Zoran Radosavljević,
kapetan I klase
VP 2346 Batajnica

Ljubiša Vasov,
dipl. inž.
Saobraćajni fakultet, Beograd

SIMULACIJA VREMENSKIH MOGUĆNOSTI LOVAČKE AVIJACIJE

UDC: 623.746.3.001.57

Rezime:

Procesi koji se odvijaju u vazдушnom boju ne mogu se odrediti determinističkim modelom već se moraju simulirati. Tako se do potrebnog broja lovačkih formacija, i broja lovaca unutar pojedinih formacija, za pokrivanje određene zone očekivanja (zone slobodnog lova) može doći simulacijom leta lovaca na unapred izgrađenom modelu koji globalno preslikava sve bitne elemente realnog sistema.

Ključne reči: lovačka avijacija, simulacioni model, vremenske mogućnosti.

SIMULATION OF FIGHTER TIME POSSIBILITIES

Summary:

Processes occurring in air combat cannot be determined by a deterministic model, they have to be simulated. Thus, the necessary number of fighter formations and the number of fighters within particular formations — for covering certain waiting area (free lance area) — can be obtained by simulating fighters flight on a previously built-up model which copies all important elements of a real system.

Key words: fighters, simulation model, time possibilities.

Uvod

Prostorne mogućnosti dejstva lovačke avijacije (LA) i sistema protiv-vazdušne odbrane (PVO) u celini, stanje resursa i upotreba lovaca u eventualnim borbenim dejstvima, predmeti su istraživanja i napora za postizanjem najboljih rešenja. Pronaći minimalan broj lovačkih formacija za pokrivanje određenog pravca ili zone, kao i minimalan broj lovaca unutar jedne formacije, zadatak je koji dobija sve veći značaj. Veliki broj slučajnih procesa u posmatranom sistemu navodi na kreiranje simulacionih modela putem kojih se može doći do pouzdanih odgovora na određena pitanja. Pri tome najčešće se izrađuju algoritmi sistema i

konstruišu simulacioni modeli kodirani u jednom od simulacionih jezika za računare. Nakon ocene valjanosti simulacionih modela i programa (koji se vrše tokom čitavog postupka) pristupa se eksperimentisanju. Dobijeni rezultati, u vidu raspodela, tabela i slično, sistematizuju se i predstavljaju numerički radi daljih analiza. Grafički i tabelarno predstavljeni rezultati pomoći će pri donošenju odluke u kojoj su značajne vremenske mogućnosti LA.

Jedan od ciljeva jeste određivanje minimalnog broja lovačkih formacija, i lovaca unutar njih, za izvršenje konkretnog zadatka koji ima svoja ulazna ograničenja i zahteve.

Korišćenje simulacionog modela i programa omogućice i dobijanje odgo-

vora na mnoga druga pitanja, kao što su npr. opsluživanje avijacije, što je zadatak vazduhoplovnotehničke službe (VTSI).

Model simulacije leta lovačke formacije

Konstrukcija modela simulacije leta lovačke formacije (SLLF) zahteva: snimanje sistema koji model treba da prezentuje, projektovanje dijagrama toka transakcije kroz model, definisanje vremenskih blokova i tabela u simulacionom modelu i, na kraju, verifikaciju samog modela.

Verodostojan model zahtevao je dugotrajno snimanje i proučavanje sistema. Vremena sa taktičkih uvežbavanja i vežbi, uz pregled normi lovačkih eskadrila, potvrđuju tačnost predstavljenih vrednosti pojedinih vremenskih faza. Norme vezane za rad tehničke službe dodatno su uobličene u anketnim razgovorima sa stručnjacima iz te službe.

Verovatnoće otkaza tehnike u pojedinim fazama leta i pripreme vazduhoplova date su, takođe, kao veličine određene pregledom tehničke dokumentacije. Osim toga, dobijene vrednosti delimično su korigovane za uslove stvarne borbene situacije prema proceni stručnjaka tehničke službe, na osnovu literature, iskustva iz sličnih dejstava i na drugi način. Model je napravljen tako da eliminisanje jednog ili više vazduhoplova unutar formacije ne iziskuje povlačenje celokupne formacije iz modela, već samo njenog dela.

Verovatnoća sopstvenih gubitaka u eventualnoj vazdušnoj borbi sa ciljem (objektom dejstva) iskazana je u modelu kroz tri funkcije. Cilj je definisan kao: bezopasan, opasan i veoma opasan. Bezopasan cilj nema nikakav uticaj na angažovanu formaciju, a zamišljen je kao predstavnik vazduhoplova koji nisu u stanju da nanesu gu-

bitke lovcima i nemaju neposrednu lovačku zaštitu. Opasan i veoma opasan cilj prema određenoj, unapred definisanoj verovatnoći nanese određene gubitke angažovanim lovcima i tako umanjiti formaciju za određeni broj vazduhoplova. Prema tim funkcijama, formacije će biti diskretno umanjenje za određeni broj lovaca po određenoj verovatnoći, zavisnoj od vrste cilja. To će omogućiti formiranje zasebnih odnosa verovatnoće i broja eliminisanih lovaca za svaki tip cilja definisan na osnovu vazduhoplova unutar formacije cilja.

Vrednosti unete u model zasnovane su na karakteristikama lovca III generacije. Za potrebe ovog rada, radi ilustracije, podaci su hipotetički.

Programski model sadrži navigacijske norme vezane za različite visine leta i udaljenosti zona očekivanja (ZO). Obradeni su i podaci za zone udaljene 100, 150 i 200 km od aerodroma baziranja lovačke avijacije i za visine leta od 1000, 3000, 5000 i 9000 m.

Formacije koje zbog tehničke neispravnosti ili nanošenja gubitaka od strane protivničkih vazduhoplova izgube sve lovce unutar grupe (formacije), gube se iz simulacionog toka (procesa patroliranja) i broj formacija se smanjuje za jedan.

Proces patroliranja lovačkih formacija jasniji je ukoliko je predstavljen grafički u obliku dijagrama toka. Na slici su predstavljeni vremenski blokovi kroz koje jedna formacija (u simulacionom modelu transakcija) prolazi ili po određenoj verovatnoći može da prolazi. Neizvesnost vezana za ovu problematiku nameće zaključak da vremenske faze u pojedinim blokovima neće biti determinističke veličine već će, po nekoj empirijskoj, neravnomernoj raspodeli, predstavljati stohastičke vrednosti.

Pravougaoni zaobljeni oblici u dijagramu predstavljaju vremenske faze (blokove) kroz koje formacija (transakcija) prolazi. Romboidni oblici pre-

Dijagram toka simulacionog modela leta lovačkih formacija

dstavljaju uslovnosti vezane za pojedine događaje sa određenom verovatnoćom. Puna linija predstavlja mogući tok formacije kroz model, a isprekidana tok informacije koja ima za cilj pobuđivanje nove formacije — davanje signala za poletanje.

Model je kodiran u GPSS,* pri čemu su korišćeni blokovi: GENERATE, ADVANCE LOGIC, QUEUE — DEPART, ASSIGN, TEST, TRANSFER, SEIZE — RELEASE, TABULATE, TERMINATE, GATE, SAVEVALUE, MARK, kao i korisnički lanac LINK — UNLINK blokovi. U korisnički lanac 1 postavljaju se raspoložive formacije, a prema potrebi oslobađaju se iz tog lanca (komandom UNLINK). Vremenska jedinica u modelu, koja sasvim zadovoljava tačnost, jeste minut. Odatle je i definisanost startnog sata (START) onolika koliko se minuta pokriva ZO, povećana za vreme dolaska prve formacije do te zone.

Signalom (SIG) formaciji koja čeka u korisničkom lancu 1 saopštava se podatak o trenutku početka pokretanja aviona radi poletanja i odlaska u ZO. Formacija u pripravnosti dobiće taj signal u slučaju: isteka vremena patroliranja prethodne formacije u ZO, smanjenog za vreme dolaska nove formacije; neispravnosti prethodne formacije pri procesu pokretanja; neispravnosti prethodne formacije u letu do ZO ili pojave cilja radi kojeg je prethodna formacija utrošila svoje resurse (naoružanje). Te jednostrane komande izvodiće se pomoću blokova LOGIC S/R, (u dijagramu toka, simulacije prikazani su isprekidanim linijama).

Transakcije koje u modelu predstavljaju formacije imaju svoje elemente definisane parametrima transakcije, a u modelu ih je ukupno šest.

* GPSS — General Purpose Simulation System — opštenamenski simulacioni sistem.

Parametrom jedan (P1) omogućeno je definisanje svake formacije (grupe vazduhoplova) i njeno praćenje kroz više letova u toku simulacije. Na taj način prvenstveno je moguće pratiti gubitke i otkaze pojedinih jasno definisanih formacija. Parametar dva (P2) označava broj aviona unutar formacije i biće određen pre startovanja simulacije, i to za svaku formaciju posebno. Za te potrebe definisana je funkcija (FN\$BRAV). Treći parametar transakcije (P3) služi za određivanje tipa cilja i uslovljavanje gubitaka zbog dejstva protivničkih vazduhoplova definisanih funkcijama (FN1 i FN2). Parametar četiri (P4) prati i broj oborenih lovaca u formaciji i spreman je da formaciju bez lovaca izbaci iz modela. Jedan od najvažnijih je parametar pet (P5) kojim se, u obliku šifre, unose podaci o udaljenosti zone i visini leta. U četvorocifrenom kodu tog parametra prve tri cifre označavaju udaljenost u kilometrima, a poslednja, četvrta, visinu leta u hiljadama metara ($1003 : D = 100 \text{ km}, H = 3000 \text{ m}$). Na osnovu šifre, transakcija će očitavati vrednosti za pojedine ADVANCE blokove. Poslednji, šesti parametar (P6), zavisi od toga da li formacija ima cilj u zoni, i značajna je pri određivanju vremena zadržavanja formacije zbog tehničkog opsluživanja.

Program SLLF ima i dva korisnička lanca. Prvi je onaj u kome su smeštene sve formacije kojima započinje eksperiment (simulacija), a drugi prikuplja formacije koje su zbog tehničke neispravnosti (koja se ne može otkloniti u vremenu predviđenom za redovno opsluživanje) ili gubitka u vazdušnoj borbi izgubile sve vazduhoplove iz formacije.

Rezultati simulacije se prikazuju blok-pregledom, korišćenjem tabela (TABULATE), podacima o redu (QUEUE) za tehničko opsluživanje i uređaju (SEIZE) koji simulira rad VTSl.

*Komponente, promenljive i
numerički definisane funkcije
u simulacionom modelu*

FRM	— formacija,	LZON	— vreme leta formacije u ZO do slanja signala (SIG) za poletanje nove formacije, vremenski definisan od parametra transakcije (P5) koji govori o udaljenosti ZO i visini patroliranja,
PLLF	— početak leta prve formacije, startovanje procesa patroliranja,	LZPP	— vreme leta formacije u ZO nakon slanja signala (SIG) za poletanje nove formacije, vremenski definisan od parametra transakcije (P5) koji govori o udaljenosti ZO i visini patroliranja,
BRAV	— broj lovaca unutar formacije,	LPSL	— vreme leta formacije pri povratku na sletanje, vremenski definisan od parametra transakcije (P5) koji govori o udaljenosti ZO i visini patroliranja,
PFRM	— postavljanje lovaca u red pripravnosti za poletanje,	VTTO	— odlazak na opsluživanje formacija od strane VTSl,
SIG	— signal za poletanje iz pripravnosti formacije koja se nalazi na redu za poletanje,	VTs	— pristup »uređaju« za opsluživanje — VTSl,
ZAST	— zastoj u procesu patroliranja javlja se kada ne postoji formacija spremna za poletanje po dobijenom signalu (SIG) za poletanje,	NAOR	— provera istrošenosti naoružanja, po parametru transakcije (P6) koji ispituje da li je formacija imala cilj u ZO,
TERM	— terminate — uklanjanje transakcije koja ne predstavlja jednu od formacija, već služi za definisanje vremena trajanja procesa patroliranja,	TESL	— rad VTSl na opsluživanju formacije bez potrebe naoružavanju (P6=0),
VPZ	— vreme početka zastoja — karakteriše trenutak po simulacionom satu u kojem je došlo do pojave zastoja (ZAST),	NEOP	— odlazak na proveru ispravnosti vazduhoplova unutar formacije nakon završenog rada VTSl,
POKR	— proces pokretanja, vremenski definisan od parametra transakcije (P2) koji govori o veličini formacije (broju lovaca),	RVTS	— rad VTSl na opsluživanju formacije sa potrebom naoružavanja (P6=1),
OTPP	— verovatnoća otkaza tehnike pri procesu pokretanja,	PRAZ	— prazne formacije, koje ne sadrže nijedan ispravan i neoboren vazduhoplov,
SLET	— verovatnoća otkaza tehnike u letu do zone,	OTZL	— let formacije ka ZO do pojave otkaza tehnike,
VOZO	— vreme odlaska do ZO, vremenski definisan od parametra transakcije (P5) koji govori o udaljenosti ZO i visini patroliranja,	ODSL	— let formacije od pojave otkaza tehnike do sletanja,
CILJ	— verovatnoća prolaska cilja kroz rejon u kome se nalazi ZO,		

- LZPC — let u ZO do pojave cilja,
 POVR — povratak na sletanje, odlazak na LPSL.

Korisnički lanci

- PFRM — lanac postavljenih formacija u red pripravnosti za poletanje,
 PRAZ — lanac koji prikuplja prazne formacije (lovci neispravni ili oboreni).

Tabele

- TAB 1 — vreme trajanja leta u ZO,
 TAB 2 — vreme zastoja nakon signala za poletanje,
 TAB 3 — vreme odlaska do ZO — kontrolni podatak,
 TAB 4 — vreme početka zastoja,
 TAB 5 — broj neopravljenih lovaca po formaciji,
 TAB 6 — broj oborenih lovaca.

Numerički definisane funkcije

- FN 1 — zavisnost broja oborenih lovaca od vrste cilja — cilj opasan,
 FN 2 — zavisnost broja oborenih lovaca od vrste cilja — cilj veoma opasan.

Komentar rezultata programa

Nakon utvrđivanja valjanosti modela i verifikacije programa izvršeni su određeni eksperimenti. Pored ostalog, programski model SLLF ostvaruje uvid u scenario zaštite određene zone ili pravca određenom taktičkom jedinicom LA (eskadrila, puk) za određeni vremenski period.

Serijska simulacija na modelu SLLF dala je podatke za ispitivanje relevantnih atributa, čime je omogućen izbor minimalnog broja formacija sa minimalnim brojem lovaca unutar tih formacija.

Jedna od mogućnosti za korišćenje modela prikazana je na primeru šest ujednačenih lovačkih formacija od po dva aviona. Njihov zadatak bio je da šest sati pokrivaju zonu slobodnog lova udaljenu sto kilometara od aerodroma baziranja, na visini od tri hiljade metara. Očekivani ciljevi okarakterisani su kao opasni.

Propuštanjem određenog broja simulacija konkretne situacije i analizom njenih prosečnih blok-rezultata došlo se do sledećih zaključaka:

— formacije su dobile prosečno jedanaest signala za poletanje. U ovom slučaju, to znači da je poletelo svih šest formacija i da je naknadno, posle završenog tehničkog opsluživanja, poletelo još pet formacija u drugom izlazu;

— tehnika je otkazala samo u jednom slučaju, i to prilikom procesa pokretanja;

— lovačke formacije su u četiri leta imale ciljeve u zoni;

— zastoja nije bilo, što je jedan od najbitnijih pokazatelja simulacije;

— devet formacija završilo je sa tehničkim opsluživanjem, a još dve su čekale u redu. Od toga su tri ponovo naoružane, a jednu još čeka taj proces. Jedan avion nije se mogao popraviti u toku startnog vremena;

— nije bilo formacija koje su ostale bez vazduhoplova.

Osim ovih rezultata, blok-pregled pruža i niz drugih pokazatelja koji bi, možda, za neke druge korisnike bili značajni.

Na simulacionom modelu SLLF sprovedena je serija simulacija, pri čemu su promenljive veličine bile: broj

formacija (od 7 do 3), udaljenost ZO — ZSL (100, 150 i 200 km) i visina leta lovačkih formacija (1000, 3000, 5000 i 9000 m). Sve formacije startovale su sa po dva lovca. Cilj je okarakterisan kao opasan u svim kombinacijama navigacijskih elemenata i broja formacija.

Uvidom u rezultate ove serije simulacija, moguće je odrediti koliko je najmanje formacija potrebno za pokrivanje ZSL na određenoj udaljenosti i zadatoj visini. Takođe, može se saznati na kojoj udaljenosti treba da se formira zona ukoliko se raspolaze ograničenim brojem vazduhoplova, ili na kojoj visini se moraju držati lovci u ZO — ZSL. Nalaženje pariteta u tom min.-maks. odnosu broja formacija i navigacijskih elemenata, imaće značaj u donošenju efikasnije odluke o vremenskim mogućnostima LA.

Rezultati serije simulacija prezentovani su u tabelarnom obliku, uz kratak komentar.

Oznakom NZ u tabelarnom pregledu naznačeno je da ponuđena kombinacija ne prouzrokuje zastoj sistema. Tamo gde u toku simulacije dolazi do zastoja naznačeno je prosečno vreme ukupnog zastoja, a u zagradi prosečno vreme pojave prvog zastoja. Posebno istaknuto vreme ukupnog zakašnjenja smatra se tolerantnim. Tolerantno vreme zakašnjenja biće ono koje se javilo posle 355 min (jer je poslednji lovac i dalje u zoni 15 do 22 minuta) ili ukupno vreme zakašnjenja koje nije veće od 5 minuta.

Grafički prikaz sadrži samo prosečno vreme ukupnog zakašnjenja u odnosu na udaljenost zone i visinu leta.

U slučaju da se zona pokriva sa sedam formacija zastoj nastaje jedino ukoliko je ZSL locirana na udaljenosti od 200 km, a lovci lete na visini 1000 m. To saznanje navodi na zaključak da je na visini od 3000 m moguće slobodno

Tabela 1

Ukupno zakašnjenje poletanja — sedam formacija po dva aviona (min)

Daljina do ZO (km)	100	150	200
Visina u ZO (m)			
1000	NZ	NZ	66(220)
3000	NZ	NZ	NZ
5000	NZ	NZ	NZ
9000	NZ	NZ	NZ

postavljanje ZSL, čak i na udaljenosti od 200 km. Takođe, zona postavljena 150 km od aerodroma baziranja omogućava patroliranje i na visini od 1000 m.

Tabela 2

Ukupno zakašnjenje poletanja — šest formacija po dva aviona (min)

Daljina do ZO (km)	100	150	200
Visina u ZO (m)			
1000	NZ	44(300)	64(290)
3000	NZ	19(348)	28(343)
5000	NZ	NZ	3(368)
9000	NZ	NZ	NZ

Šest formacija može pokrivati ZSL — ZO udaljenu 200 km i 150 km na visini 5000 m i više. Zonu udaljenu 100 km mogu pokrivati na bilo kojoj visini. Zaključak je da je na visini 5000 m i više nepotrebno formirati zonu na 150 km od aerodroma baziranja, ako taj broj formacija omogućava i pokrivanje zone udaljene 200 km.

Tabela 3

Ukupno zakašnjenje poletanja — pet formacija po dva aviona (min)

Daljina do ZO (km)	100	150	200
Visina u ZO (m)			
1000	39(284)	55(180)	100(160)
3000	NZ	58(200)	50(190)
5000	NZ	NZ	16(280)
9000	NZ	NZ	NZ

U slučaju pet formacija nije moguće pokrivati visinu od 1000 m, bez obzira na udaljenost zone. Visina od 3000 m uslovljava lociranje zone do 100 km, 5000 m do 150 km, a visina od 9000 m dozvoljava udaljenost zone i do 200 km. Ravnomerni, stepenasti raspored odnosa visine i udaljenosti uprošćava izbor tih parametara u slučaju pet formacija.

Tabela 4

Ukupno zakašnjenje poletanja — četiri formacije po dva aviona (min)

Daljina do ZO (km)	100	150	200
Visina u ZO (m)			
1000	54(280)	90(160)	111(170)
3000	30(300)	70(170)	83(180)
5000	3(369)	38(220)	57(230)
9000	NZ	NZ	24(240)

Raspolaganje sa samo četiri formacije prilično sužava polje delovanja. Evidentno je, na primer, da ne dolazi u obzir postavljanje zone na daljini od 200 km. Jedino visina od 9000 m, koja

je teško pogodna za izvođenje standardnih zadataka, zadovoljava udaljenost od 150 km. Čak i lociranje zone od 100 km jedva može da podržava visinu od 5000 m.

Tabela 5

Ukupno zakašnjenje poletanja — tri formacije po dva aviona (min)

Daljina do ZO (km)	100	150	200
Visina u ZO (m)			
1000	67(190)	90(50)	146(40)
3000	36(210)	93(120)	90(50)
5000	27(280)	38(210)	60(120)
9000	NZ	NZ	42(220)

Tri formacije gotovo samo simbolično mogu pokrivati ZSL — ZO u periodu od šest sati. Jedino na visini od 9000 m može se zatvoriti sistem, i to pri udaljenosti od 150 km i manje. Međutim, ukoliko nema više formacija na raspolaganju, lovačka zaštita moraće se ostvariti sa tri formacije. Tada su mogućnosti, recimo pokrivanje zone udaljene 100 km na visini 5000 m — 5 sati (300 min) ili na visini 3000 m — gotovo 4 sata (230 min).

Zaključak

Programski realizovan model leta lovačkih formacija ostvario je postavljeni cilj. Simulacijom na modelu stvoren je, pored ostalog, i uvid u globalnu sliku vremenskih mogućnosti LA određivanjem minimalnog broja formacija za određene navigacijske parametre zone slobodnog lova ili zone očekivanja. Imajući rezultate serije simulacija za realni skup ulaznih podataka, dono-

silac odluke bitno će smanjiti verovatnoću greške pri izboru najmanjeg broja formacija koje će uspešno odgovoriti na konkretan zadatak. Takođe, u odnosu na opasnost dejstva protivnika moguće je odrediti i najmanji potreban broj lovaca unutar jedne formacije.

Tabela 6

Minimalni broj formacija

Daljina do ZO (km)	100	150	200
Visina u ZO (m)			
1000	6	7	>7
3000	5	6	7
5000	4	5	6
9000	3	3	5

Minimalni broj formacija iz hipotetičkog primera koji ispunjava uslov — bez zastoja (NZ) jeste broj formacija koji će se poslati na zadatak ukoliko je cilj obavljanje zadatka sa što manjim naprezanjem snaga i sredstava.

Ovakav pregled minimalnog broja formacija, i lovaca unutar njih, sa konkretnim, realnim podacima, treba da bude na raspolaganju donosiocu odluke pre izdavanja naređenja o lovačkoj zaštiti određene zone.

Jasno predloženi rezultati simulacije govore o tome da je vredelo izraditi dobro projektovani model. Nadogradnja ovog simulacionog modela moguća je u dva pravca. Prvi je u detaljnijoj konstrukciji svih elemenata leta i tehničkog opsluživanja (voženja po rutnim stazama, promena starta — pravca poletanja, problemi vezani za rad VTSl, i slično), a drugi — proširivanje modela na veće jedinice, uključujući i ostale segmente sistema PVO.

Literatura:

- [1] Avramović, Z.: Simulacije na digitalnim računarima, Saobraćajni fakultet, skripta, Beograd, 1994.
- [2] Banks, J., Carson, J. S. i Ngo Sy J.: Getting Started With GPSS/H, Wolverine Software Corporation, Annandale, 1989.
- [3] Maksić, R.: Pristup određivanju resursa za snabdevanje TMS u borbi, VT glasnik, 2/194—204, Beograd, 1993.
- [4] Mišković, V.: Model sistema snabdevanja municijom artiljerije za podršku, VT glasnik, 1/25—35, Beograd, 1995.
- [5] Radenković, B.: GPSS, FON, skripta, Beograd, 1992.
- [6] Radosavljević, Z.: Visine leta aviona MiG-29 u zoni samostalnog traženja, Novi glasnik, 6/19—26, Beograd, 1995.
- [7] Radovanov, S., Milojević, M. i Petje, J.: Taktika lovačke avijacije, SSNO, Beograd, 1984.
- [8] Radovanov, S.: Samostalno traženje i uništavanje ciljeva u vazduhu — slobodan lov, KŠA RV i PVO, skripta, Beograd, 1975.
- [9] Žiljak, V.: Simulacija računalom, Školska knjiga, Zagreb, 1982.