

国家新闻出版改革发展项目库入库项目
高等院校自动化系列规划教材

主 编 马宝丽
副主编 吴小涛 张慧熙

模块化 机器人技术

—Arduino项目开发

MOKUAIHUA
JIQIREN JISHU
—Arduino XIANGMU KAIFA



项目导向目标明确，深入浅出阐释通俗
视频资源内容丰富，翔实演示实操环节
配套课件教材同步，参照学习事半功倍
典型案例聚焦开发，创新竞赛良好助手



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

改革发展项目库入库项目
高等院校自动化系列规划教材

模块化机器人技术

——Arduino 项目开发

主 编 马宝丽
副主编 吴小涛 张慧熙



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书基于 Arduino 平台,详细介绍了 Arduino 项目开发所需的硬件、编程环境、Arduino 语言基础,分章节重点介绍了常用元器件及其应用,列举了轮式移动机器人、机械臂、足式机器人等的制作与控制。

本书可作为机械类、自动化类、计算机类专业的机器人课程教材。对于那些喜欢创客机器人而苦于没有足够知识的读者来说,本书也可作为自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模块化机器人技术: Arduino 项目开发 / 马宝丽主编. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2023. 1
ISBN 978-7-5635-6814-7

I. ①模… II. ①马… III. ①智能机器人—程序设计 IV. ①TP242.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 222303 号

策划编辑: 马晓仟 责任编辑: 刘春棠 责任校对: 张会良 封面设计: 七星博纳

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 唐山玺诚印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 16.5

字 数: 427 千字

版 次: 2023 年 1 月第 1 版

印 次: 2023 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-6814-7

定价: 45.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前 言

随着机器人应用领域的扩大,人们期望机器人在更多的领域为人类服务,代替人类完成更复杂的工作。大力发展机器人产业,对加快我国制造强国建设,改善人民生活水平具有重要意义。为了适应机器人技术的发展和 21 世纪高等教育人才的培养要求,本书为对机器人感兴趣但又缺乏足够电子类专业知识的读者而编写,力图语言简练,容易自学。

本书选用 Arduino 作为机器人硬件开发平台,该平台是一款优秀的开源硬件开发平台,且简单易学,可大大节约学习成本,缩短开发周期。

本书结构清晰,内容丰富,涵盖 Arduino 基础知识和高级应用。

针对 Arduino 入门者详细介绍了 Arduino 项目开发所需的硬件、编程环境、Arduino 语言基础;分章节重点介绍了常用元器件及其应用;列举了轮式移动机器人、机械臂、足式机器人等机器人的制作及其多种形式的控制,引导读者触类旁通,举一反三,快速提高开发技能。

本书分为 3 篇,每篇各章节内容如下。

第 1 篇为 Arduino 基础知识。第 1 章主要介绍 Arduino 开发板以及开发环境如何使用,第 2 章重点介绍 Arduino 语言基础。

第 2 篇为 Arduino 元器件及其应用。第 3 章介绍 Arduino 控制板的基础应用;第 4 章介绍常用控制器件及其应用;第 5 章介绍各种传感器及其应用;第 6 章介绍无线通信模块及其应用;第 7 章介绍电机与驱动,包括直流电机、舵机、步进电机的应用。

第 3 篇为 Arduino 机器人实战案例(基于“探索者”套件)。第 8 章介绍机器人机构基础知识;第 9 章介绍轮式移动机器人;第 10 章介绍工业机器人,重点讲述机械臂的结构和控制;第 11 章介绍的是足式机器人。

本书配备了足够数量的例题和习题,力图在难度上有层次,在题型上多样化,在提问题的角度上具有启发性,有利于读者自学并提高分析问题和解决问题的能力。

本书对于所有的控制案例均提供了视频介绍,读者通过扫描书中对应的二维码就可以了解每个实例的电路连接以及控制效果,以利于读者更深入地掌握各种模块的应用。

本书写作分工如下:第 4、5 章由杭州师范大学吴小涛编写,第 6、7 章由杭州师范大学张慧熙编写,其余章节由杭州师范大学马宝丽编写。

本书参考了很多教材以及 Arduino 相关网站和论坛里的大量共享资源,在此向各位作者表示感谢。

本书得到了浙江省高等教育“十四五”教学改革项目(编号:jg20220772)的资助。

由于编者能力和水平所限,书中难免存在欠妥和错误之处,恳请读者多加指正。

目 录

第 1 篇 Arduino 基础知识

第 1 章 Arduino 简介	3
1.1 初识 Arduino	3
1.2 Arduino 控制板介绍	3
1.2.1 Arduino Uno	3
1.2.2 Arduino Mega 2560	4
1.2.3 Arduino Nano	5
1.2.4 Arduino Uno Wi-Fi	6
1.3 Arduino Uno 驱动程序安装	7
1.4 Arduino 开发环境	7
1.5 程序开发实例	9
复习题	15
第 2 章 Arduino 语言基础	16
2.1 Arduino 程序结构	16
2.1.1 setup()	17
2.1.2 loop()	17
2.2 Arduino 程序中的数值和赋值语句	17
2.2.1 常量	17
2.2.2 变量	18
2.2.3 变量的作用域	19
2.2.4 变量类型转换函数	19
2.2.5 赋值语句	19
2.3 运算符	20
2.3.1 算术运算符	20
2.3.2 关系运算符	20
2.3.3 逻辑运算符	20
2.3.4 位运算符	21
2.3.5 运算符的优先级	21
2.4 语法补充	22

2.4.1 预处理命令 #define 和 #include	22
2.4.2 语句块	22
2.4.3 数组	23
2.4.4 字符串	24
2.4.5 自定义函数	24
2.4.6 调用函数	25
2.4.7 注释	25
2.5 Arduino 语言的程序控制结构	26
2.5.1 if 选择结构	26
2.5.2 switch... case 语句	28
2.5.3 循环结构	29
2.6 C++ 语言中的类和对象	31
2.6.1 类	32
2.6.2 对象	33
2.7 库函数	34
复习题	35

第 2 篇 Arduino 元器件及其应用

第 3 章 Arduino 基础	39
3.1 Arduino 控制板及其应用	39
3.1.1 数字引脚和模拟引脚	39
3.1.2 输入和输出接口	41
3.1.3 外部供电接口	41
3.1.4 系统函数	42
3.2 电子元器件	44
3.2.1 实验电路板	44
3.2.2 导线	45
3.2.3 电阻	45
3.2.4 发光二极管	47
3.3 模拟信号与 I/O 口的使用	47
3.3.1 模拟信号及其输入	47
3.3.2 模拟输出与 PWM 脉宽调制	48
3.4 串行通信	50
3.4.1 串行通信的概念	50
3.4.2 串口的工作原理	50
3.4.3 串口的使用	51

3.4.4 串口的基本函数	51
3.4.5 串口输出示例	52
3.5 在线仿真软件 Tinkercad	54
3.5.1 注册与登录	55
3.5.2 电路设计	56
3.5.3 程序设计与仿真	57
复习题	58
第4章 常用元器件及其应用	62
4.1 轻触开关	62
4.1.1 轻触开关的类型	62
4.1.2 四脚轻触开关的结构	62
4.1.3 轻触开关应用举例	63
4.2 电位器	66
4.2.1 电位器的种类	66
4.2.2 旋转式电位器的结构	67
4.2.3 电位器应用举例	67
4.2.4 缩放函数	69
4.3 蜂鸣器	69
4.3.1 蜂鸣器的工作原理及分类	69
4.3.2 蜂鸣器驱动应用举例	69
4.3.3 使用无源蜂鸣器演奏音乐示例	71
4.4 数码管	74
4.4.1 一位数码管	74
4.4.2 四位数码管	77
4.5 LCD	84
4.5.1 LCD1602 的结构	84
4.5.2 LCD 控制库 LiquidCrystal	85
4.5.3 LiquidCrystal 四线模式示例	86
复习题	88
第5章 传感器及其应用	91
5.1 灰度传感器	91
5.1.1 灰度传感器的组成和工作原理	91
5.1.2 灰度传感器的测试和调节	92
5.2 红外反射式传感器	93
5.3 超声波测距传感器	94
5.3.1 超声波模块 HC-SR04	94

5.3.2	超声波模块 HC-SR04 应用示例	95
5.4	温度传感器	97
5.4.1	温度传感器 LM35	97
5.4.2	温度传感器应用示例	98
5.5	温湿度传感器	101
5.5.1	温湿度传感器 DHT11	101
5.5.2	温湿度传感器的库函数	102
5.5.3	温湿度传感器应用示例	102
5.6	人体红外传感器	104
5.6.1	HC-SR501 的组成与工作原理	104
5.6.2	HC-SR501 的使用说明	105
5.6.3	HC-SR501 应用示例	106
	复习题	107
第 6 章	无线通信模块及其应用	109
6.1	蓝牙通信	109
6.1.1	蓝牙模块	109
6.1.2	蓝牙模块的工作模式	110
6.1.3	蓝牙参数设置的硬件连接	112
6.1.4	SoftwareSerial.h 函数库	113
6.1.5	蓝牙模块参数设置示例	114
6.1.6	两个 HC05 蓝牙模块之间传输信息示例	117
6.1.7	手机与蓝牙模块通信示例	120
6.2	红外线通信	120
6.2.1	红外遥控系统的结构	121
6.2.2	库函数	122
6.2.3	键盘编码读取实验	123
6.3	NRF 控制	124
6.3.1	NRF24L01 模块	124
6.3.2	NRF24L01 模块与 Arduino Uno 的数据传输	124
6.3.3	库函数	125
6.3.4	NRF24L01 无线通信示例	127
6.4	RFID 技术	129
6.4.1	RFID 概述	129
6.4.2	RFID 系统	129
6.4.3	库函数	130
6.4.4	RFID 的工作原理	131
6.4.5	读取标签序号示例	132

6.5 SPI 通信	133
6.5.1 SPI 的通信协议	133
6.5.2 SPI 类库的成员函数	134
6.5.3 SPI 通信示例	135
6.6 ESP8266 模块与网络控制	137
6.6.1 ESP8266 模块与引脚介绍	137
6.6.2 ESP8266 模块的 AT 指令	138
6.6.3 ESP8266 模块的参数查询与设置	140
6.6.4 ESP8266 模块应用示例	142
复习题	146
第 7 章 电机与驱动	148
7.1 直流电机	148
7.1.1 直流电机的工作原理	148
7.1.2 直流电机的基本构造	149
7.1.3 直流电机的分类	150
7.1.4 芯片 ULN2003A 及其驱动	150
7.1.5 L298N 驱动板及其应用	152
7.2 舵机	155
7.2.1 舵机的组成与工作原理	155
7.2.2 舵机的引脚	156
7.2.3 舵机的控制方式	156
7.2.4 函数库 Servo	157
7.2.5 Arduino 直接驱动示例	158
7.2.6 舵机驱动模块的应用	159
7.3 步进电机	161
7.3.1 步进电机简介	161
7.3.2 步进电机的控制	163
7.3.3 步进电机的库函数	164
7.3.4 步进电机应用示例	165
复习题	167

第 3 篇 Arduino 机器人实战案例(基于“探索者”套件)

第 8 章 机器人机构基础	173
8.1 机构	173
8.1.1 零件	173

8.1.2 构件	173
8.1.3 运动副	174
8.2 机构的自由度	175
第9章 智能轮式移动机器人	177
9.1 轮式移动机器人概述	177
9.1.1 轮式移动机器人的用途	177
9.1.2 轮式移动机器人的分类	177
9.2 移动机器人的驱动与控制模块	180
9.2.1 Basra 主板	180
9.2.2 BigFish 扩展板	180
9.2.3 直流电机参数	182
9.2.4 舵机参数	182
9.2.5 电池	182
9.3 车体制作与行走原理	182
9.3.1 智能车的模块化实例	182
9.3.2 三轮车	184
9.3.3 四轮车	184
9.3.4 行走原理	184
9.3.5 行走测试	185
9.4 寻迹小车	187
9.4.1 实验所用元件及实验步骤	187
9.4.2 寻迹方案的运动原理	188
9.4.3 机械结构	188
9.4.4 灰度传感器的测试程序	188
9.4.5 两目寻迹小车示例	188
9.4.6 三目寻迹小车示例	191
9.5 超声波避障小车	195
9.5.1 实验所用元件及实验步骤	195
9.5.2 超声波测距的工作原理	195
9.5.3 超声波避障小车示例	196
9.6 红外遥控车	198
9.6.1 实验所用元件及实验步骤	198
9.6.2 电路设计	199
9.6.3 按键编码读取程序	199
9.6.4 红外遥控车示例	200
9.7 蓝牙遥控车	202
9.7.1 实验所用元件及实验步骤	202

9.7.2	机械结构	203
9.7.3	控制电路	203
9.7.4	蓝牙通信设置	203
9.7.5	蓝牙遥控车示例	206
第 10 章	工业机器人	210
10.1	工业机器人概述	210
10.1.1	工业机器人的概念	210
10.1.2	串联机器人的分类	210
10.1.3	机器人的主要技术参数	211
10.2	工业机器人的执行机构	212
10.2.1	机器人的本体机构	212
10.2.2	末端执行器	213
10.3	机械臂的机械结构示例	215
10.3.1	二自由度机械臂结构示例	215
10.3.2	三自由度机械臂结构示例	216
10.3.3	关节机器人结构组成示例	216
10.4	程序控制机器人	218
10.4.1	舵机位置调试工具	218
10.4.2	程序控制机器人示例	219
10.5	GM65 扫描分拣机器人	220
10.5.1	GM65 模块简介	220
10.5.2	串行通信接口设置	220
10.5.3	GM65 模块读取二维码示例	222
10.5.4	二维码识别分拣机器人示例	223
10.6	颜色识别分拣机器人	226
10.6.1	TCS3200 颜色传感器介绍	226
10.6.2	颜色识别原理	226
10.6.3	颜色识别分拣机器人示例	227
第 11 章	足式机器人	234
11.1	双足机器人	234
11.1.1	双足机器人的结构设计	234
11.1.2	双足机器人的步态规划	235
11.1.3	双足机器人示例	235
11.2	四足机器人	239
11.2.1	四足机器人的结构设计	239
11.2.2	四足机器人的步态规划	239

11.2.3 四足机器人示例.....	240
参考文献.....	246
附录1 “探索者”机器人创新组件	247
附录2 各调音符频率	249

第 1 篇

Arduino 基础知识

第 1 章 Arduino 简介

Arduino 源于 2005 年伊夫雷亚交互设计院的一个学生项目。当时,学生们经常抱怨找不到既便宜又好用的微控制器。因此,伊夫雷亚交互设计院的教师 Massimo Banzi、西班牙籍的微处理器工程师 David Cuartielles 以及 Banzi 的学生设计了 Arduino 控制板。目前,Arduino 是一个开源平台,它的所有设计资料都可以在其官网上免费获得。

1.1 初识 Arduino

Arduino 是一个能够用来感应和控制现实物理世界的工具。它由一个基于单片机并且开放源代码的硬件平台和一套为 Arduino 控制板编写程序的集成开发环境(Integrated Development Environment, IDE)组成。

Arduino 的核心是 AVR 单片机,其对 AVR 库进行了二次编译封装,将复杂的单片机底层代码封装成简单实用的函数,大大降低了软件开发难度,适合非电子专业学生和爱好者使用。

Arduino 语言是建立在 C/C++ 基础上的,也就是基础的 C 语言。Arduino 软件是开源的,对于有经验的程序员,Arduino 编程语言可以通过 C++ 库进行扩展。

Arduino 可以用来开发交互产品,例如,它可以读取大量的开关和传感器信号,还可以控制各种各样的 LED、电机和其他物理设备。目前,越来越多的电子爱好者使用 Arduino 来开发机器人、物联网、3D 打印等项目。

1.2 Arduino 控制板介绍

Arduino 发展至今,已经有了多种不同类型的控制板(也叫作开发板、主板)。它们具有不同的硬件配置,可以满足各种控制需求。

下面简要介绍几种应用比较广泛的 Arduino 控制板。

1.2.1 Arduino Uno

Arduino Uno 是目前使用最广泛的 Arduino 控制板之一,是基于 Atmega 328 开发的。它有 14 个数字输入/输出口(其中 6 个引脚可作为 PWM 输出)、6 个模拟输入口、1 个 16 MHz 晶体振荡器、1 个 USB 接口、1 个电源插座、1 个在线串行编程(In-Circuit Serial Programming, ICSP)接口等。它支持连接到计算机的 USB 接口直接供电、外部直流电源通过电源插座供电、电池连接电源连接器的 GND 和 VIN 口供电共 3 种供电方式。

到目前为止 Arduino Uno 共经历了 3 个版本。Arduino Uno R3 是 Arduino Uno 第三

代,它使用 Atmega 16U2 作为串口转 USB 接口的转换器,可通过 USB 接口利用串口通信向开发板内写程序,使烧录程序变得非常简单、快捷。Arduino Uno R3 的外形如图 1.1 所示。

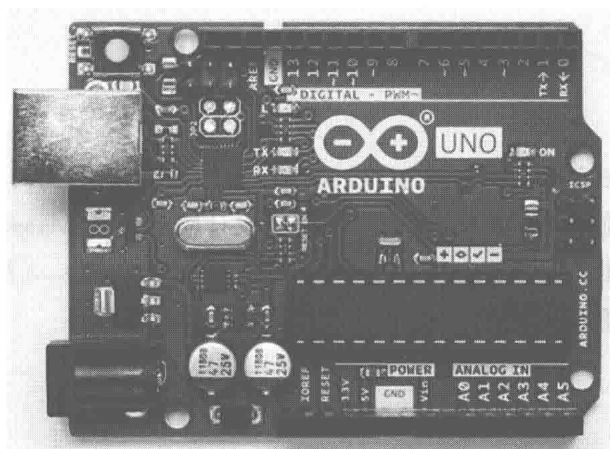


图 1.1 Arduino Uno R3

后续的内容都将以 Arduino Uno 作为核心。3.1 节将详细介绍 Arduino Uno 控制板的各个部分,这里不作过多介绍。

1.2.2 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 的核心是 Atmega 2560,其适合用于需要大量 I/O 接口的设计。它有 54 个数字输入/输出口(其中有 15 个可作为 PWM 输出口)、16 个模拟输入口、4 个串行通用异步收发器(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART)接口、1 个 16 MHz 晶体振荡器、1 个 USB 接口、1 个电源插座、1 个 ICSP 接口和 1 个复位按钮。Arduino Mega 2560 也能兼容为 Arduino Uno 设计的扩展板。它的外形如图 1.2 所示。

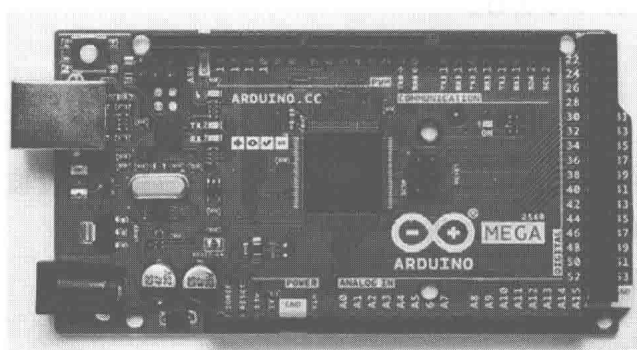


图 1.2 Arduino Mega 2560

关于数字输入/输出口与模拟输入口的说明如下。

(1) 54 个数字输入/输出口

工作电压为 5 V,每一个口能输出和输入的最大电流为 40 mA。每一个口配置了 20 Ω ~50 k Ω 的内部上拉电阻(默认不连接)。除此之外,部分口有特定的功能。

① 4 个串口信号。

- 串口 0:0(RX)和 1(TX)。
- 串口 1:19(RX)和 18(TX)。
- 串口 2:17(RX)和 16(TX)。
- 串口 3:15(RX)和 14(TX)。

② 6 个外部中断:2(中断 0)、3(中断 1)、21(中断 2)、20(中断 3)、19(中断 4)、18(中断 5)。触发中断引脚可设成上升沿、下降沿或同时触发。

③ 15 个 PWM(2~13,44~46)输出口:提供 15 路 8 位 PWM 输出。

④ SPI[50(MISO)、51(MOSI)、52(SCK)、53(SS)]:SPI 通信接口。

⑤ LED(引脚 13):Arduino 用于测试 LED 的保留接口,输出为高电平时 LED 点亮,输出为低电平时 LED 熄灭。

(2) 16 个模拟输入口

每一路具有 10 位的分辨率(即输入有 1 024 个不同值),默认输入信号范围为 0~5 V,可以通过 AREF 调整输入上限。

1.2.3 Arduino Nano

对于一些对电路板大小要求比较严格的场合,Arduino 团队提供了 Arduino Nano,此板体积非常小。它的外形如图 1.3 所示。

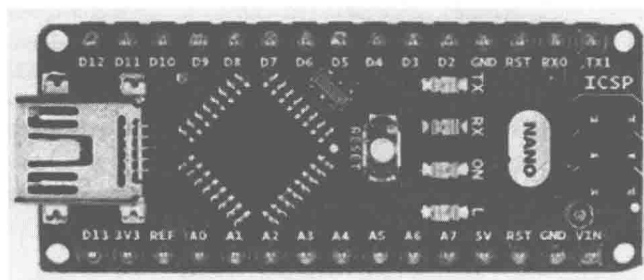


图 1.3 Arduino Nano

Arduino Nano 与其他控制板最大的不同是没有电源插座,USB 接口是 mini-B 型插座。Arduino Nano 可以直接插在实验电路板上使用,其处理器核心是 Atmega 328(Nano 3.0)。它有 14 个数字输入/输出口(其中 6 个可作为 PWM 输出口)、8 个模拟输入口、1 个 16 MHz 晶体振荡器、1 个 mini-B USB 接口、1 个 ICSP 接口和 1 个复位按钮。

引脚分配时应注意以下事项。

- ① 0、1 为 RX、TX 接口,这两个接口一般作为串口使用,非串口设备尽量不占用该引脚。
- ② 2、3 为中断口,分别对应中断 0、中断 1,需要中断功能的设备必须接入该引脚。
- ③ 2~13、A0~A5 共 18 个针脚,都可以作为数字引脚,编号连起来,分别是 2~19。
- ④ 13 引脚只能为 OUTPUT 模式,即只能作为输出端,不能用作输入端。
- ⑤ A6、A7 引脚只能用作模拟信号,不能用作数字信号。

总结:一般情况下,除了 0、1、13、A6、A7 这几个引脚比较特殊外,其他的引脚都可以按照正常功能使用。也就是说,2~12、A0~A5 这 17 个引脚可以放心使用。