

Određivanje pozicija *access point*-a WLAN infrastrukture u zatvorenom prostoru

Milan Matić, Aleksandar Nešković

Sadržaj — U ovom radu dat je predlog algoritma za određivanje pozicija *access point*-a WLAN infrastrukture, primenom empirijskog modela predikcije nivoa električnog polja u zatvorenom prostoru. Algoritam je implementiran na četiri različita načina i za svaki od njih je određena tačnost i ustanovljena greška. Cilj rada je razvoj algoritma koji bi bio u stanju da u zatvorenom prostoru odredi pozicije *access point*-a. Analizom dobijenih rezultata ustanovljeno je da predloženi algoritam daje dovoljno dobre rezultate za realnu primenu.

Ključne reči — *Access point*, propagacioni model, pozicioniranje, WLAN.

I. UVOD

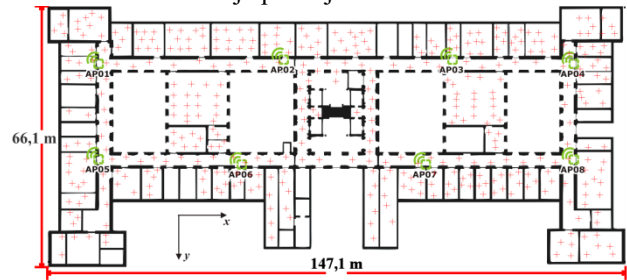
RAPIDNI razvoj u domenu bežičnih tehnologija dovodi do porasta kapaciteta, kao i pouzdanosti bežičnih mreža, koje polako, ali sigurno, postaju superiornije rešenje u odnosu na konvencionalne (žičane) mreže, prvenstveno na otvorenom, ali sve više i u zatvorenom prostoru. Shodno tome, postoji veliki broj radova [1]-[6] koji se bave razvojem algoritama koji za cilj imaju projektovanje optimalne bežične infrastrukture (minimalan broj *access point*-a (u daljem tekstu, *AP*) uz što veću radio-pokrivenost).

Međutim, ukoliko se korisnik nađe u nekom zatvorenom prostoru u kome već postoji WLAN (*Wireless Local Area Network*) infrastruktura i ako mu je potrebna internet konekcija velikog protoka, neophodno je da bude pozicioniran što bliže nekom od *AP*. U tom slučaju informacija o poziciji *AP* postaje od interesa za nove aplikacije, koje mogu biti razvijene na osnovu nje.

Ovaj rad se bavi estimacijom pozicija *AP* WLAN infrastrukture. Dat je predlog algoritma koji se zasniva na primeni empirijskog modela predikcije nivoa električnog polja u zatvorenom prostoru. Ideja se zasniva na izračunavanju vrednosti faktora opadanja nivoa snage signala- za različite grupe *AP* i postupku trijangulacije.

Predloženi koncept je testiran u zgradi Tehničkih fakulteta u Beogradu u kojoj postoji osam *AP* i koju karakteriše velika kompleksnost u smislu prostiranja radio-talasa. Pozicije *AP* prikazane su na sl.1. oznakama od *AP01* do *AP08*. Na osnovu izvršenih merenja nivoa snage signala na ulazu u prijemnik mobilnog klijenta [7] estimirane su pozicije *AP*. Detaljnom analizom pokazano

je da predloženi algoritam daje zadovoljavajuće rezultate, a da pri tome ne zahteva detaljno poznavanje prostora u kome se vrši estimacija pozicija *AP*.



Sl.1. Prikaz pozicija *AP* i mernih pozicija

Rad je koncipiran u 7 poglavlja. U II poglavlju opisan je empirijski model predikcije nivoa električnog polja u zatvorenom prostoru na kom je zasnovan predloženi algoritam. U III poglavlju izložena su četiri načina optimizacije predikcionog modela. U IV poglavlju objašnjen je postupak estimacije pozicija *AP*, a u petom i šestom analiza tačnosti i analiza vrednosti greške u zavisnosti od broja mernih pozicija, respektivno. U poglavlju VII dat je zaključak.

II. EMPIRIJSKI PROPAGACIONI MODEL

Kao što je već napomenuto, primenjen je empirijski propagacioni model, prema kome se ukupno slabljenje određuje pomoću sledećeg izraza [8]:

$$L_T = L_{FS} + L_O, \quad (1)$$

gde su L_T - ukupno slabljenje (*total loss*), L_{FS} - slabljenje u „slobodnom prostoru“ („*free space*“ *loss*) i L_O - kalibraciono slabljenje (*offset loss*) koje iznosi 4dB. Slabljenje u „slobodnom prostoru“ se određuje prema izrazu:

$$L_{FS} = -27,56\text{dB} + 20\log_{10} f[\text{MHz}] + n \cdot 20\log_{10} d[\text{m}], \quad (2)$$

gde f predstavlja radnu frekvenciju *AP*, koja se prema IEEE 802.11b standardu nalazi u opsegu od 2,412GHz do 2,472GHz (za potrebe ovog rada je usvojeno $f = 2,45\text{GHz}$), n je faktor opadanja nivoa snage signala (*power decay factor*) u zavisnosti od rastojanja [8], a d rastojanje od tačke za koju se vrši predikcija do zadatog *AP*. Prethodno navedeni parametar n zavisi od propagacionog okruženja u kom se vrši predikcija, a određuje se na osnovu merenja.

Milan Matić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (e-mail: milan.matic@live.com)

Aleksandar Nešković, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (e-mail: neshko@etf.rs)

III. OPTIMIZACIJA PROPAGACIONOG MODELA

Kao uzorak za analizu korišćeni su podaci iz RSSI (*Received Signal Strength Indication*) baze [7], koji su obrađivani u programu napisanim u Matlabu. U principu, snaga sa kojom emituje AP ne mora da bude unapred poznata. Međutim, s obzirom na to da maksimalna dozvoljena vrednost EIRP (*Equivalent isotropically radiated power*) AP u Evropi iznosi 100mW [9], za potrebe ovog rada usvojena je upravo ta vrednost. Dobici omnidirekzione predajne antene AP i prijemne antene klijenta usvojeni su da budu $g_t = 5\text{dBi}$ i $g_r = 2,15\text{dBi}$, respektivno.

Nivo snage signala na ulazu u prijemnik mobilnog klijenta može se odrediti prema:

$$pr[\text{dBm}] = pt[\text{dBm}] + g_t[\text{dBi}] + g_r[\text{dBi}] - L_T[\text{dB}] \quad (3)$$

Na osnovu izraza (1)-(3) mogu se odrediti vrednosti faktora n za svaku pojedinačnu tačku u kojoj je vršeno merenje prema izrazu:

$$n_i^k = \frac{pt + g_t + g_r - pr - 20\log_{10} f[\text{MHz}] + 23,56\text{dB}}{20\log_{10} d[\text{m}]}, \quad (4)$$

$$i = 1..N,$$

gde N predstavlja broj izvršenih merenja za svaki od AP [7], k oznake AP uključenih u analizu, a pr pojedinačne izmerene vrednosti nivoa snage signala na ulazu u prijemnik mobilnog klijenta [7]. Ukoliko vrednost pr iznosi -100dBm , to je slučaj kada ne postoji radio vidljivost između AP i klijenta, i te vrednosti nisu uzimane u obzir.

Vrednosti faktora n za svaki pojedinačan AP koji je uključen u analizu, određene su prema sledećem izrazu:

$$n_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i^k \quad (5)$$

Konačno, polazeći od prethodnog izraza, određene su četiri različite, optimizovane, vrednosti faktora n , koristeći:

$$n_{O_i} = \frac{1}{K} \sum_k n_k, \quad O_i = 1..4 \quad (6)$$

gde K predstavlja ukupan broj AP uključenih u analizu.

U prvoj fazi istraživanja faktor n određen je na osnovu izmerenih vrednosti nivoa snage signala na ulazu u prijemnik mobilnog klijenta za svih osam AP (u daljem tekstu, *Optimizacija 1*). Dakle, u ovom slučaju je $k=1..8$, $O_i=1$ i $K=8$.

U drugoj fazi istraživanja u obzir za proračun faktora n su uzimani izmereni nivoi snage signala samo od određenih AP, umesto od svih. S obzirom na konfiguraciju prostora (četiri AP u uglovima i četiri AP u središnjem delu zgrade) od interesa je posmatrati sledeće dve kombinacije. Prvu kombinaciju čine AP koji se nalaze u uglovima zgrade - AP01, AP04, AP05, AP08 (u daljem tekstu, *Optimizacija 2*) i za nju je $k=1,4,5,8$, $O_i=2$ i $K=4$. Druga kombinacija su AP koji se nalaze u središnjem delu zgrade - AP02, AP03, AP06, AP07 (u daljem tekstu, *Optimizacija 3*) i za nju je $k=2,3,6,7$, $O_i=3$ i $K=4$. Pored

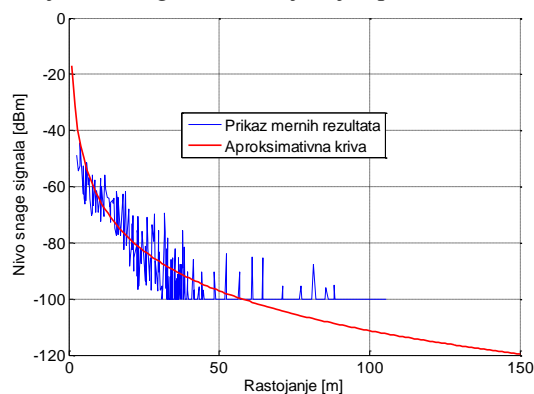
pomenute dve posmatrana je još jedna kombinacija, koju čine jedan proizvoljan AP koji se nalazi u uglu zgrade-AP01 i jedan proizvoljan AP koji se nalazi u središnjem delu zgrade-AP07 (u daljem tekstu, *Optimizacija 4*) i za nju je $k=1,7$, $O_i=4$ i $K=2$. *Optimizacija 4* je od posebnog značaja jer ona predstavlja primer primene predloženog algoritma bez detaljnog poznavanja prostora u kome se vrši estimacija pozicija AP. Pregled određenih vrednosti faktora n dat je u tabeli 1.

TABELA 1: PREGLED VREDNOSTI FAKTORA n .

Kombinacija	Vrednosti faktora n
Optimizacija 1 (n_{O1})	2.31
Optimizacija 2 (n_{O2})	2.22
Optimizacija 3 (n_{O3})	2.41
Optimizacija 4 (n_{O4})	2.36

Ilustracije radi na sl.2 prikazana je promena nivoa snage signala na prijemniku mobilnog klijenta u funkciji od rastojanja od AP03, koja je dobijena *Optimizacijom 4*.

Sa sl.2. može se uočiti da vrednost faktora n koja je dobijena na osnovu podataka za AP01 i AP07 (dakle, optimizovana je za pomenute AP) omogućava korektnu estimaciju i za druge AP, za koje nije optimizovana.



Sl. 2. Zavisnost promene nivoa snage signala na prijemu u funkciji rastojanja od AP03, određene *Optimizacijom 4*

IV. ESTIMACIJA POZICIJA ACCESS POINT-A

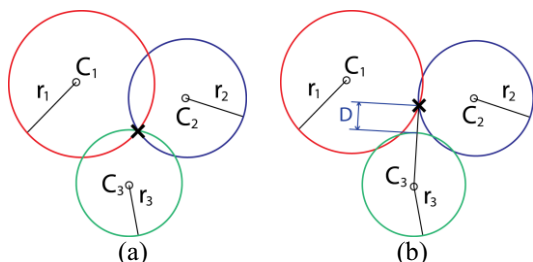
Estimacija pozicija AP vršena je na osnovu prethodno opisanog optimizovanog empirijskog propagacionog modela i uz primenu postupka trijangulacije. Na osnovu podataka iz RSSI baze i odabranog optimizovanog predikcionog modela (*Optimizacija 1-4*) za svaku mernu poziciju izračunati su dometi, prema izrazu:

$$d = 10^{\frac{pt + g_t + g_r - pr - 20\log_{10} f[\text{MHz}] + 23,56\text{dB}}{20 \cdot n}} \quad (7)$$

Na taj način dobijeni su skupovi dometa za svaki od AP ponaosob (ukupno osam skupova). Proračunati dometi predstavljaju poluprečnike kružnica sa centrom u mernim pozicijama, pa je moguće iz svake merne pozicije konstruisati tačno jednu kružnu liniju.

Iz dobijenih skupova dometa, u obzir za estimaciju pozicija AP nisu uzimane sve vrednosti. Ako se posmatra sl.2. može se ustanoviti da model predikcije ne daje zadovoljavajuće rezultate za merne pozicije koje se nalaze bliže od 3m od AP. U toku razvoja algoritma testirane su različite vrednosti dometa što je dovelo do zaključka da

merne pozicije koje se nalaze u opsegu od 3m do 16m u odnosu na AP, daju najkorektnije rezultate, u odnosu na druge vrednosti, te su samo one i korišćene prilikom estimacije pozicija AP.



Sl. 3. Estimacija pozicija AP postupkom trijangulacije:
(a) Idealan scenario i (b) Verovatniji scenario.

Nakon filtriranja, svaki od skupova je sortiran po neopadajućem poretku i određeni su preseki svake tri kružnice postupkom trijangulacije. Da bi se svake dve od tri kružnice sekle međusobno u tačno dve tačke, potrebno je i dovoljno da važi [10]:

$$|r_1 - r_2| < |C_1 C_2| < r_1 + r_2 \quad (8)$$

$$|r_1 - r_3| < |C_1 C_3| < r_1 + r_3 \quad (9)$$

$$|r_2 - r_3| < |C_2 C_3| < r_2 + r_3 \quad (10)$$

U slučaju da su ispunjena sva tri uslova (8)-(10), pronalazi se presek prve dve kružnice, a zatim proverava da li neka od dve dobijene tačke pripada trećoj kružnici. Moguća su dva scenarija. Prema prvom scenariju (sl.3(a)) postoji tačno jedna tačka koja pripada trećoj kružnici. Prema drugom scenariju (sl.3(b)), koji je verovatniji, nijedna od dobijene dve tačke ne pripada trećoj kružnici. U tom slučaju, ukoliko se jedna od dobijenih tačaka nalazi na rastojanju $D \leq 6m$ u odnosu na treću kružnicu, ona se koristi prilikom estimacije pozicija AP.

Koordinate AP se računaju kao srednje vrednosti koordinata presečnih tačaka kružnica, dobijenih postupkom trijangulacije.

V. ANALIZA TAČNOSTI

Nakon estimacije pozicija AP koristeći četiri prethodno razmotrena optimizovana propagaciona modela, vršena je komparacija dobijenih rezultata sa stvarnim vrednostima pozicija AP koje su prikazane u Tabeli 2. Na taj način određene su apsolutne greške estimiranih pozicija AP u odnosu na stvarne, srednje greške i standardne devijacije.

TABELA 2: PREGLED STVARNIH POZICIJA AP.

AP	x [m]	y [m]
1	13.10	14.56
2	60.14	13.51
3	103.05	13.51
4	133.92	14.56
5	13.10	38.85
6	49.45	40.15
7	96.32	40.15
8	133.90	38.85

Prilikom testiranja algoritma korišćen je skup od 403 merne pozicije, pri čemu je u svakoj merenje ponovljeno po 4 puta, što ukupno čini 1612 mernih podataka.

Ilustracije radi u tabeli 3 dat je pregled estimiranih pozicija AP dobijenih Optimizacijom 4. U kolonama R1-R4 prikazane su apsolutne greške estimiranih pozicija AP (dobijenih Optimizacijama 1-4) u odnosu na stvarne.

TABELA 3: PREGLED POZICIJA AP DOBIJENIH OPTIMIZACIJOM 4 I APSOLUTNIH GREŠAKA ZA SVE OPTIMIZACIJE.

AP	x [m]	y [m]	R1 [m]	R2 [m]	R3 [m]	R4 [m]
1	16.31	14.73	3.17	3.59	3.40	3.22
2	60.75	13.21	0.63	0.72	0.70	0.68
3	105.85	17.09	4.51	4.52	4.45	4.55
4	129.44	15.78	4.33	4.78	3.90	4.64
5	16.25	40.52	3.07	2.33	3.81	3.57
6	45.63	40.97	3.70	2.69	3.91	3.91
7	96.33	41.54	1.40	3.55	0.66	1.39
8	131.46	40.90	2.82	3.92	3.75	3.18

Pri rešavanju realnih problema od interesa je koristiti što je moguće manje parametara jer se na taj način smanjuje broj potrebnih merenja, a samim tim pojednostavljuje i ubrzava postupak dolaska do rešenja. Shodno tome, za ilustraciju je izabrana Optimizacija 4 jer predstavlja rešenje koje je najbliže realnom slučaju - za određivanje pozicija svih osam AP koristi se faktor opadanja nivoa snage signala koji je dobijen na osnovu merenih podataka za dva AP: AP01 i AP07. Pored toga, Optimizacija 4 predstavlja primer primene predloženog algoritma bez prethodnog detaljnog poznavanja prostora u kome se vrši estimacija pozicija AP. Dakle, ukoliko su rezultati analize za ovaj slučaj zadovoljavajući, može se smatrati da predloženi algoritam daje dobre rezultate.

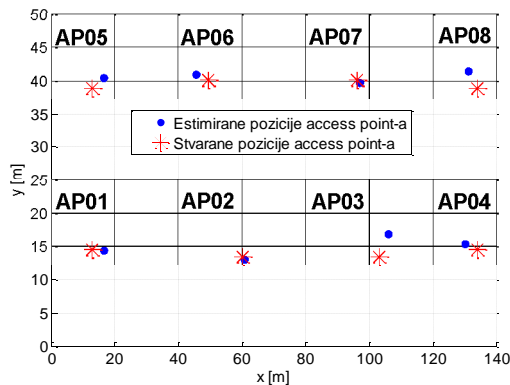
TABELA 4: PREGLED VREDNOSTI SREDNJIH GREŠAKA I STANDARDNIH DEVIJACIJA ZA SVE OPTIMIZACIJE.

Optimizacija	1	2	3	4
Sr. greška po x [m]	2.42	2.51	2.65	2.56
St. devijacija po x [m]	1.43	1.61	1.34	1.53
Sr. greška po y [m]	1.32	1.53	1.27	1.40
St. devijacija po y [m]	1.00	1.19	1.19	1.09
Sr. greška po rastojanju [m]	2.94	3.26	3.07	3.14
St. devijacija po rastojanju [m]	1.34	1.32	1.50	1.42

Ako se posmatraju rezultati iz tabele 4, može se zaključiti da se minimalne srednje greške (apsolutne) po x i y koordinati, kao i po rastojanju (estimiranih pozicija AP u odnosu na stvarne) dobijaju primenom Optimizacije 1, 3 i 1, respektivno. Minimalne standardne devijacije po x i y koordinati i po rastojanju dobijaju se primenom Optimizacije 3, 1 i 2, respektivno. Ove vrednosti pogodno je uporediti sa performansama Optimizacije 4, koja je od interesa zbog prethodno pomenutih razloga. Što se srednje greške po x i y koordinati i po rastojanju tiče performanse su lošije (u odnosu na najbolje iz skupa Optimizacija 1-3) za 5,79%, 10,24% i 6,8%, respektivno. Performanse u smislu minimalne standardne devijacije su lošije (u odnosu na najbolje iz skupa Optimizacija 1-3) za 14,18%, 9% i 7,58%, respektivno. Kao što se može videti, performanse Optimizacije 4 su neznatno lošije u odnosu na najbolje, a

srednja greška i standardna devijacija ne prelaze 3,2m i 1,5m, respektivno.

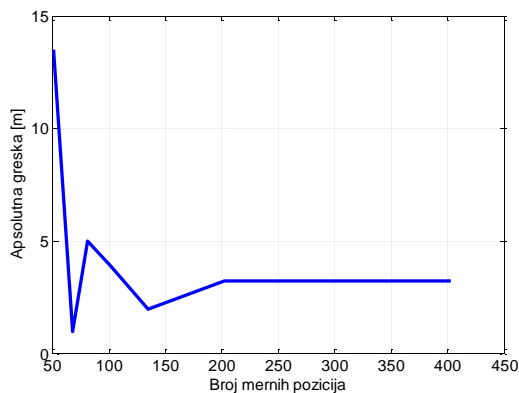
Ilustracije radi na sl.4. prikazane su stvarne i estimirane pozicije AP, dobijene *Optimizacijom 4*. Može se zaključiti da korišćena optimizacija predikcionog modela na kom se zasniva predloženi algoritam daje dovoljno dobre rezultate za realnu primenu.



Sl. 4. Komparacija stvarnih pozicija AP sa estimiranim, određenih *Optimizacijom 4*.

VI. ANALIZA VREDNOSTI GREŠKE U ZAVISNOSTI OD BROJA MERNIH POZICIJA

Jedan od ključnih parametara koji se mora uzeti u obzir prilikom ocenjivanja efikasnosti algoritma jeste broj mernih pozicija na osnovu kojih se vrši estimacija pozicija AP. Naime, veoma je važno posedovati informaciju o tome koliki je minimalan broj mernih pozicija potreban da bi pozicije AP bile estimirane sa određenom tačnošću.



Sl. 5. Zavisnost apsolutne greške u funkciji broja mernih pozicija.

Ilustracije radi na sl.5. prikazana je zavisnost greške (apsolutne greške estimirane pozicije AP01 dobijene primenom *Optimizacije 4* u odnosu na stvarnu) u funkciji broja mernih pozicija. Za ove potrebe, iz skupa od 403 merne pozicije (RSSI baza) na slučajan način su birani skupovi sa određenim brojem mernih pozicija (svaka druga merna pozicija, svaka treća, itd.). Može se zaključiti da predloženi algoritam za više od 55 mernih pozicija estimira poziciju AP sa greškom manjom od 10m, dok za više od 65 merenja greška pada ispod 5m. Za više od 200 mernih pozicija greška ulazi u zasićenje, odnosno sa daljim povećanjem broja mernih pozicija ne dolazi do povećanja tačnosti algoritma. Do toga dolazi usled postojanja velikog broja mernih pozicija u kojima nema radio vidljivosti između AP i klijenta i koje se ne mogu

upotrebiti prilikom estimacije pozicija AP.

VII. ZAKLJUČAK

U ovom radu predložen je algoritam za određivanje pozicija AP WLAN infrastrukture.

Od četiri razmatrana načina optimizacije empirijskog propagacionog modela, bitno je istaći *Optimizaciju 4* jer predstavlja primenu predloženog algoritma bez detaljnog poznavanja prostora u kome se vrši estimacija pozicija AP. Kao što je pokazano u poglavlju VI, slučajnim izborom više od 65 mernih pozicija, pomenuta *Optimizacija* estimira pozicije AP sa greškom (apsolutna greška estimiranih pozicija AP dobijenih primenom *Optimizacije 4* u odnosu na stvarne) manjom od 5m. Odstupanja *Optimizacije 4* u smislu srednje greška i standardne devijacije ne prelaze 3,2m i 1,5m, respektivno. Ako se svemu tome pridoda da prostor za koji je vršeno istraživanje ima jako loše osobine u smislu regularnosti prostiranja radio-talasa, a da su dobijeni zadovoljavajući rezultati, može se zaključiti da predloženi algoritam predstavlja prihvatljivo rešenje za određivanje pozicija AP u zatvorenom prostoru.

LITERATURA

- [1] M. Borenović, A. Nešković, „Positioning in Indoor Mobile Systems”, Radio Communications, Alessandro Bazzi (Ed.), ISBN: 978-953-307-091-9, INTECH, April 2010, p. 597 - 618, Available online at: <http://scivo.com/articles/show/title/positioning-in-indoor-mobile-systems>
- [2] S.Zvanovec, P.Pechac, M.Klepal, „Wireless LAN Networks Design:Site Survey or Propagation Modeling? ”, December 2003, Available online at: http://www.radioeng.cz/fulltexts/2003/03_04_42_49.pdf
- [3] M.Valek, S.Zvanovec, P.Pechac, „Indoor Propagation Measurement for Wireless Systems Operating in 2.45GHz ISM Band”, Radioengineering, December 2002, p. 48-52, Available online at: http://www.radioeng.cz/fulltexts/2002/02_04_48_52.pdf
- [4] <http://www.labplan.ufsc.br/congressos/powertech07/papers/541.pdf> August 2010
- [5] http://www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004_2005_slides/Path_loss_models.pdf, November 2004
- [6] P. Hsu, „Site Planning and Wireless Network Installation”, Moxa White Paper, August 2008, Available online at: http://www.excelnex.com/White_Paper/
- [7] M. Borenović, A. Nešković. „Indoor georeferenced RSSI database”, Jun 2009, Available online at: <http://telekomunikacije.etf.rs/research/wlanpositioning/>
- [8] <http://telekomunikacije.etf.rs/predmeti/te3rkj/>, April 2006
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>, August 2010
- [10] J.D.Kečkic, „Matematika sa zbirkom zadataka za gimnaziju: opštu i prirodno-matematičkog smera i za prirodno-matematičko područje rada”, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2003

ABSTRACT

This paper presents an algorithm for estimating the position of access points for WLAN infrastructure, using the empirical propagation model. The algorithm has been implemented in four different ways and for each of them the error analysis have been carried out. The aim is to develop the algorithm to be able to determine the positions of the access points in an indoor environment. Analyzing the results, it was found the proposed algorithm gives good enough results for real applications.

Determining the Position of Access Points for WLAN Infrastructure Indoors

Milan Matić, Aleksandar Nešković