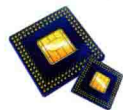




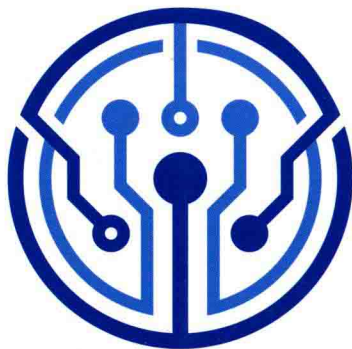
华章科技



爱思唯尔



电子电气工程师技术丛书



PIC MICROCONTROLLER PROJECTS IN C

Basic to Advanced, Second Edition

PIC微控制器项目设计

C语言实现

(原书第2版)

[塞浦路斯] 多甘·易卜拉欣 著 许辉 吕汶译
(Dogan Ibrahim)



机械工业出版社
China Machine Press



电子电气工程师技术丛书

PIC MICROCONTROLLER PROJECTS IN C

Basic to Advanced, Second Edition

PIC微控制器项目设计

C语言实现

(原书第2版)

[塞浦路斯] 多甘·易卜拉欣 著 许辉 吕汶 译
(Dogan Ibrahim)



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

PIC 微控制器项目设计: C 语言实现 (原书第 2 版) / (塞浦) 多甘·易卜拉欣 (Dogan Ibrahim) 著; 许辉, 吕汶译. —北京: 机械工业出版社, 2017.6

(电子电气工程师技术丛书)

书名原文: PIC Microcontroller Projects in C: Basic to Advanced, Second Edition

ISBN 978-7-111-56765-3

I. P… II. ①多… ②许… ③吕… III. 单片微型计算机—C 语言—程序设计
IV. ① TP368.1 ② TP312.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 100730 号

本书版权登记号: 图字: 01-2016-4289

PIC Microcontroller Projects in C: Basic to Advanced, Second Edition

Dogan Ibrahim

ISBN:978-0-08-099924-1

Copyright © 2014 by Elsevier Ltd. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

Copyright © 2017 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. All rights reserved.

Printed in China by China Machine Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授权机械工业出版社在中华人民共和国境内 (不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区) 出版及标价销售。未经许可之出口, 视为违反著作权法, 将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签, 无标签者不得销售。

PIC 微控制器项目设计: C 语言实现 (原书第 2 版)

出版发行: 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: 蒋 越

责任校对: 殷 虹

印 刷: 三河市宏图印务有限公司

版 次: 2017 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 186mm×240mm 1/16

印 张: 32.5

书 号: ISBN 978-7-111-56765-3

定 价: 99.00 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) 88379426 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

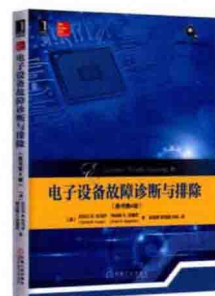
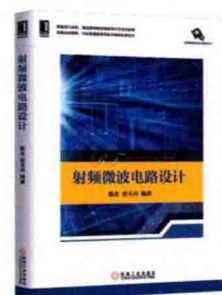
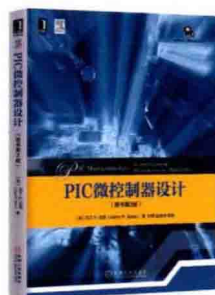
作者简介

多甘·易卜拉欣

(Dogan Ibrahim)

塞浦路斯尼科西亚近东大学生物医学工程系主任。他的研究兴趣包括自动控制、基于微处理器的设计、基于网络的教育、远程教育和工程教育。Dogan是40多本关于微处理器技术书籍的作者，包括《SD Card Projects Using the PIC Microcontroller》和《Advanced PIC Microcontroller Projects in C》。他也在各种技术期刊、杂志、会议和研讨会上发表过200多篇技术论文。

延伸阅读



在现代工业环境中，随着微控制器的高速发展，新的控制技术已被广泛使用，它带动着工业自动化和控制领域向工业 4.0 方向迅速发展，因此微控制器的开发对提升产品性能和降低制造成本都有着举足轻重的影响。

要想利用微控制器对控制设备进行开发，不仅要掌握好微控制器的相关知识，还要积累各方面的经验，包括硬件设计、软件设计，以及如何让两者巧妙结合协同工作。此外，若要确保设计的项目能在实际工作环境中正常运行，还需要考虑实际应用环境的特点、突发问题的应急处理方式及各种干扰因素的影响等，因此，只有通过全面的考虑才能将微控制器的应用开发推进到新的阶段。

本书从实际设计应用出发，以 Microchip 科技公司的高端 8 位微控制器 PIC18F 系列为例，使用 mikroC Pro for PIC 编译器和 MPLAB XC8 编译器，并将其应用在了 50 多个应用项目中。在内容编排上，从基础层面向应用提高层面逐渐深化，初学者可以边学边用，循序渐进，从而掌握相关知识，提高自主学习和解决问题的能力。书中提供的所有项目不仅内容详尽，考虑全面，而且还提供了完整的文档，程序也都经过了全面测试和使用，具有非常高的参考价值。

正是由于本书的独特性，才使我们决定将其翻译并奉献给读者，希望能为涉及微控制器的电子类专业的本科生提供学习和参考资料，也为从事微控制器开发应用的工程师和电子爱好者提供帮助。

本书由西安电子科技大学的许辉、吕汶翻译，其中许辉负责第 1、2、6、7 章的翻译，吕汶负责第 3、4、5 章的翻译。由于时间紧张和译者的水平所限，难免存在偏差和失误，恳请读者批评指正。

前 言 Preface

微控制器是一个单芯片微处理器系统，其中包含数据和程序存储器、串行和并行输入/输出、定时器、外部和内部中断，所有这些都集成在一个芯片中，其价格可以低至 2.00 美元。大约 40% 的微控制器应用在办公自动化中，例如，PC、激光打印机、传真机、智能电话等。大约 1/3 的微控制器存在于消费类电子产品中，如 CD 播放器、高保真设备、视频游戏、洗衣机、厨具等产品。通信市场、汽车市场和军事设备共享其余的应用领域。

目前有许多不同类型的微控制器，它们是由不同的制造商制造的。本书介绍了 Microchip 科技公司开发和制造的高端 8 位微控制器 PIC18F 系列。本书中的项目使用了非常流行的 PIC18F45K22 微控制器，在本书中也给出了许多初级、中级和高级项目。大多数项目都是使用流行的 mikroC Pro for PIC 编译器及 MPLAB XC8 编译器开发的，所有项目都有完整的文档，书中为每个项目提供以下内容：项目介绍、项目硬件（及适当的项目框图）、项目 PDL、项目程序，对于一些项目，还提出了可能的修改和改进建议。所有的项目都已经过了测试，可以正常工作。

在阅读本书时，C 编程语言的知识是很有用的，至少熟悉 PIC16F 系列中的一个微控制器也是有好处的，此外，不需要汇编语言编程知识，因为书中的所有项目都是基于 C 语言的。

本书面向学生、实习工程师和有兴趣使用 PIC 系列微控制器开发基于微控制器项目的爱好者。鉴于篇幅所限，我已经尝试在书中加入了尽可能多的项目。

第 1 章介绍了微控制器的基本特性。

第 2 章提供了一个有关 C 语言的简短教程，然后介绍了本书中提供的项目所使用的流行的 mikroC Pro for PIC 编程语言和编译器的特性。

第 3 章是关于 MPLAB X IDE 和 XC8 编程语言及编译器的介绍。本书中的大多数项目都提供了 mikroC Pro 和 XC8 程序清单，读者应该能够轻松地从一个语言转换到另一种语言。

第 4 章描述了常用的程序开发工具，如 PDL 和流程图，关于这两个工具都给出了示例。

第 5 章给出了使用 PIC18F45K22 微控制器的初级项目。在本章中，这些项目包括简单

的 LED、7 段数码显示屏、LCD、音响项目等。

第 6 章提供了中级项目。本章中的项目包括使用中断、使用键盘、实时生成波形、串行通信、GPS 数据解码、各种总线系统等。

第 7 章提供了更多的高级项目。本章涵盖的项目主要包括使用蓝牙通信、RFID、实时时钟、图形 LCD、SD 卡，以及基于以太网的项目 CAN 总线、微控制器系统中的多任务、步进电机和直流电机的项目。虽然关于电机的项目不是最先进的，但在本章中尽量给出了完整的内容。

致谢

本书中的以下材料在相应版权持有人的许可下进行了转载，未经他们允许，不得以任何方式转载或复制。

图 3.1 和图 3.12 摘自 Microchip 科技公司的 PIC18 (L) F2X/4XK22 (DS41412F) 数据手册和 Microchip 科技公司的网站 www.microchip.com。

图 6.48 取自 Parallax 公司的网站。

图 6.8、图 7.13、图 7.28、图 7.30、图 7.63 和图 7.113 取自 mikroElektronica 网站。

PIC[®]、PICSTART[®] 和 MPLAB[®] 是 Microchip 科技公司的商标。

目 录 Contents

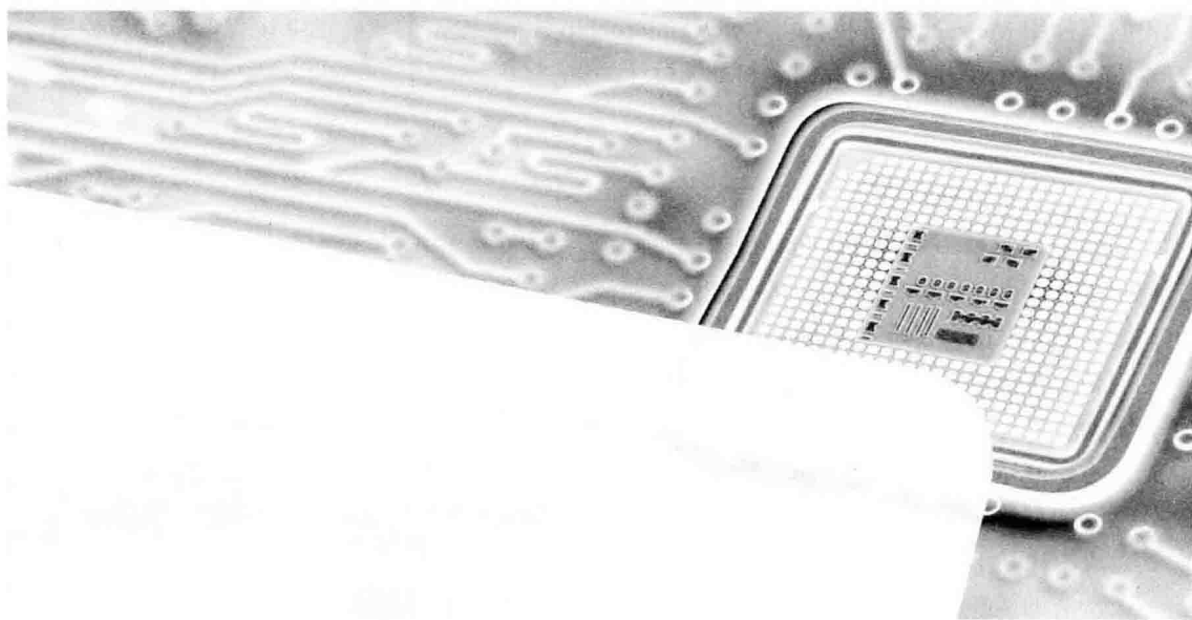
译者序		
前言		
第 1 章 微机系统	1	
1.1 引言	2	
1.2 微控制器系统	2	
1.3 总结	6	
1.4 练习	6	
第 2 章 mikroC Pro for PIC 编程语言	7	
2.1 mikroC Pro for PIC 程序的结构	8	
2.2 数组	10	
2.3 指针	11	
2.4 结构体	11	
2.5 C 运算符	12	
2.6 修改控制流	13	
2.7 mikroC Pro for PIC 的函数	17	
2.8 mikroC Pro for PIC 的库函数	17	
2.9 总结	18	
2.10 练习	18	
第 3 章 MPLAB X IDE 和 MPLAB XC8 C 编程语言	20	
3.1 PICDEM PIC18 Explorer 开发板	21	
3.2 MPLAB X IDE	24	
3.3 MPLAB XC8 编译器	24	
3.4 总结	39	
3.5 练习	39	
第 4 章 微控制器程序开发	40	
4.1 使用 PDL 和流程图	41	
4.2 举例	44	
4.3 用流程图表示 for 循环	48	
4.4 总结	49	
4.5 练习	49	
第 5 章 初级 PIC18 项目	51	
项目 5.1 追逐 LED	52	
项目 5.2 复杂闪烁的 LED	56	
项目 5.3 随机闪烁的 LED	59	
项目 5.4 逻辑探头	61	
项目 5.5 LED 骰子	68	

项目 5.6 双骰子项目	75	项目 6.12 带 LCD 输出的 GPS	250
项目 5.7 使用较少 I/O 引脚的双骰子项目	80	项目 6.13 开 / 关温度控制	256
项目 5.8 7 段数码管计数器	89	第 7 章 高级 PIC18 项目	263
项目 5.9 两位多路复用 7 段数码管	94	项目 7.1 蓝牙串行通信之从模式	264
项目 5.10 4 位多路复用 7 段数码管	99	项目 7.2 蓝牙串行通信之主模式	286
项目 5.11 LED 电压表	105	项目 7.3 RFID 的使用	293
项目 5.12 LCD 电压表	112	项目 7.4 RFID 感应锁	308
项目 5.13 产生声音	124	项目 7.5 复杂的 SPI 总线项目	315
项目 5.14 生成自定义的 LCD 字体	131	项目 7.6 使用 RTC 芯片的实时时钟	337
项目 5.15 数字温度计	134	项目 7.7 实时闹钟	350
第 6 章 中级 PIC18 项目	137	项目 7.8 SD 卡项目——将文本写入文件	360
项目 6.1 带 4 位多路复用 7 段数码管的外部中断事件计数器	138	项目 7.9 SD 卡温度数据记录器	378
项目 6.2 带键盘和液晶显示器的计算器	150	项目 7.10 使用图形 LCD——显示各种形状	386
项目 6.3 高 / 低游戏	164	项目 7.11 在 GLCD 上显示气压计、温度计和高度计	397
项目 6.4 产生波形	170	项目 7.12 在 GLCD 上绘制温度变化曲线	407
项目 6.5 利用超声波测量人体高度	199	项目 7.13 以太网的使用——基于 Web 浏览器的控制	412
项目 6.6 迷你电子琴	208	项目 7.14 以太网的使用——基于 UDP 的控制	422
项目 6.7 带 LCD 的频率计数器	210	项目 7.15 数字信号处理——低通 FIR 数字滤波器项目	427
项目 6.8 反应计时器	216	项目 7.16 汽车项目——本地互联网络总线项目	434
项目 6.9 温度和相对湿度测量	224	项目 7.17 汽车项目——CAN 总线项目	446
项目 6.10 带 RS232 串行输出的温度计	234		
项目 6.11 微控制器和基于 PC 的计算器	245		

项目 7.18	多任务	470	项目 7.22	直流电机控制项目—— 简单的电机驱动	500
项目 7.19	步进电机控制项目—— 简单的单极电机驱动	487	项目 7.23	测量电机速度的自制 光学编码器	504
项目 7.20	步进电机控制项目—— 单极电机的复杂控制	490	项目 7.24	闭环直流电机速度 控制——开 / 关控制	507
项目 7.21	步进电机控制项目—— 简单的双极电机驱动	494			

Chapter 1 第 1 章

微机系统



1.1 引言

微机一词用于描述一个系统，该系统至少包括一个微处理器、程序存储器、数据存储器 and 输入/输出 (I/O) 模块。有的微机系统还包括一些附加组件，如定时器、计数器、中断处理模块、模拟数字转换器、串行通信模块、USB 接口模块等。因此，一个微机系统可以从由硬盘、键盘、显示器、软盘和打机构成的大型系统到嵌入控制器的单个芯片的任何系统。

在本书中，我们将只考虑单个硅芯片构成的微型计算机系统。这样的微型计算机系统也称为微控制器，即单片机^①。它们被用于许多日常家居用品中，如个人电脑、数码手表、微波炉、数字电视机、电视机遥控器控制单元、电饭锅、音响设备、CD 播放器、冰箱等。

市场上有大量不同类型的微控制器，它们是由许多家公司开发和制造的。在本书中，我们将使用 Microchip 科技公司 (www.microchip.com) 制造的流行的 8 位可编程接口控制器 (PIC) 系列单片机来研究编程和系统设计。

1.2 微控制器系统

微控制器是一种单芯片的计算机。“微”表示该装置很小，“控制器”表明该装置可在控制应用系统中使用。另一个用于微控制器的术语是“嵌入式控制器”，这是由于在工业、商业和家庭应用设备中，大多数的微控制器都被内置或嵌入在它们控制的设备中。

微处理器在许多方面与微控制器不同。其主要区别是，微处理器需要其他一些外部组件协助进行计算操作，如程序存储器、数据存储器、I/O 模块和外部时钟模块；而微控制器则是将所有这些芯片支持的功能整合于一个芯片之中。另外，由多芯片概念构造的基于微处理器的系统比基于微控制器的系统消耗更多的功耗。基于微控制器系统的另一个优点是其总成本比基于微处理器的系统低得多。

所有的微控制器 (和微处理器) 依靠存储在程序存储器内的一组指令 (或用户程序) 进行工作。微控制器从程序存储器内一个接一个地读取这些指令，解码这些指令，然后执行所需的操作。

传统意义上微控制器一直使用基于目标设备的汇编语言进行编写。虽然汇编语言执行速度快，但它有几个缺点。汇编程序由助记符组成，使用汇编语言编写的程序一般很难学习和维护。此外，由不同公司生产的微控制器使用不同的汇编语言，因而每次使用新的微控制器时，用户就需要学习一种新的汇编语言。

微控制器还可以使用高级语言进行编程，如 BASIC、PASCAL 和 C。使用高级语言编程的优点是高级语言比汇编语言更容易学习。此外，非常大和复杂的程序可以更容易使用高级语言来进行开发。在本书中，我们将学习使用两种流行的 C 编程语言对高端 8 位 PIC 单片机进行编程：分别是由 mikroElektronika (www.mikroe.com) 开发的 mikroC Pro for

^① 本书也会按照中国市场习惯称其为单片机。——译者注

PIC 和由 Microchip (www.microchip.com) 开发的 MPLAB X IDE。

通常，一个单一的芯片需要有个基于微控制器运行的计算机系统。在实际应用中，可能还需要附加的组件，以允许微机通过接口与环境相连接。随着 PIC 系列微控制器的出现，电子项目的开发时间已减少到几个月，几周，甚至几个小时。

一般来说，微控制器（或微处理器）执行的是在其程序存储器里装入的用户程序。在这个程序的控制下，数据从外部设备接收进来（输入），被处理，然后发送给外部设备（输出）。

例如，在一个基于微控制器的液位控制系统中，其目的是控制液体保持在设定的液位值上。这里，液体的水平位置通过装有水平传感器的微型计算机进行读取。然后，运行在微控制器内的程序开启泵和阀，控制液面保持在所需值上。如果液位低，那么微型计算机操作泵从蓄水池中抽取更多的液体。在实际中，需要连续地控制泵，以使液体保持在所要求的液位上。图 1.1 显示了这种简单的液位控制系统的框图。

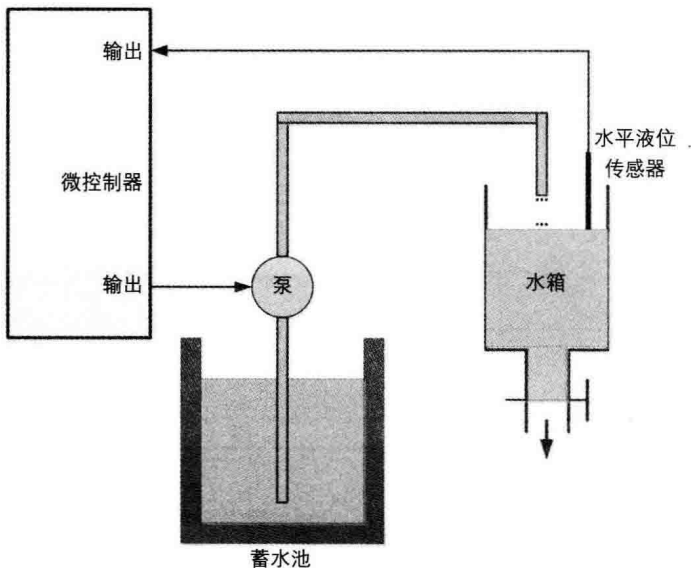


图 1.1 基于微控制器的液位控制系统

图 1.1 所示的系统是一个很简单的液位控制系统。在更复杂的系统中，我们可以添加小键盘来设置液体所需的水平位置，以及用液晶显示器（LCD）来显示罐中当前液体的液位。图 1.2 所示为这种更复杂的液位控制系统的框图。

我们可以使设计更复杂一些（见图 1.3），如果液面不在所需的位置，可以添加一个声音报警器来告知我们。此外，在任何时间，都可以每秒发送一次实际的液位值给 PC，以便进行归档和进一步的处理，例如，可以在 PC 上每天绘制液体水平位置的变化曲线图。也可以将无线接口 [如蓝牙或射频（RF）] 或网络连接添加到系统里，以实现远程监控或控制液体的液位。图 1.4 显示了有蓝牙模块连接到微控制器的系统框图。

正如你所看到的，因为微控制器是可编程的，所以最终的系统可以被设计得尽可能简

单或复杂。

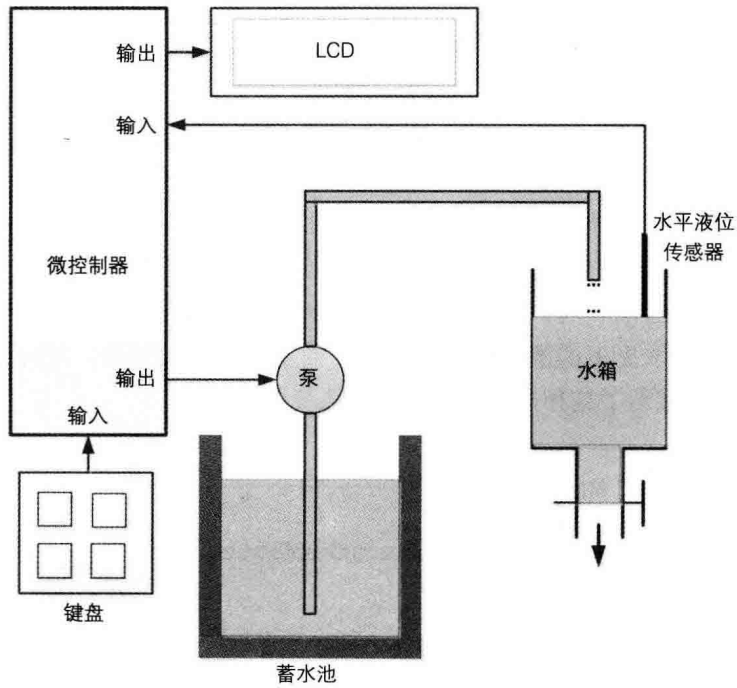


图 1.2 配有键盘和 LCD 的液位控制系统

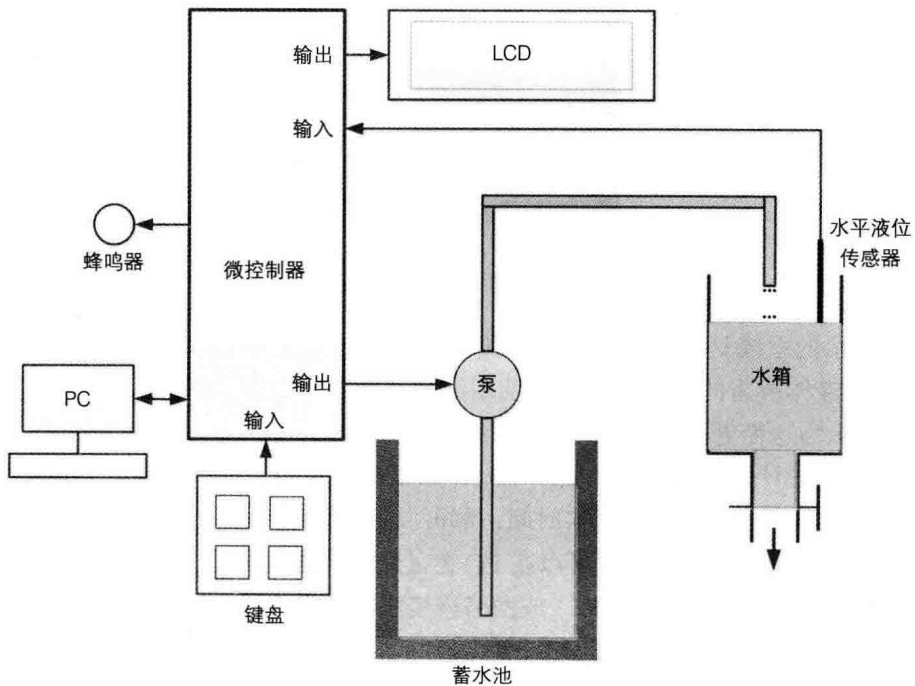


图 1.3 更复杂的液位控制器

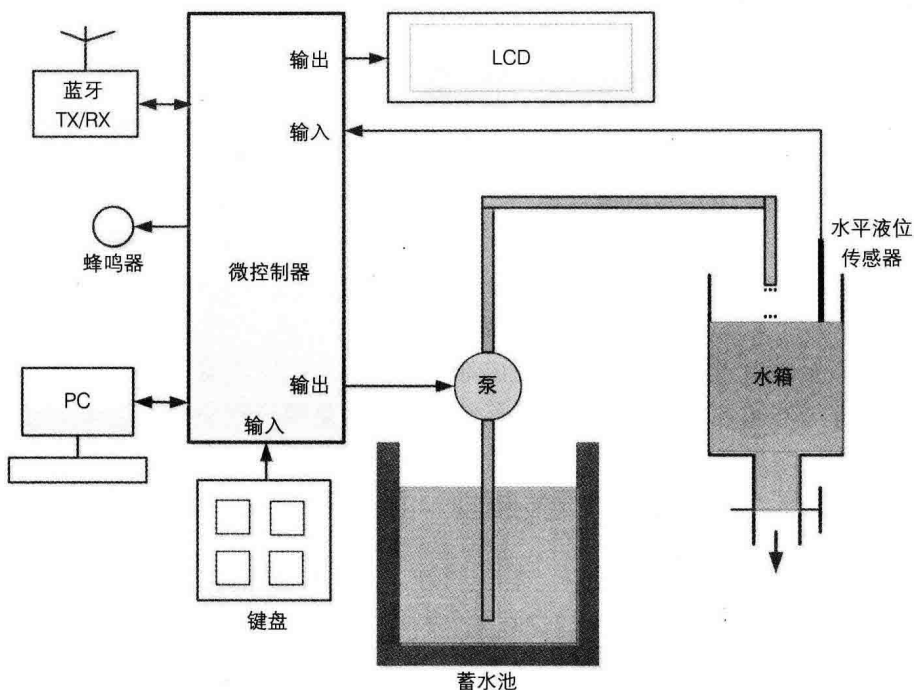


图 1.4 使用蓝牙进行远程监控和控制

基于微控制器系统的另一个例子是直流（DC）电动机的速度控制。图 1.5 显示了一个这种系统的框图。此处，速度传感器装置读取电机的当前速度，这个速度与期望速度（假定其为模拟量）进行比较。期望速度和实际速度之间的误差信号被转换成数字信号，送给微控制器。在微控制器上运行的控制算法生成控制信号，并转换成模拟形式提供给功率放大器，功率放大器的输出驱动电动机以达到期望的速度。

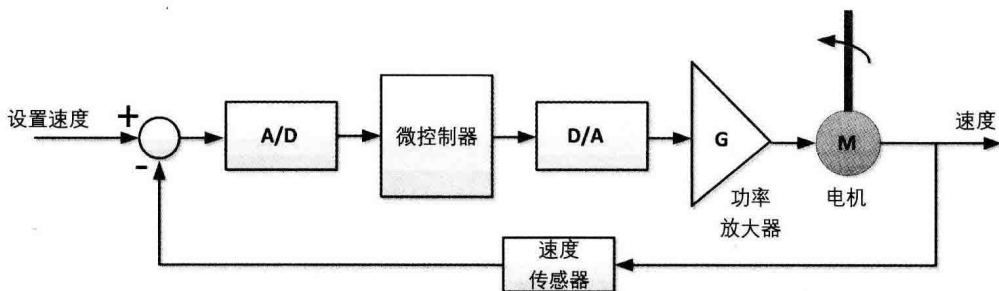


图 1.5 直流电动机的控制系统

根据信号的性质，图 1.5 中给出的框图可以采用不同的形式进行描述。例如，如果速度传感器的输出是数字的（如光学编码器），设定速度也是数字的，那么在微控制器的输入端就没有必要使用 A/D 转换器。此外，如果功率放大器可以通过数字信号来驱动，那么 D/A 转换也可以删掉。

微控制器是一个非常强大的工具，可以让设计人员利用程序控制创建复杂的 I/O 数据

处理。微控制器根据处理的数字位数进行分类。8 位的微控制器是最流行的，目前在大多数低成本低速度的基于微控制器的应用中使用。16 位和 32 位的微控制器功能更强大，但通常比较昂贵，在许多小到中型通用的应用中它们可能会被不合理使用。在本书中，我们将使用 8 位 PIC18F 系列单片机。

最简单的微控制器架构是由微处理器、存储器和 I/O 模块构成的。微处理器包括一个中央处理单元（CPU）和控制单元（CU）。中央处理单元是微处理器的大脑，所有的算术和逻辑运算都在这里执行。控制单元用于指令解码，它控制微控制器的内部操作，并发出控制信号给微控制器的其他部分，以执行所需的操作。

存储器是微控制器系统的一个重要组成部分。根据它们的用途，我们一般将存储器分为两类：程序存储器和数据存储器。程序存储器存储的是用户程序，该存储器通常是非易失性的，即数据是永久保存的，切断电源后也不会丢失。另一方面，数据存储器存储着程序中使用的临时数据，该存储器通常是易失性的，即在切断电源后数据会丢失。

1.3 总结

本章主要介绍了微处理器和微控制器系统。简要描述了微控制器的基本构建块，并对微处理器和微控制器之间的差异给出了解释。

本章同时给出了基于微控制器的液位控制系统和直流电动机控制系统的框图。

1.4 练习

1. 什么是微控制器？什么是微处理器？解释微处理器和微控制器之间的主要差异。
2. 说出一些你周围应用微控制器的例子。
3. 你会在哪里使用 EPROM 存储器？
4. 你会在哪里使用 RAM 存储器？
5. 解释通常在微控制器中使用什么类型的存储器。
6. 什么是 I/O 端口？
7. 什么是模拟 - 数字转换器？举出一个使用该转换器的例子。
8. 解释一下为什么看门狗定时器在实时系统中很有用。
9. 为什么拉电流 / 灌电流在输出端口引脚的规范中很重要？
10. 使用微控制器的烤箱需要控制温度。假设我们有可用的模拟温度传感器、模拟加热器和风扇，绘制一个框图，以显示如何配置该系统。
11. 假定温度传感器是数字输出的，重做练习 10。
12. 假定加热器是使用数字控制的，重做练习 10。
13. 若需要远程监控烤箱的温度，并在 PC 屏幕上显示温度值。假设我们有一个可用的数字温度传感器和一个蓝牙发射 - 接收器模块，绘制一个框图，以显示如何配置该系统。