

UDK: 519.872:623.82:519.8(047)=861  
COSATI: 14-07, 13-10, 12-02

## Reakciona matrica – novi koncept za uvođenje ekspertskih pravila odlučivanja u simulacione modele složenih vojnih sistema

Dr Radomir Janković, dipl.inž.<sup>1)</sup>

Predstavljeni su neki od rezultata sopstvenog originalnog istraživanja u oblasti jedne klase složenih vojnih sistema, kao što su ratni brod, borbena aviona, naoružani helikopter ili oklopni transporter. Najpre je izložena metodologija za istraživanje i razvoj takvih sistema, zasnovana na tehnici računarske simulacije. Zatim se daju osnovi razvijenog modela simulirane misije naoružane mobilne platforme (NMP), kao apstrakcije pogodna za istraživanje i razvoj te klase složenih vojnih sistema. Objašnjeni su najvažniji koncepti simulacionog modela planirane misije NMP i mehanizmi za uvođenje vanrednih događaja u takav model, posebno konflikata, u kojima dolazi do sukoba interesa posade NMP koja teži da ostvari planirane zadatke i protivnika koji teži da je u tome spreči. Reakciona matrica (REM) je novi originalni koncept do koga se došlo u toku istraživanja, sa ciljem da se u simulacioni model uvedu karakteristike pretnje/cilja, stanja bitnih resursa same NMP i ekspertska pravila odlučivanja u komandovanju koja se primenjuju radi određivanja reakcije NMP u konfliktnoj situaciji. Dati su koncept REM i njena logička organizacija, kao i osvrt na njenu realizaciju u simulacionom jeziku GPSS na PC računaru. Primer koji se razmatra u radu je reakciona matrica za simulator borbenih dejstava naoružanog broda rečne ratne flote.

*Cljučne reči:* Vojni sistem, naoružana mobilna platforma, reakciona matrica, računarska simulacija.

### Korišćene oznake i simboli

BK	- borbeni komplet municije uz oruđe
C/P	- cilj/pretnja
CNU	- brojač neuništenih ciljeva
CU	- brojač uništenih ciljeva
$D_{ij}$	- deonica $ij$
DNCA	- entitet za stanje prelaženja deonice
$E_p$	- efikasnost plovidbe
$F_m$	- procent misija sa fatalnim ishodom
FN\$BRZ	- funkcija raspodele brzina
FN\$DEON	- funkcija raspodele dužina deonica
IZ	- izbegavanje konflikta
KIS	- komandno-informacioni sistem
KON	- konflikt
KP	- kumulativni procent
M	- planirani manevar
$m$	- trajanje manevra
MANEV	- entitet za stanje manevra
NB	- naoružani brod
NB/RRF	- naoružani brod rečne ratne flote
$N_{jm}$	- broj misija sa fatalnim ishodom
NM	- neplanirani manevar
NMP	- naoružana mobilna platforma
$N_{uk}$	- ukupan broj simuliranih misija
$N_{um}$	- broj uspešnih misija
NVO	- naoružanje i vojna oprema
OM	- ometanje dejstva protivnika
P/C	- indikator pretnja/cilj
$P_i$	- karakteristika pretnje/cilja
REM	- reakciona matrica

$R_i$	- reakcija NMP
RRF	- rečna ratna flotila
$S_1$	- ostatak puta do pristizanja na cilj
$S_2$	- ostatak puta do povratka u bazu
$T_0$	- osnovna vremenska jedinica u modelu
$T_m$	- ukupno trajanje misije
$t_{VC}$	- vreme vatrenog dejstva po ciljevima
$U_m$	- uspešnost misije
$U_p$	- utrošak municije
$V$	- važnost pretnje/cilja
VC	- vatreno dejstvo po cilju
VCIL	- entitet za stanje dejstva oruđem po cilju
VD	- vanredni događaj
$V_{ij}$	- brzina na deonici $ij$
VUC	- verovatnoća uništenja pretnje/cilja
VUNMP	- verovatnoća uništenja NMP

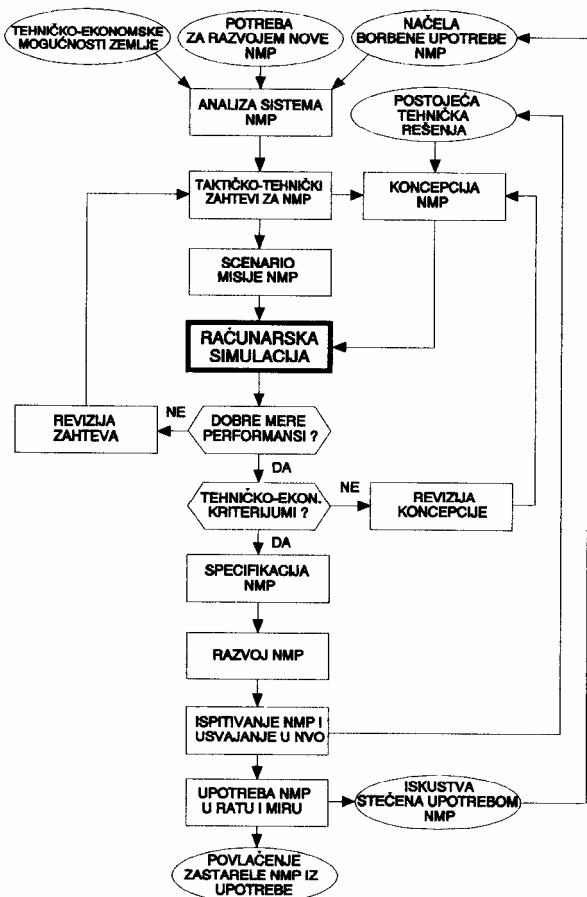
### Uvod

U ovom radu predstavljaju se pojedini rezultati sopstvenog originalnog istraživanja sa ciljem podrške razvoja i upotrebe složenih vojnih sistema kao što su ratni brod, oklopno borbeno vozilo, avion ili naoružani helikopter. Takvi sistemi imaju neke zajedničke osobine, od kojih su najvažnije: sopstveni pogon, ljudska posada, naoružanje i potreba za značajnom logističkom podrškom.

Na slici 1, kao rezultat sopstvenih iskustava, prikazana je metodologija za istraživanje i razvoj takvih složenih vojnih sistema. Može se uočiti da, mada je razvijena prvenstveno za potrebe razvoja novih sistema i sredstava naoružanja i vojne opreme (NVO), ova metodologija ima i širu namenu, jer obuhvata ceo životni ciklus složenog vojnog sistema, od javljanja potrebe za njegovim razvojem, preko istraživanja, određivanja koncepcije tehničkog rešenja, samog razvoja i

<sup>1)</sup> Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

ispitivanja, usvajanja u NVO, upotrebe, pa sve do povlačenja sistema usled zastarelosti. Posebno je značajno to što metodologija uključuje i obogaćivanje skupa postojećih tehničkih rešenja, kako za vreme, tako i posle životnog ciklusa sistema. Sa druge strane, iskustva stečena, kako u toku istraživanja i razvoja, tako i u toku ispitivanja i kasnije eksploatacije, uvedena su u metodologiju i imaju određenog uticaja na kritičku analizu postojećih i stvaranje novih načela borbene upotrebe složenog vojnog sistema.



Slika 1. Metodologija za istraživanje i razvoj NMP

Zbog tako široko postavljenih ciljeva i složenosti samog predmeta istraživanja, metodologija se oslanja na tehnike operacionih istraživanja, posebno na računarsku simulaciju. Cilj simulacije složenog vojnog sistema i njegovog okruženja [1] je da se, kroz procenu mera performansi u različitim uslovima, dođe do pokazatelja uspešnosti tehničkih rešenja primenjenih tokom razvoja ciljnog sistema, njegovih podsistema i delova. Pored toga, cilj su i primene razvijenih simulatora za istraživanje pravilnog odlučivanja u pogledu mogućnosti upotrebe takvog složenog vojnog sistema u izvođenju borbenih dejstava, što pada u domen komandovanja i obuke, kao i njegove logističke podrške, što primenu nalazi u oblasti tehničkog održavanja i tehničkog snabdevanja.

Za potrebe ovog istraživanja uveden je novi koncept Naoružana Mobilna Platforma – NMP [1,2], kao apstrakcija pogodna za istraživanje različitih složenih vojnih sistema. Okolinu NMP, kao vojnog sistema, predstavljaju: neprijatelj, sopstvene snage i prostor (teritorija, akvatorija ili vazdušni prostor po kojima se kreću NMP i različiti ciljevi i pretnje). Podsystemi NMP od interesa za istraživanje i/ili razvoj su najčešće: pogon, komandno-

informacioni sistem (KIS), oruđa i logistička podrška.

U ovim istraživanjima simulira se misija naoružane mobilne platforme. Pri tome se NMP posmatra kao celovit sistem sa svim osobinama složenog organizma koji se kreće, ima određene planirane ciljeve koje treba da ispuni tokom misije, raspolaže resursima za izvršenje tih zadataka, dolazi u vanredne - neplanirane situacije, procenjuje ih, donosi odluke na osnovu utvrđenih ekspertskih pravila i dejstvuje određenim aktivnostima iz skupa mogućih reakcija na takve događaje.

Razvijeni simulacioni model zasniva se na planiranoj misiji naoružane mobilne platforme. Za simulaciju vanrednih događaja tokom misije (u osnovi pojava neplaniranih ciljeva ili pretnji) razvijeni su posebni delovi simulatora. S obzirom da se radi o naoružanoj mobilnoj platformi, dakle o složenom vojnom sistemu koji izvodi borbeno dejstvo, u radu se konflikt naglašava kao najznačajniji vanredni događaj. U konfliktu je NMP suprotstavljena protivniku koji pokušava da je uništi ili ošteti dejstvom različitih sistema i sredstava naoružanja i vojne opreme. U odgovarajućim delovima simulatora bilo je potrebno predstaviti pojavu neplaniranih ciljeva/pretnji (C/P), kao i procese procene situacije i donošenja odluke od strane posade NMP u skladu sa utvrđenim ekspertskim pravilima odlučivanja.

Reakciona matrica (REM) je novi koncept do koga se došlo tokom istraživanja. Namenjena je za uvođenje ekspertskih pravila odlučivanja u simulacione modele složenih vojnih sistema, kao i karakteristika ciljeva/pretnji i stanja resursa same NMP koji su bitni za simulaciju reakcija sistema na vanredne događaje u misiji.

U radu se najpre definišu osnovni pojmovi. Zatim se daju najvažniji koncepti simulacionog modela planirane misije naoružane mobilne platforme koji predstavlja polaznu osnovu za dalja istraživanja. U nastavku se opisuje simuliranje vanrednih - neplaniranih događaja do kojih dolazi u misiji, što predstavlja značajan korak u približavanju situacijama koje se dešavaju u realnom sistemu koji čini vojna naoružana mobilna platforma u borbenim dejstvima. Posebna pažnja posvećena je simuliranju konflikata, kao najvažnijih od svih vanrednih događaja, jer u njima dolazi do sudara sa protivnikom koji se može završiti povoljnim ishodom po NMP ili, naprotiv, njenim oštećenjem ili uništenjem.

Reakciona matrica (REM) je jedan od centralnih novih koncepata u algoritmu simulatora konflikata, pa i simulacionog modela u celini. Taj novi koncept opisan je u posebnoj odeljku i razmatran je na pokaznom primeru upotrebe u simulatoru misije naoružanog broda rečne ratne flotile (NB/RRF). Dati su i osnovi realizacije reakcione matrice pomoću simulacionog programskog jezika GPSS.

U zaključku se ukazuje na značaj do sada postignutih rezultata istraživanja, posebno koncepta reakcione matrice i mogućnosti njene šire primene u simulaciji složenih vojnih sistema.

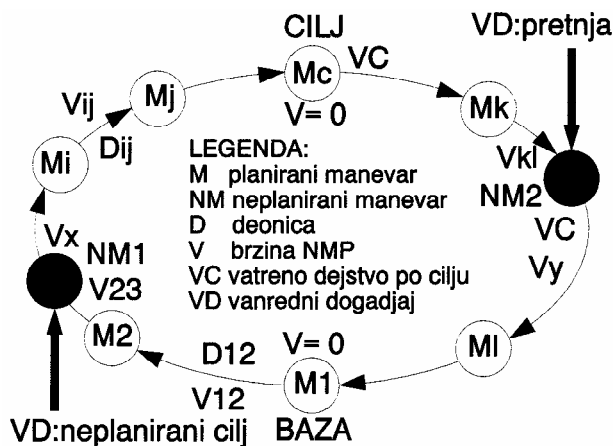
## Definicije osnovnih pojmova

Naoružana mobilna platforma (NMP) je novi koncept uveden u ovom istraživanju, kao apstrakcija pogodna za istraživanje i razvoj jedne klase složenih vojnih sistema. Mnogi takvi sistemi, na primer ratni brod, oklopno borbeno vozilo, avion ili naoružani helikopter, imaju neke zajedničke osobine, od kojih su najvažnije: sopstveni pogon, ljudska posada, naoružanje i potreba za značajnom logističkom podrškom.

Okolinu NMP, kao vojnog sistema, predstavljaju: neprijatelj, sopstvene snage i prostor (teritorija, akvatorija ili vazdušni prostor) po kojima se kreću NMP i različiti ciljevi i pretnje).

Podsistemi NMP od interesa za istraživanje i/ili razvoj su najčešće: pogon, komandno-informacioni sistem (KIS), oruđa i logistička podrška.

Misija NMP je put koji ona treba da prevali, od baze do cilja i natrag do baze, u okviru koga se planira izvršenje drugih zadataka (uništenje planiranih ciljeva i sl.). Taj put, koji se može predstaviti cikličkim grafom (sl. 2), sastoji se od više deonica  $D_{ij}$  koje NMP, u ovom pristupu, prelazi konstantnim brzinama  $V_{ij}$ . Svaka deonica - grana grafa - omeđena je sa dva čvora, koji se ovde nazivaju manevarima ( $M_i$  i  $M_j$ ).



Slika 2. Misija naoružane mobilne platforme

Manevar  $M_i$  je događaj na putu kada se menja brzina NMP. Da bi se pojednostavio model, uzeto je da su promene brzine diskretne, ali da se za vreme trajanja manevara, kada se brzina NMP menja, ne prevaljuje nikakvo rastojanje.

Planirana misija NMP je ona u kojoj nema nikakvih drugih događaja osim predviđenog puta koji NMP prevaljuje od baze do cilja i natrag do baze i planski unapred određenih zadataka koje NMP izvršava na tom putu. To je idealizovan slučaj misije, u kojoj nema nepredviđenih događaja i u kome NMP izvršava samo planirane zadatke. Njen značaj se ogleda u tome što predstavlja osnov na kome su razvijeni najvažniji delovi i mehanizmi u okviru simulacionog modela. Na ovu osnovu se, u daljim fazama razvoja simulacionog modela, nadograđuju delovi kojima se simuliraju događaji koji se ne mogu planirati, a koji su u većoj ili manjoj meri uvek prisutni u realnim misijama NMP. U okviru planirane misije, NMP treba da uništi jedan ili više ciljeva/pretnji (C/P), što se svodi na dejstvo nekim od oruđa kojima NMP raspolaže i trošenje odgovarajućih resursa dodeljenih za misiju, kao što su projektili iz borbenog kompleta (BK) uz oruđe, ili vreme koje troši komandno-informacioni sistem.

Cilj je ona neprijateljska jedinica, sistem ili sredstvo koje može da se uništi ili ošteti oruđima kojima raspolaže NMP.

Pretnja je ona neprijateljska jedinica, sistem ili sredstvo koje svojim dejstvom može da ošteti ili uništi NMP. Većina pretnji mogu istovremeno biti i ciljevi i obratno, ali je relativni odnos intenziteta ova dva svojstva različit od slučaja do slučaja.

Utjecaj neprijatelja na misiju NMP predstavlja se vanrednim događajima (VD) koji su najčešće pojave različitih neplaniranih ciljeva i/ili pretnji (C/P).

Konflikt je posebna klasa vanrednih događaja u simulacionom modelu misije NMP u kojima dolazi do sukoba interesa NMP (da postigne osnovni cilj misije – uništi sve planirane ciljeve i, istovremeno, sačuva sebe od uništenja) i protivnika koji teži da je u tome spreči, uništi ili onesposobi.

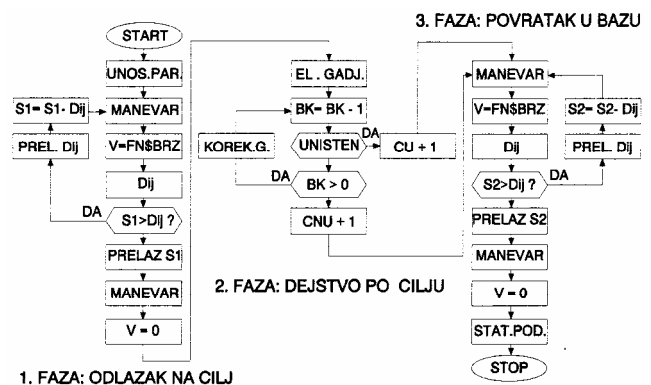
Reakcija NMP je njen odziv na pojavu vanrednog događaja. To je jedna ili više aktivnosti koje posada NMP, posle procene novonastale situacije i donošenja odluke, preuzima sa osnovnim ciljem da se otklone negativne posledice vanrednog događaja i NMP što pre ponovo usmeri na izvršenje planirane misije. Aktivnosti reakcije se preduzimaju u skladu sa ekspertskim pravilima odlučivanja koja proističu iz načela borbene upotrebe NMP.

Reakciona matrica je novi koncept do koga se došlo u toku ovog istraživanja. To je dinamička struktura podataka čija je namena da se u simulacioni model uvedu karakteristike pretnje/cilja od značaja za simulaciju konflikta, reakcija i eventualnih borbenih dejstava NMP, zatim karakteristike i stanje resursa same NMP i, najzad, ekspertska pravila odlučivanja u komandovanju NMP koja se primenjuju radi određivanja reakcije NMP na vanredni događaj.

Simulacija misije NMP je računarska predstava dinamičkog scenarija u kome se, od polaska na cilj do povratka u bazu, smenjuju manevari i prelasci deonica, pojave vanrednih događaja i odgovarajuće reakcije (dejstva) NMP, uz postepeno trošenje resursa koji su na raspolaganju za misiju. Stepenu uspešnosti misije NMP ocenjuje se merama performansi, kao što su vreme njenog trajanja, broj utrošenih projektila po uništenom cilju, efikasnost prevaljivanja puta, procent misija koje su povoljno završene i slično.

### Simulacija planirane misije naoružane mobilne platforme

U istraživanjima se koristi metodologija zasnovana na računarskoj simulaciji misije NMP. Odabran je modularni pristup, tako da osnovu ukupnog modela predstavlja simulator planirane misije, a zatim su razvijeni dodatni moduli kojim se simuliraju različiti aspekti misije NMP, kao što su na primer vanredni događaji, posebno konflikti, ili neki drugi podsistemi ili delovi, zavisno od potreba, odnosno problema koji se istražuje.



Slika 3. Algoritam simulatora planirane misije

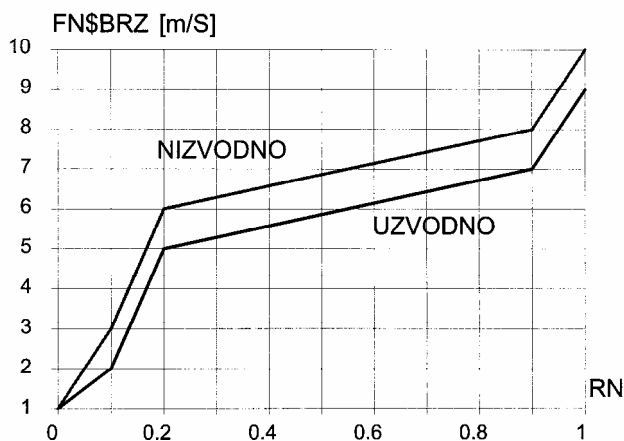
Na sl. 3 je prikazan algoritam simulatora jedne jednostavne planirane misije naoružanog broda rečne ratne flotile (N/B RRF) koja se sastoji od tri faze: odlaska do planiranog cilja, vatrenog dejstva po tom cilju i povratka u bazu.

Model je implementiran pomoću simulacionog jezika GPSS [5,6]. Osnovna vremenska jedinica u modelu je  $T_0 = 1$  s. Do nje se došlo posle analize dinamički veoma različitih procesa, koji su u ovom trenutku istraživanja obuhvaćeni modelom: celokupne misije NMP koja traje više sati, prelazaka pojedinih deonica koji traju od nekoliko minuta do nekoliko sati, aktivnosti u vezi sa pojavama ciljeva i/ili pretnji koje su reda nekoliko sekundi do nekoliko minuta i reakcija ljudi koje su reda jedne sekunde.

Sam naoružani brod RRF simuliran je jednom GPSS transakcijom NMP [5,6] čiji se parametri, koji sadrže podatke bitne za simulacioni prolaz, inicijalizuju na početku eksperimenta. U jednoj simuliranoj misiji (jednom simulacionom prolazu), postoji samo jedna transakcija NMP koja se na kraju, posle prikupljanja statističkih podataka, reinicijalizuje da bi ponovo započela sa sledećim prolazom, odnosno novom simuliranom misijom naoružanog broda RRF.

U simuliranoj misiji, transakcija NMP se nalazi u jednom od tri moguća stanja: vrši simulirani manevar, prelazi simuliranu deonicu ili simulira dejstvo oruđem po planiranom cilju.

Prvu fazu - odlazak na planirani cilj - transakcija NMP počinje iz mirovanja (brzina broda  $V = 0$ ), manevarom ( $M_i$ ) za promenu brzine ( $V_{ij}$ ) radi prelaska naredne deonice ( $D_{ij}$ ). Simulacija manevara ( $M_i$ ) vrši se pomoću čistog vremenskog kašnjenja, uzorkovanjem funkcije raspodele trajanja manevara. Zatim se uzorkuje funkcija raspodele brzina (FN\$BRZ), čiji je primer za dva smera plovidbe po reci (uzvodno i nizvodno) dat na sl. 4. Dobijena vrednost brzine  $V_{ij}$  dodeljuje se transakciji NMP kao nova brzina za prelazak deonice puta  $D_{ij}$  koja predstoji.



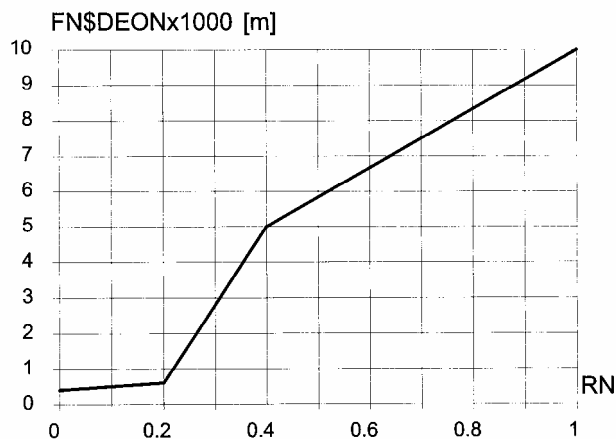
Slika 4. Raspodela brzina NMP

Za simulaciju prelaska deonice  $D_{ij}$ , prvo se uzorkuje funkcija raspodele dužina deonica (FN\$DEON), čiji je primer dat na sl. 5. Zatim se ispituje da li je ostatak puta do pristizanja NMP na planirani cilj ( $S_1$ ) veći od tako generisane deonice  $D_{ij}$ . Ako jeste, NMP simulira prelazak deonice kao čisto vremensko kašnjenje koje je izračunato iz podataka o dužini deonice  $D_{ij}$  i brzini kretanja NMP  $V_{ij}$ , umanjuje ostatak puta za vrednost  $D_{ij}$  i prelazi na novi manevar ( $M_j$ ) za promenu brzine. Ako nije, umesto generisane deonice  $D_{ij}$  transakcija NMP brzinom  $V_{ij}$  prelazi samo ostatak puta  $S_1$  i pristiže na planirani cilj, čime je završena prva faza simulirane misije.

Dejstvo NMP oruđem po cilju obuhvata:

- pripreme radnje koje se obavljaju u komandno-informacionom sistemu (KIS) i kod posade (određivanje elemenata za gađanje i podešavanje oruđa, što obuhvata i

- rad posade i pojedine tehničke karakteristike samog oruđa),
- vatreno dejstvo oruđa,
- procenu učinka dejstva oruđa po cilju,
- korekciju elemenata za gađanje i
- ponavljanje dejstva po cilju - do njegovog uništenja ili odustajanja zbog potpunog utroška borbenog kompleta municije ili neke druge odluke.



Slika 5. Raspodela dužina deonica

Druga faza - dejstvo po planiranom cilju - počinje simuliranjem procesa određivanja elemenata za gađanje koji je predstavljen čistim vremenskim kašnjenjem. Samo vatreno dejstvo simulira se umanjivanjem veličine borbenog kompleta municije uz oruđe (BK) za 1 (ispaljivanje jednog projektila) i uzorkovanjem funkcije raspodele verovatnoće uništenja cilja jednim projektilom radi određivanja da li je cilj uništen, što zavisi od karakteristika oruđa izraženih u verovatnoći uništenja cilja jednim hicem ( $p_U$ ). Ukoliko je cilj uništen, NMP inkrementira brojač uništenih ciljeva (CU) za 1 i prelazi na treću fazu simulirane misije, a ukoliko nije - proverava da li u preostalom borbenom kompletu ima još municije. Ako ima, NMP ulazi u proces novog uzimanja (korekcije) elemenata za gađanje i ponavlja sve opisane aktivnosti, a ako nema, odustaje od planiranog cilja, brojač neuništenih ciljeva (CNU) inkrementira za 1 i prelazi na treću fazu simulirane misije.

Treća faza - povratak NMP u bazu - vrši se po gotovo identičnom algoritmu kao i prva faza, sa tom razlikom što se, s obzirom da se misija odvija na reci, uzorkovanje vrši po funkciji raspodele brzina prelazaka pojedinih deonica za suprotan smer plovidbe i generisana deonica poredi sa ostatkom puta do povratka u bazu ( $S_2$ ). Na kraju treće faze transakciji NMP se dodeljuje brzina  $V = 0$  (brod se zaustavlja), prikupljaju se potrebni statistički podaci, transakcija se reinicijalizuje i upućuje u novi simulacioni prolaz.

U modulu za simulaciju planirane misije NMP definisane su sledeće mere performansi:

- VREME TRAJANJA MISIJE  $T_m$ , dato izrazom:

$$T_m = \sum \frac{D_{ij}}{V_{ij}} + \sum m_k + \sum t_{vdc} \quad (1)$$

gde su:  $D_{ij}$  - dužine deonica,  $V_{ij}$  - brzine na njima,  $m_k$  - trajanja manevara i  $t_{vdc}$  - vremena vatrene dejstva po ciljevima.

– EFIKASNOST PLOVIDBE  $E_p$  [%], data izrazom:

$$E_p = \frac{1}{T_m} \sum \frac{D_{ij}}{V_{ij}} \quad (2)$$

gde su:  $D_{ij}$ - dužine deonica,  $V_{ij}$ - brzine na njima, a  $T_m$ - ukupno vreme misije NMP.

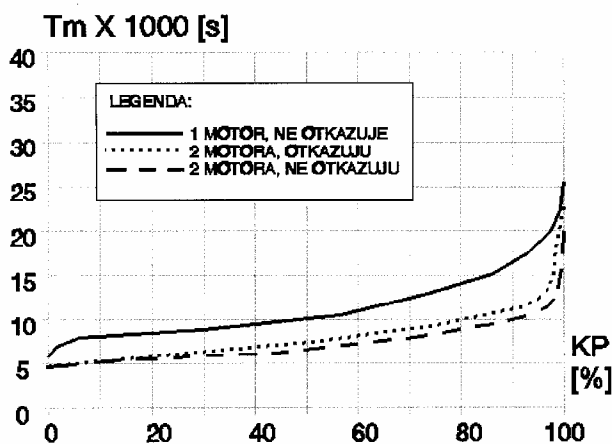
– UTROŠAK MUNICIJE  $U_p$ , definisan brojem utrošenih projektila do uništenja svih planiranih ciljeva.

– USPEŠNOST MISIJE  $U_m$  [%], data izrazom:

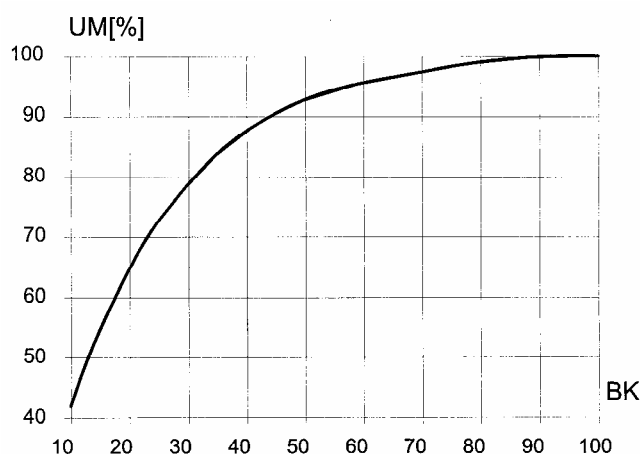
$$U_m = \frac{N_{um}}{N_{uk}} \quad (3)$$

gde su:  $N_{um}$  - broj misija koje su završile uništenjem planiranih ciljeva, a  $N_{uk}$  - ukupan broj simuliranih misija (simulacionih prolaza) NMP.

U modulu za simulaciju planirane misije NMP ostvareni su osnovni mehanizmi za simulaciju kretanja i dejstava NMP u modelu. Pomoću tog modula izvršeno je u toku istraživanja više eksperimenata, od kojih su primeri tipičnih rezultata: raspodela trajanja misije NMP (sl.6) i uspešnost misije NMP, zavisno od veličine borbenog kompleta (sl.7).



Slika 6. Raspodela vremena trajanja misije NMP



Slika 7. Uspešnost misije NMP zavisno od veličine BK

Ono što zahteva izgradnju novih modula u simulacionom modelu su vanredni događaji (VD) u simuliranoj misiji NMP. Vanredni događaji su sve ono što nije predviđeno u planiranju misije NMP. To su različiti otkazi i druge

neplanirane pojave u vezi sa resursima NMP, kao i promene u ciljevima misije do kojih može doći usled razvoja situacije u širem okruženju NMP. S druge strane, uticaj neprijatelja se ogleda kroz konflikte - posebnu klasu vanrednih događaja - koji su prvenstveno pojava neplaniranih ciljeva i/ili pretnji koji mogu da unište NMP, oštete je ili - neplaniranim trošenjem resursa dodeljenih za misiju - spreče je u ostvarivanju planiranih ciljeva.

U radovima [3,4] opisani su mehanizmi razvijeni za simulaciju vanrednih događaja u misiji NMP.

Kako ishod vanrednog događaja može biti fatalan po misiju NMP, odnosno rezultovati njenim oštećenjem ili uništenjem, u simulatorima misije NMP gde je moguća pojava vanrednih događaja, uvedena je dodatna mera performanse:

– PROCENT MISIJA SA FATALNIM ISHODOM  $F_m$  [%], dat izrazom:

$$F_m = \frac{N_{fm}}{N_{uk}} \quad (4)$$

gde su:  $N_{fm}$  - broj misija koje su završile gubitkom NMP, a  $N_{uk}$  - ukupan broj simuliranih misija.

S obzirom na značaj konflikata, kao posebne klase vanrednih događaja kroz koje se najviše ispoljava uticaj neprijatelja na misiju NMP, u ovom radu će biti posebno razmatrana samo simulacija konflikata u misiji NMP.

### Simulacija konflikata u misiji NMP

Konflikti su posebna klasa vanrednih događaja u simulacionom modelu misije naoružane mobilne platforme u kojima dolazi do sukoba interesa NMP (da postigne osnovni cilj misije – uništi sve planirane ciljeve i, istovremeno, sačuva se od uništenja) i protivnika koji teži da je uništi ili onesposobi. Kao takvi, konflikti predstavljaju osnovu za simulaciju borbenih dejstava do kojih dolazi u misiji naoružane mobilne platforme.

Algoritamski opis simulatora konflikta dat je na slici 8. Vidi se da u njemu učestvuju dve transakcije jezika GPSS [5]:

- KON: nezavisno generisana transakcija koja u modelu predstavlja konflikt kao vanredni događaj i
- NMP: transakcija koja u modelu predstavlja naoružanu mobilnu platformu.

Pojave konflikata, kao statistički međusobno nezavisnih događaja, generišu se uzorkovanjem eksponencijalne raspodele, uz zadatu srednju vrednost vremenskog intervala između dva konflikta. U okviru ovog dela simulatora, uzorkovanjem odgovarajućih GPSS funkcija [6] generišu se i karakteristike cilja/pretnje koje se upisuju u određene parametre transakcije KON. Na ovaj način generiše se i vreme posle koga može doći do potencijalnog sukoba.

U simulacionom modelu, transakcija NMP se može nalaziti u jednom od sledeća tri stanja:

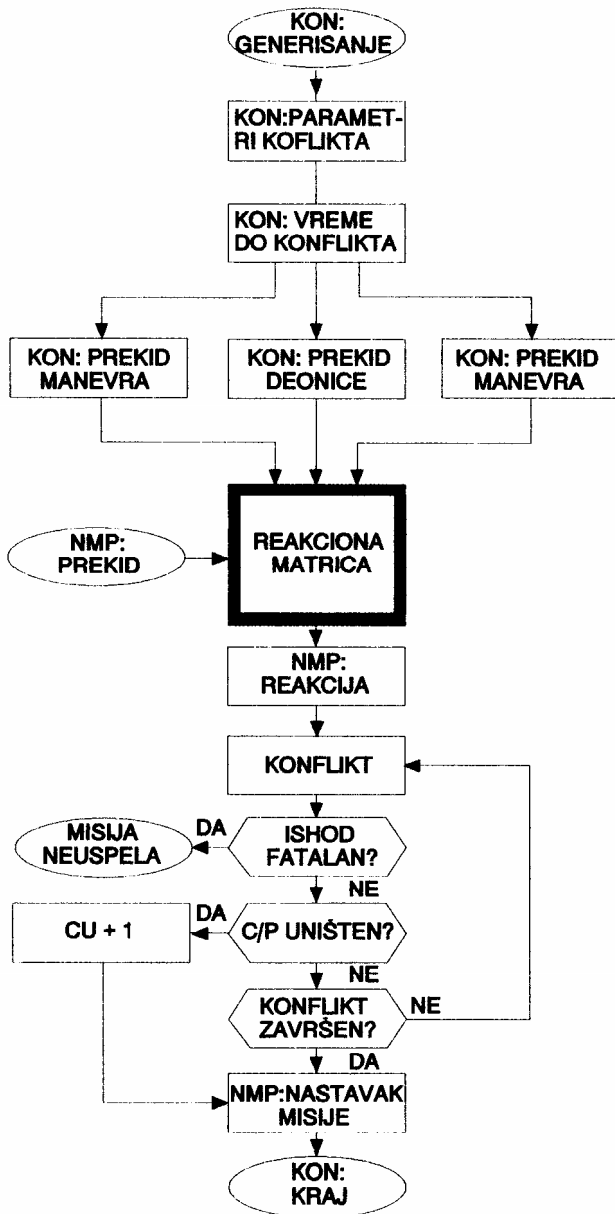
- a) Vršiti simulirani manevar;
- b) Prelazi simuliranu deonicu;
- c) Simulira dejstvo oruđem po planiranom cilju.

Ova stanja su u modelu označena GPSS entitetima za opsluživanje po jedne transakcije (FACILITY) [6] i to:

- a) FACILITY MANEV za manevar;
- b) FACILITY DNCA za prelaženje deonice;
- c) FACILITY VCIL za dejstvo oruđem.

S obzirom da nezavisno generisana transakcija za simuliranje konflikta KON ne zna u kom se stanju u trenutku njene pojave nalazi NMP, ona posle određivanja parame-

tara konflikta i vremena do početka sukoba, prekida zauzeće svih tih entiteta i naznačava adrese na kojima se u programu-simulatoru nalaze odgovarajuće rutine za predstavljanje reakcija NMP na konflikt. Budući da se u simulatoru nalazi samo jedna transakcija NMP, ona će odustati od zauzeća samo jednog od entiteta za predstavljanje njenog tekućeg stanja u modelu i preći će na izvršavanje rutine za reakciju na konflikt. Prekidi zauzeća ostalih entiteta za označavanje tekućeg stanja NMP su bez ikakvog dejstva.



Slika 8. Algoritam simulatora konflikta

Informacije o karakteristikama mogućih pretnji/ciljeva koje sobom nosi transakcija KON i o stanju resursa naoružane mobilne platforme koje su u parametrima transakcije NMP, porede se sa sadržajem odgovarajućih polja u reakcionoj matrici (REM). Na osnovu ovih informacija i ekspertskih pravila odlučivanja u komandovanju NMP, ugrađenih u reakcionu matricu, određuje se koje će od mogućih reakcija NMP i kojim redosledom biti primenjene u simuliranom konfliktu.

Zatim se prelazi na simulaciju samog konflikta. Ukoliko dođe do sukoba, navedene aktivnosti reakcije imaju udela u krajnjem ishodu. Kao i svaki drugi vanredni događaj, konfli-

kt može da se završi fatalnim ishodom po NMP, kada se njena misija neuspešno završava. S druge strane, ukoliko se konflikt ne završi fatalno po NMP, onda se transakcija kojom se simulira konflikt uklanja iz simulacije, a NMP nastavlja misiju tamo gde je ona bila prekinuta pojavom konflikta.

Ukoliko se sukob sa pretnjom ne završi fatalno po NMP, pretnja može biti uništena. Tada se brojač uništenih pretnji/ciljeva (CU) povećava za 1, transakcija KON uklanja iz simulatora, a NMP nastavlja simuliranu misiju. Ako pretnja nije uništena, sukob se nastavlja do završetka, na jedan od opisanih načina.

Najbitniji delovi simulatora konflikta su generator pojave konflikta i reakciona matrica NMP [3].

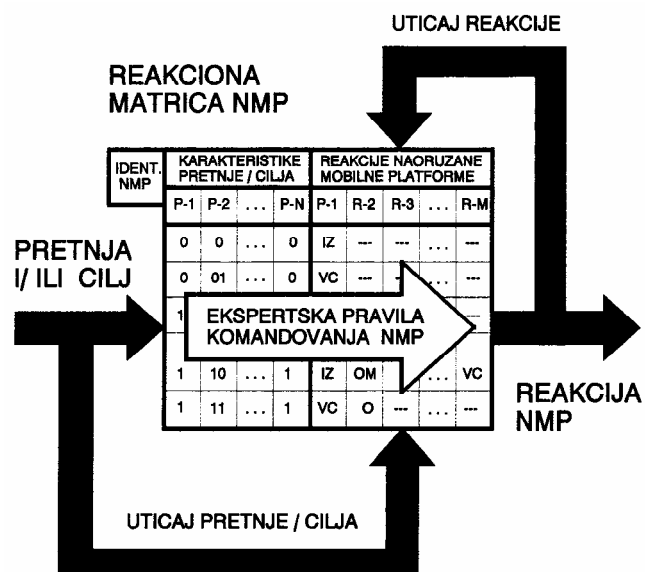
Pojave konflikta kao statistički međusobno nezavisnih događaja generišu se uzorkovanjem eksponencijalne raspodele, uz zadatu srednju vrednost vremenskog intervala između dva konflikta. Po generisanju konflikta kao pojave, određuje se, uzorkovanjem odgovarajućih funkcija raspodela, da li su senzori NMP uočili neplanirani cilj/pretnju i da li su, s druge strane, senzori protivnika uočili NMP. Ukoliko je protivnička pretnja i/ili cilj uočen od strane NMP, sigurno dolazi do njene reakcije. U protivnom, izostaje reakcija NMP, a protivnik može napasti, ili ne napasti NMP, zavisno od toga da li je uočio NMP ili ne. U svakom slučaju, uzorkovanjem odgovarajućih funkcija raspodela, generiše se i vreme posle koga može doći do potencijalnog sukoba.

Kako je reakciona matrica (REM) novi koncept razvijen za potrebe ovog istraživanja, njoj se u ovom radu posvećuje posebna pažnja u odeljcima koji slede.

### Koncept reakcione matrice

Reakciona matrica, čija je logička organizacija prikazana na slici 9, omogućava da se u algoritam za simuliranje konflikata uvedu:

- Karakteristike pretnje/cilja koji imaju značaja za simulaciju konflikta, reakcije i eventualnih borbenih dejstava NMP;
- Karakteristike NMP i stanje pojedinih bitnih resursa dodeljenih za planiranu misiju;
- Ekspertska pravila odlučivanja u komandovanju NMP koja se primenjuju radi određivanja reakcije NMP u konfliktnoj situaciji.



Slika 9. Logička organizacija reakcione matrice

Reakciona matrica je specifična za određenu NMP čija se misija simulira, kao i za kompletnu listu potencijalnih pretnji i/ili neplaniranih ciljeva koji se mogu pojaviti za vreme misije. U njoj se implementiraju ekspertiska znanja posade NMP, odnosno pravila po kojima se preduzimaju aktivnosti reakcije na pojave tih pretnji i/ili ciljeva.

Karakteristike pretnji i/ili ciljeva u ovom radu su indikator pretnja/cilj (P/C), važnost pretnje/cilja (V), verovatnoća uništenja pretnje/cilja (VUC) od strane NMP i verovatnoća uništenja NMP (VUNMP) od strane pretnje/cilja.

Moguće reakcije NMP na konflikt su podskup skupa svih reakcija NMP, preslikan na uređen skup odgovarajućih polja u matrici  $\{R_1, R_2, \dots, R_K\}$ . Na pojavu pretnje/cilja NMP reaguje aktivnostima zapisanim u odgovarajućim poljima reakcione matrice.

Ekspertiska pravila odlučivanja u komandovanju (znanje posade NMP) uvode se u simulacioni model preko koncepta REM, tako što su u njoj naznačene reakcije iz skupa mogućih reakcija  $\{R_1, R_2, \dots, R_M\}$  koje se primenjuju za svaku moguću pretnju/cilj. Ta ekspertiska pravila vrše preslikavanje jedne realizacije skupa vrednosti karakteristika pretnje cilja na uređeni podskup skupa mogućih reakcija, odnosno:

$$\{P_1, P_2, \dots, P_N\} \xrightarrow[\text{komandovanja}]{\text{ekspertiska pravila}} \{R_1, R_2, \dots, R_K\} \quad (5)$$

gde je:

$$\{R_1, R_2, \dots, R_K\} \subseteq \{R_1, R_2, \dots, R_M\}$$

Reakciona matrica je dinamička struktura podataka, koja se menja u vremenu. Na te promene direktno utiču, kako dejstva pretnji, tako i same reakcije NMP na konfliktne situacije i druge događaje u misiji (sl. 9). To rezultuje promenom u skupu polja mogućih reakcija od trenutka  $T_i$  (prethodno stanje) do trenutka  $T_j$  (trenutak nastanka promene usled dejstva pretnje ili reakcije NMP):

$$\{R_1, R_2, \dots, R_M\}_i \xrightarrow[\text{reakcija}]{\text{pretnja ili}} \{R_1, R_2, \dots, R_M\}_j \quad (6)$$

Naime, svaka reakcija u kojoj je zbog dejstva pretnje onemogućen, ili zbog prethodne reakcije utrošen neki resurs NMP, utiče na mogućnost dalje primene reakcije koja je uslovljena tim resursom, zavisno od stepena njegovog onemogućenja ili utrošenosti. Na primer, reakcija otvaranja vatre postaje nemoguća ukoliko je oruđe uništeno dejstvom protivnika, ako je došlo do njegovog otkaza iz nekog drugog razloga ili ako je u prethodnim dejstvima utrošena sva municija iz borbenog kompleta.

### Primer: reakciona matrica u simulatoru misije naoružanog broda RRF

U primeru koji se istražuje, kao NMP se razmatra naoružani brod RRF. Pored osnovnog oruđa, namenjenog prvenstveno za uništenje planiranih ciljeva u toku misije, kao i za sukob sa pojedinim neplaniranim ciljevima i/ili pretnjama, brod kao NMP poseduje još i oruđe namenjeno za protivvazдушnu i protivrakatnu odbranu i resurse za ometanje određenih vrsta protivničkih dejstava.

Primer reakcione matrice za misiju naoružanog broda RRF dat je na slici 10. Njen sadržaj je definisan po sledećem:

- identifikacija NMP: naoružani brod RRF;

- indikator pretnja/cilj (P/C), gde je uzeto da cilj sigurno ne napada NMP, a pretnja sigurno napada, što se kodira jednim bitom u matrici (0- cilj, 1- pretnja);
- važnost (V), kao pokazatelj koristi od uništenja cilja ili pretnje, dobijenu kroz poređenje vrednosti cilja/pretnje u odnosu na vrednost NMP (0- mala, 1- velika);
- verovatnoća uništenja cilja/pretnje (VUC) od strane NMP (00- zanemarljiva, 01- mala, 10- srednja i 11- velika);
- verovatnoća uništenja NMP (VUNMP) od strane cilja/pretnje (0 - mala, 1 - velika).
- aktivnosti reakcije NMP na pojavu pretnje/cilja su izbegavanje konflikta (IZ), ometanje protivničkog dejstva (OM) i vatreno dejstvo po cilju (VC).

REAKCIONA MATRICA ZA MISIJU NB/RRF

NMP	KARAKTERISTIKE CILJA/PRETNJE				REAKCIJE NMP			
	C/P	V	VUC	VUNMP	TIPičNI PRIMERI	R-1	R-2	R-3
NB RRF	0	0	00	0	VOJNIK, MOTORNO VOZILO	IZ	-	-
	0	0	01	0		IZ	-	-
	0	0	10	0		IZ	-	-
	0	0	11	0		IZ	-	-
	0	0	00	0	OKLOPNI TRANSPORTER, PEŠAD. JEDINICA, RADARSKI POLOŽAJ, KOMANDNO MESTO	IZ	-	-
	0	0	01	0		IZ	-	-
	0	1	10	0		VC	-	-
	0	1	11	0		VC	-	-
P R E T N J E	1	0	00	1	RAKETA, TENK, ARTILJERIJSKO ORUĐJE ...	IZ	-	-
	1	0	01	1		IZ	-	-
	1	0	10	1		IZ	-	-
	1	0	11	1		IZ	-	-
	1	1	00	1	AVION, OKL. MEH. JEDINICA, BROD	IZ	OM	-
	1	1	01	1		IZ	OM	-
	1	1	10	1		IZ	OM	VC
	1	1	11	1		IZ	OM	VC

Slika 10. Primer reakcione matrice za misiju naoružanog broda RRF

Verovatnoća uništenja neplanirane pretnje i/ili cilja zavisi od više faktora vezanih za vrstu NMP (broj i vrsta oruđa, kao i uspešnost kombinacije cilj/oruđe). U ovom pristupu postoje četiri grupe verovatnoća uništenja cilja/pretnje oruđima NMP (zanemarljiva, mala, srednja i velika), što se binarno kodira pomoću dva bita odgovarajućem polju reakcione matrice.

S druge strane, uzeta su samo dva nivoa mogućnosti uništenja NMP od strane protivnika (mala i velika verovatnoća, što se kodira jednim bitom).

Aktivnosti reakcije NMP na pojavu neplanirane pretnje i/ili cilja su izbegavanje konflikta (IZ), ometanje protivničkog dejstva (OM) i vatreno dejstvo po cilju (VC). Da li će neka ili više od ovih aktivnosti biti primenjene u konkretnoj konfliktnoj situaciji, zavisi od vrste NMP i prirode konflikta i kodirano je po jednim bitom za svaku aktivnost u reakcionoj matrici (0 - ne preduzima se, 1 - preduzima se).

Uvidom u reakcionu matricu naoružanog broda RRF kao NMP, prikazanu na slici 10, može se zaključiti da su ekspertiska pravila odlučivanja o vrsti reakcije u odnosu na pojavu konflikta, zasnovana na sledećim principima - prioritetima u posmatranoj misiji:

- očuvanje NMP i njene posade;
- prvenstveno ispunjenje planiranih ciljeva misije;
- napad samo na važne neplanirane ciljeve, i to samo ukoliko je planirani cilj već uništen, a verovatnoća uništenja neplaniranog cilja srednja ili velika;
- prvenstveno izbegavanje sukoba sa pretnjom;

- ometanje samo onih pretnji koje imaju veliku verovatnoću uništenja NMP;
- vatreno dejstvo samo po opasnim pretnjama, kao i po onima koje imaju veliku važnost.

### GPSS realizacija reakcione matrice

Za GPSS realizaciju koncepta REM za potrebe simulacije konflikata u misiji NMP, bila su značajna sledeća pitanja: realizacija same REM, njena inicijalizacija, reinicijalizacija REM, njeno pretraživanje, ažuriranje sadržaja REM usled borbenih dejstava protivnika, ažuriranje sadržaja REM usled reakcija NMP i zaštita REM u toku ažuriranja sadržaja.

Za realizaciju REM upotrebljen je matični GPSS entitet MATRIX [6] dimenzija  $P \times (N+M)$ , gde je P broj mogućih vrsta pretnji/ciljeva, N broj njihovih karakteristika, a M najveći broj mogućih reakcija.

Inicijalizacija REM u programu simulatoru vrši se na njegovom početku, pomoću upravljačkih GPSS naredbi INITIAL [6], prvo u delu REM koji se odnosi na karakteristike pretnji/ciljeva, a zatim u delu REM u kome su odgovarajuće reakcije. Ovim su u program-simulator istovremeno unesena i ekspertska pravila komandovanja NMP.

Reinicijalizaciju REM vrši GPSS transakcija kojom se simulira NMP na kraju svakog simulacionog prolaza i to samo u delu REM u kome su moguće reakcije NMP na pojavu ciljeva/pretnji. Time se ostvaruje simulacija svake nove misije u eksperimentu sa istim početnim uslovima (ispravna NMP, popunjena svim potrebnim resursima za misiju).

Reinicijalizacija se vrši prolaskom transakcije NMP kroz potreban broj GPSS blok entiteta MSAVEVALUE [6]. Reinicijalizacija dela REM u kome se nalaze karakteristike pretnji/ciljeva nije potrebna, jer se one ne menjaju tokom simulirane misije NMP.

Rutinu pretraživanja REM izvršava transakcija KON prilikom svakog simuliranog konflikta, posle određivanja parametara pretnje cilja. Pretraživanje se vrši u petlji, poređenjem parametara transakcije KON i odgovarajućih polja REM u kojima su vrednosti karakteristika pretnje/cilja, upotrebom GPSS blok entiteta TEST [6], uz odgovarajuće ažuriranje brojača vrsta matrice <IREM> pomoću GPSS blok entiteta SAVEVALUE [6].

U trenutku koincidencije parametara KON i odgovarajućih polja REM, rutina se završava, a brojač <IREM> ukazuje transakciji NMP u kojoj vrsti matrice REM treba da traži polja u kojoj su kodirane odgovarajuće reakcije za tu pretnju/cilj.

Ažuriranje sadržaja REM usled borbenih dejstava protivnika se svodi na onemogućavanje određene reakcije zbog oštećenja odgovarajućih oruđa ili drugih podsistema i delova NMP. To realizuje transakcija KON, pomoću rutine za pretraživanje dela REM u kome su kodirane reakcije NMP i brisanja svakog polja u tom delu u kome se naiđe na kod reakcije koja se onemogućava. Ova rutina se realizuje u petlji pomoću GPSS blok entiteta LOOP, TEST i MSAVEVALUE [6].

Ažuriranje sadržaja REM usled reakcija vrši transakcija NMP posle svake aktivnosti reakcije, ukoliko se konstatuje utrošak nekog od resursa NMP od koga zavisi ta reakcija u budućim konfliktima u misiji. U tu svrhu transakcija NMP koristi istu rutinu za ažuriranje kao i transakcija KON u prethodnom slučaju.

Zaštita REM u toku ažuriranja sadržaja je potrebna, jer joj mogu pristupati obe transakcije, KON i NMP. To se postiže semaforom, realizovanim pomoću GPSS logičkog

prekidača i blok entiteta LOGIC [6].

Opisani mehanizmi su realizovani i ispitani pomoću test-programa i fiktivnih misija NMP, u kojima su proigrani svi mogući slučajevi do kojih može da dođe u realnim simulacionim eksperimentima. Ovaj test - program istovremeno predstavlja osnovu na kojoj se može izgraditi program-simulator borbenih dejstava naoružane mobilne platforme u konfliktnoj situaciji.

### Zaključak

U ovom radu prikazani su neki od rezultata originalnog istraživanja u kome je uveden koncept naoružane mobilne platforme (NMP) - apstrakcije pogodne za istraživanje, razvoj i upotrebu složenih vojnih sistema, kao što su ratni brod, oklopno borbeno vozilo, avion ili naoružani helikopter.

Metodologija za istraživanje i razvoj takvih složenih vojnih sistema je rezultat sopstvenih iskustava i ima širi značaj, jer obuhvata ceo životni ciklus složenog vojnog sistema. Ona uključuje i obogaćivanje skupa postojećih tehničkih rešenja, kako za vreme, tako i posle životnog ciklusa sistema. Iskustva stečena, kako u toku istraživanja i razvoja, tako i u toku ispitivanja i kasnije upotrebe sistema, uvedena su u metodologiju i imaju određenog uticaja na kritičku analizu postojećih i stvaranje novih načela borbene upotrebe takvih sistema. Metodologija se zasniva na računarskoj simulaciji složenih sistema.

Usvojen je modularni pristup u razvoju simulacionog modela misije NMP, u cilju dobijanja fleksibilnog softverskog sredstva za istraživanje, razvoj, planiranje, eksperimentisanje i obuku u upotrebi takvih sistema.

Razvijen je simulacioni model misije NMP, gde je misija posmatrana kao računarska implementacija dinamičkog scenarija u kome se smenjuju manevri NMP i prelasci deonica puta u toku misije, pojave planiranih i neplaniranih ciljeva i pretnji i odgovarajuće reakcije (dejstva) NMP uz postepen utrošak resursa dodeljenih za misiju. U radu se razmatra računarska simulacija planirane misije NMP, vanrednih događaja i posebno konflikata u misiji NMP.

Konflikti, kao klasa vanrednih događaja, generišu se nezavisno jedan od drugog i od stanja misije NMP. Predstavljani su posebnom transakcijom u simulatoru koja prekida tekuće stanje i/ili aktivnosti transakcije kojom se simulira NMP i prisiljava je da prede na aktivnost kojom se simulira reakcija NMP na vanredni događaj.

Novi koncept reakcione matrice (REM), koji je jedan od najznačajnijih delova kako modula za simulaciju konflikata, tako i simulacionog modela u celini, omogućio je da se u algoritam za simuliranje neplaniranih konflikata direktno uvedu karakteristike pretnje/cilja, stanje resursa NMP i ekspertska pravila odlučivanja u komandovanju NMP koja se primenjuju radi određivanja njene reakcije u konfliktnoj situaciji. Koncept reakcione matrice ilustrovan je primerom u kome se kao NMP razmatra naoružani brod rečne ratne flotile koji svoju misiju obavlja po unutrašnjim plovim putevima.

Iskustvo stečeno prilikom realizacije mehanizama za rad sa reakcionom matricom u okviru programa-simulatora, pokazalo je da je simulacioni jezik GPSS pogodno sredstvo za efikasnu implementaciju svih opisanih konceptata.

Do sada postignuti rezultati ukazuju na široke mogućnosti primene ovakvog koncepta i softverskih simulatora.

U istraživanjima složenih vojnih sistema, uticaj uvođenja koncepta naoružane mobilne platforme ogleda se u mogućnosti prethodne procene performansi i komparativne



analize alternativnih koncepcija istraživanih sistema, što je značajno za sagledavanje izvodljivosti i donošenje odluka o njihovom daljem razvoju.

U toku razvoja, simulatori naoružane mobilne platforme mogu poslužiti za bliže određivanje tehničkih rešenja kako sistema u celini, tako i njihovih podsistema i delova, a posebno za procenu pouzdanosti, sagledavanje efekata i donošenje odluka o uvođenju redundansi.

Posebno su značajne mogućnosti primene u oblasti upotrebe složenih vojnih sistema. Koncept i simulatori naoružane mobilne platforme mogu poslužiti za obuku oficira i posada, procenu uspešnosti misija i njihovo planiranje, kao i za bezbedne i ekonomične eksperimente sa upotrebom složenih vojnih sistema i njihovih posada u ekstremnim uslovima. To može imati uticaja na donošenje novih doktrinarnih rešenja o upotrebi takvih složenih vojnih sistema u ratu.

## Literatura

- [1] JANKOVIĆ,R. *Uticaj koncepta naoružane mobilne platforme na istraživanje, razvoj i upotrebu složenih vojnih sistema*. zbornik radova Simpozijuma o vojnoj nauci SIMVON'97, Institut ratne veštine, Beograd, 1997.
- [2] JANKOVIĆ,R. *Pristup simulaciji misije naoružane mobilne platforme*. zbornik radova XXIII jugoslovenskog simpozijuma za operaciona istraživanja SYMOPIS'96, Zlatibor, 1996.
- [3] JANKOVIĆ,R. *Generator konflikta za simulator misije naoružane mobilne platforme*. zbornik radova XXIV jugoslovenskog simpozijuma za operaciona istraživanja SYMOPIS'97, Bečići, 1997.
- [4] JANKOVIĆ,R. *GPSS realizacija reakcione matrice za simulator misije naoružane mobilne platforme*. zbornik radova XXV jugoslovenskog simpozijuma za operaciona istraživanja SYMOPIS'98, Herceg Novi, 1998.
- [5] SCHRIBER,T.J. *Simulation Using GPSS*. John Wiley and Sons, New York, 1974.
- [6] General Purpose Simulation System V user's manual, IBM, SH-20-851-1.

Rad primljen: 12.9.2000.god.