipcisco.com/lesson/wireless-security-protocols/

[7] FS.community: WPA3 Security [online], Dostupno na: https://community.fs.com/blog/wpa3-security-why-your-enterprise-business-needs-it.html

[8] Bin Hu: Wi-Fi Based Indoor Positioning System Using Smartphones [online], Dostupno na: https://core.ac.uk/download/pdf/20539810.pdf

[9] Adalja Disha M / International Journal of Engineering Research and Applications: A Comparative Analysis on indoor positioning Techniques and Systems [online], Dostupno na: UGC Approved Journal (ijera.com)

[10] Mai A. Al-Ammar, Suheer Alhadhrami, AbdulMalik Al-Salman, Abdulrahman Alarifi, Hend S. Al- Khalifa, Ahmad Alnafessah, and Mansour Alsaleh: Comparative Survey of Indoor Positioning Technologies, Techniques, and Algorithms [online], Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/288484594

SLIKE

Izvori:

[1]https://www.links.hr/content/images/thumbs/008/0088899_access-point-tp-link-tl-wa801n-300mbps-802-11b-g-n-bezicni-2x-antene-060300008.jpg

[2]https://www.links.hr/content/images/thumbs/008/0089214_mrezna-kartica-adapter-pci-e-tp-link-archer-t5e-ac-1200-802-11b-g-n-ac-bluetooth-za-bezicnu-mrezu-0.jpg

[3]https://www.links.hr/content/images/thumbs/008/0088156_router-d-link-dwr-921-4-port-switch-802-11b-g-n-3g-4g-lte-sim-bezicni-053524095.jpg

[4]https://www.links.hr/content/images/thumbs/010/0100724_wireless-range-extender-tp-link-re450-1300mbps-802-11-b-g-n-ac-3x-vanjska-antena-bezicni-053509212.jpg

[5] https://mrezniuredjaji.files.wordpress.com/2013/05/gateway.jpg

[6]https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/global/1889350_BB_00_LO/image.jpg?x=800&y=800&ex=800&ey=800&align=center

[7] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6f/Yagip.jpg/250px-Yagip.jpg

[8]https://www.njuskalo.hr/image-w920x690/wireless-wlan/direkcijska-antena-wi-fi-tl-ant2406a-2.4ghz-6dbi-slika-60235707.jpg

[9] https://ipcisco.com/wp-content/uploads/2020/01/wireless-security-protocols-ipcisco.jpg

[10]https://ipcisco.com/wp-content/uploads/2020/01/wireless-security-protocols-comparison-www.ipcisco.jpg

[11] UGC Approved Journal (ijera.com)

[12] UGC Approved Journal (ijera.com)

[13] UGC Approved Journal (ijera.com)

[14]https://play-lh.googleusercontent.com/TPB-wtWx13Zv-AnlhJr8RVeE1qQYPTm-Zz0WzLATorZWImkHgit43XOjIUdddPO4dYo=w1536-h722-rw

[15]https://playlh.googleusercontent.com/lArVF5j0ljoVGVBrn5tBAAWWJrteTRlejy7ELQxEAkGs0gj_BG1rfsKbKkzUFLPx3g=w1536-h722-rw

[16] https://www.researchgate.net/publication/288484594

SAŽETAK

Tema ovog rada je bežično pozicioniranje pomoću Wi-Fi mreže. Prvi dio rada se bavi teorijskim dijelom opisivanja razvoja Wi-Fi-a, WLAN arhitekture i njezinih komponenata. Također, opisuje se problematika i funkcioniranje pozicioniranja u zatvorenim prostorima te IPS sustava. Zatim, slijedi usporedba različitih tehnologija, tehnika i algoritama za pozicioniranje u zatvorenom prostoru. Zadnji dio rada se odnosi na provedbu mjerenja snage signala pet AP-ova postavljenih na hodniku u zgradi Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek – FERIT. Svrha mjerenja je bila izmjeriti mobilnom aplikacijom u odabranim referentnim točkama duž cijelog hodnika snagu signala svakog pojedinog AP-a u datoj točki. Na temelju prikupljenih podataka i uz pomoć Cell-ID metode pokušala se procijeniti lokacija odabranih točaka i usporediti sa stvarnom lokacijom koja je poznata. Prikupljeni podaci su prikazani tablično i pomoću grafova, te su opisana zapažanja i zaključci.

Ključne riječi: Wi-Fi, WLAN, IPS, bežično pozicioniranje, AP, Cell-ID

ABSTRACT

The topic of this thesis is wireless positioning using a Wi-Fi network. The first part of the paper deals with the theoretical part of describing the development of Wi-Fi, WLAN architecture and its components. Also, the problems and functioning of positioning indoors and IPS system are described. Then, a comparison of different technologies, techniques and algorithms for indoor positioning follows. The last part of the paper refers to the implementation of signal strength measurements of five APs installed in the hallway in the building of the Faculty of Electrical Engineering, Computing and Information Technology Osijek - FERIT. The purpose of the measurement was to measure the signal strength of each individual AP at a given point with a mobile application at selected reference points along the entire corridor. Based on the collected data and using the Cell-ID method, an attempt was made to estimate the location of the selected points and compare them with the actual location known. The collected data are presented in tables and graphs, and observations and conclusions are described.

Keywords: Wi-Fi, WLAN, IPS, wireless positioning, AP, Cell-ID

ŽIVOTOPIS

Luka Balić, rođen je 18.11.1993. godine u Zagrebu. “Osnovnu školu Ivana Gorana Kovačića” je završio u Vinkovcima kao i “Ekonomsku i trgovačku školu Ivana Domca”. Tijekom pohađanja osnovne i srednje škole, bavio se izvannastavnim aktivnostima: glazbene škole, KUD-a Šumari, te treniranjem nogometa. Nakon završetka srednje škole, 2012./13. godine upisuje preddiplomski studij na "Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija" u Osijeku. Nakon završene prve godine studija, odabire smjer Komunikacije i Informatika. Preddiplomski studij završava s temom završnog rada: “Kapacitet pločastog kondenzatora”, te stječe zvanje sveučilišnog prvostupnika. Nastavlja sa školovanjem upisujući diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer komunikacije i informatika, te izborni blok Komunikacijske tehnologije.