

KOMPJUTORSKE RATNE IGRE: borbeni modeli i simulacije različitih rezolucija

**Dražen Penzar
Armano Srbljinović
Ognjen Škunca**

UDK 519.8:355.1
519.876:355.1
Stručni rad
Primljeno: 17.04.2001.
Prihvaćeno: 08.05.2001.

Sažetak

U radu su usporedno prikazane osnovne karakteristike tri skupine borbenih modela i simulacija: umreženih simulatora, simulacija visoke rezolucije i agregiranih simulacija. Nakon definicije svake skupine modela, prikazan je povijesni razvitak i raširenost, način upotrebe u obuci i analizama, hardverske komponente i matematički formalizmi koji se koriste u modeliranju na određenoj razini. Na kraju svakog poglavlja, u nekoliko se rečenica osvrćemo na mogućnosti upotrebe razvoja takvih modela u Republici Hrvatskoj.

Ključne riječi: modeliranje i simulacije borbenih djelovanja, simulatori, simulacije visoke rezolucije, agregirane simulacije, SIMNET, JANUS, Situational Force Scoring

mr. sc. Dražen Penzar, voditelj projekta na odsjeku za modeliranje i simulacije
mr. sc. Armano Srbljinović, istraživač na odsjeku za modeliranje i simulacije
mr. sc. Ognjen Škunca, istraživač na odsjeku za modeliranje i simulacije
Institut za obrambene studije, istraživanje i razvoj – MORH
e-mail: dpenzar@morh.hr, asrbljin@morh.hr, oskunca@bobi.ifs.hr

*Ako jedna slika vrijedi tisuću riječi,
onda jedna simulacija vrijedi tisuću slika.*

Henry S. Dubin

1. UVOD

Početak veljače 2001. godine u Zagrebu je otvoreno Simulacijsko središte Oružanih snaga Republike Hrvatske. U prigodnim govorima istaknuto je da se radi o novom načinu obuke zapovjednika i stožera temeljenom na suvremenim tehnologijama, učinkovitim i jeftinim, kojim se podiže kvaliteta cijelog sustava obuke i spremnost Hrvatske vojske. Što su zapravo kompjutorske simulacije borbenih djelovanja, kako se koriste i na čemu se temelje? U ovom radu pokušat ćemo, na tri primjera modela borbenih djelovanja različite rezolucije, naznačiti neke od odgovora na postavljena pitanja.

Pod pojmom modela i simulacija borbenih djelovanja možemo svrstati široku paletu formalnih, logičkih i fizičkih reprezentacija borbenih sustava, procesa i fenomena (*Glossary of DoD M&S Terms*, 1997.). To mogu biti makete, pješčani modeli, ratne igre na karti, vježbe na terenu i kompjutorski modeli, koji nas u ovom radu prvenstveno zanimaju. O širini područja vojnih simulacija rječito govori motto američkoga Zapovjedništva za obuku, simulacije i instrumentaciju (STRICOM): *'All but war is simulation'* – *'Sve osim rata je simulacija.'*

Kompjutorske borbene modele i simulacije možemo klasificirati na više načina (*Panel on Modeling and Simulation*, 1997.). Prema namjeni dijele se na simulacije za obuku, za analize i za pripremu operacija. Posebna podvrsta simulacija za analize su inženjerske simulacije i virtualni prototipovi koje se koriste u projektiranju i razvoju novih sustava. Prema vidu i rodu snaga koje reprezentiraju, dijele se na združene simulacije, simulacije kopnenih, zračnih i pomorskih operacija te na specijalizirane simulacije za logistiku, obavještajnu djelatnost, elektronsko ratovanje, neborbene operacije, vojno-političke interakcije i sl. Prema uključenosti čovjeka, simulacije mogu biti interaktivne i zatvorene, prema tretiranju slučajnosti, stohastičke i determinističke, prema upotrebi tehnologije, kompjutorske i ručne i tako dalje. Važno je napomenuti da dizajn modela uvijek proizlazi iz njegove pretpostavljene namjene. Kaže se da ne postoje apsolutno dobri i apsolutno loši ili krivi modeli, postoje samo modeli koji se mogu i koji se ne mogu valjano primijeniti u određenoj situaciji.

Jedna od najznačajnijih podjela modela i simulacija borbenih djelovanja temelji se na njihovoj rezoluciji. Rezoluciju možemo promatrati na više načina: kao rezoluciju entiteta u modelu, vremensku rezoluciju modela, prostornu rezoluciju, rezoluciju na kojoj su modelirani pojedini procesi... no, uglavnom, viša rezolucija po jednoj od ovih dimenzija povlači i višu rezoluciju po ostalim dimenzijama. U ovom radu prikazane su tri vrste modela bitno različite rezolucije: simulatori, simulacije visoke rezolucije i agregirane simulacije. Naravno da time nije potpuno pokriveno

područje borbenih modela i simulacija, no kroz opisane modele može se steći slika o njegovoj širini i različitosti.

Rad započinje opisom simulatora i simulatorskih mreža. To je najmlađa vrsta simulacija borbenih djelovanja, ali je u široj javnosti možda najpoznatija – svi imamo neku predodžbu o tome kako izgleda simulator leta. Razlozi za popularnost simulatora su, u njihovoj sličnosti poznatim fizičkim sustavima, te u atraktivnoj tehnologiji koja je u njih ugrađena. U drugom dijelu rada govorimo o simulacijama visoke rezolucije, među koje spada i sustav JANUS, instaliran u našem Simulacijskom središtu. Na kraju, opisujemo agregirane modele, koji su najstariji po postanku, a koriste se za najviše razine obuke i odlučivanja u oružanim snagama.

Radi lakšeg uspoređivanja pojedinih tipova borbenih modela i simulacija, sva su poglavlja organizirana na isti način. Nakon definicije pojedine skupine modela, prikazan je povijesni razvitak i raširenost, način upotrebe u obuci i analizama te hardverske komponente i matematički formalizmi koje takvi modeli sadrže. Prikaz konkretnih jednadžbi daleko nadilazi opseg i svrhu ovog rada. Na kraju svakog poglavlja, u nekoliko se rečenica osvrćemo na mogućnosti korištenja i razvoja modela pojedine vrste u Republici Hrvatskoj.

2. UMREŽENI SIMULATORI

2.1. Definicija i osnovna svojstva

Simulatori su uređaji koji imitiraju rad oružnih sustava ili druge opreme, kao što su zrakoplovi, borbena vozila, raketni i topnički sustavi i sl. Namijenjeni su za obuku članova posade u upravljanju stvarnim tehničkim sustavima. Simulatori se u pravilu odnose na jedan sustav – zrakoplov, tenk... – čije ergonomske i funkcionalne karakteristike vjerno repliciraju. To se posebno odnosi na one komponente stvarnog sustava s kojima posada dolazi u direktan kontakt: kabinu i uređaje u njoj, zvuk motora, ciljničke sprave itd. (*Glossary of DoD M&S Terms*, 1997.). Ako se umreže, simulatori se mogu koristiti i za obuku manjih postrojbi u zajedničkom provođenju taktičkih radnji na bojištu. Upotrebom simulatora postižu se značajne uštede, jer se izbjegava trošenje pravih borbenih sustava, goriva i streljiva, ne zagađuje se okoliš, smanjuju se rizici od ozljeda, a omogućuje se sigurno uvježbavanje i onih radnji koje bi u stvarnosti bilo opasno ili čak nemoguće provesti. Međutim, jedan dio obuke se uvijek provodi na pravih borbenim sustavima na terenu, jer simulatori, bez obzira na tehnološku savršenost, ne mogu u potpunosti proizvesti sve efekte koji se javljaju u stvarnosti.

2.2. Razvoj simulatora i simulatorskih mreža

Prvi simulatori moderne arhitekture razvijeni su krajem 60-ih godina 20. st. u SAD-u za potrebe ratnog zrakoplovstva (Rolfe i Staples, 1986.). U to doba nije još bilo moguće kompjutorski generirati sliku okoline, pa se radilo o trenažerima za instrumentalni let. Zbog tadašnjih cijena specijalnog hardvera, na simulatorima je u to vrijeme bio isplativ jedino trening pilota. Neke procjene govore da je prvi simulator zrakoplova F-18 koštao više od same letjelice. Danas se simulatori izrađuju ne samo za gotovo sve vrste i tipove složenih oružnih sustava, nego i za obuku različitih operacija na pojedinom sustavu. Tipično se, na primjer, za suvremene zapadne tenkove može nabaviti simulator za vozača, simulator za ciljača, simulator za cijelu posadu koji se može spojiti u mrežu simulatora i simulator za uvježbavanje popravaka i održavanja tenka.

Krajem 70-ih 20. st. godina pokrenut je prvi projekt povezivanja više simulatora u jedinstvenu mrežu (kompjutorske mreže tada su bile u eksperimentalnoj fazi; u to je vrijeme ARPA tek razvijala DARPA NET, preteču Interneta). Prva mreža simulatora u upotrebi bio je američki SIMNET, koji je pušten u rad sredinom 80-ih 20. st. godina (Miller, 1995.). U sustavu SIMNET simulatora u početku su bili samo simulatori tenka M1, a kasnije su proizvedeni i SIMNET simulatori borbenih vozila pješništva M2 i helikoptera. Svi su ti simulatori imali skromne mogućnosti grafičkog prikaza okoline, ali su bez obzira na to bili vrlo dobro prihvaćeni u vojsci. Nastavljajući se na njihov uspjeh, početkom 90-ih godina 20. st. razvijena je nova generacija umreženih simulatora nazvana Close Combat Tactical Trainer (CCTT). CCTT obuhvaća simulatore tenkova M1A1, M1A2, oklopnih borbenih vozila M2A2, M113 i FIST-V, terenskog vozila HMMWW i Apache helikoptera. Danas su ti sustavi u upotrebi paralelno, pa se tako, na primjer, u američkom središtu za obuku oklopništva u Ft. Knox u Kentuckyju, na SIMNET mreži obučavaju pripadnici Nacionalne garde i vojne pričuve, a na CCTT mreži polaznici dočasničkih škola i aktivnih postrojbi američke vojske. Uspjeh SIMNET mreže doveo je i do definiranja komercijalnih industrijskih standarda za povezivanje simulatora, koji su prvo nazvani DIS (Distributed Interactive Simulation), a potom su evoluirali u još općenitije HLA (High Level Architecture) protokole. Ti se standardi danas koriste i za umrežavanje različitih vrsta civilnih simulatora, a za nove vojne simulatore bilo kojeg oružnog sustava iz većine zemalja kompatibilnost s HLA i DIS tim standardima je pravilo.

2.3. Upotreba

Obuka posada i malih postrojbi. Osnovna je svrha simulatora kreiranje prividne, tzv. virtualne okoline u koju vježbenik 'uranja' tijekom obuke, potpuno se uživljavajući u umjetni scenarij. Na taj se način do automatizma uvježbava motorika, standardne procedure za različite borbene situacije i komunikacija između članova posade ili manje postrojbe. Stoga je jedan od osnovnih zahtjeva da simulator za vježbenika izgleda i reagira potpuno isto ili dovoljno slično pravom sustavu: prostor u simulatoru, raspored i rad instrumenata i komandi, zvukovi, pogled iz vozila, a u nekim

slučajevima i pokreti i vibracije simulatora moraju vjerno replicirati ponašanje stvarnog oružnog sustava.

Za većinu zadaća u obuci, osim najjednostavnijih, u virtualnom je svijetu potrebno osigurati i prisustvo drugih dinamičkih entiteta: protivničkih i prijateljskih borbena sustava različitih vrsta. Na taj način posada u simulatoru dobiva poticaje da reagira i provodi borbena djelovanja s oružnim sustavom. Pri tome je važan i stupanj realističnosti u ponašanju dodatnih sustava u virtualnom svijetu. Da bi se postigla odgovarajuća realističnost, koriste se različite metode: unaprijed definirani scenariji, algoritmi iz područja umjetne inteligencije za simulaciju ljudskog ponašanja i odlučivanja, ili se instruktoru omogućuje da preko pojednostavnjenog sučelja za upravljanje vježbom kontrolira stanje na bojištu.

Poseban se efekt za uvježbavanje postiže povezivanjem većeg broja simulatora u jedinstvenu mrežu. Na taj se način može kreirati zajednički virtualni svijet, u kojem ne sudjeluje samo jedno vozilo, nego cijeli vod, satnija ili bojna. Time je omogućena provedba taktičke obuke vojnika i nižih zapovjednika na razini manjih postrojbi. Tehnologija omogućuje da u jednu vježbu bude uključeno i više stotina, pa i desetak tisuća simulatora na više lokacija po cijelom svijetu, no zbog organizacijskih problema takve se vježbe u pravilu rijetko organiziraju.

Vrlo raširena upotreba simulatora u svijetu pokazuje da su oni odlično sredstvo za obuku vojnika i nižih zapovjednika u upravljanju pojedinim vrstama složenih oružnih sustava, te za uvježbavanje međusobne komunikacije i koordinacije u provedbi taktičkih radnji. Međutim, mreže simulatora nisu prilagođene za obuku zapovjednika razine satnije, bojne i više. Naime, ako bismo zapovjednika bojne željeli uvježbavati pomoću mreže simulatora, onda bismo samo za njegovu postrojbu trebali na nekoliko dana osigurati stotinjak simulatora svih sredstava kojima bojna raspolaže, više stotina vojnika kao posade tih simulatora i cijeli stožer i zapovjedništva svih podređenih postrojbi. Sve to zahtijeva odgovarajuću logističku potporu, prostor za boravak i rad, osiguranje, tehničku potporu i obuku za rad na simulatorima. Troškovi takve vježbe bili bi preveliki s obzirom na cilj: uvježbavanje jednog ili nekolicine časnika. To nije i jedini nedostatak mreža simulatora u obuci časnika. Simulatorima se ne može kvalitetno reprezentirati utjecaj nekih vrsta oružnih sustava na bojištu, počevši od običnih vojnika pješaka naoružanih lakim prijenosnim sustavima i osobnim naoružanjem pa do složenih sustava veze, radarskih sustava i drugih sustava za prikupljanje informacija. Mreže simulatora gotovo posve onemogućuju uvježbavanje planiranja i provedbe logističke potpore operacijama koje traju dulje od nekoliko sati, jer pripadni modeli ne sadrže potrebne elemente. Stoga se za uvježbavanje zapovjednika i stožera koriste simulacije borbena djelovanja koje opisujemo u trećem i četvrtom poglavlju.

2.4. Komponente simulacijskog sustava

U svakom simulatoru moguće je razlikovati nekoliko osnovnih cjelina: sklopovlje koje predstavlja fizičku repliku stvarnog sustava, matematičke modele koji određuju ponašanje simuliranog sustava, elemente za prikaz virtualne okoline u kojoj se

sustav nalazi te instruktorsku stanicu koja omogućuje praćenje i upravljanje vježbom. Pojedini dijelovi simulatora mogu stvarni sustav imitirati vrlo detaljno i vjerno, dok su u drugim dijelovima moguća znatna pojednostavnjenja. To prvenstveno ovisi o namjeni simulatora; američka uprava za civilno zrakoplovstvo, FAA, na primjer, u svojim pravilnicima simulatore leta dijeli prema složenosti u nekoliko kategorija i precizno propisuje koje je zadaće pilota moguće uvježbavati na simulatorima svake kategorije.

Hardverski elementi. Zbog zahtjeva za fizičkom sličnošću sa stvarnim sustavom, hardverski elementi u simulatorima imaju značajnu ulogu. To se podjednako odnosi na dijelove s kojima je korisnik u direktnom kontaktu (prostor za posadu, kretni sustav, uređaji za prikaz slike i zvuka), kao i na hardverske elemente koji omogućuju pravilno funkcioniranje cijelog simulatora (posebni pretvarači i procesori signala, generator slike i zvuka, glavni procesorski sustav na kojem se provode proračuni matematičkog modela stvarnog sustava).

Jedan od najvažnijih dijelova simulatora je prostor za posadu koji je iznutra identičan unutrašnjosti pravog borbenog sustava. Instrumenti koji se u njega ugrađuju mogu biti pravi instrumenti iz stvarnog sustava ili njihove kopije. Na primjer, u simulatoru leta (Rolfe i Staples, 1986.) može se koristiti izrezana pilotska kabina iz pravog zrakoplova čiji su instrumenti, umjesto s pravim izvršnim elementima (motorom, zakrilcima, avionskim računalom) spojeni s kompjutorom u simulatoru, u kojega šalju i iz kojega primaju sve potrebne signale. Sve to najčešće zahtijeva specijalna elektronička i softverska rješenja, a samim time i odgovarajuće pretvarače i procesore za obradu velike količine ulaznih signala u stvarnom vremenu.

Posebni hardverski zahtjevi proizlaze i iz potrebe proračuna matematičkih modela sustava, npr. jednadžbi leta zrakoplova, koji mogu biti vrlo složeni. Radi se najčešće o velikim sustavima diferencijalnih jednadžbi koji se numerički rješavaju desetke puta u sekundi. Time se osigurava točnost numeričke integracije i ažurnost prikaza stanja simuliranog oružnog sustava posadi simulatora. Danas je takve proračune moguće u stvarnom vremenu provesti i na ojačanim PC računalima, ali još donedavno su se za ovu svrhu morale koristiti radne stanice ili posebni procesori za brzu obradu signala.

U nekim simulatorima, posebno u simulatorima leta, kabina je instalirana na pokretnoj platformi koja omogućuje simulaciju sila i vibracija u vožnji. Pomoću hidrauličkih ili servo motora cijela se platforma pokreće i naginje, čime se na posadu prenose sile koje nastaju zbog linearnog i kutnog ubrzanja kabine.

Od hardverskih elemenata simulatora valja spomenuti i sustav za generiranje i prikaz slike. On se sastoji od posebnog hardvera optimiziranog za provedbu velikog broja grafičkih operacija – takozvanih generatora slike – i uređaja za prikaz slike. Na starijim simulatorima bile su oko kabine podignute velike kupole, promjera desetak metara, na koje je s više projektora projicirana slika okoline. Danas se uglavnom koriste kompjutorski ekrani ili LCD displeji montirani na prozore kabine simulatora, a sve više su u upotrebi i displeji montirani na kacigu (helmet-mounted display – HMD ili head-up display – HUD) koji se nalaze direktno pred očima vježbenika. U tom slučaju potrebno je pomoću posebnih senzora stalno pratiti točan položaj i

orijentaciju glave vježbenika, kako bi se slika na ekranu mogla uskladiti sa smjerom njegovog pogleda.

I ovdje se postavljaju veliki zahtjevi na brzinu računanja i procesnu snagu kompjutorskog dijela grafičkog sustava. Da bi se postigao kontinuiran vizualni prikaz, bez treperenja slike i neugodnih posljedica za oči promatrača, generator slike bi trebao s konstantnom frekvencijom generirati između 60 i 120 sličica u sekundi. U rane simulatore ugrađivani su vrlo skupi posebno konstruirani generatori slike (iz kojih su kasnije nastale grafičke radne stanice, pa i cijele kompanije, poput slavnog *Silicon Graphicsa*, koje su se bavile proizvodnjom takvih sustava); bez obzira na to, u zadanom je vremenu bilo moguće generirati samo maksimalno pojednostavnjenju sliku, možemo reći skicu, vanjskog svijeta. Kompleksnost grafičkog sustava i nastojanje da se izradi što jeftiniji (a kvalitetan) simulator razlog su što slika okoline i u najnovijim simulatorima još uvijek izgleda pomalo karikaturalno. No, s obzirom na to da je slika tek pomoćno sredstvo u procesu obuke na simulatorima, to ne narušava kvalitetu obuke.

Matematički modeli. Matematički modeli u primjeru simulatora leta uključuju model aerodinamike zrakoplova, motora, stajnog trapa, lansiranja i leta projektila, radara, navigacijskih sustava, autopilota, model sustava za upravljanje zrakoplovom, itd. Ti su modeli vrlo detaljni, temelje se na fizikalnim zakonima i tehničkim svojstvima pojedinih komponenti sustava, a uglavnom su izraženi u obliku običnih ili parcijalnih diferencijalnih jednadžbi koje se numerički rješavaju u stvarnom vremenu po više desetaka puta u sekundi. Samo jedan od takvih modela, model gibanja zrakoplova sa šest stupnjeva slobode (6-DOF model) sastoji se od dvanaest diferencijalnih jednadžbi koje opisuju promjenu položaja, orijentacije, brzine i kutne brzine zrakoplova ovisno o njegovim aerodinamičnim karakteristikama, potisku motora i drugim vanjskim silama koje djeluju na zrakoplov. U simulatorima drugih sustava pojavljuju se slični sustavi jednadžbi, prilagođeni svojstvima stvarnog oružja ili borbene platforme.

Osim ovih temeljnih matematičkih modela borbenog sustava, u simulatorima su implementirani i složeni algoritmi za kontrolu sklopovlja i upravljanje elementima virtualne okoline: npr. algoritmi kojima se regulira rad pokretne platforme, algoritmi za optimizaciju i generiranje grafičkog prikaza, za proračun zvučnih efekata, za obradu signala koji dolaze iz instrumenata u kabini, te za kodiranje i dekodiranje poruka koje dolaze od drugih simulatora spojenih u zajedničku mrežu. Sve ovo zahtijeva znatnu ekspertizu iz različitih područja tehničkih znanosti (npr. automatika, aerodinamika, strojarstvo, elektronika, razne grane računarskih znanosti), fizike i matematike.

Utemeljenost modela. Matematički modeli koji se koriste u simulatorima zasnovani su na fizikalnim i tehničkim modelima oružnih sustava i na eksperimentalnim rezultatima vezanim uz pojedine karakteristike tih oružja. Ti su modeli strogo znanstveno utemeljeni, iako u nekim slučajevima mogu biti značajno pojednostavnjeni u odnosu na modele koji se koriste u znanstvenim ili razvojnim istraživanjima. S obzirom na to da je i sam sustav koji se modelira dobro definiran i dobro poznat, i njegov model u simulatoru može imati visok stupanj realističnosti. Kod borbenih

simulacija visoke, a posebno niske rezolucije, modele borbenih djelovanja nije moguće tako čvrsto utemeljiti na egzaktnim znanstvenim rezultatima i eksperimentalnim podacima.

2.5. Stanje u Republici Hrvatskoj

U Hrvatskoj vojsci koristi se određen broj simulatora u obuci operatera i posada za neke vrste oružnih sustava. Valja spomenuti simulatore za obuku operatera na protuoklopnim vođenim raketnim sustavima Maljutka i Fagot. Prva verzija tih simulatora, koji su proizvedeni u suradnji naših sveučilišta, Ministarstva obrane i domaće industrije, nastala je još tijekom rata 1993. godine. Svoju vrijednost ti su simulatori potvrdili u svakodnevnoj upotrebi u posljednjih sedam godina. Institut "Ruđer Bošković" prije više godina proizveo je nekoliko simulatora za obuku ciljanja za tenkiste. HRZ raspolaže simulatorima za školske zrakoplove "Pilatus", no ti su simulatori kupljeni zajedno sa zrakoplovima od stranog proizvođača. U tijeku je razvoj simulatora za zrakoplov MiG-21, koji je u cijelosti proizvod domaće ekspertize. Sve to potvrđuje da uz odgovarajuću organizaciju u Hrvatskoj postoje preduvjeti za razvoj simulatora svih vrsta borbenih sustava: od zrakoplova i tenkova, do raznih topničkih, protuzračnih i protuoklopnih raketnih sredstava.

3. BORBENE SIMULACIJE VISOKE REZOLUCIJE

3.1. Definicija i osnovna svojstva

Za razliku od simulatora, čiji je bitan aspekt fizička sličnost sa stvarnim sustavom radi razvoja fizičko-motoričkih sposobnosti vježbenika, simulacije borbenih djelovanja su prvenstveno namijenjene za generiranje informacija koje potiču razvoj spoznajnih sposobnosti korisnika. Terminološki, prema važećim stručnim rječnicima američke vojske (*Glossary of DoD M&S Terms*, 1997.), model je fizička, matematička, logička ili druga reprezentacija nekog sustava, entiteta, fenomena ili procesa. Simulacijski model je model kojim se kroz eksperimente mogu pratiti vremenske promjene stanja sustava. Za tu namjenu upotrebljavaju se prvenstveno matematički i logički modeli. Termin 'simulacija' koristi se kao oznaka za proces eksperimentiranja sa simulacijskim modelom. U širem značenju može se upotrebljavati kao naziv za kompjutorske programe za provedbu simulacija, te za simulacijske igre u kojima igrači nastoje postići zadane ciljeve poštujući postavljena pravila.

U kontekstu borbenog modeliranja i simulacija, simulacije visoke rezolucije su karakterizirane prikazom velikog broja pojedinačnih oružnih sustava. Najmanji detalji (entiteti) u modelima visoke rezolucije otprilike odgovaraju jednom oružnom sustavu ili borbenom timu: nekom borbenom vozilu, pojedinačnom pješaku, manjoj borbenoj skupini s naoružanjem, pojedinačnom transportnom sredstvu i sl. (Hartman, 1985.). U usporedbi s mrežama simulatora, u simulacijama visoke re-

zolicije povećan je opseg modela (tipično je da je modelom obuhvaćen znatno veći broj sustava nego u mreži simulatora), ali je smanjena detaljnost (kod simulatora se eksplicitno vodi računa o pojedinim komponentama i uređajima u svakom sustavu; simulacije visoke rezolucije promatraju pojedini sustav oružja kao cjelinu). Velike su razlike i u načinu prikaza izlaznih rezultata i interakcije s korisnikom.

Kompjutorske simulacije visoke rezolucije predstavljaju jeftino informacijsko-logičko okruženje koje postavlja izazove i poticaje za učenje zapovjednicima i članovima stožera taktičkih postrojbi, prvenstveno bojni i brigada. Kao što je za obuku pilota ili članova tenkofske posade važno da simulator bude vjerna replika tehničkog sustava za kojeg se provodi obuka, tako je za obuku zapovjednika važno da simulacija pruži vjernu repliku informacija (i poluinformacija) kakve bi zapovjednik u stvarnosti dobivao i na temelju kojih bi morao donositi odluke. Međutim, simulacije se mogu koristiti i kao alati za provedbu analiza i potporu odlučivanju, jer omogućuju vjerodostojno ispitivanje različitih zamisli i stjecanje uvida u ponašanje realističnih postrojbi bez potrebe za provedbom eksperimenata na terenu. U stvarnosti je vrlo skupo, najčešće i nemoguće eksperimentirati s cijelim bojnama ili brigadama, a u mnogim slučajevima trebalo bi pokrenuti nešto kao 'probni rat' da bi se ispitale određene hipoteze. Zanimljivo je da je razvoj simulacijskih modela visoke rezolucije bio potaknut analitičkim potrebama. Tek su se mnogo kasnije takve simulacije počele koristiti i u programima obuke časnika, koji su nama, danas, u Hrvatskoj, mnogo bliskiji i lakše shvatljivi.

3.2. Razvoj simulacijskih sustava visoke rezolucije

Početak razvoja kompjutorskih simulacija visoke rezolucije može se smjestiti u 50-e i 60-e godine 20. st., kad su nastali prvi kompjutorski simulacijski modeli namijenjeni planiranju i istraživanju nuklearnog sukoba (Davis, 1995.). Tim se simulacijama, npr., pokušalo doći do procjene broja strateških bombardera i nuklearnih projektila koji bi uspjeli proći kroz protivnički obrambeni štit i isporučiti bojne glave na zadane ciljeve. Izrađivane su i simulacije konvencionalnog ratovanja, kao primjerice model DYNTACS. Zbog prvenstvene analitičke namjene, ti su se modeli redovito izvršavali u zatvorenoj petlji. Analitičar bi unaprijed definirao scenarij, a računalo je određivalo tijek i ishod cijele operacije bez mogućnosti analitičara da za vrijeme simulacije mijenja planove, zapovijeda postrojbama ili na bilo koji način utječe na eksperiment. Interaktivni modeli počinju se izrađivati sredinom 70-ih 20. st., a u to vrijeme nastaje i JANUS, koji je danas u svijetu bez premca najrašireniji i najpoznatiji simulacijski sustav ove razine. JANUS donosi značajnu novost u kompjutorske simulacije: korištenje kompjutorske grafike. Početkom 80-ih 20. st. omogućen je interaktivni rad na JANUS-u i time je JANUS postao i sredstvo za obuku časnika. Trenutno je u upotrebi JANUS verzija 7 koja se koristi u brojnim europskim zemljama, Australiji, Kanadi, Izraelu, i, naravno, u svojoj domovini SAD-u. JANUS-u su slični i noviji američki simulacijski sustav JTS (Joint Tactical Simulation), izraelski ABS 2000 (Army Battlefield Simulation), i njemački HORUS, a vlastite simulacijske pakete sličnih karak-

teristika proizvele su i Nizozemska, Velika Britanija, Južna Afrika, Švedska, pa čak i Čile (Jane's Simulation and Training Systems, 1999.).

3.3. Upotreba

Obuka zapovjednika i stožera taktičkih postrojbi. Kad se govori o provedbi obuke uz pomoć kompjutorskih simulacija, najčešće je prva predodžba da zapovjednik sjedi pred računalom, na ekranu prati razvoj situacije i povremeno mišem ili preko tastature unosi svoje zapovijedi u kompjutor. To otprilike odgovara načinu na koji se igraju kompjutorske ratne igre namijenjene za široko tržište, poput već klasičnog Panzer Generala ili Close Combata. U nekim slučajevima, kao što je upotreba simulacija u nastavi taktike u vojnim školama, moguće je organizirati obuku na takav način; u najvećem broju slučajeva takva obuka ne bi bila učinkovita.

Osnovni je cilj pri obuci uz pomoć simulacija visoke rezolucije postići da svi elementi stožera uvježbaju standardne procedure i načine koordinacije prilikom izvođenja borbenih djelovanja. Te su procedure definirane popisom zadaća koje postrojba treba uvježbati (*Borbeno usredotočena obuka*, 1996). Npr., personalni časnik i njegova skupina uvježbavaju sve poslove upravljanja osobljem, evidencije gubitaka, popune postrojbi i sl., koje bi obavljali u borbi. Tako se uvježbavaju i drugi članovi stožera i zapovjednik koji na temelju dostupnih informacija donosi odgovarajuće odluke. Časnike pri tome ne smije ometati ili zbunjivati prisutnost tehnologije kojom ne raspolažu u borbi – oni moraju biti maksimalno koncentrirani da svoj posao obave onim sredstvima kojima je njihova postrojba doista opremljena. Zbog toga se na vježbama uz pomoć kompjutorskih simulacija uvježbavani stožer smješta u prostor sličan stvarnom zapovjednom mjestu: na zidovima se vode radne karte, koriste se induktorski telefoni i radiouređaji, namještaj je vrlo jednostavan, ponekad napravljen od priručnih elemenata, a računala, čak i u američkoj vojsci, jedva su prisutna.

Sve informacije koje tijekom vježbe dolaze u stožer i odlaze iz njega šalju se isključivo formacijskim sredstvima veze, a na drugoj ih strani primaju igrači uloga koji u vježbi služe kao pomoćno osoblje. Uloga ima više vrsta. Jedan dio igrača glumi zapovjednike podređenih postrojbi u skladu s namjenskom organizacijom snaga, npr., tri manevarske i jednu ili dvije topničke, te logističku postrojbu. Skupina igrača uloga glumi nadređeno zapovjedništvo i postrojbe potpore koje su podređene višem zapovjedništvu. Neki igrači preuzimaju ulogu susjednih postrojbi iste razine. Za razliku od stožera koji se uvježbava, igrači uloga imaju direktan uvid i mogućnost komunikacije s računalom. Oni u grupama od po dvojica ili trojica sjede pred kompjutorskim terminalima, prate situaciju na karti i u tabličnim prikazima, u skladu sa svojom ulogom sastavljaju odgovarajuća taktička izvješća i postavljaju zahtjeve stožeru koji se uvježbava te prenose primljene zapovijedi u računalu. Na temelju primljenih zapovijedi, strukture snaga, konfiguracije terena i stotina drugih parametara koji se unaprijed određuju ili se dinamički mijenjaju, računalu određuje trenutno stanje na bojišnici, prikazuje ga igračima uloga, koji dobivene

informacije mogu proslijediti stožeru... i tako dalje, sve dok operacija ne bude završena ili voditelj vježbe ne odluči prekinuti izvedbu simulacije.

U ovaj proces uključene su još neke skupine sudionika. To su, ponajprije, voditelj vježbe i skupina nadziratelja koji prate rad stožera i razvoj situacije te pripremaju raščlambe djelovanja. Tek se u raščlambi nakon vježbe, kad svi sudionici 'hladne glave' analiziraju što se dešavalo i kako su reagirali, postiže pravi efekt učenja. U vježbi, zatim, sudjeluje i skupina koja upravlja protivničkim snagama (najčešće govorimo o 'crvenima'). To su profesionalci upućeni u taktiku i način razmišljanja potencijalnog neprijatelja, koji prema uputama voditelja vježbe zapovijedaju simuliranim protivnikom. Bitno je da se 'crveni' u igri ne zanese, nego da vuče one poteze koji će 'plavome' omogućiti najbolje poticaje za učenje. No, s obzirom na to da 'plavi' na vježbu dolaze najviše jednom godišnje, a 'crveni' se ne mijenjaju, protivničku grupu u simulacijskom središtu nije lako pobijediti. U vježbi mogu sudjelovati i profesionalni operateri kako bi igračima uloga koji dolaze iz postrojbi olakšali rad s računalom. Vježbu prati i tehničko osoblje zaduženo za održavanje kompjutorskog sustava i ostalih tehničkih pomagala.

Obuka zapovjedništava pomoću kompjutorskih simulacija kombinira se s ostalim oblicima obuke i profesionalnog razvoja časnika. Uz individualno učenje i tečajeve za profesionalno usavršavanje važna je provedba uobičajenih stožernih trenaža u postrojbi. Obuka na kompjutorskim simulacijama spada u višu razinu obuke, koja zahtijeva i korištenje posebnih resursa, dostupnih u našem slučaju samo na razini cijelih Oružanih snaga. Zato se za takvu obuku treba što bolje pripremiti, kako bi vrijeme provedeno na simulacijama bilo kvalitetno iskorišteno. Najviša razina obuke časnika provodi se u središtima za borbenu obuku, u kojima na stvarnom terenu cijela postrojba, npr. bojna, sinkronizirano izvodi borbena djelovanja na terenu protiv fizički prisutnog neprijatelja. Takva je obuka, naravno, i najskuplja, a postrojbe su vrlo rijetko u prilici da izvode tu vrstu vježbi.

Analize. Kao što smo već spomenuli, govoreći o razvitku borbenih modela visoke rezolucije, njihova je prva upotreba bila u analitičke svrhe. Simulacije visoke rezolucije mogu se koristiti za širok spektar analitičkih problema, od dizajna novih oružja i donošenja odluka o opremanju, preko ispitivanja novih taktičkih i operativnih rješenja do pripreme i procjene konkretnih operativnih planova.

Kao tipičan primjer analitičkog problema pogodnog za ispitivanje kompjutorskim simulacijama visoke rezolucije možemo uzeti odabir željenih karakteristika novog oružnog sustava. Vojni stručnjaci definiraju određene taktičke i tehničke zahtjeve koje novi sustav treba zadovoljavati. Na tržištu je najčešće moguće pronaći više sustava koji svi djelomično ispunjavaju tražene zahtjeve, a svaki ima i neke dobre karakteristike koje nisu bile zahtijevane. Pitanje je koji od tih sustava treba odabrati i uvrstiti u programe nabave (sličan problem javlja se kod razvoja oružja, kada tehnologija nudi razne opcije između kojih treba postaviti prioritete). Bobbene simulacije visoke rezolucije omogućuju ispitivanje ponašanja novih sustava na bojištu i njihovog utjecaja na ukupnu efikasnost snaga. Pojedino oružje u njima je opisano relativno detaljno, tako da se promjene u nekim karakteristikama oružja reflektiraju na ukupan rezultat simulacije. S druge strane, u simulacijama visoke rezolucije

reprezentiran je velik broj oružja i svi borbeni operativni sustavi koji se nalaze u sastavu bojne ili brigade, tako da simulacijski eksperimenti mogu pokazati kako promjena jednog oružja utječe na sposobnost cijele postrojbe.

Jedan od standardnih postupaka analize započeo bi definiranjem skupine scenarija koji uključuju razne terene, sastave snaga, tipove zadaća i dr. Na svakom od tih scenarija u simulaciji bi se ispitalo ponašanje svih tipova oružja koje razmatramo (npr. efikasnost djelovanja po oružnim sustavima neprijatelja, srednje vrijeme preživljavanja, sposobnost otkrivanja neprijatelja, izloženost detekciji, potrošnja goriva i streljiva, manevarske mogućnosti...), ali bi se vodilo računa i o ukupnoj performansi postrojbe, izraženoj kroz ukupne gubitke, ispunjenje borbene zadaće, vrijeme potrebno za ispunjenje zadaće, i sl. Dobiveni rezultati zatim se sistematiziraju, a cijela analiza je dobar temelj za sužavanje izbora na manji broj sustava i za usmjeravanje daljnjih ispitivanja na kritična svojstva tih sustava.

Kod upotrebe simulacija u analitičke svrhe naglasak je na mogućnosti reprodukcije eksperimenata i rezultata, na mogućnosti izvedbe velikog broja eksperimenata u kratkom vremenu, i na egzaktnim, numeričkim izlazima iz modela. I danas se od analitičkog modela očekuju takve karakteristike. Da bi eksperimenti bili ponovljivi, u analitičke svrhe se ne koriste brojni igrači uloga, nego se unaprijed zadaju detaljni scenariji po kojima se provodi simulacija. Cijeli eksperiment provodi i nadzire jedan čovjek ili mala skupina analitičara, najčešće na jednom računalu. Simulacija se provodi korak po korak, i ne vodi se računa o tome da proračun svakog koraka traje onoliko vremena koliko bi određena aktivnost trajala u stvarnosti (simulacije za obuku najčešće se izvode u stvarnom vremenu).

Nakon svakog koraka analitičar može zaustaviti izvođenje simulacije, detaljno ispitati stanje značajnih varijabli, eventualno promijeniti parametre scenarija, i po želji nastaviti eksperiment. Umjesto 'velike slike' stanja na bojištu prikazane na karti, njegova pažnja je prvenstveno usmjerena na točno određene numeričke varijable koje su usko povezane s pitanjem ili hipotezom koja se analitičkom studijom ispituje. Ovisno o rezultatima eksperimenta, vrlo je vjerojatno da će ga slijediti cijeli niz novih eksperimenata s promijenjenim početnim uvjetima, kako bi se ispitala osjetljivost rješenja ili karakteristike faznog prostora. Treba naglasiti da ovakvi eksperimenti najčešće daju intuitivno očekivane rezultate – to je, na neki način, potvrda da simulacijski model ima smisla. Ako je rezultat neobičan, kontraintuitivan, moguće je da je model loš ili da se koristi na neprimjeren način. Kada pravilno korištenje modela dovede do neočekivanih rezultata, analitičar je na pragu novih spoznaja, u čemu je i smisao upotrebe simulacija u analitičke svrhe.

3.4. Komponente simulacijskog sustava

Hardverski elementi. Simulacijski sustavi visoke rezolucije ne zahtijevaju korištenje posebnog hardvera. Ovisno o operativnom sustavu za kojega su prilagođeni, mogu se izvoditi na PC računalima ili radnim stanicama. Zbog potrebe da veći broj igrača uloga istovremeno unosi podatke i prati rad simulacije, u obuci se simulacije provode na mreži računala. Uobičajeno je da se za nove simulacije u najrazvijenijim

zemljama zahtijeva interoperabilnost sa standardnom opremom za zapovijedanje i nadzor. U tom slučaju simulacijski hardver mora biti kompatibilan s borbenim C2 sustavima, što je nemoguće postići bez standardizacije zapovjedno-komunikacijske opreme.

Matematički modeli. Matematički model borbenih djelovanja ugrađen u simulacije visoke rezolucije reprezentira aktivnosti stotina ili tisuća vojnika koje sudjeluju u operaciji razine bojne i brigade, a uz to simulira prirodne zakone i tehničke karakteristike oružnih sustava koje koriste snage na bojištu. Tako, na primjer, kompjutor određuje prohodnost terena, brzinu kretanja pojedinih vozila, ispituje postojanje neometane crte vidljivosti između dva objekta ili sustava na bojištu, određuje vjerojatnost da je neki sustav uočio protivnika, brzinu otvaranja paljbe i točnost pogađanja, učinak paljbe, količine raspoloživog goriva i streljiva, postojanje uvjeta za uspostavu radiokomunikacije, itd. Princip u provedbi simulacije je da računalo svakih nekoliko desetaka sekundi ažurira stanje svih oružnih sustava u virtualnom svijetu, određujući njihov položaj, oštećenja, informacije koje imaju o svojoj okolini i proračunavajući sve druge karakteristike bojišnice. Prilikom provedbe ovih proračuna uzimaju se u obzir i zapovijedi koje su igrači uloga unijeli u kompjutor a odnose se na pojedine oružne sustave. Kad se račun provede, informacije o novom stanju na bojištu prikazuju se igračima uloga u grafičkom ili tabličnom obliku.

Za sve se ove proračune uglavnom koriste stohastički matematički modeli, bazirani na vjerojatnosnim funkcijama distribucije za određene događaje (Sackett, 1997.). Na primjer, u modelu može biti zadano rasipanje projektila određenog tipa pri indirektoj paljbi. Tada se pri proračunu efekata paljbe na temelju distribucije rasipanja najprije određuje točka udara projektila. Zbog stohastičkih elemenata u modelu sljedeći projektil neće pasti na isto mjesto, nego će biti pomaknut i u odnosu na točku ciljanja i u odnosu na mjesto udara prethodnog projektila. Na sličan se način određuje je li cilj pogođen kod direktne paljbe, koji je učinak pogotka, kojom se brzinom neko vozilo kreće, je li jedan sustav uspio detektirati druge sustave u svojoj okolini... S obzirom na to da se radi o modelima visoke rezolucije, u kojima računalo eksplicitno vodi računa o pojedinim oružnim sustavima, odabir stohastičkih algoritama je prirodan jer omogućuje dobru reprezentaciju razlika u ponašanju i uspješnosti pojedinaca u borbenim djelovanjima, a ne zahtijeva preveliku procesorsku snagu. Kod agregiranih simulacija, o kojima govorimo u sljedećem poglavlju, uglavnom se koriste deterministički modeli, jer se smatra da zbog velikog broja interakcija među entitetima individualne razlike bitno ne utječu na ukupni ishod djelovanja, koji najviše ovisi o prosječnim karakteristikama svih sudionika u borbi.

Utemeljenost modela. Matematički modeli borbenih djelovanja koji se koriste u simulacijama visoke rezolucije temelje se na statistički obrađenim rezultatima eksperimenata s pojedinim oružjima na terenu, na tehničko-taktičkim specifikacijama i na eksperimentima izvedenima uz pomoć vrlo preciznih inženjerskih modela. Visoka rezolucija modela i velik broj oružnih sustava koje simulacijski modeli visoke rezolucije u pravilu uključuju zahtijevaju i poznavanje velikog broja numeričkih parametara kojima je opisano ponašanje pojedinih oružnih sustava. Ti parametri mogu djelomično proizlaziti iz standarda za provedbu taktičkih radnji (ako takvi

standardi postoje), a djelomično ovise o karakteristikama tehničkih sredstava i opreme. Dijelovi modela koji se odnose na tehničke karakteristike oružnih sustava i na fizičku okolinu bojišta načelno su dobro utemeljeni na znanstvenim i tehničkim spoznajama, i u tom su segmenti modeli visoke rezolucije vjerodostojni. Nešto je problematičnije modeliranje ljudskog ponašanja i odlučivanja, koje se također pojavljuje u simulacijama visoke rezolucije. Ti su fenomeni slabije istraženi, teže je s njima eksperimentirati, i to predstavlja jedno od glavnih područja istraživanja u okviru znanstvenog rada na modeliranju borbenih djelovanja.

3.5. Stanje u Republici Hrvatskoj

Kod nas postoji razmjerno dobro teoretsko poznavanje pojedinih elemenata borbenih modela visoke rezolucije kakvi su ugrađeni u JANUS i slične simulacijske pakete. To je poznavanje dovoljno dobro za potporu Simulacijskom središtu i za provedbu analiza bez opasnosti da se neki model koristi na pogrešan način. Međutim, određivanje parametara pojedinih oružja koje bi trebalo poznavati u razvoju vlastitog modela ove razine bilo bi teže provesti, jer bi to zahtijevalo organizaciju brojnih i skupih eksperimenata na terenu.

4. AGREGIRANI MODELI BORBENIH DJELOVANJA

4.1. Definicija i osnovna svojstva

Agregirani modeli borbenih djelovanja, ili borbeni modeli višeg reda, su kompjutorski modeli borbenih djelovanja koji reprezentiraju borbene elemente, njihove funkcije, interakcije i okolinu u kojoj se oni nalaze na agregiran (združen) način. Takvi modeli kao jedinstvene entitete prikazuju cijele postrojbe. Postrojbe su modelirane kao prosjek ili zbroj karakteristika sustava kojima su opremljene. Uobičajeno se smatra da je bojna najmanja razina postrojbe koju agregirani modeli mogu vjerodostojno prikazati kao posebnu cjelinu. Prostorna rezolucija agregiranih modela u pravilu je grublja od 100 m (može, na primjer, biti 3 km), a simulacija pomoću takvog modela izvodi se redovito brže od stvarnog vremena (npr. sve proračune koji se odnose na jedan dan, operacija računalo izvršava za nekoliko sekundi ili minuta) (*Glossary of DoD M&S Terms*, 1997.).

Agregirani modeli prikazuju operacije na cijelim bojištima u kojima može sudjelovati više korpusa ili divizija. Stoga oni na neki način moraju uključivati sve sustave koje postrojbe te razine koriste na bojištu. Uz efekte direktne i indirektna paljbe i kretanja po terenu, agregirani modeli uključuju i zračna djelovanja, logističku potporu, sustave zapovijedanja i nadzora na svim razinama, i sl. Stoga su ovakvi modeli pogodni za provedbu analiza i obuku za najvišu razinu zapovijedanja, na kojoj nije bitno što radi ili gdje se nalazi svaki pojedinac, nego je li cijeli obrambeni sustav sposoban izvršiti postavljenu stratešku zadaću.

4.2. Razvoj agregiranih modela

Prvi agregirani modeli borbenih djelovanja objavljeni su početkom dvadesetog stoljeća u radovima F. W. Lanchestera u Velikoj Britaniji (Lanchester, 1995) i M. Osipova u Rusiji. Ti su modeli bili izraženi u obliku para diferencijalnih jednadžbi koje opisuju ovisnost gubitaka zaraćenih strana o njihovom broju i jačini. Ovisno o tome radi li se o direktnoj paljbi u kojoj su ciljevi poznati ili o indirektnoj paljbi kojom se pokriva cijelo područje na kojem je protivnik raspoređen, ovaj sustav jednadžbi pojavljuje se u dva oblika, tzv. Lanchesterovom kvadratičnom i linearnom zakonu. Lanchesterov kvadratični zakon predstavlja teorijsko objašnjenje poznatog strateškog principa koncentracije snaga.

Prvi pokušaji agregatnog modeliranja sukoba imali su dva značajna nedostatka. S jedne strane, promatrali su borbu kao trajnu aktivnost koja se dulje vrijeme odvija pod nepromijenjenim uvjetima, kao da, na primjer, zapovjednici nemaju mogućnost manevriranja snagama. S druge strane, kao jedan od osnovnih parametara koristili su 'indeks snage' ili 'jačinu' sukobljenih strana. Taj parametar možda ima intuitivnu utemeljenost, ali formalno nije dobro definiran. U kasnijem razvoju agregatnih modela, koji je značajno napredovao 50-ih 20. st., te se nedostatke nastojalo ukloniti na razne načine. Pojava moćnih strojeva za računanje omogućila je da se sa zatvorenog statičnog modela, čije je rješenje moguće izraziti u obliku jedne matematičke funkcije, prijeđe na simulacijski model, čije rješenje dobivamo aproksimativnim iterativnim rješavanjem jednadžbi promatrajući evoluciju sustava u vremenu. Na taj način eliminiran je prvi nedostatak Lanchesterovih jednadžbi.

Za što preciznije određivanje agregatne jačine snaga smišljeni su razni postupci. Osnovna im je ideja da se svakom oružnom sustavu na neki način pridruži indeks jačine, da se zatim jačine svih oružja u postrojbi zbroje i eventualno modificiraju ovisno o taktičkoj situaciji na terenu. Kasnije ćemo (na primjeru metodologije situacijskog vrednovanja snaga – *Situational Force Scoring*) pokazati da implementacija tako jednostavne ideje zahtijeva prilično složene računalne algoritme i procedure. Sve te procedure smišljene su sa svrhom da uspostave jasne veze između jačine cijele postrojbe i mjerivih karakteristika njenih sastavnih dijelova.

Za razliku od modela visoke rezolucije, od kojih je JANUS daleko najrašireniji u svijetu, među agregiranim modelima ne postoji jedan koji se dominantno koristi u brojnim zemljama. Kao jedan od ranijih kompjutorskih simulacijskih modela poznat je ATLAS, izrađen sredinom šezdesetih godina 20. st. Zanimljivo je spomenuti i tzv. *Quantified Judgement Model* (QJM), kojega je umirovljeni američki pukovnik Trevor N. Dupuy izradio na pomalo amaterski način temeljem svojih detaljnih proučavanja brojnih bitaka iz povijesti (Dupuy, 1985.). Više od samih jednadžbi, uvođenje tzv. 'mekanih' kvalitativnih faktora u model i numerički povijesni podaci koje je pukovnik Dupuy skupio kroz svoju organizaciju HERO (kasnije *Dupuy Institute*) bili su vrijedan doprinos u testiranju i unapređivanju drugih agregiranih modela. Većina zemalja koja koristi simulacije visoke rezolucije, danas za određene namjene koristi i neki od agregiranih modela niske rezolucije.

4.3. Upotreba

Obuka i školovanje časnika. Agregirani modeli borbenih djelovanja koriste se u obuci visokih časnika i njihovih zapovjedništava na sličan način kao što se za obuku zapovjedništava razine brigade ili bojne koriste modeli visoke rezolucije. Za potrebe obuke izrađuju se posebno dizajnirane simulacije, koje imaju mogućnost distribuiranog interaktivnog rada kako bi igrači uloga mogli obavljati svoje zadaće na vježbi. Neki od takvih programskih simulacijskih paketa su američki *Corps Battle Simulation* (CBS) namijenjen za obuku časnika na razini zapovjedništva divizije, korpusa i armije, te *Joint Theater Level Simulation* (JTLS) namijenjen za obuku zapovjedništava združenih snaga. Pri provedbi vježbe ovakvi se modeli često povezuju sa specijaliziranim simulacijama za aktivnosti poput obavještajnog rada, logistike ili aktivnosti ratnog zrakoplovstva, a u organizaciji i provedbi vježbe ove razine može biti angažirano i više stotina osoba. Na primjer, glavno simulacijsko središte američkih kopnenih i zračnih snaga u Europi, *Warrior Preparation Center* (Ramstein, Njemačka), svake godine organizira jednu vježbu koju vodi general s dvije, i jednu koju vodi general s četiri zvjezdice. U takvim vježbama povezano je više kompjutorskih agregiranih modela različite namjene, od CBS-a za kopnene operacije, preko AWSIM-a i RESA-e za zračne i pomorske operacije te MTWS-a za operacije mornaričkog pješništva, do CSSTSS-a za logistiku, JECWSI-a za elektronsko djelovanje, TACSIM-a za informacijske operacije i PSM-a za strategijske komunikacije i operacije u svemiru (Loughran et al., 1999.). Nije rijetkost da se u ovakvim vježbama jedan manji dio scenarija odigrava i s pravim postrojbama, na primjer s nekim flotnim sastavom.

Suvremene potrebe obuke i uvježbavanja časnika zahtijevaju od agregiranih modela i mogućnost simulacija operacija koje nisu ratne (operacija uspostave i održavanja mira, humanitarnih operacija i sl.). Na primjer, simulacijski model WAR-SIM 2000, čiji je razvoj pri kraju, a za kojeg se očekuje da će oko 2003. godine zamijeniti model CBS u američkim oružanim snagama, posjedovat će mogućnost reprezentiranja desetak različitih strana uključenih u operaciju (mirovne snage, lokalno stanovništvo, lokalne vojne ili druge naoružane skupine, članovi međunarodnih humanitarnih organizacija i dr.). Svrha ovakvih modela jest priprema časnika koji će zapovijedati u neborbenim operacijama na vrlo složene uvjete na terenu u kojima će donositi odluke i te koordinirati aktivnosti – bilo međusobno, bilo s civilnim organizacijama. Da bi potrebnim stupnjem realističnosti prikazali društvene prilike u području provedbe operacija, simulacijski paketi za neborbene operacije moraju biti opremljeni ne samo modelima borbenih djelovanja, već i ekonomskim, sociološkim, kulturološkim i drugim elementima.

Nasuprot velikim i skupim vježbama, agregirane je modele također moguće koristiti u školovanju na visokim vojnim školama u mnogo jednostavnijoj postavi. U tom je slučaju i svrha korištenja modela drugačija: dok u velikim vježbama treba uskladiti rad cijelog zapovjedništva bojišta i svih podređenih postrojbi, u okviru nastave cilj je polaznicima demonstrirati neki strategijski princip ili operativni plan. Stoga su simulacijski paketi za nastavne potrebe izgrađeni tako da budu jednostavni i pregledni. U ovom se slučaju ne zahtijeva distribuirano izvođenje i mogućnost

da stotine osoba istovremeno komuniciraju s računalnim sustavom, nego da jedna osoba lako postavi scenarij i upravlja eksperimentom. No bez obzira na jednostavnost sučelja, matematički formalizam koji je ugrađen u model može i u ovom slučaju biti vrlo kompleksan.

Analize. Agregirani modeli i simulacije borbenih djelovanja su zapravo jedini formalni alat za provedbu analiza vezanih uz planiranje i upravljanje cijelim oružanim snagama ili svim snagama na velikom bojištu. Način provedbe analiza sličan je kao kod izrade analitičkih studija pomoću simulacija visoke rezolucije, ali su problemi koji se analiziraju drugačiji. Naglasak se s karakteristika pojedinog oružja pomiče na kapacitete cjeline snaga kroz dulje razdoblje. Agregirane simulacije, pravilno upotrijebljene i kombinirane s ekspertnim procjenama, mogu dati važne uvide vezane uz ukupnu sposobnost oružanih snaga da izvrše postavljene zadaće, uz potrebnu veličinu snaga, zastupljenost pojedinih rodova i tipova postrojbi, organizaciju logistike, sposobnost dugotrajnog vođenja operacija i slično. Poznato je, na primjer, da su koalicijske snage, a posebno Amerikanci, intenzivno koristili kompjutorske simulacije (npr. modele CEM i CBS) u analizama i pripremi operacija u Zaljevskom ratu 1991. godine. S obzirom na karakter tih operacija, veličinu bojišta i brojnost uključenih snaga, u tome su najznačajniju ulogu odigrale upravo agregirane simulacije borbenih djelovanja.

Za uspješnu provedbu analiza treba imati odgovarajuće modele koji su temeljito ispitani i vrednovani i koje treba koristiti na pravilan način i kombinirati s ekspertnim procjenama. Da bi neko istraživanje rezultiralo valjanim zaključcima, nije dovoljno koristiti kompjutor, no korištenje kompjutorskih modela može pomoći da se problem pravilno definira, da se jasno odrede pretpostavke i ograničenja analize, da se prikupe valjani ulazni podaci i provjeri njihova kvaliteta te da se rezultat izvede na temelju dokumentiranog i transparentnog (iako možda vrlo kompliciranog) računskog procesa. Takva upotreba modela u analitičkim studijama garantira da će rezultati biti kvalitetniji nego oni koji bi se u većini slučajeva dobili samo oslanjanjem na intuiciju i iskustvo pojedinaca.

4.4. Komponente simulacijskog sustava

Hardverski elementi. S obzirom na procesorsku snagu današnjih računala, za rad s agregiranim modelima borbenih djelovanja najčešće ne postoje posebni zahtjevi u smislu hardverskih komponenti sa specijalnim karakteristikama. Moguće je jedino da neki simulacijski sustavi ove razine, zbog toga što su razvijeni prije petnaestak i više godina a u međuvremenu nisu prilagođeni za rad na novijim računalnim konfiguracijama, rade isključivo na zastarjelim kompjutorskim sustavima poput VAX računala. Ukoliko se radi o sustavu namijenjenom za obuku, potrebno je osigurati odgovarajuću kompjutorsku mrežu. Nove je simulacijske pakete moguće od samog početka implementirati tako da rade na PC računalima standardne konfiguracije kao jedan u nizu programskih alata na radnom stolu analitičara ili nastavnika.

Matematički model. Prilikom dizajna agregiranih modela borbenih djelovanja postavljaju se dva osnovna problema. Prvi je problem određivanje agregatne snage

pojedinih entiteta – postrojbe veličine bojne ili veće – u danoj taktičkoj situaciji na temelju njezine obučenosti, opremljenosti, popunjenosti, pripremljenosti, motivacije vojnika, iscrpljenosti i drugih karakteristika. Drugi je problem određivanje gubitaka i pomaka bojišta kad se dvije postrojbe sukobe. Na osnovu akumuliranog vojničkog iskustva i povijesnih podataka o stvarnim vojnim operacijama pretpostavlja se da gubici ovise prvenstveno o omjeru snaga sukobljenih strana koji je izračunat u prvom dijelu algoritma. Da bismo detaljnije objasnili spomenute elemente modela, ukratko ćemo opisati princip na kojem se zasniva *Situational Force Scoring* (SFS) metodologija koju u svojim agregiranim modelima RSAS i JICM koristi američka korporacija RAND (Allen, 1992.; Wilson i Fox, 1995.).

Osnovni ulazni podaci za SFS su brojnost i tip pojedinih vrsta oružja kojima sukobljene strane raspolažu. Model vodi računa o desetak vrsta oružnih sustava: od tenkova, raznih vrsta oklopnih vozila, nekoliko vrsta pješačkog oružja, do topničkih i raketnih sustava. Unutar svake vrste oružja, sustavima pojedinog tipa pridružena je osnovna jačina prema njihovim taktičko-tehničkim karakteristikama. Na primjer, može se uzeti da tenk M1A1 ima jačinu 6.5, tenk T-72 5, vučena haubica 155mm 1.4, a automatska puška 0.15. Zbrajanjem jačine svih oružja kojima postrojba raspolaže dobiva se osnovna jačina postrojbe. Ta se jačina množi faktorom popunjenosti (ako nedostaje logističke potpore, postrojba je slabija) i faktorom efikasnosti koji uključuje izvježbanost, moral, umor, pripremljenost za provedbu operacije i sl. U sljedećem koraku jačina postrojbe se modificira prema terenu na kojem postrojba djeluje i prema vrsti operacije u kojoj sudjeluje. Na taj način model uvažava činjenicu da su pješačka oružja efikasnija u bliskoj borbi u urbanom ili planinskom području, a da su oklopna sredstva efikasnija na otvorenom terenu. Isto tako, zbog svoje pokretljivosti i paljbene moći, mehanizirani sustavi mogu biti značajniji za napadača nego za branitelja.

U sljedećem koraku promatra se sastav snaga. Ukoliko su snage neproporcionalnog sastava, na primjer ako sadrže mnogo oklopa a malo pješaštva, ukupna jačina snaga se smanjuje. Naime, oklop bez pješačke potpore nije jednako efikasan kao oklop s odgovarajućom potporom. Isto tako ispituje se da li pojedina strana u sukobu ima dovoljno sredstava da se suprotstavi oklopu, pješaštvu i topništvu druge strane. Ako 'plavi' ima mnogo protuoklopnih sustava, a 'crveni' ne napada s oklopnim snagama, protuoklopna sredstva 'plavoga' neće biti u potpunosti iskorištena. Uzimajući u obzir sve ove modifikacije, određuje se ukupna jačina svake strane u danoj taktičkoj situaciji.

U drugom dijelu algoritma računaju se gubici suprotstavljenih strana i pomak bojišnice. Osim omjera snaga, model uzima u obzir teren na kojem se sukob odvija, vrstu bitke (susret, proboj obrambenih linija, napad na statičnu obranu ili na postrojbu u povlačenju, statični sukob...), intenzitet napada, pripremljenost obrambenih položaja i još neke faktore. U ovom se koraku pomoću diferencijalnih jednadžbi najprije proračunavaju ukupni gubici svake strane, a zatim se gubici razmjerno dijele na pojedine vrste oružnih sustava. Cijeli ovaj postupak se u simulaciji provodi svaki put kada se promijene uvjeti na bojištu: kad jedna od strana dovede pojačanje ili povuče neke postrojbe iz kontakta, kad se bitka pomakne na drugi tip terena, kad

neka postrojba bude uništena, itd. Igrači, promatrajući razvoj situacije, mogu tijekom simulacije intervenirati dajući nove zadaće ili mijenjajući planove podređenih postrojbi. Osnovna ideja prikazanog algoritma slična je većini agregiranih modela borbenih djelovanja, iako postoje znatne razlike u načinu određivanja vrijednosti pojedinih oružja, ukupne vrijednosti snaga i gubitaka.

Utemeljenost modela. S pravom se može postaviti pitanje utemeljenosti agregiranih modela vrlo visoke razine. Naime, operacije te razine u stvarnosti se ne vode često, podaci iz stvarnih operacija su manjkavi, a na vježbama uglavnom nije moguće razviti snage takve veličine. Stoga ne postoji dobro organizirana baza eksperimentalnog znanja koja bi mogla poslužiti za razvoj ovih modela, kao što je to slučaj, na primjer, kad se izrađuje model novog oružja pa se provode probna gađanja u raznim uvjetima. Ipak, osnovne formule koje se koriste u agregiranim modelima u skladu su s nakupljenim vojničkim iskustvom, a određene dijelove agregiranih modela moguće je ispitati pomoću simulacija visoke rezolucije. Premise i rezultati agregiranih modela u velikoj su mjeri usklađeni s vojnom intuicijom i s uočenim fenomenima na bojištu, a tijekom godina upotrebe i razvoja modeli su dodatno profinjavani i poboljšavani. U praksi se pokazuje da takvi modeli mogu doista ukazati na neke probleme ili rješenja koja se potvrđuju u kasnije provedenim stvarnim operacijama.

4.5. Stanje u Republici Hrvatskoj

Još je osamdesetih godina 20. st. na tadašnjoj Tehničkoj vojnoj akademiji KoV u Zagrebu djelovala skupina matematičara koja je proučavala agregirane borbene modele Lanchesterovog tipa (Tepeš, 1985.). Novija istraživanja ovog područja omogućuju da se danas u Hrvatskoj razvije vlastiti agregirani borbeni model, koji bi se bazirao na stranim dostignućima modificiranim prema našim nedavnim iskustvima ratovanja u sukobu nižeg intenziteta (Penzar et al., 2000.). Za očekivati je da bi takav model mogao vrlo lako naći primjenu u sustavu školovanja, ali i u nekim drugim segmentima Oružanih snaga.

5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane osnovne karakteristike tri tipa kompjutorskih modela borbenih djelovanja, podijeljenih prema detaljnosti prikaza i opsegu zahvaćene fenomenologije. Simulatori su najdetaljniji i usko fokusirani na jedan oružni sustav. Simulacije niske rezolucije obuhvaćaju tisuće pojedinih sustava najrazličitijih vrsta i tipova, združenih u postrojbe veličine brigade, divizije ili korpusa. Simulacije visoke rezolucije nalaze se negdje između: one vode računa o pojedinačnim sustavima, ali ne i o njihovim detaljima.

U svaki od navedenih tipova simulacija pripadaju brojni programski paketi i matematički formalizmi kreirani na raznim mjestima i za razne namjene. Prilikom upotrebe bilo kojeg modela treba znati koje su mu mogućnosti i ograničenja, kako

se ne bi desilo da umjesto ušteda i kvalitetnih rezultata modeli i simulacije dovedu do pogrešnih zaključaka i loše uvježbanih snaga. To je posebno važno zato jer se ponekad u javnosti o kompjutorskim modelima govori kao o svemoćnom alatu koji (posebno Americancima) omogućuje da sve isplaniraju i pripreme se za svaki izazov, a ponekad se – više privatno i u kuloarima – matematičkim i formalnim modelima negira bilo kakva vrijednost sa stavom da 'sve mi to mnogo bolje znamo napamet'. Treba očekivati da će vrijeme i kod nas pokazati koje su stvarne mogućnosti kompjutorskih modela i simulacija borbenih djelovanja kao pomoćnih sredstava u obuci na različitim razinama, ali i kao alata za analitičku potporu odlučivanju u obrambenom sektoru.

Literatura

- Allen, Patrick (1992.): *Situational Force Scoring: Accounting for Combined Arms Effects in Aggregate Combat Models*, RAND, N-3423-A
- Borbena usredotočena obuka, Ministarstvo obrane RH, Glavni stožer Hrvatske vojske, Sektor za obuku i školstvo, Zagreb, 1996. (prijevod *FM 25-100 Training the Force – Battle Focused Training*, Department of the Army, Washington, D.C., 1990)
- Davis, Paul K. (1995): Distributed Intractive Simulation in the Evolution of DoD Warfare Modeling and Simulation, *Proceedings of the IEEE*, 83(8):1138-1155
- Dupuy, Trevor N. (1985.): *Numbers, Predictions and War*, HERO Books, Fairfax, Virginia
- Glossary of DoD M&S Terms*, Department of Defense Directive 5000.59-M, Defense Modeling and Simulation Office, 1997.
- Hartman, J. K. (1985.): *High Resolution Combat Modeling*, Naval Postgraduate School, Monterey, California
- Jane's Simulation and Training Systems*, Jane's Information Group, 1999.
- Lanchester, Frederick W. (1995.): *Aircraft in Warfare – The Dawn of the Fourth Arm*, Lanchester Press, California (pretisak istoimenog djela izdanog 1916. od Constable & Co., London)
- Loughran, J. J., M. M. Stahl, J. H. Eisenhour, T. J. Hammel, E. Marks (1999.): *Applying Commercial Gaming and Collaboration Technologies to JTF Staff Training*, ThoughtLink Inc.
- Miller, Duncan C. (1995.): SIMNET: The Advent of Simulator Networking, *Proceedings of the IEEE*, 83(8):1114-1123
- Panel on Modeling and Simulation (1997.): Volume 9: Modeling and Simulation, *Technology for the United States Navy and Marine Corps 2000-2035: Becoming a 21st Century Force*, National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Penzar, Dražen, Armano Srbljanović, Ognjen Škunca (2000.): Preliminary Assessment of Situational Force Scoring Methodology for Modeling Lower-Intensity Conflict, Army Operations Research Symposium (AORS) XXXIX, Ft. Lee, Virginia
- Rolfe, J. M. i K. J. Staples (ed.) (1986.): *Flight Simulation*, Cambridge University Press

- Sackett, Diana (1997.): *The JTS Algorithms Manual, Version 1.2.2*, Lawrence Livermore National Laboratory
- Tepeš, Božidar (ur.) (1985.): *Matematičko modeliranje oružane borbe*, Centar vojnih tehničkih škola KoV "General armije Ivan Gošnjak", Zagreb
- Wilson, Barry A. i Daniel B. Fox (1995.): *Ground Combat in the JICM*, RAND, MR-422-NA

COMPUTER WARGAMES: Combat Models and Simulations at Different Levels of Resolution

**Dražen Penzar
Armano Srblić
Ognjen Škunca**

Summary

The paper parallelly presents key characteristics different types of combat models and simulations. Models and simulations are grouped primarily according to resolution into three categories: networked simulators, high-resolution simulations and aggregated simulations. Each type of models is descriptively defined, its short history is given, and its usage for training and analysis is described. Key hardware components and mathematical formalisms used on each level of resolution are mentioned. At the end of each chapter, usage of models and the possibilities to develop such models in Croatia are discussed.

Keywords: combat modeling and simulations, simulators, high resolution simulations, aggregated simulations, SIMNET, JANUS, Situational Force Scoring