

# Simulacija računarske mreže oklopnog bataljona u swarmingu

Radomir Lj. Janković

**Sadržaj** — Swarming je taktički pristup koji se sve više uzima u obzir u koncipiranju izvodenju borbenih dejstava savremenih armija. Prilagodjenje postojećih oklopnih i mehanizovanih jedinica (OimJ) za primenu swarminga moglo bi da bude najbolja investicija u modernizaciji tehnički slabije opremljenih armija. To je osnovna motivacija za istraživanja koja su u toku na Računarskom fakultetu Univerziteta Union u Beogradu. U radu se razmatra problematika komandno-informacionog sistema OimJ, a posebno neki od rezultata simulacije pokretne radio-računarske mreže (RLAN), kao jednog od njegovih najvažnijih podsistema.

**ključne reči** — Algoritam, oklopni bataljon, računarska mreža, simulacija, swarming.

## I. UVOD

**S**WARMING (doslovni prevod: *rojenje*) je taktika [1] u kojoj vojne snage napadaju protivnika iz više različitih pravaca, a zatim se regrupišu. Uzastopna dejstva mnogo malih, pokretnih jedinica odvijaju se stalno kružeći kroz sledeće 4 faze *swarminga*:

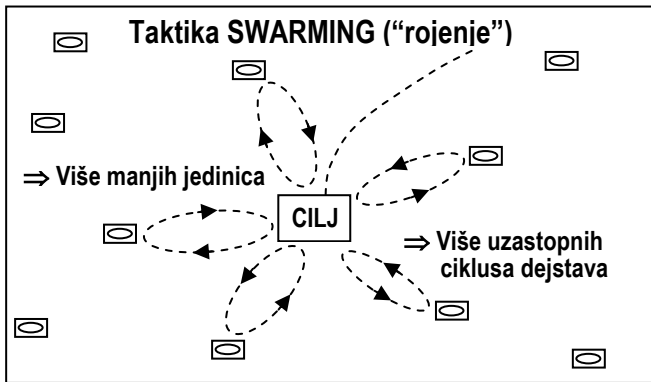
- Razredjeno rasporedjivanje jedinica u prostoru
- Okupljanje (koncentracija) više jedinica na zajednički cilj
- Dejstvo (udarom ili vatrom) iz svih pravaca po cilju
- Razilaženje (dekoncentracija) jedinica

Način primene taktike *swarminga* prikazan je na slici 1, a njene osnovne karakteristike date su u tabeli 1.

Najvažniji aspekti *swarminga* su pokretljivost, komunikacija, autonomnost jedinica, sadejstvo i sinronizacija.

R. Lj. Janković, Računarski fakultet, Knez Mihailova 6, 11000 Beograd, Srbija (telefon: 381-11-2627613; faks: 381-11-2623287; e-mail: rjankovic@raf.edu.rs).

Sadejstvo i sinhronizacija su od posebnog značaja, da bi se izbeglo vatreno dejstvo i udar po sopstvenim snagama i postigla pobedonosna primena sile. Mada su u istoriji, pa i onoj najnovijoj, zabeleženi mnogi primeri uspešne primene *swarminga* [2], značaj ove taktike dolazi do svog punog izražaja tek u naše vreme, usled nedavnog naglog razvoja informatičke tehnologije, a posebno umrežavanja i sažimanja računarstva i telekomunikacija [3].



S1.1 – SWARMING oklopnih i mehanizovanih jedinica

TABELA 1: OSNOVNE KARAKTERISTIKE SWARMINGA.

R.br.	Karakteristika
1.	Autonome ili poluautonomne jedinice koje se angažuju u sasredjenom napadu na zajednički cilj
2.	Amorfni, ali koordinisani napad iz svih pravaca neprestanim “impulsnim” nasrtajima udarom ili vatrom
3.	Mnogo malih, rasutih, medjusobno umreženih jedinica
4.	Integrisano osmatranje, senzori, C <sup>4</sup> I sistemi za uvid sa gornjeg nivoa u opštu situaciju.
5.	Sposobnosti jedinica za dejstva, kako sa distance tako i iz neposrednog dodira.
6.	Neprekidni napadi sa ciljem razbijanja kohezije protivnika.

Armije razvijenijih zemalja [1] još uvek se u najvećoj meri oslanjaju na ostvarivanje prednosti u vatrenoj moći i koncentraciji velikih snaga, uz prevlast u vazдушnom prostoru, vodeći tzv. *vazdušno-kopnenu bitku*.

Medjutim, napad na jedinice takve, teško naoružane i tehnološki izuzetno opremljene armije, iz svih pravaca i sa bliskih rastojanja mogao bi da pokaže izuzetno dobre efekte.

Brojčano jakim jedinicama i njihovoj vatrenoj i udarnoj moći može se uspešno suprotstaviti psihološkim efektom koji se postiže kod protivnika napadnutog iznenada i sa svih strana, a okretnost manjih jedinica i njihova sposobnost da se posle iznenadnog napada brzo razidju sprečava tehnološki nadmoćnog protivnika da pravovremeno reaguje.

*Swarming* se tako predstavlja kao mnogo efikasniji način ratovanja od puke gerile, prvo zato što se tu koriste i platforme značajne vatrene moći (tenkovi i samohodna artiljerija), a još više zato što, za razliku od gerile koja obično koristi samo jedan prepad ili zasedu samo jedne jedinice, ovde se radi od sinergičnim uzastopnim napadima više manevarskih jedinica iz više pravaca.

Taktika *swarming* primenjuje se sa (brojčano) mnogo manjim jedinicama, ali je njihova upotreba daleko efikasnija, pa često u ukupnom dejstvu mogu da poraze i višestruko nadmoćnijeg protivnika.

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 mehanizovanih jedinica (OiMJ) za primenu *swarminga*.

U radu se prikazuju neki od rezultata sopstvenog višegodišnjeg istraživanja koji mogu da budu od uticaja na odlučivanje o pravcima modernizacije oklopnih i mehanizovanih jedinica (OiMJ) vojske Srbije, imajući u vidu mogućnosti primene taktike *swarminga*, a odnose se na komandno-informacioni sistem i, posebno, njegovu pokretnu radio-računarsku mrežu.

Istraživanja su u toku na Računarskom fakultetu u Beogradu.

## II. OKLOPNE I MEHANIZOVANE JEDINICE I PRILAGODJAVANJE ZA SWARMING

Oklopne i mehanizovane jedinice (OiMJ) predstavljaju rod vojske za koji taktika *swarminga* može da ima presudnu ulogu, pogotovu u asimetričnim sukobima, gde je jedna strana nadmoćna u odnosu na drugu, kako po broju jedinica, tako i po nivou njihove tehničke opremljenosti. U istraživanjima se koristi sopstveni koncept naoružane mobilne platforme.

Naoružana mobilna platforma (NMP) [4] je koncept pogodan za istraživanje i razvoj složenih vojnih sistema kao što su ratni brod, oklopno borbena vozilo ili avion. Ono što je zajedničko svim vrstama NMP je da sve imaju:

- sopstveni pogon;
- ljudsku posadu, odnosno uključenje u komandno-informacioni sistem;
- naoružanje;
- potrebu za značajnijom logističkom podrškom.

Takvi složeni vojnotehnički sistemi često deluju u grupama od nekoliko do nekoliko desetina, u zavisnosti od vrste NMP, pa su pogodni za primenu *swarminga*.

Da bi se NMP, u slučaju OiMJ prvenstveno tenkovi i oklopni transporteri, uspešno uključile u primenu *swarminga* u izvođenju borbenih dejstava, potrebno je uložiti sredstva i vreme u njihovo prilagodjenje toj taktici i to u sve četiri navedene oblasti. Sve te promene, drugim rečima, modernizacija, zahtevaju dosta truda i sredstava, a i različitog su značaja, počevši od čisto tehničkih prilagodjavanja, pa do krupnih promena u organizaciji i načelima upotrebe OiMJ. U ovom radu razmatra se problematika komandno-informacionog sistema OiMJ, a posebno pokretne radio-računarske mreže (RLAN), kao jednog od njegovih najvažnijih podsistema.

### III. KOMANDNO-INFORMACIONI SISTEM

Za uspešnu primenu *swarminga* u borbenim dejstvima, treba ispuniti dva osnovna zahteva:

- a. Da bi protivnik mogao da se napadne iz više pravaca, mora postojati veliki broj malih pokreljivih jedinica koje su čvrsto “umrežene”, odnosno mogu da komuniciraju i sadejstvuju, što se u *swarmingu* od njih i očekuje.
- b. Snage koje primenjuju *swarming* moraju ne samo da se angažuju u izvođenju udara, nego da čine i deo “senzorske organizacije”, koja omogućava osmatranje i opažanja sinoptičkog nivoa, što je potrebno za stvaranje i održavanje potrebnog uvida u opštu situaciju.

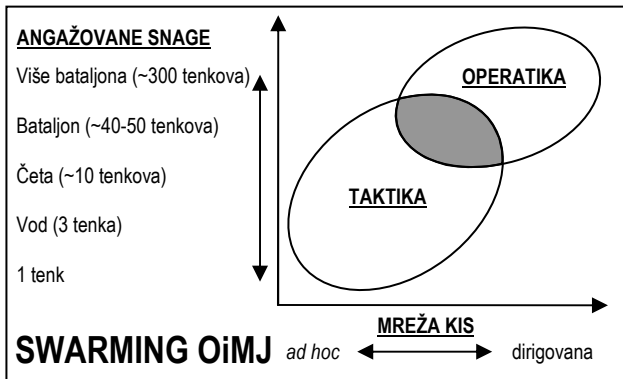
Kao i za sve druge vojne snage, i za one koje primenjuju *swarming* mora da postoji komandni element višeg nivoa, koji ima uvid u celokupnu situaciju, ali koji u slučaju *swarminga* interveniše retko, po potrebi, da bi izdavao opšte direktive i sprečio neracionalno trošenje resursa na manje značajna dejstva.

Sa druge strane, mnogo veća sloboda u odlučivanju prema okolnostima na licu mesta, kao i samoorganizovanje prepušta se jedinicama nižeg nivoa, sve do pojedinačnih posada tenkova. To zahteva drugačiju organizaciju, kako komandno-informacionog sistema, tako i samog načina komandovanja i upravljanja borbenim dejstvima, kao i obuke svih učesnika.

Na slici 2 vidi se da OiMJ mogu, u zavisnosti od angažovanih snaga, da izvede i taktički i operativni *swarming*. Zapadni teoretičari se zalažu za rešenje da najmanja jedinica koja učestvuje u *swarmingu* bude na nivou voda [2], što u OiMJ predstavlja grupu od 3 tenka.

Imajući u vidu veličinu teritorije Srbije, geografske karakteristike, mentalitet pripadnika Vojske Srbije i ukupan planirani broj tenkova, smatramo za primerenije da svaki pojedinačni tenk bude osnova *swarminga* OiMJ.

Taktička dejstva se izvode do nivoa oklopnog bataljona (OKB), s tim što je moguće formiranje grupa za *swarming* od svih nižih jedinica, sve do pojedinačnog tenka. Sa druge strane, tako organizovane OiMJ mogu da izvode i operativni *swarming*, kada učestvuju više jedinica od jednog OKB.



### S1.2. Taktički i operativni *swarming*

Za informacionu podršku takvih dejstava, treba razviti komandno-informacione sisteme grupa NMP (KIS GNMP). Osnovna funkcija KIS GNMP je redovno izveštavanje svake NMP iz grupe o njenom trenutnom položaju i drugim informacijama od interesa, radi ažuriranja elektronskih radnih karata i sagledavanja situacije u realnom vremenu. Na osnovu toga, donose se odluke o daljim dejstvima, kako grupe u celini, tako i pojedinačnih NMP. Svaka NMP treba da ima (slika 3):

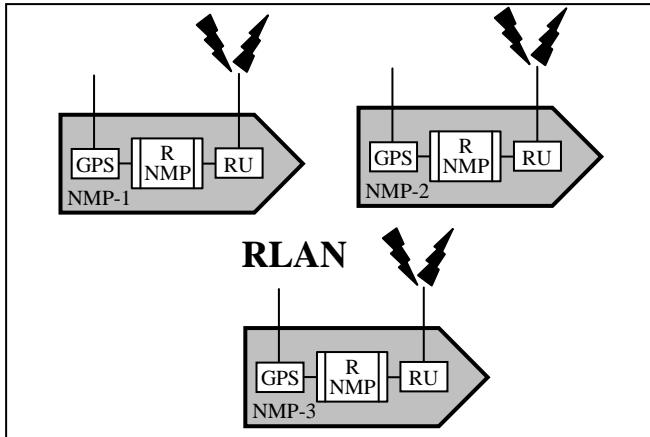
- računar (RNMP) na čijem monitoru se prikazuje elektronska radna karta za sagledavanje situacije,
- GPS prijemnik (GPS) kao senzor za određivanje sopstvene pozicije i
- radio uređaj VVF opsega (RU) kojim su svi računari pojedinačnih NMP povezani u pokretnu lokalnu radio-računarsku mrežu (RLAN).

Pokretna lokalna radio računarska mreža (RLAN) predstavlja jedan od najvažnijih podsistema KIS GNMP, jer ima značajan uticaj na ukupne performanse KIS GNMP, grupe NMP i svake svake NMP pojedinačno.

U toku je istraživanje RLAN primenom tehnike računarske simulacije, da bi se istražio taj uticaj i donele adekvatne odluke o tehničkim rešenjima komandno-informacionog sistema grupe NMP, njegovih podsistema i komponenta (senzora, računara i sredstava za prenos podataka).

Istražuju se performanse *ad hoc* RLAN u kojoj je primenjen algoritam [3] prepoznavanja nosioca sa višestrukim pristupom i detekcijom sukoba na

kanalu (CSMA/CD), pogodan za manje grupe i različitih algoritama dirigovane RLAN, pogodne za veći broj učesnika u *swarmingu* OiMJ (sl.3).



Sl.3. – Radio- računarska mreža KIS GNMP

#### IV. SIMULACIONI MODEL

Polazne pretpostavke za izradu svih do sada realizovanih simulacionih modela RLAN za podršku KIS OKB bile su:

- Oklopni bataljom (OKB) sačinjava  $N_{NMP}$  naoružanih mobilnih platformi. GNMP dejstvuje kao celina i kreće se prosečnom brzinom  $V_{GNMP}$  [m/s].
- Svaka NMP (tenk, oklopni transporter, samohodno orudje i sl.) raspolaže prijemnikom GPS, računarom RNMP i radiouredjajem RU VVF opsega, koji može da prenosi digitalne podatke brzinom  $V_{RU}$  [b/s].
- Osnovna funkcija KIS GNMP je izveštavanje u realnom vremenu svake pojedinačne NMP o trenutnom položaju i drugim podacima od interesa.
- KIS GNMP uspešno radi, ako dostavlja redovne izveštaje NMP pre njihovog zastarevanja. Vreme zastarevanja  $t_z$  [s] određeno je izrazom:

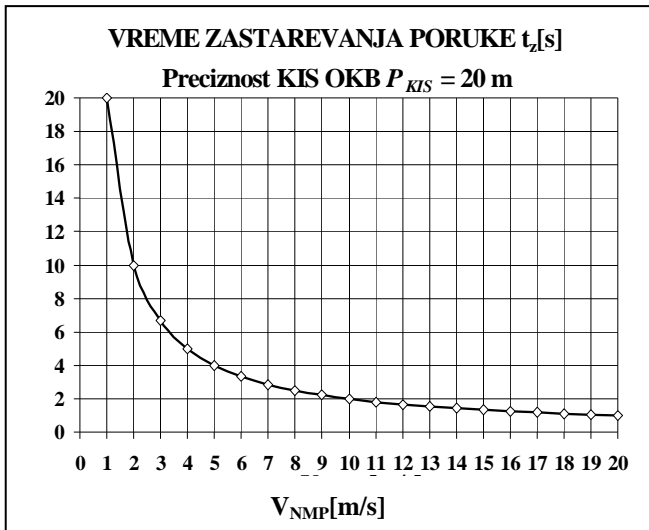
$$t_z = \frac{P_{KIS}}{V_{NMP}} \quad (1)$$

gde je  $P_{KIS}$  [m] preciznost KIS GNMP (zadato relativno pomeranje NMP usled daljeg kretanja u odnosu na prethodnu poziciju koje se toleriše), a  $V_{NMP}$  [m/s] brzina kretanja platforme u okviru GNMP (slika 4).

Za OiMJ, odabrana je vrednost preciznosti  $P_{KIS} = 20\text{m}$  (što odgovara rastojanju od 3 dužine tenka).

e) Ispituju se 3 algoritma rada lokalne mreže RLAN:

- *ad hoc* mreža sa algoritmom [3] prepoznavanja nosioca sa višestrukim pristupom i detekcijom sukoba na kanalu (CSMA/CD)
- dirigovana mreža RLAN sa prozivanjem učesnika
- dirigovana mreža RLAN sa prozivanjem učesnika i dve vrste poruka: za komandovanje i za izveštavanje



Sl.4 - Vreme zastarevanja poruke KIS GNMP

f) Formati poruka dati su u tabeli 2:

TABELA 2: FORMATI PORUKA KIS OKB (U BAJTOVIMA).

<i>Polje</i>	<i>Komanda</i>	<i>Izveštaj</i>
Preambula	8	8
Adresa odredišta	6	6
Adresa izvora	6	6
Vrsta protokola	2	2
Sadržaj	1	46
CRC	4	4

Lokalna radio računarska mreža RLAN za podršku KIS GNMP je diskretan dinamički sistem u kome se različite aktivnosti predstavljaju čistim

vremenskim kašnjenjima. Osnovna vremenska jedinica u simulacionom modelu je  $T_0 = 1$  ms. Do nje se došlo razmatranjem karakterističnih vremena u modelu, koja su data u tabeli T.3.

TABELA3: KARAKTERISTIČNA VREMENA U MODELU ( $V_{RU}=16$  kb/s).

<i>Vreme</i>	<i>Naziv</i>	<i>[ms]</i>
$t_b$	Prenos 1 bita	0,061
$t_B$	Prenos 1 bajta	0,488
$t_{JAM}$	Signal zastoja (48 bitova)	2,929
$t_{96b}$	Nezauzetost radioveze (96 bitova)	5,859
$t_{512b}$	Odstupanje (512 bitova)	31,25
$t_p$	Prenos poruke (576 bitova)	35,16
$t_{iapmin}$	Minimalno srednje vreme izmedju poruka	23,25
$t_{iapmax}$	Maksimalno srednje vreme izmedju poruka	465,1

U modelu se kreću poruke redovnih izveštaja NMP koje predstavljaju zahteve za deljenim resursom - radio vezom RLAN.

Sistemske parametri KIS GNMP su:

$P_{KIS}$  [m] preciznost KIS GNMP, najveće relativno pomeranje NMP od prethodnog položaja, za koje ne zastarevaju podaci o tom položaju;

$V_{nmp}$  [m/s] brzina NMP u okviru grupe.

Primarna mera performanse radio mreže za podršku KIS GNMP je uspešnost  $U_{RLAN}$  [%], definisana izrazom:

$$U_{RLAN} = \frac{N_u}{N_u + N_n} \quad (2)$$

gde  $N_u$  je broj uspešno prenesenih, a  $N_n$  broj neuspešno prenesenih poruka KIS GNMP. Pod uspešno prenesenom podrazumeva se ona poruka KIS GNMP koja je stigla do odredišta pre isteka vremena zastarevanja  $t_z$ , definisanog izrazom (1).

#### A. Simulacija ad hoc lokalne radio-računarske mreže KIS GNMP

Algoritam simulatora ad hoc radio-računarske mreže KIS GNMP prikazan je na sl. 5.

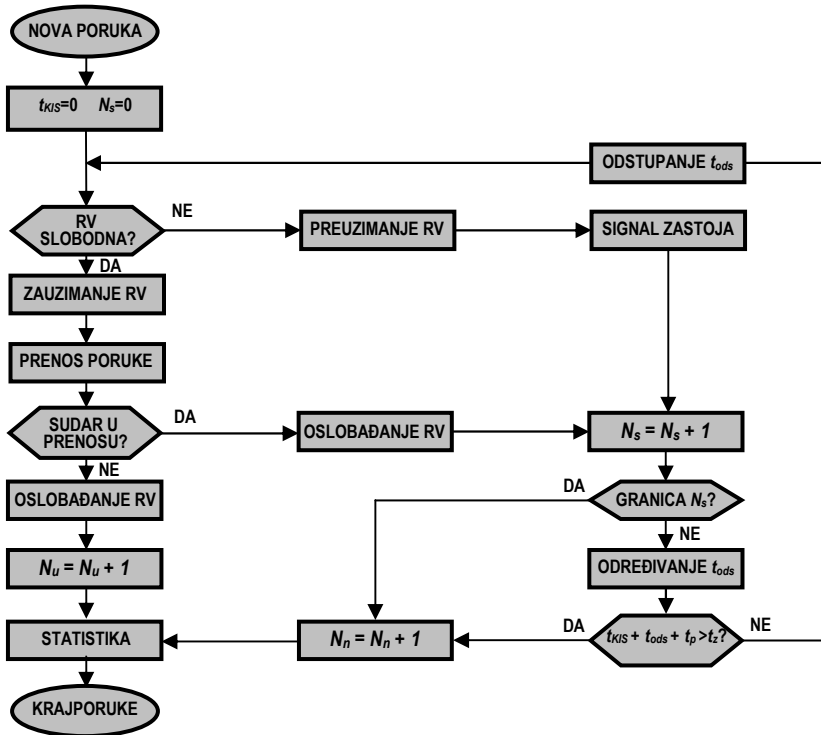
Simulacija dolazaka poruka o redovnim izveštajima pojedinačnih NMP za prenos pomoću radio veze RLAN, vrši se generisanjem pseudoslučajnog broja i uzorkovanjem eksponencijalne raspodele. Srednja vrednost izmedju dve uzastopne simulirane poruke,  $t_{iap}$ , definisana je izrazom:



$$t_{iap} = \frac{P_{KIS}}{V_{nmp} \cdot N_{NMP}} \quad (3)$$

gde je  $P_{KIS}$  preciznost KIS GNMP,  $V_{nmp}$  brzina kretanja grupe NMP, a  $N_{NMP}$  broj NMP u grupi.

Dolaskom poruke za prenos, počinje merenje vremena njenog ukupnog zadržavanja u sistemu  $t_{KIS}$ .



SI.5 - Algoritam simulatora ad hoc RLAN KIS GNMP

Posle prepoznavanja slobodne radio veze RLAN (RV), konstatovanjem odsustva predaje bilo kakvog signala u trajanju od 96 vremena predaje bita  $t_{96b}$ , zauzima se radio veza RLAN i počinje prenos poruke.

Ako u toku prenosa ne dodje do sudara sa nekom drugom porukom koja se u medjuvremenu pojavila, po okončanju prenosa radio veza se oslobadja, brojač uspešno ostvarenih prenosa poruka ( $N_u$ ) povećava se za 1 i poruka

uklanja iz simulacije. Ako u toku prenosa dodje do sudara na radio vezi RLAN sa nekom drugom porukom, prekida se prenos, posmatrana poruka napušta radio vezu, a njen brojač sudara ( $N_s$ ) povećava se za 1.

Ako se dostigne granica mogućeg broja sudara za tu poruku, brojač neuspješno prenošenih poruka ( $N_n$ ) povećava se za 1, a takva poruka uklanja iz simulacije. U suprotnom, za poruku se izračunava vreme odstupanja ( $t_{ods}$ ), pre nego što se ponovo pokuša sa njenim prenosom.

Vreme odstupanja  $t_{ods}$  određuje se na osnovu izraza:

$$t_{ods} = (1 + RN \bmod (2^{\min(n,10)} - 1)) \cdot t_{512b} \quad (4)$$

gde je  $RN$  generisani slučajni ceo broj (od 0 do 999),  $n$  redni broj sudara za posmatranu poruku, a  $t_{512b}$  vreme potrebno za prenos 512 bitova.

Ako je vreme odstupanja  $t_{ods}$  toliko da važi nejednačina:

$$t_{KIS} + t_{ods} + t_p > t_z \quad (5)$$

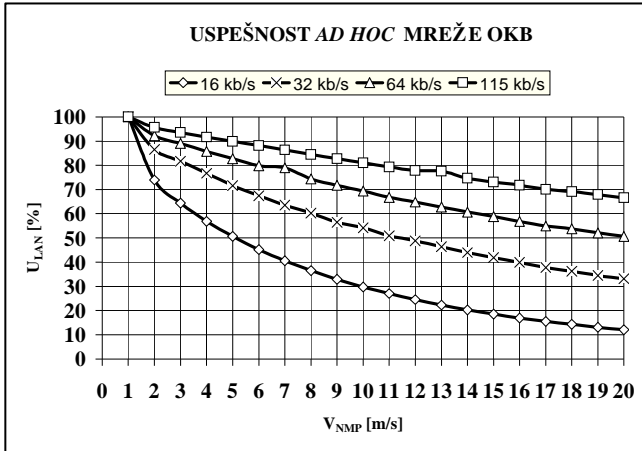
gde je  $t_{KIS}$  vreme koje je poruka do tada provela u sistemu,  $t_{ods}$  vreme odstupanja,  $t_p$  vreme prenosa poruke preko radio veze RLAN i  $t_z$  vreme zastarevanja poruke, ukupno vreme koje će poruka provesti u sistemu, čak pod uslovom da više neće biti sudara i daljih odstupanja, biće toliko da će poruka biti zastarela kada dodje na određite, pa se od njene dalje obrade odustaje, brojač neuspješno prenošenih poruka povećava za 1 i takva poruka uklanja iz simulacije. U suprotnom, poruka se zadržava za vreme odstupanja,  $t_{ods}$ , a zatim se ponovo pokušava sa njenim prenosom.

Ako radio veza RLAN nije slobodna, dolazi do sudara sa nekom drugom porukom čiji je prenos u toku. Tada se prenos takve poruke prekida i ona upućuje u deo simulatora za generisanje vremena odstupanja, a posmatrana poruka zauzima radio vezu.

Radio uređaj NMP koji ima posmatranu poruku onda predaje signal zastoja,  $t_{JAM}$ , u trajanju od 48 vremena prenosa bita, a zatim se poruka upućuje u opisani deo simulatora za generisanje vremena odstupanja i broj sudara za tu poruku takodje povećava za 1. Opet se procenjuje dostizanje granica broja sudara i vremena zastarevanja i poruka uklanja iz simulacije ili se, po isticanju vremena odstupanja, ponovo pokušava sa njenim prenosom.

U radu [5] prikazan je simulacioni model *ad hoc* RLAN, definisani su sistemski parametri i mere performansi i dati su rezultati 20 eksperimenata izvršenih pomoću realizovanog programa-simulatora, u kojima je simuliran po 1 sat rada mreže za podršku komandno-informacionog sistema KIS GNMP grupe od 43 naoružane mobilne platforme, što odgovara oklopnom bataljonu (OKB). Preciznost KIS GNMP bila je  $P_{KIS}=20m$ . Faktor eksperimenata bila je brzina kretanja NMP, za koju su redom uzete vrednosti  $V_{nmp} = \{1, 2, 3, \dots, 20\}$  [m/s], uz datu brzinu postojećih radio uređaja  $V_{RU} = 16$  kb/s. Uspešnost *ad hoc* mreže RLAN prikazana je pomoću najniže krive

na slici 6. Performansa takve mreže ne zadovoljava, pa je u radu [6] sa istim simulatorom izvršeno 80 eksperimenata, sa ciljem da se odredi uticaj izbora radiouredjaja (brzine prenosa podataka od 16, 32, 64 i 115 k/s), odnosno opravdanosti njihove zamene (slika 6).



Sl. 6 - Uspešnost RLAN u funkciji brzine NMP

Rezultati tih eksperimenata pokazuju da za brzine kretanja OKB do 1m/s, *ad hoc* mreža za podršku KIS OKB ima uspešnost od 100% za sve četiri razmatrane brzine prenosa podataka. Sa povećanjem brzina kretanja OKB, opada uspešnost *ad hoc* mreže RLAN. Ako se kao kriterijum prihvatljivosti usvoji minimalna vrednost  $U_{RLAN} = 50\%$ , onda radiouredjaj brzine prenosa podataka  $V_{RU} = 16$  kb/s ne daje zadovoljavajuće rezultate, pa ga ne treba koristiti u *ad hoc* mreži RLAN za OKB. Radiouredjaj sa  $V_{RU} = 115$  kb/s zadovoljava potrebe *ad hoc* mreže RLAN, dok se ostali razmatrani radiouredjaji po svojim performansama svrstavaju između dva koji su navedeni.

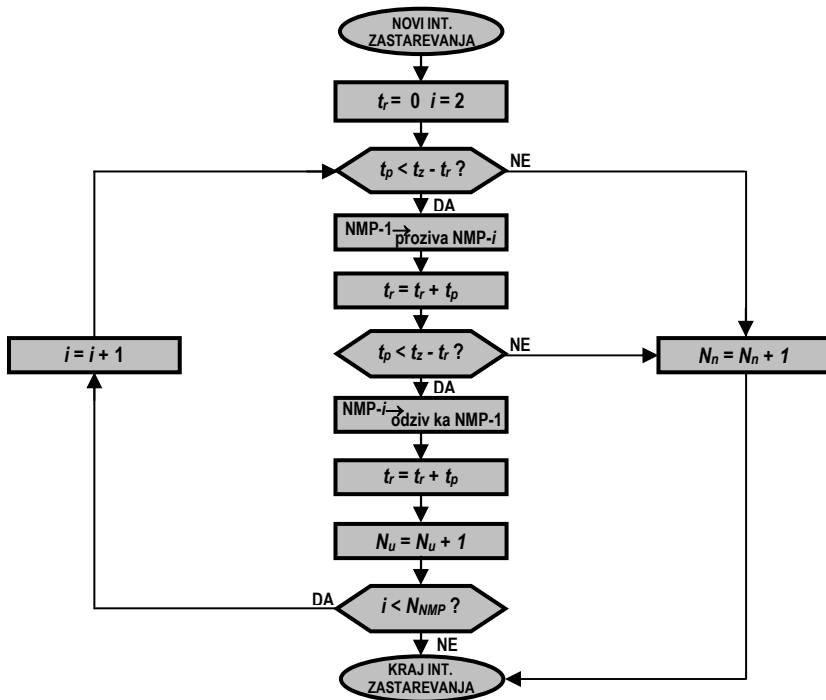
### B. Simulacija dirigovane lokalne radio-računarske mreže KIS GNMP

U radu [7] umesto *ad hoc* mreže, uveden je algoritam rada RLAN kao dirigovane radio računarske mreže sa prozivanjem učesnika, koji se svodi na sledeće:

1. Upravljač mreže (komandant OKB) nalazi se u jednoj od naoružanih mobilnih platformi iz grupe (NMP-1) i on određuje interval zastarevanja informacija na osnovu prosečne brzine oklopnog bataljona. U tim intervalima, on vrši prozivku (po redosledu, ili po sopstvenom nahodjenju) ostalih učesnika u mreži RLAN (NMP-i).

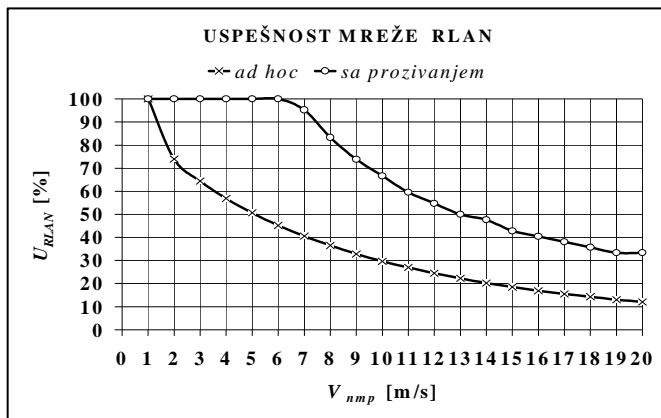
2. Kada (*i samo kada*) upravljač RLAN (NMP-1) prozove nekog učesnika (platformu NMP-*i*), NMP-*i* može da se odazove porukom, u kojoj izveštava NMP-1 o svom trenutnom položaju i drugim informacijama od interesa.
3. Ukoliko do isteka intervala zastarevanja ( $t_z$ ) NMP-1 ne uspe da obavi obostranu komunikaciju sa nekom od preostalih NMP iz OKB, upravljač prelazi na novu prozivku, a neostvarene komunikacije se smatraju gubitkom KIS OKB i tako utiču na uspešnost RLAN.

Algoritam simulatora dirigovane radio-računarske mreže KIS GNMP sa prozivanjem učesnika prikazan je na sl. 7.



Sl. 7 – Algoritam simulatora dirigovane RLAN sa prozivanjem učesnika

Taj algoritam uveden je sa ciljem da se ispitaju mogućnosti zadržavanja postojećih radiouredjaja brzine prenosa podataka  $V_{RU} = 16$  kb/s. Izvršena je računarska simulacija da bi se uporedila dva razmatrana algoritma rada mreže RLAN, a rezultati su prikazani na slici 8.



Sl.8 - *Uspešnost RLAN za KIS OKB u funkciji algoritma*

Uz iste radiouredjaje, dirigovana mreža RLAN sa prozivanjem učesnika ima uspešnost 100% do brzine kretanja OKB od  $V_{NMP} = 6$  m/s. Njena uspešnost takodje opada sa povećavanjem brzina kretanja platformi, s tim što se granica prihvatljivog rada mreže ( $U_{RLAN} = 50\%$ ) pomerila na brzinu  $V_{NMP} = 13$  m/s. Na najvećim brzinama NMP u OKB ( $V_{NMP} = 20$  m/s), mreža RLAN sa prozivanjem učesnika još uvek funkcioniše sa uspešnošću  $U_{RLAN} = 33\%$ , što znači da se pod takvim uslovima ostvari svaka treća komunikacija KIS OKB. Dakle, promenom algoritma rada mreže RLAN može se povećati njena performansa, uz zadržavanje postojećih radiouredjaja, pa je ovakav pristup ekonomičniji od *ad hoc* mreže RLAN sa nabavkom novih uredjaja.

### C. Dirigovana lokalna radio-računarska mreža sa dve vrste poruka

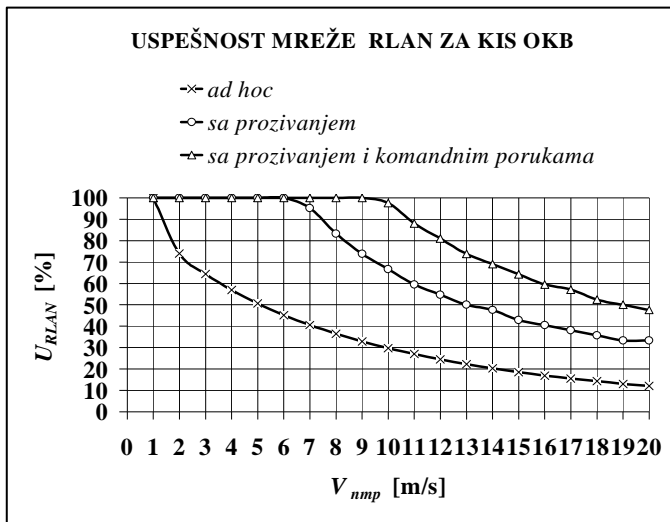
U radu [8], prikazuju se rezultati usavršavanja algoritma dirigovane mobilne računarske mreže komandno-informacionig sistema oklopnog bataljona sa prozivanjem učesnika, koje je postignuto uvođenjem komandne poruke, kao drugog tipa poruka KIS OKB. Komandna poruka KIS OKB u polju za podatke sadrži samo 1 bajt, koji se koristi za kodovanje vrste komande. Takva poruka zauzima znatno manje vremena u svakoj komunikaciji između upravljača RLAN i prozvanog učesnika, što za posledicu ima znatno bolju performansu mreže kada se učesnici - NMP u OKB - kreću brže, odnosno kada se skraćuje interval zastarevanja informacija u KIS OKB.

Pomoću tako realizovanog programa-simulatora, izvršeno je 20 eksperimenata u kojima je simulirano po 1 sat rada dirigovane radio računarske mreže za podršku komandno-informacionog sistema za OKB sastava ukupno 43 NMP.

Preciznost KIS OKB je  $P_{KIS} = 20$  m. Faktori eksperimenata su prosečna brzina kretanja NMP u okviru OKB, za koju su uzete vrednosti  $V_{nmp} = \{1, 2, \dots, 20\}$  [m/s] i postojanje ili nepostojanje posebnih, kraćih komandnih poruka. Svi eksperimenti su izvršeni uzimajući u obzir postojeće radiouredjaje, brzine prenosa podataka  $V_{RU} = 16$  kb/s.

Rezultati eksperimenata prikazani su na slici 9. Kao primarna mera performanse, razmatra se uspešnost mreže RLAN za podršku KIS OKB,  $U_{RLAN}$ , u zavisnosti brzine kretanja NMP. Na istom dijagramu, prikazana je i uspešnost *ad hoc* mreže RLAN, pod uslovom korišćenja istih, postojećih radiouredjaja. Rezultati eksperimenata pokazuju da se, uvodjenjem specijalnih, kraćih komandnih poruka u KIS OKB, postiže znatno poboljšanje performanse mobilne lokalne računarske mreže RLAN za podršku KIS OKB u odnosu na onu koja radi po algoritmu dirigovane mreže sa prozivanjem učesnika sa jedinstvenim formatom poruke. Dirigovana mreža RLAN sa prozivanjem učesnika i komandnim porukama ima  $U_{RLAN} = 100\%$  sve do prosečne brzine kretanja OKB od  $V_{NMP} = 9,85$  m/s (35,46 km/h).

Za veće brzine kretanja NMP u sastavu OKB, uspešnost takve mreže takodje opada, ali sporije nego u slučaju dirigovane mreže RLAN sa jedinstvenim formatom poruke, a pogotovu u odnosu na *ad hoc* mrežu RLAN. Uspešnost mreže RLAN iznosi 50 % sve do brzina NMP od 19 m/s, a samo za najveću brzinu,  $V_{NMP} = 20$  m/s, ona opada na  $U_{RLAN} = 47,62$  %.



Sl.10 Uspešnost RLAN u funkciji algoritma i vrste poruka

Ukoliko se analizira relativno povećanje performanse mreže RLAN u funkciji od algoritma mreže za dve karakteristične brzine kretanja OKB, rezultati eksperimenata pokazuju da:

- za  $V_{NMP} = 10$  m/s, dirigovana RLAN sa prozivanjem učesnika i komandnim porukama ima 1,464 puta veću uspešnost od dirigovane RLAN sa jedinstvenim formatom poruke, a 3,26 puta veću uspešnost od *ad hoc* RLAN;
- za  $V_{NMP} = 20$  m/s, dirigovana RLAN sa prozivanjem učesnika i komandnim porukama ima 1,429 puta veću uspešnost od dirigovane RLAN sa jedinstvenim formatom poruke, a 3,946 puta veću uspešnost od *ad hoc* RLAN.

Prilikom donošenja odluke o načinu rada pokretne radio računarske mreže za podršku komandno-informacionog sistema grupe NMP, pored uspešnosti, kao primarne mere performansi, treba uzeti u obzir i sledeće:

- RLAN sa prozivanjem učesnika je upravljana mreža, pa treba rešiti problem preuzimanja upravljačke funkcije u slučaju prestanka funkcionisanja upravljača;
- Algoritam po kome radi takva mreža nije standardan, što zahteva dodatni napor u programiranju radiouredjaja;
- Za razliku od *ad hoc* mreže, gde pojedine NMP same donose odluku o vremenu zastarevanja informacija, na osnovu sopstvene pozicije i pojedinačne brzine kretanja, u RLAN sa prozivanjem upravljač proziva učesnike u skladu sa vremenom zastarevanja informacija određenim na osnovu prosečne brzine kretanja grupe NMP kao celine.

## V. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani neki od rezultata sopstvenog višegodišnjeg istraživanja činilaca koji mogu da budu od uticaja na odlučivanje o pravcima modernizacije oklopnih i mehanizovanih jedinica (OiMJ) vojske Srbije, imajući u vidu mogućnosti primene taktike *swarminga*, prvenstveno komandno-informacionog sistema i pokretne radio-računarske mreže, kao jednog od njegovih najznačajnijih podsistema.

Na osnovu dosadašnjih rezultata istraživanja, može se zaključiti da bi bilo korisno uraditi sledeće:

- svaki tenk bi trebalo opremiti računarom, senzorom sopstvene pozicije i radiouredjajem za prenos podataka;
- radio-računarsku mrežu KIS bi trebalo realizovati tako da za manje grupe koje izvode *swarming* radi kao *ad hoc* mreža, a da za veće grupe (počevši od oklopnog bataljona) može da radi kao dirigovana mreža sa prozivanjem.

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] J.F. Kurose, K.W. Ross, "Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet", Second Edition, Pearson Education, USA, 2003.
- [4] R. Janković, "Koncept naoružane mobilne platforme", *Vojno delo*, br.3, Beograd, 1998.
- [5] R. Janković, "Simulacioni model *ad hoc* mreže za podršku grupnog komandno-informacionog sistema", YUINFO 2005, Kopaonik, 2005.
- [6] R. Janković, "Simulacija *ad hoc* mreže za komandno-informacioni sistem oklopnog bataljona", XXXII simpozijum o operacionim istraživanjima SYMOPIS 2005, Vrnjačka Banja, 2005.
- [7] R. Janković, "Simulacija dva algoritma pokretne mreže grupnog komandno-informacionog sistema", YUINFO 2006, Kopaonik, 2006.
- [8] R. Janković, "Simulacija poboljšanog algoritma računarske mreže za komandno-informacioni sistem oklopnog bataljona", XXXIII simpozijum o operacionim istraživanjima SYMOPIS 2006, Banja Koviljača, 2006.

ABSTRACT

Swarming is a tactical approach, suitable for both attack and defence, which has more and more been taken into account in modern armies' combat activities conceptualizing. Adaptation of the existing armoured and mechanized units (AMU) for swarming could be the best investment in technically inferior armies' modernization. That is the principal motivation for the research in course at Union university School of Computing in Belgrade. Some aspects of the AMU C4I system, and results of its mobile wireless computer network simulation in particular, have been considered in the paper.

**SIMULATION OF ARMoured BATTALION IN SWARMING  
COMPUTER NETWORK**

Radomir Janković