

# О принципах построения обучаемой системы управления для интеллектуальных роботов на основе динамического ДСМ-метода



Добрынин Д.А.  
Руководитель Лаборатории  
робототехники и  
искусственного интеллекта  
Политехнического музея

**Робот** – это машина с антропоморфным (человекоподобным) поведением, которая частично или полностью выполняет функции человека (иногда животного) при взаимодействии с окружающим миром

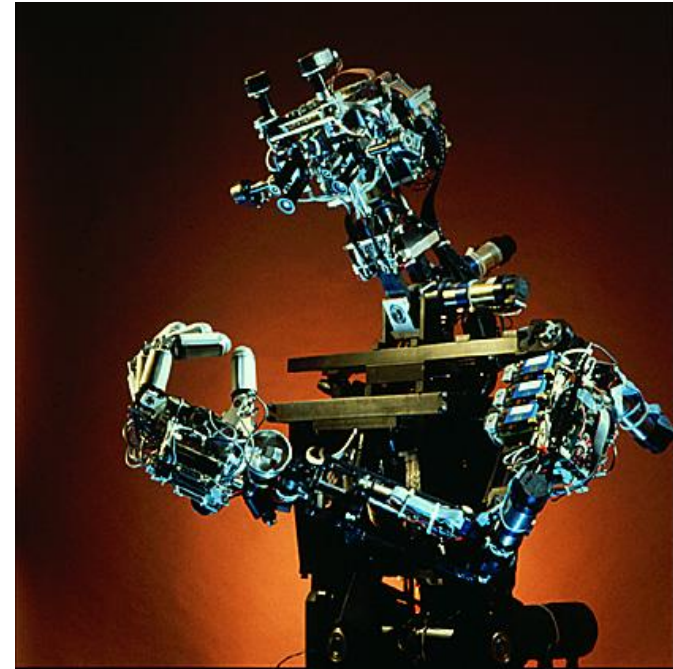


### 3 поколения роботов:

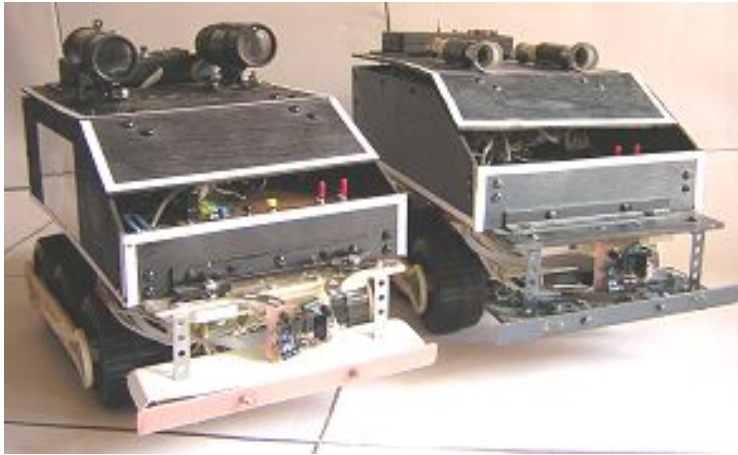
- **Программные**. Жестко заданная программа (циклограмма).
- **Адаптивные**. Возможность автоматически перепрограммироваться (адаптироваться) в зависимости от обстановки. Изначально задаются лишь основы программы действий.
- **Интеллектуальные**. Задание вводится в общей форме, а сам робот обладает возможностью принимать решения или планировать свои действия в распознаваемой им неопределенной или сложной обстановке.

# Архитектура интеллектуальных роботов

- Исполнительные органы
- Датчики
- Система управления
- Модель мира
- Система распознавания
- Система планирования действий
- Система выполнения действий
- Система управления целями



# Роботы «Амур»



Адаптивный

Мобильный

Универсальный

Робот

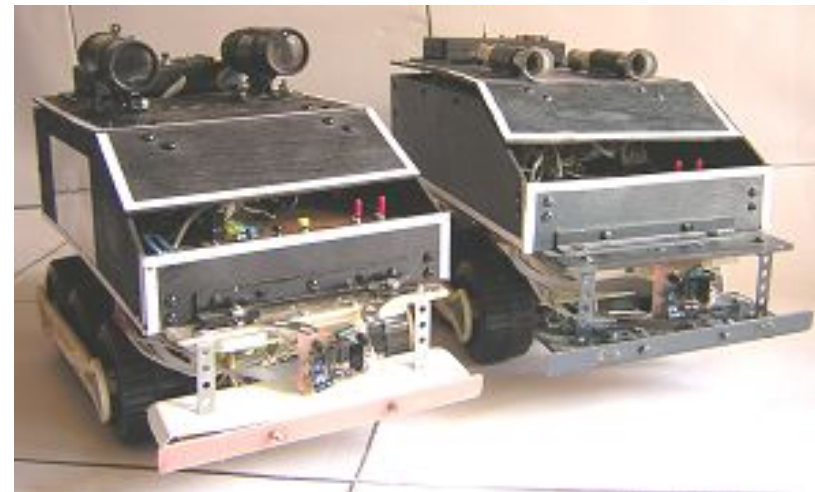
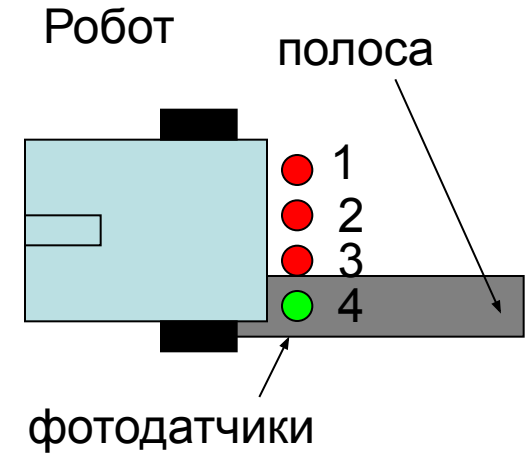
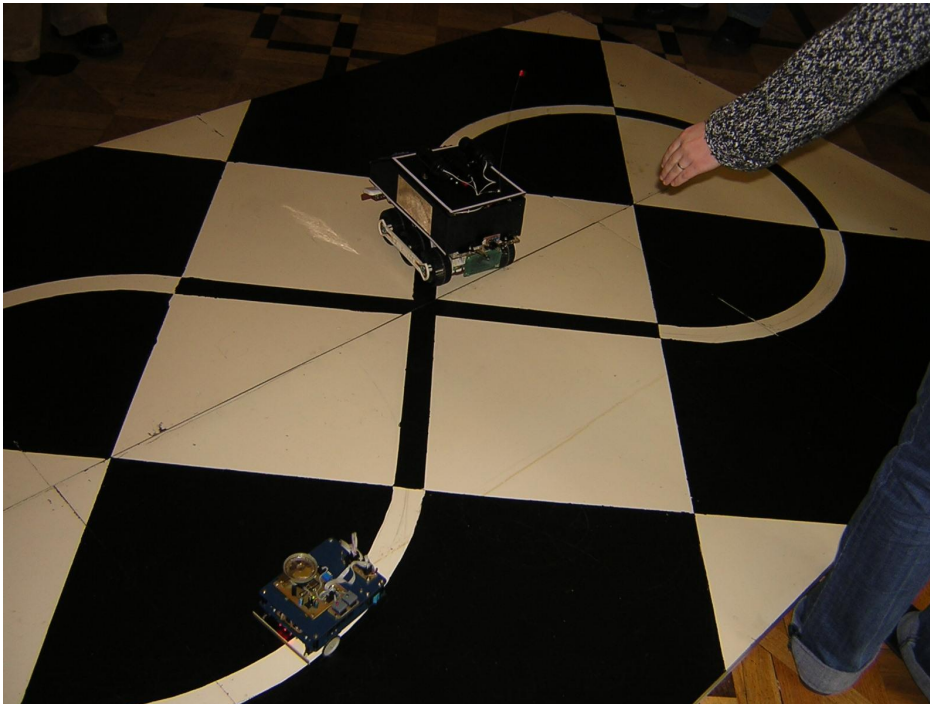
Созданы в Творческой научно-технической лаборатории Политехнического музея.

Целью проекта была демонстрация некоторых простейших форм адаптивного поведения, в частности - принципов моделирования условно-рефлекторного поведения, на базе универсального мобильного миниробота. Робот представляет собой автономную тележку, имеющую на борту программируемый контроллер, набор различных датчиков, исполнительные механизмы (эффекторы), модули связи с управляющим компьютером. Робот построен по модульному принципу, что позволяет использовать его компоненты и для других разработок. Именно поэтому робот стал рассматриваться как универсальный полигон, на котором можно отрабатывать решение самых разнообразных управленческих, интеллектуальных и прочих интересных задач.

# Задача – движение по полосе

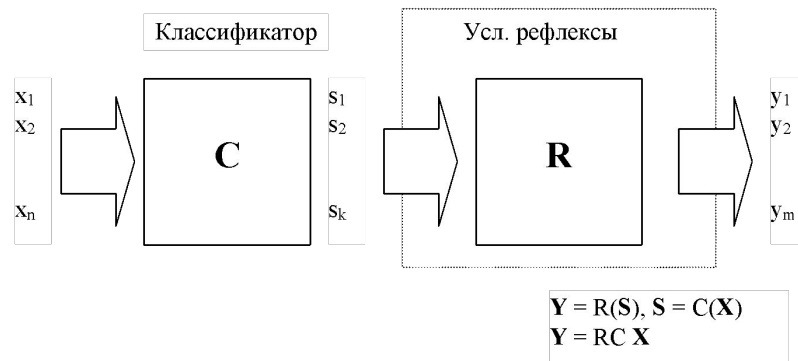
*Добрынин Д.А., Карпов В.Э.*

Моделирование некоторых форм адаптивного поведения интеллектуальных роботов.//  
Информационные технологии и вычислительные системы, Москва, №2, 2006.



роботы АМУР

# Адаптивный классификатор



Типы классификаторов:

-Распознающий автомат (на основе эволюционного моделирования)

размерность алфавита  $\dim X = 2^n$

-Динамический ДСМ-метод (работает в открытой среде с неизвестным заранее количеством примеров )



# ДСМ = Джон Стюарт Миль

ДСМ-метод автоматического порождения гипотез получил свое название в честь известного британского философа и экономиста Джона Стюарта Милля. В 1843г. вышла его книга “A System of Logic Ratiocinative and Inductive”, в которой были изложены некоторые принципы индуктивной логики. Новый подход к индуктивной логике был сформулирован профессором В.К. Финном в начале 80-х гг. Первая публикация, в которой были изложены принципы ДСМ - метода, называлась «Базы данных с неполной информацией и новый метод автоматического порождения гипотез», Суздаль, 1981г.

ДСМ-метод автоматического порождения гипотез является теорией автоматизированных рассуждений и способом представления знаний для решения задач прогнозирования в условиях неполноты информации.



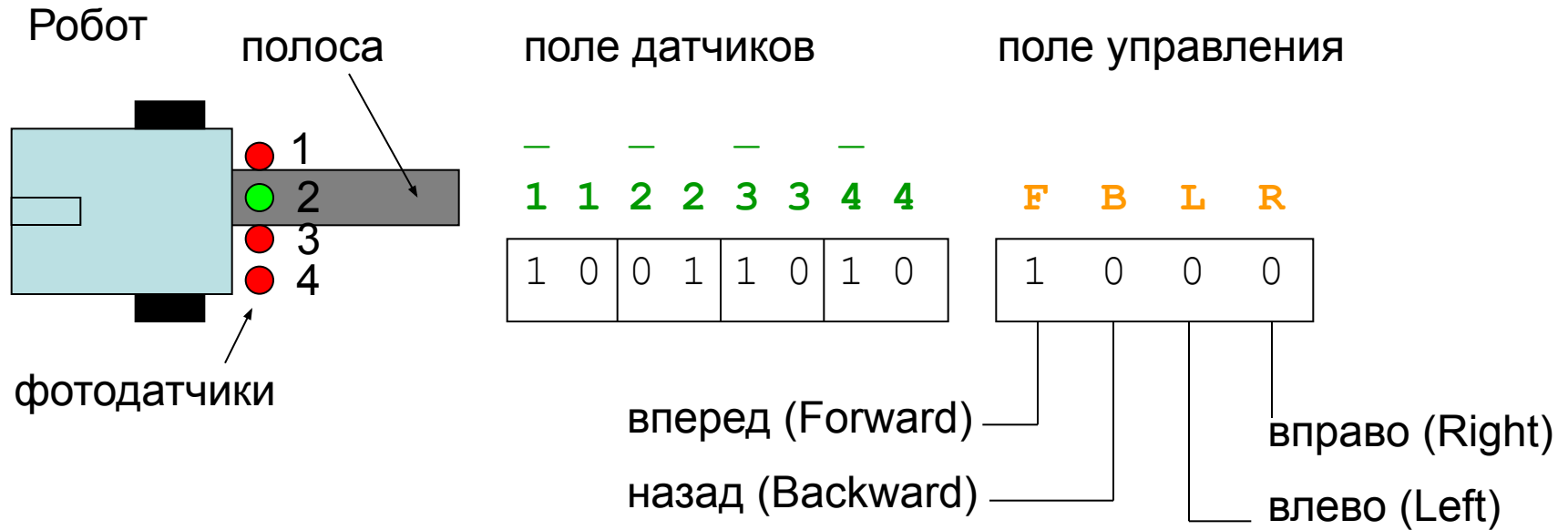
**Виктор  
Константинович  
Финн**  
основатель ДСМ метода

# Компоненты ДСМ системы

- Истинностные значения {+, -, t, 0}  
  {+} фактическая истина, {-} фактическая ложь,  
  {t} неопределенность, {0} противоречие
- Позитивные и негативные примеры (родители)  
  пример – это сложный объект, состоящий из подобъектов  
  подобъект (часть объекта) В есть причина наличия (отсутствия)  
  свойства А
- Гипотезы о причинах  
  если объект С содержит некоторый подобъект В, то это причина наличия  
  свойства А
- Операции: вложение, пересечение, равенство над множествами
- Обучающий алгоритм (учитель)  
  управляет роботом и порождает примеры из сигналов сенсоров и  
  управления (динамическое порождение базы фактов)



# Представление объектов и гипотез



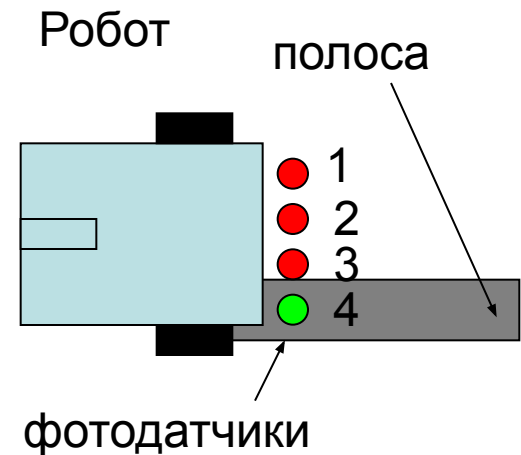
Состояние датчиков (2 бита)

ON = {01}    OFF = {10}    НЕ ВАЖНО = {00}

# Обучающий алгоритм 1

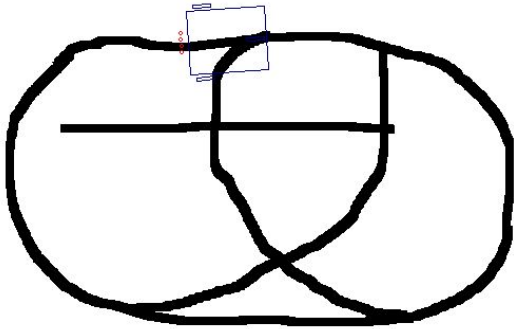
## Используем датчик 4

```
: Simple1 ( -- ? ) Stop
  Photo4 IF  M_TurnLeft
            ELSE M_TurnRight THEN
  true ;
```



# Обучение для алгоритма 1

Тестовый полигон



## Примеры

$\bar{1}$ $\bar{1}$ $\bar{2}$ $\bar{2}$ $\bar{3}$ $\bar{3}$ $\bar{4}$ $\bar{4}$	FBLR
-----	-----
10101001	0010
10101010	0001
01011010	0001
01010101	0010
01010110	0001
10100101	0010
10010101	0010
10010110	0001
01101010	0001
01101001	0010
01011001	0010
-----	-----
11	(+) примеров

## Минимальные гипотезы

$\bar{1}$ $\bar{1}$ $\bar{2}$ $\bar{2}$ $\bar{3}$ $\bar{3}$ $\bar{4}$ $\bar{4}$	FBLR
-----	-----
00000001	0010
00000010	0001
-----	-----
2	(+) гипотезы

## На конференции САИТ-2005



# Свойства динамического ДСМ

- **Достаточность обучающих примеров.** При наличии представительной выборки обучающих примеров оба метода дают хорошие результаты. Однако в условиях неполноты обучающего множества метод ЭМ дает более устойчивые результаты по сравнению с ДСМ. Это связано прежде всего с характером управления.
- **Непротиворечивость обучающей выборки.** ДСМ, в отличие от ЭМ, не применим в условиях противоречий в обучающих примерах. Такая ситуация может возникать, когда учитель ошибается в оценке состояния датчиков. Ошибки такого типа необходимо отсеивать на этапе формирования обучающих примеров. В ЭМ подобная противоречивость не так критична, т.к. она приводит в худшем случае к неопределенности фенотипического поведения.
- **Эффективность обучения (скорость).** Обучение в ЭМ – принципиально длительный процесс. Для устойчивого обучения методом эволюционного моделирования иногда требуются сотни тысяч тактов. В этом отношении ДСМ-метод обладает несомненным преимуществом - для обучения с помощью ДСМ метода достаточно получить несколько разных обучающих примеров. В экспериментах роботу достаточно было проехать один круг на реальном полигоне чтобы сформировались все необходимые гипотезы.



# Свойства динамического ДСМ

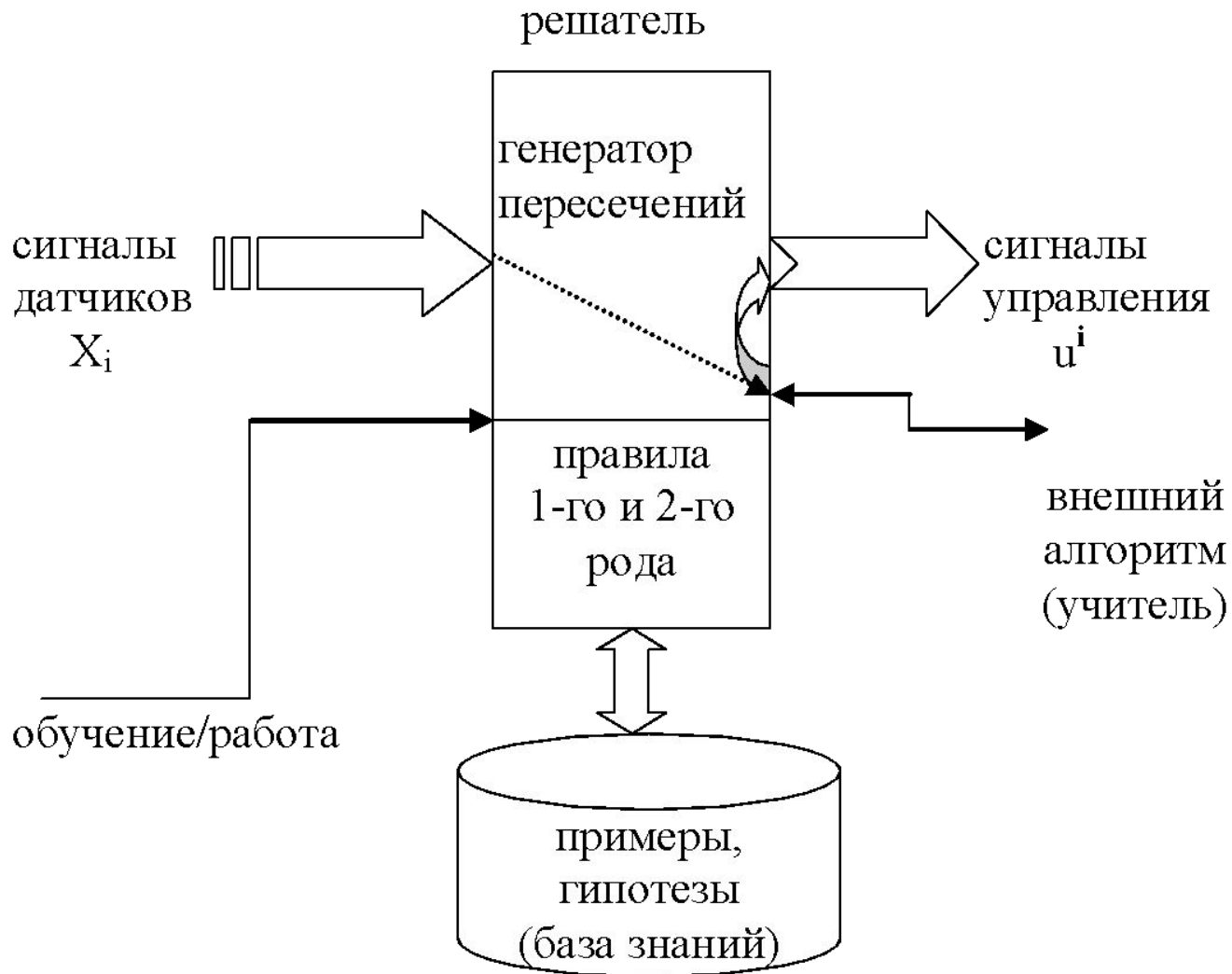
- **Динамическое обучение.** Теоретически ЭМ может работать и в открытой среде с неизвестным заранее количеством примеров, практически же это связано с большими вычислительными затратами. Динамический ДСМ метод позволяет эффективно работать с заранее неизвестным количеством примеров при сравнительно небольших вычислительных затратах.
- **Обучение с учителем.** Все рассматриваемые алгоритмы обучения работают с «учителем», который фактически формирует для них представительную обучающую выборку. В качестве «учителя» в проводимых экспериментах выступал внешний алгоритм управления роботом. В принципе, учителем может быть и человек, при условии непротиворечивости выдаваемых им управляющих воздействий.
- **Требуемые ресурсы.** При реализации практических алгоритмов встает проблема ограниченности вычислительных ресурсов автономного робота. Если моделирование эволюции требует весьма больших временных и емкостных затрат, то для работы ДСМ метода достаточно незначительных вычислительных ресурсов, что позволяет разместить программу обучения и управления непосредственно на работе.

# Особенности реализации

- небольшая размерность входов и выходов. Как показывает практика, для обучения требуется, всего лишь три-пять входных сигналов и три-четыре выходных;
- низкая стоимость системы, за счет использования дешевых 8-ми разрядных микроконтроллеров;
- высокое быстродействие;
- возможность обучения в изменяющейся рабочей среде;
- малое время обучения, возможность учиться в реальном времени;
- возможность получить гипотезы в явном виде для дальнейшего анализа. Это свойство ДСМ системы отличает ее от нейронных сетей, для которых невозможно в явном виде выделить причины проявления эффекта.

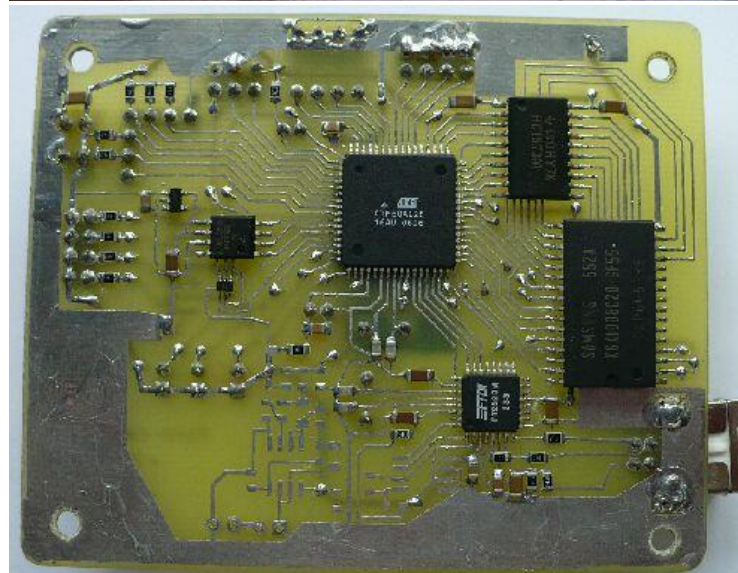


# Структура ДСМ-контроллера

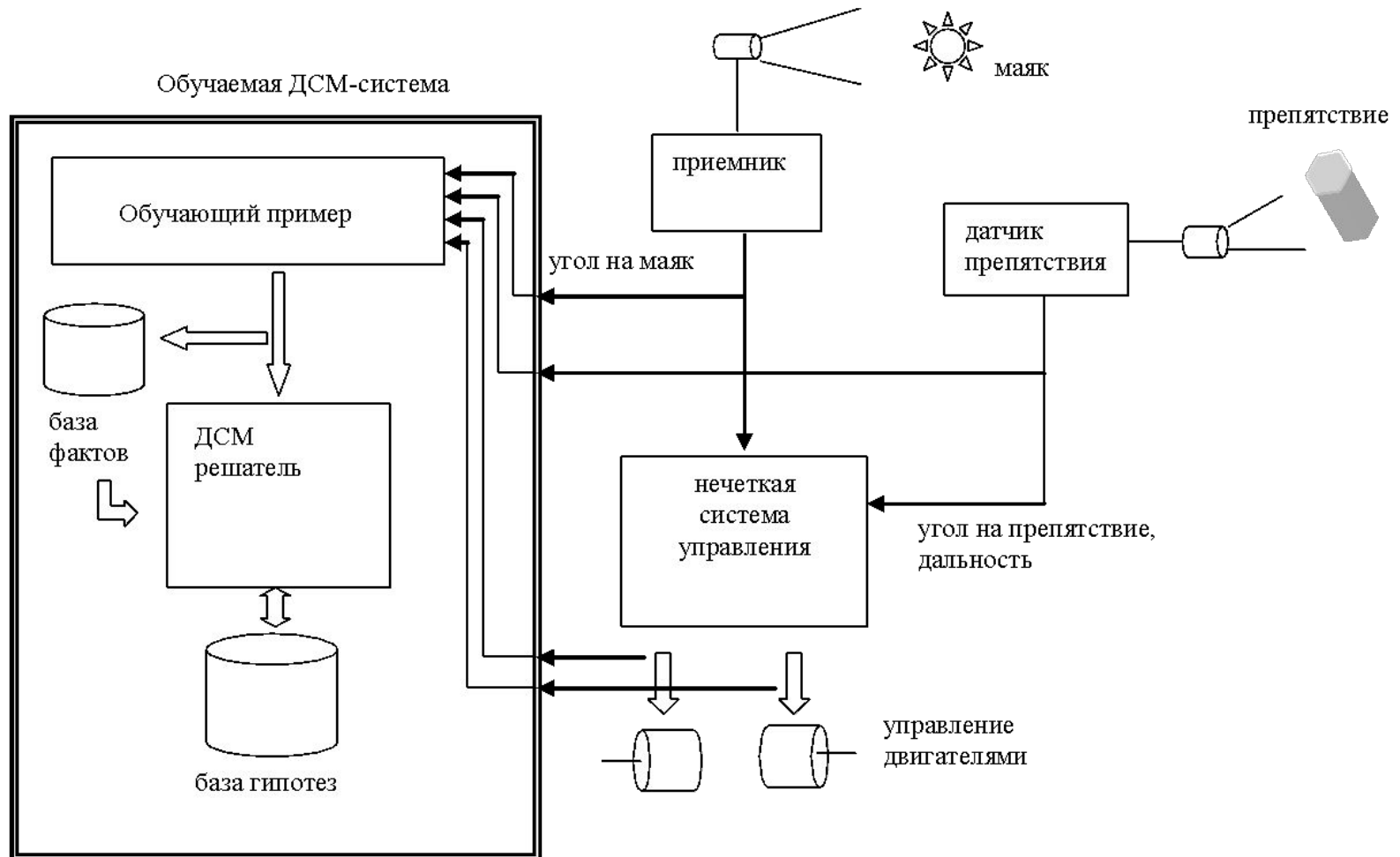


# Особенности реализации ДСМ-контроллера

- микроконтроллер ATmega128
- память программ 128Кбайт
- память данных 128Кбайт
- Flash память 256Кбайт
- тактовая частота 7.3728МГц
- связь с хостом USB 2.0
- дополнительный COM порт 230.4 Кбод
- линий ввода/вывода 11/4



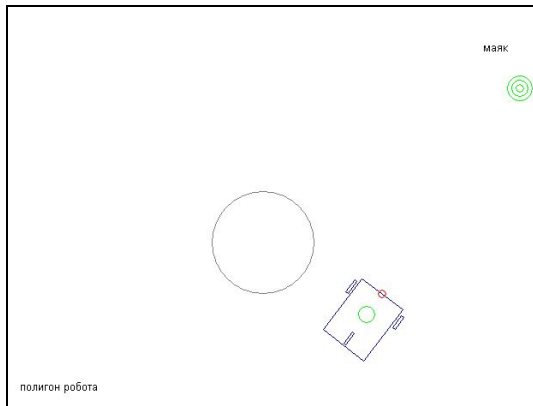
# Сравнение ДСМ-системы и системы нечеткого вывода



# Результаты обучения

## Примеры

### Тестовый полигон



ddRRrrFFllLLbbRRrrFFllLLBB	FBLR
-----	-----
10101010011010101010011010	0010
1010101001101010101001101010	0010
10101001101010101001101010	1000
10101001101010101001101010	0010
10101001101010100110101010	1000
10101001101010100110101001	0001
10101010011010101001101001	0001

## Минимальные гипотезы

ddRRrrFFllLLbbRRrrFFllLLBB	FBLR
-----	-----
00101000000000000000000001	0001
00101000000000010000000010	0010
10101001101010000000100010	1000
-----	-----

3 (+) гипотезы

# Проблемы применения

1. Необходимость представления входных данных в виде дискретного множества.
2. Влияние разрядности входных данных на размерность объектов  
если  $N=2^{10}$ , то требуется вектор из 1024 элементов множества
3. Экспоненциальное снижение быстродействия при увеличении разрядности данных.
4. Необходимо получать выходные сигналы в непрерывном виде (непрерывная система управления).

# Переход к «нечеткому ДСМ»

Идея использовать правила нечеткого вывода для ДСМ-метода принадлежит Анашакову О.М. :

Anshakov O, Gergely T. Cognitive Reasoning: A Formal Approach. Springer, 2010

Для перехода к нечетким правилам вывода в ДСМ-методе необходимо осуществить:

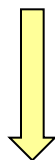
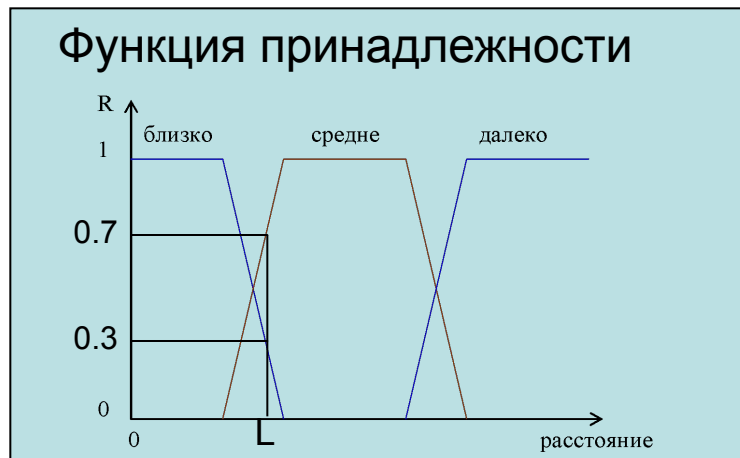
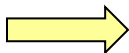
- замену признаков объекта, которые представляют элементы множества, на элементы нечеткого множества;
- переформулировать функции пересечения и вложения для действий над элементами нечеткого множества;
- определить тип целевых свойств и их интерпретацию.

# Представление объектов и гипотез для нечеткого ДСМ-метода

Информация с датчика

расстояние

L



Лингвистические переменные

близко	средне	далеко
--------	--------	--------

0.3

0.7

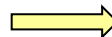
0.0



# Операции для нечеткого ДСМ-метода

- пересечение  $A \cap B = \{\min(a_i, b_i)\}$

близко	средне	далеко
0.3	0.7	0.0
$\cap$		
0.7	0.3	0.0



0.3	0.3	0.0
-----	-----	-----

- вложение  $A \subset B = \{a_i \leq b_i\}$

0.3	0.3	0.0
-----	-----	-----

$\subset$

0.7	0.3	0.0
-----	-----	-----



ИСТИНА

0.3	0.7	0.0
-----	-----	-----

$\subset$

0.7	0.3	0.0
-----	-----	-----



ЛОЖЬ

# Целевые свойства

- атомарные целевые свойства  $\{0, 1\}$  «включить/выключить», «старт/стоп»
- непрерывные целевые свойства  $[0.0, 1.0]$  необходима операция дефазификации «повернуть на угол  $\alpha$ », « задать скорость  $V$ »

## Литература

- *Добрынин Д.А., Карпов В.Э.* Моделирование некоторых простейших форм поведения: от условных рефлексов к индуктивной адаптации.//Первая международная конференция САИТ-2005, 12-16 сентября 2005 г., Переславль-Залесский, Труды конференции, М: Комкнига, т.1, с. 188-193
- *Добрынин Д.А.* Динамический ДСМ-метод в задаче управления интеллектуальным роботом.// Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2006, 25-28 сентября 2006 г., Обнинск, Труды конференции, М:Физматлит 2006, т.2.
- *Добрынин Д.А., Карпов В.Э.* Моделирование некоторых форм адаптивного поведения интеллектуальных роботов.// Информационные технологии и вычислительные системы, Москва, №2, 2006.
- *Добрынин Д.А.* Об одной аппаратной реализации обучаемого ДСМ-контроллера. //Одинадцатая конференция по искусственному интеллекту КИИ-2008, 28 сентября-3 октября 2008 г., г.Дубна, Россия, Труды конференции, М:Ленанд, 2008, т.2
- *Волкова Т.А., Добрынин Д.А.* Сравнение системы нечеткого вывода и обучаемой ДСМ-системы при планировании движения мобильного робота //V- международная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления», 20-30 мая 2009 г., г. Коломна, М.:Физматлит, 2009., Т1.
- *Добрынин Д.А.* О принципах построения нечеткой системы управления для интеллектуальных роботов на основе динамического ДСМ-метода.//VI Международная научно-техническая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» 16-19 мая 2011 г., г. Коломна, М.:Физматлит, 2009, т.1.