

Рассмотрим возможности имитационного моделирования с помощью клеточных автоматов.

ТЕОРИЯ

1. Что такое клеточный автомат?

Клеточный автомат – это множество ячеек, которые могут быть в разных состояниях, число которых оговорено (оно обязательно конечно, зачастую равно двум), и у каждой ячейки есть некоторое множество соседей (соседних клеток). Множество соседних клеток данной клетки называется *окрестностью* клетки. Переход клетки из одного состояния в другое диктуется окрестностью клетки.

Ячейки клеточного автомата и их окрестности могут быть интерпретированы геометрически. Таким образом, возникают одномерные, двумерные, и многомерные клеточные автоматы. Так, в одномерном клеточном автомате, который представляет собой ленту ячеек, у каждой ячейки два соседа. Если брать клеточный автомат, ячейки которого являются квадратными клетками на плоскости, то у каждой клетки может быть 4, 8, либо более соседей. Сетка на плоскости может быть не квадратной, а, например, шестиугольной. В таком случае у каждой клетки может быть шесть соседей.

Чтобы пояснить, как работают правила перехода клетки из одного состояния в другое, можно вспомнить игру «Жизнь» Джона Конуэя.

Место действия игры – размеченная на клетки плоскость, которая может быть безграничной, ограниченной или замкнутой.

Каждая клетка на этой поверхности имеет восемь соседей, окружающих её, и может находиться в двух состояниях: быть «живой» (заполненной) или «мёртвой» (пустой).

Распределение живых клеток в начале игры называется первым поколением. Каждое следующее поколение рассчитывается на основе предыдущего по таким правилам:

- в пустой (мёртвой) клетке, с которой соседствуют три живые клетки, зарождается жизнь;
- если у живой клетки есть две или три живые соседки, то эта клетка продолжает жить;
- в противном случае (если живых соседей меньше двух или больше трёх) клетка умирает («от одиночества» или «от перенаселённости»).

Игра прекращается, если:

- на поле не останется ни одной «живой» клетки;
- конфигурация на очередном шаге в точности (без сдвигов и поворотов) повторит себя же на одном из более ранних шагов (складывается периодическая конфигурация);
- при очередном шаге ни одна из клеток не меняет своего состояния (частный случай предыдущего правила, складывается стабильная конфигурация).

Можно привести реализацию игры на VBA.

```

1 Public Sub MakeMap(CellSizeInPixels, MapRows, MapCols)
2     'DefaultCellWidthInPixels = 64
3     'DefaultCellHeightInPixels = 20
4     CellWidth = (CellSizeInPixels - 5) / 7
5     CellHeight = CellSizeInPixels * 3 / 4
6     Range(Cells(2, 2), Cells(MapRows + 1, MapCols + 1)).RowHeight = CellHeight
7     Range(Cells(2, 2), Cells(MapRows + 1, MapCols + 1)).ColumnWidth = CellWidth
8     Range(Cells(2, 2), Cells(MapRows + 1, MapCols + 1)).Interior.Color = xlNone
9     Range(Cells(2, 2), Cells(MapRows + 1, MapCols + 1)).Borders.LineStyle = 1
10    Range(Cells(2, 2), Cells(MapRows + 1, MapCols + 1)).Borders.Weight = 2
11 End Sub
12
13 Public Sub MapInitialize(CellArray)
14     NRows = UBound(CellArray, 1)
15     NCols = UBound(CellArray, 2)
16     For xRow = 0 To NRows
17         For xCol = 0 To NCols
18             R = Rnd
19             If (xRow > 0) And (xRow < NRows) And (xCol > 0)
20                 And (xCol < NCols) And (R < 0.25) Then
21                     CellArray(xRow, xCol) = 1
22             Else
23                 CellArray(xRow, xCol) = 0
24             End If
25         Next xCol
26     Next xRow
27 End Sub
28
29 Public Sub ShowArray(CellArray)
30     NRows = UBound(CellArray, 1)
31     NCols = UBound(CellArray, 2)
32     For xRow = 1 To NRows - 1
33         For xCol = 1 To NCols - 1
34             If CellArray(xRow, xCol) = 1 Then
35                 Cells(xRow + 1, xCol + 1).Interior.Color = vbRed
36             Else
37                 Cells(xRow + 1, xCol + 1).Interior.Color = xlNone
38             End If
39         Next xCol
40     Next xRow
41 End Sub
42
43 Public Sub CellArrayRefresh(CellArray)
44     NRows = UBound(CellArray, 1)
45     NCols = UBound(CellArray, 2)

```

```

46 Dim NewCellArray() As Integer
47 ReDim NewCellArray(0 To NRows, 0 To NCols)
48 For xRow = 0 To NRows
49     For xCol = 0 To NCols
50         NewCellArray(xRow, xCol) = CellArray(xRow, xCol)
51     Next xCol
52 Next xRow
53 For xRow = 1 To NRows - 1
54     For xCol = 1 To NCols - 1
55         Neighbours = 0
56         For i = xRow - 1 To xRow + 1
57             For j = xCol - 1 To xCol + 1
58                 If ((i <> xRow) Or (j <> xCol)) And
59                     (NewCellArray(i, j) = 1) Then
60                     Neighbours = Neighbours + 1
61                 End If
62             Next j
63         Next i
64         If NewCellArray(xRow, xCol) = 1 Then
65             Select Case Neighbours
66                 Case 0, 1, 4 To 8
67                     CellArray(xRow, xCol) = 0
68             End Select
69         ElseIf NewCellArray(xRow, xCol) = 0 Then
70             Select Case Neighbours
71                 Case 3
72                     CellArray(xRow, xCol) = 1
73             End Select
74         Else
75             CellArray(xRow, xCol) = 0
76         End If
77     Next xCol
78 Next xRow
79 End Sub
80
81 Public Sub Main()
82     Const GrossRows = 10
83     Const GrossCols = 10
84     MapSize = 12
85     Rounds = 50
86     Dim CellArray(0 To GrossRows + 1, 0 To GrossCols + 1) As Integer
87     Call MakeMap(MapSize, GrossRows, GrossCols)
88     Call MapInitialize(CellArray)
89     Call ShowArray(CellArray)
90     For n = 1 To Rounds
91         'Application.Wait TimeSerial(Hour(Now()), Minute(Now()), Second(Now()) + 1)
92         Call CellArrayRefresh(CellArray)
93         Call ShowArray(CellArray)
94         Cells(1, 1) = "Round " + CStr(n)
95     Next n
96 End Sub

```

2. Есть ли специализированное ПО для работы с клеточными автоматами?

В качестве примера можно привести Golly: <https://golly.sourceforge.io/>

Имеются python-библиотеки по работе с клеточными автоматами, как,

например, `cellular_automaton`, `cellpylib`, `cellular_automata`.

Работа с клеточными автоматами реализована в Wolfram Mathematica.

3. Какие процессы можно имитировать клеточными автоматами?

- 3.1. Движение агентов внутри некоторой заданной области. Эта модель может использоваться для исследования движения толпы в замкнутом пространстве, движения толпы при аварийной ситуации (например, пожаре или теракте), возникшей в замкнутом пространстве. Кроме того, так можно моделировать распространение животных по ареалу обитания, либо миграцию населения, которое ищет лучшие места для проживания.
- 3.2. Моделирование распространения жидкостей и газов по заданной области. Это важно при изучении распространения ядовитых веществ в городской среде или в помещении, или распространения эпидемий. Можно моделировать процессы диффузии веществ. К этому же относится распространение слухов, мнений и влияний (как при очном общении, так и в социальных сетях), процесс роста биологических тканей, геологические процессы.
- 3.3. Клеточные автоматы исконно применялись для решения задач разрешимости тех или иных алгоритмов. С помощью клеточного автомата можно имитировать работу электронно-вычислительных машин.
- 3.4. В 1969 году немецкий инженер Конрад Цузе опубликовал книгу «Вычислимый космос», где выдвинул предположение, что физические законы дискретны по своей природе, и что вся Вселенная является гигантским клеточным автоматом. Это была первая книга из области, называемой сейчас цифровой физикой.
- 3.5. В 1983 Стивен Вольфрам опубликовал первую из серии статей, исследующих элементарные клеточные автоматы. Неожиданная сложность поведения этих простых одномерных автоматов привела Вольфрама к предположению, что сложность естественных систем обусловлена сходным механизмом. Кроме того, в течение этого периода Вольфрам формулирует концепцию истинной случайности и вычислительной неприводимости, и выдвигает предположение, что автомат с «правилом 110» может быть универсальным (полным по Тьюрингу). Это доказал в 1990 году его ассистент Мэтью Кук. В 2002 году Вольфрам публикует 1280-страничный текст «Наука нового типа» (A New Kind of Science), где широко аргументирует, что достижения в области клеточных автоматов не являются изолированными, но весьма устойчивы и имеют большое значение для всех областей науки.
- 3.6. Правила преобразования клеточных автоматов можно использовать как шифр в криптографии. Клеточные автоматы предложены для использования в криптосистемах с открытым ключом. В этом случае односторонняя функция является результатом эволюции конечного клеточного автомата, первоначальное состояние которого сложно найти. По заданному правилу легко найти результат эволюции клеточ-

ного автомата, но очень сложно вычислить его предыдущие состояния. Важный вопрос – об обратимости клеточного автомата. Обратимый клеточный автомат – клеточный автомат, в котором каждое состояние имеет единственного предшественника.

- 3.7. Двумерные клеточные автоматы используются для генерации случайных чисел.
- 3.8. Есть довольно специфические клеточные автоматы. Например, имеются «Черви Патисона», «Тьюрмиты», «Муравей Лэнгтона». Так, муравей движется согласно следующим правилам (клетка разграфлена на чёрные и белые квадраты): на чёрном квадрате повернуть на 90 градусов влево, изменить цвет квадрата на белый, сделать шаг вперед на следующую клетку; на белом квадрате повернуть на 90 градусов вправо, изменить цвет квадрата на чёрный, сделать шаг вперед на следующую клетку.э
- 3.9. С помощью клеточных автоматов моделируются нейронные сети.

ПРАКТИКА

Напрашивается несколько возможных путей практики: (1) запрограммировать на любом доступном языке клеточный автомат; (2) разобраться в том, как запрограммировать клеточный автомат в программе Golly и сделать доклад на эту тему; (3) найти новую область примерения клеточного автомата в имитационном моделировании и сделать доклад на эту тему (с примерами разработки).