

# Агентно-ориентированные (agent-based) модели

Проф., д.п.н. Ахременко А.С.,  
НИУ ВШЭ

# Локальные модели

Локальные модели основаны на «восходящей» (“bottom – up”, microfoundation) логике. Предполагается, что глобальное поведение системы «вырастает» из взаимодействий на микроуровне – взаимодействий отдельных агентов (акторов).

Модели задают систему правил только для микроуровня – локального взаимодействия агентов. Состояние глобальных переменных не определяется заранее каким-либо законом поведения, а измеряется посредством агрегирования состояний элементов микроуровня.

# Локальные модели

- Ключевая проблема локального моделирования:  
**как изменение правил локального взаимодействия влияет на глобальное состояние системы?** Агентно-ориентированное моделирование занимается эмерджентными свойствами моделируемых процессов – то есть теми, которые не свойственны каждому отдельному элементу системы (в данном случае – агенту), но свойственны всей системе в целом (*Axelrod R. The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*).

# Предыстория агентно-ориентированного моделирования: клеточные автоматы

*Клеточные автоматы* (cellular automata, CA) - сети из элементов, меняющих свое состояние в дискретные моменты времени. Состояние автомата в момент времени  $t$  определяется состоянием его соседей в момент времени  $t-1$ , в некоторых случаях (модели с памятью) – также его собственным состоянием в момент времени  $t-1$ .

# Пространство клеточных автоматов

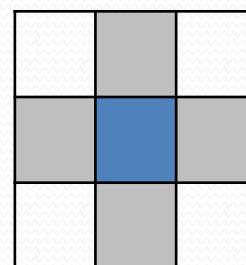
Автоматы функционируют в некотором пространстве, чаще всего представляющем собой клеточное поле.

Пространство может быть конечным или бесконечным.

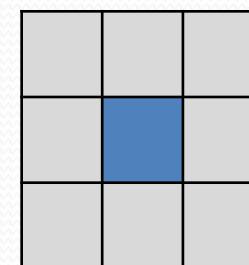
Пространства различаются топологией : плоскость, тор и т.д.

Пространства различаются типом окрестности автомата, определяющим число соседей, с которыми автомат взаимодействует .  
Например, окрестность фон Неймана (A) и окрестность Мура (B).

A)



B)



# Параметры системы клеточных автоматов

- **Число состояний автомата** (конечное и, как правило, ограниченное).

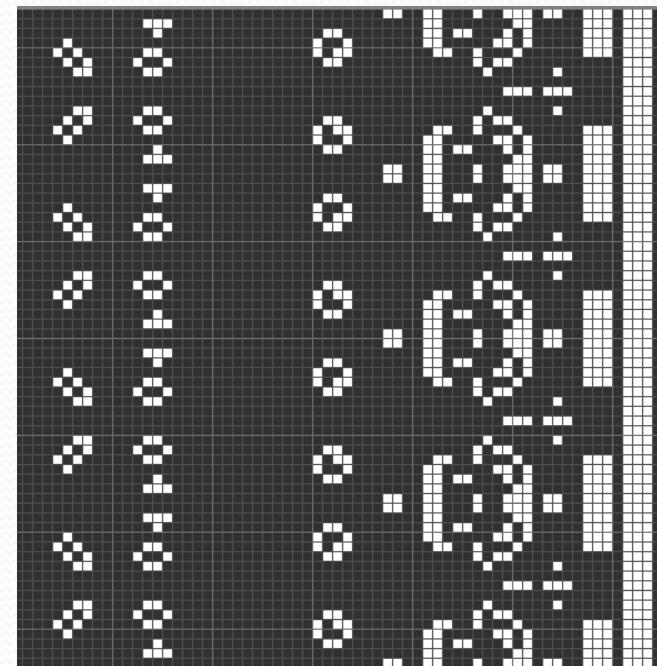
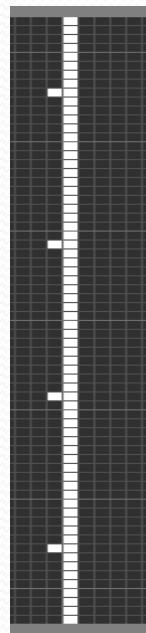
Пример игры Дж.Конвея «Жизнь»: два состояния («живая» – 1, «мертвая» – 0)

- **Правила поведения автомата** – зависимость состояния автомата в момент времени  $t$  от состояния соседей (возможно, и его собственного) в момент времени  $t-1$ .

Пример игры Дж.Конвея «Жизнь»: 1) если «живая» клетка на такте  $t-1$  имеет  $<2$  или  $>3$  соседей (окрестность Мура), то на такте  $t$  она «умирает». 2) Если на такте  $t-1$  у «мертвой» клетки ровно 3 соседа, на такте  $t$  она становится «живой».

- Несмотря на простоту правил поведения и очень ограниченное число состояний автомата, даже «примитивные» СА-модели демонстрируют очень сложное поведение, которое часто невозможно предсказать заранее.

Пример игры «Жизнь» - начальное состояние и один из тактов



# Модель Civil Violence Д.Эпстайна: типы агентов

Модель включает в себя два типа агентов - **граждане и полицейские**.

«Граждане» – рядовые представители населения, которые могут быть либо «активными бунтовщиками» (A), либо простыми гражданами. «Полицейские» (C) - силы центральной власти, их цель заключается в том, чтобы обнаруживать и арестовывать активных бунтовщиков.

# Модель Civil Violence Д.Эпстайна: спецификация граждан

Атрибуты граждан:

1. **Политическое недовольство** ( $G$  – от «Grievance»), состоящее из двух компонент:
  - 1а. **«Трудности»** ( $H$  – от «hardships») - лишения, которые терпит гражданин, имеющие физическую и/или экономическую природу. Граждане гетерогенны по этому параметру, и индивидуальное значение  $H$  для каждого гражданина определяется случайно на интервале (0,1) по равномерному закону.
  - 1б. **«Легитимность»** ( $L$ ) - фактор, сдерживающий волнения, проистекающие из «трудностей». Параметр гомогенен и устанавливается самим исследователем в интервале (0,1).

$$G = H(1-L)$$

# Модель Civil Violence Д.Эпстейна: спецификация граждан

Атрибуты граждан:

2. **Неприятие риска** ( $R$  от «risk aversion»). Граждане гетерогенны по этому параметру, и индивидуальное значение  $R$  для каждого гражданина определяется случайно на интервале (0,1) по равномерному закону.
3. **«Видение» гражданина** ( $v$  от «vision») представляет собой количество пространственных позиций, которые он может наблюдать. Видение у всех граждан равное и ограниченное.
4. **Вероятность** ( $P$ ) быть арестованным при переходе в состояние «активного бунта»

$$P = 1 - \exp [-k(C/A)_v],$$

Где  $C/A$  - отношение числа полицейских к бунтовщикам в рамках поля зрения  $v$ .



# Модель Civil Violence Д.Эпстайна: спецификация граждан

Атрибуты граждан:

5. **Тюремный срок**, назначаемый за присоединение к бунтующим ( $J$ ). Пользователь модели самостоятельно устанавливает максимальный срок нахождения в тюрьме ( $J_{max}$ ) в модели, и далее сроки конкретным гражданам распределяются случайным образом в соответствии с равномерным законом на интервале  $(0, J_{max})$ .
6. **Чистый риск гражданина** ( $N$ ) - произведение индивидуального неприятия риска, ситуативно подсчитываемой вероятности ареста, а также тюремного срока:

$$N = RPJ$$

7. **Порог бунта** – ( $T$  – active threshold), неотрицательная величина. Устанавливается для всех граждан.

## Модель Civil Violence Д.Эпстайна: правило поведения граждан

Если разница между недовольством и чистым риском превышает порог  $T$  (который может быть равен нулю), то гражданин из пассивного наблюдателя становится активным

$$G - N > T \Rightarrow A$$

$$G - N < T \Rightarrow \bar{A}$$

# Модель Civil Violence Д.Эпстайна: спецификация полицейских

- Полицейские обладают всего одним атрибутом - видением полицейских ( $V^*$ ). Видение полицейских аналогично видению граждан (то есть это число позиций в четырех направлениях от полицейского, которые он в состоянии исследовать), но не обязательно равное ему.
- Правило поведения полицейских состоит в том, чтобы исследовать все позиции в пределах своего видения и арестовывать случайным образом выбранных активных граждан.

Общее правило поведения для граждан и полицейских: двигаться в случайно выбранном направлении в пределах своего видения.

# Ссылки:

- Основная статья:

<https://www.brookings.edu/research/modeling-civil-violence-an-agent-based-computational-approach/>

- Комп. программа:

<https://sourceforge.net/projects/ascape/>