

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого»

Факультет автоматизированных и информационных систем

Кафедра «Информационные технологии»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по дисциплине

«ПРОГРАММИРОВАНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОДНОПЛАТНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ»

для студентов специальности

1-40 05 01 «Информационные системы и технологии (по направлениям)»

направление специальности 1–40 05 01–01 «Информационные системы и
технологии (в проектировании и производстве)»

Соболев Д.В.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
РАЗДЕЛ 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РОБОТОТЕХНИКИ	6
Тема 1. История развития робототехники	6
Тема 2. Применение средств робототехники в промышленности	13
РАЗДЕЛ 2. КОНСТРУКТОРЫ ПРОГРАММИРУЕМЫХ РОБОТОВ	17
Тема 3. Наборы на базе Arduino	17
Тема 4. Наборы на базе Lego	24
Тема 5. Применение одноплатных компьютеров для создания роботизированных систем	31
РАЗДЕЛ 3. ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ РОБОТОВ	36
Тема 6. Языки программирования роботов	36
Тема 7. Моделирование роботов на ЭВМ	41
РАЗДЕЛ 4. УСТРОЙСТВО РОБОТОВ	48
Тема 8. Проектирование средств робототехники	48
Тема 9. Устройства управления роботов	55
Тема 10. Манипуляционные системы	56
Тема 11. Системы передвижения мобильных роботов	64
Тема 12. Приводы роботов	69
Тема 13. Сенсорные системы. Очувствление в дальней зоне	71
Тема 14. Сенсорные системы. Очувствление в ближней зоне	79
Тема 15. Системы технического зрения	88
РАЗДЕЛ 5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РОБОТОВ	99
Тема 16. Основные принципы организации движения роботов	99
Тема 17. Математическое описание приводов	102
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	109

ВВЕДЕНИЕ

Изучение дисциплины «Программирование робототехнических систем на основе одноплатных компьютеров» предусматривает получение студентами базовых знаний и основных умений по сземной и программной реализации различных робототехнических систем на основе современных одноплатных компьютеров и дальнейшей работе с ними.

Цель преподавания дисциплины – сформировать у студентов теоретические знания о классификации и устройстве роботизированных систем, об исполнительных приводах, системах управления, датчиках, способах программирования, используемых в робототехнике; о применении одноплатных компьютеров для создания промышленных роботов.

Задачи изучения дисциплины:

- усвоение основных понятий и терминов в области робототехники;
- ознакомление с классификацией промышленных роботов, принципами построения систем управления, исполнительных механизмов, датчиков, средств технического зрения, способами программирования роботов и средствами механизации;
- рассмотрение классификаций одноплатных компьютеров применяемых для построения роботизированных систем;
- усвоение методики построения алгоритмов управления робототехническими системами на базе одноплатных компьютеров; определения параметров приводов робота и методики выбора датчиков.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалистов, связи с другими учебными дисциплинами:

Для изучения курса «Программирование робототехнических систем на основе одноплатных компьютеров» необходимы знания, полученные при изучении дисциплин «Физика», «Основы алгоритмизации и программирования», «Операционные системы».

Требования к освоению учебной дисциплины:

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

- основные представления о робототехнических системах, их возможностях и перспективах развития;
- назначение, принципы использования, состав и дидактические возможности конструкторов программируемых роботов и сопровождающего программного обеспечения;
- основные алгоритмы реального времени для учебных роботов (прохождение трассы, движение по лабиринту и т.д.);

- особенности применения одноплатных компьютеров для создания робототехнических систем;

уметь:

- использовать среды программирования одноплатных компьютеров при создании роботов для разработки и отладки алгоритмов;
- создавать конструкцию и разрабатывать программу для робота, выполняющего поставленную задачу;
- определять конструкторские и программные особенности робота, решающего поставленную задачу, и выбирать из них оптимальные;
- уметь подключать датчики и разрабатывать алгоритмы работы роботов по их показаниям;

владеть:

- опытом проектирования содержания элективных курсов и внеурочных форм работы по робототехнике;
- опытом конструирования и программирования учебных роботов;
- опытом постановки новых задач для конструирования и программирования учебных роботов;
- опытом составления задач на конструирование программируемых роботов.

В результате изучения дисциплины у студентов формируются следующие компетенции:

Академические компетенции:

- уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- владеть исследовательскими навыками;
- уметь работать самостоятельно;
- быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью);
- владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;
- иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером;
- уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.
- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности;
- владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации с использованием компьютерной техники.

Социально-личностные компетенции:

- быть способным к критике и самокритике;
- уметь работать в команде.

Профессиональные компетенции:

- владеть современными методами, языками, технологиями и инструментальными средствами проектирования и разработки программных продуктов;

- проводить анализ и обосновывать выбор технических, программных средств и систем для автоматизированной поддержки процессов профессиональной деятельности;
- разрабатывать программные средства и системы обеспечения автоматизированной поддержки решений задач профессиональной деятельности;
- осуществлять тестирование программной продукции и применяемых программных средств на соответствие техническим требованиям;
- разрабатывать и внедрять стандарты и системы менеджмента качества в области профессиональной деятельности;
- выполнять моделирование и проектирование программных средств, разрабатываемых для обеспечения профессиональной деятельности;
- разрабатывать техническую и проектную документацию на создаваемые программные средства решений профессиональных задач;
- разрабатывать требования на внедрение и эксплуатацию информационных систем и программных разработок;
- анализировать и оценивать собранные данные;
- готовить доклады, материалы к презентациям;
- пользоваться глобальными информационными ресурсами;
- владеть современными средствами инфокоммуникаций.

Распределение аудиторного времени по видам занятий, курсам и семестрам.

Согласно учебным планам учреждения образования по специальности 1-40 05 01 «Информационные системы и технологии (по направлениям)» № I 40-1-01/уч. от 11.02.2016 (№ I 40-1-13/уч. от 23.05.2017) на изучение учебной дисциплины «Программирование робототехнических систем на основе одноплатных компьютеров» отведено 66 (116) часов всего. Аудиторных часов по дневному отделению – 32 (68), по заочному отделению – 8 часов,. Трудоемкость учебной дисциплины – 1,5 (3) зачетные единицы.

РАЗДЕЛ 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РОБОТОТЕХНИКИ

Тема 1. История развития робототехники

Люди всегда стремились улучшить свою жизнь и увеличить свои возможности. Поэтому люди мечтали изобрести различные инструменты, механизмы, машины с целью облегчения своего труда, повышения качества и производительности. Причем данные мечты появились задолго до того, как общество получило первые представления о точных науках.

Робототехника представляет собой естественное логическое продолжение техники как явления. Сейчас роботы постепенно вытесняют человека из многих сфер его деятельности, предоставляя взамен все новые возможности для приложения усилий: просмотр кинофильмов, подводные погружения, компьютерные игры и т.д. Часть всеобщего труда, затрачиваемая человечеством на производство средств производства, а не конечного продукта потребления, постепенно увеличивается от 0%, очевидно стремясь к 100 %.

Робототехника на сегодняшний день является интенсивно развивающейся научно-технической дисциплиной, изучающей как теорию, методы расчета и конструирования роботов, их систем и элементов, так и проблемы комплексной автоматизации производства (Уже сейчас усилия большинства наилучших современных роботов направлены на производство других машин: станков, автомобилей, компьютеров) и научных исследований с применением роботов. Предметом робототехники является создание и применение роботов, других средств робототехники и основанных на них технических систем и комплексов различного назначения.

В массовом сознании слово «робот» ассоциируется в основном с научными достижениями и идеями 20-21 веков. Особенно часто этот термин мало разбирающийся в технических областях человек встречает в произведениях научной фантастики – романах Айзека Азимова, сериях фильмов «Терминатор», «Трансформеры» и т.д. Более продвинутые из них еще могут припомнить советские «Луноходы», промышленные или медицинские аппараты, зверо- или человекоподобных роботов из рекламных роликов компании Boston Dynamics. Однако, как и многие другие великие идеи человечества, концепция автоматизированных механизмов, способных самостоятельно выполнять различные операции, появилась гораздо раньше и прошла длительный путь своего развития.

История робототехники берет свое начало еще с древности. Ведь с незапамятных времен люди придумывали различные устройства для развлечения. Великие математики древности создавали удивительные механизмы, которые и в наше время способны вызвать не поддельный восторг. С тех времен и до наших дней стремление к созданию самостоятельно функционирующего механизма ничуть не угасло, даже наоборот, только выросло. Лучшие ученые мира работают над

созданием различных видов роботов, способных выполнять самые разнообразные функции. Однако прежде чем углубляться в историю следует разобраться, что такое робототехника.

Робототехника – это наука, которая изучает процессы разработок автоматизированных технических систем, работающих на основе электроники, а также механики и программирования. Производство роботов является одной из наиболее развитых отраслей современной промышленности. Представить только, на данный момент тысячи роботов трудятся на заводах и предприятиях, заменяя тяжелый труд людей.

Автоматизированные манипуляторы стали неотъемлемой частью различных производственных и научных исследований. Кроме этого, роботы позволяют изучать пространство за пределами нашей планеты, там, куда нет доступа человеку.

Робота следует отличать от простых механизмов и автоматов. Это устройство обладает способностью к более тесному и комплексному взаимодействию с оператором и внешней средой. Если простой автоматический механизм при выполнении определенного действия слепо следует заранее заложенному в нем алгоритму, то робот способен воспринимать внешние сигналы и в соответствии с ними адаптировать свои действия. Таким образом его взаимодействие с внешней средой становится более гибким, точным и универсальным. Даже самые первые в мире роботы, о которых будет сказано далее, имели примитивные аналоги органов чувств, без которых это принципиальное отличие было бы невозможным.

Если говорить об истории роботов, то первые механизмы, выполняющие простейшие движения, встречаются еще в античных временах. Однако первые сохранившиеся чертежи и записи о действующем роботе датируются 1495 годом. Их создал всемирно известный изобретатель, ученый Леонардо Да Винчи, который создал железного рыцаря, способного двигать руками и ногами.

Если говорить о современных роботах, то развитие робототехники берет свое начало в 1961 году, когда компания General Motors создала первого робота с движущейся рукой, выполняющей некоторую последовательность действий, записанных на магнитном барабане. По сути – эта разработка и положила начало массового производства роботов.

Стоит отметить, что само понятие «робот» пришло к нам немного ранее, а точнее в 1921 году, когда писатель фантаст Карела Чапека написал пьесу под названием «Россумовские Универсальные Роботы». Там оно обозначало искусственно созданного человека, чей труд использовался на тяжелых и опасных производствах взамен человеческого (robota в переводе с чешского – каторга). И хотя в этом произведении роботы изготавливались на фабриках из выращенных органических тканей, само понятие впоследствии было популяризировано именно в отношении механических устройств. Конечно, в то время это была простая

фантазия, и никто и подумать не мог, что роботы настолько плотно войдут в жизнь людей. Немного позже, через 20 лет Айзек Азимов сформулировал три основных закона робототехники, которые определили представления о роботах:

- робот не способен причинить вред человеку, либо допустить своим бездействием, чтобы человеку был нанесен вред;
- робот должен выполнять команды человека, если они не противоречат первому закону;
- робот должен обеспечивать свою безопасность до тех пор, пока это не противоречит первому и второму закону.

Активное развитие робототехники и массовое производство автоматизированных машин начинается в 1970-е годы. В первую очередь это были промышленные роботизированные машины, которые использовались в производстве. Они успешно заменили людей на конвейерах и выполняли однообразные работы, что позволило существенно снизить количество несчастных случаев на производстве, а также повысить производительность предприятий.

Конечно же, роботы не способны работать самостоятельно. Для контроля над ними нужны люди, которые постоянно следят за ходом выполнения работ и в случае необходимости могут выключить их либо перенастроить.

В наше время роботы стали еще умнее. Некоторые фабрики, такие как IBM для сборки клавиатур в Техасе, имеют полностью автоматизированное производство. При этом все работы от момента выгрузки материалов и вплоть до получения готовой продукции выполняются роботами. Таким фабрикам не требуется освещение, и они способны работать круглосуточно без выходных.

Виды роботов

Краткая история робототехники позволяет понять нам, насколько стремительно развивается данная область. Прошло всего лишь немного больше 50 лет с момента появления первого робота, способного выполнять несколько простейших движений, до массового производства самых разнообразных роботизированных механизмов и машин. Кроме этого, уже сегодня существует огромное разнообразие бытовых роботов, позволяющих существенно упростить повседневную жизнь простых людей.

Научная активность в развитии робототехники очень высока. Каждый год проводятся международные конференции по роботам, собираются национальные и международные научно-технические совещания и так далее. Каждый год появляется огромное количество роботов, способных заменять людей на рабочих местах, помогающих в бытовой жизни, развлекательных роботов, и даже роботов, работающих в медицине.

Любопытен тот факт, что уже сегодня роботы способны строить других роботов, которые в свою очередь будут трудиться на производстве таких же автоматизированных машин. Уже на данный момент многие научно-фантастические

книги стали вполне нормальной и привычной реальностью, и не сложно представить, какие роботы будут среди людей через 10-20 лет.

Чтобы понять, какие роботы вообще могут встречаться в современной жизни, следует разобраться с некоторыми терминами:

- механизм;
- робот;
- андроид;
- машина.

Итак, **машина** – это совокупность механизмов, которые заменяют человека либо животное в определенной области. Такие устройства предназначены, как правило, для преобразования одного вида энергии в другой. В подавляющем большинстве случаев машины используются для автоматизации труда.

Механизм – это использование определенных материалов для выполнения определенных механических функций. Все конструкции механизмов основаны на взаимном сцеплении, а также сопротивлении тел.

Робот - машина с антропоморфным (человекоподобным) поведением, которая частично или полностью способна выполнять функции человека (либо животного) в определенных условиях.

Андроид – это понятие из научной фантастики, которая уже в наше время становится реальностью. Это робот, который имеет вид подобный человеку. Цель андроида заключается в замене человека в любом виде деятельности.

Зная, что такое робот, можно только представить себе, какие функции он способен выполнять. В наше время роботы могут иметь самую разнообразную форму, от домашних животных, до огромнейших промышленных установок – от роботов пылесосов, до настоящих роботов из фантастических рассказов, играющих на музыкальных инструментах или выполняющих важные задания на других планетах.

Однако история создания роботов тесно переплетается с развитием механики и логически из нее проистекает. Поэтому для ее понимания необходимо углубиться на несколько веков назад, а именно в эпоху античности, когда процветала колыбель наук – Древняя Греция. В этой стране появились автоматические устройства, созданные для выполнения практических задач и развлечения. В качестве примера можно привести описанную Филоном Византийским механическую женщину-служанку, которая наливали из кувшина вино во вставленный в ее руку стакан.

Древнегреческий математик и изобретатель Архит Тарентский еще в 5 веке до н. э. изобрел деревянного голубя, который запускался в небо с помощью паровой катапульты. Многие историки технологий считают, что первый робот в истории был создан именно в этот момент, хотя корректнее считать его прототипом крылатой ракеты или реактивного снаряда.

Еще более сложное и грандиозное автоматическое устройство существовало в научной столице античного мира – великом городе Александрия. На расположенном

здесь в начале нашей эры знаменитом Фаросском маяке были размещены величественные женские фигуры. Они могли указывать направление ветра и движение небесных светил (Солнца и Луны), отсчитывать время и даже сигнализировать морякам об опасности во время шторма или тумана с помощью громкого трубного звука. В древнегреческом городе Сиракузы на острове Сицилия жил **великий греческий изобретатель и ученый Архимед, также прославившийся созданием автоматических механизмов.** В частности, ему приписывается создание первого прообраза настоящего боевого робота. Устройство под названием «коготь», устанавливаемое на крепостной стене, захватывало длинным крюком осаждавшие город римские корабли, поднимало их в воздух и переворачивало, стряхивая экипаж за борт.

Другой гениальный грек, Герон Александрийский, изобрел первый в истории программируемый автомат. Тележка, вывозившая на сцену механизированные марионетки, управлялась с помощью веревки и колышков. Изменяя положение последних, Герон регулировал наматывание тросиков на независимые оси повозки, тем самым задавая ей траекторию движения. Этот принцип в чем-то похож на перфорированные ленты и карты – средства записи и хранения информации, используемые в автоматических станках и ЭВМ вплоть до 80-х годов XX века.

Хронология развития роботов

Предыстория изобретения роботов (XV-XIX века)

1500 год. Франция поражена механизированным львом Леонардо да Винчи. Когда король посещал Милан, этот механизм двигался и представлял герб государства.

1617 год. Джон Непер разрабатывает элементарное вычислительное устройство.

1623 год. Вдохновлённый разработками Непера, Вильгельм Шиккард из Германии создаёт счётную машину, работающую с шестиразрядными десятичными числами.

1642 год. Паскаль излагает видение механизированной машины, способной складывать и вычитать числа самостоятельно.

1878 год. На Всемирной выставке в Париже Пафнутий Чебышев презентует стопоходную машину, движения которой подобны шагам лошади. Этот механизм даёт новый толчок развития технологий роботостроения.

1891 год. Мечта о беспроводной электрификации города привела Николу Тесла к изобретению катушки, производящей напряжение высокой частоты. Принцип действия объяснял природу возникновения электричества и возможности его использования.

1893 год. Тесла создаёт асинхронный двигатель, питающийся от сети переменного тока. Опираясь на различия в скорости движения и направления вращения магнитных полей статора и ротора, достигается вращение ротора.

1894 год. Никола Тесла патентует электродинамическую индукционную лампу, обладающую рядом конкурентных преимуществ, по сравнению с аналогами того времени.

1898 год. Научная мысль Теслы привела его к открытию первого в мире пульта дистанционного управления. Он был установлен на лодке, винт и руль которой контролировались при помощи радиоволн.

История развития роботов (XX век)

1913 год. Создание Чарльзом Маколи машины, находящей решения логических проблем.

1921 год. Первое упоминание слова «робот» (robota с чешского) в пьесе «R.U.R.» Карела Чапека.

1934 год. Создание индустриального конвейерного робота для покраски поверхностей.

1946 год. Презентация механизма управления машинами посредством магнитного записывающего устройства.

1950-е года Активная разработка механических манипуляторов, которые копировали движение человеческих рук для внедрения на радиоактивные производства.

1963 год. На выставке в Калифорнии представлена искусственная рука Rancho Arm, сопоставимая с человеческой.

1971 год. Изобретение первого в мире микропроцессора.

1980 год. Сильнейший скачок роста рынка робототехники, произошедший благодаря коммерческой реализации японских роботов, производимых на базе высоких технологий.

1992 год. К Марку Торпу, в ходе разработки робота-пылесоса, приходит мысль организовать бои роботов.

Роботы XXI века

2000 год. Фирма Electrolux в эфире телеканала BBC представила робот-пылесос Trilobite, который самостоятельно передвигался по помещению и собирал пыль. Через 4 года на свет вышло второе поколение этой модели. Усовершенствования коснулись не только дизайна, но и функционала: он «научился» объезжать препятствия, «знал» когда нужно возвращаться к зарядному устройству, при этом уровень шума был значительно снижен.

2001 год. Изобретение гибкого дисплея FOLED, в котором был использован гибкий пластик (или металлическая пластина) в качестве подложки.

2002 год Ознаменовался началом эры планшетов, у истоков которой стоял Microsoft Tablet PC – первый планшетный компьютер.

2003 год. В свет выходит QRIO. Детский робот, в котором заложена основа адаптивного поведения, может держать равновесие, стоя на одной ноге, использует в речи более 60 000 слов и танцует.

2004 год. Марк Тилден создает первую коммерчески успешную игрушку робота Robosapien.

2005 год. Военная робототехника прославилась изобретением PackBot с системой REDOWL. Противоснайперская программа различала звук выстрела среди всех остальных и точно определяла координаты стрелявшего. Затем, производилось наведение лазерного прицела на цель.

2006 год. Лаборатория NEC System Technologies представила робота-дегустатора. Помимо возможности распознать продукт, он давал советы по сочетанию закусок и напитков менее чем за полминуты.

2007 год. Испытания тестового робота-милиционера Р-БОТ 001, проводимые МВД России в городе Пермь.

2008 год. В Европейском совете ядерных исследований разработали проект Большого андронного коллайдера, предназначенного для изучения продуктов соударений на высокой скорости протонов и тяжёлых ионов.

2009 год. Создание первого биологического 3D-принтера, способного на микроуровне воссоздавать архитектуру ткани организма.

2010 год. Корейская фирма Ilshim Global презентует первого в мире робота для мойки окон Windoro, который самостоятельно определяет размер поверхности и выстраивает маршрут

2011 год. Доставлен на МКС робот НАСА Робонавт-2

2011 год. Компания Inventist под началом Шейна Чена патентует первое моноколесо Solowheel, отличающееся от более ранних аналогов отсутствием сиденья и наличием системы гироскопов. Новшества позволили наладить массовое производство устройства.

2012 год. Военные научные разработки в области взрывчатых веществ привели к открытию самой мощной на сегодняшний день взрывчатки - гексанитрогексаазаизовюцитан.

2013 год. На Международную Космическую Станцию прибывает робот-астронавт японского производства.

2013 год. Запатентовано первое двухколёсное самобалансировочное средство передвижения – гироскутер.

2014 год. Беспроводная электроэнергия. Первые удачные испытания катушки, генерирующей электрическое поле. Это изобретение позволяет в радиусе 2,5 метров заряжать электронные устройства, освобождая их от розетки и проводов.

2015 год. Настоящим переворотом в электрическом автомобилестроении стала презентация внедорожника Tesla Model X, который способен без подзарядки преодолеть 402 км. А разгон до 100 км/ч осуществляется за 3 секунды.

2016 год. Исследования в области медицины, направленные на помощь людям, страдающим когнитивными расстройствами, привели к появлению коллекции посуды Eatwell Assistive Tableware. Она разработана с учётом всех особенностей приёма пищи людей с болезнью Альцгеймера.

2017 год. Основное направление робототехники текущего года – это прогресс искусственного интеллекта. Главная цель разработок – приучение ИИ к саморазвитию, мгновенному приспособливанию к изменяющимся факторам внешней среды и поиск оптимального решения поставленных задач.

В течении ближайших 10 лет планируется выход на глобальный рынок сразу нескольких разрабатываемых проектов:

- AEROWORKS – роботы-квадрокоптеры, контролирующие работу производственных объектов;
- FLOBOT – улучшенная модель уборщиков, предназначенная для эксплуатации в огромных промышленных помещениях;
- Робот-сиделка для больных в период реабилитации после сложных операций;
- EurEyeCase – высокоточные хирурги, специализирующиеся на операциях сетчатки глаза;
- Роботы-фермеры, выполняющие полный спектр сельскохозяйственных операций, начиная с подготовки грунта, заканчивая сбором урожая.

Тема 2. Применение средств робототехники в промышленности

В настоящее время робототехника представляет собой значительно более обширную область науки, чем можно было себе представить всего несколько лет назад. Она включает вопросы кинематики, динамики, планирования стратегий, языков программирования и искусственного интеллекта.

Системы и комплексы, автоматизированные с помощью роботов, называют роботизированными. Роботизированные *системы* и *комплексы*, в которых роботы выполняют основные функции, называют робототехническими.

Роботы находят применение в других (кроме промышленности) областях: транспорте (беспилотная авиация, луноходы и т.п.), в сельском хозяйстве, в здравоохранении (протезирование, микрохирургия, и т.п.), в сфере обслуживания (бытовые машины, спасательные работы, торговые автоматы), космос, подводные аппараты и т.п.



Рисунок 2.1 – Функциональная схема робота

Классификация роботов по назначению

Промышленные роботы (ПР) составляют 85-90% всех роботов. Например, в ФРГ ПР применяются:

- 1) Керамическая промышленность: выдавливание керамического сырья, загрузка вальцовых (крокетных) машин, извлечение сформованных изделий, складирование, покрытие глазурью путем окунания, нанесение глазури пульверизатором, шлифовка изделия после обжига, загрузка и разгрузка печей.
- 2) Стекольная промышленность: загрузка и разгрузка машин.
- 3) Швейная промышленность: загрузка швейных машин.
- 4) Деревообрабатывающая промышленность: покрытие лаком, сборка изделий, забивка гвоздей, закручивание винтов.
- 5) Производство и обработка кожи: загрузка машин.
- 6) Резинообрабатывающая промышленность: распознавание образов, манипулирование шинами.
- 7) Асбестообрабатывающая промышленность: разрезка, обточка, шлифовка, штукатурка.
- 8) Обработка пластиков: загрузка сырья, разгрузка машин.
- 9) Мясообрабатывающая промышленность: рубка мяса.

По степени универсальности:

- универсальные (для выполнения разных операций совместно с различными видами оборудования);
- специализированные (выполняет одну операцию из нескольких возможных с различным оборудованием);
- специальные (выполняет конкретную операцию с одним типом оборудования).

По виду технологических операций:

- осуществляющие основные технологические операции;

– выполняющие вспомогательные технологические операции по обслуживанию технологического оборудования (средства автоматизации).

По показателям, определяющим их конструкцию:

– тип приводов робота (электрический, гидравлический, пневматический);

– грузоподъемность (сверхлегкие – до 1 кг; легкие – от 1 до 10 кг; средние 10÷200 кг; тяжелые – 200÷1000 кг; сверхтяжелые – свыше 1000 кг);

– количество манипуляторов (от 1 до 4 рук);

– тип и параметры рабочей зоны манипуляторов (зоны рабочего пространства, которые может достать манипулятор при неподвижном основании);

– рабочая зона манипулятора – это пространство, в котором находится его рабочий орган при всех возможных положениях звеньев манипуляторов. Форма рабочей зоны определяется, во-первых, типом системы координат (прямоугольная, цилиндрическая, сферическая, угловая (ангулярная) и различные их комбинации). Во-вторых, она зависит от числа степеней подвижности манипулятора (от 1 до 6, свыше 6 их мало, не более 2%);

– подвижность робота определяется наличием или отсутствием у него устройства передвижения (подвижный или стационарный). Подвижные имеют любые типы устройств перемещения: колесные, гусеничные, шагающие, воздушные, ракетные и т.п.;

– по способу размещения стационарные и подвижные роботы бывают напольными, подвесными (перемещаются по монорельсу), встраиваемые в другое оборудование (в станок или др.);

– по исполнению робота – зависит от назначения (нормальное, пылезащитное, теплозащитное, влагозащитное, взрывобезопасное и т.п.).

По способу управления:

– с программным управлением;

– с адаптивным управлением;

– с интеллектуальным управлением.

Управление по отдельным степеням подвижности может быть непрерывным (контурным) и дискретным (позиционным).

Простейший вариант дискретного (позиционного) управления является цикловое, при котором количество точек позиционирования по каждой степени подвижности минимально, т. е. чаще всего ограничиваются двумя – начальной и конечной.

К важным параметрам систем управления роботов, определяющим их эксплуатационные возможности, относятся объем памяти УУ, типы и количество каналов связи с внешним оборудованием (способы программирования).

По быстродействию движений:

- малое быстродействие – до 0,5 м/с;
- среднее – линейные скорости от 0,5 до 1 м/с (~80 % роботов);
- высокое – свыше 1 м/с (~20 % роботов).

По точности движений:

- малая точность – при линейной погрешности от 1 мм и выше;
- средняя – от 0,1 до 1 мм (больше всего роботов);
- высокая – менее 0,1 мм.

Параметры, определяющие технический уровень роботов:

- надёжность;
- число одновременно работающих степеней подвижности;
- время программирования;
- удельная грузоподъёмность (отнесённая к массе робота);
- выходная мощность манипулятора (произведение грузоподъёмности на скорость перемещения), отнесённая к мощности его приводов;
- относительные оценки габаритных параметров и т. п.

Эти параметры служат критериями качества, предназначенные для их оптимизации при проектировании и сравнительной оценки роботов.

РАЗДЕЛ 2. КОНСТРУКТОРЫ ПРОГРАММИРУЕМЫХ РОБОТОВ

Тема 3. Наборы на базе Arduino

Главные особенности *Arduino* – простота, открытость и быстрая скорость вхождения.

Arduino – это небольшая плата с собственным процессором и памятью. На плате также есть пара десятков контактов, к которым можно подключать всевозможные компоненты: лампочки, датчики, моторы, чайники, роутеры, магнитные дверные замки и вообще всё, что работает от электричества.

В процессор *Arduino* можно загрузить программу, которая будет управлять всеми этими устройствами по заданному алгоритму. Таким образом можно создать бесконечное количество уникальных классных гаджетов, сделанных своими руками и по собственной задумке.

Arduino – самая популярная платформа любительской и образовательной робототехники.

Arduino (Ардуино) – это серия плат ввода-вывода. Плата имеет аналоговые и цифровые порты, к которым можно подключать различные устройства (DIY-компоненты): светодиоды, датчики, кнопки, моторы, сервоприводы и т.д. В продаже есть отдельные платы *Arduino* нескольких видов, их аналоги, различные дополнительные компоненты, готовые наборы (kits), содержащие плату и компоненты, и готовые роботы на основе *Arduino*.

Arduino представляет собой открытую платформу, которая дает возможность создавать различные электронные устройства. Для настоящих креативщиков, программистов, дизайнеров, а также всех у кого пылливый и светлый ум, *Arduino* будет весьма интересна. Платы выпускаются в различных модификациях, и различается четыре основных класса:

- *Arduino Mega*;
- *Arduino Uno*;
- *Arduino Mini*;
- *Arduino Nano*.

В каждом из классов существует модификаций. В зависимости от назначения, требований и размеров можно выбирать наиболее подходящий вариант для гаджета собственной сборки. Устройства, созданные на базе любой из платформ *Arduino*, могут работать, как автономно, так и с компьютером. Разработчики плат оставили креативным людям много места для воплощения идей.

Благодаря открытости *Arduino*, ее устройство известно и допускает свободную модификацию. Поэтому любой производитель плат может выпускать **аналог платы *Arduino***, вносить изменения в саму плату, не говоря уже о свободной комплектации наборов (kits).

Arduino Mini предназначена для лабораторных работ или разработок, где размеры являются главным параметром. Запрещено подключать напряжение выше чем 9В, а также менять его полюса. Программное управление выполняется с помощью адаптера Mini USB или преобразователей RS232, USB в TTL. **Arduino Mini** питание подключается через преобразователь USB в TTL. Подача напряжения выше 9 В приводит к выходу из строя. Замена полюсов способна нанести непоправимый вред платформе.

Arduino Nano отличается миниатюрными размерами и может использоваться в лабораторных работах, а также проектах, где размер является критическим показателем. Силовой разъем отсутствует, а работа выполняется через Mini-B USB кабель. **Arduino Nano** питающий проводник подключается через Mini-B USB или же через нерегулируемый вывод 30 (напряжение 6 – 20 В), а также регулируемый 27 выход (напряжение 5 В). В автоматическом режиме используется источник питания с наибольшим напряжением. В сборке микросхема FTDI FT232RL питается только в случае подключение через USB. Поэтому при работе от внешнего источника питания отсутствует напряжение 3.3 В, которое генерируется микросхемой. Сигнализирующие светодиоды работают только при сигнале высокого напряжения на 0 и 1 выходах.

Arduino Uno используется для создания гаджетов собственной разработки. Простая и удобная в использовании платформа. Программное управление реализуется на C++ упрощенной версии, часто называемой также **Wiring**. Разработка управляющей программы может вестись и через любой удобный C/C++ инструментарий. Платформа работает с операционными системами *Linux, Windows и MacOS X*. **Arduino Uno** питание осуществляется через USB и внешние источники, выбираемые автоматически. Подключение через внешний источник питания выполняется посредством разъема 2.1 мм, положительный плюс находится по центру. Батарея соединяется через *Gnd* и *Vin* разъема. Минимальное напряжение необходимое для стабильной работы платформы – 7 В. Максимально допустимое для исключения перегревов – 12 В.

Arduino Mega – это платформа, представленная в виде усовершенствованной версии Uno. Здесь увеличено количество контактов, а также увеличена численность serial-портов, используемых для работы в паре с компьютером или другими системами. **Arduino Mega** способна питаться, как от USB подключения, так и от внешних источников энергии. Переключения между источниками выполняются автоматически. Внешнее питание может подаваться от преобразователя AC/DC или аккумулятора. При использовании преобразователя, подключения выполняется с помощью разъема 2.1 мм. Плюс остается по центру. Батарея соединяется через *Vin* и *Gnd* разъем. При напряжении питания ниже чем 7 В, 5V вывод выдает менее 5 В, а платформа работает нестабильно.

Для наглядности различия параметров и удобства выбора модели платформ **Arduino**, основные технические параметры собраны в следующую таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики моделей платформ Arduino

	Mega	Uno	Nano	Mini
Микроконтроллер	ATmega2560	ATmega328p	Atmel ATmega168 или ATmega328	ATmega168
Рабочее напряжение В	5	5	5	5
Входное напряжение (рекомендуемое) В	7 – 12	7 – 12	7 – 12	7 – 9
Входное напряжение (предельное) В	6 – 20	6 – 20	6 – 20	-
Цифровые Входы/Выходы	54 (14 могут использоваться как выход ШИМ)	14 (6 можно применить как выход ШИМ)	14 (6 могут служить как выходы ШИМ)	14 (6 как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	16	6	8	8 (4 имеют выводы)
Постоянный ток через вход/выход mA	40	40	40	40
Постоянный ток для вывода 3.3 В mA	50	50	-	-
Флеш-память Кб	128 (4 использует загрузчик)	32 (0,5 использует загрузчик)	16/32 (ATmega168/ ATmega328) (2 использует загрузчик)	16 (2 на загрузчик)
ОЗУ Кб	8	2	1 (ATmega168) 2 (ATmega328)	1
Энергонезависимая память	4 Кб	1 Кб	512 b (ATmega168) 1 Кб (ATmega328)	512 b
Тактовая частота MHz	16	16	16	16

На данный момент официально представлено 22 различные модели платформы *Arduino*. Чтобы выбрать наиболее подходящую, можно использовать следующую сводную таблицу 3.2 для быстрого сравнения характеристик различных платформ *Arduino*.

Arduino (ардуина, дуина, дуйня) – это плата такая, которая поможет воплотить вам ваши проекты в железе. На ней стоит микроконтроллер (МК) – в него ваши творения загружаются (объём креатива ограничен), он их выполняет (в пределах своих возможностей).

Среда разработки (*ArduinoIDE*, *IDE*, ИДЕ) – программа в которой вы пишете, что вы хотите что бы делала плата, отсюда же загружаете свои креативы в плату. ИДЕ/среда это конечно громко сказано – это только простенький редактор (на базе ява-*IDE Processing*) + компилятор (*AVR-GCC*) + программатор (*avrdude*) + монитор последовательного порта.

Никаких менеджеров проектов-эмуляций-симуляций-отладок, в редакторе даже автодополнения нет. Зато всё однооконно и обладает почти идеальным интерфейсом в 3,5 кнопки.

Sketch (скетч) – собственно ваш креатив, то что должна будет делать плата. Пишется в ИДЕ на языке *Wiring*.

Таблица 3.2 – Разновидности плат Arduino

Название	Процессор	Напряжение рабочее/входное	Скорость процессора	Аналоговый In/Out	Цифровой IO/PWM
<u>Uno</u> >	Tmega328<	5V/7-12V	16 Mhz	6/0	14/6
<u>Due</u> >	T91SAM3X8E	3.3V/7-12V	84 Mhz	12/2	54/12
Leonardo >	Tmega32u4	5V/7-12V	16 Mhz	12/0	20/7
<u>Mega 2560</u> ≥	Tmega2560	5V/7-12V	16 Mhz	16/0	54/15
<u>Mega ADK</u> ≥	Tmega2560	5V/7-12V	16 Mhz	16/0	54/15
<u>Micro</u> ≥	Tmega32u4	5V/7-12V	16 Mhz	12/0	20/7
<u>Mini</u> >	Tmega328	5V/7-9V	16 Mhz	8/0	14/6
<u>Nano</u> >	Tmega168 Tmega328	5V/7-9V	16 Mhz	8/0	14/6
<u>Ethernet</u> >	Tmega328	5V/7-12V	16 Mhz	6/0	14/4
<u>Esplora</u>	Tmega32u4	5V/7-12V	16 Mhz	—	—
<u>ArduinoBT</u>	Tmega328	5V/2.5-12V	16 Mhz	6/0	14/6
<u>Fio</u>	Tmega328P	3.3V/3.7-7V	8 Mhz	8/0	14/6
<u>Pro (168)</u>	Tmega168	3.3V/3.35-12V	8 Mhz	6/0	14/6
<u>Pro (328)</u>	Tmega328	5V/5-12V	16 Mhz	6/0	14/6
<u>Pro Mini</u>	Tmega168	3.3V/3.35-12V 5V/5-12V	8 16Mhz Mhz	6/0	14/6
<u>LilyPad</u>	Tmega168V Tmega328V	2.7-5.5V/2.7-5.5V	8 Mhz	6/0	14/6
<u>LilyPad USB</u>	Tmega32u4	3.3V/3.8-5V	8 Mhz	4/0	9/4
<u>LilyPad Simple</u>	Tmega328	2.7-5.5V/2.7-5.5V	8 Mhz	4/0	9/4
<u>LilyPad SimpleSnap</u>	Tmega328	2.7-5.5V/2.7-5.5V	8 Mhz	4/0	9/4
<u>Gemma</u>	ATtiny85	3.3V/4-16V	8 Mhz	1/0	3/2
<u>Yún</u>	ATmega32U4 AR9331 Linux	5V	16 400 Mhz Mhz	12/0	20/7
<u>Zero</u>	ATSAMD21G18	3.3V/7-12V	48 Mhz	6/1	14/10

Bootloader (бутлоадер, бут, загрузчик) – специальная программа в МК позволяющая с минимальными сложностями загружать ваши скетчи – просто через USB-кабель. Также она огораживает важные части МК от вредоносного вмешательства, неосторожных действий новичка (программно довести плату до невменяемости через ИДЕ+бутлоадер, невозможно).

Для начала работы прежде всего нужна плата. Также потребуется скачать ИДЕ(и естественно распаковать куда-нибудь), USB-шнурок (обычно USB-B, как у принтера/сканера, хотя некоторые разновидности плат имеют mini и даже micro).

Подключаем USB-шнурок одним концом в компьютер, другим в плату, должен загореться хотя бы один светодиод. Компьютер начнёт интересоваться драйверами, если сам не найдёт – то искать в `\arduino-xxx\drivers`. После установки драйверов в системе появится новый виртуальный com-порт – через него вся работа и осуществляется.

Состав платы Arduino (рисунок 3.1).



Photograph by SparkFun Electronics. Used under the Creative Commons Attribution Share-Alike 3.0 license.

Рисунок 3.1 – Компоненты платы Arduino

Кварцевый резонатор – задаёт тактовую частоту 16МГц для МК.

Линейный стабилизатор – обеспечивает стабильное питание для МК. На плату мы можем подавать от 7 до 12В (например – 7-вольтовый адаптер от кассы, 9-вольтовая крона, 12В в машине.) «лишнее» напряжение стабилизатор отбросит в тепло, а на МК пойдёт ровно 5В.

Преобразователь USB-UART – чтоб МК мог общаться с компом по USB. UART у МК уже есть на борту, а USB – нету. Первые ардуины подключались к COM-порту (это и есть UART =) – требовалось лишь согласовать уровни (у компа – от -12В до +12В, у МК от 0 до +5В), потом решили, что USB всё же удобней, но пришлось ставить преобразователь интерфейсов.

Светодиоды – индикатор питания (PWR), пользовательский (L) – им может индцировать состояние выполняемой программы, RX, TX – для индикации обмена данными с компом по USB.

Кнопка Reset – для сброса МК и, соответственно, перезапуска прошитой программы.

Разъёмы – для штекера питания, USB шнура, подключения внешнего программатора (SPI/ICSP) для соединения с внешними элементами или втыкания шилдов.

Как уже упоминалось, сердцем ардуины является МК AVR. Также, упоминалось, что МК это программируемая микросхема, которая может что-то воспринимать, как-то это обрабатывать и демонстрировать внешнему миру свою реакцию на всё происходящее. Так вот, воспринимает МК события внешнего мира по изменению уровней напряжения на своих выводах-ножках. Также и реакцию демонстрирует – меняет уровни напряжений на выходах.

Уровни напряжений принято называть **сигналами**, а сигналы делить на цифровые и аналоговые (часто сигналами называют не только напряжение в данный момент времени, но и последовательность их за какой-то промежуток времени).

Следует оговориться, что любые сигналы на выводах МК не должны быть ниже 0 и не должны превышать напряжения питания (5 вольт). Если нужно проанализировать сигнал выходящий за эти пределы, то придётся его перед подачей на МК преобразовать произвольным методом и привести к этому диапазону.

Цифровых сигналов всего два вида – 0 и 1 (логический ноль и логическая единица, *LOW* и *HIGH*). Причём за ноль принимается все, что меньше 2 вольт (т.е. $0...2 = \text{LOW}$) а за единицу всё что выше 3 вольт (т.е. $3...5 = \text{HIGH}$) Всё что между (т.е. $2...3$) ни вызывает у цифровых устройств никакой реакции – это считается помехами и игнорируется.

Это в случае, если считывается внешний сигнал, а если выводится то $\text{HIGH}=5\text{В}$, $\text{LOW}=0\text{В}$.

Все выводы у МК (не считая нескольких отданных под питание, тактирование, сброс, и опорное напряжение для аналоговой части) могут работать в режиме цифровых вводов/выводов. (то есть с одного и того же вывода программа может как считать внешний цифровой сигнал, так и самостоятельно выставлять 0 или 1)

Цифровой ввод – для кнопки или датчика (многие датчики имеют цифровой выход типа: событие наступило – 1 не наступило – 0. Например – есть препятствие на расстоянии менее 30 см. – 1, концентрация метана в атмосфере выше допустимой – 1 и т.п.). А в случае выхода можно что-нибудь включать-выключать.

Аналоговый сигнал это всё множество цифр от 0 до 5 вольт (т.е. и 1.5В и 3.136В), вот только представляется внутри МК это всё в виде цифр (от 0 до 1023) и значит имеет определённую разрешающую способность – (ограниченную точность) – порядка 5мВ (точнее 0,004883В, т.е. $0,003\text{В}=0$; $0,015\text{В}=3$; $1\text{В}=204$). Ещё аналоговый сигнал оцифровывается с ограниченной скоростью – приблизительно 10000 раз в секунду (иногда этого не хватает).

С аналоговым выводом чуть сложнее. Он есть, но МК AVR не могут непосредственно выдать произвольное напряжение, зато он может генерировать **ШИМ**.

Но сигналы сами по себе не интересны – надо чтоб их что-нибудь воспринимало, какой нам интерес от периодически переключающегося (то 0 то 1) вывода, если он никуда не подключен? Если подключить к нему светодиод то он будет моргать. (лампочку и мотор – напрямую нельзя!).

Тут следует вникнуть ещё в один электрический нюанс. То, что подключается к источнику сигнала (выводу МК) называют нагрузкой. Нагрузка потребляет от источника ток – тем больший, чем меньше её сопротивление. Мощная нагрузка – низкоомная – потребляет больший ток, высокоомная нагрузка – маленькая – потребляет меньший ток.

А источник, в свою очередь, может отдать определённый ток – меньше можно, больше нет (сгорит, ну или просто просядет напряжение, но это уже нюансы)! Так, выводы Атмеги могут отдать 40 мА. Светодиодам хватит, а чем покрупнее придётся управлять через драйвера какие-нибудь.

Например, чтобы покрутить моторчики для Ардуины предусмотрен [Мотор-шилд](#). На нём, как раз и установлена микросхема-драйвер [L293D](#) задача которой – принимать управляющие сигналы от МК и согласно им подавать питание на мощный мотор.

Вход у неё высокоомный – от выхода МК она потребляет маааленький ток, а на мотор может подавать напряжение вообще с другого источника (можно поставить силовую батарею на 36В) и ток пропускает через себя до 1.2А.

Но просто включать-выключать мотор как-то не концептуально, хотелось бы регулировать скорость вращения, тем более что мы говорили о том, что МК выдаёт аналоговый сигнал с помощью какого-то ШИМ-а.

Итак, **ШИМ** (Широтно-Импульсная Модуляция) или PWM – (Pulse Width Modulation). Суть метода заключается как раз в включении-выключении чего-нибудь инерционного, только очень быстром включении-выключении. То есть ножка МК «дергается» – 0-1-0... почти 500 раз в секунду.

Кстати последовательность 0-1-0, принято называть импульсом, а длительность нахождения вывода в состоянии *HIGH* (1)– шириной импульса.

Причём, время в котором вывод находится в состоянии *HIGH* (1, т.е. «включено») и *LOW* (0, т.е. «выключено») можно регулировать – т.е. менять (*модулировать*) ширину импульса.

Наша нагрузка (например мотор включенный через драйвер) будет получать (в среднем за какое-то время) больше или меньше энергии. Дёрганье происходит с очень большой частотой, поэтому толчки сглаживаются и усредняются (интегрируются), например инерцией ротора двигателя. И скорость его вращения будет уже не максимальной, а меньшей – соответствующей соотношению времени действия 1 и 0.

Тема 4. Наборы на базе Lego

Компания LEGO (название произошло от датской фразы «leg godt», «Играй с удовольствием») не нуждается в представлении – она была основана в далёком 1932 году, хотя первые знакомые всем пластиковые кубики появились значительно позже, в 1947. Примечательно, что кубики LEGO, выпускаемые в те годы, полностью совместимы с теми, что выпускаются сейчас.

LEGO Mindstorms – конструктор (набор сопрягаемых деталей и электронных блоков) для создания программируемого робота. Впервые представлен компанией LEGO в 1998 году. Через 8 лет (2006) в свет вышла модель LEGO Mindstorms NXT 1.0, в 2009 – LEGO Mindstorms NXT 2.0, а в 2013 – LEGO Mindstorms EV3.

Наборы LEGO Mindstorms комплектуются набором стандартных деталей [LEGO](#) (балки, оси, колеса, шестерни, сервомоторы) и набором, состоящим из сенсоров, двигателей и программируемого блока. Наборы делятся на базовый и ресурсный.

Базовый набор NXT поставляется в трех версиях: 8527 LEGO MINDSTORMS NXT – первая версия коммерческого набора, 577 деталей, год выпуска 2006; 9797 LEGO MINDSTORMS Education NXT Base Set – образовательный набор для обучения, 431 деталь, год выпуска 2006; 8547 LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 – вторая версия коммерческого набора, 619 деталей, год выпуска 2009. Все три набора содержат в себе одну и ту же версию интеллектуального блока NXT (или, как его любят называть – «кирпичик»), отличаются только версии прошивки, но это не принципиально, так как прошивку можно легко обновить. Так что в этом плане все три набора совершенно равноценны. Также есть ресурсные наборы: 9648 и 9695 LEGO MINDSTORMS Education Resource Set – набор средний ресурсный, 817 деталей, год выпуска 2010. Ресурсный набор содержит больше видов и количество деталей. Оба набора могут быть использованы для участия в соревнованиях робототехники (например во Всемирной олимпиаде роботов (англ. World Robot Olympiad)).

В 2013 г. вышло новое поколение LEGO MINDSTORMS EV3. Он поставляется в трёх наборах: 31313 - домашняя версия (601 деталь), 45544 - школьная версия базовый набор (541 деталь) и 45560 - школьная версия ресурсный набор (853 детали). EV3 полностью поддерживает все датчики и двигатели предыдущего поколения NXT.

В состав наборов могут входить управляющие блоки различных версий (рисунок 4.1). В настоящее время их 3. Также у блоков существуют модификации (обозначается 1.0; 2.0 и 3.0)



Рисунок 4.1 – Управляющие блоки наборов Lego

Отличия EV3 от NXT 2.0

В принципе, главная идея осталась прежней – серия предназначена для сборки программируемых роботов. Поэтому первым встаёт вопрос, а что же поменялось с момента выхода предыдущего конструктора и стоит ли покупать новый? Основное отличие заключается в обновленных датчиках/моторах и, самое главное, в интеллектуальном блоке EV3 (EV означает EVolution) (таблица 4.1):

Таблица 4.1 – Отличительные особенности EV3 и NXT

	EV3	NXT
Дисплей	Монохромный LCD, 178x128	Монохромный LCD, 100x64
Процессор	300 МГц Texas Instruments Sitara AM1808 (ARM9)	48 МГц Atmel AT91SAM7S256 (ARM7TDMI)
Память	64 Мб RAM 16 Мб Flash Слот microSDHC (до 32 Гб)	64 Кб RAM 256 Кб Flash
USB-хост	Есть	Нет
Wi-Fi	Опционально, через USB-донгл	Нет
Bluetooth	Есть	Есть
Поддержка Apple-устройств	Есть	Нет

Разница довольно существенна. Помимо разрешения экрана и внешнего вида существует ещё одно отличие. Суть его состоит в том, что серия NXT продавалась в

нескольких версиях (в разные годы) и представляла собой разные наборы, базовые и ресурсные. У нового EV3 с этим попроще – пока он продаётся в основном варианте – 31313 (601 деталь), из которого можно наделать кучу всего. Но при желании можно докупить базовый набор 45544 (541 деталь) с дополнительными сенсорами и детальками (использовать детали от обычных конструкторов также никто не мешает). Кстати, на пятизначные артикулы – на такую нумерацию компания перешла в 2013 году.

Что касается совместимости, то тут было проделано всё возможное. Все NXT-сенсоры и моторы совместимы с EV3 и распознаются как NXT. EV3-сенсоры не работают с NXT, но EV3-моторы вроде как совместимы. NXT-кирпичик может быть запрограммирован софтом от EV3, но некоторые функции могут быть недоступны, а вот запрограммировать EV3-кирпичик NXT-софтом без сторонних решений не получится.

EV3, он же интеллектуальный блок, он же сердце системы, он же «кирпичик» или «кубик» (рисунок 4.2) – служит центром управления и энергетической станцией для вашего робота и имеет следующие функциональные элементы:



Рисунок 4.2 – Внешний вид блока управления EV3

- многофункциональный монохромный дисплей с разрешением 178x128;
- шестикнопочный интерфейс управления с функцией изменения подсветки (3 цвета) для индикации режима работы;
- 4 порта ввода (1, 2, 3, 4) для подключения датчиков;
- 4 порта вывода (A, B, C, D) для выполнения команд;
- 1 разъем miniUSB для подключения EV3 к компьютеру;

- 1 порт USB–хост (для соединения нескольких EV3 в одну цепь, например);
- 1 слот для карт памяти формата microSD (до 32Гб) – для увеличения объема доступной памяти EV3;
- встроенный динамик.

EV3 также поддерживает Bluetooth, WiFi (через USB-адаптер NETGEAR WNA1100 Wireless-N 150), для связи с компьютерами имеет программный интерфейс, позволяющий создавать программы и настраивать регистрации данных непосредственно на микрокомпьютере EV3.

Состав наборов

Большой EV3-сервомотор (2 штуки) – рисунок 4.3. Создан для работы с микрокомпьютером EV3 и имеет встроенный датчик вращения с точностью измерений до 1 градуса. Используя этот датчик, мотор может соединяться другими моторами, позволяя роботу двигаться с постоянной скоростью. Кроме того, датчик вращения может использоваться и при проведении различных экспериментов для точного считывания данных о расстоянии и скорости.

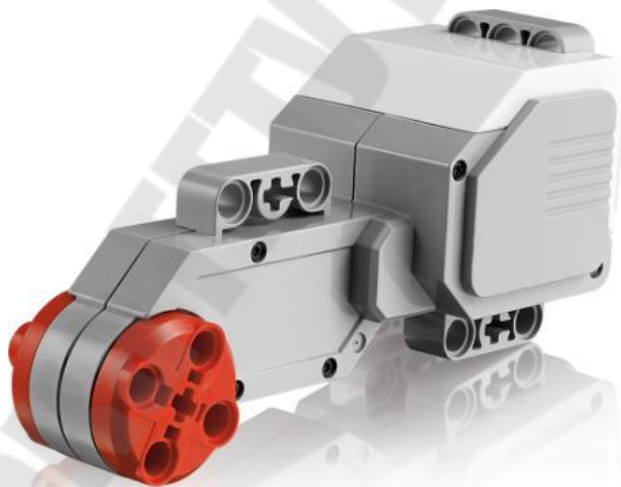


Рисунок 4.3 – Большой EV3-сервомотор

Характеристики;

- встроенный датчик вращения с точностью измерений до 1 град;
- аксимальные обороты до 160-170 об/мин;
- максимальный крутящий момент в 40 Нсм;
- автоматическая идентификация программным обеспечением EV3.

Средний EV3-сервомотор (рисунок 4.4). Идеален для задач, когда скорость и быстрота отклика, а также размер робота важнее его грузоподъемности.



Рисунок 4.4 – Средний EV3-сервомотор

Характеристики:

- встроенный датчик вращения с точностью измерений до 1 градуса;
- максимальные обороты до 240-250 об/мин;
- максимальный крутящий момент в 12 Нсм;
- автоматическая идентификация программным обеспечением EV3.

Наборы LEGO Mindstorms располагают огромным количеством сенсоров как компании LEGO, так и сторонних производителей (HiTechnic, Mindsensors).

Датчик цвета (EV3) (рисунок 4.5). Способен определить 8 различных цветов, хотя также может использоваться как датчик освещённости.



Рисунок 4.5 – Датчик цвета

Характеристики;

- измеряет отраженный красный свет и внешнее рассеянное освещение, от полной темноты до яркого солнечного света;
- фиксирует и определяет 8 цветов;
- частота опроса до 1 кГц;
- автоматическая идентификация программным обеспечением EV3;

Датчик касания (EV3) (рисунок 4.6) – кнопка. Позволяет роботу реагировать на касания, распознает три ситуации: прикосновение, щелчок и освобождение. Также способен определить количество нажатий, как одиночных, так и множественных.



Рисунок 4.6 – Датчик касания

Цифровой ИК-датчик (EV3) (рисунок 4.7). Для определения приближения робота. Также способен улавливать ИК-сигналы от ИК-маяка, позволяя создавать дистанционно управляемых роботов, навигационные системы для преодоления препятствий.



Рисунок 4.7 – ИК-датчик

Характеристики;

- измерения приближения/удаления в радиусе 50-70 см;
- радиус улавливания ИК-сигналов до 2 метров;
- до 4 индивидуальных каналов приёма сигнала;
- получение удаленных ИК-команд управления;
- автоматическая идентификация программным обеспечением EV3.

Удалённый инфракрасный маяк (рисунок 4.8). Разработан для использования с ИК-датчиком EV3. Маяк излучает ИК-сигнал, улавливаемый датчиком – может использоваться в качестве пульта дистанционного управления микрокомпьютера EV3, передавая сигналы на ИК-датчик.

Характеристики:

- до 4 индивидуальных каналов передачи сигнала (переключатель прямо на корпусе);
 - имеет кнопку и тумблер для включения/выключения;
 - при работе ИК-маяка горит зелёный светодиод;
 - автоматическое отключение при простое более 1 часа
- радиус действия до 2 метров.



Рисунок 4.8 – ИК-маяк

Отдельно смотаны провода для подключения датчиков и моторов к кубику, а также USB-шнур для подключения кубика к компьютеру.

Существуют другие датчики Lego, такие как:

Гироскопический датчик (EV3). Цифровой гироскопический датчик EV3 позволяет измерять движение вращения робота, а также улавливать изменения в его движении и положении. Режим измерения углов с точностью до ± 3 градуса; встроенный гироскоп улавливает вращения с моментом до 440 град/с; частота опроса до 1 кГц.

Ультразвуковой датчик (EV3). Генерирует звуковые волны и фиксирует их отражения от объектов, тем самым измеряя расстояние до объектов. Также может использоваться в режиме сонара, испуская одиночные волны. Может улавливать звуковые волны, которые будут являться триггерами для запуска программ. Измеряет расстояния в пределах от 1 до 250 см, а точность измерений составляет ± 1 см.

Кроме этого поддерживаются сенсоры и прочие аксессуары от сторонних производителей, таких как [HiTechnic](#) и [Mindsensors](#) – они предлагают всевозможные джойстики, инфракрасные датчики расстояний, магнитные датчики, компасы, гироскопы, акселерометры, таймеры, мультиплексоры, шаровые опоры, и т.д. Так что, если задаться вопросом, можно найти много всего интересного.

Софт

Проще всего будет начать с предлагаемого производителем софта, который есть как под Windows, так и под OS X. Во втором случае дистрибутив весит 666 Мб, а установленное приложение займёт гигабайт. Оно называется LEGO Mindstorms

EV3 Home Edition и разработано совместно с небезызвестной компанией [LabView](#). На сайте LEGO [довольно много](#) обучающих программированию материалов.

Сразу после запуска перед нами возникает интерактивный «гараж» из роботов, которых можно собрать из набора:

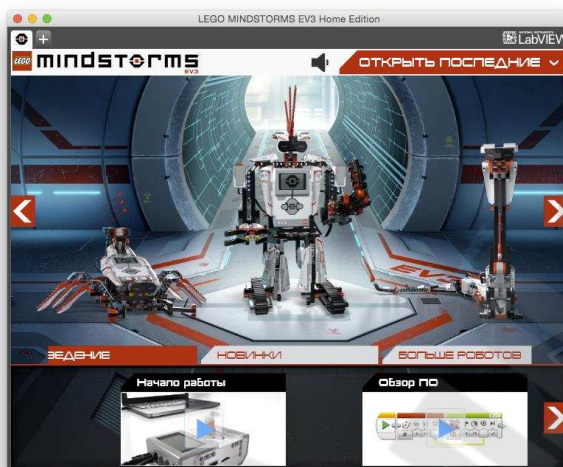


Рисунок 4.9 – Внешний вид софта

Выбираем понравившегося и начинаем собирать: перед нами появится интерактивная инструкция по сборке, видеоролики, а также подборка различных миссий, которые можно выполнить с собранным роботом. Вот почему дистрибутив весил так много.

Нет смысла описывать всё в деталях: легче скачать приложение самим разобраться, что там есть и на каком уровне. Из очевидных недостатков – не самый дружелюбный (особенно для детей) интерфейс – от приложения пахнет каким-то банк-клиентом.

Стоит отметить, что кубиком EV3 можно управлять со смартфона на операционных системах Android или iOS, для чего есть отдельные приложения.

Тема 5. Применение одноплатных компьютеров для создания роботизированных систем

Сегодня вычислительные системы проникли во все сферы жизнедеятельности человека: высокопроизводительные встраиваемые системы используются в абсолютно разных областях, начиная от управления производственными линиями и заканчивая медицинским оборудованием. Чтобы сделать грамотный выбор в пользу той или иной встраиваемой системы, необходимо прежде всего проанализировать такие показатели, как производительность и архитектура процессора, реализованные интерфейсы, потребляемая энергия, используемое программное обеспечение (ПО), стоимость и время разработки.

Понятно, что процесс проектирования становится все более сложным. Используемые встраиваемые системы часто должны поддерживать определенные интерфейсы, требуемые ПО конечного пользователя, работать при экстремальных температурах и обеспечивать низкое энергопотребление с высокой производительностью в удаленном и необслуживаемом оборудовании с соответствующей надежностью.

Разработчики должны ориентироваться в технических и организационно-коммерческих вопросах, влияющих на проектирование, чтобы выбрать оптимальное решение. Правильно оценив все требования к разработке, инженеры в конечном итоге отдают предпочтение наиболее подходящему форм-фактору для создания системы. Технические и организационно-коммерческие нюансы могут иметь одинаковый приоритет при определении алгоритма проектирования системы, поэтому они должны рассматриваться разработчиком в комплексе: так, например, нужно одинаково учитывать и производительность процессора, и набор интерфейсов, и время разработки, повторяющиеся и единовременные затраты на инженерные работы, возможность обновления, а также иные факторы. Отметим, что подробное техническое задание поможет значительно снизить количество возможных вариантов разработки системы в каждом конкретном случае.

Одноплатные компьютеры (рисунок 5.1) – устройства, которые собраны на одной лишь «материнке». На последней установлены все необходимые детали: микропроцессор, оперативная память, способы ввода данных и их вывода, другие модули, нужные для полноценной работы устройства. Зачастую одноплатные ПК используются (и, соответственно, разрабатываются) как демонстрационная система или же приспособление для образования. Нередко их применяют в промышленной сфере.

Если говорить о стандартных компьютерах типа «десктоп», то при сравнении с описываемым, последний не требует установки периферийных плат. В зависимости от модели, некоторые варианты выпускаются в виде небольшой «материнки», оснащенной памятью и процессором. Такую плату можно подключить к внутренней магистрали. Это позволит увеличить доступные характеристики, а также воспользоваться дополнительными разъемами. Довольно часто требуется защита различных деталей. Необходимо, чтобы они компактно располагались рядом друг с другом. Именно поэтому стали популярными одноплатные компьютеры. Такое решение позволяет сделать устройство небольшим по размеру и совсем недорогим. Но система на кристалле имеет и недостатки. Например, сменить процессор или увеличить память не получится, зачастую эти детали припаяны.



Рисунок 5.1 – Внешний вид одноплатного компьютера

Аппаратные одноплатные платформы Сравнение одноплатных компьютеров с аппаратными платформами поможет понять, чем отличаются устройства друг от друга. Нередко пользователи и потребители путают их между собой. Платформа – обычный микроконтроллер, который нельзя называть полноценным компьютером. На ней не установлена операционная система, поэтому пользователь не может взаимодействовать с устройством, как с обычным ПК. Нередко аппаратные платформы используют для строения роботов, а также создания простых автоматических систем. По сути, главная задача подобного приспособления – управлять другими устройствами. Можно сказать, что аппаратная платформа – не более чем альтернатива одноплатной системы. Назвать их аналогами нельзя.

Одноплатные компьютеры и процессорные модули могут предложить сходные возможности, предполагая при этом совершенно различные пути разработки для достижения требуемой производительности. Долгосрочное влияние принятого решения является существенным и связывает выбранный форм-фактор с жизненным циклом продукта. Выбор форм-фактора для создания системы может сильно ограничить требование по совместимости с существующими системами, в отличие от того, если бы система создавалась с чистого листа.

Одноплатные компьютеры (рисунок 5.2) – это готовое решение, которое позволяет исключить этап разработки и производства в случае применения процессорных модулей для создания несущей платы, следовательно, разработчики системы концентрируются только на программных вопросах. Это решение позволяет максимально быстро вывести продукцию на рынок, однако оно обладает и более высокой стоимостью. Так как одноплатные компьютеры выпускаются с учетом максимально возможного удовлетворения всех требований заказчика, то здесь не избежать избыточности по поддерживаемым интерфейсам: их количеству, объему установленной памяти и т. п. Также надо учитывать, что жизненный цикл системы будет ограничен сроком производства конкретного одноплатного компьютера, используемого в этой системе. При его снятии с производства придется обновлять и свою систему с учетом отличий нового компьютера от устаревшего, например, иное расположение разъемов интерфейсов на плате компьютера.

На рынке встраиваемых систем получили широкое распространение следующие форм-факторы одноплатных компьютеров: 3,5" (146×102 мм), 2,5"(100×72 мм, альтернативное название Pico ITX) и PC/104 (96×90 мм).

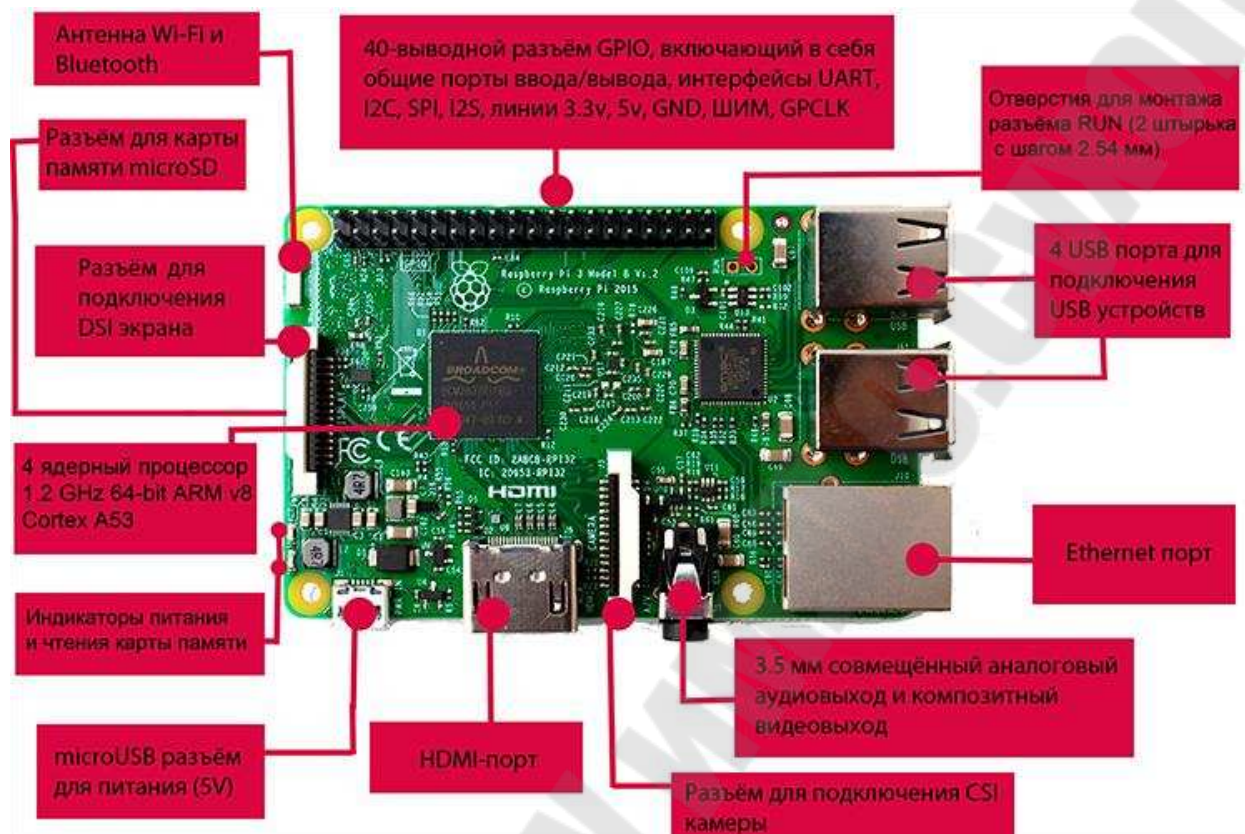


Рисунок 5.2 – Состав одноплатного компьютера

Особое внимание стоит уделить одноплатным компьютерам стандарта PC/104. Дочерние платы, или модули расширения для компьютеров PC/104, имеют те же размеры 96×90 мм, что и плата компьютера, и объединяются с ней жестко определенными стандартом интерфейсами (рис. 1) PCI, PCI Express (PCIe) и ISA (в более ранних версиях). Таким образом, стандарт PC/104 позволяет избежать необходимости в собственной разработке несущей платы и более оптимально сконфигурировать компьютер, используя модули различных производителей. Следует отметить, что за долгое время существования стандарта PC/104 множество производителей разработало огромное количество различных по назначению и выполняемым функциям модулей. Дополнительная свобода от конкретной платы компьютера обеспечивается тем, что в PC/104 разъемы интерфейсов на корпусе соединены с платой компьютера или модулем расширения с помощью кабелей. Ограничением в применении одноплатных компьютеров PC/104 является использование процессоров небольшой мощности. Потребляемая мощность одноплатного компьютера PC/104 должна быть не более 25 Вт, и связано это с ограничением по нагрузке используемых межплатных разъемов в стандарте PC/104 [1]. Еще одной сложностью является то, что используются процессоры в основном архитектуры x86 из-за применяемых в стандарте PC/104 интерфейсов. Совсем недавно в ARM-процессорах стали использовать PCIe интерфейс, а ранее для

применения ARM в одноплатных компьютерах PC/104 приходилось использовать дополнительные микросхемы для реализации интерфейсов PCI, PCIe и ISA [2].

Процессорные модули (рисунок 5.3) как компоненты, устанавливаемые на печатную плату, оптимально устраняют избыточность системы. Разработчик может максимально точно следовать требованиям технического задания, учитывая размер печатной платы, ее форму, размещение интерфейсов и типы используемых разъемов, и применить при этом только ту периферию на несущей плате, которая необходима для данной системы. Благодаря стандартизации модулей существует возможность простой модификации системы путем замены модулей на несущей плате. Таким образом, можно осуществить более тонкую настройку системы под требования заказчика и выпускать версии системы с более или менее производительными процессорами или даже менять архитектуру процессора путем простой замены модуля. Благодаря взаимозаменяемости модулей обеспечивается легкое обновление системы при появлении новых процессоров, а это также продлевает жизненный цикл изделия, делает его свободным от устаревания и снятия с производства конкретного модуля и устраняет зависимость от одного производителя.

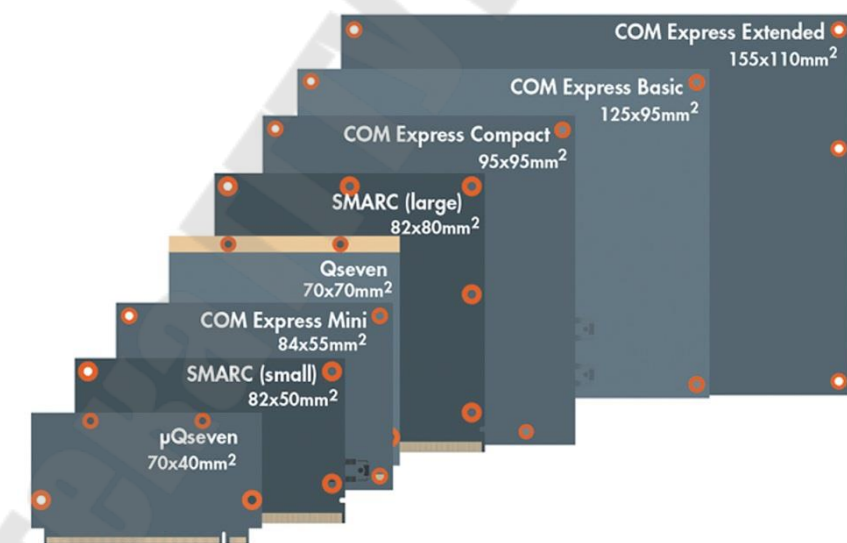


Рисунок 5.3 – Процессорные модули

Так же, как и у одноплатных компьютеров стандарта PC/104, для процессорных модулей учитываются ограничения по мощности. Для модулей COM Express жестких стандартов не установлено, но значение потребляемой мощности определяется характеристиками межплатных разъемов. Оно соответствует примерно 50 Вт для модулей Type 2, Type 6 и Type 7 и 25 Вт для Type 10 (Mini COM Express), так как данный тип модулей использует только один разъем в отличие от предыдущих [3]. Строго ограничивают потребляемую модулем мощность стандарты Qseven – до 12 Вт и SMARC (Smart Mobility ARChitecture) – до 15 Вт.

РАЗДЕЛ 3. ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ РОБОТОВ

Тема 6. Языки программирования роботов Основы программирования роботов

Чтобы кремний микропроцессора смог взять на себя функции мозга робота, необходимо "залить" в кристалл соответствующую программу. Обычный человеческий язык не способен обеспечить четкую формализацию задач, точность и надежность их логической оценки. Поэтому требуемая информация представляется в определенном виде с помощью языков программирования роботов.

В соответствии с решаемыми задачами управления выделяют **четыре уровня** такого специально созданного языка:

- **Низший уровень** используется для управления исполнительными приводами в виде точных значений линейного или углового перемещения отдельных звеньев интеллектуальной системы,
- **Уровень манипулятора** позволяет осуществлять общее управление всей системой, позиционируя рабочий орган робота в координатном пространстве,
- **Уровень операций** служит для формирования рабочей программы, путем указания последовательности необходимых действий для достижения конкретного результата.
- На **высшем уровне - заданий** - программа без детализации указывает что надо сделать.

Робототехники стремятся свести программирование роботов к общению с ними на языках высшего уровня. В идеале оператор ставит задачу: "Произвести сборку двигателя внутреннего сгорания автомобиля" и ожидает от робота полного выполнения задания.

Программирование промышленных роботов делится на два вида: Online-программирование и Offline-программирование.

Как правило, при программировании робота используется оба вида. Существуют также различия относительно методов программирования, возможностей самих языков программирования и возможности роботов.

Online-программирование

Это программирование непосредственно на месте установки робота, с помощью самого робота. К данному способу относятся : два метода Teach-In и Playback.

Метод Teach-In

При Teach-In методе (сокращенно Teachen) движение робота в пространстве к заданному участку производится управляющей консолью (в виде джойстика или кнопок). В большинстве случаев, в самом роботе (в 1-ю ось) заложена система

координат, связанная в свою очередь посредством кинематической цепи с самой удалённой точкой робота (например, 6-й осью у 6-ти осевого робота). Таким образом местоположение и ориентация всех осей и предполагаемого инструмента робота в пространстве всегда известны.

Достигнутое местоположение (пункт) запоминается контроллером робота, и выполняется до тех пор, пока робот не выполнит все требуемые операции.

Совокупность таких пунктов, определяет траекторию самостоятельного движения робота. Каждый пункт имеет определенное количество изменяемых параметров, скорость движения и углового вращения, точность, конфигурацию осей.

Method Playback

Робот посредством человека, в ручную, обводится по траектории предполагаемого движения, которая в последствии в точности повторяется роботом. Этот метод часто применяется при программировании роботов для лакирования и покраски.

К недостаткам Online - программирования относится то, что во время программирования, не может быть речи о производственном процессе. Такое программирование не обеспечивает высокой точности обработки и конечно не очень удобно для каких-либо изменений.

Offline программирование

Данный вид программирования производится на обыкновенном компьютере; без непосредственного участия робота. Тем самым дает возможность программирования робота без остановки производственного процесса.

Текстовое программирование (Описание течения программы языком программирования). Это, по сути дела, написание т.н. логики программы. Т.е. последовательность траекторий, опрос периферийных устройств, коммуникация с обслуживающим персоналом и конечно техника безопасности. Изготовленная таким образом программа загружается тем или иным способом (дискета или сетевое соединение) в контроллер робота, проходит тест на ошибки, программа корректируется и в принципе готова к использованию.

Графическое программирование: (3D-модели).

Программирование контуров обрабатываемых деталей посредством запоминания отдельных пунктов, достаточно кропотливая работа, занимающая зачастую много времени. С развитием компьютерной техники и конструкторских программ, стало возможным применение CAD моделей для программирования траектории движения робота на графические модели деталей и затем интерпретировать их в язык программирования роботов. Данные программы позволяют так же создавать модели и прототипы робототехнических комплексов с роботами и периферийным оборудованием, которые наглядно отображают технологический процесс. Конечно, такие программы, не лишены недостатков и должны быть впоследствии адаптированы непосредственно на месте.

Преимущество таких программ, бесспорно, это экономит массу времени и практически не останавливает производства, плюс к этому дает возможность работать с программами моделирования, которые позволяют увидеть работу робота прямо на экране монитора. Получаемое наглядное изображение дает возможность предварительной оценки многих параметров еще на стадии планирования и конструирования РТК.:

- выбор типа робота;
- будет ли робот держать деталь или инструмент;
- в состоянии ли робот достичь желаемой позиции в пространстве;
- позиционирование детали в пространстве, возможное столкновения робота и вспомогательного оборудования, время рабочего цикла и т.д.

Виртуальная оценка рабочего пространства робота со всех перспектив дает четкое представление о расположении узлов установки, что в реальности не всегда возможно.

Недостатки:

Offline-программирование предполагает наличие CAD-данных по возможности всех узлов робототехнической установки, чем точнее и полнее данные тем точнее осуществляется программирование робота. К сожалению, на практике, не всегда возможно получение всех 3D-моделей и как правило точность реальных моделей по сравнению с реальными оставляет желать лучшего. Так же, довольно трудно, оценить расположение проводок водо-, газо-, и энергоснабжения смонтированных на роботе и изменяющих свое положение в зависимости от конфигураций осей робота.

Так например, программирование учебного робота МФЮУ 15.00.00.000, произведенного в городе Челябинск южно-Уральским государственным университетом НПИ «Уралучтех», происходит при помощи специализированного программного обеспечения. В коде программы используются уникальные команды.

Программирование линейки манипуляционных систем фирмы FESTO основано на программировании программного логического контроллера SIMATIC 300 в среде Step7.

Программирование Мобильного робота Robotino осуществляется с помощью написания программы в среде RobotinoView™.

Обучение роботов

Любой современный робот представляет собой обучаемую и адаптивную систему. Вся необходимая информация, включающая знания и умения, передается ей в процессе обучения. Это осуществляется, как непосредственным занесением в память процессора соответствующих данных (**детальное программирование - семплинг**), так и с использованием сенсоров робота (**методом наглядной демонстрации**) - все движения и перемещения механизмов робота заносятся в память и затем воспроизводятся в рабочем цикле. Обучаясь, система перестраивает

свои параметры и структуру, формирует информационную модель внешнего мира. Это и есть основное отличие роботов от автоматизированных линий, промышленных автоматов с жесткой структурой и других традиционных средств автоматизации.

Перечисленные методы обучения обладают существенными **недостатками**. Например, при семплинге перенастройка требует определенного времени и труда квалифицированного специалиста. Весьма перспективной выглядит программа для программирования роботов, представленная разработчиками Лаборатории информационных технологий при Массачусетском технологическом институте (CSAIL MIT) на международной конференции промышленной автоматизации и робототехники ICRA-2017 (Сингапур). Созданная ими платформа C-LEARN обладает достоинствами обоих методов. Она предоставляет роботу библиотеку элементарных движений с заданными ограничениями (например, усилие хвата для манипулятора в соответствии с формой и жесткостью детали). В то же время, оператор демонстрирует роботу ключевые движения в трехмерном интерфейсе. Система, исходя из поставленной задачи, формирует последовательность операций для выполнения рабочего цикла. C-LEARN позволяет переписать существующую программу для робота другой конструкции. Оператору при этом не требуются углубленные знания в области программирования.

Направления развития ЯП роботов. Языковые нюансы

В современной робототехнике программирование роботов развивается по двум векторам: **роботоориентированное** и **проблемно ориентированное** программирование.

Наиболее распространенные роботоориентированные языки - AML и AL. Первый разработан фирмой IBM только для управления интеллектуальными механизмами собственного производства. Второй - продукт специалистов Стэнфордского университета (США) - активно развивается и оказывает существенное влияние на формирование новых языков этого класса. Профессионал легко разглядит в языке характерные черты Паскаля и Алгола. Все языки, ориентированные на роботов, описывают алгоритм, как последовательность действий "умного" механизма. В связи с этим программа зачастую выходит очень громоздкой и неудобной в практической реализации.

При программировании роботов на проблемно ориентированных языках, в программе указывается последовательность не действий, а целей или промежуточных позиций объекта. Наиболее популярным в этом сегменте является язык AUTOPASS (IBM), в котором состояние рабочей среды представлено в виде графов (вершины - объекты, дуги - связи).

Характеристики роботоориентированных языков

Проведём краткий обзор роботоориентированных языков, используемых в программировании промышленных роботов.

I. МНИ – первый роботоориентированный язык программирования (1960 – 1961 гг.) созданный в расчете на одного из первых роботов, управляющихся с помощью ЭВМ, разработан в Массачусетском технологическом институте. В отличие от появившегося в то же время робота фирмы "UNIMATE" (США), в котором не было предусмотрено управление от универсальной ЭВМ и систем осязания, робот Массачусетского технологического института был снабжен рядом тактильных датчиков.

II. Язык программирования WAVE – создан в Стенфордском университете (США) (1970 -1975 гг.) и основное допущение, заключается в том, что параметры движения могут быть рассчитаны заранее и в процессе выполнения движения необходимы лишь незначительные отклонения от заданной траекторий. При этом программа, написанная на языке WAVE автономно транслируется на одной ЭВМ, в результате чего образуется файл траектории, который затем обрабатывается в интерактивном режиме на специализированной ЭВМ.

III. Язык MINI (1972 – 1976 гг.) – получен путем введения в язык LISP некоторого числа дополнительных функций, обеспечивающих сопряжение со специализированной вычислительной машиной, на которой выполняется программа в реальном масштабе времени. Язык MINI, как и язык LISP, имеет ограниченные синтаксические возможности представляя собой последовательность некоторого числа процедур в соответствии с унифицированными правилами обращения к ним. Принципиальное отличие языка MINI от других роботоориентированных языков программирования состоит в том, что сочленения робота управляются независимо друг от друга.

IV. Язык AL – сочетает в себе специфические робототехнические функции и возможности высокого уровня, таких как ALGOL и PASCAL. С помощью языка AL можно выполнять и роботоориентированное программирование и частично задано-ориентированное программирование.

Язык AL представляет собой мощную систему программирования роботов. В ней возможности языка программирования роботов

V. Система программирования VAL предназначена для промышленных роботов фирмы "UNIMATE" и, в частности, для роботов серии PUMA. Эта система программирования представляет собой интерпретатор. Усовершенствованные методы расчета траекторий позволяют исключить этап предварительных расчетов, что облегчает взаимодействие с системой. Особенности языка VAL:

- наличие спецификации позиционных перемещений и перемещений путем интерполяции точек в системе обобщенных координат, а также возможность задания движений в декартовой системе координат, включая движения подвода и отвода;

- возможность преобразования декартовых систем координат, а также возможность задания положений в произвольной системе координат;

- возможность использования целочисленных переменных, арифметических действий и условных ветвлений;
- возможность установки и проверки состояния двоично-сигнальных шин, а также возможность опроса шин и выполнения определенных процедур при обнаружении заданного условия.

Система VAL допускает стыковку с системой технического зрения роботов и может определять систему координат деталей, попадающих в поле зрения телекамеры. Язык VAL, как язык программирования, напоминает язык BASIC.

VI. Язык AML – предназначен для робототехнических систем фирмы "IBM". Если при создании языка программирования AL главное внимание уделялось разработке различных операторов высокого уровня, выполняющих специфические функции управления роботами, то в AML – созданию системных средств с помощью которых пользователь может гибко взаимодействовать с роботом в процессе программирования. Например, с помощью языка AML можно запрограммировать алгоритм взаимодействия с системой технического зрения. Язык AML позволяет выполнять операции над векторами и матрицами поворота, а также программировать алгоритмы планирования траекторий при ограничениях на скорости и положения робота .

VII. Язык TEACH представляет собой часть системы PACS, разработанной фирмой "BENDIX" (1975 – 1978). В этом языке решены две проблемы: параллельное выполнение нескольких заданий и написание роботонезависимых программ. Однако даже средств такого специального разработанного язык, как TEACH, не всегда достаточно для решения сложных задач группового управления.

Тема 7. Моделирование роботов на ЭВМ

Моделирование – экспериментальная основа роботостроения

Пытаться конструировать радиоэлектронные системы роботов, не представляя хорошо их теории и физических основ, – это значит работать с очень низким коэффициентом полезного действия. Создать какую – либо систему робота, не понимая её сути, невозможно. Работа должна строиться на прочной основе теоретических знаний – только тогда конструктор с каждой новой разработкой будет расширять диапазон своих знаний и переходить к новым рубежам творчества.

Развитие программного обеспечения сейчас позволяет практически каждому взять и создать своего робота. Робота не реального, а его программную модель, то есть выполнить симуляцию робота. Учитывая, что почти все ПО в моем обзоре распространяется бесплатно, это даст тебе огромную экономию по деньгам и времени.

Физический и графический движок.

Каждый симулятор включает физический и графический движок. От их возможностей зависит сложность модели робота, которую можно реализовать в симуляторе.

Графический движок – программа, основной задачей которой является визуализация (рендеринг) двухмерной или трехмерной компьютерной графики. Графический движок работает в режиме реального времени.

Физический движок позволяет создать виртуальное пространство, в которое можно добавить виртуальные статические и динамические объекты и указать законы взаимодействия тел и среды. Расчет взаимодействия тел выполняется самим движком. Вычисляя взаимодействие тел между собой и со средой, физический движок приближает физическую модель получаемой системы к реальной и передает уточненные геометрические данные графическому движку.

Достоинства и недостатки симуляторов

Достоинства:

- низкая стоимость;
- возможность в любой момент доработать модель;
- возможность отдельно тестировать функциональные составляющие робота;
- возможность одновременной симуляции нескольких типов роботов.

Недостатки:

- даже самый совершенный физический движок не может симулировать все законы реального мира;
- требовательность к ресурсам машины.

Microsoft Robotics Developer Studio (рисунок 7.1)

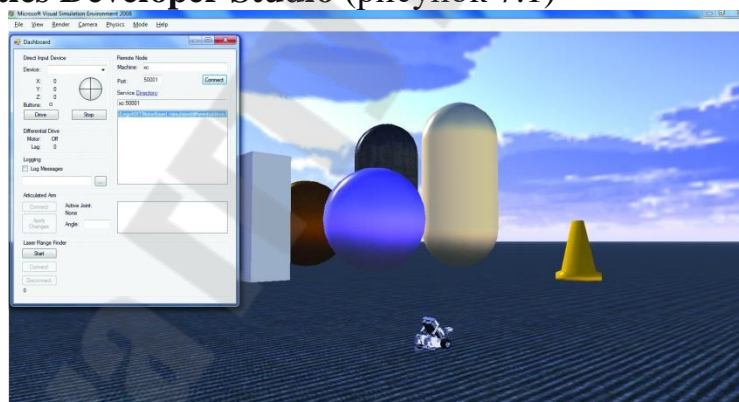


Рисунок 7.1 – Внешний вид программы

Microsoft Robotics – это пакет программ, который может использоваться для управления различными роботами и включает в себя полноценный симулятор. В состав Robotics входят следующие компоненты:

- библиотека Concurrent and Coordination Runtime (CCR) – предназначена для организации обработки данных с помощью параллельно и асинхронно выполняющихся методов. Взаимодействие между такими методами организуется на основе сообщений. Рассылка сообщений основана на использовании портов;
- Decentralized Software Services (DSS) – среда, которая позволяет запускать алгоритмы обработки данных на разных ЭВМ, организовывать асинхронное взаимодействие процессов управления различными подсистемами робота;

- Visual Simulation Environment (VSE) – среда визуализации, которая позволяет экспериментировать с моделями роботов, тестировать алгоритмы управления роботами;
- Visual Programming Language (VPL) – язык, предназначенный для разработки программ управления роботами. Программа на таком языке представляется в виде последовательности блоков, которые выполняют обработку данных, и связей между ними.

За симулятор физики в Robotics отвечает Ageia Physx. Очень печально, но в симуляторе отсутствует трение между создаваемыми объектами, хотя моделируется трение между отдельным объектом и платформой, на которой он размещается.

Создать сцену в симуляторе и запрограммировать робота можно на VPL или C#. Естественно, что на C# сцену сделать сложнее, но зато и код получится более эффективный. Возможности Robotics позволяют смоделировать футбол роботов, железную дорогу, манипулятор, добавить на сцену нескольких роботов. Доступные из коробки сенсоры: GPS, лазерный дальномер, инфракрасный дальномер, компас, сенсор цвета, сенсор яркости, веб-камера.

Robotino

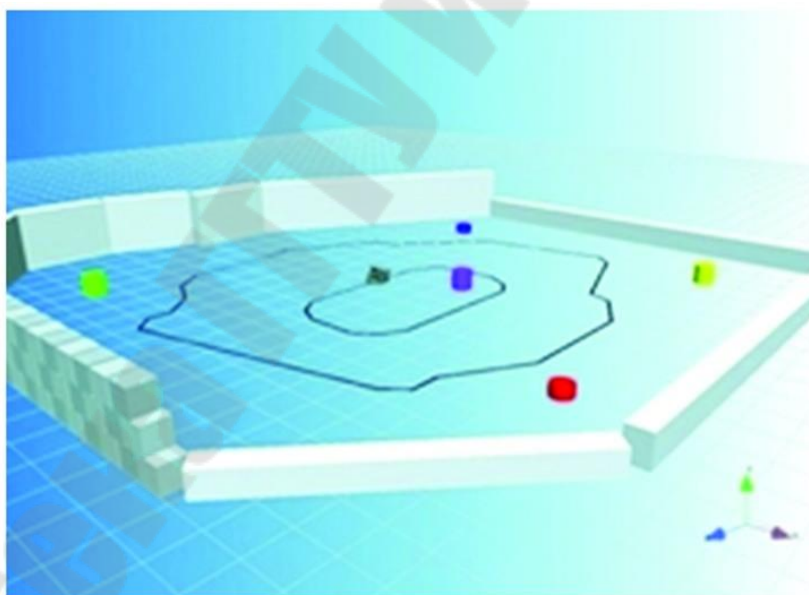


Рисунок 7.2 – Robotino

Robotino – робот, созданный Festo Didactic для обучения робототехнике. Для программирования робота требуется программа Robotino® View. На сайте Festo доступен симулятор робота для Windows – Robotino® SIM (есть профессиональная и бесплатная версия, бесплатная – немного урезанная по функциональности).

Немного о роботе, который встроен в симулятор. В его состав входят три двигателя, которые позволяют перемещаться роботу по плоскости в любом направлении. Сенсорная система робота включает девять инфракрасных сенсоров расстояния, два цифровых оптических сенсора и камеру. Программировать робота можно с помощью C/C++, Java, .NET.

Вообще, способности бесплатного симулятора удручают. Но! Если хорошенько поискать в интернете, то можно найти версии данного симулятора, заточенные под разные задачи. Да будет тебе известно, что компания Festo Didactic выступает одним из спонсоров [RoboCup](#).

Gazebo – мощный симулятор роботов, разработанный для операционной системы Linux. Абсолютно бесплатен для использования. Gazebo может симулировать нескольких роботов с сенсорами в окружении различных объектов. Также тут доступен редактор, который позволяет создавать 3D-сцены без программирования. Моделируемые сенсоры: лазерный дальномер, камера, кинект-сенсор, устройство для чтения RFID-меток и бамперы. Из коробки в симуляторе имеются модели следующих роботов: PR2, Pioneer2 DX, iRobot Create, TurtleBot, а также манипуляторы и захваты. К симулятору для создания качественной графики можно подключить OGRE (графический движок с открытым исходным кодом). В Gazebo встроена возможность чтения файлов в формате Collada, что позволяет добавлять в симулятор объекты, спроектированные в одном из редакторов 3D-моделей.

Gazebo используется в качестве симулятора в DARPA Robotics Challenge (DRC). В рамках DRC разработано приложение CloudSim для запуска Gazebo на платформе облачных вычислений Amazon.

AnyCode Marilou Robotics Studio



Рисунок 7.3 – AnyCode Marilou Robotics Studio

AnyCode Marilou Robotics Studio – среда разработки и симулирования мобильных роботов, гуманоидов и манипуляторов с учетом физических законов реального мира. Для объектов можно указать следующие физические параметры: массу, упругость, свойства материала, вращающие моменты, а также некоторые другие.

Marilou позволяет подключать к роботу различные виртуальные устройства: компас, акселерометры, двигатели и сервомоторы, бампер, сенсоры расстояния (ультразвуковой и инфракрасный), GPS и другие устройства.

В редакторе объектов Marilou доступны статические и динамические объекты, которые можно размещать в симулируемом мире (поддерживается одновременная симуляция нескольких роботов). Сложные объекты в Marilou строятся из более простых (используется иерархический подход к представлению объекта), что позволяет повторно использовать части объектов. В симуляторе доступны несколько источников света: точечный, прожектор, внешний и направленный.

В Marilou есть MODA (Marilou Open Devices Access) – SDK для работы с роботами и их компонентами в симуляторе. После синхронизации с часами симулятора алгоритмы управления роботом могут запускаться на другом компьютере сети. В зависимости от выбранного языка MODA предоставляет библиотеки (.lib или .a) или .NET-сборки (.dll) для доступа к симулятору по сети. Программирование алгоритмов управления роботов возможно с помощью языков C/C++, C++ CLI, C#, J#, VB#.

Для коммерческого использования симулятор платный, для образовательных целей – бесплатный (запрашивать лицензию нужно каждые три месяца).

В ноябре 2013 года вышел новый движок симулятора для Marilou – Exec V5. Бета-версия движка может работать на Windows, Ubuntu и Mint. Новый движок многопоточный, кросс-платформенный и использует OpenGL 2.1.

Algodoo: специализированный симулятор физики

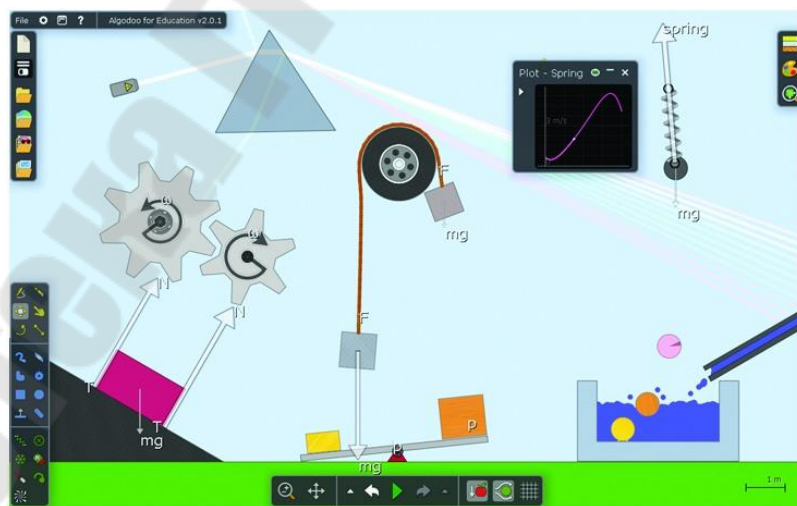


Рисунок 7.4 – Algodoo

Algodoo – физический 2D-симулятор. Объекты, которые создаются в этом симуляторе, сразу начинают подчиняться законам физики. Конечно, полноценного робота в трехмерном пространстве ты в этой программе не сделаешь, зато сможешь проверить возможность работы любого механизма. В программе можно моделировать воду, пружины, оптические устройства, ракетные двигатели, оружие, автомобили.

Может показаться, что данный симулятор неполноценен в том смысле, что позволяет проектировать и исследовать только «плоских» роботов. Однако ты можешь сначала спроектировать 2D-робота, а потом создать в реале его трехмерную версию. Пример показан здесь (2:07): goo.gl/wzQ7q4. В Algodoo встроен скриптовый язык программирования Thyme, который добавляет большую свободу действий в симуляторе. В Thyme доступны переменные, условный оператор, массивы, обработка событий, происходящих в песочнице (среде моделирования).

История Algodoo началась с игры Phun, которую разработал швед Эмиль Эрнерфельдт (это была его магистерская работа). Поддерживаемые ОС: Windows, OS X, iOS. На сайте доступна библиотека AlgoBox, в которой есть куча обучающих материалов и примеров разработки.

Соревнования роботов по футболу – еще одна из областей, в которых используются симуляторы. Для этого можно взять любой из описанных универсальных пакетов симуляции, но лучше воспользоваться специализированным. Это даст тебе возможность посоревноваться с другими любителями футбола роботов. Соревнования виртуальных роботов проводятся ежегодно с 1993 года в двух лигах: соревнования 2D-роботов и соревнования 3D-роботов. Информация на www.robocup.org.

В программное обеспечение симулятора футбола входит несколько компонентов:

- сервер симуляции (simulation server) – основной компонент симулятора, запускает сам процесс симуляции; клиенты взаимодействуют с сервером по протоколу UDP, отправляя команды и получая сенсорную информацию;
- монитор симуляции (simulation monitor) – используется для наблюдения за процессом симуляции (после подключения к серверу) или для просмотра записанной игры (после подключения к плееру лога симуляции);
- плеер лога симуляции (simulation log player) – используется для проигрывания игры, записанной сервером симулятора; плеер используется для управления проигрыванием лога, а монитор отображает симуляцию.



Рисунок 7.5 – Симулятор футбола

Лига 2D-роботов. В лиге двумерных роботов соревнуются две команды по 11 игроков в каждой. Каждый игрок представлен автономной программой (агентом). Игра выполняется на двумерной плоскости (стадионе), который предоставляет сервер симуляции. Сервер знает все об игре: положение игроков, мяча и так далее. Игра основана на взаимодействии сервера и агентов. Игрок получает данные с его виртуальных сенсоров (визуального, акустического и физического) и должен на основе этих данных принять решение: удар по мячу, перемещение по полю или разворот.

Лига 3D-роботов. В лиге трехмерных роботов по сравнению с 2D возрастает сложность в связи с более высоким реализмом: добавляется еще одна размерность и усложняется физика игры. Цель игры в данной лиге – не разработать сложную стратегию, а организовать движение роботов: движение по полю, поворот, удар по мячу, вставание робота после падения (конечно же, это связано именно с «молодостью» данной лиги).



Рисунок 7.6 – Лига 3D-роботов

Симулятор – практически идеальная среда, время отклика от компонентов робота приближается к нулю, они имеют безграничный ресурс работы. Поэтому после создания робота или алгоритма и тестирования их в симуляторе лучше всего попытаться воплотить их в реальном мире (если это необходимо). И кто знает, может быть, твои разработки составят конкуренцию роботам из Boston Dynamic или теперь уже Google? Но всегда помни, что симулятор – это только твой помощник. В реальности все может оказаться немного другим.

РАЗДЕЛ 4. УСТРОЙСТВО РОБОТОВ

Тема 8. Проектирование средств робототехники

Роботизация возникла как реакция на потребность автоматизации вспомогательных ручных операций на производствах с вредными условиями труда и на производствах с высоким уровнем автоматизации технологических процессов. Основной задачей роботов в автоматизированном производстве является выполнение в производственном процессе двигательных функций, осуществляемых в неавтоматизированных производствах руками человека. Эффективное решение этой задачи в автоматизированном производстве расширило область применения роботов в непромышленной сфере (например, при выполнении транспортно-складских операций). Повышение качественных показателей воспроизведения движения привело к тому, что роботы стали использоваться в таких важных областях основного производства, как сварка, нанесение покрытий, сборка и контроль.

Постановка задачи проектирования средств робототехники.

Проектирование технических систем – это процесс создания нового изделия в виде его проекта. Проект – это совокупность технических документов, по которым изделие может изготавливаться и эксплуатироваться. Процесс проектирования стандартизирован и состоит из следующих этапов: разработка технического задания, предварительное проектирование (разработка технического предложения), эскизный проект и технический проект (разработка полного комплекта технической документации на изделие). Первые два этапа – это НИР, остальные – ОКР. Процесс проектирования изделия не заканчивается техническим проектом, а продолжается в течение всего времени его производства и эксплуатации. В течение этого времени изделие окончательно «доводится», повышается его технический уровень путем корректировки технической документации.

Порядок и методы проектирования средств робототехники регламентируются комплексом нормативно-технических документов, которые включают ГОСТы (по классификации, терминологии и обозначениям, основным параметрам, ряду грузоподъемности) и методические указания (по техническим требованиям, методам испытаний и правилам приемки, по оценке экономической эффективности). Аналогичные документы имеются и по основным компонентам роботов – устройствам управления, приводам, захватным устройствам, а также по околороботной оснастке. При разработке технических требований к роботам и последующем анализе путей их реализации необходимо исследовать взаимодействие робота с другим работающим совместно технологическим оборудованием и объектами манипулирования с целью выявления возможностей за счет достаточно несущественных их изменений заметно облегчить требования к роботу и тем самым получить общую технико-экономическую выгоду для всей системы совместно работающих машин. Наибольший технико-экономический эффект при этом может быть достигнут, когда все это оборудование

проектируется одновременно с роботом. Чаще всего это имеет место при проектировании роботов, выполняющих основные технологические операции.

Одновременно с той же целью необходимо исследовать возможности создания так называемой околороботной оснастки и других средств упорядочения и упрощения внешней среды робота. В качестве иллюстрации на рис.7.1 приведена качественная зависимость стоимости собственно робота и стоимости его вместе с такими средствами в функции от степени упорядоченья внешней среды. Как следует из этих графиков, существует некоторая оптимальная для каждой конкретной задачи степень упорядоченья внешней среды, при которой достигается минимальная суммарная стоимость робота и околороботной оснастки (устройства подачи и позиционирования объектов манипулирования, их маркировка и т.п.).

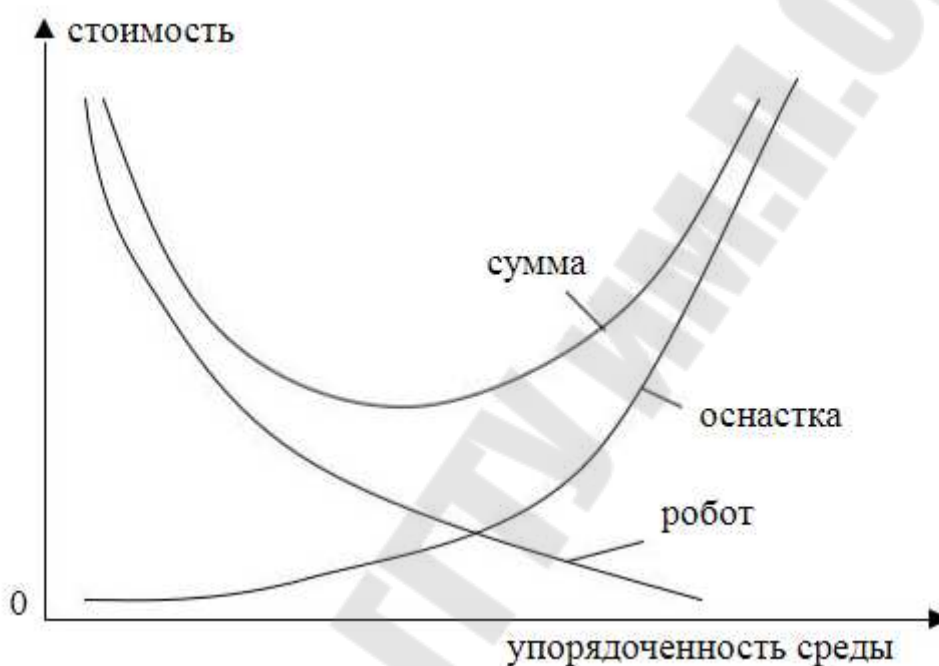


Рисунок 8.1 – Стоимость робота и околороботной оснастки.

Только после такого рассмотрения взаимодействия робота с внешней средой и оптимизации технических требований к роботу и объектам этой среды следует переходить к проектированию собственно робота. Основной принцип здесь, как и при проектировании других технических систем, в применении принципа декомпозиции, т.е. в распараллеливании всей задачи на несколько более простых подзадач. Робот, как и другие средства робототехники, состоит из двух основных функциональных частей – исполнительных систем (манипуляторы и устройства передвижения) и устройства управления ими с сенсорикой. Последнее в свою очередь распадается на аппаратную и программную части. В соответствии с этим на первом этапе проектирования после составления функциональной схемы робота должно быть проведено его разбиение на три указанные части – механическую систему, аппаратуру управления и программное обеспечение, проектирование которых требует специалистов разного профиля. В основе решения этой задачи лежит разделение функций робота и технических требований к нему между этими тремя его взаимосвязанными частями. Эта задача неоднозначна и наиболее ответственна, поскольку ее решение в значительной степени предопределяет результат всей дальнейшей работы по созданию робота.

При распределении функций робота между названными тремя его частями прежде всего выделяют функции, которые полностью или в основном определяются одной из этих частей и соответственно приписываются им. (Например, грузоподъемность и геометрия рабочей зоны определяются механической системой, параметры энергопитания и диапазон температуры внешней среды существенны в основном для аппаратуры управления, язык программирования имеет значение только для программного обеспечения.)

Остальные функции необходимо оптимально распределить между частями робота на основании определенных критериев. При этом следует учитывать еще наличие взаимовлияний между некоторыми из этих функций, что дополнительно усложняет задачу и может привести к тому, что локальное улучшение характеристик одной из частей робота ухудшит эффективность робота в целом. Например, известная взаимосвязь точности и быстродействия не позволяет независимо распределять требования к каждому из этих параметров между частями робота.

Особенности проектирования роботов.

Основная особенность и сложность в проектировании роботов – это ограниченные возможности декомпозиции на автономно проектируемые части вследствие их взаимосвязанности при определении ряда основных характеристик робота и необходимости при этом системного подхода к роботу как к единому целому. Выше уже говорилось о таком системном подходе в связи с необходимостью рассмотрения робота совместно с объектами внешней среды.

При проектировании первых роботов сперва создавались их исполнительные устройства, а затем для них как заданных объектов управления проектировались устройства управления. Однако в дальнейшем по мере совершенствования роботов и стремлении достижения предельно высоких их параметров исполнительные устройства и устройства управления стали проектироваться совместно как единая система на основе общих критериев. Это позволяет обеспечить оптимальное распределение технических требований к роботу между этими его частями. Характерный пример – это задача минимизации массы манипуляторов. Большие возможности здесь дает переход от традиционного расчета механической части на жесткость с ограничением упругих деформаций звеньев к расчету только на прочность со снятием этих ограничений. Это позволяет примерно втрое уменьшить массу механической системы манипуляторов. Однако возникающая при этом гибкость конструкции и вызванная ею колебательность существенно осложняют задачу управления движением таких манипуляторов и соответственно технические требования к устройству управления.

Следствием такого системного подхода к проектированию роботов являются следующие принципы их создания:

1. Децентрализация управления вплоть до конструктивного встраивания устройств управления отдельными частями механической системы в эти части. Это позволяет удешевить всю систему в целом, повысить ее надежность и быстродействие за счет сокращения связей, распараллеливания и иерархического построения информационных процессов и процессов управления. Для таких систем разработаны различные варианты структур с сильными и со слабыми связями

(распределенные системы), а также методы их проектирования.

2. Необходимость обеспечения значительно большей надежности управления, чем обычно считается приемлемым для других подобных типов объектов. Это вызвано тем, что в этих системах отказ управления, как правило, ведет к аварии всей системы.

3. Широкое применение компьютерного моделирования без чего такие сложные системы, как правило, не могут быть созданы на современном научно-техническом уровне.

Методы проектирования средств робототехники.

В основе всех методов проектирования техники лежит унификация. Проектирование нового изделия – это всегда противоречивая задача для разработчика: с одной стороны существует естественное стремление использовать все последние достижения науки и техники в данной области, с другой – этому препятствуют ограничения по срокам, стоимости, материальным ресурсам и др., оговоренные обычно в технических требованиях к создаваемому изделию. Выход здесь один – это компромисс в виде оптимальной преемственности с ранее созданными подобными изделиями и их компонентами. Основным средством для этого и является, как известно, унификация и стандартизация. Иногда в техническом задании прямо оговаривается степень (процент) унификации. Как будет показано, проблема унификации для робототехники имеет особенно большое значение.

Сфера применения робототехники быстро расширяется, постепенно охватывая все новые области человеческой деятельности. Соответственно быстро растет номенклатура роботов. Уже сегодня количество требуемых типов роботов только общепромышленного применения измеряются сотнями. В связи с этим одной из важнейших задач робототехники являются комплексная унификация и стандартизация роботов и их компонентов.

По определению международной организации по стандартизации, *стандартизация* – это установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенной области. Сюда, в частности, входит установление единиц величин, терминов и обозначений, требований к продукции, технологическим процессам, технике безопасности. К нормативнотехническим документам (НТД) по стандартизации относятся стандарты, методические указания, технические условия и т. п.

Унификация – это наиболее эффективный метод стандартизации, заключающийся в рациональном сокращении числа объектов одинакового функционального назначения с целью повысить производительность труда и экономичность производства и эксплуатации, улучшить качество и обеспечить взаимозаменяемость.

В робототехнике унификация развивается по трем уровням: для компонентов роботов, для собственно роботов и для роботизированных технологических комплексов. Хорошо отработанные и серийно выпускаемые унифицированные компоненты – по существу единственно возможная основа развития робототехники в условиях упомянутого выше быстрого роста номенклатуры роботов с учетом необходимости при этом оперативного создания, освоения производства и эксплуатации новых типов роботов и их модификаций.

Создание унифицированных функциональных компонентов роботов явилось первым этапом унификации в области робототехники. Ее следующим этапом стала унификация конструкции этих компонентов и программного обеспечения на основе *модульного принципа построения* [15]. Сущность этого принципа заключается в построении механических, аппаратных и программных частей робота из более мелких унифицированных частей – модулей, которые позволяют осуществлять различные компоновки из некоторого их набора. Система таких модулей строится по иерархическому принципу, когда более сложные модули состоят из более мелких модулей. Например, привод выполненный в виде модуля, является готовой конструктивной частью для сборки манипуляторов и устройств передвижения, приспособленной для соединения с модулями другого функционального назначения. При этом в свою очередь он состоит из ряда модулей, которые позволяют собирать различные модификации этого типа привода.

Модульный принцип построения роботов позволяет наиболее легко создавать их модификации и совершенно новые типы на базе одних и тех же конструктивных частей. При этом возникает возможность в каждом конкретном случае наиболее оптимально выбирать степень кинематической, аппаратной и программной избыточности, стоимость и распределение функции между роботом и работающим вместе с ним технологическим оборудованием (вплоть до конструктивного объединения отдельных модулей робота с этим оборудованием).

В связи с рассматриваемым модульным построением роботов возникает вопрос: существует ли какая-нибудь альтернатива этому принципу на сегодня или в перспективе? Таким принципом может представляться идея создания универсальных оучувствленных роботов. Собственно говоря, именно эта идея наиболее соответствует исходной идее робота как универсального заменителя человека. Техническая база для создания систем управления таких роботов уже имеется – это микропроцессоры, которые сами по себе представляют яркий пример реализации идеи универсального программно перестраиваемого устройства широкого применения. Однако в отличии от микроэлектроники в робототехнике в целом этот путь, по крайней мере сегодня, экономически невыгоден, поскольку стоимость роботов резко возрастает при увеличении их функциональных возможностей и грузоподъемности. Вместе с тем сейчас отчетливо прослеживается концепция перехода ко все более функционально сложным роботам с техническим зрением и интеллектуальным управлением. Саму идею модульного построения таких роботов можно трактовать как экономически наиболее оптимальный путь создания функциональной избыточности, но не в отдельном роботе, а в рамках всего арсенала унифицированных частей – модулей. Таким образом, модульный принцип построения роботов можно рассматривать не как альтернативу сверхуниверсальным роботам, а, наоборот, как форму реализации этой идеи, но применительно не к отдельному роботу, а ко всему их множеству.

В целом модульный подход к построению роботов дает следующие преимущества:

- резко сокращаются (до нескольких месяцев) сроки создания, освоения производства и внедрения новых марок роботов, поскольку они собираются из хорошо отработанных серийных компонентов;

- возрастает технический уровень роботов, их надежность и снижается стоимость; последнее связано не только с удешевлением компонентов роботов при их серийном производстве, но и с уменьшением избыточности в конструкции и параметрах роботов благодаря тому, что появляется возможность для каждого конкретного варианта применения компоновать роботы из минимально необходимого числа простейших модулей;

- снижаются расходы на создание, производство, внедрение и эксплуатацию роботов, существенно упрощается их обслуживание; упрощается также задача модернизации технологических комплексов путем докомплектования входящих в них роботов новыми модулями и применения отдельных модулей в качестве самостоятельных технологических приспособлений (механические руки, кантователи, межоперационные транспортные устройства и т.д.);

- производство роботов сводится главным образом к их сборке из стандартных частей, что может быть организовано практически на любом машиностроительном производстве.

Особо большое значение для повышения технического уровня и эффективности применения роботов в технологических комплексах имеют модульные устройства управления. С их помощью удастся решать проблемы управления не только самими роботами, но и такими комплексами (участками, цехами) в целом. Это позволяет резко ускорить, упростить и удешевить создание и внедрение роботов в составе технологических комплексов, что в сущности и являются конечной целью применения роботов в промышленности. Впервые идея модульного построения роботов была сформулирована, обоснована и реализована в ЦНИИ РТК в 1980/82 годах. Здесь была создана первая система модулей для построения механической части роботов, их устройств управления и программного обеспечения [2]. На рисунках.7.2 и 7.3 показаны модули-приводы из этой системы, а на рисунке.7.4 – пример робота, собранного из этих модулей.



Рисунок 7.2 – Электромеханические вращательные модули-приводы типа ПРЭМ.

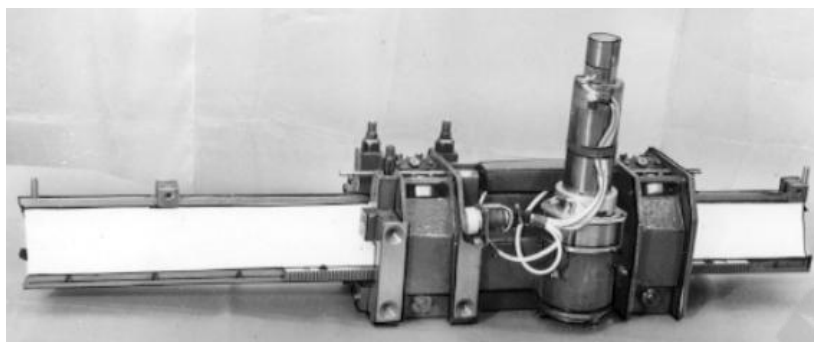


Рисунок 7.3 – Электромеханический поступательный модуль-привод типа ПРЭМ.

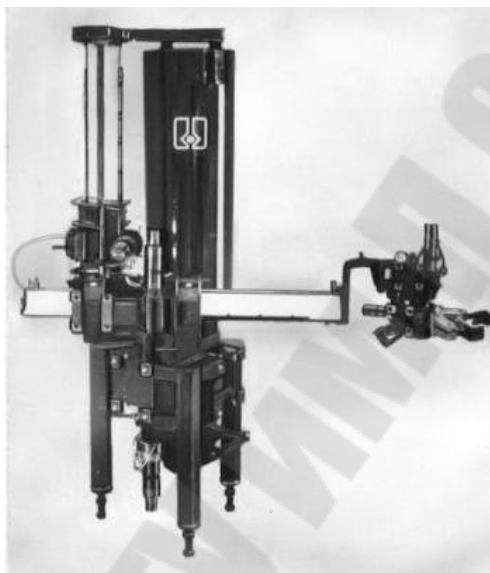


Рисунок 7.4 – Модульный электромеханический промышленный робот ПРЭМ-5

Сегодня модульный принцип построения роботов успешно используется всеми ведущими фирмами, производящими роботы, в том числе «Юнимейшен» и «Праб» (США), «Мицубиси» и «Фанук» (Япония), «Фольксваген» и «Бош» (Германия), «Сиаки» (Франция), «Оливетти» (Италия), «АСЕА» и «Электролюкс» (Швеция).

Модульный принцип построения техники нашел применение и в ряде других отраслей промышленности – в судостроении, строительстве, приборостроении. Наряду с этим принципом существуют и другие принципы построения техники, тоже основанные на идее унификации – это принцип базового изделия и агрегатного построения. Первый принцип заключается в создании гаммы (семейства) изделий, повторяющих конструкцию первоначально обработанного базового изделия, но в других габаритах и грузоподъемностях. Принцип агрегатного построения заключается в создании различного назначения и компоновок изделий из унифицированных сборочных функциональных единиц – агрегатов. (Агрегатные станки, агрегатные системы в приборостроении и вычислительной технике.) Эти оба принципа построения технических систем нашли применение и в робототехнике и могут рассматриваться как частные случаи модульного принципа.

Тема 9. Устройства управления роботом

Управление бывает нескольких типов:

1. Программное управление – самый простой тип системы управления, используется для управления манипуляторами на промышленных объектах. В таких роботах отсутствует сенсорная часть, все действия жёстко фиксированы и регулярно повторяются. Для программирования таких роботов могут применяться среды программирования типа VxWorks/Eclipse или языки программирования например Forth, Оберон, Компонентный Паскаль, Си. В качестве аппаратного обеспечения обычно используются промышленные компьютеры в мобильном исполнении PC/104 реже MicroPC. **Может происходить с помощью ПК или программируемого логического контроллера;**

2. Адаптивное управление – роботы с адаптивной системой управления оснащены сенсорной частью. Сигналы, передаваемые датчиками, анализируются и, в зависимости от результатов, робот принимает решение о дальнейших действиях, переходе к следующей стадии действий и т. д.;

3. Управление, основанное на методах искусственного интеллекта.;

4. Управление человеком (например, дистанционное управление).

Устройство управления роботом осуществляет автоматическое управление его исполнительными системами – манипуляционными и передвижения, образуя в совокупности с ними как объектами управления систему автоматического управления роботом. Кроме того, устройства управления роботом часто используют и для управления различными другими объектами (технологическим оборудованием, транспортными устройствами и т. п.), которые работают совместно с роботом, образуя с ним единый технологический комплекс.

По способу управления различают следующие системы управления роботом и соответствующие устройства управления:

- *программные устройства*, в которых управление осуществляется по заранее составленной и остающейся неизменной в процессе реализации управляющей программе;
- *адаптивные устройства*, в которых управление осуществляется в функции от информации о текущем состоянии внешней среды и самого робота, получаемой в процессе управления от сенсорных устройств;
- *интеллектуальные устройства*, в которых для адаптации и выполнения других функций робота используются методы искусственного интеллекта.

По степени участия человека в процессе управления существуют системы:

- автоматического,
- автоматизированного,
- ручного управления.

По типу движения:

- непрерывного (контурные),
- дискретные позиционные (позиционные), (шаговые «от точки к точке»),
- дискретные цикловые (с одним шагом по каждой координате),

Устройства управления могут быть индивидуальными, входящими в состав каждого робота, и групповыми, управляющими несколькими роботами. Конструктивно индивидуальные устройства управления выполняют обычно отдельно от механической части робота, значительно реже в общем корпусе, а у мобильных роботов обычно такое устройство состоит из 2 частей – бортовой и входящей в состав пульта оператора (или в дополнение к нему).

Подавляющее большинство роботов имеет электронные устройства управления, выполненные на микропроцессорной базе. Однако существуют и неэлектрические устройства управления роботов, чаще всего реализуемые на пневмонике и предназначенные для применения в особых взрыво- и жароопасных условиях.

Тема 10. Манипуляционные системы

Сегодня основным типом манипуляционных систем роботов являются механические манипуляторы. Они представляют собой пространственные механизмы в виде кинематических цепей из звеньев, образующих кинематические пары с угловым или поступательным относительным движением и системой приводов обычно раздельных для каждой степени подвижности. Манипуляторы заканчиваются рабочим органом.

Степени подвижности манипулятора делятся на

- *переносные* - для перемещения рабочего органа в рабочей зоне манипулятора,
- *ориентирующие* - для угловой ориентации рабочего органа.

Минимально необходимое число **переносных** степеней подвижности для перемещения рабочего органа в пространстве рабочей зоны равно 3. Однако для расширения манипуляционных возможностей обычно снабжают несколькими избыточными переносными степенями подвижности, Современные манипуляторы в среднем имеют 4–6 степеней подвижности, но существуют манипуляторы и с 8–9 такими степенями.

Максимально необходимое число **ориентирующих** степеней подвижности равно 3. Они реализуются кинематическими парами с угловым перемещением, обеспечивающими поворот рабочего органа манипулятора относительно его продольной и 2 других взаимно перпендикулярных осей.

Анализ кинематических схем переносных манипуляторов позволяет у большинства роботов выделить три основные формы рабочих зон: параллелепипед, цилиндр, сфера.

На рисунках. 10.1 – 10.4 показаны конструкции манипуляторов с 3 **переносными** степенями подвижности в различных системах координат и их рабочие зоны.

Манипуляторы, работающие в *прямоугольной системе координат* (рисунок 10.1), имеют рабочую зону в форме параллелепипеда. Здесь все перемещения только поступательные.

В манипуляторах, работающих в *цилиндрической системе координат* (см. рисунок 10.2), наряду с поступательными перемещениями осуществляется одно угловое перемещение (по окружности). Соответственно, рабочая зона ограничена цилиндрическими поверхностями.

В *сферической системе координат* (рисунок 10.3) осуществляются уже 2 угловых перемещения и рабочая зона ограничена сферическими поверхностями. Манипуляторы с такой системой координат, как правило, сложнее, чем с цилиндрической системой, однако компактнее.

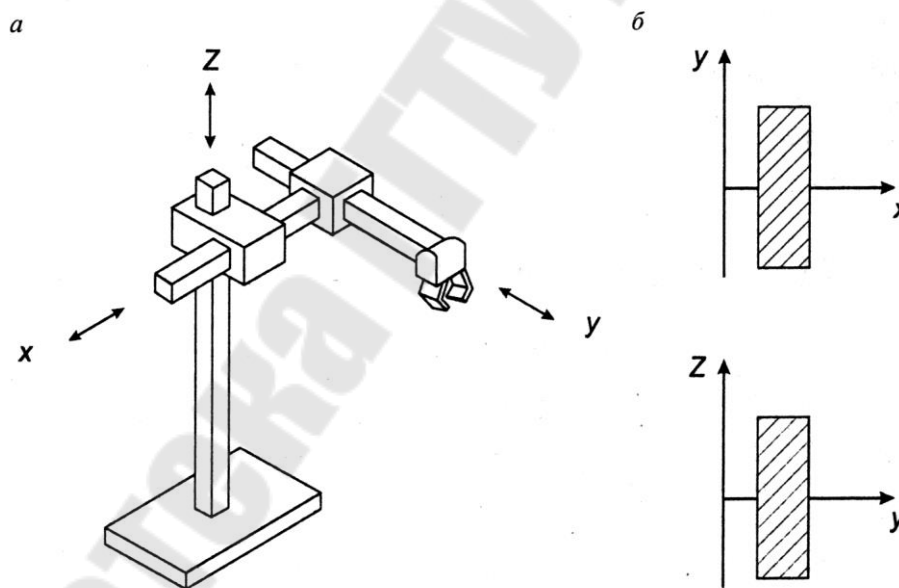


Рисунок 10.1 – Манипулятор с прямоугольной системой координат (а) и его рабочая зона (б)

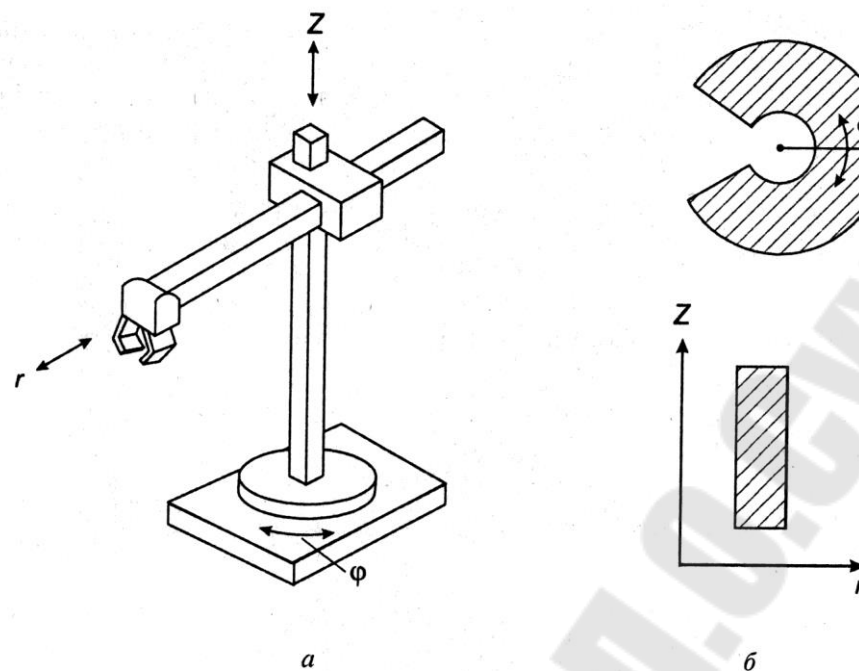


Рисунок 10.2 – Манипулятор с цилиндрической системой координат (а) и его рабочая зона (б)

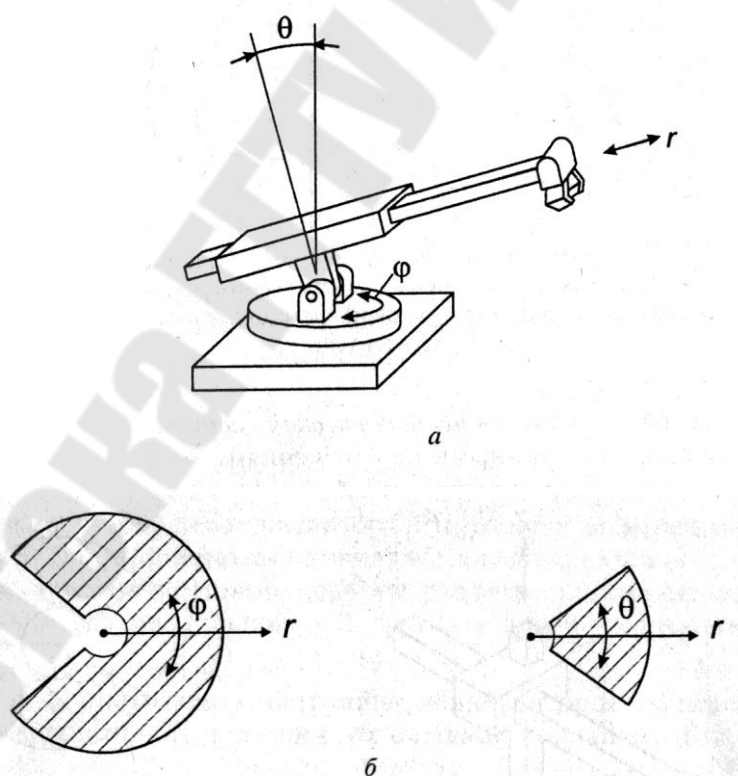


Рисунок 10.3 – Манипулятор со сферической системой координат (а) и его рабочая зона (б)

Показанный на рис. 10.4 манипулятор с *угловой системой координат* производит только угловые перемещения, т. е. все его звенья представляют собой шарниры. Поэтому часто такие манипуляторы **называют шарнирными** и

антропоморфными. Роботы с такого типа манипуляторами благодаря возможности последних складываться, не выступая практически за габариты основания робота, обладают наибольшей компактностью, хотя и наиболее сложны в управлении.

Представленные на рис. 10.1 – 10.4 манипуляторы имеют всего по 3 переносных степени подвижности. Однако поскольку манипуляторы реальных роботов содержат большее число степеней подвижности, в них часто используются различные комбинации рассмотренных ранее основных типов систем координат.

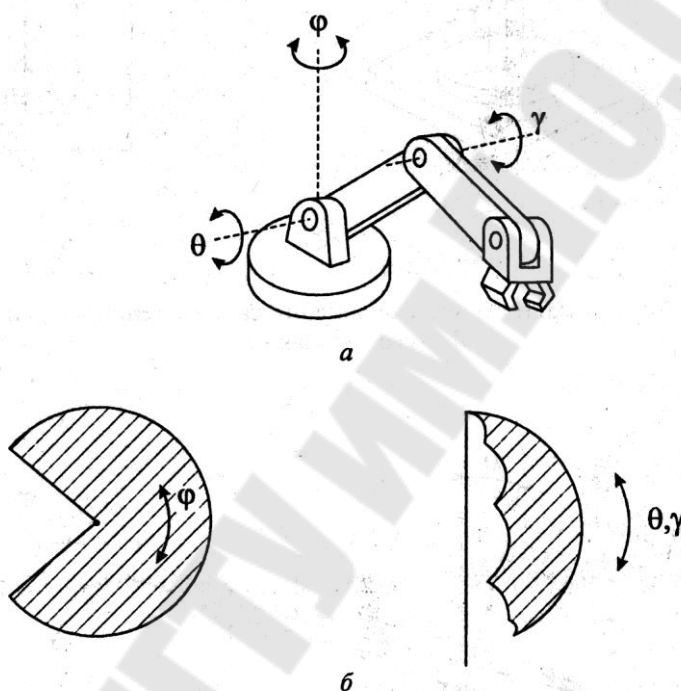


Рисунок 10.4– Манипулятор с угловой системой координат (а) и его рабочая зона (б)

Механические системы современных манипуляторов представляют собой, как правило, разомкнутые кинематические цепи из подвижно соединенных звеньев. Соседние звенья образуют вращательные и поступательные кинематические пары, обычно с одной степенью подвижности. Применяются и более сложные кинематические схемы манипуляторов, содержащие параллельно соединенные звенья.

На рис. 10.5 показаны варианты кинематических схем с **параллельным соединением звеньев**, нашедших применение в манипуляторах для повышения их жесткости и маневренности. Схема на рис. 10.5, б, называемая **платформой Стюарта**, состоит из 2 пластин, шарнирно соединенных несколькими (минимально 3) поступательными парами.

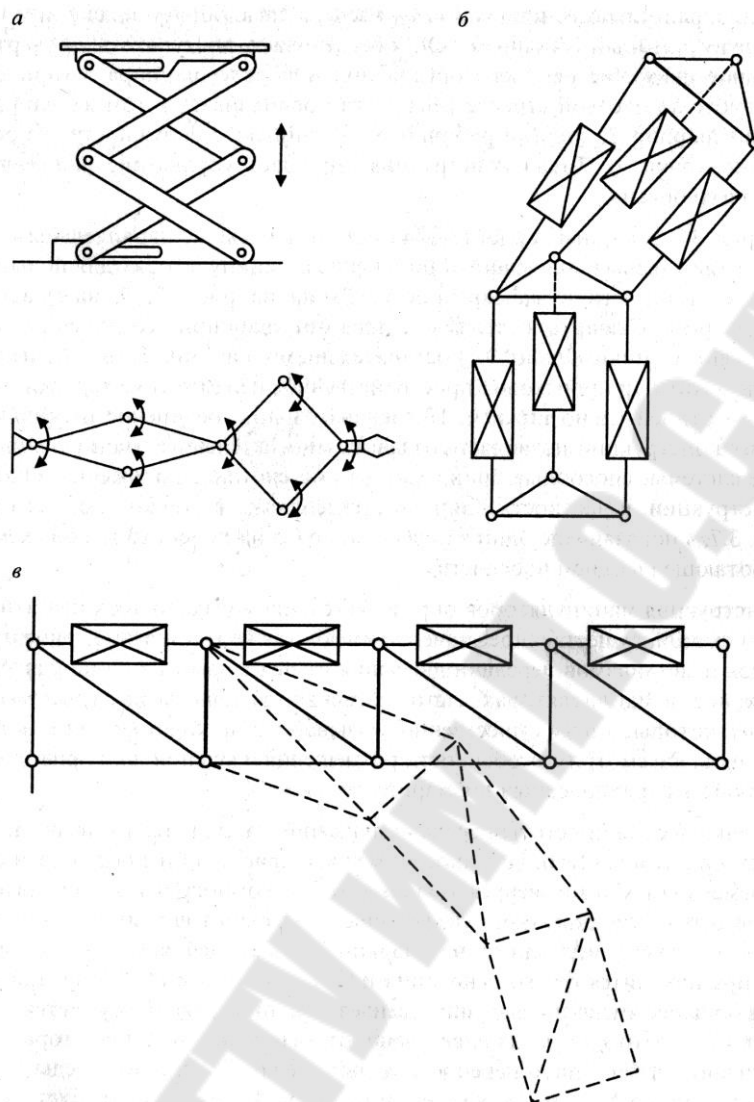


Рисунок 10.5 – Варианты параллельных кинематических схем

При изменении длины этих пар происходит пространственное перемещение верхней пластины относительно нижней. Последовательное соединение нескольких таких конструкций позволяет создавать многостепенные манипуляционные системы, способные принимать весьма сложные положения. (Такие конструкции, в частности, применяются в станкостроении.) На рис. 7.6, в показан еще один вариант такого типа

кинематической схемы, работающей в одной плоскости. Конструкция манипуляторов определяется, прежде всего, их кинематической схемой, существенное значение имеют также тип и размещение приводов и механизмов передачи движения от них к звеньям манипулятора.

Размещение приводов и механизмов передачи движения от двигателя к звену манипулятора с точки зрения простоты передачи лучше всего, конечно, размещать двигатели непосредственно у перемещаемых ими звеньев. Однако такая компоновка манипулятора приводит к существенному увеличению его габаритов и массы.

Предельным вариантом компоновки манипулятора является компоновка, когда все двигатели размещены в одном кожухе на его основании, а передача движения от них к звеньям манипулятора осуществляется через вставленные друг в друга трубчатые валы и конические зубчатые передачи в шарнирах манипулятора. Такая компоновка применяется в копирующих манипуляторах, предназначенных для работы в экстремальных условиях (например, радиация), с тем, чтобы освободить приводы от работы в этих условиях. Подобная компоновка обеспечивает минимальные габариты манипулятора,

Другой предельный случай – размещение двигателей непосредственно при приводимых ими звеньях – нашел применение в манипуляторах с безредукторными электрическими приводами (прямыми приводами) и линейными электрическими приводами. Отсутствие в этом случае редукторов и механических передач позволяет обеспечить высокую точность благодаря повышенной жесткости и отсутствию зазоров.

Особую группу манипуляционных систем образуют манипуляторы с *управляемой деформацией*. На рис. 10.6. приведены примеры их кинематических схем. Схема на рис. 10.6, а состоит из набора сферических дисков. В дисках имеются центральное отверстие и 4 отверстия по периферии. Через эти отверстия пропущены тросы. Их концы с одной стороны закреплены на последнем (верхнем) диске. С другой стороны нижние концы периферийных тросов попарно присоединены к двум приводам, вращение которых вызывает деформацию всей конструкции и перемещение ее конца, на котором укреплен рабочий орган этой манипуляционной системы. Центральный трос соединен внизу с пружиной, которая осуществляет ее натяжение, центрируя всю систему дисков.

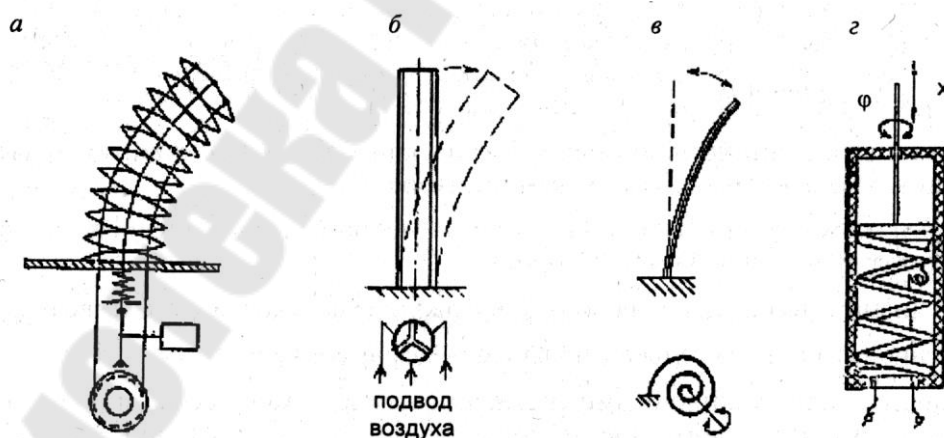


Рисунок 10.6 – Кинематические схемы устройств с управляемой деформацией

Последовательное соединение нескольких таких наборов дисков со своей системой приводов позволяет создавать манипуляционные системы типа хобота, способные принимать волнообразные пространственные конфигурации и перемещать рабочий орган при наличии препятствий и ограничений.

На рис. 10.6, б показано аналогичное пространственно изгибающееся устройство, но на пневматике. Оно состоит из трех жестко скрепленных эластичных трубок. Верхний конец трубок закрыт, а снизу подведен сжатый воздух. При одинаковом давлении во всех трубках устройство находится в вертикальном положении. При разных значениях давления в трубках оно изгибается в сторону трубок с меньшим давлением. Как и в предыдущем устройстве, последовательное соединение таких секций со своей системой подачи воздуха позволяет получать более сложные пространственные конфигурации с перегибами.

На рис. 10.6, в приведены 2 примера звена манипуляционной системы, в котором применен биметаллический элемент, деформируемый при нагревании пропускаемым через него электрическим током. В первой схеме реализуется поступательное перемещение конца звена, а во второй - вращательное. Манипуляционные системы состояются из таких последовательно соединенных элементов.

На рис. 10.6, г показан подвижный элемент, основанный на эффекте памяти формы. Этот эффект, которым обладают некоторые металлические сплавы, состоит в следующем. Если деформировать (согнуть, закрутить) стержень из такого материала, а затем нагреть его до определенной температуры, то деформация исчезнет, а при остывании стержня она восстановится. На рис. 10.6, г показан пример такого подвижного элемента в виде пружины, которая при нагреве электрическим током осуществляет поступательное (x) или вращательное (ϕ) перемещение в зависимости от вида предварительной деформации пружины.

Общей особенностью приведенных на рис. 10.6 схем является то, что их элементы **активные**, т. е. в них подвижное звено манипулятора совмещено с приводом. Другая связанная с этим же особенность – эти схемы не имеют конечного числа степеней подвижности.

Ранее были описаны следующие 3 типа кинематических схем, которые используются в механических манипуляторах:

1. разомкнутые кинематические цепи из жестких звеньев (основной тип для современных манипуляторов);
2. кинематические цепи, включающие параллельно соединенные звенья;
3. кинематические схемы с управляемой деформацией.

Рабочие органы манипуляторов

Рабочие органы манипуляторов служат для непосредственного взаимодействия с объектами внешней среды и делятся на *захватные устройства* и *специальный инструмент*. Рабочие органы могут быть постоянными и съемными, в том числе с возможностью их автоматической замены в ходе выполнения технологической операции.

Захватные устройства. Они предназначены для того, чтобы брать объект, удерживать его в процессе манипулирования и освободить по окончании этого процесса. Существуют следующие основные типы захватных устройств - схваты:

- механические,
- пневматические,
- электромагнитные.

Схваты могут быть нерегулируемыми и регулируемыми. Нерегулируемые схваты требуют дополнительных устройств для съема деталей.

Схват – это механическое захватное устройство, аналог кисти руки человека. Самые простые двухпальцевые схваты напоминают обычные плоскогубцы, снабженные приводом. На рис. 10.7 показана конструкция подобного схвата с пневматическим приводом. В зависимости от объектов манипулирования применяют схваты с 3, 4 и реже с большим числом пальцев. На рис. 10.8 показан пневматический схват с 5 гибкими надувными пальцами. За счет разной жесткости пальцев в сечении при подаче в них сжатого воздуха они изгибаются, захватывая находящиеся в их зоне предметы.

Схваты часто очувствляют с помощью контактных датчиков, датчиков проскальзывания, усилия и дистанционных датчиков (ультразвуковых, оптических и др.), выявляющих предметы вблизи схвата и между его пальцами.

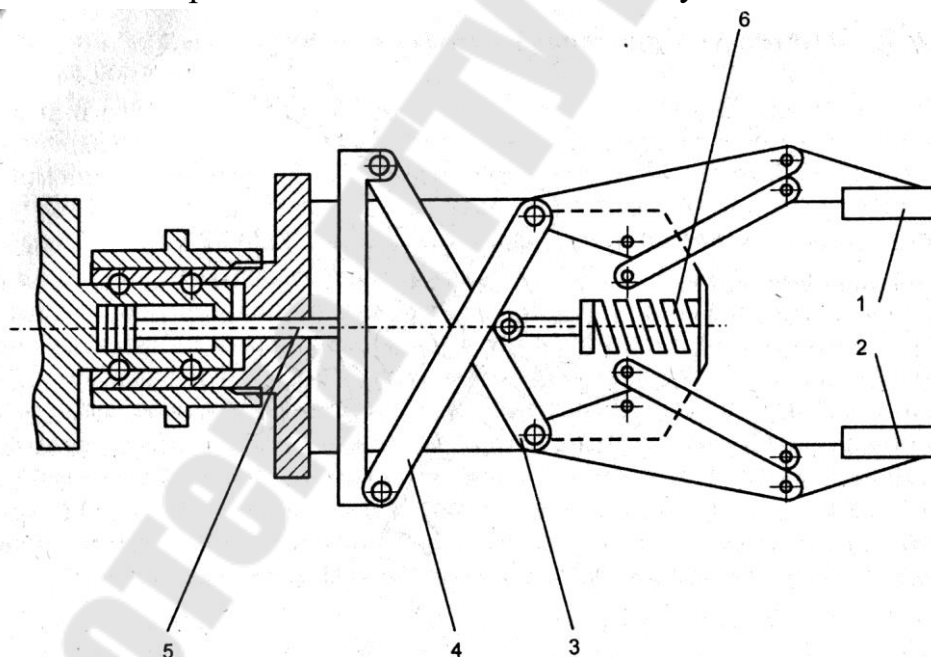


Рисунок 10. – Двухпальцевый схват: 1; 2 – пальцы (губки);
3; 4 – рычажная передача; 5 – шток пневматического двигателя
(пневмоцилиндра); 6 – возвратная пружина

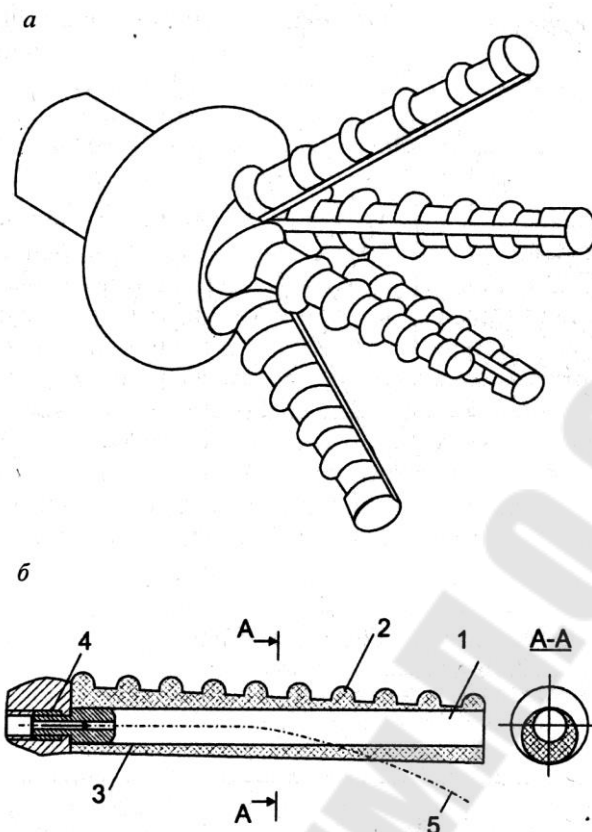


Рисунок 10.8 – Пневматический схват с 5 гибкими надувными пальцами:

- a* – внешний вид; *б* – разрез пальца; I – тонкостенная часть;
 2 – гофры; 3 – толстостенная часть; 4 – подвод воздуха;
 5 – деформация оси пальца при подаче сжатого воздуха

В наиболее распространенном типе вакуумного захватного устройства использованы вакуумные присоски, которые удерживают объекты за счет разрежения воздуха при его отсосе из полости между присоской и захватываемым объектом. Для захватывания объектов сложной формы применяют вакуумные захватные устройства с несколькими присосками.

Магнитные захватные устройства используются для взятия ферромагнитных объектов. В роботах нашли применение в основном захватные устройства с электромагнитами, но имеются устройства и с постоянными магнитами. (Для освобождения захваченного предмета они снабжены специальными механическими выталкивателями.)

Захватные устройства бывают универсальными и специальными (для работы с хрупкими и протяженными предметами и т. д.).

Захватные устройства часто присоединяют к последнему звену манипулятора через промежуточные, податливые конструктивные элементы. С их помощью осуществляется компенсация возможных неточностей позиционирования и устраняются возникающие при этом механические напряжения в звеньях манипулятора.

Рабочий инструмент. В случаях, когда объектом манипулирования является рабочий инструмент, с помощью которого робот выполняет основные технологические операции (нанесение покрытий, сварка, завинчивание гаек, зачистка поверхностей и т. п.), как правило, не берется захватным устройством, а непосредственно крепится к манипулятору вместо него. Часто при этом к инструменту необходимо обеспечить подвод энергии или какого-либо рабочего тела. Для окрасочного робота – это краска и воздух к пульверизатору, для сварочного робота – сварочный ток к сварочным клещам при точечной сварке или проволочный электрод, газ и охлаждающая вода при дуговой сварке и т. д. Для этого требуется разработка специальной конструкции всего манипулятора.

Тема 11. Системы передвижения мобильных роботов

Системы передвижения роботов относятся к их исполнительным системам наряду с манипуляционными системами. В современных мобильных роботах нашли применение практически все известные транспортные средства и, кроме того, предметом робототехники являются различные бионические способы передвижения (локомоций), т.е. заимствованные у живой природы. К ним прежде всего относится шагание.

По типу внешней среды средства передвижения подразделяются на наземные, водные, воздушные и космические, а по широте применения – на универсальные и специальные, предназначенные для особых условий и целей. Наземные универсальные системы передвижения – это традиционные колесные и гусеничные транспортные средства, а также шагающие (стопоходящие). Первые наземные мобильные роботы были созданы в связи с потребностью расширения рабочей зоны их манипуляторов, а также для выполнения чисто транспортных операций (внутрицеховой, складской и т.п. транспорт). Существуют также наземные роботы, передвигающиеся по рельсам.

Мобильные роботы, предназначенные для выполнения только транспортных операций по перевозке грузов (робокары), часто не имеют манипуляторов, а снабжаются упрощенными одно- и двухступенными погрузо-разгрузочными устройствами или последние операции выполняются стационарными манипуляторами, находящимися в местах остановки транспортных роботов.

На рисунке 11.1 показан внешний вид транспортного робота подвешенного типа, который передвигается по монорельсовому пути. Внизу видны захватное устройство и защитная сетка, предохраняющая от самопроизвольного падения переносимого груза. На рис. 11.2 и 11.3 показаны примеры роботов со специальными средствами передвижения, нашедшими применение в робототехнике.

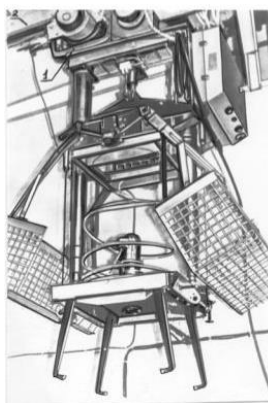


Рисунок 11.1 – Подвесной транспортный промышленный робот ТРТ –1

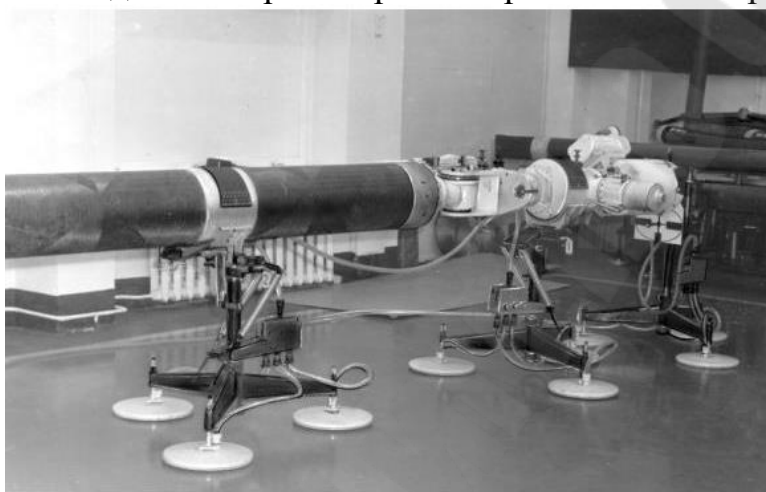
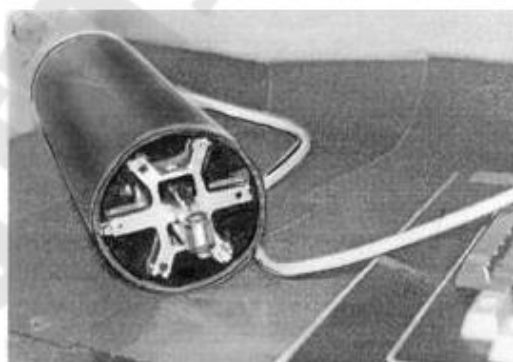


Рисунок 11.2 – Звено манипулятора, перемещающегося на воздушных подушках

а)



б)

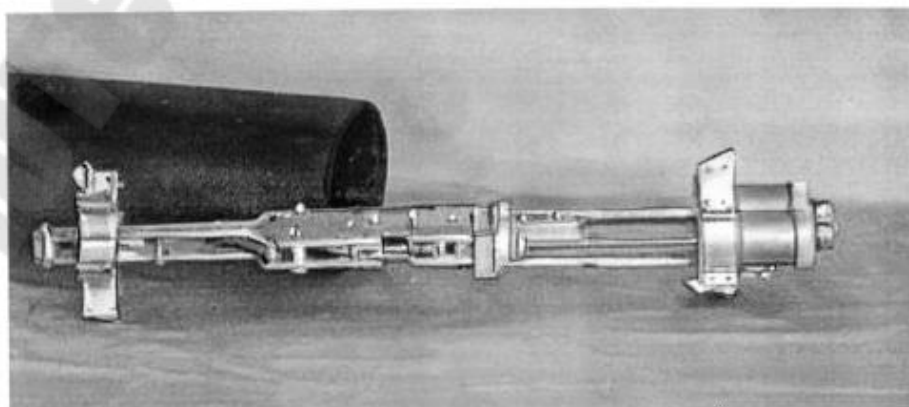


Рисунок 11.3 – Робот «Труболаз» для обследования трубопроводов в трубе (а) и вне (б). Передвижение осуществляется подобно гусеницы путем поочередного закрепления концов корпуса и сокращения его длины на основе эффекта памяти формы (ЦНИИ РТК)

Особый раздел робототехники составляют шагающие системы передвижения и основанные на них транспортные машины. Они являются предметом робототехники потому, что механические ноги – педипуляторы (от латинского слова *pes* – нога) наиболее близки другому объекту робототехники – механическим рукам – манипуляторам. Однако значение и потенциальные области применения шагающих машин далеко выходят за пределы робототехники. Способ передвижения с помощью ног (шагание, бег, прыгание), как известно, является наиболее распространенным в живой природе. Однако в технике он еще не получил заметного применения прежде всего из-за сложности управления. Развитие робототехники создало необходимую научно-техническую основу для реализации этого принципиально нового в технике способа передвижения и для создания соответствующего нового типа транспортных машин – шагающих.

Шагающий способ представляет основной интерес для движения по заранее неподготовленной местности с препятствиями. Традиционные колесные и гусеничные транспортные машины оставляют за собой непрерывную колею, тратя на это значительно большую энергию, чем в случае передвижения шагами, когда взаимодействие с грунтом происходит только в местах упора стопы. Помимо большей экономичности шагающий способ передвижения обладает и большей проходимостью на пересеченной местности вплоть до возможности передвигаться прыжками, лазать по наклонным поверхностям и т.п. При шагающем способе меньше разрушается грунт, что, например, важно при передвижении в тундре. При передвижении по достаточно гладкой и подготовленной поверхности этот способ уступает колесному в экономичности, по скорости передвижения и простоте управления.

В общем случае шагающая транспортная машина состоит из следующих частей: несущей платформы (корпуса); системы энергоснабжения; системы передвижения, состоящей из механических ног – педипуляторов с приводами степеней подвижности; системы управления; информационной системы; системы связи с оператором. В задачи системы управления входят:

- стабилизация положения корпуса машины в пространстве на определенной высоте от грунта в процессе движения независимо от рельефа местности;

- обеспечение движения по заданному (или выбранному) маршруту с обходом препятствий;

- связанное управление ногами, реализующее определенную походку с адаптацией к рельефу местности. Задача информационной системы – обеспечение системы управления информацией об окружающей среде, необходимой для выполнения перечисленных выше задач.

Поскольку основное назначение шагающих машин – передвижение по сильно пересеченной местности, управление ими обязательно должны быть

адаптивным. В системе управления при этом различаются обычно следующие три уровня управления:

- первый, нижний (динамический) уровень управления приводами отдельных степеней подвижности ног;

- второй (алгоритмический) уровень построения походки, т.е. координации движений ног, со стабилизацией при этом положения корпуса машины в пространстве;

- третий уровень формирования типа походки, направления и скорости движения исходя из заданного маршрута в целом.

Первый и второй уровни должны реализовываться автоматически, а третий уровень может осуществляться и с участием человека-оператора («водителя» машины).

Попытки создать шагающие аппараты предпринимались давно. Одна из первых моделей «стопоходящей» машины была создана в прошлом веке математиком и механиком П. Л. Чебышевым. На рис.11.4 показан четырехногий шагающий робот для сбора разлитых нефтепродуктов.



Рисунок 11.4 – Мобильный четырехногий шагающий робот для сбора разлитых нефтепродуктов. (Волгоградский ГТУ)

Хотя, как уже упоминалось, в чистом виде шагающий способ передвижения еще не получил практического применения на транспорте вследствие его сложности, в комбинации с другими более традиционными способами он уже используется. В частности, реализована комбинация колесного и шагающего способов в так называемых колесно-шагающих транспортных машинах [3]. Применяются два варианта такой комбинации. В первом случае режимы качения и шагания осуществляются раздельно и последовательно с помощью отдельных приводов. Например, колеса устанавливаются на концах вертикальных рычагов

подвески, которые могут поворачиваться на 360° относительно корпуса машины. При включении приводов этих рычагов машина передвигается на них, опираясь на колеса. При вертикальном положении рычагов подвески машина движется на колесах в режиме обычного качения.

Во втором варианте оба режима – качения и шагания – осуществляются одновременно. Опоры механизма шагания выполняются в виде колес и перемещаются вперед относительно корпуса машины без отрыва от грунта. При этом колеса, вращаясь, участвуют в создании тягового усилия.

Наряду с шаганием ведутся научно-исследовательские работы по техническому освоению другого способа наземного передвижения – ползания. Как и шагание этот способ обладает уникальными возможностями по проходимости и универсальности, включая возможность передвижения под землей и в воде. Трудности освоения этого способа передвижения аналогичны шаганию и вообще всем способам передвижения живых организмов – это сложность кинематики и алгоритмов управления.

Водные системы передвижения роботов основаны на традиционных средствах водного транспорта, в котором использованы винтовые движители для погружения, поступательного движения и маневрирования. Их типовая система передвижения включает один или два вертикально направленных движителя заглубления и два или три поворотных движителя, создающих управляемый по направлению и величине продольный вектор тяги для поступательного движения аппарата. Двигатели, входящие в состав этих движителей – электрические постоянного тока.

Новым направлением в создании систем передвижения в воде, которое разрабатывается в робототехнике, является техническое освоение способов плавания живых организмов – с помощью плавников и путем волнообразного движения всего тела. К достоинствам подобных средств плавания относятся их экологическая чистота, бесшумность и способность осуществлять позиционирование в заданной точке в условиях различных возмущающих воздействий со стороны внешней среды (течение, волнение и т.п.).

Воздушные системы передвижения как и водные развиваются по двум направлениям: во-первых, используются освоенные в авиации способы полета, а, во-вторых, ведутся исследования по освоению способов известных в живой природе.

Тема 12. Приводы роботов

Привод включает двигатель и устройство управления им. Кроме того, в состав привода могут входить различные механизмы для передачи и преобразования движения (редукторы, преобразователи вращательного движения в поступательное и наоборот), тормоз и муфта.

К приводам, применяемым в роботах, предъявляют весьма жесткие специфические **требования**:

- должны встраиваться в исполнительные системы робота – в манипуляторы и системы передвижения,
- габариты и масса приводов должны быть минимальными
- так как приводы в роботах работают в основном в неустановившихся режимах и с переменной нагрузкой, то приводы в переходных процессах должны быть практически неколебательными

Важными параметрами приводов роботов являются также надежность, стоимость, удобство эксплуатации. Скорость поступательного движения на выходе приводов роботов должна составлять от долей до нескольких м/с при погрешности отработки перемещения, равной долям миллиметра.

В роботах нашли применение все известные типы приводов: электрические, гидравлические и пневматические; с поступательным и вращательным движением; регулируемые (по положению и скорости) и нерегулируемые; замкнутые (с обратной связью) и разомкнутые; непрерывного и дискретного действия (в том числе шаговые).

Устройство управления может быть непрерывного действия, релейным, импульсным или цифровым.

Применение **пневматических приводов** в робототехнике объясняется их дешевизной, простотой и соответственно надежностью. Правда, эти приводы плохо управляемы и поэтому используются в основном как нерегулируемые с цикловым управлением. Пневматические приводы характеризуются высокими скоростями перемещений элементов робота, поэтому для снижения скорости в роботах с цикловым управлением применяются демпферы. Пневматические приводы применяют только в роботах небольшой грузоподъемности – до 10кг, реже 20кг.

Гидравлические приводы наиболее сложны и дороги по сравнению с пневматическими и электрическими. Однако при мощности 500–1000 Вт и выше они обладают наилучшими массогабаритными характеристиками и поэтому являются основным типом привода для тяжелых и сверхтяжелых роботов. Гидравлические приводы хорошо управляются, поэтому они нашли также применение в роботах средней грузоподъемности, для которых требуются высококачественные динамические характеристики.

Электрический привод, несмотря на его хорошую управляемость, простоту подвода энергии, большой к.п.д. и удобство эксплуатации имеет худшие массогабаритные характеристики, чем пневматический и гидравлический приводы. Основная область применения электрических приводов в робототехнике – это роботы средней грузоподъемности (десятки килограмм), легкие роботы с высококачественным управлением и мобильные роботы.

В промышленных роботах нашли применение электроприводы следующих типов:

- на двигателях постоянного тока традиционных коллекторных и бесколлекторных (вентильных);
- на асинхронных двигателях как нерегулируемых (с цикловым управлением), так и с частотным управлением;
- на шаговых двигателях;
- на различного типа регулируемых муфтах в сочетании с нерегулируемым асинхронным двигателем или двигателем постоянного тока;
- на электромагнитах (соленоидных и других типов).

В основном применяются традиционные электроприводы с угловым перемещением, т. е. вращающиеся. Однако в роботах с поступательными перемещениями наряду с вращающимися двигателями в комбинации с механизмами, преобразующими вращательное движение в поступательное (типа передачи шестерня-рейка и т. п.), нашли применение и специальные линейные приводы постоянного и переменного тока.

Электроприводы для роботов в общем случае включают электродвигатель, снабженный датчиками обратной связи по положению и скорости, механическую передачу, часто тормоз, иногда муфту (например, для защиты двигателя от перегрузки) и устройство управления.

К перспективным разработкам электрических приводов относятся

- высокомоментные безредукторные двигатели,
- приводы с непосредственным цифровым управлением,
- бездатчиковые приводы с расчетом значений перемещения и скорости по измеряемым электрическим переменным двигателя.

Тема 13. Сенсорные системы. Очувствление в дальней зоне

Сенсорные системы предназначены для получения информации о внешней среде и положении робота в ней. В отдельных системах роботов имеются также различные чувствительные устройства – датчики, необходимые для функционирования этих систем (например, датчики обратной связи в приводах, во вторичных источниках питания и т. п.). Эти устройства, ориентированные на внутренние параметры робота, не специфичны для него в целом и не относятся к сенсорным системам робота.

По выявляемым свойствам и параметрам сенсорные системы можно разделить на следующие 3 группы.

1. Системы, дающие общую картину окружающей среды с последующим выделением отдельных объектов, значимых для выполнения роботом его функций.
2. Системы, определяющие различные физико-химические свойства внешней среды и ее объектов.
3. Системы, определяющие координаты местоположения робота и параметры

его движения, включая его координаты относительно объектов внешней среды и усилия взаимодействия с ними.

К **первой группе** сенсорных систем относятся системы технического зрения и различного типа локаторы.

Вторая группа сенсорных систем наиболее многообразна. Это измерители геометрических параметров, плотности, температуры, оптических свойств, химического состава и т. д.

Третья группа сенсорных систем определяет параметры, относящиеся к самому роботу. Это измерители его географических координат в пространстве от спутниковых систем до использующих магнитное поле Земли, измерители угловых координат (гироскопы), измерители перемещения и скорости, в том числе и относительно отдельных объектов внешней среды вплоть до фиксации соприкосновения с ними. В составе робота все эти сенсорные системы ориентированы на обслуживание 2 исполнительных систем - передвижения и манипуляционной. Это определяет и основные требования к сенсорным системам – дальность действия, точность, быстродействие и т. д.

Сенсорные системы, используемые в системах передвижения робота, подразделяются на системы, обеспечивающие:

- навигацию в пространстве,
- безопасность движения (предотвращение столкновений с препятствиями и опрокидываний на уклонах, попадания в недопустимые для робота внешние условия и т. п.).
- Сенсорные системы, обслуживающие манипуляторы, образуют две подгруппы:
- системы, входящие в контур управления движением манипулятора,
- системы, очувствления его рабочего органа.

В число современных систем часто входят размещенные у рабочего органа манипулятора системы технического зрения и измерители усилий.

Важным параметром сенсорных систем является *дальность действия*. По этому показателю сенсорные системы роботов можно разделить на контактные, бесконтактные, ближнего, дальнего и сверхдальнего действия.

Контактные сенсорные системы применяются для очувствления рабочих органов манипуляторов и корпуса (бампера) мобильных роботов. Они позволяют фиксировать контакт с объектами внешней среды (тактильные сенсоры), измерять усилия, возникающие в месте взаимодействия (силомоментные сенсоры), определять проскальзывание объектов при их удержании захватным устройством, определять размеры объектов (путем их ощупывания). Они реализуются с помощью концевых выключателей, герметизированных магнитоуправляемых контактов, на основе токопроводящей резины ("искусственная кожа") и т. д.

Сенсорные системы ближнего действия обеспечивают получение информации об объектах, расположенных в непосредственной близости от рабочего органа манипулятора или корпуса робота, т. е. на расстояниях, соизмеримых с их размерами. Такие бесконтактные устройства технически сложнее контактных, но позволяют роботу выполнять задание с большей скоростью, заранее выдавая информацию о различных объектах до соприкосновения с ними.

Сенсорные системы дальнего действия служат для получения информации о внешней среде в объеме всей рабочей зоны манипуляторов роботов и окружающей среды мобильного робота.

Сенсорные системы сверхдальнего действия применяются главным образом в мобильных роботах. К ним относятся различные навигационные системы, локаторы и другие сенсорные системы соответствующей дальности действия. Эти устройства находят применение и в стационарных роботах при работе с подвижными объектами, чтобы заранее предвидеть их появление в рабочей зоне.

В **бесконтактных сенсорных системах** для получения требуемой информации используются излучаемые ими специальные сигналы (оптические, радиотехнические, ультразвуковые и т. д.) и естественные излучения среды и ее объектов. В зависимости от этого различают активные и пассивные сенсорные системы.

Активные сенсорные системы имеют передатчик, излучающий первичный сигнал, и приемник, регистрирующий прошедший через среду прямой сигнал или вторичный сигнал, отраженный от объектов среды.

Пассивные системы имеют только приемное устройство, а роль излучателя играют сами объекты внешней среды. Поэтому пассивные сенсорные системы технически обычно проще и дешевле активных, но менее универсальны.

Сенсорные системы роботов можно разделить на системы с фиксированным направлением восприятия и с переменным (сканирующие).

В настоящее время для очувствления роботов наиболее широкое применение получили системы технического зрения, локационные, силомоментные и тактильные. Наиболее универсальными из них являются системы технического зрения. Видеосистемы в составе роботов, должны работать в реальном масштабе времени и иметь высокую надежность при невысокой стоимости.

Системы технического зрения могут быть монокулярными, бинокулярными (стереозрение) и многоракурсными (с большим числом "точек зрения"). Специфическим для роботов вариантом является применение подвижных видеосенсорных устройств, в том числе размещаемых непосредственно на манипуляторах.

Конструктивно сенсорные устройства размещают на рабочих органах манипуляторов (устройства ближнего действия), на корпусе робота или вне робота (устройства дальнего и сверхдальнего действия).

Информационные системы роботов должны удовлетворять следующим требованиям:

1. обеспечение автоматического движения;
2. обеспечение безопасности;
3. определение положения робота в пространстве;
4. составление описания рабочей зоны.

Удовлетворение этих требований возможно с помощью оснащения современных роботов различными сенсорами: одометрическими датчиками, инерциальными измерительными системами, видеокамерами, сонарами и лазерными, сканирующими дальномерами. Обилие и широкое разнообразие сенсорных систем, которыми оснащаются современные роботы, и в то же время рост вычислительной мощности бортовых систем управления позволяет разрабатывать различные методы обработки сенсорной информации для решения задач навигации и управления роботами.

Ключевой проблемой робототехники является решение задачи навигации, что подразумевает под собой определение положения робота в рабочем пространстве – локализацию и составление представления, описания окружающего мира – картографию. Информация о текущем положении робота необходима для решения большинства встречающихся задач управления: прохождения заданной траектории, поиска пути в заданную точку, возвращения в исходное положение.

Среди датчиков, входящих в системы технического зрения роботов, большой популярностью среди разработчиков пользуются лазерные сканирующие дальномеры. Эти датчики позволяют измерять расстояния до ближайших объектов за счет излучения пучка лучей лазера в плоскости. Результатом измерения является массив дальностей до ближайших объектов, находящихся на пути лучей – своеобразное изображение сечения окружающего мира в плоскости, называемое также сканом. Лазерные дальномеры имеют высокую точность измерения расстояния (до 10-15 мм.) при больших диапазонах (до 80 м.) и скоростях измерения (до 75 сканов в секунду). Они могут применяться на мобильных роботах,двигающихся по пересеченной местности, для составления цифрового описания рельефа рабочей зоны и определения её проходимости. Более эффективное использование лазерного дальномера возможно в искусственных средах, например офисных и производственных помещениях, где движение совершается в плоскости и сечение рельефа неизменно с высотой.

Датчики очувствления роботов можно разделить на следующие группы: локационные, системы технического зрения, тактильные, силомоментные, внутренней информации.

Локационные датчики. Для измерения отклонений свариваемого роботом стыка от запрограммированной траектории и передачи результатов измерений системе управления роботом в процессе автоматической сварки разработан электромагнитный датчик *малых расстояний*.

Системы технического зрения. Такие системы (СТЗ) создаются на базе видеоконных телевизионных камер, фотодиодных матриц, а также приборов с зарядовой связью (ПЗС), сопряженных с микро-ЭВМ.

Тактильные датчики. К органам «осязания» у роботов относятся датчики касания, проскальзывания и давления, сигнализирующие о контакте и характере контакта между рабочим устройством манипулятора и объектом. Одно из перспективных направлений исследований в этой области – разработка матриц с высокой плотностью размещения тактильных элементов на схвате. В качестве чувствительных элементов в матрицах используют электропроводящую резину или губку, пьезоэлементы, пневмовыключатели, а также микровыключатели. Весьма актуальна проблема создания для тактильных датчиков специальных проводящих эластомеров с температурной и временной стабильностью в условиях их многократного нагружения.

Средства силомоментного оцувствления роботов. При разработке этих средств в подавляющем большинстве случаев используется принцип определения усилия посредством измерения тензорезисторами упругих деформаций специально сконструированного упругого элемента датчика.

Датчики внутренней информации. Обеспечение надежного функционирования роботов реализуется с помощью датчиков, контролирующих угловые и линейные перемещения рабочих органов. В настоящее время созданы следующие виды датчиков положения: кодовые на 12–15 двоичных разрядов, импульсные на 2^{10} , 2^{11} и 2^{12} импульсов за оборот, датчики-преобразователи типа, индуктосин, линейные и круговые.

Основная особенность кодовых датчиков – выдача информации непосредственно в двоичном коде с абсолютным отсчетом от начала координат. Импульсные (фотоэлектрические) датчики, в отличие от кодовых, сообщают информацию об относительных угловых перемещениях и требуют фиксации точки отсчета в начале рабочего цикла. Тем не менее, благодаря более простой технологии их изготовления и меньшей стоимости, по сравнению с кодовыми, импульсные датчики находят достаточно широкое применение.

Датчики измерения в дальней зоне

Назначение – определение расстояния от точки отсчета до объекта в рабочем диапазоне измерений. Датчики измерения в дальней зоне используются для навигации робота и обхода препятствий, когда требуется оценить расстояние до ближайших объектов или определить местоположение и форму объектов в рабочем пространстве робота.

Триангуляция

Одним из простейших методов измерения в дальней зоне является метод триангуляции (рис. 13.1). Объект освещают узким пучком света, направленным на его поверхность.

Движение пучка света в плоскости определяется линией от объекта до приемника света и линией от приемника до источника света. Если пятно света на поверхности объекта достаточно мало, расстояние D до освещенного участка поверхности может быть вычислено из геометрических соотношений, представленных на рис. 13.1. Этот метод реализует точечное измерение. Если система «источник-приемник» движется в фиксированной плоскости, то в этом случае можно получить группу точек, расстояния которых до приемника известны. Эти расстояния легко перенести в трехмерную систему координат путем сканирования.

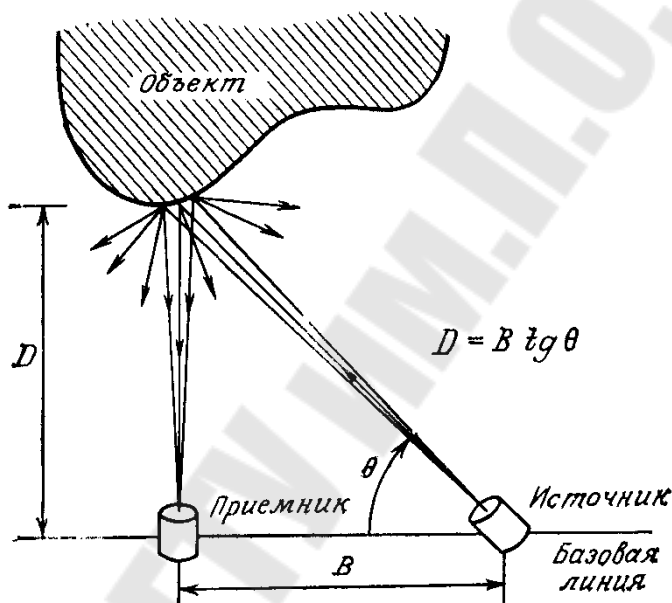


Рисунок 13.1 – Измерение расстояние триангуляционным методом

Метод подсветки

Данный метод состоит в проецировании светового потока на группу объектов и использовании изменения формы потока для вычисления расстояния (рис. 13.2).

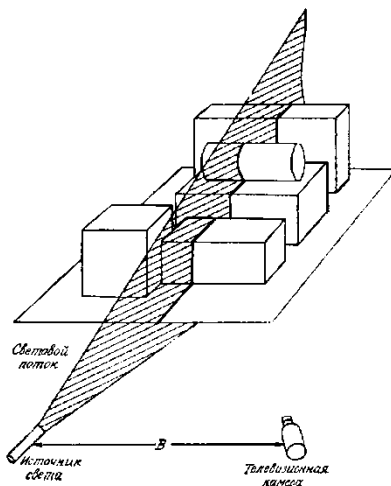


Рисунок 13.2 – Измерение расстояний методом подсветки

Световая полоса, пересекающая группу предметов, формируется в виде плоского пучка света с помощью цилиндрических линз. Пересечение светового потока с объектами в рабочем пространстве фиксируется телевизионной камерой, помещенной на расстоянии B от источника света. Такая ситуация легко анализируется компьютером при определении расстояния. Например, отклонение пучков света указывает на изменение поверхности, а разрыв соответствует промежутку между поверхностями.

Для получения базовых значений расстояний вначале проводят калибровку (рис. 13.3).

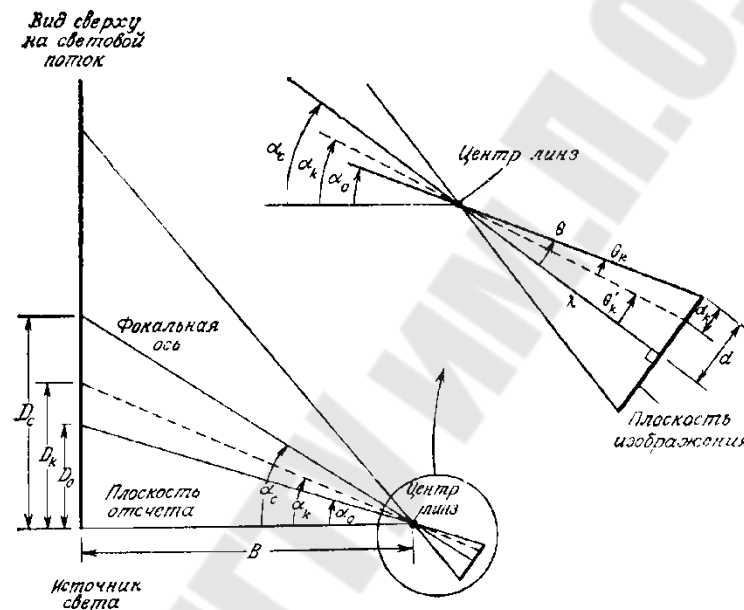


Рисунок 13.3 – Калибровка системы измерения методом подсветки

В большинстве систем, основанных на методе подсветки, используют цифровые изображения, полученные телекамерой и преобразованных в цифровой массив размерностью $N \times M$. Пусть $y = 0, 1, 2, \dots, M - 1$ является номером столбца этого массива. Калибровка состоит в измерении расстояния B между источником света и центром линз и последующим измерением углов α_c и α_0 . Тогда расстояние d вычисляется по формуле:

$$d = \lambda \cdot \operatorname{tg} \theta, \quad (13.1)$$

где λ - фокальная длина линз, а

$$\theta = \alpha_c - \alpha_0. \quad (13.2)$$

Для цифрового изображения, содержащего M столбцов, приращение расстояния d_k между столбцами определяется по формуле:

$$d_k = k \frac{d}{M/2} = \frac{2kd}{M} \quad (13.3)$$

для $0 \leq k \leq M/2$. В изображении на мониторе $k=0$ соответствовало бы крайнему слева столбцу, а $k = M/2$ - центральному столбцу.

Угол α_k , образованный проекцией произвольной полосы, легко получить, отметив, что:

$$\alpha_k = \alpha_c - \theta'_k, \quad (13.4)$$

где
$$\operatorname{tg} \theta'_k = \frac{d - d_k}{\lambda}, \quad (13.5)$$

или, используя равенство (20-3),

$$\theta'_k = \operatorname{arctg} \left[\frac{d(M - 2k)}{M\lambda} \right], \quad (13.6)$$

где $0 \leq k \leq M/2$.

Для оставшихся значений k (т.е. по другую сторону оптической оси) имеем:

$$\alpha_k = \alpha_c + \theta''_k, \quad (13.7)$$

где

$$\theta''_k = \operatorname{arctg} \left[\frac{d(2k - M)}{M\lambda} \right] \quad (13.8)$$

для $M/2 \leq k \leq (M - 1)$.

Сравнивая уравнения (20-6) и (20-8), отметим, что $\theta''_k = -\theta'_k$. Таким образом, равенства (13.4) и (13.7) идентичны для всего диапазона $0 \leq k \leq M - 1$. Тогда из рис. 13.3 следует, что расстояние по нормали D_k между произвольной полосой света и плоскостью отсчета будет равно:

$$D_k = B \operatorname{tg} \theta_k \quad (13.9)$$

для $0 \leq k \leq M - 1$, где α_k вычисляется либо из уравнения (13.4), либо из уравнения (13.7).

Важно отметить, что если величины $B, \alpha_0, \alpha_c, M, \lambda$ известны, номер столбца в цифровом изображении полностью определяет расстояние между плоскостью отсчета и всеми точками на полосе, отображенной на этом столбце.

Для определения α_c плоскую вертикальную поверхность размещают так, чтобы ее пересечение со световой полосой находилось в центре плоскости изображения (т.е. $y=M/2$). Затем измеряют величину перпендикуляра D_c между поверхностью и плоскостью отсчета. Из рис. 13.3 следует, что:

$$\alpha_c = \arctg \left[\frac{D_c}{B} \right]. \quad (13.10)$$

Чтобы определить α_0 , перемещают поверхность ближе к плоскости отсчета, пока ее световая полоса не совместится с $y=0$ на плоскости изображения. Затем измеряют D_0 и из рис. 13.3 находят:

$$\alpha_0 = \arctg \left[\frac{D_0}{B} \right]. \quad (13.11)$$

Это завершает процесс калибровки.

Основное преимущество такой системы состоит в относительной простоте измерения расстояний. После завершения калибровки расстояние, соответствующее каждому столбцу в изображении, вычисляется с помощью уравнения (20-9), где $k = 0, 1, 2, \dots, M-1$, а результаты хранятся в памяти. Затем в процессе измерений расстояние до любой точки изображения получают путем простого определения номера ее столбца в изображении и обращения к соответствующей области памяти.

Тема 14. Сенсорные системы. Очувствление в ближней зоне

Датчики измерения в дальней зоне дают оценку расстояния между датчиком и отражающим объектом. Датчики измерения в ближней зоне обычно имеют дискретный пороговый сигнал, который определяет наличие объекта в пределах установленного пространства, например, при захвате объекта или при его обходе.

Существует несколько методов очувствления в ближней зоне.

Индуктивные датчики

Индуктивные датчики – датчики, основанные на изменении индуктивности при взаимодействии с металлическим объектом, наиболее широко используются в

промышленных роботах. Принцип работы этих датчиков можно объяснить по рис. 14.1 На рис.14.1,*а* представлена схема индуктивного датчика, который состоит из катушки, размещенной за постоянным магнитом в корпусе. Когда датчик приближается к ферромагнитному материалу, изменяется расположение силовых линий постоянного магнита (рис. 14.1,*б* и *в*). При отсутствии движения силовые линии не изменяются и, следовательно, в катушке ток не индуцируется. Изменение напряжения на выходе катушки обеспечивает эффективное очувствление в ближней зоне на расстояниях ~ 1 мм (рис. 14.2).

Так как для получения выходного сигнала на датчике требуется наличие относительного движения датчика и объекта, одним из методов получения дискретного порогового сигнала является интегрирование выходного сигнала.

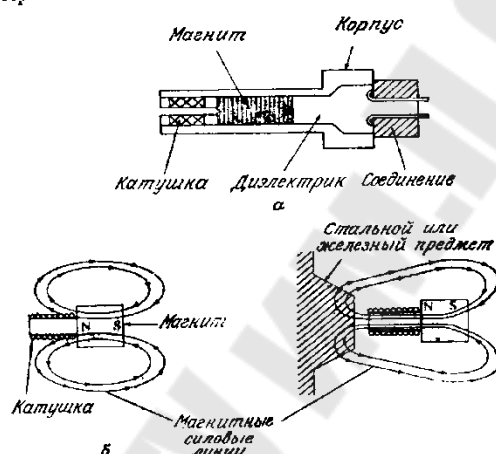


Рисунок 14.1 – Индуктивный датчик (а), форма магнитных линий при отсутствии ферромагнетика (б) и при наличии ферромагнетика в зоне измерения датчика(в)

Пороговый сигнал остается на нижнем уровне, пока значение интеграла остается ниже установленного порога. После превышения порога сигнал переходит на верхний уровень, что соответствует наличию объекта в зоне измерения.

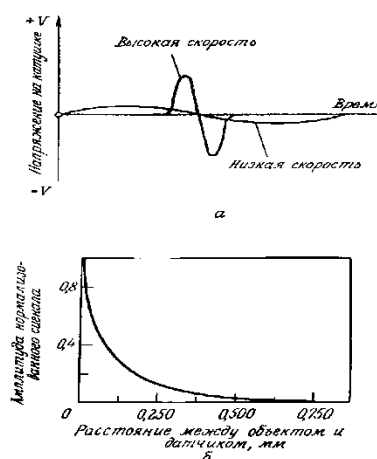


Рисунок 14.2 – Зависимость выходного сигнала индуктивного датчика от скорости

Датчики Холла

Эффект Холла связывает напряжение между двумя точками в проводнике или полупроводниковом материале в магнитном поле, воздействующим на этот материал. Используемые сами по себе датчики Холла могут уловить только намагниченные объекты. Однако, если их использовать вместе с постоянным магнитом (рис. 14.3), они способны установить наличие всех ферромагнитных материалов.

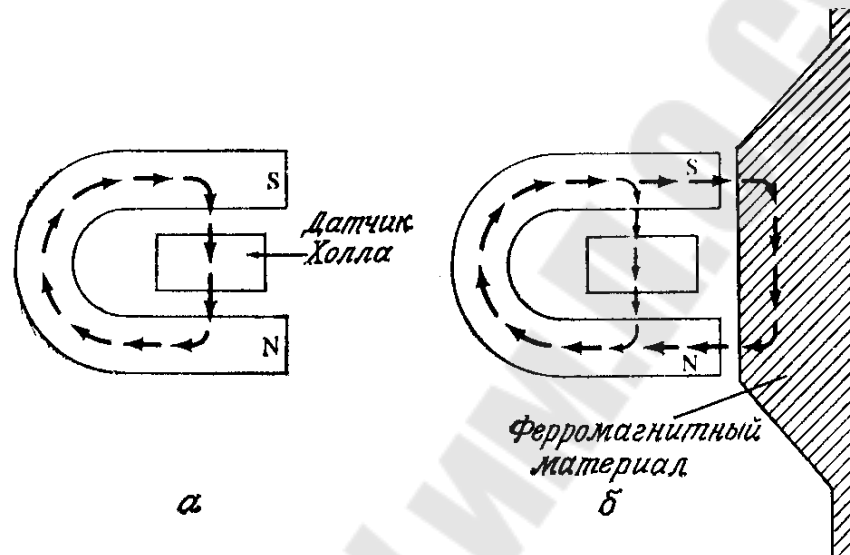


Рисунок 14.3 – Работа датчика Холла (а), снабженного постоянным магнитом (б)

Датчики Холла основаны на возникновении силы Лоренца, действующей на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле. Эта сила направлена по оси, перпендикулярной плоскости, образованной направлением движения заряженной частицы и направлением поля. Сила Лоренца определяется как $F = q(v \times B)$, где q – заряд; v – вектор скорости; B – вектор магнитного поля; а \times – знак пересечения векторов. Предположим, что ток проходит через полупроводник n -типа, который находится в магнитном поле (рис. 14.4). Поскольку электроны являются основными носителями в материалах n -типа, а движение дырочного тока противоположно потоку электронов, сила, действующая на движущиеся отрицательно заряженные частицы имеет направление, показанное на рис. 14.4. Эта сила действует на электроны, которые скапливаются в нижней части материала. При внесении ферромагнетика в зону действия датчика Холла напряженность магнитного поля увеличивается, а сила Лоренца уменьшается. На полупроводнике возникает падение напряжения.

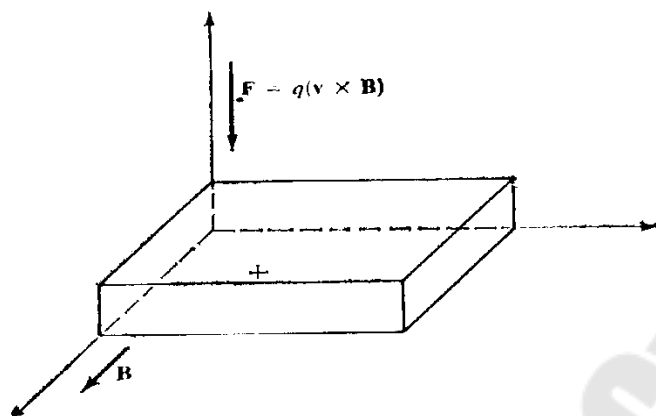


Рисунок 14.4 – Возникновение эффекта Холла

Дискретный выходной сигнал, определяющий наличие объекта, реализуется пороговым ограничителем выходного напряжения датчика.

В качестве чувствительного элемента используется кремний, имеющий ряд преимуществ: малые размеры, высокую чувствительность, устойчивость к влиянию электрических помех, возможность использования электронного усилителя и обработки сигналов непосредственно на датчике, уменьшая тем самым размеры и стоимость.

Емкостные датчики

Емкостные датчики обладают способностью обнаруживать все твердые и жидкие материалы. Как видно из названия, эти датчики основаны на изменении емкости, которая зависит от расстояния до поверхности объекта в зоне действия чувствительного элемента (рис.14.5).

Существует ряд методов обнаружения в ближней зоне, основанный на изменении емкости:

- конденсатор представляет собой элемент колебательного контура, колебания в котором возникают только в том случае, если емкость датчика превышает заданное пороговое значение. Колебания преобразуются затем в выходное напряжение, которое указывает на присутствие объекта в зоне измерения. Этот метод обеспечивает дискретный выходной сигнал, переключение которого зависит от значения заданного порога;
- емкостной элемент в контуре, по которому постоянно проходит синусоидальный сигнал частоты. Изменение емкости вызывает фазовый сдвиг между сигналом эталонной частоты и сигналом от емкостного элемента. Фазовый сдвиг пропорционален изменению емкости и следовательно, может быть использован для обнаружения объекта в ближней зоне.

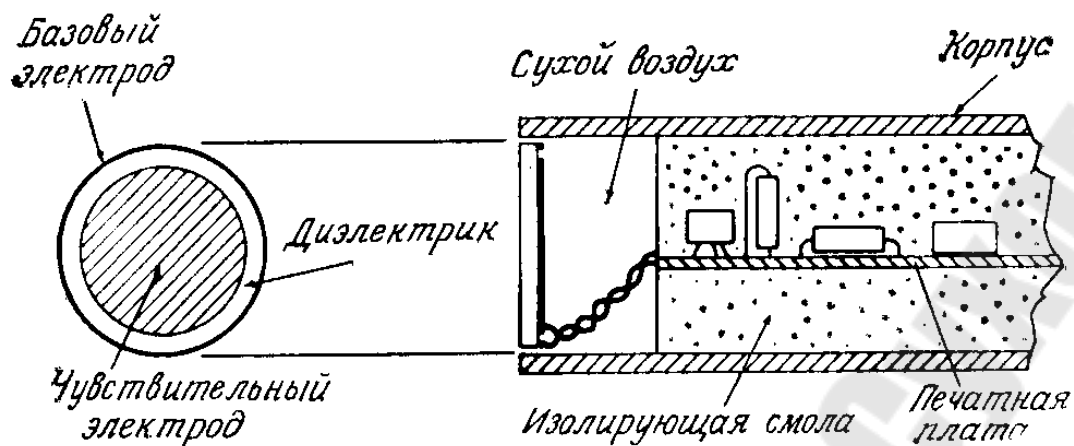


Рисунок 14.5 – Емкостной датчик измерения в ближней зоне

На рис. 14.6 показано изменение емкости в зависимости от расстояния.

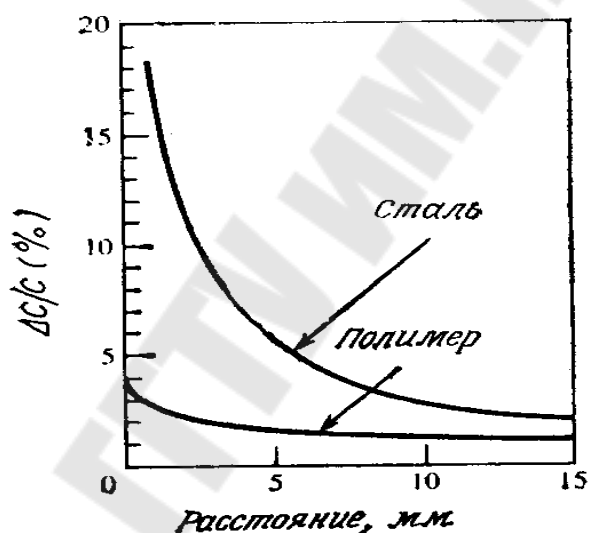


Рисунок 14.6 – Зависимость процентного изменения емкости датчика в ближней зоне от расстояния

Форма характеристики зависит от материала объекта измерения. Обычно такие датчики работают в дискретном пороговом режиме. Изменение емкости выше заданного порога T соответствует наличию объекта, а ниже – его отсутствию в зоне, установленной величиной T .

Ультразвуковые датчики

Характеристики всех рассмотренных датчиков измерения в ближней зоне сильно зависят от материала объектов измерения. Эта зависимость может быть в значительной степени уменьшена путем использования ультразвуковых датчиков (рис. 14.7).

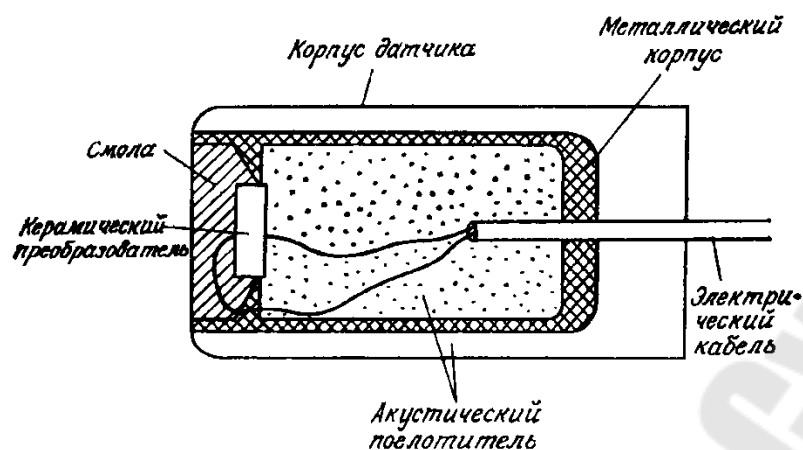


Рисунок 14.7 – Ультразвуковой датчик измерения в ближней зоне

Основным элементом датчика является электроакустический преобразователь, в качестве которого часто используется пьезоэлектрический керамический элемент. Подложка из смолы защищает преобразователь от влажности, пыли и других внешних воздействий. Она служит также как переходное акустическое сопротивление. Поскольку один и тот же преобразователь используется обычно как для передачи, так и для приема сигналов, для обнаружения объектов в ближней зоне необходимо быстрое демпфирование акустической энергии. Это достигается путем применения акустических поглотителей и развязкой преобразователя от корпуса. Конструкция корпуса позволяет получить узкий акустический поток, дающий мощный направленный сигнал.

Для лучшего понимания работы ультразвукового датчика измерителя в ближней зоне надо провести анализ сигналов, используемых как для передачи, так и для приема акустической энергии (рис. 14.8).

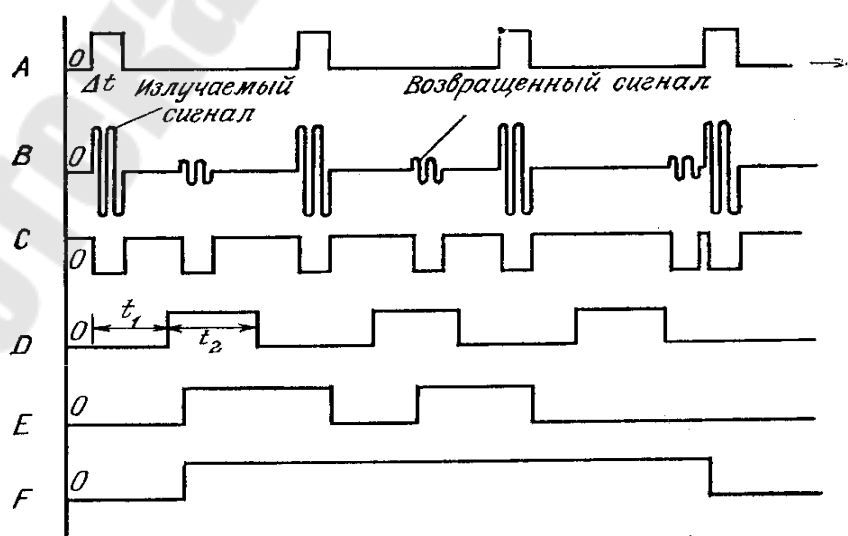


Рисунок 14.8 – Сигналы, используемые в ультразвуковом датчике измерения в ближней зоне

Сигнал А является запорным сигналом, используемым для управления посылаемыми сигналами.

Сигнал В содержит выходной и отраженный сигналы.

Сигнал С – выделяет сигналы передачи или приема. Для того, чтобы установить различие между посылаемыми и принимаемыми сигналами, вводятся временные окна (сигнал D). Временной интервал Δt является минимальным временем измерения, а $\Delta t_1 + \Delta t_2$ – максимальным. Эти временные интервалы соответствуют прохождению определенных расстояний со скоростью распространения звука в используемой рабочей среде.

После получения отраженного сигнала (в то время, когда сигнал D имеет максимальное значение), вырабатывается сигнал E, величина которого принимает нулевое значение после окончания действия передающего импульса А.

Сигнал F вырабатывается при появлении положительного импульса E и сбрасывается в случае отсутствия сигнала E и появления импульса А.

Таким образом, сигнал F будет иметь максимальное значение при наличии объекта на расстоянии, определяемом параметрами сигнала D, т.е. сигнал F является выходным сигналом ультразвукового датчика, работающего в бинарном режиме.

Оптические датчики измерения в ближней зоне

Оптические датчики измерения в ближней зоне подобны ультразвуковым датчикам в том смысле, что они определяют близость объекта по его влиянию на волновой сигнал, проходящий от источника к приемнику. Один из наиболее распространенных методов измерения расстояния в ближней зоне с помощью оптических средств показан на рис. 14.9.

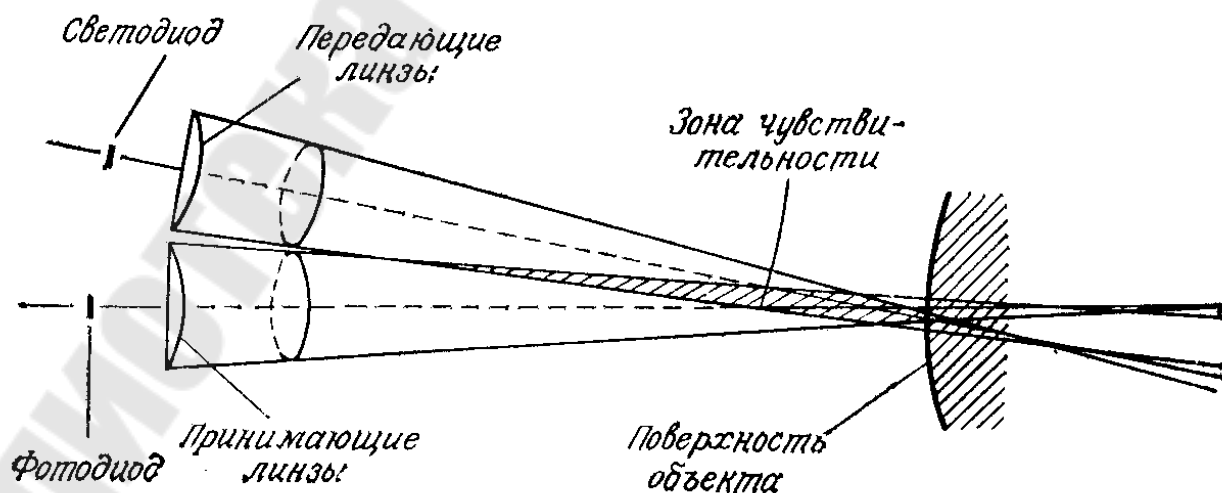


Рисунок 14,9 – Оптический датчик измерения в ближней зоне

Датчик состоит из светодиода, который выполняет роль источника инфракрасного излучения, и фотодиода, используемого в качестве приемника.

Пучки света, сформированные оптическими системами источника и приемника в одной плоскости, пересекаются в вытянутой конусовидной зоне. Эта зона определяет рабочий диапазон датчика, так как отражающая поверхность, которая находится в зоне, освещается источником и одновременно «просматривается» приемником.

Хотя данный метод в принципе похож на метод триангуляции, имеются и различия. Зона измерений (рис. 14.9) обеспечивает не только точечное измерение. Поверхность, находящаяся в любом месте указанной зоны, будет идентифицирована. Для объекта с известной ориентацией и характеристиками отражения можно осуществить калибровку интенсивности изображения в функции расстояния, однако обычно систему, приведенную на рис. 14.9, используют в режиме, при котором формируется дискретный выходной сигнал при достижении интенсивности отраженного светового потока определенного порогового значения.

Тактильные датчики

Тактильные датчики используются в робототехнике для получения информации о контакте манипулятора с объектами в рабочем пространстве. Тактильная информация может использоваться, например, для определения местоположения объекта или его распознавания, а также для управления усилием захватного устройства, воздействующего на объект манипулирования.

Тактильные датчики подразделяются на два основных типа: **дискретные** и **аналоговые**. Дискретные датчики, как правило, срабатывают при наличии или отсутствии объекта, в то время как выходной сигнал аналоговых датчиков пропорционален прикладываемому усилию.

Дискретные пороговые датчики

Дискретные тактильные датчики являются контактными приборами типа микропереключателей. В простейшем случае переключатель размещен на внутренней поверхности каждого пальца манипулятора (рис. 14.10).

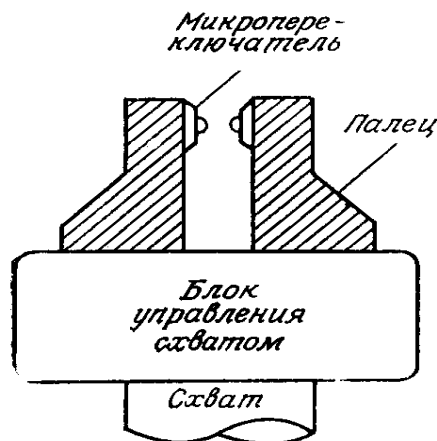


Рисунок 14.10– Простой схват робота с бинарными тактильными датчиками

Этот вариант очувствления используется для определения наличия детали между пальцами схвата. Перемещая манипулятор над объектом и последовательно производя контактирование с его поверхностью, можно также осуществить центрирование манипулятора относительно объекта для его схвата и переноса.

Путем размещения нескольких дискретных тактильных датчиков на внутренней поверхности каждого пальца схвата достигается расширение получаемого объема информации. Кроме того, они часто ставятся на внешней поверхности конечного звена манипулятора для получения управляющих сигналов, используемых при формировании траектории движения манипулятора в рабочем пространстве («ощупывание»).

Аналоговые датчики

Аналоговый тактильный датчик является регистрирующим прибором, выходной сигнал которого пропорционален прикладываемой силе. Простейший из таких приборов состоит из подпружиненного стержня (рис. 14.11), который механически связан с вращающейся осью.

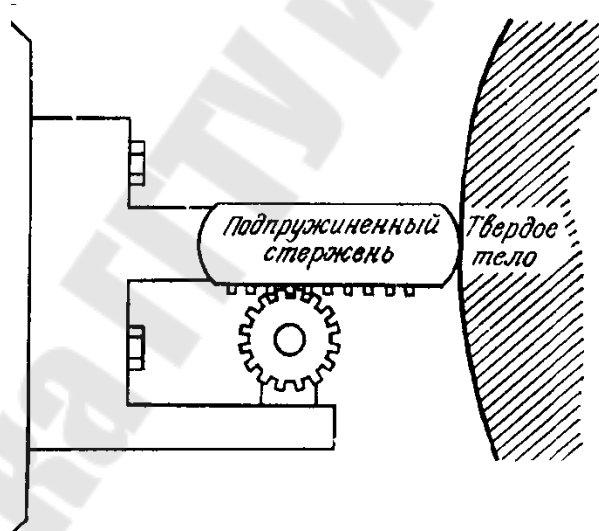


Рисунок 14.11 – Типичный аналоговый тактильный датчик

Горизонтальная сила, действующая на стержень, преобразуется в пропорциональный поворот оси. Этот поворот непрерывно измеряется с помощью потенциометра или кодовым устройством с дискретным выходом. При известной жесткости пружины сила соответствует указанному перемещению.

Для увеличения объема информации о процессе взаимодействия робота с объектом на схвате робота размещают матрицы тактильных датчиков, параметры которых меняются в зависимости от давления («графитовые столбики») (рис. 14.12).

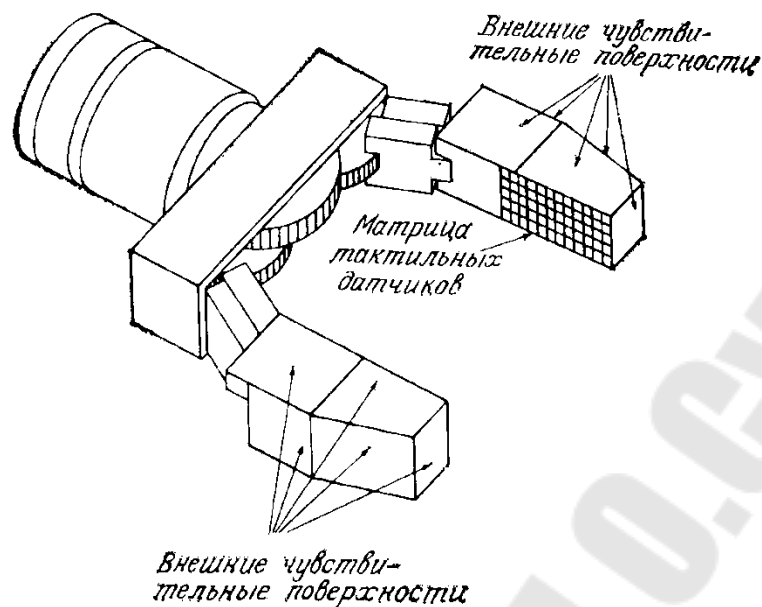


Рисунок 14.2 – Схват робота, оснащенный матрицами тактильных датчиков

В таких устройствах, обычно называемых «искусственной кожей», давление от объекта вызывает соответствующие деформации, которые измеряются как непрерывно меняющееся сопротивление. Изменение сопротивления легко преобразуется в электрический сигнал, амплитуда которого пропорциональна силе, действующей на соответствующую точку поверхности матрицы.

Рассмотренные тактильные датчики измеряют силы, перпендикулярные к чувствительной поверхности датчика. Определение проскальзывания путем измерения тангенциального движения является другой важной задачей тактильного очувствления. Датчик для определения проскальзывания включает свободно вращающийся зубчатый шар, который отклоняет тонкий стержень, установленный на оси проводящего диска. Под диском равномерно расположены электрические контакты. Вращение шара, вызванное проскальзыванием по нему объекта, приводит к вибрации стержня и диска с частотой, пропорциональной скорости вращения шара. От направления вращения зависит, какой контакт будет задействован вибрирующим диском. Усредненное направление проскальзывания определяется по импульсам в соответствующих выходных электрических контурах.

Тема 15. Системы технического зрения

Техническое зрение играет решающую роль в информационном обеспечении робота. Зрение робота можно определить как процесс выделения, идентификации и преобразования информации, полученной из трехмерных изображений. Этот процесс, называемый **техническим** или **машинным зрением**, делится на 6

основных этапов: 1) снятие информации; 2) предварительная обработка информации; 3) сегментация; 4) описание; 5) распознавание; 6) интерпретация.

Снятие информации – процесс получения визуального изображения.

Предварительная обработка информации заключается в использовании таких методов, как понижение шума или улучшение изображения отдельных деталей.

Сегментация – процесс выделения на изображении интересующих объектов.

Описание – определение главных параметров (размер, форма).

Распознавание – процесс идентификации объектов (например, гаечного ключа, болта, шайбы и т.п.).

Интерпретация – выявление принадлежности к группе распознаваемых объектов.

Выделяют три уровня технического зрения: **низкий, средний, высокий**.

Низкий уровень – процесс, являющийся простым с точки зрения осуществления автоматических действий, не требующий наличия искусственного интеллекта. К низкому уровню технического зрения относится снятие и предварительная обработка информации. Этот уровень охватывает процессы, начиная непосредственно от формирования изображения и кончая процессами компенсации (уменьшение шума, выделение простейших параметров изображения, например, разрыва интенсивности).

Средний уровень содержит процессы выделения, идентификации и разметки элементов изображения, полученного на нижнем уровне. К ним относится сегментация, описание и распознавание отдельных объектов.

Высокий уровень содержит процессы, относящиеся к искусственному интеллекту. В то время, как алгоритмы, используемые на нижнем и среднем уровнях технического зрения, разработаны достаточно хорошо, знания о процессах высокого уровня еще недостаточны. Это приводит к введению ограничений и предположений для уменьшения сложности задач.

Техническое зрение отражает трехмерное пространство, используя его плоское изображение. Объемную информацию получают с помощью специальных методов: метода структурного освещения и метода стереоизображения.

Получение изображения

Визуальная информация преобразуется в электрические сигналы с помощью видеодатчиков. После пространственной дискретизации и квантования по амплитуде эти сигналы дают цифровое изображение. Рассмотрим основные методы получения изображения при использовании технического зрения в роботах, влияние дискретизации на пространственное разделение и влияние квантования по амплитуде на разделение по интенсивности.

Основными устройствами, используемыми в техническом зрении роботов, являются телевизионные камеры на основе видеоконвертеров или твердотельными приборами с зарядовой связью (ПЗС).

Видикон представляет собой цилиндрическую трубку, содержащую с одного конца электронную пушку, а с другого – экран и мишень (рис. 15.1). Электронный луч фокусируется и отклоняется с помощью напряжения, прикладываемого к катушкам. Отклоняющий контур обеспечивает сканирование луча по внутренней поверхности мишени для «считывания» изображения. Внутренняя поверхность стеклянного экрана покрыта прозрачной металлической пленкой, которая образует электрод, формирующий электрический видеосигнал. На металлическую пленку нанесен тонкий фоточувствительный слой мишени, состоящий из мелких шаровидных частиц, сопротивление которых обратно пропорционально интенсивности светового потока. За фоточувствительной мишенью расположена положительно заряженная тонкая проволочная решетка, которая тормозит электроны, испускаемые пушкой, так что они попадают на мишень со скоростью, близкой к нулю.

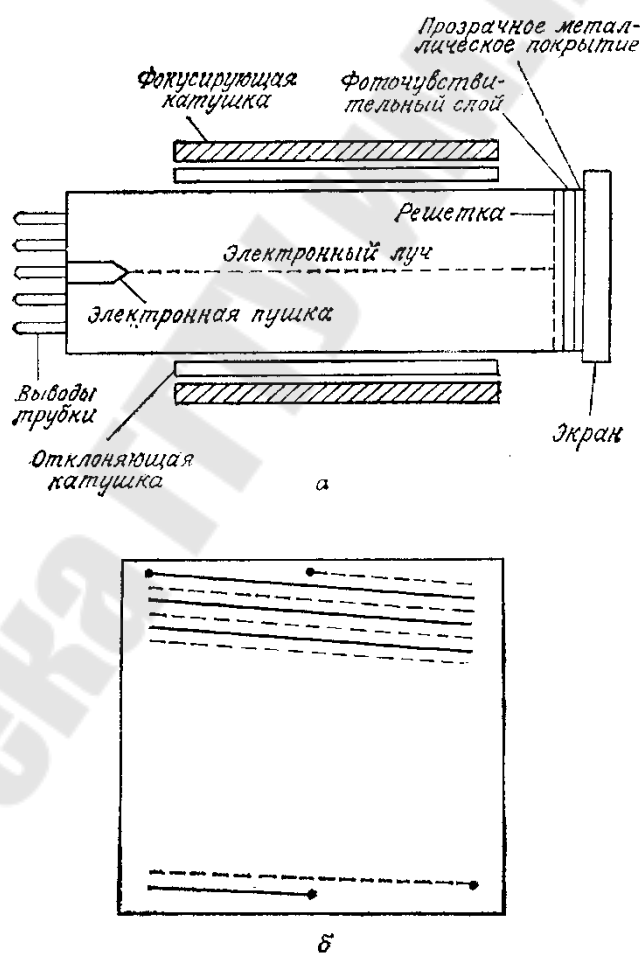


Рисунок 15.1 – Схема трубки видикона (а) и сканирование электронным лучом (б)

В нормальном режиме на металлическое покрытие экрана подается положительный потенциал. При отсутствии света фоточувствительный материал ведет себя как диэлектрик, так как потенциал на внутренней поверхности мишени, вызываемый электронным лучом, компенсируется положительным зарядом на металлическом покрытии. Когда на поверхностный слой мишени попадает свет, его

сопротивление падает и появляется электрический ток, нейтрализующий положительный заряд. Величина тока пропорциональна числу перемещающихся электронов и, следовательно, интенсивности светового потока. Это изменение тока после его обработки в электронном блоке формирует видеосигнал.

Частота сканирования, принятая в системах технического зрения, 30 раз в секунду. Полный объем сканирования (кадр) состоит из 525 линий, 480 из которых содержат информацию об изображении. Для повышения четкости изображения сканируют полукадры (262,5 линии) с удвоенной скоростью (60 раз в секунду).

Устройства ПЗС подразделяются на два типа:

- датчики линейного сканирования;
- датчики с плоскостной структурой.

Основной частью ПЗС-датчиков является ряд кремниевых чувствительных элементов, называемых фотоячейками. Фотоны от отображаемого объекта проходят через входную прозрачную поликристаллическую кремниевую структуру и поглощаются в кристаллах кремния, образуя пары «электрон-дырка». Полученные фотоэлектроны собираются на фотоячейках, при этом величина заряда на каждой фотоячейке пропорциональна соответствующей интенсивности светового потока. Типичный датчик линейного сканирования (рис. 15.2) состоит из ряда фоточувствительных элементов, из двух шин, используемых для передачи содержимого с фоточувствительных элементов в транспортные регистры, а также из выходной шины, служащей для передачи содержимого из транспортных регистров на усилитель. На выходе усилителя формируется сигнал напряжения, величина которого пропорциональна содержимому фотоячеек.

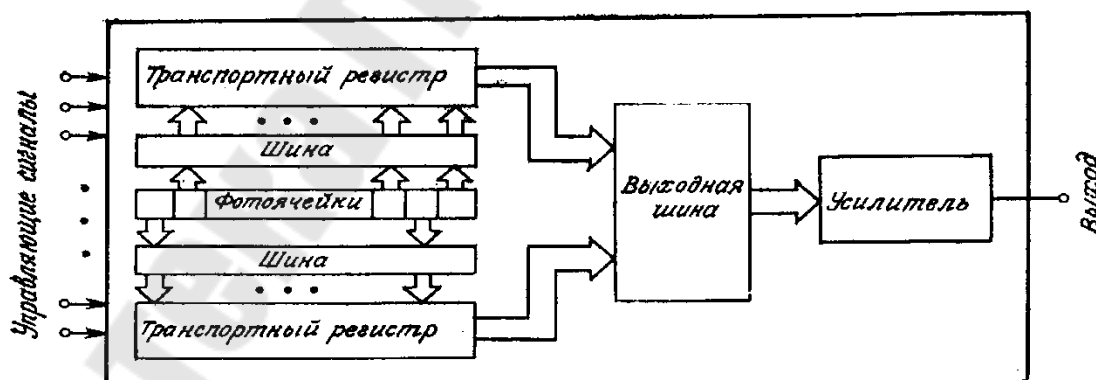


Рисунок 15.2 –ПЗС-датчик линейного сканирования

ПЗС-датчики с плоскостной структурой аналогичны датчикам линейного сканирования с тем отличием, что в них фотоячейки расположены в форме матрицы, а между рядами фотоячеек имеется комбинация переходных транспортных регистров (рис. 15.3).

Датчики линейного сканирования имеют от 256 до 2048 фотоэлементов. Датчики с плоскостной структурой имеют от 32×32 до 1024×1024 элемента и больше.

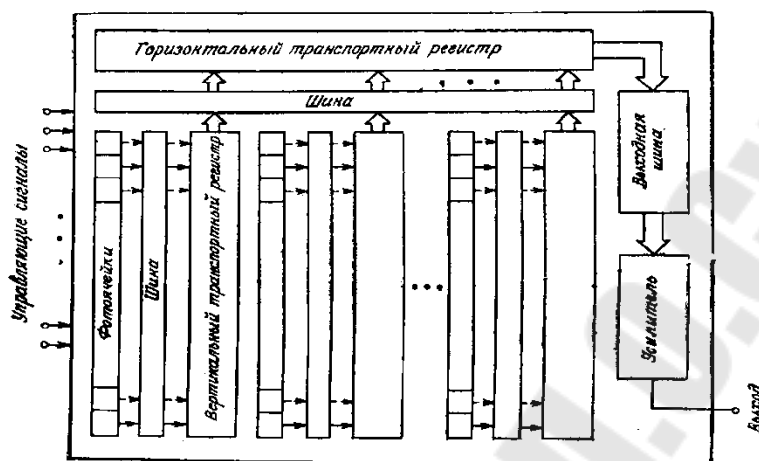


Рисунок 15.3 – ПЗС-датчик с плоскостной структурой

Обозначим через $f(x, y)$ двумерное изображение (рис. 15.4), получаемое телевизионной камерой или другим устройством, дающим изображение.

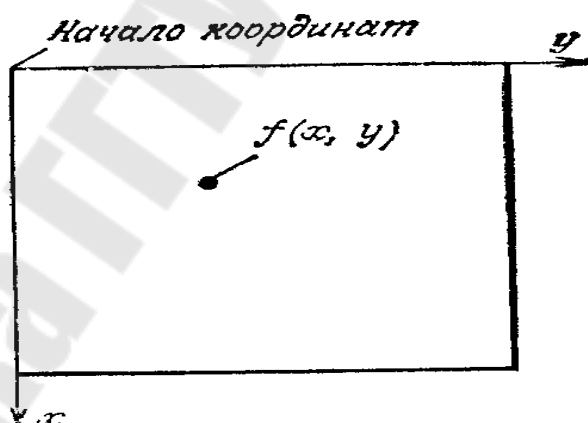


Рисунок 15.4 – Обозначения координат при описании изображения

Здесь x и y – пространственные координаты (т.е. координаты плоскости изображения), а величина f в произвольной точке (x, y) пропорциональна яркости (интенсивности) изображения в этой точке.

Предположим, что непрерывное изображение дискретизировано равномерно на N рядов и M столбцов, причем каждая дискретная величина проквантована по интенсивности. Такая система, называемая **цифровым изображением**, может быть представлена в виде:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix}, \quad (15.1)$$

где x и y теперь дискретные переменные:

$$x = 0, 1, 2, \dots, N-1; \quad y = 0, 1, 2, \dots, M-1.$$

Каждый элемент системы называется *элементом изображения*, *элементом картинка* или *пикселом*. В соответствии с рис. 24.4 можно отметить, что $f(0,0)$ является пикселом начала координат изображения, $f(0,1)$ – правый от него пиксел и т. д.

Например, изображение дискретизировано в систему пикселов размером $N \times M$ с $N=512$, интенсивность каждого пиксела квантована по одному из 256 дискретных уровней. Для получения качественной черно-белой телевизионной картинка требуется 512×512 пикселов со 128 уровнями интенсивности. Приемлемая структура технического зрения должна иметь как минимум разрешающую способность 256×256 пикселов с 64 уровнями интенсивности.

Методы освещения

В системах технического зрения используются 4 основных схемы освещения:

- метод рассеянного освещения (для объектов с гладкими поверхностями правильной формы) (рис. 15.5, а);
- теневое освещение (рис. 15.5, б) дает черно-белое (дискретное) изображение;
- метод структурного освещения (15.5, в) заключается в проецировании на рабочую поверхность световых точек, полос или решеток;
- метод направленного освещения (рис. 15.5, г) используется в основном для обследования объекта (обнаружение трещин, впадин и пр.).

Метод структурного освещения имеет два важных преимущества перед другими. Первое преимущество заключается в упрощении задачи нахождения объекта за счет подачи в рабочее пространство известного светового рисунка, по искажению которого определяется наличие объекта. Второе преимущество – возможность получения пространственных характеристик объекта по анализу формы искажений светового рисунка.

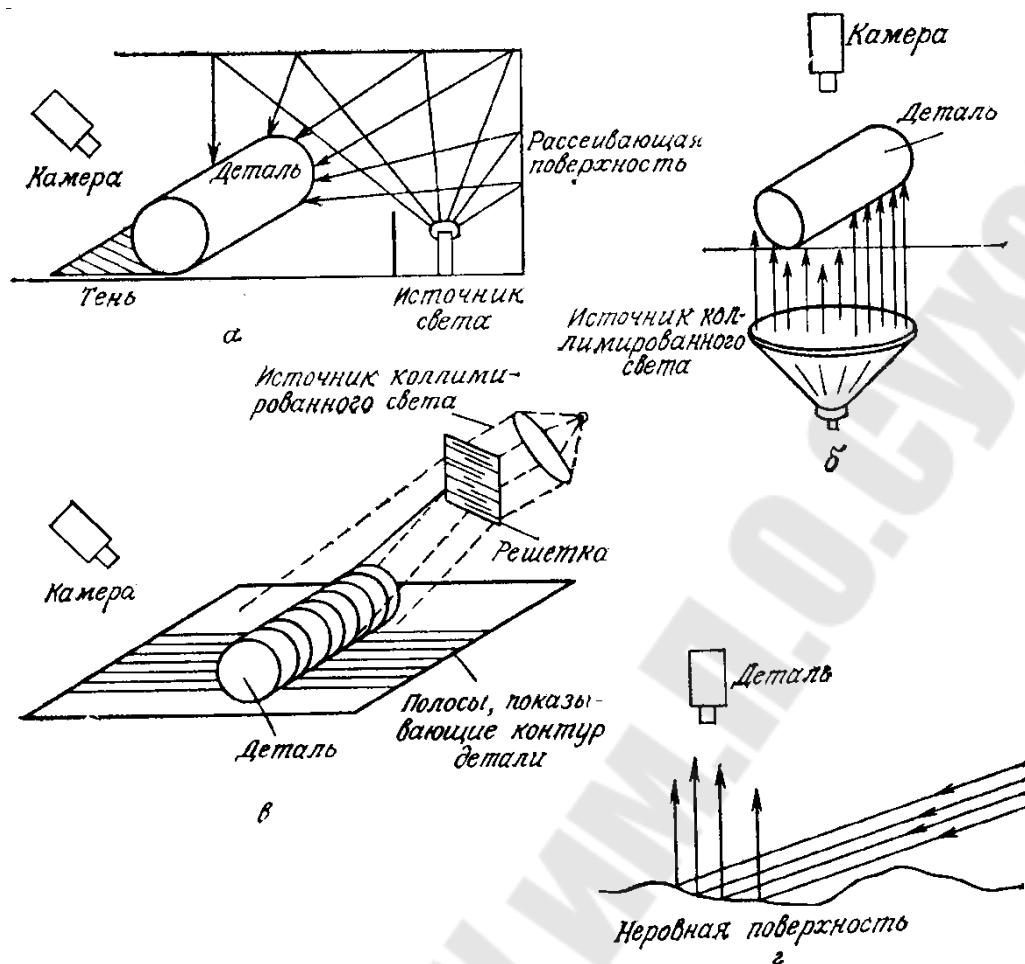


Рисунок 15.5 – Четыре основные схемы освещения

Стереοизображение

При необходимости получения глубины изображения используют стереοизображение. Стереοизображение включает два отдельных вида изображаемого объекта (рис. 15.6), например пространственной точки W .

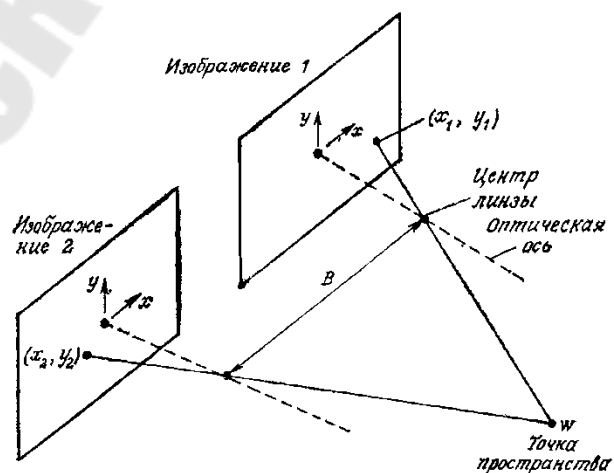


Рисунок 15.6 – Схема получения стереοизображения

Расстояние между центрами двух линз называется *базовой линией*. Требуется определить координаты (X, Y, Z) точки \mathbf{W} , заданной точками ее изображения (x_1, y_1) и (x_2, y_2) . Предполагается, что камеры идентичны и системы координат обеих камер полностью совпадают, differing только расположением их начал.

Допустим, что первая камера совмещена с декартовой системой координат (рис. 15.7).

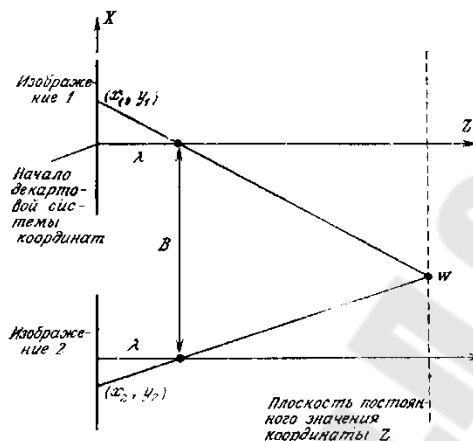


Рисунок 15.7 – Вид сверху на рис. 15.6 при совмещении первой камеры с декартовой системой координат

Тогда точка \mathbf{W} лежит на линии с координатами:

$$X_1 = \frac{x_1}{\lambda}(\lambda - Z_1), \quad (15.2)$$

где индексы у X и Z обозначают, что к началу декартовой системы координат передвинута первая камера, а вторая камера и точка \mathbf{W} также переместятся в этой системе. При этом сохраняется относительное расположение элементов системы, показанное на рис. 15.5. Если вместо этого к началу декартовой системы координат передвинута вторая камера, то точка \mathbf{W} лежит на линии с координатами:

$$X_2 = \frac{x_2}{\lambda}(\lambda - Z_2). \quad (15.3)$$

Однако благодаря наличию расстояния между камерами и тому, что координаты Z точки \mathbf{W} одинаковы в обеих системах координат камер, имеем:

$$X_2 = X_1 + B \quad (15.4)$$

и

$$Z_2 = Z_1 = Z, \quad (15.5)$$

где B – базовая линия.

Подставляя уравнения (15.4) и (15.5) в уравнения (15.2) и (15.3), получим:

$$X_1 + B = \frac{x_2}{\lambda}(\lambda - Z) \quad (15.6)$$

$$X_1 = \frac{x_1}{\lambda}(\lambda - Z). \quad (15.7)$$

Вычитая уравнение (15.7) из уравнения (15.6) и решая его относительно Z , получим:

$$Z = \lambda - \frac{\lambda B}{x_2 - x_1}. \quad (15-8)$$

Отсюда видно, что координата Z точки **W** легко вычисляется при известной разности между соответствующими координатами x_2 и x_1 изображения, а также значений базовой линии и фокусного расстояния.

Системы технического зрения высокого уровня

Системы технического зрения можно отнести к классу «интеллектуальных» машин, если они обладают следующими признаками «интеллектуального поведения»:

- 1) возможностью выделения существенной информации из множества независимых признаков;
- 2) способностью к обучению на примерах и обобщению этих знаний с целью их применения в новых ситуациях;
- 3) возможностью восстановления событий по неполной информации;
- 4) способностью определять цели и формулировать планы для достижения этих целей.

В основе технического зрения лежит аналитическая формализация, направленная на решение конкретных задач, связанных с задачами сегментации, описания и распознавания отдельных объектов.

Сегментация

Сегментацией называется процесс подразделения сцены на составляющие части или объекты. Сегментация является одним из основных элементов работы автоматизированной системы технического зрения, так как именно на этой стадии обработки объекты выделяются из сцены для дальнейшего распознавания и анализа. Алгоритмы сегментации основываются на двух фундаментальных принципах: *разрывности* и *подобии*.

В первом случае основной подход базируется на определении контуров, а во втором – на определении порогового уровня и расширении области. Эти понятия применимы как к статическим, так и к динамическим (зависящим от времени) сценам.

Проведение контуров и определение границ

Основой проведения контуров является определение разрывов в интенсивности представления образа объекта. В идеальном случае эти методы определяют пиксели, лежащие на границе между объектом и фоном. На практике данный ряд пикселей редко полностью характеризует границу из-за шума, разрывов на границе вследствие неравномерности освещенности и других эффектов, приводящих к размытию изображения. Таким образом, алгоритмы обнаружения контуров сопровождаются процедурами построения границ объектов из соответствующих последовательностей пикселей, например, методом *локального анализа*.

Локальный анализ. Одним из наиболее простых подходов соединения точек контура является анализ характеристик пикселей в небольшой окрестности (например, в окрестности размером 3×3 или 5×5) каждой точки (x, y) образа, который уже подвергся процедуре обнаружения контура. Все точки, являющиеся подобными, соединяются, образуя границу из пикселей, обладающих некоторыми общими свойствами.

Для установления подобия пикселей контура необходимо определить:

- 1) величину градиента, требуемого для построения контурного пикселя;
- 2) направление градиента.

Первая характеристика обозначается величиной $G[f(x, y)]$. Пиксел контура с координатами (x', y') подобен по величине в определенной ранее окрестности (x, y) пикселу с координатами (x, y) , если справедливо неравенство:

$$\left| G[f(x, y)] - G[f(x', y')] \right| \leq T, \quad (15.9)$$

где T – пороговое значение.

Направление градиента устанавливается по углу вектора градиента:

$$\theta = \arctg \left[\frac{G_y}{G_x} \right], \quad (15.10)$$

где θ - угол (относительно оси x), вдоль которого скорость изменения имеет наибольшее значение.

Тогда можно сказать, что угол пикселя контура с координатами (x', y') в некоторой окрестности (x, y) подобен углу пикселя с координатами (x, y) при выполнении следующего неравенства:

$$|\theta - \theta'| < A, \quad (15.11)$$

где A – пороговое значение угла.

Основываясь на этих предположениях, мы соединяем точку в некоторой окрестности (x, y) с пикселом, имеющим координаты (x, y) , если удовлетворяются критерии по величине и направлению. Двигаясь от пиксела к пикселу и представляя каждую присоединяемую точку как центр окрестности, процесс повторяется для каждой точки образа. Так воссоздается контур объекта.

РАЗДЕЛ 5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РОБОТОВ

Тема 16. Основные принципы организации движения роботов

Робот и другие средства робототехники – это типичные динамические объекты, при чем работающие в основном в неустановившихся режимах. С точки зрения математического описания и аналитического изучения эти объекты представляют большие трудности в силу значительного числа степеней подвижности, нестационарности, нелинейностей и высокого порядка описывающих их уравнений. Поэтому основными методами изучения роботов являются их компьютерное моделирование и физический эксперимент.

Прежде чем приступить к математическому описанию роботов рассмотрим некоторые качественные положения, которыми следует руководствоваться при оценке и синтезе их динамических характеристик.

1. Свободные движения манипуляторов должны быть максимально согласованы с вынужденными. (*Принцип соответствия свободных и вынужденных движений.*) Иными словами, механическую часть и приводы манипуляторов следует выбирать, исходя из типовых движений, которые должен совершать манипулятор, чтобы его управляемые движения реализовывались наиболее экономно и при этом обеспечивалось высокое качество управления. Например, в параграфе 3.2 при описании систем координат манипуляторов было показано, какие типы движений наиболее просто реализуются в каждой системе координат.

2. Управляемое движение в общем случае должно содержать две фазы – грубую и точную. (*Принцип последовательного разделения движений.*)

В движениях человека четко различаются две составляющие: быстрое, но неточное “баллистическое” движение и медленное, более точное и осмысленное движение в завершающей фазе. Такое разделение является компромиссным решением терминальных задач с противоречивыми требованиями по скорости и точности движения. Аналогичным образом необходимо строить и движения роботов: на разных этапах движения оперировать разными критериями качества и соответственно получать разные способы реализации движений, включая разные способы управления.

Например, при приближении рабочего органа манипулятора к объекту, с которым предстоит выполнение какой-то технологической операции, возможен переход от программного к адаптивному управлению по относительным координатам, связанным с этим объектом. Аналогично при управлении передвижением мобильного робота при приближении к месту остановки обычно переходят от управления по скорости к позиционному управлению.

3. Движения по отдельным степеням подвижности должны быть согласованы исходя из задачи общего движения робота. (*Принцип параллельного разделения движений.*)

Требуемые движения рабочего органа манипулятора реализуются как совокупность его составляющих по отдельным степеням подвижности. Соответственно этому требования, предъявляемые к результирующему движению (по точности, быстродействию, грузоподъемности и т. д.), должны быть оптимально распределены между этими составляющими, которые реализуются с помощью определенных приводов и кинематических схем, исходя из критериев оптимальности, относящихся к манипулятору в целом (в том числе с учетом его массы, энергопотребления, стоимости, надежности и т. д.).

Например, целесообразно выбирать кинематику манипулятора таким образом, чтобы к степеням подвижности, которые определяют грузоподъемность всего манипулятора, требования по качеству управления были наиболее облегченными, и, наоборот, чтобы были максимально разгружены приводы, обеспечивающие заданную точность позиционирования. Аналогично следует подходить к разделению требования по быстродействию.

4. Различные способы управления движением должны применяться в оптимальном сочетании и при максимальном использовании априорной информации, исходя из общих требований к заданному движению манипулятора. (*Принцип сочетания различных способов управления.*)

В управлении манипулятором, включая как общие уровни управления, так и управление приводами отдельных степеней подвижности, должны обоснованно сочетаться различные виды автоматического управления – программное, адаптивное, интеллектуальное, а также управление человеком-оператором. Иными словами, это управление как для отдельных составляющих движения по отдельным степеням подвижности, так и по фазам во времени в общем случае должно быть комбинированным. При этом в основе выбора способов управления, как и в предыдущем случае, должна лежать оптимизация по общесистемным критериям качества. Из этого следует, в частности, что для упрощения задачи управления, во-первых, необходимо максимально использовать априорную информацию, как о внешней среде, так и о роботе. Для этого надо стремиться максимально детерминировать внешнюю среду, например, при необходимости осуществлять распознавание ее объектов, прибегать к их маркировке и т. д. (см. ниже пункт 8). Во-вторых, необходимо по возможности снизить требования к качеству управления путем применения, в частности, автоматической компенсации влияния возмущающих факторов (нестабильность внешней среды, параметров энергопитания и т. д.).

5. Движения по отдельным степеням подвижности должны быть оптимально распределены по времени. (*Принцип оптимальной последовательности движений по степеням подвижности.*)

Движения по отдельным степеням подвижности принципиально могут выполняться одновременно, последовательно и в различных промежуточных комбинациях. В первом предельном случае, очевидно, обеспечивается наибольшее

быстродействие перемещения рабочего органа манипулятора, а во втором – при последовательном включении степеней подвижности – могут быть максимально упрощены управление и система приводов (вплоть до применения одного привода для нескольких степеней подвижности). В каждом конкретном случае существует определенная оптимальная последовательность движений по отдельным степеням подвижности.

6. Движения по отдельным степеням подвижности должны быть оптимально взаимосвязаны.

Движения, одновременно совершаемые по отдельным степеням подвижности, могут взаимно влиять друг на друга из-за связей через общую нагрузку, общие приводы или общий источник питания. Часто для упрощения задач управления манипулятором стремятся убрать эти взаимные влияния путем введения специальных перекрестных компенсационных связей по управлению отдельными степенями подвижности или соответствующего усложнения кинематической схемы манипулятора. Однако хотя такое автономное управление, действительно, проще, оно отнюдь не обеспечивает заведомо наилучшего качества управления движением манипулятора в целом. Поэтому для каждого конкретного манипулятора и, более того, для различных типов движения одного и того же манипулятора существует оптимальный алгоритм связанного управления приводами манипулятора, который должен быть определен и по возможности реализован. Примерами типовых алгоритмов такого связанного управления являются управление по принципу ведущего звена и параллельное централизованное управление всеми приводами, рассчитанное с учетом их возможных взаимных влияний и дополненное системой коррекции отклонений движений относительно заданных из центра.

7. Управление движением в общем случае должно быть многоуровневым. *(Принцип иерархического управления.)*

Речь идет о необходимости оптимального разделения задачи управления роботом на несколько уровней управления. При этом для разных задач общее число используемых уровней будет различным: от прямого управления с верхнего уровня отдельными приводами до использования ранее отработанных типовых алгоритмов и программ, комбинируемых с верхних уровней.

8. Требования к движениям робота должны быть дополнены требованиями к работающему совместно с ним другому оборудованию, а также и к объектам манипулирования. *(Принцип взаимного согласования робота и совместно работающего оборудования.)*

При формировании требований к движениям робота при его работе с другим оборудованием необходимо учитывать, что эти требования могут быть существенно облегчены за счет часто несущественных изменений конструкции и режима работы этого оборудования. То же относится и к конструкции изделий, которыми должен манипулировать робот. Сюда относится, например, устройство различных технологических направляющих, упоров и фасок для облегчения захвата и

позиционирования перемещаемых предметов, сочленения их друг с другом при сборке и т. п.

Тема 17. Математическое описание приводов

На рисунке 17.1 показана функциональная схема робота.



$УУ_0$ – общее (центральное) устройство управления, $УУ_n$ – $УУ$ привода, $Д$ – двигатель, $М$ – механизм, $МС$ – механические системы – манипуляционная и передвижения, $СС$ – сенсорные системы

Рисунок 17.1 – Функциональная схема робота

Начнем его математическое описание с манипуляторов. На рисунке 17.2. приведена кинематическая схема шарнирного манипулятора, на которой даны нужные для этого обозначения. Входные переменные механической системы манипулятора – это усилия Q_g ($Q_{g1}, Q_{gi}, \dots, Q_{gn}$) от двигателей $Д$, действующие по n степеням подвижности, а выходные – x – координаты, т. е. перемещение и ориентация рабочего органа, а также усилие, с которым он действует на объекты внешней среды. Наибольшее число степеней подвижности рабочего органа m равно шести: три координаты, определяющие положение его центра и три угла ориентации. Кроме рабочего органа могут представлять интерес и координаты $x(x_1, x_2, \dots, x_n)$ промежуточных звеньев, определяющие его текущую конфигурацию.

Координаты x определяются в системе координат, неподвижной относительно его основания (рис. 17.2), и называются абсолютными (опорными, инерциальными). Относительное положение соседних звеньев манипулятора

соответственно определяется их относительными (обобщенными) координатами $q(q_1, q_2, \dots, q_n)$, где n – число степеней подвижности манипулятора.

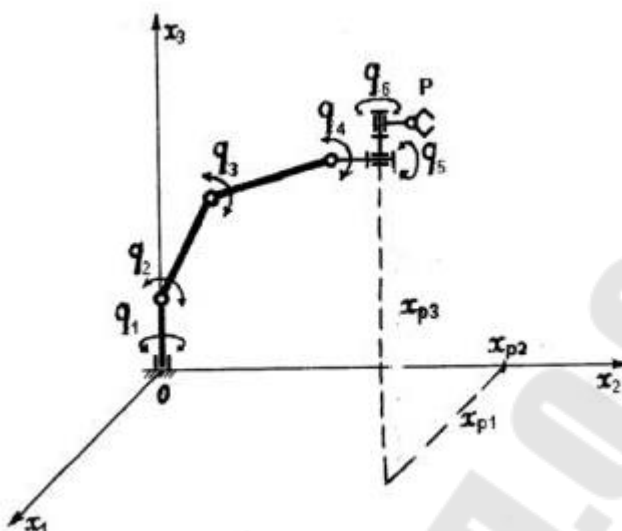


Рисунок 17.2 – Кинематическая схема трехзвенного шарнирного манипулятора: P — рабочий орган, q_1, q_2, q_3 — переносные степени подвижности, q_4, q_5, q_6 — ориентирующие степени подвижности

Математическое описание механической системы манипулятора связывает указанные выше его выходные переменные x_i , Q_i со входными Q_{gi} . В свою очередь абсолютные координаты x_i определяются относительным положением всех звеньев манипулятора, т.е. относительными координатами $q(q_1, q_2, \dots, q_n)$.

В целом механическая система манипулятора описывается системой двух следующих уравнений:

$$\begin{aligned} x &= f(q), \\ q &= A \begin{pmatrix} Q_g \\ Q_v \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (17.1)$$

Здесь первое уравнение — уравнение кинематики манипулятора, выражающее абсолютные координаты его звеньев x через относительные координаты q , а второе — уравнение динамики для $q(q_1, q_2, \dots, q_n)$, где $Q_g (Q_{g1}, Q_{g2}, \dots, Q_{gn})$ — усилия двигателей, действующие по соответствующим координатам звеньев манипулятора q , а $Q_v (Q_{v1}, Q_{v2}, \dots, Q_{vn})$ — возмущающие и противодействующие усилия, A_m -оператор механической системы манипулятора. Уравнения для усилий, с которыми манипулятор взаимодействует с объектами внешней среды будут рассмотрены ниже в конце этого пункта.

Рассмотрим уравнения (17.1) последовательно. Уравнение $x = f(q)$ представляет собой выражение для пересчета координат, которое выводится по правилам аналитической геометрии. Пусть требуется найти это выражение для конца

манипулятора, т. е. для абсолютных координат его рабочего органа $(x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{p6})$. Введем на каждом звене свою систему прямоугольных координат, в которой происходит перемещение последующего звена при изменении его относительной координаты q_i . Если вывести выражение для координат рабочего органа в такой системе координат предыдущего звена, затем аналогично выразить координаты рабочего органа, пересчитанные в систему координат предыдущего $(n-1)$ звена через координаты предшествующего ему $(n-2)$ звена, то действуя таким образом, дойдем до основания манипулятора, с которым связана система абсолютных координат x . В результате получим искомое выражение для абсолютных координат рабочего органа $(x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{p6})$ через относительные координаты всех звеньев $q(q_1, q_2, \dots, q_n)$.

Если осуществляется только параллельное смещение в случае поступательного движения звена, уравнение пересчета координат точки Р из системы (O', x_1', x_2', x_3') в систему (O, x_1, x_2, x_3) (рисунок 17.3) описывается векторно-матричным уравнением и принимает вид

$$r = r' + n. \quad (17.2)$$



Рисунок 17.3 – Система пересчета координат

Система уравнений (17.2), составленных для всех подвижных звеньев манипулятора, дает искомое уравнение кинематики.

В заключение рассмотрения уравнения кинематики необходимо отметить, что при его решении должны быть учтены конструктивные и прочие ограничения относительных перемещений звеньев q_i .

Перейдем теперь к рассмотрению второго уравнения системы (17.1) - уравнения динамики $q=A_m(Q_g, Q_6)$, которое связывает относительные координаты звеньев q_i с действующими на систему движущими Q_{gi} и противодействующими Q_{6i} силами. В зависимости от решаемых задач это уравнение может быть выведено в различной форме из числа известных в теоретической механике - в форме уравнений Ньютона, Гаусса, Даламбера, Лагранжа и их модификаций. Рассмотрим вывод уравнения динамики механической системы манипулятора с помощью уравнения Лагранжа второго рода, поскольку оно наиболее удобно при исследовании динамики манипуляторов.

Для i – звена манипулятора уравнение Лагранжа второго рода в общем виде записывается следующим образом:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i, i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (17.3)$$

где $L=K - \Pi$ – функция Лагранжа, а K и Π – соответственно кинетическая и потенциальная энергии звена; $Q_i=Q_{gi} - Q_{6i}$ – результирующая сила, приведенная к выходу привода звена. Вводя замены и решая уравнение выходим на структурную схему механической системы трехзвенного манипулятора (рисунок 17.4)

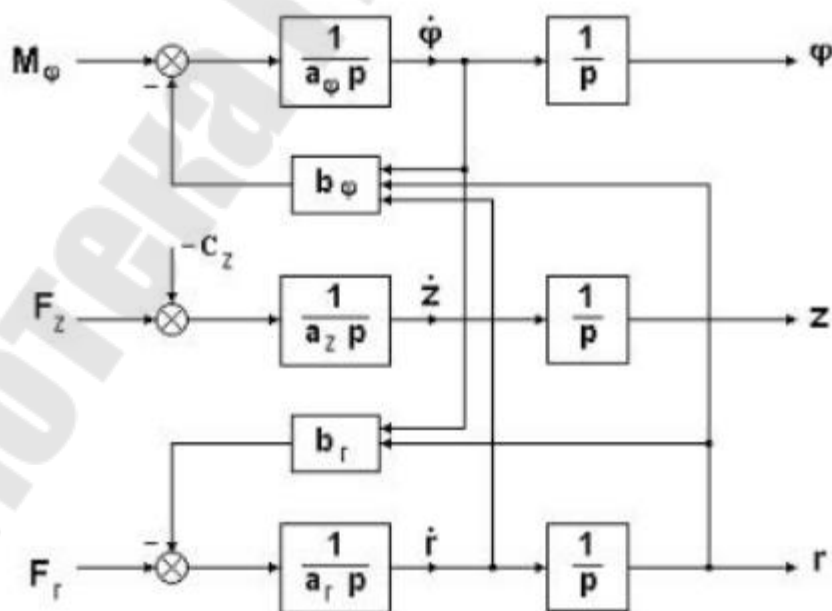


Рисунок 17.4 – Структурная схема механической системы трехзвенного манипулятора

В целом согласно рассмотренным уравнениям механической системы манипулятора он как объект управления представляет собой весьма сложный динамический объект – многомерный со взаимосвязанными переменными, нелинейный и нестационарный. Выходными переменными этого объекта являются шесть координат рабочего органа – три координаты центра и три угла его ориентации и действующие по этим координатам силы, с которыми рабочий орган взаимодействует с объектами внешней среды. Из этого числа управляемыми переменными могут быть как координаты рабочего органа, так и действующие по их направлениям усилия, но общим числом – до шести переменных. Например, при выполнении технологической операции нанесения покрытий с помощью пульверизатора требуется управление всеми шестью координатами. Операция снятия шероховатостей и заусенец с поверхностей требует наряду с управлением координатами для осуществления сканирования рабочим инструментом по этой поверхности еще управления силой, направленной по нормали к ней.

Сегодня в реальных системах управления манипуляторами управление координатами рабочего органа осуществляется, как правило, не путем измерения этих выходных координат x_p с охватом управляемого объекта обратной связью по x_p , а по промежуточным переменным в виде относительных координат q_i . Такое решение объясняется сложностью измерения абсолютных координат рабочего органа. Однако в результате точность позиционирования рабочего органа манипулятора зависит от точности и стабильности датчиков координат q_i , а также от стабильности зависимости x_p от q_i . В результате требования к точности датчиков q_i , оказываются в несколько раз выше требуемой точности управления x_p .

Управление усилием на рабочем органе манипулятора осуществляется обычно с помощью m -компонентных датчиков усилия, расположенных в запястьи рабочего органа.

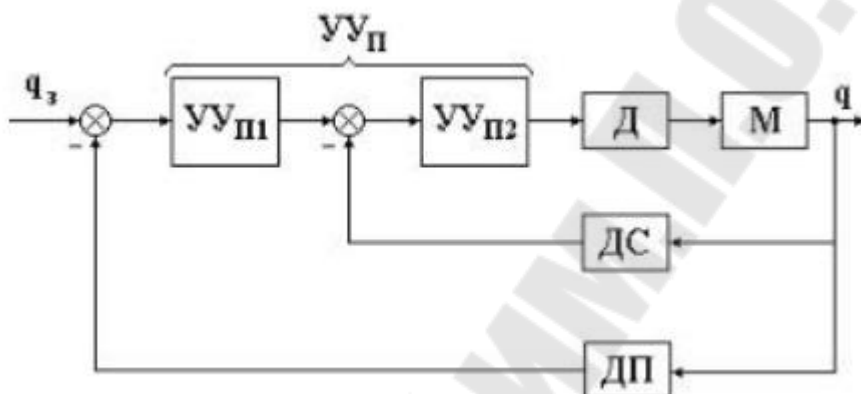
При выводе уравнения динамики для механической системы манипулятора предполагалось, что его звенья абсолютно жесткие. В действительности они могут претерпевать определенные деформации распределенные и сосредоточенные. При их учете в уравнении Лагранжа второго ряда в уравнении манипулятора появятся новые переменные в виде координат упругих деформаций.

Математическое описание манипулятора вместе с приводами можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} x &= f(q), \\ q &= A_m(Q_g, Q_6), \\ Q\dot{d} &= A_n(u_n) \end{aligned} \tag{17.4}$$

Если воспользоваться уравнением динамики манипулятора и линеаризовать уравнение привода типовой схемы (рисунок 17.5), получим следующее описание манипулятора с такими приводами:

$$\begin{aligned} A(q)p^2 + b(pq, q) + c(q) &= Qn - Q\mathfrak{e} \\ Q\mathcal{G} &= Wn2(p) \dots un - J\mathcal{G} p^2 q, \\ un &= Wn1(p)(q - q\mathcal{G}) - Wn3(p)pq. \end{aligned} \quad (17.5)$$



Д — двигатель, М — механизм передачи и преобразования перемещения, ДП, ДС – датчики положения и скорости, УУП, УУП1, УУП2 — устройство управления и две его части

Рисунок 17.5 – Типовая схема приводов манипуляторов:

На рисунке 17.6 показана соответствующая структурная схема.

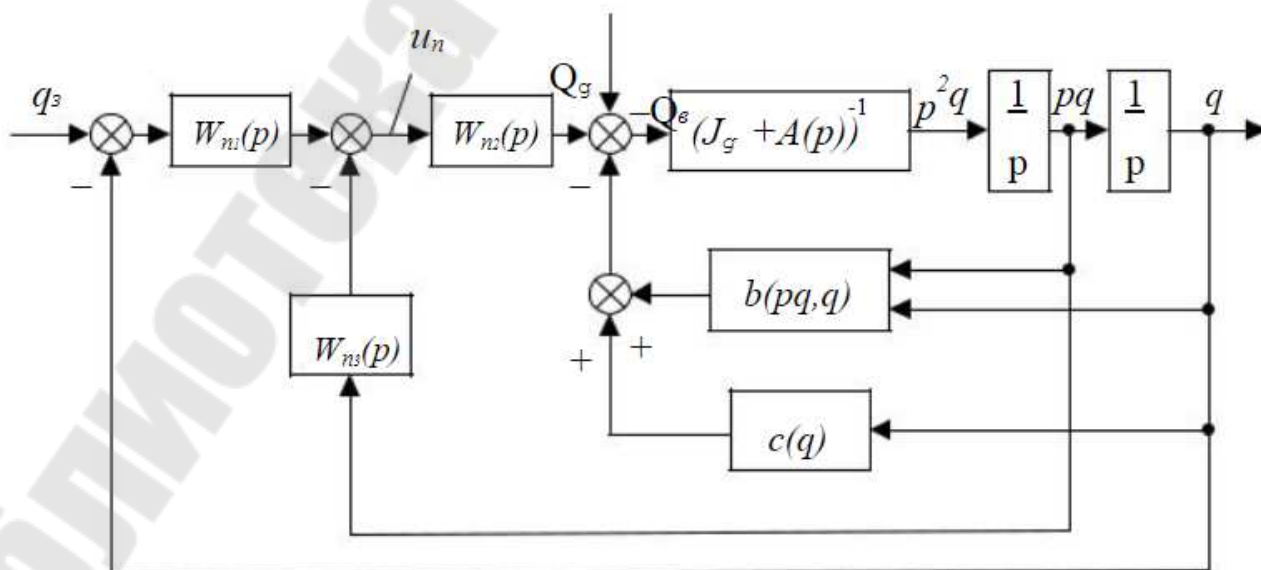


Рисунок 17.6 – Структурная схема манипулятора с приводами

Если дальность передвижения робота сравнима с размером рабочей зоны его манипулятора, математическое описание системы передвижения можно вообще включить в описание манипулятора путем добавления в него степени подвижности системы передвижения. В общем же случае, когда, как чаще всего бывает, манипуляционная система и система передвижения действуют в разное время, в таком объединении нет смысла, так как обе системы все равно должны рассматриваться отдельно.

Механическая часть системы передвижения определяется ее типом – напольная или наземная, для движения в трубопроводах, по вертикальным поверхностям, в воде, под водой или в других средах (воздушные, космические и т.д.). В каждом конкретном случае математическое описание системы передвижения робота определяется ее конструкцией и заимствуется из соответствующей области техники (внутрицеховой транспорт, различные наземные виды транспорта и т.д.).

Особенность приводов и систем управления для систем передвижения роботов в том, что их основной режим – это управление по скорости с переходом на позиционное управление при остановках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основная литература

1. Браммер Ю. А. Импульсные и цифровые устройства: учебник Пашук И. Н. – Москва :Высш. шк., 1999. -351с
2. Несвижский В. Программирование аппаратных средств в Windows. - СПб: БХВ-Петербург, 2008. – 528 с.
3. Преснухин, Л. Н. Расчет элементов цифровых устройств: учебное пособие для вузов Воробьев –Москва :Высшая школа, 1982. -383 с.

Дополнительная литература

4. Карпов В.Э. Мобильные минироботы. Ч.1. Знакомство с автоматикой и электроникой: метод. материалы по проведению занятий со школьниками / Политехн.музей. –М., 2009. – 48 с.
5. Мехатроника: Пер. с Японю./Исии Т., Симояма И., Иноуэ Х и др.- Мир, 1988.-318 с.
6. Накано Э. Введение в робототехнику: Пер. с Япон.- М.: Мир,1988.-318с.
7. Нарышкин А. К. Цифровые устройства и микропроцессоры: учеб. пособие для вузов –Москва :Академия , 2008. -318 с.. – Высшее профессиональное образование
8. Новиков Ю.В. Основы цифровой схемотехники. Базовые элементы и схемы. Методы проектирования. М.: Мир, 2001. – 379 с.
9. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. - 2-е изд., стер. – М.: Машиностроение, 2007. – 256с.
10. Шаньгин Е.С.Управление роботами и робототехническими системами./ Конспект лекций: Уфа-2005, 249с.
11. Хомченко В.Г., Содомин В.Ю. Мехатронные и робототехнические системы.– Омск.:Изд-во ОмГТУ, 2008. – 160с.
12. RASPBERRY PI 2 MODEL B [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/> – Дата доступа: 15.05.2017
13. Юревич Е.И. Основы робототехники.- 2 изд. переработ. и доп.- СПб.:БХВ – Петербург, 2005. – 416с.