

UDK: 623.618.001.57(047)=861
 COSATI: 15-07, 09-02, 14-07

Simulacioni model komandno-informacionog sistema naoružane mobilne platforme

Dr Radomir Janković, dipl.inž.¹⁾

Predstavljaju se neki od rezultata sopstvenog originalnog istraživanja u oblasti informacione podrške upravljanja složenim vojnim sistemima. Dat je pristup računarskoj simulaciji komandno-informacionog sistema naoružane mobilne platforme (KIS NMP). Opisana je opšta koncepcija i osnovne funkcije KIS NMP. Date su polazne pretpostavke, na osnovu kojih je razvijen simulacioni model KIS NMP. Model je opisan pomoću vremensko-prostorne predstave rada KIS NMP, strukture simulacionog modela, njegovog algoritamskog opisa i tipičnih događaja i procesa. Posebno su razmatrani parametri simulacionog modela, definisane su i primarne i sekundarne mere performansi. Data je realizacija programa-simulatora KIS NMP, koji je implementiran pomoću specijalizovanog simulacionog jezika GPSS, kao i analiza rezultata prvih eksperimenata izvršenih pomoću programa-simulatora.

Ključne reči: Komandno-informacioni sistem, naoružana mobilna platforma, računarska simulacija, model, mere performansi.

Korišćene oznake i simboli

C/P	– cilj/pretnja	Q_{pr}	– prosečna dužina reda čekanja
C/P _O	– terminator ciljeva/pretnji ometenih ometačem	R	– računar KIS NMP
C/P _U	– terminator ciljeva/pretnji uništenih orudjem	R _{OM}	– red čekanja pred ometačem
D_{OMmax}	– maksimalni domet ometača, m	R _{OP}	– red čekanja pred operatorom KIS NMP
D_{ORmax}	– maksimalni domet orudja, m	R _{OR}	– red čekanja pred orudjem
D_{ORmin}	– minimalni domet orudja, m	R _R	– red čekanja pred računarom KIS NMP
D_{Smax}	– maksimalni domet senzora, m	S	– senzor
EKS-1	– prvi eksperiment	S_{cp}	– ekvivalentna površina cilja/pretnje, m ²
EKS-2	– drugi eksperiment	T_0	– trenutak pojave novog cilja/pretnje na krajnjem dometu senzora, s
G _{cp}	– generator ciljeva/pretnji	T_{osn}	– osnovni interval simuliranog vremena, ms
I	– iskorišćenje nekog od resursa KIS NMP, %	T_1	– trenutak pristizanja cilja/pretnje na krajnji domet orudja, s
I_{OP}	– iskorišćenje operatora, %	t_1	– prolazno vreme cilja/pretnje kroz KIS NMP za cilj/pretnju uništen orudjem, s
I_R	– iskorišćenje računara, %	T_2	– trenutak prolaska cilja/pretnje kroz minimalni domet orudja, s
KIS	– komandno-informacioni sistem naoružane mobilne platforme	t_2	– dodatno prolazno vreme kroz KIS NMP za cilj/pretnju neuništen orudjem, s
KIS	– terminator ciljeva/pretnji za koje nije uspela misija KIS NMP	T_3	– trenutak pristizanja cilja/pretnje na krajnji domet ometača, s
NMP	– naoružana mobilna platforma	T_4	– trenutak pristizanja cilja/pretnje na položaj NMP, s
N_{nuKIS}	– broj neuspešnih odziva KIS NMP	t_{akt}	– ukupno vreme u kome je neki resurs KIS NMP bio aktivan, s
N_{uKIS}	– broj uspešnih odziva KIS NMP	t_d	– vreme uočavanja cilja/pretnje na pokazivaču senzora, s
OM	– ometač	t_{dOM}	– vreme za dodeljivanje cilja/pretnje ometaču, s
OP	– operator KIS NMP	t_{dOR}	– vreme za dodeljivanje cilja/pretnje orudju, s
OR	– orudje	T_{ia}	– srednje vreme između pojavljivanja dva uzastopna cilja/pretnje, s
$P_{C/P}$	– verovatnoća pojavljivanja cilja/pretnje određene vrste	t_{odl}	– vreme za procenu i donošenje odluke operatora, s
p_d	– verovatnoća detekcije cilja/pretnje od strane senzora	t_{pOM}	– vreme prenosa poruke za ometač, s
p_{NMP}	– verovatnoća uspešnog dejstva NMP	t_{pOR}	– vreme prenosa poruke za orudje, s
p_{OM}	– verovatnoća uspešnog ometanja cilja/pretnje ometačem		
p_{OR}	– verovatnoća uništenja cilja/pretnje orudjem		
Q	– trenutni sadržaj reda čekanja		
Q_{max}	– maksimalna dužina reda čekanja		

¹⁾ Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

t_{pr}	– prolazno vreme cilja/pretnje kroz KIS NMP, s
T_{qpr}	– prosečno vreme provedeno u redu čekanja, s
T_s	– perioda obrtanja antene radara, s
t_{SW1}	– rad računara na zahvatu i praćenju cilja/pretnje, s
t_{SW2}	– rad računara na proračunu i formiranju poruke za orudje, s
t_{SW3}	– rad računara na proračunu i formiranju poruke za ometač, s
t_{uk}	– ukupan simulirani vremenski period, s
t_{wOP}	– vreme čekanja na operatora, s
t_{wR1}	– vreme čekanja u računaru za rad na zahvatu i praćenju cilja/pretnje, s
t_{wR2}	– vreme čekanja u računaru za rad na proračunu i formiranju poruke za orudje, s
t_{wR3}	– vreme čekanja u računaru za rad na proračunu i formiranju poruke za ometač, s
t_{zahv}	– vreme zahvata cilja/pretnje od operatora, s
U	– uspešnost KIS NMP, %
$V_{c/p}$	– brzina cilja/pretnje, m/s

Uvod

PREDSTAVLJAJU se neki od rezultata sopstvenog originalnog istraživanja u oblasti informacione podrške upravljanja složenim vojnim sistemima. Predmet rada je simulacioni model komandno-informacionog sistema naoružane mobilne platforme (KIS NMP).

Naoružana mobilna platforma (NMP) [1] je koncept pogodan za istraživanje i razvoj složenih vojnih sistema, kao što su ratni brod, oklopno borbena vozilo ili avion. Svi ovi sistemi imaju neke zajedničke osnovne osobine: sopstveni pogon, ljudsku posadu, naoružanje i logističku podršku. Podsystemi NMP od interesa za istraživanje i razvoj su obično pogon, komandno-informacioni sistem, izvršni organi (orudja i ometači) i logistička podrška.

Osnovna namena KIS NMP je da informaciono podrži posadu u složenim zadacima komandovanja i upravljanja naoružanom mobilnom platformom, njenim podsystemima i delovima. Komandno-informacioni sistem je jedan od najvažnijih podsystema NMP, jer ima značajan uticaj na njene ukupne performanse. Istraživanjima KIS NMP koja su u toku pristupilo se korišćenjem metoda i tehnika računarske

simulacije. Cilj izrade simulacionog modela KIS NMP je da se, izvršenjem eksperimenata sa razvijenim simulatorom, istraži uticaj komandno-informacionog sistema na performanse naoružane mobilne platforme i da se donesu adekvatne odluke o organizacionim i tehničkim rešenjima KIS NMP, njegovih podsystema i delova.

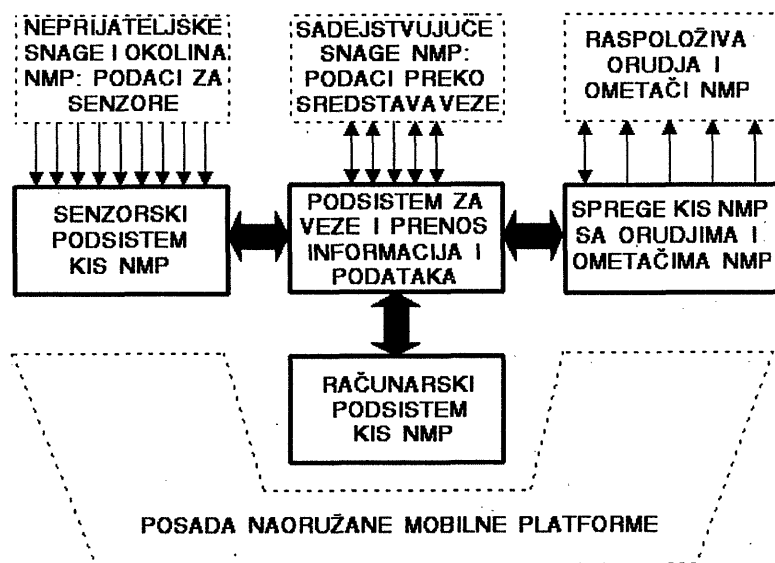
Opisani su opšta koncepcija i osnovne funkcije KIS NMP. Izložene su polazne pretpostavke, na osnovu kojih je razvijen simulacioni model KIS NMP. Sam model opisan je pomoću vremensko-prostorne predstave rada KIS NMP, strukture simulacionog modela, njegovog algoritamskog opisa i tipičnih događaja i procesa koji su za njega bitni. Posebno su razmatrani parametri simulacionog modela, koji se dele na parametre okoline KIS NMP, njegove systemske parametre i parametre izvršnih organa – orudja i ometača naoružane mobilne platforme. Definisane su i primarne i sekundarne mere performansi KIS NMP. Dat je osvrt na realizaciju programa-simulatora KIS NMP, koji je implementiran pomoću specijalizovanog simulacionog jezika GPSS [4]. Na kraju je data i kratka analiza rezultata prvih eksperimenata izvršenih pomoću realizovanog programa-simulatora, sa ciljem sagledavanja uticaja KIS NMP na ukupnu performansu naoružane mobilne platforme. U zaključku se ukazuje na značaj izloženih koncepata, do sada ostvarenih rezultata i pravce daljeg rada.

Koncepcija i osnovne funkcije KIS NMP

Opšta koncepcija KIS NMP [2,3], zajedno sa posadom i okolinom, prikazana je na sl.1.

Okolinu KIS NMP predstavljaju ambijent u kome se kreće i dejstvuje NMP, neprijateljske snage, sadejstvjuće - prijateljske snage, posada NMP i orudja i drugi izvršni organi u sastavu NMP.

U informacionom pogledu, uticaj ambijenta, kao i neprijatelja na KIS NMP ogleda se u vrsti i količini podataka koji preko senzora ulaze u KIS NMP. Slično utiču i sadejstvjuće (prijateljske) snage: podaci koji od njih dolaze u KIS NMP, ili ka njima odlaze iz KIS NMP, predstavljaju opterećenje, kako zahtevima za ulazom/izlazom preko sredstava veze KIS NMP, tako i u pogledu naprežanja ostalih delova sistema u vezi sa njihovom obradom, prikazivanjem, procenom i donošenjem odluka od strane posade NMP.



Slika 1. Opšta koncepcija KIS NMP

Najzad, i sama orudja NMP predstavljaju okolinu, odnosno svojevrstnog krajnjeg korisnika usluga KIS NMP.

Posada NMP procenjuje situaciju, donosi odluke i upravlja naoružanom mobilnom platformom u celini, njenim podsistemima i pojedinim delovima. Ona je deo okoline, ali u funkcionalnom smislu i nerazdvojiva od KIS NMP, naročito tamo gde bitno utiče na performanse sistema, kada sistem radi u realnom vremenu. Zato je neophodno u simulacioni model na odgovarajući način uključiti i reakcije ljudske posade, sa svim njenim prednostima i ograničenjima.

Struktura KIS NMP obuhvata: senzorski podsistem, računarski podsistem, podsistem za veze i prenos podataka i sprege KIS NMP sa raspoloživim orudjima.

Senzorski podsistem obuhvata uglavnom radare, kamere i druge optoelektronske uređaje, kao i različite senzore koji se koriste za prikupljanje informacija bitnih za upravljanje kretanjem NMP.

Računarski podsistem obuhvata sve računare koji su integrisani u KIS NMP. Broj i organizacija računara zavisi od veličine i složenosti NMP. Računari su organizovani hijerarhijski, tako da se na računarima u gornjim slojevima obavljaju funkcije računarske podrške KIS NMP u celini, odnosno njegovih glavnih podsistema, dok se funkcije informacione podrške izvršnih organa (na primer, sistemi za upravljanje vatrom orudja NMP) obavljaju u najnižim hijerarhijskim slojevima.

Podsistem za veze i prenos informacija i podataka u KIS NMP ima dvostruku ulogu: on obezbeđuje, putem odgovarajućih sredstava veze, povezivanje KIS NMP sa okolinom, odnosno drugim informacionim sistemima sadejstvujućih - prijateljskih snaga i/ili njihovih senzora, kao i međusobno povezivanje svih podsistema i delova unutar samog KIS NMP i njegovo funkcionisanje kao celine.

Sprege za orudja služe za njihovo povezivanje sa KIS NMP. Broj i vrsta ovih sprege zavise od samih orudja, njihove konstrukcije i nivoa opremljenosti. Orudja mogu biti sa ljudskom posadom ili automatska, što određuje i realizaciju sprege.

Osnovne funkcije KIS NMP su da informaciono podrži komandovanje NMP u upravljanju njenim kretanjem, vatreom dejstvu po ciljevima/pretnjama i logistici [3]. Od svih ovih delatnosti, najzahtevnija funkcija KIS NMP je vatreom dejstvo po neprijateljskim ciljevima/pretnjama i to iz dva razloga. Prvo, to je delatnost u kojoj se obavljaju najvažniji zadaci NMP u izvođenju borbenih dejstava, kako u napadu, tako i u odbrani, kada i sama NMP može biti ugrožena protivničkim dejstvima. Drugo, KIS NMP radi tada u realnom vremenu, što naročito dolazi do izražaja u protivavionskoj i protivraketnoj odbrani koje se, inače, smatraju i situacijama u kojima je NMP najviše izložena riziku od uništenja ili oštećenja. Zato će u nastavku teksta biti razmatrani aspekti simulacionog modeliranja KIS NMP, ograničeni samo na ovu grupu njegovih osnovnih funkcija.

Polazne pretpostavke

Polazne pretpostavke za izradu simulacionog modela KIS NMP su sledeće:

- Na NMP napadaju ciljevi/pretnje definisani brzinama (V_{cp}) i ekvivalentnim površinama za detekciju od strane senzora NMP (S_{cp}). Ciljevi/pretnje su usmereni ka NMP (detektovanoj sa njihove strane) i predstavljaju opasnost jer mogu da unište NMP.
- NMP raspolaže orudjem (OR) koje može da uništi cilj/pretnju sa verovatnoćom uništenja p_{OR} i ometačem

(OM) koji može da ometa cilj/pretnju i tako je spreči da uništi NMP, sa verovatnoćom uspešnog ometanja p_{OM} . Orudje je definisano krajnjim i minimalnim dometom vatreom dejstva po cilju/pretnji (D_{ORrmax} i D_{ORrmin}), a ometač ima maksimalni domet ometanja (D_{OMmax}), dok je njegov minimalni domet praktično nula, odnosno može da ometa cilj/pretnju i na položaju same NMP.

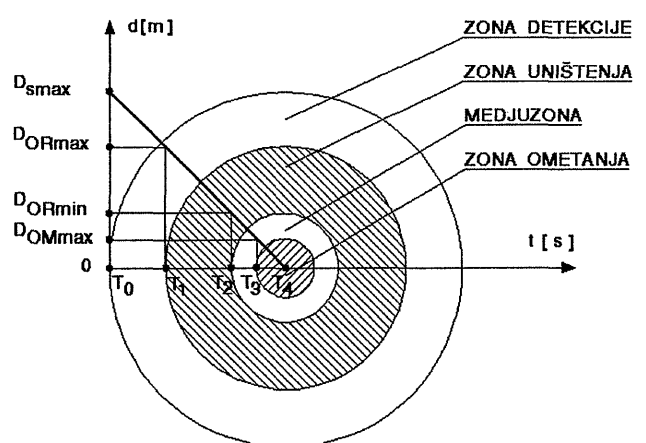
c) KIS NMP obuhvata sledeće elemente:

- senzor (S) - osmatračko-akvizicioni radar, definisan periodom obrtanja antene (T_s) koja je istovremeno i perioda znavljanja informacija o detektovanom cilju/pretnji (C/P) i krajnjim dometom ($D_{s,max}$) na kome je verovatnoća detekcije (p_d) u funkciji od ekvivalentne površine cilja/pretnje ($S_{c/p}$) jednaka 0,5;
- operator (OP): član posade (komandant NMP) koji procenjuje situaciju na elektronskoj radnoj karti računara, donosi odluku i prosledjuje odgovarajuću poruku - naredjenje ka izvršnim organima - orudjima ili ometačima.
- računar (R), koji generiše i ažurira elektronsku radnu kartu, vrši fuziju podataka koje dobija od senzora, prikazuje situaciju i zone dejstva orudja i ometača, omogućava komunikaciju operatora sa svim delovima KIS NMP, orudjima i ometačima i svojim aplikativnim softverom ostvaruje funkcije zahvata i praćenja ciljeva/pretnji, generisanje različitih izveštaja i formiranje i predaju poruka.

Simulacioni model KIS NMP

KIS NMP je diskretan dinamički sistem u kome se različite aktivnosti predstavljaju čistim vremenskim kašnjenjima. U modelu se kreću ciljevi/pretnje (C/P) koji prouzrokuju zahteve za pojedinim resursima KIS NMP, u cilju informacione podrške komandovanja i upravljanja NMP, njenim podsistemima i delovima.

Uprošćena vremensko-prostorna predstava rada KIS NMP je prikazana na sl.2.



Sliak 2. Vremensko-prostorna predstava rada KIS NMP

Karakteristični vremenski trenuci koji zavise samo od osobina cilja/pretnje ($S_{c/p}$ i $V_{c/p}$) su:

- T_0 - pojava novog C/P na krajnjem dometu senzora;
- T_1 - pristizanje C/P na krajnji domet oruđa;
- T_2 - prolazak cilja/pretnje kroz minimalni domet oruđa;
- T_3 - pristizanje C/P na krajnji domet ometača
- T_4 - pristizanje C/P na položaj NMP.

Za osnovni vremenski interval simuliranog vremena izabran je $T_{osn} = 100$ ms. Do ovog vremenskog intervala došlo se posle razmatranja trajanja procesa koji se odvijaju u okolini NMP, pojedinim njenim podsistemima i delovima i variraju od nekoliko stotina milisekundi, koliko traju pojedini delovi softvera koji se izvršavaju na računaru, ili poruke koje se prenose preko podsistema veza, preko reakcija operatora koje traju do nekoliko sekundi, pa sve do više desetina pa i stotina sekundi, koliko traje kretanje ciljeva/pretnji kroz zone prostora oko NMP.

Parametri simulacionog modela KIS NMP

Parametri simulacionog modela KIS NMP su:

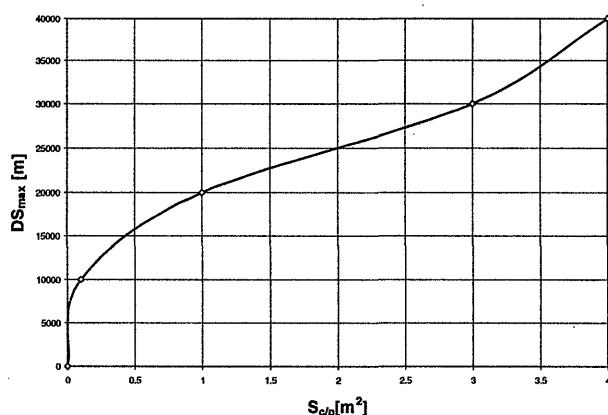
- parametri okoline KIS NMP;
 - sistemski parametri KIS NMP i
 - parametri izvršnih organa (orudja i ometača) NMP.
- Parametri okoline, obuhvaćeni simulacionim modelom KIS NMP, odnose se na ciljeve/pretnje. To su:
- srednje vreme izmedju dva uzastopna pojavljivanja cilja/pretnje T_{ia} ;
 - raspodela intervala izmedju dva uzastopna pojavljivanja koja je eksponencijalna, obzirom da se radi o statistički medjusobno nezavisnim događajima;
 - parametri ciljeva/pretnji po vrstama, dati u tabeli 2.

Tabela 2. Parametri ciljeva/pretnji

Vrsta cilja/pretnje	Srednja brzina V_{cp} [m/s]	Ekvivalentna površina S_{cp} [m ²]	Verovatnoća pojavljivanja p_{cp}
1	250	4	0,25
2	300	0,1	0,25
3	300	0,5	0,25
4	50	4	0,25

Sistemski parametri KIS NMP predstavljaju karakteristike senzora, operatora i računara.

Senzori KIS NMP su najčešće osmatračko-akvizicioni radari ili drugi složeni elektronski ili optoelektronski sistemi ili uređaji, okarakterisani velikim brojem taktičko-tehničkih podataka, što nije pogodno za praktičnu primenu u simulacionim modelima. Pristup u ovom radu je da se posmatrani senzor, osmatračko-akvizicioni radar, okarakteriše funkcionalnom zavisnošću njegovog maksimalnog dometa od ekvivalentne površine cilja/pretnje, što je prikazano na sl.5.

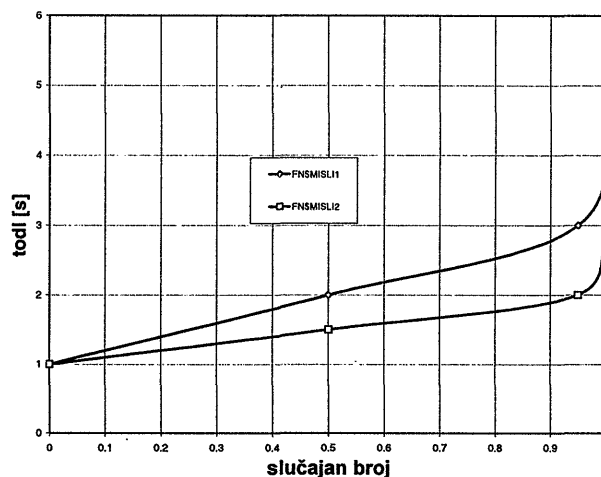


Slika 5. Maksimalan domet senzora

Maksimalni domet za cilj/pretnju određene ekvivalentne površine, definisan je za verovatnoću detekcije od $p_d = 0,5$ i predstavlja globalnu i, za ovu, svrhu pogodnu meru per-

formanse radara koja je u sebi obuhvatila njegove ukupne osobine. S druge strane, postignuto je relativno jednostavno uvođenje takvog senzora u simulacioni model, kao i realizacija odgovarajućeg dela programa-simulatora. Drugi parametar senzora, razmatran u ovom radu, je period, odnosno vreme obnavljanja informacija o ciljevima/pretnjama T_r . U konkretnom slučaju to je perioda obrtanja antene osmatračko-akvizicionog radara koja iznosi $T_r = 1$ s.

Karakteristike operatora se, uglavnom, svode na vreme potrebno da bi član posade izvršio pojedine aktivnosti u funkcionisanju KIS NMP. Tipične vrednosti, razmatrane u modelu, date su u tabeli 1. U algoritamskom opisu (sl.4) vidi se značaj koji za funkcionisanje KIS NMP ima procena i odluka operatora za upotrebu orudja NMP protiv cilja/pretnje i za upotrebu ometača, ako se orudjem ne uspe da uništi cilj/pretnja. Na sl.6 su date raspodele vremena razmišljanja operatora u ove dve situacije. Do tih funkcija raspodela može se doći putem konsultacija sa ekspertima – iskusnim članovima posada NMP. Vidi se da je vreme za donošenje odluke u vezi sa upotrebom ometača kraće od vremena za odlučivanje o upotrebi orudja, jer se po hitnom postupku razmatra već procenjen cilj/pretnja koji tada predstavlja mnogo veću opasnost za NMP.



Slika 6. Raspodele vremena razmišljanja operatora

Karakteristike računara se svode na uvođenje u model vremena potrebnih za izvršenje aplikativnog softvera u vezi sa različitim aktivnostima u okviru KIS NMP. Tipične vrednosti, za računar koji se razmatra u konkretnom slučaju, date su u tabeli 1.

Parametri izvršnih organa NMP (orudja i ometača) su njihov maksimalni i minimalni domet i verovatnoća uspešnog dejstva, odnosno uništenja ili ometanja ciljeva/pretnji u tim granicama. Vrednosti ovih parametara za konkretan slučaj su date u tabeli 3.

Tabela 3. Parametri izvršnih organa NMP

Redni broj	Parametar	Orudje	Ometač
1.	Verovatnoća uspešnog dejstva	$p_{OR} = 0,6$	$p_{OM} = 0,6$
2.	Maksimalan domet	$D_{ORmax} = 4500$ m	$D_{OMmax} = 750$ m
3.	Minimalan domet	$D_{ORmin} = 1000$ m	$D_{OMmin} = 0$ m

Primarne i sekundarne mere performansi KIS NMP

Primarne mere performansi KIS NMP su: a) uspešnost sistema (U) i b) prolazno vreme kroz sistem (t_{pr}).

Uspešnost KIS NMP U [%] definisana je izrazom:

$$U = \frac{N_{uKIS}}{N_{uKIS} + N_{nuKIS}} \quad (3)$$

gde su:

- N_{uKIS} – broj uspešnih odziva KIS NMP i
 N_{nuKIS} – broj neuspešnih odziva KID NMP.

Pod uspešnim odzivom KIS NMP se podrazumeva slučaj u kome:

- KIS NMP blagovremeno dostavi poruku sa informacijama orudju, a NMP uspe da dejstvom orudja uništi cilj/pretnju, ili
- NMP ne uspe da uništi cilj/pretnju orudjem, ali KIS NMP blagovremeno dostavi poruku sa informacijama ometaču.

Pod neuspešnim odzivom KIS NMP se podrazumeva slučaj u kome, nakon izostanka ili neuspelog dejstva orudja po cilju/pretnji, KIS NMP ne uspe blagovremeno da dostavi poruku sa informacijama ometaču.

Prolazno vreme cilja/pretnje kroz KIS NMP kao sistem t_{pr} [s] definisano je izrazom:

$$t_{pr} = \begin{cases} t_1 & \text{za C/P uništen od OR} \\ t_1 + t_2 & \text{za C/P uništen od OR} \end{cases} \quad (4)$$

Vidi se da vreme odziva ima dve različite definicije.

U slučaju kada NMP uspe da uništi C/P dejstvom orudja OR, t_{odz} je jednako t_1 dato izrazom:

$$t_1 = t_d + t_{wOP} + \max\{3T_s, t_{zahv}, (t_{wR1} + t_{SW1})\} + t_{odl} + t_{dOR} + t_{wR2} + t_{SW2} + t_{pOR} \quad (5)$$

gde su: t_d - vreme uočavanja C/P na pokazivaču senzora, t_{wOP} - vreme čekanja na operatora, T_s - perioda znavljanja podataka senzora, t_{zahv} - vreme zahvata C/P od operatora, t_{wR1} - vreme čekanja u računaru za rad na zahvatu i praćenju C/P, t_{SW1} - rad računara na zahvatu i praćenju C/P, t_{odl} - vreme procene i donošenja odluke operatora, t_{dOR} - vreme dodeljivanja C/P orudju, t_{wR2} - vreme čekanja u računaru za rad na proračunu i formiranju poruke, t_{SW2} - rad računara na proračunu i formiranju poruke za orudje, t_{pOR} - vreme prenosa poruke za orudje.

U slučaju kada NMP ne uspe da uništi C/P orudjem, što se vidi na osnovu izlaženja C/P iz zone uništenja, prolazno vreme se uvećava za t_2 , vreme rada KIS NMP na poslovi- ma angažovanja ometača, što je dato izrazom:

$$t_2 = t_{odl} + t_{dOM} + t_{wR3} + t_{SW3} + t_{pOM} \quad (6)$$

gde je: t_{odl} - vreme procene i donošenja odluke operatora, t_{dOM} - vreme dodeljivanja C/P ometaču, t_{wR3} - vreme čekanja u računaru za rad na proračunu i formiranju poruke, t_{SW3} - rad računara na proračunu i formiranju poruke za ometač i t_{pOM} - vreme prenosa poruke za orudje.

Sekundarne mere performansi KIS NMP su: iskorišćenja pojedinih resursa KIS NMP i karakteristike redova čekanja u okviru KIS NMP.

Iskorišćenje nekog od resursa KIS NMP, npr. računara, dato je izrazom:

$$I = \frac{t_{akt}}{t_{uk}} \quad (7)$$

gde su: t_{akt} - ukupno vreme u kome je posmatrani resurs KIS NMP bio aktivan, a t_{uk} - ukupan simulirani vremenski period.

Karakteristike redova čekanja su: maksimalna dužina reda Q_{max} , prosečna dužina reda Q_{pr} , prosečno vreme provedeno u redu T_{qpr} i trenutni sadržaj reda Q .

Realizacija programa-simulatora

Program-simulator modela komandno-informacionog sistema NMP realizovan je pomoću specijalizovanog programskog jezika GPSS [4]. Program je realizovan od 74 GPSS-bloka [4] i odgovarajućih definicionih i upravljačkih naredbi. Izvršava se na IBM PC-kompatibilnim personalnim računarima koji mogu biti i skromnijih mogućnosti (najmanje procesor 80386). Program-simulator modela KIS NMP čine sledeće celine: definicioni deo, inicijalni deo i izvršni deo.

U definicionom delu programa-simulatora prvo su realizovane potrebne funkcionalne zavisnosti u modelu i to:

- eksponencijalna raspodela za generisanje pojava međusobno nezavisnih događaja u sistemu (u konkretnom slučaju, pojavljivanje novih ciljeva/pretnji u prostoru oko NMP);
- maksimalni domet radara u funkciji od ekvivalentne površine cilja/pretnje (sl.5);
- funkcija za generisanje vrste cilja/pretnje (tabela 2);
- funkcija za generisanje ekvivalentne površine cilja/pretnje (tabela 2);
- funkcija za generisanje brzine cilja/pretnje (tabela 2);
- funkcije za generisanje vremena razmišljanja operatora radi donošenja odluke o upotrebi orudja, odnosno ometača protiv cilja/pretnje (sl.6).

Pored funkcionalnih zavisnosti, definisani su i proračunski delovi programa realizovani pomoću GPSS entiteta VARIABLE [4,5], kao što je deo za proračun preostalog puta koji cilj/pretnja treba da predje od svog trenutnog položaja, pa do pristizanja na položaj minimalnog dometa orudja NMP. Ovo se u programu koristi za razrešavanje dilema koje se javljaju u situacijama kada je, na primer, potrebno odrediti da li se u trenutku kada je omogućeno dejstvo orudja po cilju/pretnji, cilj/pretnja još uvek nalazi u zoni mogućeg uništenja od strane orudja NMP.

U inicijalnom delu se, putem GPSS upravljačkih naredbi INITIAL [4,5], u program uvode sledeći parametri:

- srednje vreme između dva uzastopna pojavljivanja cilja/pretnje T_{ia} ;
- parametri izvršnih organa NMP - orudja i ometača: p_{OR} , D_{ORmax} , D_{ORmin} , P_{OM} , D_{OMmax} i D_{OMmin} (tabela 3.);
- perioda senzora (vreme punog okreta antene osmatračko-akvizicionog radara) T_s ;

U izvršnom delu programa su pomoću 74 GPSS-bloka [4] realizovani struktura i algoritam simulacionog modela KIS NMP, prikazani na slikama 3 i 4.

Pokretni delovi modela - ciljevi/pretnje, simulirani su pomoću GPSS-transakcija [4]. Generator ciljeva/pretnji je implementiran pomoću GPSS-bloka GENERATE [4,5], a zatim se generisanjem slučajnih brojeva, uzorkovanjem odgovarajućih definisanih funkcija raspodela i zapisivanjem dobijenih vrednosti u odgovarajuća polja transakcija, određuju trenutne realizacije parametara ciljeva/pretnji koje su bitne za funkcionisanje simulatora: vrsta cilja/pretnje, brzina, ekvivalentna površina i, u skladu sa ovom poslednjom - maksimalni domet senzora, na kome je verovatnoća detekcije cilja/pretnje $p_d = 0,5$.

Senzor KIS NMP – osmatračko-akvizicioni radar, predstavljen je u simulatoru tako što se u toku vremenskog kašnjenja jednakog perioda senzora T_s , generisanjem slučajnog broja i uključivanjem verovatnoće $p_d = 0,5$ simulira detekcija cilja/pretnje. Transakcija kojom se simulira cilj/pretnja može da nastavi dalje napredovanje kroz sistem tek kada bude uspešno detektovana od strane simuliranog radara, a svaki neuspeh detekcije zadržava je za novu periodu senzora T_s . Kada je cilj/pretnja jednom detektovana, onda se simulirani KIS NMP dalje njime bavi, sve do jednog od ishoda predviđenih algoritmom: uništenja, ometanja ili neuspeha misije komandno-informacionog sistema.

Operator KIS NMP i računar su u simulatoru predstavljeni GPSS-entitetima FACILITY [4,5], pred kojima se formiraju i odgovarajući redovi čekanja. Prema algoritmu modela (sl.4), ciljevi/pretnje kojima se bavi KIS NMP imaju isti prioritet zaključno s aktivnostima u vezi s upotrebom orudja, pa je način njihove obrade od strane operatora i računara prema redosledu dolaska (FIFO). Ukoliko je upotreba orudja onemogućena, ili je ishod dejstva po cilju/pretnji neuspešan, tada takav cilj/pretnja dobija viši prioritet, a njegova obrada od strane operatora i računara je vanredna, po hitnom postupku, uz prekidanje redovnih aktivnosti tih resursa KIS NMP u vezi sa ostalim ciljevima/pretnjama. To je u simulatoru realizovano pomoću GPSS-blokova PREEMPT [4,5].

Orudje (OR) i ometač (OM) predstavljeni su u simulatoru preko svojih izvršnih akcija - dejstava po cilju/pretnji i izboru alternativnih puteva u programu-simulatoru kao posledicama ishoda tih akcija. Odlučivanje o alternativnim putevima transakcije simuliranog cilja/pretnje kroz delove programa-simulatora, na primer, u slučaju kada od ishoda dejstva orudja po cilju/pretnji zavisi da li će on biti uništen ili će KIS NMP preduzeti dalje aktivnosti u vezi sa upotrebom ometača, realizovano je u programu pomoću GPSS-blokova TRANSFER sa statističkim načinom prelaska [4,5]. U takvim slučajevima, u odgovarajuća polja ovih blokova direktno su uvedene verovatnoće uništenja p_{OR} ili uspešnog ometanja p_{OM} cilja/pretnje od strane orudja i ometača.

Sve ostale aktivnosti KIS NMP predstavljene su u simulatoru čistim vremenskim kašnjenjima, realizovanim pomoću GPSS-blokova ADVANCE [4].

Paralelizam aktivnosti pojedinih resursa KIS NMP koji se javljaju na nekim mestima u algoritmu (sl.4), na primer rad operatora na zahvatu cilja/pretnje, rad aplikativnog softvera računara i tri uzastopna obrtanja antene radara, ostvaren je generisanjem više identičnih kopija transakcije cilja/pretnje pomoću GPSS-bloka SPLIT [4,5] i njihovim upućivanjem u odgovarajuće rutine programa za simuliranje rada operatora, radara i računara. Kako su neke od ovih aktivnosti slučajne promenljive, a potrebno je njihovo potpuno izvršenje da bi se nastavio rad KIS NMP, u simulatoru je pomoću GPSS-bloka GATHER [4,5] prvo izvršena njihova sinhronizacija, zatim uništenje suvišnih kopija transakcije i tek onda se nastavlja rada simuliranog KIS NMP prema algoritmu.

Uklanjanje transakcija koje simuliraju ciljeve/pretnje iz programa, zavisno od toga da li su simulirani ciljevi/pretnje uništeni, ometeni ili je u njihovom slučaju misija KIS NMP neuspela, vrši se u odgovarajućim terminatorima ciljeva/pretnji, realizovanim pomoću GPSS-blokova TERMINATE [4]. U okviru tih delova programa, implementirani su i GPSS-entiteti za prikupljanje statističkih podataka bitnih za analize rezultata eksperimenata. Na primer, računaju se elementi raspodela primarnih mera performansi koje su

slučajne promenljive veličine, kao što su vreme odziva t_{pr} i uspešnost U komandno-informacionog sistema naoružane mobilne platforme.

Analiza rezultata eksperimenata

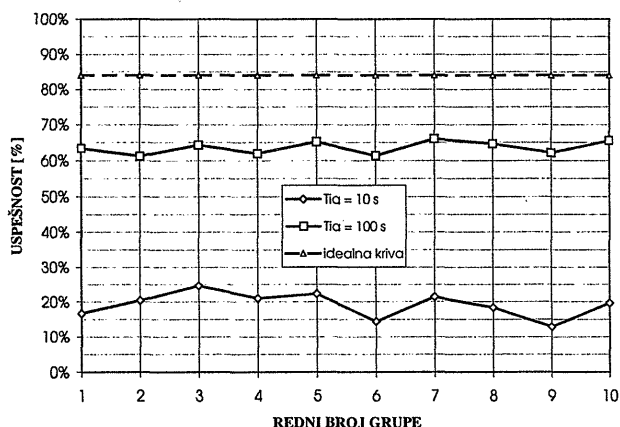
Analiziraju se karakteristični rezultati dva eksperimenta (EKS-1 i EKS-2) izvršena realizovanim programom-simulatorom komandno-informacionog sistema naoružane mobilne platforme. Ti eksperimenti su imali za cilj da se stekne uvid o mogućnostima realizovanog simulatora i da se ispita uticaj komandno-informacionog sistema na ukupnu performansu naoružane mobilne platforme u dva karakteristična slučaja.

U eksperimentima se razmatraju dva ulazna opterećenja za KIS NMP, okarakterisana srednjim vremenima između uzastopnih pojavljivanja cilja/pretnje T_{ia} od 10s i 100s za EKS-1 i EKS-2, respektivno. Da bi se ispitaio uticaj KIS NMP na ukupnu performansu NMP, simulator je tako realizovan da ciljevi/pretnje dolaze po eksponencijalnoj raspodeli sa intenzitetom T_{ia} sve vreme eksperimenta, a da su orudje i ometač stalno ispravni i spremni za dejstvo čim se oslobode aktivnosti u vezi sa prethodnim ciljem/pretnjom. Time je simulirani KIS NMP stavljen u maksimalno naprezanje za zadati parametar T_{ia} , a uticaj neispravnosti orudja i ometača, ili utrošenog borbenog kompleta municije za orudje je isključen. Ostali parametri simulacionog modela definisani su u prethodnim odeljcima ovog rada.

Eksperimenti EKS-1 i EKS-2 su tako organizovani, da kroz simulirani KIS NMP prodje uzorak od 10000 ciljeva/pretnji. Statistički podaci se uzimaju za svaku grupu od 1000 ciljeva/pretnji, kao i za ukupan uzorak od 10000. Ovo je učinjeno zato da bi ponašanje simuliranog KIS NMP moglo i dinamički da se prati, i da bi se mogli da porede rezultati njegovog rada u uslovima kada se intenzitet nailazaka ciljeva/pretnji razlikuje za red veličine.

Rezultati eksperimenata su prikazani na slikama 7 i 8 i u tabeli 4.

Na sl.7 je prikazana uspešnost (U) KIS NMP, redom po grupama od 1000 uzastopnih ciljeva/pretnji u idealnom slučaju, za $T_{ia}=10s$ (EKS-1) i za $T_{ia}=100s$ (EKS-2).



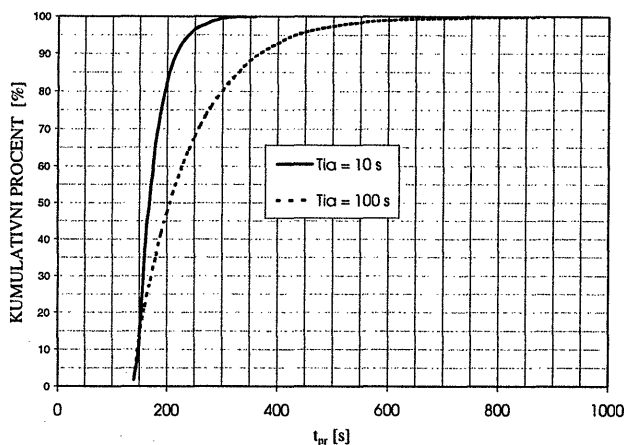
Slika 7. Uspešnost KIS NMP po grupama od po 1000 C/P

Idealna kriva je konstanta $U=84\%$ i jednaka je verovatnoći uspeha dejstva NMP (p_{NMP}) kada orudje i ometač pravovremeno raspolažu svim potrebnim podacima i rade bez zastoja, a dobija se kada se u (1) unesu vrednosti za $p_{OR}=0,6$ i $p_{OM}=0,6$. Vidi se da KIS NMP, zbog nesavršenosti svojih resursa, utiče na ukupnu performansu naoružane mobilne platforme, tako što smanjuje verovatnoću njevog uspešnog dejstva p_{NMP} .

U eksperimentu EKS-1, kada ciljevi/pretnje dolaze sa većim intenzitetom ($T_{ia} = 10s$), simulirani KIS NMP radi manje efikasno, pa je njegova uspešnost U u granicama od 12,8 % do 24,6 % za pojedine grupe od po 1000 ciljeva/pretnji, dok je srednja vrednost U za ceo uzorak od 10000 ciljeva/pretnji 19,15 %.

U eksperimentu EKS-2, kada je intenzitet dolazaka ciljeva/pretnji manji ($T_{ia} = 100s$), simulirani KIS NMP radi mnogo efikasnije. Uspešnost U je u granicama od 61,2 % do 66 % za pojedine grupe, a srednja vrednost je 63,55 % za ceo uzorak.

Na sl.8 su prikazane kumulativne krive raspodele prolaznog vremena t_{pr} .



Slika 8. Kumulativne krive raspodele prolaznog vremena

Vidi se da su prolazna vremena kroz KIS NMP duža kada je sistem manje opterećen. Srednje vrednosti t_{pr} su 176,33s i 236,11s u eksperimentima EKS-1 i EKS-2, respektivno. To je posledica činjenice da manje opterećen KIS NMP (EKS-2) mnogo uspešnije izvršava svoju misiju. Tada ciljevi/pretnje, koji nisu uništeni od strane orudja NMP, bivaju uspešno obradjeni od strane KIS NMP radi aktivnosti u vezi sa ometačem. Takvi ciljevi onda prelaze celu zonu uništenja i medjuzonu pre nego što ih preuzme ometač, što rezultuje njihovim ukupnim dužim prolaznim vremenom kroz KIS NMP.

S druge strane, kada KIS NMP radi pod većim opterećenjem, usled zagušenja njegovih resursa, u većem broju slučajeva doći će do situacije da neuništeni cilj uopšte ne može da stigne da se ometa, pa se odustaje od njegove dalje obrade, što rezultuje neuspehom misije KIS NMP i kraćim prolaznim vremenom t_{pr} .

Primarne mere performansi KIS NMP daju globalnu informaciju o ponašanju sistema u celini, na osnovu koje se može zaključiti koliko uspešno KIS NMP ispunjava svoju misiju. Da bi se uvidelo koji od resursa KIS NMP predstavlja "usko grlo" u sistemu i, u skladu sa tim, preduzele potrebne mere, analiziraju se sekundarne mere performansi.

Resursi KIS NMP, koji direktno utiču na njegovo različito ponašanje u eksperimentima EKS-1 i EKS-2, su operator i računar. U tabeli 4 su date njihove sekundarne mere performansi: iskorišćenje i osnovne karakteristike redova čekanja.

U eksperimentu EKS-1, kada je KIS NMP opterećeniji, iskorišćenje operatora je 100 %, što ukazuje na njegovo zagušenje - sve vreme radi, a ne uspeva da opsluži većinu dolazećih ciljeva/pretnji.

Pred njim se, u tim uslovima, formira značajan red čekanja, u kome ciljevi/pretnje provode u proseku 159,7s, što ima za posledicu da većina njih ne može na vreme da se obradi, pa KIS NMP radi neuspešno. S druge strane, iskorišćenje računara je 16,6 % i pred njim se ne formira red čekanja, iz čega se izvodi zaključak da je čovek - operator "usko grlo" u KIS NMP.

Tabela 4. Sekundarne mere performansi KIS NMP

Redni broj	Mera performanse	EKS-1	EKS-2
1.	Iskorišćenje operatora	$I_{OP} = 100,0 \%$	$I_{OP} = 18,5 \%$
2.	Iskorišćenje računara	$I_R = 16,6 \%$	$I_R = 2,0 \%$
3.	Karakteristike reda čekanja pred operatorom KIS NMP	$Q_{max} = 41$ $Q_{pr} = 16,1$ $T_{qpr} = 159,7 s$ $Q = 16$	$Q_{max} = 4$ $Q_{pr} = 0,057$ $T_{qpr} = 5,8 s$ $Q = 0$
4.	Karakteristike reda čekanja pred računarom KIS NMP	$Q_{max} = 1$ $Q_{pr} = 0$ $T_{qpr} = 0$ $Q = 0$	$Q_{max} = 1$ $Q_{pr} = 0$ $T_{qpr} = 0$ $Q = 0$

U eksperimentu EKS-2, iskorišćenje operatora je 18,5 %, a pred njim se formira skroman red čekanja u kome ciljevi/pretnje provode u proseku 5,8s, što ima za posledicu da većina njih može na vreme da se obradi, pa KIS NMP radi znatno uspešnije. Iskorišćenje računara je 2 % i pred njim se ne formira red čekanja. Dakle, u uslovima rada pod opterećenjem zadatim u eksperimentu EKS-2, u KIS NMP nema preopterećenih resursa - "uskih grla" - koji bi degradirali performanse sistema.

Na osnovu izvedene analize eksperimenata, može se zaključiti da sistem zadovoljavajuće radi u uslovima opterećenja definisanog u eksperimentu EKS-2. Što se tiče povećanog opterećenja, zadatog u eksperimentu EKS-1, može se preporučiti promena organizacije rada KIS NMP uvođenjem još jednog operatora, čime se postiže da KIS NMP, bez daljih investicija u tehničke resursa, može uspešno da savlada zadato opterećenje.

Zaključak

Cilj izloženog rada bio je da se predstave neki od do sada postignutih rezultata sopstvenih istraživanja u oblasti informacione podrške upravljanja složenim vojnim sistemima.

Koncept naoružane mobilne platforme predložen u ovom istraživanju kao apstrakcija pogodna za generalizaciju složenih vojnih sistema, kao što su ratni brod, tenk, borbena avion ili naoružani helikopter, ima značaja ne samo u istraživanju i razvoju nego i u eksploataciji takvih sistema, pa i u generisanju novih načela njihove borbene upotrebe. Svi takvi sistemi imaju zajedničke osobine: sopstveni pogon, ljudsku posadu, naoružanje i potrebu za izraženijom logističkom podrškom. Podsystemi naoružane mobilne platforme koji su od interesa za istraživanje i razvoj su pogon, komandno-informacioni sistem, izvršni organi (orudja i ometači) i logistička podrška.

Komandno-informacioni sistem naoružane mobilne platforme (KIS NMP) jedan je od njenih najvažnijih podsistema, jer izvršavajući svoje funkcije podržava posadu u složenim zadacima komandovanja i upravljanja naoružanom

mobilnom platformom u celini, kao i njenim podsistemima i delovima koji se sastoje od složenih i skupih sistema i sredstava naoružanja i vojne opreme. KIS NMP direktno utiče na ukupnu performansu naoružane mobilne platforme.

Istraživanju KIS NMP pristupilo se korišćenjem metoda i tehnika računarske simulacije. Razvijen je simulacioni model KIS NMP, a njegov program-simulator realizovan je pomoću specijalizovanog simulacionog jezika GPSS i implementiran je na IBM-PC kompatibilnom računaru.

Polazne pretpostavke daju osnovu za prikaz simulacionog modela KIS NMP, na relativno jednostavnom primeru koji je ipak dovoljno reprezentativan da bi se uspešno mogli sagledati dosadašnji rezultati istraživanja. Razmatra se naoružana mobilna platforma čiji KIS NMP obuhvata osmatračko-akvizicioni radar, računar, potrebne sprege i jednog operatora. Taj KIS NMP informaciono podržava upotrebu jednog orudja i jednog ometača u protivvazdušnoj i protiv-raketnoj odbrani što, s obzirom na brzinu ciljeva/pretnji koji napadaju NMP i rad u realnom vremenu, predstavlja najzahtevnije, kritične funkcije takvog komandno-informacionog sistema.

Razvijeni simulacioni model prikazan je preko njegove vremensko-prostorne predstave rada, strukture, algoritamskog opisa i tipičnih događaja i procesa. Dati su parametri modela, a definisane su i primarne i sekundarne mere performansi. Dat je i kratak osvrt na realizaciju programa-simulatora pomoću programskog jezika GPSS.

Analizirani su rezultati prvih eksperimenata izvršenih u cilju sagledavanja mogućnosti realizovanog simulatora i određivanja uticaja komandno-informacionog sistema na ukupnu performansu naoružane mobilne platforme. Oni nedvosmisleno pokazuju da takav uticaj postoji i da se ogleđa u degradiranju teoretske maksimalne performanse NMP, do koga dolazi usled nesavršenosti KIS NMP i njegovih podsistema i delova.

Razmatrana su dva različita opterećenja KIS NMP čiji se intenziteti razlikuju za red veličine. Pod jednim od njih KIS NMP funkcioniše uspešno, a pod drugim dolazi do njegovog zagušenja koje veoma degradira ukupnu performansu naoružane mobilne platforme. Kritični resurs, u ovom drugom slučaju, je čovek - operator sistema. Bez obzira na dobru uvežbanost i ekspertska znanja, što ima za posledicu relativno kratka vremena njegovih aktivnosti koja su reda sekundi, u uslovima rada u realnom vremenu pod zadatim opterećenjem, pokazalo se da je čovek, a ne tehnički resursi

sa kojima radi, usko grlo u sistemu i da je potrebno uvesti još jedno takvo radno mesto da bi KIS NMP funkcionisao zadovoljavajuće efikasno.

Realizovani program-simulator se potvrdio kao upotrebljivo softversko sredstvo za analizu i projektovanje razmatrane klase komandno-informacionih sistema. Pomoću takvog simulatora je moguće, analizom primarnih mera performanse, oceniti ukupnu uspešnost funkcionisanja KIS NMP, a razmatranjem sekundarnih mera performansi doći do zaključka koji su resursi KIS NMP kritični za njegov rad i koje mere treba preduzeti da bi se njegova efektivnost podigla na traženi nivo.

Dalji rad na ovom istraživanju odvijaje se uglavnom u dva pravca:

Prvi - razvijaje se detaljniji simulacioni modeli i programi-simulatori KIS NMP, sa razradjenijim sastavnim delovima po dubini, u cilju dobijanja preciznije informacije o njihovom doprinosu primarnim i sekundarnim merama performansi, kao i za poredjenja različitih alternativa njihovih tehničkih i organizacionih rešenja.

Drugi - model KIS NMP i rezultati dobijeni kroz eksperimente biće upotrebljeni za razvoj simulacionih modela naoružane mobilne platforme u celini i, šire, za modeliranje borbenih dejstava u koja je ona uključena. Ovakvi simulatori imaju značaja i u eksploataciji složenih vojnih sistema, obuci, planiranju borbenih misija, kao i kritičkoj analizi postojećih i stvaranju novih načela njihove upotrebe u savremenim ratovima.

Literatura

- [1] JANKOVIĆ, R. *Koncept naoružane mobilne platforme*. Vojno delo, Beograd, 1998, no.3.
- [2] JANKOVIĆ, R. *Konceptija komandno-informacionog sistema za vojne naoružane mobilne platforme*. *Naučnotehnički pregled*, 1998, vol. XLVIII, no.5, p.142-149.
- [3] JANKOVIĆ, R. *Pristup informacionoj podršci komandovanja naoružanim brodovima Rečne ratne flotile*. Vojno delo, Beograd, 1996, no.3, p.48-64.
- [4] SCHRIEBER, T. *Simulation Using GPSS*. John Wiley & Sons, New York, 1974.
- [5] IBM. *General Purpose Simulation System V User's Manual*. SH20-0851-1.

Rad primljen: 23.11.1999.god.