

Nove tehnike za poboljšanje tačnosti pozicioniranja u WCDMA/FDD mreži

Nataša G. Begović, Aleksandar M. Nešković

Sadržaj — Ako se pozicioniranje mobilnih korisnika zasniva na merenju vremenskog kašnjenja signala, značajan uzrok greške određivanja pozicije je NLOS propagacija. Razmatrano unapređenje metode pozicioniranja sadržano je u detekciji direktnog talasa. Direktna talasna komponenta se određuje kao komponenta sa najmanjim kašnjenjem i snagom većom od minimalne snage koju komponenta u estimovanom impulsnom odzivu treba da sadrži da bi se smatrala rezultatom propagacije, a ne šumom. U radu su analizirane tri metode izračunavanja te minimalne snage i prezentovani rezultati simulacije.

Gljučne reči — pozicioniranje, WCDMA, TOA, RTT, NLOS, prag relevantnosti.

I. UVOD

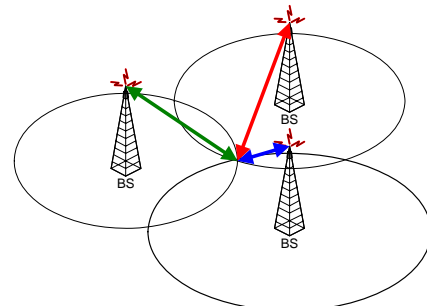
U literaturi su opisane različite tehnike pozicioniranja mobilnih korisnika u 3G mreži. U ovom radu se razmatra pozicioniranje korišćenjem vremenskih kašnjenja signala u WCDMA/FDD (*Wideband Code Division Multiple Access/Frequency Division Duplex*) mreži. WCDMA je evropski 3G standard sa kodnim višestrukim pristupom. Signali koji se emituju u različitim smerovima komunikacije su frekvencijski razdvojeni (FDD). Mnogi aspekti utiču na grešku pozicioniranja mobilnih korisnika, a to su: sinhronizacija (između mobilne i bazne stanice, odnosno između baznih stanica), efekat blizu/daleko i karakteristike same propagacije elektromagnetskih talasa (izostanak direktne dominantne talasne komponente i višestruka propagacija). Efekat "blizu/daleko" predstavlja nemogućnost detekcije udaljene bazne stanice za mobilne terminale koji su u blizini svoje servisne bazne stanice [1]. U propagaciji talasa, komponenta sa minimalnim vremenskim kašnjenjem je direktna (koja može i da izostane), a ako je njena snaga značajno veća od snage ostalih propagacionih komponenti označena je i kao dominantna. Rastojanje bazne stanice i mobilnog terminala proporcionalno je izmerenom vremenskom kašnjenju direktnog talasa u odnosu na trenutak emitovanja signala. Ukoliko je, pri propagaciji talasa direktna talasna komponenta ujedno i dominantna (LOS propagacija), njena detekcija kroz kriterijum maksimalne snage u estimovanom impulsnom odzivu kanala je jednostavna. Međutim, u urbanom propagacionom

okruženju, gotovo po pravilu direktna talasna komponenta nije i dominantna (NLOS propagacija). U tom slučaju se kriterijumom maksimalne snage u estimovanom impulsnom odzivu ne određuje vremensko kašnjenje direktne komponente, već neke druge talasne komponente, što za svoju posledicu ima veću grešku u proceni rastojanja bazne stanice i mobilnog terminala, a time i veću grešku u izračunatoj poziciji mobilnog terminala. Unapređenje metode pozicioniranja bazirane na merenju vremenskog kašnjenja signala sadržano je u mogućnosti da se direktna talasna komponenta detektuje, iako njena snaga nije maksimalna. U tu svrhu se definiše prag relevantnosti, kao minimalna snaga koju komponenta u estimovanom impulsnom odzivu treba da sadrži da bi se smatrala rezultatom propagacije, a ne šumom. Rastojanje mobilne i bazne stanice određuje se na osnovu vremenskog kašnjenja prve relevantne talasne komponente. U ovom radu su razmatrana tri različita načina izračunavanja praga relevantnosti talasne komponente.

U poglavlju II, prikazane su osnovne karakteristike metode pozicioniranja koja se zasniva na merenju vremenskih kašnjenja signala, a u poglavlju III, IV i V, razmatrani su načini izračunavanja praga relevantnosti talasne komponente. Poglavlje VI sadrži opis simulacije, dok su rezultati simulacije prikazani u poglavlju VII. Poglavlje VIII sadrži zaključak.

II. TOA/TDOA (TIME OF ARRIVAL/TIME DIFFERENCE OF ARRIVAL) TEHNIKA

TOA (*Time of Arrival*) tehnika se zasniva na proceni rastojanja mobilnog terminala i bazne stanice na osnovu vremena za koje radio-talas pređe to rastojanje.



Sl. 1. Princip triangulacije

Dvodimenziono pozicioniranje zahteva poznavanje najmanje 3 različita rastojanja (triangulacija). Pozicija mobilnog terminala nalazi se u preseku tri kruga, čiji su poluprečnici izmerena rastojanja, što je prikazano na Sl. 1.

Kako je WCDMA/FDD asinhrona mreža, tj. mobilni terminal ne zna početni trenutak u kome bazna stanica

emituje signal, TOA tehnika označava zapravo merenje tzv. RTT (*Round Trip Time*) parametrom. To je, zapravo vreme koje je potrebno da signal dođe od bazne stanice do mobilnog terminala i da se vrati nazad do bazne stanice.

III. METOD 1 IZRAČUNAVANJA PRAGA RELEVANTNOSTI TALASNE KOMPONENTE [2]

Metod 1 izračunavanja praga je najjednostavniji. Po njemu se prag relevantnosti talasne komponente definiše se kao vrednost koja je za Δ dB manja od maksimalne vrednosti profila snage. Specijalan slučaj za $\Delta=0$ odgovara proceni rastojanja mobilnog terminala i bazne stanice na osnovu maksimalne snage komponente u estimovanom impulsnom odzivu propagacionog kanala od date bazne stanice.

IV. METOD 2 IZRAČUNAVANJA PRAGA RELEVANTNOSTI TALASNE KOMPONENTE [2]

Slučajna promenljiva ξ , koja nastaje kao zbir kvadrata $2N$ realnih slučajnih promenljivih w_i sa *Gauss*-ovom raspodelom standardne devijacije σ_w , ima χ^2 raspodelu sa $2N$ stepena slobode i standardnom devijacijom σ_ξ [3].

$$\xi = \sum_{i=1}^{2N} w_i^2, \quad \sigma_\xi = 2\sqrt{N} \cdot \sigma_w^2 \quad (1)$$

Na strani prijema se sprovodi usrednjavanje K estimovanih profila snage (kvadrata impulsnog odziva), kao što je prikazano u jednačini (2), gde je $h_i(n)$ k -ti impulsni odziv propagacionog kanala. Slučajna promenljiva $z(n)$ ima χ^2 raspodelu sa srednjom vrednošću $m_z(n)$ koja je data izrazom 3 [3], gde je $h(n)$ srednja vrednost impulsni odziv kanala, a σ_h standardna devijacija impulsnog odziva.

$$z(n) = \frac{1}{K} \cdot \sum_{i=1}^K |h_i(n)|^2 \quad (2)$$

$$m_z(n) = E\{z(n)\} = |h(n)|^2 + \sigma_h^2, \quad (3)$$

Formula (3) ukazuje na to da i u slučaju kada je vrednost impulsnog odziva $|h(n)|$ nula, usrednjeni profil snage je različit od nule. Srednja vrednost promenljive $z(n)$ odstupa od kvadrata impulsnog odziva za konstantnu vrednost, pa je srednja vrednost komponente greške usrednjenog profila snage $m_{z,noise}$ jednaka tom odstupanju.

$$m_{z,noise} = \sigma_h^2 \quad (4)$$

Svaka talasna komponenta impulsnog odziva propagacionog kanala može da se modeluje kao kompleksna *Gauss*-ova. S obzirom da izraz (1) važeći za sumu realnih slučajnih promenljivih, K kompleksnih promenljivih $h_i(n)$ standardne devijacije σ_h iz izraza (2), se posmatraju kao $2K$ realnih slučajnih promenljivih standardne devijacije $\sigma_h/\sqrt{2}$. Formula (5) prikazuje srednju vrednost greške usrednjenog profila snage, koja nastaje kada se odgovarajuće vrednosti zamene u izraz (1).

$$\sigma_{z,noise} = \frac{1}{K} 2\sqrt{N} \cdot \frac{\sigma_h^2}{2} = \frac{\sigma_h^2}{\sqrt{K}} = \frac{m_{z,noise}}{\sqrt{K}} \quad (5)$$

U [3] je predloženo izračunavanje praga relevantnosti kao linearna kombinacija srednje vrednosti i standardne devijacije greške usrednjenog profila snage. Ako se u

formuli (6) zameni $\sigma_{z,noise}$ iz izraza (5), dobija se sledeća formula izračunavanja praga relevantnosti talasne komponente θ [2]:

$$\begin{aligned} \theta &= a \cdot m_{z,noise} + b \cdot \sigma_{z,noise} \\ &= m_{z,noise} \left(a + \frac{b}{\sqrt{K}} \right) \approx m_z \left(a + \frac{b}{\sqrt{K}} \right), \end{aligned} \quad (6)$$

gde su a i b koeficijenti pomenute linearne zavisnosti. Ukoliko je broj značajnih propagacionih komponenti relativno mali u odnosu na dužinu impulsnog odziva, što je i u većini slučajeva ispunjeno, srednja vrednost šuma usrednjenog profila snage $m_{z,noise}$ je približno jednaka srednjoj vrednosti profila snage signala m_z [2]. Aproksimacija $m_{z,noise} \approx m_z$ primenjena je u izrazu (6).

V. METOD 3 IZRAČUNAVANJA PRAGA RELEVANTNOSTI TALASNE KOMPONENTE [4]

U metodu 3, prag relevantnosti talasne komponente se izračunava na osnovu procenjene vrednosti šuma sadržanog u prijemnom signalu. Šum estimovanog impulsnog odziva predstavlja ono što ostaje kada se iz estimovanog impulsnog odziva eliminiše određeni broj komponenti sa najvećom snagom, u nastavku označen sa L . Jednačina (7) predstavlja izraz za izračunavanje praga relevantnosti talasne komponente, pri čemu su $m_{z,noise}$ i $\sigma_{z,noise}$ srednja vrednost i standardna devijacija snage procenjenog šuma, respektivno, a γ koeficijent linearne zavisnosti [4].

$$\theta = m_{z,noise} + \gamma \cdot \sigma_{z,noise} \quad (7)$$

VI. OPIS SIMULACIJE

Za potrebe analize tačnosti pozicioniranja mobilnog korisnika, korišćenjem pomenutih unapređenja, razvijeni su simulacioni modeli u programskim paketima Microsoft Visual C++ i Matlab. Imajući u vidu simetriju, koja nije idelna, ali postoji u značajnoj meri, u propagaciji signala u smeru bazna stanica-mobilni terminal i mobilni terminal-bazna stanica, u simulaciji je modelovan samo jedan smer i to od bazne stanice ka mobilnom terminalu. Na osnovu ove pretpostavke estimuje se samo polovina RTT parametra. Signali čija se vremenska kašnjenja mere su pilot signali baznih stanica, a merenja se sprovode u mobilnom terminalu. Pretpostavljena je idealna ćelijska struktura, koja se sastoji od 19 imaginarnih heksagona u čijim se centrima nalaze bazne stanice na međusobnom rastojanju od 1km. Mobilni terminal se kreće pravolinijski brzinom 50km/h. Bazne stanice emituju odgovarajuće pilot signale, pri čemu je svakoj od njih dodeljen jedinstven kod za skremblovanje. Simulirano je pozicioniranje mobilnih terminala u urbanom okruženju, jer je ono najkritičnije u pogledu uslova propagacije, a time i u pogledu greške pozicioniranja. Simulirani propagacioni efekti su: slabljenje usled prostiranja, višestruka propagacija talasa i LOS/NLOS propagacija. Analitički izraz za slabljenje srednje snage signala, u slučaju ravnog terena, frekvencije od 2GHz i omni antene [5] je:

$$L_p = \beta + \alpha * 10 \log(d), \quad (8)$$

gde su α i β konstante uslovljene tipom propagacione sredine, a d rastojanje između predajne i prijemne antene.

S druge strane, svaka talasna komponenta je definisana trenutkom generisanja, "životnim vekom" i nestajanjem, odnosno kompleksnom amplitudom, vremenskim kašnjenjem i incidentnim uglom. U toku kretanja mobilnog terminala, amplituda, vremensko kašnjenje i incidentni ugao talasnih komponenti variraju na osnovu geometrijskog pristupa koji je dat u [6]. *Small-scale fading* je modelovan kroz sinusoidalnu promenu amplitude talasne komponente u trajanju jedne poluperiode. U slučaju LOS propagacije, simulirani impulsni odziv kanala sadrži i direktnu talasnu komponentu, čija je snaga 6dB veća od ukupne snage preostalih talasnih komponenti [7]. U slučaju NLOS propagacije pomenuta dominantna direktna talasa komponenta izostaje. Kako je u urbanom propagacionom okruženju LOS propagacija prilično redak slučaj, tako je i u simulaciji usvojena vrednost verovatnoće LOS propagacije od svega 20% [8] i to samo za servisnu baznu stanicu. U preostalih 80% simulacionih pozicija propagacija od servisne bazne stanice je NLOS, dok je za preostale simulirane bazne stanice isključivo NLOS.

U uslovima simulacije, u kojima se merenja sprovode u mobilnom terminalu, a mere se pilot signali većeg broja baznih stanica, značajan efekat koji utiče na pozicioniranje mobilnog terminala je efekat blizu-daleko. Da bi se umanjio njegov uticaj, bazne stanice prekidaju emisiju pilot signala, tako da se u trenucima u kojima servisna bazna stanica ne emituje pilot mere vremenska kašnjenja od udaljenih baznih stanica [1]. Pretpostavljeno je da su trenuci u kojima bazne stanice prekidaju emisiju pilot signala poznati mobilnom terminalu.

U mobilnom terminalu se estimuju impulsni odzivi kanala od ukupno 7 baznih stanica, kroskorelacijom prijemnog signala sa kodovima sa skremblovanje tih baznih stanica. Vremensko kašnjenje direktne talasne komponente određuje se kao kašnjenje prve komponente u estimovanom impulsnom odzivu kanala, čija je snaga veća od praga relevantnosti talasne komponente. Rastojanja između mobilnog terminala i k -te ($k=1..7$) bazne stanice D_k određuju se sledećim izrazom:

$$D_k = c \cdot \tau_k = \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2}, \quad (9)$$

gde je c brzina prostiranja radio-talasa, (x, y) nepoznate koordinate mobilnog korisnika, (x_k, y_k) koordinate k -te bazne stanice, a τ_k izmereno vremensko kašnjenje pilot signala k -te bazne stanice. Ako se jednačine oblika (9), kvadriraju, a zatim se od kvadriranih jednačina sa $k \neq 1$, oduzme kvadrirana jednačina sa $k=1$, dobija se linearan sistem jednačina oblika (10), koji se rešava metodom najmanjeg kvadrata.

$$\begin{aligned} (x_k - x_1)x + (y_k - y_1)y = \\ \frac{1}{2}(x_k^2 + y_k^2 - x_1^2 - y_1^2 + D_1^2 - D_k^2) \end{aligned} \quad (10)$$

U razmatranim unapređenjima metode pozicioniranja mobilnih korisnika primenjen je kriterijum optimizacije

rešenja sistema pozicioniranih jednačina preko tzv. "testa ostatka" [9]. Od 6 linearnih jednačina formiraju se svi podsistemi koji sadrže 3, 4, 5 i 6 jednačina, pri čemu je (\hat{x}_q, \hat{y}_q) rešenje podsistema q . Test ostatka, prikazan u formuli 11, definisan je kao suma kvadrata odstupanja izmerenih rastojanja r_m i rastojanja koja su izračunata na pomoću estimovane pozicije (\hat{x}_q, \hat{y}_q) [9].

$$\hat{R}(q) = \sum_{m \in S_q} \left[r_m - \sqrt{(\hat{x}_q - x_m)^2 + (\hat{y}_q - y_m)^2} \right]^2 \quad (11)$$

Konačna pozicija mobilnog terminala je rešenje onog podsistema koje ima najmanji test ostatka. Greška pozicioniranja simulirana je za 255 jednako razmaknutih pozicija u okviru četvrtine centralne ćelije.

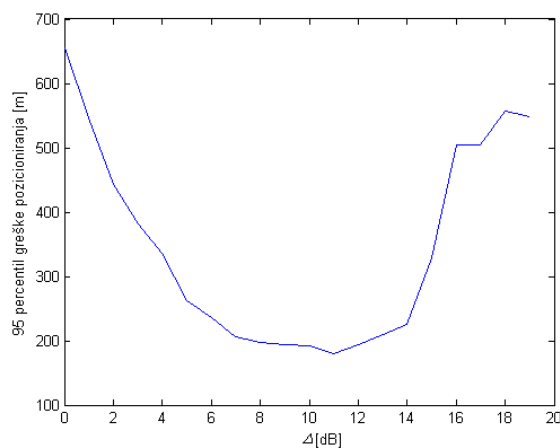
VII. REZULTATI

Rezultati simulacije predstavljeni su preko osnovnih statističkih pokazatelja greške izračunate pozicije mobilnog terminala, a to su srednja vrednost, standardna devijacija i 95 percentil. Za svaki od razmatranih metoda izračunavanja praga relevantnosti, vrednosti pomenutih statističkih pokazatelja zavise od odgovarajućeg parametra/parametara. Prema tome, za svaki metod izračunavanja praga postoji optimalan parametar/parametri koji daje najbolje rezultate. Uporedni prikaz optimalnih vrednosti greške pozicioniranja mobilnog terminala za razmatrane metode izračunavanja praga relevantnosti talasne komponente dat je u tabeli 1.

TABELA 1: UPOREDNI PRIKAZ REZULTATA

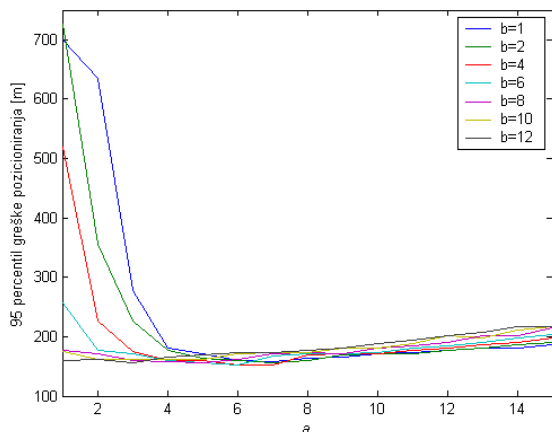
	Met. 1 ($\Delta=0$)	Met. 1	Met. 2	Met. 3
Sr. vr.	220m	61m	47m	44m
St. dev.	254m	71m	63m	63m
95 perc.	655m	197m	153m	150m

Sva tri predložena unapređenja imaju značajno bolje rezultate u odnosu na metod u kome se direktna talasna komponenta određuje na osnovu kriterijuma maksimalne snage u estimovanom impulsnom odzivu. Grafici 95 percentila greške pozicioniranja, za metode 1, 2 i 3, izračunavanja praga relevantnosti prikazani su na slikama 2, 3 i 4 respektivno.



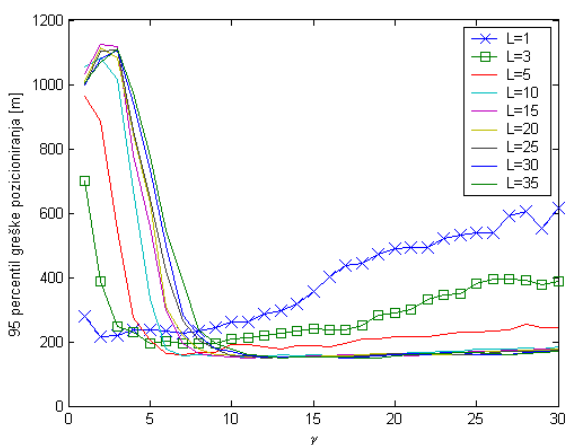
Sl. 2. Grafik 95 percentila greške pozicioniranja u funkciji parametra Δ (metod 1)

Za $\Delta < \Delta_{opt}$, greška pozicioniranja je posledica toga što su estimovana vremenska kašnjenja veća od kašnjenja direktne komponente, dok je za $\Delta > \Delta_{opt}$ procenjeni prag relevantnosti manji od nivoa šuma, a estimovana kašnjenja manja od kašnjenja direktnog talasa.



Sl. 3. Grafik 95 percentila greške pozicioniranja u funkciji parametara (a, b) (metod 2)

Na slici 3, se za svaku prikazanu vrednost parametra b , sa povećanjem vrednosti parametra a , uočava prvo smanjenje 95 percentila greške pozicioniranja, zatim se dostiže optimalna vrednost nakon čega se 95 percentil greške povećava. Rezultati pokazuju da za male vrednosti parametara (a, b) , procenjene vrednosti praga relevantnosti manje od optimalnih, što rezultuje manjim estimovanim vremenskim kašnjenjima signala i većim greškama pozicioniranja. Nakon dostizanja optimalne vrednosti, dalje povećanje vrednosti parametra a , za svoju posledicu ima procenjene vrednosti praga relevantnosti koje su veće od optimalnih, procenjeno vremensko kašnjenje koje je veće od kašnjenja direktnog talasa, a time i povećanje 95 percentila greške pozicioniranja.



Sl. 4. Grafik 95 percentila greške pozicioniranja u funkciji parametara (L, γ) (metod 3)

Grafik na slici 4 pokazuje da je za male vrednosti parametra γ , 95 percentil greške pozicioniranja veći od optimalne vrednosti, za dato L . Ovo se objašnjava time što je za malo γ i veliko L , prag relevantnosti talasne komponente prilično nizak, što rezultuje estimovanim vrednostima vremenskog kašnjenja do baznih stanica koja

su manja od kašnjenja odgovarajućih direktnih talasa. Nakon dostizanja optimalne greške, za vrednosti $L < 10$, sa povećanjem γ , greška na slici 4, raste, dok za vrednosti $L \geq 10$, stagnira. Porast greške je očekivan jer sa povećanjem parametra γ , raste i prag relevantnosti talasne komponente, izmerena kašnjenja su veća od kašnjenja direktnog talasa. S druge strane, za $L \geq 10$ estimovana vrednost šuma je značajno manja (ne sadrži relevantne talasne komponente) u odnosu na slučaj $L < 10$, procenjeni prag relevantnosti, a time 95 percentil greške pozicioniranja stagniraju.

VIII. ZAKLJUČAK

Značajan generator greške pozicioniranja mobilnog korisnika na osnovu vremenskog kašnjenja signala je NLOS propagacija. U ovom radu su prikazani načini unapređenja estimacije vremenskog kašnjenja direktne talasne komponente. Simulirane greške pozicioniranja koje koriste predložena unapređenja su značajno manje u odnosu na grešku pozicioniranja koje se zasniva na detekciji direktnog talasa kroz kriterijum maksimalne snage u impulsnom odzivu kanala. Od prezentovanih metoda najbolju tačnost ima metod 3, pri čemu je tačnost metoda 2 nešto malo lošija, dok metod 1 rezultuje najvećom greškom pozicioniranja. U pogledu komplikovanosti izračunavanja praga relevantnosti najjednostavniji je metod 1, nakon koga sledi metod 2, a zatim metod 3 koji je najkomplikovaniji.

LITERATURA

- [1] "Stage 2 Functional Specification of User Equipment Positioning in UTRAN", 3GPP TS 25.305, Ver.7.1.0
- [2] H. Elders-Boll, "Simplified Interference-Based Threshold Rule for Delay Selection in DS-SS Systems", PIMRS 2000 The 11th IEEE International Symposium, Volume 1, pp. 77-81, 2000
- [3] J.G.Proakis, "Digital Communications" McGraw-Hill 1995.
- [4] E.Bejjani, J.F.Bouquier, B de Cacqueray, "Adaptive Channel Delays Selection for WCDMA Mobile Systems", Proc. IEEE VTC '99 pp 203-207, 1999
- [5] "3GPP Technical Specifications UMTS 30.03" version 3.1.0, 1997
- [6] M.Cabrera, J.Vidal, O.Munoz, "Time Evolutionary Wideband Propagation Channel Model for User Positioning in UMTS", EC-IST-199 10322 SATURN.
- [7] Preporuka ITU-R P.1411, 1999
- [8] Thomas N, Cruickshank D, Laurenson D, "Channel Model Implementation for Evaluation of Location Services", 3G Mobile Communication Technologies, 2000
- [9] P. C. Chen "A Non-Line-of-Sight Error Mitigation Algorithm in Location Estimation", Proc. IEEE Wireless Communication Networking Conf, 1999

ABSTRACT

NLOS conditions are significant generator of positioning error in RTT based positioning technique in WCDMA/FDD network. Improvements presented in this paper, are based on the the direct wave detection as wave with minimum delay and average power that exceed certain threshold. Three methods for calculation that power treshold are presented.

METHODS FOR IMPROVING WCDMA/FDD POSITIONING

Natasa Begovic, Aleksandar Nešković