



Карпов В.Э.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РОБОТЫ

ЧАСТЬ 1



Карпов Валерий Эдуардович, НИИ Информационных технологий,
Москва

Павловский Владимир Евгеньевич, Институт прикладной математики
им. М.В.Келдыша РАН

Поспеловские чтения, Москва, Политехнический музей, 2009

Мифы интеллектуальной робототехники

- **Миф 1.** По-отдельности создано все необходимое для создания интеллектуального робота (ИИ-механизмы, «железо»). Осталось собрать все воедино.
- **Миф 2.** Интеллектуальные роботы уже существуют (особенно если верить СМИ). Дело лишь за тем, чтоб повысить их интеллектуальность и перейти на их массовый выпуск.
- **Миф 3.** Уже более полувека нет качественно новых идей и разработок. Все качественно новое было разработано уже давно.
- **Миф 4.** То, что было «создано» - не более чем иллюзия. Прорыв в интеллектуальной робототехнике только грядет.



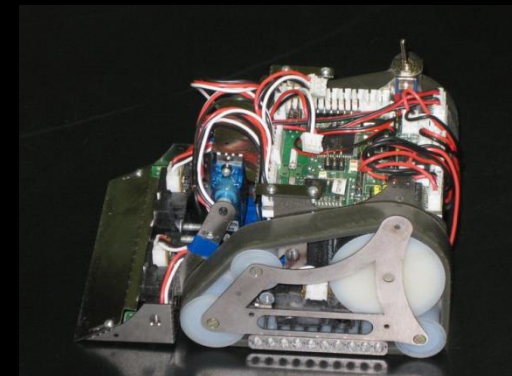
■ Часть 1. Определения

- 2. Интеллектуальные СУ
 - 3. Имитация физиологии
 - 4. Имитация эмоций и психических функций
 - 5. Интегральный подход
 - 6. Нерешенные задачи и перспективы
-

- Задачи движения
- Общение
- Коллективное поведение
- Спортивная робототехника

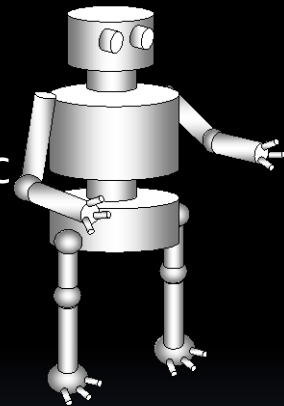
Кто из них – интеллектуальный робот?

- Asimo (1) (2)
- Робот-сумоист
- Лего-робот (1) (2)
- Робот пылесос



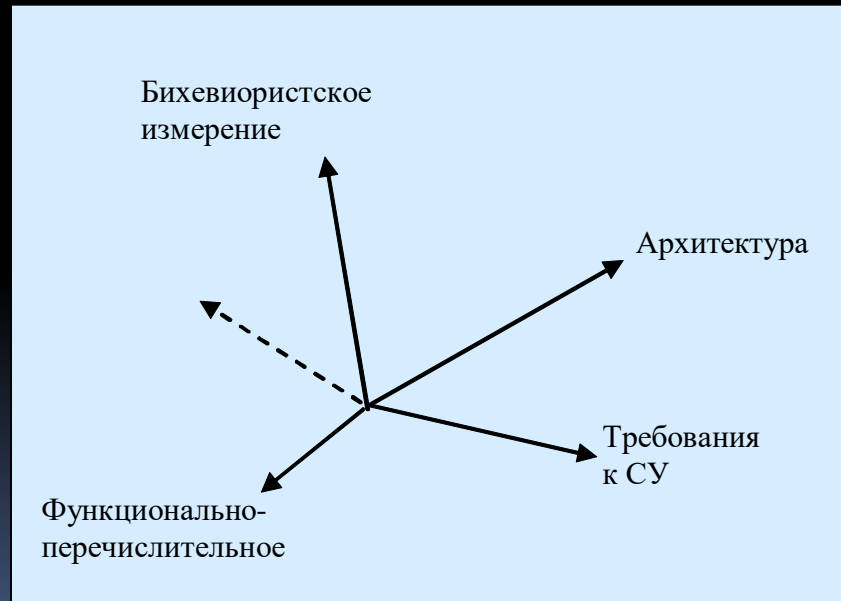
Определения. Робот

- Р - автомат, у которого связь с внешней средой не жесткая (рецепторы получают возможность переключаться с одного источника информации на другой) и эффекторы которого тоже являются управляемыми и могут воздействовать на различные объекты внешней среды. Р обладает целенаправленным поведением и умеет различать объекты внешней среды.
- Р – машина с **антропоморфным** (человекоподобным) поведением, которая частично или полностью выполняет функции человека (иногда животного) при взаимодействии с окружающим миром.
- Р – это технический комплекс, предназначенный для выполнения различных движений и некоторых интеллектуальных функций человека и обладающий необходимыми для этого исполнительными устройствами, управляющими и информационными системами, а также средствами решения вычислительно-логических задач.



Определения. Интеллектуальный робот

- **Замечание 1.** Основная цель любого определения, как и любой классификации, - дать возможность различать между собой объекты, соотнося их к тому или иному классу.
- **Замечание 2.** ИР следует рассматривать как некий многомерный объект, с разных точек зрения, с позиций разных координатных осей.



Многомерная система определений

Определения. Интеллектуальный робот

А. Функционально-перечислительные определения

1. ИР - робот, у которого имеется:

- Иерархия уровней управления – стратегического, тактического и исполнительного.
- Наличие моделей внешнего мира (внутренней среды).
- Наличие развитой рецепторной системы.
- Способность к распознаванию образов.
- ...

2. ИР – это робот, в состав которого входит *интеллектуальная система управления*.

Б. Бихевиористские определения

Упрощенное определение 1. Робот является интеллектуальным, если его поведение *выглядит внешне «разумным», «осмысленным» и т.п.* (некий Тезис Тьюринга применительно к робототехнике).

Развернутое определение 2.

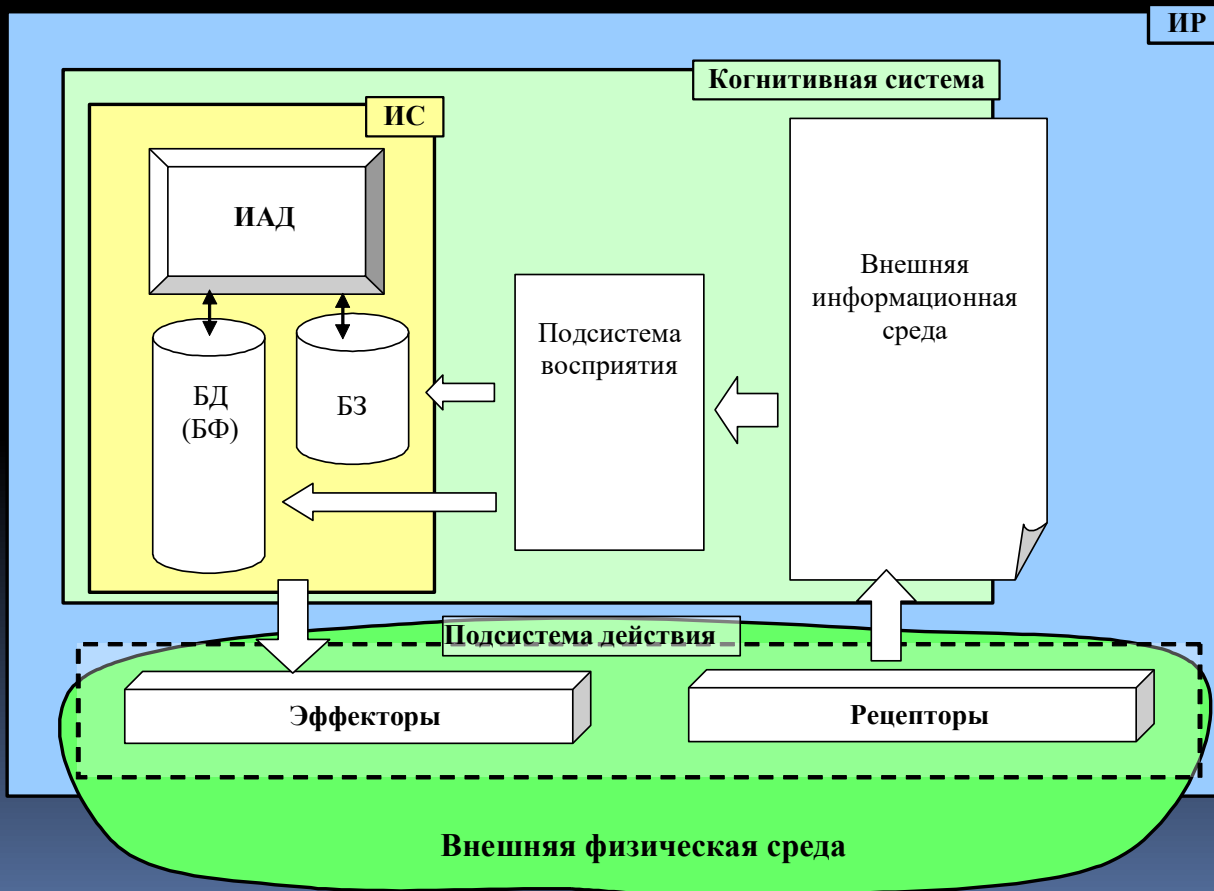
1. ИР должен обладать способностью решать задачи, сформулированные в общем виде.
2. Поведение ИР выглядит внешне «разумным», «осмысленным» и т.п.
3. Действия ИР обладают некоторыми признаками человеческого поведения: датчики собирают информацию о предметах окружающего мира, их свойствах и взаимодействии; на основе этих данных СУ формирует модель внешнего окружения и принимает решение о последовательности действий, которые реализуются исполнительными механизмами.

Определения. Интеллектуальный робот

В. Структурное определение (В.К.Финн)

ИР - это когнитивная система, обладающая возможностью действия после принятия решения. КС - это ИС с подсистемой получения информации посредством мониторинга окружающей среды, т.е. устройства восприятия.

ИР = ИС + подсистема восприятия + подсистема действия



Специфика ИР

Будем понимать под ИР техническое устройство, способное самостоятельно и целенаправленно функционировать в условиях **реальной физической среды** и **адекватно** реагирующее на происходящие в среде изменения.

Очевидная специфика интеллектуальной СУ работа:

- получение максимально быстрого, пусть и неточного, решения;
- функционирование в условиях неполноты, неточности и зачастую противоречивости входной (рецепторной) информации;
- неточность выполнения действий.

Особенностью ИР является **вторичность высокоуровневой системы управления**.

Основное свойство ИР, как технического устройства, - способность к *самосохранению* (инстинкт самосохранения). Речь идет о наличии базовых рефлексов

=> ИР должен обладать способностью «разумного» поведения прежде всего на базовом, рефлекторном уровне. Это не только реализация **базовых рефлексов**, но и способность к анализу состояния вторичных рецепторов, позволяющий роботу распознавать **опасные ситуации** (интеллектуальный анализ данных).

ИР должен обладать способностью функционирования и без высокоуровневого контура управления.

Из истории



"In from three or eight years we will have a machine with the general intelligence of an average human being. A machine will be able to read Shakespeare, grease a car, play office politics, tell a joke. At that point the machine will begin to educate itself with fantastic speed. In a few months it'll be at genius level and a few months after that its powers will be incalculable."

Marvin Minsky, 1970.



"Через три - восемь лет мы создадим робота с интеллектом, равным интеллекту обычного человека. Эти роботы смогут читать Шекспира, смазывать машину, работать в офисе и рассказывать анекдоты. Они будут самообучаться с фантастической скоростью и через несколько месяцев они станут гениями. А еще через несколько месяцев их возможности станут безграничными."

Марвин Мински, 1970

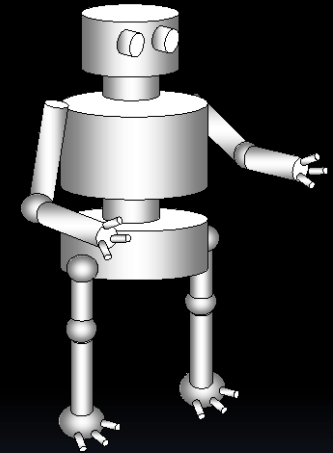
Взгляд на проблематику ИР

Зачем нужно создавать именно **антропоморфных** (человекоподобных) роботов?

1. Роботы, как устройства, выполняющие некую присущую человеку работу функционируют в **человеческой среде обитания**. Роботы должны уметь вписываться в габариты человеческого жилища, пользоваться человеческим окружением (двери, лестницы, выключатели и т.п.). Это подразумевает как минимум необходимость выдерживания массогабаритных характеристик робота.
2. Робот должен общаться с человеком => необходимость наличия «естественного», «человеческого», антропоморфного интерфейса.

Факторы, определяющие необходимость антропоморфности робота:

- человеческая среда обитания;
- естественность интерфейса.



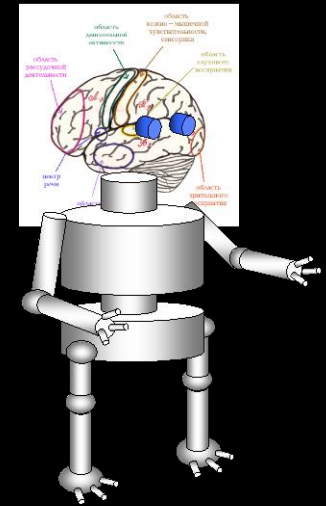
Еще один аспект антропоморфности: решая «человеческие» задачи, обладая **естественным**, человеческим интерфейсом общения, робот не может не иметь своего рода «**человеческих черт**», (внешний вид, эмоциональная подстройка, мышление).

Таким образом, исходя из требования антропоморфности робота, мы почти ничего не будем говорить далее о роботах-пылесосах, о роботах-автомобилях и т.п.

- 1. Определения

- **Часть 2.**
Интеллектуальные СУ

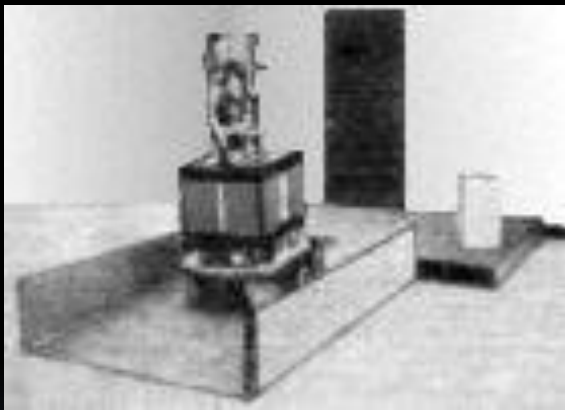
- 3. Имитация физиологии
- 4. Имитация эмоций и психических функций
- 5. Интегральный подход
- 6. Нерешенные задачи и перспективы



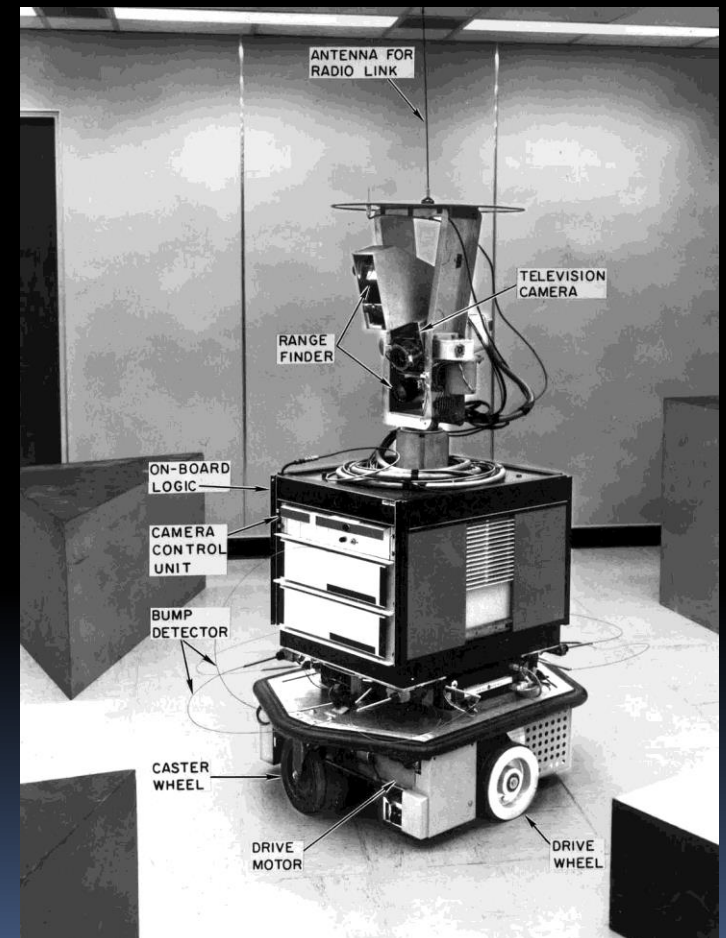
Стэнфордские роботы. Шейки

1969 г. Стэнфордский (SRI) интегральный робот Шейки (Shakey).

- Бортовая ЭВМ SDS-940, телекамера, дальномер и датчики столкновения
- Радиоканал со стационарными ЭВМ PDP-10 и PDP-15.
- Скорость перемещения - 2 метра в час.



В роли модуля планирования для робота – система **STRIPS** (STanford Research Institute Problem Solver), 1971, Р.Файкс и Н.Нильсон.



Робот STAIR

STAIR: STanford Artificial Intelligence Robot

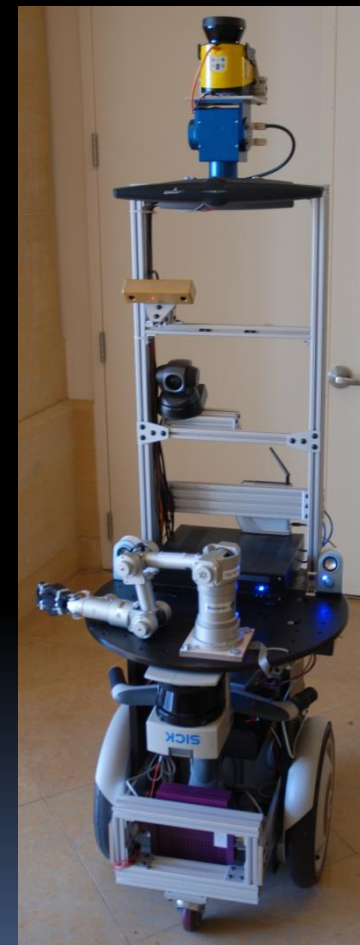
Artificial Intelligence Laboratory, Computer Science Department, Stanford University



STAIR - это робот, способный ориентироваться в домашнем и офисном окружении, взаимодействовать с предметами и инструментами, общаться и помогать людям в этой окружающей среде.

Предполагается, что **единая** платформа объединит методы из всех областей ИИ, включая машинное обучение, зрение, навигацию, манипуляцию, планирование, рассуждение и речевое общение на естественном языке.

Проект должен стать основой исследований в области создания интегральных систем ИИ.



STAIR. Декларации

Должен быть создан робот, способный решать такие задачи, как:

- Принесение или расстановка предметов внутри дома или офиса.
- Уборка комнат, включая выбрасывание мусора и использование посудомоечной машины.
- Приготовление пищи в обычной кухне.
- Использование инструментов для сборки книжной полке.
- ...

«Робот, способный решать эти задачи, произведет революцию в домашней и офисной автоматизации и будет иметь важные применения – от домашнего помощника до работ по уходу за пожилыми людьми.»

Проект затрагивает такие области, как:

интегральное обучение, манипуляционные функции, восприятие (перцепции), речевое общение, рассуждения.

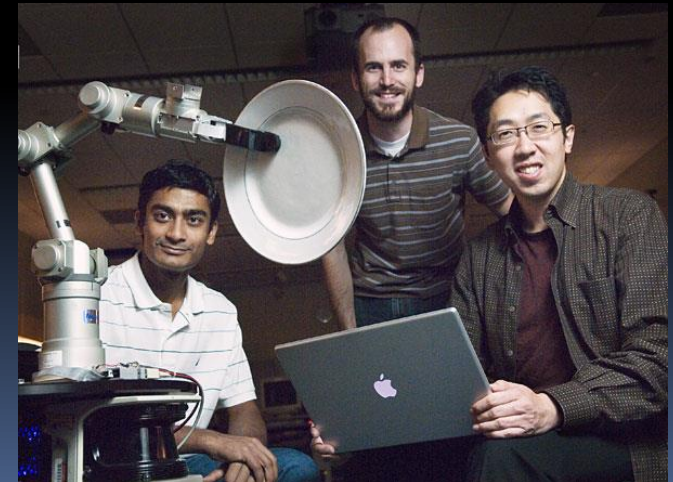
STAIR. Внутреннее устройство

Направления исследований (по публикациям)

- Высокоточное 3D-восприятие для манипуляционных функций (определение местоположения и обнаружение предметов, открывание дверей)
- Ориентация трехмерных объектов по изображениям
- Захват на основе ближних оптических сенсоров
- Обучение стратегиям захвата на основе частичной информации о форме
- Сбор данных и процедуры распознавания объектов (по имеющейся БД изображений – реальных и «синтетических»)
- Захват предметов на основе зрения
- Вероятностные манипуляционные методы в динамических средах (применительно к открыванию дверей)
- Оценка глубины с использованием монокулярного и стерео- зрения



- БД изображений
- Дальномеры и лазерные сканеры
- 3-D-зрение
- Карта помещений



STAIR. Демонстрации

[STAIR-Dishwasher.wmv](#)

[STAIR-DoorOpening.wmv](#)

[STAIR-Elevator.wmv](#)

[STAIR-Grasp.wmv](#)

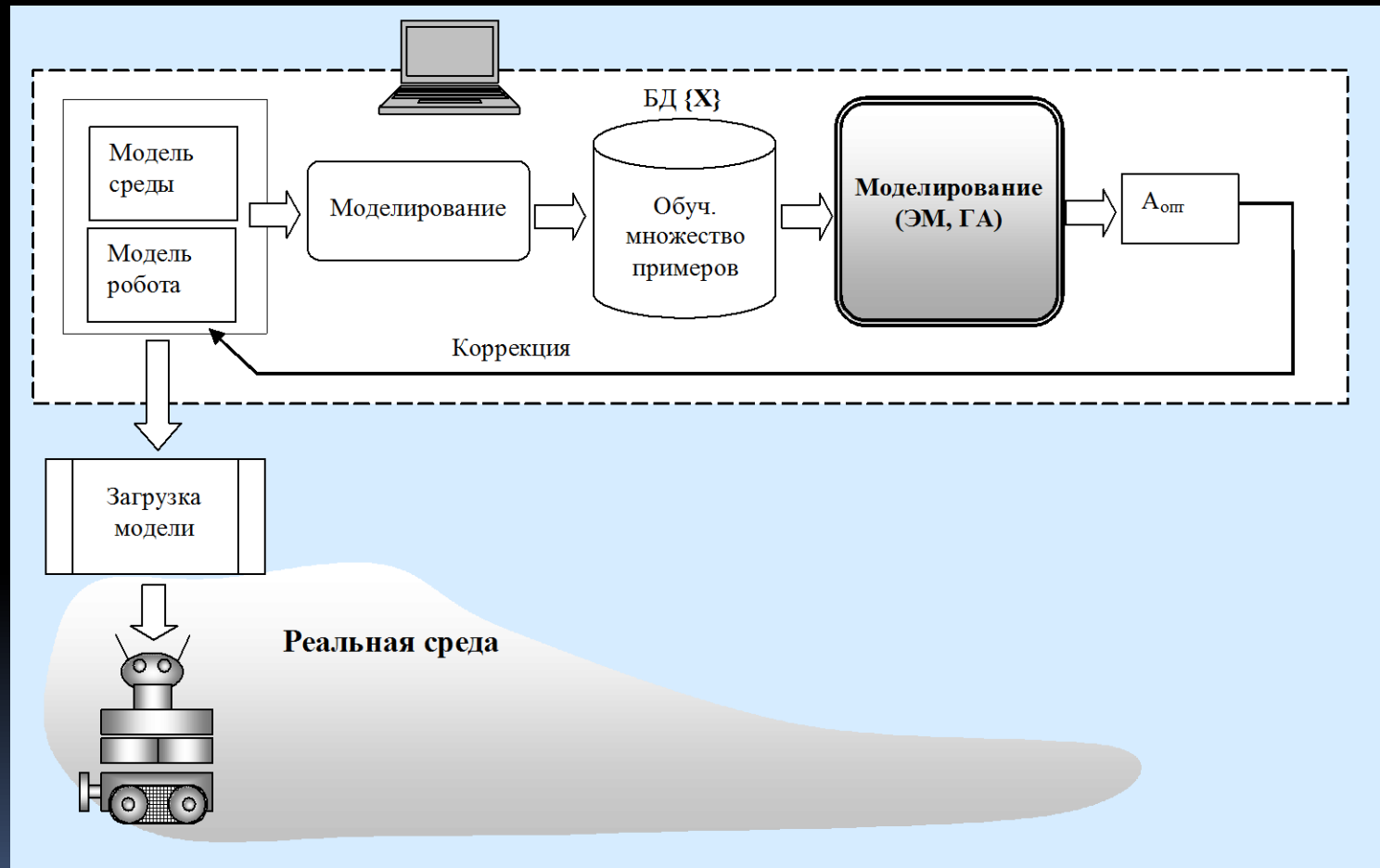
[STAIR-ManipulGraspingNovelObjects.mp4](#)

[STAIR-Stapler.wmv](#)

[STAIR-Line-scanning.mp4](#)

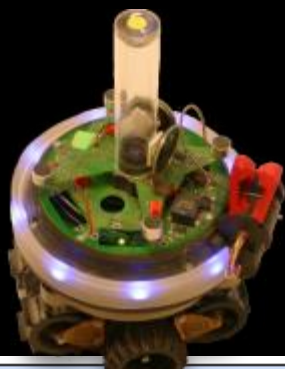
Эволюционные методы

Общая схема применения эволюционных методов (в т.ч. – ГА и явное ЭМ) при создании интеллектуальных СУ:

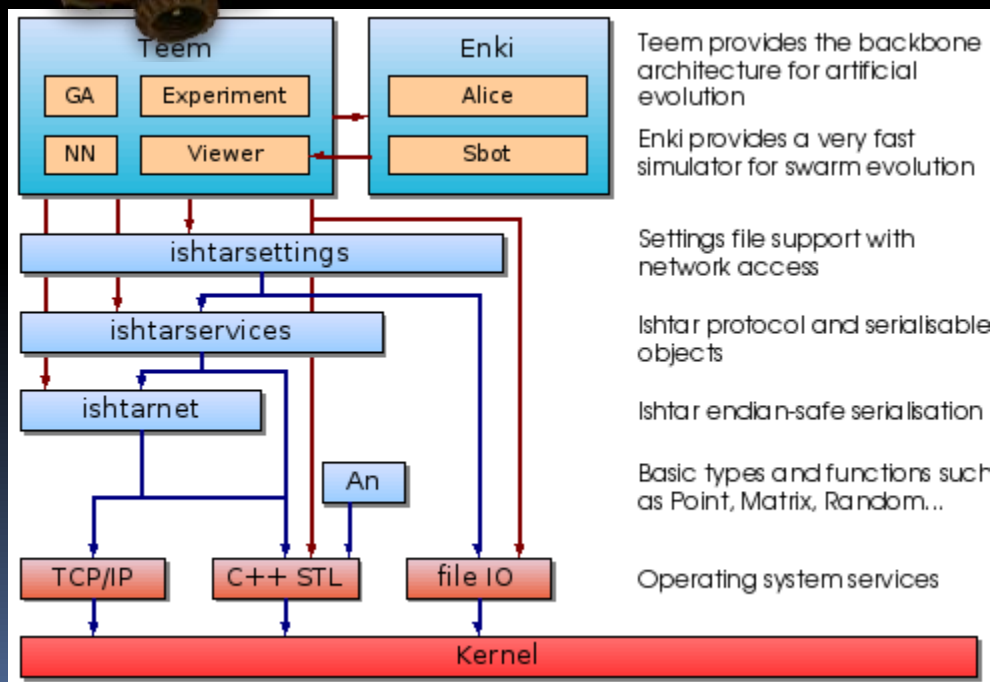


Генетические алгоритмы

Laboratory of Intelligent Systems (политехническая школа, Лозанна, Швеция).
Группа из 10 роботов. Соревнования за пищу.



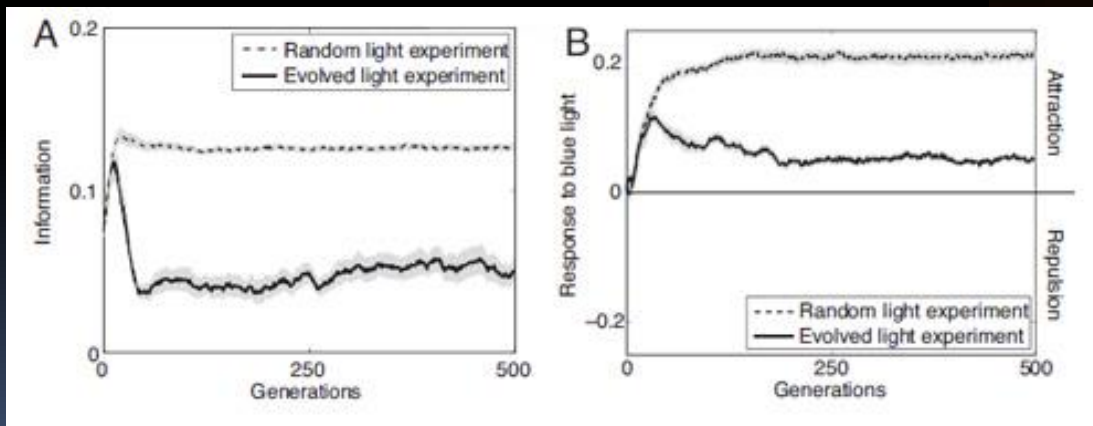
s-бот: 12x15 см.; процессор Xscale 400 MHz, 64 МВ ОЗУ, 32 МВ флеш, 12 PIC микроконтроллеров для низкоуровневой обработки.



Искусственная эволюция проходила в симулирующей среде Enki, где и роботы и их сенсоры моделировались. Затем был использован эволюционный фреймворк роботов Teem для эволюции лучших контроллеров, которые затем были перенесены на реальных роботов.

Задача

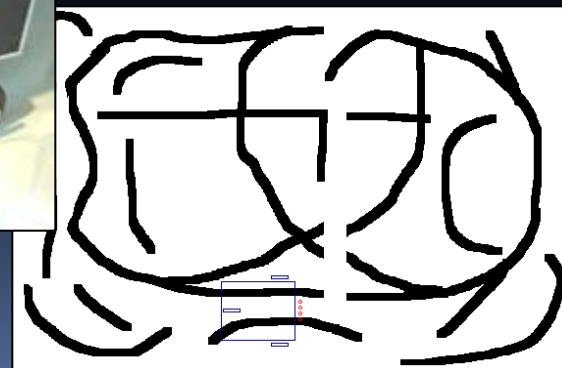
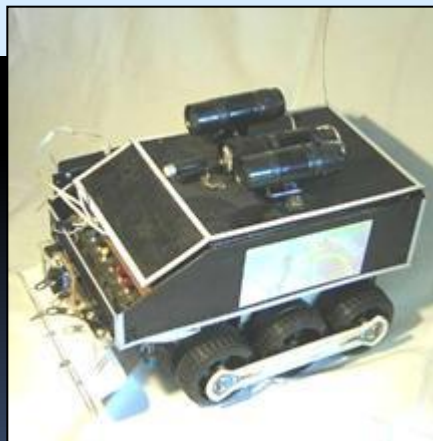
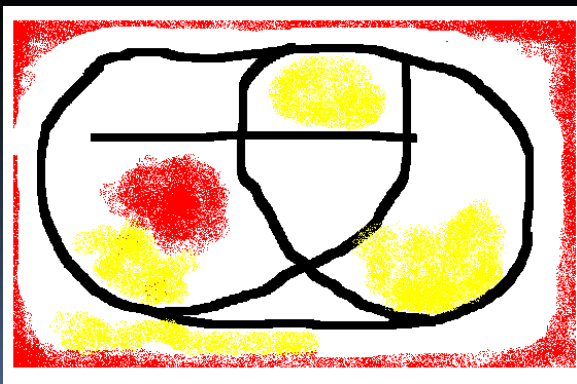
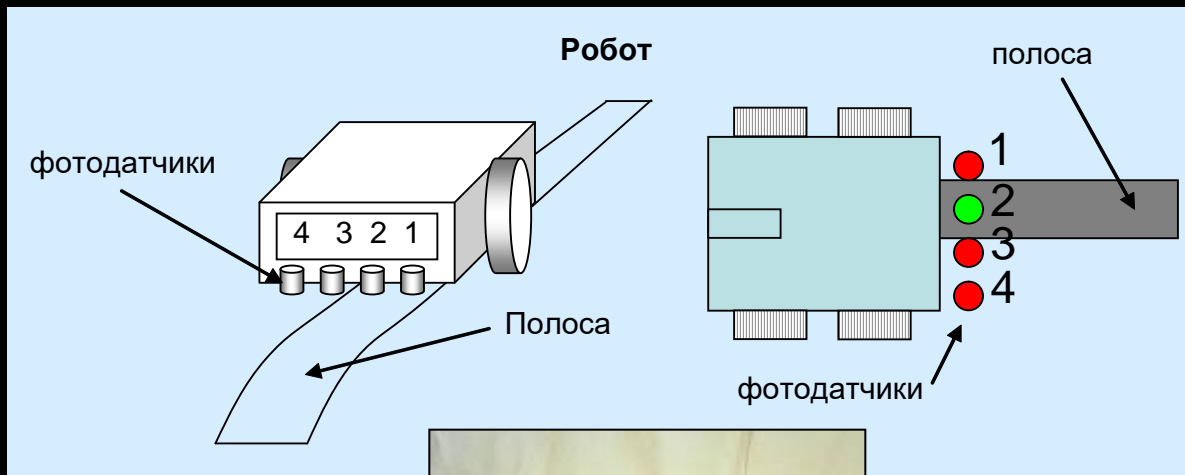
- Задача - поиск «источника пищи» (светящееся кольцо)
- На другом конце арены - более темное кольцо («отравленное»)
- Роботы: ИНС. 11 сенсорных нейронов и 3 мотонейрона (колеса и свет). Нейроны соединены с помощью 33 синапсов, и мощность сигналов каждого синапса контролировалась одним восьмибитным геном. Т.о., каждый робот имеет **264-битный геном**, который контролирует, как он будет реагировать на информацию, поступающую с сенсоров.



Видео

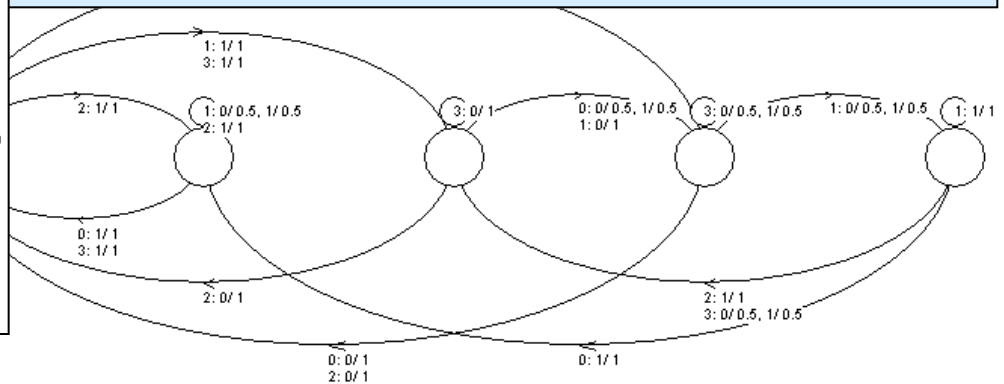
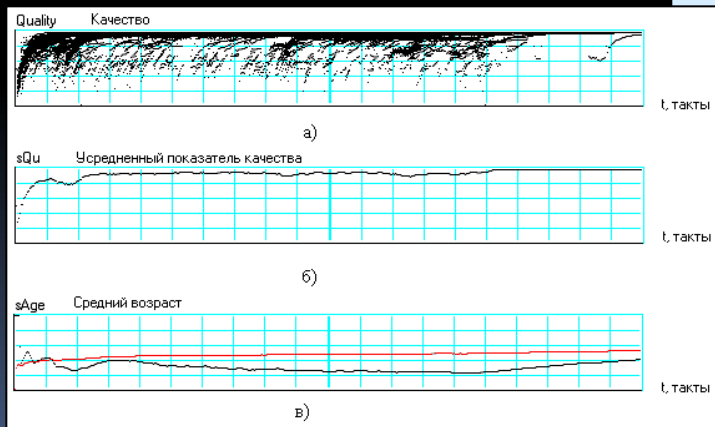
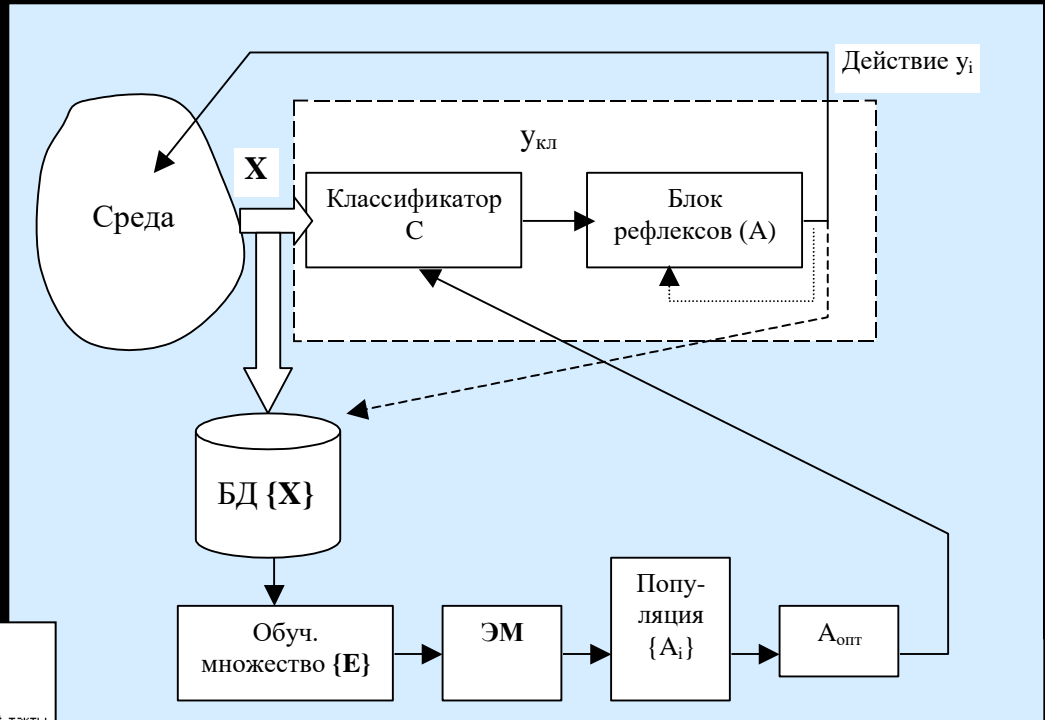
Эволюционное моделирование

Задача обучения движению робота по полосе



Эволюция управляющего автомата

- Обучение с учителем
- Обучение без учителя

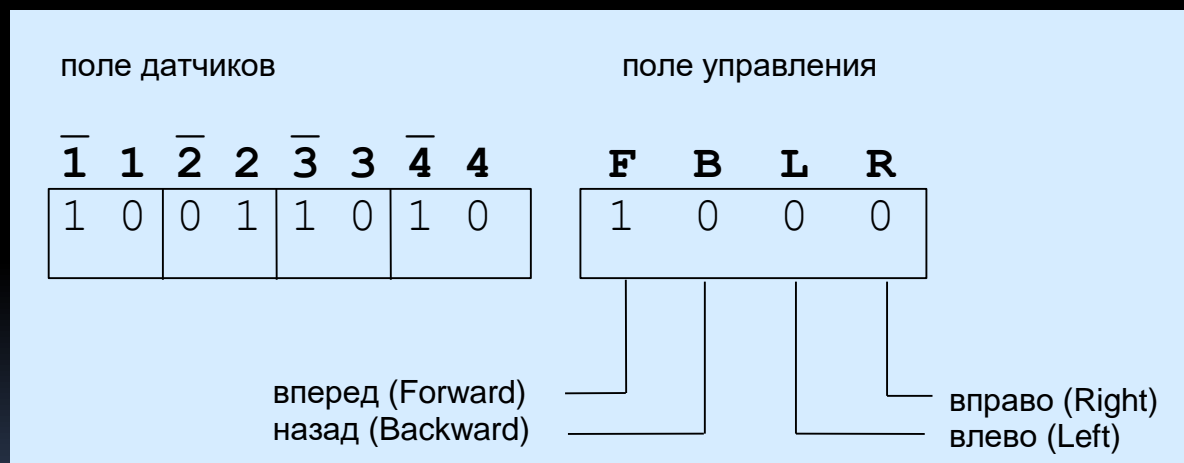


Динамический ДСМ

- Динамический ДСМ позволяет работать в открытой среде с неизвестным заранее количеством примеров и автоматической классификацией примеров с помощью оценочной функции.
- Множество обучающих примеров – это множество пар вида

$$E = \{e_i\} = \{(X_i, u_i)\},$$

где X_i - вектор сигналов рецепторов, u_i – вектор управления (состояние исполнительных механизмов).



Динамический ДСМ

Гипотезы - множества пар вида:

$$G=\{g_i\} = \{\{x_i, y_i\}\},$$

где x_i – часть вектора сигналов рецепторов, y_i – требуемый вектор управления.

Например, для движения по полосе можно задать следующую оценочную функцию

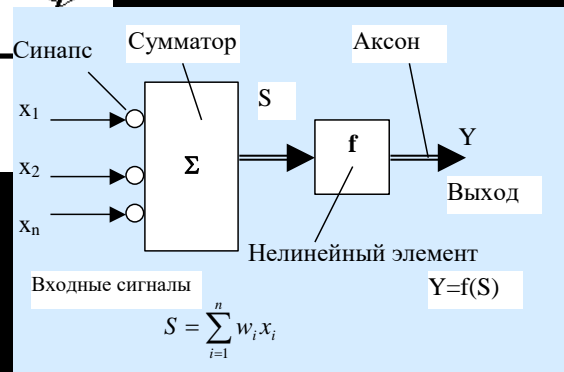
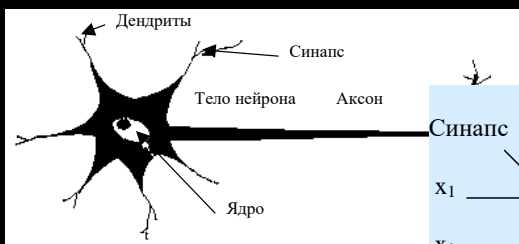
$$F = (\text{Photo1=ON}) \text{ AND } ((\text{MotorLeft=ON}) \text{ OR } (\text{MotorRight=ON}))$$

В результате пересечения обучающих примеров были получены три минимальные гипотезы (работают датчики 2 и 3).

№	—	1	—	2	—	3	—	4	4	F	B	L	R
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

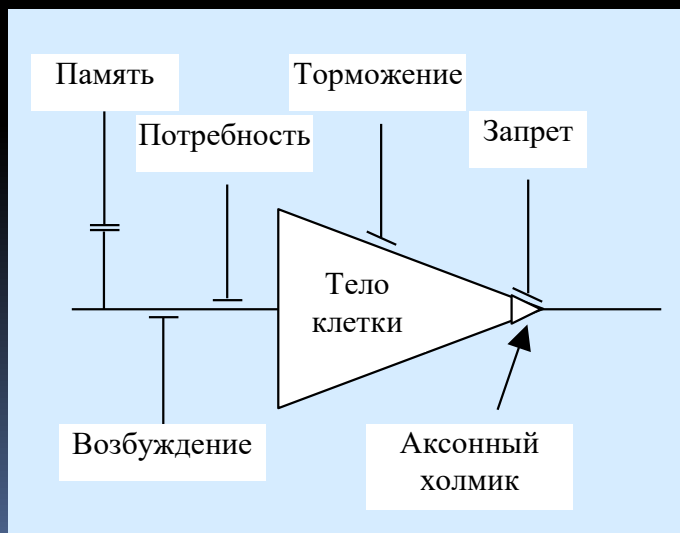
Искусственные нейронные сети

- 1943 г., У.Мак-Каллок и У.Питсом, формальная модель нейрона



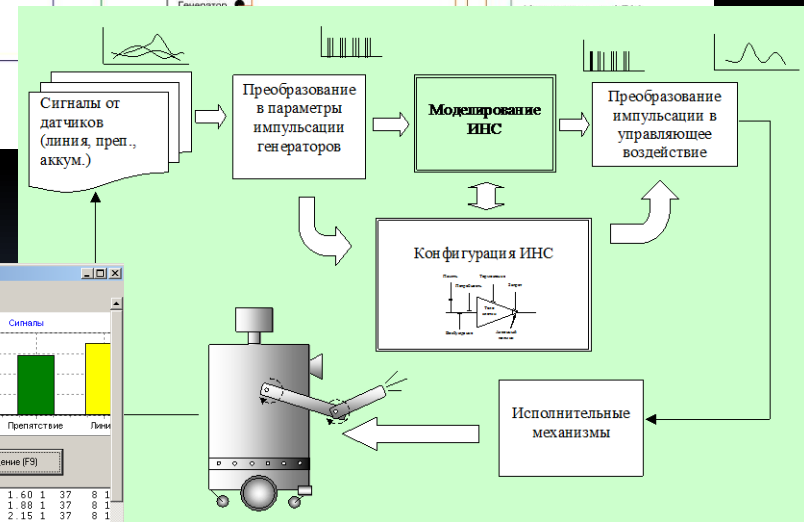
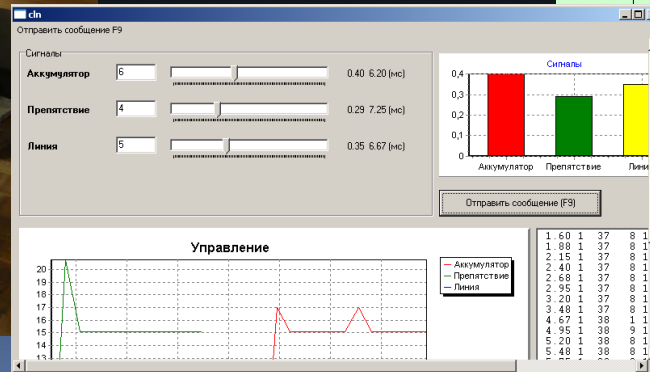
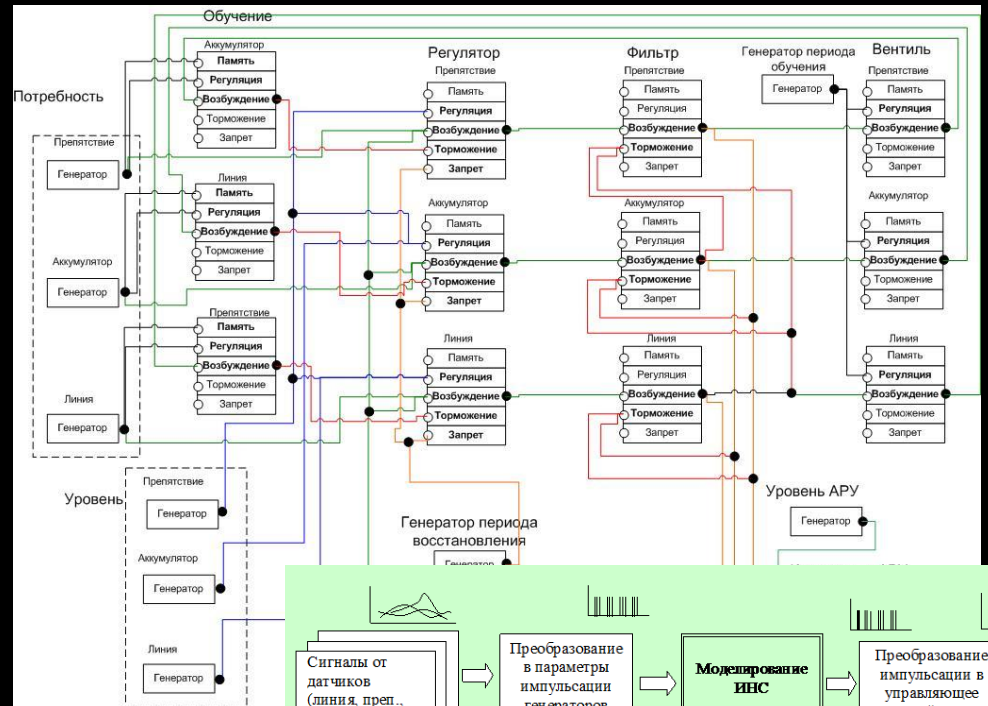
- Индустрия ИНС
- Спинной мозг и решение интеллектуальных задач

- Большой пирамидный нейрон (интеллектуальный нейрон), В.Б. Вальцев



Интеллектуальный нейрон. Брейнпьютер

- Задача планирования поведения робота



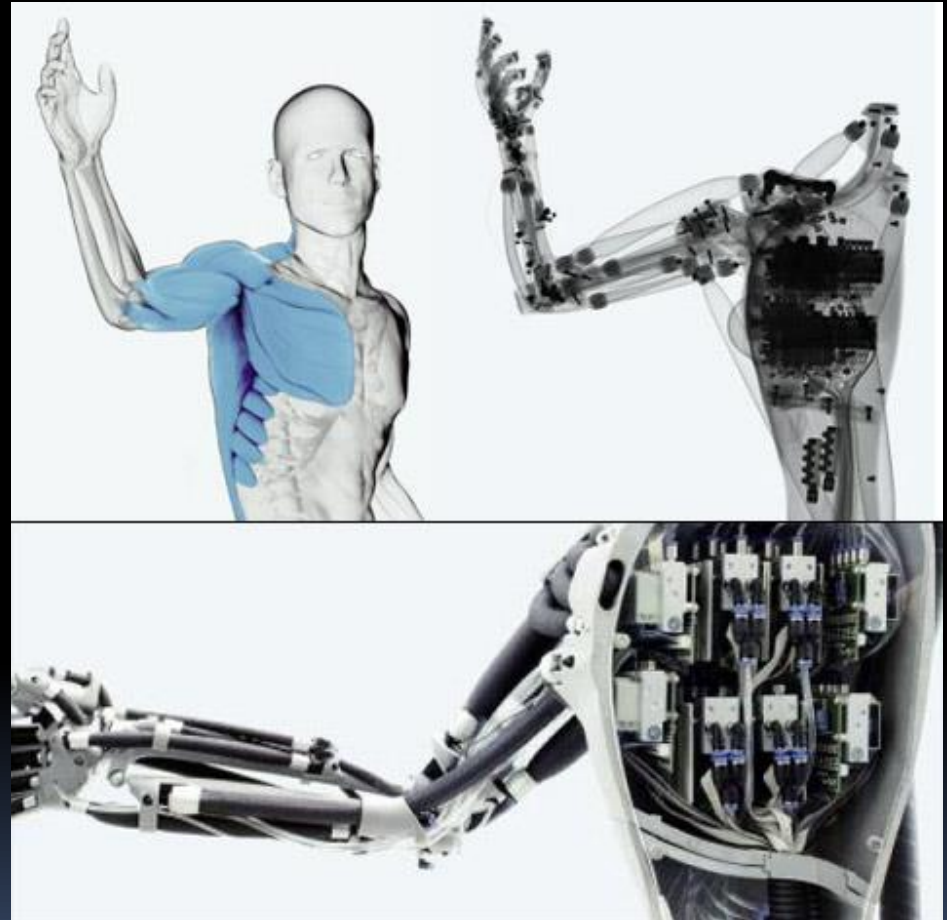
- 1. Определения
- 2. Интеллектуальные СУ
- **Часть 3. Имитация физиологии**
 - 4. Имитация эмоций и психических функций
 - 5. Интегральный подход
 - 6. Нерешенные задачи и перспективы

Имитация

- Физиология
- Эмоции
- Движение

Антропоморфность:

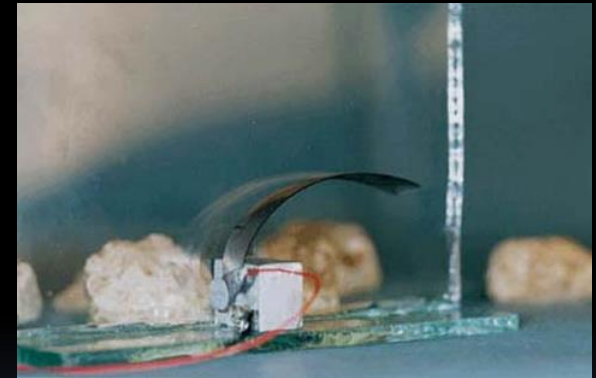
- ИР как физический объект в человеческой среде
- ИР как участник общения



ФИЗИОЛОГИЯ. МЫШЦЫ

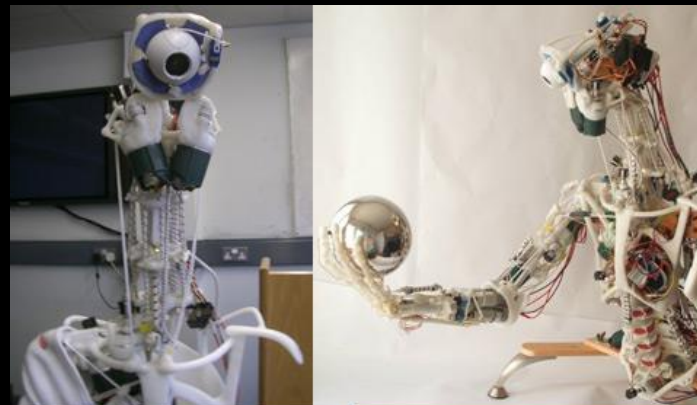


Festo, Германия



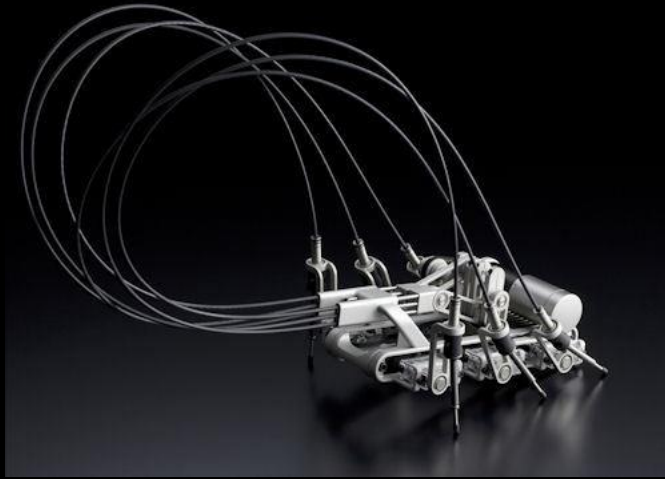
- Пневмоавтоматика
- Электропривод
- Твердотельные
мышцы

Имитация анатомического строения человека

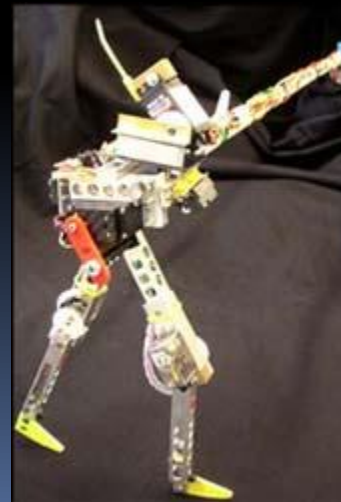


- ECCERobot (Embodied Cognition in a Compliantly Engineered Robot). Имитация скелета и мышечных тканей. Европейский проект.

Двигательные функции. Шагающие роботы



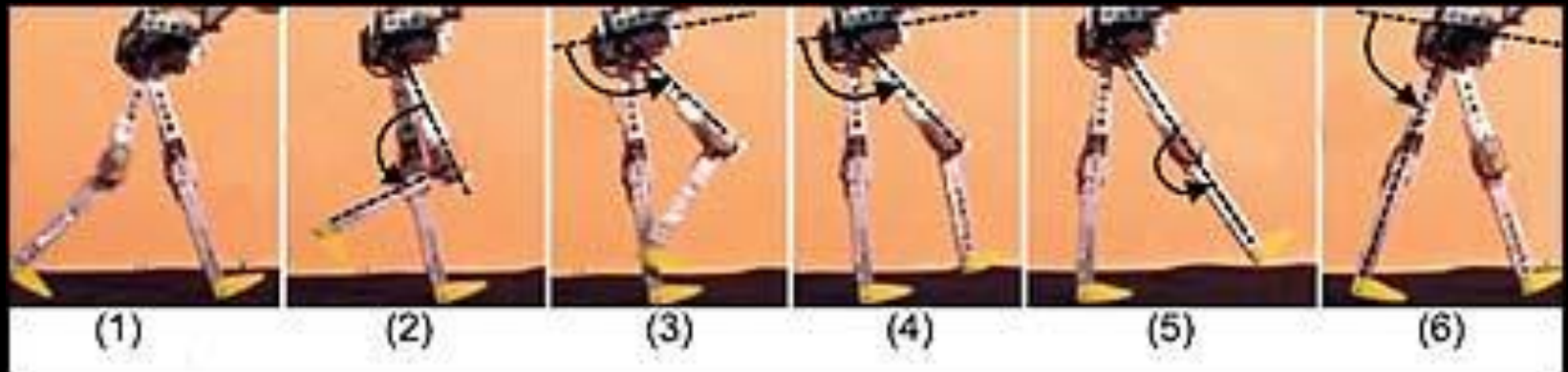
Робот **Runbot**, Геттингенский университет



Runbot

- В роботе воспроизведен механизм ходьбы человека и животных, как его описал в 1930-е годы физиолог Николай Бернштейн.
- Головной мозг включается в процесс регулирования ходьбы, только когда заданные параметры, такие как рельеф или наклон поверхности, меняются. Остальное время движением управляют локальные нервные цепочки.
- В Runbot базовые шаги контролируются за счет данных, передаваемых сенсорами на суставах и ступнях машины.
- Локальные контрольные устройства не допускают чрезмерного напряжения суставов и выдают команды на начало каждого следующего шага.

Runbot. Естественность движений



- **1-3:** Робот приподнимается на опорной ноге, и моторчик заносит вторую ногу вперед в согнутом положении.
- **4:** Сенсор растяжения ноги активируется. Коленный сустав распрямляется.
- **5-6:** Робот естественным образом заваливается вперед (при этом моторные функции не задействуются) и становится на ногу, которая будет опорной при следующем шаге.
- **6:** Когда нога касается земли, сенсор контакта с землей включает коленный сустав второй ноги. Ноги меняются ролями

- 1. Определения
- 2. Интеллектуальные СУ
- 3. Имитация физиологии
- **Часть 4. Имитация эмоций и психических функций**
- 5. Интегральный подход
- 6. Нерешенные задачи и перспективы

Имитация эмоций и психических процессов

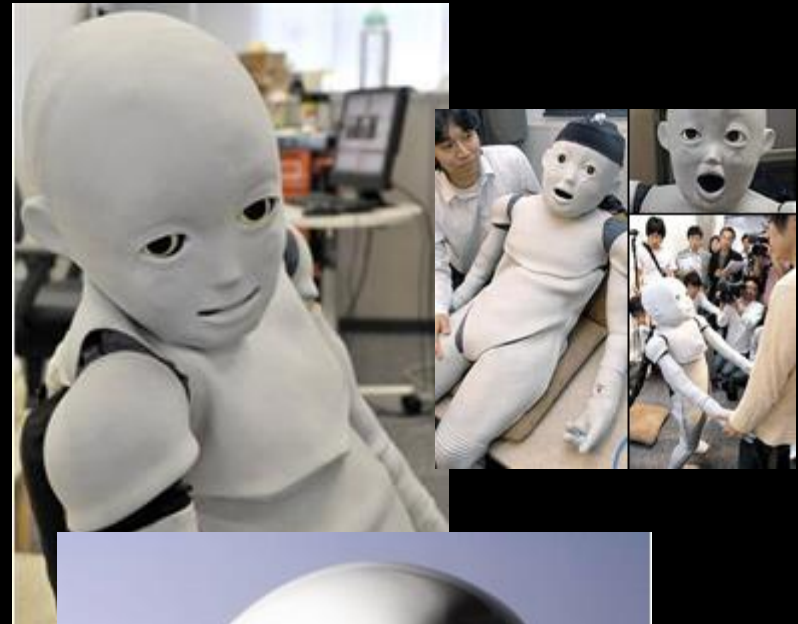
- Основная задача исследований в этом направлении - создание эффективного человеко-машинного **интерфейса**, удобной, **комфортной** среды общения. Речь пока идет именно о **внешней** имитации эмоций и некоторых психических процессов.



Внешнее «очеловечение»

Проект CB2 (Япония, Osaka University).

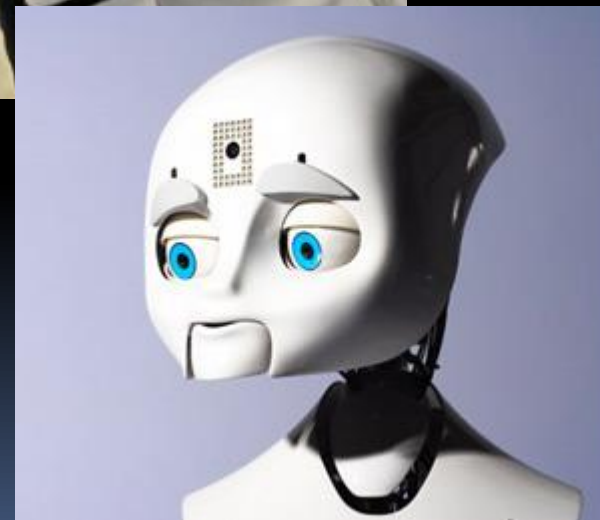
Вес - 33 кг., высота - 1,3 м. 51 пневматическим привод, микрофоны, видеокамеры, 200 тактильных датчиков.



Проект Nexi (Массачусетский технологический институт, США)

Задачи:

- Комфортный интерфейс
- Задачи обучения



Индустрия «эмоциональных» роботов

- Персональный робот
- «Социальная» робототехника



- Проявление эмоций
- Распознавание цвета

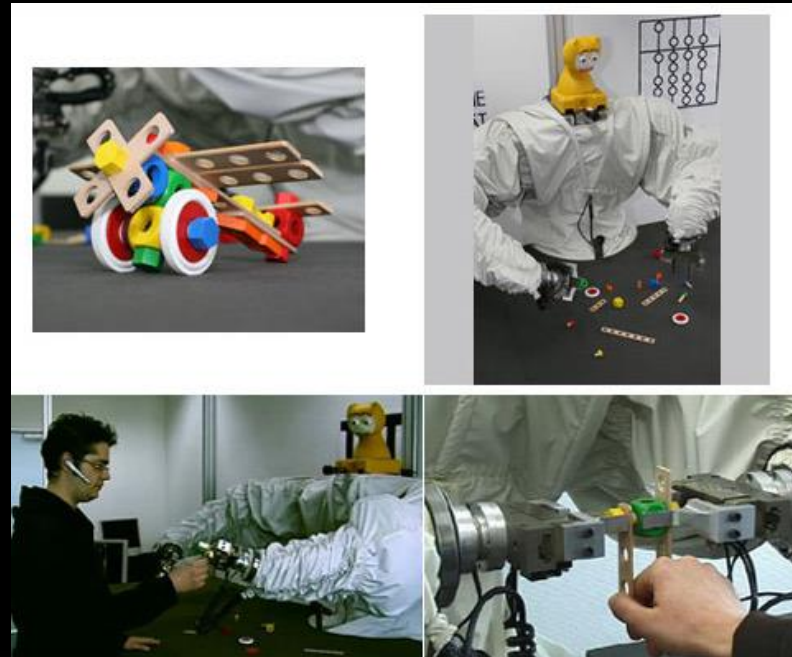


[Видео](#)

Имитация психических процессов

Проект JAST (Joint-Action Science and Technology).

- Трансъевропейский проект.
- Цель – создание комфортного психологического интерфейса
- Отработка путей организации работы тандемов человек-робот



Мысленное копирование действий партнера помогает человеку осознать их и выявить возможные ошибки. Это свойство психики симитировано в нейронных цепях робота (специалисты JAST называют это также «резонансной обработкой»).

Копирование действий партнера

- Робот фиксирует поведение партнера, сверяет его с картой задач и быстро учится предвидеть действия партнёра и отмечать ошибки, когда человек не следует ожидаемым процедурам.



- 
- 1. Определения
 - 2. Интеллектуальные СУ
 - 3. Имитация физиологии
 - 4. Имитация эмоций и психических функций
 - **Часть 5. Интегральный
ПОДХОД**
 - 6. Нерешенные задачи и перспективы

Интегральный подход. Модель Бернштейна

2 тезиса:

- Интеллект не существует абстрактно, без «тела»
- *«В процессе эволюции соматической системы определяющим звеном являются всё же эффекторные функции. Судьбу индивидуума решают его действия. Рецепторика здесь представляет собой уже подсобную функцию. <...> Нигде в филогенезе созерцание мира не фигурирует как самоцель. Они <рецепторы> процессуально обеспечивают полноценную координированную работу эффекторов» (Н.А. Бернштейн)*

Построение движений

Для построения движений различной сложности «команды» отдаются на **иерархически различных уровнях** нервной системы. При **автоматизации** движений эта функция передается на более **низкий уровень**.

- **Уровень А** - уровень тонуса (палеокинетических регуляций). Расположен в спинном мозге. Тонус мышц.
- **Уровень В** - уровень мышечно-суставных увязок (синергий и штампов). Обеспечивает способность вести высокослаженные движения всего тела, вовлекающие в согласованную работу многие десятки мышц.
- **Уровень С** - уровень пространства. Обеспечивает целевые перемещения в пространстве, сложные и раздражательные движения.
- **Уровень D** - уровень действий. Обеспечивает выполнение действий - целых цепочек последовательных движений, которые все вместе решают ту или другую двигательную задачу. Для уровня D характерно доминирование левого полушария.
- **Группа Е** - уровни, лежащие выше уровня D. Обеспечивает символические действия (речь и письмо); двигательные цепи, объединенные не предметом, а отвлеченным заданием; предметные действия, для которых предмет является не непосредственным объектом, а средством для воспроизведения в нем или с его помощью абстрагированных, не предметных соотношений.

Схема познавательных процессов Бернштейна - Величковского

- А и В. Стабилизация состояния организма субъекта (минимизация дискомфортных состояний) и формирование первичных систем отсчета и семантических контекстов;
- С. Объединяет познавательные процессы, связанные с регуляцией перемещений организма как целого;
- D. Ответственен за ориентацию в ближайшем окружении и включает схематическую организацию знаний и семантические контексты действий, часть из которых врожденная, а значительная часть приобретена жизненным опытом и специальным обучением;
- Е. Обеспечивает сохранение значительной части удерживаемой семантической памятью сведений невербального и вербального характера, включает структуры вербальных семантических описаний и произвольной их актуализации, например, при оценке уровня детализации представления знаний и интеллектуальной компетентности;
- F. Уровень обеспечения интеллектуальной активности посредством метапроцедур для образных компонентов концептуальных структур (представление, вращение, трансформация), вербальных (воспроизведение, описание, метафоризация) и универсальных (понимание, рекурсия, аналогия).

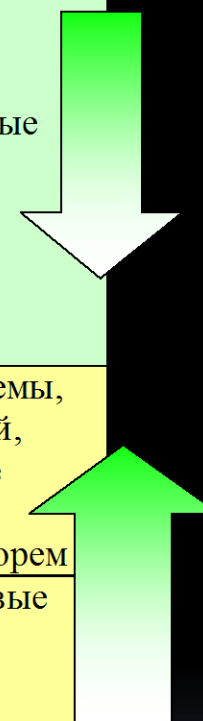
Некоторые теоретические выводы

- Мыслительные процессы всегда происходят на фоне более глобальных эмоциональных состояний («Любой дискомфорт на уровне А может либо повысить интенсивность мыслительной деятельности человека, либо заставить переключиться на размышления о другой проблеме, например, связанной с собственным здоровьем»).
- Обучение начинается на верхнем уровне. Результат обучения переходит на уровень рефлекторных реакций.
- Генерация новых знаний, различных вербальных пространств всегда ограничена уровнем знаний нижележащего уровня

«Разум есть сложный инстинкт, не успевший еще сформироваться» (А. и Б. Стругацкие, Пикник на обочине)

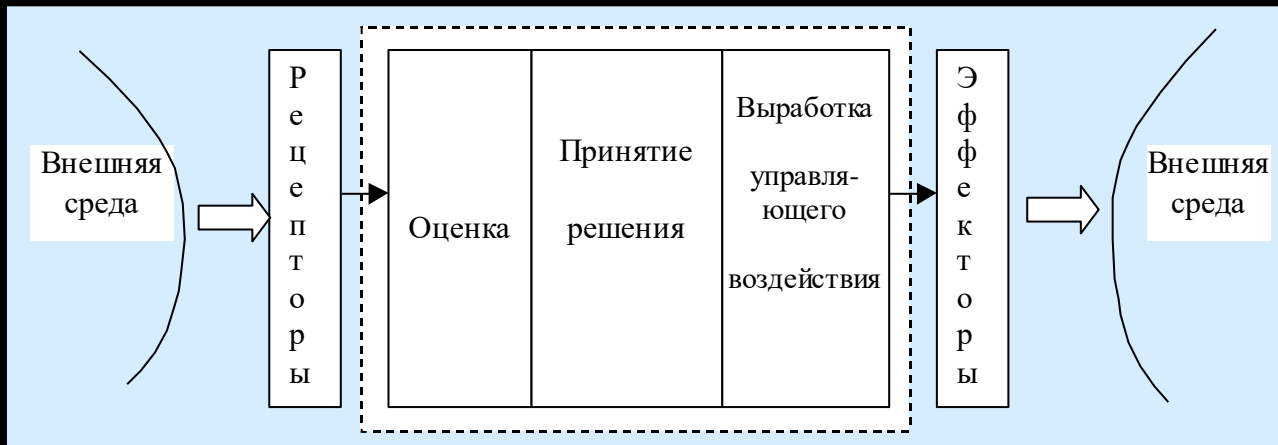
Робототехника и ИИ

А. Палеокинетических регуляций	Регуляция тонуса и простейших защитных реакций	Роботы Интеллектуальные роботы
В. Синергий	Регуляция перемещения организма как целого	
С_{1,2}. Пространственного поля	Ориентация в ближайшем окружении	
Д. Действий	Регуляция предметных действий	Экспертные системы, системы знаний, ситуационное управление, доказательство теорем
Е_{1,2}. Концептуальных структур	Фиксация и дополнение концептуальной модели мира	Некоторые игровые программы
Ф_{1,2}. Метапознавательных координаций	Релятивизация и перестройка концептуальной модели мира	

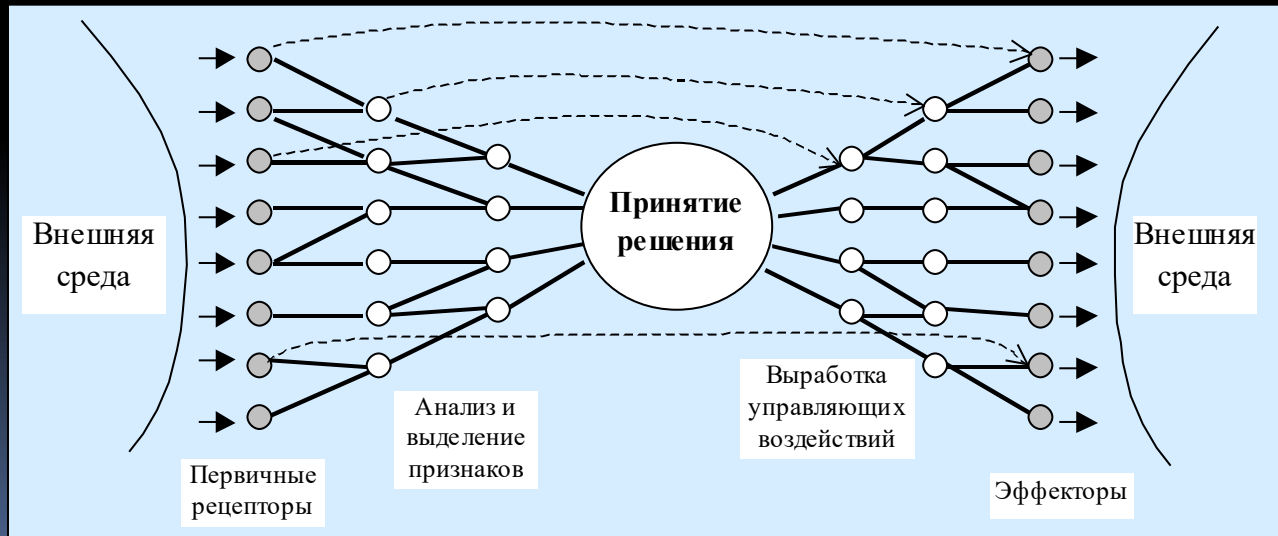


- См. таблицу Шиклоши

Некоторые практические выводы



■ Схема «Организм-среда»



Центральные моторные программы

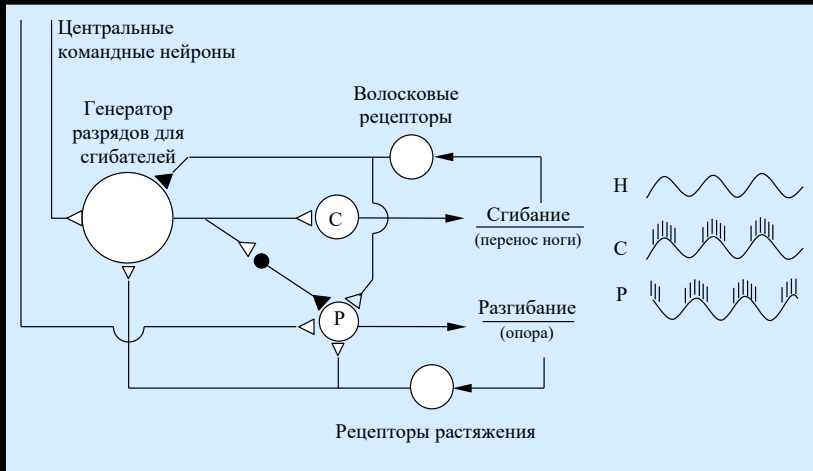
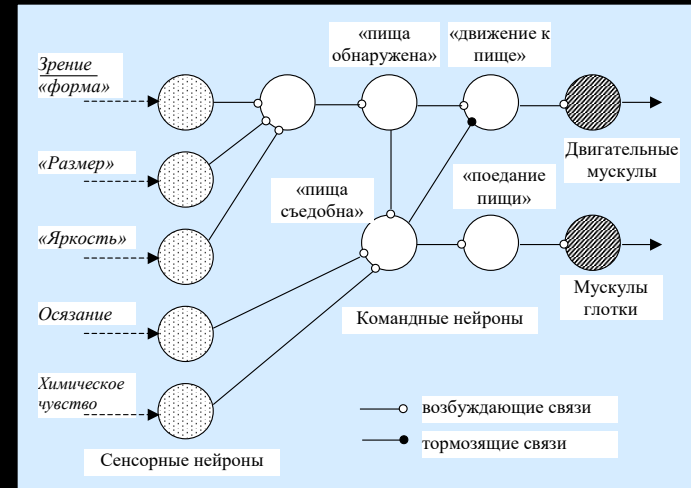


Схема управления пищевым поведением виноградной улитки



Генератор локомоторного ритма у таракана

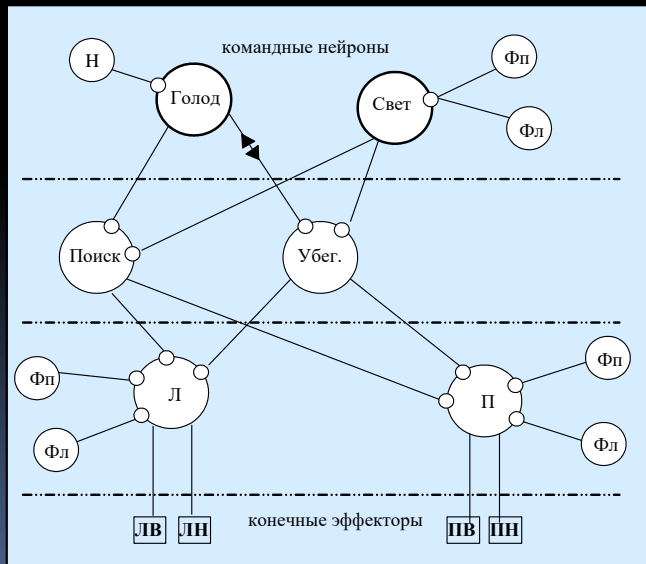
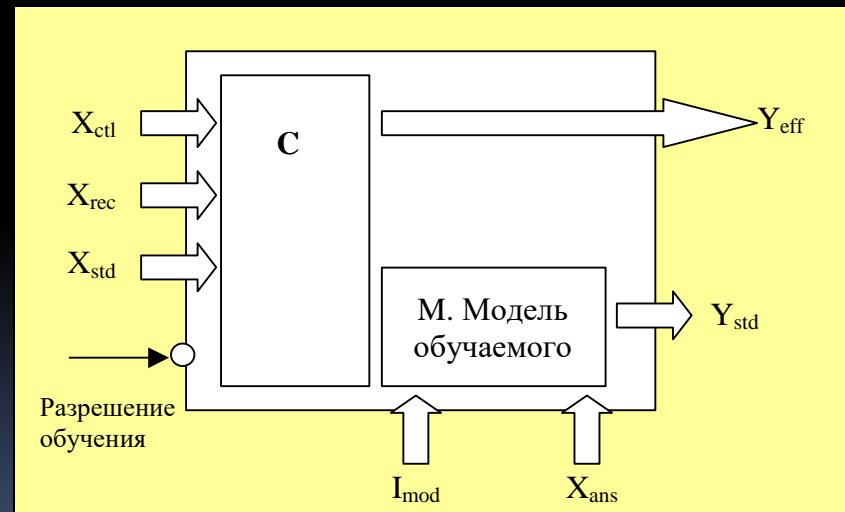


Схема поведения робота («свет-голод»)



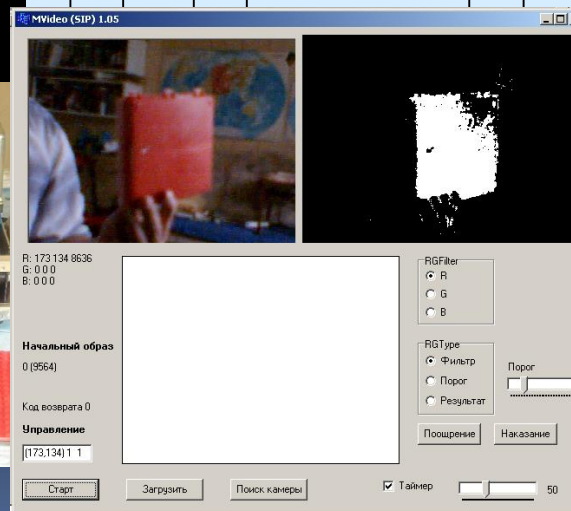
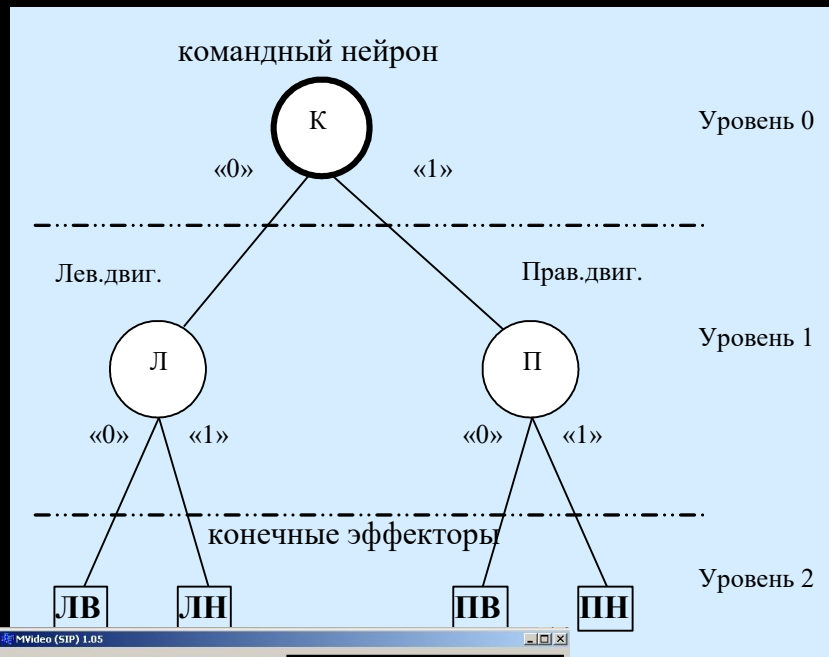
U-модуль

Проблема обучения ЦМП

Импринтинг

условия, определяющие целесообразность механизма импринтинга:

- Наличие среды с неизвестными характеристиками (параметрами).
- Наличие у особи встроенной (априорной) программы или модели поведения в критический период функционирования. Эта модель должна быть:
 - параметризованной;
 - адаптивной.



- Обучение сверху-вниз
- Все узлы (U-модули) содержат заданные априори модели поведения (ЦМП),

Видео

- 1. Определения
- 2. Интеллектуальные СУ
- 3. Имитация физиологии
- 4. Имитация эмоций и психических функций
- Часть 5. Интегральный подход
- **Часть 6. Нерешенные задачи и перспективы**

Нерешенные задачи и перспективы

Нерешенные задачи

- **Единая (интегральная) теория построения ИР**
- **Технические проблемы:**
 - Питание
 - Мышцы
 - ОС для роботов
 - Модельные задачи

Некоторые перспективные направления интеллектуализации роботов

- **Социальная робототехника.** Развитие моделей коллективного поведения, формирование законов социального поведения роботов.
- **Межмашинное общение.** Создание условий, при которых может возникнуть коммуникативные функции в коллективе роботов.
- **Реализация механизма эмоций** (эмоции, как усилитель мотивации).



Далее

- Задачи движения
- Общение
- Коллективное поведение
- Спортивная робототехника