

Интеллектуальная роботроника

Курс лекций, семинаров и лабораторных работ
“Сенсорные и управляющие системы роботов”

МГТУ “СТАНКИН”, кафедра «Сенсорные и
управляющие системы» (СиУС) при Институте
прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН

Андреев Виктор Павлович, профессор, д.т.н.

Москва, 2022г.

«Интеллектуальная роботроника»

Наука и практика разработки, производства и применения человеко-машинных, робототехнических систем (промышленных и сервисных), функционирование которых базируется на сенсорных и управляющих системах с элементами искусственного интеллекта и на распределённых микроэлектронных программно-аппаратных средствах

Участники:

Российская Инженерная Академия

Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН

Московский государственный технологический университет «Станкин»
(кафедра «Сенсорные и управляющие системы» при ИПМ им.Келдыша РАН)

Международная лаборатория «Сенсорика»

Международный институт новых образовательных технологий РГГУ

“ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТРОНИКА”

Сенсорные и управляющие системы роботов

Тема 2с.

Сенсорные системы мобильных роботов

(дистанционные датчики)

Лекция 5

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

Ультразвуковые (УЗ) датчики расстояния

УЗ-датчики расстояния наиболее широко используются в мобильной робототехнике.

УЗ-датчик расстояния типа HC-SR04.

Технические характеристики:

напряжение питания – 5 В;

ток потребления в режиме тишины – 2 мА;

ток потребления в рабочем режиме – 15 мА;

диапазон измеряемых расстояний – 2÷400 см;

эффективный угол наблюдения – 15°;

рабочий угол наблюдения – 30°.



УЗ датчик расстояния типа SRF-05.

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

Технические решения генерации звука

Звук – физическое явление, представляющее собой распространение механических колебаний в виде упругих волн в твёрдой, жидкой или газообразной среде.

Акустика – раздел физики, описывающий звуковые явления.

Звуковые волны в газовой среде это локальные изменения давления:

$$p(x, t) = p_0 \cos(\omega t \pm kx), \text{ где}$$

ω – круговая частота, k – волновое число ($k = 2\pi/\lambda$); λ – длина волны.

Звуковые волны: $f(t) \approx 20\text{Гц} \div 20\text{кГц}$; инфразвук: $f(t) < 20\text{Гц}$;

ультразвук: $f(t) \approx 20\text{кГц} \div 10^8\text{Гц}$.

Скорость звука в газовой среде [воздух – 331,5 м/с]: $v = \sqrt{(\gamma RT/M)}$, где

γ – адиабатический коэффициент (в воздухе $\gamma = 1,4$);

R – универсальная газовая постоянная ($R = 8,3144598$ Дж/Моль·К);

T – абсолютная температура (°К);

M – молярная масса (в воздухе $M = 0,029$ кг/моль).

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

Технические решения генерации ультразвука

Технический аналог органа слуха человека – микрофон, соединённый с вычислителем, в котором реализуется алгоритм анализа звуковой волны.

Работы по распознаванию речи человека ведутся давно, и в настоящее время распознавание речи (а также генерация) широко используется для общения человека с различными механизмами в социальной робототехнике.

Но мы рассмотрим лишь использование ультразвука (УЗ) для ориентации МР в пространстве. В природе известно применение УЗ для этих целей летучими мышами и дельфинами.

Для реализации данной функции необходимо иметь УЗ-излучатель и соответствующий УЗ-приёмник.

Наибольшее распространение получили электромеханические УЗ-излучатели, основанные на явлениях магнитострикционного, электростатического и пьезоэлектрического эффекта.

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

Технические решения генерации ультразвука

Магнитострикция (УЗ до 200кГц) – это изменение формы и объёма ферромагнетика (железо, его сплавы с никелем) при помещении его в переменное магнитное поле. Это поле, вектор магнитной индукции которого изменяется во времени по гармоническому закону с определённой (заданной) частотой. Поле действует как вынуждающая сила, заставляющая довольно массивный стержень из ферромагнетика сжиматься и растягиваться в зависимости от изменения величины магнитной индукции во времени. Частота сжатий и растяжений будет определяться частотой переменного магнитного поля. При этом в воздухе у концов стержня возникают деформации сжатия, которые воздействуют на воздушную среду и вызывают распространение УЗ-волн.

Увеличение амплитуды УЗ-волн выполняется за счёт подбора такой частоты переменного магнитного поля, при которой наблюдается резонанс между собственными и вынужденными колебаниями стержня.

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

Технические решения генерации ультразвука

Электростатический способ (УЗ до 500кГц). Излучатель имеет две обкладки, разделённые диэлектриком. Одна из обкладок представляет собой массивное основание, другая – лёгкая и подвижная плёнка.

При подаче постоянного напряжения между обкладками (как в конденсаторе) плёнка натягивается.

При подаче переменного напряжения сила натяжения изменяется пропорционально действующему напряжению, в результате – создаются колебания воздуха, распространяющиеся в виде УЗ-волн.

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

Технические решения генерации ультразвука

Пьезоэлектрический эффект (УЗ до нескольких МГц).

Существует прямой и обратный пьезоэлектрический эффект.

Сущность прямого пьезоэффекта: под механическим воздействием на пьезоэлектрическую пластину (кристалл) происходит её деформация, в результате чего на её поверхности образуются электростатические заряды, а внутри – электрическая поляризация. В результате между сторонами пластины возникает разность потенциалов – напряжение.

Прямой пьезоэлектрический эффект применяется для приёма ультразвуковых колебаний воздуха, действующих на пьезоэлектрическую пластину.

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

Технические решения генерации ультразвука

Пьезоэлектрический эффект (УЗ до нескольких МГц).

Существует прямой и обратный пьезоэлектрический эффект.

Обратный пьезоэффект: при приложении к пьезоэлектрической пластине (кристаллу) переменного электрического напряжения она начинает изменять свои геометрические размеры с частотой прикладываемого напряжения, т.е. при воздействии электрического поля на элементарные заряды в ячейках кристалла происходит изменение средних расстояний между ними; в результате возникает деформация всего кристалла.

Обратный пьезоэлектрический эффект применяется для генерации ультразвуковых колебаний.

Сенсорные системы мобильных роботов

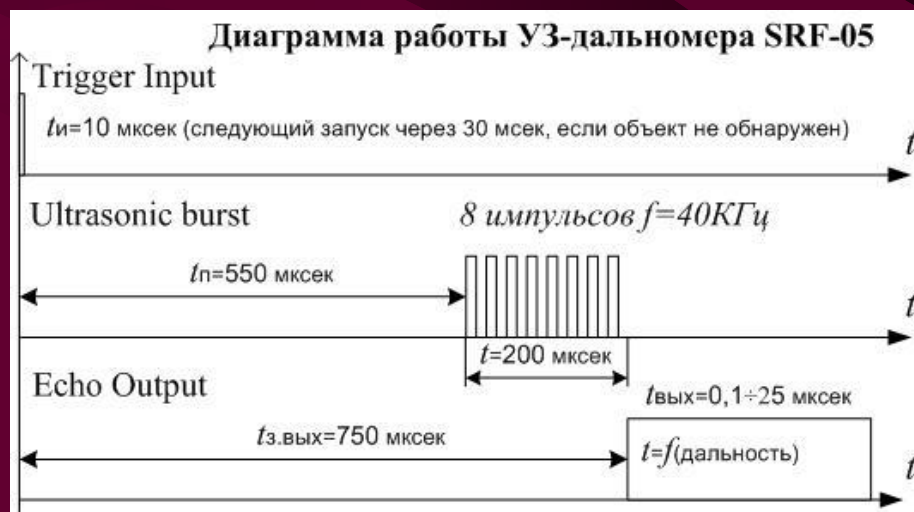
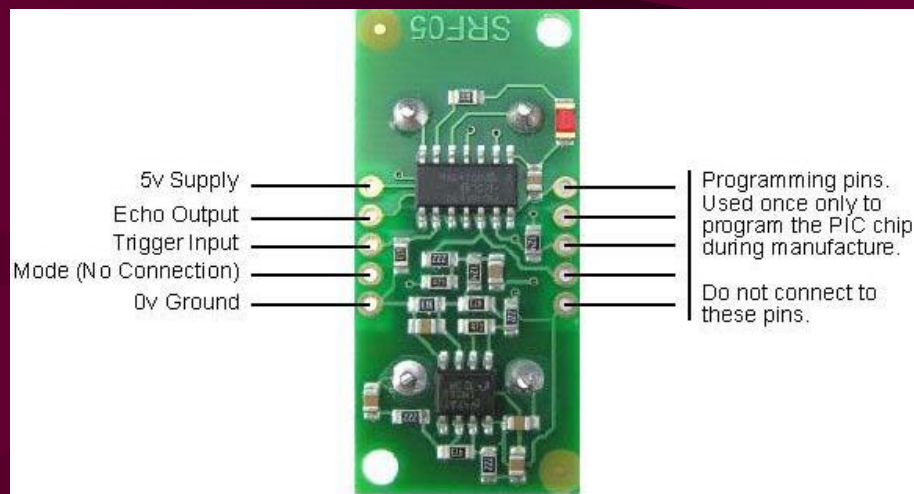
Дистанционные датчики (экстероцептивные)

УЗ-датчик расстояния – принцип работы SRF-05/ HC-SR04

На вход (Trigger Input) подаётся запускающий импульс ($10 \div 15 \mu\text{с}$). Для возбуждения УЗ излучателя микроконтроллер датчика с некоторой задержкой относительно запускающего импульса формирует пакет из 8 импульсов с амплитудой $\pm 5\text{В}$ и частотой 40 кГц (резонансная). Затем происходит приём отражённого от объекта сигнала (эхо).

Приём выполняется другим пьезоэлементом (с такой же резонансной частотой).

Микроконтроллер на выходе (Echo Output) датчика формирует импульс с длительностью, пропорциональной измеренному расстоянию: $L = t_{\text{ВЫХ}} / 58$.



Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

УЗ датчик расстояния – особенности использования HC-SR04

Факторы, влияющие на показания ультразвуковых датчиков:

- изменение скорости звука в зависимости от температуры и свойств окружающей среды (в основном, воздуха); в некоторых УЗ-датчиках расстояния установлен датчик температуры, с помощью которого выполняется компенсация влияния изменения температуры окружающей среды;
- наличие и уровень внешних шумов, возникающих в результате отражений УЗ-волны от различных объектов сцены;
- изменения амплитуды отражённого эха в зависимости от расстояния до объекта, размеров и геометрии поверхности; ровные, гладкие поверхности, расположенные под прямым углом к звуковой волне, характеризуются наилучшим отражением звука.

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

УЗ датчик расстояния – особенности использования HC-SR04

Такие свойства материала, как прозрачность, цвет или качество поверхности (глянцевая или матовая), не имеют влияния на отражение УЗ-волны. Шероховатые поверхности отражают звуковую энергию в нескольких направлениях, что приводит к снижению итоговой дальности обнаружения. С другой стороны, шероховатые поверхности допускают более значительное угловое отклонение благодаря рассеянному отражению ультразвукового сигнала.

Датчик имеет «мёртвую зону», в пределах которой объект не может быть обнаружен, так как после излучения волны излучателем, приёмник, для исключения принятия «эха» от только что излучённой волны, какое-то время находится в нерабочем состоянии (не принимает волну).

Следующий замер может быть выполнен, только после исчезновения эха от предыдущего. Это время называется периодом цикла (cycle period). Рекомендованный период между импульсами должен быть не менее 50 мс.

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

УЗ датчик расстояния – особенности использования HC-SR04

Датчик не обнаруживает предметы, находящиеся на расстоянии до 2см из-за задержки включения приёмника («уха»). Также не может измерить расстояние с точностью, меньшей длины волны своего излучения ($\lambda = 0.827$ см).

Как показали исследования УЗ-датчиков HC-SR04, этот датчик не может точно измерить расстояние до объекта в следующих случаях:

- расстояние до препятствия более 4 м;
- УЗ-волна «падает» на препятствие под углом Θ менее 45° ;
- если препятствие слишком мало.



Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

УЗ-датчик расстояния – подключение HC-SR04 к микроконтроллеру

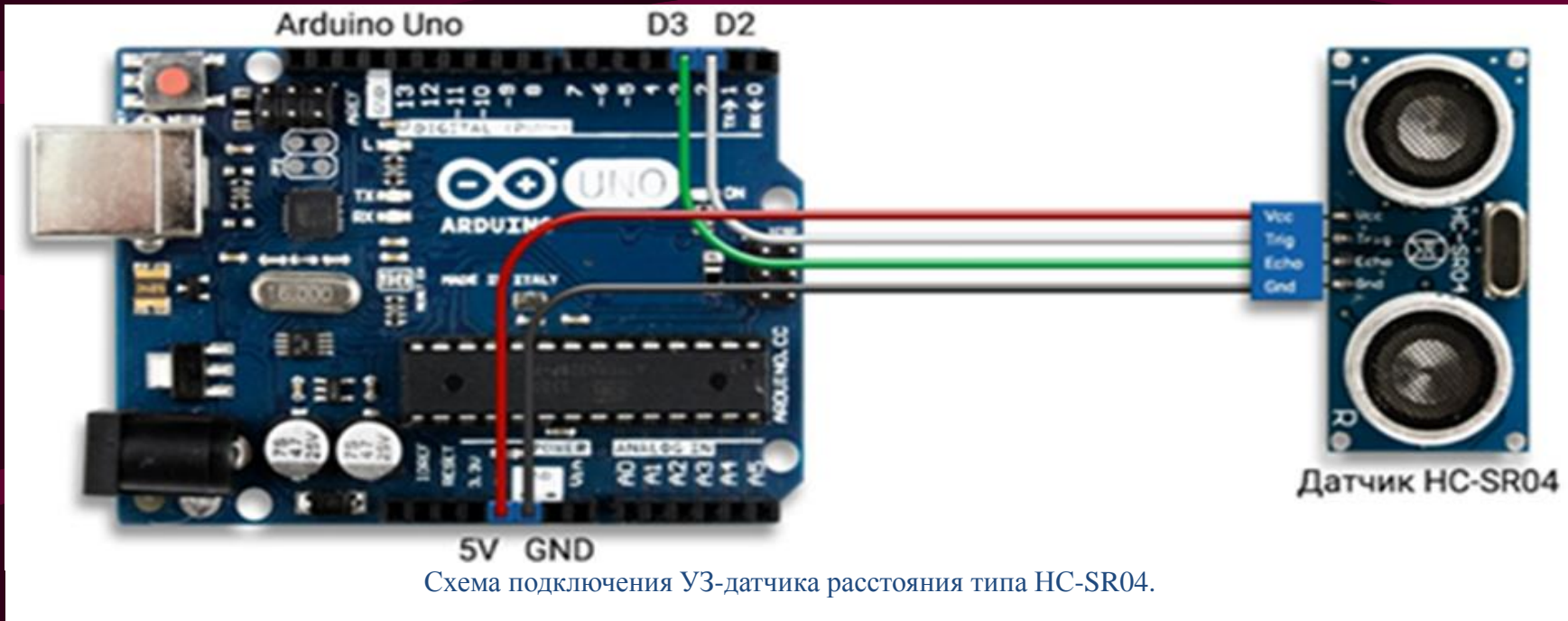


Схема подключения УЗ-датчика расстояния типа HC-SR04.

Значения выводов ультразвукового датчика расстояния:

VCC: +5V

Trig : Триггер (INPUT) – 2 пин.

Echo: Эхо (OUTPUT) – 3 пин.

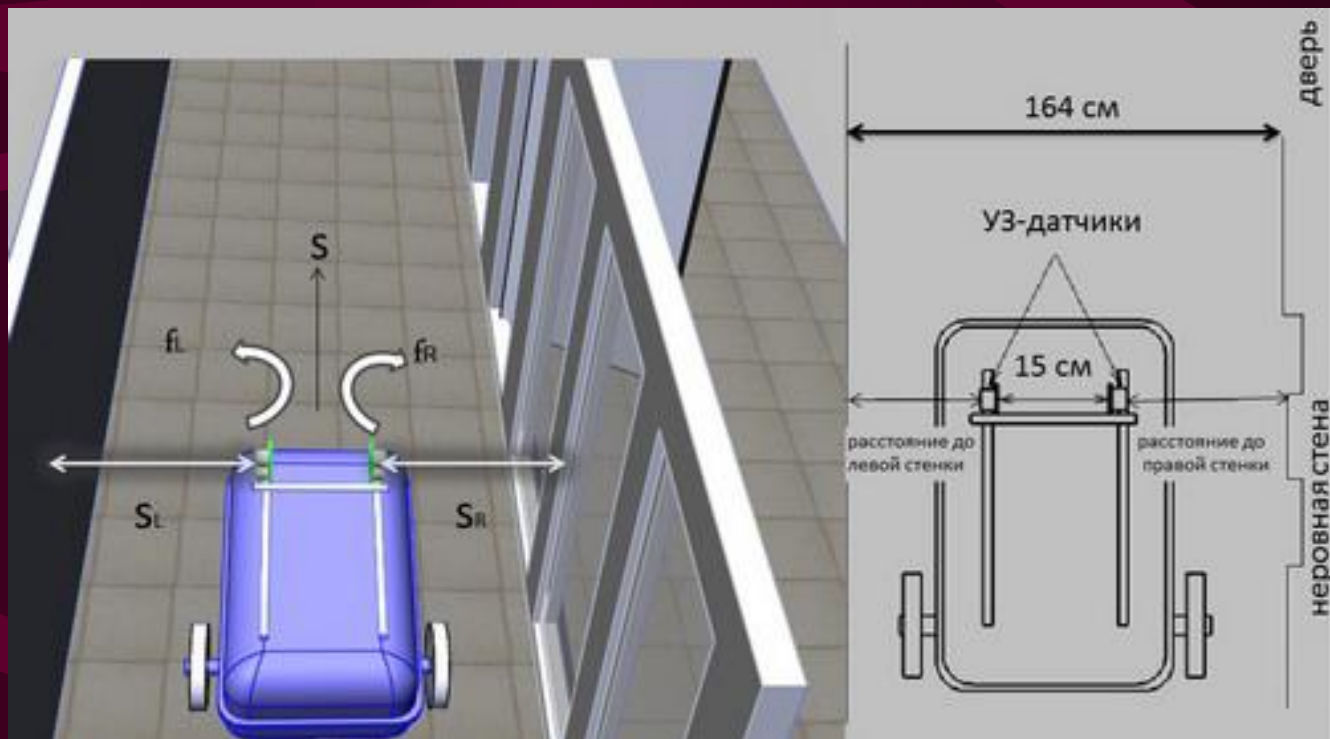
GND: GND.

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

УЗ-датчик расстояния – использование в системе обратной связи системы управления МР

С помощью 2-х УЗ-датчиков расстояния можно организовать движение робота вдоль коридора, вычисляя траекторию движения таким образом, чтобы разность в показаниях этих датчиков была в пределах заданной погрешности.

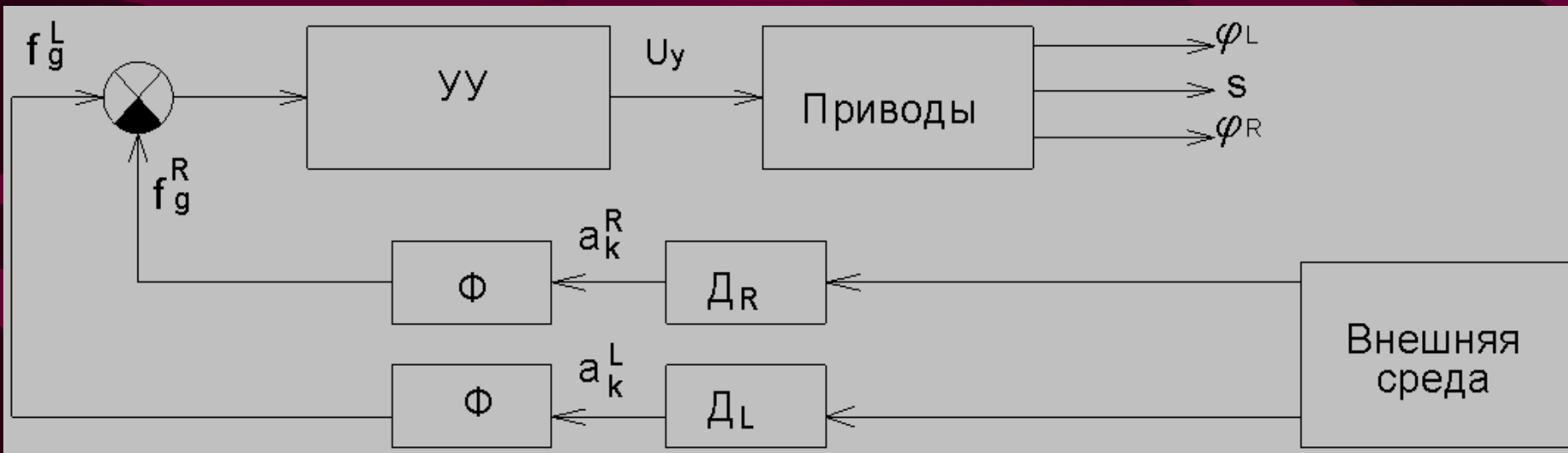


Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

УЗ-датчик расстояния – использование в системе обратной связи системы управления МР

С помощью 2-х УЗ-датчиков расстояния можно организовать движение робота вдоль коридора, вычисляя траекторию движения таким образом, чтобы разность в показаниях этих датчиков была в пределах заданной погрешности.



$Д_R$, $Д_L$ – правый и левый УЗ-датчики;
 Φ – фильтр;

$УУ$ – устройство управления;
 f_g – g -ый фильтр.

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

УЗ-датчик расстояния – использование в системе обратной связи системы управления МР

При движении МР по неизвестной местности на его пути могут возникать как статические, так и динамические препятствия. В статической среде робот формирует целевую траекторию и движется по ней, не задевая препятствий. В динамической среде, когда препятствия могут возникать неожиданно или постоянно двигаются, необходимо непрерывно сканировать окружающее пространство и довольно часто пересчитывать траекторию движения, чтобы избежать столкновения. Данные о наличии препятствия берутся из показаний УЗ- или ИК-датчиков (робот-пылесос).

Если расстояние до препятствия оказывается менее допустимого, то по каналу прерывания в управляющем микропроцессоре запускается алгоритм остановки МР или объезда препятствия. Если же столкновение уже произошло, то используются сигналы от концевых датчиков. В этом случае робот должен остановиться максимально быстро: сигнал от датчиков поступает в вычислитель МР по другому каналу прерывания и запускается программа экстренной остановки робота и его отката назад на небольшое расстояние.

Сенсорные системы мобильных роботов

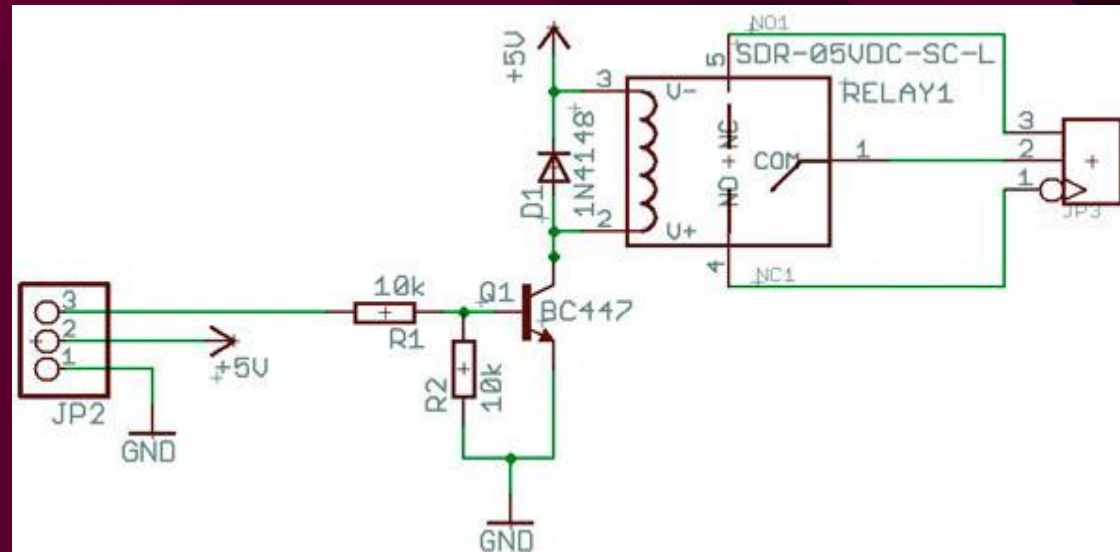
Подключение нагрузки к микроконтроллеру

Подключение электромагнитного реле. Схема подключения.

Непосредственно управлять реле микроконтроллер не должен – при подаче и снятии питания на реле в игру вступает его неприятная особенность – ток самоиндукции. Этот ток (обратный питающему току) может повредить коммутирующую электронику в микроконтроллере.

Стоит также отметить относительно высокие токи управления коммутацией (50-70 мА). Потому коммутация реле напрямую микроконтроллером не допускается.

Подключение выполняют опосредованно с использованием устройства усиления – транзистора.



Сенсорные системы мобильных роботов

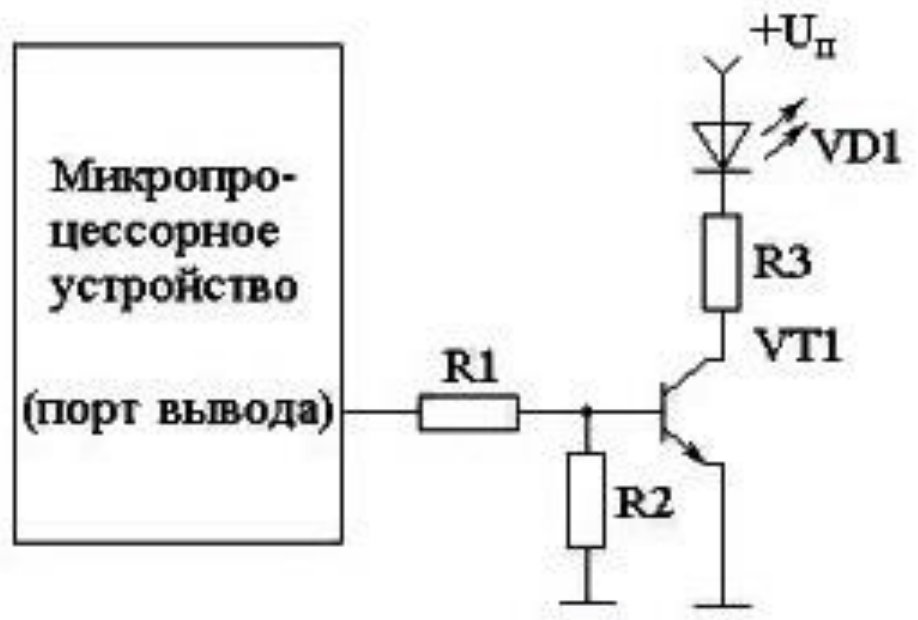
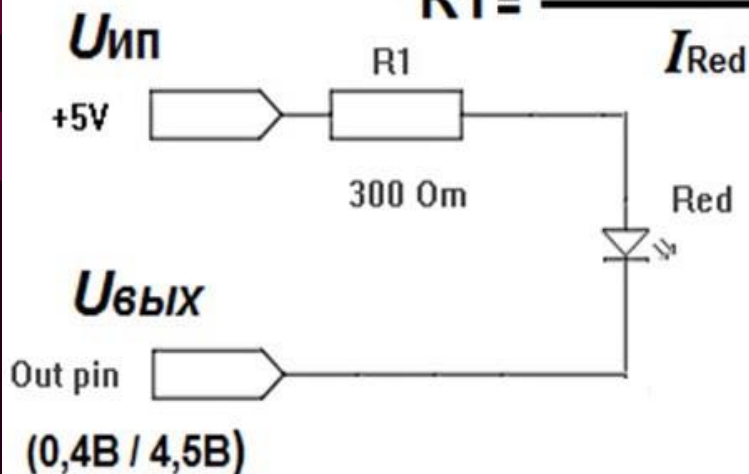
Подключение нагрузки к микроконтроллеру

Индикация светодиодом. Схема подключения.

Главная функция микроконтроллера – это управление внешними устройствами. Для успешного управления периферией нужно знать, какую максимальную нагрузку выдерживают как отдельные порты ввода-вывода, так и весь микроконтроллер в целом. Как правило, эта информация имеется в документации на микроконтроллер – его паспорте.

Подключение светодиодов

$$R1 = \frac{U_{ип} - U_{вых} - U_d}{I_{Red}}$$



Сенсорные системы мобильных роботов

Обработка сигналов датчиков, борьба с шумом

Шумы (помехи) разнообразны, как по своему происхождению, так и по физическим свойствам. Прежде всего – это электрические помехи, которые можно разделить на внутренние (возникающие в электронной аппаратуре) и внешние.

По виду воздействия на полезный сигнал $s(t)$ помеха $n(t)$ может быть аддитивной: $f(t) = s(t) + n(t)$, или мультипликативной: $f(t) = k \cdot n(t) \cdot s(t)$.

Помехи, в большинстве случаев, носят статистический характер.

Аддитивные помехи по их электрической и статистической структуре можно разделить на три основных класса:

- флуктуационные (распределённые по частоте и времени);
- сосредоточенные по частоте (квазигармонические);
- сосредоточенные по времени (импульсные).

Способность системы противостоять воздействию помехи называется **помехоустойчивостью**. Для качественного сравнения различных систем по шумовым характеристикам используется количественная мера – отношение сигнал/шум: $S/\sqrt{D_{\text{ш}}}$.

Сенсорные системы мобильных роботов

Обработка сигналов датчиков, борьба с шумом

Поскольку помехи, в большинстве случаев, носят статистический характер, борьба с шумом сводится к различным способам усреднения сигналов датчиков – фильтрации:

$$f(t) = \int [s(t) + n(t)] dt = S + \int n(t) dt ; \text{ при } t \rightarrow \infty \text{ и } s(t) = \text{Const} \quad f(t) \rightarrow S$$

В цифровой технике аналоговые сигналы с помощью АЦП преобразуются в дискретные отсчёты a_k , для $k = 1, 2, \dots, N$. Тогда вместо интеграла используется сумма. Для повышения значения $S/\sqrt{D_\text{ш}}$ используют различные фильтры:

1. Фильтр, основанный на вычислении среднего арифметического:

$$F_1 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N a_k$$

2. Фильтр, основанный на вычислении среднего геометрического:

$$F_2 = \left[\prod_{k=1}^N a_k \right]^{\frac{1}{N}}$$

3. Медианный фильтр: $F_3 = \text{med} \{a_1, \dots, a_k\}$

4. Фильтр, основанный на вычислении среднего гармонического:

$$F_4 = \frac{N}{\sum_{k=1}^N \frac{1}{a_k}}$$

5. Фильтр срединной точки: $F_5 = \frac{1}{2} [\max \{a_1, \dots, a_k\} + \min \{a_1, \dots, a_k\}]$

Выбор фильтра зависит от: $\max \{S/\sqrt{D_\text{ш}}\}$ при заданном «окне фильтрации» N или $\min \{N\}$ при заданном $S/\sqrt{D_\text{ш}}$. 22/24

Сенсорные системы мобильных роботов

<http://proxy.uniar.ru/RGGU/Files/Data/69ad8073-3e2a-47e7-8ce8-6370b4d3ccf0/index.htm>

«Проектно-исследовательская деятельность учащихся в области интеллектуальной роботроники с использованием модульных робототехнических систем»

Учебно-методическое пособие для организации дополнительного образования

Андреев Виктор Павлович, д.т.н., профессор МГТУ «СТАНКИН»

Ким Валерий Леонидович, аспирант МГТУ «СТАНКИН»

Плетенев Павел Филиппович, аспирант МГТУ «СТАНКИН»

Тарасова Виктория Эдуардовна, аспирант МГТУ «СТАНКИН» и др.

Есть в библиотеке МГТУ «СТАНКИН»

“ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТРОНИКА”

Сенсорные и управляющие системы роботов

Тема 2с

Сенсорные системы мобильных роботов
(дистанционные датчики)

ВОПРОСЫ?

Андреев Виктор Павлович, профессор, д.т.н.

andreevvipa@yandex.ru

Москва, 2022г.