

УДК 004.023

М.А. Павленко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОКЛАДКИ МАРШРУТОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ВОЗДУШНОГО ОБЪЕКТА

В статье предложен подход к решению задачи прокладки маршрутов с использованием клеточного автомата. Проведен анализ существующих клеточных автоматов. Рассмотрены особенности их применения для решения различных задач. Предложено формальное описание клеточного автомата и правила его функционирования при решении задачи нахождения маршрута движения воздушного объекта. Решение данной задачи с использованием предложенного клеточного автомата возможно и при наличии преград на пути движения. Использование данного клеточного автомата позволяет использовать его в качестве основы при разработке средств автоматизации процессов выработки решений по поиску оптимальных маршрутов в различных условиях обстановки.

Ключевые слова: клеточный автомат, маршрутизация, маршрут, планирование маршрутов, управление воздушным движением.

Введение

На сегодняшний день известны разнообразные типы клеточных автоматов (КА). Клеточные автоматы позволяют имитировать процессы поведения живых систем. Отличие типов КА определяются правилами их поведения и прикладными задачами, для которых они разрабатываются.

Применение КА для решения задач многокритериальной оптимизации является интересной и недостаточно изученной областью. К таким задачам относятся задачи прокладки маршрутов. При этом для поиска оптимальных маршрутов существует большое количество методов [1]. Прежде всего, это методы решения задачи коммивояжера [1], маршрутизации, используемые для управления трафиком в телекоммуникационных сетях [1] и некоторые другие [1].

Однако перечисленные методы ориентированы на решение однокритериальных задач маршрутизации. Их использование определяется тем, что они должны решаться за фиксированные интервалы времени, которые не превышают нескольких секунд или долей секунд [2]. Решение же многокритериальных задач очень редко удается реализовать в заданные временные интервалы. Однако известны многокритериальные задачи оптимизации, для решения которых необходимы десятки минут или часы [3]. Упрощенные модели таких задач зачастую трудно свести к единому критерию либо такое сведение огрубляет решение и не позволяет учитывать важные особенности таких задач. Так, в работе [3] предложен метод поиска оптимального пути, при котором уменьшается вероятность радиолокационного обнаружения воздушного объекта. Программная реализация данного метода позволяет найти ре-

шение для поиска оптимального пути, но время решения может составлять 12 – 18 часов, что не приемлемо для реального использования. При этом рассмотренный метод обеспечивает поиск оптимального пути для единственного критерия – вероятности обнаружения.

Тогда возникает вопрос: существует ли способ поиска оптимального пути при необходимости учета большого числа факторов за время не более заданного?

Определим условия решаемой задачи. При управлении воздушными объектами часто возникает задача прокладки нового маршрута с учетом факторов, оказывающих влияние на его формирование. К таким факторам относятся: зоны, запрещенные для полетов; объекты, пролет над которыми запрещен; тактико-технические ограничения воздушного объекта; рельеф местности; зоны радиолокационной видимости; цель полета; метеорологические условия и др. [3].

Одним из возможных подходов к решению данного типа задач может быть использование клеточных автоматов. Использование КА возможно в силу их больших адаптивных возможностей под особенности решаемых задач. Относительно простой математический аппарат формализации функционирования клеточных автоматов и расширяемый набор правил их функционирования позволяет описать сложную модель деятельности в разнообразных условиях.

Цель. Разработка метода прокладки маршрутов движения воздушного объекта как задачи многокритериальной оптимизации в условиях дефицита времени.

Анализ литературы. Клеточные автоматы, впервые предложенные в качестве эффективных

дискретных систем Дж. фон Нейманом в 40-е годы прошлого века, приобрели особую популярность, начиная с 90-х годов, после публикации монографии «Машины клеточных автоматов» [4]. В настоящее время они широко используются в компьютерных науках, математике, физике, теоретической биологии и микромеханике.

В работе [5] предложена модель клеточно-автоматной сети, лежащей в основе организации человеческого мозга.

С точки зрения развития компьютерных технологий актуальность клеточно-автоматных моделей в настоящее время продолжает расти по мере распространения параллельных вычислений, т.к. потенциал их параллелизации очень высок [6, 7].

С использованием клеточных автоматов моделируется динамика информационных потоков и диффузии информации [8].

КА используются для разработки теории постбинарного компьютеринга [8] и моделирования различных динамических процессов [9 – 10].

Еще одним направлением исследований стало использование клеточных автоматов для моделирования транспортных и людских потоков при проектировании городов [11, 12].

Основная часть

Для решения задачи поиска оптимальных маршрутов движения воздушных объектов используем клеточный автомат. В его основе лежит модель решетчатого газа на ортогональной решетке [12].

Выбор данного типа КА обусловлен возможностью реализации особенностей моделируемой задачи, а именно - наличие точки старта, наличие цели движения, заданное направления движения. Такая модель КА является несколько расширенной версией модели КА решетчатого газа. Расширение можно охарактеризовать как «наличие направленного движения газа под действием внешних условий».

Рассматриваемый КА характеризуется следующими особенностями.

1. Рассмотрим плоский случай. Плоскость представлена в виде клеток. Все возможные положения ячеек газа заданы в виде плоскости (рис. 1).

2. Клетка может находиться в одном из нескольких состояний: «заполнена» или «пуста».

3. Возможно задать приоритетное направление движения. Для рассматриваемого случая это будет движение от точки старта (круг на рис. 1) к цели (звездочка на рис. 1).

4. Препятствиями могут служить стационарные объекты, другие воздушные объекты, а также поля различной природы.

Каждый временной шаг автомата состоит из двух этапов:

1. Анализ ситуации в каждой клетке.

2. Перемещение клетки в соответствии с правилами автомата.

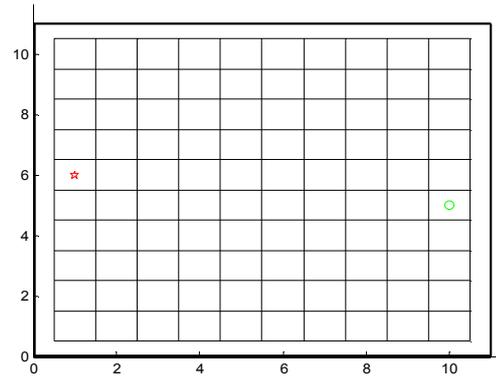


Рис. 1. Плоское поле для КА

При отсутствии других движущихся объектов возможно проводить анализ лишь относительно рассматриваемого объекта. Это значительно сокращает количество проводимых вычислений на каждом шаге работы автомата.

Анализ ситуации производится путем подсчета вероятностей выбора одного из четырех направлений движения: «вверх», «вправо», «вниз», «влево» (рис. 2).

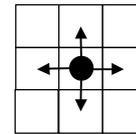


Рис. 2. Графическое отображение понятия «направление движения»

Если подойти формально, то выбор направления движения в момент времени t_1 не зависит от направления движения в момент времени t_0 . Движение клетки случайно и задается следующими правилами расчета вероятности.

Движение вверх:

$$P_f(x, y) = 1 - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N D(x, y+k), \quad (1)$$

где x, y - текущие координаты клетки (объекта);

N - глубина анализа окрестности клетки;

$D(x, y)$ - состояние клетки,

$$D(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{клетка занята;} \\ 0, & \text{клетка свободна.} \end{cases}$$

Движение вправо:

$$P_r(x, y) = 1 - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N D(x+k, y). \quad (2)$$

Движение вниз:

$$P_d(x, y) = 1 - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N D(x, y-k). \quad (3)$$

Движение влево:

$$P_l(x, y) = 1 - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N D(x - k, y). \quad (4)$$

Реализуем механизм, регулирующий направление движения клетки от текущего положения в заданном направлении.

Для этого воспользуемся положениями теории векторов.

Сначала, найдем вектор от текущего положения клетки к целевому объекту \overline{AB} (рис. 3).



Рис. 3. Вектор от текущего объекта к целевому положению

Далее найдем орты векторов, характеризующих возможное направление движения клетки на следующем шаге.

Для соответствующих направлений они будут иметь следующие значения (рис. 4):

$$\vec{f} = (0; 1), \quad (5)$$

$$\vec{r} = (1; 0), \quad (6)$$

$$\vec{l} = (-1; 0), \quad (7)$$

$$\vec{d} = (0; -1). \quad (8)$$

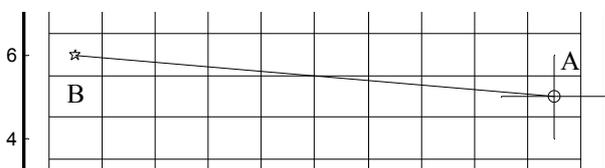


Рис. 4. Графическое представление вектора \overline{AB} и орт-векторов

Далее находим вероятности движения клетки в каждом из возможных направлений с использованием выражений (1) – (4).

После этого находим углы между вектором \overline{AB} и всеми орт-векторами (5) – (8), используя выражение:

$$\alpha = \arccos \left(\frac{\overline{AB} \cdot \vec{f}}{|\overline{AB}| \cdot |\vec{f}|} \right). \quad (9)$$

Далее решаем оптимизационную задачу:

$$D_1(x, y) = D_0(x, y) + \begin{cases} \vec{f}; \\ \vec{r}; \\ \vec{l}; \\ \vec{d}; \end{cases} \quad (10)$$

при условиях:

$$\max(P_f, P_r, P_l, P_d), \quad (11)$$

$$\min(\alpha_f, \alpha_r, \alpha_l, \alpha_d). \quad (12)$$

Если какие-либо из значений P или α равны, то выбор осуществляется случайным образом.

Таким образом, полученное формальное описание клеточного автомата позволяет сформулировать правила его функционирования:

1. При возможности клетка движется «вперед» (по отношению к заданному направлению).

2. Если движение «вперед» невозможно, клетка движется в любом другом направлении.

3. Наличие в каком либо направлении «препятствий» уменьшает вероятность движения клетки в этом направлении.

Эти простые правила позволяют построить путь из начального положения к требуемому.

Проиллюстрируем работу данных правил в простых условиях (рис. 5) и в сложных условиях (рис. 6).

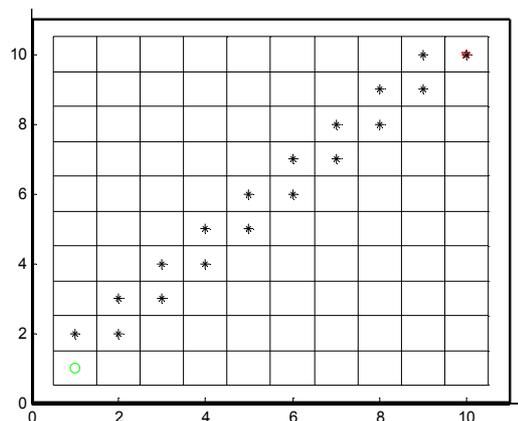


Рис. 5. Работа модели в простых условиях

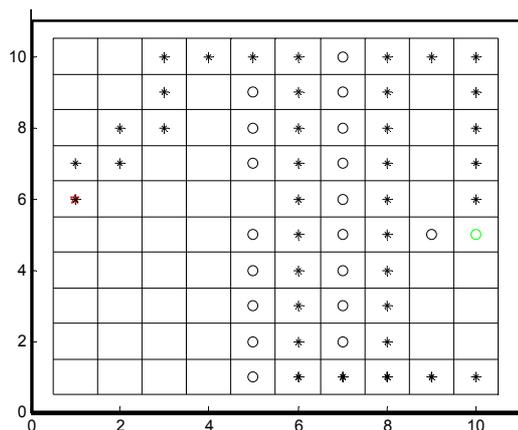


Рис. 6. Работа модели в сложных условиях

Черными кружками на рис. 5 представлены области, запрещенные для прохода по ним движущейся клетки, что может соответствовать понятиям «зона, запрещенная для полетов» и «объекты, полет над которыми запрещен».

Выводы

Разработанная модель клеточного автомата в общем случае реализует модель случайного поиска решений. Однако наличие механизма, который реализует требование «двигаться в заданном направлении», позволяет существенно сократить количество рассматриваемых вариантов. Использование данной модели позволяет достаточно просто формализовать различные виды «препятствий». Присваивая «препятствиям» различные веса, можно задавать сложные конфигурации пространства, в которых необходимо найти решения. Однако проведенные исследования показали, что для данного типа автоматов необходимо вводить показатели контроля циклических повторений. К таким повторениям следует относиться случаи, когда автомат ходит все время по одному и тому же пути, например, вдоль «препятствия». Такие вопросы требуют дополнительного исследования и разрешения.

Список литературы

1. Нечепуренко М.И. Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях / М.И. Нечепуренко. - Новосибирск: Наука, 1990. - 234 с.
2. Лемешко А.В. Усовершенствование потоковой модели многопутевой маршрутизации на основе балансировки нагрузки [Электронный ресурс] / А.В. Лемешко, Т.В. Вавенко // Проблемы телекоммуникаций. - 2012. - № 1 (6). - С. 12-29. - Режим доступа к журналу: http://pt.journal.kh.ua/2012/1/1/121_lemeshko_multipath.pdf.
3. Леценко С.П. Методика расчета оптимальной траектории полета воздушного объекта по критерию минимума вероятности обнаружения / С.П. Леценко, М.П. Батурицкий // Системи обробки інформації. - X: ХУ ПС, 2005. - Вип. 2(42). - С. 103-110.
4. Тофоли Т. Машины клеточных автоматов / Т. Тофоли, Н. Марголюс. - М.: Мир, 1991. - 280 с.
5. Беркович С.Я. Клеточные автоматы как модель реальности: поиски новых представлений информацион-

ных и физических процессов / С.Я. Беркович. - М.: Издательство МГУ, 1993. - 112 с.

6. Schiff J.L. Cellular automata: a discrete view of the world / J.L. Schiff. - A John Wiley&Sons inc, Publication. University of Auckland. - 2008. - 279 p.

7. Аладьев В.З. Классические однородные структуры. Клеточные автоматы / В.З. Аладьев. - Fultus Publishing - 2009. - 535 с.

8. Ландэ Д.В. Модель диффузии информации [Электронный ресурс] / Д.В. Ландэ // Информационные технологии и безопасность. Менеджмент информационной безопасности. Сборник научных трудов Института проблем регистрации информации. - 2007. - Вып. 10. - С. 51-67. - Режим доступа к ресурсу: <http://it2b.ru/files/mdi.pdf>.

9. Бейгельзимер Я.Е. Моделирование произвольной деформации поликристаллов методом клеточных автоматов / Я.Е. Бейгельзимер, А.В. Спусканюк, В.Н. Варюхин, Б.М. Эфрос // Журнал технической физики. - 1998. - №11. - С. 987-998.

10. Аноприенко А.Я. Опыт применения гиперкодов в моделировании клеточных автоматов / А.Я. Аноприенко, А.П. Коноплева // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия "Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем" (МАП-2007). - Донецк: ДонНТУ, 2007. - Вып. 6 (127). - С. 220-227.

11. Аноприенко А.Я. Использование клеточных автоматов для моделирования движения транспорта / А.Я. Аноприенко, Д.Ю. Плотников, Е.Ф. Малёвский // Збірка праць VI міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Інформатика та комп'ютерні технології», 2010 р.

12. Астафьев Г.Б. Клеточные автоматы: учебно-методическое пособие / Г.Б. Астафьев, А.А. Короновский, А.Е. Храмов. - Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Коледж», 2003. - 24с.

Поступила в редколлегию 10.04.2014

Рецензент: д-р техн. наук, доцент А.И. Тимочко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

МЕТОД ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ ПРОКЛАДКИ МАРШРУТІВ ПРИ УПРАВЛІННІ РУХОМ ПОВІТРЯНОГО ОБ'ЄКТА

М.А. Павленко

У статті запропоновано підхід до вирішення завдання прокладки маршрутів з використанням клітинного автомата. Проведено аналіз існуючих клітинних автоматів. Розглянуто особливості їх застосування для вирішення різних завдань. Запропоновано формальний опис клітинного автомата і правила його функціонування при вирішенні задачі знаходження маршруту руху повітряного об'єкта. Рішення даної задачі з використанням запропонованого клітинного автомата можливо і за наявності перешкод на шляху руху. Використання даного клітинного автомата дозволяє використовувати його як основу при розробці засобів автоматизації процесів вироблення рішень з пошуку оптимальних маршрутів в різних умовах обстановки.

Ключові слова: клітинний автомат, маршрутизація, маршрут, планування маршрутів, управління повітряним рухом.

METHOD OF SOLUTION TO TASK ROUTING TRAFFIC CONTROL AIRBORNE TARGETS

M.A. Pavlenko

The paper proposes an approach to the problem of routing using a cellular automaton. The analysis of existing cellular automata. The features they use for various tasks. A formal description of cellular automaton and rules of operation in solving the problem of finding the route air facility. The solution to this problem using the proposed cellular automata and possibly in the presence of obstacles to movement. Use of this cellular automaton can be used as a basis for the development of automation of decision-making processes of finding optimal routes in different circumstances of the situation.

Keywords: cellular automata, routing, route, route planning, air traffic management.