

# Лекция 1: “Устройство роботов. Основные подсистемы

Гончаров Олег Игоревич

Факультет вычислительной математики и кибернетики,  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

2012

**Робототехника** — прикладная наука, изучающая вопросы создания и применения роботов и различных средств автоматизации.

**Робот** — универсальный автомат для осуществления механических действий, подобных тем, которые осуществляет человек, выполняющий физическую работу<sup>1</sup>.

Отличительные черты:

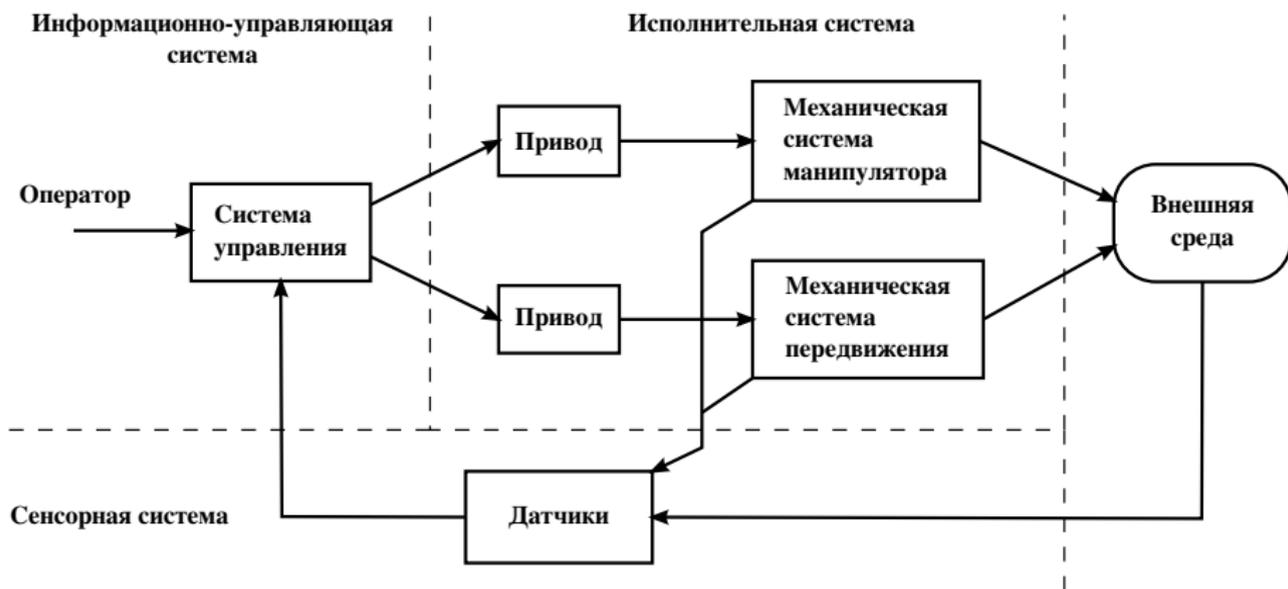
- универсальность,
- автономность,
- взаимодействие с внешней средой.

Конструкция роботов сильно различается в зависимости от назначения.

---

<sup>1</sup>Юревич Е.И. Основы робототехники. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005.

# Функциональная схема работа



В реальных системах некоторые блоки могут отсутствовать.

**Последовательный манипулятор** — пространственный механизм в виде кинематической цепи из звеньев, образующих пары с угловым или поступательным движением, и системы приводов, оканчивающийся исполнительным органом.

С точки зрения механики, манипулятор — система твердых тел с идеальными голономными связями.

- Число степеней свободы: обычно  $3 + 3 = 6$ .
- Рабочая зона — область пространства, куда может быть позиционироваться исполнительный орган.
- Типы сочленений: поступательная или вращательная степень подвижности.
- Каждое сочленение снабжается приводом и датчиком позиции.

- по грузоподъемности: максимальная нагрузка;
- по быстродействию: допустимые скорости и ускорения;
- по точности: точность позиционирования, разрешение, повторяемость;
- по конструкции (форме рабочей зоны):
  - ▶ с прямоугольной системой координат (3 пост.),
  - ▶ с цилиндрической системой координат (1 вр., 2 пост.),
  - ▶ со сферической системой координат (2 вр., 1 пост.),
  - ▶ с угловой системой координат (3 вр.).

Выбор зависит от характера совершаемых движений.

# Проблемы конструирования манипуляторов

**Противоречия** между требованиями:

- **грузоподъемность**: прочность конструкции, мощность приводов  $\Rightarrow$  рост массы и инерции.
- **быстродействие**: требует снижение массы и инерции, увеличение мощности приводов  $\Rightarrow$  уменьшение жесткости и прочности.
- **точность**: жесткость конструкции, отсутствие люфта в сочленениях  $\Rightarrow$  рост массы, рост трения в сочленениях.

**Пути решения**:

- приводы с высокой удельной мощностью, вынос приводов из сочленений, противовесы, пружины,
- использование легких сплавов и композитов,
- совершенствование системы управления (компенсация гибкости, колебаний, инерции и т.п.).

**Итог**: рост стоимости, разработка под требование конкретных приложений.

# Система передвижения

Обеспечивает передвижение робота в пространстве.  
Представлена только в **мобильных** роботах.

**Классификация по среде:** наземные, воздушные, водные, подводные, космические и т.п.

- **Колесные системы передвижения.** Просты, удобны в управлении, самые распространенные. Перемещение внутри зданий, по дорогам.
- **Гусеничные.** Аналог колесных с большей степенью проходимости.
- **Шагающие.** Теоретически обладает наибольшей проходимостью. Сложная механическая система и система управления.
- **Воздушные.** БЛА. Часто дистанционное управление.
- **Подводные.** Дистанционно управляемые подводные роботы.

- **Схват** — механическое устройство для захвата объектов:
  - ▶ простейшие двухпальцевые схваты,
  - ▶ аналоги человеческой кисти: 3 и больше пальцев с большим числом степеней подвижности,
  - ▶ специализированные схваты: присоски, захват листовых материалов и т.п.

Часто снабжаются различными датчиками.

- **Рабочий инструмент**. Предназначен для исполнения технологической операции: сварка, резка, покраска и т.п.

**Датчик** (первичный преобразователь) — устройство преобразующее контролируемую величину в удобную для дальнейшей обработки форму.

**Характеристики:** точность, разрешение, наличие шума.

**Классификация:** по измеряемой величине, по физическому принципам.

Для робототехники возможна следующая классификация:

- Системы определяющие положение робота в пространстве, его ориентацию, позу, параметры движения, усилия в исполнительной системе робота, силы взаимодействия со внешними объектами.
- Системы определяющие отдельные физико-химические свойства внешней среды.
- Системы, дающие общую картину окружающей среды.

Системы определяющие положение робота в пространстве, его ориентацию, позу, параметры движения, усилия в исполнительнй системе робота, силы взаимодействия со внешними объектами.

**Назначение:** получение информации для управления движением и силовым взаимодействием робота с внешней средой.

- Датчики перемещения (абсолютные и относительные): угол между звеньями манипулятора, угол поворота колес и т.п.
- Датчики скорости: скорость вращения колес.
- Гироскопы: угловые скорости.
- Акселерометры: ускорение.
- Датчики усилия: усилия приводов, сила реакции внешней среды.
- Навигационные системы: спутниковые, инерциальные.

Системы определяющие отдельные физико-химические свойства внешней среды.

**Назначение:** получение информации о внешней среде, простота обработки и однозначность интерпретации.

- Датчики положения: наличие или отсутствие объекта (контактные, бесконтактные). Бесконтактные часто основаны на основе оптической пары: светодиод и фототранзистор.
- Дальномеры: сонары, лазерные дальномерыю
- Звуковые датчики.
- Датчики света и освещенности.
- Температура, влажность, сопротивление и т.п.

Системы, дающие общую картину окружающей среды.

**Назначение:** получение наиболее полного объема информации о внешней среде, сложности с обработкой и интерпретацией.

- Видеокамеры.
- Пространственные сканеры (лазерный дальномер, сканирующий некоторый растр).
- Тепловизоры.
- “Искусственная кожа”(?).

- Неправильные измерения, шумы.
- Объединение нескольких измерений:
  - ▶ с разных датчиков
  - ▶ в разные моменты времени
- Обработка больших объемов информации, выделение нужной информации.

## Пути решения:

- Дублирование элементов сенсорной системы.
- Фильтрация (в т.ч. фильтры Байеса и Калмана): подавление шума и объединение показаний.
- Методы ИИ\* на уровне системы управления: распознавание объектов, машинное обучение.

**Привод** — устройство для приведения в действие машин.

Устройство привода:

- 1 **двигатель** преобразует энергию в механическую энергию,
- 2 **трансмиссия** передает механическую энергию, изменение характера движения (вращательное, поступательное),
- 3 **система управления** обеспечивает работу привода, возможно, требуются датчики: перемещения, скорости, силы тока, усилия и т.п.

Классификация по управляющему воздействию:

- **Сервоприводы:** СУ с обратной связью, ОС замыкается по
  - ▶ позиции,
  - ▶ скорости,
  - ▶ усилию
- **Приводы с открытым контуром:** СУ выполняет преобразование и усиление входного сигнала

# Требования к приводам

- К двигателю и трансмиссии:
  - ▶ Хорошие массо-габаритные показатели, малая инерция.
  - ▶ Высокая удельная мощность.
  - ▶ Нужные диапазоны момент, скорость.
  - ▶ Точность, отсутствие неопределенности (люфт, сила трения, жесткость трансмиссии).
- К системе управления приводом:
  - ▶ надлежащее качество переходных процессов,
  - ▶ настройка и установка ограничений\* (скорости, перемещения),
  - ▶ простота сопряжение с другими системами\*.
- Широко используются цифровые системы управления с широтно-импульсной модуляцией.
- Возможна **рекуперация** энергии при торможении.

**Принцип работы:** давление сжатого воздуха.

**Устройство:** пневмоцилиндр (стойки с демпферами, ограничители скорости), распределительная система (клапаны), источник сжатого воздуха.

**Особенности:**

- Простота и дешевизна.
- Относительно малая грузоподъемность.
- Проблемы с произвольным позиционированием.
- Обычно дискретное цикловое управление.

# Типы приводов

## Гидравлические

**Принцип работы:** давление жидкости.

**Устройство:** гидроцилиндр, распределительная система, станция питания: компрессор, охлаждение, расширительный бак, фильтры.

**Особенности:**

- Сложны и дороги.
- Большая грузоподъемность, могут развивать значительные усилия.
- Точное позиционирование.
- Обычно непрерывное управление (по скорости или позиции).

# Типы приводов

## Электрические

**Принцип работы:** электро-магнитные силы.

**Устройство:** сильно различается: индуктор (статор, неподвижная часть) с обмотками или постоянными магнитами, якорь (ротор, подвижная часть) с обмотками или постоянными магнитами, коммутационная система (механическая, электронная или отсутствует), возможно также тормоз, система охлаждения и т.п.

### Особенности:

- Удобство управления и эксплуатации.
- Потребляют энергию в статике, плохие\* массо-габаритные характеристики.
- Точное позиционирование.
- Могут использоваться в составе различных систем управления.
- Большое число различных типов.

# Типы электрических приводов

- **Электрические двигатели постоянного тока (ЭДП):** линейная модель, удобство управления
  - ▶ коллекторные: механическое коммутирующее устройство,
  - ▶ коллекторные с облегченным якорем (coreless, ironless): меньше инерция,
  - ▶ бесколлекторные, вентильные: электронная коммутация и управление.
- **Асинхронные:** тяговые двигатели, высокий КПД.
- **Шаговые:** использование без ОС,
- **Линейные двигатели.**

- Комбинированные приводы.
- Микроприводы:
  - ▶ пьезоэлектрические,
  - ▶ микромеханика.
- Искусственные мышцы:
  - ▶ пневматические (пневмоцилиндр заменяется эластичной трубкой),
  - ▶ эффект памяти формы метала (никелид титана),
  - ▶ электроактивные полимеры (перераспределение зарядов в полимерах заставляет их изгибаться).

Осуществляет автоматическое управление исполнительной системой робота (возможно и еще каким-то подключенным оборудованием).

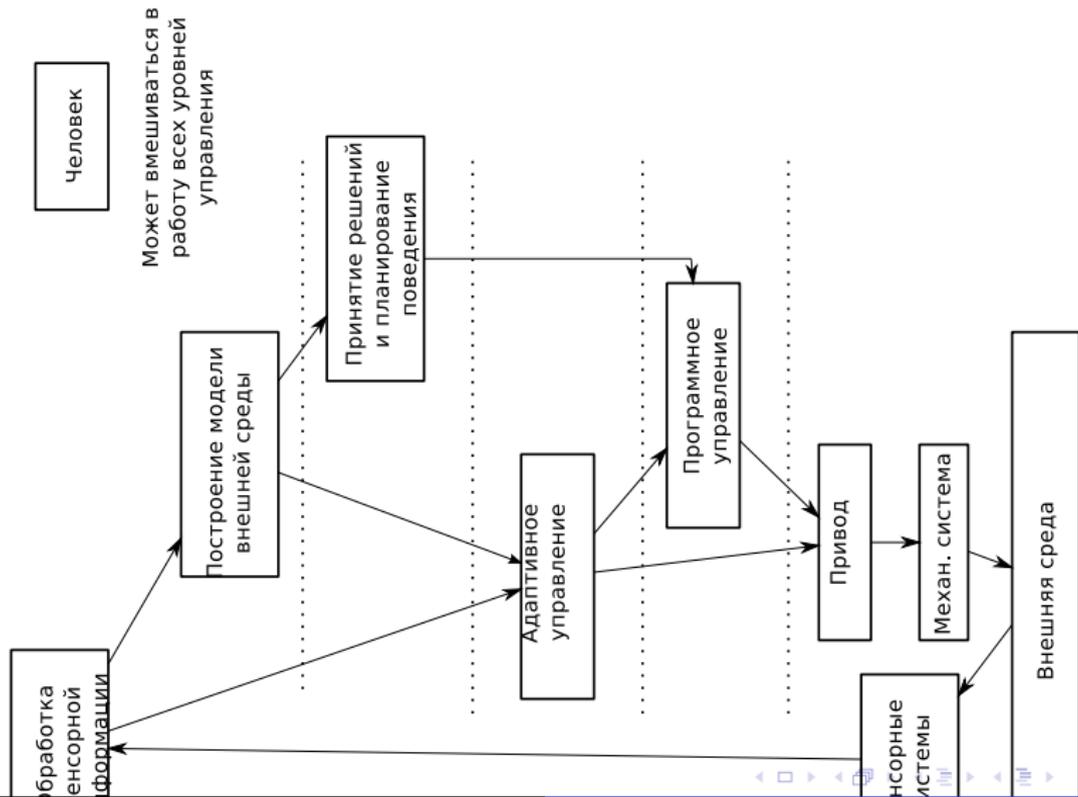
- **Программные.** Робот выполняет жестко запрограммированную последовательность действий.
- **Адаптивные.** Система управления получает информацию о внешней среде и может на ее основе изменять свое поведение.
- **Интеллектуальные.** Адаптивные системы, использующие методы искусственного интеллекта.

- **Аппаратная база** современных СУ: микроконтроллеры и компьютеры. Т.е. доминируют цифровые СУ, ранее могли использоваться аналоговые.
- **Программное обеспечение:** (входит в состав СУ).
  - ▶ Библиотеки для отдельных компонент роботов.
  - ▶ Средства для построения систем управления роботами. Компонентно-ориентированное программирование.
  - ▶ Специализированное ПО для управления промышленными роботами (в т.ч. и специализированные языки программирования).
  - ▶ Средства построения интеллектуальных систем управления: зрение, распознавание, обучение.
- **Вспомогательные средства:** (не входят в СУ, используются при ее создании)
  - ▶ ПО для поддержки проектирования роботов.
  - ▶ ПО для синтеза и моделирования систем управления.
  - ▶ ПО для моделирования на различных уровнях: механическая система, приводы, робот, робот во внешней среде.

# Особенности СУ роботов

- Работа в **реальном времени** с динамически меняющейся средой:
  - ▶ Периодические события: управления приводами и движением, снятие данных с датчиков, построение модели среды и т.п.
  - ▶ Асинхронное взаимодействие: реакция на внешние события.
  - ▶ Разный масштаб времени для разных задач.
- Принцип **иерархичности**: верхние уровни управления работают все с более абстрактным представлением внешнего мира.
- Принцип **декомпозиции** и **инкапсуляции**: система представляет собой набор взаимодействующих компонент:
  - ▶ клиент-сервер,
  - ▶ издатель-подписчик (наблюдатель).
- Разные уровни системы могут быть выполнены с **использованием различных парадигм** программирования.

# Функциональная схема системы управления (Юревич)



# Трехуровневая схема системы управления

- Sense-Plan-Act (робот Shakey): большинство обратных связей замкнуты через верхний уровень.
- Subsumption (*Brooks*): обратные связи замкнуты на каждом уровне, более высокие уровни обеспечивают сложное поведение.

Трехуровневая модель (*Firby, Bonasso*) — результат слияния этих подходов.

# Трехуровневая схема системы управления

- 1 **Примитивы поведения** (Behavioral Control): набор алгоритмов для выполнения конкретных действий.
  - ▶ Ситуационность: действуют только в конкретных условиях.
  - ▶ Способны определить выход за условия применимости.
  - ▶ Обеспечивают быструю реакцию на события.
- 2 **Исполнение** (Executive): транслирует высокоуровневую задачу в последовательность вызовов примитивов поведения
  - ▶ Учитывает связи между низкоуровневыми задачами: деревья задач (task tree).
  - ▶ Часто используются конечные автоматы.
  - ▶ Обработка исключений.
- 3 **Планирование** (Planning): определение долговременных целей, планирование распределения времени.
  - ▶ на основе зависимостей между задачами.
  - ▶ на основе временных ограничений.

Человек может вмешиваться в ход работы системы на любом уровне.

- Копирующие манипуляторы, непосредственное управление приводами.
- Задание движения или взаимодействия
- Активация заданного алгоритма действий.
- Работа в режиме супервзора: человек следит за работой системы, вмешивается на уровне планирования.

**Групповое управление** — совместное связанное управление несколькими объектами. Уровни:

- несколько приводов одного робота,
- несколько манипуляторов,
- несколько роботов,
- несколько роботов и др. оборудование.

# Парадигмы группового управления

- **Централизованное.** Единый центр управления и планирования.
  - ▶ Возможность поиска оптимального решения.
  - ▶ Сложно с большим числом роботов.
  - ▶ Уязвимо при повреждении центра.
- **Децентрализованное.** Роботы взаимодействуют в достижении одной цели.
  - ▶ Отказоустойчивость.
  - ▶ Масштабируемость, позволяет преодолевать ограничения связи.
- Общее решение **иерархическая централизованно-децентрализованная система.**