

Pozicioniranje u WLAN mrežama po osnovu pristupne tačke sa najjačim signalom

Mirjana Simić, Nikola Stojković, Milenko Brković, Predrag Pejović, Milan Bjelica

Elektrotehnički fakultet

Beograd, Srbija

mira@etf.rs, nikola.chupa24@gmail.com, milenkobrkoVIC@gmail.com, peja@etf.rs, milan@etf.rs

Sadržaj—U radu su prikazana i upoređena tri metoda određivanja lokacije korisnika u bežičnim lokalnim mrežama (WLAN) u unutrašnjosti objekta (*indoor positioning*). Razmatrani metodi mobilnom terminalu nepoznate lokacije pridružuju koordinate na osnovu pristupne tačke (*Access Point*) koja obezbeđuje najjači signal na prijemu. Metodi su opisani, eksperimentalno verifikovani i upoređeni. Izvedena je teorijska granica tačnosti koju opisani metodi mogu da obezbede.

Ključne reči - pozicioniranje; *indoor* okruženje; WLAN; *Cell-ID*; segmentacija;

I. UVOD

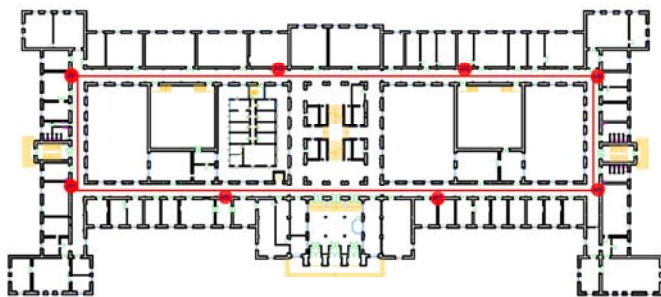
Poznavanje informacije o lokaciji korisnika u radio mrežama gde se podrazumeva mobilnost korisnika upotpunila je cilj o dostupnosti servisa ne samo u pravom trenutku već i na pravom mestu. Sama ideja o pozicioniranju korisnika u radio mrežama nastala je u okviru ćelijskih radio mreža, za potrebe bezbednosti. Naime, u okviru servisa za hitne pozive (prva pomoć, vatrogasci itd.) javio se problem pravovremenog reagovanja u slučajevima kada je poziv u pomoć stizao sa mobilnih terminala i korisnika koji nisu mogli dovoljno precizno reći gde se nalaze. Ovo je, makar formalno, pokrenulo regulatorna tela, najpre u SAD, a potom i unutar zemalja EU, da operatorima mobilne telefonije nametnu obavezu uvođenja novog servisa u svoje mobilne mreže — servisa lociranja korisnika. Osim bezbednosti, poznavanje lokacije korisnika u ćelijskim radio mrežama otvorilo je operatorima mobilne telefonije i velike komercijalne mogućnosti.

Veliki broj aplikacija u radio mrežama na osnovu poznate informacije o lokaciji korisnika u *outdoor* uslovima inicirao je ideju o određivanju lokacije korisnika i u unutrašnjosti objekata, u *indoor* uslovima. Iako se pod *indoor* pozicioniranjem podrazumeva pozicioniranje u raznim *short-range* tehnologijama [1] kao što su *bluetooth*, RFID (*Radio Frequency IDentification*), infracrvene (*IrDA* — *Infrared Data Association*) i ultrazvučne tehnologije, ova vrsta pozicioniranja najčešće se odnosi na pozicioniranje u bežičnim lokalnim mrežama (WLAN).

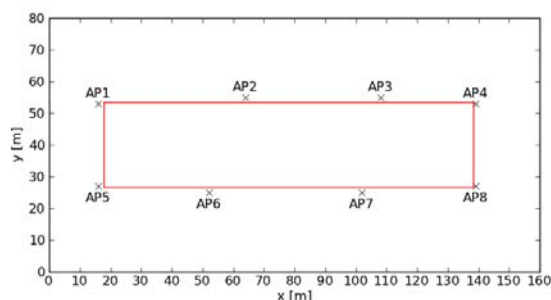
Bez obzira koji tip radio tehnologije je u pitanju, postoje četiri parametra signala koji se mogu koristiti u postupku pozicioniranja [2]. To su nivo signala na prijemu, *Rxlev*, vreme prispeća signala, *TOA* (*Time Of Arrival*), vremenska razlika

prispeća signala, *TDOA* (*Time Difference Of Arrival*) i ugao prispeća signala, *AOA* (*Angle Of Arrival*). Parametar *AOA* je vrlo osetljiv na *NLOS* (*Non-Line-Of-Sight*) uslove prostiranja i višestruku propagaciju, koje upravo odlikuju *indoor* okruženje, a zahteva i prilične hardverske modifikacije na predajniku/prijemniku, pa stoga nije pogodan za *indoor* pozicioniranje. Vreme kao parametar (bilo *TOA* ili *TDOA*) je generalno vrlo pouzdano za pozicioniranje, ali, kao i *AOA*, nije pogodan za *indoor* uslove. Razlozi su drugačiji nego u slučaju *AOA*, jer glavni problem predstavljaju zahtevi za vrlo velikom rezolucijom merenja vremena, što je posledica propagacije brzinom svetlosti na malim rastojanjima (unutrašnjost objekata). Jedini preostali parametar na raspolaganju je nivo signala na prijemu, *Rxlev*, koji zahteva procenu signala na određenom rastojanju od predajnika, odnosno, modelovanje propagacije. Prostiranje signala u *indoor* okruženju je izuzetno složen proces [3], pa samo modelovanje propagacije zahteva veliki broj ulaznih parametara. Veliki uticaj na propagaciju signala ima sam tip zgrade, konstruktivna infrastruktura, debljina zidova, raspored prozora i površina prostorija. Čak ni poznavanje svih ovih parametara ne može garantovati dobru procenu signala u zatvorenom prostoru, jer i brojnost i položaj ljudi koji se kreću unutar zgrade takođe utiču na varijaciju signala. Ipak, bez obzira na brojne nedostatke, parametar *Rxlev* je najčešći izbor za pozicioniranje u *indoor* uslovima, uglavnom zbog nepostojanja alternative.

Posledica složene propagacije u *indoor* uslovima jeste i to da su se i tehnike pozicioniranja u ovim uslovima praktično svele na dve: blizinsko lociranje (poznatije i kao *Cell-ID*) i *fingerprinting* [4]. *Cell-ID* je najjednostavnija tehnika pozicioniranja koja se zasniva na tome da se nepoznatoj lokaciji korisnika/terminala dodeljuje lokacija najbližeg predajnika (u slučaju WLAN to je pristupna tačka, tj. *Access Point*, AP). Ovu metodu odlikuju sve prednosti i samo jedan nedostatak — loša tačnost. Zbog toga su vrlo interesantna rešenja čiji je cilj da zadrže dobre osobine blizinskog lociranja a da se koliko je moguće poveća tačnost. *Fingerprinting* pozicioniranje je složenije u odnosu na blizinsko, ali povećava tačnost pozicioniranja. Osnovna ideja kod metoda baziranih na *fingerprinting*-u zasniva se na detekciji lokacije mobilnog korisnika/terminala na osnovu propagacionih karakteristika radio signala koje taj terminal meri na određenom mestu u mreži. Iako se pod pojmom pozicioniranja primenom *fingerprinting*-a podrazumevaju različiti algoritmi, u svom



Slika 1. Prostor u kome su vršena merenja, tlocrt.



Slika 2. Prostor u kome su vršena merenja, pojednostavljen prikaz.

izvornom obliku *fingerprinting* pozicioniranje se izvodi u dve faze [5]: pripremnoj (*off-line* ili *training*) i izvršnoj (*on-line* ili *positioning*). Cilj pripremne faze je generisanje baze podataka koja će biti korišćena tokom procesa pozicioniranja. Kako bi sakupili potrebne podatke najpre se pažljivo biraju referentne tačke (*Reference Points*). Referentne tačke treba da budu što je moguće ravnomernije raspoređene u oblasti od interesa, tj. u oblasti u kojoj će se određivati lokacija mobilnog terminala. U svakoj od referentnih tačaka se vrši merenje parametra od interesa (npr. koja pristupna tačka je dominantna ili koliki se nivoi signala dospelih od pristupnih tačaka mere) i na taj način se dobija *fingerprint* za određenu tačku u prostoru. *Fingerprint* i koordinate referentne tačke u kojoj je dobijen smeštaju se u bazu podataka u pripremnoj fazi. Proces stvarnog pozicioniranja dešava se u izvršnoj fazi. Mobilni terminal koji se nalazi na nekoj poziciji unutar oblasti u kojoj se vrši pozicioniranje meri parametre od interesa, koji se zatim porede sa onima iz baze, pa se na osnovu nekog od algoritama procenjuje lokacija mobilnog terminala. Blizinsko lociranje se može smatrati za krajnje pojednostavljen slučaj *fingerprinting* metoda.

U ovom radu su prikazana, eksperimentalno verifikovana i upoređena tri metoda pozicioniranja u WLAN mreži i *indoor* uslovima u zgradi Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu: *Cell-ID* metod, teorijska segmentacija [6], i novouvedeni metod eksperimentalne segmentacije. Sva tri metoda se mogu smatrati za predstavnike *fingerprinting* klase algoritama.

II. OPIS EKSPERIMENTA

Potrebna merenja za eksperimentalnu analizu *Cell-ID* i segmentacionih metoda pozicioniranja izvršena su unutar zgrade Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Oblast u kojoj su vršena merenja je u prizemlju i obuhvata hodnike zgrade. WLAN infrastruktura obuhvata 8 Cisco Aironet 1230G pristupnih tačaka sa omnidirekcionim antenama koje podržavaju 802.11g WLAN standard i rade na 2.4 GHz. Na Sl. 1 je prikazan prostor u kome su merenja vršena, gde crveni pravougaonik predstavlja hodnike u kojima su prikupljani podaci, a pristupne tačke (*access points*) su označene sa AP1 do AP8. Sa slike se vidi da je u pitanju složen objekat, sa uskim hodnicima, mnoštvom zidova i prozora, gde je teško predvideti uslove propagacije talasa. Na Sl. 2 je dat pojednostavljen prikaz prostora sa Sl. 1, koji će biti korišćen u daljem tekstu, gde su znaci „x“ predstavljene pristupne tačke. Pravougaonici sa Sl. 1 i Sl. 2 imaju dimenzije 120.58 m x 26.82 m, što daje obim od 294.8 m. Sve merne

tačke su se nalazile u hodnicima zgrade, na sredini hodnika čija je širina 3.2 m, na pravougaoniku sa Sl. 2. Ovim je problem suštinski sveden na jednodimenzioni, jedna koordinata po obimu pravougaonika bi mogla jednoznačno da odredi sve moguće pozicije mobilne stanice. Ovakav izbor je učinjen kako bi se smanjenjem broja dimenzija maksimalno pojednostavio problem i sagledale performanse i nedostaci razmatranih algoritama, kako će kasnije biti pokazano. Osim toga, pristup hodniku je bio neometan, pa je bilo lakše organizovati i realizovati merenja.

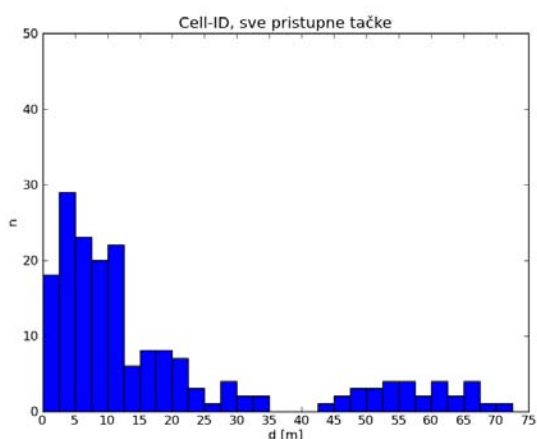
Baza eksperimentalnih podataka sadrži rezultate merenja u 184 merne tačke, u kojima su snimljeni nivoi signala na prijemu koji odgovaraju svakoj od raspoloživih osam pristupnih tačaka. Za metode razmatrane u ovom radu bitan je samo jedan podatak: indeks pristupne tačke koja u datoj mernoj tački obezbeđuje najjači signal na prijemu. Ovakva pristupna tačka za datu mernu tačku će u daljem tekstu biti nazivana dominantnom pristupnom tačkom. Od pomenute 184 merne tačke, 147 mernih tačaka se nalazi uniformno raspoređeno po obimu hodnika, na međusobnim rastojanjima od po 2 m. Ove tačke su nazvane „referentne tačke“. Preostalih 37 mernih tačaka se i dalje nalaze na pravougaoniku sa Sl. 2, tj. u hodniku zgrade, ali su izvan strogo utvrđenog uniformnog rasporeda na svaka 2 m. Ove merne tačke su nazvane „test tačke“. Prilikom računanja greške pozicioniranja, u obzir su uzimane sve 184 raspoložive merne tačke, dok su za pripremnu fazu segmentacionih algoritama korišćene samo referentne tačke.

Merenja su vršena laptop računarom Dell N5010, sa DW1501 Wireless-N WLAN Half-Mini Card mrežnom karticom, pomoću programa inSSIDer 2.0 koji je slobodan softver.

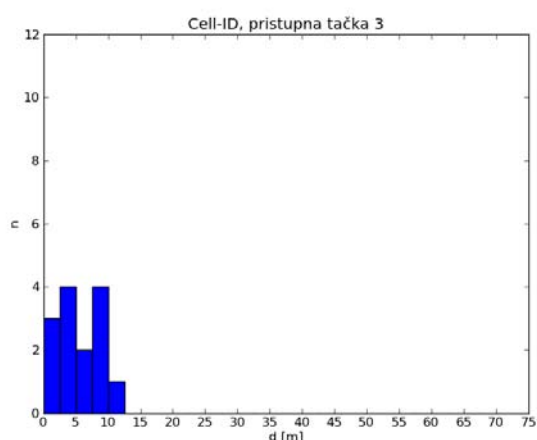
III. CELL-ID METOD

Prvi od tri metoda koji će biti razmatrani u ovom radu je *Cell-ID* metod. Metod je popularan zbog svoje jednostavnosti, pošto je procenjena pozicija mobilnog korisnika jednaka poziciji pristupne tačke koja je za datu mernu tačku dominantna. Stoga se pripremna faza svodi na prikupljanje podataka o koordinatama pristupnih tačaka i veoma je jednostavna.

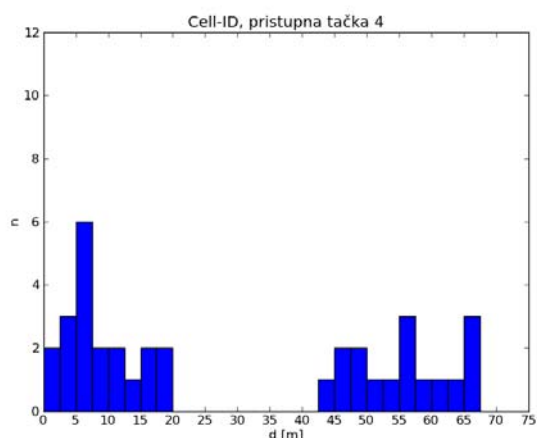
Za sve raspoložive merne tačke izvršeno je pozicioniranje po *Cell-ID* metodu i određena je greška pozicioniranja. Histogram greške pozicioniranja je prikazan na Sl. 3. U histogramu greške se uočavaju dve oblasti: oblast sa greškom pozicioniranja do 35 m, gde raspodela nalikuje Rejljevoj, i



Slika 3. *Cell-ID*, histogram greške određivanja pozicije.



Slika 4. *Cell-ID*, histogram greške određivanja pozicije kada je dominantna pristupna tačka 3.



Slika 5. *Cell-ID*, histogram greške određivanja pozicije kada je dominantna pristupna tačka 4.

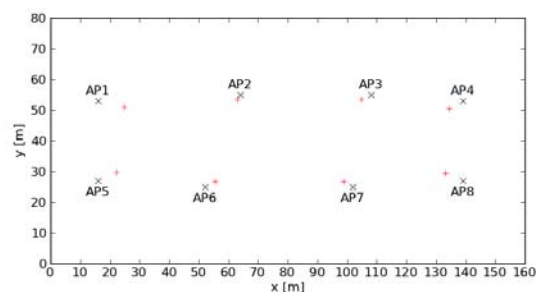
oblast sa velikim greškama pozicioniranja, od 40 m do 75 m. Merne tačke koje pripadaju drugoj oblasti na histogramu, sa velikom greškom pozicioniranja, isključivo pripadaju ugaonim pristupnim tačkama kao dominantnim, AP1, AP4, AP5 i AP8. Među ovim tačkama, najviše velikih grešaka pozicioniranja je vezano za pristupne tačke AP4 i AP5, koje imaju znatno bolje uslove propagacije signala u odnosu na ostale pristupne tačke.

U cilju ilustracije opisanih efekata, na Sl. 4 je prikazan histogram greške pozicioniranja za merne tačke kod kojih je pristupna tačka AP3 dominantna. Uočava se odsustvo velikih grešaka pozicioniranja. Nasuprot tome, na Sl. 5 je prikazan histogram greške pozicioniranja za merne tačke kod kojih je pristupna tačka AP4 dominantna. Uočavaju se dve grupe rezultata, sa malom greškom pozicioniranja i sa velikom greškom pozicioniranja, koje su jasno razdvojene praznim prostorom. Slično ovome, dva tipa histograma se javljaju i za ostale pristupne tačke kao dominantne: ugaono postavljene pristupne tačke imaju histogram greške sa dve oblasti u kojima se koncentrišu rezultati merenja, nasuprot centralno postavljenim pristupnim tačkama.

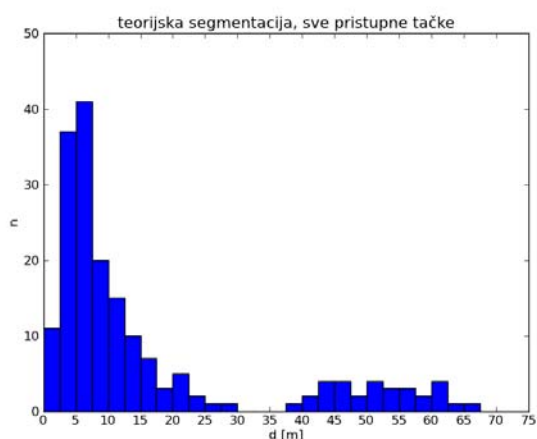
Ukupan rezultat *Cell-ID* metoda je srednja greška pozicioniranja od 18.08 m, sa standardnom devijacijom od 26.32 m.

IV. TEORIJSKA SEGMENTACIJA

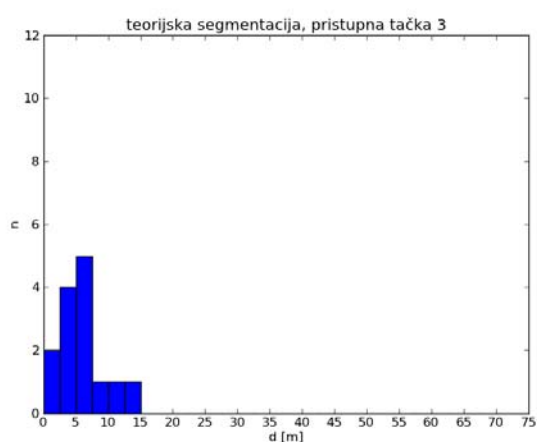
Drugi metod koji će biti razmatran je teorijska segmentacija [6]. On se od *Cell-ID* metoda razlikuje po tome što se umesto koordinata dominantne pristupne tačke kao procena pozicije mobilne stanice koristi matematičko očekivanje koordinata u segmentu prostora u kome je odgovarajuća pristupna tačka dominantna. Prostor u kome je pojedina pristupna tačka dominantna je određen teorijski, pod pretpostavkom da najbliža pristupna tačka ima najjači signal u razmatranoj mernoj tački, otuda ime metodu. Za određivanje matematičkog očekivanja koordinata mobilne stanice razmatrani prostor je ograničen na hodnik zgrade, dakle problem je efektivno sveden na jednodimenzioni. Ograničavanje prostora je novina u odnosu na [6], a predstavlja neophodnost kada je broj pristupnih tačaka mali, pa značajan broj pristupnih tačaka su rubne i nemaju ograničene Voronojeve oblasti [7] koje im odgovaraju. U razmatranom eksperimentalnom slučaju, svih osam pristupnih tačaka su rubne, pa je ograničavanje prostora od izuzetnog značaja.



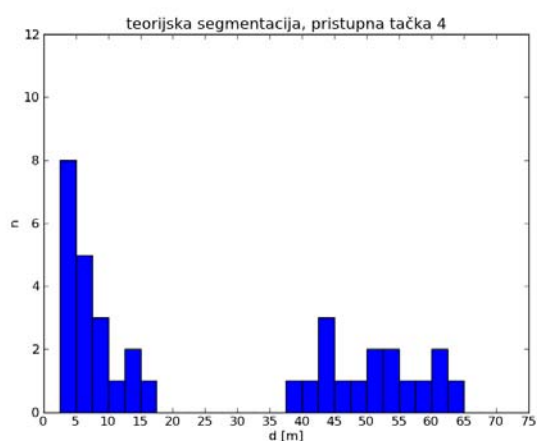
Slika 6. Teorijska segmentacija, matematičko očekivanje pozicije mobilnog terminala u okviru segmenta: „x“ koordinate pristupnih tačaka, „+“ matematičko očekivanje koordinata u okviru segmenata.



Slika 7. Teorijska segmentacija, histogram greške određivanja pozicije.



Slika 8. Teorijska segmentacija, histogram greške određivanja pozicije kada je dominantna pristupna tačka 3.



Slika 9. Teorijska segmentacija, histogram greške određivanja pozicije kada je dominantna pristupna tačka 4.

Za određivanje matematičkog očekivanja mobilne stanice u okviru segmenata prostora korišćene su koordinate uniformno

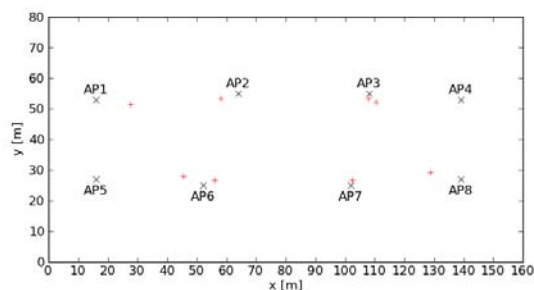
raspoređenih „referentnih tačaka“. Dobijena matematička očekivanja po zonama određenim pristupnim tačkama su prikazana na Sl. 6. Uočljiva je relativna bliskost dobijenih matematičkih očekivanja sa koordinatama pristupnih tačaka.

Metod teorijske segmentacije je primenjen na sve 184 merne tačke i dobijena je srednja greška pozicioniranja od 15.56 m i standardna devijacija od 23.32 m. Dobijeni rezultat je nešto bolji nego za *Cell-ID* metod. Histogram greške pozicioniranja je prikazan na Sl. 7, i opet pokazuje slične osobine kao histogram sa Sl. 3, grupisanje rezultata u dve oblasti, sa malom greškom i sa velikom greškom. Razlozi sa ovakav histogram su isti kao i kod *Cell-ID* metoda: bolji uslovi propagacije za ugaono postavljene pristupne tačke u odnosu na centralno postavljene pristupne tačke. Za ilustraciju ovog efekta opet su izabrane pristupne tačke AP3 i AP4, čiji su histogrami greške pozicioniranja prikazani na Sl. 8 i Sl. 9. Treba naglasiti da su velike greške pozicioniranja i ovde isključivo vezane za ugaono postavljene pristupne tačke kao dominantne, što se posebno odnosi na AP4 i AP5.

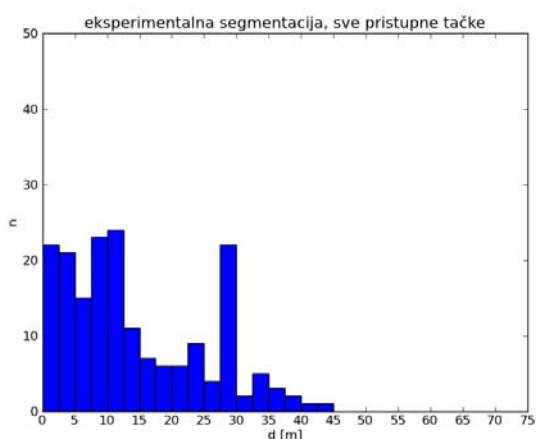
V. EKSPERIMENTALNA SEGMENTACIJA

Kako bi se popravili rezultati koje daje metod teorijske segmentacije, u ovom radu je uveden i metod eksperimentalne segmentacije. Eksperimentalna segmentacija mernoj tački pridružuje procenjene koordinate prema dominantnoj pristupnoj tački u skladu sa matematičkim očekivanjem dobijenim prema eksperimentalno utvrđenim segmentima prostora u kojima je razmatrana pristupna tačka dominantna, u skladu sa metodologijom iz [8]. Za eksperimentalnu segmentaciju je korišćeno 147 „referentnih tačaka“ ravnomerno raspoređenih po obimu pravougaonika, na svaka 2 m. Verovatnoća nalaženja mobilne stanice u okviru eksperimentalno utvrđenog segmenta je smatrana uniformnom, pa su pod tom pretpostavkom određena matematička očekivanja za svih osam pristupnih tačaka. Rezultat eksperimentalne segmentacije je prikazan na Sl. 10, gde se mogu uočiti velike razlike u odnosu na Sl. 6 kada su u pitanju pristupne tačke AP4 i AP5, i prilično slaganje kada su u pitanju ostale pristupne tačke. Ukupna srednja greška pozicioniranja za metod eksperimentalne segmentacije je 14.26 m, sa standardnom devijacijom od 17.79 m. Ovaj rezultat je bolji od teorijske segmentacije, ali je pripremna faza algoritma znatno složenija i obuhvata veliki broj merenja.

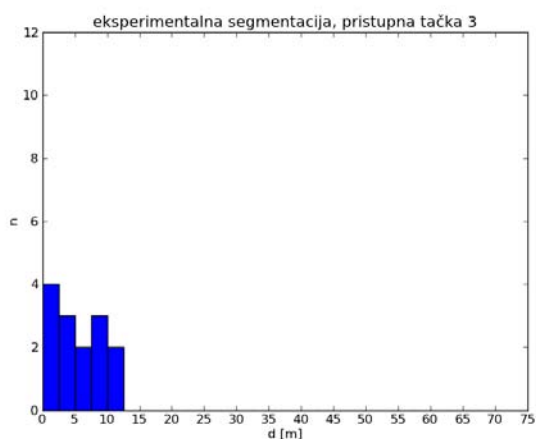
Histogram greške pozicioniranja kod metoda eksperimentalne segmentacije je prikazan na Sl. 11 i bitno se



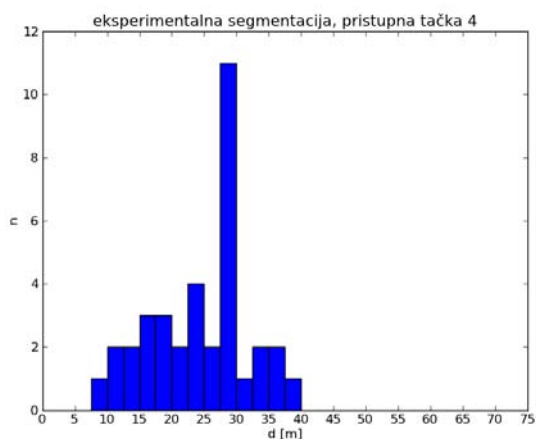
Slika 10. Eksperimentalna segmentacija, matematičko očekivanje pozicije mobilnog terminala u okviru segmenta.



Slika 11. Eksperimentalna segmentacija, histogram greške određivanja pozicije.



Slika 12. Eksperimentalna segmentacija, histogram greške određivanja pozicije kada je dominantna pristupna tačka 3.



Slika 13. Eksperimentalna segmentacija, histogram greške određivanja pozicije kada je dominantna pristupna tačka 4.

razlikuje od histograma na Sl. 3 i Sl. 7, pošto se ne izdvajaju jasno dve oblasti, sa malom greškom i sa velikom greškom.

Histogrami greške pozicioniranja za dve pristupne tačke koje su do sada korišćene kao karakteristične, AP3 i AP4 su prikazani na Sl. 12 i Sl. 13. Histogram sa Sl. 12 nije ni po čemu specifičan, vidi se da su sve greške pozicioniranja manje od 12.5 m. Za razliku od toga, histogram sa Sl. 13 je specifičan po tome što uopšte nema mernih tačaka sa greškom pozicioniranja manjom od 7.5 m, kao ni većom od 40 m. Ovo je postignuto neobičnom, eksperimentalnim rezultatima uslovljenom, pozicijom matematičkog očekivanja za segment prostora karakterisan pristupnom tačkom AP4 kao dominantnom, kako je prikazano na Sl. 10.

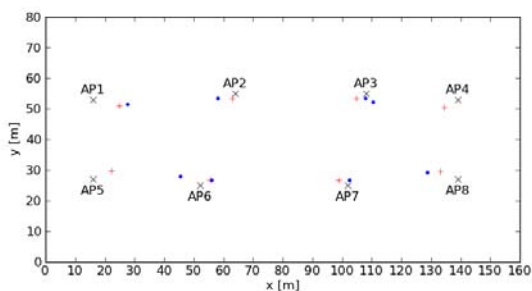
VI. POREĐENJE

U cilju poređenja razmatranih metoda pozicioniranja, dobijeni eksperimentalni rezultati su združeno prikazani u Tabeli I. Uočava se da su najbolji rezultati postignuti primenom novouvedenog metoda eksperimentalne segmentacije, što je postignuto po cenu složene pripremne faze algoritma koja obuhvata obimna merenja. Sva tri razmatrana metoda poziciju mobilne stanice procenjuju prema dominantnoj pristupnoj tački, tj. pristupnoj tački koja u razmatranoj mernoj tački obezbeđuje najjači signal na prijemu. Metodi se razlikuju samo po koordinatama procene pozicije mobilne stanice koje se pridružuju dominantnoj pristupnoj tački, koje su za sva tri razmatrana metoda prikazane na Sl. 14. Sa Sl. 14 se može zaključiti da je najveća razlika između metoda kod pristupnih tačaka AP4 i AP5, gde eksperimentalna segmentacija uzima u obzir znatno bolje uslove propagacije koje ove pristupne tačke imaju.

Razmatrani metodi su ograničeni brojem pristupnih tačaka, pošto rezultat pozicioniranja po ovim metodima može imati samo osam ishoda, što se može kodirati sa tri bita, pa merenje u najboljem slučaju ima „trobitnu“ tačnost. Stoga, ima smisla razmotriti granice razmatranih metoda, uz idealizovanje rasporeda pristupnih tačaka i uslova propagacije signala. U idealnom slučaju, pristupne tačke bi bile uniformno raspoređene po obimu razmatranog prostora, a propagacija talasa bi bila identična za sve pristupne tačke, sa signalom koji monotono opada sa rastojanjem po obimu. U ovom slučaju, sva tri razmatrana metoda daju iste rezultate. Pošto je obim prostora na kome mogu da se nalaze mobilni korisnici 294.80 m, sa uniformnim rasporedom pristupnih tačaka rastojanje između susednih pristupnih tačaka bi bilo 36.85 m. Sa izotropnim prostiranjem talasa, identičnim za sve pristupne tačke, očekivana greška pozicioniranja bi bila 9.21 m, a standardna devijacija 10.64 m. Ovi rezultati predstavljaju granice tačnosti do kojih je moguće doći sa raspoloživom rezolucijom merenja. Iz eksperimentalnih rezultata prikazanih

TABELA I. POREĐENJE METODA POZICIONIRANJA

metod	srednja greška merenja	standardna devijacija
Cell-ID	18.08 m	26.32 m
teorijska segmentacija	15.56 m	23.32 m
eksperimentalna segmentacija	14.26 m	17.79 m



Slika 14. Poređenje procena pozicije mobilne stanice: „x“ *Cell-ID*, „+“ teorijska segmentacija, „*“ eksperimentalna segmentacija.

u radu, vidi se da u neidealnim ulovima u kojima su merenja vršena, sa izuzetno složenom propagacijom signala, greška pozicioniranja je u slučaju eksperimentalne segmentacije oko 50% veća od minimalno očekivane, dok je u slučaju *Cell-ID* metoda greška oko 100% veća od minimalne.

VII. ZAKLJUČAK

U radu su prikazana i upoređena tri metoda određivanja lokacije korisnika u bežičnim lokalnim mrežama (WLAN) u unutrašnjosti objekta (*indoor positioning*): *Cell-ID* metod, teorijska segmentacija i eksperimentalna segmentacija. Sva tri razmatrana metoda mobilnom terminalu nepoznate lokacije pridružuju koordinate na osnovu pristupne tačke (*Access Point*) koja obezbeđuje najjači signal na prijemu. Metodi su opisani, eksperimentalno verifikovani i upoređeni. Pokazano je da najbolju tačnost obezbeđuje eksperimentalna segmentacija, a najlošiju *Cell-ID* metod. Izvedena je teorijska granica tačnosti koju opisani metodi mogu da obezbede. Pokazano je da je greška pozicioniranja u slučaju eksperimentalne segmentacije 50% veća od minimalno moguće, dok je u slučaju *Cell-ID* metoda greška oko 100% veća od minimalno moguće. Povećana tačnost eksperimentalne segmentacije zahteva složenu pripremnu fazu metoda, sa mnoštvom merenja. Analizirana je struktura greške pozicioniranja i pokazano je da

ugaono postavljene pristupne tačke sa boljim uslovima propagacije signala od centralno postavljenih pristupnih tačaka predstavljaju najveće uzročnike greške.

LITERATURA

- [1] A. Bensky, *Wireless positioning technologies and applications*, Artech House, 2008, pp. 241–263.
- [2] A. Melikov, ed., *Cellular networks - positioning, performance analysis, reliability*, InTech, 2011, pp. 51–76.
- [3] K. Pahlavan, X. Li, and J. Makela, “Indoor geolocation science and technology”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 2, pp. 112–118, February 2002.
- [4] G. Sun, J. Chen, W. Guo, K.J.R. Liu, “Signal processing techniques in network-aided positioning—A survey of state-of-the-art positioning designs,” *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, No 4, pp. 12–23, July 2005.
- [5] A. Küpper, *Fundamentals of Positioning in Location-based Services: fundamentals and operation*, Wiley, 2005, pp. 142–143.
- [6] M. Simić, P. Pejović, “An Algorithm for Determining Mobile Station Location Based on Space Segmentation,” *IEEE Communications Letters*, vol. 12, no. 7, pp. 499–501, July 2008.
- [7] M. Bjelica, M. Simić, P. Pejović, „Procena servisne zone bazne stanice metodama kombinatorne geometrije“, *19th Telecommunications Forum TELFOR 2011*, Beograd, Srbija, 22–24. 11. 2011, str. 505–508.
- [8] M. Simić, P. Pejović, “A Probabilistic Approach to Determine Mobile Station Location with Application in Cellular Networks,” *Annals of Telecommunications*, vol. 64, no. 9-10, pp. 639–649, October 2009.

ABSTRACT

Three methods of indoor WLAN positioning are analyzed in the paper. The methods assign coordinates to the mobile terminal according to the access point that provides the strongest signal to the receiver. The methods are described, experimentally verified, and compared. Theoretical limit of the accuracy the methods can achieve is derived.

WLAN POSITIONING BASED UPON AN ACCESS POINT WITH THE STRONGEST SIGNAL

Mirjana Simić, Nikola Stojković, Milenko Brković,
Predrag Pejović, Milan Bjelica