

# Pristup modelovanju nesavršenosti komandno informacionog sistema u simulatorima vojnih sistema rojenja

Radomir Janković  
Računarski fakultet  
Univerzitet Union  
Beograd, Srbija  
rjankovic@raf.rs

Momčilo Milinović  
Mašinski fakultet  
Univerzitet u Beogradu  
Beograd, Srbija  
mmilinovic@mas.bg.ac.rs

*Sažetak* — Predstavlja se pristup modelovanju nesavršenosti komandno-informacionog sistema u okviru simulatora vojnih sistema koji primenjuju ofanzivnu odbrambenu taktiku rojenja, kombinovanu sa sinhronizovanim raketnim udarom. Nesavršenost informacionog sistema nastaje usled povremenih izostanaka informacije o stvarnom položaju pretnje, što može rezultovati paralaksom sistema i nepravovremenim raketnim udarom, ili čak njegovim izostankom. Uvođenjem nesavršenosti informacionog sistema, ovakvi simulatori dobijaju na realnosti, pa postaju korisniji za procenu mogućnosti odbrane ćelije teritorije od naoružane aktivne pretnje.

*Ključne riječi* - modelovanje; komandno-informacioni sistem; nesavršenost; simulator; rojenje; sinhronizovani raketni udar

## I. UVOD

Za vojske manjih zemalja, jedna od boljih investicija jeste adaptacija tehnički intenzivnih delova oružanih snaga, posebno oklopnih i mehanizovanih jedinica (OiMJ) i artiljerijsko-raketnih jedinica (ARJ), radi primene novih taktičkih postupaka koji bi vodili ka njihovom boljem ukupnom učinku u borbenim dejstvima. To je i motivacija istraživanja **taktike rojenja** (engl. *Swarming* [1], [2], [3], [4]) OiMJ i ARJ na Računarskom fakultetu u Beogradu i Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. U istraživanjima se koristi metoda simulacije diskretnih događaja [5].

Do sada realizovani simulatori [6], [7], odnosili su se na primenu rojenja kao ofanzivne odbrambene taktike OiMJ do nivoa oklopnog bataljona protiv pasivne ili aktivne pretnje. U [8], [9] u istraživanju su uvedene ARJ – lanseri raketa koji protiv aktivne pretnje (AP) brane ćeliju teritorije (CT), primenjujući taktiku rojenja kombinovanu sa sinhronizovanim raketnim udarom. U realizovanim simulatorima, podrazumevalo se da je komandno-informacioni sistem (KIS) savršen, pa u svakom svom osnovnom intervalu  $\Delta t$  obezbeđuje pouzdanu informaciju o položajima svih učesnika u borbenim dejstvima – aktivne pretnje i samohodnih lansera raketa.

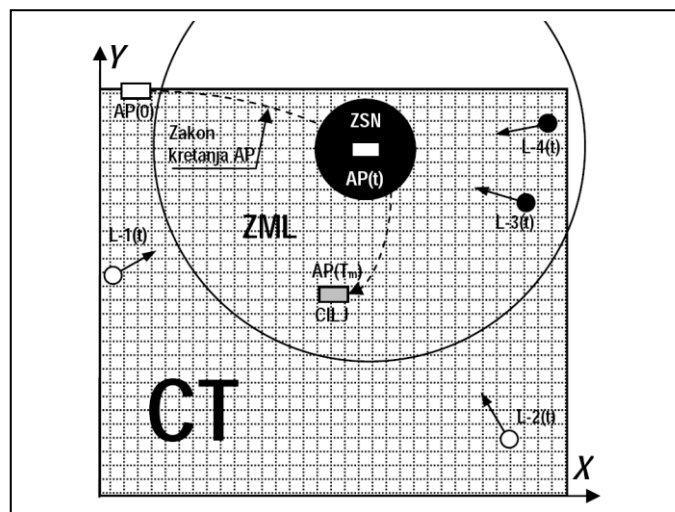
Cilj ovog rada je da se predstavi pristup modelovanju **nesavršenosti KIS**, kada dolazi do povremenih izostanaka informacija o trenutnim položajima pokretnih delova sistema, radi dobijanja na realnosti simulatora i ispitivanja uticaja te pojave na performanse simuliranih vojnih sistema.

## II. SIMULIRANI SISTEM

Simulirani sistem (SI.1) obuhvata: ćeliju teritorije (CT) koju brane samohodni lanseri raketa zemlja-zemlja (L-*i*), komandno-informacioni sistem (KIS) i aktivnu pretnju (AP).

**Ćelija teritorije** (CT), na kojoj se odvijaju borbeni dejstva predstavlja pravougaoni 2-dimenzionalni prostor ( $x, y$ ), okarakterisan maksimalnim vrednostima pravouglavih koordinata i težištem čije dostizanje predstavlja planirani cilj aktivne pretnje (CILJ).

**Samohodni lanseri L-*i*** na početku simulacije imaju slučajan raspored na celoj površini CT. Oni treba da spreče AP da stigne do CILJA, što postižu višestrukim pogađanjem AP raketama koje lansiraju ka AP, prema informacijama o njenom trenutnom položaju koje im dostavlja KIS. Lanseri primenjuju ofanzivnu odbrambenu taktiku u dve faze: **rojenje**, u kojoj se lanseri usmeravaju ka AP, da bi joj se približili na rastojanje sa koga je moguće lansiranje raketa (ZML), tako da one stignu do AP pre nego što ona stigne do svog CILJA i **sinhronizovani raketni udar**, gde se rakete, sa svih lansera kojima je to moguće, lansiraju u redosledu tako da u istom trenutku stignu na ivicu njihove zone samonavođenja (ZSN) na AP.



Slika 1. Simulirani sistem

TABELA I. VAŽNIJE KARAKTERISTIKE SIMULIRANOG SISTEMA

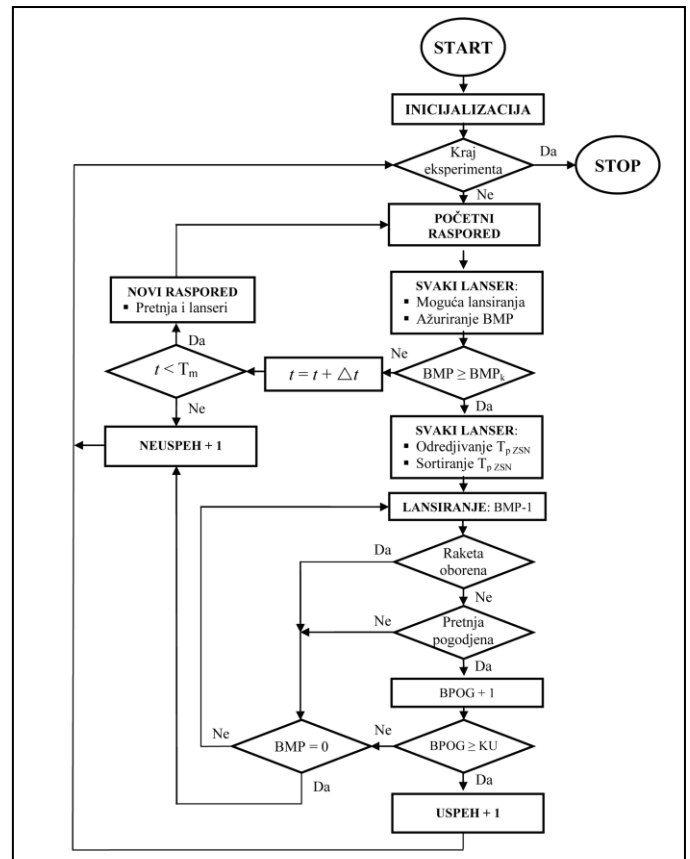
Oznaka	Opis	Primer
a [m]	Širina ćelije teritorije	100000
b [m]	Dubina ćelije teritorije	100000
$P_{KIS}$ [m]	Preciznost KIS: greška u koordinatama AP	100
$p_{rKIS}$	Nesavršenost KIS: verovatnoća izostanka informacije u osnovnom intervalu $\Delta t$	0/0,5/0,75/1,0
N	Broj samohodnih lansera	1/2/4
$V_{Lmax}$ [m/s]	Maksimalna brzina kretanja lansera	16,7
$V_{Mmax}$ [m/s]	Maksimalna brzina leta lansirane rakete	180
BKL	Borbeni komplet projektila po lanseru	2
$R_{ml}$ [m]	Poluprečnik zone mogućeg lansiranja oko pretnje	25000
$R_{sn}$ [m]	Poluprečnik zone samonavođenja oko pretnje	3000
$t_{pri}$ [s]	Vreme pripreme za lansiranje	600
$t_{ul}$ [s]	Vreme između 2 uzastopna lansiranja sa istog lansera	5
$p_{hst}$ [%]	Verovatnoća pogađanja pretnje iz zone samonavođenja	0,78
$V_{Apmax}$ [m/s]	Maksimalna brzina kretanja pretnje	22
PRO	Broj oruđa AP za protivrakletnu odbranu	2
$P_{pro}$ [%]	Verovatnoća uništenja rakete lansirane od lansera ka pretnji	0,8
KU	Kriterijum uništenja pretnje: potreban broj pogodaka	2

Lanser ne može da lansira raketu iz pokreta, nego staje i priprema se za lansiranje u vremenu  $t_{pri}$ . Rakeete mogu da se lansiraju sa istog lansera u nizu, u razmaku vremena  $t_{ul}$ .

**Komandno-informacioni sistem (KIS)** u svakom svom osnovnom vremenskom intervalu  $\Delta t$  izveštava lansere o trenutnom položaju AP. U ovom radu se uvodi **nesavršenost KIS**, preko verovatnoće izostanka te informacije u intervalu  $\Delta t$ ,  $p_{rKIS}$ .

**Aktivna pretnja (AP)** na početku simulacije ima slučajni položaj, na bilo kojoj od stranica CT, a zatim se svojom najvećom brzinom i prema zadatom zakonu kretanja, usmerava ka svom CILJU u težistu CT. AP se brani od samohodnih lansera, tako što pokušava da uništi one lansirane rakete koje se u zoni njihovog samonavođenja (ZSN) nađu u dometu njenih sopstvenih oruđa za protivrakletnu odbranu (PRO). Jedno oruđe za PRO može da se bavi sa 1 raketom istovremeno. Imajući u vidu dimenzije ZSN i brzine kretanja raketa u režimu samonavođenja, od presudnog je značaja da raketni udar protiv AP bude **sinhronizovan** i rakete lansiraju po vremenski usklađenom redosledu, tako da se sve one istovremeno pojave u ZSN. Time se izbegava mogućnost da AP uništava nadolazeće rakete jednu po jednu.

**Algoritam simulatora** prikazan je na Sl. 2, a detaljan opis je u [8] i [9]. U TABELI I date su oznake i opis najvažnijih karakteristika simuliranog sistema, kao i njihove vrednosti u primeru u ovom radu.



Slika 2. Osnovni algoritam simulatora

U glavnoj petlji programa, za svaki lanser se određuje:

- Da li je moguće lansiranje, tako da raketa stigne do AP pre nego što AP stigne do CILJA;
- Za svaku od takvih raketa brojač mogućih pogodaka (BMP) se povećava za 1.

Ako je trenutni sadržaj BMP veći ili jednak od zadatog kriterijuma  $BMP_k$ , pripremaju se svi takvi lanseri i rakete za dejstvo protiv AP. Za svaki lanser ( $i$ ) i svaku raketu koju može da lansira ( $j$ ), određuje vreme pristizanja rakete na ivicu ZSN,  $T_{pZSN}(i,j)$ , kao i vreme pristizanja na ivicu ZSN sledeće rakete u nizu koju može da lansira isti lanser,  $T_{pZSN}(i,(j+1))$ :

$$T_{pZSN}(i,j) = t + t_{pri} + \frac{D_{iAP} - R_{sn}}{V_{Mmax}} \quad (1)$$

$$T_{pZSN}(i,(j+1)) = t + t_{pri} + \frac{D_{iAP} - R_{sn}}{V_{Mmax}} + t_{ul} \quad (2)$$

gde su:  $t$  posmatrani trenutak simuliranog vremena,  $t_{pri}$  vreme pripreme za lansiranje,  $t_{ul}$  vreme između 2 uzastopna lansiranja sa istog lansera,  $D_{iAP}$  rastojanje  $i$ -tog lansera od AP,  $R_{sn}$  rastojanje od AP kad počinje samonavođenje i  $V_{Mmax}$  maksimalna brzina rakete.

Vremena pristizanja raketa na ivicu ZSN sortiraju se po opadajućem redosledu, što daje opadajući niz od:

$$T_{pZSN}(1) \geq T_{pZSN}(2) \geq \dots \geq T_{pZSN}(BMP) \quad (3)$$

Uz svako od vremena pristizanja rakete u ZSN iz niza (3), čuvaju se i podaci o rednom broju lansera ( $i$ ) i rednom broju rakete tog lansera ( $j$ ).

Za **sinhronizovani raketni udar**, trenutak lansiranja prve rakete u nizu je  $T_1(1) = t$ , a za svaku narednu:

$$T_l(k) = t + T_{pZSN}(1) - T_{pZSN}(k) \quad (4)$$

### III. PRISTUP MODELOVANJU NESAVRŠENOG KIS

U okviru ovog istraživanja, u do sada realizovanim simulatorima vojnih sistema gde se primenjuje taktika rojenja, [6]-[9], komandno-informacioni sistem je modelovan kao savršen – tako da u svakom svom osnovnom vremenskom intervalu  $\Delta t$  obezbeđuje informacije o trenutnim položajima svih pokretnih delova simuliranog sistema, na prvom mestu aktivne pretnje.

U ovom radu uvodi se pojam **nesavršenosti KIS**, koja se ispoljava kroz izostanak očekivanih informacija u pojedinim njegovim osnovnim intervalima  $\Delta t$ .

Pristup modelovanju nesavršenosti KIS u ovom istraživanju je da je njena mera verovatnoća izostanka informacija KIS ( $p_{KIS}$ ) u posmatranom intervalu  $\Delta t$ . U simulatoru  $p_{KIS}$  se zadaje kao ulazni parametar koji ima izabranu vrednost u okviru simulacionog eksperimenta.

Nesavršenost KIS u simuliranom sistemu ima za posledicu neizvesnost stvarnog položaja aktivne pretnje, što se odražava na aktivnosti samohodnih lansera, koji se usmeravaju ka AP na osnovu nepouzdatih informacija o njenom stvarnom trenutnom položaju.

U slučaju izostanka informacija u jednom ili više intervala  $\Delta t$ , lanseri se usmeravaju ka poslednjem potvrđenom položaju AP, pa se u skladu sa njim ažurira brojač mogućih pogodaka BMP i procenjuje da li su ispunjeni uslovi za lansiranje raketa.

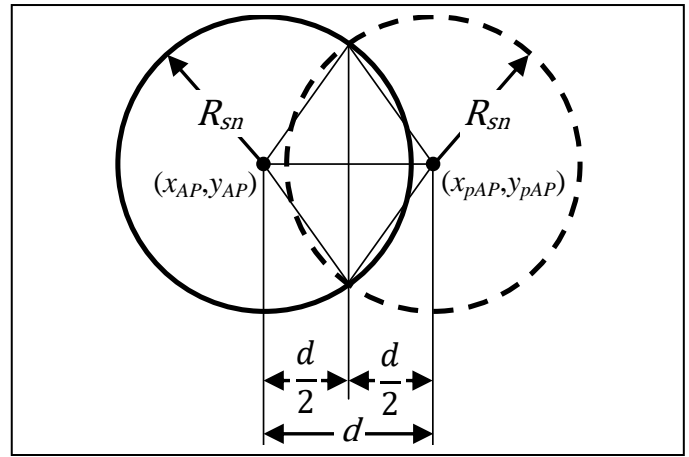
Tada se u simulaciji, kao i u realnom sistemu može pojaviti **paralaksa KIS**, prikazana na Sl.3, koja se definiše kao razlika između stvarnog trenutnog položaja AP i njenog položaja koji je procenjen na osnovu nepouzdatih informacija. Mera paralakse KIS je rastojanje  $d$  stvarnog i poslednjeg potvrđenog položaja AP, dato izrazom:

$$d = \sqrt{(x_{AP} - x_{pAP})^2 + (y_{AP} - y_{pAP})^2} \quad (5)$$

gde su  $(x_{AP}, y_{AP})$  i  $(x_{pAP}, y_{pAP})$  koordinate stvarnog i poslednjeg potvrđenog položaja AP, respektivno.

Paralaksa usled nesavršenosti KIS može imati dva različita učinka na uspeh sinhronizovanog raketnog udara:

- u okviru posmatranog simulacionog prolaza, može se dogoditi da se, do pristizanja AP do njenog CILJA, usled neizvesnog određivanja položaja AP od strane nesavršenog KIS, ne zadovolji kriterijum brojača mogućih podataka BMP, pa uopšte ne dođe do inače mogućeg lansiranja sinhronizovanog raketnog udara;
- usled paralakse KIS može doći do lažnog zadovoljenja kriterijuma BMP, što rezultuje lansiranjem raketnog udara koji može i da ne uspe.



Slika 3. Paralaksa KIS: zona samonavođenja raketa na AP

Obe ove pojave utiču na neuspeh kombinovane taktike rojenja i sinhronizovanog raketnog udara, što se u simulaciji iskazuje povećanim brojem neuspešnih ishoda.

Prva pojava se realizuje tokom cele simulacije: kao i u realnom sistemu, lanseri se usmeravaju ka AP na osnovu informacije o njenom trenutnom položaju,  $(x_{AP}, y_{AP})$ , koju u svakom intervalu  $\Delta t$  obezbeđuje KIS; ako ova informacija u nekom od tih intervala izostane, tada se lanseri usmeravaju ka poslednjem potvrđenom položaju AP,  $(x_{pAP}, y_{pAP})$  i nastaviće to da rade sve dok se ne pojavi nova informacija KIS o pravom trenutnom položaju AP.

Sama AP se stalno kreće ka svom CILJU, na osnovu zadatog zakona kretanja i nezavisno od toga šta u međuvremenu rade lanseri.

Posledica je da se u pojedinim simulacionim prolazima u okviru eksperimenta može dogoditi da se, do ispunjenja zadatka AP, ne ostvari kriterijum za lansiranje raketa BMP, bez obzira što bi se to desilo da je KIS bio savršen i da je ažurno dostavljao informacije o trenutnim položajima AP u svim intervalima  $\Delta t$ .

Sa druge strane, ako se u trenutku ispunjenja kriterijuma za lansiranje, usled paralakse KIS, takva odluka donose na osnovu neizvesnog položaja AP, može se dogoditi da, bez obzira na prividnu dovoljnu vrednost brojača mogućih podataka BMP, u zoni samonavođenja ZSN ipak ne bude dovoljno lansiranih raketa da bi se uništila AP.

Verovatnoća da je ispravna odluka o dovoljnoj vrednosti BMP da bi se lansirao sinhronizovani raketni udar,  $p_{SN}$ , u simulatoru se izračunava na osnovu izraza:

$$p_{SN} = \frac{A_{ZSN}}{R_{SN}^2 \pi} \quad (6)$$

gde su:  $A_{ZSN}$  površina preklapanja prave zone samonavođenja i one dobijene na osnovu lažnog položaja AP usled nesavršenosti KIS, a  $R_{SN}$  poluprečnik ZSN.

Na Sl.3 se vidi da je površina preklapanja  $A_{ZSN}$  prave ZSN i one prividne ZSN, koja je posledica paralakse KIS, presek dva kruga poluprečnika  $R_{SN}$ , čiji su centri na rastojanju  $d$ .

U funkciji od  $d$ ,  $p_{SN}$  se može odrediti na sledeći način:

- Za  $d = 0$ ,  $p_{SN} = 1$
- Za  $d \geq 2 R_{sn}$ ,  $p_{SN} = 0$
- Za  $0 < d < 2 R_{sn}$ ,  $p_{SN}$  se izračunava na osnovu izraza:

$$p_{SN} = \frac{1}{R_{sn}^2 \pi} \left[ 2R_{sn}^2 \arccos\left(\frac{d}{2R_{sn}}\right) - \frac{d}{2} \sqrt{4R_{sn}^2 - d^2} \right] \quad (7)$$

#### IV. PROŠIRENJE OSNOVNOG ALGORITMA SIMULATORA

Osnovni algoritam simulatora rojenja i sinhronizovanog raketnog udara (Sl. 2) formulisan je u [8], a realizovan [9], pomoću simulacionog jezika GPSSWorld [10]. Time su obezbeđeni najvažniji mehanizmi za simulaciju ove klase vojnih sistema sa diskretnim događajima:

- Kretanje AP
- Kretanje samohodnih lansera ka AP
- Donošenje odluke o lansiranju raketa ka AP
- Redosled lansiranja radi sinhronizovanog udara
- Procena uspešnosti sinhronizovanog raketnog udara.

Da bi u simulator mogla da se uvede nesavršenost komandno-informacionog sistema, potrebno je da se osnovni algoritam simulatora proširi, na način kako je to prikazano na Sl. 4. Proširenje počinje od dela osnovnog algoritma u kome se simulirano vreme uvećava za osnovni interval KIS,  $\Delta t$  i ispituje da li je dostignuto maksimalno dozvoljeno vreme  $T_m$ .

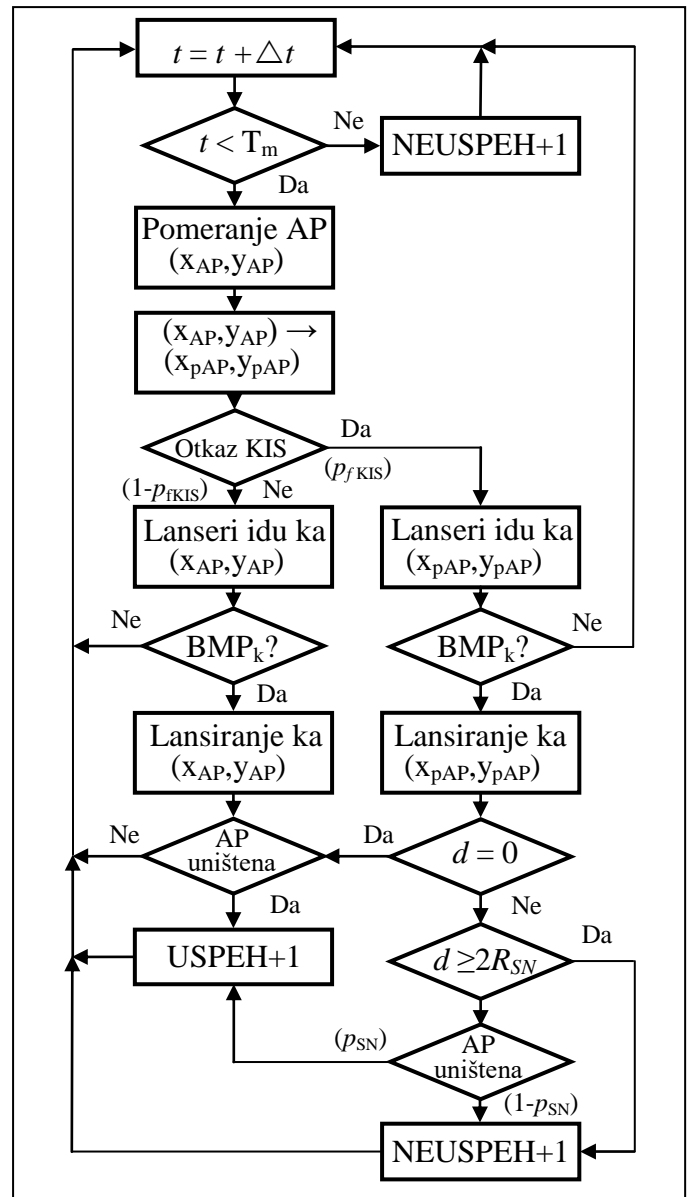
Ukoliko je nova vrednost simuliranog vremena  $t$  veća ili jednaka  $T_m$  (vreme ispunjenja misije AP – pristizanje do CILJA u težištu CT), posmatrani prolaz se završava neuspehom, a brojač neuspešnih simulacionih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1).

Ako je  $t$  manje od  $T_m$ , simulacioni prolaz se nastavlja aktiviranjem dela simulatora za novi raspored AP, koja se prema zadatom zakonu kretanja pomera na svoj novi položaj  $(x_{AP}, y_{AP})$ .

U skladu sa zadatom verovatnoćom otkaza KIS,  $p_{fKIS}$ , prelazi se na nastavak simulacije u slučajevima kada je nesavršeni KIS ipak dostavio informacije u posmatranom intervalu  $\Delta t$  (verovatnoća  $1 - p_{fKIS}$ ), ili kada je nesavršeni KIS otkazao (verovatnoća  $p_{fKIS}$ ).

Ako KIS nije otkazao (verovatnoća  $1 - p_{fKIS}$ ), novi položaj AP  $(x_{AP}, y_{AP})$  se memoriše kao njen poslednji potvrđeni položaj  $(x_{pAP}, y_{pAP})$ , a simulacioni prolaz se nastavlja aktiviranjem dela simulatora za novi raspored samohodnih lansera koji se usmeravaju ka pravom novom položaju AP,  $(x_{AP}, y_{AP})$ .

Zatim se ispituje da li je brojač mogućih pogodaka BMP veći ili jednak od zadate kritične vrednosti  $BMP_k$ . Ako jeste, lansiraju se rakete ka trenutnom položaju AP. Ako nije, simulirano vreme uvećava za osnovni interval  $\Delta t$ , a simulacija nastavlja kao što je opisano. Posle lansiranja raketa, ispituje se da li je AP uništena. Ako jeste, taj prolaz se završava uspehom, a brojač uspešnih simulacionih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (USPEH+1). Ako nije, taj prolaz se završava neuspehom, a brojač neuspešnih simulacionih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1).



Slika 4. Proširenje osnovnog algoritma simulatora

Zatim se simulirano vreme uvećava za osnovni interval  $\Delta t$ , a simulacija nastavlja kao što je opisano.

Ako je KIS otkazao (verovatnoća  $p_{fKIS}$ ), simulacioni prolaz se nastavlja aktiviranjem dela simulatora za novi raspored samohodnih lansera koji se usmeravaju ka poslednjem potvrđenom položaju AP  $(x_{pAP}, y_{pAP})$ , memorisanom u nekom od prethodnih osnovnih intervala  $\Delta t$ .

I ovde se ispituje da li je brojač mogućih pogodaka BMP veći ili jednak od zadate kritične vrednosti  $BMP_k$ . Ako jeste, ispituje se da li postoji paralaksa usled nesavršenosti KIS, čija je mera rastojanje  $d$ , definisano izrazom (5).

Ako je rastojanje  $d$  veće ili jednako  $2R_{sn}$ , taj prolaz se završava neuspehom, a brojač neuspešnih simulacionih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1).

Zatim se simulirano vreme uvećava za osnovni interval  $\Delta t$ , a simulacija nastavlja kao što je opisano.

Ako je  $0 < d < 2 R_{sm}$ , lansiraju se rakete ka poslednjem potvrđenom položaju AP ( $x_{pAP}$ ,  $y_{pAP}$ ), memorisanom u nekom od prethodnih osnovnih intervala  $\Delta t$ .

Posle lansiranja raketa, ispituje se da li bi AP bila uništena. Ako ne bi, taj prolaz se završava neuspehom, a brojač neuspešnih simulacionih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1).

Ako bi AP za tu vrednost BMP bila uništena, zbog paralakse nesavršenog KIS se to ne mora i dogoditi, pa se takav simulacioni prolaz završava ili uspehom sa verovatnoćom  $p_{SN}$ , ili neuspehom sa verovatnoćom  $(1 - p_{SN})$ . Verovatnoća  $p_{SN}$  se određuje na osnovu izraza (6).

Posle odgovarajućeg ažuriranja brojača uspešnih prolaza (USPEH + 1), ili neuspešnih prolaza (NEUSPEH + 1). Zatim se simulirano vreme uvećava za osnovni interval  $\Delta t$ , a simulacija nastavlja kao što je opisano.

#### V. PRIMER UPOTREBE REALIZOVANOG SIMULATORA

U TABELI I date su vrednosti važnijih karakteristika simuliranog sistema koji je razmatran u primeru upotrebe realizovanog simulatora.

Aktivnu pretnju predstavljaju 2 naoružane mobilne platforme (NMP) sa ljudstvom i opremom koje imaju misiju da napadnu CILJ u težištu ćelije teritorije. Dimenzije ćelije teritorije su 100 km x 100 km. Pretnja je izvršila svoju misiju ukoliko bar jedna NMP stigne do CILJA koji se nalazi u težištu ćelije teritorije.

Branilac raspolaže sa 1, 2 ili 4 laka samohodna lansera, svaki sa borbenim kompletom BKL = 2 rakete. Kriterijum uspešne odbrane od aktivne pretnje predstavlja uništenje obe njene NMP, KU=2.

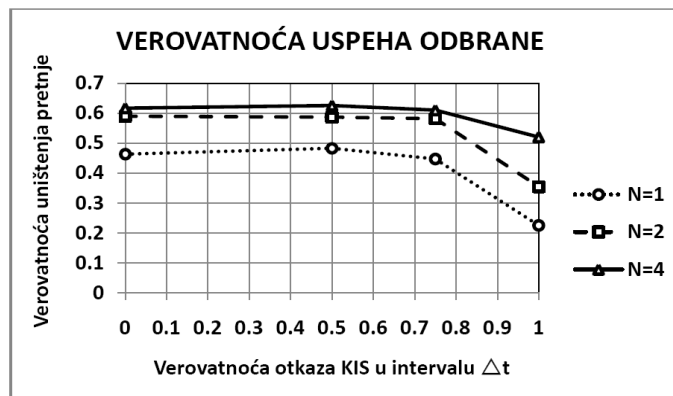
Nesavršeni KIS ima preciznost  $P_{KIS} = 100$  m, a ulazni parametar simulacije je  $p_{FKIS}$ , verovatnoća izostanka njegove informacije o pretnji u pojedinačnom osnovnom intervalu  $\Delta t$ , sa sledećim odabranim karakterističnim vrednostima:

- $p_{FKIS} = 0$  (nema otkaza KIS)
- $p_{FKIS} = 0,5$  (KIS otkazuje u svakom drugom  $\Delta t$ )
- $p_{FKIS} = 0,75$  (KIS otkazuje u 3 od 4  $\Delta t$ )
- $p_{FKIS} = 1$  (KIS otkazuje svakom, sem u prvom  $\Delta t$ )

Sa realizovanim simulatorom izvršeno je 12 eksperimenata, sa ukupno 12000 simulacionih prolaza, sa ciljem da se proveriti ispravnost rada realizovanog simulatora i razmotri uticaj nesavršenog KIS i broja lansera na verovatnoću uspeha misije branioca pod zadatim uslovima. Rezultati su grafički prilazani na Sl.5.

U slučaju da je KIS bez uvedene nesavršenosti ( $p_{FKIS} = 0$ ), na uspešnost odbrane najviše utiče broj samohodnih lansera.

Jedan lanser ne zadovoljava, zato što je tada verovatnoća uspeha odbrane od pretnje u manja od 50 %.



Slika 5. Rezultati izvršenih eksperimenata

Verovatnoća uspeha odbrane se bitno ne menja ni kada se u simulaciju uvede nesavršenost KIS, sa verovatnoćama otkaza u osnovnom intervalu  $\Delta t$  od  $p_{FKIS} = 0,5$  i  $p_{FKIS} = 0,75$ .

To se može objasniti činjenicom da je u eksperimentima odabrana preciznost KIS od 100 m, a da pretnja u toku izvršenja misije prelazi rastojanja od više desetina kilometara, što znači da izostanak informacije o njenom položaju u svakom drugom, ili u 3 od 4 osnovna intervala  $\Delta t$ , ne utiče značajno na ukupnu performansu sistema.

Uvođenje većeg stepena neispravnosti KIS u simulaciju, pokazuje pogoršanje u odnosu na performansu sistema sa savršenim KIS, pa ona u slučaju jednog samohodnog lansera pada do ispod 25%. U slučaju 2 lansera, ona je minimalno oko 35%, a za 4 lansera oko 50%.

Može se videti da se ove poslednje vrednosti performanse sistema ostvaruju samo u slučajevima potpunog otkaza KIS, za  $p_{FKIS} = 1$ , kada je jedina raspoloživa informacija o položaju pretnje bila ona prva, kada se pretnja pojavila na ivici branjene ćelije teritorije.

Tada se lanseri usmeravaju prema pretnji na osnovu te jedine informacije KIS, koji posle potpunog otkazuje, a odbrana je uspešna u slučajevima kada je početni raspored lansera bio takav da su u jednom trenutku ispunjeni uslovi za uništenje pretnje. Na Sl. 5 se vidi da takav ishod više zavisi od broja lansera nego u slučaju KIS bez uvođenja nesavršenosti u simulaciju.

Rezultati izvedenih eksperimenata pokazuju da u datim uslovima nesavršenost KIS manje utiče na performansu sistema ukoliko je preciznost KIS veća: što je preciznost veća, veći je ukupan broj osnovnih intervala  $\Delta t$ , pa je izostanak informacija KIS u pojedinim  $\Delta t$  od manjeg značaja.

Ovo je korisno za razmatranje prilikom projektovanja KIS, jer što su intervali  $\Delta t$  duži, to je ukupno naprezanje resursa KIS manje, odnosno više vremena je na raspolaganju za prikupljanje, obradu i prenos informacija do korisnika.

Pored preciznosti nesavršenog KIS, u daljim istraživanjima će se razmatrati i uticaj upotrebe broja i različitih vrsta lansera, prvenstveno u pogledu veličine njihovog borbenog kompleta raketa BKL.

## VI. ZAKLJUČAK

Predstavljen je pristup modelovanju nesavršenosti komandno-informacionog sistema u okviru simulatora vojnih sistema koji primenjuju ofanzivnu odbrambenu taktiku rojenja, kombinovanu sa sinhronizovanim raketnim udarom.

Pristup modelovanju nesavršenosti KIS u ovom istraživanju je da je njena mera verovatnoća izostanka informacija KIS ( $p_{\text{KIS}}$ ) u jednom ili više njegovih osnovnih intervala  $\Delta t$ .

Uveden je koncept paralakse komandno-informacionog sistema koja se definiše kao razlika između stvarnog trenutnog položaja aktivne pretnje i njenog položaja koji je procenjen na osnovu nepouzdatih informacija nesavršenog KIS.

Definisano je proširenje osnovnog algoritma simulatora, kako bi u njega mogla da se uvede nesavršenost komandno-informacionog sistema.

Realizovan je simulator, implementiran u simulacionom jeziku GPSS World i izvedeni su prvi eksperimenti.

Pristup modelovanju nesavršenosti KIS koristi se u simulaciji vojnih sistema sa rojenjem, ali se može primeniti i u široj klasi sistema gde nesavršenost KIS može uticati na njihove performanse.

## LITERATURA

- [1] J. Arquilla, D. Ronfeldt, "Swarming and the Future of Conflict", Rand Corporation, 1999.
- [2] S.J.A Edwards, "Swarming and the future of warfare", Rand Corporation, 2005.
- [3] Y.Henkin, "On Swarming: Success and Failure in Multidirectional Warfare, from Normandy to the Second Lebanon War", Defence Studies, 14, 3, 310–332, 2014.
- [4] A. Ratiu, "Swarming – Doctrinary – Operational – Concept – Possible Solution to the Challenges of the Current Military Confrontations", Scientific Bulletin, 21, 2, 128–134, 2016.

- [5] R. Jankovic, M. Milinovic, O. Jeremic, N. Nikolic, "On Application of Discrete Event Simulation in Armoured and Mechanized Units Research", Proceedings of the 1st International Symposium & 10th Balcan Conference on Operational Research, Thessaloniki, Greece, Vol.2, 28-35, 2011.
- [6] R. Jankovic, "Computer Simulation of an Armoured Battalion Swarming", Defence Science Journal, 61, 1, 36–43, 2011.
- [7] R. Jankovic, "Data Structures and Control Mechanisms for Multi-target Swarming Simulators", Electronic Letters, 48, 16, 997-998, 2012.
- [8] R. Jankovic, M. Milinovic, "An Approach to Simulation of the Swarming and Synchronized Missile Attack Against an Active Threat", Proceedings of the 8th International Conference on Defensive Technologies (OTEH 2018), Belgrade, Serbia, 101-105, 2018.
- [9] R. Jankovic, M. Milinovic, "Simulator of Swarming and Synchronized Missile Impact Counter an Active Threat", Proceedings of the XLVI International Symposium on Operational Research (SYM-OP-IS), 2019.
- [10] Minuteman Software, GPSS World.  
<http://www.minutemansoftware.com/simulation.htm>

## ABSTRACT

The approach to the command-information system imperfection modelling in simulators of the military systems that apply offensive defence swarming tactics combined with synchronized missile attack is presented. The information system occurs due to occasional absences of the threat real current position, which can result in system parallax and missile attack in the wrong time, or even its lack. By means of the information system imperfection introduction, such simulators improve their reality, so that they become more useful for the estimation of possibility of territory cell defence counter an active armed threat.

## AN APPROACH TO COMMAND INFORMATION SYSTEM IMPERFECTION MODELING IN MILITARY SWARMING SYSTEMS SIMULATORS

Radomir Janković, Momčilo Milinović