



Павловский В.Е.

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РОБОТЫ

## ЧАСТЬ 2



Карпов Валерий Эдуардович, НИИ Информационных технологий,  
Москва

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

Поспеловские чтения, Москва, Политехнический музей, 2009



ИИ-СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ (ХОДЬБОЙ)

ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС В РОБОТИКЕ

ГРУППОВОЕ ПОВЕДЕНИЕ, СТАЯ

СОРЕВНОВАНИЯ РОБОТОВ



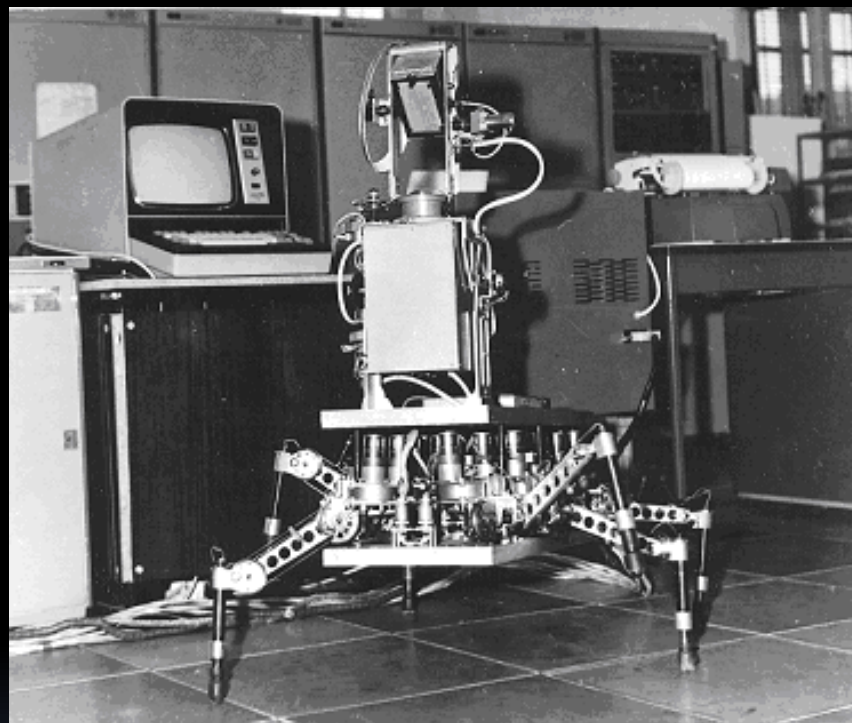


# ИИ-СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ (ХОДЬБОЙ)

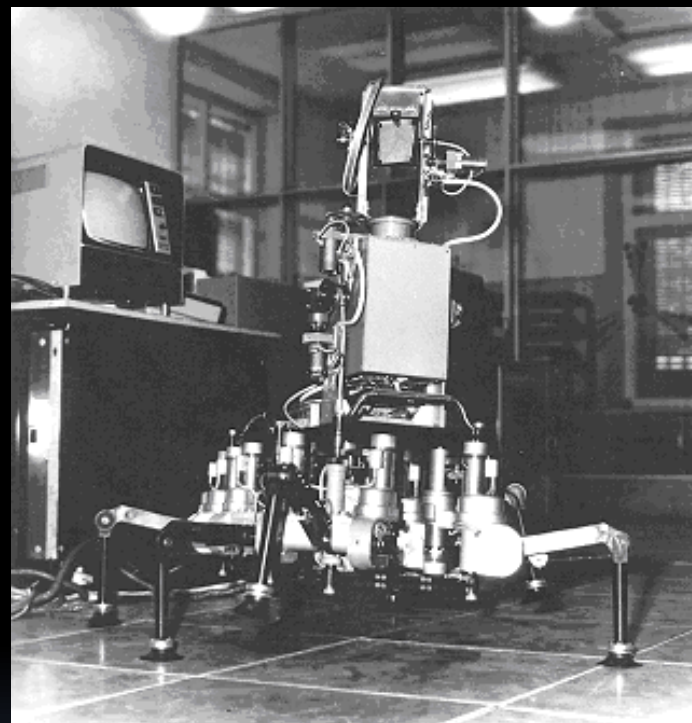
## ИИ-СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ (ХОДЬБОЙ)

- прямой кинематический и динамический синтез
- биологические прототипы
- методы поиска решений в многомерных пространствах состояний по целевому критерию, *NN-regulation*, *reinforcement learning*

## УПРАВЛЕНИЕ ШЕСТИНОГИМ ШАГАЮЩИМ РОБОТОМ



*ИПМ – ЛМИ*



*ИПМ - ВНИИТМ*

*Макеты шестиногого шагающего робота (1975)*

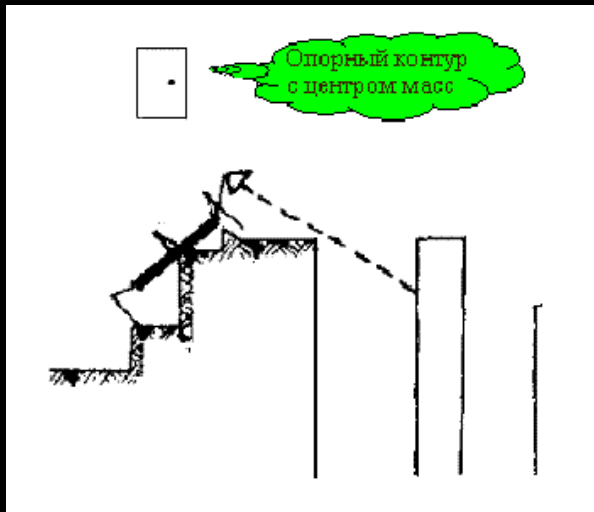
## УПРАВЛЕНИЕ ШЕСТИНОГИМ ШАГАЮЩИМ РОБОТОМ



*Макеты шестиногого шагающего робота (ИПМ, 2005)*

# УПРАВЛЕНИЕ ШЕСТИНОГИМ ШАГАЮЩИМ РОБОТОМ

*Режимы системы управления – регулярный, экстремальный*



## Элементарные действия:

1. Выбор пути (планирование маршрута).
2. Управление линией визирования дальнометрического сенсора.
3. Построение модели рельефа.
4. Выбор положения корпуса.
5. Выбор следовых точек.
6. Выбор следового расписания по картине опорного контура с Ц.М.
7. Разгон, торможение, постоянство скорости центра масс.
8. Формирование движения опорных и переносных ног.
9. Управление двигателями.

*Принципы организации системы управления*

# УПРАВЛЕНИЕ ШЕСТИНОГИМ ШАГАЮЩИМ РОБОТОМ

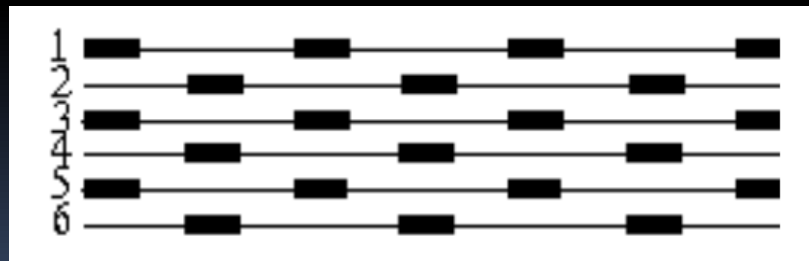
## Примеры регулярных волновых походок



*последовательная походка*



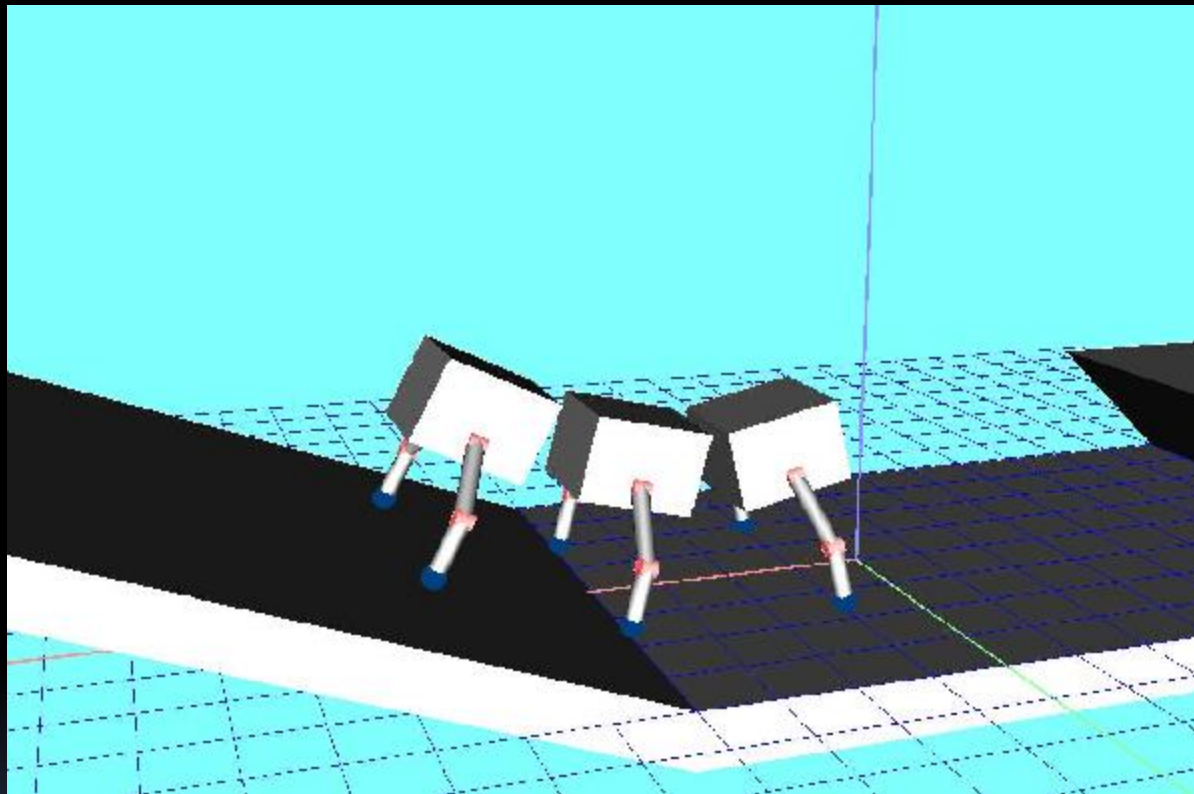
*диагональная походка*



*трешки*

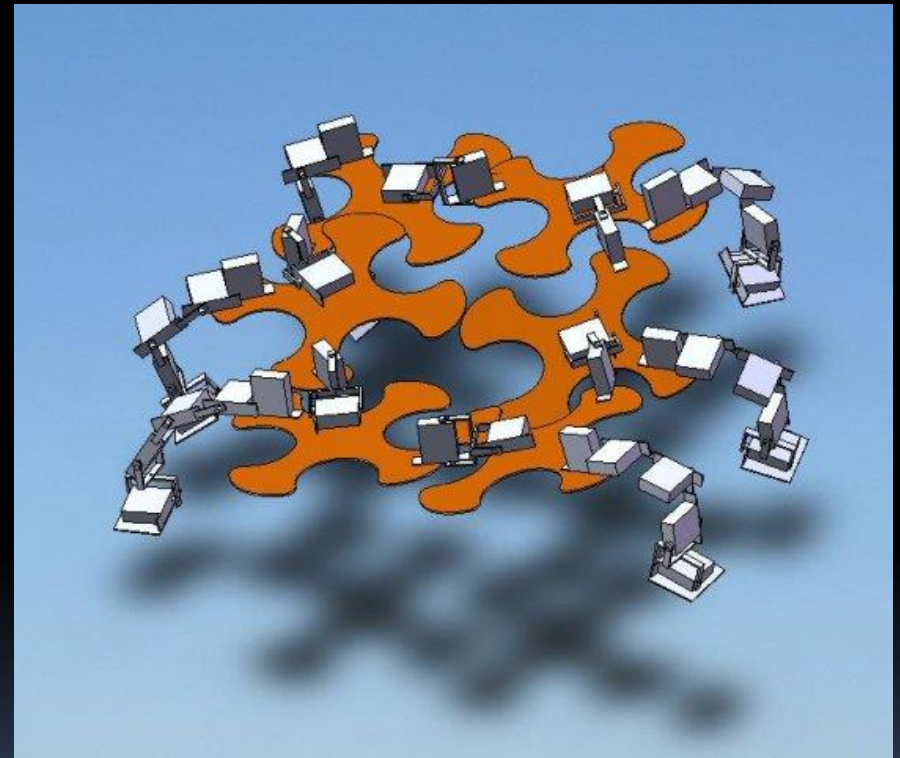
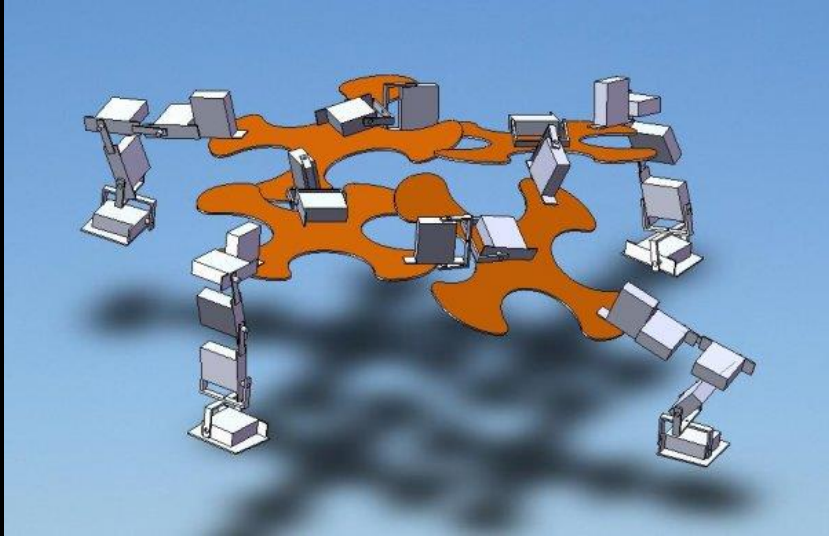
*Biological inspired: биологические схемы организации походок*

## УПРАВЛЕНИЕ ШЕСТИНОГИМ ШАГАЮЩИМ РОБОТОМ



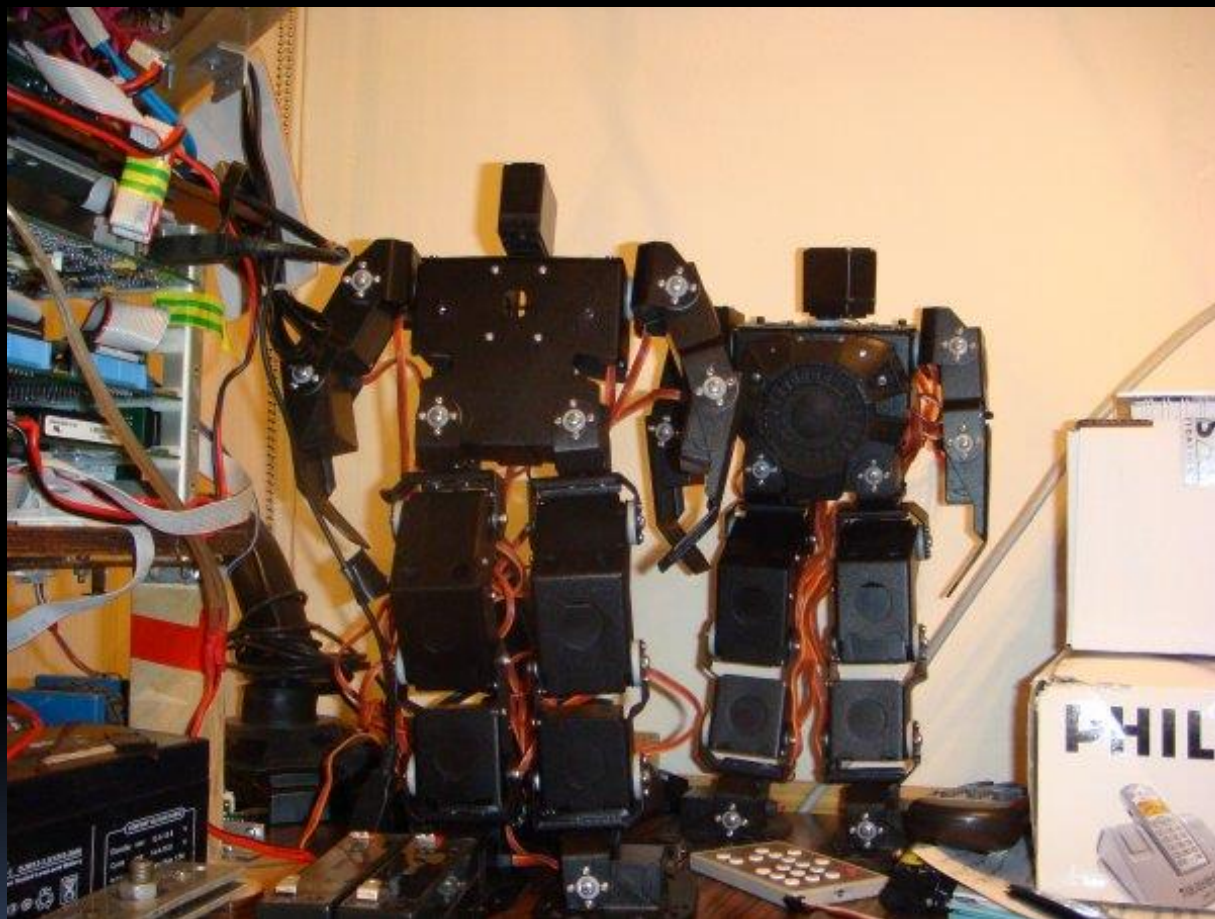
*Biological inspired: шагающие роботы для экстремальных режимов движения  
- робот с “ломающимся корпусом”*

## УПРАВЛЕНИЕ ШЕСТИНОГИМ ШАГАЮЩИМ РОБОТОМ



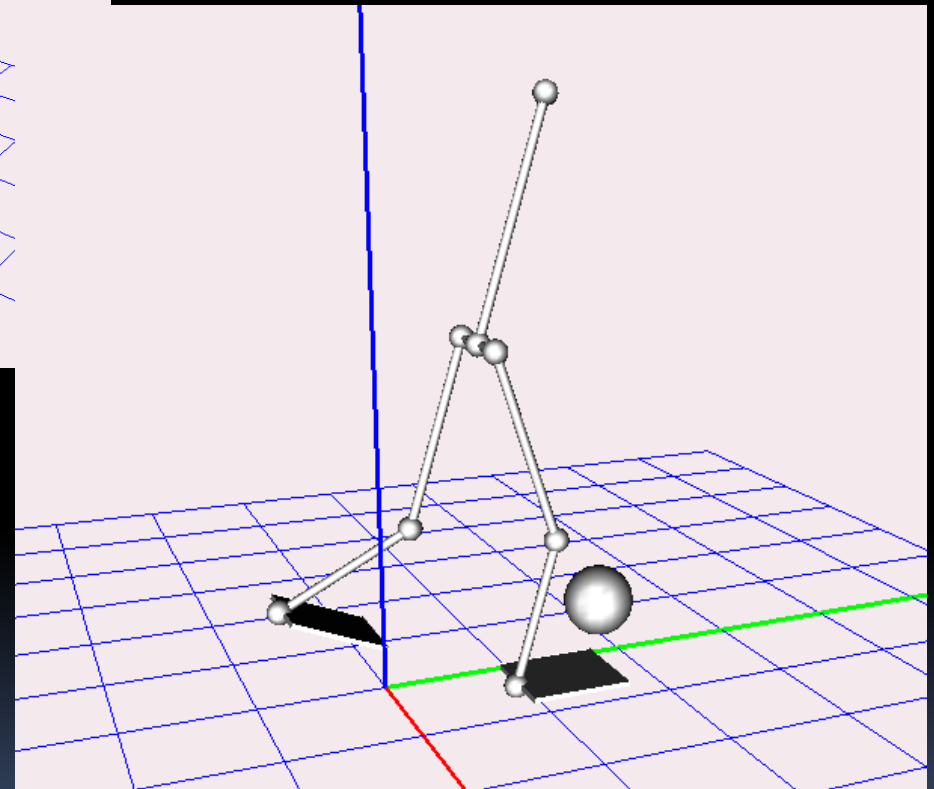
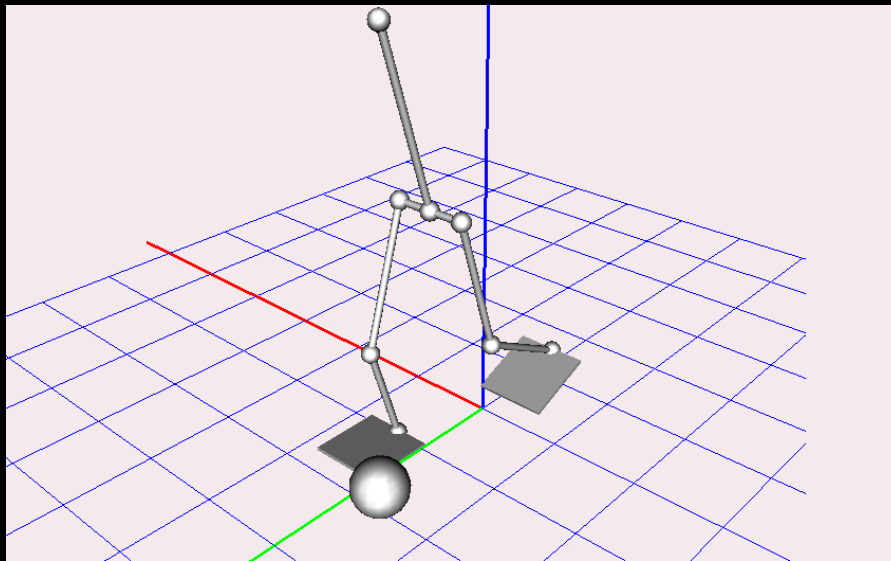
*Biological inspired: шагающие роботы для экстремальных режимов движения  
- робот с “мозаичным корпусом”*

## УПРАВЛЕНИЕ АНДРОИДНЫМ РОБОТОМ



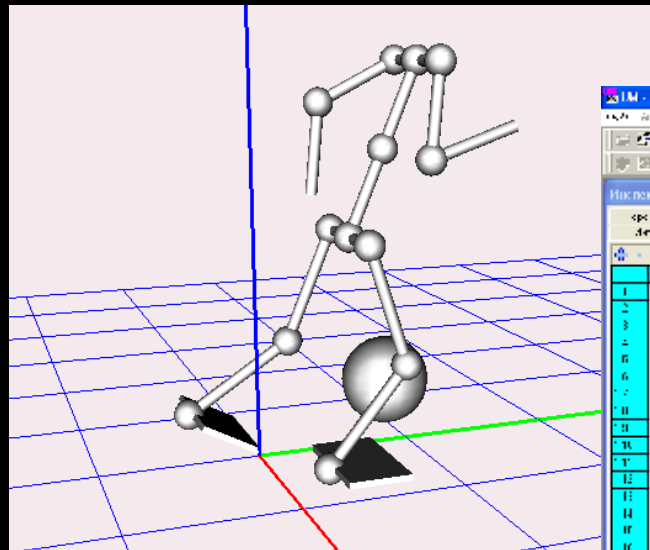
*AR-100, роботы-прототипы*

# УПРАВЛЕНИЕ АНДРОИДНЫМ РОБОТОМ



*Моделирование. Прямая задача динамики.*

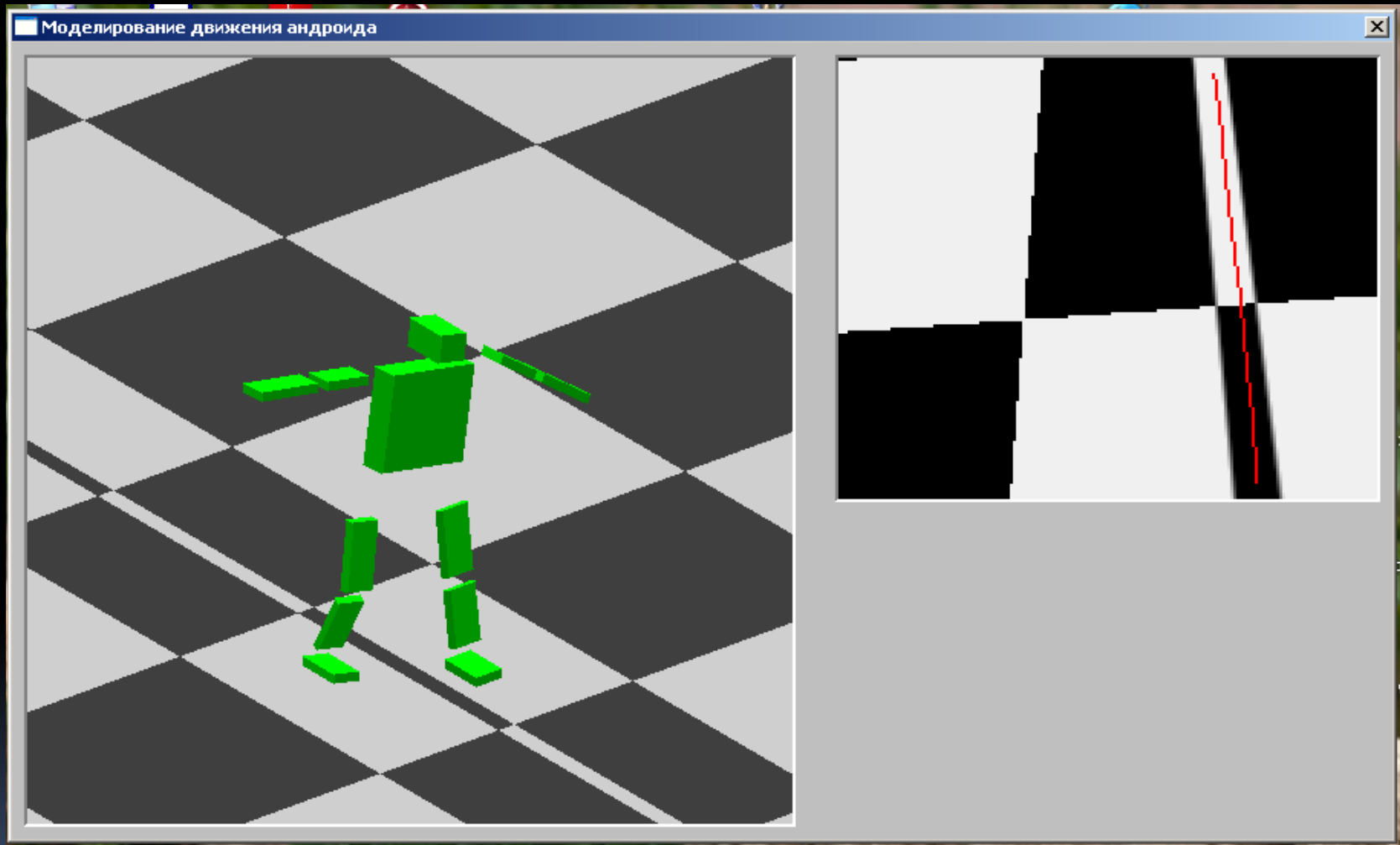
# УПРАВЛЕНИЕ АНДРОИДНЫМ РОБОТОМ

A screenshot of a software interface for robot simulation. The main window displays a 3D model of the robot in a coordinate system, similar to the one in the previous image. Overlaid on this is a table titled "Вектор моделирования сустава" (Joint modeling vector) with columns for "Номер сустава" (Joint number), "Угловая" (Angular), and "Со-угловая" (Co-angular). The table contains 20 rows of data. Below the table, there are several input fields and buttons, including "Свойства" (Properties) and "Имя" (Name). The interface also shows a Windows taskbar at the bottom with various application icons and the system clock.

Номер сустава	Угловая	Со-угловая
1	0	BaseCrv1_0
2	0.05	BaseCrv1_00
3	2.4	BaseCrv1_01
4	0	BaseCrv1_02
5	0.5	BaseCrv1_03
6	0.6	BaseCrv1_04
7	-	BaseCrv1_05
8	-1	BaseCrv1_06
9	0.1	BaseCrv1_07
10	0.1	BaseCrv1_08
11	-0.4	BaseCrv1_09
12	0.5	BaseCrv1_10
13	0	BaseCrv1_11
14	0	BaseCrv1_12
15	0	BaseCrv1_13
16	0	BaseCrv1_14
17	0	BaseCrv1_15
18	0	BaseCrv1_16
19	1.2	BaseCrv1_17
20	2	BaseCrv1_18

*Моделирование. Прямая задача динамики.*

## ЭКСПЕРИМЕНТЫ. МОДЕЛИРОВАНИЕ.



*Моделирование движения под контролем зрения.  
Справа – поле зрения камеры СТЗ.*

## УПРАВЛЕНИЕ ХОДЬБОЙ

### МЕТОДЫ ПОИСКА РЕШЕНИЙ В МНОГОМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ СОСТОЯНИЙ


- синтез походки андроида как нейросетевого регулятора,  
*идея:* тренировка регулятора по заранее подготовленному “рисунку” походки;
- синтез походки андроида методом *reinforcement learning*  
*идея:* отбор “правильных” решений (устойчивость, корректная ходьба) из первоначально хаотического рисунка движения.



# ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС В РОБОТИКЕ



## Примеры возможных решений:

- голосовой интерфейс
  - жестовый интерфейс
  - специальные интерфейсные решения (перчатки, контакторы, трехмерные манипуляторы, и т.п.)
- 

# ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС В РОБОТИКЕ



Робот БЕРТИ (BERTI) в Лондонском музее наук

# ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС В РОБОТИКЕ

Имя **Берти** - это аббревиатура, образованная сокращением слов Bristol Elumotion Robotic Torso 1.

Робот пробудет в музее недолго, но за то время, что он будет пребывать в музее любой посетитель может поиграть с ним, для этого необходимо надеть специальную перчатку с датчиками движения.

Робот умеет разговаривать "компьютерным голосом" и владеет несколькими жестами, правда словарный запас андроида невелик и жесты разнообразием не отличаются.



Данному роботу около двух лет от роду, его разработчиками является компания Elumotion, построившая робота в сотрудничестве с Бристольской робототехнической лабораторией. Создатели надеются, что **Берти** поможет им создать искусственный интеллект самого высокого уровня.

Компания работает над роботами-андроидами, с которыми можно будет легко общаться. Такие как **Берти** роботы могут быть полезны при создании протезов для людей, а также при выполнении опасных для жизни работ, например, саперных или работ на большой высоте.

Робот БЕРТИ (BERTI) в Лондонском музее наук

# ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС В РОБОТИКЕ



Специалисты государственного университета Чень-Кунь (Тайвань) объявили о создании самого маленького в мире робота, управляемого голосовыми командами. Машина, рост которой составляет всего 15 сантиметров, построена на базе коммерческой гуманоидной платформы GeStream BeRobot; она имеет 16 степеней свободы, интегрированную камеру, а также программную часть, способную интерпретировать команды на нескольких языках и осуществлять несколько тысяч возможных действий.

Кроме того, предусматривается возможность не только управлять роботом в режиме реального времени, но и программировать его на выполнение последовательных действий.

Голосовое управление роботом университета Чень-Кунь (Тайвань)

# ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС В РОБОТИКЕ



Компания BMW представила систему голосового управления для навигации в автомобиле. Как говорится в официальном пресс-релизе, с этой системой водитель будет нуждаться только в одной команде. Ожидается, что прокладка маршрута будет осуществляться при произнесении нужного адреса вслух. Параллельно с навигационной представлена также новая мультимедийная система, которая также управляется голосом. На всех новых автомобилях BMW данные системы станут доступны с конца 2009 года.

Навигатор BMW с голосовым управлением

# ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС В РОБОТИКЕ



Разработчики университета Брауна продемонстрировали возможность отдавать машине невербальные команды в любой обстановке, что обеспечивается расширением стандартного алгоритма цифровой идентификации объектов. Датчик глубины объекта был изготовлен при помощи инфракрасной камеры; робот, оснащенный таким модулем, постоянно анализирует внешнюю обстановку, вычленяя из всех объектов оператора и следя за его движениями, опознает отдаваемые им жестовые команды.

Жестовый интерфейс университета Брауна, Провиденс, США

# ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС В РОБОТИКЕ



R5 состоит из двух частей - собственно перчатки (это, скорее, даже не перчатка, а накладка на руку) и базовой станции. Базовая станция включается в порт USB и не требует внешнего питания. Перчатка включается проводом в базовую станцию. На тыльной стороне "ладони" расположено 8 инфракрасных светодиодов (что характерно, цифровая камера их не "видит", хотя свет от обычного пульта ДУ она видит великолепно), которые позволяют базовой станции отслеживать перемещения руки в пространстве.

НАРТИС интерфейс. Компьютерная перчатка R5.

# ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС В РОБОТИКЕ



В базовой станции находятся две инфракрасные камеры - это позволяет более надежно следить за перчаткой и точно определять расстояние до нее. Зона видимости базовой станции составляет  $45^\circ$  по вертикали и горизонтали и около полутора метров в "глубину". В этом конусе R5 может отслеживать координаты руки по всем трем осям с точностью до 0.6 см (на расстоянии 60 см от базы), а также поворот и наклон ладони с точностью до 2 град. Опрос координат происходит с частотой 40 гц (задержка составляет 12 миллисекунд).

НАРТИС интерфейс. Компьютерная перчатка R5.

# ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС В РОБОТИКЕ



Кроме светодиодов системы слежения в перчатке имеется пять резиновых "пальцев" с датчиками изгиба. К руке они крепятся пластиковыми кольцами и измеряют изгиб с точностью в 1.5 град. Еще на тыльной стороне перчатки имеется четыре кнопки, одна из которых - программируемая (остальные служат для калибровки, включения/выключения и переключения режимов работы). Таким образом, в терминах джойстика P5 имеет 11 аналоговых осей и одну кнопку.

НАРТИС интерфейс. Компьютерная перчатка P5.



# ГРУППОВОЕ ПОВЕДЕНИЕ, СТАЯ

## КАК МОЖЕТ ДВИГАТЬСЯ СТАЯ РОБОТОВ

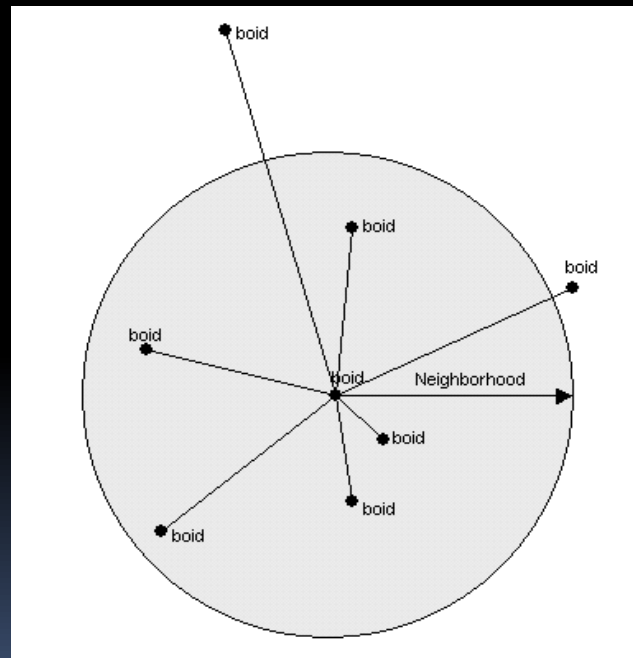


Пример стаи - большое количество однотипных “объектов”, варианты – стая "с лидером" (однородная), гомогенная стая без лидера (неоднородная).

# МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ, БАЗОВЫЕ ПРАВИЛА

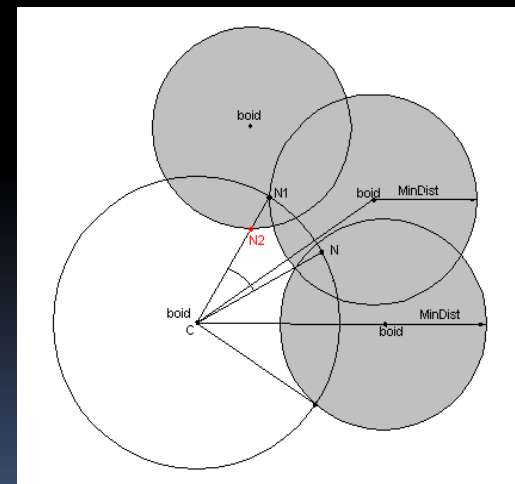
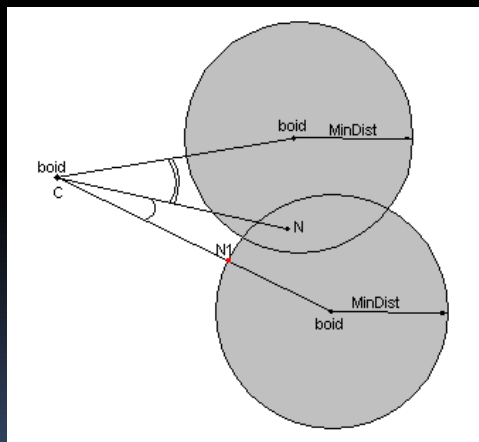
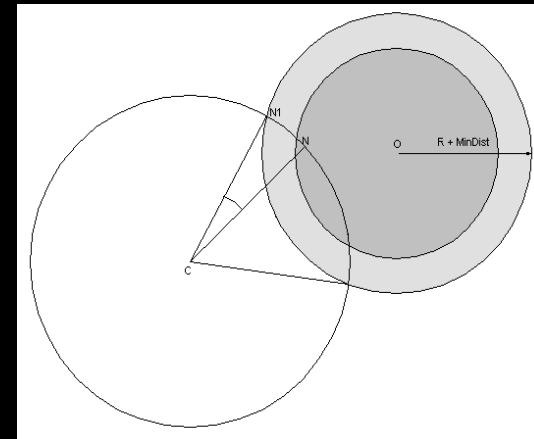
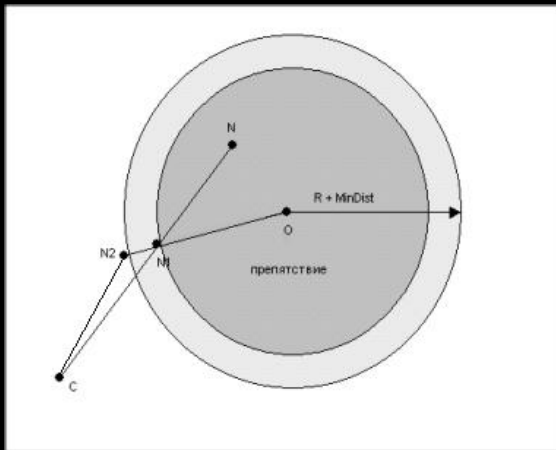
Объекты должны:

- двигаться в направлении цели;
- двигаться в направлении центра масс своих соседей;
- поддерживать минимально допустимое расстояние друг между другом и препятствиями.



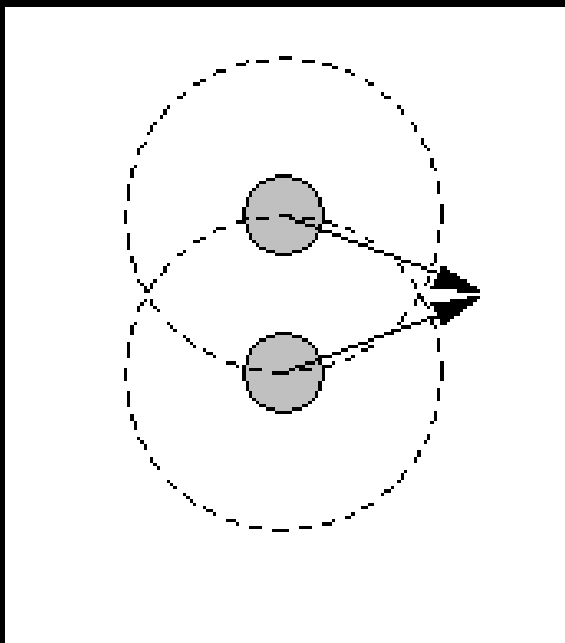
*Схема определения boid'ом своих соседей.*

# АЛГОРИТМЫ ОБХОДА ПРЕПЯТСТВИЙ И УКЛОНЕНИЯ ОТ СТОЛКНОВЕНИЙ



*Варианты моделей обхода препятствий.*

## АЛГОРИТМ "ОТТАЛКИВАНИЯ"



$$f = K_3 \left( 2 - \frac{\|\bar{r}_2 - \bar{r}_1\|}{r} \right)^2 \quad \bar{F} = -f \frac{\bar{r}_2 - \bar{r}_1}{\|\bar{r}_2 - \bar{r}_1\|}$$


*Сила отталкивания*

*Ситуация "зацепления".*

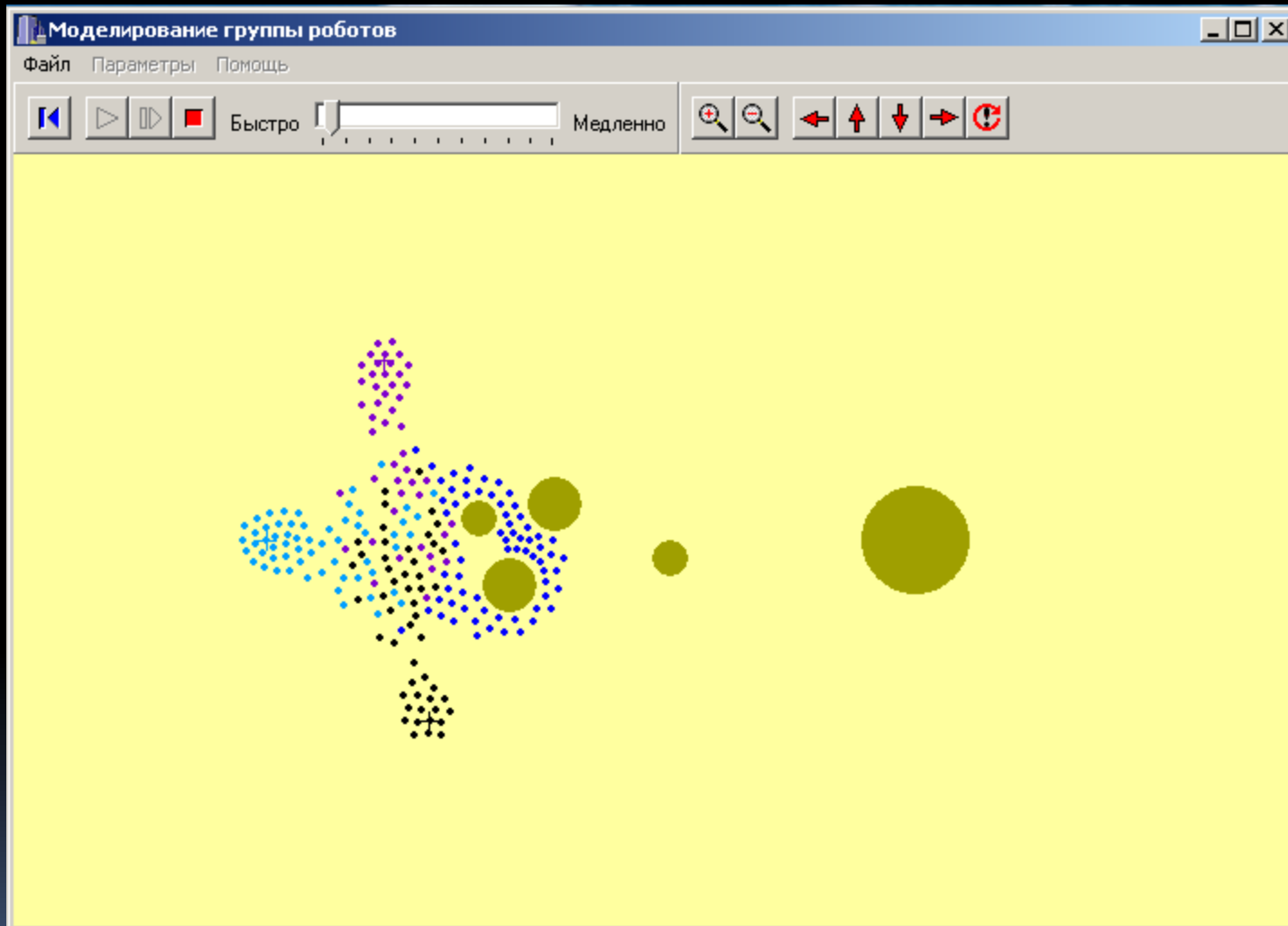


## Стая роботов

В экспериментах возникает интересный эффект: локальное простое поведение каждого отдельного объекта порождает глобальное целенаправленное (псевдоразумное) достаточно сложное поведение всей стаи



# ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ






# СОРЕВНОВАНИЯ РОБОТОВ



# СОРЕВНОВАНИЯ РОБОТОВ

**Поисковая машина YANDEX на запрос “Соревнования роботов”  
находит 1 млн. страниц (декабрь 2009 года)**





# **Фестиваль «Мобильные роботы», Россия – Франция**

# УЧАСТНИКИ



# УПРАЖНЕНИЯ ФЕСТИВАЛЯ

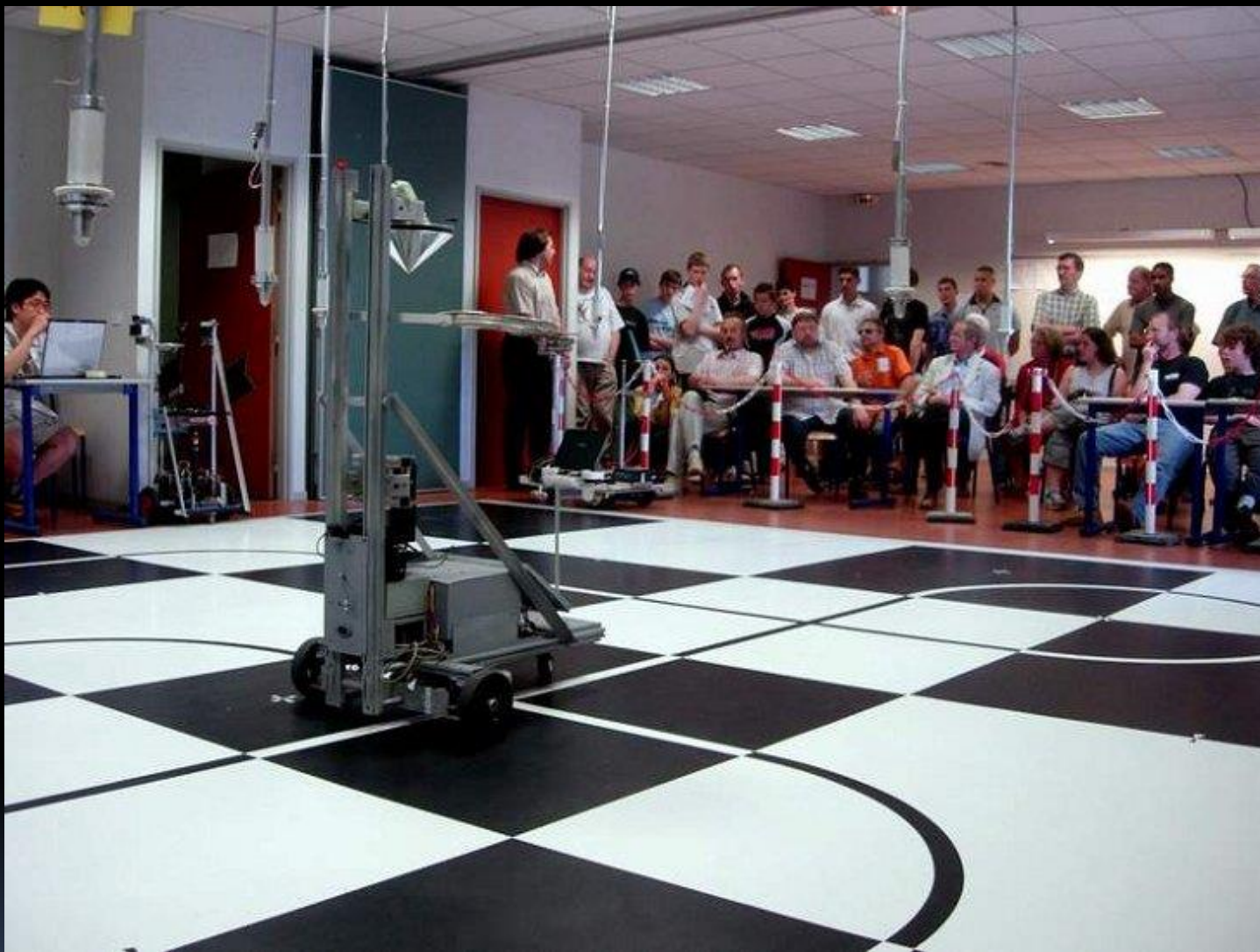
- маяки, ворота, восьмерки, статические и подвижные маяки,
- куча (набор многих маяков), куча с подвижными маяками,
- змейка (слалом),
- полоса, полоса с бревнами, полоса с подвижным бревном,
- движение по карте и составление карты маяков,
- светофор, парковки,
- туннель,
- бездорожье.





Фестиваль мобильных роботов Москва – Париж. 2005 г.

Фрагменты.



Фестиваль мобильных роботов Москва – Париж. 2005 г.

Фрагменты.



Фестиваль мобильных роботов Москва – Париж. 2005 г.

Фрагменты.

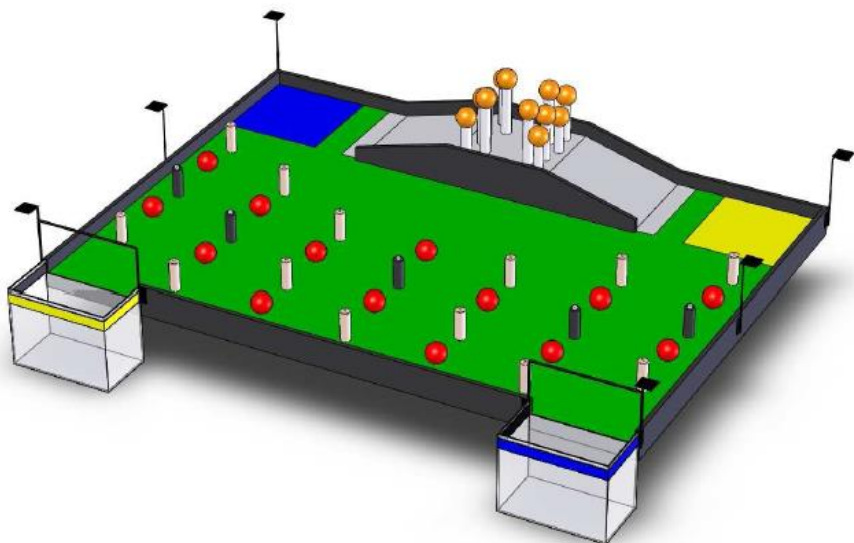


**EUROBOT**



**An amazing event gathering fun, high technology, friendship,  
creativity, education and passion !**

**Евробот - 2005 г.**



## *2010 – Роботы накормят мир*

*Задача – за 90 сек собрать наиболее весомый урожай :  
апельсины, помидоры, кукурузу (фрукты, овощи, злаки).  
Победит робот, который соберет урожай наибольшего веса  
и уложит его в свою корзину.*

## *НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ЕВРОБОТ :*

- управление подвижным объектом-роботом в реальном времени, динамика, движение по "бездорожью и дорогам"*
- навигация, ориентирование, ИИ-сценарии поведения*
- обработка сенсорных данных: зрение, дальнометрия, инфракрасное зрение, тактильные сенсоры, работа с цветом*
- связь и коммуникация,*
- манипулирование (не)ориентированными объектами: выбор из навала и бункеров, сортировка, "строительство"*
- техническая реализация: концепция – проект – робот*
- СОРЕВНОВАНИЯ (активная отработка методов и решений)*

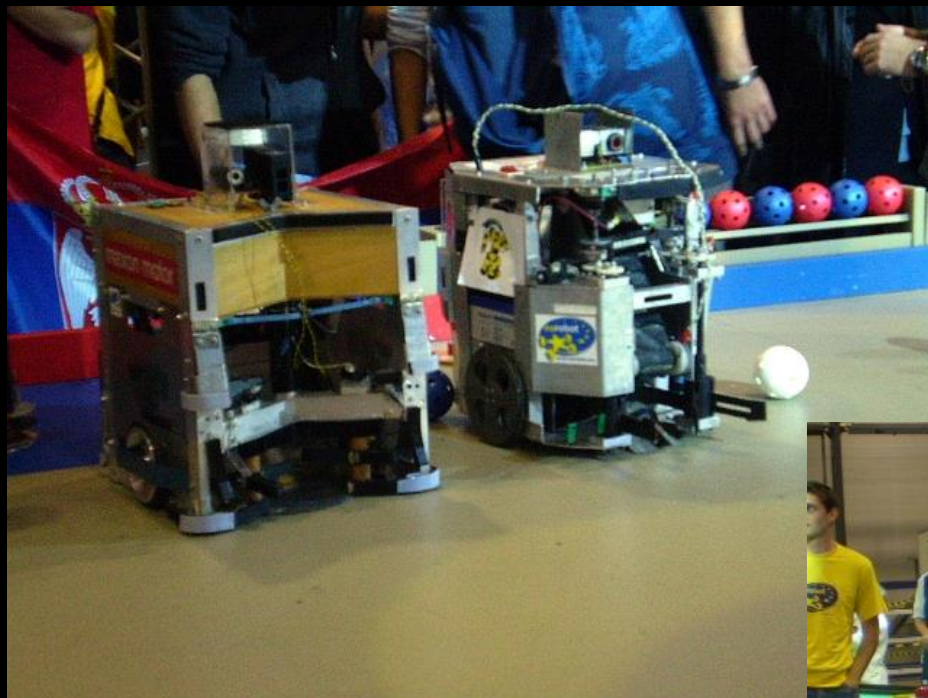


*... Гольф,  
Уборка мусора,  
Миссия на Марс ...*






Соревнования "Северная Звезда"- 2008 в России.  
Eurobot. Фрагменты.



Соревнования "Северная Звезда"- 2008 в России.  
Eurobot. Фрагменты.



# Футбол роботов



**Манифест Ассоциации RoboCup  
(объявлен в 2000 году):**

**... через 50 лет, в 2050 году, команда  
роботов-футболистов должна выиграть  
у Чемпиона Мира по футболу (команды  
футболистов - людей).**

- 
- **Почему футбол сложнее шахмат.**

# Утверждение - футбол сложнее шахмат !

## Шахматы :

- игра в дискретном времени ;
- при принятии решения ситуация фиксирована и не меняется ;
- ходы делаются строго по очереди, последовательно ;
- игра "один на один " - решения принимаются одним лицом ;
- игра строго детерминирована, случайностей в игре нет

## Футбол :

- игра непрерывна, идет в реальном времени ;
- при принятии решения ситуация динамична и изменяется ;
- ситуация в игре может измениться в любой момент, нет очередности "ходов" в игре ;
- игра "команда на команду", решения принимаются многими лицами ;
- игра со случайными факторами.

## Параметры дерева позиций для шахмат и виртуального футбола

	Шахматы	Виртуальный футбол
Число позиций для одной «фигуры»	64	1800000000
Число вариантов ходов одной «фигуры»	~10	~30
Число «фигур», меняющих свою позицию за полуход	1	5
Длительность игры, ходов	~50	~15000

# RoboCup

проводит соревнования в 5 основных Лигах  
(первые соревнования состоялись в 1997 г.):

- Лига Моделирования (Simulation League)
- Малая Лига (Small size-robot League)
- Средняя Лига (Middle size-robot League)
- Лига 4-ногих роботов SONY
- Гуманоидная Лига (Humanoid League, *since 2002*)

*и в 3 дополнительных Лигах*

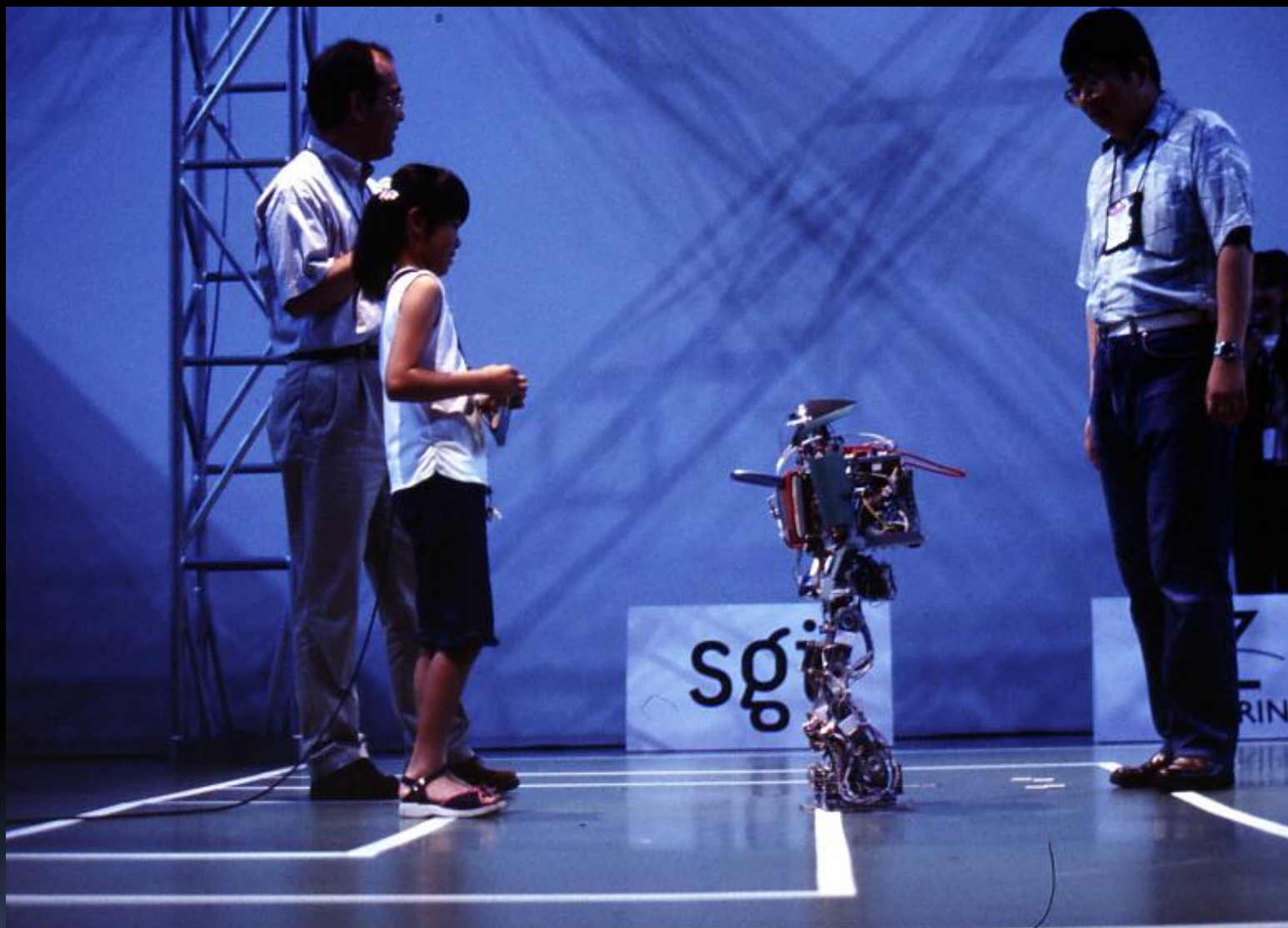
*Лиге моделирования роботов-спасателей*

*Лиге реальных роботов-спасателей*

*Юниорской Лиге*



*Новые роботы ASIMO фирмы Honda демонстрируют упражнение “пенальти”*

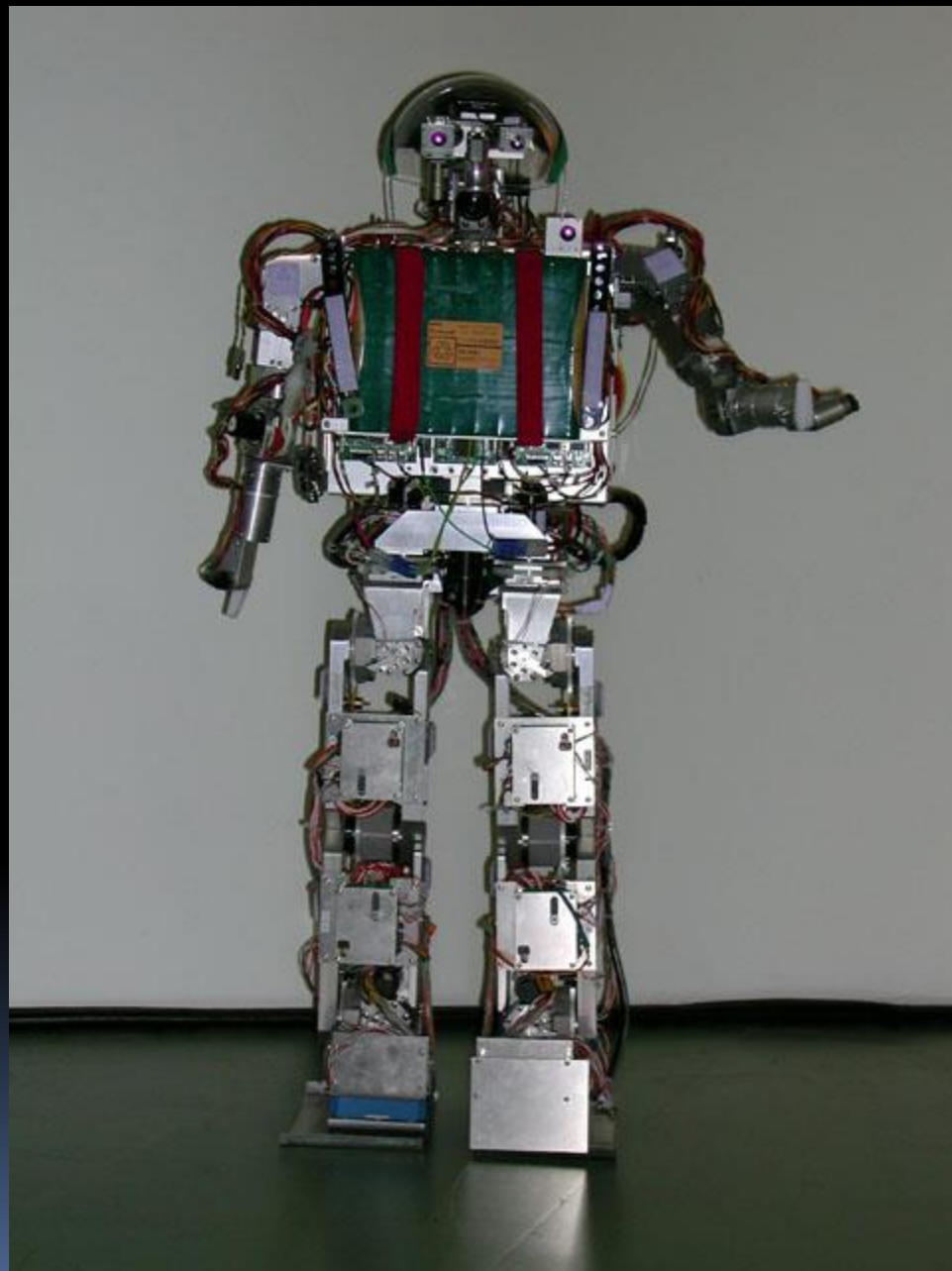


*Победитель Лиги Гуманоидных роботов – робот Nagara,  
разработчики: Ассоциация промышленности префектуры Гифу, Япония*

Ассоциация Промышленности Префектуры Gifu разработала гуманоидный робот Nagara-1 для решения научных задач, задач бизнеса, задач, определенных правительственными кругами.

Робот имеет следующую схему.

- 1) Его высота и вес равны 0.83 м и 15 кг, соответственно.
- 2) Он имеет 28 степеней свободы в шарнирах.
- 3) При изготовлении алюминиевых деталей применены авиационные технологии.
- 4) Система управления включает ЦП управления ходьбой, сервисный ЦП и несколько контроллеров двигателей.
- 5) Интерфейс IEEE1394 связывает ЦП управления ходьбой и контроллеры двигателей. Это обеспечивает цикл управления в несколько миллисекунд.





*Играет Средняя Лига RoboCup*



# Соревнования киберавтомобилей

## Колесные роботы. Киберавтомобили.



Гонки роботов в пустыне

## Колесные роботы. Киберавтомобили.



Гонки роботов-автомобилей.  
Участники DARPA URBAN CHALLENGE



# **АНОНСЫ современных соревнований**

## Сингапур, январь 2007 г.

<http://www.hizone.info/?di=200701252>

Агентство Оборонной Науки и Техники (Defence Science and Technology Agency, DSTA) страны предлагает миллион сингапурских долларов (\$652.000) тому, кто разработает робота, который сможет выполнить оговоренный набор задач в кратчайшие сроки. Робот должен автономно работать в городе на улицах и в зданиях.

Агентство DSTA приглашает всех отдельных представителей, компании, университеты и научно-исследовательские институты принять участие в конкурсе под названием TechX Challenge. Хотя иностранные участники должны сотрудничать с местными партнерами.


"Операция в городской местности представляет собой тяжелое испытание", сказал на запуске конкурса исполнительный директор DSTA Ричард Лим (Richard Lim). "Недавний военный опыт в Ираке, на Ближнем Востоке и в других местах четко обрисовал эти испытания".



## Сингапур, январь 2007 г.

<http://www.hizone.info/?di=200701252>

DSTA хочет создать робота, который сможет сам перемещаться в помещениях и вне их, по городскому ландшафту и выполнять набор предварительно оговоренных заданий. Этот робот должен уметь преодолевать лестничные клетки и пользоваться лифтом для перемещения между этажами без помощи спутниковой навигации, которая может быть недоступной в помещениях.



Перемещение без спутников потребует от робота хорошо развитой системы машинного зрения для обнаружения визуальных подсказок на своем запланированном маршруте. Роберт Ричардсон (Robert Richardson) из Манчестерского Университета говорит, что соревнования создадут большие трудности даже для самых сложных и усовершенствованных роботов.

## Китай в 2010 году проведет Олимпиаду среди человекоподобных роботов

<http://news.rambler.ru/Russia/head/4250933/>

Китай в 2010 году проведет Олимпиаду среди человекоподобных роботов. Как ожидается, участие в ней примут гуманоиды из более чем 100 университетов со всего мира.

Как сообщила британская вещательная компания Би-би-си, роботы будут состязаться в 16-ти видах, как в привычных спортивных, например, легкая атлетика, так и прикладных, в частности, в чистке полов.

В соревнованиях, которые пройдут в городе Харбин, смогут принять участие только роботы, схожие внешне с человеком - с двумя руками и ногами.

Инициатором соревнования выступил Технологический институт Харбина, который проводит успешные исследования в создании роботов-футболистов и уже обладает впечатляющей командой игроков-гуманоидов. По словам представителя этого института, цель проведения Олимпиады - способствовать созданию более совершенного поколения человекоподобных машин.

## Китай в 2010 году проведет Олимпиаду среди человекоподобных роботов

<http://news.rambler.ru/Russia/head/4250933/>

Состязания в Китае, точная дата которых еще не определена, станут еще одним событием в ежегодном календаре выступлений роботов. Так, на апрель намечены Робоигры в Калифорнии. На проводимых также международных состязаниях "Робозэкзотика" проверяется квалификация человекоподобных машин в умении смешивать коктейли, зажигать сигареты и вести разговор с владельцем бара.

Существует у гуманоидов и свой Кубок мира. В 2009 году в нем приняли участие 400 команд из 35 стран. Его следующий розыгрыш пройдет в Сингапуре в июне 2010 года.