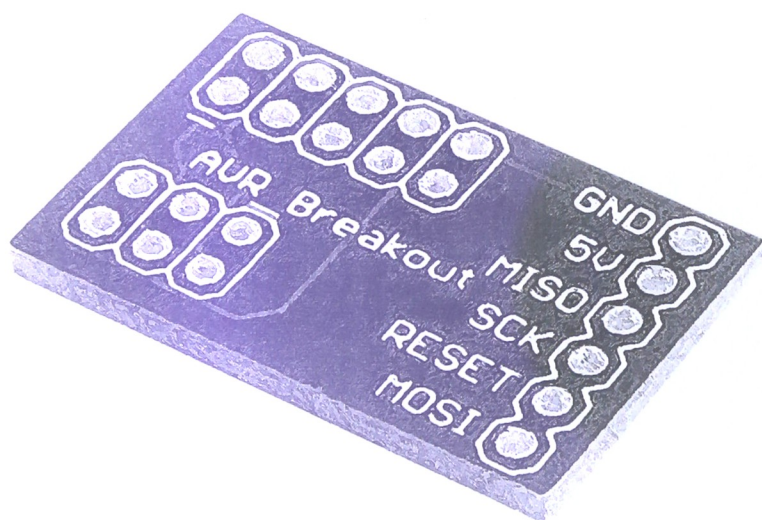


首本对基于AVR单片机和Arduino两种开发方式进行比较的书。
以实例驱动，通过项目引导读者一步步掌握Arduino的开发方法。
项目实用且充满趣味性，对于没有单片机基础的读者非常容易上手。



数字匠人

Apress®



Practical AVR Microcontrollers
Games, Gadgets, and Home Automation with the
Microcontroller Used in the Arduino

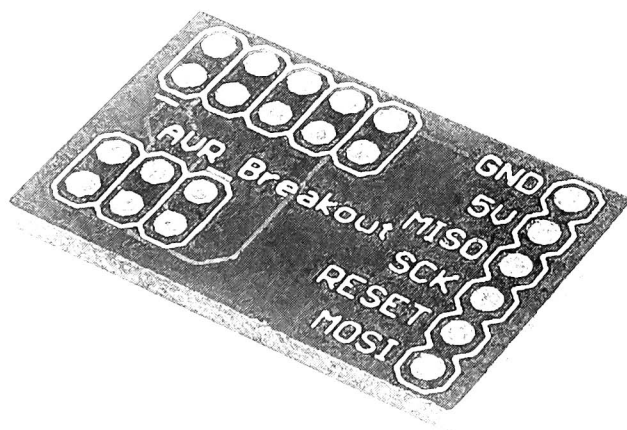
AVR单片机实战 Arduino方法

[英] Alan Trevennor 著 程晨 译



机械工业出版社
China Machine Press

数字匠人



Practical AVR Microcontrollers
Games, Gadgets, and Home Automation with the
Microcontroller Used in the Arduino

AVR单片机实战 Arduino方法

[英] Alan Trevennor 著 程晨 译



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

AVR 单片机实战: Arduino 方法 / (英) 特威耐尔 (Trevennor, A.) 著; 程晨译. —北京: 机械工业出版社, 2013.12

书名原文: Practical AVR Microcontrollers: Games, Gadgets, and Home Automation with the Microcontroller Used in the Arduino

ISBN 978-7-111-45357-4

I. A… II. ①特… ②程… III. 单片微型计算机 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 321104 号

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号: 图字: 01-2013-8511

Practical AVR Microcontrollers: Games, Gadgets, and Home Automation with the Microcontroller Used in the Arduino By Alan Trevennor, ISBN:978-1-4302-4446-2.

Original English language edition published by Apress Media. Copyright 2012 by Apress Media, Simplified Chinese-language edition copyright by China Machine Press. All rights reserved.

This edition is licensed for distribution and sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Taiwan and Macao and may not be distributed and sold elsewhere.

本书原版由 Apress 出版社出版。

本书简体字中文版由 Apress 出版社授权机械工业出版社独家出版。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

此版本仅限在中华人民共和国境内 (不包括中国香港、台湾、澳门地区) 销售发行, 未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。

单片机 (MCU) 是各种电子制作的“大脑”。如果你已经听过 Arduino 或者使用它做过小项目, 你就知道 AVR 单片机是 Arduino 的大脑。在这本书里, 你会学到如何使用 AVR 单片机进行电子制作。本书第一部分比较基础: 介绍如何搭建开发环境, 讲述 AVR 和 Arduino 之间的区别。通过完成一些简单的小制作, 你就会掌握 AVR 的使用技巧。本书第二部分主要介绍如何使用 AVR 单片机做项目。每个项目都会清晰地告诉你需要什么硬件, 什么软件, 并且会提供详细的制作步骤。

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 陈佳媛

北京市荣盛彩色印刷有限公司印刷

2014 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

186mm × 240mm · 21 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-45357-4

定 价: 69.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

投稿热线: (010) 88379604

读者信箱: hzsj@hzbook.com

译者序

随着 Arduino 的普及，越来越多非电子专业的人开始应用这块神奇的电路板，也开始知道有单片机这个东西。

Arduino 是一块开源的电路板，当大家再往下深究 Arduino 是什么的时候就会发现它的核心是一片 AVR 单片机，这是单片机领域一个很有分量的分支。在 Arduino 之前，本人就从事了多年 AVR 单片机开发的工作，AVR 单片机相对于传统的 51 单片机有很多的优势，比如精简指令集、丰富的外设、在线编程等。另外针对 AVR 单片机还有一个免费的基于 GCC 的 C 语言编译器。GCC 的编译器优化程度可以说是目前世界上民用软件中做得最好的，在国外，使用它的人几乎是最多的。我想这也是 Arduino 选用 AVR 单片机作为核心的原因。

在本人写完《Arduino 开发实战指南：AVR 篇》^①、《Arduino 电子设计实战指南：零基础篇》^②之后，一直想写一本从 Arduino 的角度介绍 AVR 单片机的书，当发现了这本书之后，就决定组织人员将它翻译出来，作为这方面内容的一个补充。感谢庄严、曾宪江、田芸等人在本书翻译过程中给予的支持和帮助。本书深入地介绍了 AVR 单片机的一些知识，而且还用 AVR 单片机做了很多有趣的项目，希望大家在读完本书后会更加喜欢开源硬件这个领域。

① 此书已由机械工业出版社出版，书号为：978-7-111-37005-5。

② 此书已由机械工业出版社出版，书号为：978-7-111-41717-0。

关于作者

Alan Trevennor 最初供职于一家音乐电台，如果没有什么意外，他可能就一直在这个音乐电台工作下去了。然而，自从通过剑桥的 MK14 电脑套件学报对电子产品上瘾后，Alan Trevennor 于 1980 年投身到英国的计算机行业中成为一名硬件工程师，维修 DEC PDP-11 系统。

在 20 世纪 80 年代，他撰写了关于操作系统和 Amstrad 电脑的硬件相关的书籍。他成为 DEC 英国 UNIX 团队的一个关键成员。他开设并教授许多针对 DEC UNIX 相关产品、精简指令计算机、TCP/IP 网络等培训课程，并为相关产品撰写用户指南。他也为很多杂志撰写技术文章。

在 20 世纪 90 年代，Alan 调任到康柏公司（后来被惠普收购），成为该公司一名数字媒体解决方案的架构师。从那时开始直到 2009 年离开惠普，Alan 一直致力于为客户提供数字媒体技术解决方案和商业顾问服务。他服务的客户很多，包括 BBC、路透社、Allied Domecq Leisure、BT、Music Choice、国民信托、RBS、Glaxo、维珍电台和诺基亚。离开惠普之后，他加入了惠普和诺基亚的一个可视电台合作项目，成为该项目技术团队的一员，并为这个项目工作了很长一段时间。在这样一个令人难以置信的多样的职业生涯中，Alan 已经开发了许多技术解决方案（一些使用了 AVR 单片机）以及大量的用户培训材料和文档。

Alan 和家人现居住于英国的康沃尔。他目前供职的 Microtest 公司是康沃尔一家先进的医疗软件提供商，他在该公司任专职的技术资料开发专家。此外，他还在业余时间运作了一个名为“Hobby”的商业项目。

序 言

Atmel 公司的 AVR 系列单片机展示了无与伦比的优秀性能。AVR 系列提供各种各样的微控制器，从只具有有限性能的简单设备，到具有众多内建的用于互联互通和接口的功能，以及更大的内存容量的复杂芯片——全部这些功能部件都在一个集成电路中。然而，所有的 AVR 系列单片机都使用相同的基本执行单元来运行程序，这意味着你可以从 AVR 系列单片机中的简单开始入手，当你准备好了以后，学会使用更强大、更复杂的单片机，而且不必重新学习如何对它们编程。

我们周围有很多介绍 AVR 微控制器的书籍，就像本书，很多书会告诉闪烁的灯你如何使用你的台式机进行 AVR 程序的开发。但是，很多书的内容侧重于闪光灯、测温、发声、键盘接口等此类的 AVR 程序。与上述内容同样有价值的是（本书也涉及了相关领域），我一直希望能找到一本书，它能更专注于如何使用 AVR 做出实际的东西。我想使事情进展或改变，在现实世界中能真正地看到。

还有一些书侧重于使用微控制器让机器人变得更加智能，这很棒，但是这些仍然，跟我想的不一样。也许是我在儿童时代看了太多《雷鸟惊航》或《星际迷航》，但是一直以来我觉得微控制器的潜能是远远超越仅仅用来做闪烁的灯。我一直在想象，给一个设备构建一定程度的智力可以做有用的事，让这个设备能够跟另一个智能设备交流（完全不需要人类的干预）会很神奇！

到现在为止，我从来没有找到我想要的书，我的时间和精力花费在一小部分想法上，我打算着手实现更多的想法。现在，我将要在本书中分享它们。

即使你不需要也不想要我在本书中呈现的小工具和项目，我也能打赌它们会触发你自己的一些想法，而且你将能够使用很多这里讲过的概念和技术来将你自己的想法变成现实。

我编写本书的一个主要原因是传播快乐。它一直是我在创作这本书时的学到的最重要的东西（这是做其他事情没法做到的但写这本书让我做到了），微控制器无限的可能性会激励你产生从未体验过的创造力。另一个更大的原因是这很有趣，是有意强调的“有趣”！

值得一提的是现在有越来越多开放的就业机会，很多都是涉及使用嵌入式微控制器的产品和项目工程：如果你留意你就会在每一个部门看到它们；从汽车工业到国防工业再到娱乐行业，他们都发现了微控制器应用的浪潮。所以，如果你考虑寻找使用此技术的职位，那么你不会浪费本书中所学到的东西。

Alan Trevennor

North Cornwall

写于英国

前言

从本质上讲，单片机是电子界的 Tinkertoy[⊖]，你将会从本书单片机的学习中获得许多乐趣。本书适合善于从实践中学习的读者。我一直很鼓励通过观察和实践进行学习，如果你也认同，那么让我们起航吧。对于喜欢首先了解为什么的读者，本书包含了一些背景材料，这些材料将会帮助你明白在日常生活中，单片机是多么重要。

假设你具有数字电子技术的基础知识，如果不是，即便你完全不懂，也不要着急！本书中的附录可以帮你扫盲。本书配套的 Web 站点（以及书中涉及的参考资料）会指引你获取大量有价值的 AVR 单片机网络资源。

单片机基础知识

针对单片机的初学者而言，我们以概要部分作为开始。非初学者可以直接跳过本部分阅读其余部分为了照顾初学者，我们将从基础知识讲起。单片机本质上是片上计算机。

对于一些简单的单片机应用，如控制 LED 灯闪烁，或是显示一个简易的时钟。你很可能只需要一个单片机芯片就足够了，而对于一些复杂的应用（如本书后面章节中的项目实例），你很可能需要增加一些辅助芯片，但仍然由单片机完成所有的控制。

市场上有成千上万种不同品牌的单片机（PIC/PICAXE、Intel、ARM、Philips/NXP、Toshiba、Panasonic 等），它们各有优缺点。

Atmel 公司的 AVR[⊖]系列单片机已经成为使用最为广泛、性能最强的通用型单片机之一，结合许多开发平台，如 Arduino，该系列单片机已经在低成本单片机市场中取得突出成绩，并且在中低端单片机系列中也具有价格优势。

单片机是由数字存储芯片和简单微处理器发展而来的，我们将在本书第一部分讲述单片机的发

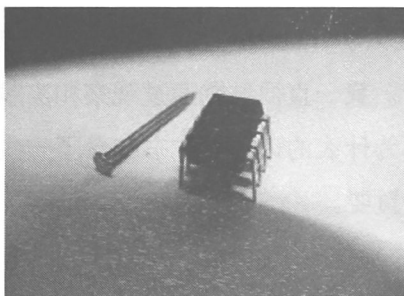
⊖ Tinkertoy 是一种机械积木。——编辑注

⊖ 奇怪的是，Atmel 公司里没人愿意解释 AVR 缩写代表的意义。事实上，发明 AVR 单片机的 Alf Egil Bogenand 和 Vegard Wollan 取笑任何提出这个问题的人！这是否是他们名字首字母缩写的组合呢？他们否认这一说法。他们甚至做了一个戏弄的视频，在 YouTube 搜索“The Story of AVR”即可观看。

展历程。

AVR 单片机由处理器核心、若干可编程的 flash 存储器和一些随机存储器组成。它经常也包含一些片上附加设备，例如输入 / 输出 (I/O) 端口、计时器、串行通信端口、模数转换器，甚至还有 USB 端口。

所有的 AVR 系列单片机都具有基本的处理内核和存储器，越高级的产品拥有越多的外设（以及更大的片上存储容量）。使用最简单的 AVR 单片机（具有八只引脚，且价格不超过 1 美元，如下图所示）你就可以完成 LED 灯和其他的简单电路。



上文中曾经提到了 Arduino，它是一种封装了的单片机系统，它以 AVR 单片机为核心，但是具有其他外设，比如将单片机的 I/O 引脚引出的连接器，提供稳压的器件等。在实际生活中，大多数人习惯于使用装有 Windows、Mac，或者 Linux 系统的这样高级的计算机。但是，Arduino 系统是一种低级的计算机系统，它的目标是帮助非技术人员和新手顺利地第一次完成计算机编程和计算。低级计算机使用的技术可能和你的台式电脑相同，可这是两种完全不同的东西。

Arduino 是一个极好的平台，其软件开发环境也非常优秀。然而，一个 Arduino 开发板可能是一个 AVR 芯片价格的 3 ~ 4 倍，并且大多数项目并未使用开发板的全部功能，这就造成了浪费。

所以在许多项目中，人们会选择使用单独的 AVR 单片机和外设进行系统设计，这也是本书的核心。通过使用 AVR 外部打包后的硬件环境，如 Arduino，你会对 AVR 产生更深的认识。

关于我们的单片机设置

对于许多读者来说，这本书包含了许多新内容。为了便于读者理解，本书选用 Arduino 软件开发环境。Arduino 开发软件（可以免费下载和使用）可以运行在 Windows、Linux 和 Mac OS X 上：大多数情况下，在这些系统上运行时并无差异。所以使用 Arduino 的开发环境的一个好处就是与你的机器兼容。如果你是个新手，那么还有一个好处就是 Arduino 的编程语言非常容易掌握。

因为本书并不是主要教授如何编程，所以不会占用大量篇幅去讲述程序，只会在有必要的时候才会对程序做出解释说明。我们仅仅使用 Arduino 软件，而不是 Arduino 开发板。我们仅使用便宜的 AVR 开发板和 AVR 单片机——在大多数情况下，我们仅单独使用 AVR 单片机本身。



注意

Atmel 本身具有免费的开发包“AVR Studio”，可以使用 C 或者 AVR 原生汇编^①程序进行编程。但是只能在 Windows 电脑中安装，所以我们没有选择。

让 AVR 单片机开始工作

虽然一个 AVR 单片机就是一个单芯片计算机，但在性能上绝对不能和台式电脑相提并论。我们可以利用台式电脑大存储、高性能的特点编写 AVR 单片机所需要的程序，然后将它烧录到 AVR 单片机中。下图说明了具体的工作过程。



在你的台式电脑中，你需要安装 AVR 开发环境（可免费获得），通过它，你可以编写和编译你的 AVR 软件。AVR 编程器通过 USB 连接到你的台式电脑，并使用一种叫作在线系统编程（ISP）的技术连接你的 AVR 单片机，并且可以将你编写的程序上传到 AVR 单片机中。第 2 章将会更加深入地讲解这一内容，并提供一个物料清单。



注意

本书中我们将 AVR 单片机插入特制面包板（参考附录 C 中面包板的基本教程）。然而，其他应用中 AVR 单片机可插入电路板或者全尺寸的 AVR 编程器产品中。

上面的框图代表本书使用的开发环境，理解这一点很重要，因为 AVR 系列单片机全部采用可擦除的片上存储器，你可以在程序存储器上重复编程上万次，直到达到你想要的结果。如果程序完全正确，就可以下载到 AVR 单片机中，在芯片中去完成它特定的应用。

在本书中，你将会看到如何利用项目物料（如电动机、螺线管和各类的传感器）和软件来完成一些项目实例。然后，我们将会利用 AVR 芯片完成一系列的项目。当你学完这个部分并能独立完成一些项目时，我相信，你一定会马上想出新的应用。AVR（和其他单片机）的使用会增强你的创造性思维。

本书结构

本书主要分为两个大的部分，其中又细分出若干章节。

^① 汇编语言是一种低级语言，它需要编程者掌握芯片的复杂的细节和特征。相对于书中所用的高级语言来说，优点是程序的执行速度更快，缺点是编程和调试更加困难。

第一部分：基础知识

第一部分主要介绍基础知识和背景材料。你可能对这些早就有所了解，抑或你早已迫不及待地想要开始学习这门实用的知识，你可以跳过本书中任何让你感到无趣或无用的部分。

我们有各自的学习方式，有些人总是习惯性地先思考为什么某些方法会比其他方法更加有效，为什么有些事物更有价值，如果你属于这种类型，那么第一部分将会很适合你。我认为这种思考是一种很好的学习方式。而对于那些只是想知道“如何做”的读者，你可能对讲述历史和基本原理的第一部分不感兴趣，而是想直接学习更加实用的第二部分。如果你是这么打算的，请不要忽略讲述开发环境设置的那个章节，因为它是后面项目开发的基础，需要优先学习。

在第一部分中，我们会简单地介绍编程，通过一些简短，并且加以详细注释的程序向你展现如何对 AVR 进行编程。即使你从未接触过编程，也可以通过对本部分的学习获得对单片机编程的认识。

第二部分：项目实例部分

第二部分讲述如何使用 AVR 单片机来完成特定的项目，你可以按照自己的兴趣修改和编译其中的项目。这个部分会涉及很多内容，包括数字电路，少量简单的控制原理方面的内容，软件细节和大量的 AVR 单片机应用。

对于每个项目，我们将会关注它的硬件设计和相应的原理，并对其中可以改进和替代的地方进行讨论。我们也会对项目中的程序部分进行概述，对其中难以理解的部分加以详细的解释。书中的程序可以从本书的网站获得，网址为：<http://www.apress.com/9781430244462>。

图和表会向你展示构建每个项目时尽可能多的细节，以便以后帮助你按照自己的要求和想法构建自己的项目。

以下是第二部分的项目实例列表：

- ❑ 第 8 章：“晚上好，邦德先生：你的秘密面板”。这章向你讲述制作一个滑动面板的机理，并且使用 AVR 控制。面板后面是什么？等一下，瞧，我相信你已经想好在面板后面放什么了，并且你有自己的秘密方式去打开它。
- ❑ 第 9 章：“疯狂光束——训练你的宠物”。猫（狗也是一样）会对移动的光柱兴趣，它们会满屋子地追赶移动的光柱。这个项目会产生各式各样能引起它们追赶的光柱，并且会让它们乐此不疲。
- ❑ 第 10 章：“单词沙丘”。我们都知道要在沙丘中找到一根针是很难的。你可以在大量的字母中，找到你想要的单词吗？开始会比较简单，但是后来会变得越来越难。
- ❑ 第 11 章：“灯光瀑布”。不要只是将这些灯简单地布置在长走廊上，要带上我们的风格！
- ❑ 第 12 章：“移动的错觉”。

- 摩尔纹：将一个灯放到正在旋转的轮子上，观察这美妙的现象！
 - 皮影戏：发光 LED 可以做出神奇的皮影戏。
 - 鸭子射击游戏：乐趣多多！
- ❑ 第 13 章：“智能家居推动者”。我们阐述了为何“未来之家”姗姗来迟，并介绍了一些基础的启动项目和想法，使你拥有更智能的家居生活。

附录

最后，我们给出一些参考附录。当你遇到不明白的术语，技术或概念的时候，可以参考这一部分。如果你是初学者，为了减少你的困惑和节约时间，建议你在阅读项目实例之前，首先学习本部分的内容。

- ❑ 附录 A：“常用器件”。一些关于电阻、电容、二极管、发光二极管和集成电路（芯片）的基础知识。
- ❑ 附录 B：“数字电路基础”。如果你对数字电路完全不懂，不要害怕，这部分内容将会帮助你学习。通过本部分的学习不能使你马上成为一个电子奇才，但是可以让你具备一些基本的知识从而完成接下来的学习。
- ❑ 附录 C：“面包板”。这是什么，是做什么的，怎么使用它，为什么它的用途会这么大？
- ❑ 附录 D：“串口通信”。大多数初学者会对串口通信感到疑惑不解，可是，这个技术是理解单片机系统通信必须要掌握的内容。

我们将前往何方

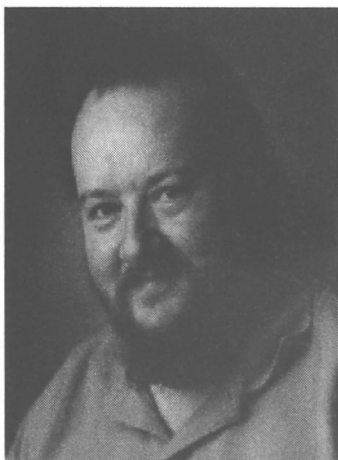
为了建立自己的 AVR 单片机开发环境，第 2 章的学习十分重要。当然，如果你自认为已经掌握了足够的知识，你可以按照任何你喜欢的顺序阅读本书，你可以首先看那些让你产生兴趣的部分（你也可以边看边参考前面略过的章节）。

当你遇到不熟悉的地方时，充分利用详细的关键词索引，不要忘了，还有附录，这些是你宝贵的参考资料。

接下来的部分

第 1 章：“单片机发展的简要历史”——计算机工业选择了精简指令集系统。

关于技术审校者



Cliff Wootton 前 BBC 新闻互动电视系统架构师。

在那里发展起来的“New Loops”服务获得了 BAFTA 提名并赢得了皇家电视协会技术创新奖。他受邀在苹果 WWDC 大会上演讲视频压缩的预处理。他还教授硕士研究生关于真实世界计算、多媒体、视频压缩、元数据的课程，并研究基于开放标准的下一代互动电视系统的部署。

他目前在调查新的互动电视技术的研发项目组中工作，主要涉及 MPEG 标准工作组，并编写更多关于这个课题的书籍；在伦敦艺术大学多媒体课程之余，他还参加一些会议，并发表演讲。

致 谢

本书集结了如此繁杂的内容，在写作期间我获得了许多人的帮助，我犹豫着是否将他们一一列出，还是用“每一个帮过我的人”这样的表述一笔带过。因此，请允许我采用折中的方案了。

特别感谢 **Wendy**，感谢她的耐心，同样要感谢她允许我在自己的家中尝试我的想法——并如此地鼓励和赞赏它们。同样特别感谢 **Laurence**，感谢他的技术上可贵的反馈、想法。

致 **Apress** 的团队——谢谢你们！感谢 **Michelle Lowman** 开始策划这本书，感谢 **Jill Balzano** 做这吃力不讨好的工作，在紧凑的时间内把团队集中起来。感谢 **Matthew Moodie**（作为技术编辑）为书的结构和内容做了如此多的贡献。感谢 **Cliff Wootton** 作为技术审校者，为使这本书更容易理解贡献良多，并慷慨地提供自己的想法给我采纳。同样，要感谢 **Lori Jacobs**（本书文字编辑）通过指出很多错误和一不致的内容，使这本书更具可读性、更易于理解；这些错误和不一致内容都是我阅读文档千万遍都指不出来的。

我需要感谢 **Reece Fitzhardy**，这些年来一直无偿地传授知识并花费时间在我身上，来帮助我理解 **TTL** 数据手册直到它对我来说再也不是天书。我感谢 **Alf-Egil Bogen** 和 **Vegard Wollan**——**AVR** 架构的设计者，以及让 **AVR** 腾飞的 **Atmel** 公司。

我感谢在英国 **Maplin** 公司和美国 **Sparkfun** 公司的伙伴们，还有 **Aaron** 和在 **Pololu** 的支持团队，无论什么时候我有所请求都会给予我帮助和信息。

我要感谢很多人，尤其是核心团队，那些在 **Arduino** 硬件和软件方面做出了不寻常和革命性贡献的人。

还要感谢……但是我最好在这里停下来。如果我忘了某些重要的人，请见谅！

目 录

译者序	
关于作者	
序言	
前言	
关于技术审校者	
致谢	

第一部分 基础知识

第 1 章 单片机发展的简要历史	2
1.1 发展阶段	3
1.2 为什么是单片机	4
1.2.1 为什么你需要了解单片机	4
1.2.2 你可以利用单片机做些什么	4
1.2.3 为什么会选择 AVR 系列单片机	6
1.3 总结	9
1.4 接下来的部分	10

第 2 章 搭建我们的 AVR 试验台	11
2.1 试验台详细说明	11
2.2 关于试验台所需要的材料	11
2.2.1 一台桌面型计算机	12
2.2.2 其他所需物品	13
2.2.3 必需工具	13

2.2.4 可选的工具	14
2.2.5 零件	15
2.2.6 AVR ISP (在线系统可编程) 编程器	18
2.2.7 其他编程器	25
2.2.8 AVR ISP 编程适配器和排针	25
2.2.9 装配编程适配器	25
2.3 试验台软件——安装和设置	28
2.4 选择开发环境：为什么是 Arduino	28
2.5 试验台测试	30
2.6 TTL 电平串行端口	33
2.7 总结	34
2.8 接下来的部分	34

第 3 章 Arduino 和“裸”AVR	35
3.1 比较方法	36
3.1.1 AVR 独占鳌头	38
3.1.2 AVR 来啦	39
3.2 各部分就位	41
3.3 AVR 的类型	43
3.3.1 Arduino 的配置文件	43
3.3.2 即刻使用 AVR	46
3.3.3 使用外部晶振	47

3.3.4 AVR 和它的熔丝	48	5.1.4 提高解决问题的能力	134
3.4 AVR Dude	51	5.1.5 再构造能力	134
3.4.1 AVR Dude 的终端模式中 的麻烦	52	5.1.6 环保产品	138
3.4.2 AVR Dude: 入门指南	52	5.1.7 来自上级母设备的支持	138
3.5 Arduino 和 AVR ID 的问题	62	5.1.8 嵌入式智能的好处	138
3.6 管脚名称转换	63	5.2 智能设备的缺点	139
3.7 AVR: 对我讲话	65	5.3 解析智能设备	139
3.8 终端模拟器	68	5.4 总结	140
3.9 总结	69	5.5 接下来的部分	140
3.10 接下来的部分	69		
第 4 章 勇往直前	70	第 6 章 数字通信	141
4.1 让东西动起来	70	6.1 当智能设备能通信	141
4.1.1 伺服电机	71	6.1.1 通信通道类型	142
4.1.2 伺服电机的测试	75	6.1.2 错误校验	143
4.1.3 宝石之光	83	6.2 单片机互联式通信	145
4.1.4 继续前进	90	6.2.1 RS232 通信方式	146
4.1.5 什么是 MOS	95	6.2.2 使用 RS232 电平还是 逻辑电平	147
4.1.6 继电器	97	6.3 设计请求通信协议	147
4.1.7 螺线管	101	6.3.1 通过标志来进行通信	151
4.1.8 电机 (非伺服型)	103	6.3.2 对象模型	152
4.2 传感运动	116	6.3.3 在单片机上实现标志化 对象模型	158
4.2.1 传感器开关	116	6.3.4 对象模型和标志化小结	160
4.2.2 有源传感器	121	6.4 总结	160
4.3 总结	129	6.5 接下来的部分	160
4.4 接下来的部分	129		
第 5 章 智能化	130	第二部分 项目实例部分	
5.1 智能设备	130	第 7 章 项目介绍	162
5.1.1 增加功能	131	7.1 项目基础	162
5.1.2 自适应行为	132	7.2 项目格式	163
5.1.3 提高效率	133	7.3 项目范围和难度	164

第 8 章 项目 1: 晚上好, 邦德**先生: 你的神秘面板 165**

- 8.1 被电影和电视摧毁的生活 165
- 8.2 实现过程 165
 - 8.2.1 实验失败的火线版本 166
 - 8.2.2 仔细考虑 167
 - 8.2.3 最终成功方案 168
 - 8.2.4 将按键隐藏起来 171
 - 8.2.5 位置传感器 172
 - 8.2.6 神秘部件 173
 - 8.2.7 电子电路 174
 - 8.2.8 滑动面板电子器件故障排除 176
 - 8.2.9 软件注释 176
 - 8.2.10 组合起来 177
- 8.3 总结 179
- 8.4 接下来的部分 179

第 9 章 项目 2: 疯狂的光束——**训练你的宠物 180**

- 9.1 项目 180
 - 9.1.1 购买激光器 181
 - 9.1.2 建立项目 182
 - 9.1.3 组装 183
 - 9.1.4 电子 186
 - 9.1.5 疯狂梁——软件 188
- 9.2 总结 191
- 9.3 接下来的部分 192

第 10 章 项目 3: 单词沙丘 193

- 10.1 你真正看到了多少 193
- 10.2 硬件 193

- 10.3 单词沙丘: 构建 196
- 10.4 单词沙丘游戏玩法 198
- 10.5 单词沙丘: 游戏软件安装 199
- 10.6 单词沙丘命令集 201
- 10.7 通用软件结构 201
- 10.8 单词沙丘程序代码流程 203
 - 10.8.1 单词沙丘: 声明部分 203
 - 10.8.2 setup() 204
 - 10.8.3 loop() 204
 - 10.8.4 format_EEPROM() 205
 - 10.8.5 addToDictionary() 205
 - 10.8.6 pEEPROMToSerial-Channel() 205
 - 10.8.7 dumpDictToSerial-Channel() 205
- 10.9 总结 208
- 10.10 接下来的部分 208

第 11 章 项目 4: 灯光瀑布 209

- 11.1 通道照明 210
 - 11.1.1 实现电路 212
 - 11.1.2 灯光瀑布软件 215
 - 11.1.3 开始实现吧 217
 - 11.1.4 基于 Mark II 的灯光瀑布 226
- 11.2 基于 Mark II 的电子设计 226
- 11.3 第二种方案电路图 228
- 11.4 总结 231
- 11.5 接下来的部分 231

第 12 章 项目 5: 移动的错觉 233

- 12.1 射鸭子游戏 233