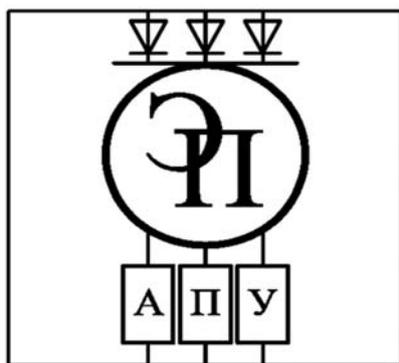


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация
промышленных установок»

СЕНСОРНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ РОБОТОВ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
15.04.06 «Мехатроника и робототехника»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2023

УДК 621.3.049.77
ББК 32.81
С75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» «2» сентября 2022 г., протокол № 2

Составитель О. А. Капитонов

Рецензент Е. В. Ильюшина

Методические рекомендации предназначены для студентов направления подготовки 15.04.06 «Мехатроника и робототехника» очной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

СЕНСОРНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ РОБОТОВ

Ответственный за выпуск	С. М. Фурманов
Корректор	Т. А. Рыжикова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Измерение тензометрическими датчиками	5
2 Лабораторная работа № 2. Исследование фотоэлектрического преобразователя угол-код.....	8
3 Лабораторная работа № 3. Исследование контактных тактильных датчиков.....	15
4 Лабораторная работа № 4. Исследование бесконтактных тактильных датчиков.....	21
5 Лабораторная работа № 5. Исследование датчиков температуры.....	26
6 Лабораторная работа № 6. Исследование локационных датчиков	29
7 Лабораторная работа № 7. Исследование систем технического зрения.....	32
8 Лабораторная работа № 8. Исследование распределенных систем управления	37
Список литературы	40

Введение

Целью дисциплины является изучение информационных датчиков и систем, тактильных систем осязания, систем технического зрения, организации взаимосвязи информационной системы с распределенной системой управления.

Достижение этой цели обеспечивается всем комплексом учебных занятий по дисциплине: лекционным курсом, лабораторным практикумом, циклом практических занятий, а также самостоятельной работой.

В результате освоения учебной дисциплины студент узнает особенности создания и использования информационных датчиков и систем, тактильных систем осязания, систем технического зрения; научится применять полученные знания при создании робототехнических систем с техническим зрением, тактильных систем осязания; овладеет навыками анализа и синтеза современных робототехнических систем в соответствии с заданными техническими требованиями.

1 Лабораторная работа № 1. Измерение тензометрическими датчиками

Цель работы: освоить методику измерения тензометрическими датчиками, изучить их конструкцию и основные характеристики, изучить их принцип работы.

1.1 *Ход выполнения работы*

1.1.1 Изучить принцип работы и основные характеристики тензометрических датчиков, используя подраздел 1.2.

1.1.2 Изучить устройство лабораторного стенда, составить его функциональную схему.

1.1.3 Изучить характеристики установленных на лабораторном стенде моделей тензометрических датчиков, и порядок их использования.

1.1.4 Произвести измерения при помощи тензометрического датчика давления. По результатам измерений составить таблицу зависимости величины выходного сигнала датчика от измеряемой величины давления.

1.1.5 Произвести измерения тензометрическим датчиком силы. По результатам измерений составить таблицу зависимости величины выходного сигнала датчика от приложенной силы.

1.1.6 Произвести измерения тензометрическим датчиком – акселерометром. По результатам измерений составить таблицу зависимости величины выходного сигнала датчика от значения ускорения.

1.1.7 Построить графики зависимостей, полученных по пунктам 1.1.4–1.1.6.

1.1.8 Ответить на контрольные вопросы.

1.2 *Краткие теоретические сведения*

Тензометрический измерительный преобразователь (тензодатчик) – параметрический резистивный преобразователь, который преобразует деформацию твердого тела, вызванную приложенным к нему механическим напряжением, в электрический сигнал. Резистивный тензодатчик представляет собой основание с закрепленным на нем чувствительным элементом. Принцип измерения деформаций с помощью тензометрического преобразователя состоит в том, что при деформации изменяется активное сопротивление тензорезистора. Эффект изменения удельного сопротивления металлического проводника под действием всестороннего сжатия (гидростатического давления) был обнаружен в 1856 г. лордом Кельвином и в 1881 г. О. Д. Хвольсоном. В современном виде тензометрический измерительный преобразователь конструктивно представляет собой тензорезистор, чувствительный элемент которого выполнен из тензочувствительного материала (проволоки, фольги и др.), закрепленный с помощью связующего (клея, цемента) на исследуемой детали. Для присоединения чувствительного элемента в электрическую цепь в тензорезисторе имеются

выводные проводники. Некоторые конструкции тензорезисторов для удобства установки имеют подложку, расположенную между чувствительным элементом и исследуемой деталью, а также защитный элемент, расположенный поверх чувствительного элемента. Несмотря на всеобщую симпатию к тензодатчикам, пневматические и гидравлические датчики все еще используются в некоторых сферах деятельности человека. Например, пневматические датчики нагрузки все еще используются в местах, где очень важен фактор внутренней безопасности и гигиены, тогда как гидравлические датчики нагрузки спасают в отдаленных местах, где нет доступа к источнику бесперебойного питания, т. к. они в нем совсем не нуждаются.

Тензометрический датчик силы представляет собой гибкое тело, которое под влиянием действующей силы подвергается линейной деформации. На подходящих местах тела приклеены чувствительные элементы, так называемые тензометры.

Тензометр – это резистивный элемент, электрическое сопротивление которого вследствие механической деформации (растяжения или сжатия) изменяет свое значение. Действующая сила, таким образом, способствует изменению электрического сопротивления. На датчике обычно расположены четыре тензометра, которые включены в мостовую систему для того, чтобы изменение сопротивления было можно легче определить. По описанному принципу функционируют датчики с металлическими тензометрами. Существуют также иные принципы и типы датчиков, например датчики с полупроводниковыми тензометрами. Полупроводниковые тензометры изготавливают из кремния, поэтому их чувствительность значительно выше, чем у металлических. Однако они очень сильно зависят от температуры и поэтому используются только специальных случаях.

На ином принципе работает пьезоэлектрический датчик силы. Он использует пьезоэлектрическое явление, т. е. возникновение напряжения в кристалле при механическом усилии. С помощью пьезоэлектрического датчика измеряют динамические силы, а для измерения статических сил он не подходит. Существуют и другие виды датчиков, например, вибрационные, гидравлические, электродинамические, магнитоупругие и т. п. Однако ни один из них не применяется так широко, как датчики с металлическими тензометрами. Остальные датчики подходят только для решения специализированных задач, или они очень дороги. По сравнению с ними датчики силы с металлическими тензометрами универсальны: они пригодны для измерения как статических, так и динамических сил.

Параметры тензометрических датчиков силы.

Форма датчика.

Для применения тензометров в конкретных случаях очень важен тип датчика, то есть его форма и возможности закрепления. От формы датчика и материала, из которого он изготовлен, зависят такие параметры, как точность, величина перегрузки и т. п. Поэтому существуют разные типы датчиков, но обычно они являются модификациями нескольких основных типов, таких как мембранные, гибкие, колонные и др.

Диапазон измерения.

Основным параметром тензометрического датчика является его диапазон измерения, который можно повысить максимально на 30 %...50 %. Более высокая перегрузка датчика, хоть и на краткое время, почти всегда ведет к его повреждению. Такой датчик уже нельзя исправить, поскольку при этом происходит нарушение структуры материала. Это необходимо всегда иметь в виду, применяя датчики в среде, где возможны биеение и вибрации.

Чувствительность датчика.

Важным параметром, особенно с точки зрения обработки выходного сигнала, является чувствительность датчика. Она измеряется в единицах милливольт/вольт, и ее значения чаще всего находятся в пределах от 1 до 3. Например, если чувствительность датчика 2 мВ/В и датчик питается постоянным напряжением 10 В, то выходной сигнал датчика при полной нагрузке будет иметь значение $2 \cdot 10 = 20$ мВ. Это относительно низкое значение, поэтому сигнал обычно усиливается и только потом поступает на измерительный прибор или аналоговую карту в РС или PLC.

Иные параметры.

Другими важными параметрами являются входное сопротивление (с точки зрения обработки сигнала), изоляционное сопротивление (с точки зрения безопасности), степень защиты (с точки зрения условий труда) и т. п.

Конструкция тензодатчика.

Тензодатчик состоит из:

- упругого элемента – тело, воспринимающее нагрузку; изготавливается преимущественно из легированных углеродистых сталей предварительно термообработанных, для получения стабильных характеристик. Конструктивно может быть изготовлен в виде стержня, кольца, тел вращения, консоли. Широкое распространение получили конструкции в виде стержня (или нескольких стержней);

- тензорезистора – фольговый или проволочный резистор, приклеенный к упругому элементу (стержень), изменяющий свое сопротивление пропорционально деформации упругого элемента, которая, в свою очередь пропорциональна нагрузке;

- корпуса датчика – предназначен для защиты упругого элемента и тензорезистора от механических повреждений и влияния окружающей среды. Имеет различное исполнение IP (Ingress Protection Rating) в соответствии с международным стандартом IEC 60529 (DIN 40050, ГОСТ 14254–96);

- герметичного ввода (кабельного разъема) – предназначен для подключения тензодатчика ко вторичному прибору (весовой индикатор, электронный усилитель, АЦП) при помощи кабеля. Возможны варианты подключения по 6- и 4-проводной схеме. Тензодатчики комплектуются кабелями различной длины, существуют конструкции с возможностью замены кабеля.

Для правильно функционирования весов, важно соблюдать характер приложения нагрузки. Вектор силы, воздействующий на датчик, должен быть строго в направлении оси датчика (упругий элемент тензодатчика, стержень, кольцо). Для исключения бокового влияния нагрузки применяют самоустанавливающиеся датчики.

ливающиеся (самоцентрирующиеся) конструкции. Поверхность опор таких тензодатчиков имеет сферическую выпуклую форму.

Принцип действия тензодатчика основан на измерении изменения сопротивления тензорезисторов, наклеенных на упругое тело, которое под действием силы (вес груза) деформируется и деформирует размещенные на нем тензорезисторы.

1.3 Содержание отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется на компьютере в текстовом редакторе. Отчет должен содержать:

- цель работы;
- описание хода работы по пунктам с указанием результата выполнения пункта;
- вывод.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные типы тензометрических датчиков.
- 2 Поясните устройство и принцип работы тензометрического датчика давления.
- 3 Поясните устройство и принцип работы тензометрического датчика силы.
- 4 Поясните устройство и принцип работы тензометрического датчика-акселерометра.
- 5 Какие типы выходного сигнала могут иметь тензометрические датчики?

2 Лабораторная работа № 2. Исследование фотоэлектрического преобразователя угол-код

Цель работы: изучить принцип работы, устройство, основные характеристики фотоэлектрического преобразователя угол-код.

2.1 Ход работы

2.1.1 Изучить принцип работы и основные характеристики фотоэлектрических преобразователей угол-код (абсолютных энкодеров), используя подраздел 2.2.

2.1.2 Изучить устройство лабораторного стенда, составить его функциональную схему.

2.1.3 Изучить характеристики установленных на лабораторном стенде моделей энкодеров.

2.1.4 Изучить конструкцию энкодера, используя разобранный лабораторный образец датчика. Составить эскизный чертеж и функциональную схему датчика.

2.1.5 Произвести измерения при помощи абсолютного энкодера. Получить осциллограммы сигналов на выходных разъемах энкодера.

2.1.6 Ответить на контрольные вопросы.

2.2 Краткие теоретические сведения

Преимуществом абсолютного энкодера является то, что он не подвержен помехам. В случаях, когда сигнал с диска не может быть полноценно прочитан энкодером, например, если вал вращается слишком быстро, точный угол поворота будет зарегистрирован, когда скорость вращения уменьшится. Но даже при быстром вращении вала возможна регистрация положения, хоть и с меньшей точностью. Для этого во внимание просто принимается только информация, поступающая от более старших разрядов, т. е. искаженная (за счет большой скорости вращения) информация поступающая от младших разрядов, просто игнорируется. Абсолютный энкодер устойчив к вибрациям и другого рода помехам, т. к. ошибка в результате подсчета «ложных» импульсов, возникших в результате, например, вибрации, исключена.

Для более четкого понимания принципа работы абсолютных энкодеров, в частности основания для необходимости использования специальных способов кодирования сигналов при построении абсолютных энкодеров, будет уместно вспомнить некоторые основы цифровой техники, в т. ч. виды/методы кодирования чисел/сигналов, описанных ниже.

Виды цифровых кодов и особенности их использования в системах позиционирования.

Бинарные коды.

Термин «бинарный» по смыслу – состоящий из двух частей, компонентов. Таким образом, бинарные коды – это коды, которые состоят только из двух символьных состояний например, черный или белый, светлый или темный, проводник или изолятор. Бинарный код (БК) в цифровой технике – это способ представления данных (чисел, слов и других) в виде комбинации двух знаков, которые можно обозначить как 0 и 1. Знаки или единицы БК называют битами. Одним из обоснований применения БК является простота и надежность накопления информации в каком-либо носителе в виде комбинации всего двух его физических состояний, например в виде изменения или постоянства светового потока при считывании с оптического кодового диска.

Двоично-десятичный код (Binary code decimal).

Двоично-десятичный код является широкораспространенным кодом, который может обрабатываться непосредственно микропроцессором и является основным кодом для обработки цифровых сигналов. Двоично-десятичный код состоит только из 0 и 1. Наибольшее число, которое может быть выражено двоичным кодом, зависит от количества используемых разрядов, т. е. от количества бит в комбинации, выражающей число. Например, для выражения числовых значений от 0 до 7 достаточно иметь 3-разрядный, т. е. 3-битовый код. Двоично-десятичный код является многошаговым кодом. Это означает, что при переходе от одного положения (значения) в другое могут изменяться несколько

бит одновременно. Например, число 3 в двоичном коде равно 011. Число же 4 в двоичном коде равно 100. Соответственно, при переходе от 3 к 4 меняют свое состояние на противоположное все три бита одновременно. Считывание такого кода приводит к тому, что из-за несовершенства считывателя, например, из-за неизбежных отклонений (допусков) при производстве кодового диска, изменение информации от каждой из дорожек в отдельности никогда не происходит одновременно. Как следствие, при переходе от одного числа к другому кратковременно (или постоянно в случае остановки вала энкодера непосредственно на критическом участке перехода!) выдается неверная информация о положении вала. Так, на участке вышеупомянутого перехода от числа 3 к числу 4 очень вероятна выдача числа 7, когда, например, старший бит во время перехода поменял свое значение немного раньше, чем остальные. Таким образом, использование обычного двоичного кода может с большой вероятностью приводить к выдаче числа, далёкого от реального значения, и, как следствие, непредсказуемому реагированию системы управления или контроллера на искаженный сигнал энкодера. Чтобы избежать этого, применяется так называемый одношаговый код, например, код Грея.

Код Грея (Gray code).

Код Грея (Gray code – назван в честь американского физика Frank Gray) идеально подходит для систем механического позиционирования, в т. ч. абсолютных энкодеров. Код Грея предпочтительнее обычного двоичного тем, что обладает свойством постоянства бинарной комбинации: изменение кодируемого числа на единицу соответствует изменению кодовой комбинации только в одном разряде. Таким образом, Грей-код является так называемым одношаговым кодом. Он строится на базе двоичного по следующему правилу: старший разряд остается без изменения, а каждый последующий разряд инвертируется, если предыдущий разряд исходного двоичного кода равен единице.

В случае использования кода Грея погрешность при считывании информации на участке перехода от одного числа к другому приведет лишь к тому, что этот переход будет лишь несколько смещен по времени, однако выдача совершенно неверного значения углового положения на участке перехода полностью исключается. Это особенно актуально для датчиков, где носителем / источником информации (например, о положении вала энкодера) является механический элемент. В случае абсолютного энкодера это оптический диск с механически нанесенными на него метками, где минимальные геометрические погрешности / смещения нескольких оптических дорожек / секторов относительно друг друга не исключаются из-за погрешностей офсетной печати при производстве на стадии нанесения рисунка на оптический диск. На рисунке 2.1 ниже представлен диск энкодера с рисунком (растром) в формате Грей-кода.

Преимуществом Грей-кода является также его способность зеркального отображения информации. Так, инвертируя старший бит можно простым образом менять направление счета. Эту функцию выполняет так называемый вход «Complement». В зависимости от потенциала на этом входе выдаваемое энкодером значение будет возрастающим или спадающим при одном и том же физическом направлении вращения оси.

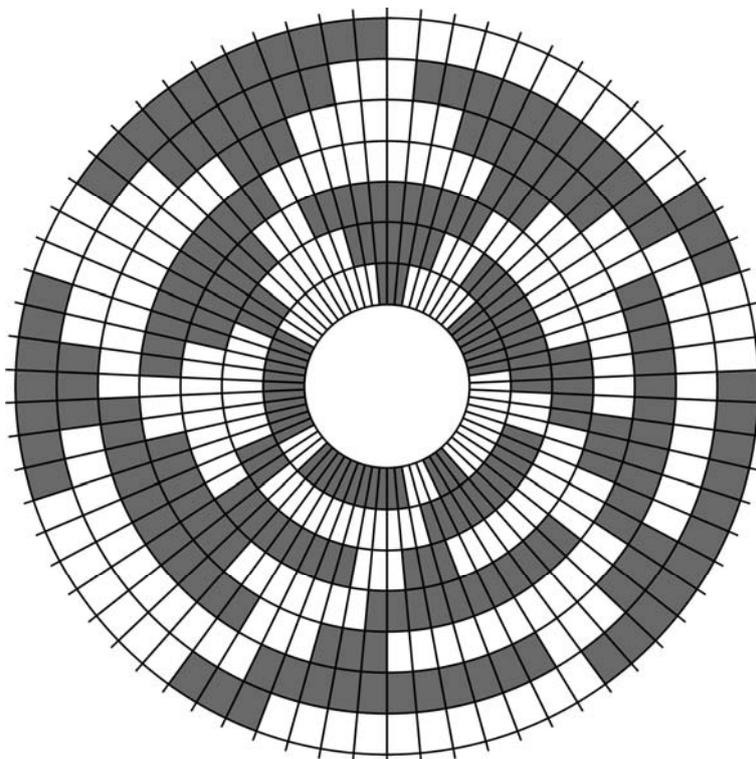


Рисунок 2.1 – Диск абсолютного энкодера с растром в коде Грея

Поскольку информация, выраженная в коде Грея, имеет чисто кодированный характер, не несущий реальной числовой информации, его необходимо перед дальнейшей обработкой сперва преобразовать в стандартный бинарный (двоичный) код. Преобразование кода Грея в привычный бинарный код можно осуществить программно (в контроллере) или используя простую схему с инверторами и логическими элементами «исключающее или» (XOR), как показано на рисунке 2.2.

Gray-Excess-Code.

Обычный одношаговый Грей-код подходит для разрешений, которые могут быть представлены в виде числа, возведенного в степень 2. В случаях, где надо реализовать другие разрешения из обычного Грей-кода, вырезается и используется средний его участок. Таким образом, сохраняется «одношаговость» кода. Однако числовой диапазон начинается не с нуля, а смещается на определенное значение. При обработке информации от генерируемого сигнала отнимается половина разницы между первоначальным и редуцированным разрешением. Такие разрешения, как, например, 360° для выражения угла, часто реализуются этим методом. Так, 9-битный код Грея, равный 512 шагам, урезанный с обеих сторон на 76 шагов, будет равен 360° .

Устройство оптического абсолютного энкодера.

Измерительная система абсолютного оптического энкодера состоит из следующих основных компонентов:

- поворотный вал, смонтированный на двух подшипниках;
- кодовый оптический диск, установленный на вал;
- инфракрасный светодиод (в качестве источника света);

- оптоэлектронная (фототранзисторная) считывающая матрица;
- схема обработки сигнала;
- в многооборотном энкодере дополнительно встраивается редуктор из нескольких кодовых оптических дисков со светодиодами и считывающими матрицами для каждого из них.

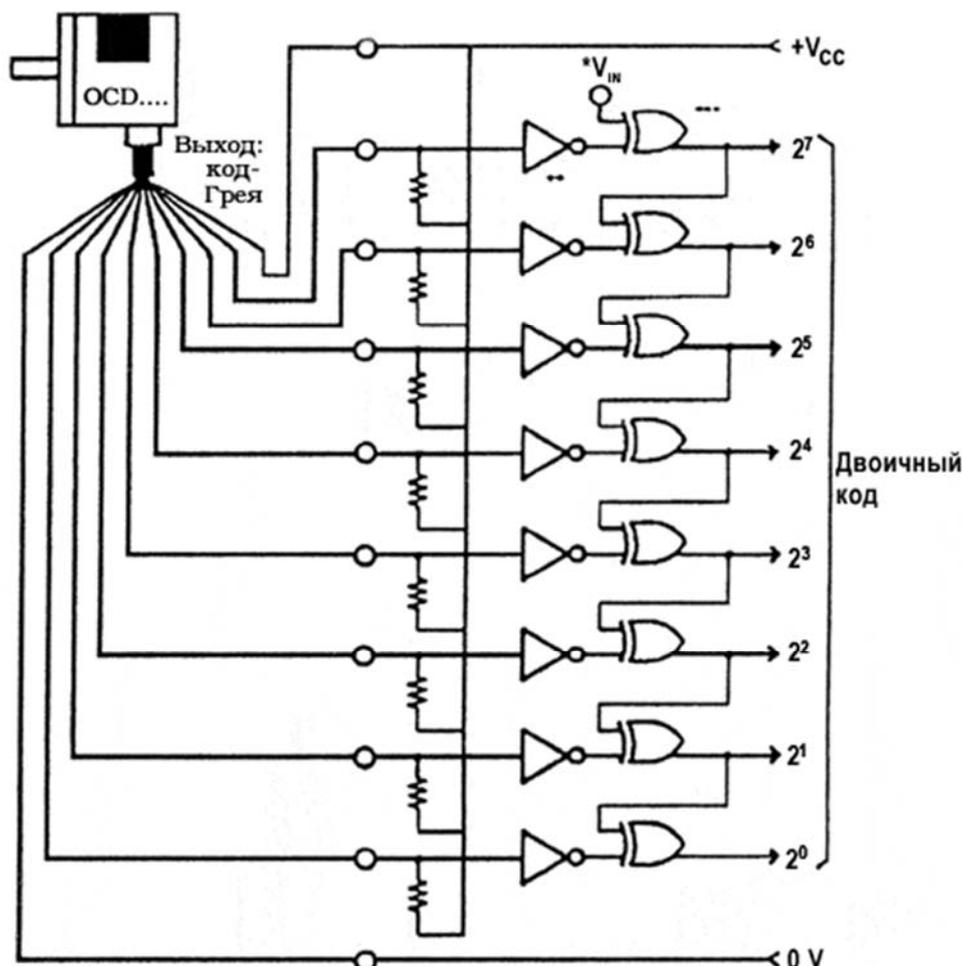


Рисунок 2.2 – Схема преобразования кода Грея в двоичный код

Инфракрасные лучи светодиода просвечивают кодовый диск и попадают на фототранзисторную считывающую матрицу, расположенную с обратной стороны кодового диска. При каждом шаге углового положения кодового диска темные его участки предотвращают попадание света на те или иные фототранзисторы считывающей матрицы, преобразующей световые сигналы в электрические. Электрические сигналы, в свою очередь, преобразуются электроникой энкодера в двоичный код.

Однооборотный энкодер.

Однооборотными (Single – Turn) энкодерами называются датчики (энкодеры), которые выдают абсолютные значения в пределах одного оборота, т. е. в пределах оборота 360° . После одного оборота код является полностью пройденным и начинается опять с его начального значения. Эти датчики служат

преимущественно для измерения угла поворота и применяются, например, в антенных системах, эксцентричных коленчатых прессах и т. п.

Разрешение однооборотного энкодера определяется/обозначается количеством бит. Например, у энкодера с разрешением в 16 бит подразумевается разрешение в 65536 меток в обороте.

В свою очередь, чтобы перевести количество меток (шагов) в обороте в угловые градусы, достаточно разделить 360° на количество меток, например: разрешение 65536 меток (16 бит) соответствует разрешению: $360/65536 = 0,005^\circ$ (угловых градусов) (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Устройство однооборотного энкодера

Многооборотный энкодер.

Линейные перемещения предполагают необходимым применение измерительной системы, регистрирующей не только положение вала в пределах одного оборота, но и определенного количества оборотов. Например, в линейных приводах или в задачах измерения с помощью зубчатой измерительной штанги уместно применение энкодеров, где дополнительно к измерению угла поворота в пределах одного оборота (первой ступенью энкодера) также происходит регистрация количества оборотов дополнительным своего рода редуктором (образующим вторую ступень энкодера), состоящим из нескольких кодированных оптических дисков, образуя, таким образом, многооборотный энкодер (Multi – Turn). Разрешение многооборотного энкодера, как правило, обозначается раздельно как разрешение в пределах одного оборота плюс количество оборотов в формате количества бит. Так, комбинация цифр в наименовании энкодера в виде, например, 1216, означает разрешение 12 бит оборотов (4096 оборотов) и 16 бит в обороте (65536 меток на оборот) (рисунок 2.4).

Магнитные абсолютные энкодеры.

Принцип магнитных измерений.

Магнитные энкодеры определяют угловое положение с использованием магнитно-полевой технологии. Постоянный магнит, установленный на валу энкодера, создает магнитное поле, которое измеряется датчиком, формирующим уникальное значение абсолютного положения.

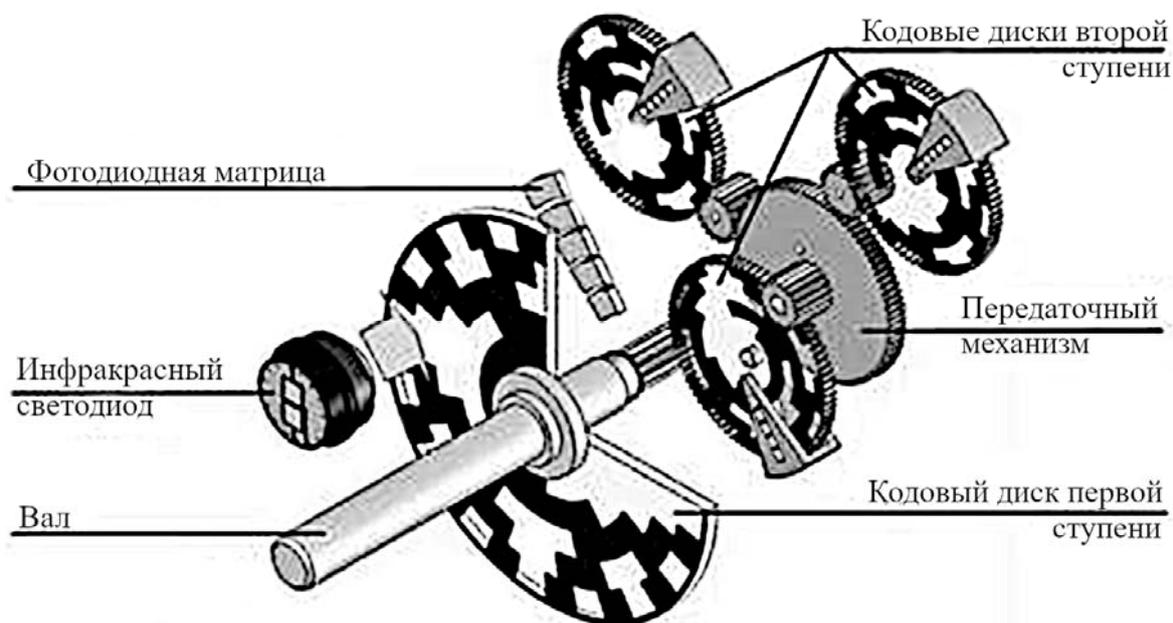


Рисунок 2.4 – Устройство многооборотного энкодера

Инновационная многооборотная технология.

Многооборотные магнитные энкодеры IXARC POSITAL используют инновационную технологию для отслеживания количества оборотов, даже если оборот произошел при отключенном питании системы. Для выполнения этой задачи энкодеры преобразуют вращение вала в электрическую энергию. Технология основана на эффекте Виганда: когда постоянный магнит на валу энкодера поворачивается на определенный угол, магнитная полярность в «проводе Виганда» резко меняется, создавая кратковременный всплеск напряжения в обмотке, окружающей провод. Этот импульс отмечает поворот вала, а также обеспечивает питание электронной цепи, регистрирующей данное событие. Эффект Виганда происходит в любых условиях, даже при очень медленном вращении, и исключает потребность в резервных батареях.

Особенности магнитных энкодеров.

Магнитные энкодеры являются надежными, долговечными и компактными. Конструкция, не требующая использования батарей и не имеющая зубчатых передач, обеспечивает механическую простоту и более низкую стоимость по сравнению с оптическими энкодерами. Их компактные габариты позволяют использовать их в очень ограниченном пространстве.

2.3 Содержание отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется на компьютере в текстовом редакторе. Отчет должен содержать:

- цель работы;
- описание выполнения хода работы по пунктам;
- вывод.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные варианты конструкции абсолютных энкодеров.
- 2 Поясните различие между инкрементальными и абсолютными энкодерами.
- 3 Как определяется точность абсолютного энкодера?
- 4 Опишите выходные сигналы абсолютного энкодера, поясните, как они могут быть обработаны в информационной системе при измерении положения таким датчиком.

3 Лабораторная работа № 3. Исследование контактных тактильных датчиков

Цель работы: освоить методику измерения контактными тактильными датчиками, изучить их конструкцию и основные характеристики, изучить их принцип работы.

3.1 Ход работы

3.1.1 Изучить принцип работы и основные характеристики контактных тактильных датчиков, используя подраздел 3.2.

3.1.2 Изучить устройство лабораторного стенда, составить его функциональную схему.

3.1.3 Изучить характеристики установленных на лабораторном стенде моделей контактных дискретных тактильных датчиков.

3.1.4 Изучить конструкцию тактильных датчиков на основе микропереключателя. Оценить величину усилия, приводящего к срабатыванию данного типа датчика.

3.1.5 Изучить конструкцию дискретной тактильной матрицы. Оценить усилие, необходимое для срабатывания датчиков матрицы. Оценить точность определения места контактного воздействия на матрицу.

3.1.6 Ответить на контрольные вопросы.

3.2 Краткие теоретические сведения

Тактильный датчик – это устройство, которое измеряет информацию, возникающую в результате физического взаимодействия с окружающей средой. Тактильные датчики, как правило, созданы по образцу биологического ощущения кожного прикосновения, которое способно обнаруживать раздражители, возникающие в результате механической стимуляции, температуры и боли (хотя восприятие боли не распространено в искусственных тактильных датчиках). Тактильные датчики используются в робототехнике, компьютерном оборудовании и системах безопасности. Обычно тактильные датчики применяются в устройствах с сенсорным экраном на мобильных телефонах и компьютерах.

Тактильные датчики могут быть разных типов, включая пьезорезистивные, пьезоэлектрические, оптические, емкостные и эластичные датчики.

Тактильные датчики появляются в повседневной жизни, например, кнопки лифта и лампы, которые тускнеют или становятся ярче при прикосновении к основанию. Существует также бесчисленное множество других применений тактильных датчиков, о которых большинство людей никогда не знают.

Датчики, которые измеряют очень малые изменения, должны обладать очень высокой чувствительностью. Датчики должны быть спроектированы так, чтобы оказывать небольшое влияние на результаты измерений; уменьшение размера датчика часто улучшает это и может привести к другим преимуществам. Тактильные датчики могут использоваться для тестирования производительности всех типов приложений. Например, эти датчики использовались в производстве автомобилей (тормозов, сцеплений, уплотнителей дверей, прокладок), ламинирования аккумуляторных батарей, болтовых соединений, топливных элементов и т. д.

Тактильная визуализация как метод медицинской визуализации преобразующий ощущение прикосновения в цифровое изображение, основана на тактильных датчиках. Тактильная визуализация точно имитирует ручную пальпацию, поскольку зонд устройства с установленным на его лицевой стороне датчиком давления действует аналогично человеческим пальцам во время клинического обследования, деформируя мягкие ткани зондом и обнаруживая результирующие изменения в характере давления.

Роботы, предназначенные для взаимодействия с объектами, требующими точности, ловкости или взаимодействия с необычными объектами, нуждаются в сенсорном аппарате, который функционально эквивалентен тактильным способностям человека. Тактильные датчики были разработаны для использования с роботами. Тактильные датчики могут дополнять визуальные системы, предоставляя дополнительную информацию, когда робот начинает захватывать объект. В это время зрения уже недостаточно, поскольку механические свойства объекта не могут быть определены только зрением. Для определения веса, текстуры, жесткости, центра масс, коэффициента трения и теплопроводности требуется взаимодействие с объектом и какое-то тактильное восприятие.

Несколько классов тактильных датчиков используются в роботах разных типов для задач, охватывающих предотвращение столкновений и манипулирование.

Массивы датчиков давления.

Массивы датчиков давления представляют собой большие сетки тактильных датчиков. tactel – это «тактильный элемент». Каждый tactel способен обнаруживать нормальные силы. Датчики на базе tactel обеспечивают «изображение» контактной поверхности с высоким разрешением. Наряду с пространственным разрешением и чувствительностью к усилию, важны вопросы системной интеграции, такие как проводка и маршрутизация сигнала. Матрицы датчиков давления выпускаются в виде тонких пленок. Они в основном используются в качестве аналитических инструментов, используемых в производственных и

научно-исследовательских процессах инженерами и техниками, и были адаптированы для использования в роботах. Примеры таких датчиков, доступных потребителям, включают матрицы, изготовленные из токопроводящей резины, цирконата титаната свинца (PZT), поливинилиденфторида (PVDF), PVDF-TrFE, FET, и металлические емкостные чувствительные элементы.

Тактильные датчики на оптической основе.

Было разработано несколько видов тактильных датчиков, которые используют преимущества технологии, подобной технологии камеры, для получения данных с высоким разрешением. Ключевым примером является технология Gelsight, впервые разработанная в Массачусетском технологическом институте, которая использует камеру за непрозрачным слоем геля для получения тактильной обратной связи с высоким разрешением. В сенсоре Samsung, «просвечивающем сквозь кожу» (STS), используется полупрозрачный гель для получения комбинированного тактильного и оптического изображения.

Розетки тензодатчиков состоят из нескольких тензодатчиков, каждый из которых определяет усилие в определенном направлении. Когда информация от каждого тензометрического датчика объединяется, информация позволяет определить структуру сил или крутящих моментов.

Тактильные датчики, созданные биологически.

Было предложено множество биологически вдохновленных конструкций, начиная от простых датчиков, похожих на усы, которые измеряют только одну точку за раз, до более совершенных датчиков, похожих на кончики пальцев, для комплектации кожеподобными датчиками, как на новейшем iCub. Биологически вдохновленные тактильные датчики часто включают в себя более одной стратегии восприятия. Например, они могут обнаруживать как распределение давлений, так и картину сил, которые будут поступать от матриц датчиков давления и розеток тензометрических датчиков, обеспечивая двухточечное распознавание и определение силы с человеческими способностями.

Усовершенствованные версии тактильных датчиков биологического дизайна включают в себя вибрационное зондирование, которое, как было определено, важно для понимания взаимодействия между тактильным датчиком и объектами, когда датчик скользит по объекту. В настоящее время считается, что такие взаимодействия важны для использования человеком инструментов и оценки текстуры объекта. Один из таких датчиков сочетает в себе измерение силы, вибрации и теплопередачи.

Тактильные датчики, изготовленные своими руками и на открытом воздухе.

Недавно был создан сложный тактильный датчик с открытым оборудованием, позволяющий энтузиастам и любителям экспериментировать с дорогостоящей технологией. Кроме того, с появлением дешевых оптических камер были предложены новые датчики, которые можно легко и дешево создать с помощью 3D-принтера.

Тактильные датчики касания и контактного давления.

Одиночные тактильные датчики касания и давления размещают на внешних поверхностях хватного устройства. Матрицы этих датчиков устанавливаются преимущественно внутри (на «ладони»). Поскольку контакт матриц

чувствительных элементов (ЧЭ) с объектом работы происходит сразу во многих точках, то возникает возможность определения формы объекта, его ориентации, а также направление возможного проскальзывания. Самой существенной особенностью тактильные датчики захватного устройства, отличающей их от других информационных устройств робота, является наличие непосредственного контакта с объектом работы. Ударные нагрузки, возникающие при замыкании кинематической цепи манипулятора, агрессивное воздействие внешней среды и т. п. факторы определили особое значение неметрологических эксплуатационных требований. Поэтому, наряду с традиционными ЧЭ, используемыми при построении силоизмерительных устройств, в тактильных системах широко применяются микропереключатели, а также материалы на базе электропроводных полимеров и углеродных волокон. Ведутся разработки новых технологий, позволяющих получать износ- и термостойкие тензочувствительные материалы.

Наибольшее распространение в промышленности нашли дискретные тактильные датчики. Они обладают релейной функцией преобразования и служат для фиксации факта контакта исполнительного механизма с объектом или препятствием. Дискретные датчики явились первыми тактильными средствами и устанавливались на внутренних сторонах пальцев захватного устройства с целью определения наличия или отсутствия объекта в зоне захвата. В качестве ЧЭ таких датчиков применялись микропереключатели (в отечественных моделях – МП 5, МП 12) или герконы (КЭМ 1, КЭМ 2).

В последнее время все чаще используются матрицы из дискретных тактильных датчиков. Пример матрицы размерностью 8×8 элементов приведен на рисунке 3.1, а. ЧЭ матрицы представляют собой 64 полусферические стальные мембраны с межцентровым расстоянием $\sim 2,5$ мм. Такая мембрана имеет два устойчивых положения – выпуклое и вогнутое, причем выпуклое положение удерживается избыточным давлением воздуха. Координаты касания вычисляются с помощью контроллера и коммутатора, поочередно опрашивающего все элементы матрицы (рисунок 3.1, б). Порог срабатывания составляет $\sim 0,2 \dots 0,5$ Н.

Все дискретные тактильные устройства обладают тремя существенными недостатками: во-первых, ограниченным ресурсом работы, во-вторых, невозможностью определения величины контактного усилия и, в-третьих, неточностью локализации места контакта. Модель мягкой, усеянной рецепторами кожи вдохновляла многих экспериментаторов на создание соответствующих заменителей – «искусственных кож», в т. ч. на основе эластомеров (баристоров), PVF₂-пленок и композитных материалов с волокном из графита.

Первой схемой аналогового «распределенного» тактильного датчика явилась разработка француза Ж. Кло, предложившего в качестве ЧЭ использовать электропроводящий силиконовый каучук. Преобразователь состоит из двух проволочных пластин – электродов, с взаимно перпендикулярным расположением проводников. Пластины разделены слоем силиконового каучука толщиной ~ 200 мкм. Контактные точки в местах пересечения проводников образуют аналоговые ЧЭ. Ток через ЧЭ определяется локальной проводимостью эласто-

мера, пропорциональной приложенному усилию. Действительно, при отсутствии давления на датчик площадь контактного пятна мала, его сопротивление велико и ток через ЧЭ практически отсутствует. При сжатии сопротивление пятна уменьшается и ток возрастает.

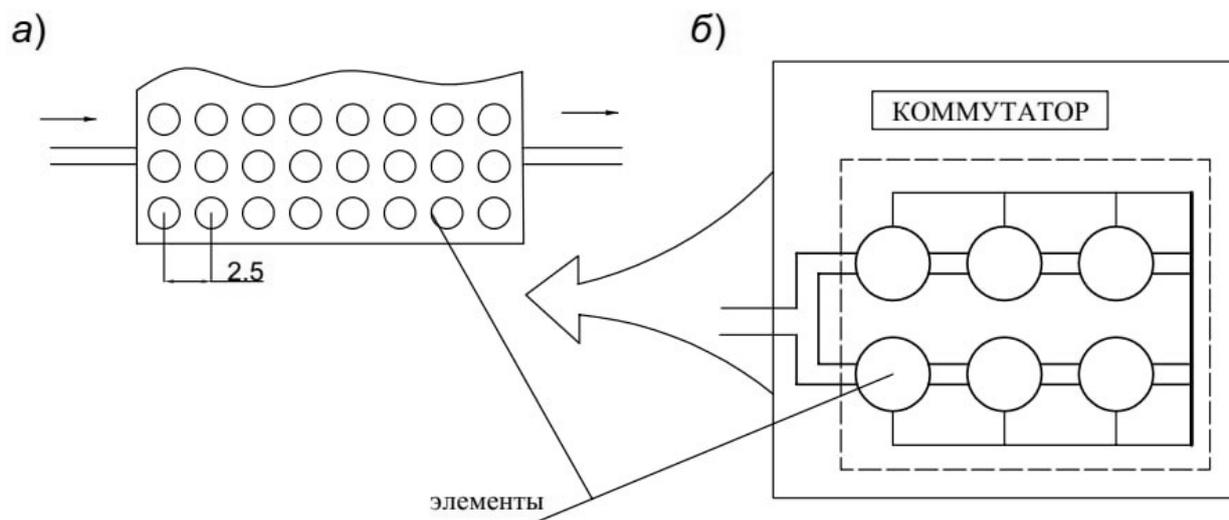


Рисунок 3.1 – Дискретная тактильная матрица

Недостатком эластомерных конструкций является нелинейная функция преобразования и существенный гистерезис. Для улучшения метрологических характеристик применяется предварительное двухстороннее поджатие эластомера пластинами-электродами. Этот принцип использовался в «искусственной коже» К. Бейтси, а также в промышленных тактильных матрицах. Первой успешной промышленной разработкой явилась матрица LTS-200 фирмы Lord Corp. (США) размерностью (12×8) , межцентровым расстоянием 2,5 мм и диапазоном изменения сопротивления 100...5000 Ом. В качестве несущей конструкции матрицы используются металлические элементы. Дальнейшим развитием идеи эластомерных тактильных датчиков явилось создание большой интегральной схемы тактильной матрицы, выполненной по n-МОП технологии. Подложка содержит двумерный массив ячеек размером $1,6 \times 0,9$ мм, поверх которого уложен слой электропроводящей пластмассы, толщиной $\sim 0,5$ мм. В данной конструкции реализована концепция «интеллектуализации» сенсорной функции, и структурно она представляет собой тактильную систему с устройствами съема и обработки данных. Ядром системы является внутрикристальный процессор, выполняющий опрос локальных ячеек, формирование двоичного кода тактильного образа, а также выделение тактильного контура, на основе алгоритмов свертки. Рассмотренный датчик размерностью 25×25 ЧЭ при размере одной ячейки $\sim 1 \times 1$ мм имеет суммарную площадь $\sim 6,3$ см².

Несмотря на все более широкое внедрение эластомерных тактильных матриц в промышленную робототехнику им присущ ряд недостатков. Во-первых, они обладают невысокими метрологическими параметрами вследствие гистерезиса и нелинейной функции преобразования. Во-вторых, эластомер не является

достаточно надежным и долговечным материалом: его ресурс ограничен $\sim (2...3) 10^5$ циклами нагружения.

Пожалуй, наилучшим материалом для упруго-чувствительных элементов тактильных датчиков является ткань из тонких углеродных нитей диаметром 7...30 мкм. Наряду с высокой прочностью и упругостью, характерной для углеродных соединений, и, следовательно, малым гистерезисом, углеволоконная ткань обладает высокой износостойкостью, а малая толщина нитей позволяет использовать этот материал для покрытия сложных криволинейных поверхностей манипулятора. Сопротивление пересечения между нитями изменяется плавно (данный эффект определяется суммарными свойствами отдельных волокон, составляющих нить), а проводимость пересечения определяется числом контактов между волокнами. Уровень шума весьма низок (число «плохих» контактов усредняется среди всего их множества).

Ненагруженное пересечение двух пучков сечением $0,5 \text{ мм}^2$ имеет сопротивление 2 кОм при уровне помех $\sim 5 \%$. При приложении силы в 0,01 Н сопротивление понижается до 1 кОм, а уровень помех – до 0,5 %. Углеволоконная ткань прядется пучками графитовых и стеклянных нитей или формируется в виде «войлочной» структуры. Во втором случае углеродные пряди разделяются на куски длиной 2,5 мм, укладываются в форму и уплотняются до толщины $\sim 1 \text{ мм}$, (в среднем сопротивление такого элемента площадью 1 см^2 составляет $\sim 200 \text{ Ом}$). Функция преобразования тактильной матрицы разбита на четыре участка: А – область шумов; В – область уплотнение волокон (при этом увеличивается количество путей для протекания тока); С – область искривления волокон; D – область деформации волокон (в этом случае увеличивается площадь контакта между ними).

Углеволоконные датчики используют до контактных давлений $2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$, причем гистерезис не превышает 1 %.

3.3 Содержание отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется на компьютере в текстовом редакторе. Отчет должен содержать:

- цель работы;
- описание хода выполнения работы по пунктам;
- вывод.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные типы контактных тактильных датчиков.
- 2 Поясните принцип действия тактильного датчика на основе микропереключателя.
- 3 Поясните устройство дискретной тактильной матрицы.
- 4 Поясните устройство датчиков «искусственная кожа».

5 Поясните основные способы подключения тактильных датчиков к информационной системе.

4 Лабораторная работа № 4. Исследование бесконтактных тактильных датчиков

Цель работы: изучить устройство бесконтактных индуктивных, емкостных, магнитных, ультразвуковых и оптических датчиков.

4.1 Ход работы

4.1.1 Изучить принцип работы и основные характеристики бесконтактных датчиков, используя подраздел 4.2.

4.1.2 Изучить устройство лабораторного стенда, составить его функциональную схему.

4.1.3 Изучить характеристики установленных на лабораторном стенде моделей бесконтактных датчиков и порядок их использования.

4.1.4 Произвести измерения при помощи бесконтактного индуктивного датчика. Определить расстояние срабатывания датчика на объекты из различных материалов – сталь, медь, алюминий.

4.1.5 Произвести измерения при помощи бесконтактного емкостного датчика. Определить расстояние срабатывания датчика на объекты из различных материалов – сталь, медь, алюминий.

4.1.6 Произвести измерения при помощи бесконтактного магнитного датчика. Определить расстояние срабатывания датчика на различные объекты.

4.1.7 Произвести измерения при помощи бесконтактного индуктивного датчика. Определить расстояние срабатывания датчика на объекты из различных материалов – сталь, медь, алюминий.

4.1.8 Произвести измерения при помощи бесконтактного индуктивного датчика. Определить расстояние срабатывания датчика на различные объекты.

4.1.9 Произвести измерения при помощи бесконтактного индуктивного датчика. Определить расстояние срабатывания датчика на препятствие.

4.1.10 Ответить на контрольные вопросы.

4.2 Краткие теоретические сведения

Бесконтактный датчик, также сенсорный, – позиционный выключатель, срабатывающий без механического соприкосновения с подвижной частью (машины). Позиционный выключатель – автоматический выключатель цепей управления, механизм управления которого приводится в действие при достижении подвижной частью машины заданного положения.

Отсутствие механического контакта между воздействующим объектом и чувствительным элементом обеспечивает ряд специфических свойств устройства.

Ёмкостные бесконтактные датчики популярны в качестве клавиатур на бытовых приборах (например, варочных поверхностях). Их достоинства – единообразие дизайна, простота и дешевизна реализации, легкость герметизации.

Пирометрические бесконтактные датчики движения широко используются в системах охраны зданий.

Ультразвуковые датчики чаще всего можно встретить в системах помощи при парковке (парковочных радарах) автомобилей и в системах охраны территории.

В промавтоматике бесконтактные датчики широко применяются:

– в качестве концевых датчиков в станкостроении (в основном индуктивные датчики);

– для регистрации (подсчёт, позиционирование, сортировка) предметов на конвейерах (применяются индуктивные и оптические датчики).

Для промавтоматики ГОСТ 26430–85 был введён термин «бесконтактный выключатель». Впоследствии ГОСТ Р 50030.5.2–99 термин заменён на «бесконтактный датчик». В настоящее время для данных изделий используются оба термина.

Принцип действия.

Ёмкостные выключатели бесконтактные.

Измеряют ёмкость электрического конденсатора, в воздушный диэлектрик которого попадает регистрируемый объект. Используются в качестве бесконтактных («сенсорных») клавиатур и как датчики уровня жидкостей.

Индуктивные выключатели бесконтактные.

Измеряют параметры катушки индуктивности, в поле которой попадает регистрируемый металлический объект. Дальность регистрации типового промышленного датчика – от долей до единиц сантиметров. Характеризуются простотой, дешевизной и высокой стабильностью параметров. Широко применяются в качестве концевых датчиков станков.

Оптические выключатели бесконтактные. Работают на принципе перекрытия луча света непрозрачным объектом. Дальность типовых промышленных датчиков – от долей до единиц метров. Широко применяются на конвейерных линиях как датчики наличия объекта, используются также для контроля пространственных характеристик предмета (высота, длина, ширина, глубина, диаметр) и подачи сигнала на управляемый механизм при достижении указанного порога. Специфическая разновидность – лазерные дальномеры.

Ультразвуковые датчики.

Работают на принципе эхолокации ультразвуком. Относительно дешевое решение позволяет измерять расстояние до объекта. Широко применяются в парктрониках автомобилей.

Микроволновые датчики.

Работают на принципе локации СВЧ-излучением «на просвет» или «на отражение». Получили ограниченное распространение в системах охраны как датчики присутствия или движения.

Магниточувствительные выключатели бесконтактные.

Простая пара магнит – геркон или датчик Холла. Дешевы и просты в изготовлении. Широко применяются в системах контроля доступа и охраны зданий как датчики открывания дверей и окон.

Пирометрические датчики. Регистрируют изменения фонового инфракрасного излучения. Получили широкое распространение в системах охраны зданий как датчики движения.

Индуктивные бесконтактные датчики наиболее широко представлены на рынке. Они содержат схему колебаний, которая генерирует электромагнитное поле. Они обнаруживают любую приближенную к ним металлическую деталь, т. к. на ней возникают индуцированные токи, что уменьшает колебания, эту информацию считывает датчик.

Основные характеристики индуктивного датчика:

- его использование ограничено металлическими деталями;
- относительно низкое расстояние – до 80 мм, расстояние изменяется в зависимости от типа сплава;
- низкая цена: он стоит вдвое дешевле оптического датчика;
- прочный и устойчивый к жестким условиям окружающей среды, нечувствителен к ударам и вибрациям, к пыли и т. д.;
- частота переключения достаточно высокая (несколько килогерц), что позволяет контролировать прохождение деталей на высокой скорости даже при вращении,
- подвижные части не изнашиваются.

Применение индуктивных бесконтактных датчиков.

Индуктивные датчики находят применение в станках, машинах для текстильной промышленности, автомобильной промышленности, на сборочных линиях и т. д. Они используются для обнаружения металлических деталей в трудных условиях и при необходимости контроля быстро движущихся деталей.

Преимущества выбора емкостного бесконтактного датчика.

Принцип работы емкостных бесконтактных датчиков схож с принципом работы индуктивных датчиков. Электромагнитное поле генерируется конденсатором, расположенным на лицевой стороне датчика. Приближающийся объект изменяет интенсивность и частоту колебаний. В отличие от индуктивных датчиков, емкостные датчики обнаруживают не только металлические предметы, они предназначены для всех типов предметов и материалов любой формы (твердые, жидкие, вязкие, порошкообразные и т. д.).

Основные характеристики емкостного датчика:

- небольшое расстояние срабатывания: меньше 60 мм;
- стоимость немного выше, чем у индуктивного датчика;
- используется для деталей любого типа и из любых материалов;
- способен обнаруживать предметы через неметаллические перегородки;

- чувствителен к влажности и плотным испарениям;
- широко используется для определения уровня (например, через пластиковые флаконы) и для обнаружения прозрачных материалов на небольшом расстоянии;
- не подвержен механическому износу, срок эксплуатации не зависит от интенсивности использования;
- подходит для промышленной среды (загрязнённая атмосфера);
- высокая производительность.

Применение емкостных бесконтактных датчиков.

Емкостные датчики применяются на упаковочных линиях, упаковочных установках и там, где уровень заполнения измеряется через пластиковые или стеклянные стенки.

Преимущества выбора магнитного бесконтактного датчика.

Известный также как датчик на эффекте Холла, этот датчик работает по принципу, аналогичному индуктивным датчикам. Магнитный бесконтактный датчик включает в себя металлическое стеклянное лезвие, которое намагничивается очень быстро в близком присутствии магнита и размагничивается быстро при отсутствии магнита. Магнитный детектор работает на большом расстоянии, учитывая его относительно небольшие размеры. Обнаруживаемая деталь должна иметь магнит или быть намагниченной.

Основные характеристики магнитного датчика:

- используется для намагниченных деталей или деталей с магнитом;
- низкая цена;
- позволяет обнаружить предметы через неферромагнитный барьер;
- устойчивый к вибрациям и загрязнениям;
- не изнашивается;
- гальваническая развязка может быть рассмотрена между измеряемым объектом и цепью.

Преимущества выбора ультразвукового бесконтактного датчика.

Принцип работы ультразвуковых бесконтактных датчиков основан на излучении и приеме высокочастотных ультразвуковых волн (порядка 200 кГц). Возврат волны позволяет обнаружить присутствие объекта и измерить расстояние, на котором он находится (путем измерения времени, затрачиваемого волной для совершения круговой развязки). Эти ультразвуковые датчики могут использоваться для прямого обнаружения или в световой завесе.

Основные характеристики ультразвукового датчика:

- обнаруживает любые объекты (порошок, металл, твердые вещества, жидкие вещества, прозрачное стекло, пластик, картон, дерево и т. д.);
- работает на расстоянии нескольких метров (15 м);
- малочувствителен к окружающим условиям;
- время отклика ограничено скоростью распространения звука в воздухе;
- относительно высокая цена (от 200 до 1 000 евро);
- чувствителен к сквознякам и к температуре (от -10°C до 50°C);
- не обнаруживает звукопоглотители (вату, пену и т. д.).

Применение ультразвукового бесконтактного датчика.

Этот датчик, скорее, предназначен для решения очень специфических задач: обнаружение на большом расстоянии в трудных условиях, обнаружение прозрачных или сильно отражающих объектов и т. д.

Ультразвуковые датчики могут быть установлены, например, на конвейерах для обнаружения бутылок или упаковок. Они также используются при необходимости определить уровень жидкости (флаконы) или гранул (бункеры).

Преимущества выбора оптического бесконтактного датчика.

Этот датчик достаточно широко представлен на рынке. Его работа основана на оптическом принципе. Он обнаруживает предмет, когда световой пучок либо ослабляется, либо прерывается проходящим через него предметом. В зависимости от предмета, проходящего через световой пучок, и расстояния обнаружения возможны различные конфигурации:

- пресечение луча: передатчик и приемник отделены друг от друга;
- отражение: световой луч отражается от объекта и попадает на приемник;
- прямое отражение: когда свет просто отражается от объекта.

Чувствительные к загрязнению, оптические бесконтактные датчики обладают важными преимуществами:

- обнаруживают любые предметы (включая прозрачные материалы);
- являются самыми мощными с точки зрения расстояния обнаружения: они обнаруживают объекты на расстоянии до 200 м.

Применение оптического бесконтактного датчика.

Оптические датчики используются для обнаружения деталей в текстильной промышленности, робототехнике, лифтах и общем строительстве. Они находят применение в погрузочно-разгрузочных работах и транспортировке. Они также используются для задач, требующих обнаружения людей, транспортных средств или животных.

4.3 Содержание отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется на компьютере в текстовом редакторе. Отчет должен содержать:

- цель работы;
- описание хода выполнения работы по пунктам;
- вывод.

Контрольные вопросы

1 Поясните принцип действия и устройство емкостных бесконтактных датчиков.

2 Поясните принцип действия и устройство индуктивных бесконтактных датчиков.

3 Поясните принцип действия и устройство магнитных бесконтактных датчиков.

4 Поясните принцип действия и устройство ультразвуковых бесконтактных датчиков.

5 Поясните принцип действия и устройство оптических бесконтактных датчиков.

5 Лабораторная работа № 5. Исследование датчиков температуры

Цель работы: изучить устройство и принцип действия датчиков температуры.

5.1 *Ход работы*

5.1.1 Изучить принцип работы и основные характеристики датчиков температуры, используя подраздел 5.2.

5.1.2 Изучить устройство лабораторного стенда, составить его функциональную схему.

5.1.3 Изучить характеристики установленных на лабораторном стенде моделей датчиков температуры и порядок их использования.

5.1.4 Произвести измерения температуры при помощи термопары. Получить зависимость электродвижущей силы, вырабатываемой термопарой, от температуры.

5.1.5 Произвести измерения при помощи термосопротивления. Получить зависимость сопротивления датчика от температуры.

5.1.6 Построить графики зависимостей, полученных по пунктам 5.1.4–5.1.5.

5.1.7 Ответить на контрольные вопросы.

5.2 *Краткие теоретические сведения*

Терморезистивные термодатчики.

Терморезистивные термодатчики основаны на принципе изменения электрического сопротивления (полупроводника или проводника) при изменении температуры. Разработаны они были впервые для океанографических исследований. Основным элементом является терморезистор – элемент, изменяющий свое сопротивление в зависимости от температуры окружающей среды.

Несомненные преимущества термодатчиков этого типа – это долговременная стабильность, высокая чувствительность, а также простота создания интерфейсных схем.

На изображении приведен датчик 702-101ВВВ-А00, диапазон измерения которого от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$. Этот датчик относится к группе кремневых резистивных датчиков. Обратите внимание на его размеры. Производит этот датчик фирма Honeywell International.

В зависимости от материалов, используемых для производства терморезистивных датчиков, различают следующие типы датчиков.

Резистивные детекторы температуры (РДТ).

Эти датчики состоят из металла, чаще всего платины. В принципе, любой металл изменяет свое сопротивление при воздействии температуры, но используют платину, т. к. она обладает долговременной стабильностью, прочностью и воспроизводимостью характеристик. Для измерений температур более 600 °С может использоваться также вольфрам. Минусом этих датчиков является высокая стоимость и нелинейность характеристик.

Кремневые резистивные датчики.

Преимущества этих датчиков – хорошая линейность и высокая долговременная стабильность. Также эти датчики могут встраиваться прямо в микроструктуры.

Термисторы.

Эти датчики изготавливаются из металл-оксидных соединений. Датчики измеряют только абсолютную температуру. Существенным недостатком термисторов является необходимость их калибровки и большая нелинейность, а также старение, однако при проведении всех необходимых настроек могут использоваться для прецизионных измерений.

Полупроводниковые датчики.

В качестве примера – полупроводниковый датчик температуры LM75А, выпускаемый фирмой NXP Semiconductors. Диапазон измерений этого датчика – от –55 °С до +150 °С.

Полупроводниковые датчики регистрируют изменение характеристик p – n -перехода под влиянием температуры. В качестве термодатчиков могут быть использованы любые диоды или биполярные транзисторы. Пропорциональная зависимость напряжения на транзисторах от абсолютной температуры (в Кельвинах) дает возможность реализовать довольно точный датчик.

Достоинства таких датчиков – простота и низкая стоимость, линейность характеристик, маленькая погрешность. Кроме того, эти датчики можно формировать прямо на кремневой подложке. Все это делает полупроводниковые датчики очень востребованными.

Термоэлектрические (термопары).

Термоэлектрические преобразователи (иначе термопары). Они действуют по принципу термоэлектрического эффекта, т. е. благодаря тому, что в любом замкнутом контуре (из двух разнородных полупроводников или проводников) возникнет электрический ток, в случае если места спаев отличаются по температуре. Так, один конец термопары (рабочий) погружен в среду, а другой (свободный) – нет. Таким образом, получается, что термопары – это относительные датчики и выходное напряжение будет зависеть от разности температур двух частей. И почти не будет зависеть от абсолютных их значений.

Термопара ДТПКХХ4 измеряет температуры в пределах от –40 °С до +400 °С. Производит его российская компания Овен.

Диапазон измеряемых с их помощью температур – от –200 °С до 2200 °С – напрямую зависит от используемых в них материалов. Например, термопары из неблагородных металлов – до 1100 °С. Термопары из благородных металлов (платиновая группа) – от 1100 °С до 1600 °С. Если необходимо произвести замеры температур свыше этого, используются жаростойкие сплавы (основой служит

вольфрам). Как правило, используется в комплекте с милливольтметром, а свободный конец (конструктивно выведенный на головку) удален от измеряемой среды с помощью удлиняющего провода. Одним из недостатков термопары является достаточно большая погрешность. Наиболее распространенным способом применения термопар являются электронные термометры.

Пирометры.

Пирометры – бесконтактные датчики, регистрирующие излучение, исходящее от нагретых тел. Основным достоинством пирометров (в отличие от предыдущих температурных датчиков) является отсутствие необходимости помещать датчик непосредственно в контролируемую среду. В результате такого погружения часто происходит искажение исследуемого температурного поля, не говоря уже о снижении стабильности характеристик самого датчика.

Различают следующие три вида пирометров.

Флуоресцентные.

При измерении температуры посредством флуоресцентных датчиков на поверхность объекта, температуру которого необходимо измерить, наносят фосфорные компоненты. Затем объект подвергают воздействию ультрафиолетового импульсного излучения, в результате которого возникает послеизлучение флуоресцентного слоя, свойства которого зависят от температуры. Это излучение детектируется и анализируется.

Интерферометрические.

Интерферометрические датчики температуры основаны на сравнении свойств двух лучей – контрольного и пропущенного через среду, параметры которой меняются в зависимости от температуры. Чувствительным элементом этого типа датчиков чаще всего выступает тонкий кремниевый слой, на коэффициент преломления которого, а соответственно, и на длину пути луча влияет температура.

Датчики на основе растворов, меняющих цвет при температурном воздействии.

В этом типе датчиков-пирометров применяется хлорид кобальта, раствор которого имеет тепловую связь с объектом, температуру которого необходимо измерить. Коэффициент поглощения видимого спектра у раствора хлорида кобальта зависит от температуры. При изменении температуры меняется величина прошедшего через раствор света.

Акустические.

Акустические термодатчики используются преимущественно для измерения средних и высоких температур. Акустический датчик построен на принципе того, что, в зависимости от изменения температуры, меняется скорость распространения звука в газах. Состоит из излучателя и приемника акустических волн (пространственно разнесенных). Излучатель испускает сигнал, который проходит через исследуемую среду, в зависимости от температуры скорость сигнала меняется, и приемник после получения сигнала считает эту скорость.

Используются для определения температур, которые нельзя измерить контактными методами. Также применяются в медицине для неинвазивных (без операционного проникновения внутрь тела больного) измерений глубинной

температуры, например, в онкологии. Недостатками таких измерений является то, что при прикосновении они могут вызывать ответные физиологические реакции, что, в свою очередь, влечет искажение измерения глубинной температуры. Кроме того, могут возникать отражения на границе «датчик – тело», что также способно вызывать погрешности.

Пьезоэлектрические.

В датчиках этого типа главным элементом является кварцевый пьезорезонатор.

Как известно, пьезоматериал изменяет свои размеры при воздействии тока (прямой пьезоэффект). На этот пьезоматериал попеременно передается напряжение разного знака, от чего он начинает колебаться. Это и есть пьезорезонатор. Выяснено, что частота колебаний этого резонатора зависит от температуры, это явление и положено в основу пьезоэлектрического датчика температуры.

5.3 Содержание отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется на компьютере в текстовом редакторе. Отчет должен содержать:

- цель работы;
- описание хода выполнения работы по пунктам;
- вывод.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные типы датчиков температуры.
- 2 Поясните принцип работы термопары.
- 3 Поясните принцип работы термосопротивления.
- 4 Поясните способы подключения термопары к информационной системе.
- 5 Поясните способы подключения термосопротивления к информационной системе.

6 Лабораторная работа № 6. Исследование локационных датчиков

Цель работы: изучить конструкцию и принцип работы ультразвуковых и оптических локационных датчиков.

6.1 Ход работы

6.1.1 Изучить принцип работы и основные характеристики локационных датчиков, используя подраздел 6.2.

6.1.2 Изучить устройство лабораторного стенда, составить его функциональную схему.

6.1.3 Изучить характеристики установленных на лабораторном стенде моделей локационных датчиков и порядок их использования.

6.1.4 Произвести измерение расстояния до объекта при помощи ультразвукового локационного датчика. Оценить точность измерения расстояния таким типом датчика.

6.1.5 Произвести измерение расстояния до объекта при помощи оптического локационного датчика. Оценить точность измерения расстояния таким типом датчика.

6.1.6 Ответить на контрольные вопросы.

6.2 Краткие теоретические сведения

Локационные системы осязания используют для измерения координат изделия в тех случаях, когда применение системы технического зрения по тем или иным причинам нецелесообразно или невозможно. Установка датчиков локационных систем на захвате или рабочем инструменте автоматического манипулятора обеспечивает, например, возможность точного слежения сварочной головки за траекторией шва, а также позволяет захватывать и устанавливать изделия на подвесном или ленточном конвейерах. Кроме того, локационные системы осязания применяют в качестве датчиков безопасности для предотвращения столкновения подвижных частей манипулятора с предметами или людьми, случайно оказавшимися в его зоне обслуживания. Локационные системы осязания с активным или пассивным методом обнаружения предметов часто в литературе называют датчиками безопасности.

Для обеспечения чувствительности схваты оснащают световыми локационными преобразователями, зона действия которых соответствует пространству, прилегающему к захватным органам. Наряду с тактильными и фотоэлектрическими датчиками, в роботах применяют ультразвуковые устройства для измерения расстояния до захватываемых предметов.

Сигналы локационных датчиков также образуют обратную связь системы управления. Благодаря ей программа движения при определенном расстоянии до предмета может просто видоизменяться, но может и регулироваться скорость сближения и т. п. Обратные связи используются на втором и более высоких уровнях системы управления.

В общем случае под термином «локационный датчик» понимают устройство, состоящее из первичного преобразователя, измеряющего путем излучения и приема сигналов некоторые физические параметры объектов среды, усилителя, аналого-цифрового преобразователя, индикатора, а также в случае необходимости – микропроцессора, цифроаналогового преобразователя и специализированной ЭВМ для обработки и представления информации, передаваемой в систему управления робота или роботизированного технического комплекса.

Рассматриваемые датчики по своему назначению могут быть разделены на информационные локационные датчики для формирования управления роботом

и локационные датчики безопасности, используемые для защиты исполнительного органа от столкновения с посторонними предметами.

Информационные локационные датчики могут быть также использованы для определения положения объекта в пространстве относительно выбранной системы координат.

Локационные датчики безопасности представляют собой упрощенную модификацию информационной локационной системы, работающей в релейном режиме и формирующей сигналы об объектах типа да – нет. В качестве датчиков безопасности применяют также дальнометры, сигналы с которых поступают на пороговое устройство, причем порог срабатывания может изменяться в процессе работы робота.

Акустические локационные датчики имеют преимущества перед оптическими датчиками и при работе в газовой среде, и в условиях, затрудняющих или исключающих применение оптических средств (сильно задымленный воздух, наличие пара, оптических помех от электросварки и т. п.). С помощью акустических датчиков могут быть обнаружены внутренние дефекты в изделиях, измерены их толщина и акустические характеристики материала. В отличие от оптических, акустические датчики дают возможность идентифицировать материал поверхности объектов посредством измерения акустических параметров. При достаточно высокой точности измерения расстояний и геометрических параметров объектов они позволяют сравнительно простым программным путем в режиме реального времени получить интегральную оценку формы поверхности, например, измерить угол наклона ее отражающего участка, а также провести классификацию объектов.

Одной из наиболее актуальных задач научно-исследовательских работ по созданию акустических локационных систем в настоящее время является разработка датчиков, способных определить характер (акустические свойства) отражающего объекта на расстояниях до 10 м, и устройств осязания для транспортных роботов, которые представляют собой автоматически управляемые тележки, используемые для организации гибкого производства в цехах и в складских помещениях.

Оптические локационные датчики основаны на эффектах взаимодействия света с поверхностью объекта (отражение, поглощение, рассеяние и т. д.) и предназначены для обнаружения объектов в рабочей зоне адаптивного робота и определения таких параметров, как координаты объекта, его геометрические размеры, цвет, структура.

Локационные радиационные датчики для измерения расстояний делят на две группы:

- 1) устройства, основанные на измерении интенсивности пучка прямого излучения;
- 2) устройства, основанные на измерении интенсивности рассеянного излучения.

Работа акустических локационных датчиков в общем виде заключается в следующем. Зондирующие импульсы формируются генератором и через коммутирующее устройство поступают на излучающий преобразователь.

Излученные преобразователем ультразвуковые импульсы распространяются до объекта и, отразившись от него, поступают на приемный преобразователь (возможно применение одного преобразователя, работающего в совмещенном режиме). Принятый сигнал подвергается предварительной аналоговой обработке, а затем преобразуется в цифровой код. Пройдя блок цифровой обработки, полученная информация заносится в буферную память, из которой в нужный момент времени она может быть передана через интерфейсный блок в управляющую ЭВМ или непосредственно в исполнительное устройство.

Для увеличения информации об объекте применяют локационные датчики с так называемым информационным полем, которое представляет собой матрицу чувствительных элементов, аналогичную тем матрицам микродатчиков, которые используются в качестве устройства искусственного осязания и встраиваются в кисть или захват руки. Матрица, устанавливаемая неподвижно в рабочей зоне робота, позволяет собирать информацию о форме и взаимном расположении объектов в пределах поля чувствительности.

6.3 Содержание отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется на компьютере в текстовом редакторе. Отчет должен содержать:

- цель работы;
- описание хода выполнения работы по пунктам;
- вывод.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные типы локационных датчиков.
- 2 Поясните принцип работы ультразвуковых локационных датчиков.
- 3 Какова область применения ультразвуковых локационных датчиков?
- 4 Поясните принцип работы оптических локационных датчиков.
- 5 Какова область применения оптических локационных датчиков?

7 Лабораторная работа № 7. Исследование систем технического зрения

Цель работы: изучить устройство и принцип работы системы технического зрения, осуществляющей поиск и отслеживание объекта заданного цвета в поле зрения камеры.

7.1 Ход работы

7.1.1 Разработать виртуальную трехмерную среду в приложении V-REP. Среда должна включать в себя модель робота с камерой, свободно переме-

шающегося на плоскости, и набор неподвижных объектов в виде геометрических трехмерных фигур разного цвета, случайным образом разбросанных в поле зрения модели робота.

7.1.2 Разработать на языке Python программу получения изображения от сенсора среды V-REP.

7.1.3 Разработать на языке Python программу распознавания изображения, полученного от сенсора. Программа должна решать задачу поиска в поле зрения объекта заданного цвета, определения его координат и выделения объекта на изображении, возвращаемом в среду V-REP.

7.1.4 Модифицировать разработанную в пункте 3.1.3 программу таким образом, чтобы она находила объект другого цвета. Реализовать 3–4 варианта с нахождением различных объектов.

7.1.5 Разработать программу управления роботом по заданному алгоритму на основе результата распознавания изображения.

7.1.6 Ответить на контрольные вопросы.

7.2 Краткие теоретические сведения

Рассмотрим настройку виртуальной среды, интеграцию со средой Python и OpenCV для распознавания образов из виртуального мира.

Архитектура используемой системы показана на рисунке 7.1.

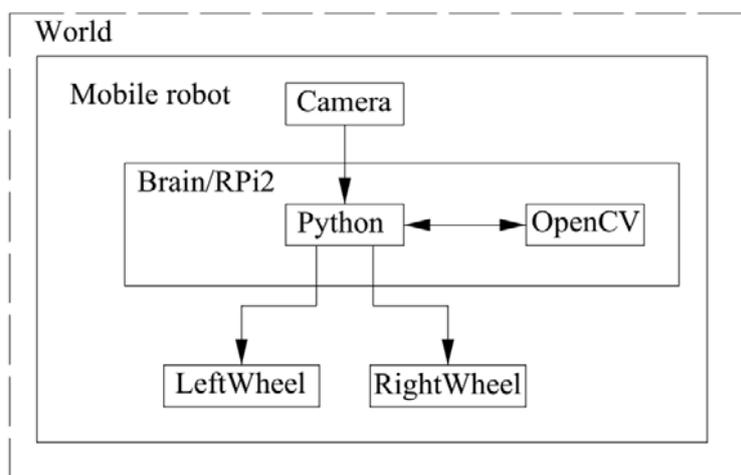


Рисунок 7.1 – Архитектура используемой системы

Как видно из рисунка 7.1, система управления робота получает изображение, распознаёт (посредством OpenCV) и передаёт управляющие команды на колеса. Путем замены изображения с камеры на виртуальное 3D-изображение, а управления колесами на управление виртуальным роботом получен стенд для отработки алгоритма.

Виртуальный стенд имеет архитектуру, показанную на рисунке 7.2.

В ходе лабораторной работы необходимо решить задачу связки V-REP с внешним скриптом на языке Python, который выполняет распознавание образов

с помощью OpenCV и выводит маркер вокруг найденного объекта.

Архитектура такой системы показана на рисунке 7.3.

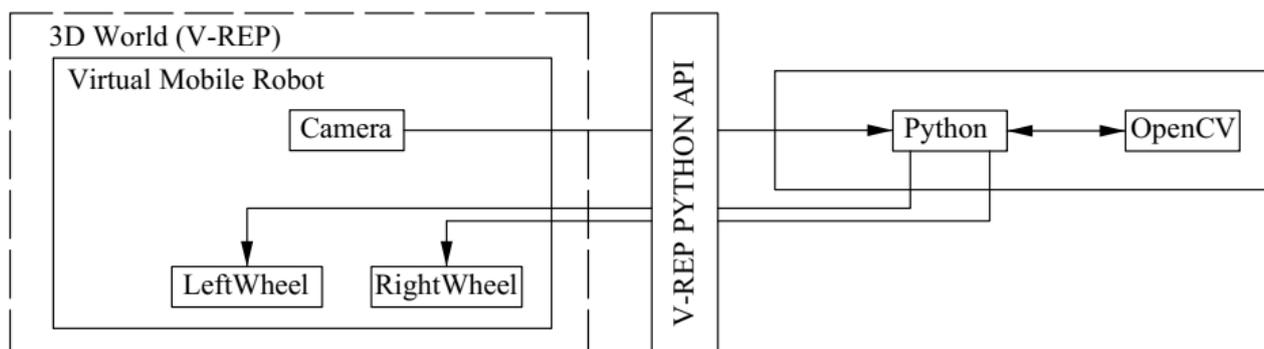


Рисунок 7.2 – Архитектура виртуального стенда

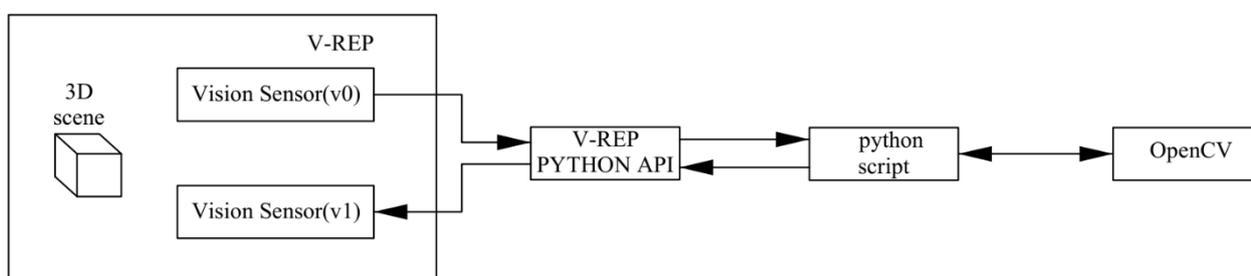


Рисунок 7.3 – Архитектура системы распознавания образов

В приложении V-REP необходимо создать сцену.

Сцена должна содержать камеру, которая просматривает область, содержащую различные 3D-объекты. Это изображение необходимо транслировать внешнему скрипту на языке Python, который должен вызывать OpenCV для распознавания и формирования маркера, и возвращать данное изображение обратно в V-REP для контроля.

Пример реализации сцены показан на рисунке 7.4.

Сцена содержит:

- подвижный штатив, который вращается;
 - на этом штативе закреплена камера v0 (vision sensor);
 - размещён v1 сенсор, данные на который передаются из внешней системы.
- После создания сцены можно импортировать модуль V-REP в среду Python:

```
import vrep
```

Простейший скрипт, который подключается к API, выглядит так:

```
import vrep
```

```
vrep.simxFinish(-1) # just in case, close all opened connections
clientID = vrep.simxStart('127.0.0.1', 19997, True, True, 5000, 5)
if clientID!=-1:
```

```

print 'Connected to remote API server'
while (vrep.simxGetConnectionId(clientID) != -1):
    print "some work"
else:
    print "Failed to connect to remote API Server"
vrep.simxFinish(clientID)

```

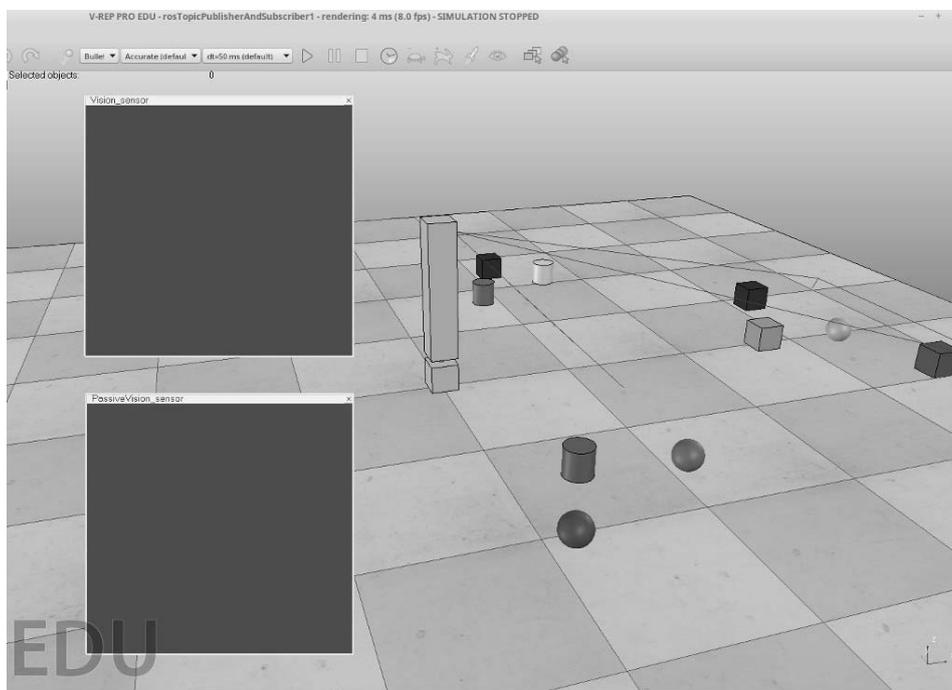


Рисунок 7.4 – Пример реализации виртуальной среды в программе V-REP

На созданной сцене есть два объекта – v0 и v1. С первого считывается картинка, на второй должен записываться результат. Поэтому нужно получить эти объекты в контексте скрипта Python, делается это с помощью API команды `vrep.simxGetObjectHandle`:

```

res, v0 = vrep.simxGetObjectHandle(clientID, 'v0', vrep.simx_opmode_oneshot_wait)
res, v1 = vrep.simxGetObjectHandle(clientID, 'v1', vrep.simx_opmode_oneshot_wait)

```

Для получения из Vision Sensor картинки и записи есть две функции:

- 1) `vrep.simxGetVisionSensorImage`;
- 2) `vrep.simxSetVisionSensorImage`.

Программа на языке Python будет выглядеть так:

```

# получение изображения из сенсора v0
err, resolution, image = vrep.simxGetVisionSensorImage(clientID, v0, 0,
vrep.simx_opmode_buffer)
# запись изображения в сенсор v1
vrep.simxSetVisionSensorImage(clientID, v1, image, 0, vrep.simx_opmode_oneshot)

```

После установки модуля OpenCV появляется возможность импортирования его в среде Python:

```
import cv2
```

Теперь необходимо реализовать простейшую функцию распознавания.

В примере функция `def track_green_object(image)` возвращает координаты зелёного объекта, если он найден на сцене.

Для отметки маркером найденного объекта воспользуемся базовой OpenCV функцией для рисования прямоугольника: `cv2.rectangle`.

Рассмотрим фрагмент программы, который:

- получает изображение (из `v0`);
- находит объект (что-то зелёное);
- добавляет маркер (желтый прямоугольник);
- возвращает изображение (в `v1`).

Фрагмент выглядит следующим образом:

```
# get image from vision sensor 'v0'
err, resolution, image = vrep.simxGetVisionSensorImage(clientID, v0, 0,
vrep.simx_opmode_buffer)
if err == vrep.simx_return_ok:
    image_byte_array = array.array('b', image)
    image_buffer = I.frombuffer("RGB", (resolution[0],resolution[1]), image_byte_array,
"raw", "RGB", 0, 1)
    img2 = numpy.asarray(image_buffer)
# try to find something green
ret = track_green_object(img2)
# overlay rectangle marker if something is found by OpenCV
if ret:
    cv2.rectangle(img2,(ret[0]-15,ret[1]-15), (ret[0]+15,ret[1]+15), (0xff,0xf4,0x0d), 1)
# return image to sensor 'v1'
img2 = img2.ravel()
vrep.simxSetVisionSensorImage(clientID, v1, img2, 0, vrep.simx_opmode_oneshot)
```

7.3 Содержание отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется на компьютере в текстовом редакторе. Отчет должен содержать:

- цель работы;
- описание хода выполнения работы по пунктам;
- листинг программы на языке Python, осуществляющей поиск объекта заданного цвета в поле зрения робота;
- вывод.

Контрольные вопросы

- 1 Поясните устройство системы технического зрения.
- 2 Поясните принципы кодирования цвета в цветовом пространстве RGB.
- 3 Поясните принципы кодирования цвета в цветовом пространстве HSV.
- 4 Поясните алгоритм поиска объекта заданного цвета, примененный в рассмотренной системе технического зрения.

8 Лабораторная работа № 8. Исследование распределенных систем управления

Цель работы: изучить структуру, принцип работы и устройство распределенной системы управления.

8.1 Ход работы

8.1.1 Изучить лабораторный стенд, реализующий распределенную систему управления. Составить его функциональную схему.

8.1.2 Для каждого контроллера в составе стенда составить перечень задач, которые будут реализовываться соответствующей частью распределенной системы управления.

8.1.3 Изучить варианты реализации промышленной сети между узлами рассматриваемой распределенной системы управления. Выполнить анализ преимуществ и недостатков системы, реализованной на лабораторном стенде.

8.1.4 Разработать программы для каждого контроллера в составе распределенной системы управления, реализующей перечень задач, составленный при выполнении пункта 8.1.2.

8.1.5 Разработать проект SCADA-системы, реализующий верхний уровень информационной системы, сопряженный с распределенной системой управления.

8.1.5 Загрузить разработанные по пункту 8.1.4 программы, исследовать корректность работы распределенной системы управления.

8.1.6 Ответить на контрольные вопросы.

8.2 Краткие теоретические сведения

Распределённая система управления – система управления технологическим процессом, отличающаяся построением распределённой системы ввода-вывода и децентрализацией обработки данных. Основным отличием PCY от обычной SCADA-системы является глубокая интеграция средств разработки кода для уровня визуализации и уровня управления. Например, изменение в

алгоритме управления процессом автоматически дублируется в программе отображения этого процесса.

В РСУ значительную роль играют контуры регулирования (ПИД-регуляторы).

Сферы применения РСУ многочисленны:

- химия и нефтехимия;
- нефтепереработка и нефтедобыча;
- газодобыча и газопереработка;
- металлургия;
- пищевая промышленность: молочная, сахарная, пивная;
- энергоснабжение и т. д.

Требования к современной РСУ:

- отказоустойчивость и безопасность;
- простота разработки и конфигурирования;
- поддержка территориально распределённой архитектуры;
- единая конфигурационная база данных;
- развитый человеко-машинный интерфейс;
- прозрачность – свойство систем, которые представлены в виде единой компьютерной системы;
- открытость – система, предлагающая службы, вызов которых требует стандартные синтаксис и семантику;
- масштабируемость;
- технологии масштабирования;
- технология асинхронной связи;
- распределение;
- репликация;
- кеширование.

На масштабируемость может плохо повлиять один существенный недостаток кеширования и репликации. Поскольку мы получаем множество копий ресурса, модификация одной копии делает ее отличной от остальных. Соответственно, кеширование и репликация вызывают проблемы непротиворечивости.

Концепции аппаратных решений.

Несмотря на содержание нескольких процессоров в распределенных системах существуют различные способы их организации. Обычно компьютеры подразделяются на две группы. Системы, которые используют память совместно, называются мультипроцессорами, а работающие каждый со своей памятью – мультикомпьютерами. Основная разница между ними состоит в том, что мультипроцессоры имеют единое адресное пространство, совместно используемое всеми процессорами. В мультикомпьютерах каждая машина использует свою собственную память. Типичный пример такой системы – несколько персональных компьютеров, объединенных в сеть. В зависимости от типа архитектуры, соединяющей сеть, системы подразделяют на шинную и коммутируемую. Исключительно мультикомпьютерная категория подразделяется на гомогенные

и гетерогенные распределенные системы. Для гомогенных систем характерна одна соединяющая компьютеры сеть, использующая единую технологию.

Контроллеры для распределенных систем управления.

В связи с резким удешевлением микропроцессорной техники с одновременным повышением их надежности и характеристик, уменьшением их размеров и увеличением их функциональных возможностей появилось большое количество малогабаритных контроллеров и компьютеров, обладающих невысокой стоимостью. Наличие развитых сетевых средств позволяет связывать эти контроллеры в единую сеть, причем различные узлы (контроллеры, интеллектуальные модули ввода-вывода, компьютеры) этой сети могут быть разнесены друг от друга на достаточно большие расстояния.

Такая распределенная архитектура системы управления обладает следующими достоинствами.

Высокая надежность работы системы. Четкое распределение обязанностей в распределенной системе делает ее работоспособной даже при выходе из строя или зависания любого узла.

Малое количество проводных соединений. Контроллеры имеют возможность работать в тяжелых промышленных условиях, поэтому они, как правило, устанавливаются в непосредственной близости от объекта управления.

Легкая расширяемость системы. При появлении дополнительных точек контроля и управления достаточно добавить в системы новый узел (контроллер, интеллектуальный модуль ввода-вывода).

Малые сроки проведения модернизации.

Использование компьютеров и контроллеров меньшей мощности.

Легкость тестирования и отладки. Поскольку все элементы системы активны, легко обеспечить самодиагностику и поиск неисправности.

8.3 Содержание отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется на компьютере в текстовом редакторе. Отчет должен содержать:

- цель работы;
- описание хода выполнения работы по пунктам;
- листинги либо снимки экрана с программами для контроллеров в составе распределенной системы управления;
- вывод.

Контрольные вопросы

- 1 Поясните понятие «распределенная система управления».
- 2 Перечислите основные типы промышленных сетей, которые могут быть применены для связи компонентов распределенной системы управления.
- 3 Каковы назначение и область применения протокола Modbus RTU?
- 4 Каковы назначение и область применения протокола Modbus TCP?

- 5 Поясните особенности реализации промышленных сетей CAN.
- 6 Поясните особенности реализации промышленных сетей RS-485.
- 7 Поясните особенности промышленного Ethernet.

Список литературы

- 1 **Гуров, В. В.** Микропроцессорные системы : учебное пособие / В. В. Гуров. – Москва : ИНФРА-М, 2022. – 336 с.
- 2 **Жежера, Н. И.** Микропроцессорные системы автоматизации технологических процессов : учебное пособие / Н. И. Жежера. – 2-е изд. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 240 с.
- 3 **Беккер, В. Ф.** Технические средства автоматизации. Интерфейсные устройства и микропроцессорные средства : учебное пособие / В. Ф. Беккер. – 2-е изд. – Москва : РИОР ; ИНФРА-М, 2020. – 152 с.
- 4 **Гарелина, С. А.** Автоматизация измерений, испытаний и контроля: учебное пособие / С. А. Гарелина, К. П. Латышенко, И. Ю. Сергеев. – Железнодорожск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. – 486 с.