

Planiranje radio mreža

Neven Nikolić

Sadržaj — U ovom radu je dat opis i način planiranja radio mreža. Najveća pažnja rada je poklonjena planiranju radio mreža u mobilnim ćelijskim sistemima. Opisano je koje korake treba preduzeti i na koje parametre treba obratiti pažnju kako bi bežična radio mreža zadovoljila potrebe korisnika.

Ključne reči — Planiranje radio mreža, planiranje kapaciteta, planiranje pokrivenosti, planiranje raspodele frekvencije, WinProp.

I. UVOD

RADIO je bežični prenos i detekcija komunikacionih signala elektromagnetnih talasa čije su frekvencije niže od frekvencije vidljive svetlosti. Radio talasi putuju kroz homogeni prostor (vazduh ili vakum) pravolinijski, u svim pravcima. Informacija se prenosi sistematskim menjanjem neke osobine radio-talasa, promenljivo elektromagnetno polje indukuje naizmeničnu struju u provodniku. Ovo se može detektovati i transformisati u zvuk (glas) ili u drugi signal (prenos podataka) koji nosi informaciju tako što se prvo što veća količina energije radio talasa uhvati u anteni prijemnika, uradi obrnuti proces od modulacije (demodulacija) i potom se dobija električni signal koji sadrži neku korisnu infomaciju. Zvanični pronalazač radija je naš veliki naučnik i pronalazač Nikola Tesla. Tesla je prvi razvio i objasnio način za prozvodnju radio frekvencije, princip usaglašenosti rezonantnih kola u predajnoj i prijemnoj anteni i javno predstavio principe radija i prenosa na velike daljine. Za ovaj pronalazak, Tesla je 1897. godine dobio patenet pod brojem 645576 opisan kao „Bežičan prenos podataka”. Kasnije je Đuljemo Markoni uspeo da ostvari prvi radio prenos preko Atlantskog okeana i 1909. godine je dobio Nobelovu nagradu za svoj poduhvat. U tom trenutku bile su tzv. varnične radio stanice koje su zauzimale ceo opseg spektra. Sve dok Redžinald Fesenden i Li de Forest nisu pronašli princip amplitudske modulacije pa je tako više radio stanica moglo

N. Nikolić, Računarski fakultet, Srbija (telefon: 381-64-1301960; e-mail: nnikolic@raf.rs).

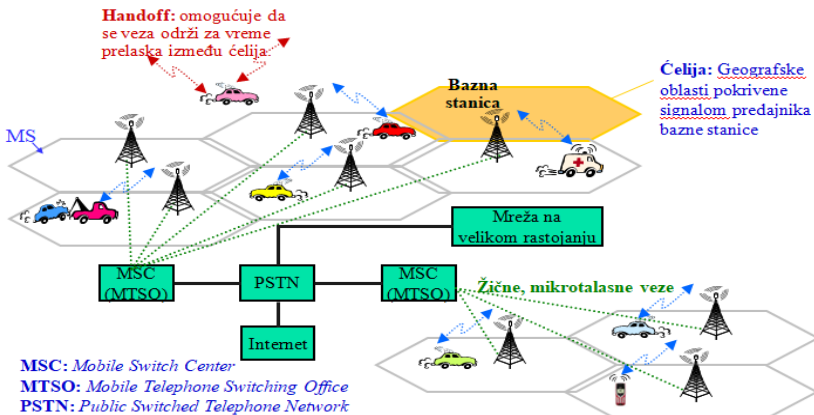
slati signale i istovremeno biti prisutno u etru. Edwin Armstrong kasnije pronalazi frekventivnu modulaciju, pa se time omogućava da signal bude otporniji na interferenciju. Radio talasi zauzimaju frekvencijski spektar od nekoliko desetina Hz do 300 GHz, i ako komercijalno važne primene koriste mali deo ovog spektra.

Proces planiranja radio mreže je kompleksan i obuhvata tri zasebna procesa koja su usko povezana, a to su planiranje kapaciteta, pokrivenosti i frekvencije. Svaki taj proces mora se pojedinačno odraditi ali pravilnim redosledom jer predhodni parametri utiču na parameter iz sledećeg procesa. U ovom radu je upravo odrađen i objašnjen svaki taj proces, po pravilnom redosledu, kako bi se kompleksnost planiranja radio mreža pojednostavila, bila jasnija i približnija čitaocu. Pored toga posebna pažnja se poklanja softverskom rešenju WinProp koje je idealno i daje realne rezultate i simulacije radio mreža u zadatom prostoru.

II. PLANIRANJE RADIO MREŽA

A. Planiranje kapaciteta

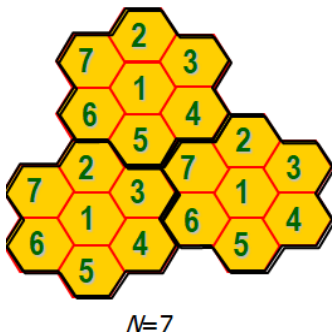
Istorijski deo priče je bio blagi uvod kako bi što bolje shvatili i razumeli planiranje radio mreža. Danas se planiranje radio mreža najčešće koristi u mobilnim mrežama, gde su zastupljeni ćelijski sistemi. Ćelijski koncept omogućava da svaki mobilni telefon ima isti skup kanala i može se koristiti bilo gde.



Slika 1: Šema ćelijske radio mreže

Svakoj baznoj stanici se dodeljuje deo od ukpnog broja kanala sa kojima

raspolože ceo sistem. Bliskim baznim stanicama se dodeljuju različite grupe kanala, tako da se svi raspoloživi kanali dodele relativno malom broju susednih baznih stanica. Susednim baznim stanicama se dodeljuje različita grupa kanala da bi bila mala interferencija između korisnika u susednim ćelijama. Isti kanali se nikad ne koriste u susednim ćelijama. Skup od N susednih ćelija kojima je dodeljen ceo skup raspoloživih frekvencija (kanala) se naziva klaster.



Slika 2: Prikaz tri klastera sa sedam ćelija

Kapacitet ćelijskog sistema predstavlja maksimalni broj korisnika koju mogu biti istovremeno aktivni u celoj servisnoj oblasti sistema.

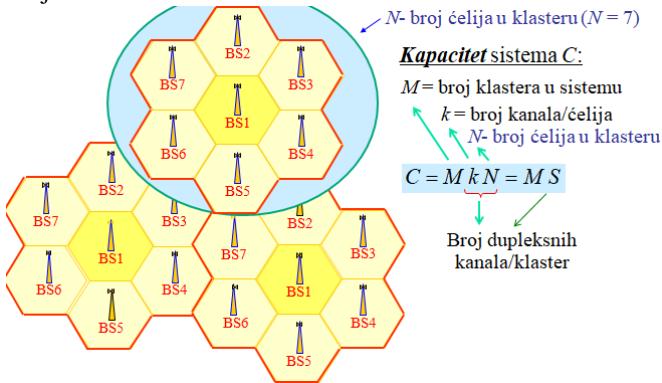
Da bi se maksimizirao kapacitet u datoj oblasti pokrivanja ćelijskog sistema, treba izabrati što je moguće manje vrednosti N . Veličina $1/N$ se naziva faktor ponavljanja frekvencije (frequency reuse factor) ćelijskog sistema.

Povećanje kapaciteta (broj korisnika) se postiže povećanjem broja baznih stanica sa smanjenom snagom predajnika (da bi se izbegla interferencija) koji pokriva manju ćeliju. Time se dobija dodatni kapacitet bez proširenja radio spektra. Ovaj fundamentalni princip deljenja na manje ćelije sa baznim stanicama manje snage, omogućava da fiksni broj kanala opslužuje prozvoljno veliki broj pretplatnika primenom ponovnog korišćenja kanala u oblasti pokrivanja.

Ukupni broj raspoloživih dupleksnih kanala u sistemu S , gde se svakoj ćeliji dodeljuje k ($k < S$) kanala. Ukupan broj različitih kanala je $S = kN$. Klaster se ponavlja M puta i dobija se kapacitet sistema $C = MkN = MS$.

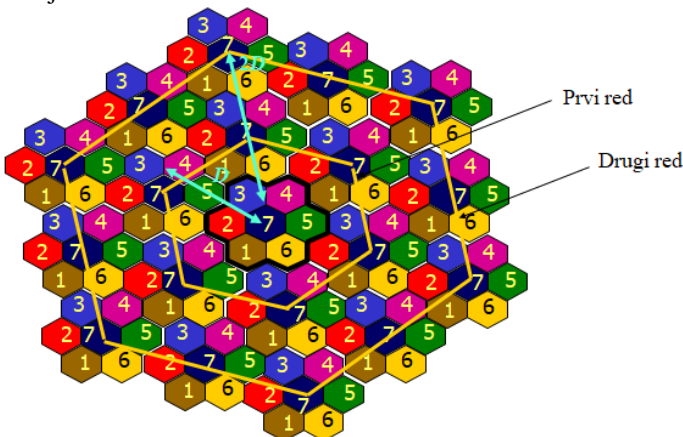
Smanjenjem veličine klastera N , dok je veličina ćelije konstanta, zahteva više klastera (M) da se pokrije data oblast sistema tako se postiže veći kapacitet C . Međutim veći broj ćelija u klasteru N , pri istoj veličini ćelije dovodi do povećanja istokanalne interferencije. Manja vrednost N je poželjna

jer povećava kapacitet (C) sistema. Izbor N zavisi od veličine interferencije koja je prihvatljiva za mobilnu ili baznu stanicu sa gledišta kvaliteta komunikacije.



Slika 3: Kapacitet sistema

Efikasno korišćenje radio spektra zahteva primenu strategije planiranja i dodele kanala koja je efikasnija u smislu povećanja kapaciteta i smanjenja interferencije.



Slika 4: Dva reda istokanalnih ćelija za $N=7$

Planiranje kapaciteta je jedna od prvih faza u planiranju radio mreža. Ova faza zahteva informacije o saobraćaju, dostupnom propusnom opsegu i GoS (Grade of Service - odbacivanje i blokiranje saobraćaja).

Jedinica za saobraćaj je E (erlang). Intezitet saobraćaja (saobraćajno

opterećenje) od A_u Erlang-a, po korisniku se definiše kao $A_u = \lambda * H$. Gde λ predstavlja srednji broj poziva po jedinici vremena za svakog korisnika dok je H (holding time) – srednje vreme trajanja poziva.

Offered – ponuđeni saobraćaj je onaj saobraćaj koji korisnici generišu (zahtevaju).

Uslužni ili obavljeni saobraćaj (carried traffic), je saobraćaj koji uspešno izvrši sistem.

Blokirani saobraćaj je saobraćaj koji ne može da bude podržan.

Ponuđeni saobraćaj je jednak zbiru obavljenog i blokiranog saobraćaja.

Za sistem od U korisnika koji generiše intezitet saobraćaja od po A_u Erl., ukupni ponuđeni intezitet saobraćaja A (offered traffic) iznosi:

$$A = U * A_u$$

U sistemu sa C kanala i ako je saobraćaj jednako raspoređen po kanalima, srednji intezitet saobraćaja po kanalu je dat kao:

$$A_c = U * A_u / C$$

Maksimalno mogući saobraćaj koji podržava sistem u jednom trenutku bez blokiranja poziva (carried traffic) jednak je kapacitetu C , tj. jednak je ukupnom broju kanala C u Erlag-ima.

Treba napomenuti, da kada generisani saobraćaj premašuje maksimalni kapacitet sistema može doći do blokiranja poziva. Tada broj korisnika koji se može opslužiti u ćeliji (N_c) za datu verovatnoću blokiranja (GoS), ako je ćeliji na raspolaganju C saobraćajnih radio kanala, iznosi:

$$N_c = A_c / A_u$$

Ponuđeni govorni saobraćaj iz korisničke grupe se dobija sledećom formulom:

$$T_{tot} = N * C * T_{user} * F$$

Gde je N broj osoba, C penetracija, T prosečan saobraćaj koji generiše jedan korisnik i F označava verovatnoću pokrivenosti područja.

Prilikom planiranje kapaciteta treba uzeti u obzir resurse kao što su broj kanala – multipleksiranje (TDMA, FDMA, CDMA) i zahteve za GoS. Proceniti iznos ponuđenog prometa na savakoj oblasti i procena koliko ćelija

tj. baznih stanica i koliko kanala po ćeliji je potrebno da bi opslužili zahtevani promet saobraćaja sa datom pretpostavkom blokiranja poziva.

Izlaz iz faze planiranja kapaciteta daje preliminarni plan kapaciteta koji daje veličinu ćelije i broj kanal u svakoj ćeliji.

I ako je planiranje radio mreža podeljno u tri faze. Faze su isprepletene i zavisne jedne od drugih. U gornjem delu teksta opisana je faza planiranja kapaciteta koja je usko povezana sa frekvenciskim planiranjem i planiranjem pokrivenosti.

B. Frekvencijsko planiranje

Nekada davno, 1976. godine u Njujorku se koristio jedan predajnik velike snage da pokrije veliku oblast. Bilo je nekoliko kanala za puno ljudi. Oko 12 kanala koji su opsluživali 543 korisnika, listu čekanja od 3700 i tržište od 10 miliona korisnika. Domet je bio ograničen termičkim šumom. Osim ograničenja kapaciteta, noseća frekvencija se mogla ponovo koristiti tek na rastojanju od desetak ili stotinu kilometara, da se ne bi pojavile istokanalne interferencije.

Iz tih razloga, a i gore već pomenutih jako je bitno uraditi frekvencijsko planiranje. To je proces odabira i dodele kanala (frekvencija) svim ćelijama i baznim stanicama. Prilikom planiranja i dodele kanala baznim stanicama mora se paziti na istokanalnu interferenciju i susedno kanalne interferencije.

Postoje dve strategije dodele kanala. Prva je strategija fiksne dodele, dok je druga dinamička strategija dodele kanala.

Kod fiksne strategije dodele kanala svakoj ćeliji se dodeljuje predefinisani skup govornih kanala. Ako su svi kanali u ćeliji zauzeti poziv unutar ćelije se blokira ili odbacuje.

Postoji mogućnost pozajmljivanja, gde se ćeliji dopušta da pozajmi kanala od susedne ćelije, ako su joj svi sopstveni kanali zauzeti. MSC - Mobilni komutacioni centar nadgleda postupak pozajmljivanja i obezbeđuje da pozajmljeni kanali ne prekidaju ili ometaju bilo koji aktivni poziv u donatorskoj ćeliji. Dok dinamička strategija dopušta da kanali nisu fiksno dodeljeni različitim ćelijama. Već za svaki pozivni zahtev, servisna bazna stanica traži kanal od MSC. MSC dodeljuje kanal ćeliji u skladu sa algoritmom koji sem traženja nezauzetog kanala, uzima u obzir verovatnoću blokiranja, rastojanja do ponovljenog kanal kako ne bi došlo do kanalne interferencije. Ovom strategijom se povećava memorijsko i računarsko opterećenje sistema, ali povećava se i iskorišćenost kanala i smanjuje verovatnoća blokiranja poziva.

Faza planiranja frekvencije se zasniva na rezultatima planiranja kapaciteta i planiranja pokrivenosti. Ima za cilj da dodeli kanale baznim stanicama tako

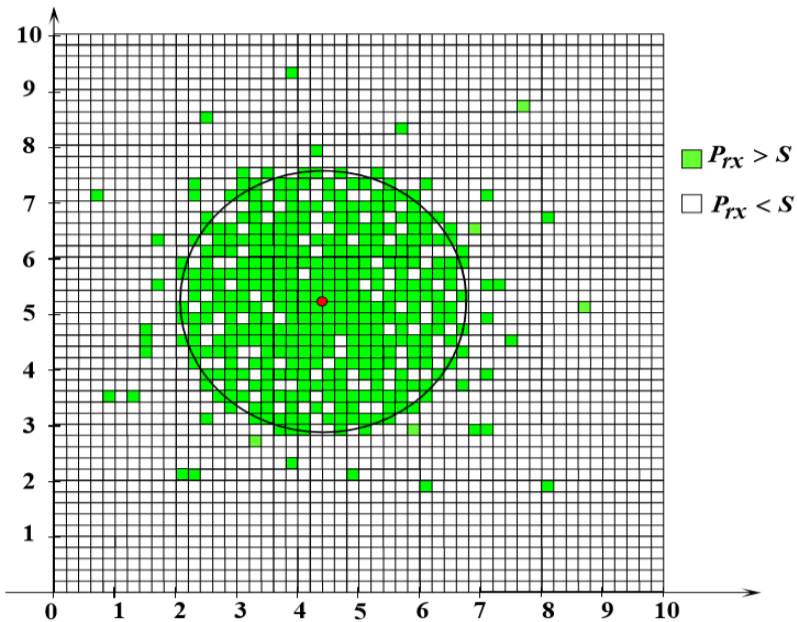
da se izbegne istokanalna i susednokalna interferencija. Određuje se distanca za ponovnu upotrebu frekvencije– kanala i vrši se usaglašavanje sa regulativnim telom i ostalim operaterima.

Međutim faza frekvenciskog planiranja ne može biti urađena pre planiranja pokrivenosti. Planiranje pokrivenosti na osnovu preliminarnog plana kapaciteta, specifikacije opreme, sistema, osetljivosti prijemnika itd. Izlaz iz faze planiranja pokrivenosti trebao bi da da parametre potrebne opreme za postizanje određenog procenta pokrivenosti ili predviđa pokrivenost sa datim parametrima opreme.

C. Planiranje pokrivenosti

Kod planiranja pokrivenosti postoje dva problema koja treba rešiti.

1. Gde postaviti ćelijsku granicu tako da ispuni ciljni cilj verovatnoće pokrivenosti sa datim parametrima radio veze.
2. Kako da izaberete parametre radio veze da biste ispunili ciljni cilj verovatnoće pokrivenosti za određenu veličinu ćelije



Slika 5: Planiranje pokrivenosti

Početne tačke planiranja pokrivenosti su:

1. QoS zahtevi
2. Zahtevi SINR (odnos signal / šum)
3. Verovatnoća pokrivenosti
4. Cena linka
5. Modeli za računanje gubitaka na prenosnom putu
6. Propagacione sredine

QoS (quality of service) određuje koliki kvalitet saobraćaja je neophodan i poželjan u mreži kako bi zadovolji pretplatnike. Zahtevani SINR mora biti tačno definisan kao i verovatnoća pokrivenosti. Za verovatnoću pokrivenosti se traži određeni modus, da li pokriti celu oblast što je često nemoguće ili omogućiti dobar QoS na relativno velikom procentu pokrivenosti oblasti.

Cena linka se određuje prema formuli:

$$P_{rx} = P_{tx} + \sum G_l - \sum L_i$$

P_{rx} je snaga prijemne antene koja je jednaka zbiru P_{tx} snage predajne antene i sumi svih dobitaka antene - $\sum G_l$ umanjena za sumu svih gubitaka na prenosnom putu - $\sum L_i$.

Modeli koji se koriste za izračunavanje gubitaka na prenosnom putu, su dobro poznati modeli kao što je Okumura-Hata model koji se najčešće koristi za makro ćelije. Walfisch-Ikegami model se koristi za mikro ćelije, a COST231 Louhteenmaki model za unutrašnji prostor. Ibro modela zavisi od propagacione sredine.

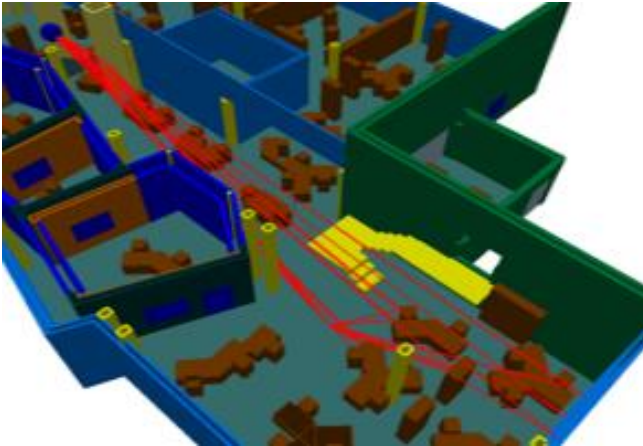
Dakle prvo treba izabrati odgovarajući model u zavisnosti od propagacione sredine. Nakon toga izračunati SFM (shadow fading margin), izračunati radijus ćelije tako da se dobije zadovoljavajući procenat pokrivenosti ćelije, cena linka plus SFM.

III. WINPROP

WinProp je računarski program razvijena od strane Altari kompanije koji daje odlične simulacije i analize za planiranje radio mreža. U ovom radu je obrađen model propagacije u zatvorenom prostoru.

Na propagiranje elektromagnetnih talasa unutra zgrade, u frekvencijskom opsegu iznad 300 MHz utiču uglavnom zidovi i veliki elementi kao što je nameštaj. Dolazi do difrakcija oko uglova, samim tim dolazi do širenja talasa unutar zgrade, a talasi dolaze do mesta sa kojim predajnik nema direktnu optičku vidljivost sa prijemnikom. Za frekvenciju ispod 300 MHz koriste se jednostavni empirijski propagacioni modeli zasnovani na direktnom zraku između predajnika i prijemnika. Ali za frekvencije ispod 300 MHz obavezni

su deterministički propagacioni modeli koji predviđaju multipath – višestruke putanje talasa nastale od refleksije i difrakcije.



Slika 6: Izgled WinProp programa

Program “WinProp unutrašnji modul” uključuje empiriske i determinističke propagacione modele, grafički editor baze – WallMan kao i mogućnost rada sa 3D vektorima i pikselima. Program podržava izotropne antene, usmerene antene kao i distribuirani sistem antena.

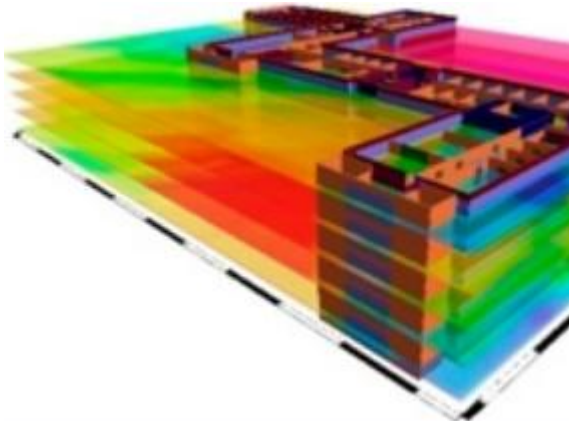
Fenomen multipath, refleksija, difrakcija i senka imaju značajnog uticaja na primljenu snagu talasa unutar zgrade. Dakle odgovarajući modeli propagacije moraju uzeti u obzir sve ove fenomene kako bi dobili tačne rezultate predviđanja.

WinProp pruža sledeće propagacione modele:

1. “One Slope Model” (empiriski model)
2. Motely Keenan model (empiriski model)
3. COST231 model (empiriski model)
4. Unutrašnji model predviđanja “dominantne putanje”
5. 3D standardno praćenje tragova
6. 3D inteligentno praćenje tragova

Performanse stvarnih komponenata koje se koriste za izgradnju infrastrukture bežične mreže unutra zgrade ima veliki uticaj na signal koji emituje antena. Stoga program nudi opcioni modul za proširenje kako bi planirana infrastruktura bežične mreže tj. komponente mogle da se uzimaju iz kataloga. Katalog sa komponentama je generisan i uređen od strane kompanije Altari. Katalog se često ažurira tako da su uvek dostupne sve

popularne komponente koje se koriste za infrastrukturu u bežičnim mrežama. Za svaku komponentu iz kataloga postoje opisane njene mehaničke, električne osobine kao i mogućnost povezivanja, cena same komponente i cena instalacije itd. Korisnik programa može mišem da raspoređuje komponente u 2D ili 3D prikazu modela. Osim tipičnih izveštaja (nivo signala na ulazu i izlazu svake komponente, popisne liste za celu zgradu i za svaki sprat pojedinačno), korisnik može da izračuna troškove sa ovim programom jer troškovi komponentata i troškovi motaže mogu biti definisani u katalogu za svaku komponentu pojedinačno.

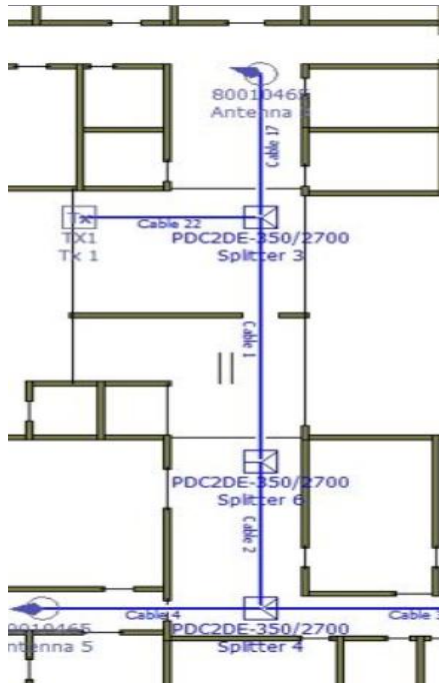


Slika 7: Višespratna predikcija u WinProp programu

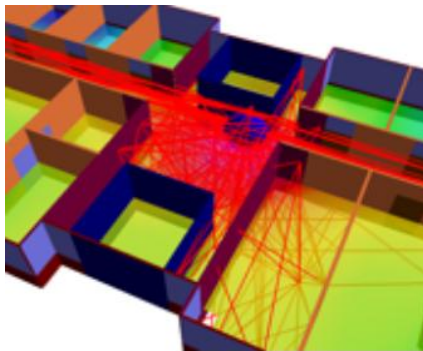
Dakle program daje ukupnu cenu komponenata na svakom spratu i za celokupnu mrežnu instalaciju, a te cene se lako mogu upoređivati za različite konfiguracije u vrlo kratkom roku. Ovo korisnicima pomaže da pronađu najbolju konfiguraciju mreže za već unapred definisani budžet.

Treba napomenuti da program WinProp dolazi do izražaja kad se u bazu programa unese tačna konfiguracija terena, 3D model zgrade, sprat itd. Međutim nekad je za unošenje ovih modela potrebno izdvojiti puno vremena i utrošiti dobar deo resursa pa samim tim isplativost takvog poduhvata nije opravdana. Zato je Altari kompanija u programu WinProp definisala unapred neke modele i terene ali velika prednost je što dozvoljen unos AutoCad crteža bez kojih danas ne postoji arhitektonski nacrt nekog objekta, trena itd. Takođe je dozvoljen unos digitalnih karti sa kojih program može da iščita i unese sve potrebne podatke u bazu. Sa što tačnijim unosom konfiguracije zgrade, spratova, zidova kao i tačnih podataka o komponentama mogu da se

dobiju veoma precizne simulacije.



Slika 8: Postavljanje komponenti u WinProp programu



Slika 9: Propagacija talasa u WinProp programu

IV. ZAKLJUČAK

Sam cilj planiranja radio mreža, jeste da se obezbedi dovoljna pokrivenost u celokupnoj oblasti delovanja radio servisa. Kako bi imali visoko kvalitetan prenos govora i podataka sa niskim stepenom greške u prenosu i dovoljno malim stepenom blokiranja ili odbacivanja poziva. Da se omogući ekonomična mrežna implementacija prilikom uspostave usluge i kontrola nad širenjem mreže tokom životnog ciklusa.

Zato treba voditi računa prilikom planiranja i obratiti pažnju na sledeće:

1. Željeni kvalitet usluge – kapacitet, pokrivenost itd.
2. Specifikacija sistema – korišćeni propusni opseg, razmak između nosećih frekvencija, modulacija i šema kodiranja kao i metode višestrukog pristupa.
3. Specifikacija opreme – zračenje antene, broj podržanih kanala, raspoloživa snaga, raspoloživi frekvencijski opseg (zavisi od lincence koje pruža regulatorno telo)
4. Topografije i morfologije terena – promena visine terena, šuma, poljana, urbana oblast, visina zgrade itd.
5. Distribucija prometa i prognoze – geografska distribucija saobraćaja i očekivani rast.
6. Iskorišćenje postojeće infrastrukture

Sve ovo je jako kompleksan proces za koji se nekad trošilo puno resursa. Danas zahvaljujući raznim programskim alatima kao što je i WinProp koji smo obradili u ovom radu, planiranje radio mreža nije više proces u koji mora da se uloži puno resursa i vremena.

ZAHVALNICA

Zahvaljujem se profesoru Đorđu Babiću na korisnim savetima, sugestijama i smernicama u toku izrade ovog i prethodnih radova u toku osnovnih i master studija.

LITERATURA

- [1] Prof. Đorđe Babić, materijali sa predavanja iz predmeta „Planiranje radio mreža”
- [2] Prof. Desimir Vučić, materijali sa predavanja iz predmeta „Bežične i mobilne komunikacije”
- [3] Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications*, drugo izdanje
- [4] Link budget, dostupno na https://en.wikipedia.org/wiki/Link_budget
- [5] Link Budget Calculation, dostupno na [linkBudget](#)
- [6] WinProp, dostupno na <https://altairhyperworks.com/product/FEKO/WinProp---Indoor-and-Campus>

ABSTRACT

Planning a radio network is a very complex process involving planning capacity, coverage and frequency. Each of these planning processes requires first of all to look at the needs of the users. Such as the speed of voice transmission and data in wireless and mobile communications, the coverage of the scope of operation. All these processes and methods that are necessary for the planning of radio networks are described in detail in this work. All these processes and methods that are necessary for the planning of radio networks are described in detail in this work. In addition, the possibilities for using the WinProp program are described.

Planning a radio network

Neven Nikolić