

# Применение генетических алгоритмов для генерации автоматов при построении модели максимального правдоподобия и в задачах управления

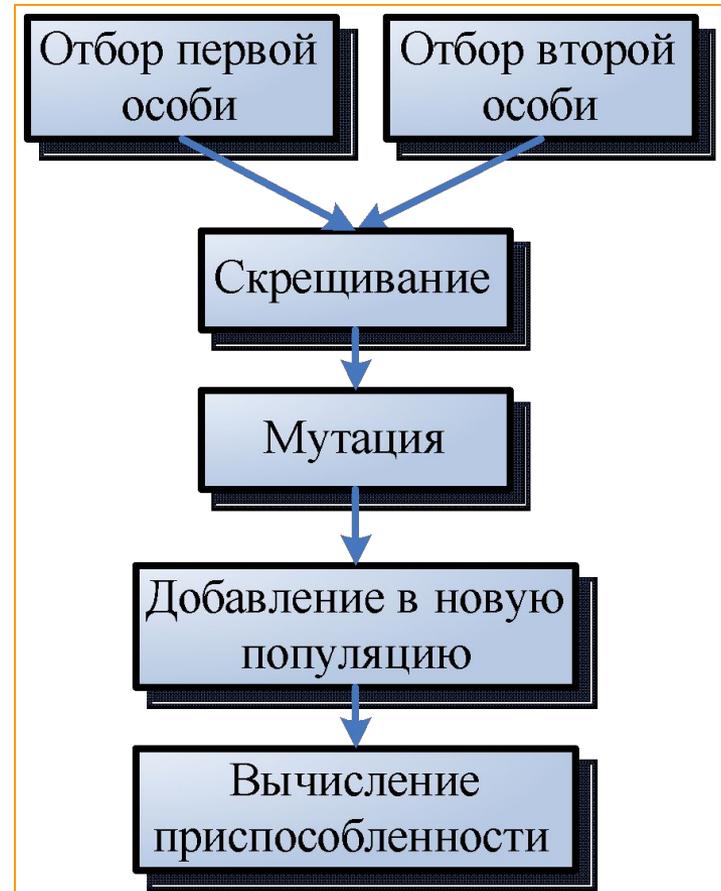
---

**Выполнил:** Бедный Юрий, группа 6538

**Научный руководитель:** Шалыто Анатолий  
Абрамович, докт.техн.наук, профессор,  
СПбГУ ИТМО

# Генетические алгоритмы

- Оптимизационный метод, базирующийся на эволюции популяции «особей»
- Особь характеризуется приспособленностью – функцией ее генов
- Задача оптимизации – максимизация функции приспособленности



# Генетические алгоритмы и автоматы

---

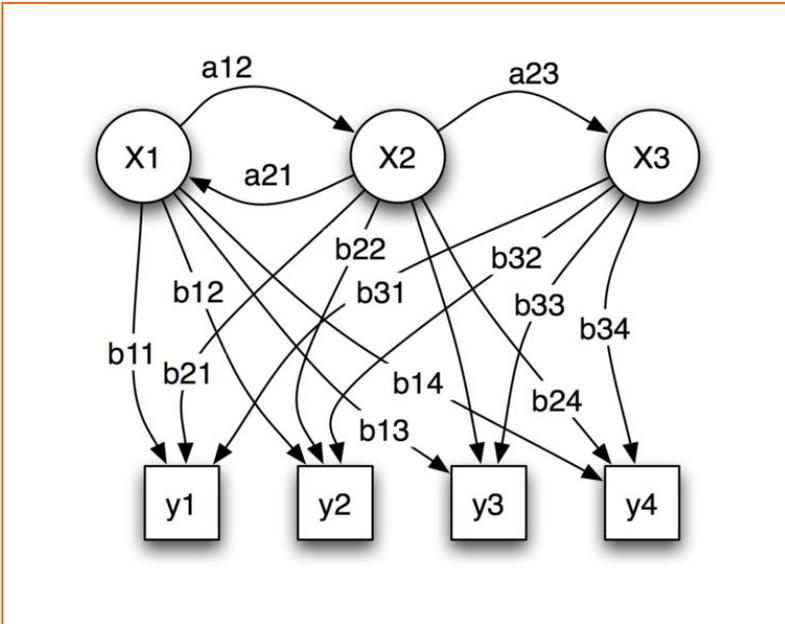
- Теория игр (итерированная дилемма узника)
- Молекулярная биология (выбор праймера для ПЦР)
- Роботехника (движение человекоподобного робота)
- Зоология (искусственная этология)
- Теория клеточных автоматов (DCT)
- Регрессия (задача «о Флибах»)
- Задача управления (задача об «Умном муравье»)
- Задачи оптимизации
- Проектирование логических схем
- Распознавание изображений
- Распознавание языков

# В работе генетические алгоритмы и автоматы применяются для:

---

1. Построения моделей максимального правдоподобия одного класса. **Задача:** поиск ошибок в автоматах с помощью скрытых марковских моделей.
2. Решения нетривиальных задач оптимального управления. **Задача:** построение системы управления танком в игре *Robocode*.

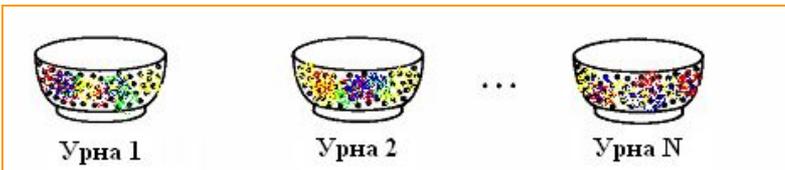
# Модели максимального правдоподобия. Скрытые марковские модели: $\lambda=(A, B, \pi)$



Наблюдения:  $O=O_1O_2\cdots O_T$   
Состояния:  $Q=q_1q_2\cdots q_T$

Три классические задачи:

1. Определить  $P(O|\lambda)$ .  
Forward-Backward:  $O(TN^2)$
2. Найти  $Q$  для  $\max P(O|\lambda)$ .  
Viterbi:  $O(TN^2)$
3. Найти  $\lambda$  для  $\max P(O|\lambda)$ .  
Baum-Welch: как повезет



# Недостатки алгоритма Баума-Велша

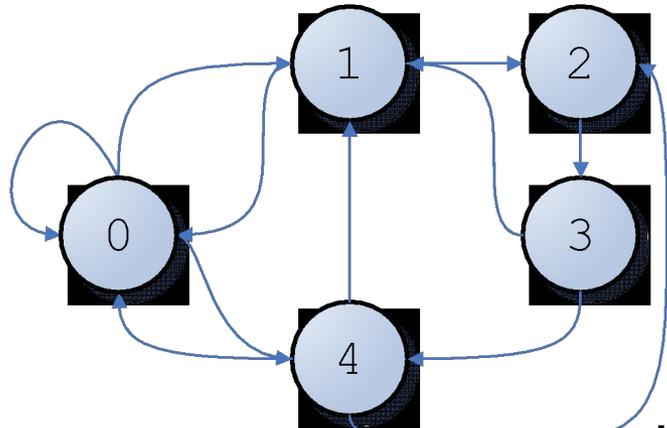
---

- Успешно применяется для решения актуальных задач – распознавание речи, предсказание структуры белка,...

Но имеются существенные **недостатки**:

- Поскольку алгоритм градиентного спуска – застревание в локальных экстремумах
- Как следствие – необходимость тщательного выбора начальных параметров

# Генетические алгоритмы для выбора начальных параметров



$$A = \begin{pmatrix} x & x & 0 & 0 & x \\ x & 0 & x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x & 0 \\ 0 & x & 0 & 0 & x \\ x & x & x & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Поиск структуры графа – **переходов с ненулевой вероятностью** – с помощью генетических алгоритмов.

*Won K., Hamelryck T., Prugel-Bennett A., Krogh A. Evolving Hidden Markov Models for Protein Secondary Structure Prediction / Proceedings of the IEEE. 2005.*

# Предлагается выяснить когда *VW* алгоритм не работает без ГА и на сколько эффективно применение ГА в этом случае.

«Сильно детерминированные» модели

«Детерминированная» монетка:



- Человек разумный:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \pi = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

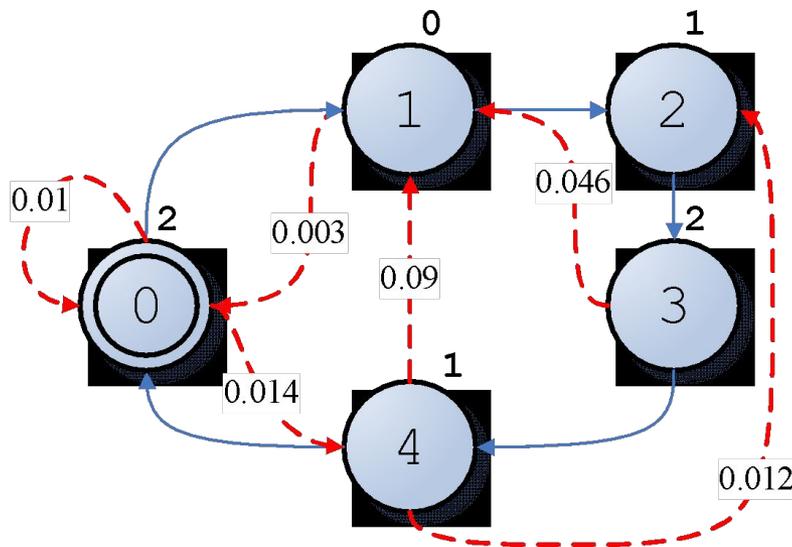
- Алгоритм Баума-Велша:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}, \pi = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \end{pmatrix} \Rightarrow A = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0.43 & 0.57 \\ 0.43 & 0.57 \end{pmatrix}, \pi = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

Для данного примера можно все поправить, но в общем случае не понятно, как это сделать.

# «Сильно детерминированные» модели. Гипотеза и проверка

- Основное наблюдение, **не отмеченное ранее** – чем более «детерминирована» матрица переходов, тем хуже работает *BW*. Тем важнее использовать генетические алгоритмы.



$$A = \begin{pmatrix} 0.01 & 0.976 & 0 & 0 & 0.014 \\ 0.003 & 0 & 0.097 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.046 & 0 & 0 & 0.954 \\ 0.908 & 0.09 & 0.012 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

# Проверка гипотезы. Построение модели максимального правдоподобия

---

- Один переход с большой вероятностью и не более двух – с малой. Граф связан.
- $N = 12, M = 3$ , чтобы задача была сложной: пространство поиска  $(N^2/2)^N \approx 2 \cdot 10^{22}$
- Набор из 10 входных последовательностей
- Длина каждой – 200 элементов
- Несколько десятков экспериментов

# Типичный пример. Сравнение с алгоритмом случайного поиска

---

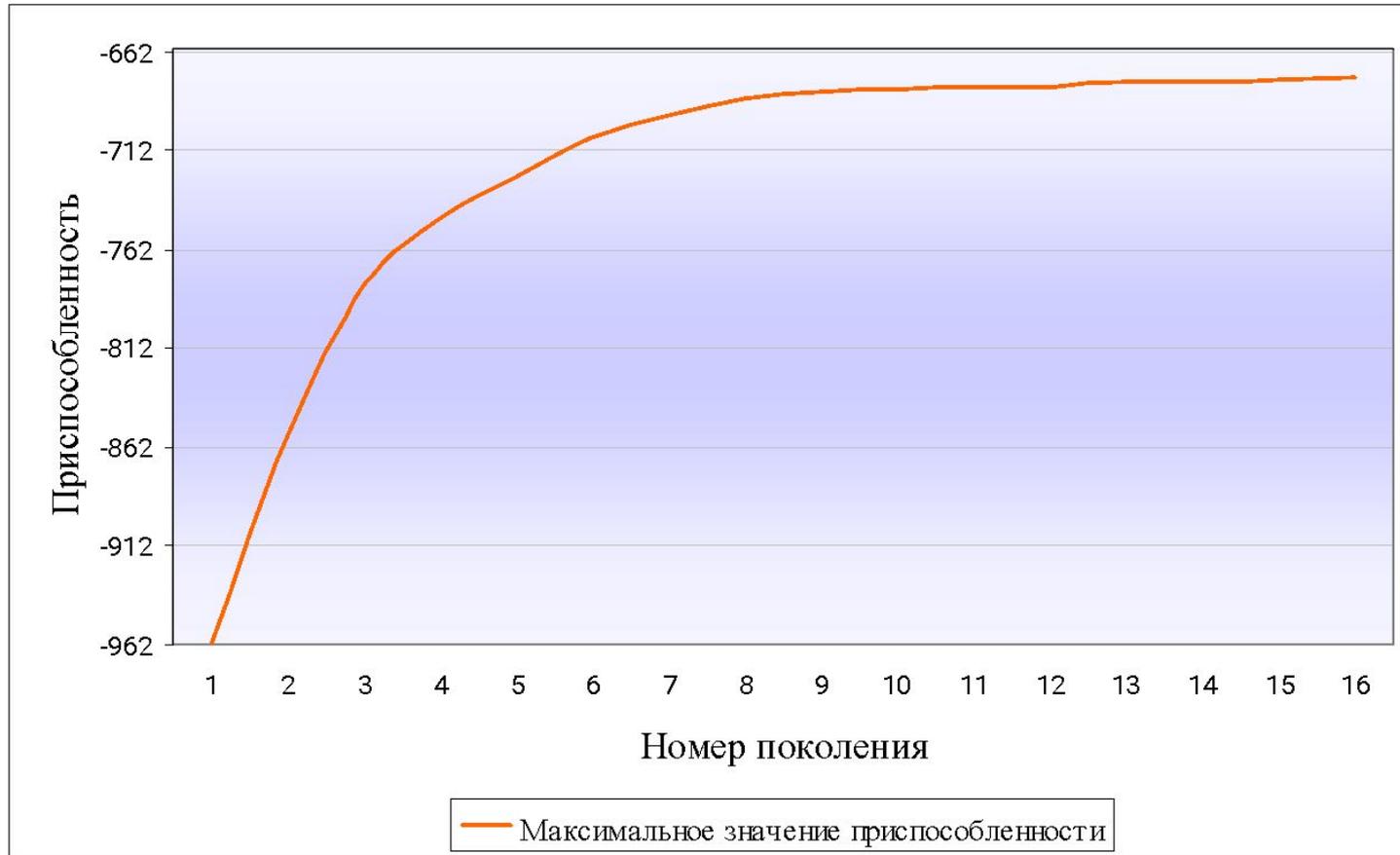
$$\ln P(O | \lambda) = \ln \prod_{i=1}^K P(O^{(i)} | \lambda) = \sum_{i=1}^K \ln P(O^{(i)} | \lambda)$$

- Исходная модель: -690
- Оптимизированная модель: -678
- Рассматриваемый метод: **-675**

Может быть задача *не сложна?*

- Два алгоритма случайного поиска: -824

# Ход эволюции



# Есть ли практическая польза? Поиск ошибок в автоматах с помощью скрытых марковских моделей

---

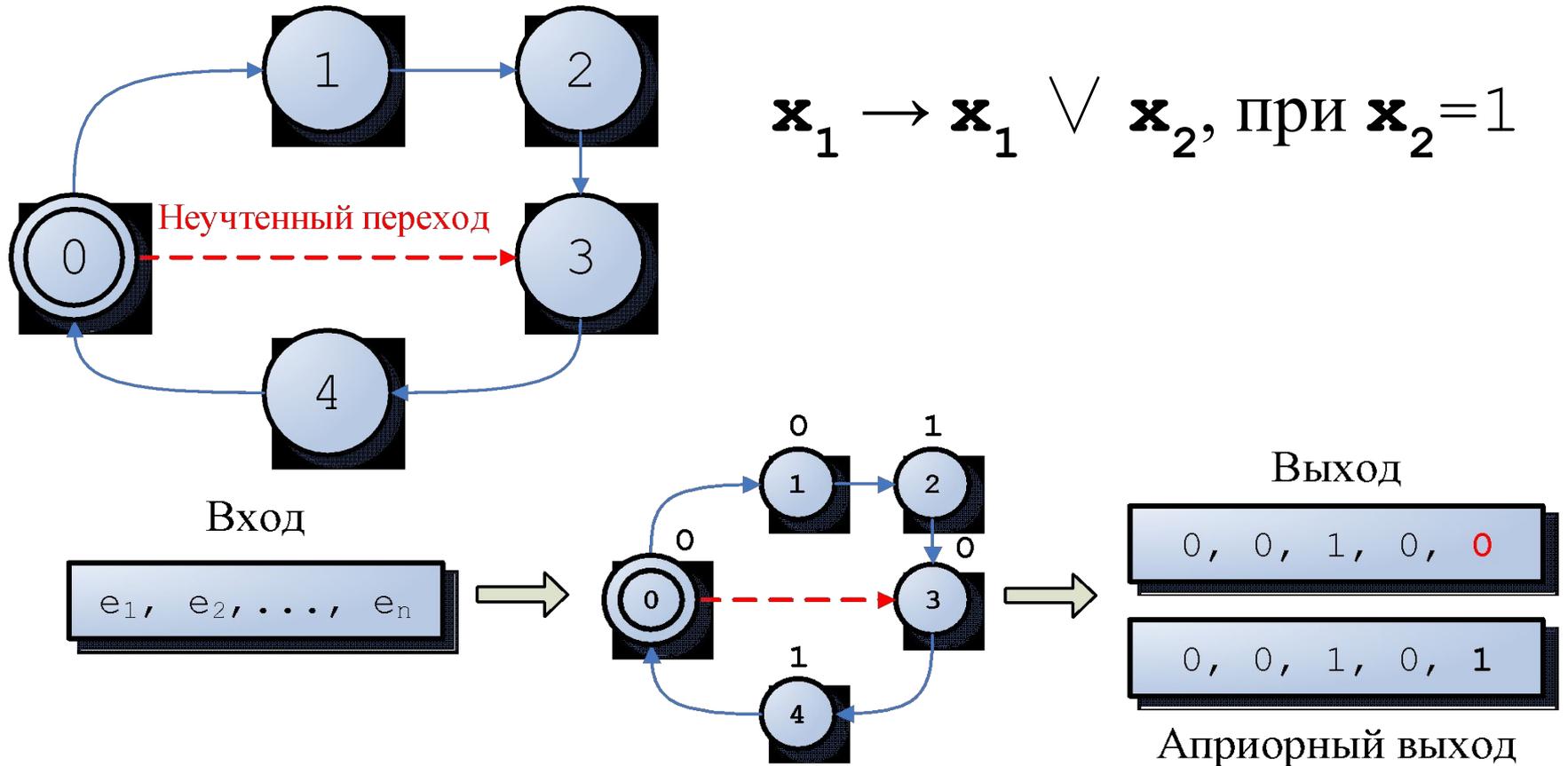
Методы:

- Верификация
- **Тестирование**

Преимущества предлагаемого метода:

- не требует изменения структуры автомата
- не требует добавления отладочной информации

# Тип ошибок – неучтенные переходы между состояниями



# Результаты по первой части

---

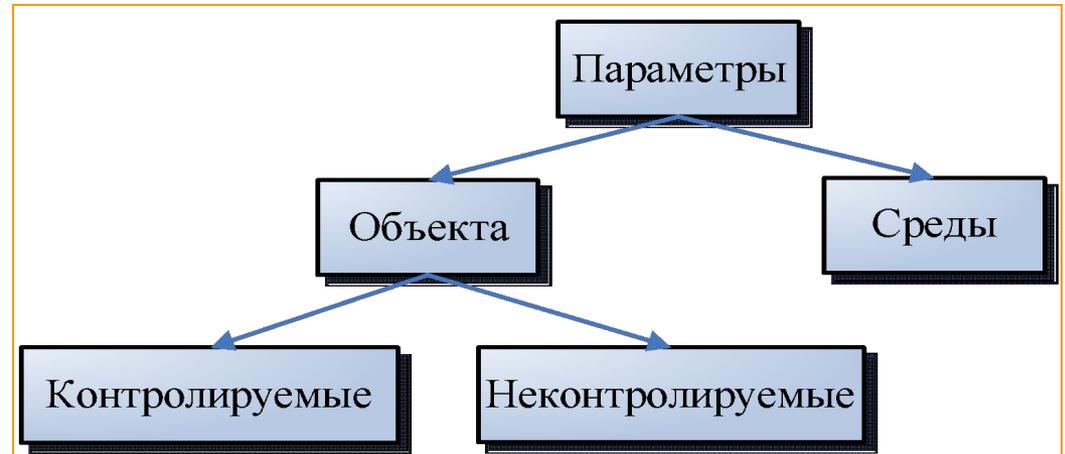
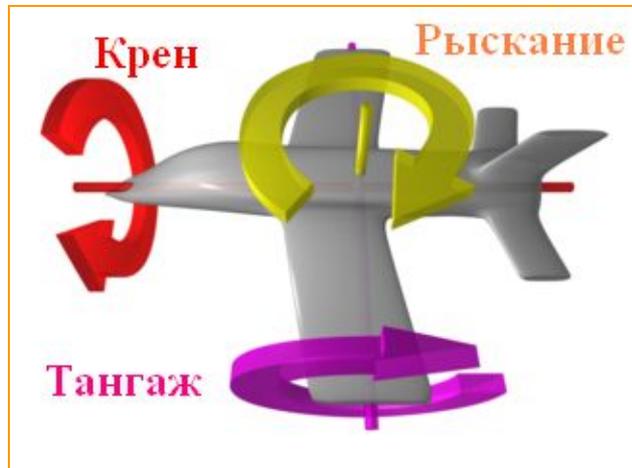
1. Эмпирически установлена неприменимость *VW* алгоритма при построении моделей максимального правдоподобия некоторого класса *HMM*
2. Для указанного класса показана эффективность метода построения модели максимального правдоподобия, основанного на использовании генетических алгоритмов
3. Предложена и решена задача поиска ошибок одного типа в автоматах

# Решение нетривиальных задач управления. Примеры и актуальность.

---

- Беспилотным летательным аппаратом
- Наземным средством передвижения
- Различными системами этих средств (двигателем, системой стабилизации)
- Бытовыми устройствами (лифтом, телевизором)
- Транспортными потоками
- Виртуальными объектами в играх и моделях (танком в игре *Robocode*, футболистами в виртуальном футболе)

# Описание задачи



- Параметры изменяются во времени – **фазовая кривая**.
- **Функция оценки качества** решения задачи управления по фазовой кривой возвращает вещественное число.
- **Задача управления** состоит в том, чтобы, изменяя значения контролируемых параметров, получить фазовую кривую с максимальным качеством решения.

# Формальная постановка задачи

- Выделим  $n$  существенных для задачи управления вещественных параметров
- Множество значений, принимаемых данными параметрами –  $Q = \mathbb{R}^n$
- Временной интервал разбит на  $T$  мин. интервалов
- Фазовая кривая  $\varphi$  – элемент  $Q^T$ , на момент  $t$ :  $\varphi_t$
- Качество управления – функция  $g: Q^T \rightarrow \mathbb{R}$
- Функция управления –  $f = [f_1, f_2, \dots, f_T]^T$ ,  $f_t: Q^t \rightarrow \mathbb{R}^m$
- Вспомогательная функция  $F = [F_1, F_2, \dots, F_T]^T$ ,  $F_t: Q^t \rightarrow \mathbb{R}^n$
- Начальные условия  $\varphi_0$  – элемент  $\mathbb{R}^n$
- Задача управления –  $\max_f g(\varphi)$

# Проблемы, возникающие при решении задачи

---

- Зависимости между параметрами сложны. Задаются функцией  $h$  в неявном виде системой дифференциальных уравнений. Сложно решить аналитически.
- Сложно найти вектор  $f = [f_1, f_2, \dots, f_T]^T$ , так как он содержит большое число координат. Двухчасовой полет с интервалом 1 секунда – 7200 координат.
- Каждая из координат вектора  $f$  – функция большого числа аргументов. Всего 10 параметров, на 85-ой минуте область определения –  $\mathbb{R}^{85 \cdot 60 \cdot 10}$

# Автоматный подход

---

- При решении задачи управления часто можно выделить состояния, в которых может находиться объект управления
- Количество *различных* координат функции управления полагается равным количеству состояний автомата
- Координата функции управления управляет объектом исходя только из значений параметров в настоящий момент времени

# Недостатки автоматного подхода

---

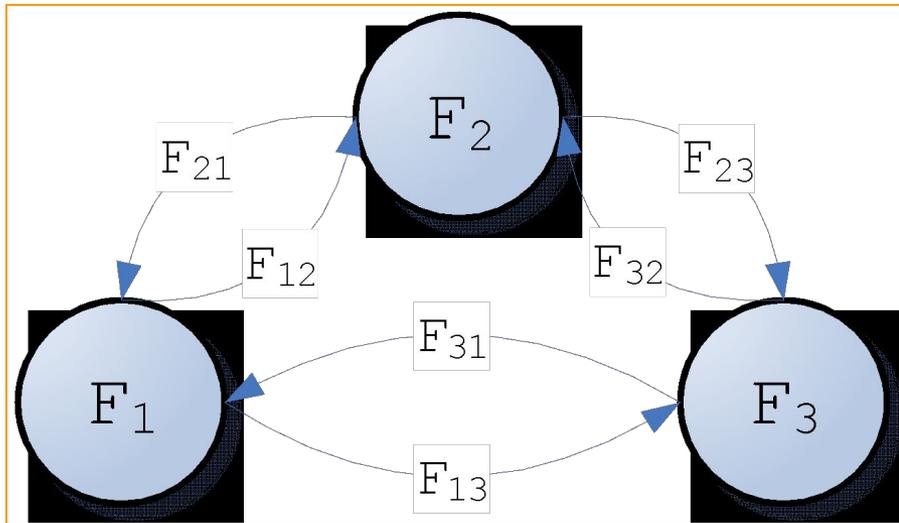
- Задача **эвристического** определения *конечного* множества воздействий трудна
- Сложность **эвристического** выбора компромисса между числом воздействий и размером пространства, на котором решается задача управления
- Сложность **эвристического** построения графа переходов автомата, в частности, задания условий на переходах

# Предлагаемый метод. Основная идея – применение ГА для **автоматического** построения автомата

---

- **Метод** – программирование с экспрессией генов
- Решение задачи управления – автомат – **особь генетического алгоритма**. Необходимо выбрать способ кодирования
- **Функция приспособленности** ГА выражается через функцию  $g$  оценки качества решения. Определяется задачей
- **Генетические операции** (мутация, скрещивание, отбор) – стандартные для программирования с экспрессией генов

# Представление решения задачи управления в виде хромосомы



В состояниях:

$$f_{ij} : Q \rightarrow R$$

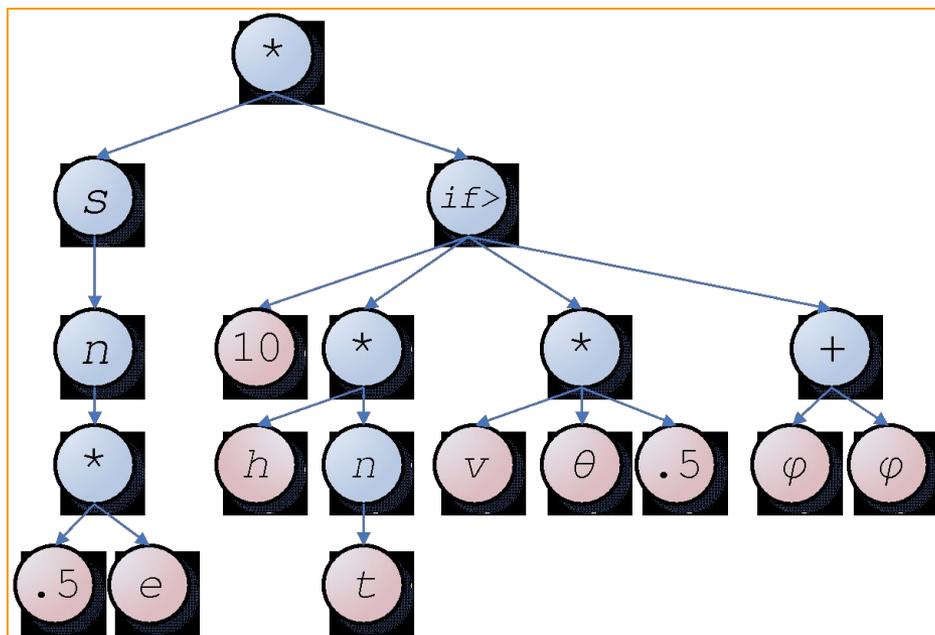
На переходах:

$$f_i : Q \rightarrow R^m$$

**Хромосома** – набор  $N \cdot (N-1) + m \cdot N$  функций, отображающих из  $Q$  в  $R$

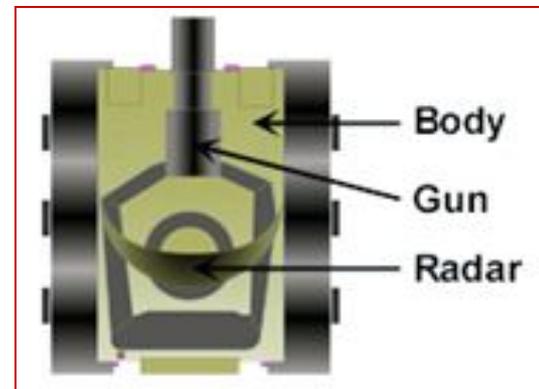
# Построение функции, отображающей из $\mathbb{R}^n$ в $\mathbb{R}$

- Функция – композиция базовых функции
- Набор базовых функций: достаточно полный, но не слишком избыточный



- Арифметические
- Показательные
- Логарифмические
- Тригонометрические
- Условные
- Вероятностные

# Апробация. Создание системы управления танком в игре *Robocode*



# Параметры

$$S' = \{ \langle x, y, dr, tr, w, dh, GH, h, d, e, E \rangle \}$$

---

- $x, y$  - координаты соперника относительно танка
- $dr$  - расстояние, которое осталось «доехать» танку
- $tr$  - угол, на который осталось повернуться танку
- $w$  - расстояние от танка до края поля
- $dh$  - угол между направлением на соперника и пушкой танка
- $GH$  - угол поворота пушки танка
- $h$  - направление движения соперника
- $d$  - расстояние между танком и соперником
- $e$  - энергия соперника
- $E$  - энергия танка

# Контролируемые параметры и базовые функции

---

- $g$  – угол поворота пушки
- $p$  – энергия снаряда
- $d$  – длина перемещения
- $h$  – угол поворота танка
  
- $+(x, y) = x + y, \quad ++(x, y, z) = x + y + z$
- $n(x) = -x, \quad *(x, y) = xy$
- $** (x, y, z) = xyz, \quad \min(x, y)$
- $if>(x, y, z, w) = x > y ? z : w$
- $s(x) = (1 + e^{-x})^{-1}$

# Результаты поединков (100 раундов)

Соперник	Счет
newCynic.Cynical	<b>10933</b> : 8108
sample.Walls	<b>9559</b> : 7240
sample.SpinBot	<b>11414</b> : 8556
sample.MyFirstRobot	<b>11964</b> : 5346
sample.Corners	<b>18086</b> : 2971
sample.Crazy	<b>10797</b> : 4278
sample.Fire	<b>17610</b> : 5500
sample.Tracker	<b>18642</b> : 4844
sample.TrackFire	<b>16269</b> : 9851
sample.Target	<b>17968</b> : 5
sample.RamFire	<b>18572</b> : 3089

# Заключение (результаты)

---

1. Эмпирически установлена неприменимость *VW* алгоритма при построении моделей максимального правдоподобия некоторого класса *HMM*
2. Для указанного класса показана эффективность метода построения модели максимального правдоподобия, основанного на использовании генетических алгоритмов
3. Предложена и решена задача поиска ошибок одного типа в автоматах
4. Предложен метод решения задач оптимального управления
5. Метод успешно опробован для построения системы управления танком в игре *Robocode*

# Публикации

---

- Государственный контракт: «Технология генетического программирования для генерации автоматов управления системами со сложным поведением»
- Труды V Межвузовской конференции молодых ученых, 2008
- Труды XII Всероссийской конференции «Фундаментальные исследования и инновации в технических Университетах», 2008
- IV международная конференции по проблемам управления, 2009
- XI Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям, 2008
- Конкурс грантов 2008 года для студентов и аспирантов ВУЗов и академических институтов
- XV Всероссийская научно-методическая конференция «Телематика'2008»
- На рецензию в журнал «Известия РАН. Теория и системы управления»

Спасибо за внимание!  
Вопросы...

---