

РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ГРИ З ДВОСТОРОННІМ ПІДСЛІДКОВУВАННЯМ ДЛЯ ВИПАДКУ АНАЛІЗУ РІЗНОРОЗМІРНИХ ДАНИХ

Широке застосування в сучасних умовах систем імітаційного моделювання бойових дій під час їх використання в стандартизованих процедурах прийняття рішень, призводить до підвищення ефективності та якості систем імітаційного моделювання. В дослідженні проведено аналіз рішень ігрових моделей ведення двосторонньої гри із протилежними інтересами для випадку коли числові значення мають різнорозмірний характер. Крім того, проведено роботу щодо розвитку та вдосконалення ігрової моделі двосторонньої гри. Актуальність роботи обумовлена широкою реалізацією систем імітаційного моделювання бойових дій як програмного забезпечення комп'ютерних систем з ОС Android та Windows. В роботі досліджується визначення шляхів реалізації раціональних мішаних стратегій складною системою як ігрових моделей ведення двосторонньої гри із протилежними інтересами з сідловою точкою. В зазначених системах представлення чисел здійснюється з плаваючою комою. З'ясовано, як саме особливості представлення чисел впливають на результати моделювання, коли використано різнорозмірні дані. Результати роботи дозволять виключити недостовірні результати імітаційного моделювання під час їх використання в стандартизованих процедурах прийняття рішень. Показано, що з використанням максимінійної стратегії стійкі цикли гри утворювалися тільки з урахуванням значень елементів матриці ймовірностей переходів. Це досягається формуванням гри, значення вихідних даних для якої складаються тільки з нулів і одиниць. За зазначених умов стають два завдання. Це дослідження впливу особливостей представлення чисел в плаваючою комою на результати моделювання. Та розвиток і вдосконалення ігрових моделей систем імітаційного моделювання бойових дій для усунення негативного впливу їх помилок на результати використання стандартизованих процедур прийняття рішень. В результаті досліджень вдосконалено ігрову модель з двостороннім підслідковуванням для випадку різнорозмірних даних. Вдосконалена модель відрізняється від відомих використанням в якості критерію оцінки ефективності роботи технологічної системи управління множини усіх досягнутих результатів функціонування виконуючих елементів підсистеми.

Ключові слова: двостороннє підслідковування, стійкі цикли, різнорозмірні дані, представлення чисел з плаваючою комою.

Вступ. Останнім часом, в залежності від специфіки завдань та ризиків в бойовій обстановці органів та засобів розвідки, не вистачає для виявлення засобів та об'єктів противника на ділянках місцевості. Проведений аналіз результатів бойових дій показує, що зростання зусиль на забезпечення розвідки сил та засобів противника в порівнянні останніх двох років зросло в 2–3 рази. По перше, це контроль за великими ділянками місцевості та, на жаль, ще багато апаратури старого парку. В той же час на порядок збільшилися можливості противника, що направленні на протидію роботі технічним засобам розвідки та органам розвідки. Слід зазначити, що управління силами розвідки здійснюється реалізацією існуючих моделей управління різнорідними силами і засобами. Ці моделі добре описано у [1 – 4].

Досвід бойових дій показує, що для ефективного виявлення сил і засобів противника на ділянці місцевості, потрібно проводити перерозподіл технічних засобів розвідки (ТЗР) та порядок застосування органів розвідки (ОР), які будуть найефективніші в даний період часу. Поряд з роботою ОР та ТЗР потрібно враховувати різноманітний вплив противника.

Актуальність роботи обумовлена широкою реалізацією систем імітаційного моделювання бойових дій під час їх використання в стандартизованих процедурах прийняття

рішень (decision making process). Та відповідно і плати за похибки в прийнятті управлінських рішень [5]. Системи імітаційного моделювання бойових дій реалізуються як програмне забезпечення комп'ютерних систем з ОС Android та Windows [6, 7]. В зазначених операційних системах представлення числових даних здійснюється з плаваючою комою [8], що накладає обмеження на застосування теоретичних результатів досліджень двосторонньої гри із протилежними інтересами.

Аналіз останніх досліджень

Описом розподілів об'єктів розвідки на місцевості раніше була присвячена робота [9]. Автори провели послідовну апробацію та верифікацію моделі закону розподілу об'єктів розвідки в глибині бойових порядків. Для відновлення моделей закону розподілу об'єктів розвідки розроблено метод апроксимації щільностей розподілу ймовірностей багатогодового вигляду. Апробація проведена на відомих статистичних даних шляхом багатократного відновлення аналітичної структури. Але в дослідженні не приділено необхідної уваги динаміці досліджуваного процесу за умов протидії.

В роботі [10] досліджується визначення шляхів реалізації раціональних мішаних стратегій складною системою як ігрових моделей ведення двосторонньої гри із протилежними інтересами з сідловою точкою. Автор зосередився на отриманні оптимальної за визначеними критеріями моделі гри. Слід зазначити, що реалізувати отримані рішення на операційних системах Android та Windows без розроблення спеціальних методів врахування розрядності представлення числових значень вихідних параметрів складно. Це обумовлено особливостями представлення чисел з плаваючою комою [8].

В роботі [11] отримано ігрові моделі ведення двосторонньої гри із протилежними інтересами для випадку визначення раціональної стратегії, коли противник не аналізує роботу наших технічних засобів розвідки і перешкоди для них з'являються випадково. Логічним розвитком моделей ведення двосторонньої гри із протилежними інтересами стала робота [12] де запропоновано теоретичне рішення формування оптимальних змішаних стратегій управління складною системою для конкретного практичного випадку.

Можна зауважити, що роботи [10 – 12] не враховують особливості реалізації аналітичних залежностей в програмному забезпеченні систем імітаційного моделювання взагалі та особливості представлення чисел в плаваючою комою комп'ютерних систем з ОС Android та Windows. Отримані результати є суто теоретичні в відповідних галузях і складно реалізуються в випадку спроб їх програмування популярними засобами.

Особливістю вихідних даних є факт їх різнорозмірності. Під різнорозмірністю мається на увазі використання даних описаних як float та double в програмних реалізаціях моделей. Але зазначений факт в відомих роботах з дослідження моделей двосторонньої гри із протилежними інтересами з сідловою точкою не враховується.

Для представлення чисел в програмних реалізаціях моделей гри застосовується стандарт IEEE 754 [8], що взагалі широко застосовується у мікропроцесорній техніці та програмуванні. Більшість сучасних мікропроцесорів виготовляється з апаратною реалізацією формату представлення чисел введеного стандартом IEEE 754 [13]. Ні розвиток мов програмування, ні спеціальні методи, що використовуються розробниками програмного забезпечення, не змінюють кардинально ситуацію. Це пояснюється фактом того, що в світі комп'ютерів іншого представлення чисел просто не існує.

Помилки, які витікають з використання стандарту IEEE 754, і які пов'язані з точністю представлених чисел, добре проаналізовано в [14]. В цій роботі визначені граничні значення похибок саме представлення чисел, але на жаль в роботі не розглядалися питання впливу цих похибок на кінцевий результат проведення арифметичних операцій в ОС Android та Windows 10.

Спробою дослідження впливу похибок представлення чисел з плаваючою комою при моделюванні практичних галузей є робота [15]. В роботі проаналізовано витрати працездатності систем діагностики. Прогнозування значень діагностичних параметрів складних систем з представленням чисел з плаваючою комою, але спроб вироблення практичних рекомендацій зниження впливу помилок представлення чисел за стандартом

IEEE 754 не зроблено.

Для сучасних ОС Android та Windows розмір в 8 байт є нищівним. З метою виправлення ситуації запропоновано використання другої редакції стандарту IEEE754 [16]. Але такі помилки представлення чисел з плаваючою комою, як помилки викликані зрушенням мантис (циклічні діри), помилки викликані округленням (брудний нуль), помилки на границі норма/денорма числа (числа вбивці) не усунуті, що обумовлено підвалинами закладеними в стандарт.

Мета статті. Метою роботи є розвиток і вдосконалення ігрової моделі ведення двосторонньої гри із протилежними інтересами для виключення можливості негативного впливу представлення чисел в плаваючою комою в комп'ютерних системах імітаційного моделювання бойових дій.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1. Отримати ігрову модель ведення двосторонньої гри із протилежними інтересами для випадку, коли числові значення мають різнорозмірний характер.

Виклад основного матеріалу. В ігровій моделі конфліктуючі системи подаються двома гравцями із протилежними інтересами. 1-й гравець виявляє об'єкти та приймає рішення на застосування органів розвідки та технічних засобів розвідки. 2-й гравець виявляє органи та засоби розвідки, керує розміщенням та переміщенням об'єктів для ефективного їх застосування.

Дослідження питань по підвищенню ефективності виявлення об'єктів противника розглянемо у вигляді складної системи. Нехай система на застосування органів розвідки та технічних засобів розвідки S_1 , якою управляють, функціонує протягом часу T з метою виконання задачі по заздалегідь заданому критерію ефективності E . Антисистема S_2 – це противник, що виявляє органи та засоби розвідки, керує розміщенням та переміщенням об'єктів для ефективного їх застосування, знижуючи значення показника E системи S_1 , використовуючи множину сигналів протидії

$$Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_j, \dots, Y_n\}. \quad (1)$$

Таким чином, обмеженість технічних можливостей контролювати всю ділянку місцевості, де знаходиться противник, приводить до вимог вдосконалення застосування органів розвідки та технічних засобів розвідки при управлінні ними.

Система, якою управляють S_1 для відновлення ефективності E , має у своєму розпорядженні множину засобів захисту

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_m\}. \quad (2)$$

В якості множини можливо використовувати ведення управління декількома органами розвідки та різними видами технічних засобів розвідки, використовувати систему управління цими засобами $S_{1упр}$ з множинами X та Y , які зв'язані часом застосування засобів захисту

$$T^x = \{T_1^x, T_2^x, \dots, T_i^x, \dots, T_m^x\}, \quad (3)$$

і засобів протидії

$$T^y = \{T_1^y, T_2^y, \dots, T_j^y, \dots, T_n^y\}, \quad (4)$$

де T_i^x – час одноразового застосування засобу захисту X_i для управління органом розвідки або ТЗР; T_j^y – час однократного застосування засобу протидії Y_j (переміщення об'єктів).

У кожний момент часу t значення ефективності $E_{ij}(t)$ системи S_1 , якою управляють, визначається впливом на неї засобу протидії $Y_j (Y_j \in Y)$ і засобом захисту $X_i (X_i \in X)$; причому, протягом часу застосування зазначених впливів, E_{ij} не змінюється. Система, якою управляють S_1 , має засоби протидії системи S_2 і відповідних їм значеннях ефективності системи S_1 для різних засобів протидії й захисту й має можливість у процесі функціонування визначати застосовуване системою S_2 засіб протидії. Ця можливість характеризується

$$t^y = \{t_1^y, t_2^y, \dots, t_j^y, \dots, t_n^y\} \quad (5)$$

де t_j^y – час, що витрачається системою S_1 на розпізнавання застосовуваного системою S_2 засобу протидії Y_j (від моменту початку застосування засобу протидії Y_j до моменту встановлення факту його застосування).

Можливості системи S_2 по виявленню роботи технічних засобів розвідки S_1 характеризуються множиною

$$t^x = \{t_1^x, t_2^x, \dots, t_i^x, \dots, t_m^x\}, \quad (6)$$

де t_i^x – час, що витрачається системою S_2 на впізнавання застосовуваного системою S_1 ефективності системи X_i .

Множини t^x і t^y характеризують час запізнювання інформації в системах S_1 і S_2 .

Величина T є час, необхідний системі S_1 для виконання нею в процесі функціонування завдання. За час T відбувається багаторазова зміна засобів протидії й захисту засобу управління, так що

$$T_i^x < T \text{ та } T_j^y < T. \quad (7)$$

Для запропонованої ігрової моделі розглянемо випадок, коли обидва гравця мають можливість впізнавати застосовувані в цей момент противником стратегії, тобто виконується умова

$$t_i^x < T_i^x \text{ та } t_j^y < T_j^y. \quad (8)$$

Гра протікає наступним чином. Нехай на початку гри застосовуються деякі стратегії X_i та Y_j . 1-й гравець протягом часу t_j^y робить впізнавання стратегії Y_j й переходить до такої ж стратегії $X_{i(j)}$, при якій для даної стратегії Y_j виграш стає максимальним і рівним $\max_i a_{ij}$. Після зміни стратегії 1-м гравцем 2-й гравець протягом часу t_i^x робить впізнавання застосовуваної 1-м гравцем стратегії й переходить до такої ж стратегії $Y_{j(i)}$, при якій для даної стратегії X_i виграш стає мінімальним і рівним $\min_j a_{ij}$. Після зміни стратегії 2-м гравцем починає аналіз стратегії $Y_{j(i)}$ 1-й гравець і таке інше.

Поведінка, при якій гравець спочатку робить впізнавання застосовуваної противником чистої стратегії, а потім використовує найвигіднішу для себе чисту стратегію, будемо називати підслідковуванням. Якщо підслідковування здійснюють обидва гравця, то будемо говорити, що має місце гра з двостороннім підслідковуванням.

Після завдання в грі поведінки гравців ставиться наступна задача: в умовах двостороннього підслідковування необхідно визначити середній за час гри T виграш 1-го гравця.

Висновки та напрямки подальших досліджень. В результаті досліджень вдосконалено ігрову модель з двостороннім підслідковуванням для випадку різнорозмірних даних. Вдосконалена модель відрізняється від відомих використанням в якості критерію оцінки ефективності роботи технологічної системи управління множини усіх досягнутих результатів функціонування виконуючих елементів підсистеми. Ігрова модель адаптована

для систем імітаційного моделювання бойових дій на базі з ОС Android та Windows для управління органами та засобами розвідки.

Слід зауважити, що використання отриманої ігрової моделі в умовах, коли невідома стратегія протидії противника показало не доцільність одночасного застосування всіх засобів захисту (протидії), оскільки зростає складність системи, що призводить до зниження її надійності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Томашевський В.М. Моделювання систем / В.М. Томашевський// К.: БІУ, 2005.
2. Таха Х. Введение в исследование операций, 7-е издание. / Х. Таха// М.: Издательский дом "Вильямс", 2005.
3. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій: [підручник] / Ю.П. Зайченко// К.: ЗАТ "ВІ-ПОЛ", 2000.
4. Більчук В.М. Спеціальні розділи теорії ймовірностей та математичної статистики [навчальний посібник] / В.М. Більчук // Х.: ХНУР, 2008. – 226 с.
5. Стандарт ВС 5-0 Процес прийняття рішень, Київ, 2016
6. Загальна характеристика системи імітаційного моделювання бойових дій BATTLECOMMAND, електронний ресурс// <http://sim.nuou.org.ua/>
7. Застосування систем імітаційного моделювання бойових дій, електронний ресурс//<http://www.ukr.vipreshebник.ru>
8. IEEE Стандарт для двоичной арифметики с плавающей запятой,(ANSI/IEEE Std 754-1985)/ Видавництво IEEE, East 47th Street, NewYork, NY 10017, USA, 1985 р.
9. Левченко А.О. Моделі щільності імовірності, що побудовані за гістограмами розподілу об'єктів розвідки для різних видів бою [Військово-технічний збірник] / Левченко А.О., Багінський В.А. //Академія сухопутних військ. – Випуск 2. – Львів: АСВ, 2009. – 128 с.
10. VITALIY PAVLENKO Estimation of the Multidimensional Dynamical Characteristic Eye-Motor System/ VITALIY PAVLENKO, DMYTRO SALATA, YURIY MAKSYMENKO// Mathematical Methods and Computational Techniques in Science and Engineering. Cambridge, UK 24–26 February 2017.
11. Максименко Ю.А. Постановка задачі оптимізації моделі функціонування складної системи радіоуправління технічними засобами в умовах протидії [Сборник научных трудов] / Максименко Ю.А.// «SWORLD». Технические науки. Международное научное издание. Выпуск 1 (38).– 2015.
12. Максименко Ю.А. Реалізація оптимальних змішаних стратегій складною системою радіоуправління технічними засобами. [Збірник наукових праць.] / Максименко Ю.А.// Одеса, ОДАТРА, 2015.
13. IEC 60559:1989 Стандарт: двоичная арифметика с плавающей запятой для микропроцессорных систем/ Видавництво IEC, East 47th Street, NewYork, NY 10017, USA 2008 р.
14. Яшкардін В. IEEE 754 – стандарт двоичной арифметики с плавающей запятой, електронний ресурс// www.softelectro.ru
15. A.O. Levchenko Souse of working capacity losses of diagnostic system of armament and military equipment of the second grad eincluding the number swith Floating-Point/ A.O. Levchenko, R.M. Voitenkov // ISSN International Center. – Sbornik nauchnykh trudov SWORLD. – 2014. – № 4(37).
16. IEEE Стандарт для двоичной арифметики с плавающей запятой (ANSI/IEEE Std 754-2008)// Видавництво IEEE, East 47th Street, NewYork, NY 10017, USA 2008 р.

REFERENCES:

1. Tomashevskiy V.M. Modeling of systems / V.M. Tomashevskiy// K.: BIU, 2005.
2. Takha H. Introduction to research operations, 7th edition. / H. Takha// M.: Izdatelsky dom "Williams", 2005.
3. Zaichenko Yu.P. Operations research: [textbook] / Yu.P. Zaichenko// K.: CJSC "VI-POL", 2000.
4. Bilchuk V.M. Special sections of probability theory and mathematical statistics [study guide] / V.M. Bilchuk // Kh.:Khnur, 2008. – 226 p.
5. Supreme Council Standard 5-0 Decision-Making Process, Kyiv, 2016

6. General characteristics of the battle simulation simulation system BATTLECOMMAND, electronic resource// <http://sim.nuou.org.ua/>
7. Application of combat simulation simulation systems, electronic resource // <http://www.ukr.vipreshebnik.ru>
8. IEEE Standard for Binary Floating Point Arithmetic.(ANSI/IEEE Std 754-1985)/ Publishing house IEEE, East 47th Street, NewYork, NY 10017, USA, 1985 p.
9. A.O. Levchenko Probability density models built according to histograms of the distribution of intelligence objects for various types of combat [Military and technical collection] / A.O. Levchenko, V.A. Baginskyi. //Academy of Ground Forces. – Issue 2. – Lviv: ASV, 2009. – 128 p.
10. VITALIY PAVLENKO Estimation of the Multidimensional Dynamical Characteristic Eye–Motor System/ VITALIY PAVLENKO, DMYTRO SALATA, YURIY MAKSYMENKO// Mathematical Methods and Computational Techniques in Science and Engineering. Cambridge, UK 24–26 February 2017.
11. Maksimenko Yu.A. Setting the task of optimization of the model of the functioning of a complex radio control system by technical means in the conditions of countermeasures [Collection of scientific works] / Yu.A. Maksimenko// "SWORLD". Technical sciences. International Scientific Edition. Issue 1 (38).– 2015.
12. Maksimenko Yu.A. Implementation of optimal mixed strategies by a complex radio control system with technical means. [Collection of scientific works.] / Maksimenko Yu.A.//. Odesa, ODATRYA, 2015.
13. IEC 60559:1989 Standard: Binary floating-point arithmetic for microprocessor systems/ IEC Publishing House, East 47th Street, NewYork, NY 10017, USA 2008
14. Yashkardin V. IEEE 754 – standard of binary floating-point arithmetic, electronic resource// www.softelectro.ru
15. A.O. Levchenko Souse of working capacity losses of diagnostic system of armament and military equipment of the second grad eincluding the numbers with Floating-Point/ A.O. Levchenko, R.M. Voitenkov // ISSN International Center. – Sbornik nauchnykh trudov SWORLD. – 2014. – № 4(37).
16. IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic (ANSI/IEEE Std 754-2008)// IEEE Publishing House, East 47th Street, NewYork, NY 10017, USA 2008

**PhD. Semchak O.M., PhD. Maksimenko Yu.A., PhD. Mamich V.V.,
Sharshatkin D.Y., Dushkin Y.G.**

IMPLEMENTATION OF THE ANALYSIS OF THE GAME MODEL WITH TWO-SIDED TRACKING FOR THE CASE OF VARIOUS DIMENSIONAL DATA

The widespread use in modern conditions of combat simulation simulation systems during their use in standardized decision-making procedures leads to an increase in the effectiveness and quality of simulation simulation systems. In the study, an analysis of solutions of game models of conducting a two-sided game with opposing interests was carried out, for the case when the numerical values have a multidimensional nature. In addition, work was carried out on the development and improvement of the game model of the two-sided game. The relevance of the work is due to the widespread implementation of combat simulation systems as software for computer systems with Android and Windows operating systems. The paper examines the definition of ways to implement rational mixed strategies in a complex system as game models of conducting a two-sided game with opposing interests with a saddle point. In these systems, numbers are represented with a floating point. It has been clarified how the specifics of the representation of numbers affect the results of modeling when multidimensional data are used. The results of the work will make it possible to exclude unreliable results of simulation modeling when they are used in standardized decision-making procedures. It is shown that using the maximin strategy, stable game cycles were formed only taking into account the values of the elements of the matrix of transition probabilities. This is achieved by forming a game of values of the output data for which consist only of zeros and ones. Under these conditions, there are two tasks. This is a study of the influence of features of the representation of floating-point numbers on simulation results. And the development and improvement of game models of combat simulation simulation systems to eliminate the negative impact of their errors on the results of using standardized decision-making procedures. As a result of research, a game model with two-way tracking for the case of multidimensional data has been improved. The improved model differs from the known ones by using as a criterion for evaluating the effectiveness of the technological control system the set of all the achieved results of the functioning of the executing elements of the subsystem.

Keywords: *two-way tracking, stable loops, multidimensional data, floating-point representation*