Секция 3 «Телекоммуникации в ДО»

Использование клеточных автоматов для распределения информационных потоков в сетях с рефрактерными элементами в дистанционном обучении

Келеберда И.Н., Лесная Н.С., Маковецкий С.Д.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
E-mail: swell@kture.kharkov.ua

Abstract

The Generalized Wiener-Rosenblueth (GWR) model is formulated for 2D-networks with refractorities (when some of network elements can be in a sleeping state). The specialized program based on the cellural automata approach was elaborated for the GWR model investigations. The phenomenon of self-organization was observed in computer experiments with the GWR model. The possibilities of the synthesis of reliable distant education net from unreliable (refractory) components are discussed.

Доступность глобальной сети Интернет послужила одним из основополагающих факторов развития дистанционного обучения. Одной из проблем глобальных компьютерных сетей, применяющихся для дистанционного обучения, является неравномерное использование сегментов сети при передаче данных, заключающееся в простое одних участков и перегрузке других, в результате чего та или иная часть элементов сети временно оказывается в неработоспособном (рефрактерном) состоянии. Поэтому актуальной является задача оптимального распределения информационных потоков в сетях с рефрактерными элементами. Решение этой задачи позволит увеличить надежность и быстродействие компьютерных сетей, что в свою очередь повысит эффективность взаимодействия участников дистанционного обучения.

Для изучения процессов, протекающих в сложных реальных сетях, требуются математические модели, позволяющие воспроизводить основные особенности исследуемой задачи при максимальном упрощении описания второстепенных деталей. Перспективным направлением в области компьютерного моделирования сложных систем является использование клеточно-автоматного подхода, который был предложен Нейманом и развит в работах Конвея. Уолфрэма, Тоффоли и других. Суть метода заключается в использовании систем, содержащих одинаковые дискретные элементы, локально взаимодействующие между собой, причем каждый элемент имеет небольшое количество (обычно два-три) разрешенных состояний, правила переходов между которыми определяются постановкой конкретной задачи.

В настоящей работе выполнено клеточно-автоматное моделирование двумерных сетей с рефрактерными элементами, основанное на модели Винера-Розенблюта [1]. Эта модель была обобщена Зыковым и Михайловым [2] применительно к физико-химическим задачам типа реакции Белоусова-Жаботинского и другим клеточно-автоматным проблемам, касающимся поведения многокомпонентных объектов с локальными внутренними связями. В данной работе алгоритм Зыкова и Михайлова [2] адаптирован к задаче о распределении информационных потоков в сетевых системах с рефрактерностями, создана программа для исследования модели GWR и найдены условия возникновения самоорганизующихся динамических структур в таких сетях.

Рассматриваемая модель GWR содержит рабочий слой в виде двумерной прямоугольной сети (паттерна) размером $m_x \times m_y$, составленной из клеточно-автоматных элементов (КАЭ) с координатами i, j (где $1 \le i \le m_x$; $1 \le j \le m_y$). Дискретное время $\tau = \tau_n$ принимает все целочисленные значения в диапазоне $0 \le n \le N$. В каждый момент времени тот или иной индивидуальный КАЭ может находиться в одном из своих дискретных состояний (на одном из уровней спектра разрешенных значений). Набор атрибутов КАЭ, однозначно определяющих его состояние на шаге τ_n по состоянию на шаге τ_{n-1}, вычисляется для каждого КАЭ отдельно – с учетом как его собственного текущего состояния, так и состояния его соседей в пределах заданной координационной сферы. Состояния всех КАЭ при $n = 0$ (стартовый паттерн) задаются в явном виде, после чего какое-либо вмешательство в ход развития системы запрещается.

Кроме рабочего слоя имеется также надслой U (базовый источник данных для КАЭ рабочего слоя, имеющих на данном шаге τ_n право доступа к U) и подслой D, куда осуществляется сброс данных из КАЭ рабочего слоя. Слои U и D для простоты считаем неструктурированными, имеющими неограниченную емкость и высокую скорость связи с рабочим слоем.

Каждый КАЭ рабочего слоя может находиться на одном из трех возможных уровней $L_{ij} = \{W \mid B \mid G\}$, где W – основной (низший) уровень, B – возбужденный (высший) уровень, G – рефрактерный (промежуточный) уровень. Для высшего уровня B разрешен доступ к U, но запрещен доступ к D. Для низшего уровня W разрешено получать данные только от КАЭ высшего уровня и сбрасывать эти данные в D. Наконец, КАЭ на промежуточном уровне G является изолированным.

Полное описание КАЭ задается вектором состояний $\vec{S}_{ij}(\tau_n) = (L_{ij}^{(n)}; \varphi_{ij}^{(n)}; u_{ij}^{(n)}; \tau_n)$, где $\varphi_{ij}^{(n)}$ и $u_{ij}^{(n)}$ – соответственно фаза состояния и объем данных, хранящихся в КАЭ. Переходы между состояниями

КАЭ осуществляются по замкнутому циклу $W \to B \to G \to W \to \ldots$, причем вектор состояний изменяется следующим образом:

$$(W;0;u_{ij}^{(a)};\tau_a) \to (B;\varphi_{ij}^{(b)};h;\tau_b) \to (G;\varphi_{ij}^{(c)};0;\tau_c) \to \ldots \quad (1)$$

где a, b, c – точки переходов между уровнями; h – пороговое значение параметра u, при котором КАЭ переходит с уровня W на уровень B (и приобретает права доступа на получение потока данных из надслоя U).

Фаза φ_{ij} может принимать только целочисленные значения в области от 0 до $\tau_e + \tau_r$. Если $\varphi_{ij}^{(n)} = 0$, то $L_{ij}^{(n)} = W$. При $0 < \varphi_{ij}^{(n)} \le \tau_e$ реализуется $L_{ij}^{(n)} = B$. При $\tau_e < \varphi_{ij}^{(n)} \le \tau_e + \tau_r$ имеет место $L_{ij}^{(n)} = G$

Фаза вычисляется по следующим правилам:

$$\varphi_{ij}^{(n+1)} = \begin{cases} \varphi_{ij}^{(n)} + 1, & \text{if} \quad 0 < \varphi_{ij}^{(n)} < \tau_e + \tau_r; \\ 0, & \text{if} \quad \varphi_{ij}^{(n)} = \tau_e + \tau_r; \\ 0, & \text{if} \quad (\varphi_{ij}^{(n)} = 0) \wedge (u_{ij}^{(n+1)} < h); \\ 1, & \text{if} \quad (\varphi_{ij}^{(n)} = 0) \wedge (u_{ij}^{(n+1)} \ge h). \end{cases} \quad (2)$$

Согласно (1) при $L = B$ всегда выполняется $u = h$, а для рефрактерных КАЭ $u = 0$.Объем данных, хранящихся в КАЭ с $L = W$, определяется соотношением, которое учитывает как сброс данных ($W \to D$), так и поступление новых данных ($B \to W$):

$$u_{ij}^{(n+1)} = g u_{ij}^{(n)} + \sum_{k,l} C(k,l)\, J_{i+k,j+l}^{(n)}, \quad (3)$$

где g – коэффициент, характеризующий скорость сброса данных из КАЭ с $L = W$; $C(k,l)$ – параметры, описывающие конфигурацию координационной сферы, которая оказывает влияние на состояние КАЭ с $L = W$; $J_{i+k,j+l}^{(n)}$ – коэффициенты связи, определяющие скорость притока данных в рассматриваемый КАЭ с $L = W$ от соседних КАЭ с $L = B$, находящихся в пределах координационной сферы.

Таким образом, выражение (3) описывает конкуренцию процессов сброса (первое слагаемое правой части) и притока (второе слагаемое) данных в КАЭ с $L = W$. В общем случае приток данных может иметь неоднородный, анизотропный и зависящий от времени характер, что соответствует различным значениям коэффициентов $C(k,l)$ и $J_{i+k,j+l}^{(n)}$ для различных i, j, k, l, n. В данной работе рассматривается случай системы, являющейся изотропной по Нейману и с неизменными во времени коэффициентами связи. Основные исследования касаются однородной системы (где все КАЭ одинаковы), что значительно упрощает задачу. При этом полностью сохраняются свойства системы, связанные с рефрактерностью ее элементов и характером распределения информационных потоков. Кроме того, будем считать, что приток данных в каждый из КАЭ осуществляется только из его окрестности Мура (октета соседних КАЭ), т.е.:

$$C(k,l)=\begin{cases}1, & \text{if} \quad [(|k|\le 1)\wedge(|l|\le 1)]\wedge(\delta_{k0}\delta_{l0}\ne 1);\\ 0, & \text{if} \quad [(|k|\ge 2)\vee(|l|\ge 2)]\vee(\delta_{k0}\delta_{l0}=1),\end{cases} \tag{4}$$

где δ_{ij} – символ Кронекера. При этом данные поступают только от КАЭ с $L=B$ (если такие КАЭ имеются в окрестности Мура), т.е. выполняются соотношения:

$$J_{ij}^{(n)}=\begin{cases}1, & \text{if} \quad 0<\varphi_{ij}^{(n)}\le\tau_e;\\ 0, & \text{if} \quad (\tau_e<\varphi_{ij}^{(n)}\le\tau_e+\tau_r)\vee(\varphi_{ij}^{(n)}=0).\end{cases} \tag{5}$$

Для реализации описанного выше алгоритма была разработана программа GWR, позволяющая на персональном компьютере типа Pentium с тактовой частотой 1–2 ГГц выполнять более ста миллиардов пиксельных GWR-преобразований за час. Этот показатель сопоставим с производительностью систем типа CAM (Cellural Automata Machines [3]), которые содержат специализированные аппаратные средства (платы клеточных автоматов).

С помощью программы GWR обнаружено возникновение самоорганизации в 2D-сети с рефрактерными элементами. Для сети с $\tau_e=5$; $\tau_r=7$; $g=0{,}3$; $h=3$ найдено, что результатом развития неустойчивости в сети является возникновение спиральных (вихревых) структур с различными топологическими зарядами Q_T. Полученные результаты коррелируют с исследованиями спиральных структур в реакциях типа Белоусова-Жаботинского. Для стартовых паттернов с малыми размерами m_x, $m_y<50$ наблюдалось установление спиральных волн (ревербераторов) с $Q_T=1;2;3$, хотя в переходном режиме были структуры и с более высокими Q_T. При m_x, $m_y\ge 100$ ревербераторы с $Q_T=3$ подавляют все остальные волны, хотя время, за которое в сети остается единственный ревербератор с $Q_T=3$, быстро возрастает с увеличением m_x, m_y.

Понижение порога до $h=2$ приводит к резкому изменению картины – вместо спиралей формируются ромбические пейсмейкеры (источники концентрических волн). Дальнейшее уменьшение порога до $h=1$ дает прямоугольные пейсмейкеры. Возвращаясь к $h=3$, но повышая g от $0{,}3$ до $0{,}9$, получаем замкнутые вихри. Похожий тип структур имеет место и при возврате к $g=0{,}3$ с одновременным увеличением τ_e до 8 (когда $\tau_e>\tau_r$).

Таким образом, наблюдающиеся явления демонстрируют различные типы самоорганизации в сетях с рефрактерными элементами.

Предложенная и исследованная в настоящей работе клеточно-автоматная сетевая модель в области дистанционного обучения имеет следующие основные практические применения:

1. Модель GWR дает количественные критерии устойчивости работы сетевых систем, часть сегментов которых являются ненадежными. Так, для сетей с $3 \le \tau_e \le 5$; $4 \le \tau_r \le 7$; $0{,}3 \le g \le 0{,}5$; $2{,}5 \le h \le 3$ было обнаружено, что даже наличие локальных областей полного разрушения активности не изменяет глобальный характер распространения возбуждений в сети, если размеры указанных областей меньше длины волны ревербератора. Иначе говоря, в случае появления дефектных сетевых участков (с аномально большим временем рефрактерности $\tau_r > \tau_N$) общий характер распределения информационных потоков в сети не претерпевает качественных изменений – самоорганизованные структуры типа ревербераторов обладают устойчивостью по отношению к локальным нарушениям однородности двумерной сети. Этот результат хорошо согласуется с данными работы Рамоса [4], где выполнялось математическое моделирование ревербераторов в двумерных диссипативных системах типа Белоусова-Жаботинского.

2. Применение модели GWR позволяет оптимизировать скорость распространения информационных потоков в двумерных сетях с рефрактерными элементами. Возникающие в диссипативных системах самоорганизующиеся пространственные структуры (ревербераторы, пейсмейкеры и т.п.) увеличивают, как известно [5], среднюю скорость распространения возбуждений по сравнению со случаем однородного, неструктурированного потока. Модель GWR дает возможность выполнить тонкую настройку сетевых параметров (например, τ_e, g и h), при которых реализуются наиболее эффективные динамические пространственные структуры передачи информации.

Таким образом, применение математической модели на основе КАЭ решает задачу оптимальной загрузки компьютерных сетей с помощью графического представления информационных потоков. Распределение ресурсов сетей Интернет/Интранет с использованием модели GWR позволяет организовать эффективное взаимодействие участников дистанционного обучения. Это осуществляется путем выбора такого соотношения между сетевыми управляющими параметрами, при котором возникают пространственные структуры, обеспечивающие повышение скорости передачи информационных потоков к конечным потребителям в реальных сетях Интернет/Интранет.

Литература

1. *Винер Н., Розенблют А.* // Кибернетич. сборник, 1961, вып.3, С.7-56.
2. *Зыков В.С., Михайлов А.С.* // ДАН СССР, 1986, Т.286, № 2, С.341-344.