

Algoritam simulatora sinhronizovanog rojenja naoružanih mobilnih platformi protiv aktivne pretnje

Dr Radomir Janković
Univerzitet Union
Računarski fakultet
Srbija
rjankovic@raf.edu.rs

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

Sažetak— U radu se predstavlja algoritam simulatora grupe naoružanih mobilnih platformi koje u odbrani teritorije protiv aktivne pretnje koriste taktiku sinhronizovanog rojenja. Koncept sinhronizovanog rojenja uveden je da bi se sprečilo da aktivna pretnja uništava jednu po jednu platformu i tako smanjuje verovatnoću uspeha roja kao celine.

Ključne riječi - rojenje; naoružana mobilna platforma; sinhronizacija; simulacija; algoritam

I. UVOD

Rojenje (engl. *swarming*) je taktika [1] u kojoj vojne snage napadaju protivnika iz više različitih pravaca, a zatim se regrupišu i vraćaju. Uzastopna dejstva mnogo malih, pokretnih jedinica odvijaju se stalno kružeći kroz sledeće 4 faze rojenja:

- Razređeno raspoređivanje jedinica u prostoru
- Okupljanje (koncentracija) više jedinica na isti cilj
- Dejstvo (udarom ili vatrom) iz svih pravaca po cilju
- Razilaženje (dekoncentracija) jedinica

Taktika rojenja primenjuje se sa većim brojem jedinica pojedinačno mnogo slabijih od pretnje, ali je njihova upotreba daleko efikasnija, pa one u ukupnom dejstvu često mogu da poraze i višestruko nadmoćnijeg protivnika [2].

Mada su u istoriji zabeleženi mnogi primeri uspešne primene rojenja [3], značaj ove taktike dolazi do svog punog izražaja tek u naše vreme, usled naglog razvoja informatičke tehnologije, posebno umrežavanja i sažimanja računarstva i telekomunikacija.

Posle 2000. godine dolazi do intenzivnijeg istraživanja taktike rojenja, a prve praktične primene se javljaju u oblastima besposadnih vozila (u vazдушnom prostoru, pod vodom i na kopnu), u vazduhoplovstvu, mornarici i specijalnim jedinicama kopnene vojske [4], [5], [6] i [7].

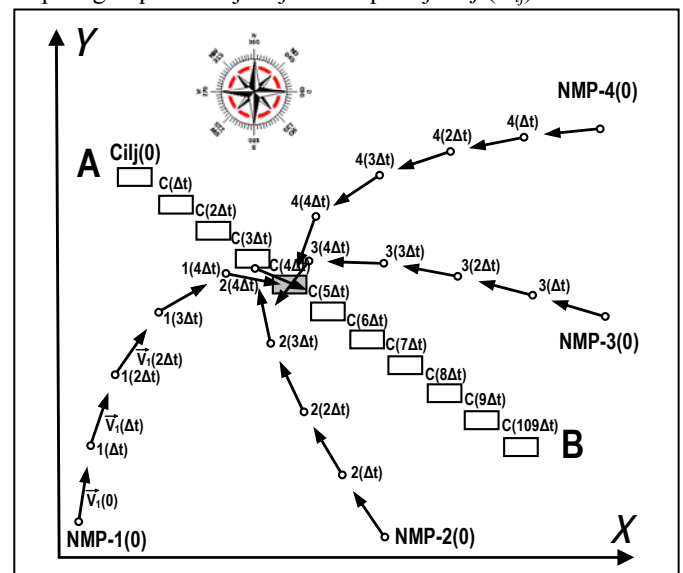
Za male zemlje i njihove vojske, kao što je to slučaj sa Srbijom, jedna od najboljih investicija mogla bi da bude adaptacija delova oružanih snaga, posebno oklopnih i mehani-

Ovaj rad realizovan je i delimično podržan u okviru projekta III-47029 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

zovanih jedinica (OiMJ) za primenu taktike rojenja [8]. To je i motivacija istraživanja taktike rojenja OiMJ na Računarskom fakultetu Univerziteta Union u Beogradu i Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu koje je, prema našim saznanjima, prvo istraživanje taktike rojenja OiMJ. Do sada je razvijen diskretan dinamički simulacioni model rojenja grupe naoružanih mobilnih platformi (NMP), orijentisan na događaje. Aktivnosti sistema predstavljaju se vremenskim kašnjenjima. Rojenje grupe NMP (GNMP) odvija se na teritoriji predstavljenoj 2-dimenzionalnim pravouglim koordinatnim sistemom (slika 1). U modelu se kreću:

- Jedinice iz sastava GNMP (NMP- i , $i = 1, 2, \dots, N$)
- Ciljevi - jedinice pretnje (P- j , $j = 1, 2, \dots, M$)
- Poruke komandno-informacionog sistema (C^4I).

U trenutku $t = 0$, NMP- i zauzimaju početni raspored na teritoriji na kojoj se odvijaju borbena dejstva i okarakterisane su svojim maksimalnim brzinama (V_i), efikasnim dometima sopstvenih oruđa (D_{OR-i}) i pojedinačnim učincima koje mogu da postignu protiv cilja – jedinice pretnje P- j (U_{ij}).



Slika 1. Kretanje pretnje (Cilj) i NMP-1, 2, 3 i 4

U vremenskim intervalima Δt , NMP- i dobijaju od sistema C^4I informacije o kretanju pretnji (P- j) i ostalih NMP- i , a daju i izveštaje o sopstvenih trenutnim položajima. Na osnovu tih informacija, NMP- i se usmeravaju ka jedinicama pretnje i kreću ka njima, sa ciljem da što pre dođu u položaj koji im omogućava izvođenje uspešnog rojenja, radi uništenja, onesposobljavanja ili sprečavanja pretnje u izvršenju njene misije.

Da bi NMP- i koja učestvuje u rojenju mogla da dejstvuje protiv pretnje P- j , moraju da budu ispunjeni sledeći uslovi:

- NMP- i poseduje oruđe OR- i koje je kompatibilno sa pretnjom P- j .
- Rastojanje NMP- i i pretnje P- j treba da bude u okviru efikasnog dometa oruđa NMP- i , odnosno:

$$D_{ij} = \sqrt{(y_j(t) - y_i(t))^2 + (x_j(t) - x_i(t))^2} \leq D_{OR-i} \quad (1)$$

- Prethodna dva uslova treba da ispuni dovoljan broj NMP- i , tako da njihov ukupni kumulativni učinak, KU_j , bude veći ili jednak kritičnom pragu kumulativnog učinka više NMP, PKU_j , koji je karakterističan za jedinicu pretnje P- j , odnosno:

$$KU_j = \sum_{i=1}^N A_{ij} \cdot K_{ij} \cdot U_{ij} \geq PKU_j \quad (2)$$

gde su:

A_{ij} : koeficijent (0/1) prethodnog dodeljivanja NMP- i pretnji P- j , u modelima rojenja protiv više pretnji;

K_{ij} : kompatibilnost OR- i sa pretnjom P- j (0/1)

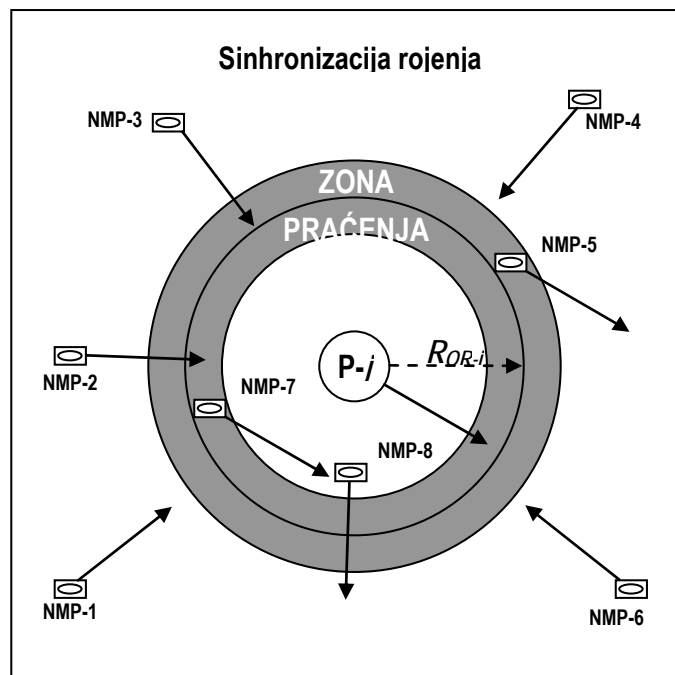
U_{ij} : moguć učinak oruđa OR- i protiv P- j .

Odnos pretnje P- j prema učesnicima roja može biti pasivan ili aktivan.

Pasivna pretnja usredsređena je na izvršavanje sopstvene misije i ne obazire se na učesnike roja. Ukoliko u svom kretanju, takva pretnja uspe da stigne do svog zadatog krajnjeg položaja, a da pritom kumulativni učinak učesnika roja ne prevaziđe kritični prag definisan u izrazu (2), pretnja je izvršila svoju misiju, a taktika rojenja protiv nje nije uspeła.

Aktivna pretnja, pored izvršavanja sopstvene misije, brani se od učesnika roja, tako što pored kretanja ka svom zadatom krajnjem položaju, pokušava da uništi one NMP koje se u toku tog kretanja nađu u dometu njenih sopstvenih oruđa. Na taj način smanjuje se broj NMP, pa time i verovatnoća uspeha njihove taktike rojenja.

U radu [9] dati su algoritam i rezultati eksperimenata razvijenog simulatora rojenja grupe NMP protiv jedne pasivne pretnje, a u radu [10] algoritam simulatora rojenja protiv više pasivnih pretnji. U toku razvoja simulatora rojenja protiv pasivne pretnje, razrađeni su mehanizmi za simulaciju kretanja pretnje i učesnika u rojenju, kao i za dimamičku proveru kriterijuma uspeha rojenja u toku simulacije. Oni predstavljaju osnov za dalji razvoj ove klase simulatora, uključujući i one za simulaciju sinhronizovanog rojenja grupe NMP protiv jedne ili više aktivnih pretnji.



Slika 2. Sinhronizacija rojenja NMP-1, 2, 3, ..., 8 protiv pretnje P- j

U realnim situacijama moguće je da se jedinica pretnje ne obazire na dejstvo učesnika rojenja i bavi se samo sopstvenom misijom. To se dešava u slučajevima velike nadmoći pretnje u odnosu na vrstu i broj učesnika u rojenju. Ipak, pretnja se češće brani od roja, pokušavajući da uništava NMP, jednu po jednu, sprečavajući tako njihovo okupljanje u dovoljnom broju koji bi im obezbedio uspeh. Jedno od mogućih rešenja da bi grupa NMP ipak uspeła u rojenju protiv aktivne pretnje, jeste u primeni koncepta sinhronizacije u okviru taktike rojenja.

U ovom radu, najpre se izlaže koncept sinhronizacije, a zatim se prikazuje algoritam simulatora sinhronizovanog rojenja grupe NMP protiv jedne aktivne pretnje.

II. KONCEPT SINHRONIZACIJE ROJENJA

Ukoliko NMP koje primenjuju taktiku rojenja protiv aktivne pretnje to ne rade na sinhronizovan način, odnosno ne stižu na ivicu korisnog dometa sopstvenih oruđa u približno isto vreme, postoji verovatnoća da rojenje neće uspeti, zato što pretnja može da uništava NMP jednu po jednu. Da bi se rešio taj problem, u algoritmu se uvodi mehanizam sinhronizacije NMP- i koje učestvuju u rojenju, a koji funkcioniše na sledeći način (slika 2):

- Oko aktivne pretnje uvodi se zona praćenja (ZP), kružni prsten definisan izrazom:

$$D_{zp} = R_{P-j}(1 \pm q) \quad (3)$$

gde je D_{zp} rastojanje od pretnje za koje je definisano da se NMP nalazi u ZP, R_{P-j} je krajnji efikasan domet oruđa kojim raspolaže pretnja, a q je broj između 0 i 1, koji definiše širinu prstena i koji se određuje posebno za svaki par NMP- i i pretnje P- j .

- b. Ako se dovoljan broj NMP-*i* nalazi na rastojanjima od pretnje P-*j* koja omogućavaju njihovo efikasno dejstvo, sinhronizacija više nije potrebna i takve NMP mogu preduzeti uspešno rojenje.
- c. Ako to nije slučaj, onda će NMP koje se nalaze dalje od ZP nastaviti da se kreću ka pretnji P-*j* (NMP-1, NMP-2, NMP-3, NMP-4 i NMP-6 na slici 2).
- d. NMP koje se nalaze unutar ZP počinju da se kreću paralelno sa pretnjom, na osnovu dotadašnjeg kursa i brzine kretanja pretnje, koje dobijaju od C⁴I sistema (NMP-5 i NMP-7 na slici 2).
- e. NMP koje se nalaze bliže pretnji od ZP, udaljavaće se od pretnje, usmeravajući svoj vektor brzine suprotno od poslednjeg poznatog položaja pretnje (NMP-8 na slici 2).

Ovakvim mehanizmom sinhronizacije postiže se da dok nema dovoljno NMP da bi rojenje bilo uspešno:

- NMP iz grupe koje su dalje od pretnje produžavaju da joj se približavaju, najbrže što mogu i najkraćim putem;
- NMP koje su u zoni praćenja, prate pretnju na bezbednom rastojanju, spremne da opet krenu ka njoj kada se prikupi dovoljno NMP za uspešno rojenje;
- NMP koje su se suviše približile, udaljavaju se od pretnje na bezbedno rastojanje, da bi izbegle pojedinačno uništenje od strane oruđa pretnje i neuspeh rojenja.

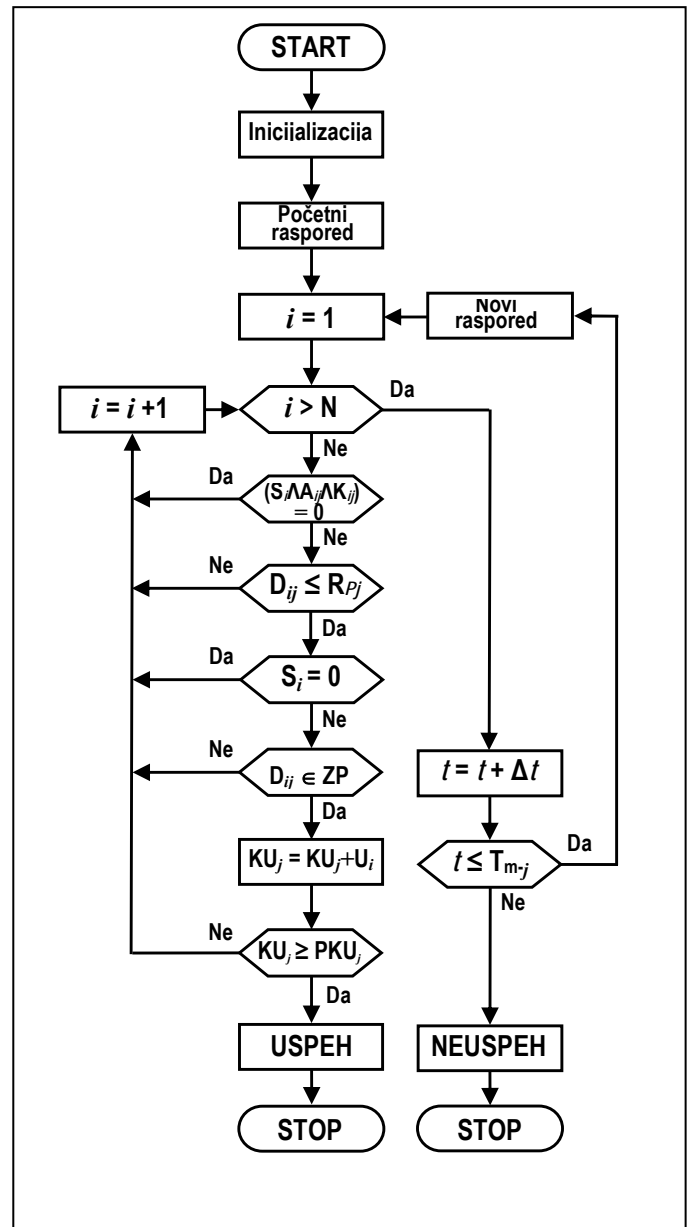
III. ALGORITAM SIMULATORA SINHRONIZOVANOG ROJENJA

Algoritam sinhronizovanog rojenja grupe NMP protiv aktivne pretnje, prikazan je na slici 3. Algoritam proističe iz osnovnog algoritma za simulaciju rojenja protiv neaktivne pretnje [9], koji je proširen strukturama podataka i delovima za upravljanje u modelu koji podrazumeva postojanje aktivne pretnje, opremljene resursima za borbu protiv NMP-*i* koje učestvuju u rojenju.

Prilikom pokretanja simulatora, najpre se obavlja inicijalizacija, koja obuhvata unošenje sledećih podataka:

- Period obnavljanja informacija C⁴I sistema Δt (s)
- Dimenzije simulirane teritorije na kojoj se obavljaju borbena dejstva: maksimalne vrednosti koordinata x_{max} (m) i y_{max} (m)
- Dinamički zakon kretanja pretnje: početne koordinate pretnje (x_p, y_p u trenutku $t = 0$), krajnje koordinate pretnje po ispunjenoj misiji (x_k, y_k u trenutku $t = T_{m-j}$), funkcionalna zavisnost promena koordinata pretnje u simuliranom vremenu
- Karakteristike oruđa pretnje: efikasan domet R_{p-j} (m), minimalno vreme između ponavljanja dejstva i funkcija verovatnoće pogađanja cilja, u zavisnosti od njegovog rastojanja

- Karakteristike NMP-*i* koje protiv pretnje primenjuju taktiku sinhronizovanog rojenja: njihov ukupan broj N , maksimalne brzine V_{m-i} , domet oruđa D_{OR-i} , status S_i (postoji/uništena), kompatibilnost OR-*i* sa pretnjom K_{ij} , moguć učinak oruđa OR-*i* protiv P-*j*, U_{ij} .
- Početni raspored NMP-*i*, unosi se kao skup parova koordinata u kolonama $x_i(0)$ i $y_i(0)$ za $t = 0$. On može biti slučajan, za simulaciju najgoreg slučaja kada NMP uopšte ne očekuju pojavu pretnje, ili namenski, kada se unapred poseduju izvesne informacije o pojavi i misiji pretnje i kada simulacija služi za istraživanje najpovoljnijeg početnog rasporeda za odbranu od takve pretnje primenom taktike rojenja.



Slika 3. Algoritam sinhronizovanog rojenja protiv aktivne pretnje

Po aktiviranju simulatora, u glavnoj petlji se ispituje status svake naoružane mobilne platforme, NMP- i , $i = 1, \dots, N$.

Ukoliko prilikom inicijalizacije, platforma NMP- i nije bila dodeljena za učešće u rojenju protiv pretnje P- j , ili njeno oruđe nije kompatibilno sa pretnjom P- j , ili je NMP- i već uništena dejstvom aktivne pretnje ($S_i = 0$), što je predstavljeno sledećim logičkim izrazom:

$$A_{ij} \wedge K_{ij} \wedge S_i = 0 \quad (4)$$

simulator prelazi na ispitivanje sledeće platforme, NMP- $(i+1)$.

Ukoliko uslov (4) nije ispunjen, ispituje se da li je rastojanje D_{ij} , od NMP- i do pretnje P- j , manje ili jednako od efikasnog dometa oruđa pretnje, R_{Pj} .

Ako je ispunjen uslov $D_{ij} \leq R_{Pj}$, simulira se dejstvo pretnje P- j po NMP- i , uzorkovanjem funkcije raspodele verovatnoće uništenja. Ta funkcija zavisi od vrste oruđa pretnje i vrste NMP po kojoj se dejstvuje i uvodi se prilikom inicijalizacije simulatora.

U opštem slučaju, to je opadajuća funkcija verovatnoće uništenja NMP- i od njenog rastojanja od pretnje D_{ij} , sa vrednošću 100% za $D_{ij} = 0$, vrednošću definisanom vrstom oruđa pretnje na rastojanju jednakom njegovom efikasnom dometu $D_{ij} = R_{Pj}$ i vrednošću 0 za rastojanja veća od R_{Pj} .

Ako je ishod dejstva aktivne pretnje P- j uništenje NMP- i , njenom statusu se dodeljuje vrednost $S_i = 0$ i prelazi se na ispitivanje sledeće NMP- $(i+1)$.

Ako NMP- i nije uništena, ispituje se da li je ona unutar zone praćenja (ZP), odnosno da li je ispunjen uslov:

$$R_{OR-j} - q \leq D_{ij} \leq R_{OR-j} + q \quad (5)$$

Ako je uslov (5) ispunjen, ažurira se vrednost kumulativnog mogućeg učinka dejstava svih NMP trenutno prisutnih u ZP protiv pretnje P $_j$, na osnovu izraza:

$$K_{ij} = K_{ij} + U_i \quad (6)$$

Ako je ažurirana vrednost mogućeg kumulativnog učinka svih NMP trenutno prisutnih u ZP veća od kritičnog praga PKU_j , ispunjen je uslov definisan izrazom (2) i roj NMP je uspeo da onemogući aktivnu pretnju P $_j$. Ako nije, prelazi se na ispitivanje sledeće NMP- $(i+1)$.

Ako uslov (5) nije ispunjen, platforma NMP- i nije unutar ZP, izračunavaju se koordinate njenog narednog položaja, a zatim se prelazi na ispitivanje statusa sledeće NMP- $(i+1)$.

Koordinate narednih položaja, koje bi platforme NMP trebalo da zauzmu u trenutku $t = t + \Delta t$, izračunavaju se na sledeći način:

- Ukoliko se platforma NMP- i nalazi izvan ZP i izvan efikasnog dometa oruđa pretnje, ona se usmerava ka poslednjem poznatom položaju pretnje dojavljenoj od strane C⁴I sistema, a koordinate njenog narednog položaja se izračunavaju na osnovu njene maksimalne moguće brzine i puta koji će prevaliti u vremenskom intervalu Δt . Cilj ovakvog kretanja platforme NMP- i je da se što pre nađe u zoni praćenja pretnje ZP.

- Ukoliko se platforma NMP- i nalazi izvan ZP, ali u okviru efikasnog dometa oruđa pretnje, ona se usmerava suprotno od poslednjeg poznatog položaju pretnje dojavljenoj od strane C⁴I sistema, a koordinate njenog narednog položaja se izračunavaju na osnovu njene maksimalne moguće brzine i puta koji će prevaliti u vremenskom intervalu Δt . Cilj ovakvog kretanja NMP- i je da pokuša da izbegne uništenje od strane oruđa aktivne pretnje i da se što pre nađe u zoni praćenja ZP.

- Ukoliko se platforma NMP- i nalazi unutar ZP, ona nastavlja kretanje poslednjim kursom i brzinom koji je pretnja P- j imala do tog trenutka, a na osnovu najsvježije informacije koju je dojavio C⁴I sistem. Koordinate njenog narednog položaja se izračunavaju na osnovu te brzine, kursa i puta koji će prevaliti u vremenskom intervalu Δt . Cilj ovakvog kretanja NMP je da se zadrži na bezbednom rastojanju, u zoni praćenja ZP i da prati pretnju, krećući se paralelno sa njom i njenom brzinom, sve dok se u ZP ne okupi dovoljan broj NMP koji bi osigurao da njihov ukupan učinak bude veći od kritičnog praga PKU_{ij} , čime se ispunjava uslov (2) i obezbeđuje uspeh rojenja.

Koordinate narednog položaja koji bi pretnja P- j trebalo da zauzme u trenutku $t = t + \Delta t$, izračunavaju se na osnovu njenog zadatog zakona kretanja, uvedenog prilikom inicijalizacije simulatora.

Na opisani način analiziraju se sve NMP- i , $i = 1, \dots, N$, a zatim se sistemski sat simuliranog vremena pmera za 1 osnovni interval Δt . Ukoliko je tako dostignuto simulirano vreme veće od vremena ispunjena misije pretnje T_{m-j} , zaključuje se da je pretnja stigla u svoju krajnju tačku pre nego što je ispunjen uslov (2), pa se simulacija rojenja protiv aktivne pretnje završava neuspehom.

Ukoliko je dostignuto vreme još uvek manje od T_{m-j} , pretnja P- j , kao i sve NMP- i se pomeraju na svoje naredne položaje, a simulator otpočinje novu petlju ispitivanja statusa svih NMP- i na opisan način.

IV. ZAKLJUČAK

Problem sinhronizacije u taktici rojenja značajan je zato što se njenim uvođenjem čini pokušaj da se smanji verovatnoća neuspešnog rojenja protiv aktivne pretnje.

To dolazi do izražaja u situacijama kada, zbog pristizanja naoružanih mobilnih platformi iz grupe na razdaljinu mogućeg dejstva u različitim vremeskim trenucima, aktivna pretnja može da ih uništava jednu po jednu i time dovedu u pitanje uspešan ishod primene taktike rojenja.

U radu je prikazan novi princip sinhronizacije rojenja koji se zasniva na uvođenju zone sinhronizacije i različitim postupcima naoružanih mobilnih platformi, zavisno od njihovog trenutnog položaja u odnosu na aktivnu pretnju i zonu sinhronizacije.

Na osnovu takvog principa sinhronizacije, razvijen je i prikazan algoritam simulatora sinhronizovanog rojenja grupe naoružanih mobilnih platformi protiv aktivne pretnje.

Opisani algoritam razvijen je polazeći od osnovnog algoritma klase simulatora vojnih sistema rojenja, realizovanih u dosadašnjim istraživanjima, posebno za primenu novih taktičkih postupaka u oblasti upotrebe oklopno-mehanizovanih jedinica.

Osnovni algoritam, za nesinhronizovano rojenje protiv pasivnih pretnji, proširen je mehanizmima i strukturama podataka kojima se omogućava uvođenje principa sinhronizacije u rojenju protiv aktivnih pretnji.

LITERATURA

- [1] J. Arquilla, D. Ronfeldt, "Swarming and the Future of Conflict", Rand Corporation, 1999.
- [2] S.J.A. Edwards, "Swarming on the Battlefield – Past, Present and Future", Rand Corporation, 2000.
- [3] S.J.A. Edwards, "Swarming and the future of warfare", Rand Corporation, 2005.
- [4] I.C. Price and G.B. Lamont, "GA directed self-organized search and attack UAV swarms", Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, Monterey, CA, USA, 2006. pp.1308-1315.
- [5] D.J. Nowak, I. Price, and G.B. Lamont, "Self organized UAV swarm planning optimization for search and destroy using SWARMPARE simulation", Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, 2007. pp.1315-1323.

- [6] A.J. Pohl, and G.B. Lamont, "Multi-objective UAV mission planning using evolutionary computation". Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, Miami, FL, USA, 2008. pp.1268-1279.
- [7] P.W. Singer, "Wired for war? Robots and military doctrine", Joint Force Quarterly, 2009,52(1), pp.105-110.
- [8] R. Jankovic, M. Milinovic, O. Jeremic and 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, 2011. Vol.2, pp. 28-35.
- [9] R. Jankovic, "Computer Simulation of an Armoured Battalion Swarming", Defence Science Journal, vol. 61, no.1, pp. 36-43, January 2011.
- [10] R. Jankovic, "Data structures and control mechanisms for multi-target swarming simulators", Electronic Letters, vol. 48, no. 16, pp. 997-998, 2012.

ABSTRACT

The simulator algorithm of the system consisting of a group of armed mobile platforms, which in defence of a territory against an active threat uses the synchronized swarming tactics, has been presented. The synchronized swarming concept has been introduced in order to prevent the active threat to destroy the swarming platforms one by one, reducing the probability of success of the swarm as a whole.

ON ALGORITHM OF SYNCHRONIZED SWARMING AGAINST AN ACTIVE THREAT SIMULATOR

Dr Radomir Janković, Dr Momčilo Milinović