

## Человек и робот – диалог и кооперативное управление



Ющенко Аркадий Семенович, д.т.н., проф.  
МГТУ им. Н.Э.Баумана,  
Научно-учебный Центр «Робототехника»  
Заведующий кафедрой «Робототехнические системы»

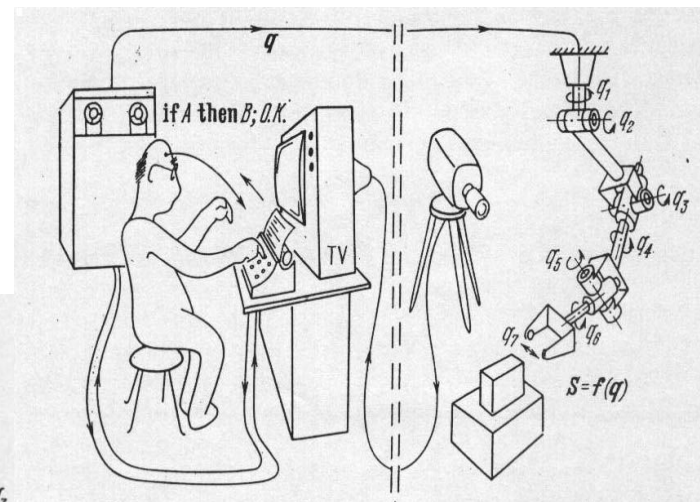
**«Интеллектуальный» автономный робот** – это мобильное устройство для самостоятельного выполнения сложных операций в недетерминированных условиях **под контролем человека-оператора**

**«Интеллектуальный» робот** обладает собственной информационно-сенсорной системой, позволяющей анализировать ситуацию.

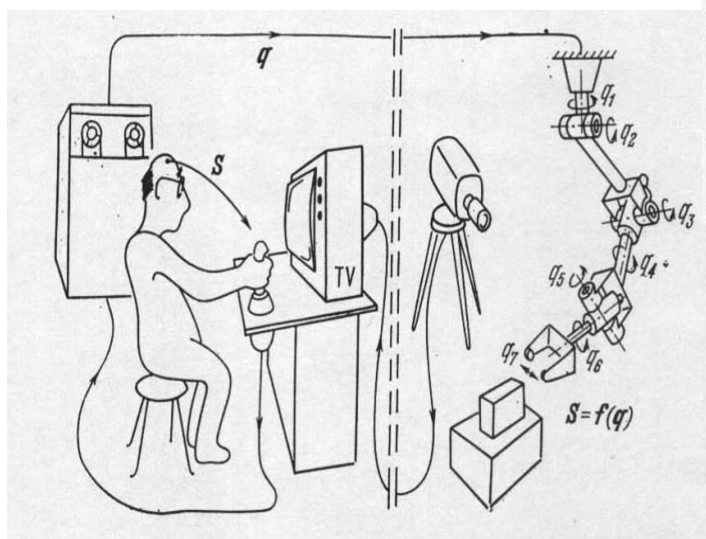
Система знаний робота позволяет планировать действия и принимать решения в рамках задач, поставленных человеком и формировать запросы со стороны робота.

Функционирование робота происходит во взаимодействии с человеком. Форма взаимодействия определяет тип эргатической робототехнической системы (ЭРТС) «человек-робот»

# ЭВОЛЮЦИЯ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА И РОБОТА

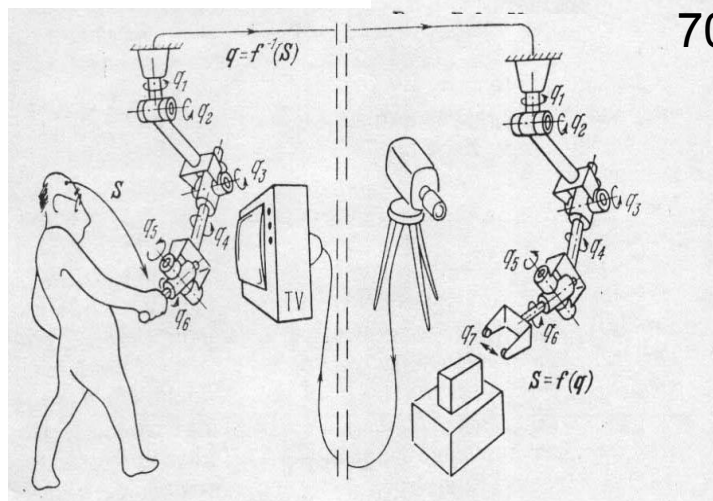


Интерактивное  
управление



70-90-е г.г.

Полуавтоматическое  
управление



60-70-е г.г.

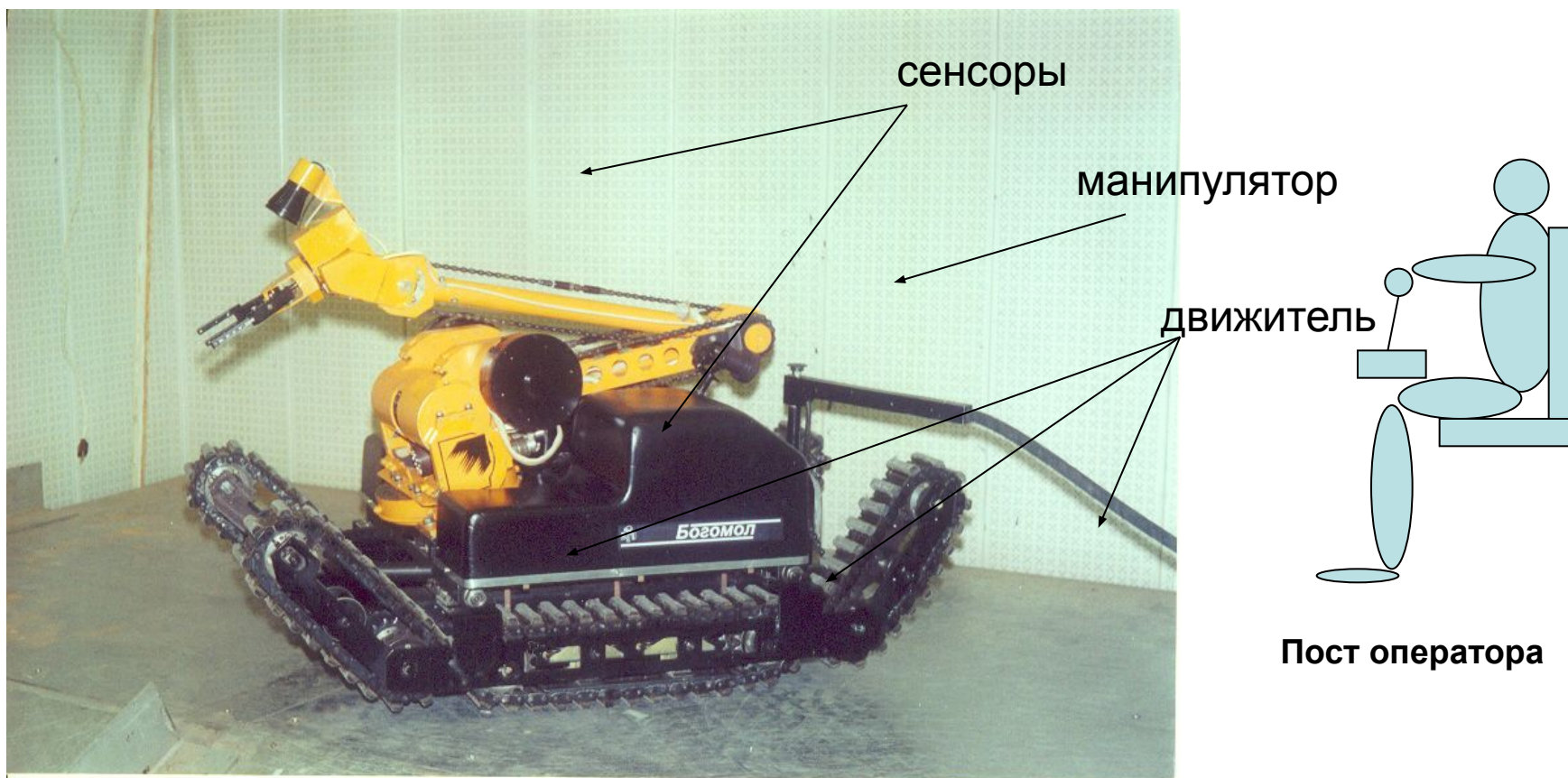
Копирующее управление  
(master – slave)

## Возможные области применения:

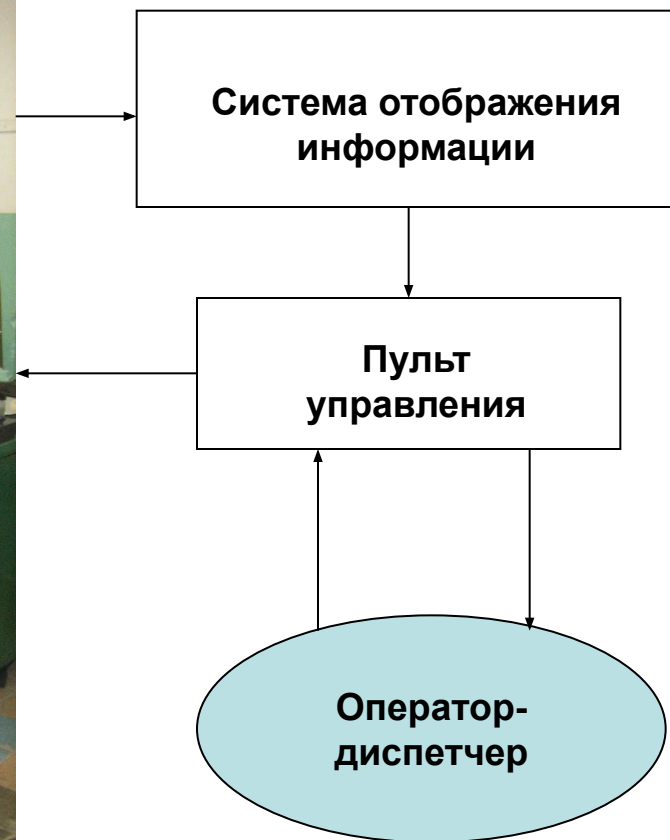
- Спасательные операции в экстремальных ситуациях (пожар, техногенные аварии и т.п.)
- Борьба с проявлениями терроризма, гражданское разминирование
- Мониторинг окружающей среды и объектов технической инфраструктуры
- Охрана помещений и территорий
- Медицина – диагностика, хирургия и реабилитация
- Работы в быту, сфера обслуживания

## Автономный робот для выполнения манипуляционных операций на местности под контролем человека («Богомол» ГосНИИФТП)

Оператор управляет движением шести гусениц робота, имеющих автономные приводы, с помощью двух 3-компонентных джойстиков



## Внутрицеховой мобильный робот для безлюдного производства



## Медицинский робот для проведения хирургических операций

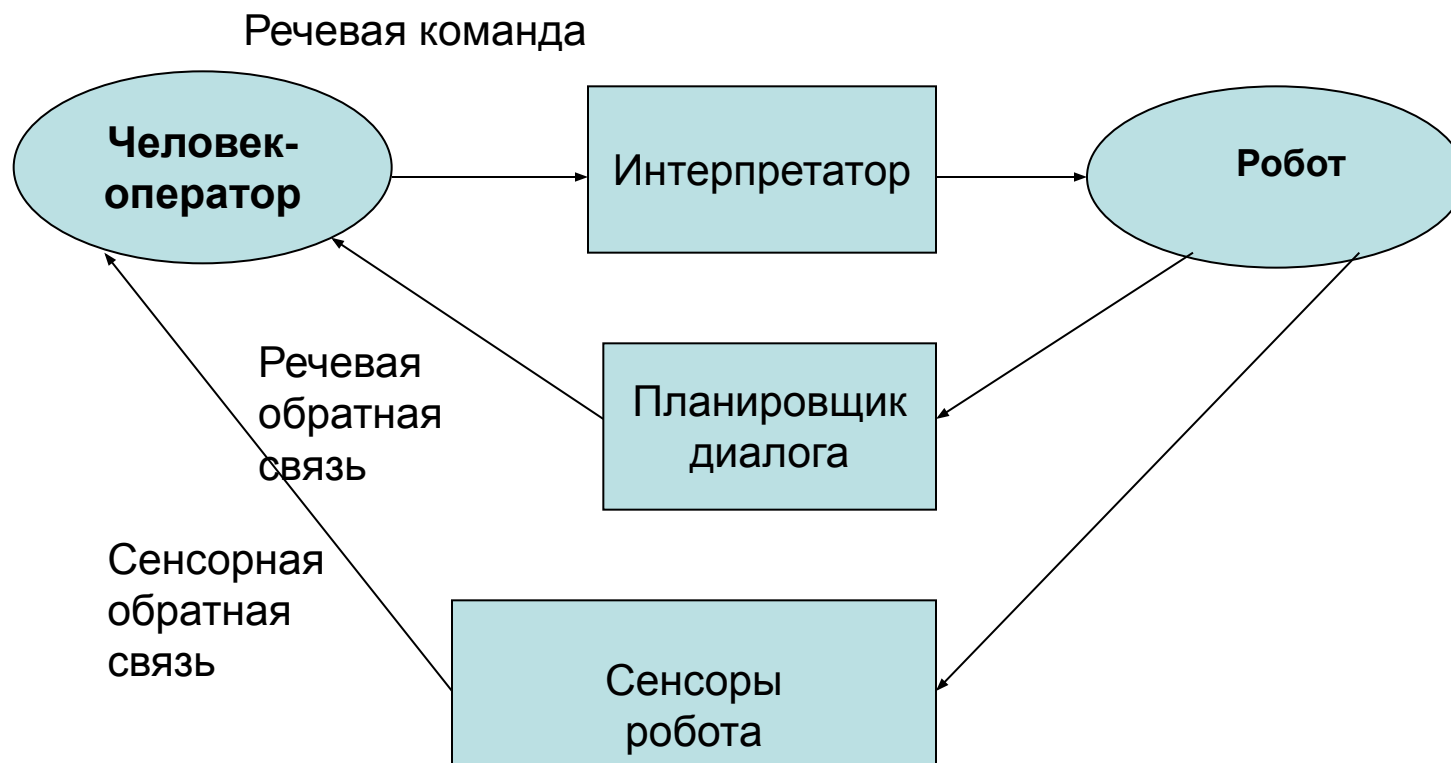


Эволюция ЭРТС приводит к созданию **диалоговой системы управления** с использованием речи для постановки задач и формирования запросов от робота к оператору





## Диалоговое управление «интеллектуальным» роботом



**По существу, это система кооперативного управления с двумя взаимодействующими исполнителями**

**Кооперативное управление** - термин из теории многоагентных систем:

- Это организация взаимодействия между агентами, необходимого для достижения общей цели при разделении между ними функций и обязанностей.

В данном случае агент – человек является ведущим, а агент (агенты) – роботы – ведомыми. Робот – ассистент оператора. Характер кооперации – директивный.

Цель ставится оператором, робот ставит подцели, приводящие к достижению главной цели. Оператор подтверждает, или корректирует решения робота. Робот обращается к оператору при наличии альтернативных решений, или при невозможности выполнить задачу

Робот сообщает оператору о возможных ошибках в предлагаемых задачах и решениях и выполняет их только после подтверждения оператором.

В современной теории многоагентных систем в качестве агентов рассматриваются роботы (артефакты). Дальнейшее развитие теории многоагентных систем предполагает совместное решение задач роботами и людьми.

Примером многоагентной системы, включающей людей и роботов может быть система противопожарного назначения

## Разработки пожарных мобильных роботов ФГУП ВНИИПО и НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана



MPK-PP



MPK

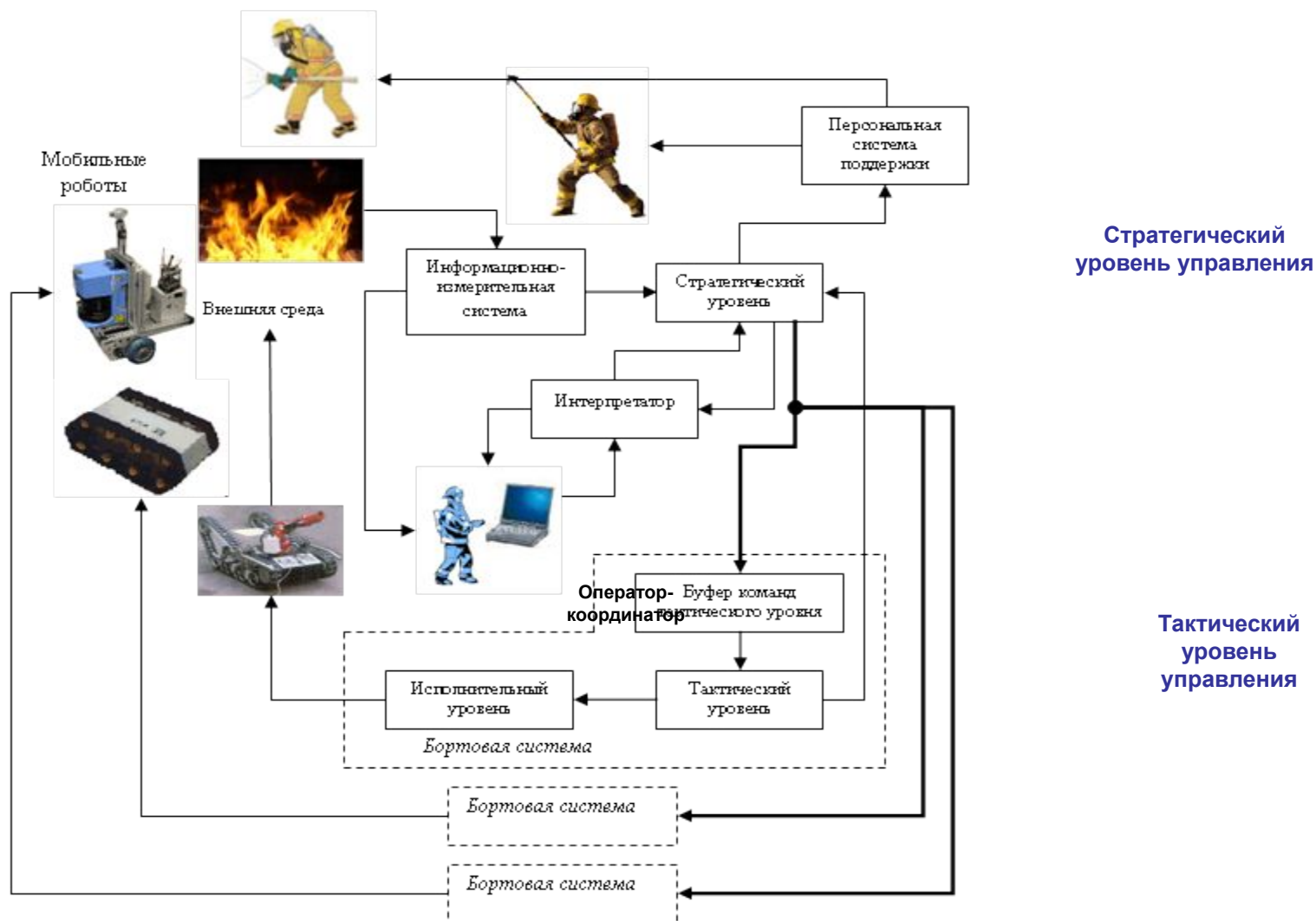


Робот «Разведчик»



Ель-4

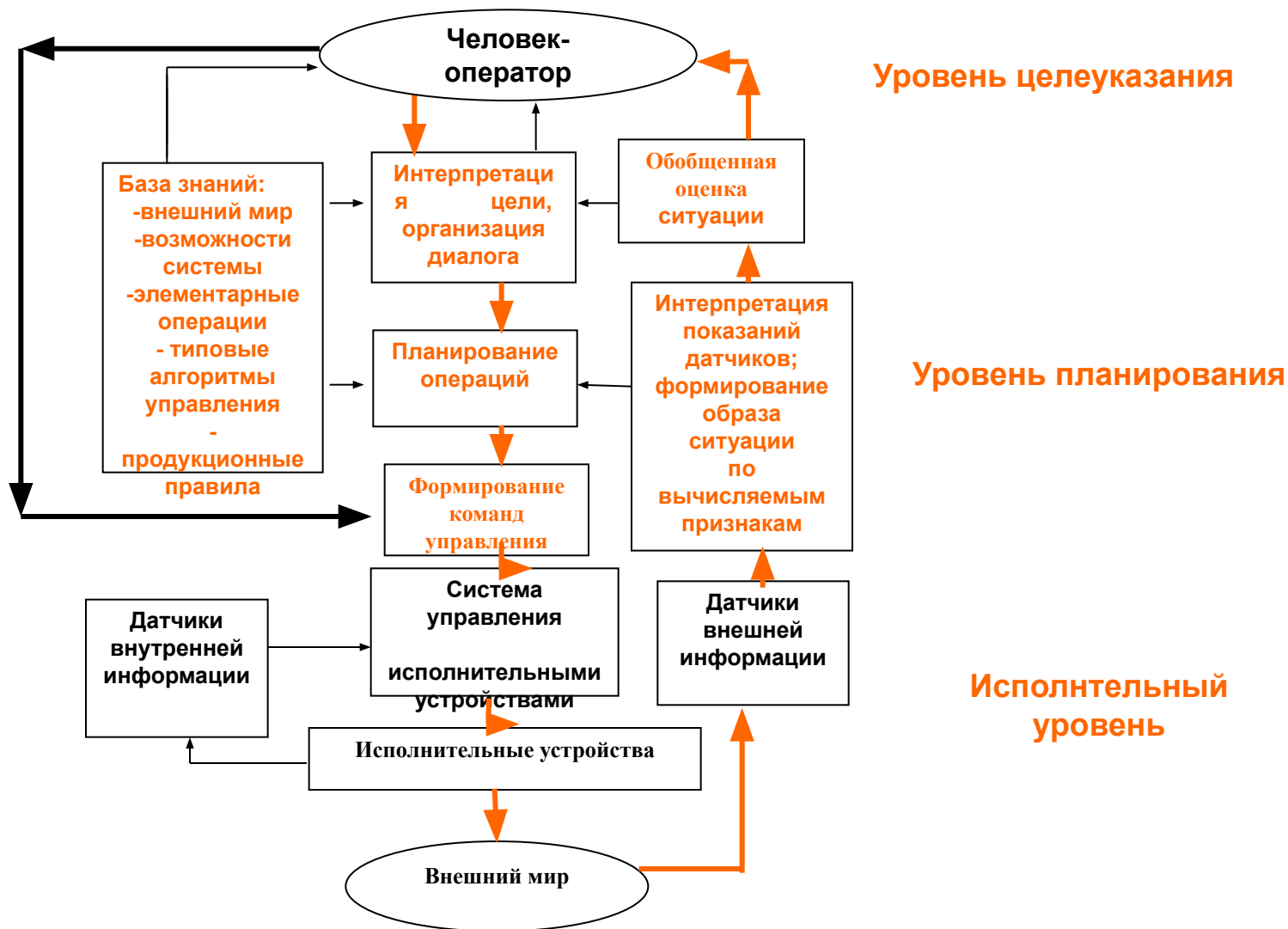
# Двухуровневая архитектура пожарной робототехнической системы управления



# Функциональная схема эргатической интеллектуальной робототехнической системы (ЭРИС)

Master-operator

Assistant-operator



## Особенности организации диалогового управления ЭРИС

- Информация об окружающем мире **заранее неизвестна** и в процессе работы может быть получена с помощью бортовой информационно-сенсорной системы **только приблизительно**
- Восприятие внешнего мира роботом должно быть согласовано с **естественным восприятием мира оператором**
- Взаимодействие с оператором осуществляется **на языке целеуказаний, близком к естественному**
- Система знаний робота и способы принятия решений должны быть **согласована с системой знаний и способами мышления человека**
- Робот должен **самостоятельно ориентироваться на местности и планировать свои действия** в соответствии с задачей, поставленной оператором
- Система управления должна обладать **адаптивными свойствами по отношению к изменениям характеристик окружающей среды**

## Задачи, рассматриваемые в теории эргатических робототехнических интеллектуальных систем (ЭРИС)

- **Построение модели внешнего мира** с использованием естественных отношений в пространстве и во времени
- **Организация базы знаний об элементарных (рефлекторных) и когнитивных операциях** с использованием системы продукционных правил, задаваемых человеком на основе собственного опыта
- **Описание сложного целенаправленного поведения робота**, включающего планирование поведения самим роботом (деятельность ЭРИС) в диалоге с оператором
- **Формирование проблемно-ориентированного языка диалога** человека и робота, близкого к естественному
- **Обучение робота** «с учителем» в тех случаях, когда человек не может сформулировать правила поведения робота. «Самообучение» ЭРИС в условиях неопределенности
- **Организация системы распознавания речи** и планирования диалога. Создание системы диалогового управления роботом
- **Диалог с роботом на естественном языке и включение роботов в гуманитарный социум**

## Построение модели внешнего мира

Модель внешнего мира робота целесообразно строить с использованием **естественных отношений пространства и времени** (Поспелов Д.А., 1989)

Такая модель является **интерпретацией внутренней модели внешнего мира человека-оператора**, т.е.

«отображением составляющих внешнего мира на совокупность нечетких психолингвистических шкал» (Аверкин А.Н., Тарасов В.Б., 1986)

Модель внешнего мира ЭРИС является открытой и развивается в процессе **когнитивной деятельности робота**, включающей:

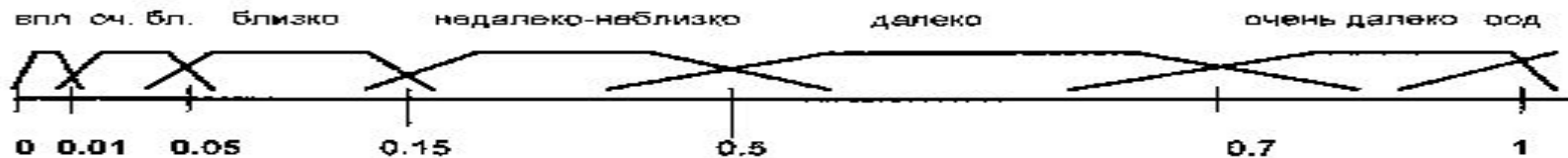
- Определение и уточнение целей операции в процессе диалога с оператором
- Обработку сенсорной информации и создание образа ситуации
- Формирование проблемно-ориентированной модели внешнего мира
- Планирование поведения робота в диалоге с оператором
- Обучение робота путем накопления и обработки знаний.



Естественные пространственные отношения  
определяются путем  
экспериментального анализа восприятия этих  
отношений человеком

Е

Шкала расстояний, оцениваемая экспертами  
(Поспелов Д.А., Литвинцева Л.В., Кандрашина Е.Ю., 1989)



Экс

Экспериментальные функции принадлежности ЛП «расстояние»

№	Слова словосочетания	Функция принадлежности для ЛП расстояний											
		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
1	Вплотную	0.96	0.03										
2	Очень близко	0.2	0.66	0.13									
3	Близко		0.13	0.73	0.13								
4	Не очень близко			0.03	0.63	0.3	0.03						
5	Недалеко			0.03	0.16	0.5		0.6					
6	Не далеко и не близко						1						
7	Неблизко				0.03	0.33		0.5	0.13				
8	Не очень далеко					0.1		0.1	0.66	0.13			
9	Далеко								0.06	0.73	0.2		
10	Очень далеко								0.06	0.26	0.66		
11	Очень-очень далеко												1

Заметим, что эксперименты подтверждают правило Миллера  $7 \pm 2$ , устанавливающие информационные ограничения восприятия человека

Нечеткие **экстенсиальные** пространственные отношения между объектами внешнего мира выражаются с помощью **лингвистических переменных**:

Лингвистическая переменная  $d_j, j = 1, 2, \dots, M$  -

«дистанция между объектами а и б»

$j = 6$ - «очень очень далеко»,  $j = 5$ - «очень далеко»,  $j = 4$ - «далеко»,  $j = 3$ - «недалеко- неблизко»,  $j = 2$  «близко»,  $j = 1$  «очень близко»,  
 $j = 0$ - «вплотную»

$(a_1 d_j a_2) \& (a_1 d_i a_3) \& (j=i+1)$  -  $a_2$  дальше от  $a_1$ , чем  $a_3$  от  $a_1$ ,

$(a_1 d_j a_2) \& (a_1 d_i a_3) \& (j=i-1)$  -  $a_2$  ближе к  $a_1$ , чем  $a_3$

$(a_1 d_j a_2) \& (a_1 d_i a_3) \& (j > i+1)$  -  $a_2$  значительно дальше от  $a_1$ , чем  $a_3$

Лингвистическая переменная  $f_i, i=1, 2, \dots, N$  -

«направление от объекта а к объекту б»:  $f_1$  - *вперед*,  $f_2$ - *вперед слева*,  $f_3$  - *слева*,  $f_4$  - *сзади слева*,  $f_5$  - *сзади*,  $f_6$ - *сзади справа*,  $f_7$  - *справа*,  $f_8$  - *вперед справа*;

Отношения, описывающие **нечеткое взаимное положение** объекта  $a_2$  относительно объекта  $a_1$  на плоскости

$(a_1 f_2 a_2)$  – « $a_2$  *вперед слева*»,  $(a_1 f_8 a_2)$  – « $a_2$  – *вперед и справа*».

$(a_1 d_4 a_2) \& (a_1 f_7 a_2) = (a_1 d_4 f_7 a_2)$  - « $a_2$  *далеко, и справа от  $a_1$* »

Аналогично могут быть описаны пространственные отношения и в **трехмерном пространстве**

## Нечеткие **интенсиальные** пространственные отношения между объектами внешнего мира

**Базовые отношения:**

**Унарные:**

R1- Иметь горизонтальное положение

R2- Иметь вертикальное положение

**Бинарные:**

R3- соприкасаться, R6-быть на одной прямой, R9- иметь точку опоры,

R4- быть внутри, R5- быть вне, R7-быть на одной плоскости,

R8- быть в центре,,,,...

**Производные отношения:**

¬ R3- не соприкасаться,

R10 – стоять на a2:  $(a1 R2) \&(a1 R9 a2)=(a1 R10 a2)$

**Составные отношения**, описывающие нечеткое взаимное положение объекта a1 относительно объекта a3:

$(a1 R10 a2) \&(a1 d4 f7 a3)$  – «a1 стоит на a2 далеко справа от a3»

**Временные отношения:** *быть одновременно, быть раньше, следовать за*

**Каузальные отношения**

**Псевдофизические логики**

## Логика отношений на плоскости

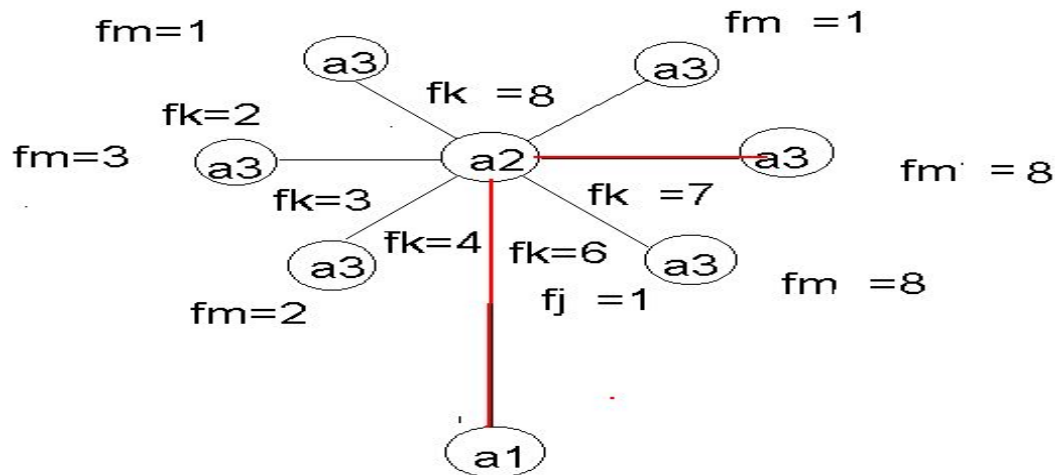
Таблица направлений от  $a_1$  к  $a_3$

$f_{j2}$	$f_{k2}$	1	2	3	4	5	6	7	8	Направление от $a_2$ к $a_3$
1	1	1	1	2	2	1	8	8	1	(a <sub>1</sub> , a <sub>2</sub> и a <sub>2</sub> , a <sub>3</sub> – равноудалены)
2	2	2	2	3	3	2	1	1		
3	2	3	3	3	4	4	3	2		
4	3	3	4	4	4	5	5	4		
5	5	4	4	3	3	3	6	6		
6	7	6	5	5	6	6	6	7		
7	8	8	7	6	6	7	7	7		
8	8	1	1	8	7	7	8	8		

Направление от  $a_1$  к  $a_2$

Аналогично для случаев:

( $a_1 d_j a_2$ ) & ( $a_1 d_i a_3$ ) & ( $j=i+1$ ) -,  
 ( $a_1 d_j a_2$ ) & ( $a_1 d_i a_3$ ) & ( $j=i-1$ )  
 ( $a_1 d_j a_2$ ) & ( $a_1 d_i a_3$ ) & ( $j > i+1$ )



Пример результата логического вывода:

Если  $a_2$  дальше от  $a_1$ , чем  $a_3$  ;  
 и  $a_3$  справа от  $a_2$   
 то  $a_3$  впереди и справа от  $a_1$

Нечеткие пространственные отношения используются для формирования языка описания ситуаций

*Лингвистическая форма описания*

*A1      стоит      на      поверхности S      Далеко справа*

Контролируемый

Интенсиальное

Экстенсиальное

объект

отношение

отношение

*Семиотическая форма описания:*

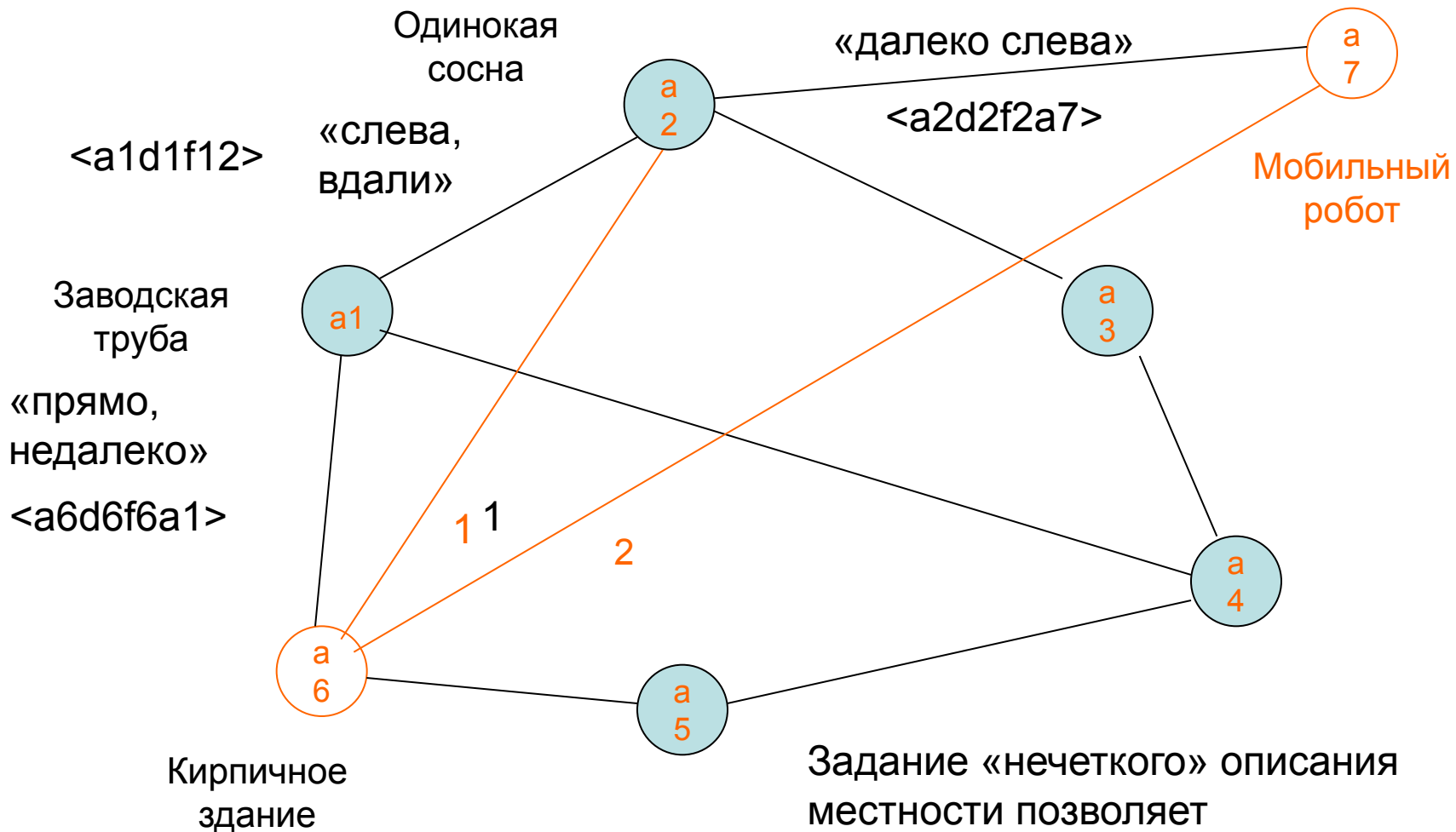
*<(A1 R8 S)& (Ao d5 f7 A1)>*

*Ao – наблюдатель, R8 – быть на поверхности,*

*d5 – быть далеко, f7 - быть справа*

Ситуация **эргатически наблюдаема**, если оператор может по лингвистической информации, дополненной показаниями информационно-сенсорной системы составить адекватное представление о текущей ситуации.

# Описание ситуации оператором с помощью нечетких пространственных отношений, «нечеткая карта МЕСТНОСТИ»



Задание «нечеткого» описания местности позволяет прокладывать маршрут робота по наблюдаемым реперам

## Ситуационное управление мобильным роботом осуществляется по продукционным правилам в зависимости от текущей ситуации в рабочей зоне

Если  $(a_2 f_1 a_1) \vee (a_2 f_2 a_1) \vee (a_2 f_3 a_1)$  то «вперед»

Если  $(a_2 f_1 a_1) \vee (a_2 f_4 a_1)$  то «вперед направо»

Если  $(a_3 f_1 a_1) \vee (a_3 f_2 a_1) \vee (a_3 f_3 a_1)$  то «вперед»

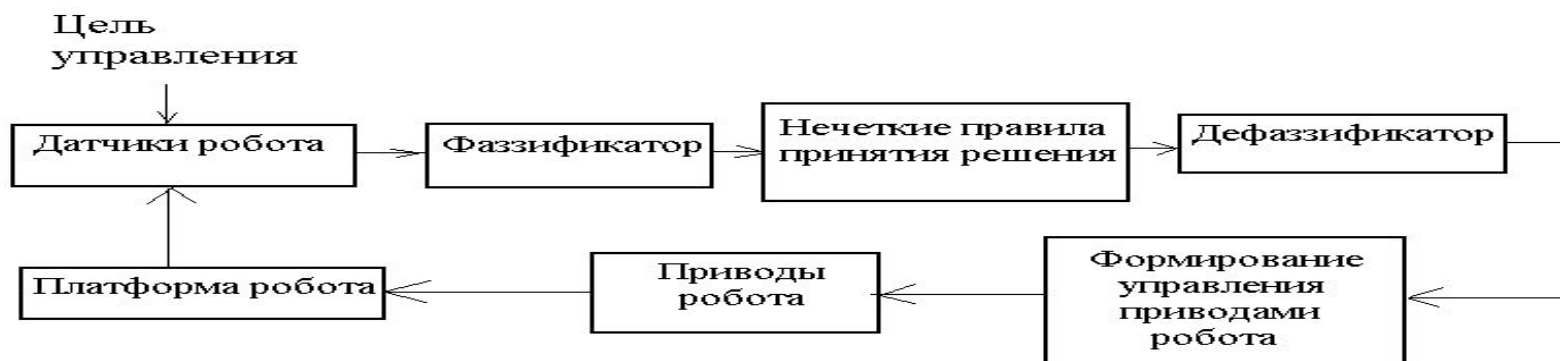
Если  $(a_3 f_4 a_1) \vee (a_2 f_5 a_1)$  то «назад»



Управление на ситуационном уровне **может приводить к колебательным процессам и неустойчивости системы ввиду дискретности процесса.**

Необходимо дополнить управление на ситуационном уровне управлением на исполнительном уровне.

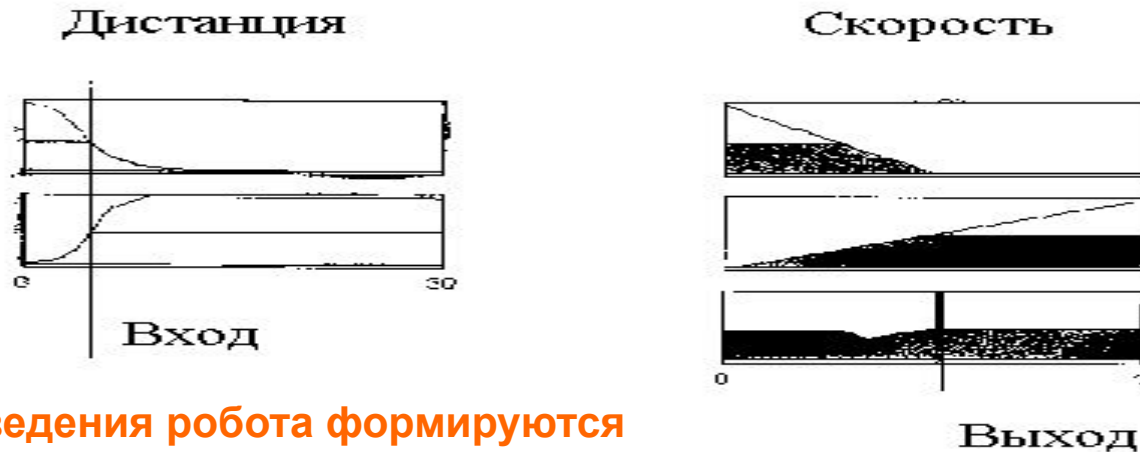
## Управление мобильным роботом на исполнительном уровне



Сигналы измерений и сигналы управления непрерывны, что позволяет обеспечить устойчивый процесс управления, приводящий к достижению цели



Примеры нечетких правил движения робота, задаваемых на исполнительном уровне (вход – дистанция и ориентация, выход – линейная и угловая скорость). Дефаззификация проводится, например, методом Мамдани.



### Правила поведения робота формируются человеком исходя из собственного опыта

Если дистанция малая и цель впереди, то двигаться медленно, прямо

Если дистанция малая и цель впереди справа, то двигаться медленно и немного поворачивать направо

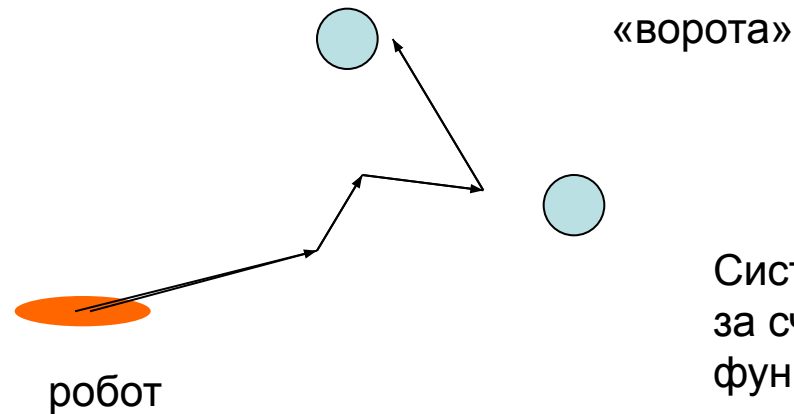
.....

Если дистанция большая и цель впереди, справа, то двигаться быстро и немного поворачивать направо

Если дистанция большая и цель справа, то двигаться медленно и быстро поворачивать направо

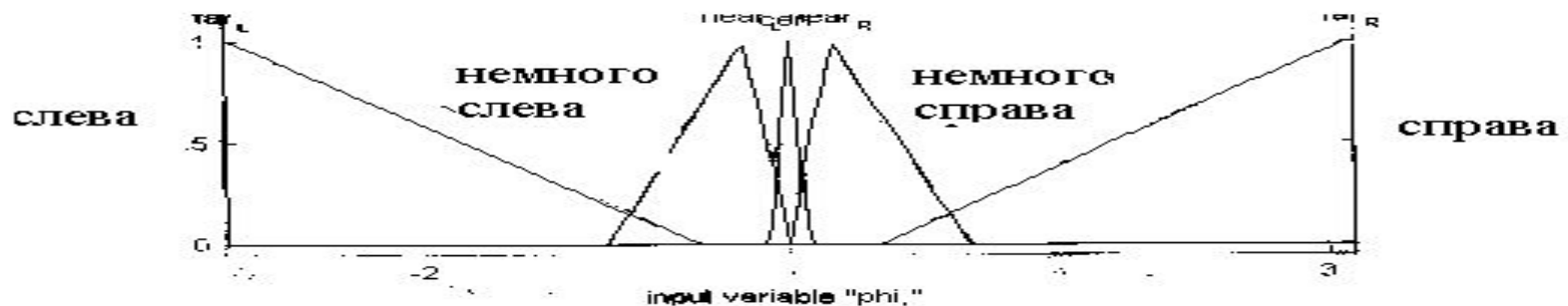
.....

## К вопросу устойчивости на исполнительном уровне



Система теряет устойчивость за счет неудачного выбора функций принадлежности лингвистической переменной «ориентация»

Значения лингвистической переменной "ориентация"



Разработаны способы автоматической настройки функций принадлежности по заданным требованиям к процессу (А. Пегат. Нечеткое моделирование и управление)

Типовые (рефлекторные) движения мобильного робота на исполнительном уровне могут быть легко заданы системой правил-продукций с использованием лингвистических переменных дистанции и ориентации, например:

- Подойти к объекту (и остановиться)
- Двигаться параллельно (к стене, кромке тротуара,...)
- Проехать «в ворота»
- объехать препятствие
- Преследовать движущийся объект
- и т.д.....

Команда на выполнение движений задается оператором с использованием проблемно-ориентированного языка

В случае манипуляционных операций диапазон выполняемых типовых операций существенно расширяется, что позволяет ввести термин: «**деятельность**» **манипуляционных роботов**

- Под **деятельностью роботов** понимаются **целенаправленные** предметные действия робота во внешнем мире, **выполняемые автономно** с использованием текущей и априорной информации о внешнем мире
- **Цель деятельности устанавливается человеком**, однако цели отдельных действий могут планироваться роботом автономно исходя из поставленной задачи
- **Деятельность – это активное взаимодействие агента с внешним миром**, включая человека-оператора. Она включает когнитивную составляющую, т.е. **КОГНИТИВНЫЕ операции**, направленные на получение информации. В том числе:
  - А) действия, направленные на получение информации, необходимой для решения поставленных задач. Модель мира при этом доопределяется в процессе работы с помощью сенсорных устройств робота.
  - Б) действия, направленную на интерпретацию сообщений оператора и получение необходимой информации путем диалога с оператором

Фрейм элементарной манипуляционной операции задается на построенной выше модели внешнего мира и определяет синтаксис команд целеуказания

< имя операции >

< исходная ситуация >

< целевая ситуация >

< предусловия >

< перенести объект  $A$  >

<  $A$  на  $B$  > или <  $A$  справа, рядом от наблюдателя  $A_0$  >

<  $A$  стоит на поверхности  $S$  >

< предусловия

**Ситуационные:** на объекте  $A$  не находится любой другой объект & требуемые для захвата объекта положение и ориентация схвата манипулятора являются допустимыми

**Технические:** робот имеет захват, соответствующий типу объекта и его размерам & вес объекта не превышает грузоподъемности робота

**Объектные:** объект является твердым телом и может выдержать без разрушения усилие развиваемое при захвате>

**Элементарные операции** непосредственно выполняются роботом если выполнены предусловия. В противном случае формируется запрос оператору. Примеры элементарных операций: «вставить А в В», «установить А на С», «захватить А», «переместить А в положение В», ...

**Сложная операция** представляет собой цепь согласованных между собой элементарных операций: постусловия  $n$ -й операции являются предусловиями  $n+1$ -й операции

Планирование операций – это создание цепи согласованных элементарных операций, приводящих к достижению цели



Планирование основано на **методе разрешения противоречий** (Магазов С.С., 2007)

Механизм разрешения противоречий основан на сравнении наблюдаемой роботом ситуации и заданной оператором (или полученной в процессе логического вывода) Разрешение противоречий генерирует элементарные операции путем выполнения правил разрешения противоречий, содержащихся в базе знаний. Такой механизм аналогичен процессу принятия решения человеком

Примеры:

(1) Цель: объект  $a1$  на поверхности  $S$ :  $(a1 R8 S)$ . В действительности (по наблюдениям видео-системы) объект  $a1$  не находится на поверхности  $S$ :  $(a1 \neg R8 S)$ . Разрешение противоречия - Операция: *Переместить  $a1$  на  $S$ .*

(2) Цель: Вал  $a1$  внутри втулки  $C$ :  $(a1 R2 C)$ . По факту:  $(a1 \neg R2 C)$   
Операция: *Вставить  $a1$  в  $C$*

Такой способ задания операций может использоваться и для управления манипуляционным роботом, например:

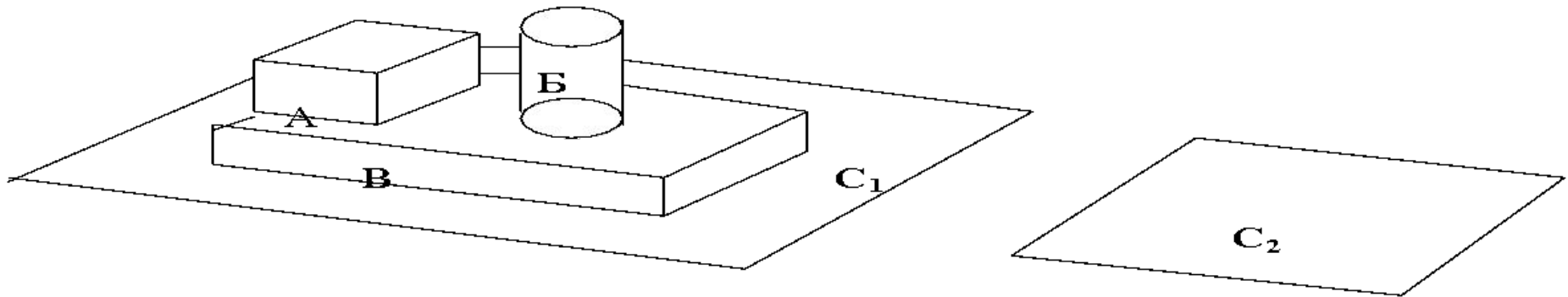
(3) Целевое положение мобильного робота  $R$  по отношению к наблюдателю  $O$  есть  $(R d1 f1 O)$ . Фактическое положение:  $(R d2 f2 O)$ .  
Операция: *Переместить  $R$  в положение  $(R d1 f1 O)$ .*

## Пример задачи планирования операций

**Цель операции:** установить **В** на  $C_2$  с заданной ориентацией.

**Исходная ситуация:** на  $C_1$   $\wedge$  на **А** **В**  $\wedge$  на **Б** **В**  $\wedge$  свободно  
 $A \wedge$  свободно  $B \wedge$  не свободно **В**

**Целевая ситуация:** на  $C_2$   $\wedge$  на **Б**  $C_1$   $\wedge$  на **А**  $C_1$   $\wedge$  свободно  
 $B \wedge$  свободно  $A \wedge$  свободно **А**



Последовательность элементарных операций, приводящих к достижению цели образует граф, позволяющий определить наиболее короткую последовательность действий



УСЛОВИЯ  
i = 1

Анализ  
противоречий  
цели и ситуации

Генерация  
ЭО, i = 2

Предусловия  
ЭО, i = 2

Анализ противоречий  
предусловий и ситуации

Генерация  
ЭО, i = 3

Предусловия  
ЭО, i = 3

Анализ противоречий  
предусловий и ситуации

**Цель**

Свободно Б

Свободно В

На В С<sub>2</sub>

На А С<sub>1</sub>

На Б С<sub>1</sub>

**Ситуация**

Свободно А

Свободно Б

Не свободно В

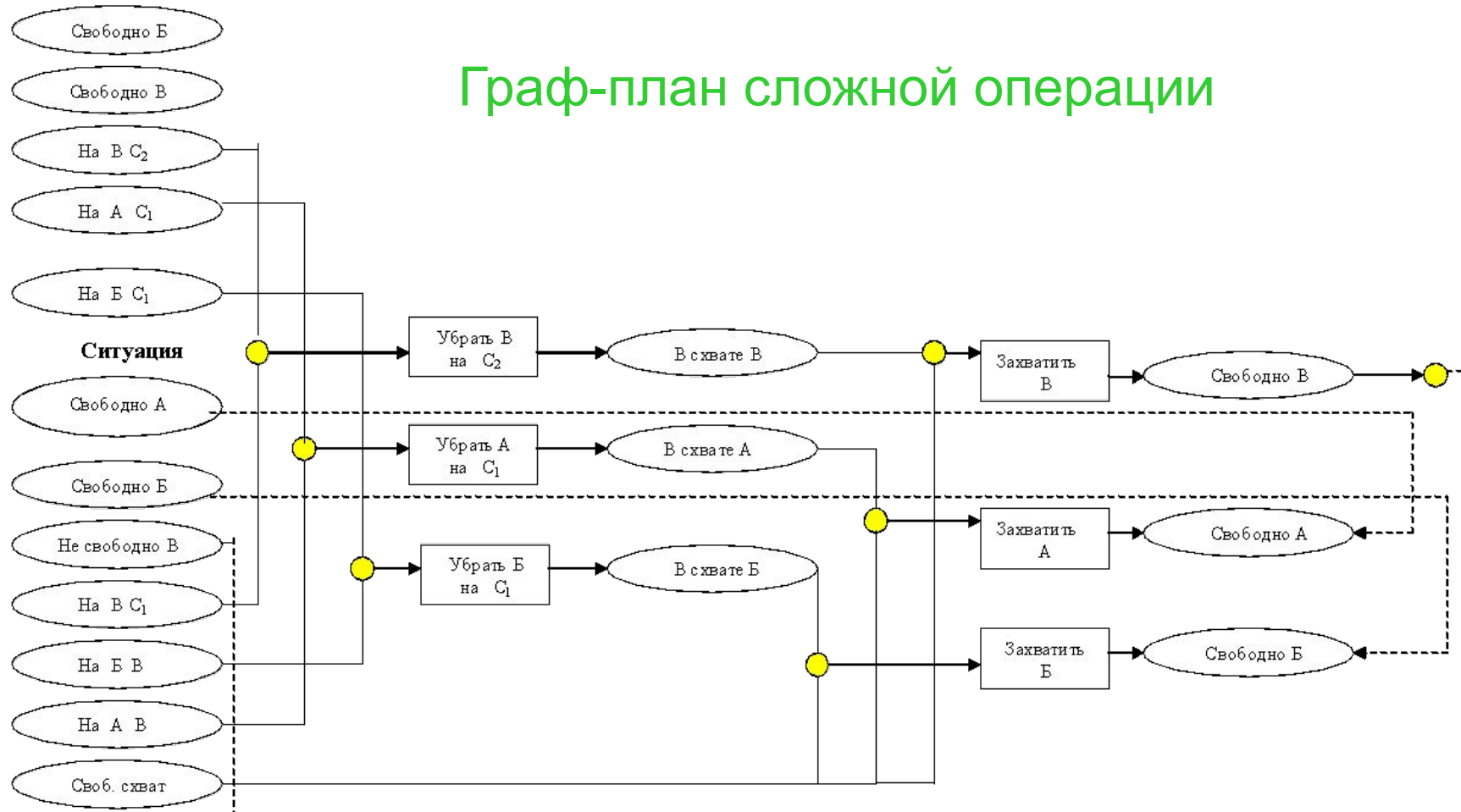
На В С<sub>1</sub>

На Б В

На А В

Своб. схват

## Граф-план сложной операции



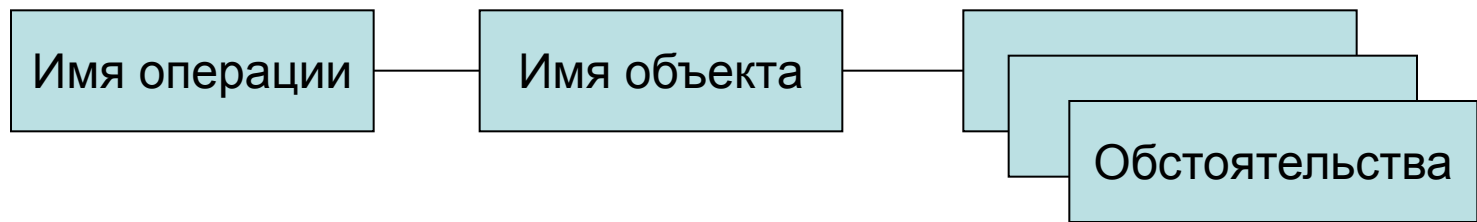
# Проблемно-ориентированный язык управления

Описание внешнего мира, выполняемых в нем операций, правил согласования и правил разрешения противоречий образуют словарь и синтаксис проблемно-ориентированного языка взаимодействия человека с роботом

ЕЯ - высказывания построены на части естественного языка, ограниченного предметной областью

ЕЯ – высказывания используют нечеткую модель внешнего мира и имена операций

## Структура ЕЯ - высказывания

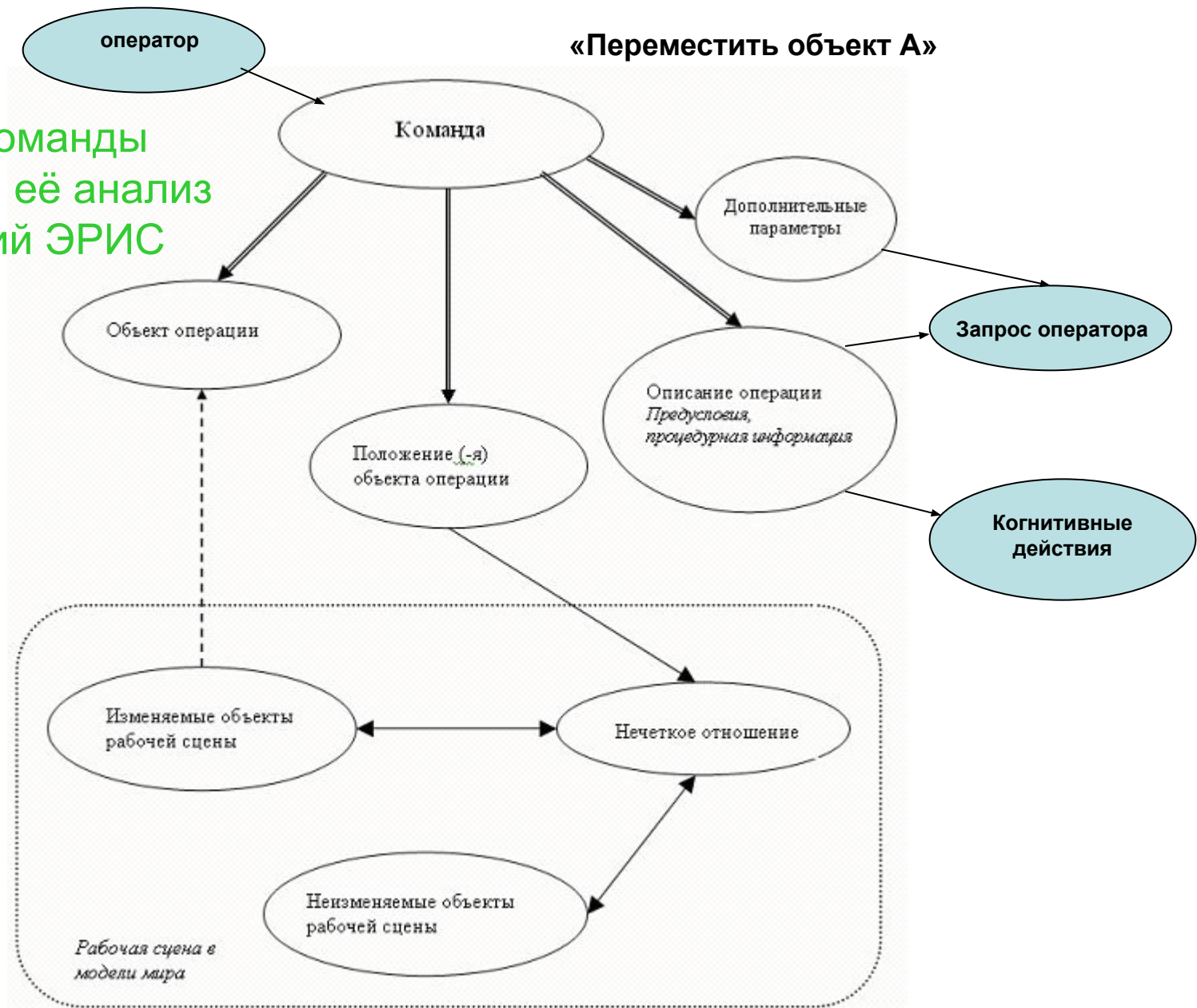


< Установить >

< короб А >

< на стол Б , без удара >

## Структура команды оператора и её анализ в базе знаний ЭРИС



Модель внешнего мира

<i>Команда:</i> ПЕРЕМЕСТИТЬ
<i>Объект действия:</i> ПРАВЫЙ ЯЩИК
<i>Обстоятельство места:</i> НА БОЛЬШОЙ ЯЩИК
<i>Обстоятельство образа действия:</i> МЕДЛЕННО
<i>Неизвестная информация о свойствах действия для системы планирования движений</i>

<i>Класс:</i> ОБЪЕКТ
<i>Тип:</i> ЯЩИК
<i>Идентификационный признак:</i> ПРАВЫЙ

<i>Класс:</i> ОБСТОЯТЕЛЬСТВО МЕСТА
<i>Тип:</i> ОТНОШЕНИЕ+ОБЪЕКТ

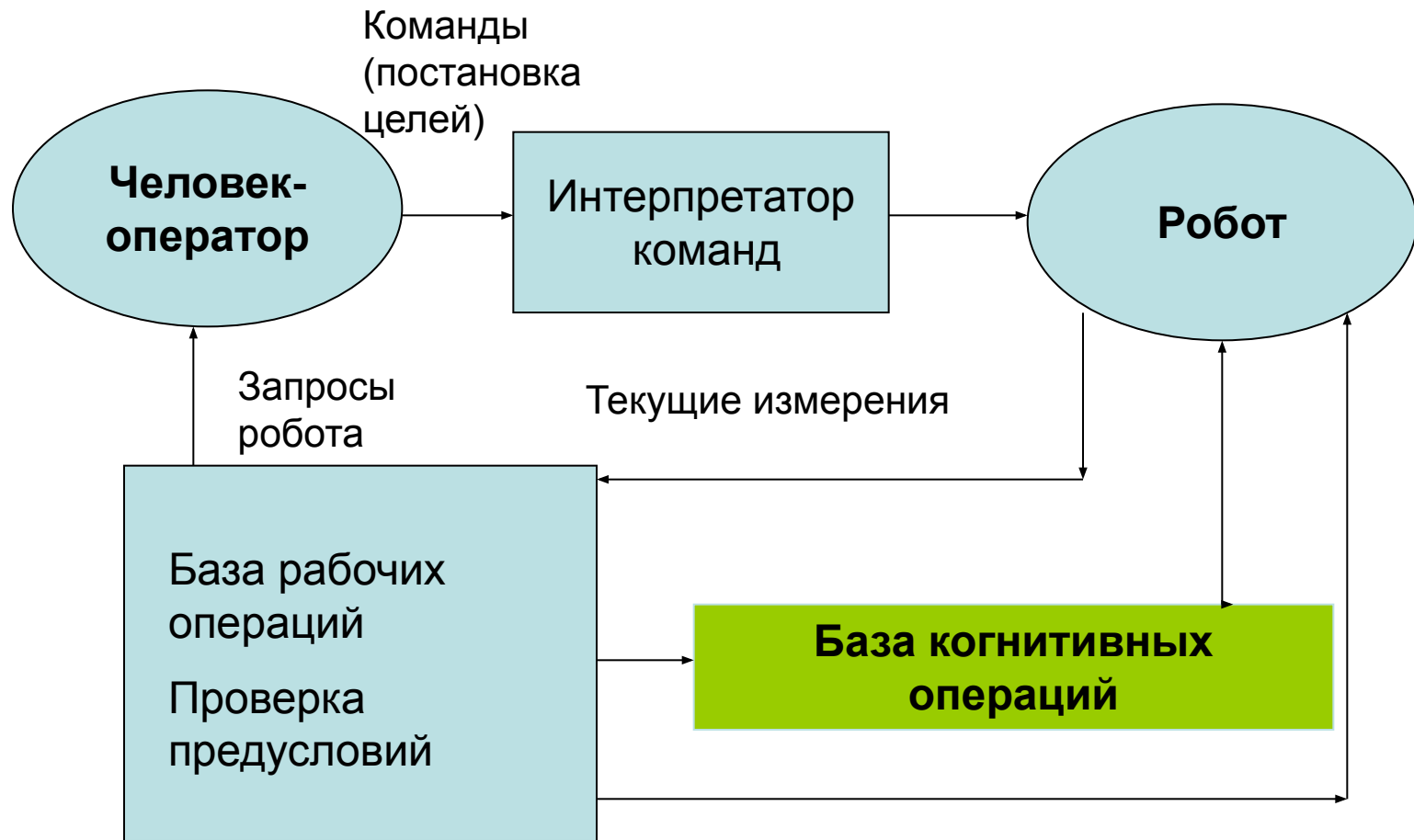
<i>Класс:</i> ОБСТОЯТЕЛЬСТВО ОБРАЗА ДЕЙСТВИЯ
<i>Тип:</i> ТЕРМ переменной СКОРОСТЬ

<i>Класс:</i> ОТНОШЕНИЕ
<i>Тип:</i> ИНТЕНЦИОНАЛЬНОЕ
<i>Имя отношения:</i> НА

<i>Класс:</i> ОБЪЕКТ
<i>Тип:</i> ЯЩИК
<i>Идентификационный признак:</i> БОЛЬШОЙ

## Синтаксический разбор команды

## Взаимодействие оператора с роботом на уровне планирования операций



ЭРИС **эргатически управляема**, если для всех возможных команд оператора может быть найдено решение на уровне планирования и это решение может быть реализовано на исполнительном уровне

Оператор не всегда может формализовать свои знания об управлении роботом в виде продукционных правил.

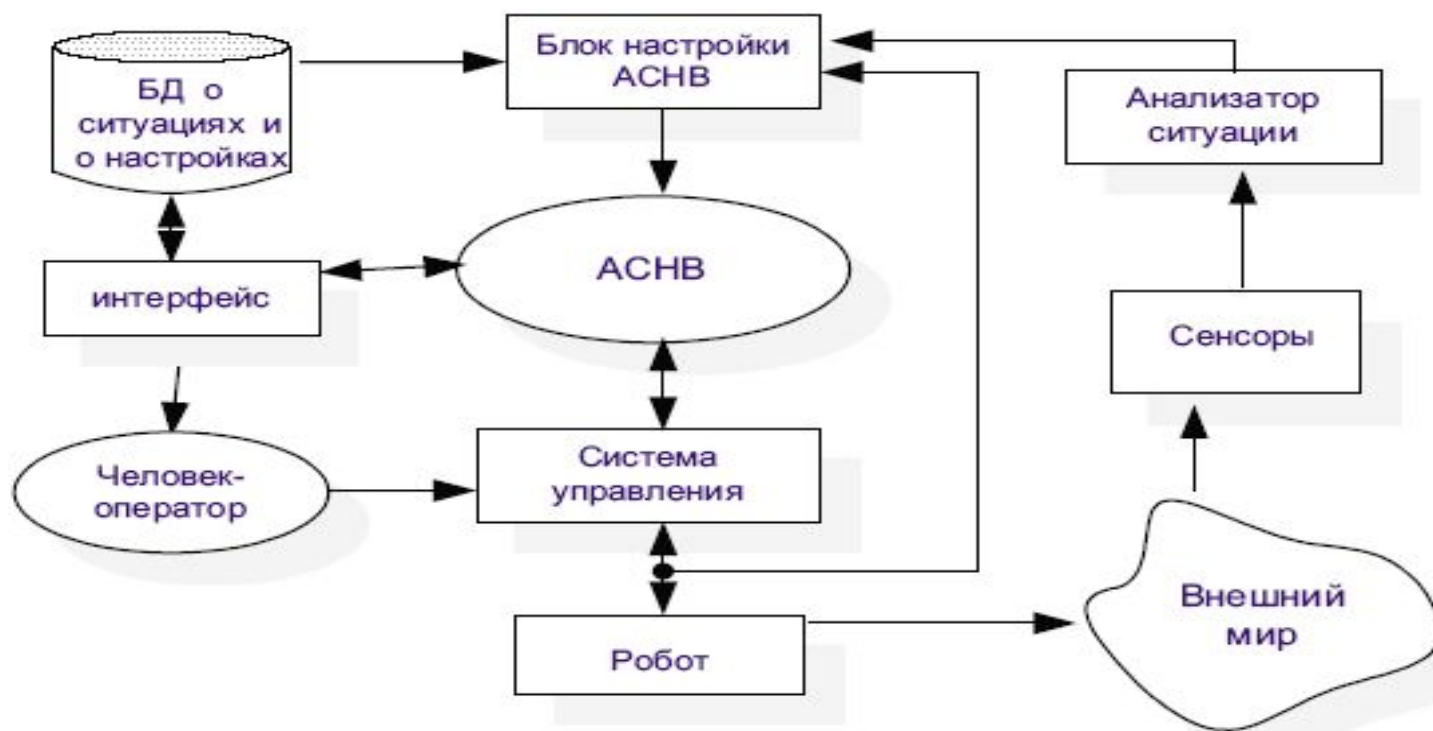
В том числе:

- Если навыки движений выработаны на сенсомоторном уровне
- Если ситуация является новой и не встречалась ранее
- Если управление роботом является слишком сложной операцией, требующей управления сразу несколькими параметрами системы

В этом случае необходимо «обучать» робот «**навыкам движений**», например, с помощью нейро-нечетких сетей.

Используется принцип «обучения с учителем». Оператор управляет роботом, используя выработанные навыки, данные о ситуации и соответствующих действиях записываются и используются в качестве обучающей выборки

Задача обучения робота решается по принципу «обучение с учителем» с помощью гибридной нечеткой нейросети АСНВ (адаптивная система нечеткого вывода) типа ANFIS (adaptive neuro-fuzzy intelligent system)



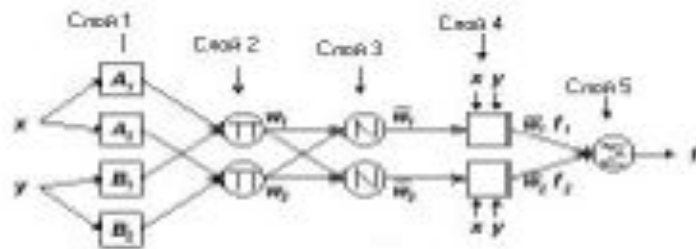
## Робот «Богомол» (Институт физико-технических проблем, Москва)

Оператор управляет движением шести гусениц робота, имеющих автономные приводы, с помощью двух 3-компонентных джойстиков



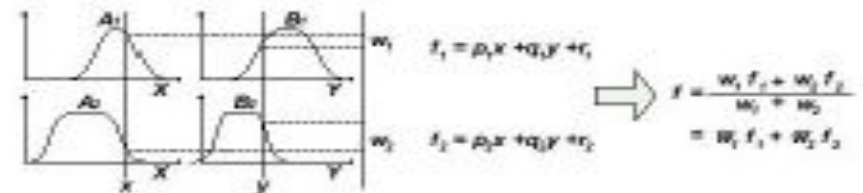
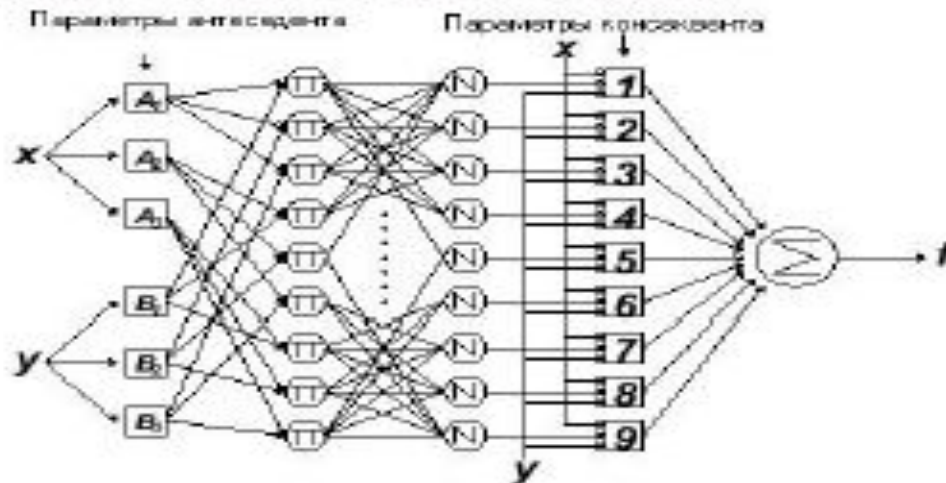


## Адаптивная система нечеткого вывода позволяет автоматически формализовать правила выполнения операции человеком в типовых ситуациях



- - ненастраиваемый узел;  
 □ - настраиваемый узел.

**Пример: АСНВ на 2 входа и 9 правил**



Используются правила вида:

ЕСЛИ  $x$  есть  $A_i$  и  $y$  есть  $B_i$ , ТО  $f_i = p_i x + q_i y + r_i$ .

Настраиваемые параметры:

$\{p, q, r\}$  - параметры антеседента;  
 $\{A, q, r\}$  - параметры консеквента.

Функции слоев:

Слой 1:  $Q^1 = \mu_{A_i}(x)$

Слой 2:  $w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), i=1,2$

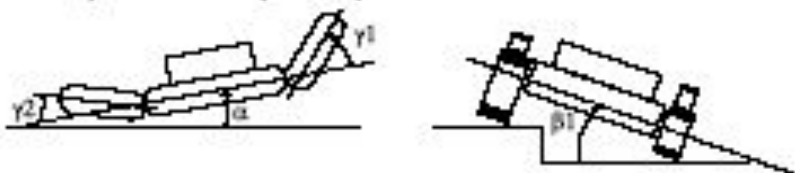
Слой 3:  $\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i=1,2$

Слой 4:  $Q^i = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i)$

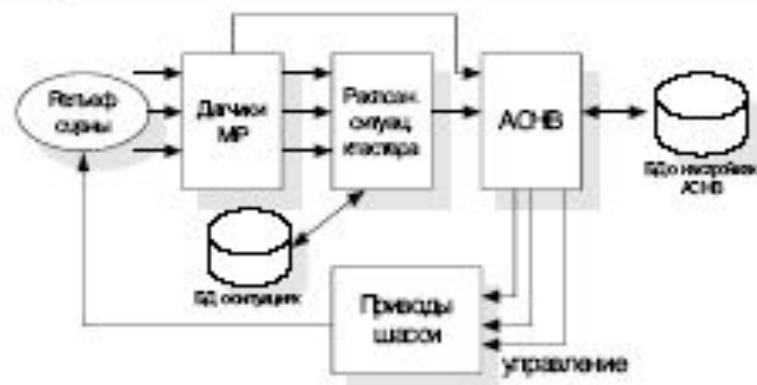
Слой 5:  $f = Q^i = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$

## Задача управления конфигурацией шасси мобильного робота

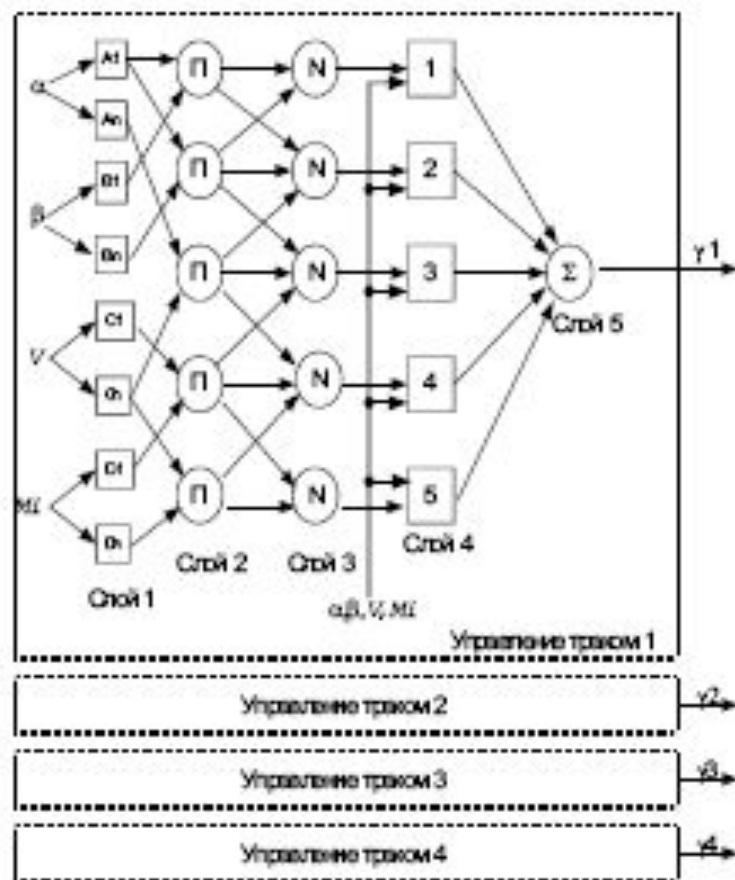
Измеряемые параметры:



	Параметр
$\alpha$	Угол наклона платформы (тангаж)
$\beta 1$	Угол наклона платформы (крен)
$\gamma_1 - \gamma_4$	Углы поворотов трактов относительно платформы
$V$	Линейная скорость робота
$M_i$	Моменты в двигателях.

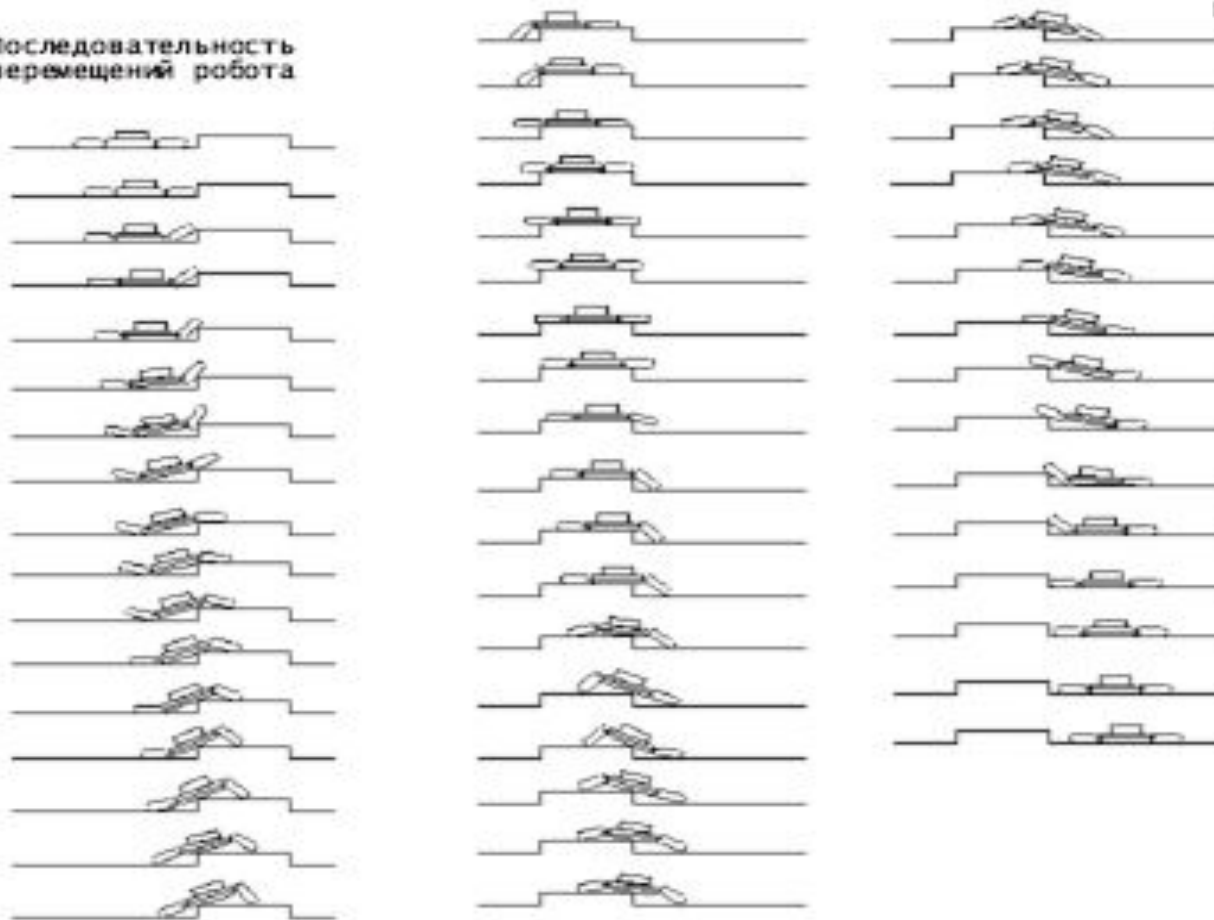


Структура АСЧВ:

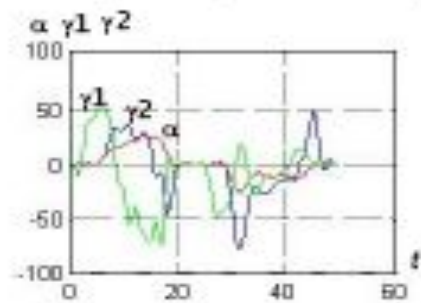


## Кинематическое моделирование ситуации "Барьер"

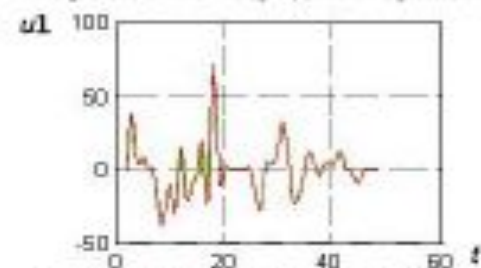
Последовательность перемещений робота



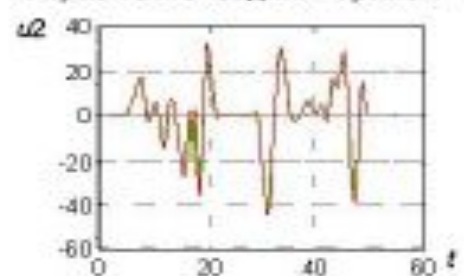
изменение углов траков и платформы



управление передним траком

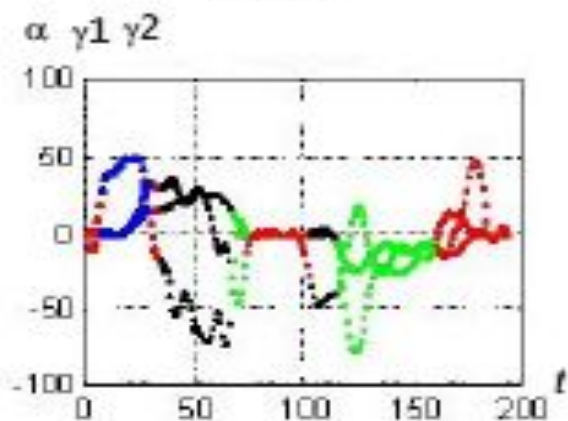


управление задним траком

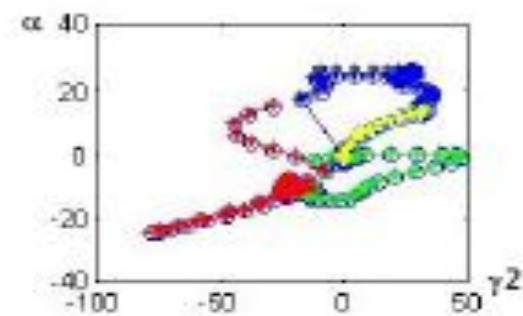
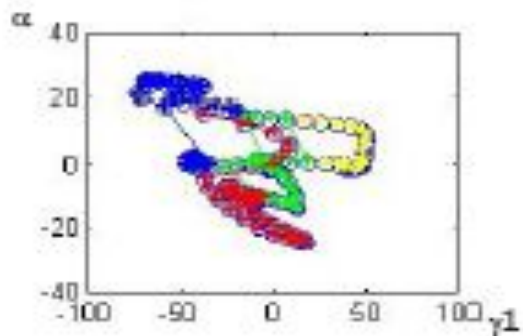
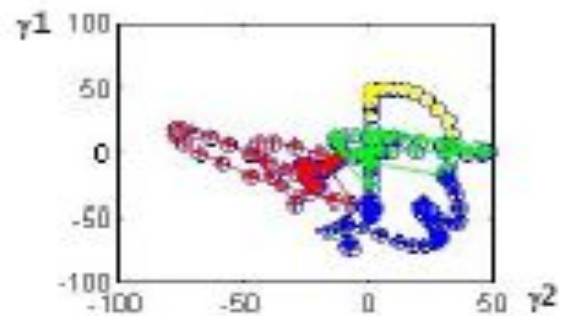
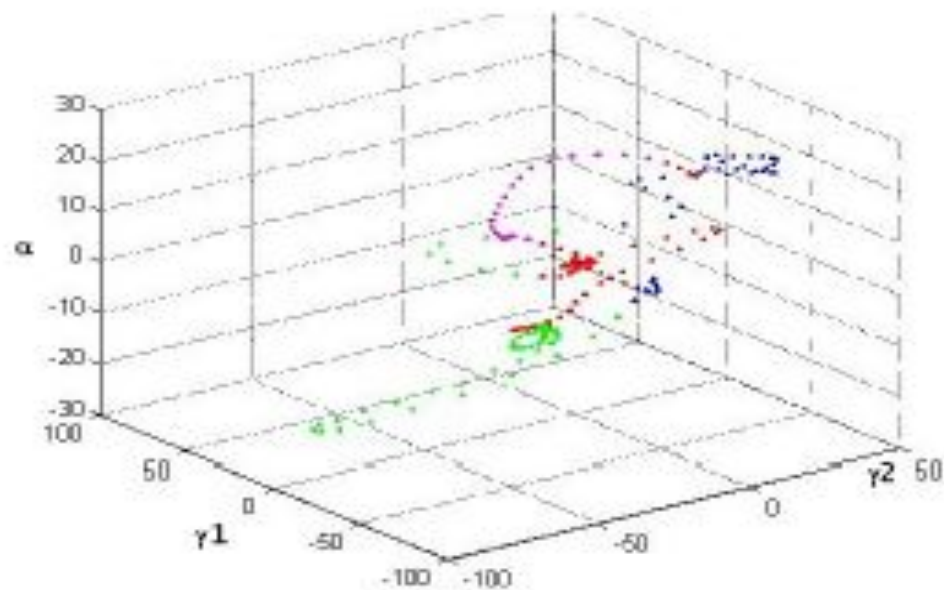


## Распознавание ситуации с помощью кластеризации входных данных

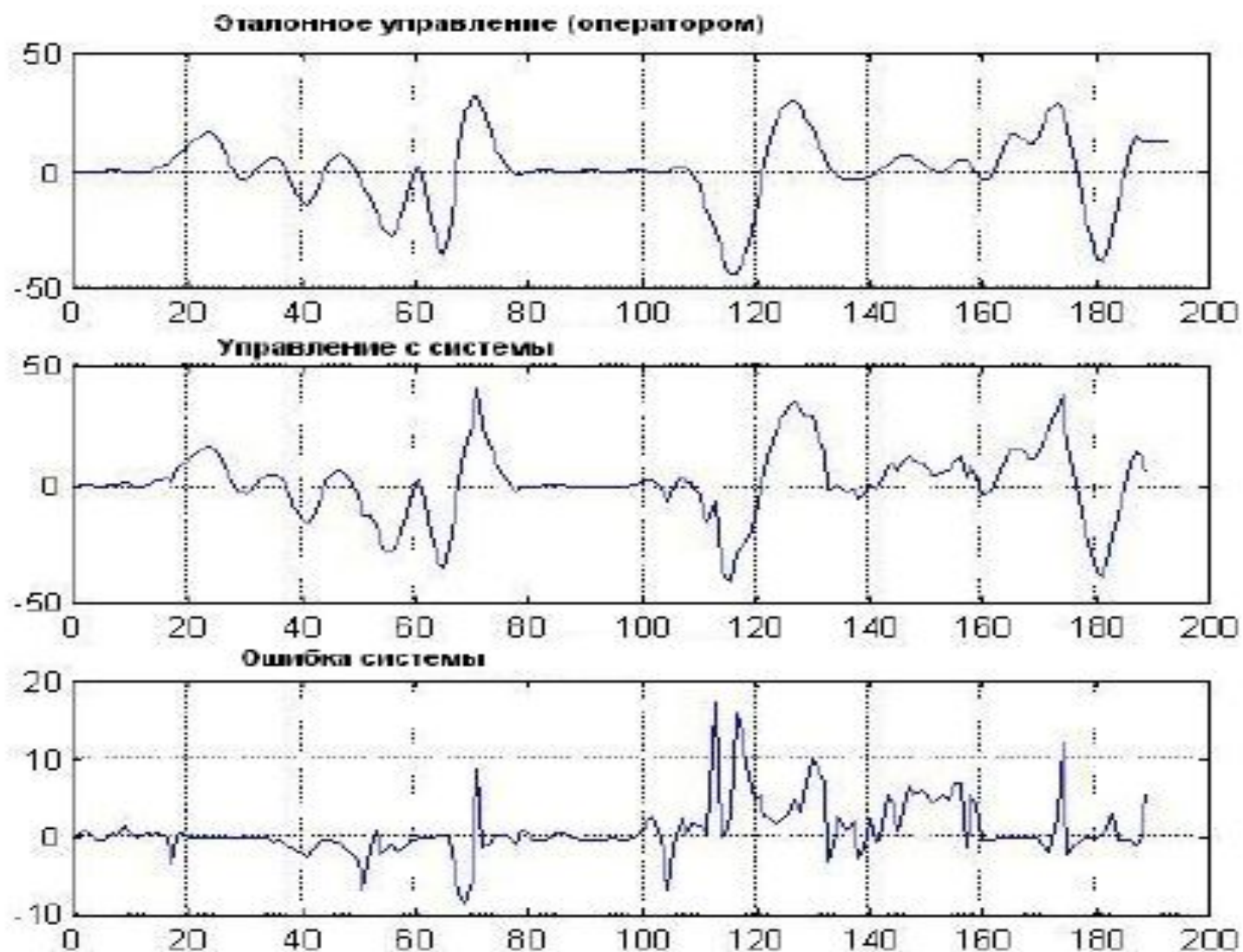
Кластеризация во временной области



Кластеризация в полном пространстве входных данных

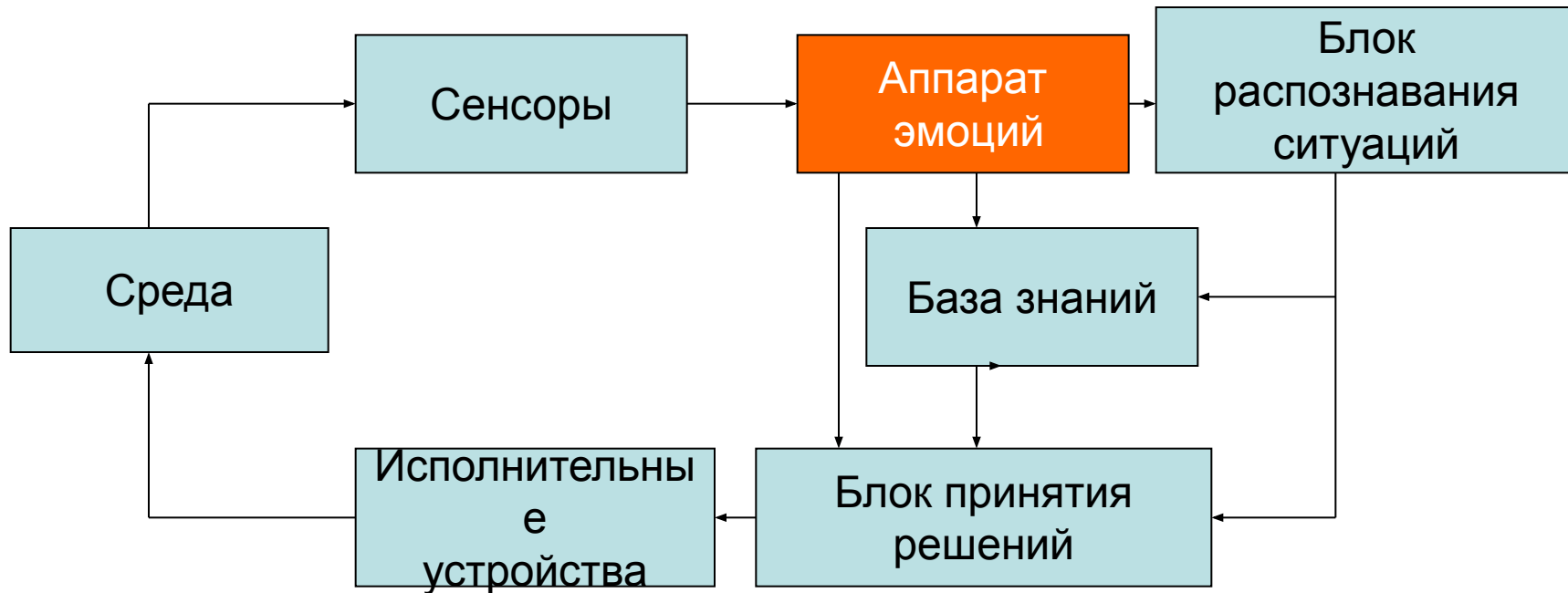


## Результат обучения АСНВ



## Метод автономного адаптивного управления

применяется в тех случаях, когда вообще отсутствует априорная информация об условиях работы ЭРИС  
(«Обучение робота без учителя» -А.А.Жданов, М.В.Караванов  
ИСП – ИТМ и ВТ РАН)

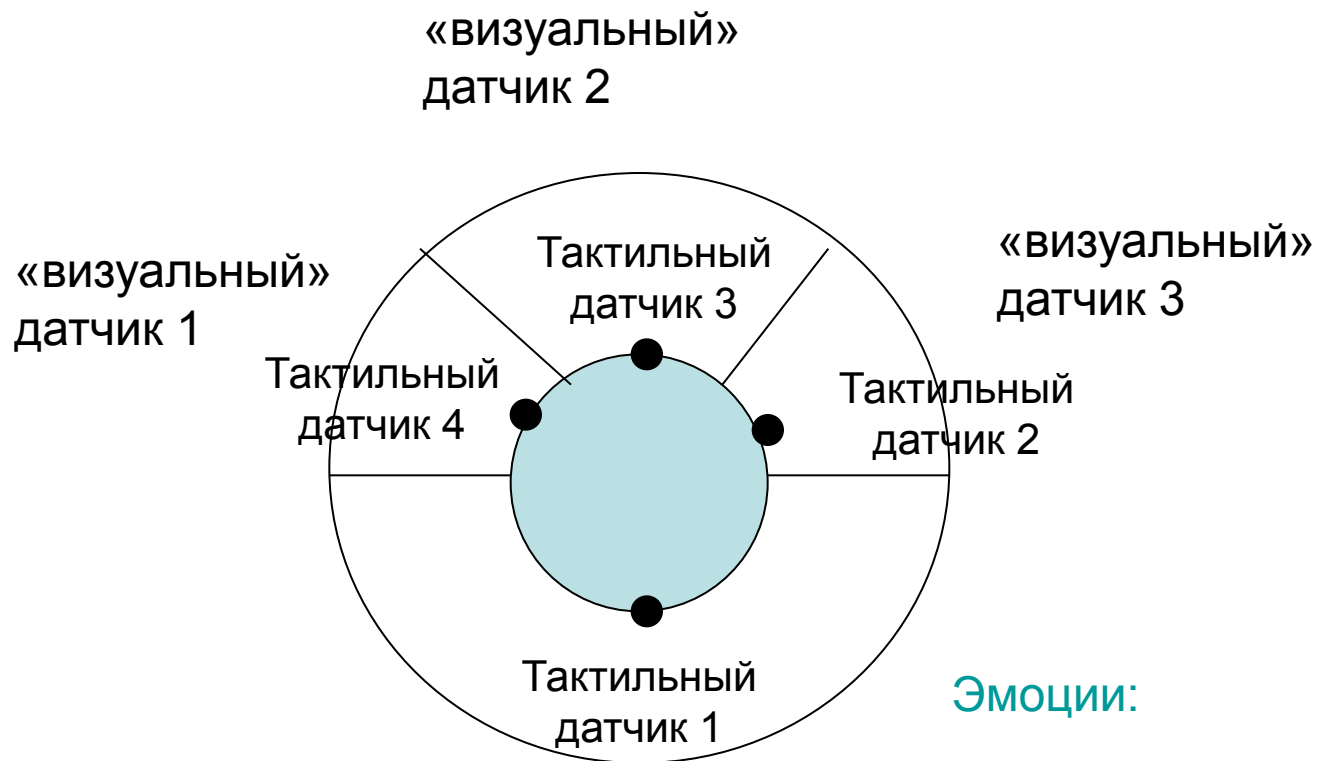


Метод позволяет обучать робота в полностью автономном режиме, используя принцип «подкрепления» правильных решений



## Компьютерная модель самообучающегося робота

**Задача** – обучение движению в пространстве с препятствиями без столкновений; научиться проезжать в ворота; научиться двигаться вдоль стены и т.п.



### Цель:

при отсутствии препятствий двигаться вперед

### Эмоции:

прикосновение к препятствию неприятно



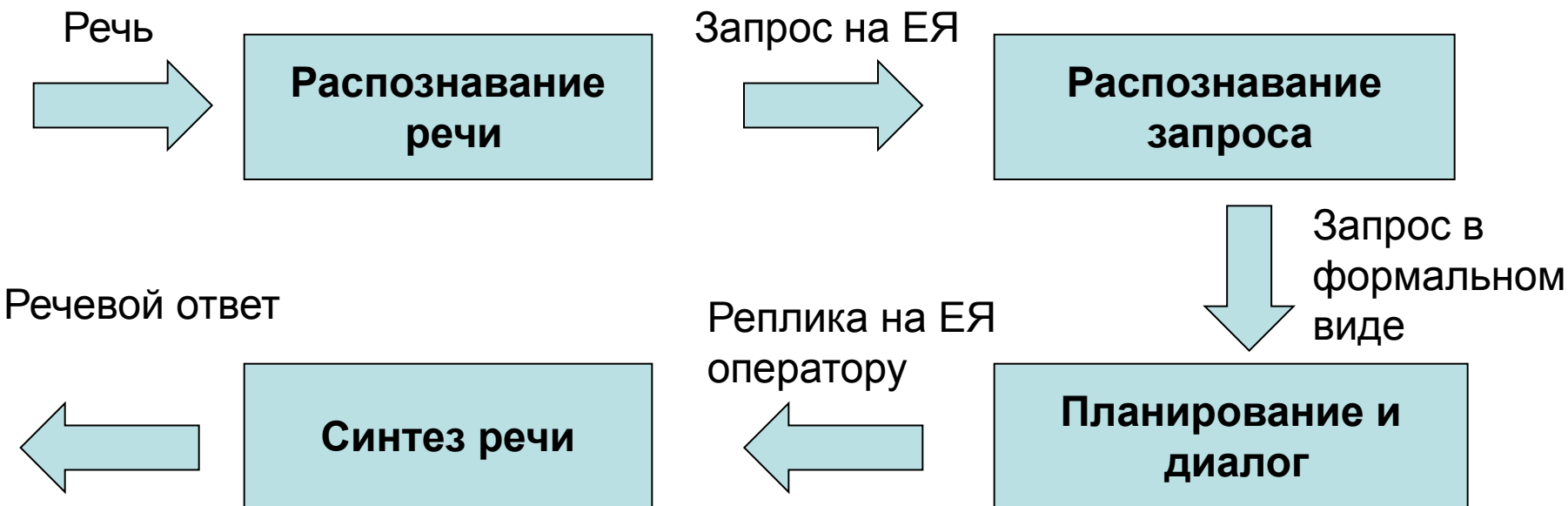
## Речевое управление роботом



# Функциональная схема речевого диалога человека и робота

Перечень функциональных модулей:

- распознавание речи (получение символьного представления акустического сигнала)
- понимание речи (распознавание запроса, планирование, ведение диалога)
- синтез речи (речевой ответ)



# Методы распознавания речи

Варианты постановки задач:

- настройка на диктора;
- количество слов;
- изолированность произнесения;
- шумовые условия.

Методы распознавания:

- динамическое искажение времени (ДП, АЛП);
- скрытые марковские модели (гибридируется: VQ, гауссовские смеси, NN)

Методы моделирования языка:

- **энграммы**;
- СММ, полученные из грамматик;
- FST;
- стохастические грамматики.

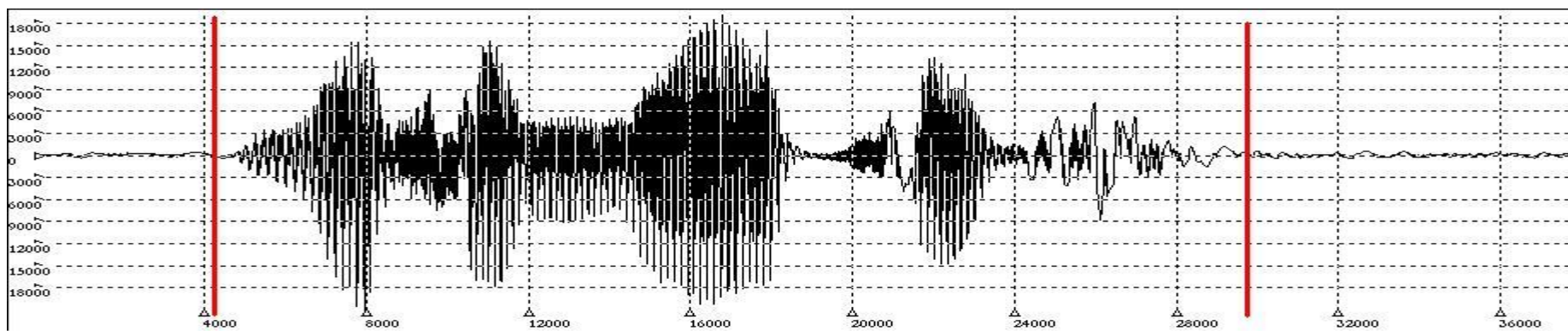
Векторы признаков и шумоподавление:

- банки фильтров (адаптивная компенсация 2 мик., вычитание стац. спектра)
- MFCC, гомоморфная фильтрация сигнала

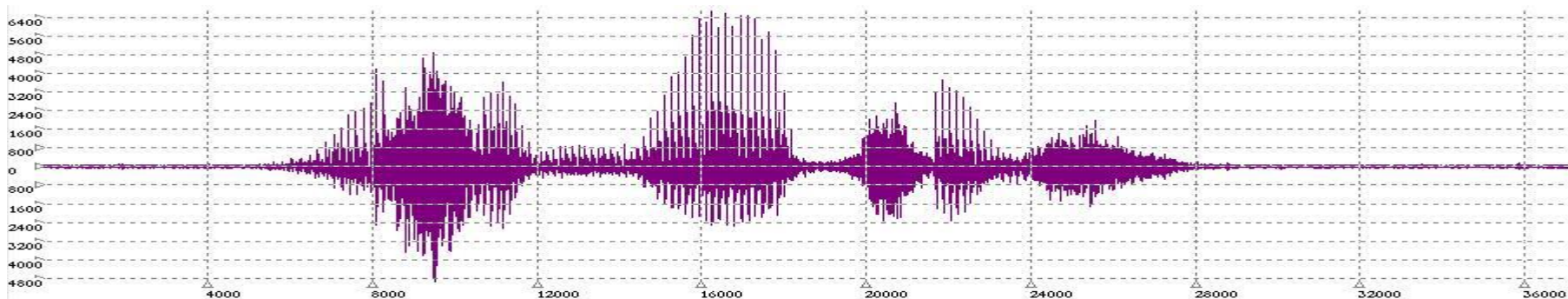
# Осциллограмма речевого сигнала

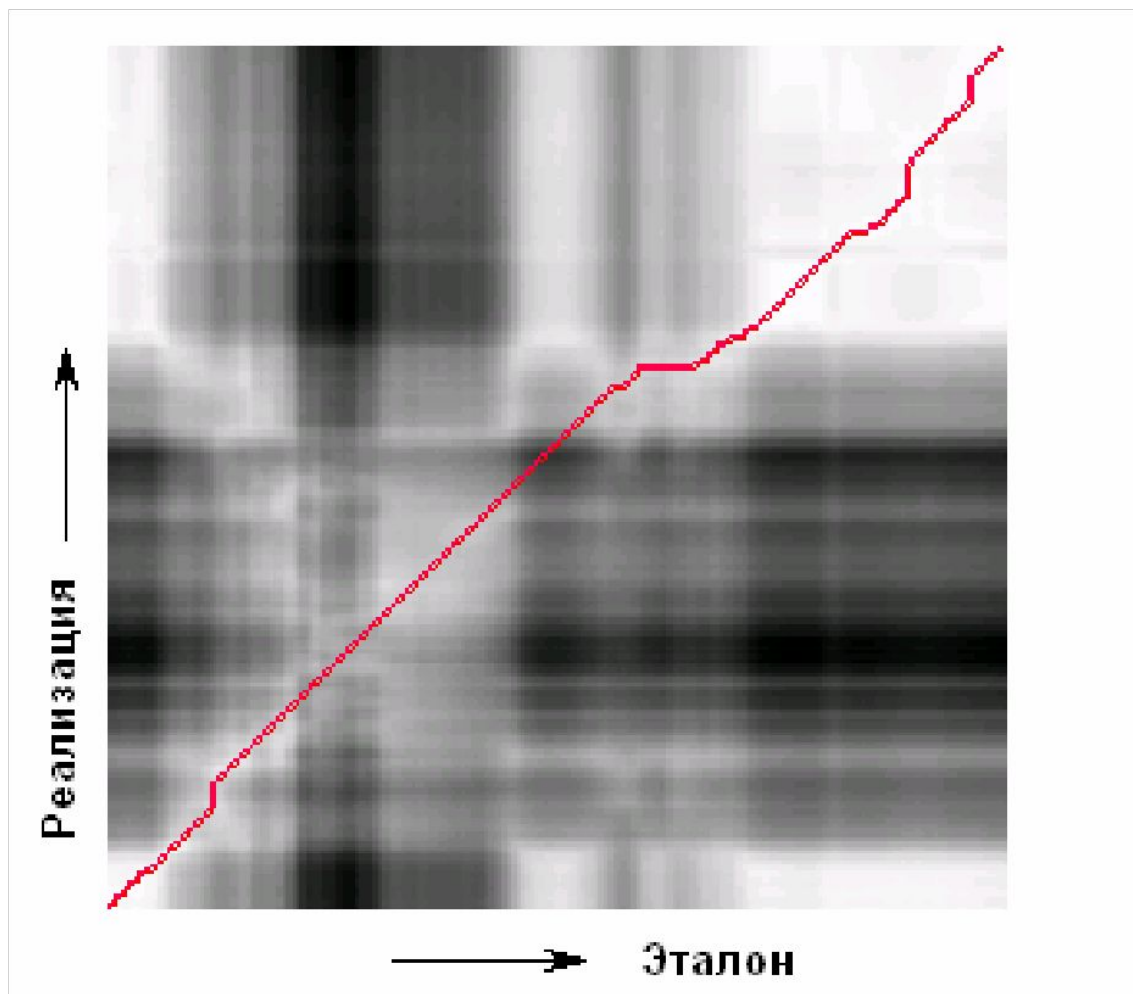
Слово: восемнадцать

Осциллограмма



Предварительная фильтрация





Сонограмма ДП (слово «девятнадцать» в реализации и в эталоне)

# Динамическое искажение времени и АЛП

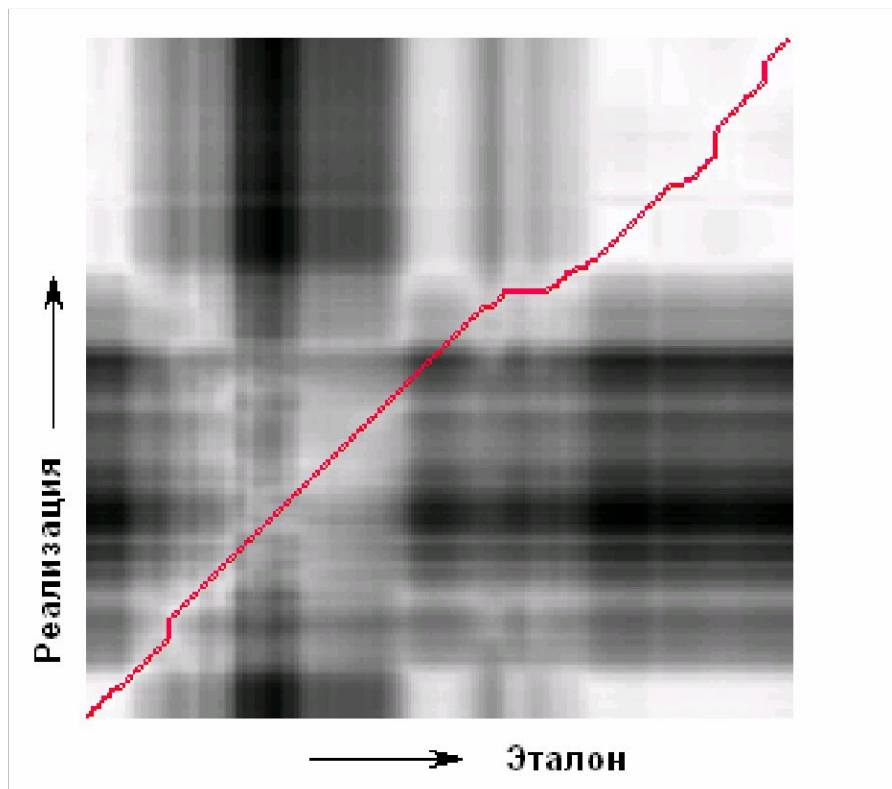
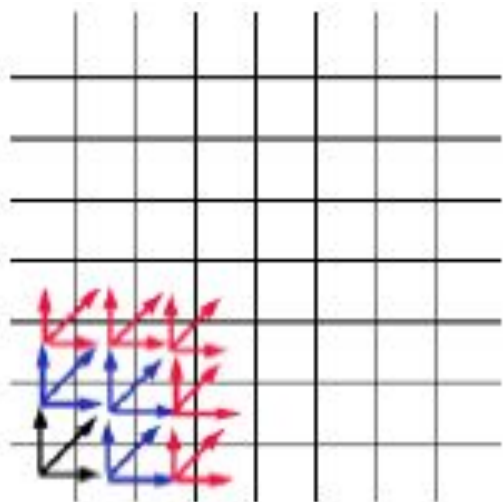
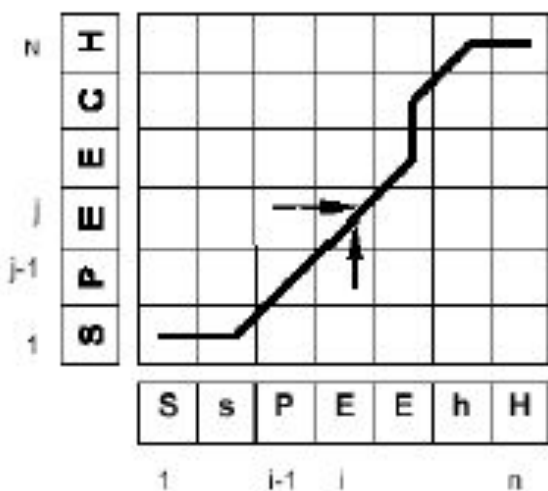
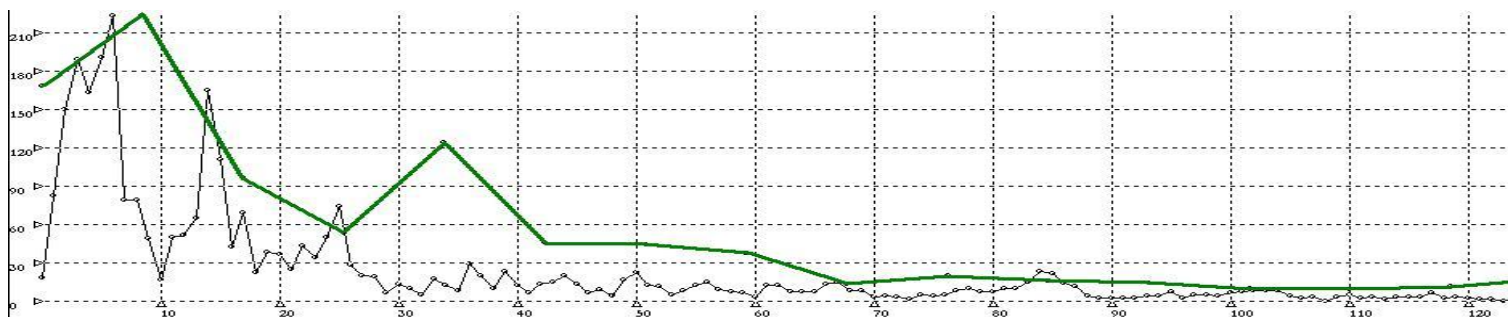


Рис. 5. Сонограмма ДП (слово «девятнадцать» в реализации и в эталоне)

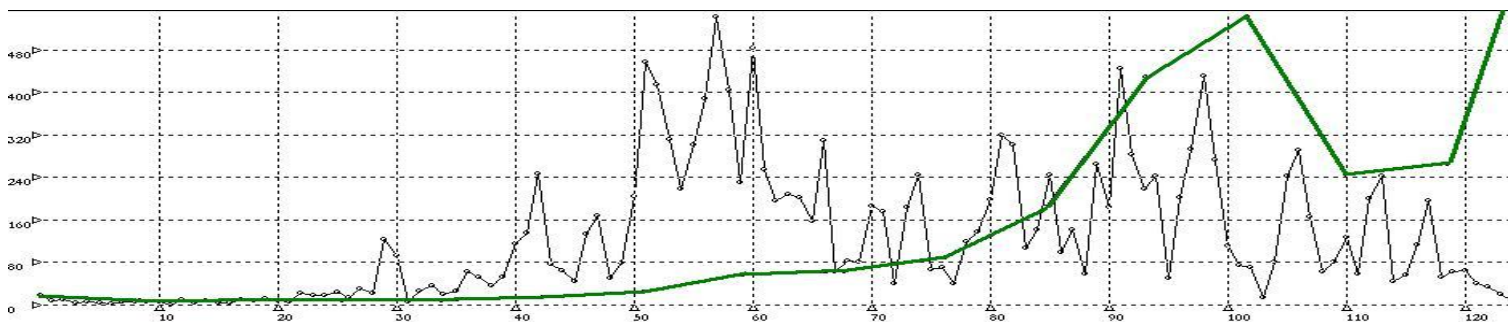
$$D(i, j) = \min \begin{bmatrix} D(i-1, j-1) \\ D(i-1, j) \\ D(i, j-1) \end{bmatrix} + d(i, j)$$

## Формирование вектора признаков звуков

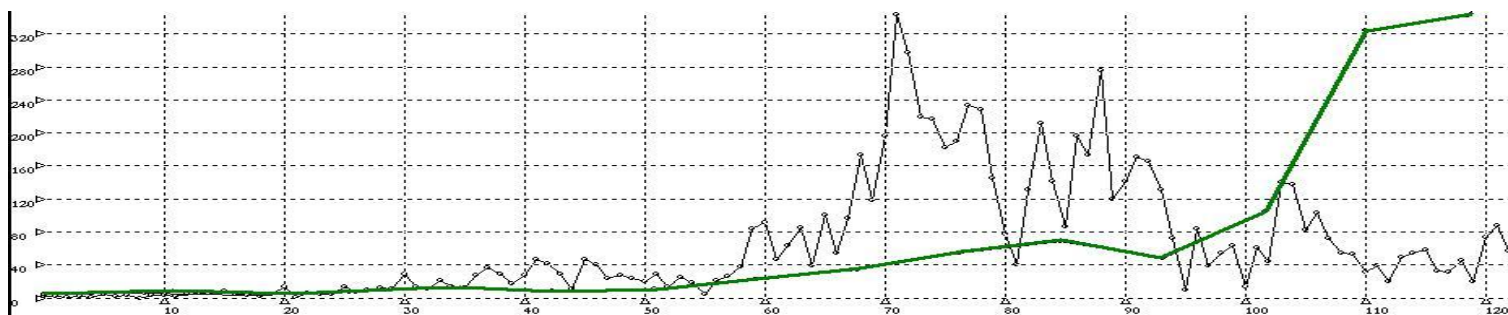
/a/



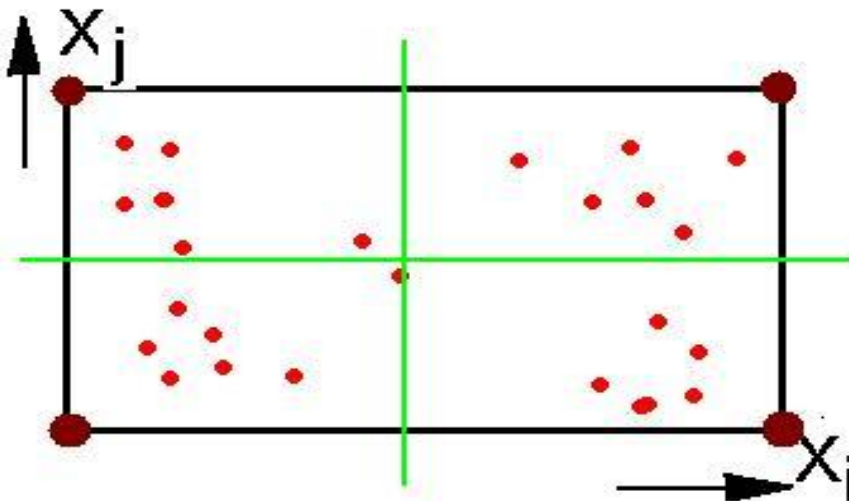
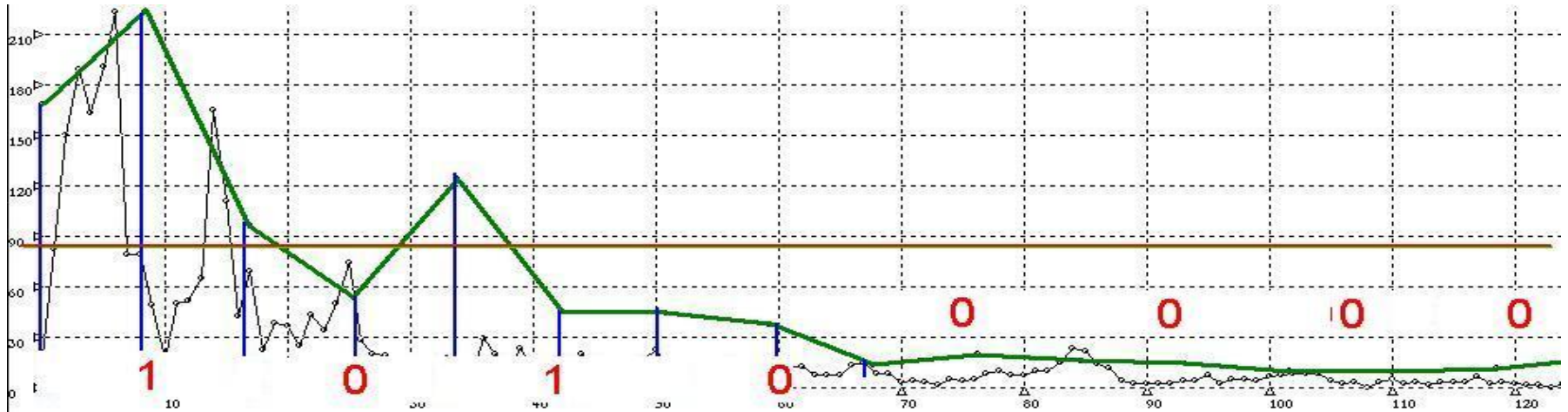
/c/



/ц/



# Кодирование

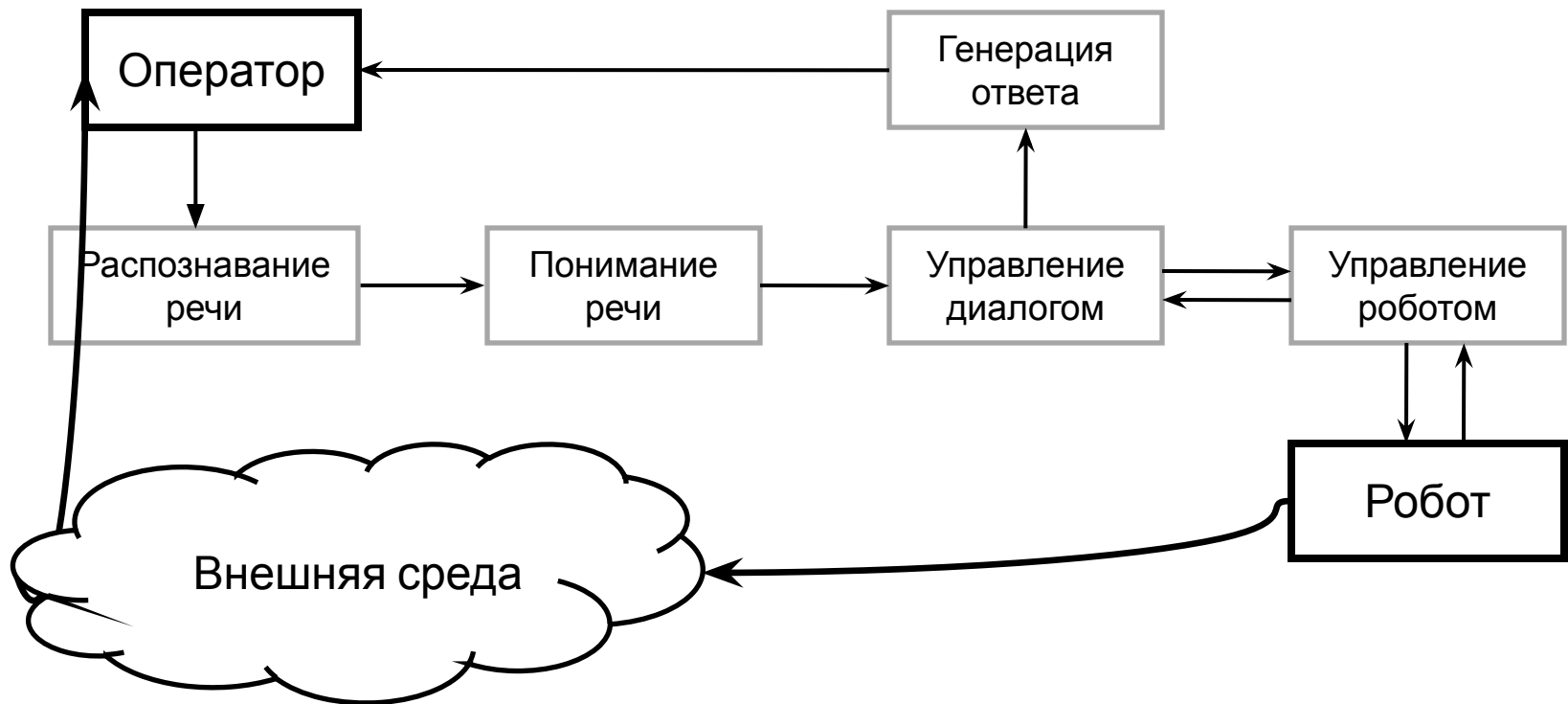


Код символа

$S[i]$  есть 10100000 в  
двоичной системе или  
160 в десятичной



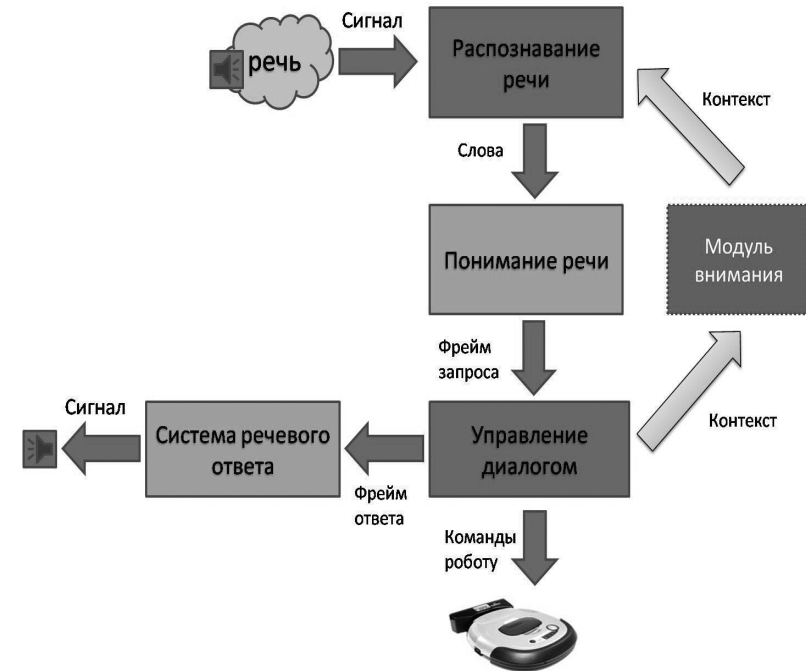
# Функциональная схема системы речевого диалогового управления



# Использование априорной информации о синтаксисе и структуре диалога

Причины ошибок распознавания речи:

- шум;
- **речь других людей;**
- **внесловарные слова;**
- **повторы и пропуски слов в фразе;**
- **ошибки сегментации.**



Качество распознавания речи:

$$P_r = P_p(I)(P_s + P_{apriori}(I))$$

$P_r$  - вероятность правильного распознавания

$P_p(I)$  - вероятность правильного предсказания контекста

$P_{apriori}(I)$  - функция полезности априорной информации

А где  $P_s$  ?

# Анализ требований к распознаванию речи.

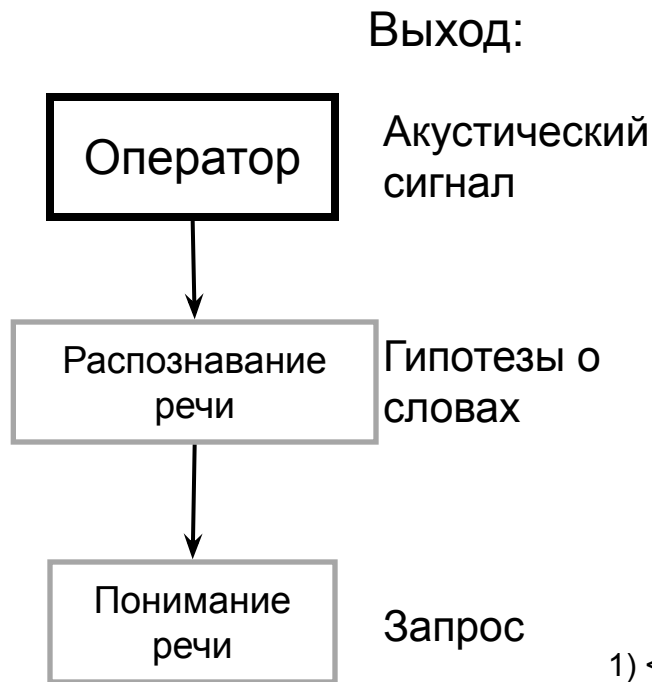
	СММ (Скрытые Марковские модели)	Динамическое искажение времени
Шумоустойчивость	нет	нет
Легкость настройки на диктора	нет	есть
Качество распознавания	WER<2-3%	WER<5-10%
Дикторонезависимость	есть	нет

## Требования к распознаванию речи применительно к управлению роботами

- размер словаря до 100 слов;
- устойчивость к шумам;
- большой динамический диапазон;
- высокое качество распознавания;
- дикторонезависимость;
- быстрая настройка под оператора.

# Разработка речевого диалога.

## Модуль понимания речи



Запрос – семантически законченное сообщение роботу (информация, команда, вопрос). Единица диалога между оператором и РТС.

Задачи модуля понимания речи:

- определение типа запроса;
- выбор гипотез распознавания;
- заполнение фрейма запроса.

Примеры запросов :

- 1) <иди|едь> вперед <пройдешь мимо | дойдешь до| проедешь через> <\_название объекта\_>
- 2) <иди|едь> вперед до <начала|конца|середины> <\_название объекта\_>
- 3) <иди|едь> вперед до появления <\_название объекта\_> <слева|справа>
- 4) <иди|едь> вперед до поворота
- 5) поверни <налево|направо> <около|после|до> <\_название объекта\_>
- 6) <\_название объекта\_> <расположено|находится> <слева|справа|спереди|сзади>

**Сценарий диалога** – совокупность состояний диалога (от начального до конечного) и переходов между ними.

Примеры сценариев:

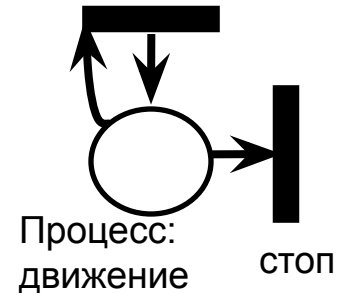
1. Уточнение состава команды (задачи)
2. Уточнение описания состояния внешнего мира (ситуации)
3. Уточнение описания операции, или плана ее выполнения
4. Уточнение намерений оператора, или его психофизиологического состояния

## Разработка модуля управления диалогом с использованием сетей Петри

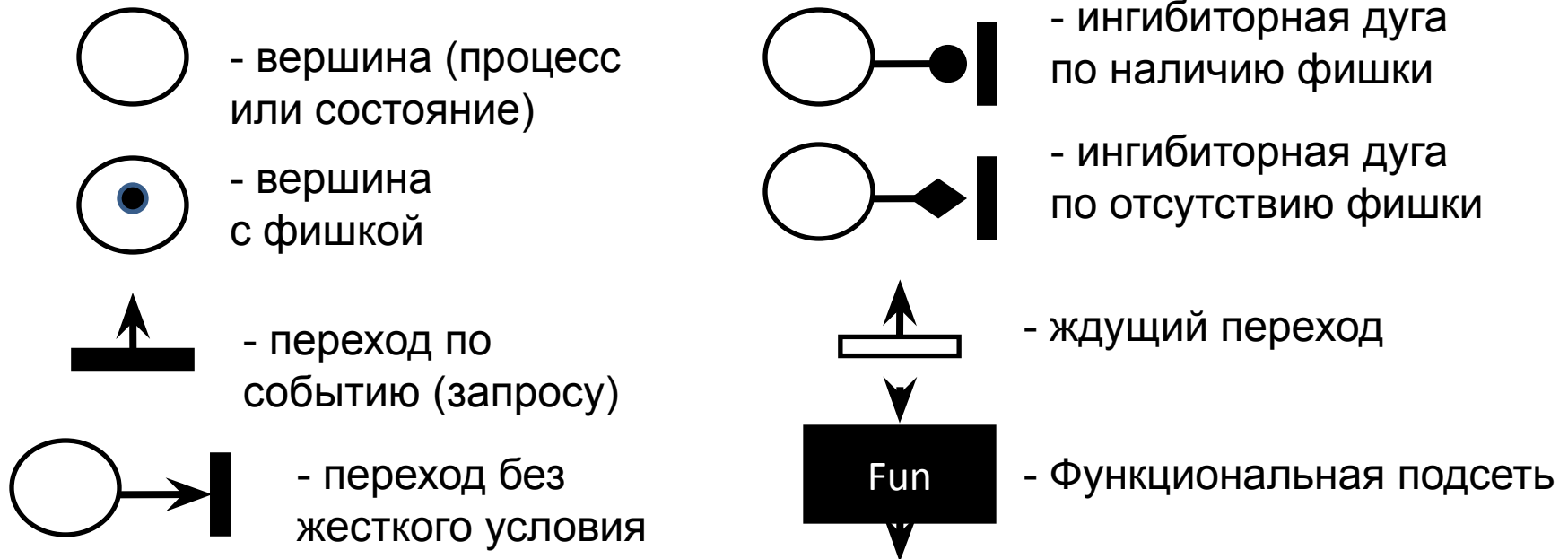
Задачи модуля управления диалогом:

- реакция на события диалога;
- интеграция событий от модуля управления роботом ;
- отправка управляющих сигналов модулю управления роботом.

вперед, назад

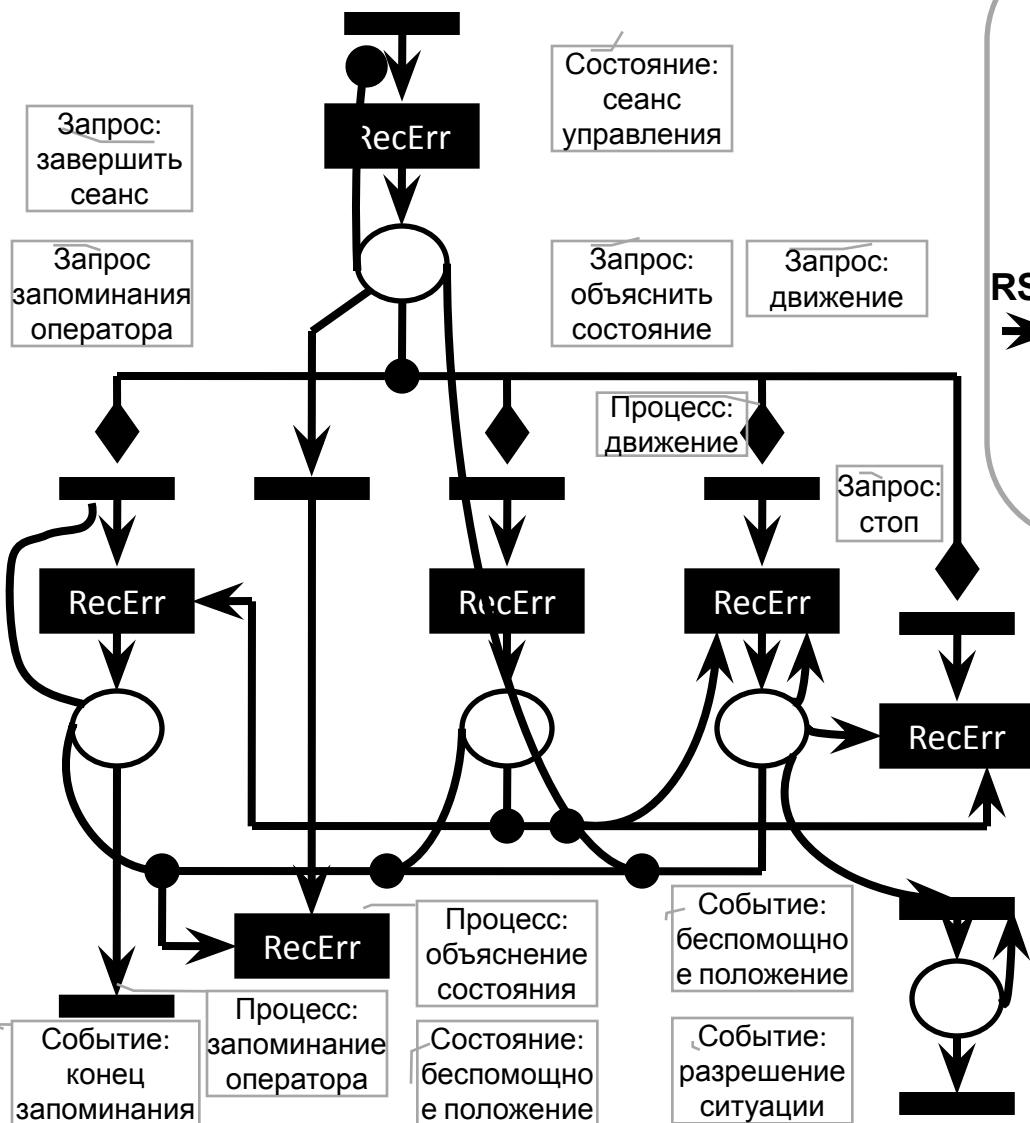


Применение модифицированных сетей Петри:

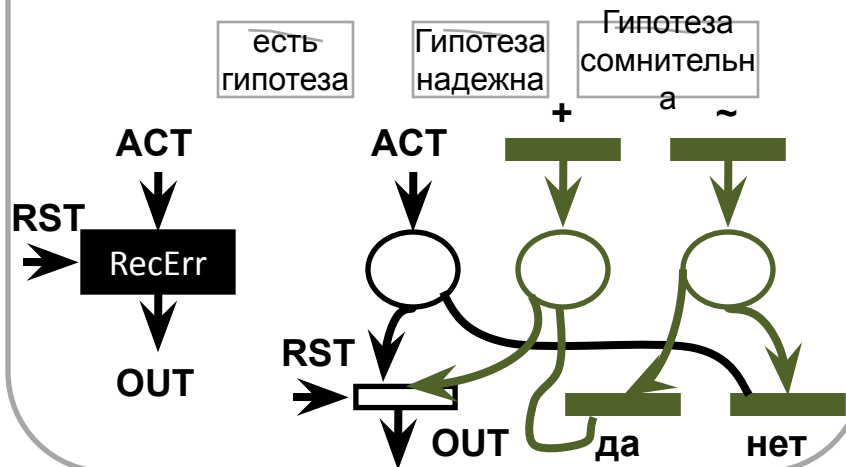


# Пример применения управляющей сети Петри для организации речевого диалога между оператором и роботом.

## Начало сеанса



## Функциональная подсеть обработки ошибок распознавания речи



## Поддерживаемые сетью сценарии:

- команды движения;
- остановка;
- начало сеанса;
- запоминание оператора;
- конец сеанса;
- переспрос и подтверждение;
- просьбы о помощи;
- объяснение состояния.

## «Понимание» роботом команд человека

- Восприятие и правильная интерпретация речевого сигнала, составляющего команду (заполнение фрейма). Проверка корректности команды
- Успешная формализация целевого состояния мира, определяемая командой и проверка корректности такого состояния
- Представление целевого состояния в альтернативной форме, напр., в графической с тем, чтобы проверить адекватность представления робота и оператора (Павловский В.Е., Инст. Механики МГУ им. М.В.Ломоносова)
- Проверка достижимости цели в рамках внутренней модели мира, существующей в системе знаний робота путем построения корректного плана достижения цели



## ЗАДАЧИ НА БЛИЖАЙШУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

- От управления роботами к диалогу. Диалоговое управление «интеллектуальными» роботами. Проблема взаимопонимания.
- Обучение путем диалога и демонстрации. Разработка профессиональных и «естественных» языков диалога робота и человека
- Управление коллективами роботов (многоагентное управление). Создание теории многоагентных систем, включающих роботов и людей
- Автономное поведение и самообучение роботов в непредвиденных ситуациях. Комбинация предварительного обучения и самообучения
- Мультимодальные информационно-сенсорные системы и комплексирование информации. «Образное мышление» роботов. Когнитивное поведение роботов.
- Проблема понимания и взаимопонимания человека и робота – антропоцентрический подход к созданию интеллектуального уровня робота
- «Эмоции» роботов и их использование при организации управления.
- Психология человека и «психология» робота. Проблемы согласования.
- Включение роботов в гуманитарный социум с общением на естественном языке. Персональные роботы.

**Благодарю за внимание!**

**Наш адрес:**

**robot@bmstu.ru**

**Научно-учебный Центр «Робототехника»  
МГТУ им. Н.Э.Баумана,**

**В работе принимали участие аспиранты  
и студенты кафедры  
«Робототехнические системы»**

**Тел. 8 (499)165 – 17 - 01**