

Моделирование нейронных сетей с помощью клеточных автоматов

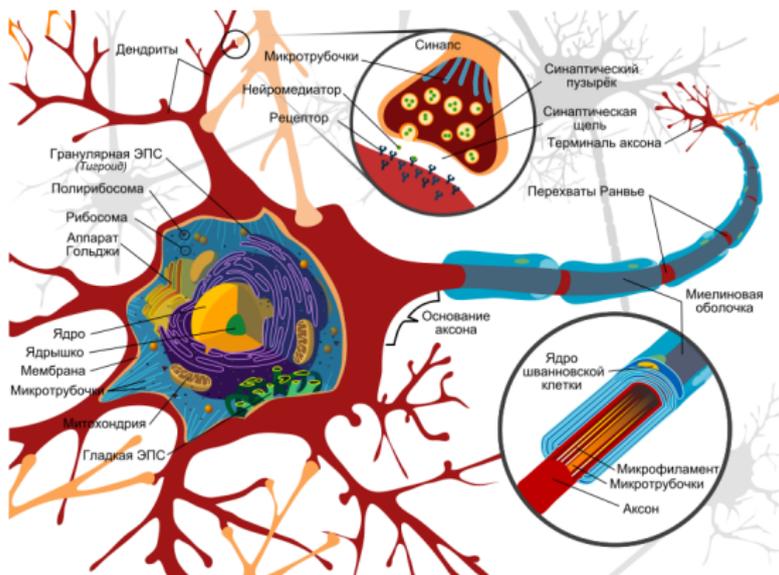
Н.М.Ершов, А.В.Кравчук

Международный университет природы, общества и человека "Дубна"

Дубна, 2012

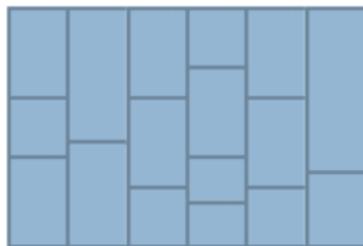
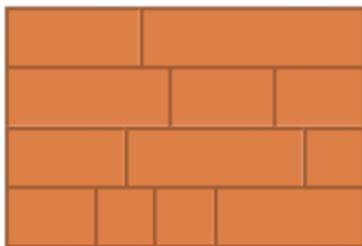
Постановка задачи

В работе ставится задача построения имитационной модели нейронов и нейронных сетей прямого распространения на основе двумерного марковского недетерминированного клеточного автомата.



Двумерный марковский НДКА

- клетки из алфавита A на двумерной сетке;
- подстановки $a_1 a_2 \cdots a_m \xrightarrow{p_i} b_1 b_2 \cdots b_m$ с вероятностями применения p_i ;
- на каждом дискретном шаге эволюции сетка разбивается вертикально или горизонтально (с вероятностью $1/2$) на одномерные строки;



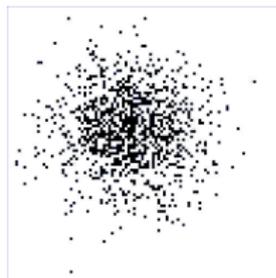
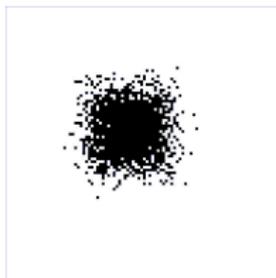
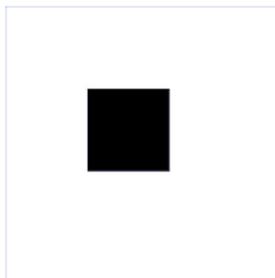
Двумерный марковский НДКА

- для каждой клетки строки с заданной вероятностью ω решается вопрос — присоединяется ли эта клетка к следующей клетке цепочки или нет;
- выбирается подстановка.

Пример

Клеточный автомат диффузии; содержит единственную перемешивающую подстановку

$$x\lambda \xleftrightarrow{\theta} \lambda x.$$



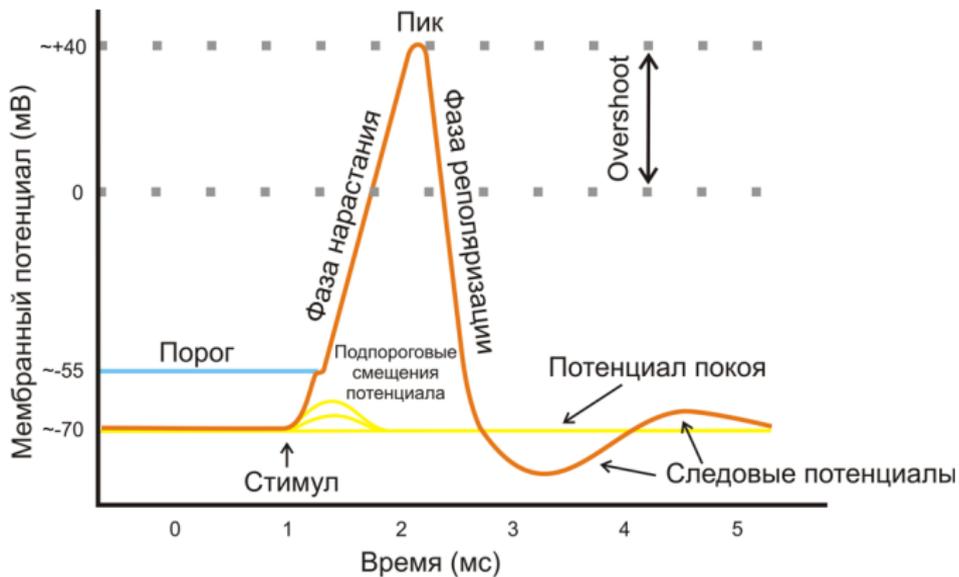
Двумерный марковский НДКА

При наличии перемешивающей подстановки с большой вероятностью концентрация клеток в автомате с n подстановками описывается автономной системой дифференциальных уравнений вида

$$\dot{a} = \sum_{k=1}^n R_k \cdot a_{i_{k,1}} a_{i_{k,2}} \dots a_{i_{k,m_k}},$$

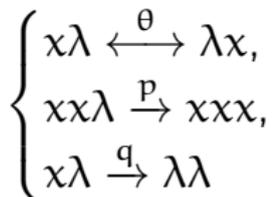
где $a_{i_{k,1}}, a_{i_{k,2}}, \dots, a_{i_{k,m_k}}$ — концентрации клеток из левой части k -ой подстановки, а R_k — коэффициент пропорциональности.

Возбудимая среда

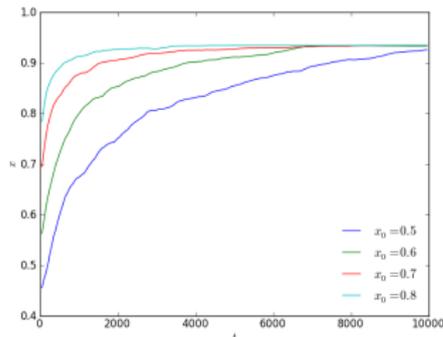
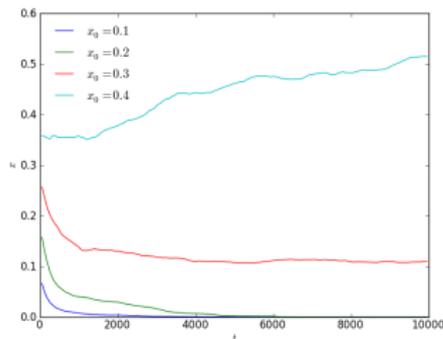
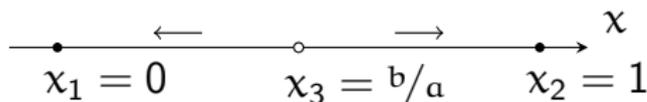


Модель возбудимой среды

НДКА с подстановками

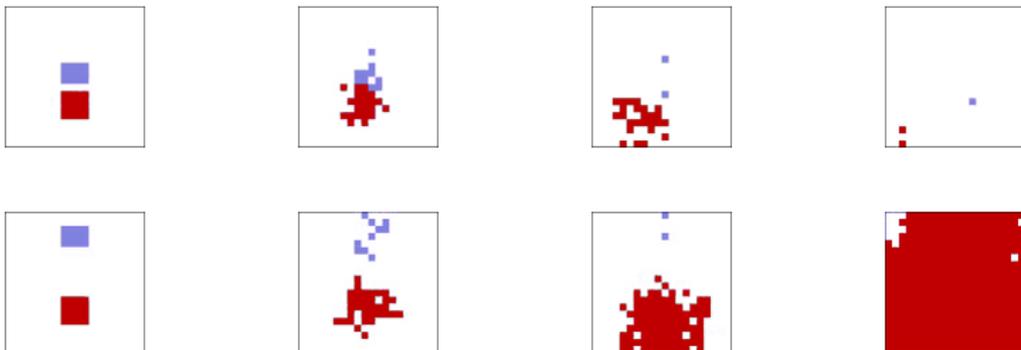
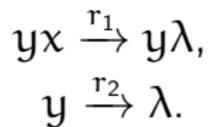


описывается
дифференциальным
уравнением вида
 $\dot{x} = ax^2(1-x) - bx(1-x)$,
имеющим три положения
равновесия:

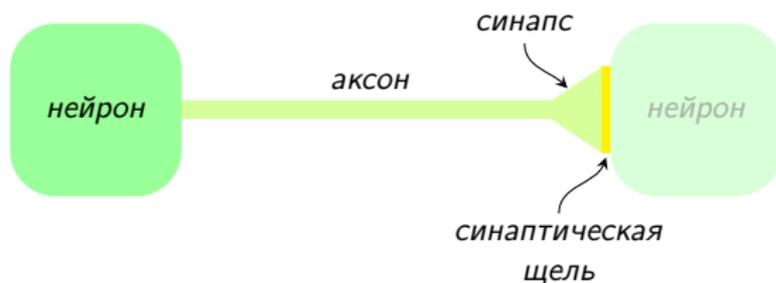


Модель торможения

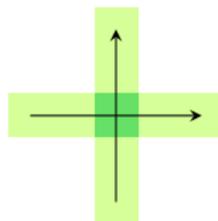
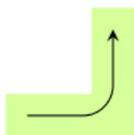
Добавим к системе клетку y — *ингибитор*, и подстановки



Модель нейрона



Распространение сигнала по аксону: $\tilde{x}\alpha \xrightarrow{1} \tilde{x}\tilde{x}$.



Пересечение аксонов: $\tilde{x}\varsigma\alpha \xrightarrow{1} \tilde{x}\varsigma\tilde{x}$.

Работа модели

Работа модели

Результаты моделирования

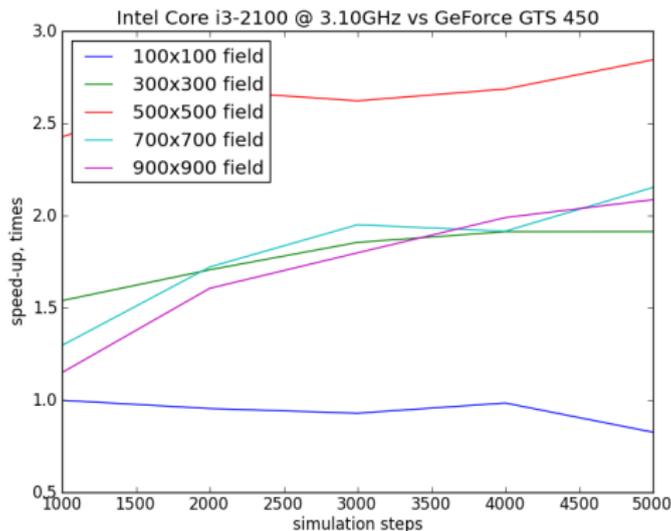
| x_1 | x_2 | C_{or} | C_{and} | C_{xor} |
|-------|-------|----------|-----------|-----------|
| 0 | 1 | 100% | 96% | 100% |
| 1 | 0 | 100% | 94% | 100% |
| 1 | 1 | 100% | 44% | 95% |

Процент правильных ответов нейронных сетей, реализующих логические функции

Реализация

Была построена программная реализация марковских НДКА с использованием технологии NVIDIA CUDA.

Наибольшее ускорение параллельной реализации (2.5 раза) достигнуто на размере автомата 500×500 клеток.



- рассмотрена и проанализирована модель возбудимой среды на основе бистабильного марковского НДКА, показано влияние пространственной организации и процессов торможения на процесс возбуждения;
- описана модель искусственного нейрона на основе марковского НДКА;
- рассмотрены и численно исследованы нейронные сети прямого распространения на основе построенной модели нейрона;
- построена параллельная реализация описанных моделей.

- 1 Principles of computational modelling in neuroscience / D. Sterratt, B. Graham, A. Gillies, D. Willshaw. — Cambridge University Press, 2011.
- 2 *Wolfram, S. A new kind of science / S. Wolfram. — Wolfram Media, 2002.*
- 3 *Н.М. Ершов. Имитационное моделирование с помощью Марковских систем / Н.М. Ершов // Тихоновские чтения: Научная конференция / МГУ им. М.В. Ломоносова. — М.: МАКС Пресс, 2011. — С. 35.*
- 4 *Wiener, N. The mathematical formulation of the problem of conduction of impulses in a network of connected excitable elements, specifically in cardiac muscle / N. Wiener, A. Rosenblueth // Arch. Inst. Cardiol. México. — 1946. — Т. 16, № 205.*

Спасибо за внимание!