

## КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ ПЕРЕКРЕСТКА

*Петровский А.В.,*

*Харьковский национальный автомобильный государственный университет,  
Херсонский филиал,*

*Голощанов С.С.,*

*Херсонский национальный технический университет*

*Разработана формализованная схема работы клеточных автоматов для перекрестка. Применен вектор направления, позволяющий учесть возможные состояния с учетом всех разрешенных направлений движения транспортных потоков, использующих одну и ту же позицию.*

*Ключевые слова: клеточные автоматы, транспортные системы, управление движением на перекрестке.*

**Введение.** Методы современных информационных технологий находят все большее применение в различных сферах деятельности человека. При этом использование их для изучения сложных динамических систем позволяет с новой точки зрения рассматривать функционирование моделируемых систем. Клеточные автоматы, как одно из направлений развития информационных технологий, нашли устойчивое (и все более важное) применение в качестве концептуальных и практических моделей пространственно распределенных динамических систем, для которых физические системы являются первыми прототипами. Имитаторы клеточных автоматов, способные обновлять состояния миллионов клеток за предельно короткое время, становятся незаменимыми инструментами. Предельно простые модели обычных дифференциальных уравнений физики, такие как уравнение теплопроводности, волновое уравнение и уравнение Навье-Стокса, могут мыслиться как предельные случаи исключительно простых процессов комбинаторной динамики (в частности, клеточные автоматы были созданы для того, чтобы дать точные модели динамики жидкостей) [1].

**Актуальность исследований.** Транспортная система является одной из стратегических отраслей любого государства, поэтому оптимальное управление ею в целом или отдельными ее элементами представляет интерес для информационных технологий как объект моделирования в тех случаях, когда традиционные математические схемы не дают адекватного результата. Использование различных газодинамических или гидродинамических моделей для описания транспортных потоков не всегда позволяет учесть конфигурацию перекрестков или при этом значительно повышает требования к вычислительным ресурсам [2-5]. Применение адекватных прогностических моделей для динамического управления таким элементом транспортной системы, как организация дорожного движения, позволяет при растущей интенсивности транспортного потока, получить решение, альтернативное расширению дорожной сети городов.

**Постановка задачі.** Необхідно розробити моделі кліткових автоматів для моделювання організації руху на перехрестку (рис. 1), згідно заданому набору умов проїзду перехрестка (знаки пріоритету, розрешені напрямки руху [6, 7]).

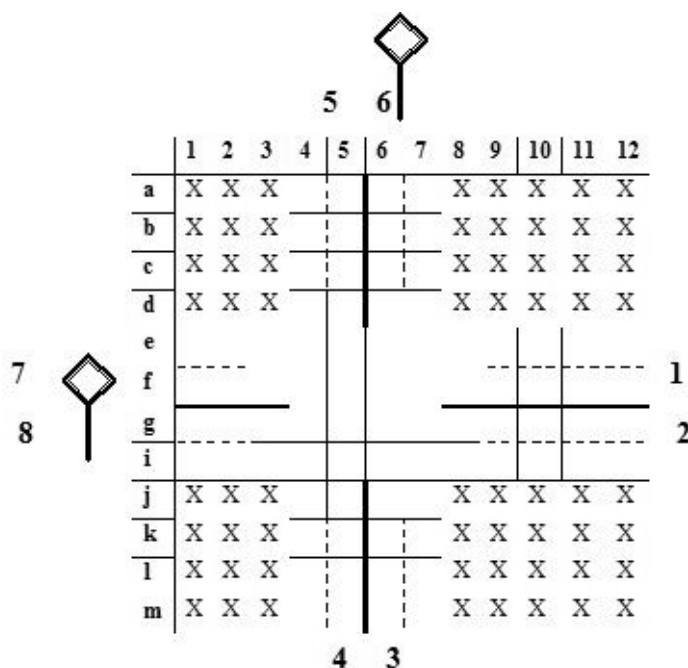


Рисунок 1. Схема перехрестка

**Результати досліджень.** В роботах [8, 9] вивчені одномерні автомати. В роботі [9] використовується можливість розрахунок майбутніх станів клітки на основі поточних станів кліток, розташованих за межами околиць даної клітки. В роботі [8] розроблена модель для прямолинійного руху транспортного потоку, оскільки в кожен момент часу (такт) використовується лише одна координата, в той час як моделювання транспортного потоку, особливо на перехрестках, повинно включати також другу координату для точної ідентифікації транспортного засобу в загальному потоку. Тому пропонується в правила поведінки двовимірних кліткових автоматів, описуючих поведінку елементів транспортного потоку в межах перехрестка, включити вектор напрямку для урахування взаємних перебудов або поворотів/розворотів.

Таким чином, формалізована запис кліткового автомата, що реалізує рух транспортних потоків на перехрестку:

$$A = \langle T, R, Z, N, J \rangle,$$

де  $T$  – координати автомата на площині;

$R$  – множина правил зміни свого стану або збереження попереднього для кожної клітки автомата в залежності від її місця розташування;

$Z$  – множина станів клітки, що складається з двох елементів 0 і 1;

$N$  – множество разрешенных направлений движения на подъезде к перекрестку и на самом перекрестке (прямо, перестроение, поворот налево, поворот направо, разворот).

$J$  – множество тактов времени.

Пусть каждая клетка представляет собой динамический размер среднестатистического легкового автомобиля (грузовой транспорт и крупный пассажирский транспорт могут быть приведены к данному типу транспорта с помощью коэффициентов приведения, при этом поведение усложняется, поскольку необходимо рассматривать локальные группы клеток в целом).

Клетки, использование которых возможно другими направлениями, должны иметь функцию определения состояния для общего случая, т.е. с учетом всех возможных разрешенных направлений. Например, для некоторых позиций состояния следующего такта могут быть определены следующими правилами:

$$i'_2 = (i_2 \wedge i_3) \vee (i_1 \xrightarrow{\quad} i_2) \vee (g_1 \wedge (N = \text{перестроение}) \xrightarrow{\quad} i_1) \quad (1)$$

$$i'_3 = (i_2 \xrightarrow{\quad} i_3) \vee [((N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2}) \wedge i_4) \wedge (i_4 \wedge i_3)] \vee [(N = \text{поворот}_{8 \rightarrow 2}) \wedge (j_4 \wedge i_3)] \quad (2)$$

$$i'_4 = [((i_3 \xrightarrow{\quad} i_4) \vee (i_5 \wedge i_4)) \wedge (N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2})] \vee [((g_4 \xrightarrow{\quad} i_4) \vee (j_4 \wedge i_4)) \wedge (N = \text{прямо}_{5 \rightarrow 4})] \quad (3)$$

$$i'_5 = [((i_4 \xrightarrow{\quad} i_5) \vee (i_6 \wedge i_5)) \wedge (N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2})] \vee [((g_5 \xrightarrow{\quad} i_5) \vee (j_5 \wedge i_5)) \wedge (N = \text{прямо}_{5 \rightarrow 4})] \vee [((g_6 \xrightarrow{\quad} i_5) \vee (j_5 \wedge i_5)) \wedge (N = \text{поворот}_{1 \rightarrow 4})] \quad (4)$$

$$g'_4 = [(N = \text{прямо}_{5 \rightarrow 4}) \wedge (i_2 = 0) \wedge (f_4 = 1) \wedge (g_3 = 0)] \vee [(N = \text{поворот}_{8 \rightarrow 6}) \wedge (g_3 = 1)] \quad (5)$$

$$g'_5 = (N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2}) \wedge (g_4 = 1) \quad (6)$$

$$g'_6 = [(N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2}) \wedge (g_5 = 1)] \vee [(N = \text{прямо}_{3 \rightarrow 6}) \wedge (i_6 = 1) \wedge ((g_5 = 0) \wedge (N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2})) \wedge ((e_5 = 0) \wedge ((N = \text{поворот}_{5 \rightarrow 2}) \vee (N = \text{разворот}_{5 \rightarrow 6}))) \wedge ((f_8 = 0) \wedge (N = \text{прямо}_{1 \rightarrow 7}) \wedge (e_9 = 0))] \quad (7)$$

$$e'_5 = [(N = \text{прямо}_{5 \rightarrow 4}) \wedge (d_5 = 1) \wedge (i_2 = 0) \wedge (g_3 = 0)] \vee [(N = \text{поворот}_{5 \rightarrow 2}) \wedge ((g_4 = 0) \wedge (N = \text{поворот}_{8 \rightarrow 6})) \wedge ((g_5 = 0) \wedge (N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2}))] \vee [(N = \text{разворот}_{5 \rightarrow 6}) \wedge (g_4 = 0) \wedge (N = \text{поворот}_{5 \rightarrow 2})] \quad (8)$$

Таким образом, каждый клеточный автомат имеет свой набор правил, и эти правила тем сложнее, чем больше конфликтных направлений, определенных входным набором правил проезда перекрестка, может использовать данную клетку.

Также, в случае использования дороги, не дающей приоритета при движении в заданном направлении, необходимо учесть при расчете нового состояния не только состояния близлежащих клеток (окрестность данной клетки), но и просчитать на несколько ходов (тактов) вперед состояния для лежащих на пути клеток (их количество определяется конфигурацией перекрестка). Такое отступление от общих правил задания алгоритма поведения клеточных автоматов, когда используются состояния восьми клеток – окрестности данной клетки для двумерных автоматов, позволяет исключить при моделировании возникновение заторов на самом перекрестке. Например, транспортное средство, находясь на главной дороге, не может выехать на перекресток и перекрыть движение транспортным средствам конфликтных направлений, если за пределами перекрестка в направлении его движения затор.

Клеточные автоматы можно реализовать разными способами. В данной работе применен такой подход.

1. Вводятся два массива для хранения состояний клеток: первый из них содержит текущее состояние каждой клетки, второй предназначен для хранения нового ее состояния.

2. Определяется функция переходов клетки решетки. Для выявления следующего ее состояния в качестве параметров в функцию переходов передаются текущие значения состояний клеток окрестности и, где необходимо, состояния зависимых клеток, и состояния ее самой. Эта функция задается в виде булевой формулы. Однако она не является одинаковой для всех клеток, поскольку для учета прав приоритета следующее состояние одной и той же клетки может быть не одинаковым при учете направления движения.

3. На нулевом шаге решетка (первый массив) заполняется начальными данными, что полностью определяет поведение системы для выбранных решетки и функции переходов клетки. Первоначальное распределение состояний конечных автоматов (клеток) равных 1, осуществляется в ограниченном конфигурацией перекрестка множестве клеток  $W \in A$ . В данном примере  $W = (a_4, a_5, g_1, i_1, m_6, m_7, e_{12}, f_{12})$ .

Запись состояний  $\forall w \in W$  осуществляется с учетом интенсивности транспортного потока данного направления. В случае равнозначных дорог – распределение  $Z_w = 1$  равновероятно, в противном случае вероятность распределения состояний  $Z_w = 1$  предлагается пропорционально количеству полос в каждом направлении.

4. Для вычисления новых состояний вводится цикл. На каждой итерации для любой клетки, используя в качестве переменных элементы первого массива, определяется ее новое состояние, помещаемое во второй

массив. Значения аргументов функции переходов берутся из первого массива.

5. По завершении итерации значения из всех элементов второго массива переносятся в первый, что обеспечивает синхронное изменение значений состояний всех клеток решетки.

6. Визуализируется содержимое решетки. Последовательный переход от одной итерации к другой позволяет наблюдать динамику системы.

**Выводы.** Разработана формализованная схема работы клеточных автоматов для перекрестка. Применение вектора направления позволяет учесть возможные состояния с учетом всех разрешенных направлений движения транспортных потоков, использующих одну и ту же клетку. Рассмотрены ситуации, когда состояние клетки зависит не только от состояний клеток окрестности. В работе приведены примеры клеточных автоматов, частично реализующих схему проезда перекрестка.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тоффоли Т. Машины клеточных автоматов / Тоффоли Т., Марголус Н.; пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 280 с.

2. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. – М.: Мир, 1966. – 286 с.

3. Рейцен Е.А. Моделирование транспортных потоков в городах [Электронный ресурс]. – “Безопасность дорожного движения”. – №1(6), 2000. – Режим доступа:

<http://asud.narod.ru/ALLPROBLEM/modelir.htm>

4. Гасников А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков [Электронный ресурс] : курс лекций МФТИ. – Режим доступа:

<http://fupm.fizteh.ru/studyandscience/prog/selcourse/transppotok.html>

5. Рыжков И.П. Моделирование транспортных потоков в городах при сетевых взаимодействиях [Электронный ресурс] : монография. – М., 2004. – 130 с. – Режим доступа:

<http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/59803.html>

6. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1990. – 256 с.

7. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения: учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 2001 – 247 с.

8. Абрамова Л.С. Моделирование заторовых ситуаций по улично-дорожной сети [Электронный ресурс] // Вестник ХНАДУ, 2009. – Режим доступа:

[http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/AvTr/texts/2009\\_25/pdf/Abramova\\_Shirin.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/AvTr/texts/2009_25/pdf/Abramova_Shirin.pdf)

9. Захарчук И.И. О сложности универсальных одномерных автоматов. СП.: Дискретный анализ и исследования операций. Т9 [Электронный ресурс]. – 2002. – Режим доступа:

[http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=da&paperid=185&option\\_lang=rus](http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=da&paperid=185&option_lang=rus)

**Петровський А.В., Голощанов С.С. КЛІТИННІ АВТОМАТИ У МОДЕЛЮВАННІ РОБОТИ ПЕРЕХРЕСТЯ**

*Розроблено формалізовану схему роботи клітинних автоматів для перехрестя. Застосування вектора напрямку дозволяє врахувати можливий стан із обліком усіх дозволених напрямків руху транспортних потоків, що використовують ту саму позицію.*

*Ключові слова: клітинні автомати, транспортні системи, управління рухом на перехресті.*

**Petrovskiy A.V., Goloschapov S.S. CELLULAR AUTOMATIC MACHINES IN MODELLING OF WORK OF THE CROSSROADS**

*The formalized scheme of work of cellular automatic machines is developed for a crossroads. The direction vector is applied, permitting to consider possible conditions taking into account all allowed directions of movement for the transport streams using the same position.*

*Key words: cellular automatic machines, transport systems, movement control on the crossroads.*