

УДК 004.896  
ББК 32.816  
С79

**Дэнни Стейпл**

**С79** Устройство и программирование автономных роботов / пер. с англ. Е. В. Шевчук; науч. ред. В. С. Яценков. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 520 с.: ил.

**ISBN 978-5-97060-989-7**

Эта книга посвящена созданию интеллектуального робота и разработке кода для его поведенческих сценариев. Для построения робота используются широко доступные компоненты – датчики, двигатели, камеры, микрофоны, динамики, светодиоды и микрокомпьютер Raspberry Pi. Раскрывается ряд специализированных тем, таких как компьютерное зрение и голосовое управление. Также читатель узнает о специализированных сообществах, посвященных робототехнике, и перспективах ее развития.

Книга подойдет как новичкам в области программирования, так и опытным программистам, желающим применить свои навыки в аппаратном проекте. Для изучения материала необходимо знание языка Python и умение работать с циклами, условиями и функциями.

УДК 004.896  
ББК 32.816

First published in the English language under the title ‘Learn Robotics Programming – Second Edition – (9781839218804)

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN (анг.) 978-1-83921-880-4  
ISBN (рус.) 978-5-97060-989-7

Copyright ©Packt Publishing 2021  
© Оформление, издание, перевод, ДМК Пресс, 2022

# Оглавление

<b>Участники .....</b>	<b>17</b>
Об авторе.....	17
О рецензентах.....	17
<b>Предисловие.....</b>	<b>19</b>
Для кого эта книга .....	19
Какие темы описаны в книге .....	19
Как извлечь из книги наибольшую пользу .....	21
Загрузка файлов с примерами кода .....	21
Code in Action .....	22
Изображения в цвете.....	22
Используемые обозначения .....	22
Оставайтесь на связи.....	23
Отзывы .....	23
<b>ЧАСТЬ 1. ВВЕДЕНИЕ – ОСНОВЫ РОБОТОТЕХНИКИ... 25</b>	
<b>Глава 1. Введение в робототехнику.....</b>	<b>27</b>
Что такое робот? .....	27
Продвинутые и впечатляющие роботы .....	29
Марсоходы .....	31
Роботы в доме .....	32
Стиральная машина .....	32
Другие домашние роботы.....	33
Роботы в промышленности .....	34
Роботы-манипуляторы.....	34
Роботы на складах .....	36
Роботы для участия в соревнованиях, учебные и любительские роботы.....	36
Выводы .....	39
Задание.....	40
Дополнительные материалы .....	40
<b>Глава 2. Структурные элементы робота – код и электроника... 42</b>	
Технические условия .....	42
Внутреннее устройство робота.....	42
Типы компонентов робота.....	46
Типы двигателей .....	46
Другие типы приводов .....	48

Индикаторы состояния – дисплеи, световые и звуковые индикаторы.....	49
Типы сенсоров .....	49
Контроллеры и устройства ввода/вывода.....	51
Контакты ввода/вывода .....	52
Контроллеры.....	53
Модели контроллера Raspberry Pi .....	56
Набросок компонентов и структуры кода .....	57
Разработка аппаратного устройства робота.....	59
Выводы .....	62
Упражнения .....	62
Дополнительные материалы .....	62
<b>Глава 3. Изучение Raspberry Pi .....</b>	<b>63</b>
Технические требования.....	63
Функциональные возможности Raspberry Pi.....	63
Скорость и производительность .....	64
Возможности подключения.....	64
Преимущества Raspberry Pi 3A+ .....	64
Выбор способов подключения.....	65
Контакты для подключения питания.....	66
Шины передачи данных.....	67
Входы/выходы общего назначения.....	67
Платы расширения HAT для Raspberry Pi .....	67
Операционная система Raspberry Pi .....	68
Запись образа ОС Raspberry Pi на SD-карту.....	68
Выводы .....	70
Задание.....	71
Дополнительные материалы: .....	71
<b>Глава 4. Автономное управление роботом с помощью Raspberry Pi.....</b>	<b>72</b>
Технические требования.....	72
Сущность автономных систем и их преимущества .....	73
Настройка Wi-Fi и SSH на Raspberry Pi.....	74
Поиск Raspberry Pi в сети .....	76
Установка Bonjour для Windows.....	76
Тест системы .....	77
Устранение неполадок .....	77
Подключение к Raspberry Pi посредством PuTTY и SSH.....	78
Настройка конфигурации ОС Raspberry Pi .....	80
Изменение имени Raspberry Pi.....	80
Защита Raspberry Pi.....	82
Перезагрузка и повторное подключение .....	82
Обновление программного обеспечения на Raspberry Pi .....	85
Завершение сеанса Raspberry Pi .....	86
Выводы .....	86

Задание.....	87
Дополнительные материалы .....	87

## **Глава 5. Создание резервных копий**

### **с помощью Git и SD-карты ..... 88**

Технические требования.....	88
Причины возникновения проблем при написании и изменении кода .....	89
Повреждение SD-карты и потеря данных .....	89
Изменение кода или конфигурации .....	89
Стратегия 1 – хранение кода на ПК и его последующая передача .....	90
Стратегия 2 – создание копий с помощью Git.....	92
Стратегия 3 – резервное копирование данных SD-карты .....	94
Windows.....	95
Mac.....	97
Linux .....	100
Выводы .....	101
Задание.....	101
Дополнительные материалы .....	102

## **ЧАСТЬ 2. СОЗДАНИЕ АВТОНОМНОГО РОБОТА – ПОДКЛЮЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ И ДВИГАТЕЛЕЙ К RASPBERRY PI ..... 103**

### **Глава 6. Сборка основания – колеса, питание**

#### **и электропроводка ..... 105**

Технические требования.....	105
Выбор набора шасси.....	106
Размер .....	106
Количество колес .....	107
Колеса и двигатели .....	108
Простота .....	109
Стоимость .....	110
Заключение .....	110
Выбор платы контроллера двигателя.....	110
Степень интеграции.....	111
Использование контактов.....	111
Размер .....	112
Пайка .....	113
Силовой источник питания .....	113
Способы подключения .....	113
Заключение .....	114
Питание робота.....	115
Проверка компоновки.....	117
Сборка основания.....	120

Установка диска энкодера.....	122
Установка двигателя с помощью опор.....	122
Установка поворотного колеса .....	124
Установка ведущих колес .....	125
Прокладка проводов.....	126
Установка Raspberry Pi .....	127
Установка источников питания.....	128
Готовое основание для робота.....	130
Подключение двигателей к Raspberry Pi.....	131
Подключение проводов к HAT-плате .....	132
Автономное питание .....	134
Выводы .....	136
Задание.....	137
Дополнительные материалы .....	137

## Глава 7. Движение и повороты – код на Python

### для управления двигателями .....138

Технические требования.....	138
Разработка кода для проверки двигателей .....	139
Подготовка библиотек.....	139
Тест – обнаружение HAT-платы двигателя .....	139
Тест – демонстрация работы двигателей.....	141
Устранение неполадок .....	142
Как работает код .....	142
Рулевое управление робота .....	144
Типы рулевого управления .....	144
Рулевое управление нашего робота .....	147
Создание объекта Robot – код для взаимодействия с роботом.....	148
Для чего нужен объект?.....	149
Что мы поместим в объект?.....	150
Разработка сценария для следования по заданной траектории.....	154
Выводы .....	157
Задание.....	157
Дополнительные материалы .....	157

## Глава 8. Код на Python для работы с датчиками расстояния.....158

Технические требования.....	158
Выбор между оптическими и ультразвуковыми датчиками .....	159
Оптические датчики.....	160
Ультразвуковые датчики.....	160
Логические уровни и трансляторы логических уровней.....	161
Зачем использовать два датчика? .....	164
Подключение ультразвуковых датчиков и обработка получаемых ими данных .....	165
Установка датчиков на шасси .....	165
Подключение выключателя питания.....	167

Подключение датчиков	170
Установка библиотек Python для работы с датчиками	172
Считывание данных ультразвуковых датчиков расстояния	172
Устранение неполадок	175
Обход стен – разработка сценария обхода препятствий	176
Добавление датчиков в класс Robot	176
Разработка сценария обхода препятствий	177
Первая попытка разработки стратегии обхода препятствий	178
Разработка более сложной стратегии обхода препятствий	182
Выводы	184
Задание	184
Дополнительные материалы	185
<b>Глава 9. Код на Python для работы со светодиодами</b>	<b>186</b>
Технические требования	186
Что такое линейка RGB-светодиодов?	187
Сравнение технологий светодиодной индикации	187
RGB-значения	189
Подключение светодиодной линейки к Raspberry Pi	190
Установка светодиодной линейки на робота	190
Разработка кода для управления дисплеем робота	191
Создание интерфейса для управления светодиодами	191
Добавляем светодиоды в объект Robot	193
Тест одного светодиода	194
Тест всех светодиодов	196
Реализация радужного свечения на светодиодной линейке	197
Цветовые модели	197
Радужное свечение светодиодов	199
Использование светодиодов для получения отладочных данных в сценариях обхода препятствий	201
Реализация обычного свечения	202
Реализация радужного свечения	204
Выводы	205
Задание	205
Дополнительные материалы	206
<b>Глава 10. Код на Python для управления сервоприводами</b>	<b>207</b>
Технические требования	207
Что такое сервоприводы?	208
Сервопривод: взгляд изнутри	209
Отправка управляющих сигналов сервоприводу	210
Позиционирование сервоприводов с помощью Raspberry Pi	212
Создание тестового кода	213
Устранение неполадок	216
Управление ДПТ и сервоприводами	217
Калибровка сервоприводов	218
Создание механизма поворота и наклона	219

Сборка механизма .....	220
Установка механизма поворота и наклона на робота.....	224
Разработка кода для механизма поворота и наклона.....	225
Создание объекта Servos .....	225
Добавляем сервоприводы в класс Robot .....	228
Разработка скрипта для движения «головы» робота по окружности .....	229
Запуск сценария .....	231
Устранение неполадок .....	231
Реализация сканирующего сонара .....	232
Установка датчика .....	232
Установка библиотек.....	235
Поведенческий скрипт.....	235
Выводы .....	238
Задание.....	239
Дополнительные материалы .....	239
<b>Глава 11. Код на Python для работы с энкодерами .....</b>	<b>240</b>
Технические требования.....	240
Измерение пройденного расстояния с помощью энкодеров.....	241
Где применяются энкодеры.....	241
Типы энкодеров .....	241
Кодирование абсолютного или относительного положения.....	243
Кодирование направления и частоты вращения .....	244
Энкодеры, которые мы будем использовать .....	245
Установка энкодеров на робота.....	246
Подготовка энкодеров.....	247
Снятие Raspberry Pi .....	248
Установка энкодеров на шасси .....	249
Подключение энкодеров к Raspberry Pi .....	249
Измерение пройденного расстояния с помощью кода на Python .....	251
Ведение журнала .....	251
Простой подсчет .....	252
Добавляем энкодеры в объект Robot.....	255
Преобразование тактов в миллиметры .....	257
Движение по прямой.....	259
Коррекция отклонения с помощью ПИД-регуляторов .....	259
Создание объекта ПИД-регулятора.....	261
Создание кода для движения по прямой.....	263
Устранение неполадок .....	265
Перемещение на определенное расстояние.....	266
Рефакторинг преобразования единиц измерения для класса EncoderCounter.....	266
Настройка констант.....	267
Разработка поведенческого скрипта для движения на определенное расстояние .....	268
Выполнение точного поворота.....	270
Создание функции drive_arc .....	274

Выводы .....	275
Задание.....	276
Дополнительные материалы .....	276
<b>Глава 12. Код на Python для работы с IMU.....</b>	<b>278</b>
Технические требования .....	279
Подробнее об инерциальных измерительных модулях (IMU) .....	279
Предлагаемые модели IMU .....	280
Пайка – подсоединение контактов к IMU .....	281
Создание паянного соединения .....	281
Установка IMU на робота.....	283
Физическое размещение .....	283
Подключение IMU к Raspberry Pi.....	286
Считывание данных датчика температуры.....	288
Установка программного обеспечения.....	288
Устранение неполадок .....	289
Считывание регистра температуры .....	289
Устранение неполадок .....	293
Упрощение командной строки VPython .....	294
Считывание данных гироскопа с помощью Python.....	294
Как работает гироскоп .....	294
Добавление гироскопа в интерфейс .....	297
Построение графика данных гироскопа .....	297
Считывание данных акселерометра с помощью Python .....	299
Как работает акселерометр.....	299
Добавление акселерометра в интерфейс.....	300
Отображение данных акселерометра в виде вектора.....	300
Считывание данных магнитометра .....	302
Как работает магнитометр .....	302
Добавление интерфейса магнитометра .....	304
Отображение данных магнитометра .....	304
Выводы .....	306
Задание.....	306
Дополнительные материалы .....	306
<b>ЧАСТЬ 3. СЛУХ И ЗРЕНИЕ – «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ»</b>	
<b>ДАТЧИКИ ДЛЯ РОБОТА.....</b>	<b>309</b>
<b>Глава 13. Система технического зрения робота –</b>	
<b>камера Pi и OpenCV .....</b>	<b>311</b>
Технические требования .....	311
Настройка камеры Raspberry Pi .....	312
Установка камеры на механизм поворота и наклона .....	313
Подключение камеры .....	316
Настройка программного обеспечения для задач	
компьютерного зрения .....	318



Настройка программного обеспечения камеры Pi .....	318
Получение изображения с Raspberry Pi .....	319
Установка OpenCV и вспомогательных библиотек .....	319
Создание приложения для потоковой передачи данных камеры Raspberry Pi.....	320
Разработка потокового сервера OpenCV.....	321
Создание объекта CameraStream .....	322
Создание главного приложения сервера изображений.....	323
Создание шаблона .....	325
Запуск сервера изображений.....	326
Устранение неполадок .....	326
Запуск фоновых задач во время потоковой передачи.....	327
Создание ядра веб-приложения .....	328
Разработка управляемого поведенческого скрипта .....	331
Создание шаблона элемента управления .....	332
Запуск управляемого сервера изображений .....	333
Отслеживание цветных объектов с помощью кода на Python .....	333
Преобразование изображения в информацию .....	334
Усовершенствование ПИД-регулятора .....	336
Создание компонентов поведенческого скрипта .....	338
Запуск поведенческого скрипта .....	343
Настройка параметров ПИД-регулятора .....	344
Устранение неполадок .....	345
Отслеживание лиц с помощью кода на Python .....	346
Поиск объекта на изображении.....	346
Сканирование базовых признаков.....	347
План поведенческого сценария отслеживания лиц.....	349
Создание кода для сценария отслеживания лиц.....	350
Запуск поведенческого скрипта отслеживания лиц .....	353
Устранение неполадок .....	354
Выводы .....	354
Задание.....	355
Дополнительные материалы .....	355

## Глава 14. Код на Python для отслеживания

### линий с помощью камеры..... 357

Технические требования.....	358
Введение в отслеживание линий.....	358
Что такое отслеживание линий?.....	358
Использование в промышленности.....	358
Типы алгоритмов отслеживания линий .....	359
Создание тестового маршрута.....	360
Материалы для создания тестового маршрута .....	361
Создание линии .....	361
Конвейерная обработка данных компьютерного зрения для следования по линиям .....	362

Алгоритмы отслеживания линий с помощью камеры .....	362
Конвейер обработки изображения .....	363
Проверка алгоритма компьютерного зрения на основе образцов изображений .....	366
Зачем нужны тестовые изображения? .....	366
Получение тестовых изображений .....	366
Создание кода на Python для обнаружения границ линии .....	368
Определение положения линии по границам .....	371
Тест снимков без четкой линии .....	372
Следование по линиям с помощью ПИД-алгоритма .....	374
Создание блок-схемы поведенческого сценария .....	375
Добавляем время в ПИД-регулятор .....	376
Разработка начального кода для поведенческого скрипта .....	376
Настройка параметров ПИД-регулятора .....	383
Устранение неполадок .....	383
Нахождение линии при ее потере .....	383
Выводы .....	384
Задание .....	385
Дополнительные материалы .....	385

## Глава 15. Голосовая связь с роботом посредством Mycroft..... 386

Технические требования .....	387
Введение в Mycroft – основные понятия .....	387
Преобразование речи в текст .....	387
Слово для пробуждения .....	387
Реплика .....	388
Намерение .....	388
Диалог .....	388
Словарь .....	388
Навык .....	388
Ограничения голосового управления .....	389
Аудиовход и выход для Raspberry Pi .....	389
Физическая установка .....	390
Установка программного обеспечения голосового помощника на Raspberry Pi .....	391
Установка программного обеспечения ReSpeaker .....	392
Настройка взаимодействия звуковой карты и Mycroft .....	394
Начало использования Mycroft .....	395
Устранение неполадок .....	397
Разработка API с помощью Flask .....	397
Как работает управления роботом с помощью Mycroft .....	398
Удаленный запуск поведенческого скрипта .....	399
Создание сервера API управления с помощью Flask .....	401
Устранение неполадок .....	403
Разработка кода для запуска Mycroft на Raspberry Pi .....	403
Разработка намерения .....	404

Устранение неполадок .....	409
Создание еще одного намерения .....	410
Выводы .....	411
Задание.....	412
Дополнительные материалы .....	413
<b>Глава 16. Погружаемся глубже в работу IMU .....</b>	<b>414</b>
Технические требования.....	414
Разработка кода для виртуального робота .....	415
Создание модели робота в VPython .....	415
Определение параметров вращения с помощью гироскопа.....	419
Калибровка гироскопа .....	421
Изменение положения виртуального робота на основе данных гироскопа .....	422
Измерение углов тангажа и крена с помощью акселерометра .....	426
Определение углов тангажа и крена на основе векторных данных акселерометра .....	426
Сглаживание данных акселерометра.....	429
Совместная обработка данных акселерометра и гироскопа .....	430
Определение направления с помощью магнитометра .....	433
Калибровка магнитометра .....	433
Приблизительное определение направления робота с помощью магнитометра на практике .....	439
Объединение показаний датчиков для ориентирования робота .....	441
Управление роботом на основе показаний IMU.....	447
Выводы .....	449
Задание.....	449
Дополнительные материалы .....	449
<b>Глава 17. Разработка кода на Python для управления роботом с помощью смартфона.....</b>	<b>451</b>
Технические требования.....	452
Когда голосовое управление не работает (или Зачем нам нужно управлять роботом) .....	452
Режимы меню – выбор поведенческих сценариев .....	452
Управление режимами робота .....	454
Устранение неполадок .....	455
Веб-сервер.....	456
Шаблон .....	456
Запуск приложения .....	458
Устранение неполадок .....	460
Выбор контроллера – как лучше управлять роботом и почему .....	461
Обзор будущего приложения.....	461
Подготовка Raspberry Pi к удаленному управлению – основы системы управления.....	464
Расширение кода ядра изображения .....	465
Разработка сценария ручного управления.....	466

Шаблон (веб-страница) .....	468
Таблица стилей .....	471
Разработка кода для ползунков .....	474
Запуск системы .....	477
Устранение неполадок .....	478
Реализация полного управления роботом через смартфон .....	479
Совместимость режимов меню с поведенческими сценариями, использующими Flask .....	479
Загрузка видеосервисов .....	480
Стилизация меню .....	482
Реализация запуска меню вместе с Pi .....	484
Добавляем светодиоды на сервер меню .....	484
Автоматический запуск с помощью инструмента systemd .....	485
Выводы .....	487
Задание .....	488
Дополнительные материалы .....	488
<b>Часть 4. Дальнейшее изучение робототехники .....</b>	<b>491</b>
<b>Глава 18. Дальнейшее развитие навыков программирования робототехнических систем .....</b>	<b>493</b>
Робототехнические интернет-сообщества – форумы и социальные сети .....	493
Каналы на YouTube, с которыми стоит ознакомиться .....	495
Технические вопросы – куда обратиться за помощью .....	496
Мероприятия – соревнования, площадки для совместной работы и встречи .....	496
Площадки для совместной работы .....	497
Maker Faire, Raspberry Jam и Coder Dojo .....	497
Соревнования .....	498
Навыки, которые стоит освоить, – 3D-печать, пайка, печатные платы и станки с ЧПУ .....	499
Навыки проектирования .....	499
Навыки обработки компонентов и сборки .....	500
Навыки работы с электроникой .....	502
Подробнее о компьютерном зрении .....	504
Книги .....	504
Онлайн-курсы .....	504
Социальные сети .....	505
Переход к машинному обучению .....	505
Операционная система для роботов .....	506
Выводы .....	507
Дополнительные материалы .....	507
<b>Глава 19. Планирование следующего робототехнического проекта – подводим итоги .....</b>	<b>508</b>
Технические требования .....	508
Представляем нового робота – как он будет выглядеть .....	508

16 ❖ Оглавление

---

Создание блок схемы.....	510
Выбор компонентов .....	511
Планирование кода .....	512
Рассказываем миру о проекте .....	515
Выводы .....	516
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>517</b>