

УДК 621.391

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ УЗЛОВ ЛОКАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ХАОСА

А.А. ПОДЛУЦКИЙ, В.Ю. ЦВЕТКОВ, К.Т.Х. АЛЬ-ШАМАРИ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 22 октября 2012

Предложен метод пространственно-временной хаотической параметризации движения точек в двухмерном пространстве на основе клеточных автоматов для построения модели мобильности локальной сети с хаотическим движением узлов. Метод обеспечивает хаотическое изменение параметров движения для произвольного числа узлов локальной мобильной сети за счет определения пространственно-временной хаотической динамики во всех точках пространства. Показано, что для снижения вычислительной сложности пространственно-временной хаотической параметризации движения может быть использовано фрактальное расширение хаотического пространства с помощью рекурсивных перестановок.

Ключевые слова: локальные мобильные сети, модели мобильности, динамический хаос.

Введение

В условиях интенсивного развития сетевых технологий исследование протоколов локальных мобильных сетей является актуальной задачей. Одной из основных проблем проведения исследований в данном направлении является высокая стоимость экспериментов, связанная с необходимостью использования большого числа узлов, рассредоточенных на значительной площади; выделения значительного времени и частотных ресурсов; создания внешних условий работы сети, таких как естественные и искусственные помехи, погодные условия. Решение данной проблемы возможно за счет использования программных моделей мобильности. Для определения траекторий перемещения узлов локальных мобильных сетей могут быть использованы модели двух типов: натуральные и искусственные [1]. Натуральные модели строятся на основании наблюдений за перемещением объектов в реальных условиях. Такие модели предоставляют точную информацию о реальном местоположении объектов в любой момент времени. Однако их построение также связано с существенными материальными и временными затратами, особенно, при наблюдении большого числа узлов. Искусственные модели позволяют решить данную проблему. Известные искусственные модели мобильности можно разделить на два класса: модели с независимым и групповым движением узлов [2]. Данные модели отличаются низкой сложностью построения, однако они не учитывают пространственно-временную хаотическую динамику параметров движения узлов, проявляющуюся в реальных условиях. Модели мобильности с хаотическим движением узлов в настоящее время не исследованы. Для их построения необходимо формирование хаотического пространства, состояние каждой точки в котором зависит от состояний соседних точек. Известны методы формирования пространственного динамического хаоса, основанные на системах уравнений Лоренца, Ресслера, Ван дер Поля; отображениях Хенона, Икеды, логистическом; функциях Вейерштрасса-Мандельброта, Мэки-Гласса и ряд других [3]. Однако непосредственное применение этих методов для формирования пространственно-временной хаотической динамики неэффективно. Кроме того, данные методы имеют высокую вычислительную сложность. Единственной моделью пространственно-временного динамического хаоса является клеточный автомат [4]. Его важным достоинством является низкая вычислительная сложность.

Целью работы является разработка метода пространственно-временной хаотической параметризации движения на основе клеточных автоматов для построения модели мобильности локальной сети с хаотическим движением узлов.

Модели мобильности с независимым движением узлов

Для описания независимого движения узлов используются следующие модели.

Модель мобильности со случайным (броуновским) движением узлов [1]. Это одна из первых моделей мобильности, основанная на непредсказуемом характере движения узлов. В данной модели скорость и направление перемещения выбираются случайным образом. Изменение скорости и направления движения происходит через равные промежутки времени или через заданное постоянное пройденное расстояние. Случайное изменение параметров движения позволяет снизить вычислительную сложность построения модели. Однако в результате может моделироваться нереалистичное движение, например с внезапными остановками и резкими поворотами.

Модель мобильности со случайными точками маршрута [5]. Эта модель учитывает паузы между изменениями направления и/или скорости движения. Сначала узел находится в состоянии покоя определенное время (время покоя), затем выбирает случайным образом точку в области моделирования и скорость и движется к данной точке. При достижении заданной точки узел опять находится в состоянии покоя перед началом нового цикла движения. Если время покоя равно нулю, то данная модель сводится к предыдущей модели. Недостатком данной модели является сложность выбора значений времени покоя и скорости.

Модель мобильности со случайным направлением движения [6]. Недостатками предыдущих моделей является группирование узлов в определенной области моделирования и прохождение через центр траекторий движения. Данные недостатки устраняет модель со случайным направлением движения. В ней узел выбирает случайное направление и движется до границы области моделирования, где он останавливается на некоторое время и затем выбирает новое направление, после чего процесс повторяется.

Модель мобильности Гаусса-Маркова [7]. Данная модель позволяет избежать резких изменений траектории движения за счет учета текущих параметров движения (скорости и направления) при вычислении параметров движения в следующий момент времени. Первоначально каждому узлу назначаются текущая скорость и направление. Их изменение происходит в фиксированные моменты времени.

Общим недостатком рассмотренных моделей является независимость параметров движения любого узла от параметров движения соседних узлов. В реальных условиях проявляется пространственно-временная хаотическая динамика параметров движения узлов.

Модели мобильности с групповым движением узлов

В некоторых условиях мобильные узлы движутся в группе. Для моделирования такого движения узлов используются групповые модели мобильности.

Модель мобильности при движении в колонне [7]. В такой модели задается опорная линия с соответствующими каждому узлу опорными точками, в результате чего формируется колонна узлов. Узлы могут двигаться случайным образом вокруг опорных точек. При перемещении опорной линии узлы следуют за своими опорными точками. Примером такого движения является перемещение колонны транспортных средств.

Кочевая модель мобильности [8]. В кочевой модели мобильности узлы движутся по индивидуальному случайному пути от одной опорной точки к другой. При достижении опорной точки узлы движутся возле нее некоторое время. Примером такой модели может быть группа экскурсантов в музее, которая движется от одного экспоната к другому и задерживается возле каждого экспоната на некоторое время.

Модель мобильности с преследованием [6]. Такая модель может использоваться для моделирования движения узлов, которые преследуют некоторую цель. В отличие от предыдущей модели узлам не ставится задача выйти точно к преследуемому узлу, а допускается отклонение, задаваемое случайным вектором.

Модель мобильности с групповой опорной точкой [9]. Данная модель описывает случайное движение группы узлов и каждого отдельного узла в пределах группы. Групповое движение

базируется на пути, пройденном условным центром группы (групповой опорной точки), а индивидуальное движение базируется на перемещении индивидуальных опорных точек, которые перемещаются вместе с логическим центром. Примером такого движения может служить стая птиц в небе.

Основным недостатком данных моделей является использование только одной группы. При одновременном использовании нескольких таких моделей для описания движения соответствующего числа групп узлов в общем пространстве их параметры движения оказываются некоррелированными.

Пространственно-временная хаотическая параметризация движения на основе клеточных автоматов

Для построения модели мобильности локальной сети с хаотическим движением узлов предлагается метод пространственно-временной хаотической параметризации движения точек в двухмерном пространстве размером $Y \times X$ на основе клеточных автоматов. Сущность метода состоит в использовании двух многослойных клеточных автоматов $C_Y(t) = \|c_Y(d, y, x, t)\|_{(d=1, \overline{D}, y=0, \overline{Y_C-1}, x=0, \overline{X_C-1})}$ и $C_X(t) = \|c_X(d, y, x, t)\|_{(d=1, \overline{D}, y=0, \overline{Y_C-1}, x=0, \overline{X_C-1})}$ для определения вектора $A(y, x, t) = (a_Y(y, x, t), a_X(y, x, t))$ ускорения для каждой точки (y, x) двухмерного хаотического пространства. Число D слоев многослойных клеточных автоматов определяет точность представления компонент $(a_Y(y, x, t), a_X(y, x, t))$ вектора ускорения. Метод обеспечивает хаотическое изменение параметров движения для произвольного числа узлов локальной мобильной сети за счет определения пространственно-временной хаотической динамики во всех точках пространства.

Алгоритм, реализующий предлагаемый метод пространственно-временной хаотической параметризации движения точек, состоит из следующих шагов.

1. Инициализация многослойных клеточных автоматов. С использованием генератора случайных чисел задаются начальные состояния $(t=0)$ клеточных автоматов $C_Y(t)$ и $C_X(t)$, где $t = \overline{0, T-1}$ – счетчик циклов моделирования; T – число циклов моделирования.

2. Инициализация мобильных узлов в хаотическом пространстве. С помощью генератора случайных чисел для каждого n -го узла (где $n = \overline{0, N-1}$; N – число узлов) при $t=0$ задается набор $M(n, t) = (y(n, t), x(n, t), v_Y(n, t), v_X(n, t))$ параметров движения, где $(y(n, t), x(n, t))$ – текущие координаты n -го узла; $(v_Y(n, t), v_X(n, t))$ – компоненты вектора скорости $V(n, t)$.

3. Начало цикла моделирования хаотического движения. Приращение значения счетчика циклов моделирования: $t = t + 1$.

4. Вычисление текущих состояний клеточных автоматов $C_Y(t)$ и $C_X(t)$.

5. Переопределение компонент вектора скорости $V(n, t)$ n -го узла для $n = \overline{0, N-1}$ с помощью выражения

$$\begin{cases} v_Y(n, t) = f(v_Y(n, t-1), c_Y(d, y(n, t), x(n, t), t)), \\ v_X(n, t) = f(v_X(n, t-1), c_X(d, y(n, t), x(n, t), t)). \end{cases} \quad (1)$$

6. Переопределение текущих координат $(y(n, t), x(n, t))$ n -го узла для $n = \overline{0, N-1}$ с помощью выражения

$$\begin{cases} y(n, t) = y(n, t-1) + v_Y(n, t), \\ x(n, t) = x(n, t-1) + v_X(n, t). \end{cases} \quad (2)$$

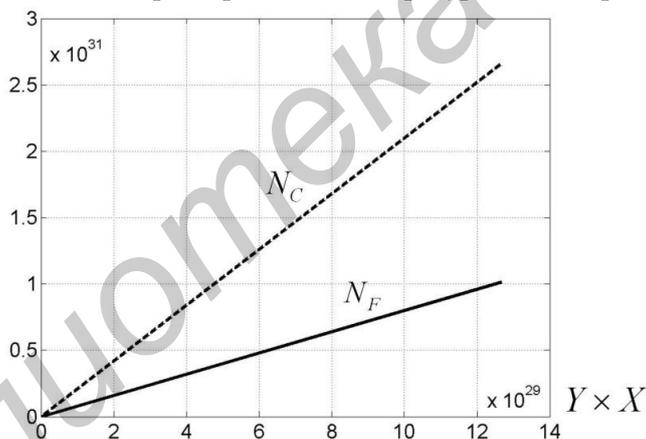
7. Конец цикла. Проверка условия $t < T$. Если условие выполняется, то осуществляется переход на шаг 3. Иначе – выход из цикла.

В результате выполнения данного алгоритма реализуется модель мобильности с хаотическим движением точек.

Основным недостатком клеточного автомата, в том числе многослойного, является высокая вероятность вырождения хаотической динамики. Однако, как показано в [10], хаотическая динамика может быть стабилизирована в многослойном клеточном автомате с дополнительными связями между слоями.

Одной из основных проблем моделирования хаотического движения узлов на основе клеточного автомата и других известных генераторов хаоса является рост вычислительной сложности с увеличением размера хаотического пространства, что связано с формированием пространственной хаотической динамики для всех точек пространства и приводит к увеличению объема оперативной памяти для хранения состояний генератора хаоса. Для снижения вычислительной сложности пространственно-временной хаотической параметризации движения точек предлагается использовать фрактальное расширение хаотического пространства с помощью рекурсивных перестановок. Сущность данного подхода состоит в использовании хаотического пространства небольшого размера для формирования хаотического пространства произвольного размера в результате фрактального расширения и рекурсивной перестановки элементов исходного хаотического пространства. Это позволяет сократить вычислительную сложность формирования хаотического пространства требуемого размера за счет уменьшения числа операций при фрактальном расширении исходного хаотического пространства и сохранить характер пространственно-временной хаотической динамики за счет рекурсивных перестановок, поддерживающих локальную связь точек хаотического пространства после перестановки.

Проведен анализ зависимостей числа операций, необходимых для формирования хаотического пространства, от размера $Y \times X$ хаотического пространства (см. рисунок) при использовании обычного клеточного автомата (кривая N_C) и фрактального расширения исходного хаотического пространства небольшого размера с помощью рекурсивных перестановок (кривая N_F).



Зависимости числа операций от размера формируемого хаотического пространства

Из рисунка следует, что фрактальное расширение хаотического пространства клеточного автомата позволяет в 2,5 раза уменьшить вычислительную сложность формирования пространственно-временной хаотической динамики в пространстве заданного размера по сравнению с базовым подходом, использующим для формирования хаотического пространства обычный клеточный автомат.

Заключение

Предложен метод пространственно-временной хаотической параметризации движения точек в двумерном пространстве на основе клеточных автоматов для построения модели мобильности локальной сети с хаотическим движением узлов. Сущность метода состоит в использовании двух многослойных клеточных автоматов для определения вектора ускорения для каждой точки двумерного хаотического пространства. Число слоев многослойных клеточных автоматов определяет точность представления компонент вектора ускорения. Метод обеспечивает хаотическое изменение параметров движения для произвольного числа узлов локальной мобильной сети за счет определения пространственно-временной хаотической динамики во всех точках

пространства. Для снижения вычислительной сложности пространственно-временной хаотической параметризации движения точек предложено использовать фрактальное расширение хаотического пространства с помощью рекурсивных перестановок. Показано, что это позволяет в 2,5 раза сократить вычислительную сложность формирования хаотического пространства требуемого размера за счет уменьшения числа операций при фрактальном расширении исходного хаотического пространства и сохранить характер пространственно-временной хаотической динамики за счет рекурсивных перестановок, поддерживающих локальную связь точек хаотического пространства после перестановки.

MOTION SIMULATION OF NODES IN LOCAL MOBILE NETWORK BASED ON DYNAMIC CHAOS

A.A. PODLUTSKI, V.Yu. TSVIATKOU, K.T.H. AL-SHAMERY

Abstract

A method of space-time chaotic parameterization of the points in a two dimensional space on the basis of cellular automata to model a wireless LAN with the random movement of nodes is proposed. The method provides a chaotic change in the parameters of motion for an arbitrary number of hosts in the local mobile network by identifying spatiotemporal chaotic dynamics for all points in space. It is shown that in order to reduce the computational complexity of the spatial-temporal chaotic motion parameterization can be used fractal expansion of chaotic space by using recursive permutations.

Литература

1. *Camp T., Boleng J., Davies V.* // Wireless Communications and Mobile Computing. 2002. Vol. 2. P. 483-502.
2. *Ahmad A.* // International Journal on Computer Science and Engineering. 2009. Vol. 2 (1). P. 46-50.
3. *Toosizadeh S.* // International Conference on Computer and Software Modeling. IPCSIT Press, Singapore. 2011. Vol. 14. P. 43-47.
4. *Silva C.P.* // Proc. of IEEE Aerospace Conference. 2000. P. 279-299.
5. *Jonson D., Maltz D.* // Mobile Computing, 1996. P. 153-181.
6. *Royer E., Melliar-Smith PM, Moser L.* // In Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC). 2001.
7. *Liang B, Haas Z.* // In Proceedings of the Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM). 1999.
8. *Karp B.* // In Proceedings of the ACM International Workshop on Modeling and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM). 1999.
9. *Борискевич А.А.* // Доклады бел. гос. университета информатики и радиоэлектроники. 2006. №6 (12). С. 30-39.