УДК 004.023

М.А. Павленко

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

ПРОКЛАДКА МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ОБЪЕКТА В РАЗНОРОДНЫХ ЗОНАХ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой клеточного автомата для решения задачи прокладки маршрута движения воздушного объекта. Клеточный автомат разработан на основе клеточного автомата описывающего свойства решетчатого газа. Для учета свойств решаемой задачи был предложен новый подход к расчету вероятности и направлению движения клетки. Предложен механизм компенсации колебательных процессов при преодолении «препятствий». Усовершенствован алгоритм работы клеточного автомата для поиска маршрута в зонах с различными свойствами.

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

Введение

Использование клеточных автоматов (КА) для решения задачи прокладки маршрутов при управлении движением воздушного объекта было предложено в работе [1]. Основой для создания КА послужили работы [2 – 4].

Реализация и исследование таких клеточных автоматов показали их ограниченные возможности в решении задач прокладки маршрутов. Одним из основных недостатков был подход к расчету вероятности движения клетки на каждом шаге расчета состояния КА. Особенно они проявлялись в момент преодоления препятствия в виде «стенки» (рис. 1). При этом воздушный объект движется из клетки с координатами (1, 1) в клетку с координатами (10, 10).

При приближении воздушного объекта к стенке он начинал колебательный процесс, ограниченный клетками «контакта» со «стенкой» и клеткой слева и справа от нее. Причиной такого колебания были необходимость движения клетки к цели, что задавалось свойствами автомата и невозможности адекватной реализации свойства минимизации посещений одной и той же клетки.

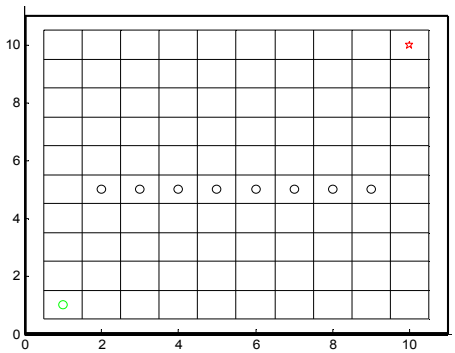

Рис. 1. Препятствие в виде «стенки»

Данные особенности делают актуальным проведение дальнейших исследований по исследованию применения КА для решения задач прокладки мар-

© М.А. Павленко

шрутов при управлении движением воздушного объекта.

Анализ литературы. Клеточные автоматы, предложенные Дж. фон Нейманом в 40-е годы, прошлого века, приобрели особую популярность, начиная с 90-х годов, после публикации монографии «Машины клеточных автоматов» [2]. С использованием клеточных автоматов моделируется динамика информационных потоков и диффузии информации [3]. В работе [4] предложена модель клеточно-автоматной сети, лежащей в основе организации человеческого мозга. КА используются для разработки теории постбинарного компьютинга [1] и моделирования различных динамических процессов [1 – 4].Использование клеточных автоматов для моделирования транспортных и людских потоков при проектировании городов представлено в работе [4].

Целью данной статьи является совершенствования формального аппарата клеточного автомата решетчатого газа для решения задачи прокладки маршрутов при управлении движением воздушного объекта.

Основная часть

Рассматриваемый КА на основе модели решетчатого газа характеризуется следующими особенностями [1].

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.

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.

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).

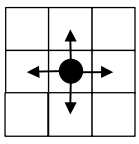

Рис. 2. Графическое отображение понятия «направление движения»

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:

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

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:

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

Движение вниз:

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

Движение влево:

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

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 $\overrightarrow{AB}$ (рис. 3).

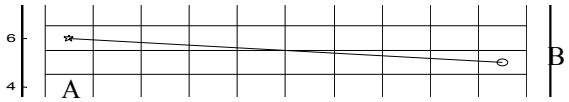

Рис. 3. Вектор от текущего объекта к целевому положению

Далее найдем орты векторов, характеризующих возможное направление движения клетки на следующем шаге. Для соответствующих направлений они будут иметь следующие значения (рис. 4):

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

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

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

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

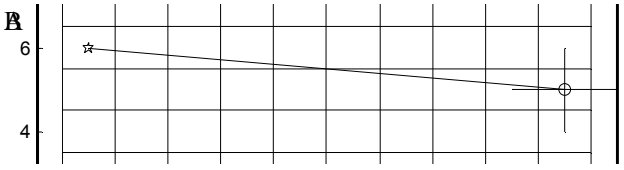

Рис. 4. Графическое представление вектора $\overrightarrow{AB}$ и орт-векторов

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

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

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

Далее решаем оптимизационную задачу:

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

при условиях:

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

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

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

Однако, как было показано выше, подобная модель обладает недостатками. Для преодоления данных недостатков было предложено для подсчета вероятности использовать выражение:

$$P_i = e^{-\sum_{k=1}^{N} D(x+k,y)/\delta}, \qquad (13)$$

где δ - коэффициент позволяющий регулировать чувствительность вероятности, а сумма в показателе рассчитывается в соответствии с выражениями (1) – (4) для каждого направления.

Такой подход к расчету вероятностей более адекватно позволяет формализовать процедуру выбора направления движения. Также данный подход подходит для поиска пути в областях пространства с различными свойствами. Примером такой области может быть «коридор пролета». Данная область характеризуется определенными габаритами выход за которые возможен, но не желателен. Так вот выражения (1-4) не позволяют различить полет по коридору и вне его, а использование выражения (13) позволяет.

Рассмотрим полет воздушного объекта в воздушном пространстве с 3 зонами с разными свойствами.

Первая зона доступна для свободного полета, но имеет зоны запрещенные для пролета. Вторая зона доступна для полета, но не рекомендована для использования. Третья зона находится внутри второй и запрещена для полета, но при этом пролет в ней возможен.

При проведении экспериментов по исследованию свойств разработанного клеточного автомата клетка первоначально находится в первой зоне, а цель находится во второй зоне.

Результаты работы автомата представлены на следующих рисунках (рис. 5, 6).

Выводы

Представленные результаты по разработке клеточного автомата для решения задачи прокладки маршрута движения воздушного объекта в разнородных зонах воздушного пространства показали

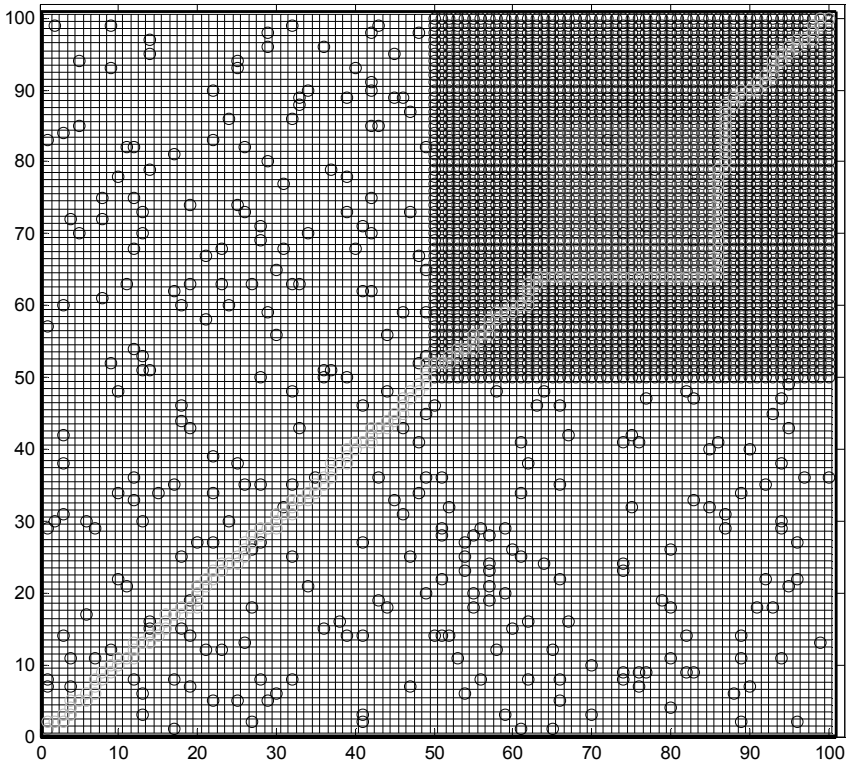

Рис. 5. Результаты работы клеточного автомата при 400 зонах запрещённых для пролета

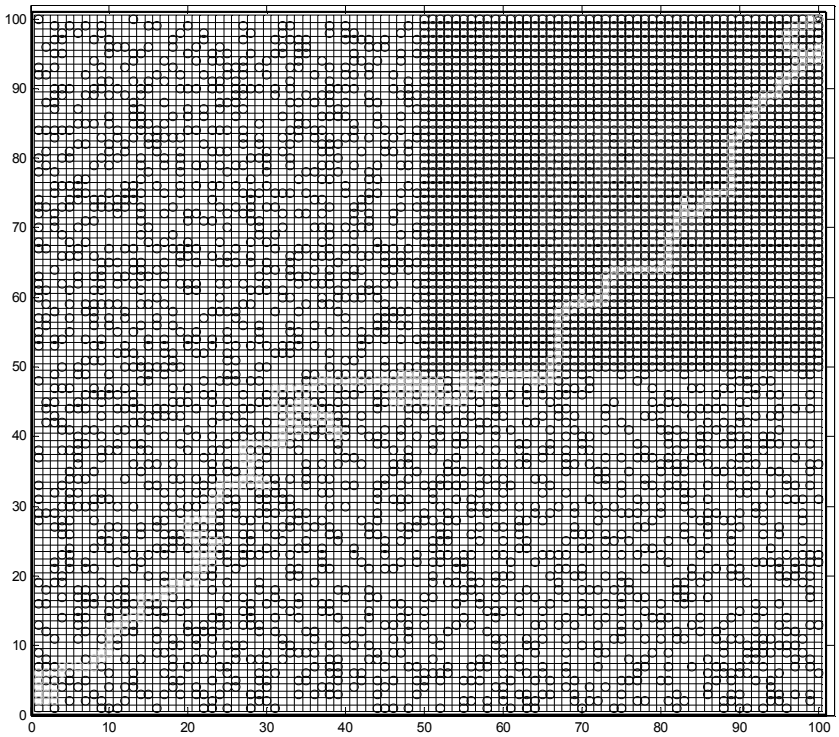

Рис. 6. Результаты работы клеточного автомата при 3600 зонах запрещённых для пролета

необходимость разработки новых подходов к формализации правил поведения данных автоматов. В первую очередь потребовалась разработка новых подходов к расчету вероятности движения в разнородных зонах, а также разработки механизмов компенсации «зависаний» клеточного автомата в устойчивых состояниях. Полученные результаты позволяют перейти к решению данной задачи для трехмерного случая и могут быть использованы для поиска оптимальных маршрутов для различного вида транспортных средств.

Список литературы

1. Тофоли Т. Машины клеточных автоматов / Т. Тофоли, Н. Марголус. – М.: Мир, 1991. – 280 с.

2. Астафьев Г.Б. Клеточные автоматы: Учебно-методическое пособие./ Г.Б. Астафьев, А.А. Короновский, А.Е. Храмов. – Саратов: ГосУНЦ «Коледж», 2003. – 24 с.

3. Лещенко С.П. Методика расчета оптимальной траектории полета воздушного объекта по критерию минимума вероятности обнаружения / С.П. Лещенко, М.П. Батуринский // Системи обробки інформації. – Вип. 2(42).– Х.: ХУ ПС, 2005. – С. 103–110.

4. Аноприенко А.Я. Опыт применения гиперкодов в моделировании клеточных автоматов / А.Я. Аноприенко, А.П. Коноплева // Научные труды ДонНТУ.– Донецк: ДонНТУ, 2007. – Вып. 6 (127): – С. 220-227.

Поступила в редколегию 2.06.2014

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

ПРОКЛАДКА МАРШРУТУ РУХУ ПОВІТРЯНОГО ОБ'ЄКТА В РІЗНОРІДНИХ ЗОНАХ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

М.А. Павленко

У статті розглядаються питання, пов'язані з розробкою кліткового автомата для вирішення завдання прокладки маршруту руху повітряного об'єкта. Клітинний автомат розроблений на основі клітинного автомата, що описує властивості ґратчастого газу. Для обліку властивостей розв'язуваної задачі було запропоновано новий підхід до розрахунку ймовірності та напрямку руху клітини. Запропоновано механізм компенсації коливальних процесів при подоланні «перешкод». Удосконалено алгоритм роботи клітинного автомата для пошуку маршруту в зонах з різними властивостями.

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

ROUTE THE AERIAL OBJECTS IN HETEROGENEOUS AIRSPACE AREAS

M.A. Pavlenko

The article discusses issues related to the development of a cellular automaton for solving the problem of routing traffic air object. A cellular automaton is based on a cellular automaton describing the properties of a lattice gas. To account for the properties of the problem being solved proposed a new approach to the calculation of the probability and the direction of cell movement. The mechanism of compensation of oscillatory processes in overcoming "obstacles". The algorithm of a cellular automaton for route searching in areas with varying properties.

Keywords: *cellular automata, routing, route, route, air traffic control.*