



CONSIDERAȚII ASUPRA EVOLUȚIEI MODELĂRII ȘI SIMULĂRILOR MILITARE

VIEWS ON THE EVOLUTION OF MILITARY PLANNING AND SIMULATION

Col.ing.drd. Manuel DOGARU*

Simularea acțiunilor militare a reprezentat o necesitate încă din cele mai vechi timpuri, formarea abilităților de luptători fiind strâns legată de antrenamente și exerciții prin care se imitau luptele reale. Pe măsură ce știința și arta militară au evoluat, simularea a căpătat valențe noi, fiind folosită și în testarea teoriei războiului, asistarea deciziei, achiziții și planificarea apărării.

În acest articol se aduc în atenție câteva aspecte legate de natura și teoriile luptei armate, precum și soluțiile găsite de-a lungul timpului pentru modelarea războiului: modelele analitice matematice, modelele istorice statistice și simulările moderne.

Simulating military actions has been an important element since ancient times, the fighting ability being intricately connected to training and exercises simulating real combat. With the advance of military science, the importance of simulation has increased, being used in testing the theory of war, in decision-making, acquisition and defence planning.

This article focuses on certain aspects regarding the nature and theory of armed combat, as well as on the solutions found to plan wars: mathematical models, historical models and modern simulation.

Cuvinte-cheie: modelare; simulare; cercetare militară operațională; teoria luptei.

Keywords: *planning; simulation; military operationalresearch; combat theory.*

„All but war is simulation”.¹

Modelarea și simularea militară

Simularea acțiunilor militare a reprezentat o necesitate încă din cele mai vechi timpuri, formarea abilităților de luptători fiind strâns legată de antrenamente și exerciții prin care se imitau luptele reale. Pe măsură ce știința și arta militară au evoluat, simularea a căpătat valențe noi, fiind folosită și în testarea teoriei războiului, asistarea deciziei, achiziții și planificarea apărării, așa cum se va vedea mai departe.

Realismul modelelor folosite în simulările militare variază, iar în funcție de scopurile urmărite acestea pot încorpora nu numai factorii militari, ci și factori sociali și politici care își pun amprenta

asupra luptei moderne. De aceea, chiar dacă multe state își bazează testarea și corectarea deciziilor militare și politice pe simulări, există și critici care susțin că folosirea acestor modele produce rezultate inevitabil eronate datorită aproximărilor făcute de modelul folosit².

Ca principiu științific general, cele mai credibile date provin din observații reale, iar cele mai credibile teorii se bazează pe acestea. Aceste date sunt corecte și pot fi folosite în analize militare, aducând realism și posibilitatea de verificare. *Instrucția la material* este, din acest punct de vedere, o simulare, utilizând un mediu operațional mai mult sau mai puțin apropiat de realitatea câmpului de luptă. Această formă de simulare este însă utilizată mai mult pentru crearea unor aptitudini luptătorilor decât pentru testarea sau dezvoltarea unor idei sau concepte. *Exercițiile cu trupe în teren*, chiar și cele

*Universitatea Națională de Apărare „Carol I”
e-mail: dogy64@yahoo.com

reduse ca amploare, nu sunt totdeauna posibile, mai ales din motive financiare, al consumurilor și al resurselor cheltuite, al unor probleme de mediu, culturale sau etice. Reducerea personalului implicat în testarea unor teorii poate fi uneori un lucru convenabil, astfel încât *exercițiile pe hartă* pot simula mediul operațional dintr-un comandament, fără a deplasa fizic și trupele în teren. Pot fi totuși folosite unele celule de răspuns umane și astfel să crească implicarea personalului și eficiența activității, cu avantajul costurilor reduse, unei accesibilități crescute, unei planificări mai simple decât al unei aplicații în teren și asigurării păstrării secretului asupra activității, acolo unde acest aspect este important. Creșterea nivelului de abstractizare poate crește și mai mult, prin utilizarea unor medii virtuale sau sintetice în care să se desfășoare acțiuni

realizarea de studii destinate înțelegerii luptei armate, evaluării capacității de luptă a forțelor, dezvoltării doctrinei și strategiei militare⁴;

- *Suport pentru proiectarea sistemelor de armament și echipamentelor militare* în vederea achizițiilor, dezvoltare și testare de sisteme noi în medii simulate;
- *În sprijinul instruirii și educației* se utilizează simulatoare, medii virtuale de instruire și jocuri din categoria „serious games”.

Modelarea și simularea pot fi privite și ca discipline emergente, bazate pe dezvoltarea unor arii variate ale calculatoarelor, teoriei sistemelor ingineriei sistemelor, ingineriei software inteligenței artificiale etc. Această abordare aduce elemente de

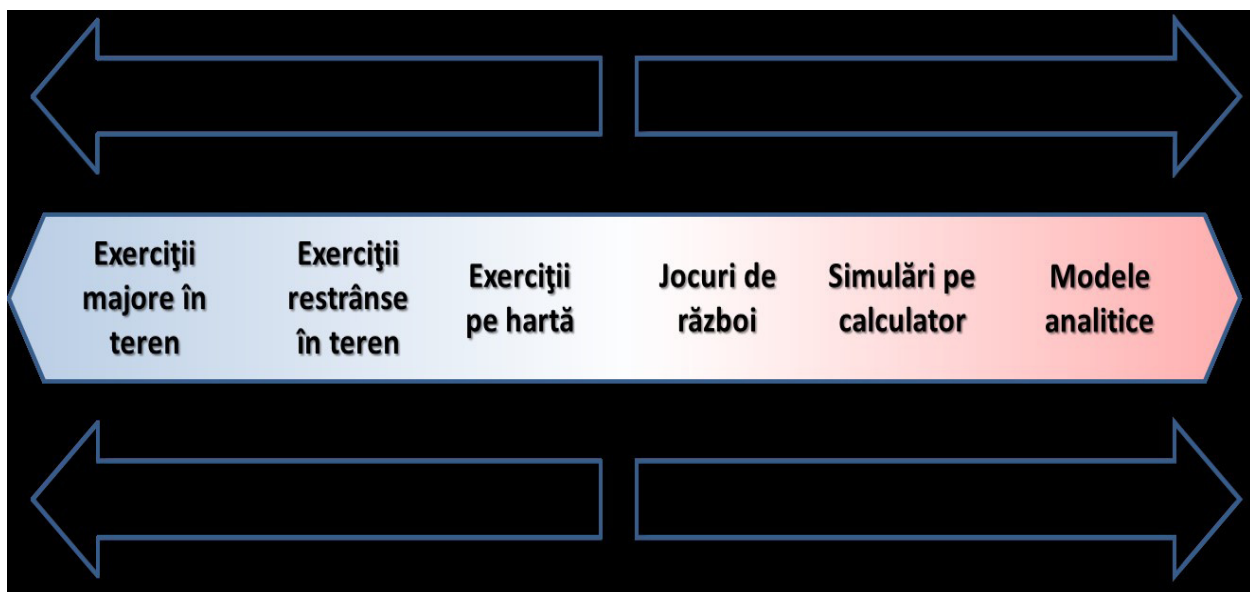


Fig. 1 „Spectrul simulărilor militare”, după: J G Taylor, „Modeling and Simulation of Land Combat”, ed. L. G. Callahan, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, 1983

militare modelate prin metode manuale, asistate de calculator sau complet computerizate.

Clasificarea domeniilor de aplicare ale modelării și simulării de poate face în multe feluri, iar următoarea taxonomie este utilizată în prezent în domeniul apărării, și nu numai:

- *Suport pentru analiză*, desfășurată pentru planificare și experimentare în scopul optimizării deciziei, necesitând personal instruit atât în utilizarea simulării, cât și al analizei de stat major³; totodată permite

inginerie, artă și știință într-un fel unic și complex, necesitând experți în domeniu capabili să ia deciziile potrivite în dezvoltarea tehnologiilor de modelare și simulare din domenii disjuncte. Pentru o unificare conceptuală și concizie a termenilor și a activităților se impune întocmirea unei lucrări de referință în domeniul profesional al modelării și simulării, de tipul „Body of Knowledge for the M&S” – M&S BoK, la care se lucrează încă din anul 2008⁵.



Fundamentul cercetării operaționale militare ca disciplină este indiscutabil reprezentat de analizele operațiilor desfășurate pe timpul celui de-al Doilea Război Mondial. Termenii folosiți pentru a descrie această activitate au fost: *cercetare militară operațională*, *modelarea războiului/conflictului* sau *modelarea luptei*. Aceasta reprezintă „o formă de analiză științifică a celor mai diverse activități și are ca scop să pună la îndemâna factorilor de conducere metode care să să evidențieze variantele de acțiune raționale corespunzător condițiilor date ale situației în vederea luării deciziilor”⁶.

Modelarea este folosită pe scară largă în domeniul apărării peste tot în lume. Desfășurarea și operațiile submarinelor SUA în cel de-al Doilea Război Mondial și alocarea resursei și a ieșirilor de aviație israeliene în Războiul de Șase Zile din 1967 sunt două exemple în care cercetarea operațională și-a adus contribuția la victorie. Ulterior, modelarea a fost folosită pentru planificarea optimă a operațiilor „Scutul deșertului” (1991) și „Furtună în deșert” (1991).

Spectrul cercetării operaționale se întinde de la analize detaliate, cu înaltă rezoluție, la analizele macroscopice, înalt agregate⁷. La cele din urmă, attribute și efecte ale armamentului și echipamentelor militare sunt estimate pe baze statistice și tehnici probabilistice care sunt încorporate în modelele analitice și simulări. Pe un palier superior se regăsesc problemele operaționale legate de structurile de forțe, dezvoltările conceptuale ale luptei și tacticile folosite. Acestea au fost adesea analizate folosind modele ale luptei, în particular, modele Lanchester, care sunt seturi deterministice sau stocastice de ecuații diferențiale reprezentând pierderile în luptă.

Aria vastă a modelelor și a metodelor de cercetare bazate pe acestea, analitice sau prin simulare, stocastice sau deterministice, simple sau complexe, aplicate sau teoretice, naționale și internaționale care se pot aplica în domeniul militar, vor fi trecute în revistă în acest articol.

Fundamentele teoriei luptei

În cele ce urmează propun să aduc în atenție câteva aspecte legate de natura și teoriile luptei armate. Acestea se bazează pe cercetări întreprinse într-un timp îndelungat la Universitatea Californiei de Sud, în Departamentul de Inginerie Industrială și a Sistemelor⁸. Direcțiile în care se îndreaptă studiile

sunt duelurile stocastice, abordate începând cu anul 1955 și validitatea practicilor curente privind aplicarea modelului luptei de tip Lanchester.

Astfel, realitatea se compune din entități fizice pe care le percepem și le studiem prin observare directă sau prin extensie, instrumentală. De un interes particular este clasificarea sau gruparea acelor entități care se comportă asemănător în circumstanțe identice, pentru că se pot imagina, planifica și desfășura experimente pentru testarea ipotezelor despre comportamentul lor.

Cunoașterea devine teorie atunci când este organizată într-o formă compactă și eficientă pentru scopuri de predicție. În științele fundamentale, teoria este bine structurată și ordonată ierarhic, dar ordinea nu reflectă neapărat dezvoltarea istorică a teoriei respective. Astfel, teoriile sunt într-o stare de permanentă creștere și dezvoltare, în sensul acumulărilor cunoașterii empirice despre realitatea înconjurătoare și apoi producerea instrumentului de predicție analitic, abstract. Pentru ca instrumentul să emuleze corect lumea reală trebuie să existe o strânsă interconexiune între cele două laturi de dezvoltare a teoriilor.

Teoriile au o structură generală formată din clase de membri, legi de guvernare și modele. Entitățile fizice având comportamente similare în situații variate trebuie să fie identificate și grupate ca aparținând aceleiași clase. Caracteristicile distinctive ale fiecărei clase trebuie să fie general determinate și apoi particularizate pentru fiecare membru, iar observarea, experimentarea și intuiția joacă un rol central în acest proces. Caracteristicile claselor au trăsături atât active, cât și pasive, după cum influențează ceilalți membrii sau, respectiv, sunt influențate la rândul lor.

Legile sunt regulile care guvernează comportamentele membrilor claselor și pot fi asemănată axiomelor din teoria matematică. Acestea reprezintă fundamentul teoriilor, nu pot fi demonstrate, orice altceva este în concordanță cu ele și nu s-au identificat cazuri care să le contrazică. Legile sunt deduse prin observare și intuiție și trebuie să răspundă celei mai riguroase examinări și validări prin experimentare. Legile au trei proprietăți: parcimonia, suficiența și consistența. Parcimonia se referă aici la concizie, respectiv nu există și nu se spune nimic în plus față de necesar. Redundanța nu-și are locul aici. Suficiența presupune că nu rămân goluri în teorie, ci totul



este acoperit de legile suficient de exhaustive. Consistența implică lipsa contradicțiilor interne.

Modelele sunt mediul de lucru al cercetătorului care aplică teoria, reprezentând abstractizări ale situațiilor reale, însă fiind incapabile să emuleze în totalitate realitatea. Obiectivul, în acest caz, este crearea unor modele care să imite natura suficient de bine pentru scopurile de predicție urmărite. Din această perspectivă, legile matematice, teoremele și alte afirmații făcute pe baza legilor, experimentele în teren sau în laborator, toate reprezintă modele. Acestea trebuie validate prin folosirea unor date empirice pentru a asigura precizia necesară. Uneori trebuie introduse noi elemente care să corecteze limitări ale sistemului și care pot limita comportamentul entităților în timp, cum este cazul *condițiilor marginale* și cel al *condițiilor inițiale*.

Aici se pot adăuga câteva observații, cum ar fi:

- în cele expuse mai sus, limbajul, formulele matematice și simularea nu reprezintă științe sau simulări, ci instrumente indispensabile analistului;
- computerele nu reprezintă modele sau știință, ci instrumente secundare puternice și esențiale;
- chiar dacă simularea are multe dezavantaje în comparație cu modelele matematice, uneori este singura opțiune viabilă;
- în practică, o simulare pură se întâlnește rareori; de regulă sunt combinate modele matematice și simulări în cadrul unor programe pentru sisteme de calcul;
- cea mai convingătoare validare a unei legi este atunci când predicția unui model bazat pe acea lege este confirmată prin experiment.

Aplicarea noțiunilor teoretice expuse la acțiunea militară trebuie să plece de la descrierea obiectului de studiu. Astfel, limităm conceptul luptei la circumstanțele în care cel puțin un combatant utilizează mijloace letale împotriva a cel puțin unui alt combatant. Toate celelalte situații care preced sau urmează pot fi incluse în categoria condițiilor inițiale sau a condițiilor marginale. Teoria este aplicabilă tuturor sistemelor de armament, ere istorice, medii etc. Ceea ce diferă sunt doar unele proprietăți ale claselor, iar modelele folosite trebuie ajustate corespunzător.

Lupta reprezintă o „bătălie între două forțe militare ostile, fiecare având scopuri și directive contrare (arătate sau implicite) și fiecare încercând

să-și impună dorința sa în fața inamicului prin realizarea obiectivului său”⁹. Aceasta are patru caracteristici pe care se bazează dezvoltarea teoriei:

- natura cantitativă, reprezentând o bază de date numerice referitoare la organizare, dotare, spațiu și timp, de la care se dezvoltă o serie de detalii;
- schimburile de focuri au rolul central în luptă, orice altceva fiind doar ca suport; având o importanță definitorie, acestea trebuie studiate, înțelese și modelate separat și apoi integrate cu restul elementelor modelului;
- rețelele se formează plecând de la afirmația că *lupta este o ierarhie complicată de schimburi de focuri*. Schimbul de focuri reprezintă cărămida de bază; dezvoltând, urmează angajarea, bătălia, campania și războiul. Realizarea rețelilor la nivelul de bază depinde în principal de factori de mediu, armament, decizia tactică a comandantului, rezultatul schimbului de focuri. Acestea influențează condițiile inițiale, condițiile marginale, variabilele și parametrii luptei. Modificarea lor poate termina un schimb de focuri și începe unul nou.
- incertitudinea (stocasticitatea) este demonstrată de constatarea că schimbul de focuri este un proces elementar, terminal, stocastic al pierderilor / uzurii. În situația executării tragerilor, chiar în condiții identice, rezultatele diferă. Faptul că în proces este introdus un element probabilistic produce incertitudine asupra întregului proces. Indiscutabil, în luptă sunt multe elemente stocastice și este avansată ideea¹⁰ că luptele la scară mică, sunt predominant stocastice, în timp ce bătăliile la scară mare au un caracter aproape determinist, bazat pe teoria matematică a numerelor mari. Astfel, lupta are la bază schimburi de focuri elementare, combinate în angajări complexe, confirmând afirmația lui Clausewitz¹¹ că „războiul nu este altceva decât un duel la scară mai largă”.

Se pot enunța două axiome, ca legi ce guvernează indubitabil lupta:

Prima axiomă. *Orice luptă este o rețea ierarhizată de schimburi de focuri*, unde două părți antagonice angajate în luptă formează mulțimi de trăgători și ținte care nu sunt disjuncte și în care trăgătorul angajează mijloace letale împotriva unei ținte care prezintă o anumită vulnerabilitate (față de armele celeilalte părți), fiind accesibilă în acele condiții particulare. Conceptul de *rețea* presupune



un număr de noduri simultane, secvențiale sau combinate, corelate în timp, astfel încât orice supraviețuitor dintr-un nod îl pot angaja pe altul, creând o conexiune între noduri.

A doua axiomă. *Un schimb de focuri este un proces terminal stocastic de uzură / atriție¹² a unei ținte într-un spațiu discret și cu un timp continuu ca parametru.* Procesul este terminal pentru că tragerea încetează la un moment, indiferent de cauză; oricare supraviețuitor poate declanșa un nou schimb de focuri (o nouă tragere). Procesul stocastic de uzură / atriție presupune că de fiecare dată când schimbul de focuri este reluat, fiecare repetare produce alte rezultate. Astfel, probabilistic, variază identitatea victimelor, succesiunea lor, momentul în care se produc pierderile, astfel încât înainte de schimbul de focuri nu se pot face predicții cu privire la starea sistemului la un moment dat. Spațiul discret presupune că un număr finit de supraviețuitori din fiecare clasă de ținte se găsesc într-un spațiu mărginit. Ca urmare a uzurii /atriției, valorile scad. Timpul continuu ca parametru presupune că un eveniment se poate întâmpla oricând în continuumul temporal, ceea ce nu înseamnă că unele evenimente se produc înainte ca toate condițiile necesare pentru producerea lor să fie îndeplinite. Observarea evenimentelor se poate realiza practic doar la anumite intervale de timp și din acest motiv timpul este transformat într-un parametru discret. Pentru studii analitice poate fi convenabil, dar în același timp se produce o degradare a modelului.

Este evident că membrii clasei cu influență activă sunt sistemele de arme, cu letalitatea ca proprietate activă. Sistemele de arme au proprietăți ca mobilitatea, letalitatea, distribuția în timp a proiecției forței letale (timpuri de punere în poziție de luptă, de încărcare, de tragere, cadență), capacitate și probabilități de detecție și identificare a țintelor, probabilități de lovire, probabilități de nimicire. Totodată acestea prezintă și vulnerabilități, la sistemele inamice de armament, dar și proprii: probabilități de defectare, rateuri etc.

Țintele sunt entități care prezintă proprietatea pasivă de vulnerabilitate. Letalitatea și vulnerabilitatea sunt indisolubil legate, definind caracteristica „probabilitate de distrugere”.

Mediul trebuie luat în considerare prin influența terenului și a vremii. Din punct de vedere militar, sunt definatorii acoperirile, posibilitatea de mascare, sectoarele de vizibilitate pentru

executarea tragerilor și realizarea legăturilor de telecomunicații, puncte de observare, traficabilitate, obstacole etc. manifestate de toate caracteristicile din teren, cum sunt: râurile, munții, deșerturile, pădurile, drumurile, zonele urbane. Vremea are influență majoră asupra acțiunilor militare prin precipitații, viteza și direcția vântului, umiditate și căldură. Astfel, sunt afectate mobilitatea, detecția, rata de defectare a echipamentelor, acțiunile de fumizare, ale aviației și mijloacelor sol-aer, letalitatea munițiilor.

Entitățile umane prezente pe câmpul de luptă necesită o atenție specială, manifestând, spre deosebire de toate clasele descrise mai sus, o caracteristică de impredictibilitate a acțiunilor. Această incertitudine este determinată de două trăsături specifice naturii umane: o latură probabilistică stabilă ce descrie acțiuni măsurabile, normale, de genul timpului de reacție, rezistenței fizice și gradului de instruire, capacitatea de a acumula și procesa informații și o a doua latură, greu de modelat, și anume aceea a deciziilor umane ce afectează lupta.

Lupta trebuie studiată ca sistem intrinsec al componentelor descrise. Este evident că nu toate detaliile ce definesc clasele sunt la fel de importante și că o parte pot fi ignorate. Este important să se identifice care sunt acestea și, totodată, să se definească combinația caracteristicilor cu adevărat importante pentru desfășurarea luptei. Din acest punct devine interesantă problema agregării entităților și studierea structurilor organizatorice prezente pe câmpul de luptă: grupe, plutoane, companii, batalioane, *task group*-uri etc., potrivit cerințelor activității sau studiului efectuat. În ce măsură agregarea induce erori în rezultatele obținute prin studiul modelului? De asemenea, inconsistențele modelelor sau respectiv simplificările aduse comportamentului și interacțiunilor entităților cu mediul operațional ridică o altă problemă referitoare la încrederea ce poate fi acordată modelelor.

Astfel, studiile efectuate de-a lungul vremii au condus la diferite rezolvări ale problemelor enunțate, matematice sau prin simulare, deterministice sau stocastice, arătate în cele ce urmează.

Modelarea matematică a luptei

Modelarea matematică operează cu mărimi numerice fără a condiționa modul de interpretare



subiectivă, într-un anumit context, a rezultatelor obținute. Gradul de concordanță între rezultatele obținute prin folosirea modelului matematic și fenomenul din studiul căreia a provenit, exprimă calitatea modelului respectiv. În procesul de modelare este importantă stabilirea principiilor, condițiilor, criteriilor etc. pe baza cărora se pun în evidență și se cercetează trăsăturile similitudinii între fenomen și model. Crearea unui model nu servește numai cunoașterii, ci are și scopuri practice, constituind o bază de experimentare.

Matematic, exprimarea generală a fenomenului, se poate face prin relația:

$$F(P, T) = G(P, T) + L(P, T)$$

unde F este funcția care descrie fenomenul dependent de coordonatele spațiale – P și temporale – T , iar funcțiile G și L redau tendințele globale – deterministe și respective locale – aleatoare sau stocastice.

General vorbind, modelele cercetării operaționale respectă următoarea structură:

- o relație funcțională, funcția scop, care reprezintă scopul urmărit și a cărei valoare trebuie optimizată;
- o mulțime de ecuații care exprimă interconexiunile diverselor laturi ale fenomenului modelat sau ipoteze privind aceste conexiuni sau restricții;
- o mulțime de restricții logice sau cantitative puse asupra variabilelor, exprimând limitările variațiilor laturilor fenomenului.

Modelul deterministic al lui Lanchester

F. W. Lanchester și-a publicat ecuațiile diferențiale pentru compararea pierderilor părților beligerante plecând de la ipoteze simple, în Anglia în anul 1916. Un ofițer rus, Osipov, publicase o lucrare asemănătoare în anul 1915, dar care a ieșit la lumină doar în urmă cu câțiva ani¹³. Robert Hembolt și Allen Rehm au interpretat rezultatele publicate de Osipov adăugând propriile comentarii.

Modelul Lanchester este fundamental pentru modelarea analitică a luptei, constituind rădăcina tuturor modelelor analitice ale luptei¹⁴. Construcția modelului urmărește la bază două scopuri fundamentale, și anume evaluarea numărului de luptători (mijloace de luptă) pe care părțile le introduc în luptă (le pot introduce în luptă)

și evaluarea rezultatelor unu la unu dintre doi adversari. În modelul liniar, ipoteza de bază este că numărul de luptători al celor două părți este egal (datorită caracterului de duel al luptei), iar rezultatul duelului este evaluat cu ajutorul a două numere subunitare a căror sumă este 1 și care reprezintă probabilitatea de succes a celor doi luptători, semnificând superioritatea în privința eficacității în luptă.

Forma legii liniare a lui Lanchester este următoarea:

$$dA/dt = -\beta B$$

$$dB/dt = -\alpha A$$

unde A și B sunt efectivele la începutul luptei, α și β reprezintă puterea ofensivă de foc a fiecărei părți, respectiv numărul de inamici care pot fi incapacitați (scoși din luptă) în unitatea de timp. Legea pătratică a lui Lanchester corespunde unei lupte de grup de tipul foc ochit contrafoc ochit, cum este cazul într-o luptă de poziție.

Acest model este folosit pe scară largă în analizele matematice și în simulări, chiar dacă este apreciat ca inadecvat¹⁵, întrucât ignoră stocasticitatea distribuției terminale (probabilității de absorbție) sau a corelației dintre uzura / pierderile celor două părți în conflict.

Modelul exponențial stocastic al lui Lanchester

În acest model, elementele stocastice iau în considerare probabilitățile de nimicire și timpul de deschidere a focului, cu legi de distribuție exponențiale negative speciale. Aceste modele au fost dezvoltate inițial de către Morse și Kimball¹⁶ și apoi de Clark¹⁷, care oferă soluția cazului anihilării omogene și care reprezenta, la un moment dat și chiar și în prezent, metoda cea mai răspândită pentru simulările stocastice.

Și acest model prezintă inconsistențe severe, examinate de către Leffingwell¹⁸, care evidențiază că distribuțiile speciale sunt adecvate din rațiuni matematice, dar produc rezultate prea îndepărtate de realitate pentru a putea fi utilizate.

Modelul stocastic revăzut al lui Lanchester

În modelul revăzut, timpul dintre două deschideri ale focului este considerat o variabilă independentă, aleatoare, uniform distribuită. Nu există constrângeri în privința formei distribuției,



iar modelul este dezvoltat pentru angajările directe, „unu la unu”. Pentru angajările de tip „doi la unu” cercetările continuă, după ce este arătat de către Gafarian și Anker¹⁹. Atât teorema lui Blackwell, cât și teorema lui Palm-Khintchine din teoria probabilităților au fost folosite pentru a demonstra că, pentru numere mari, modelele exponențiale Lanchester reprezintă aproximări rezonabile ale modelelor stocastice revăzute, deși Leffingwell²⁰ demonstrează că și acestea au la bază ipoteze eronate.

Modelul stocastic Markov Lanchester

Acest model pleacă de la prezumția că starea unui sistem la evenimentul următor este determinată de starea sistemului la momentul evenimentului curent (prezent), dar nu anterior acestuia. Acest model nu necesită legi de distribuție exponențiale negative speciale pentru intervalul între două deschideri ale focului, iar Barfoot²¹ a dezvoltat acest model pentru cazul unui tanc imobilizat, dar care continuă să tragă.

Modelul Helmbold

Apariția modelului Helmbold se bazează pe identificarea unor modele analitice flexibile ale luptei, apte să reprezinte atât conflicte simetrice, cât și asimetrice. Flexibilitatea lui permite includerea, drept cazuri particulare unele modele anterioare apariției sale, dar și să reflecte mai bine aspectele informaționale ale luptei²².

Modelul Helmbold al dinamicii luptei este cel mai simplu model analitic al luptei dependent de doi parametri informaționali, care exprimă dependența pierderilor medii pierderilor medii, relative, în unitatea de timp, de raportul de forțe calitative și cantitativ. Prin această particularitate, el se apropie de metodologiile euristice de modelare, fundamentate în totalitate pe raportul de forțe. Utilitatea modelului este dată de existența unei soluții analitice convenabile și de existența unor procedee veridice pentru determinarea parametrilor.

Față de modelele descrise de către Lanchester și ale lui Osipov, cele actuale au o complexitate mult mai mare. Structurile matematice sunt mult mai dezvoltate, pentru a lua în calcul interacțiunile dintre forțe în spațiul tridimensional și în timp, cu decizii optime și capitalizare cu frecvență mare a informațiilor rezultate și implicarea mai

multor participanți. Creșterea puterii de calcul și de procesare a datelor, începută în anii '80, a făcut posibilă utilizarea unor ecuații, din ce în ce mai complexe, și aplicarea metodelor cercetării operaționale matematice (metodele simplex, drumului optim, teoriei așteptării etc.) pentru optimizarea deciziilor.

Modelarea bazată pe analiza datelor istorice ale luptelor

În completarea cerinței de includere a rigurozității formulelor matematice în simulările pe scară mare, înțelegerea empirică a modului în care războaiele au fost duse de-a lungul anilor constituie esența validării modelelor luptei. Modelele științifice fizice și sociale se bazează pe teorii matematice și validări empirice. Problema în cazul modelelor militare se pune asemănător, acestea reprezentând o sumă de comportamente ale indivizilor ce dispun de o cantitate de sisteme de armament de o anumită calitate.

Plecând de la modelul deterministic al lui Lanchester au fost dezvoltate o serie de modele considerate fără un fundament rațional. Acestea constituie încercări de realizare a unor modele agregate bazate pe analize statistice asupra rezultatelor istorice al unor confruntări, încercând a realiza o legătură între o serie de parametri inițiali și rezultatul final. Ca exemplu, menționez modelul de analiză cuantificat al lui Dupuy²³.

Astfel, Dupuy critică modelele acțiunilor de luptă obținute prin metodele cercetării operaționale pentru că acestea se bazează într-o prea mică măsură pe datele experimentale, practice, pe care le oferă istoria războaielor trecute, cu argumentul că un model ce se bazează pe trecut nu poate fi adaptat armamentului modern pentru a prognoza rezultatul unor lupte viitoare. În sprijinul afirmațiilor sale, el prezintă modelul *QJM*²⁴ și metoda de analiză prin evaluarea cuantificată a datelor luptelor istorice – *QJMA*, capabile să descrie o luptă, fundamentată pe *indici operaționali de letalitate* – *OLI* ai armamentului și pe anumite *variabile de luptă* care influențează rezultatul final, determinate experimental pe baza analizei datelor înregistrate într-o bază de date a războaielor trecute, *HERO* – *Historical Evaluation and Research Organisation*. Această bază de date poate fi găsită pe pagina de Internet a Institutului Dupuy, www.dupuyinstitute.org, care la această dată (iunie 2015) pune la



dispoziție și instrumente de analiză și calcul, cuprinzând date despre 793 de confruntări ce au avut loc între 1898 și 1998, de la nivel teatru de operație și campanie până la nivel de batalion sau mai puțin, și în care și-au pierdut viața cel puțin 20 de persoane.

Metoda QJMA este o metodă de comparare a capacității de luptă relative a două forțe angajate într-o luptă, prin determinarea influenței variabilelor operaționale și de mediu asupra puterii celor două forțe opuse și a cărei esență o constituie acest model. Modelul oferă o evaluare cuantificată a rezultatului luptei, calculat pe baza înregistrărilor existente în baza de date, care pentru unele eșaloane depășesc 130 de variabile, și care caracterizează performanțele celor două forțe opuse sub următoarele aspecte: gradul de îndeplinire a misiunii, abilitatea unei forțe de a câștiga sau de a menține terenul, eficiența forțelor din perspectiva pierderilor produse adversarului. Astfel, predicția pe baza QJMA se bazează pe evaluarea *raportului de forțe* – r , adică raportul *potențialelor capacității de luptă* ale celor două părți în conflict, obținute prin aplicarea efectelor tuturor variabilelor identificabile în luptă la valorile OLI, reprezentând *letalitatea întregului armament* din dotarea fiecărei părți:

$$r = P_x / P_y$$

Dacă acest raport este mai mare decât 1.1, atunci X are succes, dacă este mai mic decât 0.9, atunci z are succes, iar dacă este între 0.9 și 1.1, atunci rezultatul nu poate fi prognozat.

O altă comparație ce poate fi făcută este cea a rezultatului luptei, calculată prin formule standard, folosind datele din înregistrări, astfel:

$$\Delta R = R_x - R_y$$

și unde partea care obține scorul cel mai mare este învingătoare. Rezultatul este concludent dacă $-0.5 < \Delta R < 0.5$.

Există posibilitatea de a combina cei doi indicatori de mai sus, rezultatul trebuind să aibă consistență. Obținerea unor rezultate contradictorii se explică prin apariția unor condiții critice în ducerea luptei care trebuie analizate cu atenție. Totodată, prin dezvoltarea matematică teoretică, se poate demonstra că modelul HERO poate deveni caz particular al modelului Helmbold, dacă în acesta din urmă se introduc parametri omologi datelor statistice din bazele de date²⁵.

Datele despre toți beligeranții înainte, pe timpul și după ducerea luptei sunt greu de procurat. Din acest motiv validarea modelelor de acest tip este dificil de realizat și nici nu există multe studii în acest sens. Dezvoltarea sistemelor de calcul și a unor baze de date, din ce în ce mai vaste, vor face în viitor disponibile mai multe date ce vor putea fi analizate.

Simulări moderne ale câmpului de luptă

Cunoscute și ca jocuri de război, încorporând modele, ipoteze și algoritmi discutabili sub raportul realismului rezultatelor produse, simulările servesc pentru două scopuri de bază: instruirea personalului pentru îndeplinirea unor cerințe bine definite, cum ar fi lucrul de stat major și a doua, de studiere a unor ipoteze în domeniul tacticii, logisticii, altor aspecte ale operațiilor militare, care apoi trebuie să fie analizate cu atenție de personal specializat (analști militari) și utilizând instrumente sau metode adecvate, cum ar fi alte etape de experimentare în cadrul „campaniilor de experimentare”²⁶.

Clasificarea acceptată în prezent împarte simulările în simulări virtuale (oameni reali operează sisteme simulate), reale (oameni reali operează sisteme reale) și constructive (oameni simulați operează sisteme simulate). Progresul tehnologic permite, în prezent, modelarea acțiunilor militare, potrivit scopurilor urmărite, de la nivel de luptător ce operează un echipament și până la nivel de mari unități agregate, desfășurând operații de nivel strategic, reprezentând metode eficiente pentru instruire și cercetare. Algoritmii folosiți de aceste simulări produc rezultate ce se apropie de realitate, mai ales în privința acelor ce operează la scară mică, respectiv cele virtuale și cele reale.

Simulările de tip constructiv s-au dezvoltat, în principal, ca cerință pentru instruirea statelor majore, la nivele din ce în ce mai mari, mai întâi multiserviciu și apoi întrunit. Cerințele pentru acestea erau enumerate încă din anul 2001²⁷, astfel:

- trebuie să asigure implementarea jocului de război, ca metodă de instruire bazată pe simularea cu calculatorul a acțiunilor militare;
- trebuie să asigure utilizarea simulării atât pentru instruire, cât și pentru analiză. În acest scop, el trebuie prevăzut cu posibilitatea derulării scenariilor înapoi în timp, în vederea studierii situațiilor create și a soluțiilor adoptate de jucători, în cadrul aplicației asistate de calculator;



- trebuie să permită folosirea unor scenarii care să integreze domeniile terestru, aerian, maritim, la nivelul teatrului de operații și la eșaloane mai mici, în orice condiții de relief, anotimp, timp și stare a vremii, precum și caracteristicile psihomorale, sociale, economice și cultural-religioase ale populației din zona acțiunilor de luptă;

- trebuie să asigure desfășurarea acțiunilor de luptă pe genuri de arme, dar și întrunit; acțiunile de luptă pot fi convenționale sau neconvenționale (război chimic, nuclear, biologic), iar nivelul detalierei forșelor trebuie făcut cu cel puțin două eșaloane mai jos decât cel jucat;

- trebuie să permită simularea, în timp real sau mai rapidă, a acțiunilor de luptă și să permită intervenția operatorului în orice moment pentru a influența acțiunile de luptă simulate;

- trebuie să asigure desfășurarea aplicațiilor asistate de calculator atât în regim local (într-un centru de simulare), cât și la distanță, prin folosirea simulării interactive distribuite.

Programul de simulare constructivă este compus dintr-o serie de module funcționale, cu destinații specifice:

- programul generator de evenimente de luptă, care este programul central al sistemului de simulare, care furnizează date asupra derulării acțiunilor, în urma aplicării deciziilor participanților și determină starea curentă a luptei;

- programul de interfațare, care furnizează o serie de meniuri prin care operatorii pot implementa deciziile proprii sau au acces la rapoarte suplimentare;

- baza de date pentru simulare, care cuprinde informații despre teren, unități participante, capacitate de luptă, pierderi, mobilitate, logistică etc.;

- programul de afișare grafică, care pune la dispoziția jucătorilor informațiile din simulare într-o formă *prietenoasă*, ușor de înțeles, de regulă afișând unitățile sau entitățile simulate pe o hartă reprezentată conform standardelor în vigoare;

- programe de analiză, ce permit extragerea unor date și prelucrarea lor în scop de analiză sau cercetare;

- programe de editare a datelor din baza de date pentru simulare, pentru modificarea, actualizarea sau extinderea lor.

Sistemele de simulare constructivă pot opera la nivel de entitate, așa cum este cazul sistemelor

JANUS și JCATS și la care angajările și schimburile de focuri se fac la nivel discret, de entitate, folosind algoritmi stocastici specifici pentru observare, trageri, efectele munițiilor etc. Se remarcă, în acest fel, că aceste tipuri de simulări constructive sunt conforme teoriei luptei expuse anterior, putând furniza predicții apropiate de realitate pentru baze de date rigurose întocmite și rularea simulării cu structurile de forțe dezagregate.

Sistemele de simulare constructivă agregate sau înalt agregate, ca de exemplu SWORD al firmei MESA și JTLS produs de Roland & Associates, vizează simularea acțiunilor structurilor de forțe de nivel crescut, fără a urmări procesele ce au loc la nivel de individ / angajare / schimb de focuri. Din acest motiv, arhitectura sistemului este delimitată în blocuri funcționale, unele dintre acestea având rol clar în a aplica algoritmi analitici pentru estimări ale pierderilor, uzurii, efectelor munițiilor, deplasărilor în teren ale unităților și marilor unități etc. Consider că aceste sisteme sunt adecvate instruirii comandamentelor operative și strategice, dar trebuie utilizate cu reținere în activitățile de cercetare militară operațională.

Concluzii

Este evident că modele matematice deterministe nu respectă cerințele de stocasticitate ale celei de a doua axiome. Stocasticitatea presupune că în schimburile de focuri unii pot câștiga și alții pot fi distruși, ceea ce are un impact major asupra rezultatelor finale. Una dintre consecințele modelelor matematice este ignorarea naturii uneori sporadice a luptei, aceasta decurgând ca un proces liniar în timp, cu mari grupuri de combatanți acționând ca având exact aceeași experiență.

O mare parte dintre modelele matematice stocastice violează prima axiomă, pentru că nu se pot modela rețelele care să definească schimburile de focuri între agregate în angajări la scară mare. Și atunci se recurge la reguli arbitrare, de grupare / agregare a unor schimburi de focuri de mică amploare după un set de reguli arbitrare, fără a avea vreo dovadă a veridicității acestui proces empiric. O altă soluție este de a defini rețelele descrise de prima axiomă, intuitiv și aproximativ, utilizând scoruri / parametri ai puterii de foc determinați convenabil, prin metode discutabile pentru forțe eterogene la scară mare.



Singurele modele care sunt conforme ambelor axiome sunt cele stocastice care presupun schimburi de focuri singulare, fără a solicita agregarea în rețele. Prin dezvoltarea tehnicii de calcul și a puterii de procesare, simulările de tip entitate (*entity driven*) sau bazate pe agenți (*Agent Based Simulation*) devin alternative viabile pentru modelarea luptei și obținerea unor rezultate situate într-un interval de încredere ce poate fi definit și atins. Astfel, se pare că afirmația făcută de către C.J. Anker²⁸, în anul 1995, că „studiul asupra teoriei luptei ne îndreaptă către concluzia că aceasta este inadecvată și virtual stagnantă” este depășită și că s-au identificat mijloacele și metodele de modelare și simulare bazate pe o mai bună înțelegere a războiului.

Această lucrare a fost posibilă prin sprijinul financiar oferit prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013, cofinanțat prin Fondul Social European, în cadrul proiectului POSDRU/159/1.5/S/138822, cu titlul „Rețea Transnațională de Management Integrat al Cercetării Doctorale și Postdoctorale Inteligente în Domeniile „Științe Militare”, „Securitate și Informații” și „Ordine Publică și Siguranță Națională” – Program de Formare Continuă a Cercetătorilor de Elită – „SmartSPODAS”.”

NOTE:

1 *Totul, în afară de război, este simulare* – reprezintă motto-ul PEO-STRI – Program Executive Office for Simulation, Training, & Instrumentation, SUA (vezi http://www.simulation.cc/more.php?id=A86_0_1_0_M)

2 http://en.wikipedia.org/wiki/Military_simulation, accesat la 11.06.2015.

3 <http://www3.nd.edu/~gmadey/sim06/Classnotes/Validation/kleijnen5.pdf>, accesat la 12.06.2015.

4 Gl.bg.prof.dr.ing. Alexandru Ghiță, *Modelarea, simularea și planificarea optimală a operațiilor*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 2001, p. 166.

5 [https://www.csiac.org/sites/default/files/DoD%20M&S%20BOK%20\(M&SCO\)%202008_0.pdf](https://www.csiac.org/sites/default/files/DoD%20M&S%20BOK%20(M&SCO)%202008_0.pdf), accesat la 12.06.2015.

6 Cam.(r) dr. Vasile Grad și colectiv, *Cercetare operațională în domeniul militar*, Editura Sylvi, București, 2000, p. 33.

7 *Agregarea* se referă la utilizarea în modelul simulării a structurilor de forțe – subunități, unități, mari unități – în locul entităților – luptători, echipamente militare care le compun.

8 C.J. Anker Jr., *A proposed Foundation for a Theory of Combat*, în „Warfare Modeling”, Military Operations Research Society, 1995, p. 165.

9 T.N. Dupuy, *Numbers, prediction and war: Using history to Evaluate Combat Factors and Predict the Outcome of Battles*, în gl.bg.prof.dr.ing. Alexandru Ghiță, *Modelarea, simularea și planificarea optimală a operațiilor*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 2001, p. 10.

10 C.J. Anker, *A theory of combat*, în „Warfare Modeling”, Military Operations Research Society, 1995, p. 173.

11 K. Clausewitz, *On War*.

12 Introducem noțiunea de „atriție” ca traducere a termenului „attrition”, reprezentând acțiunea sau procesul de reducere treptată a puterii sau eficacității cuiva sau a ceva, prin atac sau presiune susținută.

13 J. Braken și alții, *Introduction*, în „Warfare Modeling”, Military Operations Research Society, 1995, p. 1.

14 Gl.bg.prof.dr.ing. Alexandru Ghiță, *Modelarea, simularea și planificarea optimală a operațiilor*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 2001, p. 10.

15 J.W.R. Leffingwell, *The Laws of Combat? Lancaster reexamined*, International Security, 1987.

16 P.M. Morse și G.E. Kimball, *Methods of Operational Research*, The Technology Press of MIT and John Wiley & Sons Inc., New York, 1950, p. 69.

17 G.M. Clark, *The Combat Analysis Model*, Ph.D. disertation, Ohio State University, 1969.

18 J.W.R. Leffingwell, *The Laws of Combat? Lancaster reexamined*, International Security, 1987.

19 A.V. Gafarian și C.J. Anker, *The Two-on-one Stochastic Duel*, Naval Research Logistics Quartely, 1983.

20 J.W.R. Leffingwell, *The Laws of Combat? Lancaster reexamined*, International Security, 1987.

21 C.B. Barfoot, *Continuous-Time Markov Duels: Theory and Application*, Naval Research Logistics, 1989.

22 Gl.bg.prof.dr.ing. Alexandru Ghiță, *Modelarea, simularea și planificarea optimală a operațiilor*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 2001, p. 45.

23 T.N. Dupuy, *Numbers, prediction and war: Using history to Evaluate Combat Factors and Predict the Outcome of Battles*, în „Warfare Modeling”, Military Operations Research Society, 1995, p. 182.

24 Modelul este tratat pe larg în col.dr.ing. Alexandru Ghiță ș.a., *Analiza cantitativă a datelor istorice despre lupte*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1993.

25 Gl.bg.prof.dr.ing. Alexandru Ghiță, *Modelarea, simularea și planificarea optimală a operațiilor*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 2001, p. 45.

26 *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Fifth Edition*, ©2013 Project Management Institute, p. 53.

27 Gl.bg.prof.dr.ing. Alexandru Ghiță, *Modelarea, simularea și planificarea optimală a operațiilor*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 2001, p. 183.

28 C.J. Anker, *A proposed Foundation for a Theory of Combat*, în „Warfare Modeling”, Military Operations Research Society, 1995, p. 194.

BIBLIOGRAFIE

Anker C.J. Jr, *A proposed Foundation for a Theory of Combat*, în „Warfare Modeling”, Military Operations Research Society, 1995.

Barfoot C. Bernard, *Continuous-Time Markov Duels: Theory and Application*, în Naval Research



Logistics, Volume 36, Issue 3, „Modelarea matematică a acțiunilor de luptă”, iunie 1989.

Behzad Raiszadeh și colectiv, *CK-12 Modeling and Simulation for High School Teachers: Principles, Problems, and Lesson Plans*, Copyright © 2012 CK-12 Foundation, www.ck12.org, Printed: August 31, 2012.

Braken J. și alții, *Introduction*, în „Warfare Modeling”, Military Operations Research Society, 1995.

Clark M. Gordon, *The Combat Analysis Model*, Ph.D. disertation, Ohio State University, 1969.

Col. Dogaru Manuel, *Modele și baze de date standardizate ale structurilor militare* în „Tactică și artă operativă forțe terestre – TAOFT”, Editura Universității Naționale de Apărare „Carol I”, București, 2013.

Dupuy N. Trevor, *Numbers, prediction and war: Using history to Evaluate Combat Factors and Predict the Outcome of Battles*, Editura HERO Books, 1985.

Gafarian A.V. și Anker C.J., *The Two-on-one Stochastic Duel*, în Naval Research Logistics Quartely, Volume 31, Issue 2, iunie 1984.

Col.dr.ing. Ghiță Alexandru, cpt.ing Popescu Mihai, lt (r) ing. Ciurușniuc Dorin, *Analiza cantitativă a datelor istorice despre lupte*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1993.

Gl.bg.prof.dr.ing. Ghiță Alexandru, *Modelarea, simularea și planificarea optimală a operațiilor*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 2001.

Cam.(r) dr. Grad Vasile, col.dr. Stoian Ion, drd. Kovacs, Emil-Carol, col.dr. Dumitru, Vasile, *Cercetare operațională în domeniul militar*, Editura Sylvi, București, 2000.

Morse P.M. și Kimball G.E., *Methods of Operational Research*, The Technology Press of MIT and John Wiley & Sons Inc., New York, 1950.

Taylor J.G., *Modeling and Simulation of Land Combat*, ed. L.G. Callahan, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, 1983.

A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Fifth Edition, ©2013 Project Management Institute Inc., 2013, [https://www.csiac.org/sites/default/files/DoD%20M&S%20BOK%20\(M&SCO\)%202008_0.pdf](https://www.csiac.org/sites/default/files/DoD%20M&S%20BOK%20(M&SCO)%202008_0.pdf)

Guide for Understanding and Implementing Defense Experimentation – GUIDEx”, The Technical Cooperation Program, 2006.

http://www.simulation.cc/more.php?id=A86_0_1_0_M

http://en.wikipedia.org/wiki/Military_simulation

<http://www3.nd.edu/~gmadey/sim06/Classnotes/Validation/kleijnen5.pdf>