

MODELOVANJE PROPAGACIJE RADIO SIGNALA UNUTAR OBJEKATA

Marija Malnar¹, Nenad Jevtić¹, Nataša Nešković², Aleksandar Nešković²

¹Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,

²Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet,

m.malnar@sf.bg.ac.rs, n.jevtic@sf.bg.ac.rs,

natasha@etf.bg.ac.rs, neshko@etf.bg.ac.rs

Sadržaj: *Većina radio propagacionih modela bave se modelovanjem propagacije radio signala izvan objekata. Međutim, porastom primene bežičnih lokalnih mreža (WLAN - wireless local area networks) koje su realizovane unutar objekata, raste i potreba za kvalitetnom procenom propagacije radio signala u unutrašnjosti objekata. U okviru ovakvih okruženja neophodno je voditi računa o vrsti prepreka na koje radio signal nailazi, ali i o vrsti prostorija u okviru kojih se signal propagira. U okviru ovog rada dat je pregled najvažnijih propagacionih modela realizovanih unutar objekata i kritički osvrt na njih. Posebna pažnja posvećena je eksperimentalnim propagacionim modelima, njihovoj optimizaciji i praktičnoj primeni na primeru jednog realnog propagacionog okruženja unutar zgrade.*

Ključne reči: *propagacija unutar objekata, bežične lokalne mreže*

1. Uvod

Godinama unazad većina radio propagacionih modela fokusirani su na okruženja van objekata, uključujući propagaciju u mikro i makro ćelijama. Ovakvi propagacioni modeli bili su neophodni kako bi se, na osnovu procenjenih slabljenja, odredile optimalne lokacije baznih stanica, obezbedilo odgovarajuće pokrivanje i proračunao odnos signal šum i/ili odnos nosilac interferencija.

Poslednjih godina veliku popularnost dobijaju bežične lokalne mreže (WLANs - *Wireless Local Area Networks*) usled čega dolazi do razvijanja novih standarda za bežičnu komunikaciju sve većim protocima uz zadovoljavajući kvalitet koji je dovoljan da WLAN mreže mogu parirati tradicionalnim žičnim lokalnim mrežama (LANs - *Local Area Networks*). Upravo usled dobrih performansi sa jedne, i lake instalacije i konfiguracije bez kablovske infrastrukture i mogućnosti mobilnosti korisnika, sa druge strane, WLAN mreže danas su široko rasprostranjene u zatvorenom (*indoor*) okruženju. Imajući u vidu da način konstrukcije, struktura materijala od kog je neka zgrada napravljena, uređenje prostora unutar zgrade i namena pojedinih prostorija, stvaraju

veliku dinamiku radio signala u zatvorenom prostoru, projektovanje WLAN mreža izazovan je i ni malo lak zadatak.

Jedan od osnovnih problema kod projektovanja bilo koje WLAN mreže je predikcija nivoa snage prijemnog signala, što je i osnovno pitanje kada se ispituje pokrivenost nekog prostora, kao i određivanje optimalnih pozicija pristupnih tačaka (AP - *Access Point*). Kako bi se zadovoljili svi navedeni uslovi potrebno je uzeti u obzir uslove propagacije signala u unutrašnjosti objekata. U današnje vreme, kada postoji veliki broj radio mreža koje rade u nelicenciranom opsegu, problem dobre predikcije i projektovanja mreže postaje još važniji. Potrebno je naglasiti da usled kompleksnosti i velike dinamike radio signala, kao i različitih uticaja na sam signal, koji se ne mogu unapred predvideti, analiza nivoa snage signala na mestu prijema može se posmatrati samo kao procena realnih karakteristika. Zbog toga, kako bi se uspešno isprojektovala WLAN mreža u unutrašnjosti objekta potrebni su efikasni i pouzdani modeli propagacije radio signala.

Rad je koncipiran na sledeći način. U drugom poglavlju opisan je značaj modelovanja nivoa snage na mestu prijema u WLAN mrežama. U trećem poglavlju opisani su najčešće korišćeni empirijski propagacioni modeli. U četvrtom poglavlju detaljnije je opisan *In-Building* propagacioni model kao jedan od tipičnih predstavnika empirijskih modela. Ovaj model je uz izvesne modifikacije i optimizacije primenjen za proračun slabljenja signala u specifičnom okruženju prizemlja zgrade Elektrotehničkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, što je opisano u petom poglavlju. U okviru šestog poglavlja dati su rezultati simulacije predloženog propagacionog modela i poređenja sa realnim merenjima. Konačno, u okviru sedmog poglavlja data su zaključna razmatranja.

2. Značaj modelovanje nivoa snage signala na mestu prijema u WLAN mrežama

Osnovni izraz za određivanje nivoa snage signala na ulazu u prijemnik, P_r , dat je jednačinom (1):

$$P_r = P_t + G_t - L_{loss} + G_r \quad (1)$$

gde je P_t snaga signala na izlazu iz predajnika, G_t i G_r dobici predajne i prijemne antene, respektivno, a L_{loss} slabljenje signala između predajnika i prijemnika. Analiziranjem jednačine (1) dolazi se do zaključka da je za dobru procenu snage signala na mestu prijema u stvari neophodno dobro proceniti slabljenje između predajnika i prijemnika, L_{loss} .

Najjednostavniju aproksimaciju propagacije radio signala sigurno predstavlja model propagacije u slobodnom prostoru (*free space propagation*) koji podrazumeva da je slabljenje između predajnika i prijemnika proporcionalano kvadratu rastojanja između njih, kao što je predstavljeno jednačinom (2):

$$L_{loss}(d) = L_{FS}(d) = 10 \log(4\pi d / \lambda)^2 \quad (2)$$

gde je d rastojanje između predajnika i prijemnika, a $\lambda = c/f$, talasna dužina na kojoj radi predajnik koji emituje signal na frekvenciji f .

U okviru ovog propagacionog modela uvodi se pretpostavka da se radio talas širi ravnomerno u svim pravcima i da na taj način popunjava sferičan prostor energijom. Očigledno je da model propagacije u slobodnom prostoru predstavlja idealan slučaj i da je njegova primena ograničena, tj. u realnim uslovima potrebno je koristiti propagaciju po višestrukim putanjama (*multipath* propagaciju).

Kada se u obzir uzme propagacija po višestrukim putanjama slabljenje između predajnika i prijemnika zavisi od više putanja po kojima se prostire signal dok ne stigne do prijemnika, tj. postoji više replika signala (direktna i reflektovana) [1]. Fenomen propagacije po višestrukim putanjama posebno je značajan prilikom propagacije unutar objekata (*indoor* propagacija) gde je neophodno u obzir uzeti dodatne faktore. Pre svega, slabljenje prilikom prolaska signala kroz zidove, spratove, prozore, vrata, ali i uticaj malih objekata kao što je nameštaj, računari i drugi uređaji koji emituju radio talase. Osim toga, trenutna vrednost slabljenja zavisi i od toga koliko je ljudi u nekoj prostoriji, da li se oni kreću, otvaraju vrata i prozore i sl. Treba još naglasiti da WLAN mreže rade sa predajnicima malih snaga, pa je rastojanje između predajnika i prijemnika malo, dok je, sa druge strane, veliki broj indirektnih komponenti koje dolaze do prijemnika. Takođe, dinamika nivoa snage je mnogo veća nego u okruženjima koja su van objekata (razlika može biti čak i do 80dB [2]). Zbog svih tih razloga, adekvatno modelovanje radio kanala u WLAN mreži predstavlja veoma kompleksan zadatak.

Najbolji način za procenu snage signala u nekom okruženju je vršenjem velikog broja merenja, i na osnovu rezultata merenja donošenje zaključaka. Nažalost, često je veoma teško, ili čak nemoguće izvršiti takva merenja, najčešće usled cene takvih merenja i vremena potrebnog da se ona izvrše. U takvim situacijama moguće je izvršiti simulacije na osnovu propagacionih modela. Pod propagacionim modelima podrazumeva se skup matematičkih izraza koji, što je preciznije moguće, opisuju način propagacije signala.

Postoje dve osnovne grupe modela, a to su: deterministički (ili teorijski) i statistički (ili empirijski) modeli [3]. Kao i uvek, postoje i kombinovani modeli.

Deterministički modeli uglavnom se baziraju na fizičkim zakonima prostiranja talasa, daju pouzdanije rezultate i mnogo su složeniji od empirijskih modela. Deterministički modeli nude vaoma precizne rezultate, ali, sa druge strane, zahtevaju poznavanje detalja o analiziranom okruženju (najčešće u formi baze podataka), vrlo su komplikovani i za njihovo proračunavanje potrebno je puno vremena.

Empirijski (statistički) modeli zasnivaju na obimnim merenjima kako u specifičnom propagacionom okruženju, tako i u odgovarajućem frekvencijskom opsegu, a njihova osnovna prednost je u tome što u razmatranje uzimaju veliki broj parametara, mada najčešće nije moguće posebno razdvojiti uticaje pojedinačnih parametara. U okviru ove klase modela postoji nekoliko podgrupa: empirijski uskopojasni modeli (*narrowband*) koji opisuju slabljenje u formi matematičkih formula, empirijski širokopojasni modeli (*wideband*) kojima se preko skupa tabela predstavljaju vrednosti kašnjenja i snage, i vremenski promenljivi modeli (*time variation*) koji se koriste za procenu Doplerovog efekta signala.

U praksi se pokazalo da su empirijski uskopojasni modeli mnogo efikasniji od ostalih modela, kao i da su jednostavniji za implementaciju. Osim toga, pokazali su zadovoljavajuću pouzdanost, te su oni i najčešće korišćeni propagacioni modeli.

3. Najčešće korišćeni empirijski modeli za pokrivanje unutar objekata

Empirijski modeli vrše predikciju opšteg ponašanja nivoa snage signala sa određenom varijansom i srednjom vrednošću što pokazuje njihovu preciznost, koja varira u zavisnosti od toga koji je model korišćen. Tačnost modela generalno je bolja kod modela kod kojih je propagaciono slabljenje funkcija bar neke karakteristike okruženja kao npr. slabljenja zidova, vrata, prozora, spratova, u odnosu na one koji su funkcija

samo rastojanja, [4], [5]. Sa druge strane, za modele koji uzimaju u obzir slabljenja zidova i spratova, [6], [7] neophodno je poznavanje prostornog plana okruženja, dok u slučaju modela koji su samo funkcija rastojanja plan ne mora da bude poznat. Najpoznatiji empirijski modeli su:

- 1SM model linearnog slabljenja (*one-slope model* -1SM) [5],
- LAM model linearnog slabljenja (*Linear Attenuation Model*) [5],
- Model višestrukih zidova (*Multi-Wall Model*) [5].

Kod 1SM modela [5] u obzir se uzima samo linearna zavisnost slabljenja signala (u dB) i logaritma rastojanja između predajnika i prijemnika. Slabljenje kod 1SM modela definisano je formulom (3):

$$L_{loss}(d) = L_{1SM}(d) = L_0 + 10n \log d \quad (3)$$

gde je L_0 slabljenje signala na rastojanju 1m od predajnika, d rastojanje između predajnika i prijemnika, a n parametar koji označava stepen logaritamske povezanosti između propagacionog slabljenja i rastojanja d .

Ovaj model je veoma jednostavan za implementaciju, imajući u vidu da ne zahteva precizno poznavanje strukture objekta u okviru kog se signal prenosi. Jedino je potrebno znati rastojanje između predajnika i prijemnika, dok su L_0 i n takozvani empirijski parametri čije vrednosti zavise od vrste objekta za koji se vrše simulacije.

LAM model predstavlja još jedan prilično jednostavan empirijski model koji se zasniva na pretpostavci da je razlika između stvarnog slabljenja i slabljenja u slobodnom prostoru linearna funkcija rastojanja, što je i opisano jednačinom (4):

$$L_{loss}(d) = L_{FS} + \alpha \cdot d \quad (4)$$

gde je L_{FS} slabljenje slobodnog prostora, d rastojanje između predajnika i prijemnika, a α [dB/m] predstavlja faktor slabljenja.

Model višestrukih zidova, MWM (*Multi Wall Model*) predstavlja napredniji i komplikovaniji model od prethodna dva, i direktno računa slabljenje usled prolaska signala kroz zidove i spratove. Pojednostavljena formula za slabljenje po MWM modelu data je jednačinom (5):

$$L_{loss}(d) = L_{FS} + L_C + \sum_{i=1}^I k_{wi} L_{wi} + k_f L_f \quad (5)$$

gde je L_C predstavlja konstantne gubitke (obično su negde oko 0dB), k_{wi} predstavlja broj zidova i -tipa kroz koje prolazi signal na rastojanju d od predajnika, L_{wi} predstavlja slabljenje zida i -tipa, k_f predstavlja broj spratova na rastojanju d od predajnika, L_f je slabljenje prilikom prolaska kroz sprat, a I predstavlja broj tipova zidova (najčešće postoje tanki i debeli zidovi, kada je $I=2$).

Treba naglasiti da slabljenja prilikom prolaska kroz zidove/spratove ne moraju po svaku cenu biti izmerena slabljenja, već statističke vrednosti, dobijene na osnovu merenja u sličnim uslovima [3]. Naravno, ako je moguće dobiti vrednosti za određeno okruženje, time se i tačnost modela povećava.

Kao što se vidi kod 1SM modela, kao i kod LAM modela slabljenje se bazira samo na rastojanju između predajnika i prijemnika, te pouzdanost i preciznost procene zavise u određenoj meri od empirijskih parametara. S druge strane, MWM model zahteva precizno poznavanje strukture objekta u okviru kog se realizuje mreža, ali daje mnogo pouzdanije vrednosti nego 1SM ili LAM modeli. Ono šta je važno napomenuti je da su rezultati dobijeni na osnovu ovih modela veoma zavisni od empirijskih parametara koji se

dobijaju eksperimentalno. Pojedini parametri ponekad važe samo za neko specifično okruženje. Takođe, parametri se razlikuju u zavisnosti od toga u kom frekvencijskom opsegu se vrše merenja.

Empirijski modeli ne razmatraju neke dodatne efekte koji se mogu javiti, ne uzimaju u obzir efekte kao što su refleksija i difrakcija talasa u zatvorenom prostoru već uzimaju u obzir samo prepreke na direktnoj liniji između predajnika i prijemnika. Međutim, nakon mnogih analiza i izbora vrednosti parametara, pokazalo se da empirijski modeli daju visok stepen usaglašenosti između rezultata predikcije i izvršenih merenja. Pored toga, empirijski modeli mogu se lako implementirati i do rezultata se dolazi relativno brzo, što je njihova nesumnjiva prednost u odnosu na veoma komplikovane i vremenski zahtevne determinističke modele koji koriste, npr. *ray-tracing* tehnike, [8].

4. *In-Building* propagacioni model

Osim prethodno opisanih modela, postoje i složeniji modeli predikcija koji detaljnije analiziraju strukturu objekata u okviru kojih se vrši propagacija. Tipičan predstavnik ovih modela je *In-Building* [9] propagacioni model.

Kod ovog modela, kada prijemnik nije u liniji optičke vidljivosti, NLoS (*Non Line-of-Sight*) sa predajnikom razlikuje se nekoliko slučajeva. Kada između predajnika i prijemnika postoji preperka u vidu zida, ili više zidova, potrebno je dodati novu komponentu na slabljenje u slobodnom prostoru. Ovo slabljenje, L_{room} , modelovano je jednačinom (6):

$$L_{room} = m_{room} \log(1 + d_2/d_1) \quad (6)$$

gde je m_{room} parametar koji opisuje uticaj propagacije kroz prostoriju kroz koju se propagira signal, d_1 predstavlja rastojanje od predajnika do prve prepreke, dok d_2 predstavlja rastojanje od prepreke do prijemnika.

Slabljenje od predajnika do prijemnika dato je jednačinom (7):

$$L_{loss}(d = d_1 + d_2) = L_{FS}(d_1) + L_{room} \quad (7)$$

gde je $L_{FS}(d_1)$ slabljenje u slobodnom prostoru za rastojanje od predajnika do prve prepreke, tj. dužinom d_1 .

U okviru *In-Building* propagacionog modela uključen je i slučaj propagacije signala kroz specijalne prostorije, npr. kroz liftove, i u tom slučaju slabljenje kroz specijalnu prostoriju računa se po jednačini (6), osim što se za parametar prostorije uzima $m_{special_room}$, koji je značajno veći od parametra m_{room} .

Poslednji slučaj koji je analiziran u okviru *In-Building* modela je slučaj kada se prijemnik nalazi izvan objekta, a predajnik unutar. Neka je, u tom slučaju, rastojanje između predajnika i prve prepreke d_1 , rastojanje koje signal prelazi u nekoj prostoriji d_2 , tada signal nailazi na zid, i nakon toga prelazi rastojanje d_3 van objekta. U tom slučaju, ukupno slabljenje sastoji se iz tri komponente, L_{FS} , L_{room} i $L_{outside}$, kao što je opisano u jednačini (8):

$$\begin{aligned} L_{loss}(d = d_1 + d_2 + d_3) &= L_{FS}(d_1) + L_{room}(d_2) + L_{outside} \\ L_{room} &= m_{room} \log(1 + d_2/d_1) \\ L_{outside} &= L_{wall} + 20 \log(1 + d_3/(d_1 + d_2)) \end{aligned} \quad (8)$$

gde je L_{wall} slabljenje spoljašnjeg zida.

5. Optimizacija i modifikacija *In-Building* propagacionog modela

Kao što je već objašnjeno u prethodnom poglavlju u okviru *In-Building* [9], modela u obzir su uzimana slabljenja usled propagacije kroz dve vrste prostorija (klasične kancelarije i specijalne sobe kao što su npr. liftovi) i slabljenja kroz zidove, u okviru jednog sprata zgrade. Imajući u vidu rezultate iz [10], gde je pokazano da su slabljenja kroz beton, staklo i drvo različita, za dobru procenu slabljenja neophodno je uključiti u propagacioni model ne samo slabljenje kroz zidove, već i slabljenje prilikom prolaska signala kroz prozore i vrata. Osim toga, kada nisu sve prostorije unutar nekog objekta istog tipa, i slabljenja prilikom prolaska kroz njih biće različita. Zbog toga, da bi se odredilo propagaciono slabljenje u uslovima kada nema optičke vidljivosti, neophodno je odrediti pojedinačna slabljenja koja zavise od različitih kategorija prostorija, zidova, prozora i vrata.

Usled specifičnosti okruženja koje je analizirano u okviru modela su uključena i dodatna slabljenja, kao i veći broj različitih prostorija. Propagacioni model je razvijen za specifično okruženje prizemlja (pravougaonog oblika 147,1m × 66,1m) u okviru zgrade Elektrotehničkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu (slika 1). Preko 80 prostorija, prikazanih na slici 1, klasifikovano je u osam kategorija u zavisnosti od njihove namene. Svaka kategorija prostorije, zidovi, prozori i vrata predstavljeni su na slici 1 drugom bojom. U okviru propagacionog modela, parametri prostorija ($m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7, m_8$) određuju uticaj te kategorije prostorije na ukupno slabljenje. Da bi se opisalo slabljenje kroz tri različite debljine zidova, prozore i vrata, uvedeni su parametri slabljenja $L_{w1}, L_{w2}, L_{w3}, L_{win}$ i L_d , respektivno. Uvedene su tri debljine zidova jer posmatrano okruženje ima spoljašnje zidove koji su veoma debeli, standardne zidove, srednje debljine i pregradne zidove koji su najtanji.

Parametri prostorija i slabljenja kroz zidove, vrata i prozore određeni su na osnovu merenja, izvršenih nad realnom mrežom (realizovanom u frekvencijskom opsegu na 2.4 GHz) [11]. Merenja su izvršena u 403 merne tačke, sa četiri orijentacije antena i uzete su srednje vrednosti ta četiri merenja. Merenja su izvršena za svaku od osam pristupnih tačaka (AP), čije su pozicije takođe prikazane na slici 1. Ukupno je izvršeno 3224 merenja (za sve AP). U [11] je naglašeno da su merni rezultati kod kojih AP nisu vidljive označeni sa -100 dBm. Ova merenja nisu uzeta u obzir, tako da je preostalo 958 mernih rezultata. Za svako od 958 merenja iz [11], formirana je jedna jednačina oblika (9):

$$L_{loss}(d) = L_{FS} + \sum_{i=2}^{p+1} m_{room_i} \log \left(1 + d_i / \sum_{j=1}^{i-1} d_j \right) + N_{w1}L_{w1} + N_{w2}L_{w2} + N_{w3}L_{w3} + N_{win}L_{win} + N_dL_d \quad (9)$$

gde je $p \geq 1$ broj prepreka na putanji od predajnika do prijemnika, d_i predstavlja dužinu dela putanje kroz koju signal prolazi kroz prostoriju i , $\sum_{j=1}^{i-1} d_j$ je dužina putanje od predajnika do prostorije i , $N_{w1}, N_{w2}, N_{w3}, N_{win}$ i N_d predstavlja broj tankih, srednjih i debelih zidova, prozora i vrata na putanji od predajnika do prijemnika, respektivno.



Slika 1. Plan prizemlja u zgradi Elektrotehničkog fakulteta

Reanžiranjem jednačina oblika (9) po nepoznatim parametrima ($m_1, m_2, \dots, m_8, L_{w1}, L_{w2}, L_{w3}, L_{win}, L_d$) dobija se predimenzionirani sistem jednačina sa 958 jednačina i 13 nepoznatih parametara. Rešenje ovog sistema jednačina dat je u tabeli 1. Procedura rešavanja jednačina izvršena je u programskom paketu MATLAB [12].

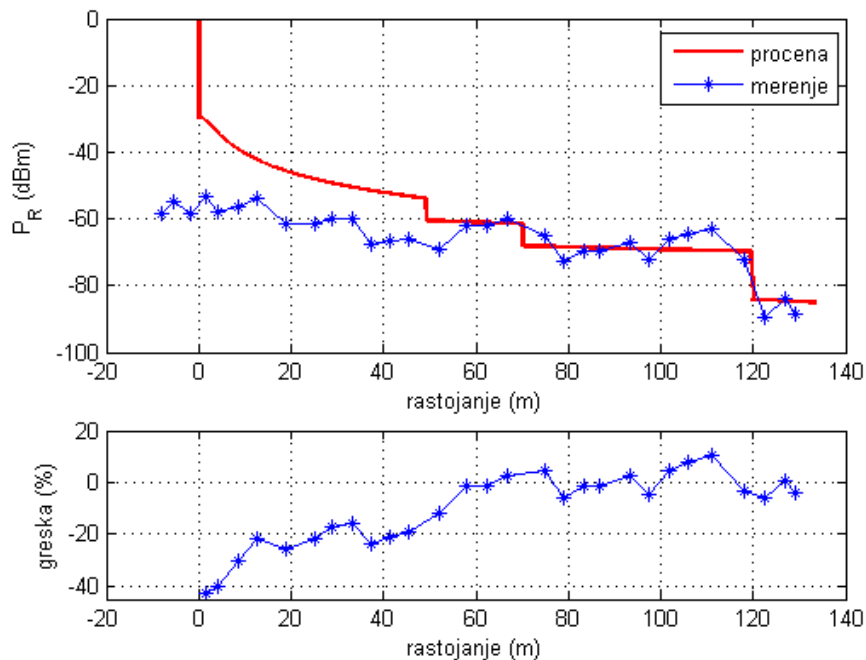
Tabela 1. Vrednosti parametara opisanog propagacionog modela

Parametar	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	m_7
Vrednost	24.3	20.1	7.4	296.9	33.8	10.1	13.3
Parametar	m_8	L_{w1}	L_{w2}	L_{w3}	L_{win}	L_d	
Vrednost	24.4	14.2	7.1	3.5	5.8	6.5	

Treba napomenuti da parametri m_3 i m_4 iz Tabele 1 nemaju standardne vrednosti. Parametar m_3 odnosi se na propagaciju signala kroz hodnike koji imaju izražen efekat vodenih talasa, tzv. tunel efekat [13]. Zbog toga, snaga signala manje slabi kada prolazi kroz hodnike nego kroz ostale kategorije prostorija. Parametar m_4 vezan je za propagaciju signala kroz lift, koji predstavlja zatvorenu metalnu strukturu sa velikim slabljenjem signala, i zato je vrednost parametra m_4 značajno veća od ostalih kategorija prostorija.

6. Rezultati simulacija i poređenje sa mernim rezultatima

U cilju verifikacije opisanog propagacionog modela, izvršene su simulacije nivoa polja na mestu prijema za čvorove AP0 i AP3 duž linije hodnika na slici 1 i rezultati su upoređeni sa izmerenim vrednostima polja. Simulacije su izvršene u programskom paketu MATLAB [12]. Na slikama 2 i 3 dat je uporedni prikaz procenjenog i izmerenog polja i greške procene za čvorove AP0 i AP3, respektivno.

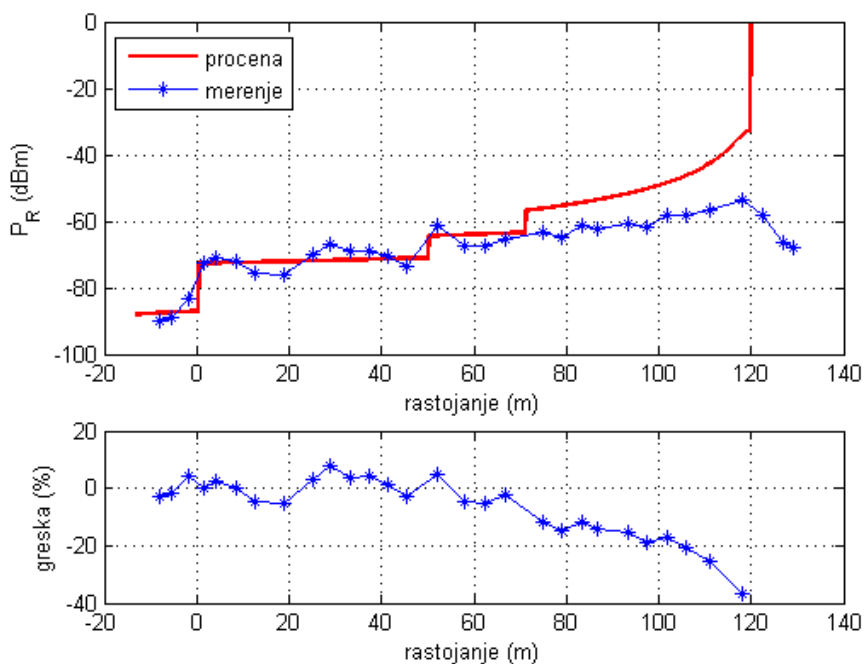


Slika 2. Procenjeni i izmereni nivo polja i greška procene za čvor AP0 u hodniku zgrade Elektrotehničkog fakulteta

Kao što se vidi, procenjena vrednost polja značajnije odstupa od izmerene samo do prve prepreke na koju nailazi signal. Kako se signal udaljava od prve prepreke, i nailazi na sledeće to je vrednost procenjenog nivoa snage približnija vrednosti izmerenog nivoa snage. Ako se analizira greška procene vidi se da je greška najveća na veoma bliskim rastojanjima od predajnika gde dostiže vrednost čak i do 40%, dok se nakon prve prepreke greška procene značajno smanjuje na svega par procenata, odnosno da je procena nivoa snage u tom delu prostora veoma dobra.

Ovakvi rezultati mogu se vrlo jednostavno objasniti činjenicom da je procena nivoa snage do prve prepreke modelovana slabljenjem u slobodnom prostoru, odnosno zanemaruju se uticaji različitih refleksija koji neminovno postoje unutar zatvorenog objekta. Međutim, uzimajući u obzir parametre prostorija i slabljenja koja se javljaju prolaskom kroz prepreke, koja su dobijena na osnovu merenja, nakon prve prepreke se i njihov uticaj uzima u obzir i to je upravo razlog za veoma dobru procenu polja nakon prve prepreke.

Bitno je napomenuti i činjenicu da su merenja korišćena u ovom radu vršena u dužem vremenskom periodu u okviru prostorija u kojima se stalno menja broj ljudi, kao i uslova rada, npr. nije isto ako se neka laboratorija koristi u trenutku merenja, ili ako su merenja vršena u vreme kada su svi uređaji bili isključeni. Takođe, nije isto da li su merenja vršena u punom amfiteatru ili ako u amfiteatru nije bilo nikog. Zbog svih ovih razloga može se zaključiti da opisani propagacioni model vrši veoma dobru procenu nivoa snage na mestu prijema.



Slika 3. Procenjeni i izmereni nivo polja i greška procene za čvor AP3 u hodniku zgrade Elektrotehničkog fakulteta

7. Zaključna razmatranja

U ovom radu dat je pregled najznačajnijih empirijskih propagacionih modela korišćenih za modelovanje nivoa snage prijemnog signala. Dat je kritički osvrt na njihove prednosti i mane i opisan jedan napredniji propagacioni model, *In-Building*. Nakon toga, predložena je optimizacija *In-Building* modela tako da odgovara složenijim objektima kod kojih nisu sve prostorije istog tipa. Prilikom poređenja sa izmerenim rezultatima, pokazalo se da opisani model veoma dobro procenjuje nivo snage, posebno nakon prve prepreke na koju signal nailazi. U budućem radu posebna pažnja biće posvećena dodatnim modifikacijama modela kako bi se poboljšala predikcija nivoa signala i u neposrednoj blizini predajnika do prve prepreke.

Literatura

- [1] K. Wesołowski, *Mobile Communication Systems*, John Wiley & Sons, 2002.
- [2] A. Neskovic, N. Neskovic, and G. Paunovic, "Modern Approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment", *IEEE Communications Surveys*, pp. 2-12, Third Quarter 2000.
- [3] COST Action 231, *Digital Mobile Radio Toward Future Generation Systems*, Final Report, EUR 18957, 1999.

- [4] Y. E. Mohammed, A.S. Abdallah, and Y.A Liu, „Characterization of Indoor Penetration Loss“, *Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics CEEM' 2003*, Hangzhou, China, November 2003.
- [5] J. Cherukuri, “Comparative study of stochastic indoor propagation models”, Charlotte, 2004.
- [6] R. J. Katulski, and A. Lipka, „Methodology of Radio Signal Power Distribution Modeling for WLAN networks”, *EUROCON 2007 The International Conference on Computer as a tool*, Warsaw, September 2007.
- [7] J. Žarković, P. Stojković, and Nataša Nešković, „3D statistički propagacioni model za indoor radio pokrivanje u WLAN mrežama”, *TELFOR 2011*, pp. 461-464, November 22-24, 2011.
- [8] M. Hassan-Ali, and K. Pahlavan, “A New Statistical Model for SiteSpecific Indoor Radio Propagation Prediction Based on Geometric Optics and Geometric Probability”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1 Number 1, Jan 2002
- [9] D. J. Y. Lee, and W. C. Y. Lee. Propagation Prediction in and Through Buildings, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 49(5): 1529 – 1533, 2000.
- [10] Y. E Mohammed, A.S. Abdallah, and Y. A. Liu, Characterization of indoor penetration loss at ISM band. *Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetic*, 25 – 28, 2003.
- [11] M. Borenovic, and A. Neskovic, *Indoor georeferenced RSSI database*. Resource documents. <http://telekomunikacije.etf.rs/research/wlanpositioning/rssiDatabase.zip>
- [12] MATLAB. Resource document. www.mathworks.com
- [13] Y. P. Zhang, and Y. Hwang. Theory of the radio-wave propagation in railway tunnels. *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, 47(3):1027–1036, 1998.

Abstract: *Most of the radio propagation models were focused on the outdoor environments. However, with the increase of WLAN (wireless local area network) applications realized within the objects, the need for indoor propagation model prediction increased as well. Within indoor environments it is necessary to take into account the type of obstacles that radio signal propagates through, as well as the type of rooms in which the signal propagates. In this paper an overview of the most important indoor propagation models is given. The special attention is given to the experimental propagation models and optimization and practical implementation of these models on a real propagation environment inside the building.*

Keywords: *indoor propagation, wireless local area networks*

MODELING OF RADIO SIGNAL PROPAGATION IN INDOOR ENVIROMENTS

Marija Malnar, Nenad Jevtić, Nataša Nešković, Aleksandar Nešković