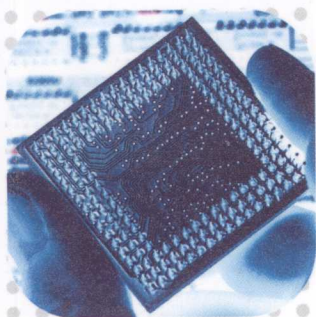


● 精·益·工·程·视·频·讲·堂 ●

电子设计
自动化系列

PIC单片机原理 及程序设计



● 谢锋然 谢龙汉 编著



- “精益生产”精神，造就了丰田汽车王国，振兴了日本整个工业产业，精益开发乃精益生产之重要组成部分。本书将精益生产的理念融入到电子自动化设计过程中。
- 精选、精简、精细、高效——功能简洁必要、组织紧凑合理、学习高效方便。
- 视频教学。



清华大学出版社

013056316

TP368.1
777

精益工程视频讲堂

PIC 单片机原理及程序设计

谢锋然 谢龙汉 编著



清华大学出版社



北航

C1663746

TP368.1

P 777

013028316

内 容 简 介

本书基于 PIC16F877A 编写而成, 共 13 讲和 2 个附录, 依次介绍了单片机基础知识、PIC 单片机的结构、PIC 单片机的开发流程及工具、PIC 单片机的指令系统、汇编语言程序设计、PIC 单片机的 C 语言程序设计、通用 I/O 口、中断系统、定时器/计数器、CCP 模块、A/D 转换器、串行通信和综合实例等。书中各讲以“实例·模仿→内容讲解→实例·操作→实例·练习”为表述方式, 通过适量的典型实例操作和重点知识相结合的方法, 对 PIC 单片机的使用进行讲解。在讲解中力求操作紧凑、语言简洁, 避免冗长的解释说明, 使读者能够快速了解 PIC 单片机的原理和应用。在实例的介绍过程中, 本书采用汇编语言和 C 语言相结合的方式, 读者在学习过程中可以对两者进行对比, 理解两种编程语言各自的特点, 力求让读者在充分了解 PIC 单片机结构原理的基础上使用 C 语言, 减少项目开发的复杂程度, 缩短开发周期。

本书语言简练, 内容全面且层层深入, 同时配有全程操作视频, 包括相关寄存器的使用及程序的编写, 读者可以通过观看多媒体视频来学习。

本书可作为 PIC 单片机初学者入门和提高的学习用书, 也可作为各大中专院校和教育、培训机构的专业教材, 还可作为单片机开发领域专业人员的实用参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。
版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目 (CIP) 数据

PIC 单片机原理及程序设计/谢锋然, 谢龙汉编著. —北京: 清华大学出版社, 2013
(精益工程视频讲堂)

ISBN 978-7-302-32810-0

I. ①P… II. ①谢… ②谢… III. ①单片微型计算机-基础理论 ②单片微型计算机-程序设计
IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 136248 号

责任编辑: 钟志芳

封面设计: 刘 超

版式设计: 文森时代

责任校对: 张兴旺

责任印制: 李红英

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 19.25 字 数: 445 千字

(附 DVD 光盘 1 张)

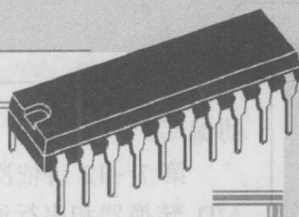
版 次: 2013 年 7 月第 1 版

印 次: 2013 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000

定 价: 45.00 元

产品编号: 051133-01



前言

随着计算机科学技术的发展，单片机的使用深入到各个领域，无论是智能仪器、工业控制、消费电子、还是网络和通信，随处可见单片机的身影。目前市场上的单片机有 8 位、16 位、32 位等，其中 8 位单片机凭借着价格低、使用方便、设计灵活等特点，成为单片机消费市场的主流。Microchip 公司生产的 PIC 单片机，具有哈佛总线结构、完全单字节指令、驱动能力强、精简指令集等特点，在现代电子自动化领域被广泛使用，是工程技术人员进行设备研发较好的选择。PIC16F877A 是一款中档的 8 位单片机，内部配备有 Flash 程序存储器，支持在线串行编程，是一款较为典型的 PIC 单片机。本书以 PIC16F877A 为模板，并以丰富的实例、全视频讲解等方式对 PIC 单片机进行全方位教学。

本书特色

本书遵循“实例·模仿→功能讲解→实例·操作→实例·练习”的讲解方式，通过适量的典型实例操作和重点知识相结合的方法，对 PIC 单片机的使用进行讲解。在讲解中力求操作紧凑、语言简洁，避免冗长的解释说明，使读者能够快速了解 PIC 单片机的原理和应用。

在实例的介绍过程中，本书采用汇编语言和 C 语言相结合的方式，力求让读者在充分了解 PIC 单片机结构原理的基础上使用 C 语言，减少项目开发的复杂程度，缩短开发周期，读者在学习过程中可以把两者进行对比，理解两种编程语言各自的特点。

本书提供了全部实例的多媒体视频，读者可以按照书中列出的视频路径，从光盘中打开相应的视频直接观看学习，这样学习起来更轻松。视频包含语音讲解，可以用 Windows Media Player 等常用播放器观看。如果无法播放，可安装光盘中的 tscc.exe 插件。

本书内容

本书共 13 讲，后附有 2 个附录。讲解中有大量原理图和表格，形象直观，便于读者理解和学习。另附有光盘，包含本书的教学视频及实例讲解的汇编语言和 C 语言工程项目文件，方便读者自学。

第 1 讲为单片机基础知识。通过对本讲的学习，读者可以了解目前市场上应用较多的单片机的特点及数制与编码的基础知识。

第 2 讲为 PIC 单片机的结构。主要讲解 PIC 单片机的总体架构、存储器结构及最小系统。通过本讲，读者可对 PIC 单片机的内部结构有大致地了解。

第 3 讲为 PIC 单片机的开发流程及工具。通过本讲，读者可以理解和使用 PIC 单片机的集成开发环境——MPLAB IDE 的相关功能。

第 4~6 讲为 PIC 单片机的编程语言，包括 PIC 单片机的指令系统、汇编语言程序设计和 PIC 单片机的 C 语言程序设计。通过这几讲的学习，读者可以初步对 PIC 单片机进行程序

的编写。

第 7~12 讲依次讲解了 PIC 单片机的通用 I/O 口、中断系统、定时器/计数器、CCP 模块、A/D 转换器和串行通信。通过这几讲的学习,读者将会对 PIC 单片机的主要功能模块有较好的理解,掌握 PIC 单片机的常用功能。

第 13 讲为综合实例,主要讲解了步进电机的使用方法和 LCD1602 型液晶屏的显示,以及如何使用 PIC 单片机对这两个模块进行控制。

本书有 2 个附录,其内容为 PIC 指令表汇总及课后习题答案,供有需要的读者参考。

本书读者对象

本书具有操作性强、指导性强、语言简练等特点,可作为 PIC 单片机初学者入门和提高的学习用书,也可作为各大中专院校和教育、培训机构的专业教材,还可作为单片机开发领域专业人员的实用参考书。

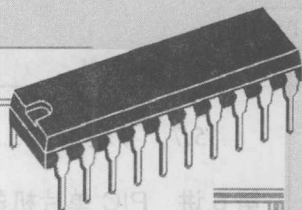
学习建议

建议读者按照图书编排的先后次序学习 PIC 单片机。从第 2 讲开始,读者可以首先浏览“实例·模仿”,然后打开光盘中该实例的视频仔细观看,再根据实例的操作步骤在 MPLAB IDE 中一步步进行操作。如果遇到操作困难的地方,可以再次观看视频的功能讲解部分,也可以阅读书中的相关内容,然后再动手进行操作。对于“实例·操作”部分,建议读者首先根据书中的程序及注释直接进行相关操作,完成后再看看视频以加深印象,并解决自己动手操作中遇到的问题。对于“实例·练习”部分,建议读者根据实例的要求自行练习,遇到不懂的地方再查看书中的程序或观看操作视频。

本书由谢锋然、谢龙汉编著,同时腾龙工作室的王欣飞、杨依领、吴琼伟、娄军强、王益、王亚飞等人也参与了部分内容的编写。感谢您选用本书进行学习,恳请您将对本书的意见和建议告诉我们,电子邮箱为 xielonghan@yahoo.com.cn。

祝您学习愉快!

编者

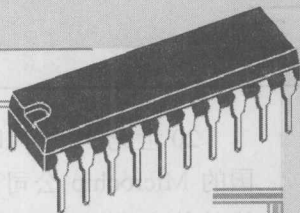


目 录

第 1 讲 单片机基础知识..... 1	仿真..... 42
1.1 单片机的历史..... 1	3.7 习题..... 44
1.2 几款单片机的特点..... 2	第 4 讲 PIC 单片机的指令系统..... 45
1.2.1 PIC 单片机的特点..... 2	4.1 实例·模仿——立即数的相加..... 45
1.2.2 其他类型单片机的特点..... 4	4.2 数据传送类指令..... 47
1.3 数制与编码..... 4	4.3 逻辑运算类指令..... 48
1.3.1 数制..... 4	4.4 控制转移类指令..... 52
1.3.2 数制的转换..... 5	4.5 算术运算类指令..... 55
1.3.3 编码..... 7	4.6 寄存器的寻址方式..... 57
1.3.4 二进制的逻辑运算..... 7	4.7 程序的跳转..... 59
1.4 习题..... 8	4.8 实例·操作——寄存器操作及运算..... 63
第 2 讲 PIC 单片机的结构..... 10	4.9 实例·练习——寄存器连续操作及除法运算..... 64
2.1 PIC 单片机总体架构..... 10	4.10 习题..... 66
2.1.1 PIC 单片机内部结构框架..... 10	第 5 讲 汇编语言程序设计..... 67
2.1.2 PIC 单片机引脚及功能..... 13	5.1 实例·模仿——寄存器数据的交换..... 67
2.2 PIC 单片机的存储器..... 16	5.2 汇编语言指令格式..... 68
2.2.1 程序存储器..... 16	5.3 常用伪指令..... 69
2.2.2 数据存储器..... 18	5.4 汇编程序的结构及常用子程序设计..... 73
2.2.3 E ² PROM 数据存储器..... 22	5.4.1 顺序结构..... 73
2.3 PIC16F877A 的最小系统..... 23	5.4.2 选择结构..... 74
2.4 习题..... 25	5.4.3 循环结构..... 75
第 3 讲 PIC 单片机的开发流程及工具..... 26	5.4.4 子程序结构..... 77
3.1 实例·模仿——点亮 LED..... 26	5.4.5 查表程序..... 78
3.2 单片机的开发流程..... 31	5.4.6 延时程序..... 79
3.3 MPLAB IDE 软件介绍..... 32	5.5 实例·操作——数据排列及计数..... 80
3.3.1 MPLAB IDE 的安装..... 32	5.6 实例·练习——乘法运算..... 83
3.3.2 MPLAB IDE 功能介绍..... 34	
3.4 程序的运行及调试..... 38	
3.5 实例·操作——PICKit 2 在线仿真..... 39	
3.6 实例·练习——MPLAB IDE	

5.7 习题	85	第 8 讲 中断系统	145
第 6 讲 PIC 单片机的 C 语言程序设计	86	8.1 实例·模仿——按键控制 LED 程序	145
6.1 实例·模仿——数值的循环 累加	86	8.2 中断的概念及中断源	148
6.2 在 MPLAB 中使用 PICC 编译器	88	8.3 中断系统结构及控制	148
6.3 PICC 基本语法	94	8.4 相关寄存器及操作	150
6.3.1 基本数据类型	94	8.5 中断的响应过程	154
6.3.2 常量与变量	95	8.6 实例·操作——外部触发中断	155
6.3.3 表达式	97	8.7 实例·练习——LED 的循环 控制	157
6.4 指针和数组	99	8.8 习题	162
6.4.1 指针	99	第 9 讲 定时器/计数器	165
6.4.2 数组	100	9.1 实例·模仿——LED 的闪烁 控制	165
6.5 PICC 常用编程控制语句	102	9.2 定时器与计数器	168
6.5.1 选择控制语句	102	9.3 定时器/计数器 TMR0	168
6.5.2 循环控制语句	106	9.3.1 工作原理	168
6.6 函数	108	9.3.2 相关寄存器及操作	170
6.7 实例·操作——多种结构类型 程序设计	110	9.4 定时器/计数器 TMR1	172
6.8 实例·练习——数值判断及数学 运算	114	9.4.1 工作原理	172
6.9 习题	116	9.4.2 相关寄存器及操作	174
第 7 讲 通用 I/O 口	118	9.5 定时器/计数器 TMR2	176
7.1 实例·模仿——点亮一个 LED 灯	118	9.5.1 工作原理	176
7.2 通用 I/O 口的基本结构及工作 原理	124	9.5.2 相关寄存器及操作	177
7.3 相关寄存器及操作	125	9.6 实例·操作——端口计数及 LED 控制	179
7.4 实例·操作——跑马灯及 LED 设计	128	9.7 实例·练习——输出频率可变的 方波	184
7.4.1 跑马灯程序设计	128	9.8 习题	189
7.4.2 按键控制 LED 灯程序设计	131	第 10 讲 CCP 模块	190
7.5 实例·练习——数码管显示及 键盘输入	134	10.1 实例·模仿——输出调制 信号	190
7.5.1 多位共阳数码管显示的程序 设计	134	10.2 输入捕捉工作模式	192
7.5.2 3×3 矩阵键盘输入的程序设计	138	10.2.1 输入捕捉的工作原理	193
7.6 习题	144	10.2.2 输入捕捉相关的寄存器	193
		10.3 输出比较工作模式	195
		10.3.1 工作原理	195

10.3.2 输出比较相关的寄存器	196	12.3.1 通用同步/异步串行通信接口 USART 简介	238
10.4 脉宽调制 PWM 工作模式	198	12.3.2 相关寄存器及操作	241
10.4.1 PWM 的工作原理	198	12.4 同步串行接口 SPI	243
10.4.2 脉宽调制相关的寄存器	199	12.4.1 同步串行接口 SPI 介绍	243
10.5 实例·操作——CCP 模块的多种 应用	200	12.4.2 相关寄存器及操作	246
10.6 实例·练习——以按键调节输出 信号	208	12.5 同步串行接口 I ² C	249
10.7 习题	212	12.5.1 同步串行接口 I ² C 简介	249
第 11 讲 A/D 转换器	214	12.5.2 相关寄存器及操作	252
11.1 实例·模仿——采集直流电压 信号	214	12.6 实例·操作——与计算机 PC 建立实时通信	256
11.2 A/D 转换器的基本结构及工作 原理	217	12.7 实例·练习——通信功能的 进一步应用	258
11.2.1 工作原理	217	12.8 习题	269
11.2.2 技术指标	218	第 13 讲 综合实例	270
11.3 相关寄存器及控制方法	219	13.1 综合实例 1: 步进电机控制	270
11.4 实例·操作——直流信号的测量 及输出	222	13.1.1 步进电机的工作原理	270
11.5 实例·练习——直流信号的测量 及显示	224	13.1.2 利用 PIC16F877A 控制步进 电机	271
11.6 习题	231	13.2 综合实例 2: LCD1602 液晶屏 的应用	278
第 12 讲 串行通信	232	13.2.1 LCD1602 液晶屏简介	279
12.1 实例·模仿——单片机向计算机 端发送数据	232	13.2.2 LCD1602 液晶屏的使用	282
12.2 基本概念	236	13.3 习题	291
12.3 通用同步/异步串行接口 USART	238	附录 A PIC 汇编语言指令表	292
		附录 B 习题答案	294



第 1 讲 单片机基础知识

自 20 世纪 70 年代问世以来,单片机凭借其功耗低、体积小、实时性强、控制性能好等特点,在各个行业得到了广泛的应用。其应用范围几乎涵盖了我们身边所有的领域,如仪器仪表、消费电子、家用电器、工业控制等。目前,8 位单片机是市场上的主流,能满足大部分应用的需求。美国 Microchip 公司生产的 PIC 单片机,更是势不可挡地在单片机市场中崛起。PIC 单片机除了拥有一般单片机的通用功能之外,本身还具有鲜明的特点,如精简指令集、哈佛总线结构、驱动能力强等。本讲主要介绍单片机的历史和发展概况、目前市场上主流单片机的特点,以及数制和编码的相关知识,为之后的学习做好准备。



本讲内容

- 单片机的历史
- 几款单片机的特点
- 数制与编码

1.1 单片机的历史

单片机就是利用现代的大规模集成电路技术,把中央处理器、存储器、输入/输出接口、定时/计数器等电路元件集成在一块芯片上,具有完善计算机功能的硬件系统。单片机具有体积小、功能强大、价格低、控制实时性强等特点,被广泛应用于现代生活的各个方面,如数码电子、工业控制、医疗仪器、家用电器等领域。

20 世纪 70 年代,单片机处于发展的初期,以 Fairchild 公司生产的 F8 单片机为代表。由于受当时技术水平的限制,该款单片机只包含一个中央处理器、一个数据存储器 and 两个并行口,工作时还必须外部接入程序存储器。

1976 年,Intel 公司推出了 MCS-48 系列单片机,该款单片机具有体积小、价格低、功能全等特点,备受消费者青睐,得到迅速的推广。该款单片机是真正意义上的 8 位单片机,在单片机发展史上具有里程碑式的意义。

伴随着 MCS-48 单片机的成功推出,世界各大半导体公司相继参与到单片机的开发中。20 世纪 80 年代,单片机技术进入高速发展阶段。单片机性能不断提升,功能不断增强。这个阶段涌现的单片机有 Intel 公司的 MCS-51, Motorola 公司的 MC6801, Zilog 公司的 Z8 等几十个系列。

20 世纪 90 年代以后, 各大半导体公司纷纷, 投入大量的资源到单片机的开发中。特别是美国的 Microchip 公司开发的 PIC 单片机, 完全不兼容 MCS-51, 具有 33 条精简指令集、哈佛总线结构和驱动能力强等特点, 吸引了不少消费者的目光, 在竞争激烈的单片机市场中迅速崛起。

随着各使用领域对单片机性能要求的不断提升, 各种 16 位、32 位单片机纷纷问世, 如 Microchip 公司的 PIC32 系列和意法半导体公司基于 Cortex-M3 内核的 STM32 系列等, 为单片机世界添加了更加丰富的内容。但是, 8 位单片机价格低廉、功能齐全、技术成熟, 能满足大部分技术人员的要求。所以, 目前的市场还是 8 位单片机的天下。

1.2 几款单片机的特点

1.2.1 PIC 单片机的特点

Microchip 公司生产的 PIC 单片机, 具有指令少、运行速度快、功耗低、价格低等特点。该单片机集成了运算器、通用数字 I/O 模块、数据存储器、程序存储器、定时/计数器、中断模块、PWM 模块和通信模块等, 只需要加上简单的外设便可投入使用, 减少了电路的复杂性, 大大缩短了开发周期。目前, 8 位 PIC 单片机拥有 4 个系列架构的产品, 分别是 PIC10、PIC12 和 PIC16 的基础系列架构单片机, PIC12 和 PIC16 的中档系列架构单片机, PIC12FXXX 和 PIC16F1XX 的增强型中档系列架构单片机, PIC18 系列架构单片机。Microchip 的 8 位的微控制器出货量位居全球之首, 其使用范围覆盖了工业控制、通信、汽车电子、玩具等领域。PIC16F877A 单片机属于中档的 PIC 单片机系列, 具有 14K 字节的 FLASH、368 字节的 RAM、256 字节的 E²PROM 数据存储器、3 个定时/计数器、8 通道模数转换器和 2 个捕捉比较器等外设, 是 PIC 单片机较典型的一款。所以, 本书以 PIC16F877A 单片机为蓝本, 介绍 PIC 单片机的相关知识。

PIC 单片机具有以下几个较为鲜明的特点:

(1) 哈佛总线结构。所谓的哈佛总线结构, 就是程序存储器和数据存储器在物理上是分开的, 单片机拥有独立的程序存储器和数据存储器, 这两个存储器通过各自的总线挂在 CPU 上。在该体系结构中, 除了第一个指令周期外, 取指令和执行指令是同时进行的, 这样, 大大提高了运行速度。对于 PIC16F877A 单片机, 4 个时钟周期构成 1 个机器周期, 如采用 20 兆的晶振, 那么 1 个时钟周期的时间为 0.05 微秒, 1 个机器周期的时间为 0.2 微秒。从宏观上看, 除了个别的跳转指令, 如 GOTO、CALL 为双机器周期外, 大部分的 PIC 单片机指令周期为 1 个机器周期, 也就是为 0.2 微秒。但是, 从微观上看, 单条指令还是分为取指令和执行指令两个阶段, 这两个阶段的执行时间各占用 1 个机器周期, 所以单条指令的运行实际还是需要占用 2 个机器周期。如图 1-1 所示, 单片机共运行了 11 个机器周期, 执行了 10 条指令, 所以从宏观上讲, 每条指令的运行时间为 11 除以 10, 约为 1 个机器周期。从微观上看, 每条指令取指令和执行指令各占 1 个机器周期。

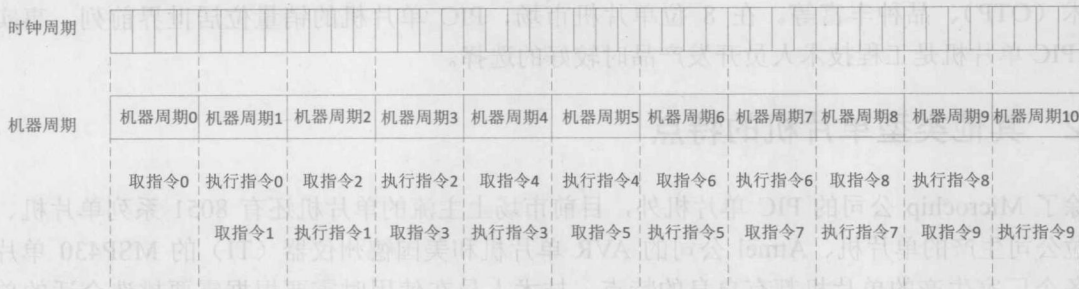


图 1-1 PIC 单片机运行时序示意图

提示：除了哈佛总线结构外，常用的单片机体系结构还有冯·诺依曼体系结构。冯·诺依曼体系结构又称普灵斯顿体系结构，该体系机构主要有两个特点：第一，程序存储器和数据存储器在物理上是不区分的，数据和指令都以二进制形式存储在存储器中；第二，CPU 使用统一的总线来访问指令和数据。

为了便于理解时钟周期、机器周期、指令周期，这里拿人的跳绳和单片机的运行相比。时钟周期就是晶振的倒数，是单片机的“脉搏”，相当于人心脏的跳动周期；一条指令的运行分为若干阶段，比如取指令和执行指令，每个阶段的运行时间就是一个机器周期，这里相当于跳绳的起跳和下降两个阶段，每个阶段的时间就是一个机器周期；指令周期为执行一条指令所需要的时间，相当于跳绳的起跳和下降两个阶段共需要多长的时间。

(2) 单字节指令。由于 PIC 单片机为哈佛体系结构，数据存储器 and 程序存储器在物理层上是分开的，使用不同的总线，这为实现指令的单字节打下了基础。对于冯·诺依曼体系，8 位的单片机数据存储器 and 程序存储器共用 8 位的数据总线。但是对于 8 位的 PIC 单片机，数据总线为 8 位，指令总线对于不同型号的单片机是不同的，如基础系列架构的 PIC10 和 PIC12 为 12 位指令宽度，中档系列架构的 PIC12 和 PIC16 为 14 位指令宽度，PIC18 系列架构的为 16 位指令宽度。由此带来两个好处：寻址方式简单；提高了代码压缩率，节省了存储空间。

提示：PIC16F877A 的寻址方式有 4 种：直接寻址、寄存器间接寻址、立即数寻址和位寻址。

(3) 驱动能力强。PIC16F877A 单片机的 I/O 口采用 CMOS 互补推挽电路，拥有这种输出电路的单片机的特点是驱动能力强。一般来说，PIC16F877A 的 I/O 允许的拉电流为 20 毫安，灌电流为 25 毫安。所以，该款单片机可以直接驱动 LED 和小型继电器等设备。

(4) 精简指令集。PIC 单片机采用的是精简指令集，简称 RISC。与传统的复杂指令集 (CISC) 不同，PIC 单片机只挑选使用频率最多的指令，摒弃了复杂的不常用的指令，这样大大减少了指令的条数。对于 8 位的 PIC 单片机，基础系列架构的 PIC10 和 PIC12 有 33 条指令，中档系列架构的 PIC12 和 PIC16 有 35 条，PIC18 系列架构有 83 条。采用精简指令集技术，一方面可以方便开发者记忆和使用，另一方面可以提高代码利用率和运行速度。

除此之外，PIC 单片机还有其他优异的特性，如功耗低、价格便宜、外设丰富、一次性可编

程技术 (OTP)、品种丰富等。在 8 位单片机市场, PIC 单片机的销量位居世界前列, 事实证明, PIC 单片机是工程技术人员开发产品时较好的选择。

1.2.2 其他类型单片机的特点

除了 Microchip 公司的 PIC 单片机外, 目前市场上主流的单片机还有 8051 系列单片机、摩托罗拉公司生产的单片机、Atmel 公司的 AVR 单片机和美国德州仪器 (TI) 的 MSP430 单片机等。各个厂家生产的单片机都有自身的特点, 技术人员在使用时需要根据需要挑选合适的单片机类型。

自从 Intel 公司推出 MCS-51 类型单片机以来, 51 类型单片机一直是市场上销量最多的单片机之一。随着 Intel 公司把该内核的使用权出让后, 其他半导体公司, 如 Atmel、NEC、意法半导体、西门子都纷纷生产自己的单片机。这些单片机在使用 51 内核的同时, 都加入了其他的外设, 形成自己鲜明的特点。51 类型单片机具有优异的性价比, 控制作用强、拓展性能好等, 总线类型为冯·诺依曼型。其使用的指令系统为复杂指令集, 简称为 CISC, 一共有 111 条指令。

摩托罗拉是世界上最大的单片机生产商, 其生产的单片机类型繁多, 品种丰富。8 位单片机有 68HC05、68HC08 和增强型的 68HC11 等。该公司生产的单片机特点是高频噪声低、抗干扰性能强, 特别适合于对稳定性要求较高的场合, 如车载电子、工业控制等。缺点是价格相比其他类型单片机略高。

AVR 单片机是 Atmel 公司研发的具有增强型内置 FLASH 的精简指令集高速单片机, 其类型齐全, 有低档的 Tiny 系列, 中档的 AT90S 系列和高档的 ATmega 系列。AVR 单片机为哈佛总线结构, 具有预取址功能, 运行速度快。大部分 AVR 单片机支持系统内重新编程 (ISP, In-System Programming), 方便新产品的开发和老产品的升级和维护。此外, 其价格低廉, 接口丰富, 现在已广泛应用于各种控制板、医疗设备和 GPS 等领域。

MSP430 类型单片机是由美国 TI 公司生产的, 它使用精简指令系统, 只有 27 条指令。其特点是具有超低功耗, 特别适合对功率要求低的场合, 如仪器仪表、医疗设备和保安系统等方面。其工作模式包含 1 种活动方式和 5 种低功耗工作方式, 由此可见其超低功耗的特点。

1.3 数制与编码

在存储介质中, 数据和程序都是以二进制的形式存储的, 可以这么说, 二进制是计算机硬件能够识别并执行的唯一形式。为了使用方便, 现实中往往又使用十进制或十六进制表示特定的数值。本节将讲解常用的数制及其转换、数值的编码和二进制的逻辑运算。

1.3.1 数制

数制, 即计数规则, 是人们利用符号来计数的科学方法。现在使用较多的数制有十进制、二进制和十六进制。

十进制是日常生活中使用最多的数制, 包含的数字符号有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。

二进制是计算机内部使用的数制，包含的数字符号有0和1。

十六进制是人们记录和使用计算机二进制数据比较方便的一种工具。由于十六进制和二进制数据的转换比较方便，实际应用中经常使用简短的十六进制数表示较长的二进制数。十六进制包含的数字符号有0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。

在应用中，为了区别不同的数制，一般可以给相应的数值加前缀或者后缀：

- ◆ 十进制使用前缀D，如D'100'；
- ◆ 二进制使用前缀B，如B'01100100'；
- ◆ 十六进制有两种表示方法：使用后缀H，如6AH；使用前缀0x，如0x6A（数字0和字母x）。

1.3.2 数制的转换

在使用过程中，经常需要对某一特定的数值进行不同数制之间的转换，如图1-2所示。

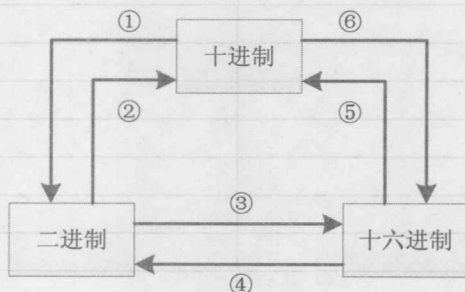


图 1-2 不同数制之间的转换

① 十进制转二进制

十进制转二进制一般采用“除2取余法”。该方法示例如下。

例 1-1：把十进制数D'100'转换成二进制数。

解：

2	100	余数	低位
2	50	0	
2	25	0	
2	12	1	
2	6	0	
2	3	0	
2	1	1	
	0	1	高位

所以，十进制数D'100'的二进制表示形式为B'01100100'。

② 二进制转十进制

可按权值展开将二进制数转换为对应的十进制数。

例 1-2：将二进制数B'01100100'转换为十进制。

解: $B'01100100' = 0 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = D'100'$

③ 二进制转十六进制

每 4 位二进制的数值可以表示为 1 位十六进制的数值, 转换时可以从低位到高位, 每位分为一组, 最后一组不足 4 位时在高位用 0 补齐, 然后根据表 1-1, 查出每组相应的十六进制数, 由低位到高位组合起来即可。例如 $B'01101111'$ 可分成两组, 1111 对应 F, 0110 对应 6, 所以, $B'01101111' = 6FH$ 。

表 1-1 二进制、十六进制之间的转换

二 进 制	十 六 进 制
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9
1010	A
1011	B
1100	C
1101	D
1110	E
1111	F

④ 十六进制转二进制

可以根据表 1-1, 从低到高依次把每位十六进制转换成对应的 4 位二进制数。例如 6FH, F 对应 1111, 6 对应 0110, 所以 $6FH = B'0110\ 1111'$ 。

⑤ 十六进制转十进制

可按权值展开将十六进制数转换为对应的十进制数。

例 1-3: 将十六进制数 6Fh 转换为十进制。

解: $6FH = 6 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = D'111'$

⑥ 十进制转十六进制

十进制转换为十六进制时, 可以先把十进制数转换成相应的二进制数, 然后再把二进制数转换成十六进制数。

例 1-4: 将十进制数 $D'111'$ 转换成十六进制数。

解: 利用“除 2 取余法”, 把 $D'111'$ 转换成对应的二进制数 $B'01101111'$, 再根据表 1-1, 查得对应的十六进制数为 6FH。

1.3.3 编码

编码,就是预先用规定的方法将数字、字符等对象编成数码。前面已经提过,在计算机存储介质中,数据信息只能以二进制的1或0存在,那么,这些二进制序列到底表示什么含义?是什么样的数据信息对应着这些二进制序列呢?相同的二进制序列在不同的编码方法下是表示不同的数据信息的。

1. 二进制编码

由于自身结构的问题,计算机只能进行加法运算而不能进行减法运算。为了解决这一问题,提出了二进制数的编码。一个数在计算机中的二进制表示形式称为机器数。有符号数的机器数最高位为符号位,“0”表示正数,“1”表示负数,它有3种表示法:原码、反码和补码。

(1) 原码:最高位为符号位,数值部分紧跟其后。例如, $N=95$, $M=-100$,那么 N 、 M 的原码分别为 $[N]_{\text{原}}=B'0101\ 1111'$, $[M]_{\text{原}}=B'1110\ 0100'$ 。

(2) 反码:正数的反码跟其原码相同;负数的反码,符号位保持不变,数值部分按位取反。仍以上面的 N 、 M 为例,其反码为 $[N]_{\text{反}}=B'0101\ 1111'$, $[M]_{\text{反}}=B'1001\ 1011'$ 。

(3) 补码:正数的补码跟其原码相同;负数的补码为其反码加1。以上面的 N 、 M 为例,其补码为 $[N]_{\text{补}}=B'0101\ 1111'$, $[M]_{\text{补}}=B'1001\ 1100'$ 。

需要注意下面几点内容:

(1) 正数的原码、反码、补码是相同的。

(2) 带符号数补码的补码等于其原码。

(3) 带符号数在计算机中都是以补码的形式存储的。

那么,计算机是怎样实现减法运算呢?比如 $95-100$,等价于 $N+M=95+(-100)$ 。因为带符号数在计算机中的存储是以补码的形式,那么 $[N+M]_{\text{补}}=N_{\text{补}}+M_{\text{补}}=B'0101\ 1111'+B'1001\ 1100'=B'1111\ 1011'$,那么 $N+M$ 的原码为 $B'1000\ 0101'$,对应其原始的数值为-5。

2. BCD 码

BCD 码又称二进码十进数或二-十进制代码,是另外一种常用的二进制编码。该种编码使用4位二进制数表示1位十进制数,如用 $B'00011001'$ 表示 $D'19'$,由于十进制的最大数为9,所以在BCD码中,不允许出现大于 $B'1001'$ 的代码。

3. ASCII 码

ASCII 码,全称为美国标准信息交换码(American Standard Code for Information Interchange),是目前世界上应用最广泛的字符及控制符编码,使用 $00H\sim 7FH$,共128个数字表示特定的信息,其中包括33个控制码、1个空格码和94个形象码。如字符0对应于ASCII码 $30H$,字符9对应于ASCII码 $31H$ 等。

1.3.4 二进制的逻辑运算

二进制“0”和“1”在逻辑上可以表示逻辑变量“真”和“假”,逻辑变量之间的运算称为逻辑运算。

常见二进制的逻辑运算一般有 3 种：逻辑乘（“与”运算）、逻辑加（“或”运算）和逻辑否定（“非”运算）。

（1）逻辑乘运算：对于逻辑变量 M 和 N，必须当 M 和 N 都为逻辑“真”时，结果变量 Z 才为“真”，其他情况结果变量 Z 都为逻辑“假”，其真值表如表 1-2 所示。

表 1-2 逻辑乘的真值表

M	N	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

（2）逻辑加运算：对于逻辑变量 M 和 N，只要 M 和 N 当中有一个为逻辑“真”，结果变量 Z 就为“真”，当 M 和 N 都为逻辑“假”时，Z 才为“假”，其真值表如表 1-3 所示。

表 1-3 逻辑加的真值表

M	N	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

（3）逻辑否定运算：对于逻辑变量 M，结果变量 Z 的逻辑值与之相反，其真值表如表 1-4 所示。

表 1-4 逻辑否定的真值表

M	Z
0	1
1	0

1.4 习 题

1. 什么是单片机，单片机由哪几个部分组成？
2. 单片机的发展历程中，哪个公司推出的哪个系列的芯片具有里程碑式的意义？
3. PIC 单片机有哪些鲜明的特点？
4. 哈佛总线结构的特点是什么，有什么优势？
5. 简单说明摩托罗拉单片机、AVR 单片机、MSP430 单片机各有什么特点？
6. 试把十进制数 D'130'转换成十六进制数和二进制数。
7. 试把二进制数 B'11001101'转换成十六进制数和十进制数。

8. 试把十六进制数 FEH 转换成十进制数和二进制数。

9. 常用的编码有哪几种?

10. 请写出符号数+87 的原码、反码、补码。

11. 请写出符号数-87 的原码、反码、补码。

12. 请写出 109 的 BCD 码。

13. 请写出 BCD 码 1001 0011 0001 对应的十进制数。

14. 字符 2 和 A 对应的 ASCII 码值为多少?

15. 二进制的逻辑运算有哪几种, 运算规则分别是什么?

容内指本

- 2.1 PIC 单片机的内部结构框架
- 2.1.1 PIC 单片机的内部结构框架
- 2.1.2 PIC 单片机的内部结构框架
- 2.1.3 PIC 单片机的内部结构框架

2.1 PIC 单片机的内部结构框架

PIC16F877A 属于中档的 PIC 单片机, 共有 40 只引脚。内部集成有数据存储器 EPROM、实时计数器、串行接口、CCP、A/D 转换器等功能。其结构如图 2-1 所示。本书将介绍其内部结构及其各个引脚的功能。

2.1.1 PIC 单片机的内部结构框架

PIC16F877A 内部结构框架如图 2-1 所示。

1. FLASH 程序存储器

PIC16F877A 的程序存储器为 8K 字节, 每个单元宽 14 位, 地址范围为 0000H~1FFFH。由程序计数器 PC 的 13 条地址线进行选择。由于受指令字长度的影响, 程序存储器分为 4 页, 每页大小为 2K 字节, 页 0 的地址为 0000H~07FFH, 页 1 的地址为 0800H~0FFFH, 页 2 的地址为 1000H~17FFH, 页 3 的地址为 1800H~1FFFH。其中, 只有页 0 的 0000H 和 0004H 两个单元为程序计数器 PC 的入口地址, 0000H 为复位地址, 0004H 为中断地址。由 14 条地址线输出到指令寄存器的入口地址, 称为中断向量。指令由 14 条地址线输出到指令寄存器的入口地址。