

Є.С. Воробйов¹, М.А. Павленко¹, Є.Ю. Хлебніков², М.Г. Гладишев¹

¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

²Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ

ВИКОРИСТАННЯ КЛІТКОВОГО АВТОМАТУ У МЕТОДІ ВИБОРУ ВАРІАНТУ МАРШРУТУ ПОЛЬОТУ УДАРНИХ ЛІТАКІВ ЩОДО УРАЖЕННЯ НАЗЕМНИХ ЦІЛЕЙ

У даній статті розглядається задача вибору варіанта маршруту польоту ударної авіації для ураження наземних цілей. Дане завдання відноситься до класу задач багатокритеріальної оптимізації і вимагає значних часових і обчислювальних ресурсів для свого вирішення. В роботі розроблено метод розв'язання даної задачі щодо пошуку оптимального маршруту з використання клітинного автомата на тривимірній моделі решітчастого газу. Основна відмінність розробленого методу полягає в уточненні властивостей тривимірної моделі клітинного автомата решітчастого газу, розробки нового підходу до обчислення ймовірності зміни положення клітини і визначення правил переходу до сусідніх елементів і розробки нових процедур переходу в них. Розроблений метод дозволяє будувати моделі з різним ступенем деталізації, що дозволяє регулювати час пошуку рішень і шукати рішення в окремих областях простору. У методі також проявляється можливість врахування властивостей повітряного простору, наприкладі зон підвищеного ризику, з допустимим ризиком та з мінімальним ризиком.

Ключові слова: клітинний автомат, маршрут, маршрут польоту, оптимізація.

Вступ

Постановка проблеми. На сьогоднішній день не існує однозначного підходу до вирішення завдання пошуку маршруту польоту ударної авіації. Для вирішення даного завдання в цивільній авіації вироблені правила її рішення в жорстко заданих умовах розбиття простору і сформульованих цілей [1]. Однак для цивільної авіації основним завданням є перевезення найбільшої кількості вантажів або пасажирів за мінімальний час при максимальній безпеці [2]. Для літаків військового або спеціального призначення висуваються зовсім інші вимоги по визначенню маршрутів [16]. Для таких маршрутів будуть характерні висока невизначеність в стані простору, невідомий або високий рівень ризику виконання завдання, різноплановість вирішуваних завдань і інші фактори.

Існуючі методи вирішення цих завдань можна умовно розбити на дві великі групи. Це автоматизовані і неавтоматизовані методи вирішення [14; 17]. Автоматизовані методи мають обмежені можливості, які дозволяють лише віднайти найкоротший маршрут без урахування особливостей вирішення завдань, стану середовища в якій буде функціонувати літальний об'єкт, а також цілей і завдань, які будуть перед ним стояти.

Неавтоматизовані методи дозволяють більш якісно підходити до вирішення даного завдання. Однак основним їх недоліком є низька оперативність вирішення, відносно невисока точність і неможливість реалізації декількох стратегій плануван-

ня польотів при одноразовому рішенні. Тобто, для вирішення таких завдань в різних умовах необхідно виконувати весь комплекс обчислень повторно.

Таким чином, існує необхідність розробки нових методів пошуку маршрутів польоту ударної авіації з урахуванням особливостей стану повітряного простору та переліку вирішуваних завдань. При цьому будемо враховувати необхідність вирішення завдання наведення повітряних об'єктів на наземні цілі в умовах протидії противника.

Аналіз літератури. Автором роботи [2] існуючі на сьогодні методи вирішення завдань пошуку маршрутів рухомих об'єктів розділені на три класи: точні, класичні евристичні і метаевристическі методи. Точні методи представляють інтерес при розробці та тестуванні оптимізаційних алгоритмів, але для вирішення практичних завдань не використовуються в зв'язку з швидким зростанням обчислювальної складності при збільшенні розмірності задачі. Евристичні методи полягають в здійсненні пошуку в відносно обмеженому просторі рішень і забезпечують знаходження наближених до оптимальних рішень за прийнятний час. Метаевристичні методи є підкласом класичних евристик, особливістю яких є ретельне вивчення найбільш перспективних частин простору рішень [3]. Якість отриманих рішень при цьому вище, ніж в класичних евристичних. Однак, вони включають велику кількість параметрів, які повинні бути налаштовані для кожного конкретного завдання [4]. Тому метаевристичні методи складають основу сучасних досліджень в області наближених методів рішення [2].

Особливо часто для вирішення оптимізаційних задач, до яких відноситься і завдання пошуку маршрутів, використовуються метаевристичні, засновані на механізмах, які зустрічаються в живій природі. Такі метаевристичні методи отримали назву біоалгоритмів. Серед них і клітинні автомати, завдяки природному паралелізму, простоті і універсальності дозволяють моделювати поведінку самих різних систем, об'єктів і явищ будь-якого походження [5]. Функціонування апарату клітинних автоматів детально описано в роботах [5; 7–8]. А приклади їх використання для вирішення оптимізаційних завдань доводять свою ефективність. Зокрема, в статті [9] на основі клітинних автоматів змодельовано поведінку натовпу з урахуванням ментальних особливостей пішоходів. В роботі [10] описано клітинно-автоматний підхід до моделювання поведінки транспорту і пішоходів. Пошук оптимальних маршрутів руху з використанням апарату клітинних автоматів також здійснено в статті [11], однак оскільки розглянуто рух об'єктів у двовимірному просторі то перенесення його в тривимірний простір потребує доопрацювання розробленої моделі та врахування обмежень щодо формування зон в повітряному просторі.

Обґрунтування доцільності застосування клітинно-автоматного підходу до вирішення завдання комівояжера наведені в роботі [5]. В роботі [13] описано успішне застосування клітинних автоматів для вирішення завдання пошуку маршрутів пересування автомобілів від оптових баз до торгових точок. Однак такий підхід може бути застосований лише при наявності дорожньої мережі та сформульованої задачі комівояжера для даних умов, що не дозволяє використовувати даний підхід до вирішення завдання пошуку маршруту польоту повітряних об'єктів. В роботі [15] запропоновано використання алгоритмів маршрутизації для пошуку оптимальних маршрутів польотів ударної авіації. Однак такий підхід відрізняється високою обчислювальною складністю і грубим розбиттям простору з різними властивостями.

Проведений аналіз показує успішне використання клітинних автоматів для вирішення завдань такого плану, що дозволяє припустити їх ефективності і для вирішення завдання пошуку оптимального маршруту польотів ударної авіації при доопрацювання зазначених недоліків.

Постановка завдання. Мета написання статті полягає в розробці методу пошуку маршруту польоту ударної авіації для підвищення оперативності і точності її рішення.

Виклад основного матеріалу

Для вирішення завдання пошуку маршруту розглянемо клітинний автомат (КА) на основі мо-

делі решітчастого газу, який доповнений до тривимірної моделі і характеризується такими особливостями [8].

1. Розглянемо тривимірний випадок. Весь простір пошуку розбиваються на паралелепіпеди однакового розміру. Кожен паралелепіпед є осередком, в яку може переміщатися клітина. Усі можливі положення осередків газу задані в вигляді області простору в якому здійснюється пошук рішення (рис. 1).

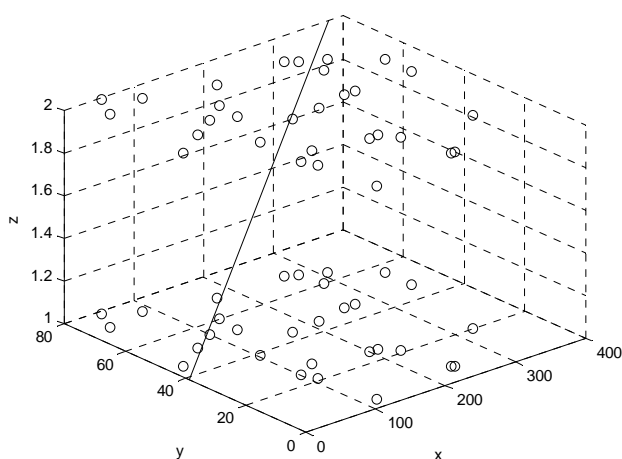


Рис. 1. Область простору для пошуку маршруту з зонами, забороненими для польоту

2. Комірка може перебувати в одному з декількох станів: «заповнена» або «порожня».

3. Можливо задати пріоритетний напрямок руху.

4. Перешкодами можуть служити стаціонарні об'єкти, інші повітряні об'єкти, а також поля різної природи.

Кожен часовий крок автомата складається з двох етапів:

1. Аналіз ситуації в кожному осередку.

2. Переміщення клітини відповідно до правил автомата.

При відсутності інших рухомих об'єктів можливо проводити аналіз лише щодо даного об'єкту. Це значно скорочує кількість проведених обчислень на кожному кроці роботи автомата.

У загальному випадку можливе переміщення в 26 можливих напрямках (сусідніх осередків простору).

Аналіз ситуації проводиться шляхом підрахунку ймовірностей вибору одного з можливих напрямків руху (рис. 2).

Якщо підійти формально, то вибір напрямку руху в момент часу не залежить від напрямку руху в момент часу t_0 .

Рух клітини випадково і задається наступними правилами розрахунку ймовірності.

Рух клітини в одному з 26 можливих напрямків:

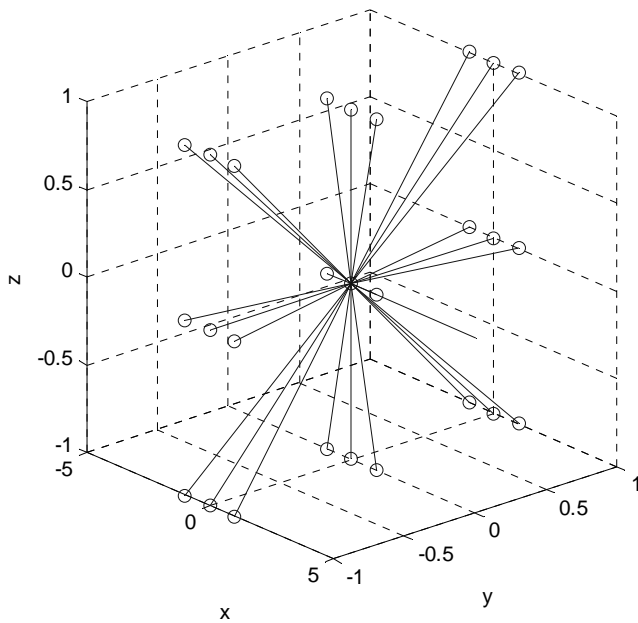


Рис. 2. Графічне відображення поняття «можливі напрямки руху»

$$P_i(x, y, z) = 1 - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N D(x, y, z+k), \quad i = \overline{1, 26}, \quad (1)$$

де x, y, z – поточні координати клітини (об'єкта);
 N – глибина аналізу околиці клітини;
 k – глибина аналізу;
 $D(x, y, z)$ – стан клітини,

$$D(x, y, z) = \begin{cases} 1, & \text{клітина зайнята;} \\ 0, & \text{клітина вільна.} \end{cases}$$

Реалізуємо механізм, який регулює напрямки руху клітини від поточного положення в заданому напрямку.

Для цього скористаємося положеннями теорії векторів.

Перш за все, знайдемо вектор від поточного положення клітини до цільового об'єкту \overline{AB} (рис. 3).

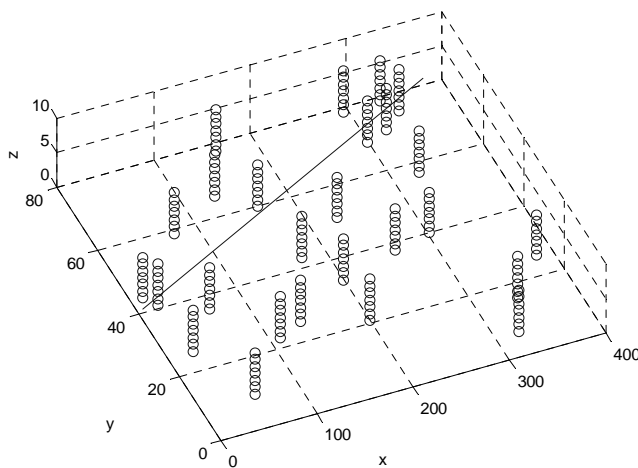


Рис. 3. Вектор від поточного об'єкта до цільового стану

Далі знайдемо вектори з поточної комірки до всіх 26, можливим для переміщення осередків.

Для відповідних напрямків вони будуть мати наступні значення (рис. 4) (відносно поточного стану клітини):

$$\begin{aligned} \overline{f_j} &= (x; y; z); \\ x &\in \{-1, 0, 1\}; \\ y &\in \{-1, 0, 1\}; \\ z &\in \{-1, 0, 1\}; \\ j &= \overline{1, 26}. \end{aligned} \quad (2)$$

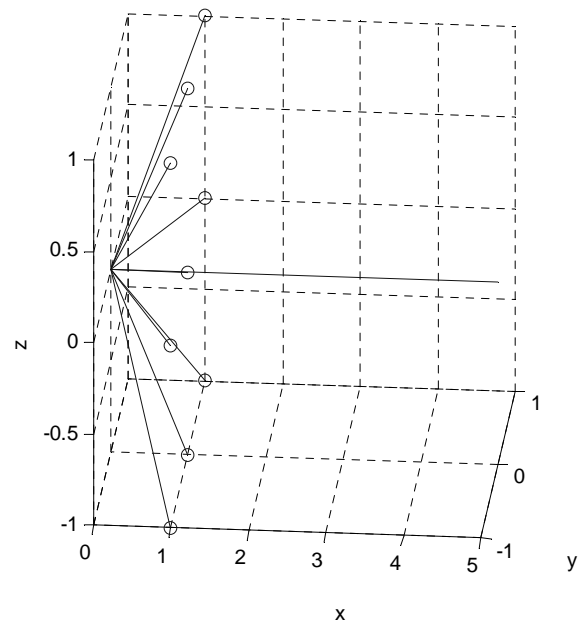


Рис. 4. Графічне представлення вектору \overline{AB} і орт-векторів

Далі знаходимо ймовірності руху клітини в кожному з можливих напрямків з використанням виразу (1).

Після цього знаходимо кути між вектором і всіма орт-векторами (2) використовуючи вираз:

$$\alpha_j = \arccos \left(\frac{|\overline{AB} \cdot \overline{f_j}|}{|\overline{AB}| \cdot |\overline{f_j}|} \right). \quad (3)$$

Далі вирішуємо оптимізаційну задачу:

$$D_j(x, y, z) = D_0(x, y, z) + \overline{f_j}, \quad (4)$$

за умов:

$$\max(P_i); \quad (5)$$

$$\min(\alpha_j). \quad (6)$$

Якщо будь-які з значень P або α рівні, то вибір здійснюється випадковим чином.

Однак, як було показано вище, подібна модель має недоліки. Недоліками є низька чутливість до

ймовірності вибору напрямку, зависання автомата на одному місці, значні відхилення від основного напрямку руху та інші.

Для подолання цих недоліків було запропоновано для підрахунку ймовірності використовувати вираз:

$$P_i = \exp\left(-\sum_{k=1}^N D(x+k, y, z) / \delta\right), \quad (7)$$

де δ – коефіцієнт, що дозволяє регулювати чутливість ймовірності;

$\sum_{k=1}^N D(x+k, y, z)$ розраховується відповідно до

виразу (1) для кожного напрямку.

Такий підхід до розрахунку ймовірностей дозволяє адекватно формалізувати процедуру вибору напрямку руху. Також даний підхід підходить для пошуку шляху в областях простору з різними властивостями. Прикладом такої області може бути «зона обльоту». Дана область характеризується певними габаритами вхід в яку можливий, але не бажаний. Так ось вираз (1) не дозволяють розрізнити політ в даній зоні і поза нею, а використання виразу (7) дозволяє.

Розглянемо політ повітряного об'єкта в повітряному просторі з 3 зонами з різними властивостями. Перша зона доступна для вільного польоту, але має зони, заборонені для польоту. Друга зона доступна для польоту, але не рекомендована для використання. Третя зона знаходиться всередині другої і заборонена для польоту, але при цьому проліт в ній можливий. При проведенні експериментів по дослідженню властивостей розробленого клітинного автомата клітина спочатку знаходиться в першій зоні, а мета знаходиться в другій зоні.

Результати роботи автомата представлені на рис. 5–7.

У загальному випадку при наявності різних зон (схематична модель зон перекриття РЛС) знайдений маршрут матиме вигляд (рис. 8).

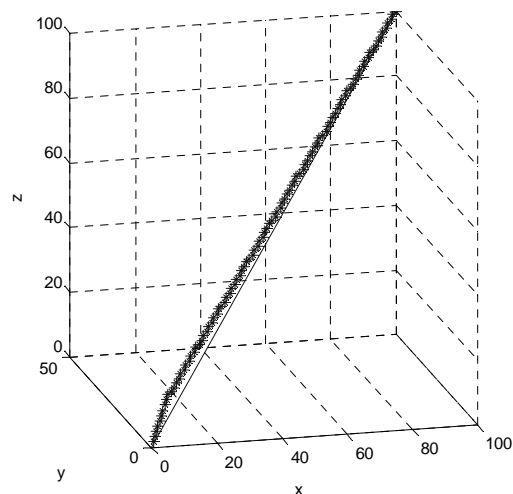


Рис. 5. Прокладка маршруту без зон з особливими умовами польоту

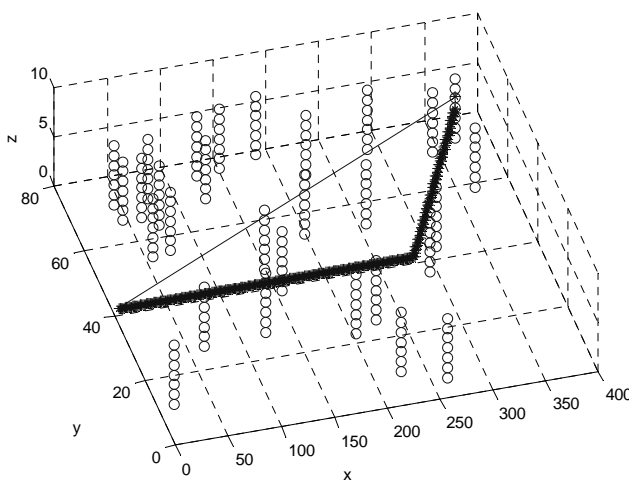


Рис. 6. Результати роботи клітинного автомата при 30 зонах заборонених для польоту

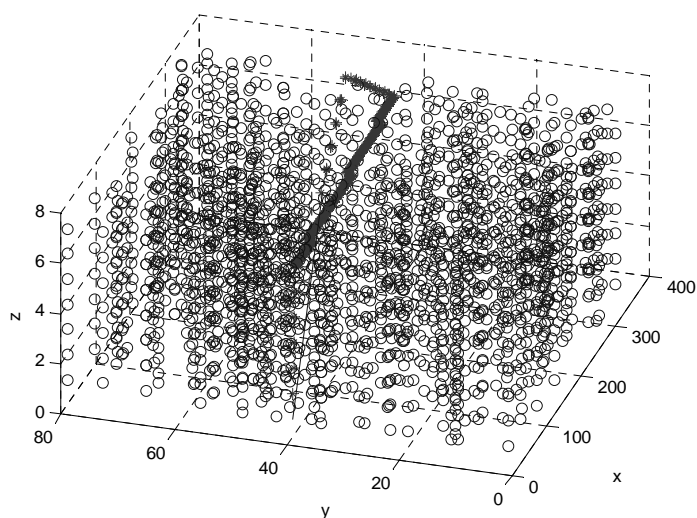


Рис. 7. Результати роботи клітинного автомата при 200 зонах заборонених для польоту

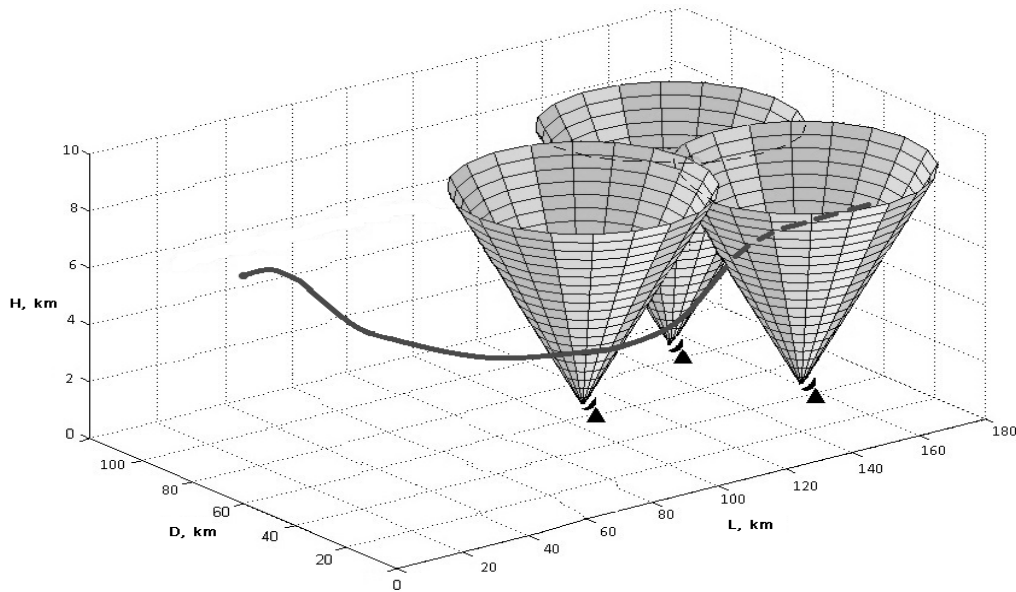


Рис. 8. Результати роботи клітинного автомата при обльоті зон з різними властивостями

Таким чином може бути розроблений метод пошуку маршрутів польоту ударної авіації на наземні цілі з використанням клітинного автомата (рис. 9).

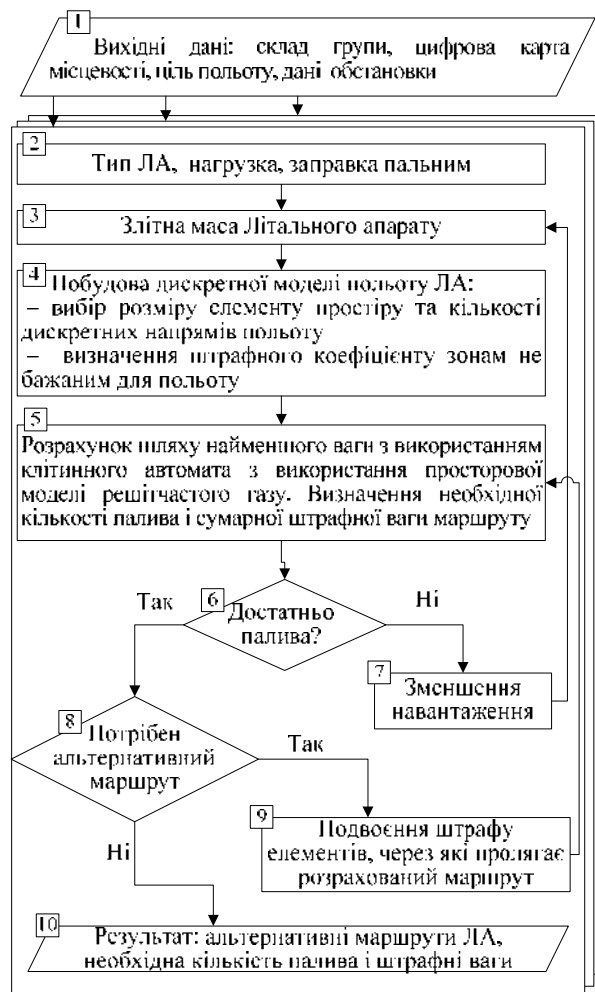


Рис. 9. Метод пошуку маршруту польоту літального апарату з використанням просторової моделі решітчастого газу

Висновки

Представлені результати по розробці клітинного автомата для вирішення завдання прокладки маршруту руху повітряного об'єкта в різномірних зонах повітряного простору показали необхідність розробки нових підходів до формалізації правил поведінки даних автоматів. В першу чергу потрібна розробка нових підходів до розрахунку ймовірності руху в різномірних зонах, а також розробки механізмів компенсації «зависання» клітинного автомата в стійких або альтернативних станах.

Отримані результати дозволяють перейти до вирішення даного завдання для зміни умов пошуку маршруту, обліку властивостей літального апарату і підвищення точності побудови маршруту польоту.

Список літератури

1. Пожидаев М.С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта: дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.13.18 [Электронный ресурс] / Михаил Сергеевич Пожидаев. – Томск, 2010. – Режим доступа: <http://www.marigostra.ru/materials/disser.html>.
2. Слостников С.А. Применение метаэвристических алгоритмов для задачи маршрутизации транспорта / С.А. Слостников // Экономика и математические методы. – 2014. – Т. 50. – Вып. 1. – С. 117-126.
3. Мацюк Н.О. Особливості розв'язання задачі комівояжера для підприємств гуртової торгівлі / Н.О. Мацюк // Вісник ХНУ. Економічні науки. – 2013. – № 5. – Т. 2. – С. 95-100.
4. Bjarnadottir A.S. Solving the Vehicle Routing Problem with Genetic Algorithms / Aslaug Soley Bjarnadottir. – Technical University of Denmark, 2004. – 127 p.
5. Мацюк Н.А. Решение задачи коммивояжера средствами клеточных автоматов / Н.А. Мацюк, В.В. Жихаревич // Моделирование региональной экономики. – 2015. – №2(26). – С. 263-272.
6. Аладьев В.З. Классические однородные структуры. Клеточные автоматы / В.З. Аладьев. – Fultus Books, 2009. – 535 с.

7. Бандман О.Л. Клеточно-автоматные модели пространственной динамики / О.Л. Бандман // Системная информатика. – 2005. – Вып. 10. – С. 57-113.
8. Тoffоли Т. Машины клеточных автоматов: пер. с англ. / Т. Тoffоли, Н. Марголуc. – М.: Мир, 1991. – 280 с.
9. Макаренко О.С. Моделирование руху пішоходів на основі клітинних автоматів / О.С. Макаренко, Д.А. Крушинський // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2010. – № 1. – С. 100-109.
10. Аноприенко А.Я. Использование клеточных автоматов для моделирования движения транспорта / А.Я. Аноприенко, Д.Ю. Плотников, Е.Ф. Малёванный // Збірка праць VI міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Інформатика та комп'ютерні технології», 2010. – С. 166-171.
11. Павленко М.А. Метод решения задачи прокладки маршрутов при управлении движением воздушного объекта / М.А. Павленко // Системи обробки інформації. – 2014. – Вып. 5 (121). – С. 87 – 90.
12. Мацюк Н.О. Розв'язання задачі маршрутизації з використанням модифікованого мурашино-клітинно-автоматного алгоритму / В.В. Жихаревич, Н.О. Мацюк // Вісник економічної науки України. – 2016. – № 1(30). – С. 49-54.
13. Жихаревич В.В. Клітинно-автоматний підхід до розв'язання задачі маршрутизації оптових торговельних підприємств із урахуванням транспортної інфраструктури регіону [Електронний ресурс] / В.В. Жихаревич, Н.О. Мацюк // Вісник економічної науки України. - 2016. - № 2. - С. 69 – 73. - Режим доступу до матеріалу статті: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Venu_2016_2_17.
14. Кучук Г.А. Інформаційні технології управління інтегральними потоками даних в інформаційно-телекомунікаційних мережах систем критичного призначення: моногр. – Х.: ХУПС, 2013. – 264 с.
15. Павленко М.А. Метод решения задачи автоматизации процесса выбора маршрута полета ударной авиации / М.А. Павленко, Д.А. Пархоменко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Вып. 2(15).– Харків: ХУ ПС, 2014. – С. 71-74.
16. Направления развития интерфейсов взаимодействия в автоматизированных системах управления специального назначения / М.А. Павленко, С.В. Смеляков, В.Н. Руденко, С.И. Хмелевский // Системи обробки інформації. – 2016. – № 9. – С. 51-54.
17. Когнітивний підхід до розробки інформаційних моделей в системах підтримки прийняття рішень / М.А. Павленко, В.К. Медведєв, П.Г. Бердник, С.В. Міхасьов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 2. – С. 138-141.

References

1. Podjedaev, M. (2010), “*Algoritmu resheniya zadachi marshrutizatsii transporta*” [Algorithms for solving the problem of transport routing], <http://www.marigostra.ru/materials/disser.html> (accessed 18 January 2018).
2. Slasnikov, S. (2014), “Primeneniye metaevristicheskikh algoritmov dlya zadachi marshrutizatsii transporta” [Using metaheuristic algorithms for the transport route task], *Economics and Mathematical Methods*, Moscow, pp. 117-126.
3. Macuk, N. (2013), “*Osoblyvosti rozv'yazannya zadachi komivoyazhera dlya pidpryyemstv hurtovoyi torhivli*” [Features of the solution of the salesman's problem for wholesale companies], Kharkiv, pp 95-100.
4. Bjarnadottir, A. (2004) “Solving the Vehicle Routing Problem with Genetic Algorithms”, *Technical University of Denmark*, 127 p.
5. Macuk, N. and Gikharevich, V. (2015), “*Resheniye zadachi komivoyazhera sredstvami kletochnykh avtomatov*” [The solution of the traveling salesman problem with the means of cellular automata], Kharkiv, pp. 263–272.
6. Aladev, V. (2009), “*Klassicheskiye odnorodnyye struktury*” [Classical homogeneous structures], Fultus Books, 535 p.
7. Badman, O. (2005), “Kletochno-avtomatnyye modeli prostranstvennoy dinamiki” [Cellular Automata Models of Spatial Dynamics], *System Informatics*, No.10, pp. 57-113.
8. Toffoli, T. and Margolys, N. (1991), “*Mashiny kletochnykh avtomatov*” [Machines for cellular automata], MIR, Moscow, 280 p.
9. Makarenko, O. and Krushinski, D. (2010), “*Modelyuvannya rukhu pishokhodiv na osnovi klitynykh avtomativ*” [Modeling of pedestrian traffic based on cellular automata], *System research and information technology*, No. 1, pp 100-109.
10. Anoprienko, A., Plotnikov, D. and Malevanu, E. (2010), “*Ispol'zovaniye kletochnykh avtomatov dlya modelirovaniya dvizheniya transporta*” [The use of cellular automata for modeling the movement of transport], *Computer science and computer technology*, pp 166-171.
11. Pavlenko, M. (2014), “*Metod resheniya zadachi prokladki marshrutov pri upravlenii dvizheniyem vozdušnogo ob'yekta*” [The method of solving the problem of laying routes in the control of the movement of an air object], *Information Processing Systems*, No. 5 (121), pp 87-90.
12. Macuk, N. and Gikharevich, V. (2016), “*Rozv'yazannya zadachi marshrutyzatsiyi z vykorystanniam modyfikovanoho murashyno-klitynno-avtomatnoho alhorytmu*” [Resolving the routing problem using a modified ant-cellular automaton algorithm], *Bulletin of Economic Science of Ukraine*, No. 1(30), pp 49-54.
13. Gikharevich, V. and Macuk, N. (2016), “*Klitynno-avtomatnyy pidkhid do rozv'yazannya zadachi marshrutyzatsiyi optovykh torhovel'nykh pidpryyemstv iz urakhuvannyam transportnoyi infrastruktury rehionu*” [Cellular automaton approach to the solution of the problem of routing of wholesale trade enterprises taking into account the transport infrastructure of the region], Gikharevich, V., No 2, pp 69-73. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Venu_2016_2_17 (accessed 18 January 2018).
14. Kuchuk, G.A. (2013), *Informatsiyeni tekhnolohiyi upravlinnya intehral'nymy potokamy danykh v informatsiyno-telekomunikatsiynykh merezhakh system krytychnoho pryznachennya* [Information Technologies for Integrated Data Flow Control in Information and Telecommunication Networks of Critical Purposes], Kharkiv, 264 p., ISBN 978-617-7188-18-5.
15. Pavlenko, M. and Parchomenko, D. (2014), “*Metod resheniya zadachi avtomatizatsii protsessa vybora marshruta poleta udarnoy aviatsii*” [The method of solving the problem of automating the process of selecting the flight route of attack aircraft], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, Pavlenko, M., No. 2(15), Kharkiv, pp 71-74.
16. Pavlenko, M., Smelyakov, S., Rudenko, V. and Hmelevskiu, S. (2016), “*Napravleniya razvitiya interfeysov vzaimodeystviya v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya spetsial'nogo naznacheniya*” [Directions of development of

interfaces of interaction in automated special management systems], *Areas of interface interaction in automated control systems special*, No. 9(146), Kharkiv, pp 51-54.

17. Pavlenko, M., Medvedev, V., Berdnick, P. and Mihasov, S. (2016), "Kohnityvnyy pidkhid do rozrobky informatsiynykh modeley v systemakh pidtrymky pryunyattya rishen'" [Cognitive approach to the development of information models in decision support systems], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2(23), Kharkiv, pp 138-141.

Надійшла до редколегії 14.02.2018

Схвалена до друку 20.03.2018

Відомості про авторів:

Воробйов Євген Сергійович

ад'юнкт Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1828-0069>
e-mail: vo.evgen.se@gmail.com

Павленко Максим Анатолійович

доктор технічних наук доцент
начальник кафедри Харківського національного універси-
тету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3216-1864>
e-mail: bpgpma@ukr.net

Хлебников Євгеній Юрійович

старший офіцер Головного оперативного управління
Генерального штабу Збройних Сил України,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0137-4886>
e-mail: khliebnikovyevhienii@gmail.com

Гладишев Михайло Генадійович

інженер кафедри Харківського національного
університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4700-3017>
e-mail: gl_mi@gmail.com

Information about the authors:

Evgen Vorobyov

Postgraduate Student of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1828-0069>
e-mail: vo.evgen.se@gmail.com

Maxim Pavlenko

Doctor of Technical Sciences Associate Professor
Head of Department of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3216-1864>
e-mail: bpgpma@ukr.net

Yevhenii Khliebnikov

Senior officer of the Main Operations Directorate
of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine,
Kiev, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0137-4886>
e-mail: khliebnikovyevhienii@gmail.com

Muchaylo Gladushev

Engineer of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4700-3017>
e-mail: gl_mi@gmail.com

МЕТОД ВИБОРУ ВАРІАНТА МАРШРУТУ ПОЛЬОТУ УДАРНИХ ЛІТАКІВ ДЛЯ УРАЖЕННЯ НАЗЕМНИХ ЦІЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ КЛІТКОВИХ АВТОМАТІВ

Є.С. Воробйов, М.А. Павленко, Е.Ю. Хлебников, М.Г. Гладишев

У данній статті розглядається задача вибору варіанта маршруту польоту ударної авіації для ураження наземних цілей. Дане завдання відноситься до класу задач багатокритеріальної оптимізації і вимагає значних часових і обчислювальних ресурсів для свого вирішення. В роботі розроблено метод розв'язання даної задачі щодо пошуку оптимального маршруту з використання клітинного автомата на тривимірній моделі решітчастого газу. Основна відмінність розробленого методу полягає в уточненні властивостей тривимірної моделі клітинного автомата решітчастого газу, розробки нового підходу до обчислення ймовірності зміни положення клітини і визначення правил переходу до сусідніх елементів і розробки нових процедур переходу в них. Розроблений метод дозволяє будувати моделі з різним ступенем деталізації, що дозволяє регулювати час пошуку рішень і шукати рішення в окремих областях простору. У методі також проявляється можливість врахування властивостей повітряного простору, наприкладі зон підвищеного ризику, з допустимим ризиком та з мінімальним ризиком.

Ключові слова: клітинний автомат, маршрут, маршрут польоту, оптимізація.

METHOD OF SELECTION OF THE ROAD VARIANTS TO TRAIN HARVEST AIRCRAFTS FOR THE IMPACT OF GROUNDWEIGHT USING CELLULAR AUTOMATON

E. Vorobyov, M. Pavlenko, Yev. Khliebnikov, M. Gladushev

This article examines the problem of choosing a variant of the strike aircraft flight path for damage to ground targets. This task refers to the class of multicriteria optimization tasks and requires significant time and computing resources for its solution. The method of solving this task is to find the optimal route for using a cellular automaton on a three-dimensional grid-gas model. The main difference between the developed method is to clarify the properties of the three-dimensional model of the cellular lattice machine, to develop a new approach to calculating the probability of changing the position of the cell and determining the rules for the transition to neighboring elements and the development of new procedures for the transition to them. The developed method allows to construct models with different degree of detail, which allows to regulate the time of search of solutions and search for solutions in separate areas of space. The method also shows the possibility of taking into account the properties of airspace, for example, areas of increased risk, with permissible risk and with minimal risk.

Keywords: cellular automaton, route, flight route, optimization.