УДК 004.94

СТОХАСТИЧЕСКИЕ КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ С ГЕНЕТИЧЕСКИМ ИММУНИТЕТОМ

Д.Н. Пак, Т.В. Голованева*

Белгородский государственный университет

Клеточные автоматы (КА) служат одновременно и формальными моделями физических систем и вычислительными системами. КА способны проводить основные операции обработки информации в окрестности фазовых переходов от высоко упорядоченных к беспорядочным состояниям. Для моделирования внешних воздействий на КА с генетическим иммунитетом в данной работе рассматривается стохастическое изменение состояния клеток. Установлено, что при определенных условиях КА переходит в стационарный режим. Изучение внесистемных взаимодействий имеет большое значение при построении моделей в синергетике.

В настоящее время большое внимание уделяется изучению различных путей возникновения сложного поведения из простых действий простых устройств. Такой подход часто используется при анализе динамических систем, в теории фракталов, теории хаоса, синергетике и т.д. [1] – [7]. В связи с этим особый интерес привлекают клеточные автоматы (КА), которые способны порождать сложное поведение даже при использовании очень простых генетических алгоритмов.

КА были предложены фон Нейманом для описания теории самовоспроизводящихся автоматов и построения универсальной модели параллельных вычислений [5]. В работе [4] КА определяется как дискретная динамическая система, представляющая собой совокупность одинаковых клеток, одинаковым образом соединенных между собой. Все клетки образуют решетку клеточного автомата. Решетки могут быть разных типов, отличаясь как по размерности, так и по форме клеток. Каждая клетка является конечным автоматом, состояния которого определяются состояниями соседних клеток и, возможно, ее собственным состояниям.

КА в общем случае характеризуются следующими свойствами:

1. Изменения значений всех клеток происходят одновременно после вычисления нового состояния каждой клетки решетки.

2. Решетка однородна. Невозможно отличить никакие два места на решетке по ландшафту.

3. Множество состояний клетки конечно.

4. Взаимодействия локальны. Лишь клетки окрестности (как правило, соседние) способны повлиять на данную клетку. Локальные взаимодействия отражают внутрисистемные связи.

Поведение КА определяется генетическими алгоритмами, которые реализуют правила перехода клеток из одних состояний в другие под влиянием взаимодействующих клеток. В работе [1] М.А. Басин приводит очень важный для изучения поведения КА результат: «Любая конечная детерминированная компьютерная программа, преобразующая любой конечный набор списков, либо когда-нибудь остановится, либо будет периодически повторять один и тот же процесс».

* E-mail: pak@bsu edu.ru

В связи с этим для построения более универсальной модели нами введены в рассмотрение внешние воздействия на КА. Изучение внесистемных взаимодействий имеет большое значение при построении моделей в синергетике. Внесистемные взаимодействия не могут быть описаны только состоянием КА и требуют для отражения механизма воздействия внешних сил качественно других средств. В данной работе рассматривается возможность стохастического изменения состояния клеток при определенных условиях.

Рассматриваемая модель КА, в общем виде ее можно описать с помощью следующего соотношения:

$$z[i,t+1] = F(zh[i,t], s[i,t], g[i,t]),$$

где F – функция переходов клетки;
z[i,t+1] – состояние i-й клетки в следующий момент времени t+1;
s[i,t] – состояние окружающих клеток в данный момент времени t;
zh[i,t] – состояние i-й клетки в данный момент времени t с учетом предыдущих состояний; предполагается, что клетка может находиться только в одном из конечного числа состояний, причем продолжительность (число периодов) каждого состояния может быть различной. В модели рассматривается случай, когда в одном из состояний клетка становится невосприимчивой к воздействию (приобретает иммунитет) и сохраняет иммунитет в течение определенного периода;
g[i,t] – состояние внешнего фактора в данный момент времени t;
i – номер клетки; предполагается, что независимо от размерности формы решетки всегда существует подходящая нумерация клеток с помощью одного индекса. Для устранения краевых эффектов предполагается, что границы области завернуты и решетка располагается на торе.

Для иллюстрации общей модели рассмотрим частный случай на модели распространения инфекции. По аналогии с известным КА Конвея «Жизнь» рассмотрим разделенную на клетки прямоугольную область («пустыню») с поглощающими границами, т.е. граничные объекты могут передавать полученное свойство за границу области, но не могут получить это свойство извне.

Область (решетка) может быть задана в виде прямоугольника с поглощающими границами или в виде поверхности с замкнутыми границами. Если область задана в виде поверхности тела (тор или сфера), разбитой на отдельные ячейки (клетки), в каждой из которых находится объект, то граничные элементы отсутствуют. Внутренняя клетка имеет соседей по вертикали, по горизонтали и по диагоналям (всего 8 соседей). Граничная клетка имеет пять соседних клеток, а угловая (в случае прямоугольной области) – три.

Внутри решетки может находиться прямоугольная область («остров») с поглощающими границами. Это значит, что граничные клетки «острова» всегда имеют иммунитет и не заражают другие клетки.

Рассмотрим процесс распространения некоторого свойства (например, инфекции) на множестве объектов (клеток), каждый из которых может находиться в отдельный момент времени только в одном из трех состояний:

1) свободном (здоровая клетка). Свободный объект может приобрести некоторое заданное свойство (получить нагрузку) с заданной вероятностью P, если у него есть соседний объект, обладающий заданным свойством. Объект может находиться в свободном состоянии только до тех пор, пока не перейдет в нагруженное состояние с последующим восстановлением;

2) под нагрузкой (инфицированная клетка обладает некоторым заданным свойством). Если объект получил свойство, то оно сохраняется в течение заданного числа поколений **D** (длины периода нагрузки – действия). После завершения этого периода объект не может обладать данным свойством в течение заданного числа поколений **R** (длины периода восстановления – регенерации). Нагруженный объект может передавать свойство, которым он обладает, любому свободному соседнему объекту с заданной вероятностью P;

3) в состоянии восстановления после нагрузки (имеет иммунитет). В это состояние объект переходит сразу по истечении периода нагрузки и не может вновь получить нагрузку в течение R поколений. По истечении периода восстановления объект переходит в свободное состояние и может вновь приобретать от любого из соседних нагруженных объектов рассматриваемое свойство с заданной вероятностью P.

Подобного рода процессы достаточно широко распространены в самых различных областях. Например, такая картина наблюдается при распространении инфекции. Распределение инфекции в следующем поколении определяется правилами, которые применяются одновременно ко всем клеткам.

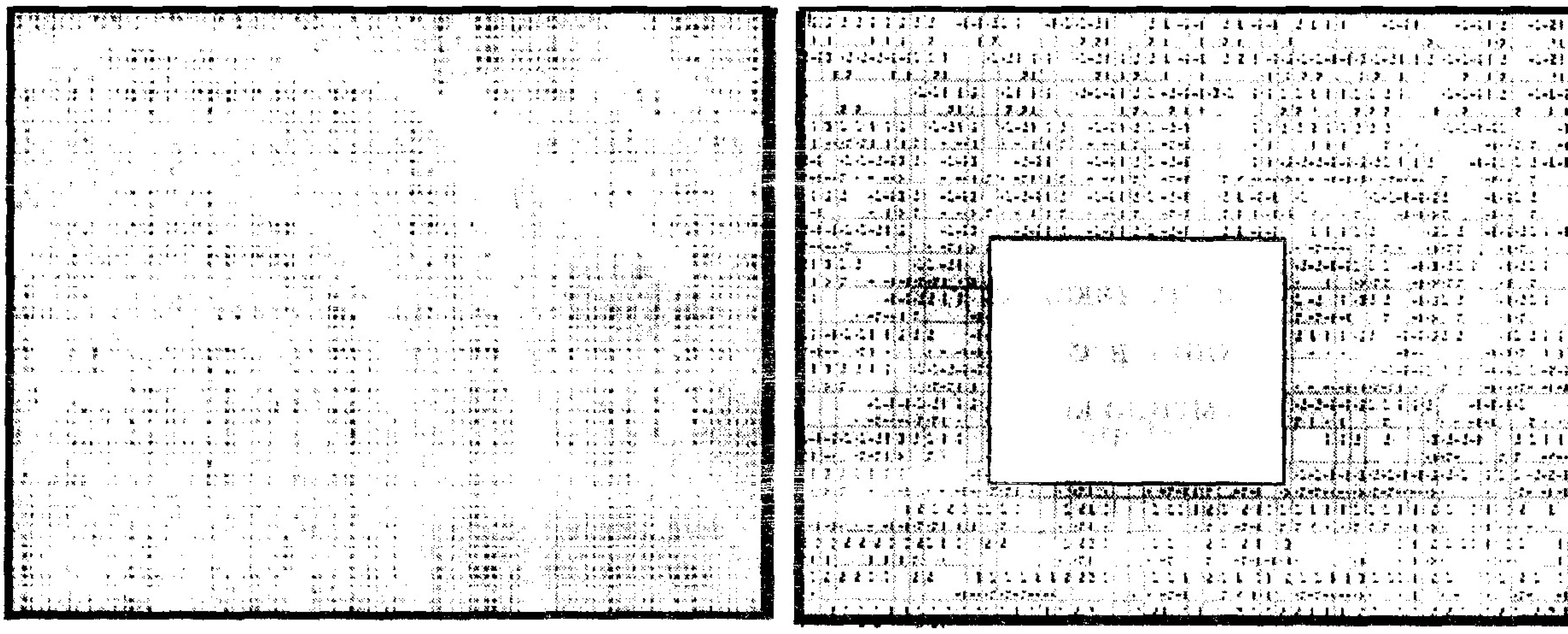
Параметрами управления модели являются: форма решетки (прямоугольник, тор, сфера) и число клеток, первоначальные значения инфицированных клеток, длина периода нагрузки D, длина периода восстановления (иммунитета) R, вероятность заражения свободной клетки P. Начальное состояние пользователь может задать непосредственно, или ввести из заранее подготовленного файла, или сгенерировать случайным образом. В любой момент пользователь может остановить смену поколений и сохранить текущее состояние в файле для последующего использования в качестве начального состояния или для проведения какого-либо дополнительного анализа.

При исследовании динамики поведения модели на компьютере были обнаружены интересные явления. Наиболее интересным является появление своеобразных «волн», состоящих из совокупностей зараженных клеток и клеток, имеющих иммунитет. Эти волны перемещаются по «пустыне» среди здоровых клеток, а их вид и поведение определяются соотношениями между параметрами управления. Поразительно то, что даже если сгенерировать начальное состояние «пустыни» случайным образом, через некоторое время начинают появляться волны, и из первоначального хаоса проявляются самоорганизованные структуры. Особый интерес вызывает при этом появление устойчивых источников волн. Установлены также некоторые закономерности в периодичности поведения волн в зависимости от соотношений между параметрами управления. Так, установлено, что при малом числе очагов «заражения» распространение инфекции идет волнами, причем, через несколько поколений число очагов заражения увеличивается, что приводит к столкновению волн и уменьшению количества зараженных клеток. Если число очагов заражения очень большое, то сначала почти вся «пустыня» становится инфицированной, затем почти все клетки приобретают иммунитет, а через несколько поколений все повторяется заново. При $D \ll R$ инфекция распространяется очень быстро, а затем совсем исчезает. При $D \gg R$ шансов на выздоровление всей «пустыни» практически нет.

Столкнувшись с «островом», волна поглощается и огибает его границы. При совпадении параметров «острова» и координат очага заражения распространение инфекции постепенно уменьшается, т.е. «остров» является преградой для дальнейшего появления волн, а на его углах появляются вихри.

Волновые явления, выявленные при исследовании построенной модели, нередко встречаются в реальной жизни, когда эпидемия болезни идет «полосами».

Модель может быть использована при исследовании разнообразных процессов в физике, химии, биологии, экологии, экономике, технике и других областях.



Р и с . Эффект «волны» при нескольких очагах заражения без «острова» и с «островом»

ЛИТЕРАТУРА

1. Басин, М.А. Детерминированные структуры с конечным числом состояний. Возможность компьютерной реализации / М.А. Басин // www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5158.html.

2. Басин, М.А. Волны. Кванты. События. Волновая теория взаимодействия структур и систем. Ч. 1 / М.А. Басин. СПб.: Норма, 2000. 168 с.

3. Басин, М.А. Компьютеры. Вихри. Резонансы. Волновая теория взаимодействия структур и систем. Ч. 2 / М.А. Басин. СПб.: Норма, 2002. 144 с.

4. Наумов, Л.А. Клеточные автоматы – реализация и эксперименты – www.osp.ru/pcworld/2003/08/064_print.htm / Л.А. Наумов, А.А. Шалыто // Корпоративный сервер изд-во "Открытые системы", 2003.

5. Фон Нейман, Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов / Дж. Фон Нейман. М.: Мир, 1971.

6. Малинецкий, Г.Г. Современные проблемы нелинейной динамики / Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 336 с.

7. Шалыто, А. Оттьюрингова программирования к автоматному / А. Шалыто, Н. Туккель // Мир ПК. 2002. № 2.

STOCHASTIC CELLULAR AUTOMATA WITH GENETICAL IMMUNODEFENCE

D.N. Pak, T.V. Golovaneva

Belgorod State University

Cellular automata (CA) which are both formal abstractions of physical systems and computational systems. CA can support basic operations of information processing in the vicinity of phase transition between highly ordered and disordered states. For simulation of exposures on CA with genetical immunodefence in the given activity the stochastic state transition of cages is esteemed. Established, that under certain conditions space vehicle passes in steady conditions. The analysis of exogenous interplays has large value at construction of models in a synergetics.