

STRUČNI ČLANCI

JEDAN PRISTUP U OCENI EFEKTIVNOSTI
SISTEMA ZA ZVUKOMETRIJSKO
IZVIĐANJE „BOOMERANG“

Terzić R. *Miroslav*, Vojna akademija, Katedra vojnih
elektronskih sistema, Beograd

UDC: 355.535.2:534.88
355.535.2:681.88

Sažetak:

U radu je prikazan jedan pristup u oceni efektivnosti sistema za zvukometrijsko izviđanje. Sistem za zvukometrijsko izviđanje modelovan je kao sistem masovnog opsluživanja, opisana su stanja sistema, parametri i izveden izraz za određivanje verovatnoće opsluživanja sistema za zvukometrijsko izviđanje, kao kriterijuma za ocenu efektivnosti.

Ključne reči: zvukometrijsko izviđanje, teorija masovnog opsluživanja, efektivnost, verovatnoća opsluživanja.

Uvod

Pravovremen, pouzdan i siguran prijem, obrada i dostavljanje podataka, primenom novih informacionih tehnologija i sistema uslov su uspešnog rukovođenja i komandovanja i efikasne upotrebe resursa u borb- enim dejstvima. Podaci o lokaciji protivničkih snaga mogu se dobiti izviđ- anjem komunikacionih i izviđanjem nekomunikacionih signala. Izviđanje k- omunikacionih signala realizuje se upotrebom stanica i centara za radio-izv- iđanje. Izviđanje nekomunikacionih signala realizuje se upotrebom stanica za radio-tehničko izviđanje, stanica za radarsko izviđanje, stanica za televizi- jsko izviđanje, stanica za zvukometrijsko izviđanje... Sistem za zvukometri- jsko izviđanje čini „n“ jednokanalnih identičnih stanica koje se postavljaju za potrebe odgovarajuće komande – jedinice. U radu se sistem za zvukometri-

jsko izviđanje razmatra kao tehnički sistem čija je osnovna funkcija identifikacija, prijem, obrada akustičkog signala i dostavljanje informacija o smeru i lokaciji izvora akustičkog signala. Efektivnost tehničkih sistema je kompleksni pokazatelj funkcionisanja sistema, te, zavisno od njegove osnovne namene i funkcije cilja, obuhvata različite karakteristike sistema. Odgovarajući modeli ocene funkcije efektivnosti tehničkih sistema obuhvataju relevantne parametre funkcionisanja sistema i ispunjavanja funkcije cilja.

Jedan od često korišćenih modela, koji je definisan u okviru koncepta efektivnosti vojske (Army System Effectiveness Concept) [1], a prema kojem se kvantitativna ocena funkcije efektivnosti tehničkog sistema $E(t)$ vrši na osnovu svojstava pouzdanosti $P(t)$, raspoloživosti $A(t)$ i funkcionalne podobnosti $F_p(t)$, može se predstaviti izrazom [2]:

$$E(t) = P(t) \cdot A(t) \cdot F_p(t) \quad (1)$$

gde je:

$E(t)$ – efektivnost sistema, predstavlja verovatnoću da će sistem stupiti u dejstvo, izvršiti postavljene zadatke na osnovu projektovanih mogućnosti u zadatom periodu i datim uslovima rada,

$P(t)$ – pouzdanost sistema je verovatnoća da sistem bude u operativnom, radnom stanju, u toku vremena t , odnosno verovatnoća da u određenom periodu sistem ispravno funkcioniše i obavlja svoje zadatke,

$A(t)$ – raspoloživost sistema je pokazatelj koji predstavlja vreme u kojem se može očekivati da sistem bude u operativnom stanju, tj. procenat vremena kada je sistem upotrebljiv u odnosu na ukupno vreme rada sistema. Raspoloživost se iskazuje koeficijentom spremnosti K_s ,

$F_p(t)$ – funkcionalna podobnost, koja predstavlja prikladnost sistema za vršenje funkcije. To je svojstvo sistema koje ukazuje na to kojom će verovatnoćom sistem izvršiti postavljeni zadatak.

Treba napomenuti da se kod različitih tehničkih sistema, zavisno od osnovne funkcije cilja i glavnih posledica otkaza, ocena funkcije efektivnosti može definisati i preko pojedinačnih pokazatelja. Pored toga, važan je probabilistički aspekt prisutan u prikazanom konceptu i stohastička priroda relevantnih parametara, koji efektivnost određuju kao veličinu kategorije verovatnoće. Matematički izrazi za funkcije efektivnosti sistema, dati u obliku proizvoda različitih verovatnoća, mogu se formalno prihvatiti ukoliko parametri koji figurišu u navedenim izrazima predstavljaju međusobno nezavisne slučajne veličine. Uz pretpostavku da je sistem potpuno pouzdan i funkcionalno podoban, efektivnost će se razmatrati u funkciji raspoloživosti sistema.

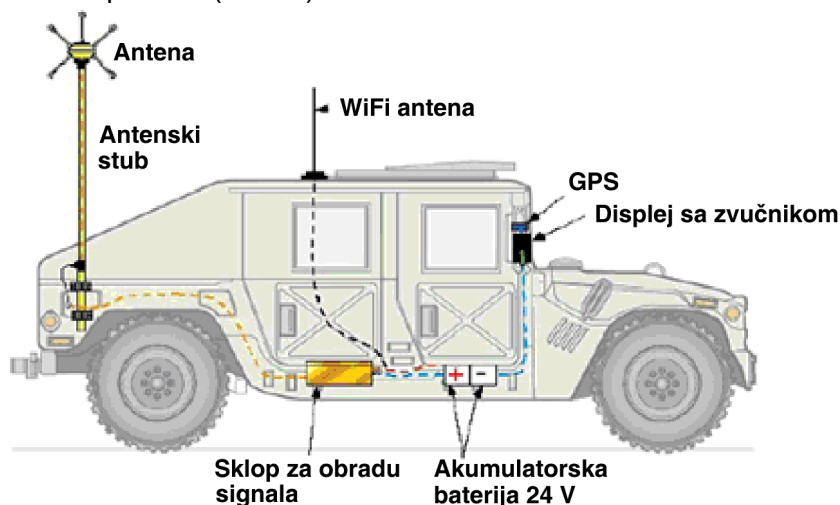
Ocnom efektivnosti sistema za zvukometrijsko izviđanje kvantitativno se može oceniti njegovo funkcionisanje i izvršenje namenskog zadatka (određivanje i prenos informacija o lokaciji akustičkog signala). Radi određivanja efektivnosti potrebno je sistem za zvukometrijsko izviđanje predstaviti odgovarajućim modelom i kvantitativno odrediti njegova svojstva u odnosu

na mogućnosti zadovoljenja njegovih funkcija u složenim uslovima. Sistem za zvukometrijsko izviđanje je modelovan kao sistem za masovno opsluživanje sa otkazom, imajući u vidu da je funkcionisanje sistema limitirano propusnom sposobnošću sistema i potrebom da svaki detektovani akustički signal bude pravovremeno obrađen i prenet.¹ Kako akustički signali u stanice pristižu pojedinačno, nezavisno jedan od drugog i u slučajnim vremenskim intervalima, nadalje će se razmatrati samo Poasonov sistem masovnog opsluživanja sa otkazom, sa prostim tokom događaja. Verovatnoća opsluživanja sistema predstavlja kriterijum za ocenu njegove efektivnosti.

Osnovne karakteristike sistema za zvukometrijsko izviđanje „Boomerang“

Sistem „Boomerang“ jeste integrisani hardverski i softverski sistem namenjen za detekciju projektila ispaljenih iz ručnog naoružanja i za utvrđivanje azimuta i lokacije sa koje je ispaljen projektil. Detektuje zvuk projektila, vrši akustičku analizu i pokazuje pravac (vizuelno i zvučno) iz kojeg je projektil ispaljen.

Sistem je instaliran na vozilo HMMWV (hamvi) sa mogućnošću rada iz mesta i iz pokreta (slika 1).



Slika 1 – Elementi sistema „Boomerang“ instalirani na vozilo hamvi

¹ Sistemi masovnog opsluživanja su bilo koji sistemi predodređeni za opsluživanje nekog toka zahteva i mogu biti sistemi sa otkazom i sistemi sa čekanjem. U sistemima sa otkazom potraživanje koje je došlo u momentu kad su svi kanali opsluživanja zauzeti dobija otkaz i napušta sistem. U sistemima sa čekanjem takvo potraživanje ne prekida rad sistema, već se svrstava u red i čeka dok se ne oslobodi neki kanal [3].

Osnovne karakteristike:

- radi u pokretu kada se vozilo kreće brzinama do 96 km/h, na otvorenom prostoru i u urbanim sredinama,
- osnovno oružje koje detektuje je automatska puška AK-47,
- otkriva neprijateljskog strelca nakon ispaljivanja prvog hica u svim vremenskim uslovima (danju, noću, pri kišovitom, maglovitom i snežnom vremenu i pri peščanoj oluji),
- sistem dostavlja informacije o azimutu i lokaciji, vizuelno i zvučno,
- prikazivanje desetocifrenih koordinata u vojnom geografsko-informacionom sistemu,
- jednostavno rukovanje, bez potrebe za kalibracijom, korišćenjem prekidača za uključivanje i isključivanje,
- ugrađen softver za samotestiranje i Ethernet interfejs.

Tehničke karakteristike:

- uspešnost detekcije nadzvučnih projektila je veća od 95%,
- greška u otkrivanju azimuta neprijateljskog strelca je manja od 2,5°,
- greška pri određivanju daljine do neprijateljskog strelca je +/-10%,
- detektuje relativan pravac strelaca za 1 s nakon dolaska akustičnog signala,
- detektuje pucnje koji su prošli pored vozila u prečniku od 1 do 30 metara.

Analitički model za ocenu efektivnosti sistema za zvukometrijsko izviđanje „boomerang“

Sistem za zvukometrijsko izviđanje sačinjen od „n“ jednorodnih zvučnih sistema (stanica za zvukometrijsko izviđanje), koje mogu vršiti razmenu informacija mrežnim linkom. U sistem pristižu informacije sa intenzitetom „ λ “, što predstavlja karakteristiku ulaznog toka izraženu kroz broj akustičnih signala u jedinici vremena, odnosno može se tretirati kao recipročna vrednost srednjeg vremena između dva dolaska akustičkih signala koji se obrađuju ($\lambda = 1/t_p$, t_p – srednje vreme između dva dolaska akustičkih signala). Intenzitet opsluživanja „ μ “ predstavlja karakteristiku izlaznog toka izraženu kroz broj prenesenih informacija o smeru izvora zvuka u jedinici vremena, odnosno može se tretirati kao recipročna vrednost srednjeg vremena zauzetosti sistema za zvukometrijsko izviđanje ($\mu = 1/t_{ops}$, t_{ops} – srednje vreme zauzetosti sistema za zvukometrijsko izviđanje). Karakteristika izlaznog toka „ μ “ može se smatrati složenom, jer se sastoji od intenziteta obrade i intenziteta razmene informacija. Intenzitet opsluživanja jednak je zbiru ovih intenziteta pod pretpostavkom da i tok obrade podataka i tok razmene informacija imaju odlike Poasonovog toka.

Sistem se može naći u nekom od sledećih mogućih stanja:

S_0 – sve stanice za zvukometrijsko izviđanje su slobodne,

S_1 – jedna stanica za zvukometrijsko izviđanje je zauzeta, ostale stanice su slobodne,

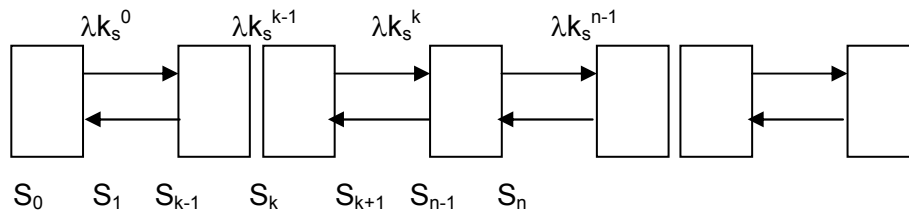
S_k – k stanica za zvukometrijsko izviđanje je zauzeto, ostale stanice su slobodne,

S_n – sve stanice za zvukometrijsko izviđanje su zauzete.

Da bi se odredila verovatnoća otkaza sistema (sistema za zvukometrijsko izviđanje) potrebno je najpre naći verovatnoću da se sistem nađe u k -tom stanju. Na taj način će se dobiti i verovatnoća otkaza sistema kao specijalni slučaj izvedene formule u kojoj je $k = n$.

Radi predstavljanja dinamike funkcionisanja sistema (kao sistema masovnog opsluživanja) i opisa sistema i njegovih stanja, neophodno je nacrtati graf stanja sistema.

Primenom mnemoničkih pravila [3] prikazan je graf stanja sistema (S_0, S_1, \dots, S_n) sa intenzitetima prelaska iz jednog u drugo stanje (slika 2). Verovatnoće $p_0(t), p_1(t), \dots, p_n(t)$ predstavljaju verovatnoće da će se sistem naći u određenom stanju.



$p_0(t), p_1(t), \dots, p_{k-1}(t), p_k(t), p_{k+1}(t), \dots, p_{n-1}(t), p_n(t)$

Slika 2 – Prikaz grafa stanja sistema

Verovatnoća da će sistem preći iz jednog u drugo stanje jednaka je proizvodu verovatnoće da u sistem pristigne informacija (intenzitet dolaska informacija u sistem), odnosno verovatnoće da bilo koja stanica za zvukometrijsko izviđanje izvrši svoju misiju, tj. oslobodi se (intenzitet opsluživanja) i verovatnoće da svih k stanica za zvukometrijsko izviđanje budu u ispravnom stanju (bez otkaza) i da obavljaju svoju funkciju (raspoloživost izraženu koeficijentom spremnosti).² Za pojedina stanja sistema važe sledeće diferencijalne jednačine:

² Raspoloživost se iskazuje koeficijentom spremnosti koji se može predstaviti izrazom [2]:

$$K_s = \frac{T_o}{T_o + T_{no}} = \frac{T_o}{T} = \frac{T - T_{no}}{T} = 1 - \frac{T_{no}}{T}$$

gde je:

T_o – srednje vreme rada bez otkaza,

T_{no} – srednje vreme zastoja sistema, odnosno opravke,

T – ukupno planirano vreme rada.

$$p_0'(t) = -\lambda k_s^0 p_0(t) + \mu k_s^1 p_1(t) \quad (2)$$

$$p_k'(t) = \lambda k_s^{k-1} p_{k-1}(t) + (k+1)\mu k_s^{k+1} p_{k+1}(t) - (\lambda+k\mu) k_s^k p_k(t) \quad (3)$$

$$p_n'(t) = \lambda k_s^{n-1} p_{n-1}(t) - n\mu k_s^n p_n(t) \quad (4)$$

U slučaju graničnog, stacionarnog režima rada sistema, ovaj sistem diferencijalnih jednačina može se prevesti u sistem algebarskih jednačina. Kada se posmatranje vrši u dugom vremenskom periodu, tj. kada $t \rightarrow \infty$, svi prvi izvodi verovatnoća jednaki su nuli i rešavanjem sistema jednačina izvodi se opšti izraz za verovatnoću stanja sistema:

$$p_k = \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} \cdot \frac{1}{k_s^k} p_0 \quad (5)$$

Pošto je uslov:

$$\sum_{k=0}^n p_k = 1 \Rightarrow p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} \cdot \frac{1}{k_s^k}} \quad (6)$$

zamenom u opšti izraz (2) i ako uvedemo zamenu:

$$x = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{1}{k_s} = \frac{\alpha}{k_s} \quad (7)$$

dobija se formula Erlanga, koja određuje verovatnoću stanja sistema:

$$p_k = \frac{\frac{x^k}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{x^k}{k!}}, \text{ odnosno } p_k = \frac{\frac{\lambda^k}{k! \mu^k} \cdot \frac{1}{k_s^k}}{\sum_{k=0}^n \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} \cdot \frac{1}{k_s^k}} \quad (8)$$

Izraz (8) predstavlja verovatnoću da se posmatrani sistem nađe u stanju k , tj. verovatnoću da je k stanica za zvukometrijsko izviđanje zauzeto. Ako je $k = n$, tada su sve stanice za zvukometrijsko izviđanje zauzete.

zete, što znači da sistem za zvukometrijsko izviđanje nije više u stanju ni da preda ni da primi informacije, tj. nalazi se u stanju otkaza. Iz toga proizilazi da je verovatnoća opsluživanja sistema:

$$p_{op} = 1 - p_n = 1 - \frac{\lambda^n \cdot 1}{n! \mu^n k_s^n} \quad (9)$$

$$\sum_{k=0}^n \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} \cdot \frac{1}{k_s^k}$$

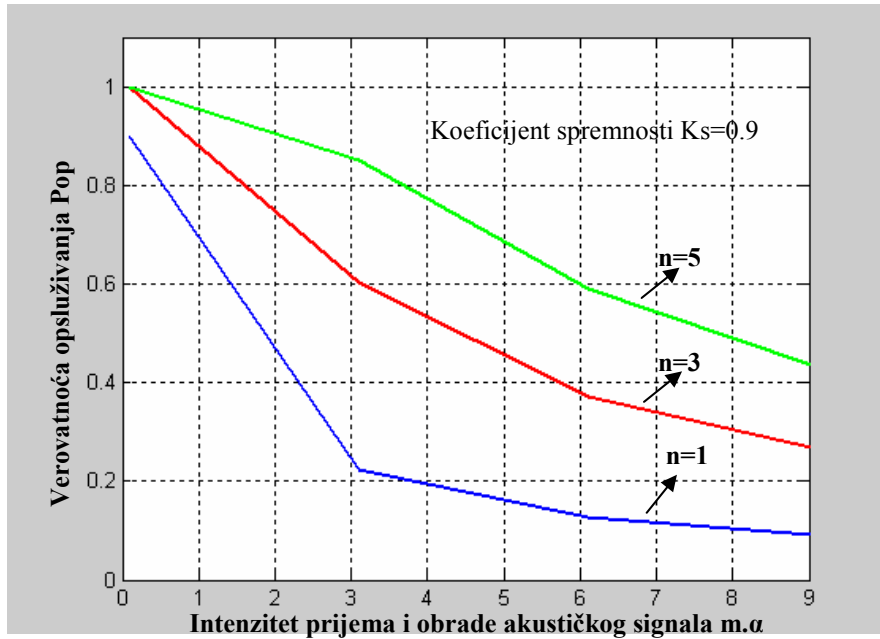
Verovatnoća opsluživanja sistema predstavlja kriterijum ocene efektivnosti rada sistema (sistema za zvukometrijsko izviđanje), odnosno njegovog funkcionisanja u zavisnosti od intenziteta dolaska informacija, intenziteta opsluživanja, raspoloživosti sistema za zvukometrijsko izviđanje i kapaciteta sistema.

Ocena efektivnosti sistema za zvukometrijsko izviđanje „boomerang“

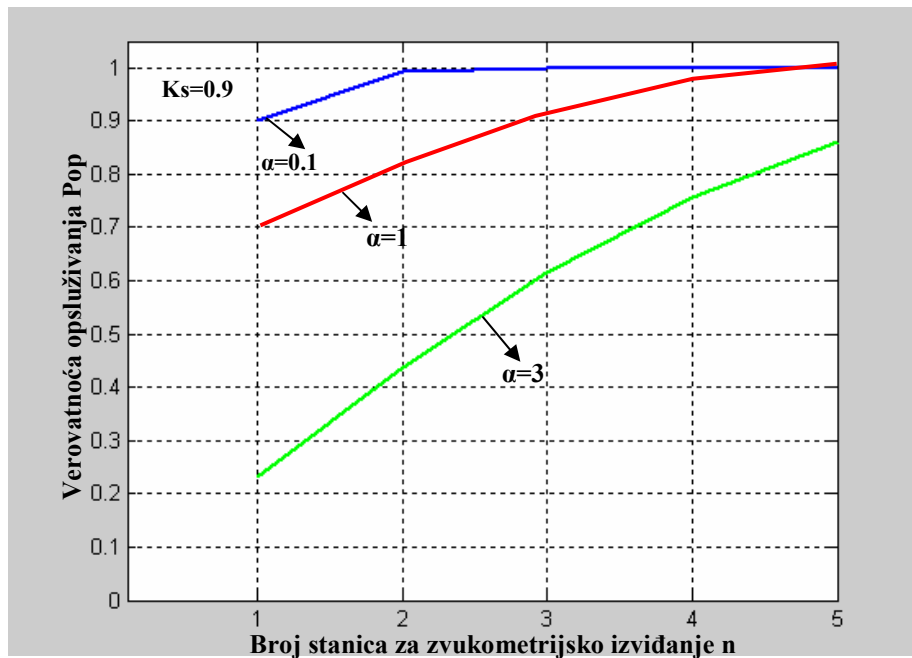
Izvedeni izraz (9) predstavlja osnovu za ocenu efektivnosti u zavisnosti od zadatih parametara. U relaciji (7) odnos intenziteta pristizanja akustičkih signala i intenziteta opsluživanja (obrade signala i dostavljanja informacija o smeru i lokaciji izvora zvuka) zamenjen je sa α ($\alpha = \lambda\mu$) i predstavlja „srednji broj akustičkih signala koje registruje stanica za srednje vreme opsluživanja“. Na osnovu izraza (9), za poznatu raspoloživost sistema za zvukometrijsko izviđanje (k_s) i različit broj stanica za zvukometrijsko izviđanje (n), može se analizirati zavisnost verovatnoće opsluživanja sistema za zvukometrijsko izviđanje (p_{op}) od intenziteta prijema akustičkog signala, obrade i dostavljanja informacije. Izračunavanje verovatnoće opsluživanja (P_{op}) u funkciji intenziteta prijema akustičkog signala, obrade i dostavljanja informacije (α), gde je kao parametar uzet broj stanica za zvukometrijsko izviđanje (n) i koeficijent spremnosti (k_s) će se provesti koristeći programski paket Matlab 6.5R13 [6].

Na slici 3 uočava se da verovatnoća opsluživanja opada sa povećanjem odnosa intenziteta prijema i obrade akustičkog signala, te da je jako zavisna od broja stanica za zvukometrijsko izviđanje.

Grafik na slici 3 predstavlja slučaj kada je vreme pauze između pucnjeva (akustičkih signala) od 1 do 10 sekundi i vreme opsluživanja od 1 do 3 sekunde, odnosno $\lambda = 0,1-1$, $\mu = 0,33-1$. Parametar „ m “ predstavlja broj ponavljanja celokupnog događaja.



Slika 3 – Zavisnost verovatnoće opsluživanja od intenziteta prijema i obrade akustičkog signala za $m = 1, 2, 3$



Slika 4 – Zavisnost verovatnoće opsluživanja od broja stanica za zvukometrijsko izviđanje

Na sličan način može se analizirati zavisnost efektivnosti sistema za zvukometrijsko izviđanje od broja stanica, za zadate veličine drugih parametara (slika 4). Za izračunavanje verovatnoće opsluživanja u funkciji broja stanica za zvukometrijsko izviđanje (n), gde je kao parametar uzet odnos intenziteta, prijema i obrade signala i dostavljanja informacija (α) i koeficijent spremnosti (k_s), korišćen je programski paket Matlab 6.5R13 [6].

Grafik zavisnosti omogućuje optimizaciju sistema za zvukometrijsko izviđanje, odnosno izbor potrebnog broja stanica za zvukometrijsko izviđanje radi obrade i prenosa određene količine informacija za zadata (potrebnu) njegovu efektivnost i poznatu raspoloživost sistema za zvukometrijsko izviđanje.

Zaključak

Sistem za zvukometrijsko izviđanje „Boomerang“ je tehnički sistem čija se efektivnost ocenjuje verovatnoćom da će pomenuti sistem, u realnom vremenu, izvršiti detekciju, obradu i prenos informacija koje u njega pristižu, odnosno predstavlja verovatnoću opsluživanja sistema. Modelovan je kao sistem za masovno opsluživanje sa otkazom, a njegova svojstva opisana su parametrima: brojem stanica za zvukometrijsko izviđanje, njihovom raspoloživošću, intenzitetom dolaska zvučnih signala na sistem za zvukometrijsko izviđanje i intenzitetom opsluživanja sistema. Primenom programskog paketa Matlab 6.5R13 može se kvalitetnije i brže analizirati efektivnost sistema za zvukometrijsko izviđanje i predstaviti krive zavisnosti efektivnosti od parametara koji opisuju svojstva sistema. Za zadata efektivnost može se odrediti broj potrebnih stanica za zvukometrijsko izviđanje u zavisnosti od broja akustičnih signala koje želimo pratiti. Analiza se može primeniti u proceni situacije i odlučivanju o upotrebi resursa u borbenim dejstvima.

Literatura

- [1] Blanchard, B. S., Lowery E. E., Maintainability Principles and Practices, McGraw Hill Book Company, New York, 1969.
- [2] Šepec, V., Procena efikasnost sistema veze u borbi, Makarije, Beograd, 2004.
- [3] Vučićević, R., Teorija verovatnoće sa osnovama TMO, VIZ, Beograd, 2003.
- [4] Vukadinović, S., Elementi teorije masovnog opsluživanja, Naučna knjiga, Beograd, 1975.
- [6] Devetak, S., Đorđević, D., Analiza efikasnosti funkcionalnih radio-komunikacionih sistema, Vojnotehnički glasnik, br. 4/2008, str. 38–47, ISSN 0042-8469, Beograd, 2008.
- [6] Programski paket Matlab 6.5R13.
- [7] Boomerang, Operator's Manual, www.bbn.com/boomerang.htm, 27. 02. 2009.

ONE APPROACH TO THE EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE BOOMERANG SYSTEM FOR ACOUSTIC SOURCE LOCALIZATION AND IDENTIFICATION

Summary:

One approach to the evaluation of the effectiveness of a system for acoustic source localization and identification has been shown in this article. The system for acoustic source localization and identification has been presented as a model of mass servicing system. The states of the system as well as its features have been described while the formula for service probability determination has been derived as a criterion for effectiveness evaluation.

The introductory part of the article describes the system for acoustic source localization and identification and shows a model for quantity estimation of the function of technical system effectiveness $E(t)$. The system effectiveness represents a probability of system initiation as well as a probability of its successful mission accomplishment on the basis of designed capabilities within the given time period and operational conditions.

The basic characteristics of the Boomerang system for acoustic source localization and identification show the system elements and its designed capability to detect, analyse and distribute acoustic source location data.

The analytical model for the evaluation of the effectiveness of the Boomerang system for acoustic source localization and identification shows that 'n' stations for acoustic source localization can exchange information with each other using the network link. The system conditions are described and the expression for the determination of service probability as a criterion for system effectiveness evaluation is derived.

The evaluation of the effectiveness of the Boomerang system for acoustic source localization and identification is presented with a formula for determining mass servicing system probability from the Matlab 6.5R13 program. The following graphs have been obtained:

- correlation between mass servicing probability and processing acoustic signal intensity for $m=1,2,3,i$;*
- correlation between mass servicing probability and the number of stations for acoustic source localization and identification.*

The obtained graphs help in the optimization of the system for acoustic source localization and identification.

The conclusion gives some guidelines in applying this analysis and achieving optimal resources employment in combat environment.

Key words: acoustic source localization and identification, the theory of mass servicing, effectiveness, probability.

Datum prijema članka: 05. 06. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 23. 09. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 25. 09. 2009.