Автоматное программирование

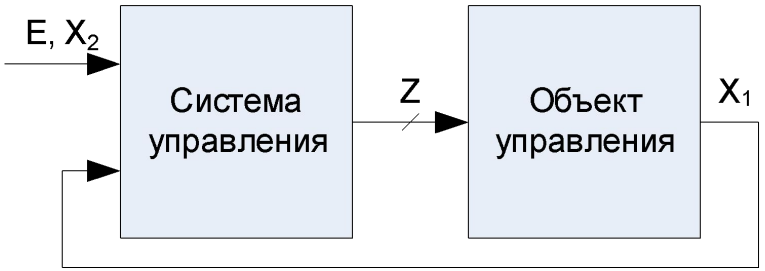
А.А. Шалыто

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

2007 г.

Автоматное программирование

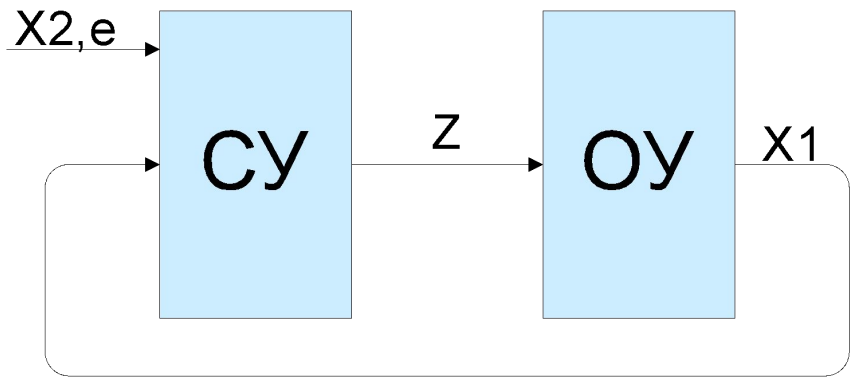
- Предложено мною в 1991 году
- Программные системы предлагается разрабатывать так же, как выполняется автоматизация технологических (и не только) процессов
- Система управления является системой взаимодействующих конечных автоматов



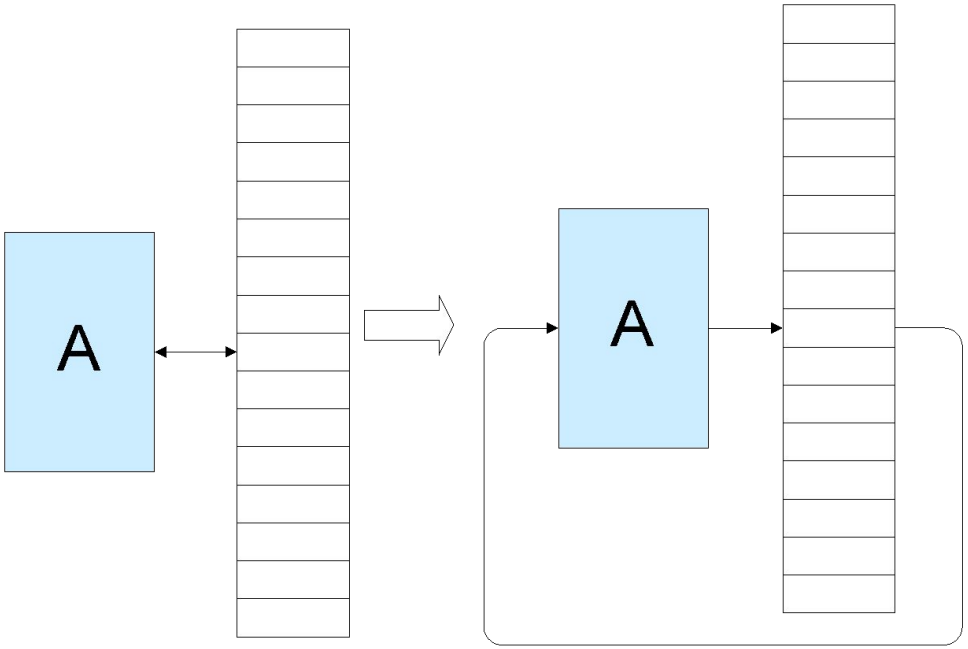
- Состояния
- События и входные переменные
- Выходные воздействия

- Конечный автомат
- Система конечных автоматов

Автоматное программирование

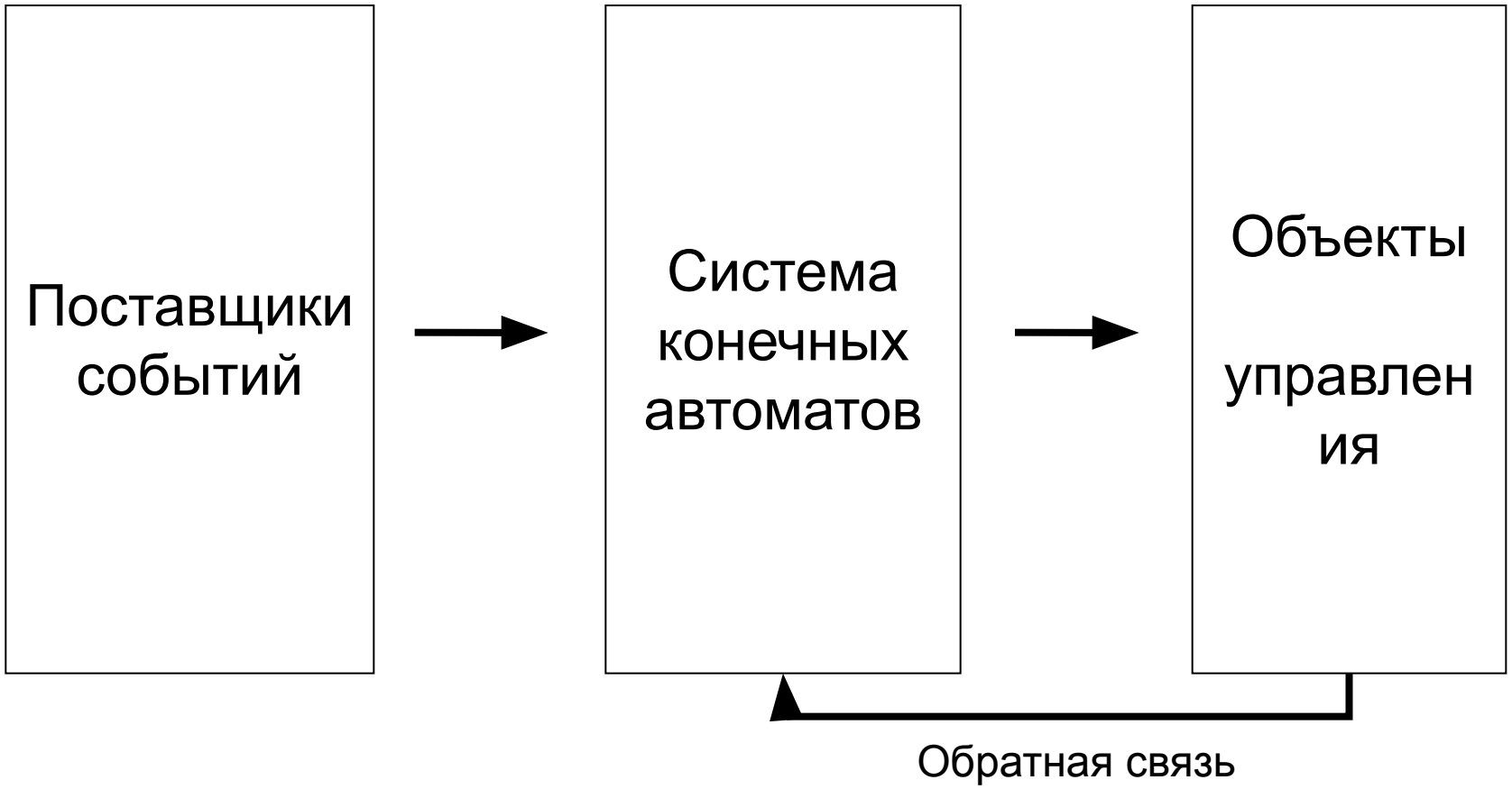


Система управления



Машина Тьюринга

Как строить программы?



Преимущества

- Обладает наибольшей эффективностью для систем со сложным поведением
- Формальное и понятное описание поведения
- Автоматическая генерация кода по диаграммам переходов
- Возможность верификации программ
- Проектная документация

Применение

- Программное обеспечение
  - Системы высокой надежности
    - Военные приложения
    - Аэрокосмическая индустрия
  - Встроенные системы
  - Мобильные системы
  - Визуализаторы
  - Web-приложения
  - Клиент-сервер приложения
- «Железо»
  - Микропроцессоры
  - Микроконтроллеры
  - Программируемые логические контроллеры
- Парадигмы
  - Процедурная
  - Объектно-ориентированная
  - Языки контроллеров
    - Лестничные схемы
    - Функциональные схемы

Инструментальное средство *UniMod* (1)

- Инструментальное средство для поддержки автоматного программирования
- Создано в рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002-2006 годы по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы»
- Критическая технология – «Технология производства программного обеспечения»
- Вошел в число 15 наиболее инновационно перспективных и социально значимых проектов Федерального агентства по науке и инновациям

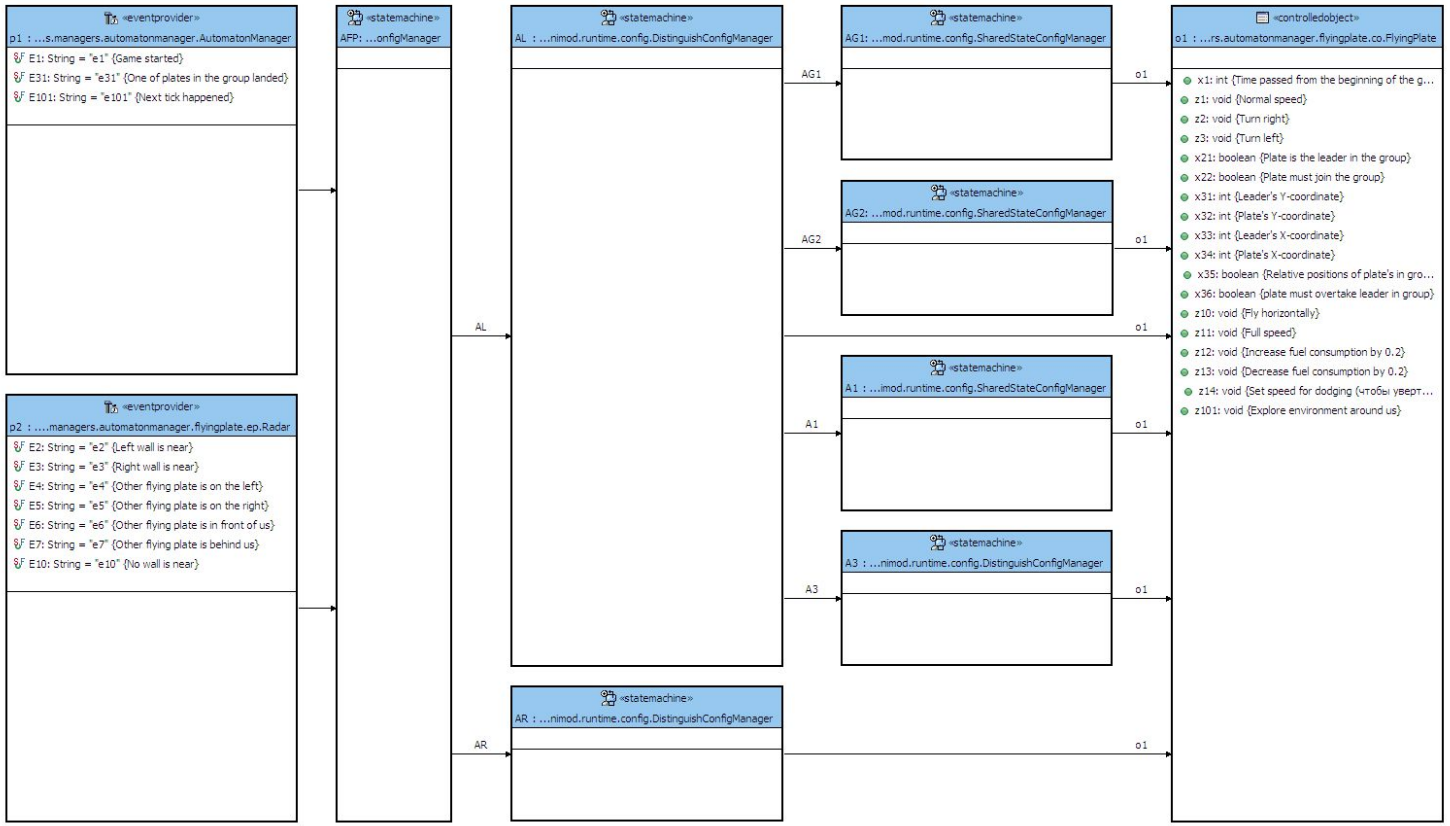
Инструментальное средство *UniMod* (2)

- Локальная и удаленная отладка диаграмм в терминах состояний
- Проверка формальных свойств диаграмм
- Интерпретируемый и компилируемый подходы
- Запись автоматов в нотации *UML*-диаграмм классов и состояний
- Встраиваемый редактор *UML*-диаграмм для платформы *Eclipse*
- Запуск диаграмм в «одно нажатие»

Инструментальное средство *UniMod* (3)

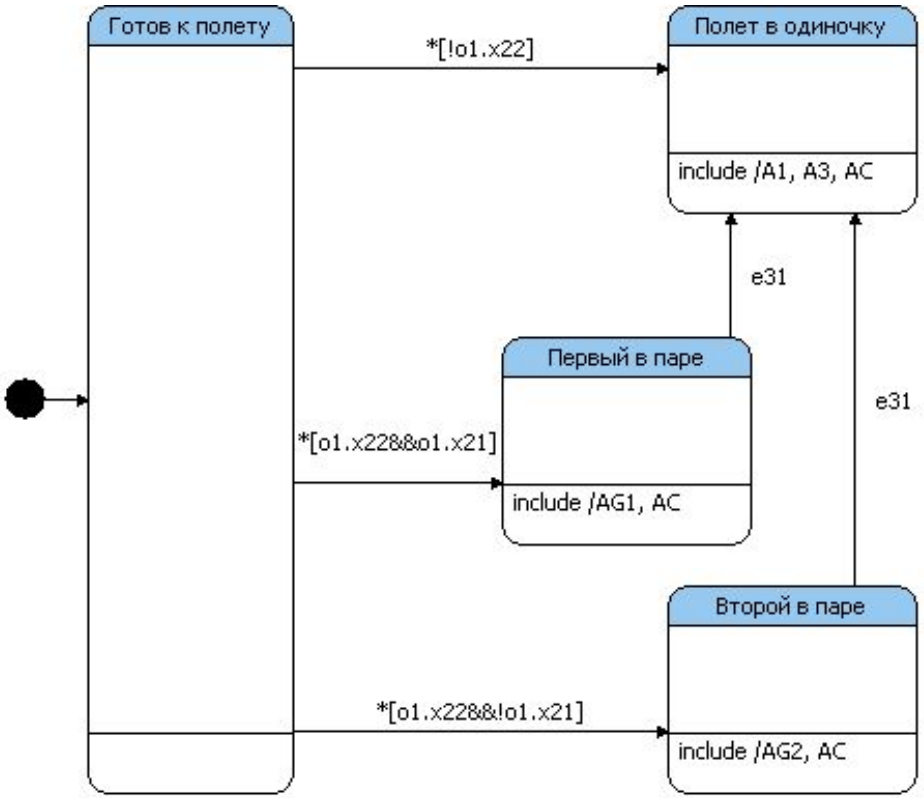
Семь автоматов

Вручную Автоматическая генерация Вручную



Инструментальное средство *UniMod* (4)

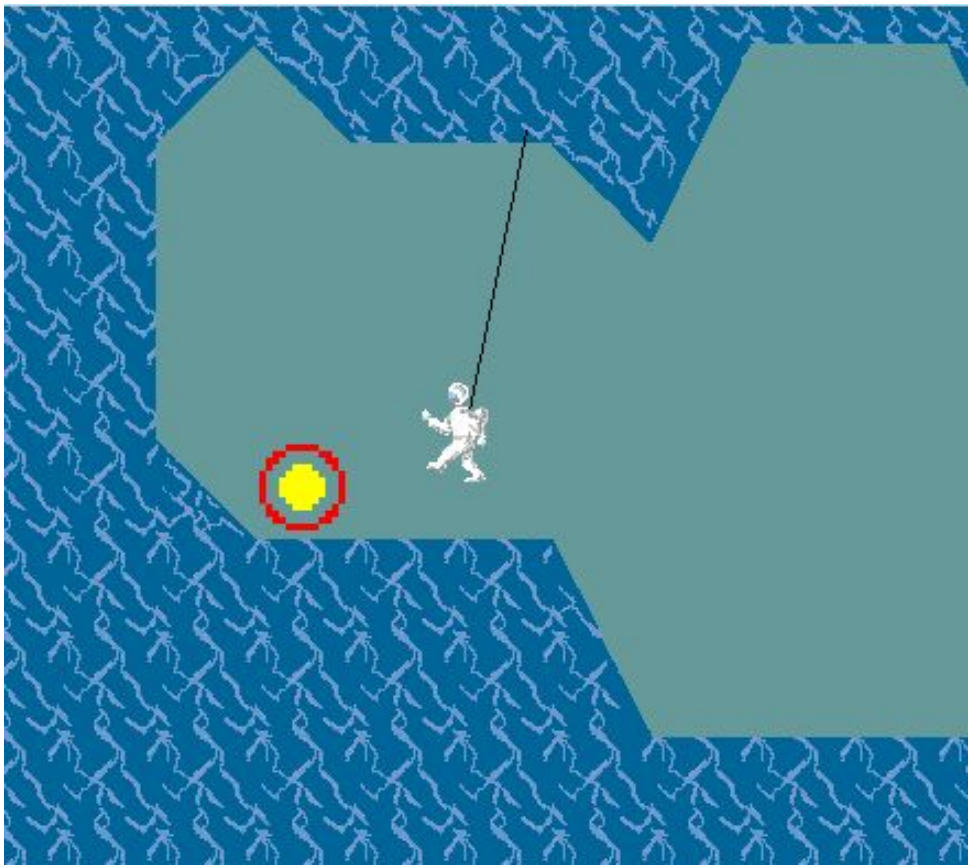
Один из автоматов – AL



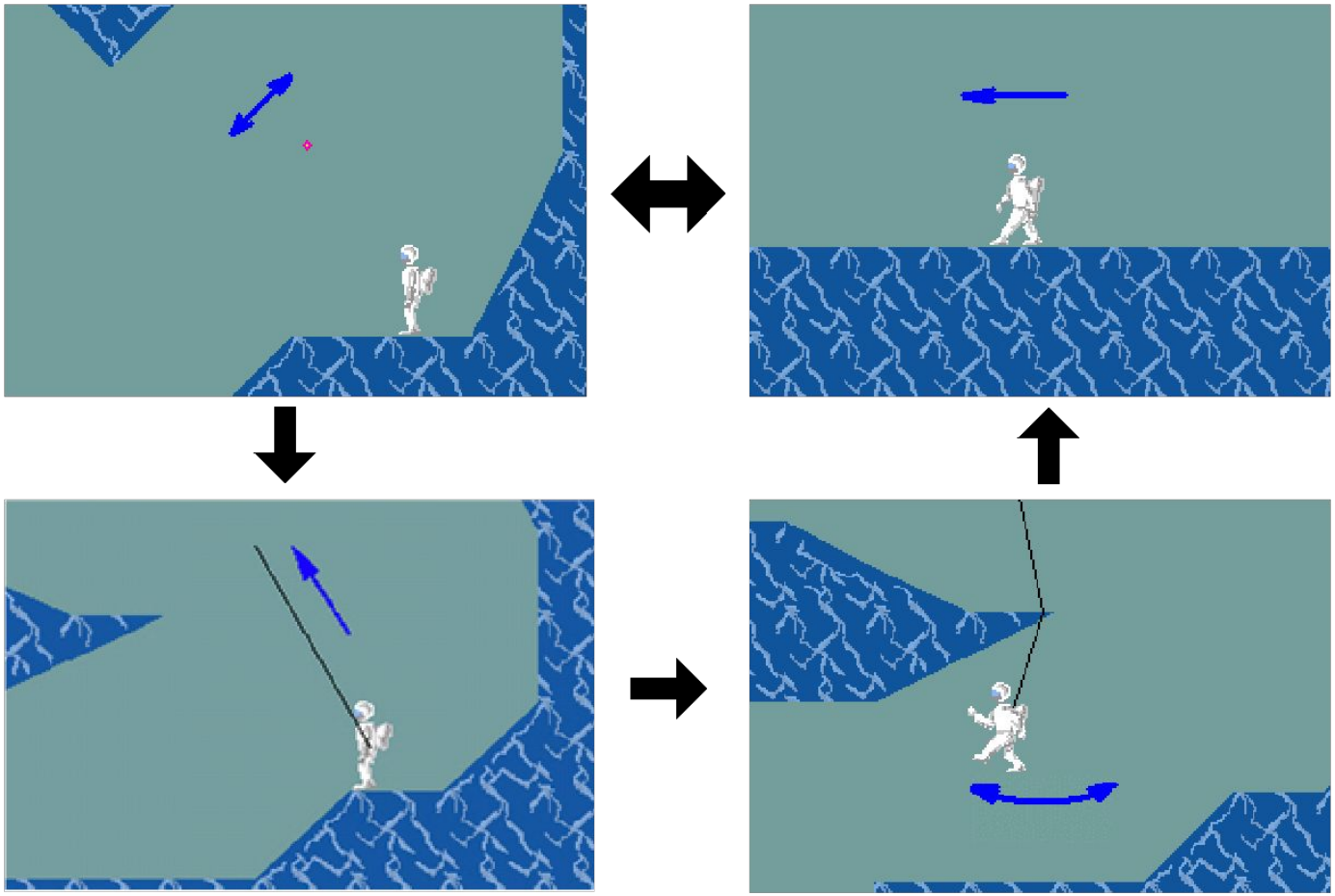
Движение за открытую проектную документацию

- Три задачи:
  - Повышается качество обучения – обучение на проектах
  - Создаются предпосылки для научной работы и отбор «ученых»
  - Совершенствуется технология автоматного программирования
- Создано более 100 студенческих проектов, содержащих не только программную часть, но и открытую проектную документацию
- Из них – 15 UniMod-проектов
- Проекты опубликованы на сайте http://is.ifmo.ru

Примеры. Игра «Космонавт» (1)

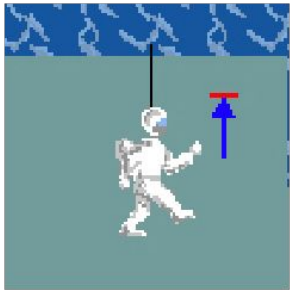
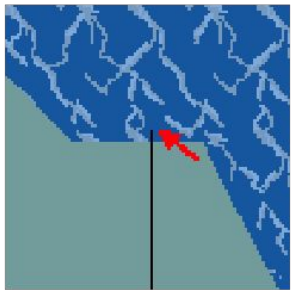
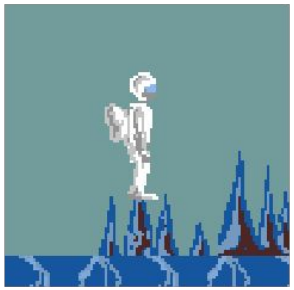
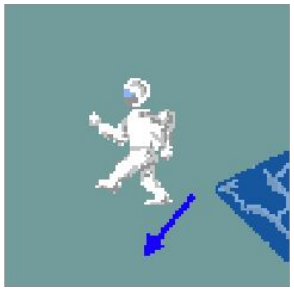


Примеры. Игра «Космонавт» (2)

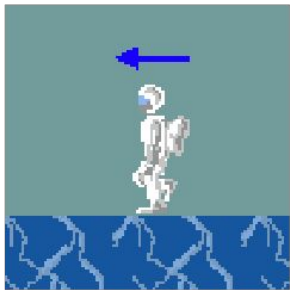
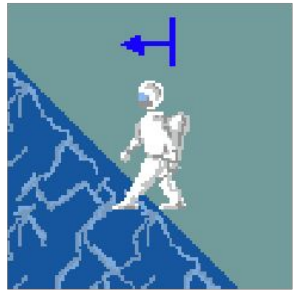
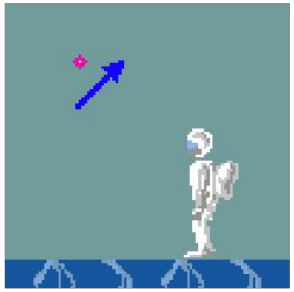
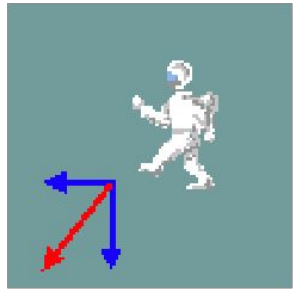


Примеры. Игра «Космонавт» (3)

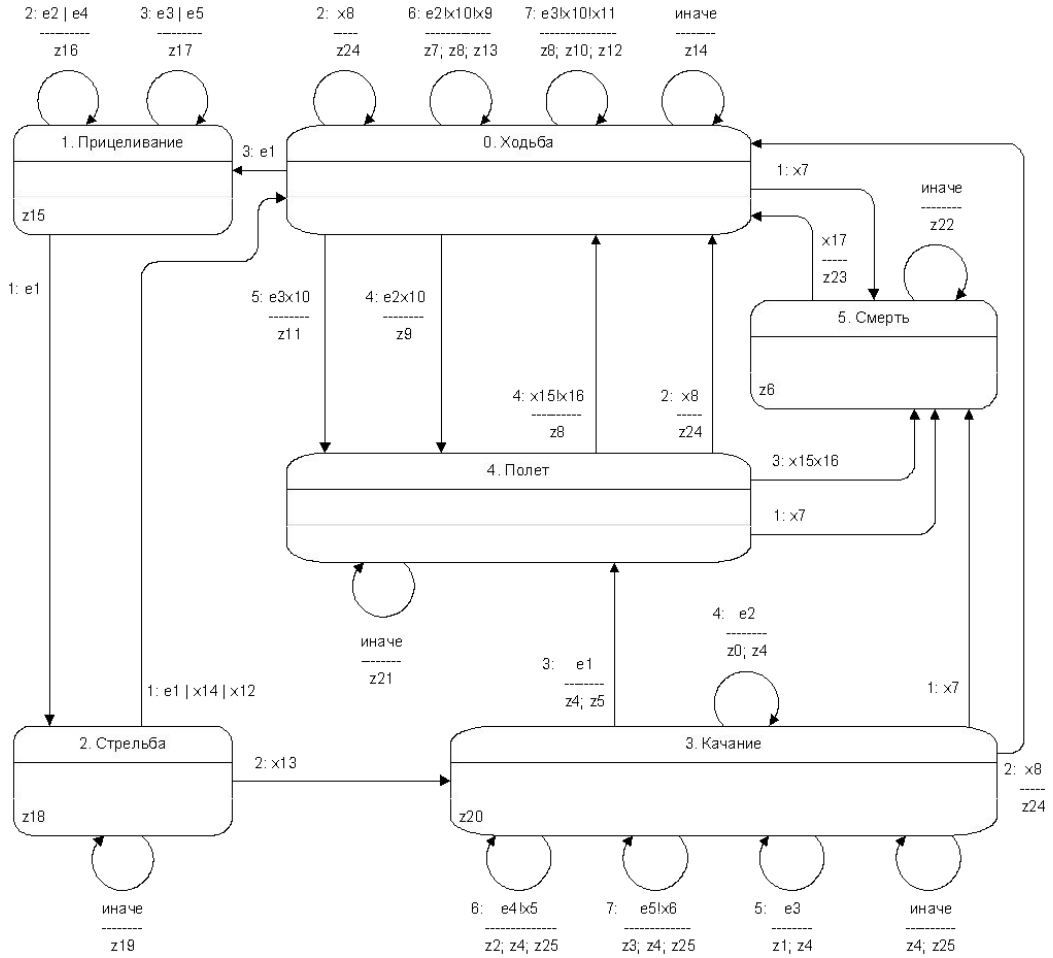
Входные воздействия

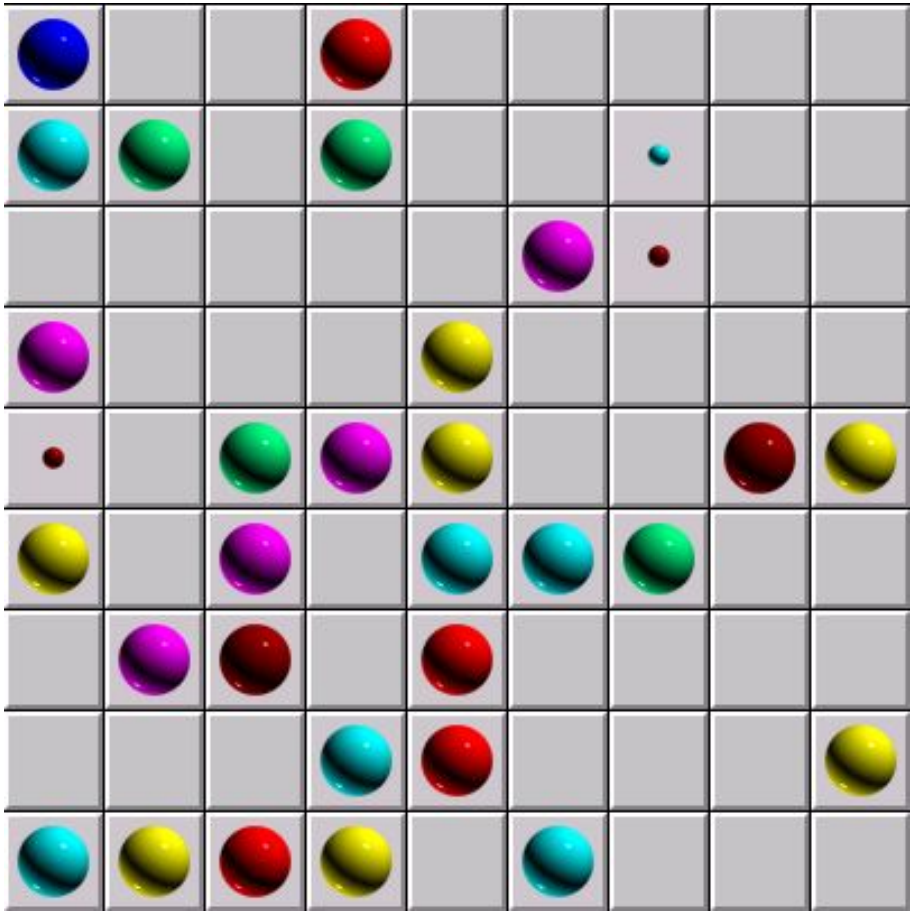
Выходные воздействия

Примеры. Игра «Космонавт» (4)

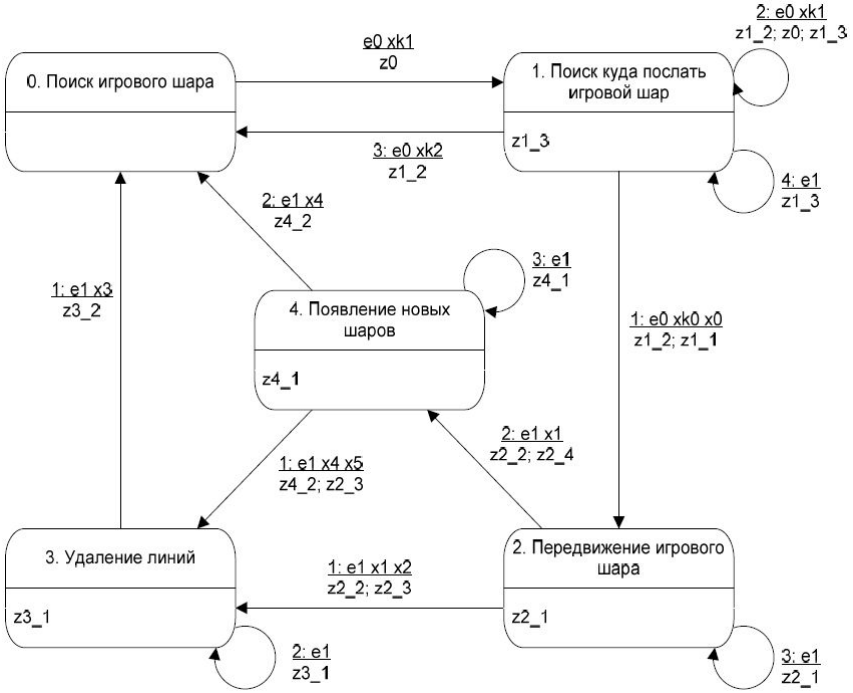


Примеры. Игра «Lines» (1)

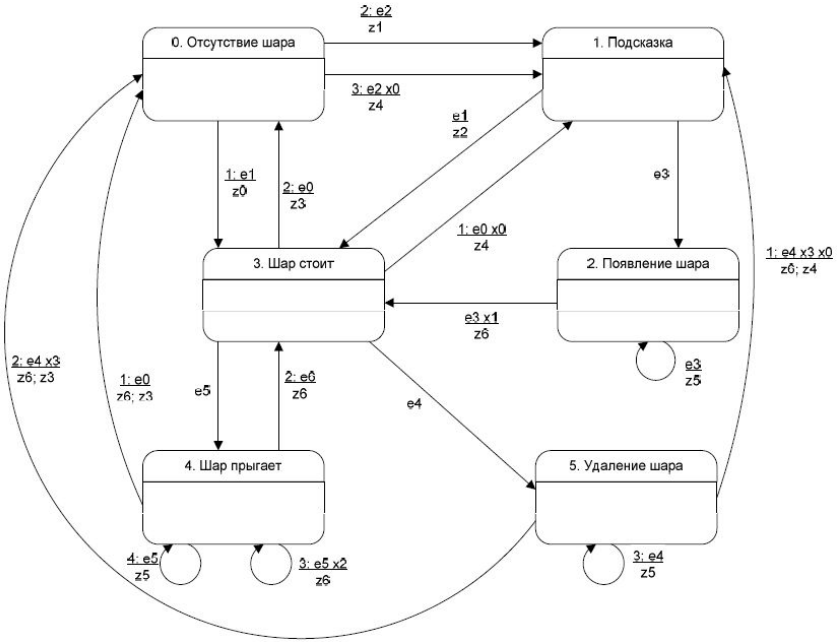


Примеры. Игра «Lines» (2)

Управление игрой



Управление клеткой



Новые направления в автоматном программировании

- В рамках Федеральной целевой программы «*Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы*»
- Технология генетического программирования для генерации автоматов управления системами со сложным поведением (шифр «2007-4-1.4-18-01-033»)
- Разработка технологии верификации управляющих программ со сложным поведением, построенных на основе автоматного подхода (шифр «2007-4-1.4-18-02-041)

Генерация автоматов и генетическое программирование

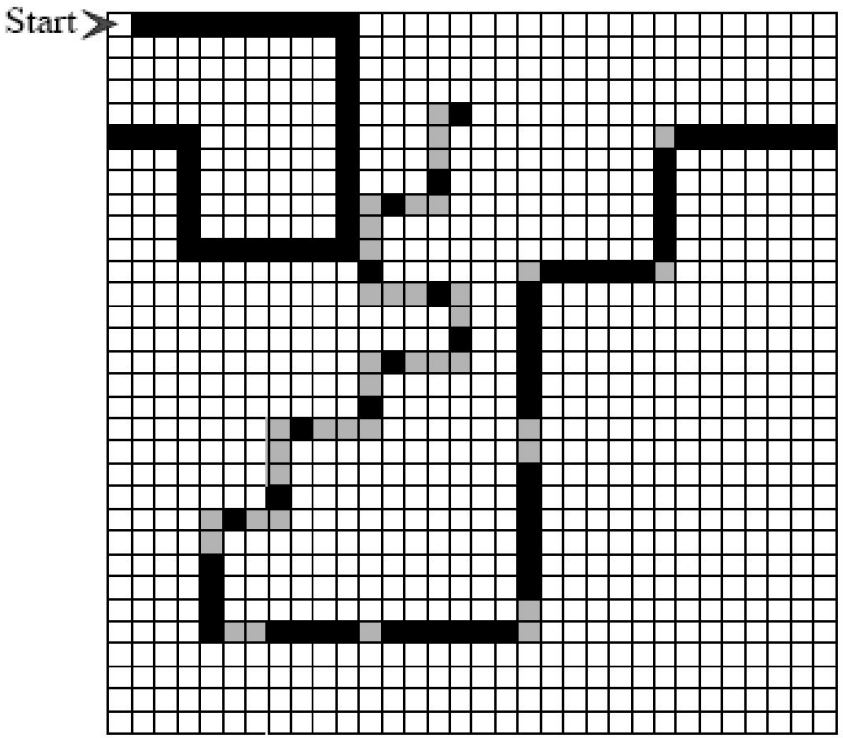
- Основная сложность в автоматном программировании – построение автоматов
- В большинстве случаев автоматы проектируются вручную
- Однако эвристическое построение автоматов часто затруднено или невозможно
- Решение – автоматическое построение конечных автоматов с помощью генетического программирования
- Это позволит повысить уровень автоматизации построения программ рассматриваемого класса
- Материалы – на сайте http://is.ifmo.ru (раздел «Генетические алгоритмы»)

Три рассматриваемые задачи

- «Простая» задача – задача об «Умном муравье»
- «Сложная» задача – задача «Беспилотные летательные объекты»
- «Народная» задача – «Разливочная линия»

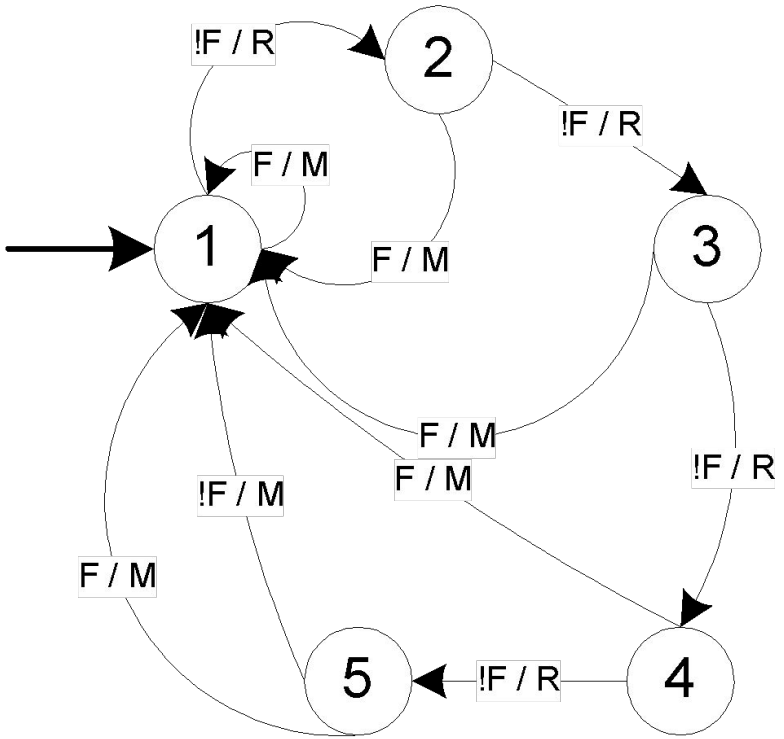
«Простая» задача – задача об «Умном муравье»

- Тор – 32x32
- 89 клеток с едой
- 200 ходов
- Расположение еды и начальная позиция муравья фиксированы
- Цель – создать муравья, который съест всю еду
- Муравей = конечный автомат



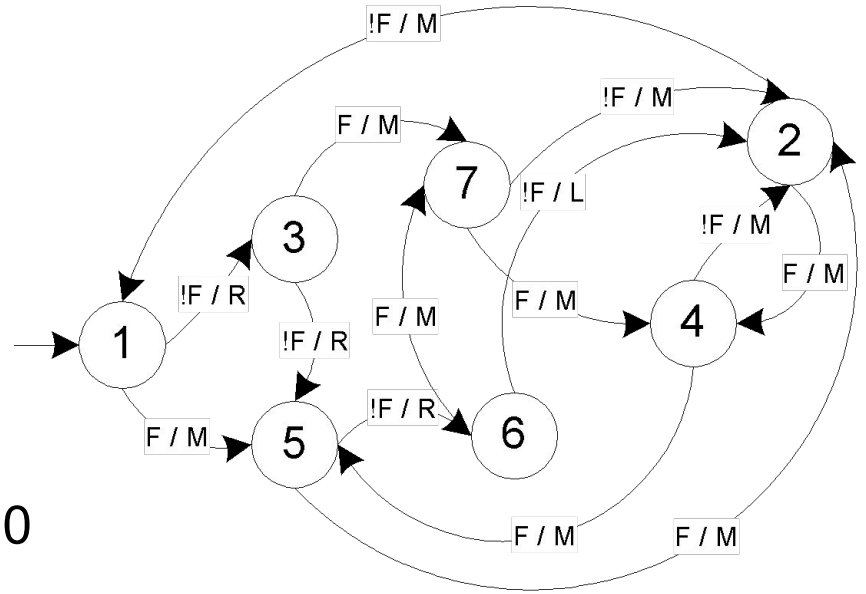
Эвристическое построение задачу не решает

- Пять состояний, за 200 ходов съедается 81 единица еды или все 89 единиц еды за 314 ходов



Решение «простой» задачи

- Известные подходы – кодирование битовыми строками + генетический алгоритм
- Известные решения:
  - 13 состояний (1992)
  - 11 состояний (1993)
  - 8 состояний (1999)
- Предлагаемый подход – генетическое программирование
- Построены два автомата с **7 состояниями** после генерации 160 и 250 млн. автоматов
- Полный перебор ~$3 \cdot 10^{18}$ автоматов

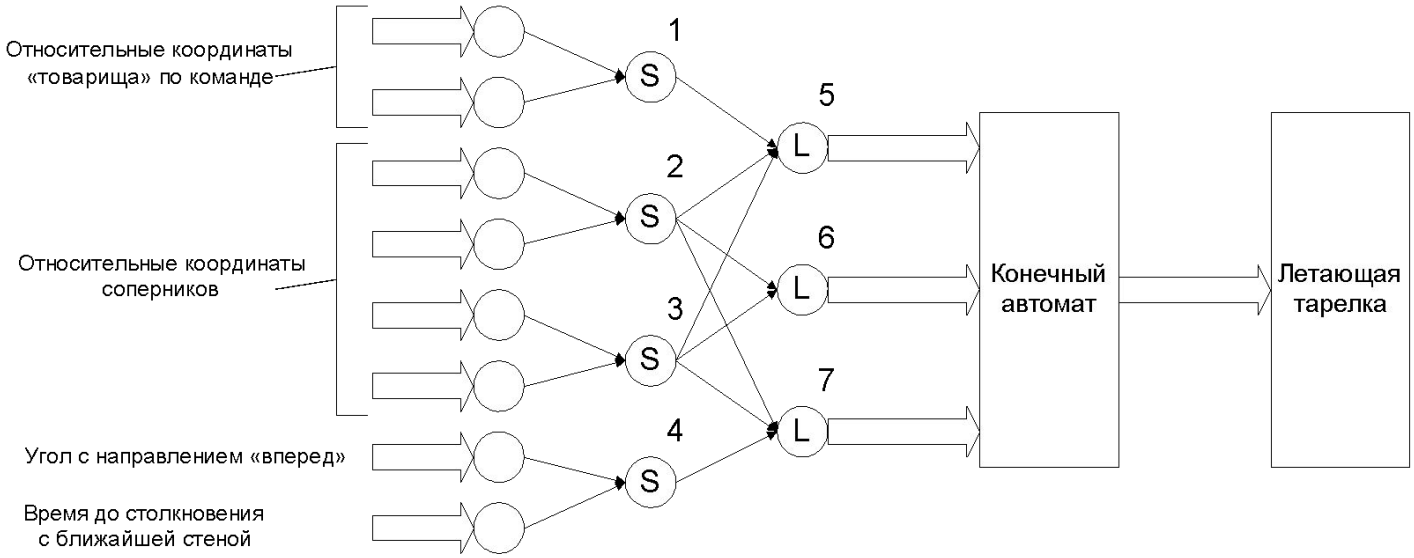


«Сложная» задача – задача «Беспилотные летательные объекты»

- Соревнование на дальность полета
- Две команды по восемь объектов
- Ограничения: запас топлива, столкновения, аэродинамическое взаимодействие
- Цель – разработка управляющей программы
- Задача заочного тура VI Открытой Всесибирской олимпиады по программированию (2005 год)
- Была решена при участии автора путем эвристического построения автоматов http://is.ifmo.ru/unimod-projects/plates/

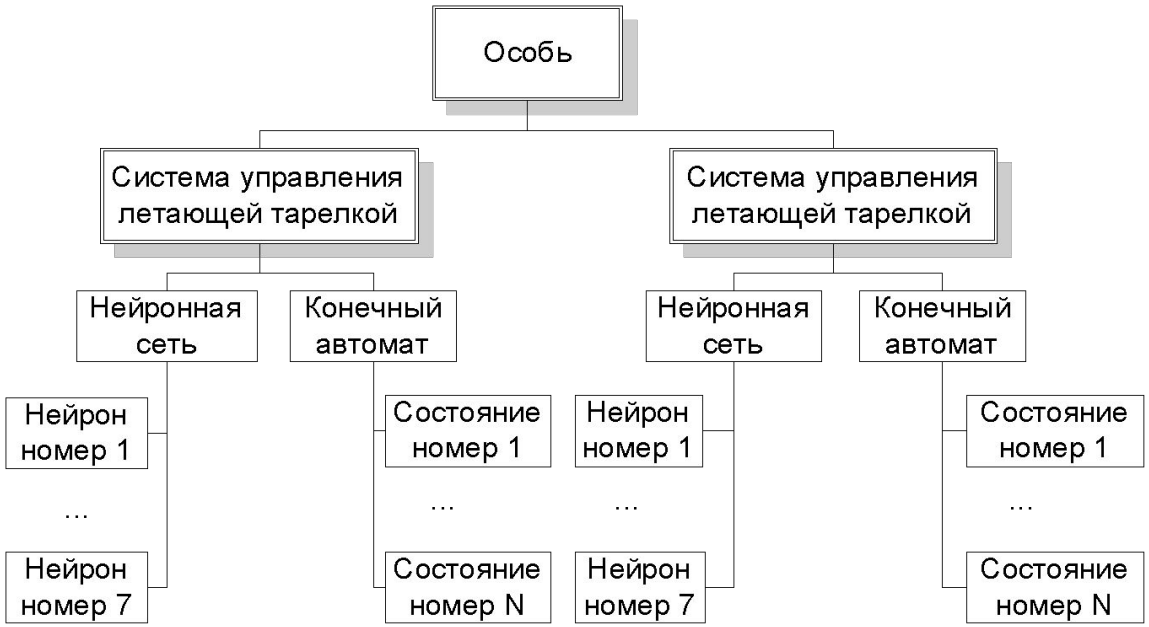
Решение (1)

- Система управления = нейронная сеть + конечный автомат
- Нейронная сеть преобразует вещественные входные переменные в логические



Решение (2)

- Особь = две системы управления беспилотным объектом
- Особь из двух систем – для учета взаимодействия объектов



Решение (3)

- Мутация особи
  - Мутация системы управления летательным объектом
    - Мутация нейронной сети
      - Мутация элемента сети
    - Мутация конечного автомата
      - Изменение начального состояния
      - Мутация перехода
- Скрещивание особей
  - Скрещивание систем управления летающей тарелкой
    - Скрещивание автоматов
    - Скрещивание нейронных сетей

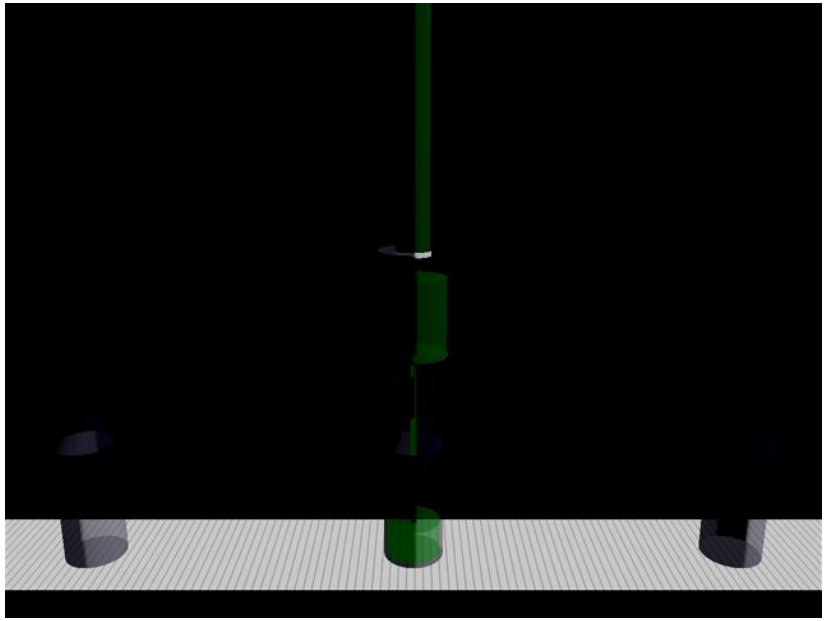
Результаты применения генетического программирования

- За сутки была построена управляющая система, содержащая нейронную сеть и один автомат с шестью состояниями (вместо семи автоматов с 21 состоянием)

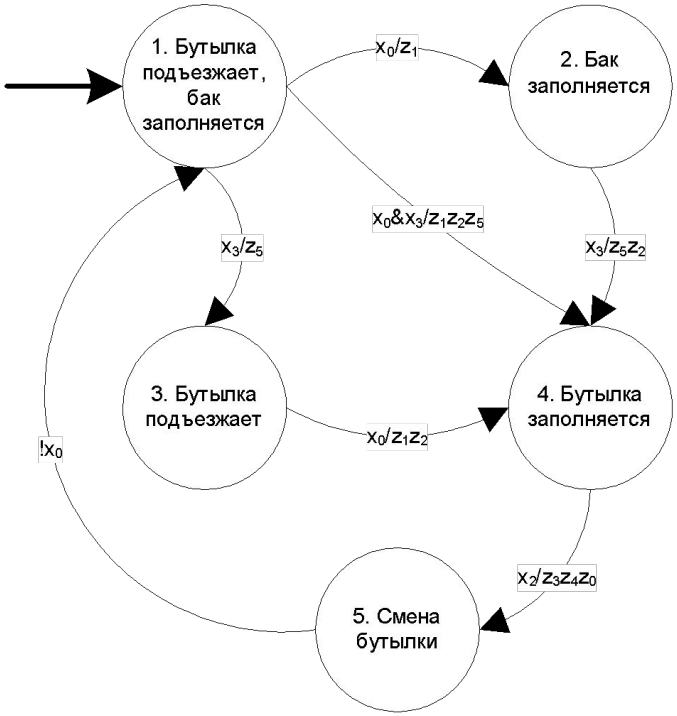
	Построенная с помощью ГП система	**Построенная вручную система**
Среднее	216,55	212,59
Минимум	203,05	203,44
Максимум	241,11	225,09

«Народная» задача – «Разливочная линия»

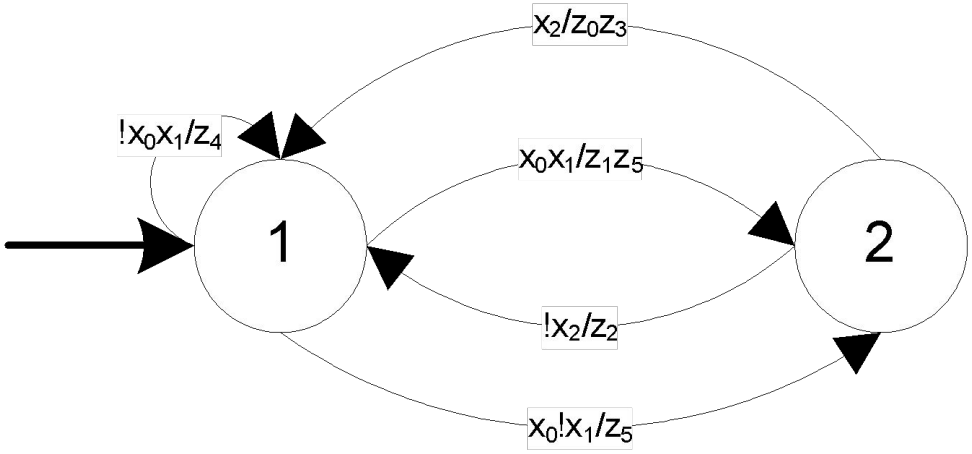
Задача: налить как можно больше бутылок за заданный промежуток времени



Решения «народной» задачи



Построен вручную



Построен автоматически

Три традиционных подхода к верификации программ

- Тестирование – ничего не доказывает
- Доказательства теорем – все доказывает, но практически нигде не используется
- Верификация на моделях – *Model Checking* (модель программы с конечным числом состояний и свойства программы в темпоральной логике)

Недостатки *Model Checking* для программ общего вида

- Не ясно, как построить модель
- Не ясно, как записать темпоральные свойства
- Не ясно, как перейти от модели к реальной программе в случае обнаружения ошибки

Верификация автоматных программ

- Так как поведение автоматных программ задается графами переходов конечных автоматов, то все три указанные проблемы для этого класса программ эффективно решаются
- Работы проводятся совместно с кафедрой «Теоретическая информатика» Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова
- Материалы – на сайте http://is.ifmo.ru (раздел «Верификация»)

Повышение качества программного обеспечения

- NASA (Открытые системы #03/2004)
  - Использование состояний
  - Генерация программ с помощью инструментального средства *Stateflow*
  - Верификатор *SPIN*
- СПбГУ ИТМО http://is.ifmo.ru
  - Использование состояний
  - Генерация программ с помощью инструментального средства *UniMod*
  - Верификаторы *SPIN* и *Bogor*

Надежда

- Есть области, в которых верификация необходима: авиация, управление ядерными реакторами
- Автор надеется, что в этих областях заказчики могут заставить программировать автоматно, если они поймут, что только такие программы можно формально верифицировать

Спасибо за внимание!

Спасибо за внимание!