

# Компьютерное моделирование процесса обучения ограниченной группы студентов в рамках представления клеточных автоматов

Данная работа выполнена Адамсоном Николаем Николаевичем

Научный руководитель: Калашников Евгений Владимирович

## Актуальность

- В настоящее время наблюдается резкий рост числа студентов в высших учебных заведениях. При этом современные технологии предъявляют высокие требования к качеству образования. Традиционно, решение этой проблемы, ищется в разработке различных методик обучения, которые предполагают поиск путей, обеспечивающих наиболее доступные способы получения знаний.
- Наиболее эффективная методика обучения заключается в формировании у студента определённой стратегии с элементами саморегулирования. *Саморегулирование* (правильнее, *самосогласование*) предполагает, проявление новых форм поведения, свойственных коллективным явлениям.

Проблема,  
исследуемая  
в настоящей  
работе

- Каждый объект такой интеллектуальной системы характеризуется своим собственным поведением, зависящим от многих параметров и плохо определённым взаимодействием между объектами. Каждый объект в такой системе называют «агентом». Чёткие рамки и приёмы описания поведения такой системы указать трудно. Системы такого типа относят к мультиагентным системам.
- Проблема, которая ставится и рассматривается здесь, состоит в выявлении особенностей влияния коллектива, состоящего из конечного числа «учеников» под воздействием внешнего поля (условий и ограничений) в виде учителя на развитие (обучение) каждого «ученика» в коллективе.

# Предмет исследования и цель работы

- Предметом исследования настоящей работы является исследование поведения ограниченного по численности коллектива учеников и влияние этого коллектива на самих учеников под воздействием внешнего воздействия – учителя.
- Цель работы – построение математической и компьютерной модели, позволяющей исследовать поведение коллектива из конечного числа объектов, влияние этого коллектива на составляющие его объекты под внешним воздействием (учителя) за конечные промежутки времени.

# Вероятностные и клеточные автоматы

- Модель, разработанная для настоящей работы, разработана в рамках вероятностных клеточных автоматов.
- Клеточные автоматы называются вероятностными в том случае, если смена их состояний – вероятностный процесс. Вероятностные клеточные автоматы широко используются в моделировании различных физико-химических процессов [Карпов 2011; Коныгин 2002, 2010, 2011].

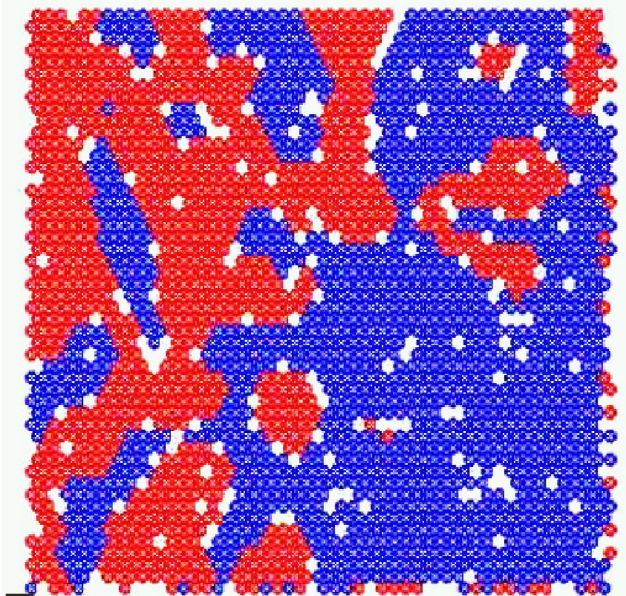
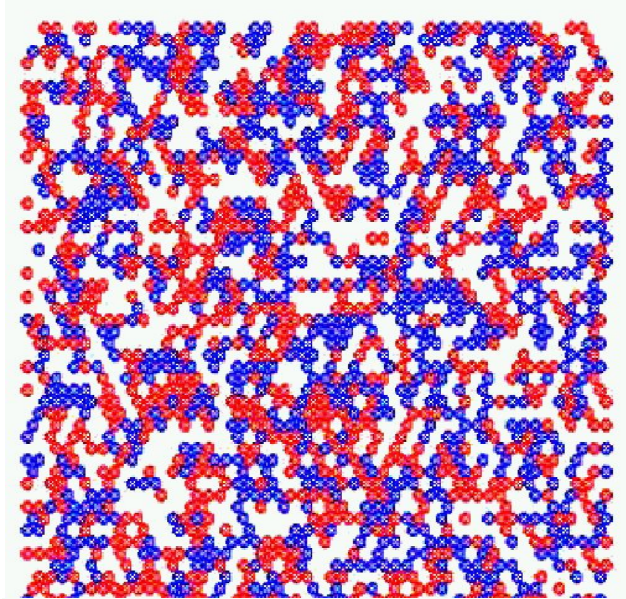
- Функция вероятности перехода КА выглядит следующим образом:

$$W = W \left( a(j, t+1) \mid a(j, t), \sum_{i \in \theta(j)} a(i, t) \right)$$

- Где  $W$  – лишь вероятность перехода КА в другое состояние  $a(j, t+1)$ , которое зависит от состояния КА в предыдущий момент времени  $a(j, t)$  и от состояний соседей в выбранной окрестности  $\sum_{i \in \theta(j)} a(i, t)$

## Модель Изинга

- В представленной нами модели клеточные автоматы, составляющие массив состояний, проявляют самоорганизацию. Самоорганизация также является результатом термодинамической модели ферромагнетика Изинга, созданной в 1924. Эта модель также основана на клеточных автоматах.
- По законам термодинамики система стремится занять наиболее выгодное энергетическое состояние, соответствующее минимальной энергии. Образование доменов, областей с одинаковым спином, происходит вследствие этого закона.



- Первоначальное и конечное распределения спинов атомов. Синие точки - атомы со спином -1, красные – со спином 1, белые – со спином 0.

## Модель обучения Майера

- Майер рассматривает двухкомпонентную модель обучения:

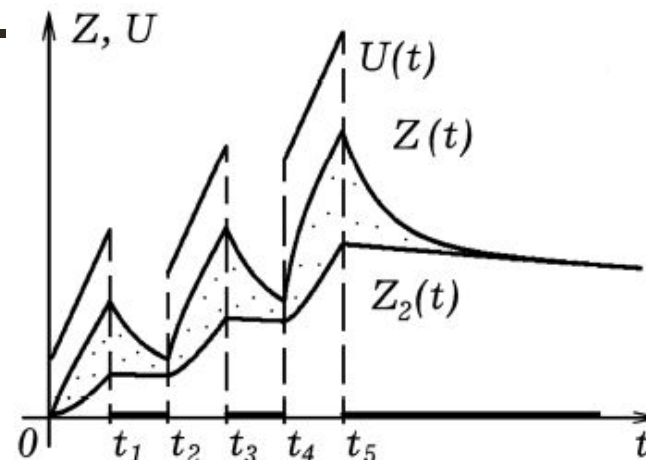
$$dZ_1 / dt = k\alpha_1(U - Z) - k\alpha_2Z_1 - \gamma_1Z_1,$$

$$dZ_2 / dt = k\alpha_2Z_1 - \gamma_2Z_2, \quad Z = Z_1 + Z_2$$

- Где  $Z_1$  – непрочные знания, которые ученик забудет через какое-то время после их получения,  $Z_2$  – прочные знания, которые остаются в памяти ученика надолго, поскольку они вписываются в систему уже имеющихся знаний,  $U$  – уровень требования учителя, который равен сумме даваемых им знаний,  $Z$  – уровень фактических знаний ученика,  $\gamma$  – коэффициент забывания ( $\gamma_1 \gg \gamma_2$ ),  $\alpha$  – коэффициент ускорения, коэффициент  $k=1$ , когда идёт обучение, и  $k=0$ , когда оно прекращено.

# Модель обучения Майера

- «Непрочные» знания  $Z_2$  быстро падает во время перерывов (с  $t_1$  по  $t_2$ , с  $t_3$  по  $t_4$ , с  $t_5$ ). Прочные знания также подвержены забыванию, но с меньшей скоростью. Вид функции накопления знаний ученика представляет собой ступенчатую функцию – этот результат может быть сопоставлен изменению состояния в нашей модели.
- Выделим 2 основных отличия данной модели от нашей. 1. Влияние коллектива не учтено никоим образом. 2. Ученик усваивает знания систематически, в то время как в нашей модели ученик может увеличить свои знания при выполнении определённых условий и с вероятностью.



- Рисунок 2. Результат моделирования модели Майера.



## Ученик как член коллектива

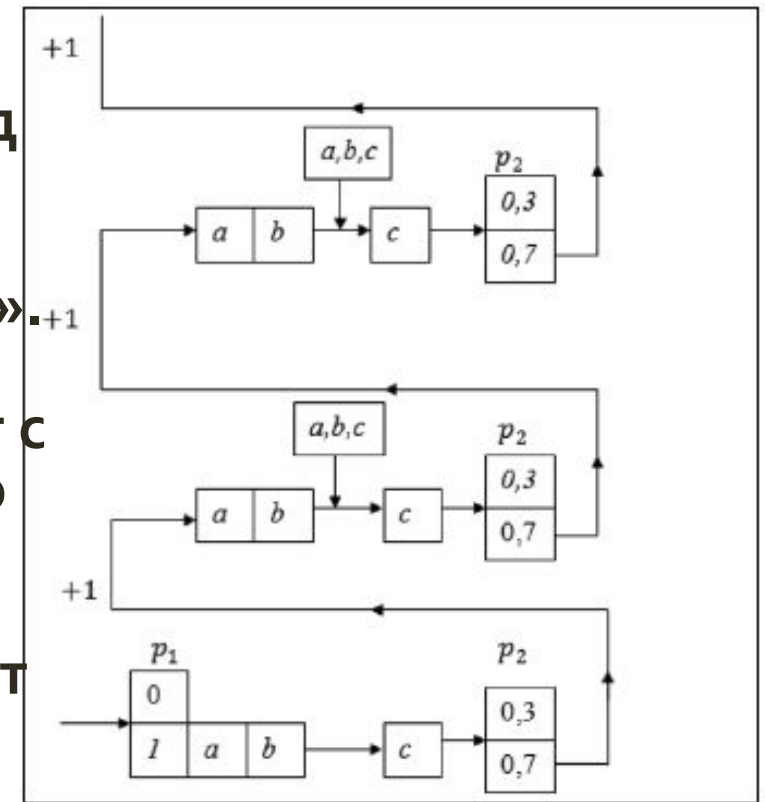
- Описать поведение учеников в коллективе и дать прогноз на их будущее состояние представляет большую сложность. В первую очередь, это вызвано тем, что каждый ученик - это интеллектуальный объект, со множеством характеристик и разнообразным поведением.
- В качестве наблюдаемой величины, характеризующей поведение ученика в коллективе из  $n$  персон удобно рассматривать состояние,  $S_j$   $j$ -ого ученика. Состояние ученика – набор характеристик, позволяющих полностью описать объект и его поведение во времени и пространстве. Однако, для рассмотрения процесса обучения важно учитывать хотя бы готовность к обучению и успешность обучения.

## Система обучения коллектива учеников

- Система обучения, предлагаемая нами, является мультиагентной. Это означает, что на результат обучения влияет не только учитель, но и остальные ученики. И учитель, и другие ученики являются агентами.
- Рассмотрим коллектив из 15 учеников, каждый из которых пребывает в своем состоянии. Он может пребывать в любом из 15 состояний, поэтому совокупность всех состояний будет описываться матрицей 15 на 15.
- Для учителя исходное состояние каждого ученика в коллективе неизвестно. Все ученики в исходном состоянии для учителя одинаковы и независимы. На этапе изучения поведения коллектива основную роль играет состояние ученика.

# Система обучения коллектива учеников

- Развитие состояния клетки.  
Первый (нижний) уровень: вход на первый уровень характеризуется вероятностью  $p_1 = 1/2$  и принимает «0» или «1». Клетка, получив «1» пробегает позиции a, b, c. Клетка выходит с первого уровня с вероятностью  $p_1 = 0,7$ , соответствующей усвоению информации, получает вес  $W = +1$  и переходит на следующий уровень состояния клетки в позицию a. Второй (и следующие) уровень начинается с весом клетки  $W = +1$  и свойством a попадает в состояние «b». Клетка выходит с этого уровня с вероятностью  $p_2 = 0,7$ , получает вес  $W = +1$  и переходит на следующий уровень, но теперь с весом  $W = +2$ , в состояние a.



## Система обучения коллектива учеников

- Число в нашем случае может означать количество понятых уроков, единиц материала. Буква *a* в нашей модели соответствует начальному состоянию до обучения, когда ученик ещё не готов воспринимать информацию. Буква *b* соответствует состоянию восприятия информации: на этой стадии он слушает учителя и зависит от уровня знаний своих ближайших соседей. Состояние *c* является итоговым, т.е. ученик может либо увеличить значение своего веса в случае успешного усвоения информации, либо оставить прежнее в том случае, если вес соседних клеток не достаточен, т.е. они имеют недостаточно знаний.
- Примем во внимание человеческий фактор: даже если окружение клетки благоприятно для увеличения её веса, она увеличит свои знания с вероятностью 70%. Это означает, что в силу каких-то внутренних причин, ученик с небольшой вероятностью (30%) может и не понять материал, даже если его соседи знают этот материал.

# Моделирование системы обучения с 1 учителем

0a	1a	1a	0a	1a	0a	0a	0a	1a	1a	0a	1a	1a	0a	0a
0a	0a	0a	0a	1a	1a	1a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
0a	1a	1a	0a	0a	1a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
0a	0a	1a	1a	0a	0a	1a	0a	1a	1a	0a	0a	1a	0a	0a
0a	1a	1a	0a	0a	1a	1a	1a	0a	1a	0a	0a	1a	0a	1a
0a	1a	0a	1a	0a	0a	1a	1a	0a	1a	1a	1a	1a	0a	0a
1a	0a	1a	1a	0a	1a	1a	0a	0a	0a	1a	1a	0a	1a	0a
1a	1a	1a	0a	0a	1a	0a	0a	1a	0a	0a	0a	1a	0a	1a
0a	0a	0a	0a	0a	1a	1a	1a	0a	0a	1a	1a	1a	1a	1a
1a	1a	0a	1a	1a	0a	1a	0a	0a	1a	1a	1a	1a	0a	0a
0a	0a	1a	1a	0a	1a	0a	1a	1a	1a	1a	0a	0a	1a	0a
0a	1a	0a	1a	1a	0a	0a	1a	0a	0a	1a	1a	1a	1a	0a
1a	1a	0a	0a	0a	1a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	1a	0a
1a	0a	0a	0a	1a	1a	0a	1a	1a	0a	1a	1a	0a	0a	0a
0a	1a	0a	0a	1a	0a	1a	1a	1a	0a	1a	1a	0a	1a	1a

0b	1b	1b	0b	1b	0b	0b	0b	1b	1b	0b	1b	1b	0b	0b
0b	0b	0b	0b	1b	1b	1b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	0b
0b	1b	1b	0b	0b	1b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	0b
0b	0b	1b	1b	0b	0b	1b	0b	1b	1b	0b	0b	1b	0b	0b
0b	1b	1b	0b	0b	1b	4b	1b	0b	1b	0b	0b	1b	0b	1b
0b	1b	1b	1b	0b	0b	1b	1b	0b	1b	1b	1b	1b	0b	0b
1b	2b	3a	1b	0b	1b	1b	0b	0b	0b	1b	1b	3b	1b	0b
1b	1b	1b	0b	0b	1b	0b	0b	1b	0b	0b	0b	1b	2b	1b
0b	0b	0b	0b	0b	1b	1b	1b	0b	0b	1b	1b	3b	1b	1b
1b	1b	0b	1b	1b	2b	1b	0b	0b	1b	4b	1b	1b	0b	0b
0b	0b	1b	2c	3b	1b	0b	1b	1b	1b	1b	0b	0b	1b	0b
0b	1b	0b	1b	1b	0b	0b	1b	0b	0b	1b	1b	1b	1b	0b
1b	1b	0b	0b	0b	1b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	1b	0b
1b	0b	0b	0b	1b	1b	0b	1b	1b	0b	1b	1b	0b	0b	0b
2b	1b	0b	0b	1b	1b	1b	3b	1b	0b	1b	1b	0b	1b	1b

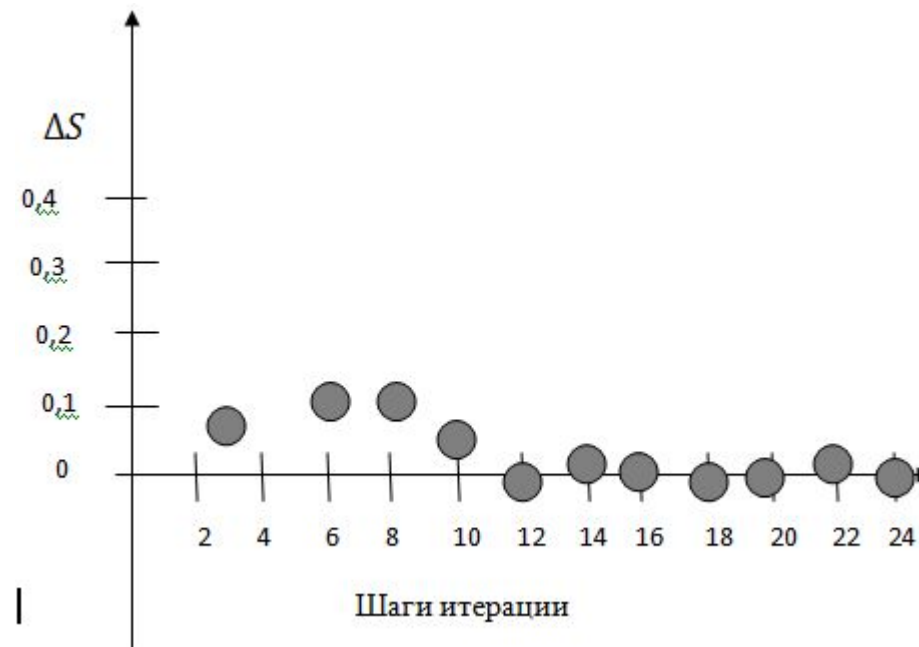
0b	1b	1b	0b	1b	0b	0b	0b	1b	1b	0b	1b	1b	0b	0b	
0b	0b	0b	0b	1b	1b	1b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	
0b	1b	1b	0b	0b	1b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	
0b	0b	1b	1b	0b	0b	1b	0b	1b	1b	0b	0b	1b	0b	0b	
0b	1b	1b	0b	0b	1b	4b	1b	0b	1b	0b	0b	1b	0b	1b	
0b	1b	1b	1b	0b	0b	1b	1b	0b	1b	1b	1b	1b	1b	0b	0b
1b	2b	3a	1b	0b	1b	1b	0b	0b	0b	1b	1b	3b	1b	0b	
1b	1b	1b	0b	0b	1b	0b	0b	1b	0b	0b	0b	1b	2b	1b	
0b	0b	0b	0b	0b	1b	1b	1b	0b	0b	1b	1b	3b	1b	1b	
1b	1b	0b	1b	1b	2b	1b	0b	0b	1b	4b	1b	1b	0b	0b	
0b	0b	1b	2c	3b	1b	0b	1b	1b	1b	1b	0b	0b	1b	0b	
0b	1b	0b	1b	1b	0b	0b	1b	0b	0b	1b	1b	1b	1b	0b	
1b	1b	0b	0b	0b	1b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	0b	1b	0b
1b	0b	0b	0b	1b	1b	0b	1b	1b	0b	1b	1b	0b	0b	0b	0b
2b	1b	0b	0b	1b	1b	1b	3b	1b	0b	1b	1b	0b	1b	1b	1b

- Массив состояний на 1, 10 и 100 шагах соответственно.
- клетки на боковых сторонах развиваются быстрее чем клетки, имеющие 4 соседа;
- основная масса заштрихованных клеток проявилась на 1-10 шагах (12 из 14), в то время как за оставшиеся 90 шагов добавились лишь 2 заштрихованные клетки. Это говорит о формировании устойчивой структуры в массиве состояний и самоорганизации системы;
- сопоставимость количества учеников и количества успешно развитых клеток состояний. Поскольку каждая клетка всего лишь одно из возможных состояний ученика, то количество успешно развитых клеток (их 14) вполне предоставляет возможность большей части учеников успешно в коллективе освоить новую информацию вне зависимости от количества соседей.

# Моделирование системы обучения с 1 учителем на однородных клеточных автоматах

- Рассмотрим приближение «тор», основанное на однородных клеточных автоматах. Согласно этому предположению, у всех учеников по 4 соседа. У боковых и угловых клеток соседи находятся на другой стороне массива. Это предположение актуально в случае, когда отношения в коллективе более или менее налажены и каждый член коллектива зависит от примерно одинакового числа ближайших соседей.
- Общее количество заштрихованных клеток в торовой модели меньше, чем в замкнутой (11 против 14). Это произошло потому, что многие боковые клетки, (с 2 и 3 соседями), развивались бы в случае замкнутой модели, но большее количество ближайших соседей приостановило их развитие.

- Возникновение определённой структуры КА в процессе развития свидетельствует о том, что в КА идёт процесс самоорганизации. Основным показателем самоорганизации в системе является производство энтропии. В системе возникает диссипативная (или самоорганизованная) структура когда  $dS/dt \leq 0$ . В нашем случае график приращения энтропии выглядит следующим образом. Её приращение уменьшается со временем, что свидетельствует о самоорганизации системы.

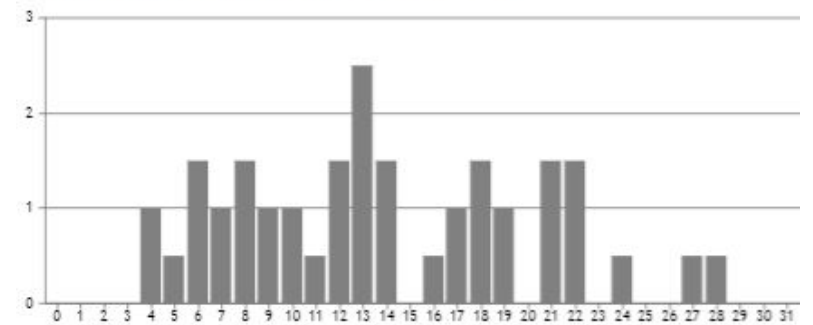
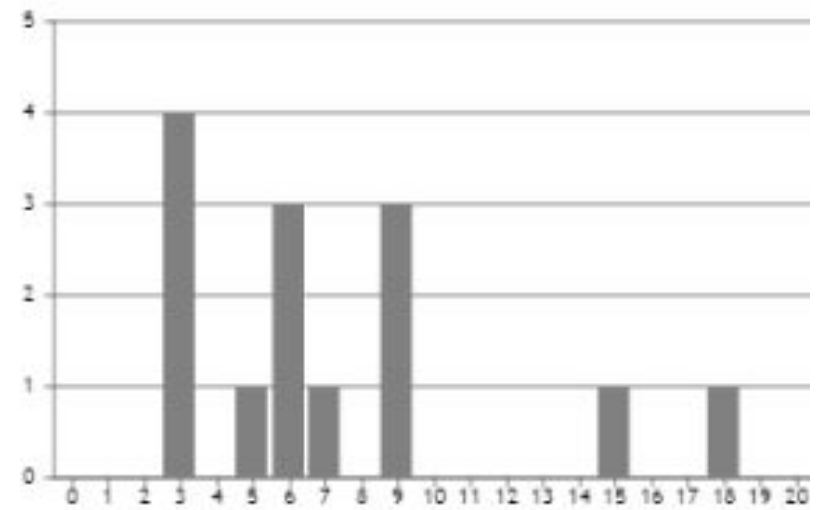


- Рисунок 3 - Приращение энтропии от шагов итерации.

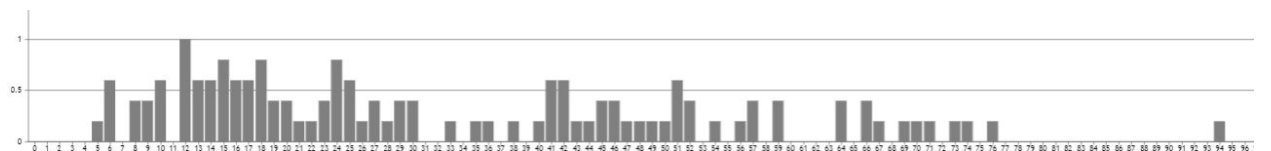
# Моделирование системы обучения с 2 и 5 учителями на неоднородных клеточных автоматах

- Процедура моделирования, аналогичная для ситуации с одним учителем, была проведена при условии 2 и 5 учителей.

Чтобы охарактеризовать развитие КА в целом, введём понятие «расширение знаний». Эта характеристика является величиной, равной тому количеству клеток, которое на настоящий шаг поменяло свой вес с единицы на двойку и, тем самым, открывает перспективу развития клетки. Фактически, эта величина отражает эффективность и объём передачи знаний внутри коллектива и формирует «очаги» развития клеток.



- Графики расширения знаний для коллектива с 1, 2 (сверху) и с 5 учителями (снизу).





# Моделирование системы обучения с 2 и 5 учителями на неоднородных клеточных автоматах

- На ранних этапах моделирования разница в знаниях учеников коллективов с разным числом педагогов не сильно велика, но на более поздних этапах она становится значительной. Проводя параллель с реальной ситуацией, можно отметить, что ученикам очевидно труднее справиться с большим количеством предметов, что приводит к худшему усваиванию новой информации.
- За счёт того, что ученику тяжело сосредоточиться на многих предметах сразу, он с большой долей вероятности не может усвоить материал самостоятельно. Зато он может понять информацию в случае, если его соседи поняли учителя. Так, например, в случае 5 учителей ученик может начать усваивать информацию даже очень поздно: тем не менее, объём усвоенного материала значительно меньше в сравнении с учениками, обучаемыми 1 учителем.

# Приложение настоящей модели к системе передачи данных

- Система защищённой передачи данных состоит из множества абонентских терминалов и, по меньшей мере, одного центра коммутации – наземной станции сети подвижной связи и/или спутника-ретранслятора сети персональной спутниковой связи, в памяти которых хранятся данные для аутентификации и шифрования передаваемой информации.
- При работе предложенной системы передачи данных, периодические изменения позиций ключей в матрице ключей, а также изменение алгоритмов в матрице алгоритмов являются альтернативой хранения в постоянном запоминающем устройстве большого количества ключей и алгоритмов. Работа системы основана на двух последовательных процессах: аутентификации информации абонентской радиолинии и шифрования абонентской радиолинии.
- Результат: повышение криптостойкости передачи данных.

## Результаты настоящей работы

- 1. Разработана математическая модель, описывающая поведение конечного коллектива учеников под воздействием учителя.
- 2. Для описания сложного поведения мультиагентной системы коллектива учеников под воздействием учителя построен клеточный автомат
- 3. Найдено воздействие коллектива учеников на каждого из учеников, составляющих коллектив, под воздействием учителя.
- 4. Показано, что коллективу учеников свойственна система самоорганизации, сводящаяся к возникновению определённой структуры на пространстве состояний клеточного автомата в виде «очагов знаний».
- 5. Рассмотрено поведение коллектива учеников под воздействием 2 и более учителей.
- 6. Показано, что под воздействием многих учителей процесс усвоения знания падает, роль коллектива становится определяющей.

Спасибо за  
внимание!