

Poređenje tačnosti metoda za lociranje AOA i TDOA

Danilo V. Obradović, Boban M. Sazdić-Jotić

Sadržaj — Potreba za određivanjem lokacije radio-predajnika je u današnje vreme sve prisutnija. Shodno tome, u porastu je interesovanje za neprekidnim usavršavanjem metoda i načina određivanja lokacije. Cilj ovog rada je da prikaže i objasni dve metode: AOA (eng. Angle of Arrival) i metodu TDOA (eng. Time Difference of Arrival). Takođe je prikazano i upoređenje tačnosti ovih dveju metoda.

Ključne reči — AOA, DOA, određivanje lokacije, relativno vremensko kašnjenje, TDOA.

I. UVOD

Određivanje lokacije radio-predajnika je postupak koji ima primenu u mnogim oblastima telekomunikacija a postupak je moguć čak i kod nekooperativnih izvora radio-talasa. Samim tim, neophodan je kod aktivnosti u procesu elektronskih dejstava (ED) a naročito u procesu formiranja elektronske slike bojišta i taktičkoj prezentaciji bojišta.

U savremenim sistemima za elektronsku podršku (EP) za određivanje lokacije izvora radio zračenja najviše se koristi metoda AOA (DOA) - Angle of Arrival (Direction of Arrival). Osnovne ideje ove metode nisu bitno promenjene od 40-tih godina prošlog veka i ona predstavlja klasičan pristup rešenju ovog problema. U drugi, napredniji pristup spada metoda TDOA (eng. TDOA – Time Difference of Arrival) koja koristi relativna vremenska kašnjenja izmerena na prostorno razdvojenim prijemnim tačkama.

U poglavlju II i III, prikazane su osnovne karakteristike i principi metoda AOA i TDOA. Poglavlje IV sadrži opis simulacije dok su rezultati simulacije dati u poglavlju V. Poglavlje VI sadrži zaključak.

II. AOA (ANGULACIJA)

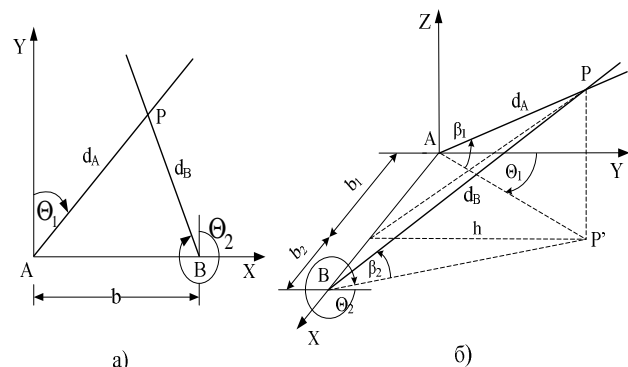
Određivanje geografske lokacije izvora radio-talasa metodom AOA, ostvaruje se određivanjem presečišta pravaca koji povezuju dve ili više prostorno razdvojenih prijemnih tačaka sa položajem izvora talasa. Ova metoda je poznata kao metoda angulacije ako se zasniva na merenju pravaca na izvor zračenja iz dve prijemne tačke. Ukoliko se lokacija predajnika dobija u presečištu tri ili više pravaca (veća preciznost), metoda je poznata kao metoda triangulacije [1].

D. Obradović, VP 4522, Batajnica, Srbija; (telefon: 381-64-2710913; e-mail: obradovicdanilo@gmail.com).

B. Sazdić-Jotić, VP 6834, Batajnica, Srbija; (e-mail: sazajt4@gmail.com).

Pravac na kome se nalazi radio-predajnik približno se poklapa sa pravcem prostiranja radio-talasa koje on emituje. Određivanje ovog pravca vrši se obično u horizontalnoj ravni pomoću ugla koji on obrazuje sa nekim referentnim pravcem za koji se najčešće uzima pravac stvarnog (ili geografskog) severa. Ovaj pravac se naziva radio-pravac a polupravac od stajne tačke do predajnika naziva se radio-smer. Ugao koji on obrazuje sa referentnim pravcem naziva se ugao radio-smera ili samo radio-smer. Ugao radio-smera se određuje pomoću neke od amplitudskih metoda (metoda minimuma, maksimuma ili metoda poređenja) ili faznih metoda (Watson-Watova, interferometarska,...)[2].

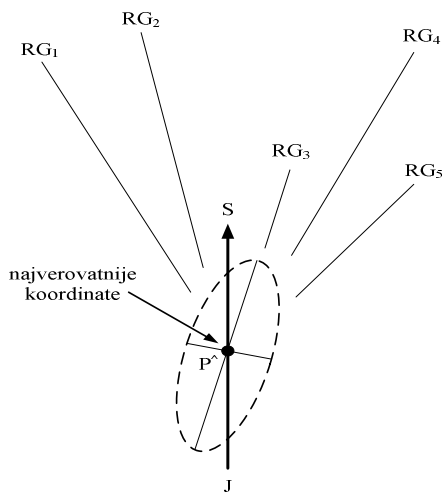
Kada se izvor nalazi u horizontalnoj ravni (Sl.1a) dovoljno je da se tačno izmere dva azimuta Θ_1 i Θ_2 iz dve razdvojene prijemne tačke koje se nalaze rastojanju b (baza ili osnovica). Lokacija izvora određena je presekom pravaca AP i BP. Za određivanje prostornih koordinata (i visina) radio-predajnika (Sl.1b) dovoljno je da se tačno izmere azimuti Θ_1 i Θ_2 u dve razdvojene prijemne tačke i elevacija β_1 u jednoj prijemnoj tački ili obratno, dve elevacije β_1 i β_2 i jedan azimut Θ_1 . Poznajući geometriju mogu se odrediti koordinate tačke P (lokacija prednika) zavisno od izmerenih azimuta (elevacija) i baze b .



Sl. 1. Angulaciona metoda određivanja lokacije izvora radio-talasa: a) u ravni, b) u prostoru.

Na svom putu od predajnika do prijemnika radio-talas je izložen različitim smetnjama i izobličenjima, što znatno otežava određivanje tačnog ugla radio-smera. Zbog grešaka u merenju se umesto stvarnih dobijaju procenjene vrednosti radio-smerova koje se ne presecaju u tački gde se tačno nalazi radio-predajnik. Iz ovog razloga se radi bolje procene umesto minimalno potrebnog broja mernih prijemnih mesta koristi više njih. Radio-smerovi dobijeni u realnoj situaciji se ne presecaju u jednoj tački (Sl.2) i zbog toga se lokacija ne određuje kao jedna tačka već kao oblast

u kojoj se uz zadatu verovatnoću nalazi lokacija radio-predajnika. Dimenzije ove oblasti su utoliko veće što je veća verovatnoća da je njome obuhvaćena lokacija izvora.



Sl. 2. Određivanje lokacije pomoću 5 radio-smerova.

Proračun koordinata centra ove oblasti neodređenosti ostvaruje se prema nekom kriterijumu optimalnosti čime se dobija najbolje procenjena ili najverovatnija lokacija. Ovakvo određivanje lokacije se naziva optimalna procena lokacije i u literaturi se najčešće mogu naći opisane: metoda maksimalne verodostojnosti, metoda najmanjih kvadrata, metoda Stansfilda i Bajesov estimator [2].

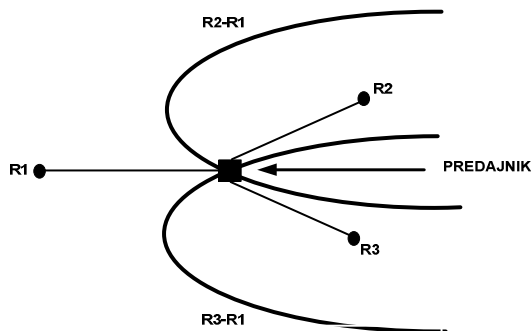
III. TDOA (HIPERBOLIČKA LATERACIJA)

Metoda TDOA procenjuje vremensku razliku dolaska signala, koji emituje jedan radio predajnik, na prostorno razmeštenim mernim stanicama odnosno sensorima.

Razlika u vremenu dolaska signala na dva senzora se dobija kros-korelacijom signala primljenim ovim sensorima. Ovakvo dobijena razlika u vremenu je proporcionalna razlici rastojanja od predajnika do dva prijemna mesta.

Merenjem razlike vremena dolaska za dva prijemnika može se odrediti tzv. izo-kriva vremenskog kašnjenja (kriva konstantne razlike rastojanja) koja prolazi kroz lokaciju radio-predajnika. Mora se odrediti još najmanje jedna izo-linija procenom vremenskog kašnjenja za druga dva senzora od kojih jedan može biti iz prethodnog para senzora. Tačka preseka izo-linija predstavlja lokaciju radio-predajnika. Povećanjem broja izo-linija pri presecanju, povećava se i tačnost procene lokacije.

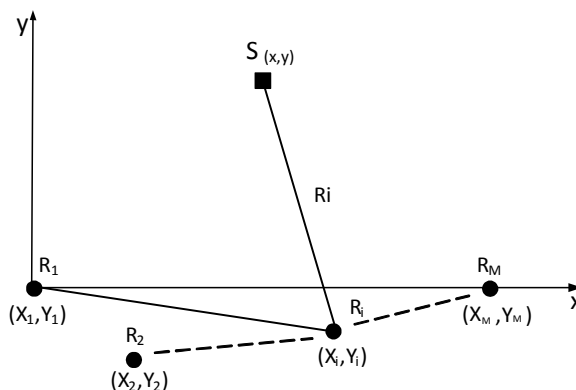
Određivanje lokacije kod koga su senzori označeni sa R1, R2 i R3 a krive dobijene sa odgovarajućih senzora sa R3-R1 i R2-R1, predstavljeno je na Sl. 3.



Sl. 3. Prikaz određivanja lokacije metodom TDOA

Posle određivanja vremenskog kašnjenja na osnovu koga se formiraju izo-linije u drugom koraku se određuje lokacija izvora radio talasa rešavanjem nelinearnog sistema hiperboličnih jednačina. Pošto si izo-krive ustvari hiperbole ovakvo pozicioniranje se zove i hiperbolička lateracija.

Neka su (x,y) nepoznate kordinate radio-predajnika čiju lokaciju treba odrediti dok su (X_i, Y_i) poznate kordinate mernih stanica kao na Sl.4. gde je $i=1,2,3,...M$ (M-ukupan broj senzora koji učestvuju u procesu određivanja lokacije).



Sl. 4. - Prostorni razmeštaj mernih stanica i predajnika u slučaju kad je referentna stanica (R1) u koordinatnom početku.

Pod pretpostavkom da je merna stanica broj 1 kontrolna (referentna) merna stanica (to jest stanica na kojoj se detektuje signal koji služi za kros-korelaciju sa zakašnjenim signalima sa ostalih mernih stanica), tada je rastojanje između izvora tj. radio predajnika $S(x,y)$ i i-te merne stanice $R_i(X_i, Y_i)$:

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} = \sqrt{X_i^2 + x^2 - 2X_i x + Y_i^2 + y^2 - 2Y_i y} = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2} \quad (1)$$

Rastojanje između mernih stanica i prve merne stanice (R_1) za koju je pretpostavljeno da je kontrolna (referentna) iznosi:

$$R_{i,1} = cd_{i,1} = R_i - R_1 = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \quad (2)$$

gde su:

c = brzina prostiranja elektromagnetskog talasa (3×10^8 m/sec) i $d_{i,1}$ = TDOA (razlika u vremenu dolaska talasa) između M -tog senzora i kontrolnog senzora (R_1).

Pošto je referentna stanica u kordinatnom početku važi:

$$\begin{bmatrix} (X_1, Y_1) = (0,0) \\ X_{i,1} = X_i - X_1 = X_i \\ Y_{i,1} = Y_i - Y_1 = Y_i \end{bmatrix}$$

i znajući da je $R_{i,1} = R_i - R_1$ tada je po [3]:

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 = X_i^2 + Y_i^2 - 2X_{i,1}x - 2Y_{i,1}y + 2x^2 + 2y^2 \quad (3)$$

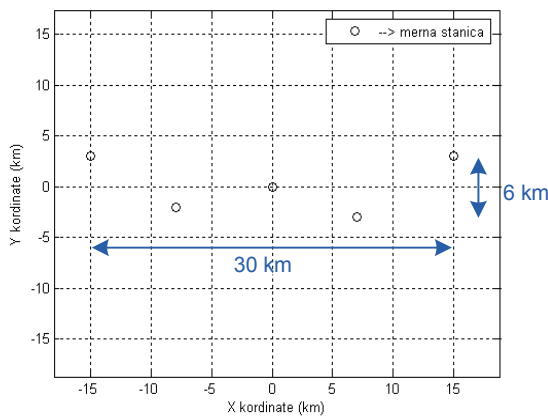
U prethodnoj jednačini nepoznata je lokacija izvora (x, y) i nepoznato je rastojanje od predajnika do kontrolne merne stanice R_1 . Ako x i y mogu da se izraze preko R_1 onda se rešenje za R_1 može dobiti iz jednačine:

$$R_1^2 = x^2 + y^2 \quad (4)$$

Poznajući R_1 , može se proceniti lokacija nepoznatog radio-predajnika [3].

IV. OPIS SIMULACIJE

Da bi se proverila tačnost matematičkih modela metode TDOA i AOA simuliran je raspored pet mernih stanica kao na Sl.5, na razdaljinama približnim veličini osnovice od 30 km.



Sl. 5. - Raspored mernih stanica

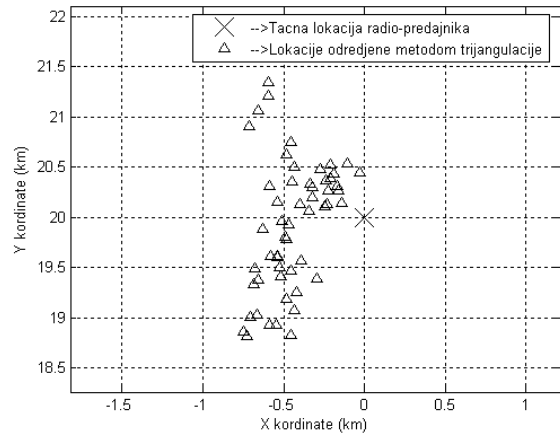
Vremenska kašnjenja za metodu TDOA i radio-smerovi za metodu AOA izračunavani su iz unapred poznate geometrije (poznate lokacije mernih stanica ali i radio-predajnika). Samim tim, izračunate vrednosti vremenskih kašnjenja i vrednosti radio-smerova su nesumnjivo tačna. U realnoj situaciji lokacije mernih stanica jesu poznate dok je lokacija radio-predajnika nepoznata. Ono što je bila promenljiva kategorija i što se menjalo pri svakom narednom proračunu kojih je u jednoj simulaciji bilo 55 je lokacija sopstvenih senzora i to do ± 3 m. Ovo je posledica greške GPS-a a kod metode TDOA, greška GPS-a utiče i na vremensku sinhronizaciju između mernih stanica. Greška u sinhronizaciji kod TDOA-e utiče na tačnost izmerenog relativnog vremenskog kašnjenja. Iz tog

razloga, pri svakom proračunu, dodavana je nasumična greška koja se kretala do maksimalnih ± 20 ns.

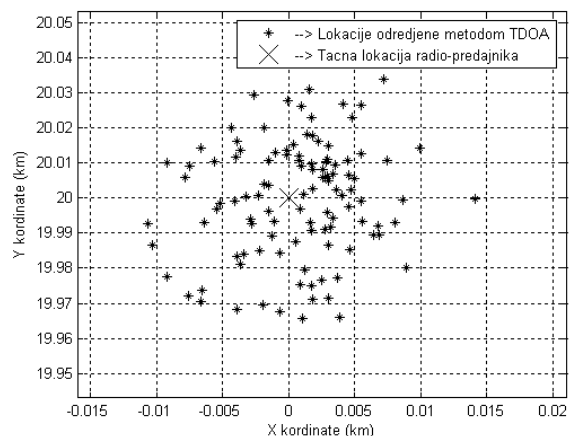
Najverovatnije lokacije u metodi AOA su posle izračunatih radio-smerova određivane metodom najmanjih kvadrata koja predstavlja jednu od optimalnih procena lokacije. Kod ove metode se pri svakom proračunu menjala pozicija sopstvenih senzora (do ± 3 m) kao uticaj greške GPS-a i greška do 2^0 ($\pm 1^0$) koju u proračunu azimuta unose različite greške [4].

V. REZULTATI

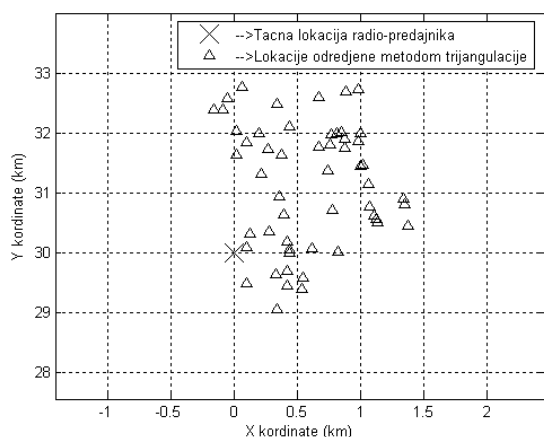
Na slikama 6 i 8 prikazani su rezultati simulacije za metodu TDOA tj. prikazane su procenjene lokacije i to 55 uzastopnih proračuna. Na Sl. 6. predajnik je na razdaljini od 20 km a na Sl. 8. na daljini od 30 km (odnosno njihove kordinate su (0,20) i (0,30)). Na slikama 7 i 9 simulirana je metoda AOA (triangulacija - jer postoje više od tri radio-smerova) sa identičnim rasporedom mernih stanica i takođe sa udaljenošću predajnika na 20 i 30 km respektivno.



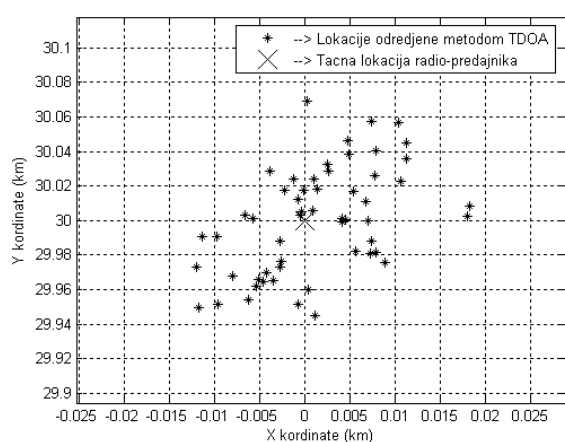
Sl. 6. Proračun lokacija metodom AOA pri čemu je predajnik na razdaljini od 20 km



Sl. 7. Proračun lokacija metodom TDOA pri čemu je predajnik na razdaljini od 20 km



Sl. 8. Proračun lokacija metodom AOA pri čemu je predajnik na razdaljini od 30 km

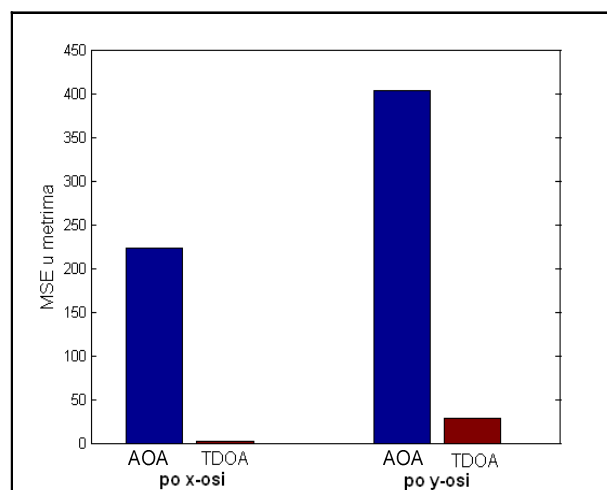


Sl. 9. Proračun lokacija metodom TDOA pri čemu je predajnik na razdaljini od 30 km

Upoređujući proračune lokacija sa Sl.6-9 nedvosmisleno se može reći da je metoda TDOA značajno tačnija. Kada je predajnik udaljen 20 km a za dati raspored mernih stanica, raspon grešaka za TDOA po y-osi je do maksimalnih 100 m dok je za metodu AOA (triangulacija) do 2000 m. Na razdaljini predajnika od 30 km a za dati raspored mernih stanica raspon grešaka za TDOA po y osi je do 150 m dok je kod AOA do 3000 m. TDOA se pokazala višestruko tačnijom (od 15 do 20 puta). Slična situacija je i po x-osi s tim da su ovde greške i kod jedne i druge metode znatno manje. Ovakvo veće rasipanje po y-osi je direktna posledica načina na koji su razmeštene merne stanice (osnovica se pruža u vidu pravougaonika duž x-ose i samim tim je veća tačnost po ovoj osi zbog veće dubine). Ovo se može zaključiti i sa Sl.10 na kojoj su prikazani uporedni prikazi srednje kvadratne greške (MSE-Mean Square Error) po x i y-osi za ove dve metode. Broj ponavljanja je ostao 55, a srednja kvadratna greška je data formulom:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |e_i|^2 \quad (5)$$

gde je: N – broj ponavljanja i
 e_i – greška u i-tom ponavljanju



Sl. 10. Srednje kvadratne greške (MSE) dveju metoda po x i y-osi kada je predajnik na udaljenosti 20 km.

Sa Sl. 6-10 se može zaključiti i da je raspored grešaka metode TDOA koncentrisaniji tj. grupisaniji oko tačne lokacije radio-predajnika dok je centar grešaka metode AOA pomeren od tačne lokacije (otuda i toliko veća razlika u MSE između ovih dveju metoda).

VI. ZAKLJUČAK

Određivanje lokacije radio-predajnika sve više dobija na značaju. Pored unapređenja sredstava, potrebno je usavršavati i metode, organizaciju i načine određivanja lokacije. TDOA je relativno nova i napredna metoda koja zaslužuje pažnju u budućnosti. U odnosu na AOA postiže višestruko bolje rezultate. Poznata je njena primena u zvukometriji [5] i u VVF/UVF opsegu a u budućnosti treba pokazati mogućnost i svrsishodnost primene i u drugim frekvencijskim opsezima.

LITERATURA

- [1] Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide, Cisco Systems, San Jose, USA, May 20, 2008.
- [2] Šunjevarić M. Milan, Radio goniometrija, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1991.
- [3] Rahman I. Reza, Data fusion for improved TOA/TDOA position determination in wireless systems, Blacksburg, Virginia, July 2000.
- [4] Poisel Richard, Introduction to Communication Electronic Warfare Systems, Artech House, Boston.London 2002.
- [5] Predrag Okiljević, Milan Misković, Miljko Erić, Procena relativnog vremenskog kašnjenja dolaska akustičnog signala, Zbornik radova 52. Konferencije za ETRAN, Palic, 2008.

ABSTRACT

This work explains two methods for locating radio-transmitters: AOA (eng. Angle of Arrival) and TDOA (Time Difference Of Arival). Also, a comparison of accuracy of this two methods is presented in this paper.

COMPARISON OF ACCURACY OF LOCATING METHODS: AOA AND TDOA

Danilo Obradović, Boban Jotić-Sazdi