

Analiza uticaja kvaliteta signala GSM/DCS baznih stanica na određivanje pozicije mobilnih korisnika korišćenjem *Support Vector Regression* algoritma

Majda Petrić, Aleksandar Nešković, Nataša Nešković
Katedra za telekomunikacije, Laboratorija za radio
komunikacije
Elektrotehnički fakultet Univezriteta u Beogradu
Beograd, Republika Srbija
majdap@etf.rs, neshko@etf.rs, natasha@etf.rs

Miloš Borenović
Vlatacom
Beograd, Republika Srbija
milos.borenovic@gmail.com

Sadržaj—U okviru ovog rada predstavljena su realizacije dva tipa modela za pozicioniranje mobilnih korisnika na osnovu izmerenih nivoa signala obližnjih GSM (*Global System for Mobile Communications*), odnosno DCS (*Digital Cellular Service*) baznih stanica. Modeli su realizovani korišćenjem SVR (*Support Vector Regression*) algoritma. Pri realizaciji i ispitivanju tačnosti predloženih modela korišćeni su realni podaci prikupljeni u suburbanom okruženju. Analiziran je uticaj radio-vidljivosti i kvaliteta signala baznih stanica na tačnost predloženih modela, i ispitane su dve mogućnosti za njeno poboljšanje.

Ključne riječi - DCS; GSM; pozicioniranje; SVR; kvalitet signala.

I. UVOD

Veliko interesovanje u proteklih nekoliko godina za razvoj tehnika za pozicioniranje korisnika u javnim mobilnim sistemima prvenstveno je nastalo iz potrebe za određivanjem lokacije mobilnog korisnika u slučaju iniciranja E112 (Evropa), odnosno E911 (SAD), servisa hitnog poziva. S druge strane, razvoj datih tehnika doveo je i do mogućnosti razvoja niza komercijalnih LBS servisa (*Location Based Service*). Prednost novih sistema za pozicioniranje koji se zasnivaju na korišćenju infrastrukture javnih mobilnih sistema u odnosu na danas najčešće korišćeni GPS (*Global Positioning System*) su smanjenje kompleksnosti i cene mobilnog terminala (MT), duže trajanje baterije, kao i prevazilaženje nedostataka GPS sistema vezanih za pozicioniranje u zatvorenom prostoru. Osnovna smernica današnjih istraživanja jeste postizanje što veće tačnosti u pozicioniranju, ali uz što je moguće manje izmena na strani mreže i MT-a. Zahtevi po pitanju tačnosti tehnika za pozicioniranje zavise od tipa aplikacija kojima su namenjene, kao i od toga da li se proračun prostornih koordinata lokacije vrši na strani mreže (*network-based*) ili na strani mobilnog terminala (*mobile-based*). Kao referentne vrednosti za tačnost najčešće se koriste zahtevi koji se odnose na servis hitnog poziva, a koji su definisani od strane FCC (*Federal*

Communication Commission) [1] i EC (*European Commission*) [2].

U okviru ovog rada biće predstavljena dva tipa *network-based* modela za pozicioniranje kod kojih se proračun prostornih koordinata trenutne pozicije mobilnog korisnika vrši na osnovu izmerenih vrednosti nivoa signala (*Received Signal Strength*, RSS) servisne i susednih GSM, odnosno DCS baznih stanica. Za razliku od tehnika za pozicioniranje koje se zasnivaju na merenju vremena propagacije ili pravca nailaska GSM/DCS signala, dati pristup ne zahteva izmene na strani mobilnog terminala i manje je osetljiv na NLOS (*Non Line of Sight*) uslove propagacije [3]. Dodatno, ovakav pristup omogućava dobijanje informacije o poziciji mobilnog korisnika iz signala većeg broja baznih stanica, čime se postiže veća tačnost tehnike pozicioniranja [4], [5].

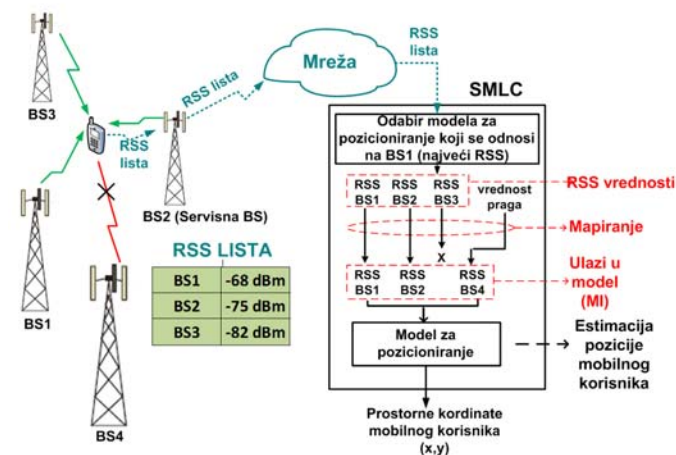
Za određivanje nelinearne relacije koja postoji između izmerenih RSS vrednosti u nekoj tački i njenih prostornih koordinata korišćen je SVR algoritam. SVR pripada grupi *Support Vector Machine* (SVM) *learning* algoritama za pronalaženje opštih relacija u skupovima podataka [6], [7], a namenjen je rešavanju problema regresije. Postoji već nekoliko primena SVM algoritama u oblasti pozicioniranja mobilnih korisnika [8]-[12]. Za razliku od [8]-[11], realizacija i ispitivanje performansi modela za pozicioniranje predloženih u ovom radu izvršeno je korišćenjem podataka iz realne mreže, optimizovane za korisnički servis. Dodatno, modeli predloženi u ovom radu odnose se na pozicioniranje u pojedinačnoj tački, bez naknadnih obrada koje mogu povećati tačnost pozicioniranja [13], [14]. U [12], korišćenjem podataka iz realnog urbanog okruženja, postignuta je tačnost od 5m u 50% slučajeva, odnosno srednja greška pozicioniranja od 15m. Međutim, dati rezultati dobijeni su verifikacijom modela sa podacima izmerenim na istim lokacijama kao i u slučaju prikupljanja podataka korišćenih za generisanje modela. S druge strane, za realizaciju i verifikaciju modela predloženih u ovom radu korišćeni su podaci izmereni na odvojenim skupovima lokacija, čime se postiže veći stepen opštosti modela. Dodatno, analiziran je uticaj kvaliteta GSM/DCS signala na tačnost modela za pozicioniranje realizovanih

korišćenjem SVR algoritma, odnosno tkz. „missing value“ problem [12]. Predložena su i ispitana dva rešenja.

Postupak određivanja pozicije mobilnog GSM ili DCS korisnika u slučaju predložene tehnike pozicioniranja opisan je u okviru drugog poglavlja. Osnovni koncept SVR algoritma izložen je u trećem poglavlju. Način realizacije modela za pozicioniranje predstavljen je u okviru četvrtog poglavlja. Rezultati ispitivanja performansi predloženih modela i analiza uticaja kvaliteta GSM/DCS signala na tačnost pozicioniranja dati su u okviru petog poglavlja. Zaključak je iznet u šestom poglavlju.

II. POSTUPAK ODREĐIVANJA POZICIJE MOBILNOG KORISNIKA

U slučaju tehnike pozicioniranja predložene u ovom radu, za svaku baznu stanicu GSM, odnosno DCS mreže definiše se poseban model za pozicioniranje, na osnovu realnih podataka prikupljenih merenjem u njenoj zoni pokrivanja. Ilustracija postupka određivanja pozicije mobilnog korisnika prikazana je na Sl. 1. Procena nepoznatih prostornih koordinata mobilnog korisnika vrši se na osnovu vrednosti nivoa signala servisne i šest susednih baznih stanica (BS) koje mobilni terminal (MT) izmeri na trenutnoj poziciji mobilnog korisnika. Merenje nivoa signala servisne i susednih BS predstavlja standardizovan postupak, koji MT vrši periodično radi omogućavanja praćenja mobilnosti korisnika u neaktivnom modu rada, odnosno *handover*-a u toku uspostavljenе veze. Izmerene vrednosti nivoa signala baznih stanica (RSS vrednosti), MT prosleđuje ka servisnoj BS kroz slanje *Measurement Report*-a, podržanog od strane postojeće signalizacije. Na taj način, izbegnute su bilo kakve izmene na strani MT. U okviru *Measurement report*-a, izmerene RSS vrednosti predstavljene su u vidu vrednosti RxLev parametra. Servisna BS prosleđuje date podatke preko BSC kontrolera (*Base Station Controller*) dalje ka određenom SMLC (*Serving Mobile Location Center*) centru. U SMLC-u se za svaku baznu stanicu GSM/DCS mreže implementira poseban model za pozicioniranje. Odabir modela za pozicioniranje, koji će se koristiti za proračun prostornih koordinata posmatranog mobilnog korisnika, vrši se na osnovu *Cell-ID* bazne stanice sa najvećom RSS vrednošću u okviru *Measurement Report*-a. Razlog zbog koga se ne koristi model



Slika 1. Ilustracija postupka određivanja pozicije mobilnog korisnika.

koji odgovara servisnoj BS, leži u činjenici da usled određenih funkcionalnosti sistema (izbegavanja *ping-pong* efekta kod *handover*-a, korišćenja *load balancing*-a, itd.) servisna BS ne mora uvek biti i ona koja je najbliža mobilnom korisniku. Nakon selekcije odgovarajućeg modela za pozicioniranje, vrši se mapiranje RSS vrednosti koje je izmerio MT u odgovarajuće ulaze datog modela (MI, *Model Inputs*). MI vrednosti predstavljaju RSS vrednosti određenog skupa baznih stanica (tkz. referentnih BS), koje imaju najveću verovatnoću radio-vidljivosti u oblasti koju pokriva dati model za pozicioniranje, odnosno za koje postoji najveća verovatnoća da im je nivo signala iznad praga prijema. Razlog za uvođenje mapiranja jeste činjenica da u različitim tačkama unutar posmatrane oblasti postoji i „vidljivost“ različitih BS. Takođe, broj „vidljivih“ BS može se razlikovati od jedne do druge tačke. Mapiranje se vrši tako da se izmerene RSS vrednosti, koje pripadaju baznim stanicama koje nisu referentne za odabrani model, odbacuju. S druge strane, u slučaju kada referentna BS nije „vidljiva“ sa trenutne pozicije mobilnog korisnika za njoj odgovarajuću MI vrednost usvaja se fiksna vrednost od -110 dBm, koja je ispod praga prijema. Nakon završenog mapiranja, MI vrednosti se dovode na ulaz izabranog modela za pozicioniranje, koji na osnovu njih vrši estimaciju prostornih koordinata mobilnog korisnika korišćenjem SVR metode.

III. OSNOVNI KONCEPT SVR ALGORITMA

Kao što je već ranije spomenuto, SVR predstavlja poseban tip SVM optimizacionih algoritama za pronalaženje opštih relacija u skupovima podataka, a namenjen je rešavanju problema regresije. Kao i svi SVM algoritmi, SVR se zasniva na preslikavanju podataka iz originalnog u karakteristični prostor veće dimenzionalnosti (*feature domen*), gde se nelinearne relacije koje postoje u nekom skupu podataka mogu predstaviti jednostavnim linearnim funkcijama [6]. Problem povećanja kompleksnosti algoritma, usled uvođenja prostora veće dimenzionalnosti, rešen je korišćenjem *kernel* funkcija. *Kernel* funkcije omogućavaju implicitno uvođenje karakterističnog prostora korišćenjem tkz. „*kernel* trika“ [7], koji eliminiše potrebu za poznavanjem same funkcije preslikavanja podataka iz originalnog u karakterističan prostor, dok kompleksnost proračuna ostaje ista kao u originalnom prostoru. Na taj način, omogućeno je preslikavanje podataka iz originalnog u karakteristični prostor čija dimenzionalnost može biti i beskonačna.

U posmatranom slučaju, primena SVR algoritma sastoji se iz dve faze:

- trening faze (*off-line*) – u okviru koje se otkriva nelinearna relacija koja postoji između poznatih skupova ulaznih podataka (RSS vrednosti) i izlaznih podataka (prostornih koordinata) modela za pozicioniranje,
- verifikacione faze (*on-line*) – u okviru koje se prethodno naučena relacija koristi za estimaciju nepoznatih prostornih koordinata na osnovu RSS vrednosti izmerenih na trenutnoj lokaciji mobilnog korisnika.

Pronalaženje funkcije za estimaciju prostornih koordinata na osnovu RSS vrednosti odgovara rešavanju problema konveksne optimizacije, koji ima formu *quadratic programming* (QP) problema, čime je omogućeno pronalaženje globalno optimalnog rešenja [6]. Takođe, SVR algoritam pripada grupi *sparse kernel machine* algoritama [6] koje karakterišu brza *on-line* faza, što ga čini pogodnim za korišćenje u slučaju *real-time* aplikacija, kao što je pozicioniranje mobilnih korisnika.

IV. REALIZACIJA MODELA ZA POZICIONIRANJE

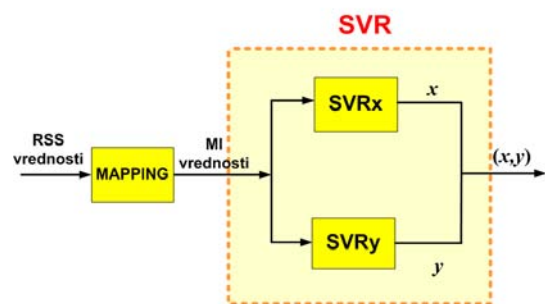
U okviru ovog rada realizovana su dva osnovna tipa modela za pozicioniranje korišćenjem SVR algoritma: GSM SVR i DCS SVR model. Treniranje, odnosno generisanje SVR modela, kao i kasnija verifikacija datih modela, izvršeni su korišćenjem realnih podataka prikupljenih tokom merne kampanje sprovedene na teritoriji grada Beograda. Oba modela su realizovana za lokaciju bazne stanice Mobilne Telefonije Srbije (MTS), koja se nalazi na teritoriji opštine Zemun. Teritorija u kojoj je izvršeno prikupljanje podataka jeste ravničarski teren suburbanog tipa, sa gusto raspoređenim nižim zgradama i kućama. Merenje RSS vrednosti baznih stanica na pojedinim lokacijama (mernim tačkama) vršeno je pomoću *Rohde&Schwarz TSMQ* mrežnog skenera. Geografske koordinate datih lokacija dobijene su korišćenjem diferencijalnog GPS prijemnika, čija medijanska greška pozicioniranja iznosi manje od 5m. Za preuzimanje izmerenih RSS i GPS podataka korišćen je laptop sa "R&S Romes v4" softverom.

Geografska oblast koju pokrivaju realizovani SVR modeli oblika je kruga sa centrom u poziciji MTS-ove BS na koju se odnose dati modeli. Poluprečnik date oblasti iznosi 1km, a usvojen je tako da se 99.9% mernih tačaka u kojima najveća izmerena RSS vrednost pripada datoj BS, nađe unutar posmatrane zone. Na taj način dobijena zona pokrivanja posmatranih modela obuhvata 31 391 mernu tačku. Geografska oblast na koju se odnose realizovani modeli prikazana je na Sl. 2. Zelenom bojom označena je pozicija MTS-ove BS na koji se odnosi model, a plavom bojom ulice duž kojih je vršeno merenje. Pozicija MTS-ove BS je uzeta za referentnu, odnosno vrednosti x i y koordinata definisane su relativno u odnosu na nju. Za datu geografsku oblast određene su referentne bazne stanice, 7 GSM i 7 DCS BS, koje imaju najveću „vidljivost“ u toj oblasti i čije RSS vrednosti će predstavljati MI ulaze odgovarajućih SVR modela.

Realizacija oba tipa SVR modela izvršena je u MATLAB paketu, korišćenjem specijalnog SVM *toolbox*-a [15]. Kako određivanje lokacije mobilnog korisnika predstavlja dvodimenzionalni problem, svaki SVR model je realizovan iz dva podmodela: SVR_x i SVR_y. SVR_x model treniran je sa ciljem pronalaženja veze između RSS vrednosti i prostorne koordinate x , a SVR_y radi pronalaženja relacije između RSS vrednosti i prostorne koordinate y . Zajedno, ta dva modela formiraju SVR model za određivanje pozicije mobilnog korisnika u dvodimenzionalnom prostoru, prikazan na Sl. 3. U slučaju GSM SVR modela, kao ulaz u model (tj. MI vrednosti) korišćeni su nivoi signala 7 referentnih GSM BS, dok u slučaju DCS SVR modela nivoi signala 7 referentnih DCS BS.



Slika 2. Geografska oblast pokrivanja SVR modela.



Slika 3. Opšta struktura SVR modela.

Za treniranje predloženih SVR modela korišćeni su podaci prikupljeni u 15% slučajno odabranih mernih tačaka iz geografske oblasti koju pokrivaju dati SVR modeli. SVR_x i SVR_y podmodeli realizovani su korišćenjem *Laplacian kernel* funkcije. Kako RSS vrednosti u okviru neke makro ćelije imaju raspodelu blisku Gausovoj, korišćena je kvadratna funkcija greške kao kriterijum za optimalno treniranje SVR_x i SVR_y podmodela [16]. Krosvalidacija [17], odnosno postupak određivanja optimalnih vrednosti parametara SVR modela, izvršena je testiranjem predloženih SVR modela sa 35% slučajno odabranih mernih tačaka. Optimalne vrednosti parametara svakog od SVR modela odabrane su tako da se prilikom krosvalidacije datog modela dobije minimalna srednja vrednost greške pozicioniranja (*Distance Error*, DE). Greška pozicioniranja definisana je kao Euklidsko rastojanje između tačne i procenjene geografske lokacije mobilnog korisnika.

V. ANALIZA PERFORMANSI SVR MODELA ZA POZICIONIRANJE I UTICAJ KVALITETA SIGNALA BS NA GREŠKU POZICIONIRANJA

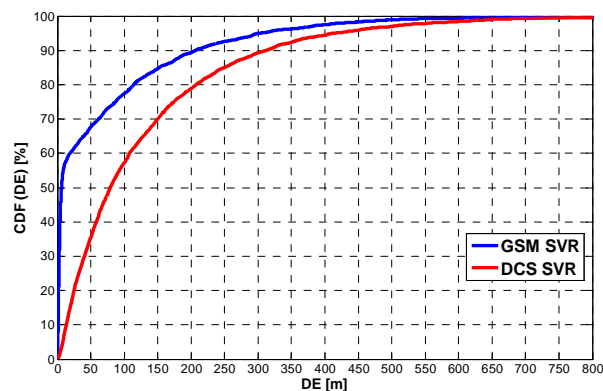
Verifikacija performansi prethodno optimalno istreniranih SVR modela, izvršena je korišćenjem preostalih 50% mernih tačaka. Rezultati verifikacije GSM SVR i DCS SVR modela prikazani su u okviru Tabele 1. Performanse predložena dva modela analizirane su sa stanovišta srednje vrednosti greške pozicioniranja (Srednja DE), standardne devijacije greške

TABELA I. REZULTATI VERIFIKACIJE REALIZOVANIH SVR MODELA ZA POZICIONIRANJE.

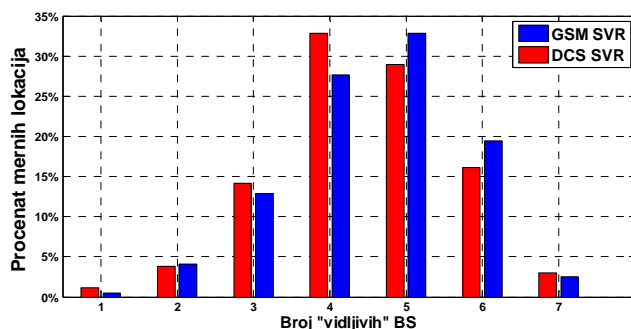
| Greška pozicioniranja (<i>Distance Error, DE</i>) | | | | | |
|---|----------------|-------------------|------------|------------|-----------------|
| Tip SVR modela | Srednja DE [m] | Medijanska DE [m] | 67% DE [m] | 95% DE [m] | σ DE [m] |
| GSM SVR | 65.1 | 6.2 | 47.2 | 301 | 114 |
| DCS SVR | 129.2 | 79 | 137.7 | 412.6 | 143.5 |
| GSM1 SVR | 73.8 | 6.6 | 61.8 | 334 | 120.9 |
| DCS1 SVR | 128.8 | 77.8 | 136.5 | 411.7 | 143.8 |
| GSM2 SVR | 63.9 | 4.15 | 54.5 | 310.7 | 109.6 |
| DCS2 SVR | 131.5 | 78.5 | 138.6 | 422 | 147.5 |

pozicioniranja (σ DE), medijanske vrednosti greške pozicioniranja (Medijanska DE), kao i vrednosti greške pozicioniranja koja nije premašena u 67% slučajeva (67% DE), odnosno u 95% slučajeva (95% DE). Funkcije kumulativne raspodele vrednosti grešaka pozicioniranja GSM SVR i DCS SVR modela prikazane su na Sl. 4. Rezultati prikazani u okviru Tabele 1 ukazuju na veliku razliku u tačnosti predloženih SVR modela, koja je posledica različite „vidljivosti“ i nivoa (kvaliteta) signala GSM i DCS baznih stanica referentnih za date modele. Procenat mernih lokacija u okviru zone pokrivanja datih modela, u kojima je „vidljivo“ n referentnih BS ($n=1..7$) u slučaju GSM i DCS SVR modela, prikazan je na Sl. 5. U slučaju GSM SVR modela, čak u 95% mernih tačaka postojala je „vidljivost“ 3 ili više referentnih BS, što je rezultovalo malom vrednošću medijanske (6.2m) i 67% DE (47.2m). Mali broj relativno velikih vrednosti grešaka pozicioniranja, koje su se manifestovale kroz vrednost 95% DE, posledica su malog broja mernih lokacija u kojima je „vidljivo“ manje od 3 referentne GSM BS. Za razliku od GSM SVR modela kod koga je u najvećem broju mernih lokacija „vidljivo“ 5 referentnih BS, u slučaju DCS SVR modela taj broj je redukovan na 4 referentne BS. Dodatno, povećan je broj mernih lokacija u kojima je „vidljivo“ 3 ili manje referentnih BS. Smanjenje broja „vidljivih“ referentnih BS na mernim lokacijama uslovlilo je lošije uslove za rešavanje problema regresije korišćenjem SVR algoritma. Uzrok ove pojave jeste način na koji su tretirane nepostojeće MI vrednosti. Usvajanjem fiksne vrednosti ispod praga prijema od -110dBm za nivo signala referentne BS koja nije „vidljiva“ na posmatranoj lokaciji, gubi se informacija o stvarnom položaju MT u odnosu na datu referentnu BS. Na povećanje greške pozicioniranja kod DCS SVR modela dodatno su uticale niske nestabilne vrednosti nivoa signala pojedinih referentnih DCS BS, koje osciluju oko praga prijema.

Dobijeni rezultati ukazuju na to da tačnost predloženih SVR modela za pozicioniranje u velikoj meri zavisi od broja nepostojećih RSS vrednosti u trening skupu podataka, načina na koje su one tretirane, kao i od kvaliteta signala referentnih BS koji se koriste u procesu estimacije lokacije mobilnog korisnika. U cilju poboljšanja performansi predloženih SVR modela za pozicioniranje ispitivan je uticaj modifikovanja i prilagođavanja trening skupa podataka SVR algoritmu. Razmatrana su dva pristupa: eliminisanje iz trening skupa mernih tačaka sa malom „vidljivošću“ referentnih BS i normalizacija MI vrednosti, odnosno, pozicioniranje na osnovu relativnog odnosa nivoa signala referentnih BS, umesto na osnovu njihovih apsolutnih vrednosti.



Slika 4. Funkcije kumulativne raspodele DE vrednosti za GSM SVR i DCS SVR model.



Slika 5. Procenat mernih lokacija u kojima je „vidljivo“ n referentnih baznih stanica ($n=1..7$) za slučaj GSM SVR i DCS SVR modela.

U prvom slučaju, iz trening skupova podataka eliminisane su merne tačke u kojima je „vidljivo“ manje od 3 referentne BS i generisane su dva nova modela: GSM1 SVR i DCS1 SVR. Skupovi podataka namenjeni krosvalidaciji i verifikaciji modela nisu modifikovani kako bi bio obuhvaćen realan slučaj kad se mobilni korisnik može naći na lokaciji u kojoj je nivo signala samo jedne ili dve referentne BS iznad praga prijema. Rezultati verifikacije prethodno optimalno istreniranih GSM1 SVR i DCS1 SVR modela dati su u Tabeli 1. Analizom dobijenih rezultata može se primetiti blago pogoršanje performansi GSM1 SVR modela u odnosu na osnovni GSM SVR model. Razlog je u tome što merne tačke u kojima je „vidljivo“ manje od 3 referentne BS nisu korišćene u procesu treniranja SVR modela, zbog čega naučena funkcija za estimiranje prostornih koordinata u *on-line* fazi daje veću grešku pozicioniranja kod datog tipa mernih tačaka iz verifikacionog skupa. Međutim, performanse DCS1 SVR modela minimalno odstupaju od performansi osnovnog DCS SVR modela. Razlog je to što su u većem broju trening tačaka RSS vrednosti „vidljivih“ DCS BS blizu praga prijema, zbog čega naučena funkcija za estimaciju prostornih koordinata u *on-line* fazi daje manju grešku za tip mernih tačaka koje nisu obuhvaćene trening skupom.

Drugi pristup podrazumeva da se pozicioniranje mobilnog korisnika ne vrši na osnovu apsolutnih vrednosti nivoa signala referentnih BS, već na osnovu njihovog relativnog odnosa. Osnovna ideja ovog pristupa jeste da relativan odnos nivoa signala referentnih BS, u tačkama koje su prostorno blizu, treba

da bude sličan. Na taj način model za pozicioniranje postaje manje osetljiv na pojave koji mogu dovesti do trenutne promene nivoa signala referentnih BS na nekoj lokaciji (npr. slabljenje usled tela kroisnika). Normalizacija MI vrednosti izvršena je u odnosu na MI vrednost one referentne BS koja u posmatranoj mernoj tački ima najviši nivo signala, tačnije, oduzimanjem date vrednosti od ostalih MI vrednosti izmerenih u posmatranoj tački. Za slučaj korišćenja normalizovanih MI vrednosti, istrenirana su dva nova SVR modela za pozicioniranje: GSM2 SVR i DCS2 SVR. Rezultati verifikacije performansi ova dva modela prikazani su u okviru Tabele 1. U slučaju GSM2 SVR modela može se primetiti smanjenje medijanske DE, odnosno povećanje broja slučajeva sa relativno malom vrednošću greške pozicioniranja, posmatrano u odnosu na GSM SVR model. S druge strane, kod oba modela je došlo do povećanja broja slučajeva sa relativno velikom vrednošću greške pozicioniranja, što je uticalo na povećanje 67% DE i 95% DE. Na datu pojavu moglo je uticati postojanje mernih tačaka koje iako prostorno udaljene imaju sličan relativan odnos nivoa signala referentnih BS, kao što je slučaj tačaka sa niskim nivoima signala referentnih BS i tačaka u kojima referentne BS imaju visoke nivoe signala.

VI. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada ispitivan je problem pozicioniranja mobilnog korisnika na osnovu nivoa signala okolnih baznih stanica, kao i uticaj kvaliteta GSM/DCS signala na tačnost pozicioniranja. Realizovana su dva modela za pozicioniranje na osnovu RSS vrednosti GSM, odnosno DCS baznih stanica. Rezultati verifikacije upućuju da tačnost pozicioniranja datih SVR modela u velikoj meri zavisi od broja nepostojećih RSS vrednosti u trening skupu podataka, načina na koji su one tretirane, kao i od kvaliteta signala baznih stanica koji se koriste u procesu estimacije lokacije mobilnog korisnika. Dobijeni rezultati u slučaju GSM SVR modela (medijanska DE od 6.2m) ukazuju na to se SVR modeli za pozicioniranje mogu uspešno primeniti u oblastima sa dobrom pokrivenošću GSM signalom, kao što je slučaj sa urbanim i suburbanim okruženjima. S druge strane, kako DCS sistem koristi viši frekvencijski opseg (1800MHz) u odnosu na GSM sistem (900MHz), veće je propagaciono slabljenje signala DCS baznih stanica, što uslovljava lošiju „vidljivost“ referentnih BS, kao i niže, nestabilnije nivoe signala „vidljivih“ BS. Zbog toga, čak i u uslovima iste gustine GSM i DCS mreže u geografskoj oblasti od interesa, GSM SVR model pruža bolje performanse u odnosu na DCS SVR model. Dodatno, ispitivane su metode za prilagođavanje trening skupa podataka SVR algoritmu, a realizovani modeli za pozicioniranje pokazali su slične performanse kao i osnovni GSM, odnosno DCS SVR model.

Sprovedeno istraživanje predstavlja deo projekta TR 32051: „Razvoj i realizacija naredne generacije sistema, uređaja i softvera na bazi softverskog radija za radio i radarske sisteme“, podržanog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] FCC Encyclopedia, 911 and E-911 services. Available from: <http://www.fcc.gov/encyclopedia/9-1-1-and-e9-1-1-services>
- [2] Coordination Group on Access to Location Information for Emergency Services (CGALIES), "Report on implementation issues related to access to location information by emergency services (E112) in the European Union", (2002). Available from: http://ec.europa.eu/echo/civil_protection/civil/pdfdocs/cgaliesfinalreportv1_0.pdf
- [3] L. Zhang, C. Tao, G. Yang, "Wireless positioning: fundamentals, systems and state of the art signal processing techniques," InTech, Rijeka, Croatia, 2011.
- [4] M. Borenović, A. Nešković, D. Budimir, "Multi-system-multy-operator localization in PLMN using neural networks", International Journal of Communication System, Wiley Online Library, 2011.
- [5] H. Laitinen, J. Lahteenmaki, T. Nordstorm, "Database corelation method for GSM localization", IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 2504–2508, 2001.
- [6] C. M. Bishop, Pattern recognition and machine learning, Springer Science+Business Media, LLC, New York, USA, 2006.
- [7] J. Shawe-Taylor, N. Cristianini, Kernel methods for pattern analysis, Cambridge University Press, New York, USA, 2004.
- [8] H. Jiyan, G. Guan and Wan Qun, "Robust location algorithm based on weighted least-squares support vector machine (WLS-SVM) for non-line-of-sight environments", International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(25), pp. 5897-5905, 23 October, 2011.
- [9] G.Sun, W.Guo, "Robust Mobile Geo-Location Algorithm Based on LS-SVM", IEEE Transactions on vehicular technology, vol.54, no. 3, pp. 1037-1041, May 2005.
- [10] D. Xuereb and C.J.Debono, "Mobile Terminal Location Estimation Using Support Vector Machines", Proceedings of the 4th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing, ISCCSP 2010, Limassol, Cyprus, 3-5 March 2010.
- [11] H. Ghafoor, H. Zamiri-Jafarian, M. M. Mirsalehi, "Discrete Mobile Terminal Location Estimation Using Support Vector Machine", 15th Iranian Conference on Electric Engineering.
- [12] Z.Wu, C. Li, "Location estimation via Support Vector Regression", IEEE Transactions on mobile computing, , vol.6, no. 3, pp. 311-321, March 2007.
- [13] P. Kemppi, S. Nousiainen, "Database Correlation Method for multi-system positioning", IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 866–870, May 2006.
- [14] C.M. Takenga, Q. Wen, K. Kyamakya, "On the accuracy improvement issues in GSM location fingerprinting" IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 1–5, September 2006.
- [15] www.isis.ecs.soton.ac.uk/resources/svminfo.
- [16] A.Smola, Regression Estimation with Support Vector Learning Machines, 1996.
- [17] M. H. Hassoun, Fundamentals of Artificial Neural Networks, MIT press, Massachusetts Institute of Technology, USA, 1995.

ABSTRACT

In this paper, two types of positioning models, based upon utilization of received signal strength measured from nearby GSM (Global System for Mobile Communications) and DCS (Digital Cellular Service) base stations are proposed. Models were implemented using Support Vector Regression algorithm. Training and verification of proposed models was done by using real data, measured in a suburban environment. The accuracy of the proposed positioning models was analyzed in terms of the radio visibility of base stations and the quality of their signals. Furthermore, two possibilities for accuracy improvement were examined.

**THE INFLUENCE OF GSM/DCS BASE STATIONS'
SIGNAL QUALITY TO THE MOBILE USERS'
LOCALIZATION BASED UPON SUPPORT VECTOR
REGRESSION**

M. Petrić, A. Nešković, N. Nešković, M. Borenović