



Exploring Arduino®

Tools and Techniques for
Engineering Wizardry

Jeremy Blum

WILEY

Джереми Блум

ИЗУЧАЕМ
ARDUINO[®]

ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ
ТЕХНИЧЕСКОГО ВОЛШЕБСТВА

Санкт-Петербург
«БХВ-Петербург»
2015

УДК 004
ББК 32.973.26
Б71

Блум Джереми

Б71 Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства:
Пер. с англ. — СПб.: БХВ-Петербург, 2015. — 336 с.: ил.

ISBN 978-5-9775-3585-4

Книга посвящена проектированию электронных устройств на основе микроконтроллерной платформы Arduino. Приведены основные сведения об аппаратном и программном обеспечении Arduino. Изложены принципы программирования в интегрированной среде Arduino IDE. Показано, как анализировать электрические схемы, читать технические описания, выбирать подходящие детали для собственных проектов. Приведены примеры использования и описание различных датчиков, электродвигателей, сервоприводов, индикаторов, проводных и беспроводных интерфейсов передачи данных. В каждой главе перечислены используемые комплектующие, приведены монтажные схемы, подробно описаны листинги программ. Имеются ссылки на сайт информационной поддержки книги. Материал ориентирован на применение несложных и недорогих комплектующих для экспериментов в домашних условиях.

Для радиолюбителей

УДК 004
ББК 32.973.26

Группа подготовки издания:

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Игорь Шишигин</i>
Зав. редакцией	<i>Екатерина Капалыгина</i>
Перевод с английского	<i>Виктора Петина</i>
Редактор	<i>Леонид Кочин</i>
Компьютерная верстка	<i>Ольги Сергиенко</i>
Корректор	<i>Зинаида Дмитриева</i>
Оформление обложки	<i>Марины Дамбиевой</i>

Authorized Russian translation of the English edition of Exploring Arduino®: Tools and Techniques for Engineering Wizardry, ISBN 978-1-118-54936-0 © 2013 by John Wiley & Sons, Inc. All Rights Reserved.
This translation published under license by BHV-St.Petersburg, © 2015.

Авторизованный перевод с английского на русский язык произведения Exploring Arduino®: Tools and Techniques for Engineering Wizardry, ISBN 978-1-118-54936-0 © 2013 by John Wiley & Sons, Inc. Все права защищены.
Этот перевод публикуется по лицензии издательством "БХВ-Петербург", © 2015.

Подписано в печать 04.02.15.
Формат 70×100^{1/16}. Печать офсетная. Усл. печ. л. 27,09.
Тираж 2000 экз. Заказ №
"БХВ-Петербург", 191036, Санкт-Петербург, Гончарная ул., 20.

Первая Академическая типография "Наука"
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12/28

ISBN 978-1-118-54936-0 (англ.)
ISBN 978-5-9775-3585-4 (рус.)

© 2013 by John Wiley & Sons, Inc.
© Перевод на русский язык, оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2015



Оглавление

Об авторе.....	15
О техническом редакторе	16
Благодарности.....	17
Введение	19
Для кого эта книга	19
О чем эта книга	20
Что вам понадобится	20
Электронные ресурсы к книге	20
Дополнительный материал и поддержка	21
Что такое Arduino?.....	21
О движении Open Source.....	22
Несколько советов читателю	22
Дополнительная информация издательства "БХВ-Петербург" к русскоязычному изданию книги.....	23
ЧАСТЬ I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЛАТФОРМЕ ARDUINO.....	25
Глава 1. Начало работы, переключаем светодиод из Arduino	27
1.1. Знакомство с платформой Arduino.....	27
1.2. Аппаратная часть	28
1.3. Микроконтроллеры Atmel.....	28
1.4. Интерфейсы программирования	30
1.5. Цифровые и аналоговые контакты ввода-вывода	31
1.6. Источники питания.....	31
1.7. Платы Arduino.....	31
1.8. Запускаем первую программу	36
1.8.1. Загрузка и установка Arduino IDE	36
1.8.2. Запуск IDE и подключение к Arduino	37
1.8.3. Анализируем программу Blink.....	39
Резюме	41
Глава 2. Цифровые контакты ввода-вывода, широко-импульсная модуляция	42
2.1. Цифровые контакты	43
2.2. Подключение внешнего светодиода	43
2.2.1. Работа с макетной платой.....	43

2.3. Подсоединение светодиодов.....	44
2.3.1. Закон Ома и формула для расчета мощности	45
2.4. Программирование цифровых выводов	47
2.5. Использование цикла	48
2.6. Широтно-импульсная модуляция с помощью <i>analogWrite()</i>	49
2.7. Считывание данных с цифровых контактов.....	52
2.7.1. Считывание цифровых входов со стягивающим резистором.....	52
2.8. Устранение "дребезга" кнопок	55
2.9. Создание управляемого ночника на RGB-светодиоде.....	58
Резюме	62

Глава 3. Опрос аналоговых датчиков..... 63

3.1. Понятие об аналоговых и цифровых сигналах.....	64
3.2. Сравнение аналоговых и цифровых сигналов.....	64
3.3. Преобразование аналогового сигнала в цифровой	65
3.4. Считывание аналоговых датчиков с помощью Arduino. Команда <i>analogRead()</i>	67
3.5. Чтение данных с потенциометра	67
3.6. Использование аналоговых датчиков	71
3.7. Работа с аналоговым датчиком температуры.....	73
3.8. Использование переменных резисторов для создания собственных аналоговых датчиков.....	75
3.9. Резистивный делитель напряжения.....	75
3.10. Управление аналоговыми выходами по сигналу от аналоговых входов	77
Резюме	79

ЧАСТЬ II. УПРАВЛЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ 81

Глава 4. Использование транзисторов и управляемых двигателей 83

4.1. Двигатели постоянного тока.....	84
4.2. Борьба с выбросами напряжения	85
4.3. Использование транзистора в качестве переключателя.....	86
4.4. Назначение защитных диодов	86
4.5. Назначение отдельного источника питания	87
4.6. Подключение двигателя	87
4.7. Управление скоростью вращения двигателя с помощью ШИМ	88
4.8. Управление направлением вращения двигателя постоянного тока с помощью Н-моста.....	91
4.9. Сборка схемы Н-моста	92
4.10. Управление работой Н-моста	94
4.11. Управление серводвигателем	98
4.11.1. Стандартные сервоприводы и сервоприводы вращения.....	98
4.11.2. Принцип работы серводвигателя	98
4.12. Контроллер серводвигателя.....	102
4.13. Создание радиального датчика расстояния.....	103
Резюме	107

Глава 5. Работаем со звуком 108

5.1. Свойства звука	109
5.2. Как динамик воспроизводит звук.....	110

5.3. Использование функции <i>tone()</i> для генерации звуков	110
5.4. Включение файла заголовка	111
5.5. Подключение динамика	112
5.6. Создание мелодии.....	114
5.6.1. Использование массивов	114
5.6.2. Создание массивов нот и определение их длительности звучания.....	115
5.6.3. Написание программы воспроизведения звука	116
Резюме	117
Глава 6. USB и последовательный интерфейс.....	118
6.1. Реализация последовательного интерфейса в Arduino	119
6.2. Платы Arduino с внутренним или внешним преобразователем FTDI.....	120
6.3. Платы Arduino с дополнительным микроконтроллером для преобразования USB в последовательный порт.....	122
6.4. Платы Arduino с микроконтроллером, снабженным встроенным интерфейсом USB....	123
6.5. Платы Arduino с возможностями USB-хоста	124
6.6. Опрос Arduino с компьютера.....	124
6.6.1. Пример вывода данных.....	124
6.6.2. Использование специальных символов.....	126
6.6.3. Изменение представлений типа данных.....	127
6.6.4. Общение с Arduino	128
6.6.5. Чтение информации из компьютера или другого последовательного устройства	129
Плата Arduino в качестве транслятора данных	129
Различие между <i>char</i> и <i>int</i>	130
Отправка одиночных символов для управления светодиодом	131
Отправка последовательности цифр для управления RGB-светодиодом	133
6.7. Создаем компьютерное приложение	136
6.7.1. Интерфейс Processing.....	136
6.7.2. Установка Processing.....	136
6.7.3. Плата Arduino управляет приложением на Processing	136
6.7.4. Отправка данных из Processing-приложения в Arduino	140
6.8. Изучаем особенности работы с Arduino Leonardo (и другими платами на основе процессора 32U4).....	143
6.8.1. Эмуляция клавиатуры	143
6.8.2. Отправка команд для управления компьютером.....	147
6.8.3. Эмуляция мыши	148
Резюме	151
Глава 7. Сдвиговые регистры	153
7.1. Что такое сдвиговый регистр.....	154
7.2. Последовательная и параллельная передача данных.....	155
7.3. Сдвиговый регистр 74НС595.....	155
7.3.1. Назначение контактов сдвигового регистра	155
7.3.2. Принцип действия сдвиговых регистров.....	156
7.3.3. Передача данных из Arduino в сдвиговый регистр.....	158
7.3.4. Преобразование между двоичным и десятичным форматами	160
7.4. Создание световых эффектов с помощью сдвигового регистра.....	161
7.4.1. Эффект "бегущий всадник"	161
7.4.2. Отображение данных в виде гистограммы	162
Резюме	165

ЧАСТЬ III. ИНТЕРФЕЙСЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ.....	167
Глава 8. Интерфейсная шина I²C.....	169
8.1. История создания протокола I ² C.....	170
8.2. Схема подключения устройств I ² C.....	170
8.2.1. Взаимодействие и идентификация устройств.....	171
8.2.2. Требования к оборудованию и подтягивающие резисторы.....	173
8.3. Связь с датчиком температуры I ² C.....	173
8.3.1. Сборка схемы устройства.....	173
8.3.2. Анализ технического описания датчика.....	174
8.3.3. Написание программы.....	177
8.4. Проект, объединяющий регистр сдвига, последовательный порт и шину I ² C.....	179
8.4.1. Создание системы мониторинга температуры.....	179
8.4.2. Модификация кода программы.....	180
8.4.3. Написание программы на Processing.....	182
Резюме.....	185
Глава 9. Интерфейсная шина SPI.....	186
9.1. Общие сведения о протоколе SPI.....	187
9.2. Подключение устройств SPI.....	188
9.2.1. Конфигурация интерфейса SPI.....	189
9.2.2. Протокол передачи данных SPI.....	189
9.3. Сравнение SPI и I ² C.....	190
9.4. Подключение цифрового потенциометра SPI.....	190
9.4.1. Техническое описание MCP4231.....	190
9.4.2. Описание схемы устройства.....	193
9.4.3. Написание программы.....	195
9.5. Создание световых и звуковых эффектов с помощью цифровых потенциометров SPI.....	197
9.5.1. Описание схемы устройства.....	197
9.5.2. Модификация программы.....	198
Резюме.....	201
Глава 10. Взаимодействие с жидкокристаллическими дисплеями.....	202
10.1. Настройка жидкокристаллического дисплея.....	203
10.2. Библиотека LiquidCrystal.....	206
10.3. Вывод текста на дисплей.....	206
10.4. Создание специальных символов и анимации.....	208
10.5. Создание регулятора температуры.....	211
10.5.1. Монтаж схемы устройства.....	212
10.5.2. Отображение данных на ЖК-дисплее.....	213
10.5.3. Установка порогового значения температуры с помощью кнопок.....	215
10.5.4. Добавляем вентилятор и звуковое оповещение.....	216
10.5.5. Итог всего: полная программа.....	217
10.6. Как усовершенствовать проект.....	221
Резюме.....	221
Глава 11. Беспроводная связь с помощью радиомодулей XBee.....	222
11.1. Общие сведения о беспроводной связи XBee.....	223
11.1.1. Радиомодули XBee.....	224

11.1.2. Платы расширения для XBee	226
Стабилизатор 3,3 В	226
Согласование логических уровней	226
Светодиодные индикаторы	226
Переключатель или переключатель выбора UART	227
Программная или аппаратная реализация UART	227
11.2. Настройка модулей XBee	228
11.2.1. Настройка с помощью USB-адаптера	228
Первый вариант программирования (не рекомендуется)	229
Второй вариант программирования (рекомендуется)	229
11.2.2. Настройка модуля XBee и его подключение к компьютеру	229
11.2.3. Настройка XBee с помощью Windows-приложения X-CTU	230
11.2.4. Настройка модулей XBee из последовательного терминала	234
11.3. Соединяемся с компьютером по беспроводной сети	235
11.3.1. Автономное питание платы Arduino	235
Питание от USB с компьютера или сетевого адаптера	235
Питание от батареи	236
Сетевые источники питания	237
11.3.2. Пример 1: беспроводное управление цветом окна на компьютере	237
11.3.3. Пример 2: управление RGB-светодиодом	240
11.4. Беспроводной дверной звонок	243
11.4.1. Разработка системы	243
11.4.2. Оборудование для передатчика	244
11.4.3. Оборудование для приемника	245
11.4.4. Программа для передатчика	246
11.4.5. Программа для приемника	247
Резюме	249

ЧАСТЬ IV. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТЕМЫ И ПРОЕКТЫ..... 251

Глава 12. Аппаратные прерывания и прерывания по таймеру	253
12.1. Использование аппаратных прерываний	254
12.2. Что выбрать: опрос состояния в цикле или прерывания?	255
12.2.1. Программная реализация	255
12.2.2. Аппаратная реализация	255
12.2.3. Многозадачность	255
12.2.4. Точность сбора данных	256
12.2.5. Реализация аппаратного прерывания в Arduino	256
12.3. Разработка и тестирование системы противодребезговой защиты для кнопки	257
12.3.1. Создание схемы аппаратного устранения дребезга	257
12.3.2. Монтаж схемы	260
12.3.3. Программа обработки аппаратного прерывания	262
12.4. Прерывания по таймеру	264
12.4.1. Общие сведения о прерываниях по таймеру	264
12.4.2. Установка библиотеки	264
12.4.3. Одновременное выполнение двух задач	265
12.5. Музыкальный инструмент на прерываниях	266
12.5.1. Схема музыкального инструмента	266
12.5.2. Программа для музыкального инструмента	266
Резюме	269

Глава 13. Обмен данными с картами памяти SD	270
13.1. Подготовка к регистрации данных.....	271
13.1.1. Форматирование данных с помощью CSV-файлов.....	271
13.1.2. Подготовка SD-карты для регистрации данных	272
13.2. Взаимодействие Arduino с SD-картой.....	276
13.2.1. Платы расширения для SD-карт.....	276
13.2.2. SPI-интерфейс SD-карты	280
13.2.3. Запись на SD-карту.....	280
13.2.4. Чтение с SD-карты	285
13.3. Использование часов реального времени.....	288
13.3.1. Общие сведения о часах реального времени	289
Микросхема часов реального времени DS1307	289
Сторонняя библиотека Arduino RTCLib.....	290
13.3.2. Использование часов реального времени	290
Подключение модулей SD card shield и RTC	291
Модификация программы для работы с RTC.....	291
13.4. Регистратор прохода через дверь.....	295
13.4.1. Схема регистратора.....	296
13.4.2. Программа для регистратора.....	296
13.4.3. Анализ зарегистрированных данных	300
Резюме	301
Глава 14. Подключение Arduino к Интернету.....	302
14.1. Всемирная паутина, Arduino и Вы	303
14.1.1. Сетевые термины.....	303
IP-адрес	303
MAC-адрес.....	304
HTML	304
HTTP	304
GET/POST.....	304
DHCP	304
DNS	305
Клиенты и серверы	305
Подключение к сети платы Arduino	305
14.2. Управление платой Arduino из Интернета.....	306
14.2.1. Настройка оборудования для управления вводом-выводом.....	306
14.2.2. Создание простой веб-страницы	306
14.2.3. Написание программы для Arduino-сервера	308
Подключение к сети и получение IP-адреса через DHCP	308
Ответ на клиентский запрос.....	309
Итоговая программа веб-сервера	309
14.3. Управление платой Arduino по сети.....	313
14.3.1. Управление платой Arduino по локальной сети.....	313
14.3.2. Организация доступа к плате Arduino из внешней сети.....	314
Вход в панель администрирования маршрутизатора.....	315
Резервирование IP-адреса для Arduino в DHCP	315
Перенаправление порта 80 на плату Arduino.....	316
Обновление динамического DNS	316

14.4. Отправка данных в реальном времени в графические сервисы	317
14.4.1. Создание потока данных на Xively	317
Создание учетной записи Xively	317
Создание потока данных	317
Установка библиотек Xively и HTTPClient	318
Подключение к плате Arduino	319
Настройка Xively и выполнение программы	320
Отображение данных на веб-странице	322
14.4.2. Добавление компонентов в поток	322
Добавление аналогового датчика температуры	323
Добавление показаний датчика в поток	323
Резюме	326
Приложение. Документация на микроконтроллер ATmega	
и схема платы Arduino	327
Знакомство с технической документацией	327
Анализ технического описания	327
Цоколевка микросхемы ATmega 328P	329
Принципиальная схема Arduino	331
Предметный указатель	333

*Моей бабушке,
которая каждый день поощряла меня
и вдохновляла на добрые дела*



Об авторе

Джереми Блум недавно защитил магистерскую диссертацию по электронике и вычислительной технике в Корнельском университете, где ранее получил степень бакалавра в той же области. В Корнельском университете он участвовал в разработке и создании нескольких проектов "интеллектуальных" зданий по всему миру, осуществляемых известной организацией Cornell University Sustainable Design, удостоенной высокой оценки в США и других странах (Green Building Councils). Увлечение электроникой дало Джереми возможность применить полученные знания при проектировании автономных систем мониторинга домов, работающих на энергии солнца, революционных волоконно-оптических светодиодных систем освещения и систем контроля интеллектуальных солнечных батарей. Он также помогал в создании бизнес-инкубаторов, ежегодно способствовавших развитию десятков студенческих стартапов.

Джереми разработал отмеченные наградами методы управления протезированием, распознавания жестов, автоматизации зданий. Он спроектировал электронику для 3D-принтера MakerBot Replicator, который используется людьми во всем мире, а также такими известными организациями, как NASA. Джереми также разработал аппаратную часть и программное обеспечение 3D-сканера MakerBot Digitizer. Работая в исследовательской лаборатории Machines Lab, он внес вклад в создание самообучающихся роботов и 3D-принтеров, которые преобразили индивидуальное производство. Результаты этих исследований опубликованы в рецензируемых журналах и представлены на конференциях даже в такой далекой стране, как Индия.

Джереми создает и размещает на YouTube самые популярные в Интернете видеоролики по Arduino, которые просматривают миллионы людей. Он хорошо известен в международном сообществе программистов как автор проектов и учебных пособий с открытым исходным кодом, которые демонстрировались на канале Дискавери и получили несколько наград на хакатонах. В 2012 году Американский институт инженеров по электротехнике и электронике присвоил Джереми звание "Новое имя в инжиниринге" (New Face of Engineering).

Джереми оказывает инженерные консалтинговые услуги через свою фирму Blum Idea Labs LLC и преподает основы инжиниринга для студентов в Нью-Йорке. Его кредо — улучшение качества жизни людей и нашей планеты через творческие инженерные решения. Вы можете узнать больше о Джереми и его работе на его сайте <http://www.jeremyblum.com>.

О техническом редакторе

Скотт Фицджеральд — дизайнер и педагог, использующий платформу Arduino для обучения с 2006 года. С 2005 года он преподает вычислительную технику по программе Interactive Telecommunications Program (ИТР) в Нью-Йоркском университете, знакомя художников и дизайнеров с миром микроконтроллеров. Скотт сотрудничает с командой Arduino в документальном сопровождении новых продуктов и создании обучающих пособий для знакомства с платформой Arduino. Он был техническим редактором второго издания Making Things Talk в 2011 году и является автором книги, которая сопровождает официальный Arduino Starter Kit в 2012 году.



Благодарности

Прежде всего, я должен поблагодарить моих друзей из издательства Wiley за то, что эта книга увидела свет. В первую очередь, я признателен Мери Джеймс за поощрение моего желания написать книгу и Дженнифер Линн за поддержку при работе над каждой главой. Я также хочу сказать большое спасибо Скотту Фицджеральду за критические замечания при техническом редактировании рукописи.

Без квалифицированной помощи сотрудников компании element14 я не смог бы выпускать обучающих уроков по Arduino, ставших прелюдией данной книги. Особо хочу отметить Сабрину Дейч и Сагар Джефани — замечательных партнеров, с которыми я имел честь работать.

Большую часть книги я писал, обучаясь в магистратуре и работая одновременно в двух фирмах. Выражаю огромную благодарность профессорам и коллегам, которые помогали мне справляться с возросшими обязанностями.

Наконец, я хочу поблагодарить мою семью, особенно моих родителей и брата Дэвида, чья постоянная поддержка напоминает мне о важности того, что я делаю.



Введение

Мы живем в прекрасное время. Я люблю говорить, что мы устремлены в будущее. С помощью инструментов, доступных вам сегодня, которые мы рассмотрим в этой книге, появилась реальная возможность изменять окружающий мир по своему желанию. До недавнего времени нельзя было создать устройство с использованием микроконтроллера всего за несколько минут. Как вам, наверное, известно, микроконтроллер является программируемой платформой для управления различными системами с помощью относительно простых команд. С появлением платформы Arduino возможности разработчиков резко увеличились, и я надеюсь, что Arduino станет вашим любимым инструментом для исследования электронных схем, программирования, создания систем управления и многого другого.

В этой книге описано много разных проектов на основе плат Arduino, от простого датчика движения до создания беспроводной системы управления с выходом в Интернет. Платформа Arduino будет отличным вариантом для проектирования микропроцессорных систем как для начинающих, так и для опытных разработчиков. Собрав своими руками конкретные устройства, рассмотренные в данной книге, вы сможете использовать полученный опыт, фрагменты программного кода, принципиальные схемы для создания собственных проектов на основе платформы Arduino или какой-либо другой.

Для кого эта книга

Эта книга предназначена для энтузиастов Arduino, желающих разрабатывать электронные устройства и писать программы для них. Материал каждой последующей главы опирается на понятия и проекты, описанные ранее. Шаг за шагом вы сможете реализовать все более сложные системы. Если вы что-то забудете, ссылки напомнят, где вы впервые столкнулись с данным вопросом, так что вы сможете легко освежить память. Книга рассчитана на читателя, не обладающего большим опытом в электронике и программировании. По ходу изложения некоторые понятия объясняются более подробно, чтобы глубже разобраться в конкретных теоретических и практических вопросах.

О чем эта книга

В этой книге вы не найдете готовых рецептов. Если при проектировании вы желаете получить четкие инструкции без объяснения последовательности шагов, то эта книга не для вас. Настоящая книга — своего рода введение в мир электроники, информатики и практического применения платформы Arduino, как средства для воплощения ваших идей на конкретных примерах. Здесь вы узнаете не только как собрать готовое устройство, но и как анализировать электрические схемы, читать технические описания, которые позволят вам выбрать подходящие детали при создании собственных проектов. При написании программного обеспечения в каждом примере предоставляется полный программный код, но сначала рассматриваются и объясняются несколько фрагментов, образующих итоговую программу. Такой подход помогает лучше уяснить определенные функции и особенности алгоритма программы. Книга научит принципам цифрового проектирования и специфическим для платформы Arduino понятиям программирования.

Я надеюсь, что, повторив действующие проекты из данной книги, вы не только научитесь разрабатывать устройства на основе Arduino, но и получите навыки, необходимые для создания более сложных электронных систем и осуществления инженерной деятельности в других областях на различных платформах.

Что вам понадобится

В дополнение к конкретным компонентам для реализации проектов на основе Arduino, перечисленным в начале каждой главы, есть несколько общих инструментов и материалов, которые вам пригодятся при прочтении книги. Это, в первую очередь, компьютер с операционной системой Mac OS X, Windows или Linux и установленной интегрированной средой разработки IDE для Arduino. Рекомендую также приобрести следующие дополнительные инструменты для сборки и отладки устройств:

- ◆ паяльник и припой;
- ◆ мультиметр;
- ◆ набор небольших отверток;
- ◆ клеевой пистолет с нагревом.

Электронные ресурсы к книге

Поддерживаемый автором сайт <http://www.exploringarduino.com> специально предназначен для сопровождения этой книги. На нем вы можете загрузить исходный код примеров и проектов для каждой главы, а также видеуроки и другие полезные материалы. Издательство Wiley также предоставляет электронные ресурсы для этой книги на сайте wiley.com. Получить доступ к исходным кодам про-

грамм можно на вкладке **Download code** на странице <http://www.wiley.com/go/exploringarduino>. Вы можете найти данную страницу по коду ISBN (для этой книги 978-1-118-54936-0). В начале каждой главы приведены ссылки на скачивание файлов с листингами программ данной главы. Файлы представлены в виде zip-архивов, после скачивания их необходимо разархивировать.

Дополнительный материал и поддержка

Во время изучения платформы Arduino у вас неизбежно возникнут вопросы, и возможно, вы столкнетесь с проблемами. За поддержкой всегда можно обратиться к сообществу пользователей Arduino, которое легко найти в Интернете. Вот список полезных ресурсов для разработчиков Arduino:

- ◆ официальный сайт проекта Arduino — <http://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>;
- ◆ моя серия уроков по Arduino — <http://www.jeremyblum.com/category/arduino-tutorials>;
- ◆ учебные материалы по Arduino от Adafruit — <http://learn.adafruit.com/category/learn-arduino>;
- ◆ учебные материалы по Arduino от SparkFun — <http://learn.sparkfun.com/tutorials>;
- ◆ официальный форум Arduino — <http://www.arduino.cc/forum>;
- ◆ сообщество Arduino на сайте element14 — <http://www.element14.com/community/groups/arduino>.

Если вы исчерпали все эти ресурсы и до сих пор не можете решить свою проблему, свяжитесь со мной через Twitter ([@sciguy14](https://twitter.com/sciguy14)), может быть, я смогу помочь. Вы также можете связаться со мной напрямую через контактную страницу на моем сайте (<http://www.jeremyblum.com/contact>), но я не гарантирую быстрого ответа.

Что такое Arduino?

С помощью Arduino можно реализовать практически любой ваш замысел. Это может быть автоматическая система управления поливом, или веб-сервер, или даже автопилот для мультикоптера. Итак, Arduino — это платформа для разработки устройств на базе микроконтроллера, на простом и понятном языке программирования в интегрированной среде Arduino IDE. Добавив датчики, приводы, динамики, добавочные модули (платы расширения) и дополнительные микросхемы, вы можете использовать Arduino в качестве "мозга" для любой системы управления. Трудно даже перечислить все, на что способна платформа Arduino, потому что возможности ограничены только вашим воображением. Эта книга послужит руководством, знакомящим вас с функциональностью Arduino путем выполнения большого коли-

чества проектов, которые дадут навыки, необходимые для реализации своих собственных разработок. Более подробно об особенностях Arduino мы расскажем в *главе 1*. Если вы интересуетесь внутренним устройством Arduino, то вам повезло — это платформа с открытым исходным кодом, и все схемы и документация находятся в свободном доступе на сайте Arduino.

О движении Open Source

Если вы новичок в мире открытого исходного кода (Open Source), то я рекомендую познакомиться с основными принципами этого сообщества. Здесь мы не будем вдаваться в подробности, а лишь немного коснемся идеологии данного движения, делающей работу с Arduino такой привлекательной. Получить более полное представление можно на веб-сайте Ассоциации открытого аппаратного обеспечения: <http://www.oshwa.org/definition>.

Как уже упоминалось, Arduino — платформа с открытым исходным кодом, поэтому все схемы и исходный код программ доступны для любого желающего. Это означает, что вы можете не только экспериментировать с Arduino, но и использовать платформу и прилагаемые к ней программные библиотеки в своих проектах, производить и продавать клоны платы Arduino.

Хотя книга ориентирована главным образом на фирменные изделия Arduino, для повторения описанных далее устройств подойдут платы многочисленных сторонних разработчиков. Лицензия Arduino допускает также коммерческое применение конструкций на основе Arduino (без указания торговой марки Arduino) в своих проектах. Итак, если вы создали на основе Arduino оригинальное устройство и хотите превратить его в коммерческий продукт, вы можете сделать это. Например, вся электронная начинка в проекте MakerBot Replicator 3D-принтер выполнена на основе платформы Arduino Mega (<http://www.thingiverse.com/thing:16058>).

Все примеры программ, которые я написал для этой книги (если не указано иное) на условиях лицензии GNU General Public License (GPL), можно использовать без ограничений для всего, что вы хотите.

Несколько советов читателю

Некоторые из вас, возможно, знакомы с моими популярными видеоуроками по изучению Arduino и основ электроники на канале YouTube (<http://www.youtube.com/sciguy14>)¹. Я отсылаю читателя к ним для более полного раскрытия изложенных тем.

Если вам интересно узнать о том, какие замечательные вещи можно создать, творчески сочетая электронику, микроконтроллеры и информатику, рекомендую

¹ Большая часть видеоуроков по Arduino переведена на русский язык. Локализованную версию можно найти на канале <http://www.youtube.com/AmperkaRU>. — *Примеч. пер.*

посмотреть мое портфолио (<http://www.jeremyblum.com/portfolio>) с самыми интересными проектами. Как и устройства на основе Arduino, большинство моих разработок соответствуют открытой лицензии, которая позволяет легко дублировать созданное мною для ваших собственных нужд.

Мне будет интересно узнать, как вы примените знания и навыки, полученные при прочтении данной книги. Я призываю вас поделиться ими со мной и с остальным миром. Желаю удачи в ваших экспериментах с Arduino!

Дополнительная информация издательства "БХВ-Петербург" к русскоязычному изданию книги

Для выполнения проектов, описанных в книге, издательство подготовило специальный набор, который включает в себя Arduino Uno, плату прототипирования и необходимые электронные компоненты. Подробную информацию о наборе можно получить по адресу <http://www.bhv.ru/books/193108>.

Издательство "БХВ-Петербург" выражает благодарность компании "Амперка" за участие в подготовке русскоязычного издания книги. На интернет-ресурсах этой компании вы сможете найти:

- ◆ учебные материалы по Arduino на русском от Амперки — <http://wiki.amperka.ru>.
- ◆ большую часть видеоуроков от автора этой книги Джереми Блума, переведенных на русский язык, — <http://www.youtube.com/AmperkaRU> или <http://wiki.amperka.ru/видеоуроки:джеремии-блум>.

Общие сведения о платформе Arduino

В этой части

Глава 1. Начало работы, переключаем светодиод из Arduino

Глава 2. Цифровые контакты ввода-вывода, широтно-импульсная модуляция

Глава 3. Опрос аналоговых датчиков

Начало работы, переключаем светодиод из Arduino

Список деталей

Для повторения примеров главы вам потребуются следующие детали:

- ◆ плата Arduino Uno;
- ◆ USB-кабель.

Электронные ресурсы к главе

На странице <http://www.exploringarduino.com/content/ch1> можно загрузить программный код, видеоуроки и другие материалы для данной главы. Кроме того, листинги примеров можно скачать со страницы www.wiley.com/go/exploringarduino в разделе Downloads.

ПРИМЕЧАНИЕ РОССИЙСКИХ ПЕРЕВОДЧИКОВ

Плату Arduino, а также все электронные компоненты и инструменты можно приобрести в магазине компании "Амперка". Все необходимое для повторения опытов из этой книги можно найти в специальном разделе: <http://amperka.ru/jeremy>. Используйте кодовое слово JEREMY при покупке товаров из этого раздела для получения скидки. Кроме того, на сайте компании можно найти видеоуроки автора книги, переведенные на русский язык.

1.1. Знакомство с платформой Arduino

Если у вас уже есть некоторое представление о платформе Arduino и его возможностях, можно начинать более подробное изучение Arduino. В этой главе вы познакомитесь с аппаратными средствами, узнаете о среде и языке программирования, а также напишете первую программу. А при наличии деталей из списка, приведенного в начале главы, вы сможете увидеть результат работы программы — мигание светодиода!

ПРИМЕЧАНИЕ

Вводный видеоурок по платформе Arduino можно найти на странице www.jeremyblum.com/2011/01/02/arduino-tutorial-series-it-begins/¹ и на сайте издательства Wiley.

¹ На русском: <http://wiki.amperka.ru/видеоуроки:1-первые-шаги>.

При изучении платформы Arduino для повторения проектов из книги вам потребуются три главных компонента:

- ◆ основная плата Arduino;
- ◆ платы расширения;
- ◆ интегрированная среда разработки Arduino — Arduino IDE.

В этой книге рассмотрены преимущественно фирменные платы Arduino. Подойдут и выпускаемые в большом ассортименте клоны Arduino — платы, совместимые как с аппаратной, так и с программной частью Arduino. Там, где это будет необходимо, вы найдете рекомендации по поводу пригодности тех или иных плат для различных устройств. Большинство проектов базируется на плате Arduino Uno. Сначала мы рассмотрим общие функциональные возможности всех разновидностей плат Arduino, а затем укажем особенности, присущие каждой плате. В результате вы сможете подобрать подходящую плату Arduino для каждого конкретного проекта.

1.2. Аппаратная часть

Все платы Arduino содержат основные компоненты, необходимые для программирования и совместной работы с другими схемами (рис. 1.1):

- ◆ микроконтроллер Atmel;
- ◆ USB-интерфейс для программирования и передачи данных;
- ◆ стабилизатор напряжения и выходы питания;
- ◆ контакты входов ввода-вывода; индикаторные светодиоды (Debug, Power, Rx, Tx);
- ◆ кнопку сброса;
- ◆ встроенный последовательный интерфейс программирования (ICSP).

1.3. Микроконтроллеры Atmel

Основной элемент платы Arduino — микроконтроллер Atmel. На большинстве плат Arduino, включая Arduino Uno, установлен микроконтроллер ATmega. На плате Arduino Uno, изображенной на рис. 1.1, вы видите микроконтроллер ATmega 328. Исключением является плата Due, укомплектованная микроконтроллером ARM Cortex.

Микроконтроллер исполняет весь скомпилированный код программы. Язык Arduino предоставляет доступ к периферийным устройствам микроконтроллера: аналого-цифровым преобразователям (ADCs), цифровым портам ввода-вывода, коммуникационным шинам (включая I²C и SPI) и последовательным интерфейсам. На плате все эти порты выведены на штырьковые контакты.

К тактовым контактам микроконтроллера ATmega подключен кварцевый резонатор на 16 МГц.

С помощью кнопки сброса выполнение вашей программы можно перезапустить.

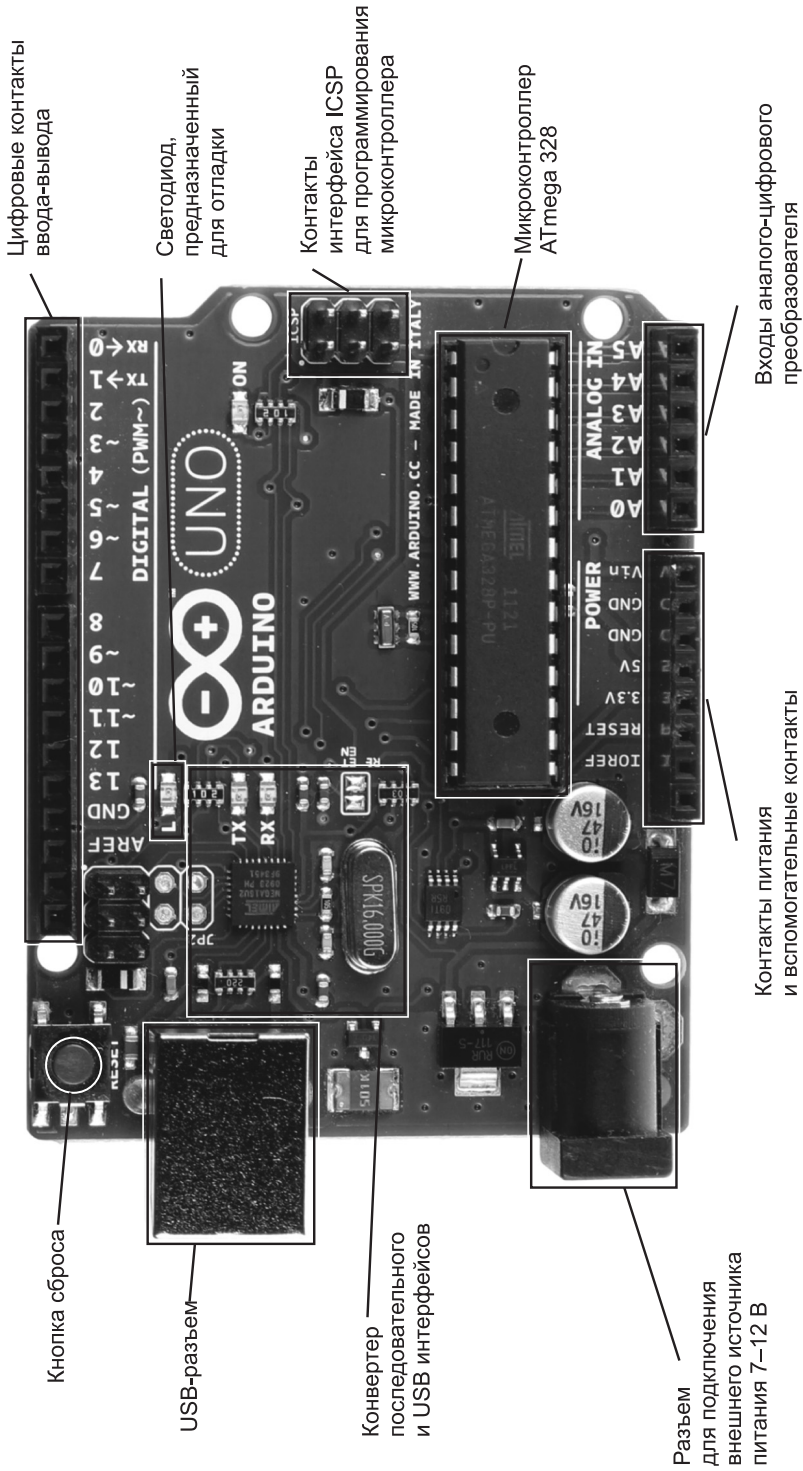


Рис. 1.1. Компоненты платы Arduino Uno

Большинство плат Arduino оснащено светодиодом отладки (Debug), подсоединенным к контакту 13, который позволит реализовать нашу первую программу (мигающий светодиод) без дополнительных компонентов.

1.4. Интерфейсы программирования

Обычно программы микроконтроллера ATmega, написанные на C или Ассемблере загружаются в микроконтроллер через интерфейс ICSP с помощью программатора (рис. 1.2). Возможно, самая важная особенность Arduino — непосредственное программирование через USB-порт, без дополнительного программатора. Эту функцию обеспечивает загрузчик Arduino, записанный в микроконтроллер ATmega на заводе-изготовителе, и позволяющий загружать пользовательскую программу на плату Arduino по последовательному порту USART.

В случае Arduino Uno и Mega 2560 интерфейсом между кабелем USB и контактами USART на основном микроконтроллере служит дополнительный контроллер (ATmega 16U2 или 8U2 в зависимости от версии платы). На плате Arduino Leonardo установлен основной микроконтроллер ATmega 32U4, имеющий встроенный контроллер USB. В более старых платах Arduino функцию сопряжения между последовательным портом ATmega и интерфейсом USB выполняла специальная микросхема.

Загрузчик — это фрагмент программного кода, который записан в зарезервированное пространство памяти программы Arduino. Микроконтроллеры AVR обычно программируются с помощью ICSP, который взаимодействует с микроконтроллером через последовательный периферийный интерфейс (SPI). Этот способ предполагает наличие программатора, например, STK500 или ISP MKII (см. рис. 1.2).



Рис. 1.2. AVR программатор ISP MKII

Сразу после включения платы Arduino запускается загрузчик, который работает в течение нескольких секунд. Если за это время загрузчик получает команду программирования от IDE по последовательному интерфейсу UART, то он загружает программу в свободную область памяти микроконтроллера. Если такая команда не поступает, запускается последняя программа, находящаяся в памяти Arduino.

При подаче команды загрузки от IDE Arduino вспомогательный контроллер (ATmega 16U2 или 8U2 в случае Arduino Uno) сбрасывает основной микроконтроллер, подготавливая его к загрузке. Затем внешний компьютер начинает отправлять код программы, который микроконтроллер получает через соединение UART.

Загрузчики занимают в памяти довольно много места, потому что они реализуют простое программирование через USB без внешних аппаратных средств. Однако у них есть два основных недостатка:

- ◆ они занимают место в памяти (приблизительно 2 Кбайт), которое могло бы пригодиться при написании программ;
- ◆ при наличии загрузчика выполнение вашей программы всегда будет задерживаться на несколько секунд при начальной загрузке, поскольку загрузчик обрабатывает запрос на программирование.

Если у вас есть программатор (или другая плата Arduino, запрограммированная как программатор), то можно удалить загрузчик из своего контроллера ATmega и запрограммировать его с помощью внешнего программатора.

1.5. Цифровые и аналоговые контакты ввода-вывода

У контроллеров Arduino к большинству контактов ввода-вывода можно подключить внешние схемы. Все контакты могут служить цифровыми входами и выходами. Часть контактов Arduino могут также действовать в качестве аналоговых входов. Многие из контактов работают в режиме мультиплексирования и выполняют дополнительные функции: различные коммуникационные интерфейсы, последовательные интерфейсы, широтно-импульсные модуляторы и внешние прерывания.

1.6. Источники питания

Для большинства проектов достаточно 5-вольтового питания, получаемого по кабелю USB. Однако, при необходимости разработки автономного устройства, схема способна работать от внешнего источника от 6 до 20 В (рекомендуется напряжение 7–12 В). Внешнее питание может подаваться через разъем DC или на контакт V_{in} .

У Arduino есть встроенные стабилизаторы на 5 и 3,3 В:

- ◆ напряжение 5 В используется для всех логических элементов на плате, уровень на цифровых контактах ввода-вывода находится в пределах 0–5 В;
- ◆ напряжение 3,3 В выведено на отдельный контакт для подключения внешних устройств.

1.7. Платы Arduino

Мы не будем рассматривать все существующие платы Arduino, т. к. их очень много и постоянно выпускаются все новые с различными функциями. Кратко опишем лишь некоторые из фирменных плат Arduino.

Arduino Uno (рис. 1.3) — основная плата линейки Arduino, она будет использоваться в большинстве примеров книги. Плата укомплектована микроконтроллером ATmega 328 и микросхемой 16U2 преобразователя USB. Микроконтроллер ATmega 328 может быть выполнен в исполнении DIP или SMD.

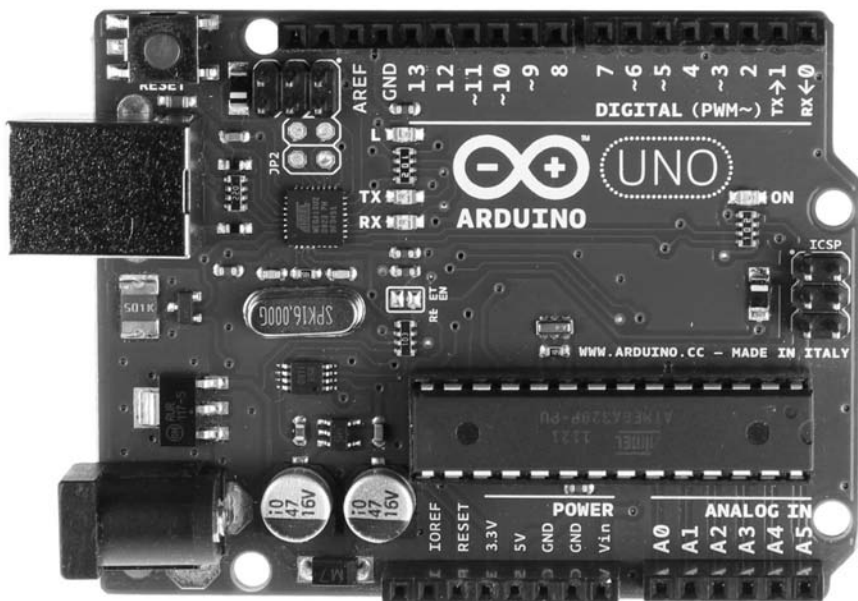


Рис. 1.3. Плата Arduino Uno

На плате Leonardo (рис. 1.4) установлен контроллер 32U4 со встроенным интерфейсом USB. Это уменьшает стоимость изделия и дает возможность использовать плату в качестве USB-устройства, например как эмулятор джойстика или клавиатуры. Вы узнаете, как работать с этими функциями, в главе 6.

На плате Arduino Mega 2560 (рис. 1.5) установлен контроллер ATmega 2560, имеющий 54 цифровых входа-выхода, что позволяет подключать еще больше устройств. У Arduino Mega 2560 увеличено число аналоговых входов и последовательных портов (четыре против одного у Arduino Uno).

В отличие от остальных плат Arduino, использующих 8-разрядные контроллеры AVR, плата Due (рис. 1.6) создана на базе 32-разрядного процессора Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 с тактовой частотой 84 МГц. Отличительные особенности платы: повышенная точность аналого-цифрового преобразователя, настраиваемая частота сигнала ШИМ, отдельные выводы цифроаналогового преобразователя, наличие встроенного последовательного порта.

Конструкция миниатюрной платы Arduino Nano (рис. 1.7) такова, что ее можно установить в панельку для микросхем.

Плата Mega ADK (рис. 1.8) очень похожа на Arduino Mega 2560, но у Mega ADK есть дополнительная функциональность интерфейса USB, позволяющая ему соединяться с телефоном на базе Android.

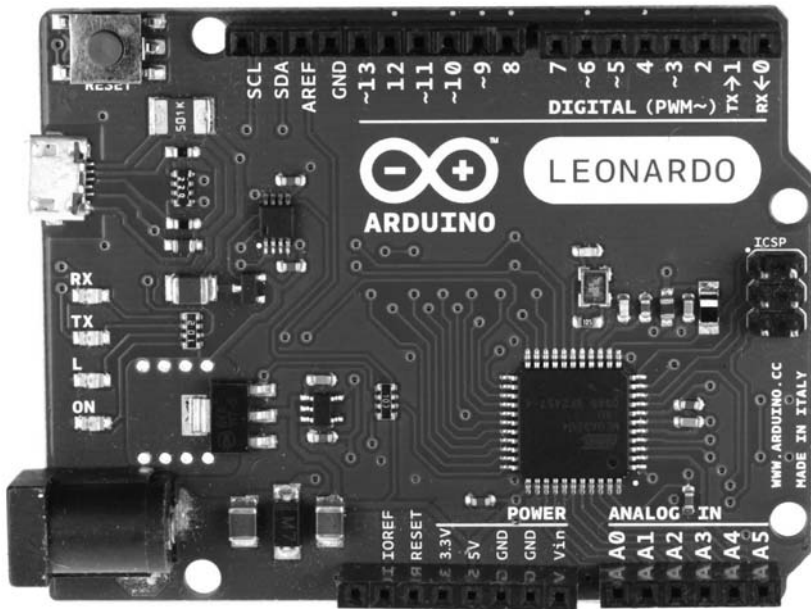


Рис. 1.4. Плата Arduino Leonardo

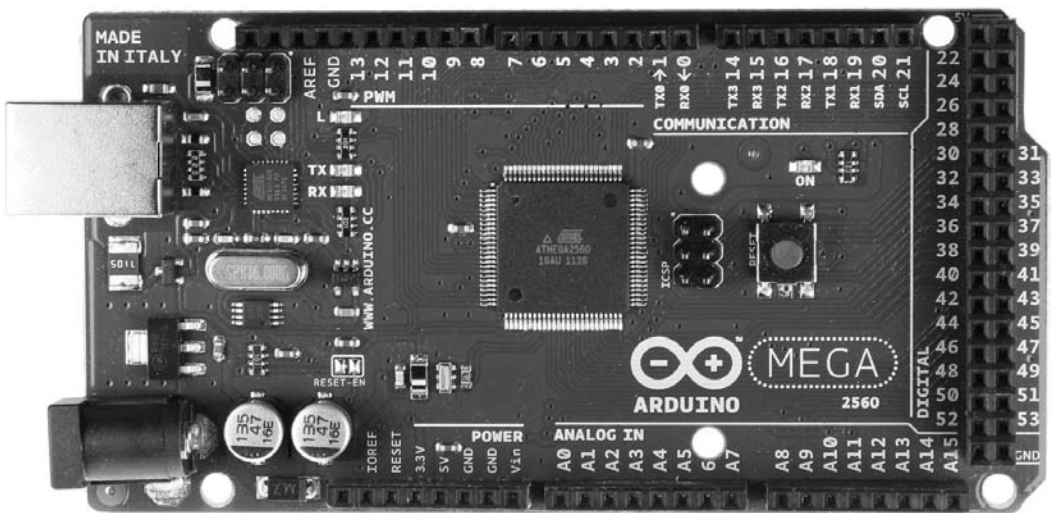


Рис. 1.5. Плата Arduino Mega 2560