

# Intelektualiųjų technologijų taikymai modeliuojant karybos uždavinius

Albertas Pincevičius

*Generolo Žemaičio Lietuvos karo akademija, Taikomųjų mokslų katedra*  
Šilo 54, LT-2005 Vilnius  
E. paštas: pincev@cablenet.lt

**Santrauka.** Naudojantis Geografinių informacinių sistemų (GIS) informacinėmis bazėmis ir kompiuterinės algebros paketu MAPLE sukurta sistema leidžianti planuoti kovinius veiksmus ir įvertinti kovinio dalinio galimybes įvykdyti užduotį. Panaudojant GIS, galima atlikti inžinerinį vietovės įvertinimą. Sukurtas matomumo įrankis, kuris nurodo matomumą iš pasirinktų vietovės vietų. Modeliuojami kiekvieno atskiro kario veiksmas kovos lauke, įvertinama atsitiktinių faktorių įtaka, atliekamas būsimo puolimo „skaitmeninis eksperimentas“ ir rezultatai atvaizduojami žemėlapyje.

**Raktiniai žodžiai:** modeliavimas, kariniai veiksmai, stochastinis modelis, Geografinės informacinės sistemos.

## 1 Įvadas

Karo meno istorija patvirtino, kad kovos veiksmų sėkmę tik dalinai lemia kovotojų skaičius. Labai svarbūs veiksniai yra ginkluotė ir jos tinkamos sudėties pasirinkimas, kovos veiksmų koordinavimas, žvalgybos duomenų, vietovės reljefo ypatumų ir meteorologinių sąlygų įtakos panaudojimas. Visi minėti faktoriai sudėtingai įtakoja kovos veiksmų rezultatus – laimėjimus bei netektis ir nuostolius. Tai tapo ypač aktualu dabar, kai vyksta kova su terorizmu, kai tenka kovoti su gerai pasiruošusiu, žinančiu vietovę, gerai ginkluotu priešininku. Labai svarbi yra reljefo ypatumų analizė, meteorologinės sąlygos ir daugybė atsitiktinių faktorių. Kiekvieną kartą mūšis vyks kitaip, net ir esant labai panašiai situacijai. Norint nuspėti kovos rezultatus ar pasirinkti tinkamesnį kovos variantą, reikia „tiriamą situaciją“ daug kartų pakartoti su nedaug besiskiriančiomis, atsitiktinėmis sąlygomis. Karinių pratybų poligone metu praktiškai išbandyti galima tik atskirus tikrojo mūšio elementus. Pilniau įvertinti fizinių ir informacinių faktorių įtaką, t. y. pasirenkamą kovos taktiką, ginklų efektyvumą, ypač valdymo (vadovavimo) įtaką mūšio eigai galima panaudojant matematinio modeliavimo metodus. Pirmieji karo kovų modeliai buvo pasiūlyti anglų inžinieriaus F. Lančesterio 1916 m., tačiau plačiau jais buvo susidomėta tik po antrojo pasaulinio karo.

## 2 Kovos veiksmų matematiniai modeliai

Aptarsime nagrinėjamų karinių veiksmų formalizavimo ir adekvataus matematinio modelio parinkimo problemą. Priklausomai nuo to, kaip vyksta proceso aprašymas, matematiniai modeliai skirstomi į dvi pagrindines grupes – analizinius ir stochastinius. Pirmuoju atveju užrašomos diferencialinės lygtys, aprašančios kovos procesą

(pvz. Lančesterio modelis) ir gaunami analiziniai ar skaitmeniniai sprendiniai. Kovos veiksmai yra labai sudėtingai įtakojami daugelio atsitiktinių veiksnių ir juos aprašyti analizinėmis išraiškėmis tankiai tiesiog neįmanoma. Tada pasitelkiami statistiniai modeliai ir Monte-Karlo metodas. Toks metodas leidžia surasti sąveikos rezultata, esant nežinomiems arba labai sudėtingiems ryšiams tarp modeliuojamų objektų.

## 2.1 Analiziniai kovos veiksmų aprašymo modeliai

Modeliuojant karinius veiksmus, kai aprašoma skaitlingų dalinių kova (sistema sudaryta iš daug vienodų elementų), naudojamas vadinamas „vidurkių dinamikos metodas“. Diferencialinių lygčių sistema aprašo ne atskirų karių veiksmus, bet jų skaičiaus „vidurkio“ kitimą, nes priešingu atveju sistema būtų ir neaprepiama ir neišsprendžiama. Pavyzdžiui, norime aprašyti kovinius veiksmus tarp dviejų pėstininkų dalinių (vienus žymėsime  $x$ , o kitus  $y$ ), kai kovotojų skaičius yra skaičiuojamas bent jau šimtais. Diferencialinių lygčių sistema užrašoma taip:

$$\begin{cases} \frac{dn_x}{dt} = -r_y p_x n_y, \\ \frac{dn_y}{dt} = -r_x p_x n_x, \end{cases} \quad (1)$$

čia  $n_x, n_y$  – kovojančių dalinių karių skaičių vidurkiai,  $r_x, r_y$  – kiekvieno iš dalinių kario ugnies galia (vidutinis vieno kario šūvių skaičius per laiko vienetą – minutę, valandą, parą ar panašiai),  $p_x, p_y$  – vidutinės pataikymų tikimybės. Aptarsime lygčių sistemos koeficientų parinkimo būdus. Karių ugnies galių  $r_x, r_y$  apsprendžia turimi ginklai ir šovinių kiekis. Mūsų atveju laikysime, kad šis dydis abiem kovojančioms pusėms vienodas. Intensyvaus mūšio metu vienas karys iššaudo vidutiniškai apie 12 šovinių per minutę. Jei kovoja reguliarūs daliniai, tai pataikymo tikimybės  $p_x, p_y$  vidutiniškai lygios kario šešėlio ploto (gynyboje  $\approx 0,15 \text{ m}^2$  ir  $\approx 0,75 \text{ m}^2$  puolimo metu) ir vieno kario apšaudomo vidutinio ploto  $L \times h = 10 \times 2 = 20 \text{ m}^2$  ( $L$  – fronto linijos atkarpa vidutiniškai tenkanti vienam kariui,  $h$  – galimas taikinio aukštis) santykiui, t. y. puolime  $0,75/20 = 0,0375$  ir  $0,15/20 = 0,0075$  gynyboje.

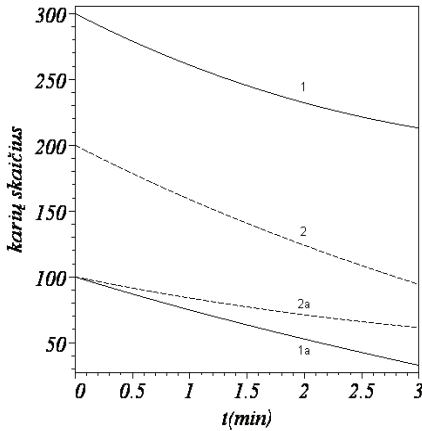
Tuo atveju, kai aprašomas „X“ dalinio puolimas lygčių sistema (1) ( $r_y p_x = 0,0375 \times 12 = 0,45$  o  $r_x p_y = 0,0075 \times 12 = 0,09$ ) atrodys taip:

$$\begin{cases} \frac{dn_x}{dt} = -0,45n_y, \\ \frac{dn_y}{dt} = -0,09n_x, \end{cases} \quad (1a)$$

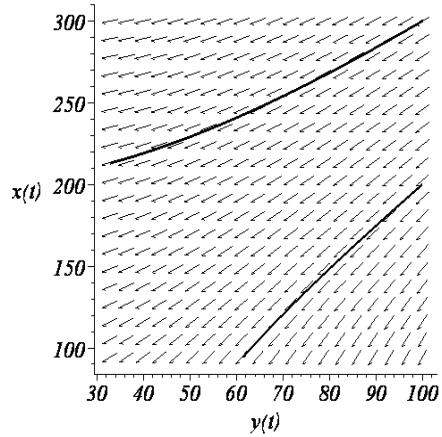
Paveiksluose 1 pav. ir 2 pav. parodyti sprendiniai dviem atvejais, kai pradinės sąlygos yra: 1)  $n_{x0} = 300, n_{y0} = 100$  ir 2)  $n_{x0} = 200, n_{y0} = 100$ . Tokios pradinės sąlygos parinktos tam, kad patikrinti žinomą teiginį, jog laimėti puolimą galima, kai puolančiųjų skaičius apie tris kartus viršija besiginančiųjų skaičių.

## 2.2 Statistiniai kovų aprašymo metodai

Šiuo metu dažniausiai vyksta lokalūs karai, kai atskiruose mūšiuose dalyvauja ne daugiau šimto karių. Darosi reikšmingi kiekvieno kario veiksmai. Atsitiktinių faktorių įtaką galima tirti pasinaudojant Monte-Karlo metodu [4]. Modeliuojami pagrindiniai puolančiųjų karių veiksmai mūšio metu: judėjimas priešininko link, stebėjimas ir jo aptikimas, šaudymas ir priešininko kovimas. Modeliuojami analogiški priešininko veiksmai. Būrys puolime užima apie 300 m ilgio juostą ir kariai, išlaikydami  $d \approx 8\text{--}12$  m atstumą vienas nuo kito, juda priešininko link. Mūšio lauke kariai



**1 pav.** Lygčių sistemos (1a) sprendiniai dviem minėtais atvejais. Karių skaičiaus kitimas: jei pradinės sąlygos  $n_{x0} = 300$ ,  $n_{y0} = 100$  (kreivė 1 – puolančiųjų, kreivė 1a – besiginančiųjų) ir kada pradinės sąlygos  $n_{x0} = 200$ ,  $n_{y0} = 100$  (kreivė 2 – puolančiųjų, kreivė 2a – besiginančiųjų).



**2 pav.** Lygčių sistemos (1a) fazinės trajektorijos. Karių skaičiaus kitimas: jei pradinės sąlygos  $n_{x0} = 300$ ,  $n_{y0} = 100$  (viršutinė kreivė) ir  $n_{x0} = 200$ ,  $n_{y0} = 100$  (apatinė kreivė). “X” – dalinys puola, “Y” – ginasi.

juda šuorais, t. y. pakyla  $\Delta t_1 \approx 3-4$  s (kad priešininkas nespėtų prisitaikyti) atsitiktiniu laiko momentu  $\Delta t_2 \approx 14-16$  s. Karių judėjimą nagrinėsime keisdami laiką  $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 \approx 18-20$  s intervalais. Tokį judėjimą galima aprašyti kaip persikėlimą iš vieno stačiakampio į kitą (stačiakampio kraštinės  $10 \times 8$  m). Įvertinsime pataikymo tikimybes ir matomumą (ar karį mato priešininkas) konkrečioje vietoje.

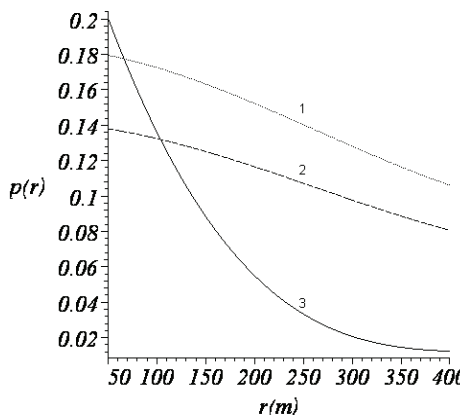
### 3 Pataikymo tikimybės įvertinimas šaudant iš automato

Kariui šaudant iš automato pataikymo tikimybė priklauso nuo atstumo iki taikinio, ginklo tipo, kario taiklumo, meteorologinių faktorių ir t. t [4, 1]. Paklaidos pasiskirstę pagal dvimatį normalųjį skirstinį, kuris aprašomas formule (2) [4]:

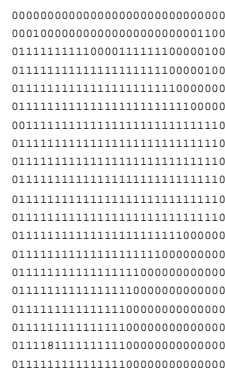
$$p(r) = \frac{1}{\pi\sigma_x\sigma_y} \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} e^{-\frac{(x-x_m)^2}{2\sigma_x^2}} e^{-\frac{(y-y_m)^2}{2\sigma_y^2}} dx dy, \quad (2)$$

čia  $r$  – atstumas iki taikinio, intervalai  $[x_1; x_2]$ ,  $[y_1; y_2]$  – nusako taikinio dydį,  $(x_m, y_m)$  – taikymo taško koordinatės,  $\sigma_x$  ir  $\sigma_y$  – vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai, kuriuos apsprendžia ginklo konstrukciniai ypatumai, meteorologinės sąlygos ir kt.

Jei bėgančio kario figūra yra  $0,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$ , tai  $x_1 = -0,25 \text{ m}$ ,  $x_2 = 0,25 \text{ m}$ ,  $y_1 = -0,75 \text{ m}$ ,  $y_2 = 0,75 \text{ m}$ . Taikymo taško koordinatės turėtų būti  $x_0 = 0$ ,  $y_0 = 0$ , bet kariai mokomi judėti mūšio lauke įmanomai išvengiant taiklaus prieš šūvio. Jie juda apie  $0,5 \text{ m}$  į šonus ir  $x_0 = 0,5 \times \text{uniform}()$  (čia  $\text{uniform}()$  yra atsitiktinis dydis tolygiai pasiskirstęs intervale  $[-1 \dots 1]$ ). Žinodami vidutinių kvadratinių nuokrypių  $\sigma_x$  ir  $\sigma_y$  reikšmes esant apibrėžtam nuotoliui tarp kovojančių pusių ir pasinaudodami formulėmis (2), galime surasti pataikymo tikimybes puolime ir gynyboje. Jei šuorui pakylama  $3-4$  sekundėm, o priešininkui prisitaikyti reikia  $5$  sekundžių, tai pataikymo



3 pav. Pataikymo tikimybės  $p(r)$  priklausomybė nuo atstumo  $r(m)$  tarp kovojančių pusių. Puolime: kreivė 1 – šuoro trukmė 4 s, kreivė 2 – 3 s, gynyboje – kreivė 3.



4 pav. Matomumo matrica (matomi taškai žymimi –1, nematomi –0, 8 nurodo stebėtojo buvimo vietą).

tikimybė mažėja. Jos pokytį galima įvertinti pasinaudojus aptarnavimo uždaviniuose plačiai naudojama formule (3):

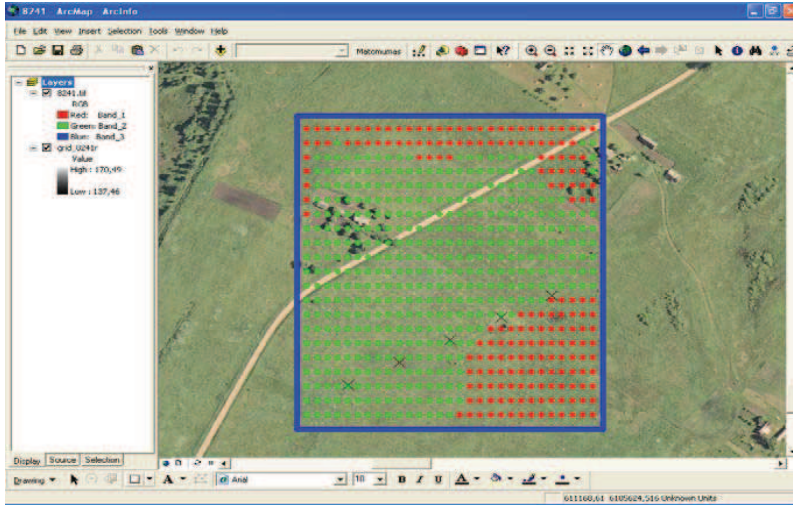
$$p_i(r) = 1 - e^{-\frac{p(r)t_i}{t_0}}, \tag{3}$$

čia  $p(r)$  – vidutinė pataikymo tikimybė, kai taikinio nuotolis  $r$ ,  $t_0$  – vidutinis laikas, per kurį karys spėja prisitaikyti (pvz. 5 s),  $t_i$  – šuoro laikas (pvz. 3–4 s). Visus skaičiavimus apibendriname ir gauname pataikymo tikimybių priklausomybės nuo atstumo tarp kovojančių pusių išraiškas. Jos parodytos 3 pav.

### 4 GIS technologijų taikymas inžineriniam vietovės įvertinimui

Geografinės informacinės sistemos (GIS) tampa vis aktualesnės planuojant karinius veiksmus, kurie paremti geografinė vietovė. GIS turi vieną esminį skirtumą nuo popierinių žemėlapių. *Žemėlapis yra kartu ir duomenų bazė.* GIS informacinėse bazėse yra duomenys apie objektų aukščius vietovėje, todėl galima turėti informaciją apie matomumą nurodytoje teritorijoje. Išsikvietę sukurtą matomumo įrankį, nurodome norimos tirti vietovės ploto koordinatas, stebėtojų koordinatas ir sukuriame kiekvienam nurodytam stebėtojui jo matomumo matricą (matomi taškai žymimi – 1, nematomi – 0), žr. 4 pav. Kartu kiekvienam stebėtojui gauname matomų (žali) bei nematomų (raudoni) plotų vaizdą žemėlapyje (5 pav.).

Atstumas vietovėje tarp atvaizduotų taškų horizontaliąja kryptimi (ilgumos koordinatė) lygus 10 m, o vertikaliąją (platumos koordinatė) – 16 m. Matomumo matrica naudojama sprendžiant stochastiniu metodu pėstininkų kovos uždavinį. Galima daryti prielaidą, kad puolantys kariai juda linijomis, ant kurių matomumą nusako atitinkami matricos stulpeliai ir turime informaciją ar konkretų karį mato priešininkai. Gauti rezultatai jau geriau atitinka galimą realų atveją, t. y. įvertinama konkrečios vietovės reljefo įtaka mūšio eigai. Ar pataikė, t. y. ar konkretus įvykis įvyko, tikrinama taip: jei konkrečiu atveju pataikymo tikimybė  $p_i(r)$  (pavyzdžiui, funkcijos  $p_i(r)$



5 pav. Matomimo įrankio darbo rezultatai: matomi plotai pažymėti (žaliais), nematomi – (raudonais) taškais.

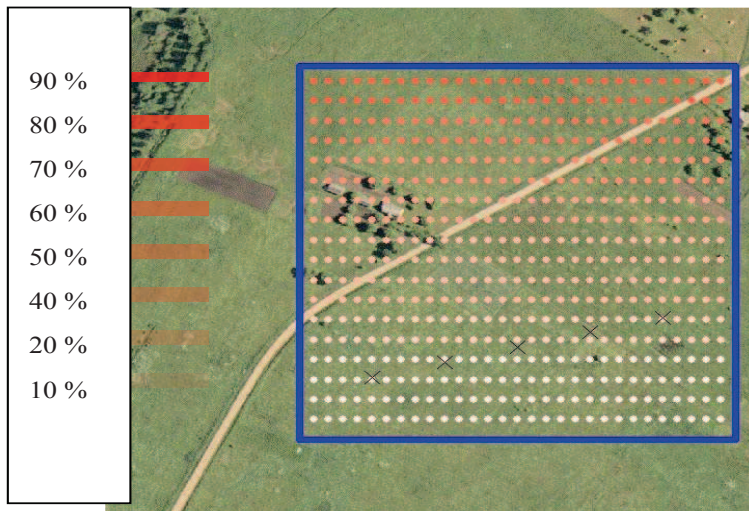
reikšmė lygi 0,2), tai generuojamas pagal tolygųjį skirstinį pasiskirstęs intervale  $[0; 1]$  atsitiktinis dydis  $\rho$  ir tikrinama sąlyga

$$\rho \leq p_i(r). \quad (4)$$

Jei nelygybė (4) tenkinama, tai įvykis įvyko – „pataikė“, jei netenkinama, tai neįvyko. Rezultatai apibendrinami, suskaičiuojama kas žuvo arba toliau dalyvavo atakoje ir kas žuvo gynyboje. Tai kartojama, kol baigiasi mūšis, t. y. žuvo daugiau pusės karių ar panašiai. Tokie skaičiavimai pakartojami 100–200 kartų ir surandamas rezultatų vidurkis, t. y. gaunamas realybei artimas (vidutinis) rezultatas. Galime nagrinėti įvairias judėjimo mūšio lauke schemas, tirti kaip keičiasi nuostoliai keičiant šuro trukmę, kokią įtaką turi atskirų ginklų panaudojimas ir t. t. Galime prognozuoti būsimo mūšio rezultatus, įvertinti karių skaičiaus kitimą mūšio metu.

## 5 Mūšio modeliavimo rezultatų atvaizdavimas. Žinių sąsajos

Aktyvavus programą, aprašančią mūšį, galima įvertinti ir pavaizduoti karių skaičiaus kitimo eigą mūšio metu. Aptarsime žinių sąsajos (glyph) sąvoką [2, 3]. Panaudojant Geografinių informacinių sistemų (GIS) galimybes sukurtas „įrankis“, galintis pateikti papildomą informaciją apie objekto galimybes būsimoju laiku. Objekto pozicija vizualizuojama ne tik įvertinant jo erdvinę padėtį (taškai žemėlapyje). Sukurta programa, kuri įvertina objekto būseną ir atvaizduoja žemėlapyje kaip atrodys objektas ar jo parametrai po tam tikro veiksmo. Detaliau aprašysime žinių sąsajos realizavimo bei taikymo ypatumus būriui, kuris ruošiasi puolimui [3]. Šiuo konkrečiu atveju nagrinėjame puolimą vietovėje, atitinkančioje matomumo matricą, pateiktą 4 pav. Tikimybinis „galimų nuostolių vaizdas“ pateiktas 6 pav. Pavaizduoti taškai atitinka analogiškus taškus matomumo matricoje. Skirtingomis spalvomis pavaizduojami galimi nuostoliai – didėjant nuostoliams (vertinama kas 10 procentų) spalva šviesėja.



6 pav. Tikimybiniis galimų nuostolių atvaizdavimas. Didėjant nuostoliams spalva šviesėja.

## 6 Išvados

1. Tikslus ir laiku atliktas inžinerinis vietovės įvertinimas panaudojant GIS sukuria prielaidas efektyviam šiuolaikinių greitųjų karinių operacijų valdymui. Skaitmeninių žemėlapių bei didelės rezoliucijos palydovų skaitmeninių vietovės nuotraukų panaudojimas leidžia atlikti efektyvią kovos lauko analizę.
2. Sukurtos programos, panaudojančios stochastinius modelius, leidžia aprašyti konkretaus kario kovinius veiksmus ir analizuoti daugelio atsitiktinių faktorių (atakos pradžia, šuoro trukmė, įvairūs taktikos elementai) įtaką mūšio eigai.
3. Skaičiavimų rezultatus, panaudojant žinių sąsajas, galima atvaizduoti žemėlapyje.
4. Pateikiama informacija gali suteikti efektyvią pagalbą kovinio dalinio vadui priimanant sprendimą.

## Literatūra

- [1] I. Jančiauskas ir A. Venskus. *Balistika*. Lietuvos karo akademija, Vilnius, 1999.
- [2] M. Kataoka ed. *GIS for Homeland Security*. ESRI Press, Redlands, California, 2007.
- [3] A. Pincevičius, R. Baušys, S. Bekešienė and V. Kleiza. Modelling of infantry attacks on real terrain. *Nonlin. Anal.: Mod. Contr.*, **13**(4), 2008.
- [4] A. Pincevičius, R. Baušys and P. Jankauskas. The simulation of an infantry attack using geographical information systems. *Aviation*, **X**(3), 2006.

### SUMMARY

#### The intelligent technologies application in modelling of military task

A. Pincevičius

By using information bases of Geographic Information Systems (GIS) and the system of computer algebra MAPLE, created system for planning military actions and estimating capabilities of a military unit to execute a certain task. Using GIS it possible to carry out the engineer estimation of the terrain. A visibility instrument has been created which indicates visibility on the battlefield from several chosen terrain places. Actions of each individual soldier on the battlefield are modeled, the impact of random factors is estimated and a “digital experiment” of a would-be attack is carried out and results represented on the map.

*Keywords:* modeling, military operations, stochastic models, geographical information systems.