

Pozicioniranje u NLOS uslovima primjenom gravitacionog pretraživačkog algoritma

Stevo Lukić i Mirjana Simić

Apstrakt—Najveći problem u realizaciji lokacijskih usluga predstavlja pozicioniranje u uslovima blokade direktne putanje između mobilne stanice MS (*Mobile Station*) i bazne stanice BS (*Base Station*), odnosno pozicioniranje u tzv. NLOS (*Non-Line of Sight*) propagacionom okruženju. U ovom radu prikazan je postupak poboljšanja tačnosti lociranja MS u ćelijskim radio mrežama u NLOS uslovima, zasnovan na TOA (*Time of Arrival*) orijentisanom ML (*Maximum Likelihood*) estimatoru uz primjenu odabranog metaheurističkog metoda optimizacije.

Ključne reči—TOA metode; NLOS propagacija; ML estimator; metaheuristike; GSA algoritam.

I. UVOD

Kod višeputnog prostiranja radio talasa u ćelijskim radio sistemima (*multipath propagation*), čest je slučaj da direktna talasna komponenta koja definiše LOS (*Line of Sight*) propagaciju, izostaje zbog opstrukcije od prepreka na prenosnom putu između predajnika i prijemnika. Pomenuti fenomen je poznat kao NLOS (*Non-Line of Sight*) transmisija radio signala i redovna je pojava u urbanom propagacionom okruženju. Ako se rastojanje između mobilne stanice MS (*Mobile Station*) i bazne stanice BS (*Base Station*) procjenjuje na osnovu vremena prispjeća referentnog radio signala za pozicioniranje TOA (*Time of Arrival*) u prijemnik MS ili BS, onda je isto proporcionalno izmjerenom vremenskom kašnjenju direktnog talasa u odnosu na trenutak emitovanja signala sa predajnika BS ili MS (uz podrazumijevanu vremensku sinhronizaciju između MS i BS). Međutim, u NLOS okruženju, ne određuje se vremensko kašnjenje direktne komponente (*LOS path*), već neke druge, najčešće prve značajne primljene talasne komponente koja od ostalih NLOS komponenti ima i najmanje slabljenje (najveću snagu). Posljedica toga je uvijek pozitivna greška (*NLOS error*) u procjeni rastojanja između bazne stanice i mobilnog terminala (NLOS trajektorije uvijek su duže od direktne), a time i veća greška u izračunatoj poziciji mobilnog korisnika [1]. Zbog toga su *TOA-based* metode pozicioniranja veoma osjetljive na NLOS propagaciju čiji doprinos unesene greške u određivanju lokacije MS može iznositi reda nekoliko stotina metara [2]. Iz navedenog razloga, NLOS se nameće kao glavni faktor degradacije performansi nekog sistema za pozicioniranje. Predmet istraživanja koji će biti razmotren u ovom radu jeste napredni mehanizam za eliminaciju NLOS grešaka mjerenja

rastojanja (*range estimation*), baziran na metaheurističkom konceptu optimizacije u varijanti 2D pozicioniranja sa mirujućom, odnosno statičnom MS.

II. ML ALGORITAM ZA NLOS SCENARIO

Pretpostavimo nešto ekstremnije uslove kada su zbog problema čujnosti za pozicioniranje dostupne samo četiri BS (uslov za cirkularnu lateraciju je da ih ima najmanje tri). Nepoznate koordinate MS neka su obilježene sa (x, y) , a poznate koordinate i -te BS sa (x_i, y_i) , $i = 1 \dots 4$. Tada se izraz za tačnu udaljenost između MS i i -te BS može napisati u sljedećem obliku:

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}, \quad i = 1 \dots 4. \quad (1)$$

Mjerni model za slučaj totalnog NLOS scenarija u kome su putanje između MS i svih BS bez direktne optičke vidljivosti, postavlja se kako slijedi:

$$r_i = ct_i = d_i + b_i + n_i, \quad i = 1 \dots 4. \quad (2)$$

pri čemu je r_i "izmjerena" udaljenost između MS i i -te BS dobijena mjerenjem parametra TOA (t_i), c je brzina svjetlosti, n_i je standardni mjerni šum i -tog mjerenja modelovan kao Gausova slučajna promjenjiva nulte srednje vrijednosti i varijanse σ_i^2 ($n_i \sim \text{Norm}(0, \sigma_i^2)$), dok je ($b_i > 0$) pozitivna NLOS greška mjerenja rastojanja nastala usled deficita direktne putanje između MS i i -te BS. NLOS greška pozicioniranja određena je kao eksponencijalna slučajna promjenjiva srednje vrijednosti λ_i i varijanse λ_i^2 sa funkcijom gustine vjerovatnoće [3]:

$$p_{NLOS}(b_i) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda_i} \exp\left(-\frac{b_i}{\lambda_i}\right), & b_i > 0 \\ 0, & \text{inače} \end{cases}. \quad (3)$$

Generalno, parametri λ_i su neodređeni, a eventualno su im poznate donje i gornje granice.

Kao što je pokazano u [4], ML estimacija nepoznate lokacije MS svodi se na minimizaciju sljedeće ciljne funkcije:

$$F(\boldsymbol{\theta}, \boldsymbol{\lambda}) = \sum_{i=1}^4 (w_i(\boldsymbol{\lambda}) f_i(\boldsymbol{\theta}, \boldsymbol{\lambda}))^2. \quad (4)$$

gdje su nepoznate upravljačke promjenjive predstavljene sa komponentama lokacionog vektora $\boldsymbol{\theta} = [x \ y]^T$ i vektora srednjih vrijednosti NLOS grešaka $\boldsymbol{\lambda} = [\lambda_1 \ \dots \ \lambda_4]^T$.

Stevo Lukić – MTEL a.d. Banja Luka, Vuka Karadžića 2, 78000 Banja Luka, Republika Srpska, BiH (e-mail: stevo.lukic@mtel.ba).

Mirjana Simić – Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: mira@etf.rs).

Vrijednosti članova koji definišu odgovarajuće rezidualne $w_i(\lambda)f_i(\theta, \lambda)$ iznose respektivno:

$$w_i(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{\sigma_i^2 + \lambda_i^2}} \quad (5)$$

$$f_i(\theta, \lambda) = r_i - \lambda_i - d_i, \quad \text{za } i = 1 \dots 4. \quad (6)$$

pri čemu je poznati vektor "izmjerenih" udaljenosti okarakterisan kao $\mathbf{r} = [r_1 \dots r_4]^T$.

Pored činjenice da je NLOS greška rastojanja pozitivna, ona je u pravilu i mnogo veća od mjernog šuma, iz čega proizilaze sledeće relacije:

$$b_i > 0 \wedge b_i \gg n_i \Leftrightarrow r_i \geq d_i, \quad i = 1 \dots 4. \quad (7)$$

Ako se tome pridoda i dopunska restrikcija:

$$\lambda_i^L \leq \lambda_i \leq \lambda_i^U, \quad i = 1 \dots 4. \quad (8)$$

tada (4) postaje optimizacioni problem sa ograničenjima (*constrained optimization problem*). Gornji pojednostavljeni pristup podrazumijeva da parametri λ_i ne zavise od tačne udaljenosti između MS i i -te BS (konstantni su nezavisno od položaja MS). I pored toga, evidentno je da uz postojanje dvije nepoznate koordinate MS i četiri nepoznata parametra λ_i , rješavanje problema (4) postaje izuzetno otežano. Da bi se izbjegla takva situacija, polazi se od nešto strožijeg pristupa po kome su srednje vrijednosti NLOS grešaka λ_i direktno proporcionalne tačnom rastojanju (1) kao u [5]:

$$\lambda_i = k d_i. \quad (9)$$

pri čemu je k nepoznati faktor za koga su na osnovu izraza (8) poznate minimalna i maksimalna vrijednost:

$$k^L \leq k \leq k^U, \quad i = 1 \dots 4. \quad (10)$$

Konačno, ciljna funkcija (4) poprima sledeći oblik:

$$F(\theta') = \sum_{i=1}^4 \frac{1}{(\sigma_i^2 + k^2 d_i^2)} [r_i - (k+1)d_i]^2. \quad (11)$$

gdje je $\theta' = [x \ y \ k]^T$ prošireni nepoznati lokacioni vektor, dok su udaljenosti d_i prethodno određene sa (1). Suprotno od očekivanog, broj nepoznatih parametara je smanjen za pola. Nakon primjene adekvatne metode optimizacije procjena faktora k se ignoriše, a usvaja željena procjena koordinata MS koja je konkretno i od interesa.

U geometrijskom smislu, idealan slučaj pozicioniranja podrazumijeva da se lokacija MS nalazi u presjeku četiri TOA kružnice koje su analitički predstavljene sa (1) i čiji se centri nalaze u dostupnim BS. Iz (2) se vidi da realna procjena rastojanja sadrži grešku usled prisustva Gausovog mjernog

šuma i NLOS propagacije. Posljedica toga je da presjek četiri kruga nije tačka, već zona preklopa konačne površine oblika cirkularnog četverougla sa vrhovima poznatih koordinata $V(V_x, V_y)$, $V1(V_{1x}, V_{1y})$, $W1(W_{1x}, W_{1y})$ i $W(W_x, W_y)$ u kojoj se teoretski može naći MS, kao što je to ilustrovano na Sl. 1. Uzimajući u obzir (7), funkcija cilja (11) dobija sledeća ograničenja kojima je i markirana prikazana presječna površina:

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 \leq r_i^2, \quad i = 1 \dots 4. \quad (12)$$

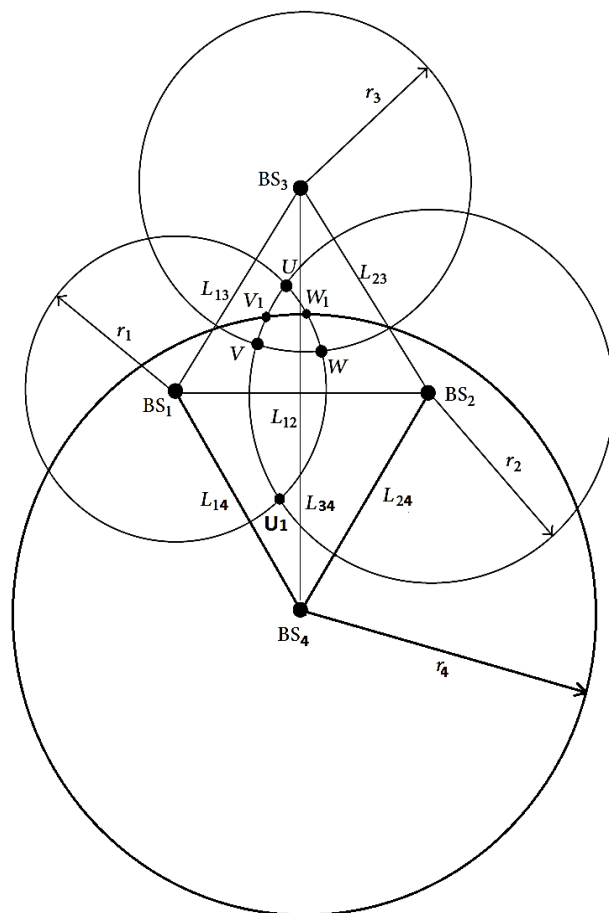
Dodatna ograničenja objektivne funkcije (11) odnose se na dozvoljene opsege upravljačkih promjenjivih. Imajući u vidu oznake sa Sl. 1., očigledno je da se koordinate MS mogu nalaziti unutar sledećih granica:

$$x_{\min} = \min\{V_x, V_{1x}, W_{1x}, W_x\}. \quad (13)$$

$$x_{\max} = \max\{V_x, V_{1x}, W_{1x}, W_x\}. \quad (14)$$

$$y_{\min} = \min\{V_y, V_{1y}, W_{1y}, W_y\}. \quad (15)$$

$$y_{\max} = \max\{V_y, V_{1y}, W_{1y}, W_y\}. \quad (16)$$



Sl. 1. Geometrijska konfiguracija TOA metode pozicioniranja sa 4 BS.

III. GRAVITACIONI PRETRAŽIVAČKI ALGORITAM

U inženjskoj matematici postoji veliki broj metoda za uspješno rješavanje nelinearnih optimizacionih problema, odnosno minimizacije ciljne funkcije (11). Zbog svojih dobrih osobina, u ovom radu se koristi gravitacioni pretraživački algoritam GSA (*Gravitational Search Algorithm*), koji spada u savremene metaheurističke metode optimizacije. Glavna karakteristika ovih metoda je sukcesivno ponavljanje velikog broja operacija. Metaheuristike se mogu kvalifikovati kao uopšteni (nezavisan od problema) skup pravila koja se prilikom implementacije prilagođavaju svakom konkretnom problemu. Pri tome, performanse ovih metoda u dobroj mjeri zavise od pravilnog podešavanja odgovarajućih algoritamskih parametara [6]. Na žalost, za to podešavanje često ne postoje opšta pravila već se ono vrši na osnovu iskustva, odnosno principa "probaj-griješi". U praksi se pokazalo da različite metaheurističke metode za relativno kratko vrijeme uspijevaju da pronađu dopustiva suboptimalna rješenja čak i za probleme složenije prirode, što je uticalo na njihovu široku primjenu zadnjih decenija. Osnovna prednost predloženih algoritama je njihova jednostavnost jer je metrika koja određuje kvalitet rješenja definisana preko algebarskih vrijednosti ciljne funkcije, što znači da za realizaciju ovih metoda nisu potrebne kompleksne derivacione procedure kao kod konvencionalnih gradijentnih postupaka. Nadalje, algoritmi su manje osjetljivi na izbor početnog rješenja, kao i na ograničenja ciljne funkcije. Nesumnjivo je da ovi algoritmi imaju veliki potencijal sa aspekta primjene na rješavanje optimizacionog problema određivanja lokacije korisnika u ćelijskim radio mrežama [7].

Gravitacioni pretraživački algoritam GSA (*Gravitational Search Algorithm*) je relativno nova metaheuristika opisana u [8]. Kod GSA pretraživački agenti predstavljaju objekte čije se performanse izražavaju njihovim masama. Između objekata djeluju Njutnove privlačne gravitacione sile usled kojih se objekti globalno kreću ka objektima većih masa. Tokom procesa pretraživanja rješenja izračunavaju se mase objekata (na osnovu *fitness* vrijednosti ciljne funkcije), kao i njihova ubrzanja, brzine i pozicije tokom kretanja. Pozicija svake mase (agenta) u višedimenzionalnom prostoru pretraživanja predstavlja jedno rješenje problema. Posle izvjesnog vremena, svi objekti manjih masa biće privučeni od strane objekta najveće mase koji ujedno reprezentuje i optimalno rješenje problema minimizacije ciljne funkcije. Kao što je i uobičajeno, procedura startuje inicijalizacijom populacije agenata odnosno njihovih lokacija po principu slučajnog odabira unutar dopustivog prostora rješenja. U sistemu sa N masa (agenata), pozicija agenta i je definisana na sledeći način:

$$X_i = [x_i^1, \dots, x_i^k, \dots, x_i^n], \quad i = 1 \dots N. \quad (17)$$

gdje je n dimenzija prostora pretraživanja, dok x_i^k označava poziciju agenta i u dimenziji k . Evaluacija najbolje i najgore *fitness* vrijednosti u tekućoj populaciji agenata $best(t)$ i $worst(t)$ respektivno, za problem minimizacije obavlja se kako slijedi:

$$best(t) = \min fit_i(t), \quad i = 1 \dots N. \quad (18)$$

$$worst(t) = \max fit_i(t), \quad i = 1 \dots N. \quad (19)$$

pri čemu $fit_i(t)$ predstavlja *fitness* vrijednost agenta i u trenutku (iteraciji) t . Inerciona masa i -tog agenta u iteraciji t , za svakog agenta se izračunava na osnovu sledećih izraza:

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)}. \quad (20)$$

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)}. \quad (21)$$

Ako se usvoji jednakost gravitacione i inercione mase, ukupna Njutnova gravitaciona sila koja djeluje na agenta i u dimenziji k u iteraciji t određuje se kao [8]:

$$F_i^k(t) = \sum_{j \in K_{best, j \neq i}} r_j G(t) \frac{M_i(t)M_j(t)}{R_{ij}(t) + \epsilon} (x_j^k(t) - x_i^k(t)). \quad (22)$$

gdje je $G(t)$ gravitaciona konstanta u iteraciji t , $M_i(t)$ i $M_j(t)$ su mase agenata i i j , ϵ je mala konstanta i $R_{ij}(t)$ je Euklidska udaljenost između agenata i i j :

$$R_{ij}(t) = \|X_i(t), X_j(t)\|_2. \quad (23)$$

Gravitaciona konstanta je veoma važan faktor u implementaciji GSA jer se pomoću nje vrši kontrola preciznosti pretraživanja. S tim u vezi, gravitaciona konstanta se na početku algoritma postavlja na vrijednost G_0 koja tipično uzima vrijednost 100, da bi se onda smanjivala sa tekućom iteracijom t po eksponencijalnom zakonu:

$$G(t) = G_0 \exp\left(-\alpha \frac{t}{t_{max}}\right). \quad (24)$$

pri čemu je α konstanta koju specificira korisnik i koja najčešće iznosi 20, a t_{max} je maksimalan broj iteracija.

U (22) K_{best} predstavlja skup prvih K agenata sa najboljim *fitnessom*, najvećom masom (najvećom privlačnom silom) i najmanjom brzinom, dok je r_j slučajan broj u intervalu $[0,1]$. Ovaj skup se linearno smanjuje tokom vremena, počevši od vrijednosti N , tako da na kraju ostaje samo jedan agent. Parametri $G(t)$ i K_{best} definisani na prethodno opisani način uravnoteženo djeluju na procese globalnog i lokalnog pretraživanja prostora rješenja sa ciljem pronalaska globalnog optimuma. Shodno drugom Njutnovom zakonu kretanja, ubrzanje agenta i u iteraciji t , u dimenziji k se određuje kao količnik ukupne gravitacione sile koja djeluje na objekat i inercione mase:

$$a_i^k(t) = \frac{F_i^k(t)}{M_i(t)}. \quad (25)$$

Strategija pretraživanja po ovom konceptu se može opisati kao nalaženje sledeće brzine i pozicije agenta na osnovu njegove trenutne brzine, ubrzanja i pozicije [8]:

$$v_i^k(t+1) = r_i v_i^k(t) + a_i^k(t). \quad (26)$$

$$x_i^k(t+1) = x_i^k(t) + v_i^k(t+1). \quad (27)$$

gdje je kao i ranije r_i slučajan broj u intervalu [0,1] koji se koristi da obezbijedi probabilistički karakter pretraživanja, x_i^k je pozicija agenta i u dimenziji k , v_i^k je brzina a a_i^k je ubrzanje agenta i u dimenziji k . Maksimalan broj iteracija t_{max} , veličina populacije N , početna vrijednost gravitacione konstante G_0 i vrijednost konstanti α i ε su kontrolni parametri kojima se utiče na performanse GSA algoritma.

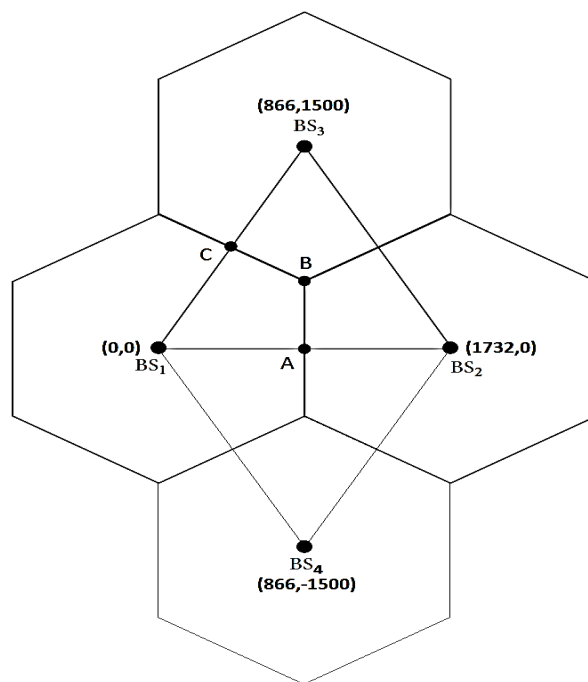
Postoje mnoge modifikacije standardnog GSA algoritma sa ciljem unapređenja sposobnosti lokalnog pretraživanja i globalne pretrage, kao i održavanja dobrog balansa između istih [9]. Efikasnost GSA algoritma može se povećati i hibridizacijom sa drugim metaheurističkim metodama kroz sinergiju i korišćenje njihovih najboljih karakteristika [10].

GSA algoritam se dobro pokazao kao metoda izbora za rješavanje problema lokalizacije u bežičnim senzorskim mrežama [11], kao i problema pronalaska optimalnih tokova snaga u elektroenergetskim distributivnim mrežama [12].

IV. REZULTATI SIMULACIJE

Simulacija je obavljena u makrocelularnom radio okruženju prikazanom na Sl. 2 kojeg čine četiri BS u simetričnoj geometrijskoj konstelaciji, tako da je uticaj parametra geometrijskog rasipanja preciznosti GDOP (*Geometric Dilution of Precision*) na tačnost pozicioniranja zanemarljiv. MS se može nalaziti u bilo kojoj tački oblasti ograničenoj sa tačkama BS1, A, B i C, u kojoj je zbog uticaja servisne BS1 izražen problem čujnosti sa udaljenijim BS. Jednostavnosti radi, uzeto je da između MS i servisne BS1 postoji LOS link ($\lambda_1 = 0$). Nasuprot tome, sa preostale tri BS ne postoji direktna optička vidljivost. Srednja vrijednost NLOS greške procijenjena je na 5% tačnih rastojanja. Standardna devijacija Gausovog mjernog šuma ista je za sve BS i iznosi 10 m. Koordinate dostupnih BS izražene u metrima postavljene su redom na vrijednosti LOS BS1 (0,0), NLOS BS2 (1732,0), NLOS BS3 (866,1500) i NLOS BS4 (866,-1500). Radijus heksagonalnih ćelija iznosi 1 km. Međutim, ovako postavljen simulacioni scenario ima i određena ograničenja. Naime, kada je distanca između MS i servisne BS1 malena, a istovremeno NLOS greška rastojanja "generisana" na ostalim BS izrazito velika, tada postoji mogućnost da TOA kružnica poluprečnika r_1 opisana oko servisne BS1 leži unutar preostale tri kružnice sa poluprečnicima r_2 , r_3 i r_4 . U tom slučaju predloženi algoritam ne bi bio primjenjiv. Prema tome, ako vrijede nejednačine $r_i > L_{1i} + r_1$ ($i = 2,3,4$), pri čemu je L_{1i} udaljenost servisne BS1 do susjednih BSi (Sl. 1), vrši se limitiranje iskačućih mjerenja na iznos $r_i = L_{1i} + r_1$. Time je

zagarantovano da se bilo koje dvije TOA kružnice sijeku u najmanje jednoj tački čime je osigurana puna funkcionalnost algoritma [13].



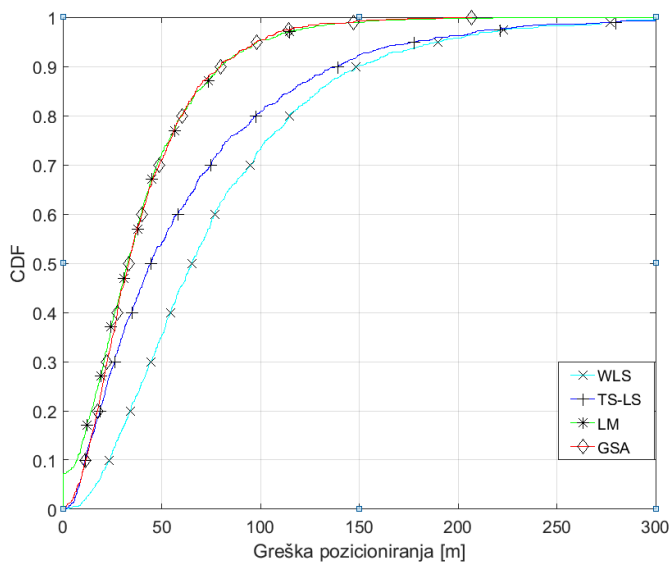
Sl. 2. Celularni sistem sa 4 BS.

Na bazi lokacione geometrije sa Sl. 2, izvršeno je ukupno 1000 nezavisnih TOA mjerenja za različite položaje mirujuće MS za parametre propagacionog modela određenog sa (2), (3), (9) i (10). U Tabeli 1 prikazani su simulacioni parametri GSA algoritma.

TABELA I
PARAMETRI GSA ALGORITMA

Simulacioni parametar	GSA
Veličina populacije (N)	50
Dimenzija prostora pretraživanja (n)	3
Maksimalni broj iteracija (T)	100
Odnos srednje vrijednosti NLOS greške i udaljenosti (faktor k)	0.05
Minimalna vrijednost faktora k (k^L)	0.02
Maksimalna vrijednost faktora k (k^U)	0.10
Standardna devijacija Gausovog mjernog šuma (σ) [m]	10
Početna vrijednost gravitac. konstante (G_0)	100
Vrijednost konstante eksponencijalnog pada (α)	20

Inicijalna GSA populacija se smiješta u oblast određenu sa (13)-(16). Predmetna procedura koristi tzv. kaznene (*penalty*) funkcije, čime se brzo odbacuju rješenja koja ne zadovoljavaju ograničenja (12). Veličina GSA populacije postavljena je na 50 agenata. Kao što je rečeno, početna vrijednost gravitacione konstante setuje se na vrijednost 100, a konstante eksponencijalnog pada na 20. Algoritam se zaustavlja nakon dostizanja maksimalnog broja od 100 GSA iteracija. Uspješnost GSA algoritma testirana je poređenjem sa klasičnim algoritmima pozicioniranja kao što su metod ponderisanih najmanjih kvadrata WLS (*Weighted Least Squares*) [14], iterativni algoritam najmanjih kvadrata zasnovan na Tejlorovom razvoju funkcija TS-LS (*Taylor-Series Least Squares Algorithm*) [5] i LM (*Levenberg-Marquardt*) gradijentni metod [15]. Na Sl. 3 prikazana je kumulativna funkcija raspodjele greške pozicioniranja CDF (*Cumulative Distribution Function*) za GSA i navedene komparativne algoritme.



Sl. 3. Kumulativna funkcija raspodjele greške pozicioniranja.

V. ZAKLJUČAK

Rezultati simulacione studije ukazuju da su performanse GSA algoritma po pitanju tačnosti pozicioniranja uporedive i neznatno bolje od LM gradijentnog algoritma koji se smatra standardom u problemima optimizacije. GSA algoritam je bolji od WLS i TS-LS algoritma. U 67% slučajeva tačnost pozicioniranja je ispod 50 m. Na osnovu naprijed iznijetih pokazatelja, kao i mogućnostima unapređenja osnovnog GSA algoritma kroz hibridizaciju sa ostalim metaheurističkim i egzaktnim metodama, isti može biti jedna od varijanti potencijalnog rješenja za TOA bazirane ćelijske sisteme u NLOS situacijama.

- [1] M. Simić, *Principi pozicioniranja u ćelijskim radio sistemima*, Beograd, Srbija: Elektrotehnički fakultet, 2016.
- [2] M. I. Silventoinen, T. Rantalainen, "Mobile Station Emergency Locating in GSM," Proc. IEEE International Conference on Personal Wireless Communications, New Delhi, India, pp. 232-238, Febr., 1996.
- [3] L. J. Greenstein, V. Erceg, Y. S. Yeh, M. V. Clark, "A new path-gain/delay-spread propagation model for digital cellular channels," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, vol. 46, no. 2, pp. 477-484, May, 1997.
- [4] S. Lukić, M. Simić, "Eliminacija NLOS grešaka pozicioniranja u ćelijskim radio mrežama primjenom ML estimatora sa ugrađenim Levenberg-Marquardt algoritmom optimizacije," Zbornik radova 61. konferencije za ETRAN, Kladovo, Srbija, pp. TE 1.2. 1-6, Jun, 2017.
- [5] K. Yu, I. Sharp, Y. J. Guo, *Ground-based Wireless Positioning*, Chichester, England: John Wiley and Sons, 2009.
- [6] X.-S. Yang, *Nature-Inspired Optimization Algorithm*, London, England: Elsevier, 2014.
- [7] C. S. Chen, "A non-line-of-sight error mitigation method for location estimation," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 13, no. 1, pp. 1-9, Jan., 2017.
- [8] E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, S. Saryzadi, "GSA: A Gravitational Search Algorithm," *Information Sciences*, vol. 179, no. 13, pp. 2232-2248, June, 2009.
- [9] S. Mirjalili, A. H. Gandomi, "Chaotic gravitational constants for the gravitational search algorithm," *Applied Soft Computing Journal*, vol. 53, pp. 407-419, 2017.
- [10] S. Mirjalili, S. Z. M. Hashim, "A new hybrid PSO-GSA algorithm for function optimization," Proc. International Conference on Computer and Information Application, Tianjin, China, pp. 374-377, Dec., 2010.
- [11] R. Krishnaprabha, A. Gopakumar, "Performance of gravitational search algorithm in wireless sensor network localization," Proc. of 2014 IEEE National Conference on Communication, Signal Processing and Networking (NCCSN), Palakkad, India, pp. 1-6, Oct., 2014.
- [12] J. Radosavljević, M. Jevtić, N. Arsić, D. Klimenta, "Optimal power flow for distribution networks using gravitational search algorithm," *Electrical Engineering*, vol. 96, no. 4, pp. 335-345, July, 2014.
- [13] S. Venkatraman, J. Caffery Jr., H.-R. You, "A novel TOA location algorithm using LOS range estimation for NLOS environments," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 53, no. 5, pp. 1515-1524, Sept., 2004.
- [14] K. W. Cheung, H. C. So, W.-K. Ma, Y. T. Chan, "Least squares algorithm for Time of Arrival based mobile location," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 52, no. 4, pp. 1121-1130, April, 2004.
- [15] R. W. Ouyang, A. K. Wong, "An Enhanced TOA-based Wireless Location Estimation Algorithm for Dense NLOS Environments," Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Budapest, Hungary, pp. 1-6, April, 2009.

ABSTRACT

The biggest problem in realization of location services is positioning in conditions of blocking the direct path between the mobile station (MS) and the base station (BS), or positioning in NLOS (Non-Line-Of-Sight) propagation environment. This paper presents the procedure for improving accuracy of MS locationing in cellular radio networks in NLOS conditions, based on the TOA (Time of Arrival) oriented Maximum Likelihood estimator using selected metaheuristic optimization method.

Positioning in NLOS conditions using gravitational search algorithm

Stevo Lukić and Mirjana Simić