КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ

Воривода М.А., Григорьева О.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель – Шамына А.Ю. – старший преподаватель каф. ПОИТ

Клеточные автоматы, Игра «Жизнь», Моделирование диффузии, Правило 30, Код Вольфрама, Окрестность Мура, Окрестность фон Неймана.

Наиболее частое определение клеточного автомата звучит так: Клеточный автомат – это дискретная динамическая система. Дискретность клеточного автомата проявляется в том, что его поведение полностью зависит от поведения отдельных его частей – клеток, которые в свою очередь также являются автоматами. Динамичность системы напрямую следует из этого факта, так как автомат есть набор возможных состояний и правила, по которым эти состояния сменяют друг друга с течением времени.

Следующее состояние клетки обычно определяется состоянием окрестных клеток. Причём окрестность, как и правила могут варьироваться. Наиболее часто используемые окрестности это: окрестность Мура на рисунке 1 слева и окрестность фон Неймана на рисунке 1 справа. Хотя это и наиболее известные окрестности, они могут быть совершенно произвольны.

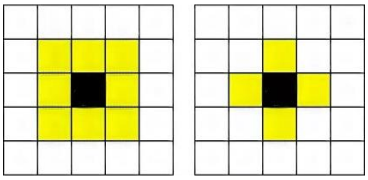

Рисунок 1 – окрестность Мура (слева) и окрестность фон Неймана (справа)

Хрестоматийный пример для демонстрации клеточного автомата – игра «Жизнь» [1]. Она представляет собой двумерный клеточный автомат. Следующее состояние клетки вычисляется исходя из состояний клеток в окрестности Мура первого ранга, то есть не дальше одной клетки. Возможно два состояния клетки: живая/мертвая. Правила: живая клетка с меньше чем двумя живыми соседями умирает, с двумя или тремя живыми соседями остаётся жить, с больше чем тремя живыми соседями также умирает, мертвая клетка с тремя живыми соседями оживает. Такой клеточный автомат в зависимости от начального состояния может генерировать устойчивые структуры, причём не только остающиеся неизменяемыми во времени, но и имеющие периодичную природу, такие как «Глайдер» и, даже, устойчивые периодичные структуры способные воспроизводить другие устойчивые периодичные структуры, такие как «Глайдерная пушка. На рисунке 2 проиллюстрирован жизненный цикл «Глайдера», хотя, конечно же, с наилучшей стороны клеточные автоматы проявляют себя в динамике. Игра «Жизнь» была представлена Джоном Конвеем в 1970 году и потому была досконально изучена. Кажется, что в ней найдены и классифицированы все структуры, представляющие какой-либо интерес, однако стоит лишь внести небольшие изменения в характеристики автомата, например, заменить окрестность и можно получить новые, неизученные структуры.

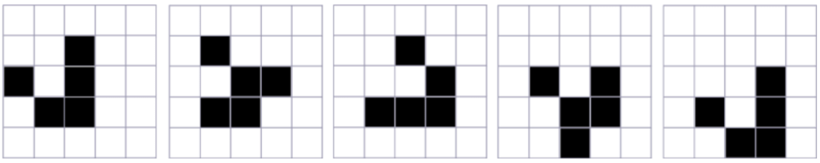

Рисунок 2 – Глайдер

С правилами игры «Жизнь» можно провести аналогии: правило первое говорит о том, что если возле живой клетки находится слишком мало соседей, то она умирает от «одиночества», третье правило говорит о том, что если возле живой клетки находится слишком много живых соседей, то она умирает от «перенаселения» и только если живых соседей не много и не мало, то клетка остаётся жить. Отсюда несложно понять, что подобное поведение в масштабе системы моделирует популяцию, которая в зависимости от количества живых особей сокращается либо по причине недостаточной рождаемости, либо по причине нехватки ресурсов, а иногда в популяции, как и в игре «Жизнь», может и вовсе не остаться живых особей. И это всего лишь один вид двумерного автомата. Помимо этого, существуют также одномерные, трёхмерные и, теоретически, сколь угодно мерные автоматы. В данной, невероятно простой для понимания и компьютерной реализации, математической модели заключено огромное множество потенциально полезных для других наук закономерностей. Вот лишь малая часть списка того, где клеточные автоматы оказываются полезными: моделирование диффузии, вязкости, теплопроводности твёрдых тел; моделирование химических реакций; моделирование процессов в различных социальных группах; моделирование эволюции от живых существ до астрономических объектов. И, наконец, то, насколько много аналогий во всех уровнях реальности имеет такая, казалось бы, простая, с точки зрения описания, система, ставит интересные философские вопросы. В связи со всем этим каждый год публикуется множество исследований [2], связанных с клеточными автоматами.

Выше был упомянут такой вид клеточных автоматов как одномерный. Если такой КА имеет только два состояния, то он называется элементарным. Далее будет рассматриваться именно этот вид клеточных автоматов. Состоит он из бесконечного одномерного массива, а следующее состояние клетки определяется состоянием текущей и соседями справа и слева. Получается, что такой КА имеет $2^3 = 8$ возможных комбинаций для принятия решения. Стивен Вольфрам предложил задавать логику изменения состояния числом, так называемым правилом. Так как для каждой комбинации нужно указать одно из двух следующих состояний, то всего правил может $2^8 = 256$. Правило работает по следующей схеме: к примеру, указанное правило – 19_{10}, записав это число в двоичном виде можно получить код Вольфрама – 00010011_2. Из полученного кода можно составить таблицу смены состояний центральной клетки.

Таблица 1 – следующие состояния центральной клетки для правила 19

Комбинация	111	110	101	100	011	010	001	000
Следующее состояние	0	0	0	1	0	0	1	1

Так как правил всего 256, то каждое из них было изучено. Вольфрам предложил разделить клеточные автоматы на четыре класса [3]. Первый класс быстро приходит к состоянию из одних только нулей или единиц, примеры: 0, 32, 160, 232. Второй класс быстро приходит к набору стабильных или периодических во времени структур, примеры: 4, 108, 218, 250. Третий класс остаётся в случайном состоянии, примеры: 22, 30, 126, 150. Четвёртый класс зависит от начальных условий и обычно образует состояния со стабильными областями, взаимодействующими друг с другом сложными способами. Третий класс клеточных автоматов можно использовать для решения одной из основных проблем в шифровании: генерации псевдослучайных чисел.

Правило 30, которое относится к третьему класс, легло в основу генератора псевдослучайных чисел в пакете Mathematica за авторством Стивена Вольфрама. Данное правило, при достаточно большом количестве прошедших поколений, способно генерировать различное состояние даже если начальное условие отличалось на один бит. На рисунке 3 представлен результат работы программы после 50-ти итераций клеточного автомата, основанного на правиле 30. Не смотря на очевидную закономерность в левой части изображения и периодически появляющиеся пустоты в виде треугольников, в целом конечный результат представляет собой иррегулярную структуру. После выбранного количества итераций можно извлекать конечное состояние автомата и в сжатом виде предоставлять в качестве результата работы генератора случайных чисел.

Рисунок 3 – Результат работы правила 30 после 50-ти итераций

Клеточные автоматы по сей день остаются перспективным и востребованным направлением научных исследований. Изучение даже одной конфигурации клеточного автомата может занять не один десяток страниц, поэтому данная математическая модель может скрывать ещё много полезных для науки вещей на ряду с уже нашедшими себя в упомянутых областях.

Список использованных источников:

1. A community for Conway's Game of Life and related cellular automata / Nathaniel Johnston, Chris Rowett // www.conwaylife.com.

2. Academic Insights and Perspectives: Cellular Automata and Production Scheduling / Yong Chen, Feiyang Yu, Ziwen Cheng, Qiuxia Jin, Zhi Pei, Wenchao Yi // College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, China.

3. Statistical mechanics of cellular automata / Stephen Wolfram // The Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey