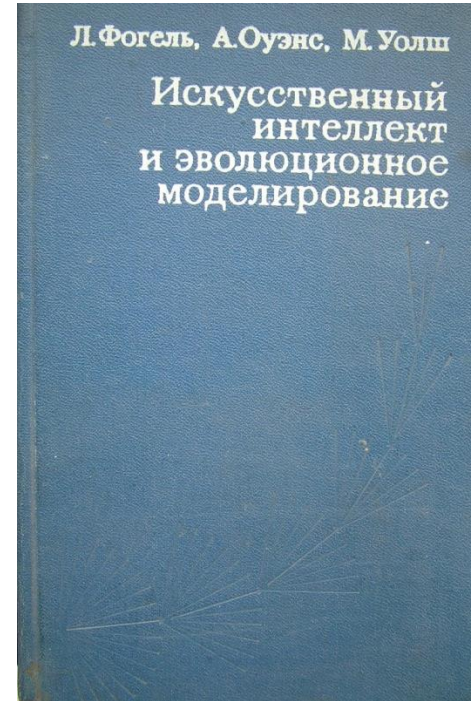


Карпов В.Э.

Эволюционное моделирование

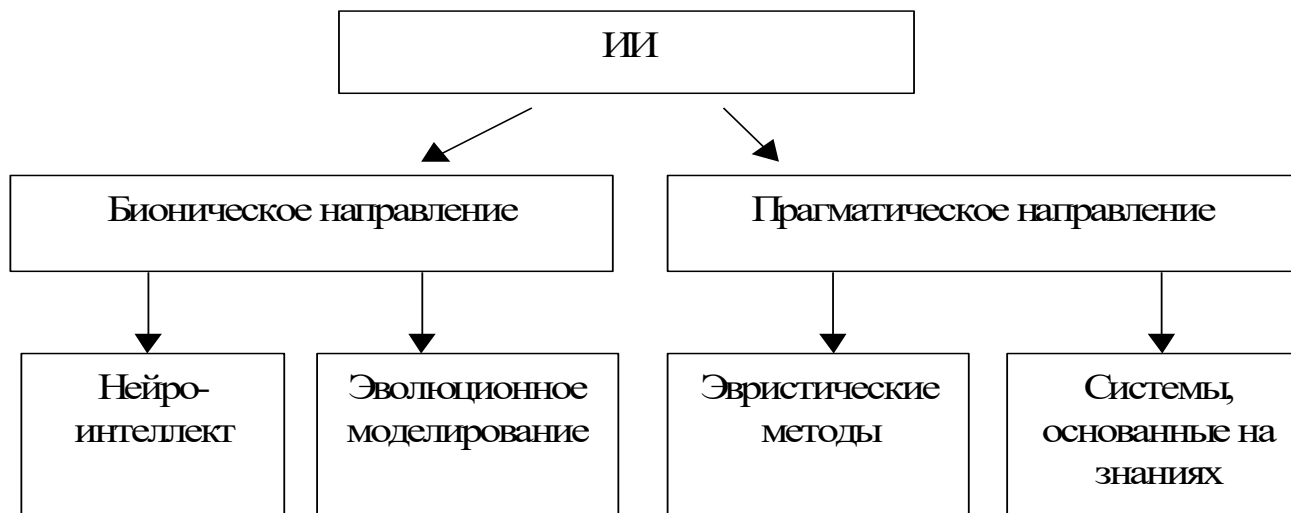
Основная идея

- Вместо моделирования сложного объекта в уже готовом виде следует заниматься моделированием **ЭВОЛЮЦИИ** некоторого простого объекта.
- Запустить эволюционный процесс и ждать, когда с течением времени появится требуемый ответ – это достаточно естественный и привлекательный путь решения сложно формализуемых задач.



Л.Фогель. «Искусственный интеллект и эволюционное моделирование», 1966

Место ЭМ в системах ИИ



История ЭМ

- Л.Фогель. «Искусственный интеллект и эволюционное моделирование», 1966
- И. Шмальгаузен. Модели эволюции, 1968
- М.Л.Цетлин. Теория автоматов, 1969
- И.Л.Букатова. Эвоинформтика, 1975.
- Холланд (Holland), 1975. Генетические алгоритмы (ГА)

Интеллект и ЭМ

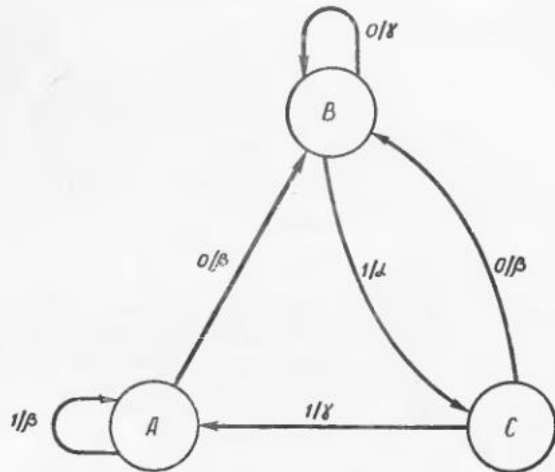
- Интеллект - *"способность принимающего решения устройства достигать определенной степени успеха при поиске широкого многообразия целей в обширном диапазоне сред"*.
- Принимающее решения устройство ("организм") тогда может эффективно взаимодействовать со средой, когда оно эту среду "знает". "Познать" же среду - означает знать алгоритм ее функционирования, т.е. уметь **предсказывать** ее состояние на некотором временном интервале.
- Вывод: "разумное" поведение – это сочетание способности предсказывать состояние внешней среды с преобразованием каждого предсказания в подходящую реакцию в свете заданной цели. Предсказание является основным элементарным актом ЭМ.

Классическая реализация

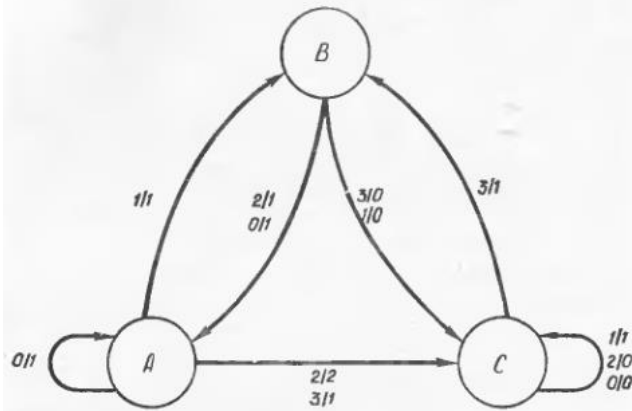
- Особь – конечный детерминированный автомат
 - Мажоритарная логика
 - Предсказание символов входной последовательности
 - Популяция из двух автоматов
-

- Отсутствие методологического базиса
- Крайне неудачная реализация моделей особей и процесса эволюции в целом

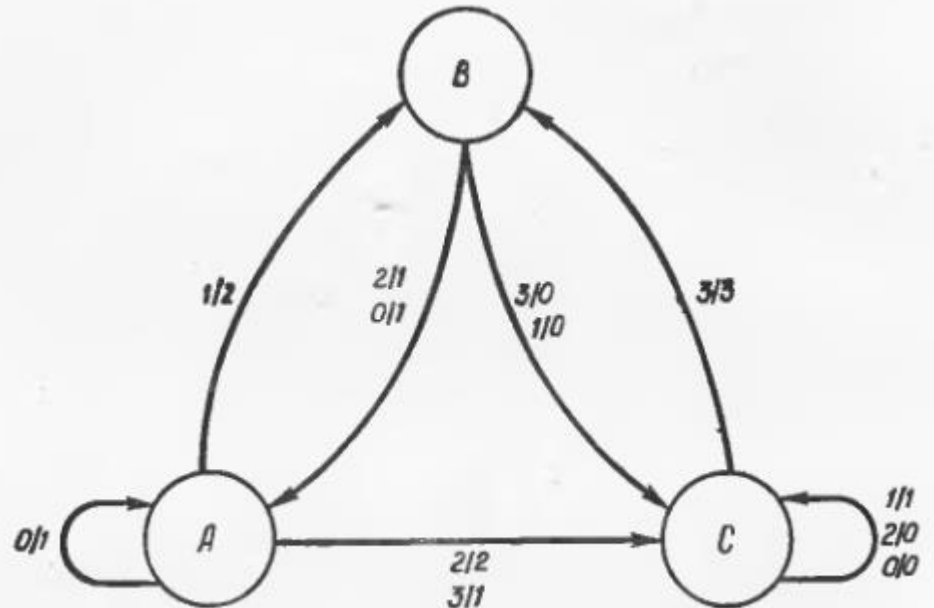
АВТОМАТЫ



Ф и г. 2.1. Конечный автомат.



Ф и г. 2.2. Автомат M_0 .

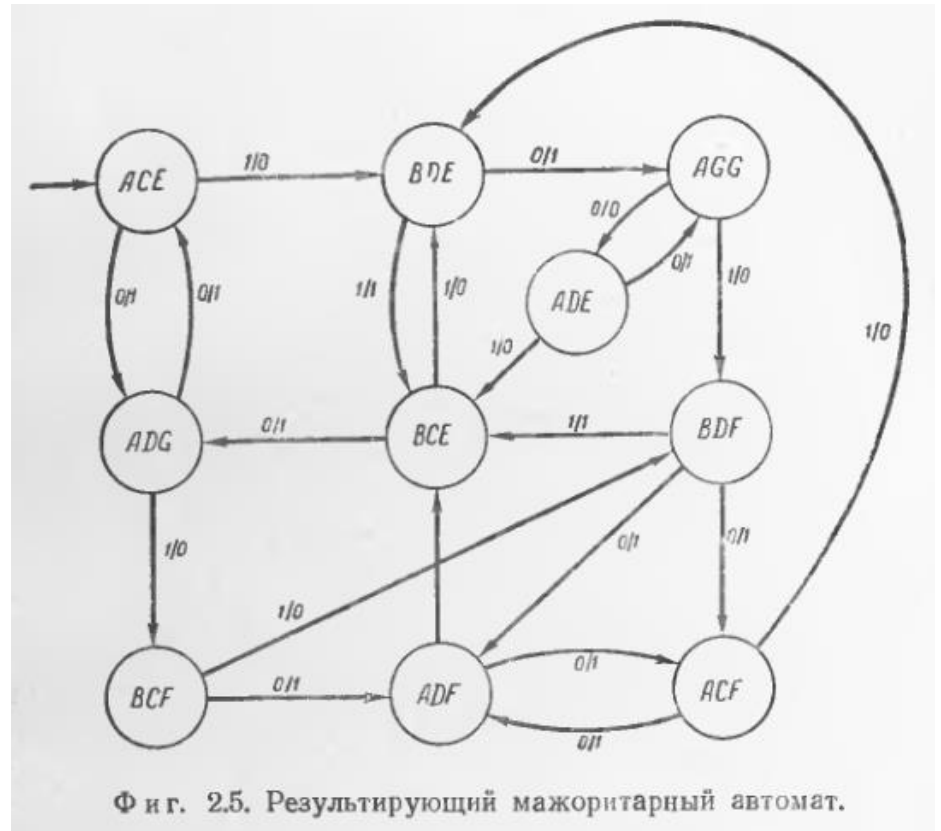
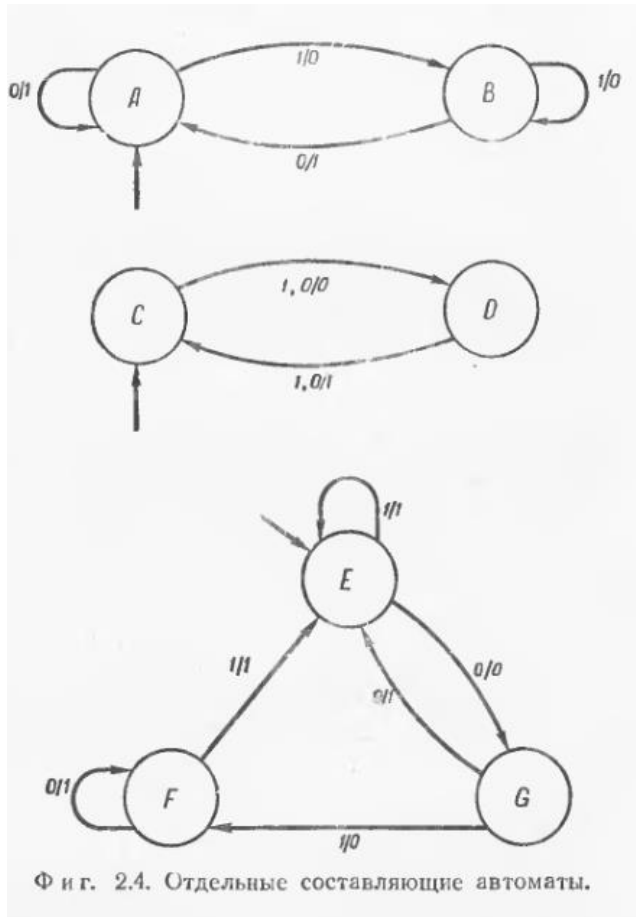


Ф и г. 2.3. Автомат M_1 .

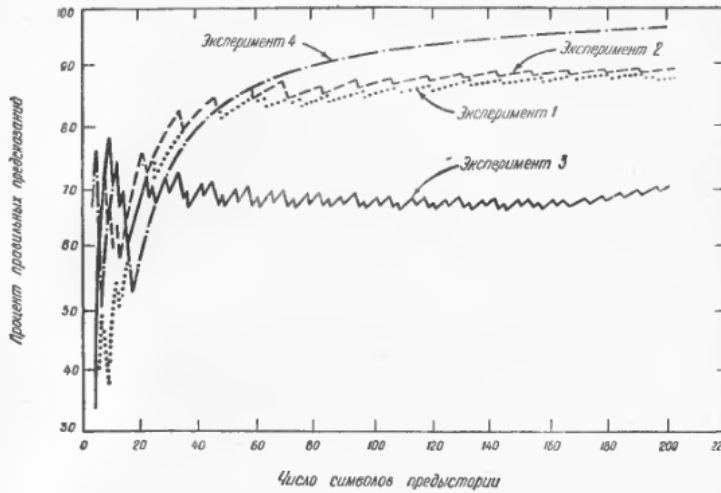
Таблица 2.1

Текущее состояние	C	B	C	A	A	B
Входной символ	0	1	1	1	0	1
Следующее состояние	B	C	A	A	B	C
Выходной символ	β	α	γ	β	β	α

Мажоритарная логика

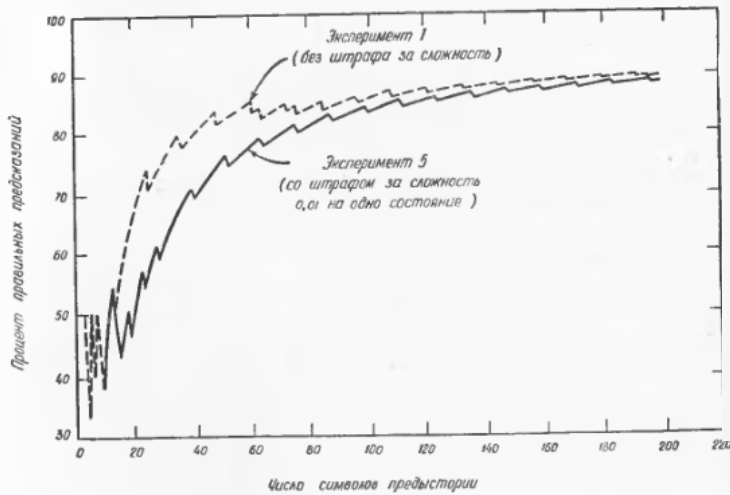


Эксперименты



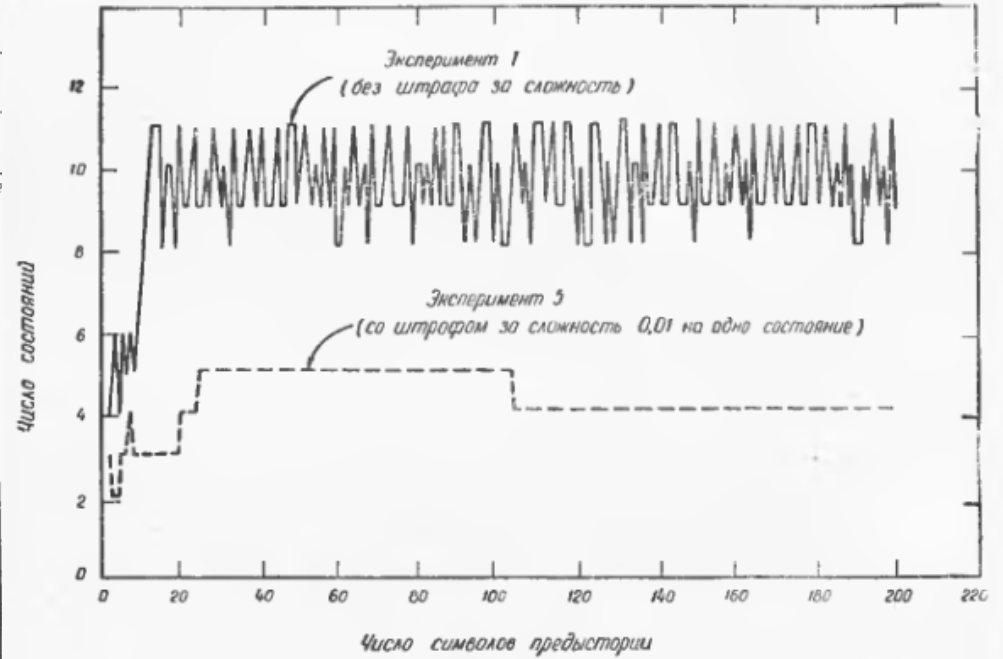
Ф и г. 3.1. Сравнение результатов предсказания для четырех различных последовательностей случайных чисел.

Циклическая среда 10110011101; штраф за сложность отсутствует; 3 автомата на поколение; однократная мутация; 5 поколений на предсказание.



Ф и г. 3.2. Сравнение результатов предсказания при наличии и при отсутствии штрафа за сложность.

Циклическая среда 10110011101; 3 автомата на поколение; однократная мутация; случайный ряд единиц; 5 поколений на предсказание.



Ф и г. 3.3. Сравнение числа состояний у наилучших автоматов при наличии и при отсутствии штрафа за сложность.

Циклическая среда 10110011101; 3 автомата на поколение; однократная мутация; случайный ряд единиц; 5 поколений на предсказание.

Методология ЭМ

ЭМ, как метод решения задач, - это тройка

$$\text{ЭМ} = \langle \text{М}, \text{О}, \text{З} \rangle$$

где

М – модель эволюции,

О – эволюционирующий объект,

З – решаемая задача или критерии эволюции.

Модель эволюции

Аксиоматика, задающая **необходимые** и **достаточные** условия, которые определяют ход эволюции:

- 1) наследственная изменчивость, т.е. мутирование, как предпосылка эволюции, ее материал;
- 2) борьба за существование как контролирующий и направляющий фактор;
- 3) естественный отбор как преобразующий фактор

(И. Шмальгаузен, 1968).

Модель особи

- Структура особи должна нести в себе как минимум описание этого искомого алгоритма (фрагмента).
- Форма этого представления должна быть как можно более естественной.

Если говорить об *эволюции алгоритмов*, то:

... → Алгоритм → Машина Тьюринга → **Автомат** → ...

Задачи или критерии эволюции

- Эволюция в ЭМ - процесс образования особей, успешно решающих обусловленные средой задачи.
- На самом деле задача заключается в банальном **выживании**. Устойчивость численности популяции определяет степень успеха эволюции.
- Постановка задачи в ЭМ заключается прежде всего в формировании среды, к которой и должны приспособляться члены популяции.

Реализация моделей

1. Среда функционирования – множество обучающих примеров

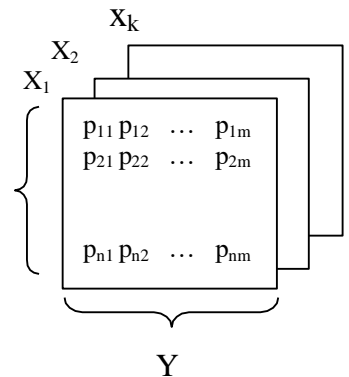
$$E = \{e_i\} = \{(X_i, y^i)\},$$

где X_i - вектор сигналов рецепторов, y^i – требуемая для данной ситуации реакция.

2. Функция ошибки, устанавливающая соответствие между входной и выходной последовательностями - функционал вида

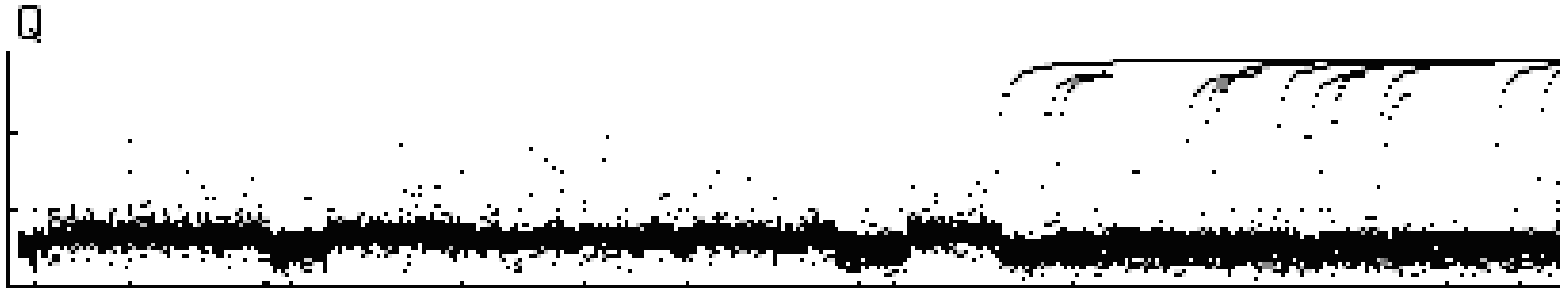
$$S(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_n)$$

3. Особь – конечный вероятностный автомат $P: Q$



Свойства особи

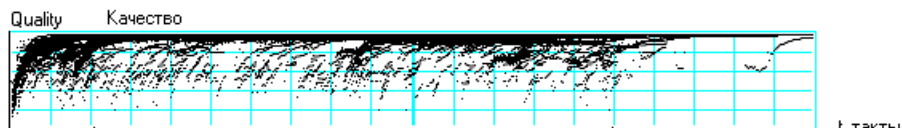
- Размножение
- Мутации
- Обучение
- Накапливание штрафов



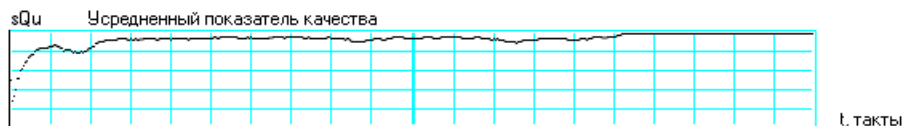
Роль фенотипа

- Процесс блуждания точки (множества точек) в *пространстве состояний*. Задача заключается в нахождении некоторого экстремума.
- Проблема «запаса прочности» - наличия промежуточных видов.
$$A_1 \rightarrow A_2 = M(A_1) \rightarrow A_3 = M(A_2) \dots \rightarrow A_k = M^k(A_1)$$
- На самом деле значение имеет не нахождение оптимальной точки в пространстве *структур*, а создание особи, обладающей оптимальным или субоптимальным *поведением*.
- В этом случае можно говорить о поиске в объединенном **фено-генотипическом** пространстве, в котором различающиеся структурно (генотипически) особи могут вести себя одинаково.
- Тогда «неудачный» генотип может некоторое время компенсироваться приемлемым фенотипическим поведением.

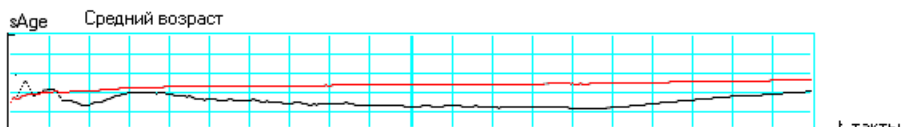
Моделирование эволюции



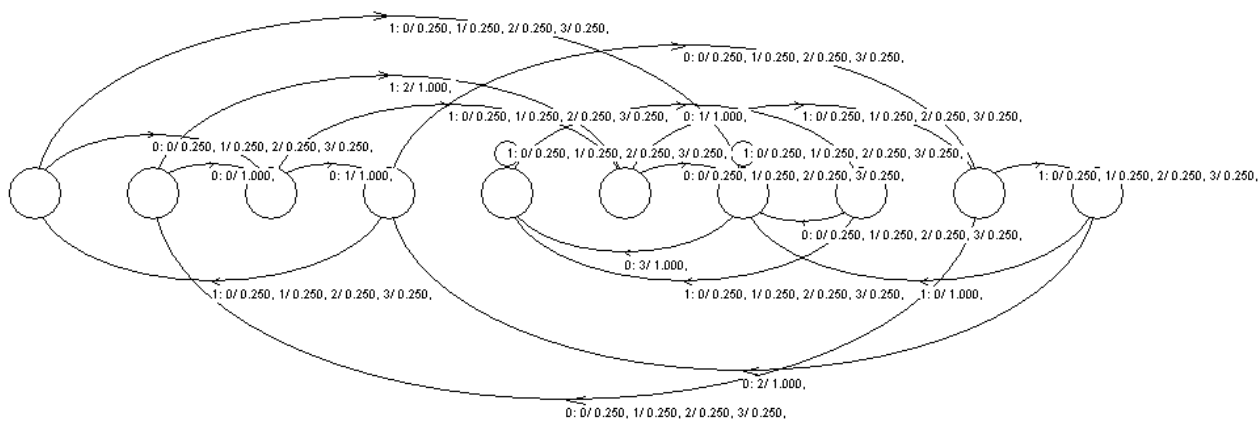
а)



б)

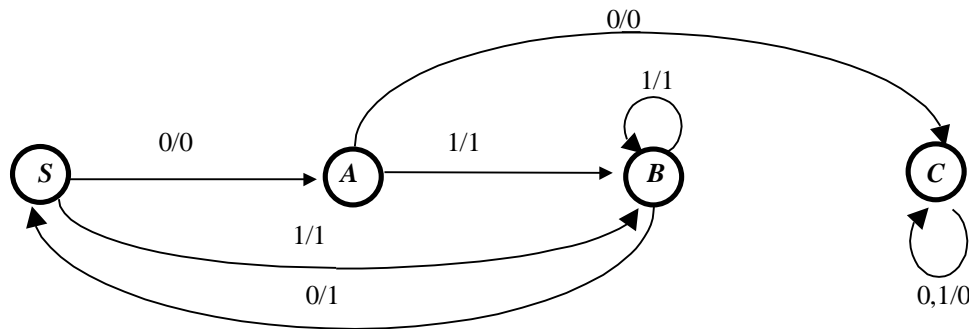


в)

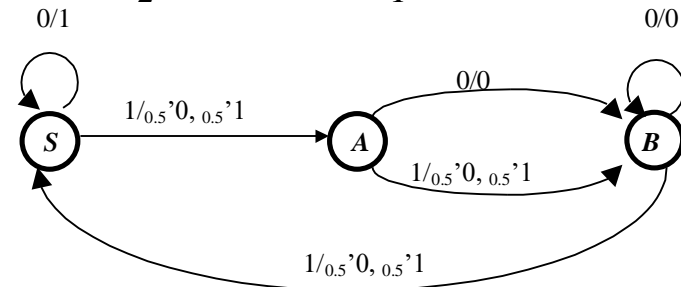


Примеры

1. С-среда, порожденная булевой функцией $Y=(x_1+x_2)(x_3+x_4)$.

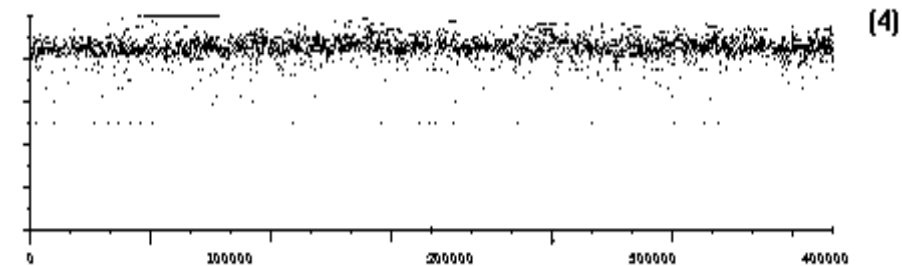
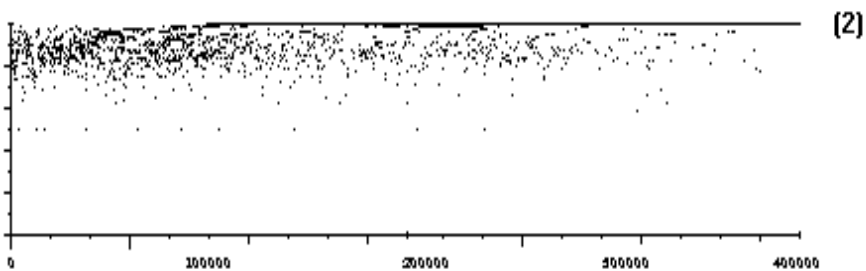
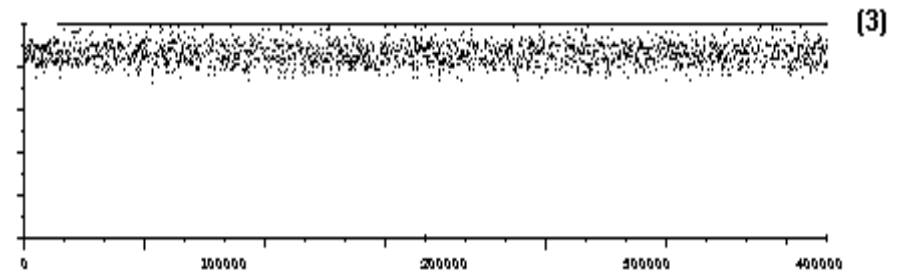
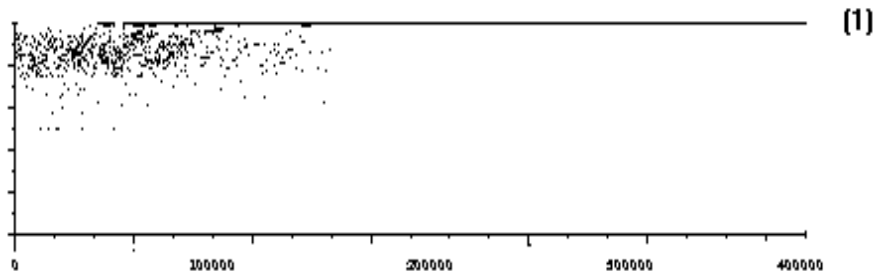


2. Последовательности состоят из набора единиц и нулей длиной по 10 символов. Если в последовательности есть серия «111», то последовательность принадлежит классу K_2 , иначе - K_1 .

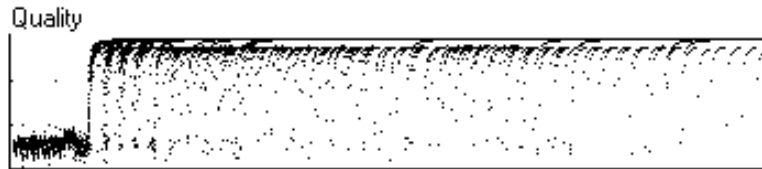


Основные виды эволюционных процессов

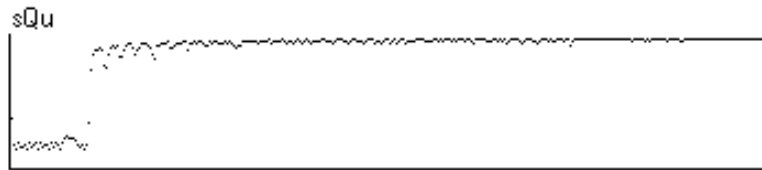
- 1 и 2 - абсолютно сходящиеся, устойчивые процессы
- 3 и 4 неустойчивая (несходящаяся) эволюция. 3 – неустойчивый первого рода, 4 - неустойчивый второго рода



Эволюция вида и эволюция особи



Общий показатель



sQu - средний показатель качества



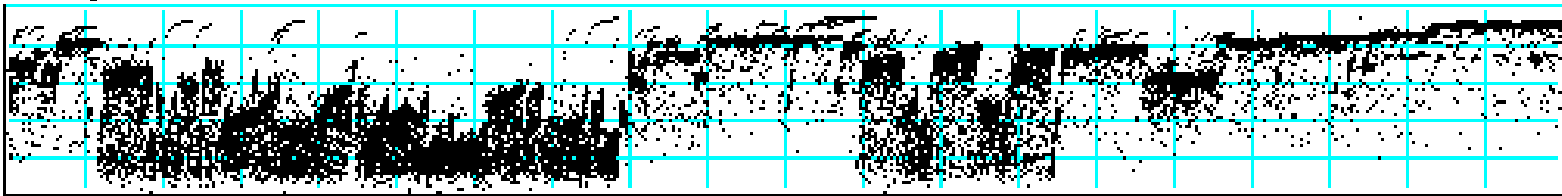
sTP - средний период размножения

При использовании в качестве наследуемой и мутируемой единицы периода размножения популяция имеет тенденцию не к морфологическому, а к **биологическому** прогрессу

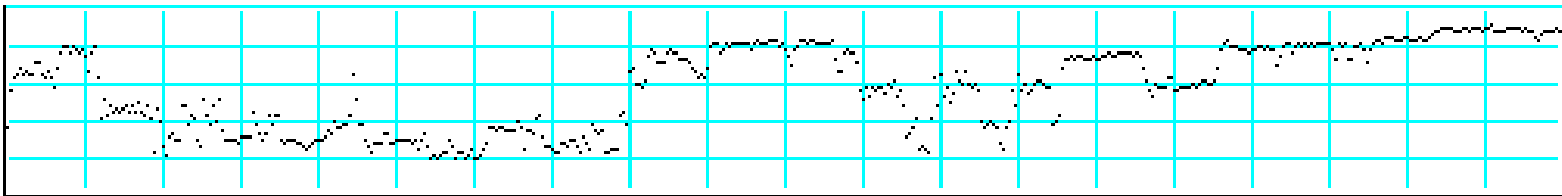
Наследование благоприобретенных признаков

- Эволюция по Ламарку
- Эффект Болдуина
- Механизм, влияющий через соматический (т.е. фенотип) родителя на *поведение* дочерней особи

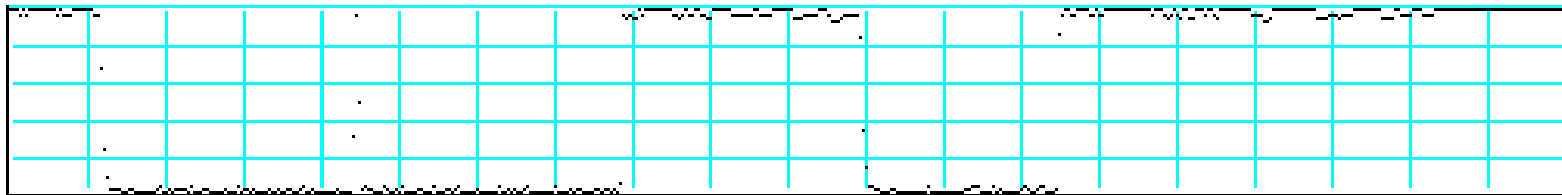
Quality



sQ_u



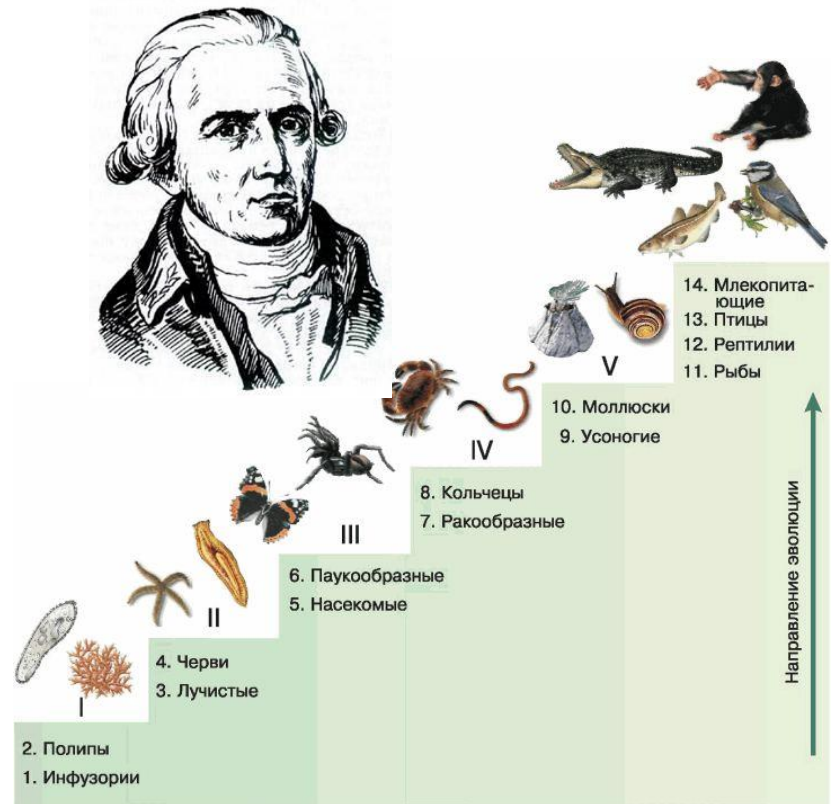
sTP/CF



Ламаркизм

Жан Батист Ламарк, 1744-1829

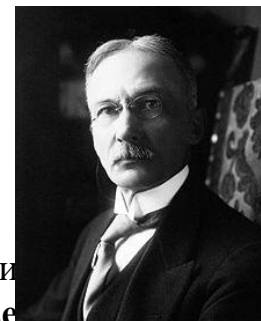
- Учение о градации организмов.
1. Самозарождение организмов из неживой природы.
 2. Существование у всех организмов стремления к совершенствованию.
 3. Одновременное наличие в природе и простых, и более сложных организмов - результат постоянно продолжающегося процесса самозарождения жизни.



Закон упражнения и неупражнения органов: постоянное употребление органа ведет к его усиленному развитию, а неупотребление – к ослаблению и исчезновению.

Закон наследования благоприобретенных признаков: под действием постоянных упражнений и неупражнений органы изменяются, и возникшие изменения наследуются.

Эффект Болдуина



Джеймс Марк Болдуин (1861-1934). 1896 г., «Новый фактор эволюции»

Если ненаследственное изменение (например, изменение поведения в результате обучения) оказывается полезным, то больше потомства будут оставлять особи с лучшей **наследственной предрасположенностью** к такому изменению (способные быстрее и лучше научиться такому поведению). Могут выработаться:

- а) врожденное умение (инстинкт): навык «записывается» в геном,
- б) морфологические адаптации, облегчающие данное поведение.

Пример - толерантность к лактозе у человека.

Длительная традиция выращивания и отбора животных, дающих больше молока, привела к тому, что среди людей получили преимущество те, кто лучше мог переваривать лактозу.

Прямая и обратная связь между поведением и генами: исходная способность усваивать лактозу, ведёт к отбору человеком животных, способных давать больше молока и как результат, происходит широкое распространение генов, позволяющих усваивать лактозу.

Эффект поверхностно схож с «наследованием результатов упражнения органов».

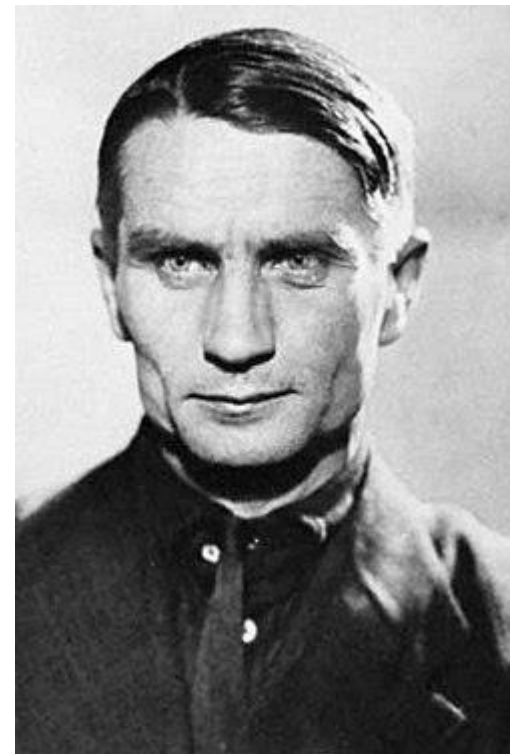
Но: он действует через изменение направленности отбора, через отбор случайных наследственных отклонений».

Происходит не прямое наследование признака, приобретенного в течение жизни, а отбор на **способность быстрее его приобретать**.

Трофим Денисович Лысенко

(1898 — 1976)

- Директор Института генетики АН СССР с 1940 по 1965 гг.
- «Можно определённо утверждать, что яровизация является крупнейшим достижением в селекции, ибо она сделала доступным для использования все мировое разнообразие сортов, до сих пор недоступное практическому использованию в силу обычного несоответствия вегетационного периода и малой зимостойкости южных озимых форм». - Вавилов Н. И. Избранные труды. Т. 5. С. 272



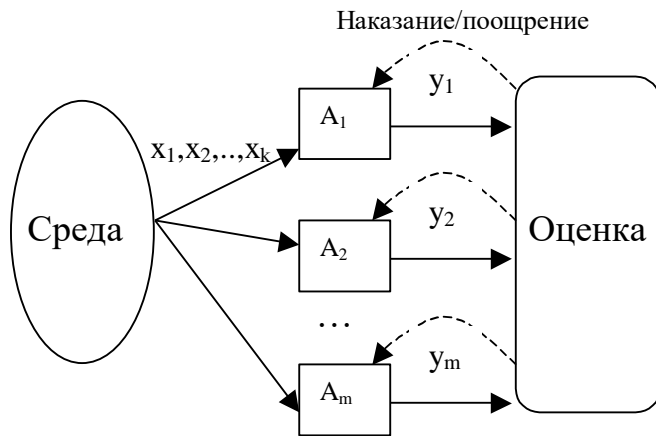
CF-фактор

Роль CF-фактора существенно зависит от условий существования, которые можно условно разбить на 3 типа:

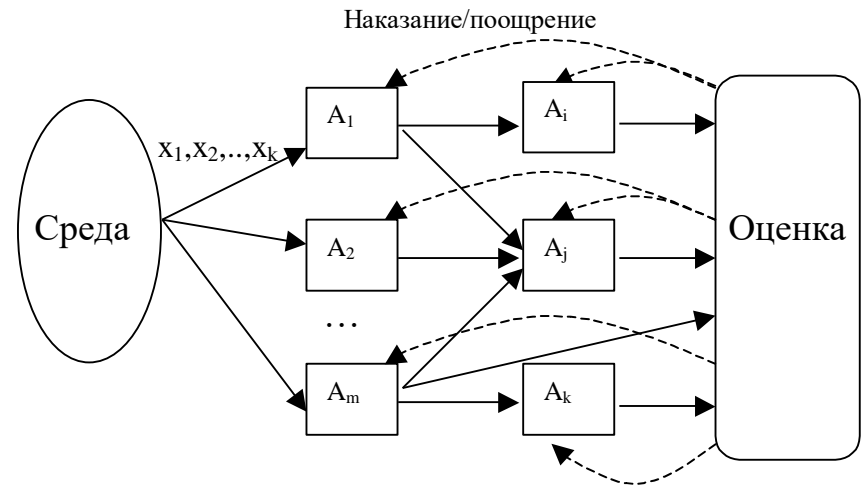
- благоприятные, когда решение находится быстро (CF бесполезен),
- сложные, когда для этого требуется значительное время (CF важен)
- неблагоприятные, когда приемлемое решение в классе конечных автоматов отсутствует либо оно может быть найдено за очень большое время (CF вреден).

Синтезогенез

Один из путей эволюции, при котором происходит объединение простых организмов в более сложный



Автоматный газ



Коннекционистская модель

Заключение

Основные проблемы ЭМ

1. Сведение задач к предсказанию последовательностей.
2. Образование сложных структур (синтезогенез и коннекционизм).
3. Скорость моделирования.