

УДК 519.852.67

## МЕТОД МАТРИЧНОГО ГЕНЕТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУР СЦЕНАРІЇВ ВОЄННИХ КОНФЛІКТІВ

В.А. Слободяник

Центр військової екології Міністерства оборони України

e-mail: s\_chum@mail.ru

Для підтримки прийняття управлінських рішень у сучасному воєнному конфлікті важливу роль відіграють математичні моделі. Сценарії конфлікту в таких моделях можуть задаватися експертно, або генеруватися автоматично. В останньому випадку широко застосовується підхід теорії агентів, що використовує методи штучного інтелекту та теорію багатокрокових ігор [1].

Щоб задати багатокрокову гру необхідно задати послідовність ситуацій (подій) гри що задають певну траєкторію (структуру сценарію гри) та послідовність результатів, що визначена на відповідних ситуаціях (подіях) [2]. Перехід на дискретній множині ситуацій гри задається за допомогою операторів  $T : x_{k+1} = T(x_k)$ , що переводять гру із ситуації  $x_k$  в ситуацію  $x_{k+1}$ . В якості операторів  $T$  можуть виступати функції переходу, вирішальні правила, тощо. Основний недолік покрокового підходу до побудови структур сценаріїв гри полягає в швидкому рості похибки з ростом числа змінних та кроків гри [3].

Щоб уникнути вищезазначених труднощів автором відпрацьовано метод, що полягає у відході від покрокової процедури побудови структури сценарію конфлікту (траєкторії гри) та переході до стохастично-адаптивного пошуку оптимальних за критерієм часу структур сценаріїв на множині допустимих структур сценаріїв конфлікту.

Визначимо сценарій, як результат реалізації певної послідовності подій  $Sc_i = \Psi\{\theta_{1i}, \theta_{2i}, \dots, \theta_{ki}, \dots, \theta_{mi}\}$ , де  $\Psi$  - відношення порядку. Подію  $\theta_{ki}$  представимо як набір  $\langle \{i_A\} \in I_A, \{j_B\} \in J_B, k \in L \rangle$ , де  $\{i_A\}, \{j_B\}$  - множини об'єктів сторін А і В, що приймають участь у події,  $k$  - вузол, об'єкт інфраструктури однієї із сторін конфлікту, довкола якого і за контроль над яким розгортається подія,  $I_A, I_B$  - множина об'єктів сторін А і В, що беруть участь у конфлікті,  $L$  - множина вузлів, що є базисом простору конфлікту. Таким чином структура сценарію конфлікту являє собою упорядковані у часі та просторі комбінації взаємодіючих між собою об'єктів сторін конфлікту.

Результат реалізації події  $\theta_{ki}$  залежить від множини змінних  $a_{ki}^1, a_{ki}^2, \dots, a_{ki}^n$  та параметрів  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$  що групуються за допомогою систем нелінійних рівнянь в інтегральні показники  $t_{ki}, x_{ki}^1, x_{ki}^2, \dots, x_{ki}^l$ . Змінні та параметри є кількісними характеристиками окремих вузлів, об'єктів та середовища конфлікту. Інтегральні показники характеризують у динаміці сторони конфлікту та сценарій конфлікту в цілому. Розглядаються наступні інтегральні показники: тривалість подій, людські втрати, втрати матеріально-технічних ресурсів, втрати інфраструктури та оборонного потенціалу.

Тривалість сценарію визначається із умови  $T_i \equiv T(Sc_i) = \sum_{k=1}^{k_{\max}} t_{ki}$ ,

$k_{\max} : \exists j \in \{1, 2, \dots, l\} : x_k^j > x_{\text{крит}}^j$ , де  $x_{\text{крит}}^j$  - критичні значення окремих інтегральних показників. Інтегральні показники є нелінійними функціями  $t_{ki}(a_{ki}^1, a_{ki}^2, \dots, a_{ki}^n, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$ ,  $x_{ki}^j(t_{ki}, a_{ki}^1, a_{ki}^2, \dots, a_{ki}^n, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$ ,  $j = 1, 2, \dots, l$ . Таким чином на кожному кроці  $k$  реалізації структури сценарію  $Sc_i \equiv \langle \theta_{1i}, \theta_{2i}, \dots, \theta_{ki}, \dots, \theta_{k_{\max}i} \rangle$  необхідно знайти рішення системи нелінійних рівнянь:

$$\begin{aligned}
 t_{ki} &= f(\theta_{ki}, a_{ki}^1, a_{ki}^2, \dots, a_{ki}^n, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) \\
 a_{(k+1)i}^q &= a^q(t_{ki}, \theta_{ki}, a_{ki}^1, \dots, a_{ki}^n, \alpha_1, \dots, \alpha_m), q = \overline{1, n}; \\
 x_{(k+1)i}^j &= x^j(t_{ki}, a_{(k+1)i}^1, \dots, a_{(k+1)i}^n, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)
 \end{aligned} \tag{1}$$

У підсумку отримаємо значення інтегральних показників  $t_{ki}, x_{ki}^1, x_{ki}^2, \dots, x_{ki}^l$  на кожному кроці  $k$  в разі реалізації структури сценарію конфлікту  $Sc_i$ . В явному вигляді автором розроблена спрощена система рівнянь (1), що базується на теорії управління запасами, теорії бойових потенціалів та модифікованих рівняннях динаміки середніх Остроградського -Ланчестера, запропонованих у роботі Т.Н.Дюбуа [4].

Щоб згенерувати структуру сценарію конфлікту  $Sc_i$ , необхідно на множині структур сценаріїв  $\{Sc\}$  задати цільову функцію та алгоритм відбору оптимальних у відповідності до заданої цільової функції структур сценаріїв при заданих припущеннях і обмеженнях. В якості такої цільової функції висунуто гіпотезу, що максимальний шанс на реалізацію має така структура сценарію конфлікту, при якій одна із сторін досягає своєї мети за мінімальної тривалості конфлікту  $T_i$  [5]. Отже припустимо, що на множині сценаріїв  $\{Sc\}$  існує множина операторів  $\{\hat{F}\}$ , така що будь-яким сценаріям  $Sc_i, Sc_j \in \{Sc\}$  ставить у відповідність оператор  $\hat{F}_{ij} : Sc_i = \hat{F}_{ij} Sc_j$ . Тоді пошук оптимальної за критерієм часу структури сценарію конфлікту буде являти собою ітераційний процес, що мінімізує на кожному кроці значення функції  $T_i$ . Для реалізації даного процесу необхідно розв'язати задачу ідентифікації операторів  $\hat{F}_{ij}$  у явному вигляді. При числі ітерацій  $k \rightarrow k_{\max}$  відповідна задача зводиться до еквівалентної задачі календарного планування з обмеженими ресурсами. Математична постановка цієї задачі формулюється наступним чином: на множині сценаріїв конфлікту  $\{Sc\}$  знайти такий сценарій  $Sc^{opt}(T; x_1, x_2, \dots, x_l) \in \{Sc\}$ , для якого виконується умова:

$$Sc^{opt}(T; x_1, x_2, \dots, x_l): \quad T = \min_{j \in M_{Sc}} \sum_{k=1}^{G_j} \max_{i \in \theta_k} (t_{ik}^j + \Delta t_k^j) \equiv \min_{j \in M_{Sc}} T^j \tag{2}$$

при обмеженнях:

$$\sum_{k=1}^{n+1} \max_{i \in \theta_k} (t_{ik}^j + \Delta t_k^j) = \sum_{k=1}^n \max_{i \in \theta_k} (t_{ik}^j + \Delta t_k^j) + \max_{i \in \theta_{n+1}} (t_{i(n+1)}^j + \Delta t_{(n+1)}^j) \tag{3}$$

$$\forall \theta_k \cap \theta_{k+1} \neq \emptyset: \quad t_{\theta_k}^j + t_{\theta_{k+1}}^j \neq t_{\theta_{k+1}}^j + t_{\theta_k}^j \tag{4}$$

$$G_j : (\forall i \in \overline{1, l}: x_i \leq x_i^{krum}) \wedge (G_j + 1) : (\exists i \in \overline{1, l}: x_i > x_i^{krum}) \tag{5}$$

де  $M_{Sc}$  - множина сценаріїв конфлікту;  $T^j$  - тривалість  $j$ -го сценарію конфлікту;  $G_j$  - число подій у  $j$ -му сценарії;  $t_{ik}^j$  - час на залучення  $i$ -го об'єкту до  $k$ -ої події у  $j$ -му сценарії конфлікту;  $\Delta t_k^j$  - час на реалізацію  $k$ -ої події у  $j$ -му сценарії конфлікту;  $t_{\theta_k}^j$  - тривалість  $\theta_k$ -ої події у  $j$ -ому сценарії;  $x_i, i = \overline{1, l}$  - параметри моделі конфлікту. Обмеження (3)-(5) виконують роль умови завершення конфлікту.

Для розв'язання задачі (2)-(5) розроблено метод матричного генетичного моделювання, що є модифікацією класичного генетичного алгоритму Холланда [6]. Його особливість полягає у тому, що в якості коду рішення пропонується матриця змінної довжини. Її стовпці є упорядкованим набором подій, що характеризують вибраний

сценарій конфлікту, а строки вказують на участь об'єктів сторін конфлікту у вибраних подіях.

Метод матричного генетичного моделювання - стохастичний адаптивний метод, що містить наступні оператори і параметри:

$$GA = (N, f, \theta, \Omega_1, \Omega_2, \psi, R, M, \xi, \tau) \quad (6)$$

де  $N$  - початкова множина закодованих варіантів структур сценаріїв;  $f$  - цільова функція що співпадає з (2) та обраховується за допомогою математичної моделі (1);  $\theta$  - оператор що випадковим чином вибирає  $\nu = 1, 2$  сценарії із множини  $N$ ;  $\Omega_1$  - оператор обміну ділянками коду по ширині (оператор кросинговеру 1 роду);  $\Omega_2$  - оператор обміну ділянками коду по довжині (оператор кросинговеру 2 роду);  $\psi$  - оператор мутації випадковим чином вибраної події сценарію із множини  $N$ . В результаті дій операторів  $\Omega_1, \Omega_2, \psi$  створюється  $\nu = 1, 2$  варіантів структур сценаріїв, що є модифікаціями вибраних батьківських структур. Порядок застосування операторів  $\Omega_1, \Omega_2, \psi$  визначається генератором випадкових чисел, так щоб загалом виконувалися умови:

$$\begin{aligned} n \rightarrow n_\tau : P_{\Omega_1}(n) &\rightarrow \bar{P}_{\Omega_1} \\ n \rightarrow n_\tau : P_{\Omega_2}(n) &\rightarrow \bar{P}_{\Omega_2} \\ n \rightarrow n_\tau : P_\psi(n) &\rightarrow \bar{P}_\psi \\ \bar{P}_{\Omega_1} + \bar{P}_{\Omega_2} + \bar{P}_\psi &= 1 \end{aligned} \quad (7)$$

де  $n$  - число ітерацій алгоритму;  $n_\tau$  - число ітерацій, при яких алгоритм завершує свою роботу;  $P_{\Omega_1}(n), P_{\Omega_2}(n), P_\psi(n)$  - ймовірність застосування операторів  $\Omega_1, \Omega_2, \psi$  на  $n$ -ітерацію;  $\bar{P}_{\Omega_1}$  - середня ймовірність застосування оператора кросинговеру 1 роду до  $\nu = 2$  вибраних сценаріїв;  $\bar{P}_{\Omega_2}$  - середня ймовірність застосування оператора кросинговеру 2 роду до  $\nu = 2$  вибраних сценаріїв;  $\bar{P}_\psi$  - середня ймовірність застосування оператора мутації до  $\nu = 1$  вибраного сценарію. Наступні за порядком слідування у (7) оператори  $R, M$  перевіряють виконання умови (5) на структурах сценаріїв і коригують коди останніх у відповідності з правилами логіки конфлікту. Нарешті оператор  $\xi$  знищує  $\nu = 1, 2$  найгірших по значенню функції  $f$  закодованих варіантів структур сценаріїв із множини  $N + \nu$ ;  $\tau$  - критерій зупинки алгоритму.

Таким чином оператори  $\hat{F}$  визначаються в ході ітераційного процесу, що задається (6) і представляються у вигляді послідовності операторів:  $\hat{F} = \hat{M}\hat{R}Rand\{\hat{\Omega}_1, \hat{\Omega}_2, \hat{\Psi}\}$ , де  $Rand\{\hat{\Omega}_1, \hat{\Omega}_2, \hat{\Psi}\}$  - оператор зміни структури сценарію,  $\hat{R}$  - оператор перевірки умови (5) завершення сценарію,  $\hat{M}$  - оператор перевірки структури сценарію на відповідність логіці, притаманній конфлікту.

Задача генерації оптимальної за часом структури сценарію конфлікту та визначення на ній динаміки основних інтегральних показників конфлікту програмно реалізована на мові програмування Java та знайшла своє підтвердження в ході серії комп'ютерних експериментів на даних реальних та учбових конфліктів.

Роботу програми ілюстровано на прикладі результатів моделювання конфлікту 2003 року між США та Іраком. Швидкість сходження ітераційного процесу пошуку оптимальної структури сценарію конфлікту наведено на рис.1. Аналіз показує, що процес умовно проходить в 2 етапи. На першому етапі здійснюється пошук оптимальної послідовності подій (оптимального маршруту у просторі конфлікту). На другому етапі іде їх прецизійна настройка, коли корекція проходить всередині самих подій, проте послідовність їх слідування залишається майже без змін.

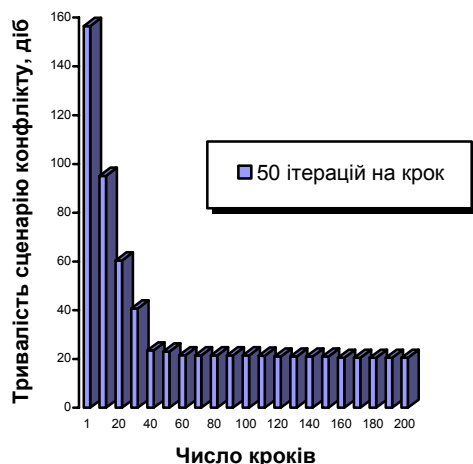


Рис. 1.

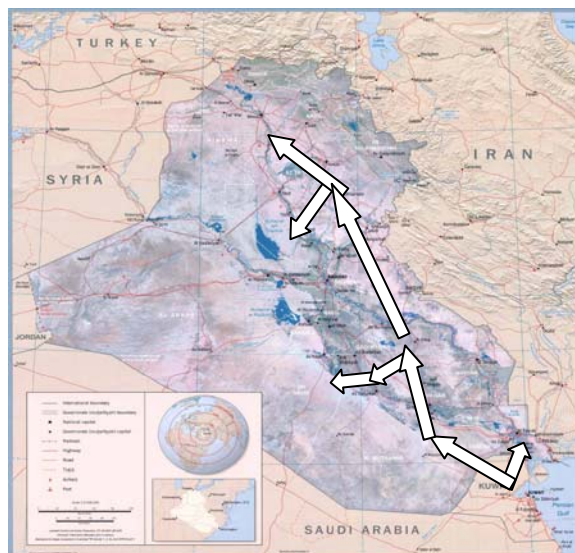


Рис. 2.

На рис. 2 графічно відображено послідовність можливих дій військ США в разі реалізації одного із згенерованих ПЕОМ варіантів сценарію конфлікту 2003 року між США та Іраком. У таблиці приводяться отримані в ході моделювання основні характеристики конфлікту 2003 року у порівнянні з їх реальними значеннями.

Характеристики конфлікту	Результати моделювання	Фактично
Тривалість, днів	28	25
Втрати Іраку, чол.	29483	36800
Втрати США та союзників, чол.	886	760

Наведений приклад свідчить про перспективність застосування методу матричного генетичного моделювання структур сценаріїв для підтримки прийняття рішень в ході планування воєнних операцій.

#### Література

1. A. Ilachinski. Artificial War: Multiagent – based simulation of combat. – Singapore: World Scientific, 2004. - 784 p.
2. В.С.Левченко. Стационарные стратегии в супериграх // ДАН. 2004. Т.397, №2, с.181-185.
3. В.А.Слободяник. Оценка периода упреждения для прогнозирования динамики временных рядов, заданных на счетном множестве состояний // Адаптивні системи автоматичного управління. Дніпропетровськ: Системні технології. – 2001. - №4. - С.139-143.
4. T.N. Dupuy Attrition: Forecasting battle casualties and equipment losses in modern war. Fairfax, VA: HERO books, 1990, 176 p.
5. В.А. Слободяник, С.Н. Чумаченко. Подходы к генерированию сценариев для поддержки принятия решений в конфликтных ситуациях // Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика: Збірник доповідей науково-практичної конференції з міжнародною участю. – Київ: ІПММС НАНУ, 2005. - с.72-75.
6. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975.