

Оптимизации поиска приближенных решений в эволюционирующих клеточных автоматах

Бакалаврская работа
студента 451 группы А. А. Григорьева

Саратовский государственный университет
им. Н. Г. Чернышевского

Кафедра математической кибернетики
и компьютерных наук

Научный руководитель: доцент Семенов М. С.

2020г.

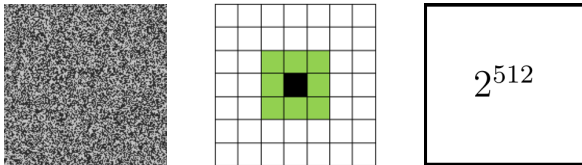


Рис.: Элементы двумерного клеточного автомата первого порядка с возможными состояниями ячеек 0 и 1.

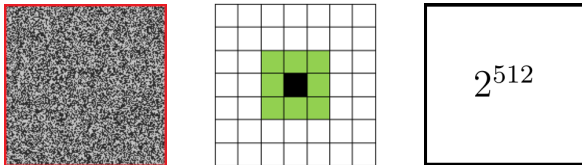


Рис.: Элементы двумерного клеточного автомата первого порядка с возможными состояниями ячеек 0 и 1.

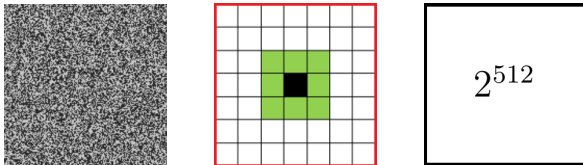


Рис.: Элементы двумерного клеточного автомата первого порядка с возможными состояниями ячеек 0 и 1.

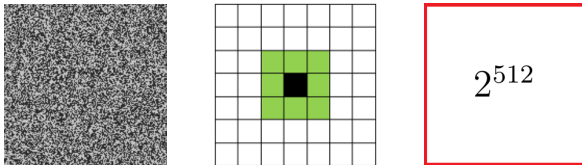


Рис.: Элементы двумерного клеточного автомата первого порядка с возможными состояниями ячеек 0 и 1.

- 1 создание и оптимизация приложения для моделирования и визуализации клеточных автоматов.
- 2 написание конфигурируемого генетического алгоритма для поиска автоматов, воспроизводящих целевое изображение.
- 3 сбор данных и их анализ для определения лучших параметров модели.

Цель эксперимента — стабильное воспроизведение
клеточными автоматами целевого изображения
(паттерна).

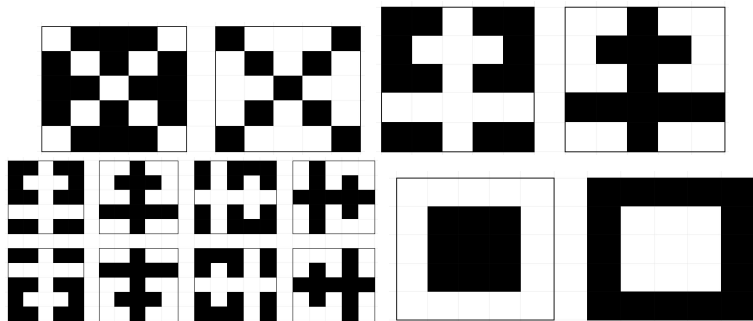


Рис.: Примеры паттернов.

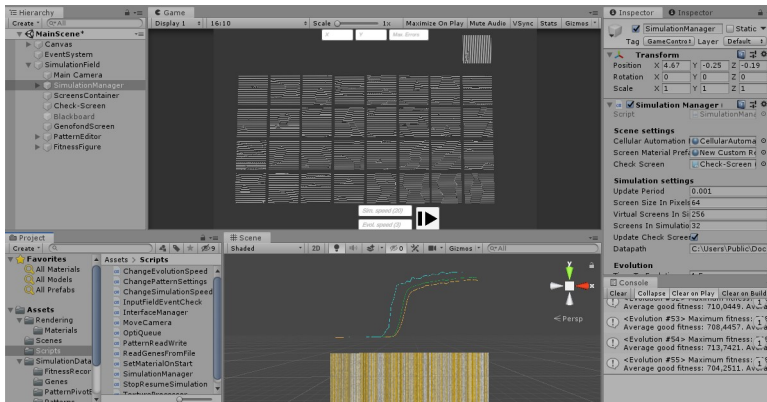


Рис.: Снимок экрана внутри среды разработки Unity.

Создана программа для обновления множества клеточных автоматов с визуализацией на шейдерах.

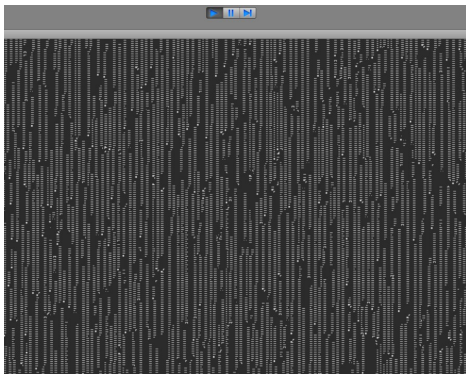


Рис.: Визуализация клеточного автомата.

Для «обучения» клеточных автоматов воспроизводить паттерн, использовался генетический алгоритм.

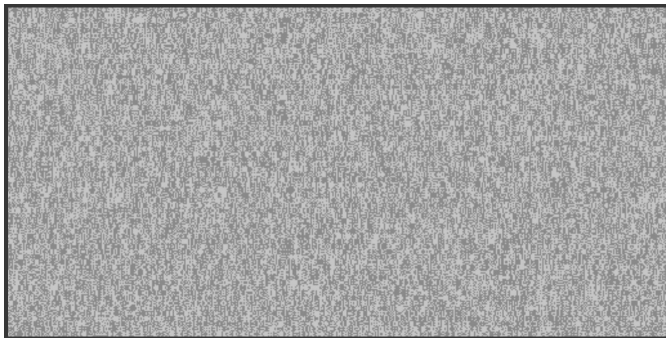


Рис.: Генофонд популяции клеточных автоматов в начале эксперимента. По оси X — биты генов от 0 до 512, по оси Y — клеточные автоматы в популяции (256)

Для «обучения» клеточных автоматов воспроизводить паттерн, использовался генетический алгоритм.

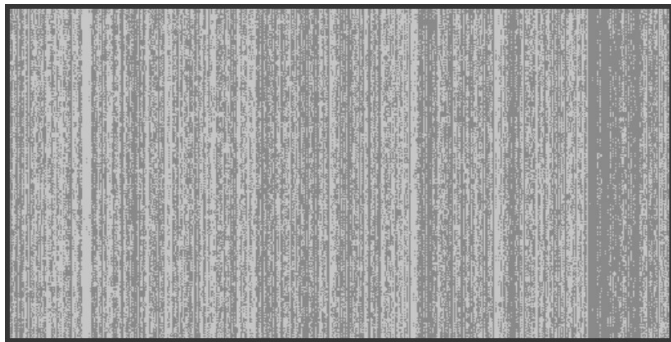


Рис.: Генофонд популяции клеточных автоматов в конце эксперимента. По оси X — биты генов от 0 до 512, по оси Y — клеточные автоматы в популяции (256)

Начиная каждую итерацию в случайном состоянии, клеточный автомат способен воспроизводить заданные паттерны.

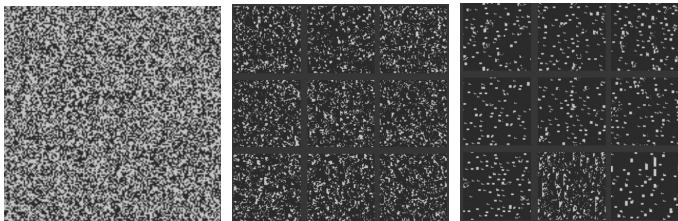


Рис.: Клеточный автомат на первой, десятой и сотой итерации.

Создана гибкая программа для конфигурации параметров эксперимента.

The image shows a configuration window with the following sections and parameters:

- Simulation settings**
 - Update Period: 0.001
 - Screen Size In Pixels: 64
 - Virtual Screens In Simulation: 256
 - Screens In Simulation: 32
 - Update Check Screen: ☒
 - Datapath: C:\Users\Public\Documents\Unity Projects\CellularAutomati
- Evolution**
 - Time To Evolution: 1.5
 - Mutation Percent: 25
 - Mutate Bits Up To: 4
 - Pattern File: PtnElka551
 - Pivot Bit Fitness Threshold: 15
 - Write To Global Pivot Bits: ☒
 - Genofond Screen: GenofondScreen (Mesh Renderer)
 - Patterns:
 - Fitness Screen: FitnessFigure (Transform)
- Performance-based fields**
 - Fitness Calculations Needed: 25
 - Fitness Calc Screens Per Frame: 128
- Multisimulation settings**
 - Ms Fitness Threshold: 25
 - Ms Calculations After Threshold: 100
 - Evolution Step Limit: 1000
 - Cross Separation: ☐

Рис.: Возможность настраивать количество автоматов, процент и количество мутаций, желаемое значение приспособленности особей, количество итераций, на которых происходит подсчет приспособленности, время до этапа эволюции и другое.

Особое внимание уделялось оптимизации алгоритмов.

Total	Self	Calls	GC Alloc	Time ms	Self ms	Self	Calls	GC Alloc	Time ms	Self ms
99.1%	0.0%	2	16.2 MB	4543.61	0.06	0.0%	2	22.0 KB	164.77	0.05
99.0%	0.0%	1	16.2 MB	4536.29	0.00	0.0%	1	22.0 KB	162.96	0.00
99.0%	0.0%	1	16.2 MB	4536.29	0.01	0.0%	1	22.0 KB	162.96	0.01
99.0%	0.0%	1	16.2 MB	4536.23	0.00	0.0%	1	22.0 KB	162.82	0.00
99.0%	0.0%	1	16.2 MB	4536.23	0.06	0.0%	1	22.0 KB	162.82	0.05
99.0%	0.0%	1	16.2 MB	4535.46	0.86	0.0%	1	22.0 KB	140.82	0.04
90.9%	0.0%	1	110.0 KB	4163.74	0.17	81.3%	256	22.0 KB	140.75	140.72
90.8%	0.0%	256	110.0 KB	4162.75	0.30	0.0%	256	0 B	0.01	0.01
90.8%	0.0%	256	110.0 KB	4159.79	0.55	0.0%	256	0 B	0.01	0.01
90.7%	16.1%	256	110.0 KB	4158.49	737.58	0.0%	256	0 B	20.76	20.76
37.4%	11.6%	4194304	0 B	1716.87	535.87	0.3%	1	0 B	1.13	0.58
14.1%	8.5%	4227072	0 B	648.66	391.01	0.0%	512	0 B	0.02	0.02
14.0%	8.4%	4194304	0 B	645.64	388.23	0.0%	32	0 B	0.01	0.00
4.0%	4.0%	4194304	0 B	187.52	187.52	0.0%	33	0 B	0.00	0.00
0.8%	0.0%	256	100.0 KB	40.60	0.05	0.0%	32	0 B	0.00	0.00
0.2%	0.0%	256	0 B	12.95	0.06	0.0%	2	0 B	0.00	0.00
0.1%	0.0%	33024	0 B	8.91	4.17	0.0%	1	0 B	0.00	0.00
0.0%	0.0%	256	10.0 KB	0.13	0.13					
0.0%	0.0%	256	0 B	0.27	0.27					

Рис.: Снимки из профилировщика для подсчета приспособленности 256 клеточных автоматов на каждом кадре: до и после.

Особое внимание уделялось оптимизации алгоритмов.

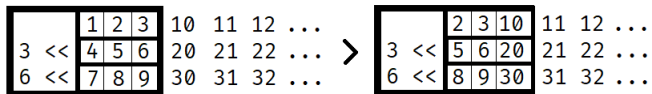


Рис.: Использование побитовых операций для достижения максимальной производительности.

Для каждого эксперимента создается график приспособленности, и сохраняется полная история прироста приспособленности.

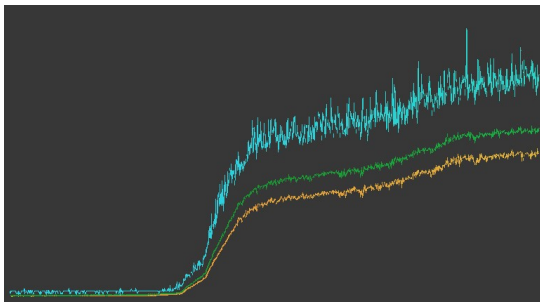


Рис.: График приспособленности.

Программа сохраняет наиболее важные биты правил для поиска закономерностей в правилах для конкретного паттерна.

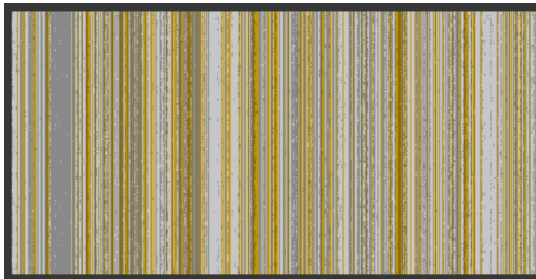


Рис.: «Опорные» биты правил клеточных автоматов выделены оранжевым.

Программа сохраняет наиболее важные биты правил для поиска закономерностей в правилах для конкретного паттерна.

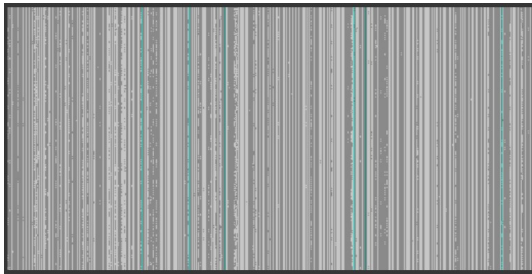


Рис.: Глобальные «Опорные» биты правил клеточных автоматов выделены бирюзовым.

Проведено 1306 экспериментов над 10 паттернами.

Общее время работы: 32 дня и 1 час.

Создана программа на языке Python в среде интерактивных вычислений Jupyter Notebook.

Вход: файлы с данными по проведенным экспериментам.

```
Simulation [9185,813] -- 09.06.2020 10:28:01
ABORT|Simulation aborted for PtnFive755 after 1001 evolutions.
Time spent: 4583,473. Average good fitness: 0.
Virtual screens: 128. Update period: 0,001. Time to evolution: 1,5.
Fitness calculations between evolution: 25.
Fitness threshold: 25. Additional steps after threshold: 100.
Simple cross separation: False.
Mutation percent: 25. Mutate up to 8 bits.
```

```
Simulation [7321,073] -- 09.06.2020 11:30:24
OK|Simulation finished successfully for PtnFive755 after 966 evolutions.
Time spent: 4074,686. Average good fitness: 25,2676.
Virtual screens: 128. Update period: 0,001. Time to evolution: 1,5.
Fitness calculations between evolution: 25.
Fitness threshold: 25. Additional steps after threshold: 100.
Simple cross separation: False.
Mutation percent: 8. Mutate up to 8 bits.
```

Рис.: Блоки с данными составляются по результатам каждого эксперимента.

Выход: статистика по экспериментам в текстовом или графическом представлении.

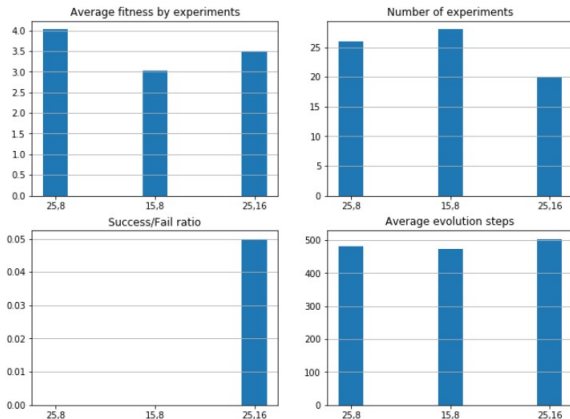


Рис.: Результаты экспериментов для паттерна «треугольник 5×7 » с шестью допустимыми ошибками в целевом изображении.

Получены оптимальные параметры генетического алгоритма. Применимы к большинству паттернов с различной размерностью и формой.

В результате бакалаврской работы:

- 1 создано приложение для моделирования двумерных клеточных автоматов первого порядка и их «обучения» воспроизводить паттерн;
- 2 проведены эксперименты по воспроизведению разных паттернов, используя несколько конфигураций генетического алгоритма;
- 3 определены оптимальные параметры генетического алгоритма.

Исследовать влияние на поиск приближенного решения:

- 1 клеточных автоматов высшего порядка;
- 2 измененных множеств начальных состояний, входных сигналов;

Исследовать влияние на поиск приближенного решения:

- 1 альтернативных правил подсчета приспособленности;
- 2 модификация генетических операторов для особей с высокой и низкой приспособленностью.



Mordvintsev, Alexander and Randazzo, Ettore and Niklasson, Eyvind and Levin, Michael

Growing Neural Cellular Automata

Distill, 2020.



Chavoya, Arturo and Duthen, Yves

Using a genetic algorithm to evolve cellular automata for 2D/3D computational development

Genetic and Evolutionary Computation Conference, 2012.



<https://graphics.stanford.edu/seander/bithacks.html>

Bit Twiddling Hacks



<https://mathworld.wolfram.com/GameofLife.html>

Game of Life

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!