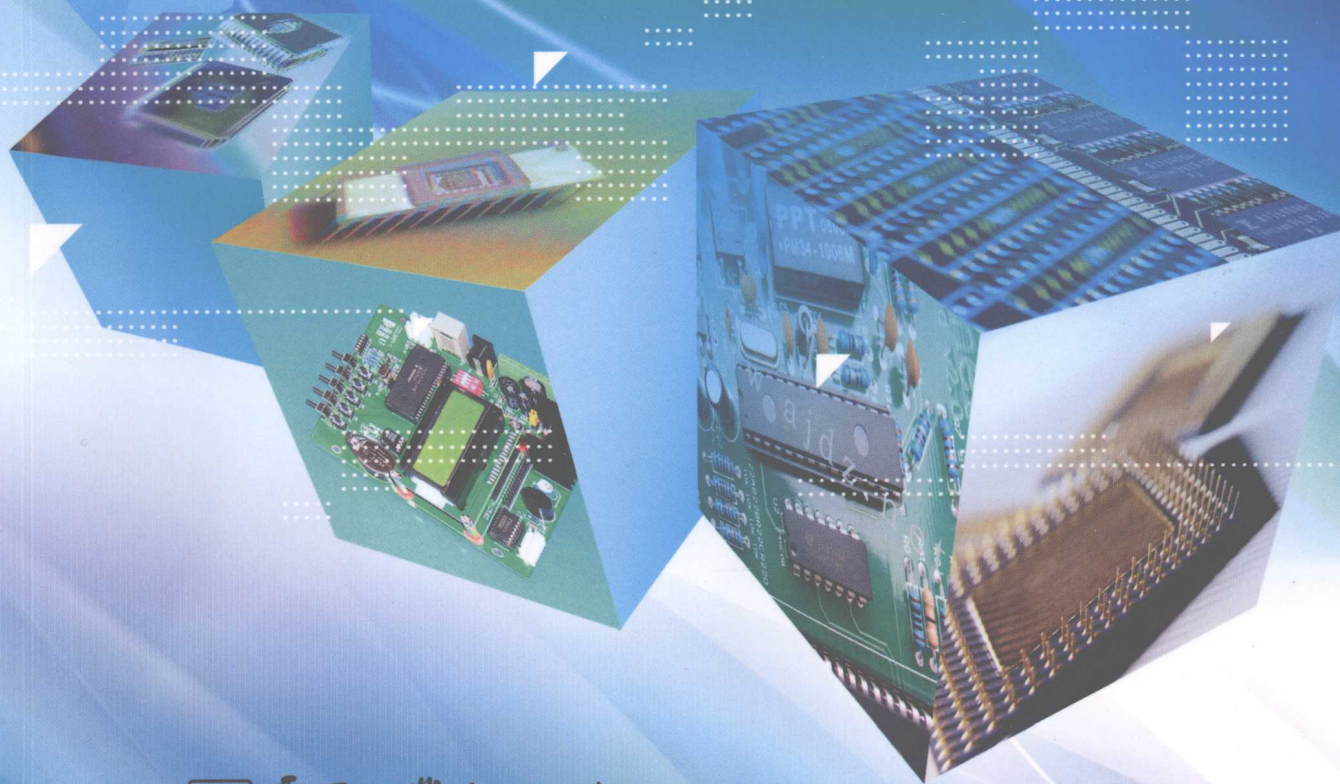


PIC系列单片机 C语言编程与 应用实例

◎ 张皆喜 主编 ◎ 王茂凌 张 瑜 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

PIC 系列单片机 C 语言编程与应用实例

张皆喜 主编
王茂凌 张 瑜 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书共 9 章, 前 3 章介绍了 PIC 单片机的发展概述、PIC16F87X 系列单片机的开发环境和 C 语言开发工具的使用; 第 4 章至第 8 章具体讲述了 PIC16F87X 系列单片机的模数转换器、捕获/比较/PWM 模块 (CCP)、支持 RS-485 和 RS-232 的可寻址 USART 模块、支持 SPI 和 I²C 的同步串行端口 (SSP) 模块等模块的设计使用方法; 第 9 章介绍了 FLASH 在线编程技术和综合应用各个模块的无线遥控玩具坦克和多路模拟量采集的应用实例。

本书可以作为 PIC 单片机开发和学习 PICC 语言编程技术的参考书, 适用于大中专院校师生和 PIC 单片机开发人员使用。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

PIC 系列单片机 C 语言编程与应用实例 / 张皆喜主编. —北京: 电子工业出版社, 2008.6
ISBN 978-7-121-05666-6

I. P… II. 张… III. 单片微型计算机—C 语言—程序设计 IV. TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 196809 号

责任编辑: 田领红 特约编辑: 孙志明

印 刷: 北京民族印刷厂

装 订: 北京鼎盛东极装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 18.5 字数: 472 千字

印 次: 2008 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

PIC16F87X 系列单片机是美国微芯公司（Microchip）推出的单片机系列，采用精简指令集结构（RISC）的高性价比嵌入式控制器，其总线结构采取数据总线和指令线分离独立的哈佛（Harvard）结构，具有很高的流水处理速度。其高速度、低电压工作，低功耗，强大驱动能力，低价 OTP 技术，体积小巧等都体现了单片机工业的新趋势；其 FLASH 在线编程功能可以极大地满足市场的需要，同时第三方开发的 C 语言开发工具，更使得研发工程师能够快速开发升级产品，满足市场不断变化的需求；其节约成本的最优化设计，适于用量大、档次低、价格敏感的产品。基于 PIC16F87X 系列单片机的以上优点，我们将这本书献给广大单片机应用研发工程师；另外，PIC16F87X 系列单片机的 C 语言开发技术极易上手，编出的程序可读性高、便于修改，所以本书也适合大中专院校师生及广大的电子爱好者使用。

本书采用硬件设计和软件开发相结合的方式，系统全面地介绍了模数转换器、捕获/比较/PWM 模块（CCP）、支持 RS-485 和 RS-232 的可寻址 USART 模块、支持 SPI 和 I²C 的同步串行端口（SSP）模块等的设计使用方法及 FLASH 在线编程技术。本书还介绍了无线电技术方面的应用，专门编写了无线遥控玩具坦克和多路模拟量采集的综合应用实例。为了方便读者学习使用，本书遵循由简到繁、由基础理论到实际应用的过程，通过丰富的例程全面地介绍了 PIC16F87X 系列单片机的使用方法。

衷心希望本书的出版能够为广大的单片机开发人员提供参考，能够为广大的电子爱好者学习 PIC 单片机技术提供帮助。

限于编者的水平有限，书中难免会存在错误，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 PIC 单片机概述	1
1.1 PIC 单片机的发展概述	1
1.2 PIC16F87X 系列单片机	4
1.2.1 PIC16F87X 单片机的特性	4
1.2.2 PIC16F87X 单片机的硬件资源	6
第 2 章 MPLAB 集成开发环境软件包	9
2.1 MPLAB 的组成	9
2.2 MPLAB 的安装	10
2.2.1 完整的路径安装	10
2.2.2 定制安装 MPLAB	11
2.2.3 Microchip MPLAB 程序组及其图标	12
2.3 启动 MPLAB	13
2.4 MPLAB 的应用	15
2.4.1 MPLAB 的设置	15
2.4.2 创建简单的项目	15
2.4.3 新建和汇编一个简单的源文件	18
2.4.4 程序调试	21
2.5 MPLAB 开发工具	25
2.5.1 MPLAB-ICE2000 硬件仿真器	25
2.5.2 实时在线仿真器 PICMATE II 主要功能	27
2.5.3 PICSTART-PLUS 编程器	30
2.5.4 PICKIT 烧写器	31
2.6 MPLAB-ICD 实时在线调试	31
2.6.1 实时在线调试开发工具套件	32
2.6.2 MPLAB-ICD 在线调试工具的安装和启用	38
2.7 PIC 开发语言	44
2.7.1 汇编语言编译器	45
2.7.2 MPASM 汇编语言	49
第 3 章 PICC 编译器简介	51
3.1 MPLAB 环境中编译器设置	51
3.2 PICC 编译器特性与运行环境	52
3.2.1 特性	52
3.2.2 C 语言运行时环境	55

3.3 PICC 库函数	60
第 4 章 单片机 I/O 端口的应用	69
4.1 PIC 单片机 I/O 端口	69
4.2 走马灯	71
4.2.1 电路原理	71
4.2.2 编程实例	72
4.3 单片机与计算机通信	73
4.3.1 电路原理	73
4.3.2 编程实例	79
4.4 LED 显示秒表	85
4.4.1 单片机 LED 接口	85
4.4.2 定时器原理	85
4.4.3 编程实例	86
4.5 液晶显示	90
4.5.1 电路原理	90
4.5.2 液晶显示器工作原理	91
4.5.3 编程实例	92
第 5 章 单片机通信	101
5.1 SCI 串行通信	101
5.1.1 串行通信的一般知识	102
5.1.2 PIC16F87X 单片机串行通信方法	105
5.1.3 编程实例	118
5.2 SPI 接口的串行通信	124
5.2.1 SPI 接口信号描述	125
5.2.2 基于 SPI 的系统构成方式	126
5.2.3 PIC16F87X 单片机串行通信方法	127
5.2.4 SPI 结构和工作原理	132
5.2.5 编程实例	133
5.3 CAN 通信	134
5.3.1 CAN 网络基本原理	134
5.3.2 CAN 控制器 MCP2510	142
5.3.3 编程实例	149
5.4 I ² C 通信	156
5.4.1 基本原理	156
5.4.2 编程实例	161
第 6 章 电动机驱动	170
6.1 直流电动机驱动	170
6.1.1 直流电动机驱动原理	170
6.1.2 LM298 介绍	172

6.1.3	电路原理	173
6.2	步进电动机驱动	180
6.2.1	步进电动机	180
6.2.2	L297 步进电动机控制器——驱动器介绍	182
6.2.3	电路原理	187
6.3	步进电动机的单片机控制	190
6.3.1	脉冲分配	191
6.3.2	步进电动机的速度控制	194
6.3.3	步进电动机的位置控制	195
6.3.4	步进电动机的加减速控制	199
6.3.5	编程实例	200
第 7 章	CCP 模块	205
7.1	CCP 模块的工作方式	205
7.2	捕捉功能	206
7.2.1	输入捕捉工作模式相关的寄存器	207
7.2.2	输入捕捉模式的电路结构	207
7.2.3	输入捕捉模式的工作原理	208
7.2.4	编程实例	209
7.3	输出比较功能	210
7.3.1	输出比较模式相关的寄存器	210
7.3.2	输出比较模式相关的电路结构	211
7.3.3	比较模式的工作原理	212
7.3.4	编程实例	213
7.4	PWM 功能	213
7.4.1	脉宽调制模式相关的寄存器	214
7.4.2	脉宽调制模式的电路结构	215
7.4.3	脉宽调制模式的工作原理	216
7.4.4	编程实例	218
7.5	CCP 模块捕捉工作方式的应用	219
7.5.1	设计要求	219
7.5.2	设计原理与测试	219
7.5.3	编程实例	220
7.6	使用 CCP 模块实现 ADPCM	227
7.6.1	ADPCM 原理	227
7.6.2	设计原理	227
7.6.3	编程实例	228
第 8 章	模拟量输入/输出	233
8.1	片载 A/D 使用	233
8.1.1	PIC16F87X 片载 A/D 介绍	233

8.1.2	片载 A/D 的简单应用	235
8.1.3	编程实例	236
8.2	模拟时序使用串行 A/D	238
8.2.1	MAX1241 串行 A/D	238
8.2.2	SPI 总线	238
8.2.3	模拟方法	241
8.2.4	编程实例	242
8.3	使用串行 A/D	243
8.3.1	MAX1132 介绍	243
8.3.2	电路原理	244
8.3.3	编程实例	244
8.4	使用并行 A/D	246
8.4.1	MAX197 介绍	246
8.4.2	电路原理	246
8.4.3	编程实例	247
8.5	D/A 输出	248
8.5.1	电路原理	248
8.5.2	编程实例	249
8.6	数显温度计实例	252
8.6.1	电路原理	252
8.6.2	编程实例	256
第 9 章 PIC 单片机应用综合实例		265
9.1	无线遥控玩具坦克	265
9.1.1	硬件设计	265
9.1.2	编程实例	270
9.2	多路模拟量采集	277
9.2.1	硬件设计	277
9.2.2	编程实例	281
9.3	在线 FLASH 编程	283
9.3.1	FLASH 编程的基本原理	283
9.3.2	在线编程与离线编程	284
9.3.3	电路原理	285
9.3.4	编程实例	285

第 1 章 PIC 单片机概述

单片机按指令集的复杂程度可以分为两大类：集中指令集（CISC）单片机和精简指令集（RISC）单片机。采用 CISC 结构的单片机数据线和指令线分时复用，即同 PC 结构相同的冯·诺伊曼结构。它的指令丰富，功能较强，但取指令和取数据不能同时进行，速度受限，价格高。采用 RISC 结构的单片机数据线和指令线分离，即所谓哈佛结构，同时也是 DSP 芯片中常采用的处理结构。这使得取指令和取数据可同时进行，且由于一般指令线宽于数据线，使其指令较同类 CISC 单片机指令包含更多的处理信息，执行效率更高，速度也更快。同时，这种单片机指令多为单字节，程序存储器的空间利用率大大提高，有利于实现超小型化。属于 CISC 结构的单片机有 Intel8051 系列、Motorola 和 M68HC 系列、Atmel 的 AT89 系列、Winbond（华邦）W78 系列、荷兰 Philips 的 PCF80C51 系列等；属于 RISC 结构的有 Microchip 公司的 PIC 系列、Zilog 的 Z86 系列、Atmel 的 AT90S 系列、韩国三星公司的 KS57C 系列 4 位单片机，以及 EM—78 系列等。一般来说，控制关系较简单的小家电，可以采用 RISC 型单片机；控制关系较复杂的场合，如通信产品、工业控制系统应采用 CISC 单片机。不过，RISC 单片机的迅速完善，使其佼佼者 in 控制关系复杂的场合也毫不逊色。

PIC 单片机是美国 Microchip 公司推出的单片机系列，是业内首先采用精简指令集结构（RISC）的高性价比嵌入式控制器，其总线结构采取数据总线和指令线分离独立的哈佛（Harvard）结构，具有很高的流水处理速度，其高速度、低电压工作，低功耗，强大驱动能力，低价 OTP 技术，体积小巧等都体现了单片机工业的新趋势，其节约成本的最优化设计，适于用量大、档次低、价格敏感的产品。PIC 单片机已广泛应用于从家电控制、智能仪器仪表、电信通信、工业控制、汽车电子、金融电子、电脑及周边设备等各个领域。

1.1 PIC 单片机的发展概述

微芯公司提供 5 个系列的 8 位 MCU，可以满足各种用户的使用需求：PIC12CXXX/PIC12FXXX 系列将微芯强大的基于 RISC 的 PICmicro®结构装进 8 引脚 DIP 和 SOIC 封装中。这些产品采用 12 位或 14 位宽指令集，工作电压很低（仅为 2.5V），封装小，占位空间少，有中断处理能力，更深的硬件堆栈，多个 A/D 通道，闪存，OTP 或 ROM 程序存储器及 EEPROM 数据存储器。所有上述特性提供了前所未有的突破成本与尺寸限制的高智能产品。

表 1.1 列出了 PIC12CXXX 系列芯片的比较。在表中可以看到 PIC12CEXXX 的单片机，CE 代表内置 EEPROM，使用时采用双向的 I²C 串行通信协议，对于需要使用 EEPROM 的应用而言，可以减少串行通信引脚，也可以缩小元器件在 PCB 上占用的面积。

表 1.1 PIC12CXXX 系列芯片比较

型 号	程序 ROM	RAM	$f_{\max}$ (MHz)	I/O 端口	A/D 模块	定时器	EEPROM
PIC12C508	512×12	25	4	6	/	1+WDT	/
PIC12C509	1K×12	41	4	6	/	1+WDT	/
PIC12CE518	512×12	25	4	6	/	1+WDT	16×8
PIC12CE519	1K×12	41	4	6	/	1+WDT	16×8
PIC12C671	1K×14	128	10	6	4	1+WDT	/
PIC12C672	2K×14	128	10	6	4	1+WDT	/
PIC12CE673	1K×14	128	10	6	4	1+WDT	16×8
PIC12CE674	2K×14	128	10	6	4	1+WDT	16×8

PIC16C5X 是一个完善的基础产品系列, 提供了成本有效性最高的解决方案。这些产品带有 12 位宽指令集, 目前采用 14、18、20 和 28 引脚封装。在 SOIC 和 SSOP 封装的产品中, 它们是业界占位面积最小的 MCU。工作电压低, OTP 型 MCU 最低可达 2.0V, 使该系列产品成为电池供电应用的理想产品。另外, PIC16HV5XX 可工作于高达 15V 的电压下, 直接用电池驱动。

表 1.2 中列出了 PIC16C5X 系列主要类型的芯片。

表 1.2 PIC16C5X 系列芯片比较

型 号	程序 ROM	RAM	$f_{\max}$ (MHz)	I/O 端口	A/D 模块	定时器	引脚数
PIC16C52	384×12	25	4	12	/	1	8
PIC16C54	512×12	25	20	12	/	1+WDT	8
PIC16C55	512×12	24	20	20	/	1+WDT	8
PIC16C56	1024×12	25	20	12	/	1+WDT	8
PIC16C57	2048×12	72	20	20	4	1+WDT	8
PIC16C58	2048×12	73	20	12	4	1+WDT	8

微芯推出的新款 PIC16CXXX/PIC16FXXX 系列产品是业界最高性能的带模拟/数字转换器功能的 12 位 MCU。这个系列提供了极宽的选择, 从 18 到 64 引脚封装及从低到最高水平的外设集成度。产品具有 14 位宽指令集、中断处理能力和一个 8 级深硬件堆栈。PIC16CXXX/PIC16FXXX 系列提供的高性能和多用性, 能够满足当今这个对成本极其敏感的市场中对中档产品应用的最严格要求。

表 1.3 中列出了 PIC16CXXX/PIC16FXXX 系列芯片。比起 PIC16C5X 系列芯片, PIC16CXXX 系列增加了 4~12 个中断源的中断功能。因此在实际使用中, 电路的设计和软件的编程具有更大的弹性。中断的个数由于芯片的系列不同而不同, 实际应用要参考器件手册, 限于篇幅此处不再做详细介绍。表 1.3 仅列出部分系列器件来进行定性的说明, 详细使用请读者到 Microchip 公司的网站上查找相应的 DATA SHEET。

表 1.3 PIC16CXXX/PIC16FXXX 系列芯片比较

型 号	引脚数	A/D	$f_{\max}$ (MHz)	串行 I/O	电压低侦测	定时器	比较器
PIC16C55X	18	×	20	6	×	1+WDT	×
PIC16C62X	18	×	20	6	√	1+WDT	√
PIC16C6XX	28~40	×	20	6	√	1+WDT	√

续表

型 号	引脚数	A/D	$f_{\max}$ (MHz)	串行 I/O	电压低检测	定时器	比较器
PIC16C6X	18~40	×	20	6	√	3+WDT	CCP
PIC16C7X	18~40	√	20	6	√	3+WDT	CCP
PIC16F8X	18	×	10	6	×	1+WDT	CCP
PIC16F87X	28/40	√	20	6	√	3+WDT	CCP
PIC16C92X	64	√	8	6	×	3+WDT	CCP

PIC17CXXX 系列将 PICmicro® MCU 的高性能 RISC 结构扩展到 16 位指令字和增强型指令集,并具有强大矢量中断处理能力。一系列精确的片上外设特性提供了要求最严格的应用所需的高性能。表 1.4 中列出了 PIC17CXXX 系列芯片的对照。这个系列的最大特点是具备 8×8 位的硬件乘法器 (PIC17C42 例外),运算结果可以得到 16 位的乘积值,而且由于核心结构的改善,这个系列的芯片性能较前面诸系列有大幅度提高。

表 1.4 PIC17CXXX 系列芯片比较

型 号	程序 ROM	RAM	$f_{\max}$ (MHz)	I/O 端口	A/D 模块	定时器	引脚数
PIC17C42A	$2K \times 16$	232	33	33	/	4+WDT	40
PIC17C43	$4K \times 16$	454	33	33	/	4+WDT	40
PIC17C44	$8K \times 16$	454	33	33	/	4+WDT	40
PIC17C752	$8K \times 16$	454	33	50	12	4+WDT	64
PIC17C756	$16K \times 16$	902	33	50	12	4+WDT	64

PIC18CXXX/PIC18FXXX 是高性能、CMOS、全静态的 MCU 系列,带有集成的模拟/数字 (A/D) 转换器。所有 PIC18CXXX MCU 均采用先进的 RISC 结构。PIC18CXXX/PIC18FXXX 具有增强型核心功能,32 级深堆栈,以及多个内部、外部中断源。指令和数据总线分离的哈佛结构允许指令宽度达 16 位字及独立的 8 位宽数据字。两级指令管线使所有指令可在同一循环内执行,除非需要两个循环的程序分支,共有 77 个指令 (精简指令集)。另外使用创新结构的大寄存器组使 MCU 达到了极高的 10MIPS 的性能。PIC18CXXX/PIC18FXXX 系列具有特殊的特性,可减少外接元件,降低成本,增强系统可靠性,节省功耗。它们包括可编程低压检测 (LVD) 和可编程掉电检测 (BOD)。

表 1.5 是 PIC18CXXX/PIC18FXXX 系列芯片。PIC18CXX2 系列是 PIC 家族中通用型的佼佼者。品种、规格齐全,引脚数从 20PIN~80PIN,程序容量从 $8K \sim 32K$ 字。具有多路 10 位 A/D 转换,和多路 10 位 PWM 输出等功能模块,是 16 位指令和 8 位指令数据运算器结构相结合的单片机,性价比高。可广泛应用于防盗系统、汽车电子、燃气泵控制器、机械制造、仪器监控、数据采集、功率调节、温控系统、环境监测、无线电通信及音频/视频设备等领域。

表 1.5 PIC18CXXX/PIC18FXXX 系列芯片比较

型 号	程序 ROM	RAM	$f_{\max}$ (MHz)	I/O 端口	A/D 模块	定时器	引脚数
PIC18C242	$16K \times 16$	512	40	23	5	4+WDT	28
PIC18C252	$32K \times 16$	1536	40	34	8	4+WDT	40
PIC18C442	$16K \times 16$	512	40	23	5	4+WDT	28
PIC18C452	$32K \times 16$	1536	40	34	8	4+WDT	64

1.2 PIC16F87X 系列单片机

PIC16F87X 是微芯公司生产的 FLASH 工艺制造的单片机，目前有下列几种型号：PIC16F873、PIC16F874、PIC16F876、PIC16F877。下面将介绍 PIC16F87X 单片机与其他系列的单片机相对比所具有的特点及其硬件资源，通过这部分的介绍使大家能够了解 PIC 单片机，为具体应用打基础。

1.2.1 PIC16F87X 单片机的特性

PIC16F8XX 为 PIC16C7X 的增强型号，具有 FLASH 工艺特性（电可擦写）和 10 位 A/D 转换，所以它极适合于那些可能会经常改动程序编码的应用。例如，用户可以随时改动已经出厂的产品中的单片机程序以增加或调整产品的功能。另外内部的 FLASH 型数据存储器不仅有掉电保护数据的功能，更重要的是由单片机内部进行控制操作的，即外部电路无法对其进行读写，所以有极高的数据保密性，这使得 PIC16F8X 在加密性产品（如智能 IC 卡、密码锁、电子防盗系统等）方面有很广泛的应用。它具有以下特点。

1. 采用哈佛结构

在国内最常见的单片机中，PIC16F8XX 系列单片机是唯一一种在芯片内部采用哈佛结构的机型。这里所说的“哈佛结构”（如图 1.1 所示），指的是在芯片内部将数据总线和指令总线分离，并且采用不同的宽度。这样做的好处是便于实现“流水作业”，也就是在执行上一条指令的同时可以进行下一条指令的取指令操作。而在多数的单片机中，指令总线和数据总线是共用的，只能执行完指令后才能够取下一条指令，然后进行处理。

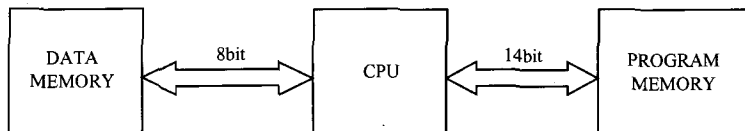


图 1.1 Harvard 结构

2. 指令的“单字节化”

因为数据总线和指令总线是分离的，并且采用了不同的宽度，所以程序存储器和数据寄存器的寻址空间是相互独立的，而且两种存储器宽度也不同。这样设计不仅可以确保数据的安全性，还能提高运行速度和实现全部指令的“单字节化”。这里的单字节是指 PIC16F87X 系列单片机的指令字节，不是通常所说的 8 比特。例如 PIC12C50X/PIC16C5X 系列单片机的指令字节为 12 比特；PIC16C6X/PIC16C7X/PIC16C8X 系列的指令字节为 14 比特；PIC17CXX 系列的指令字节为 16 比特；PIC16F87X 系列的指令字节为 14 比特。它们的数据存储器都是 8 比特宽。MCS—51 系列的单片机的程序存储器和数据存储器宽度都是 8 比特，指令长度从 1 个字节至 3 个字节，长短不一。

3. 精简指令集技术

PIC16F87X 单片机的指令系统只有 35 条指令，这便于指令的学习、理解、记忆，也给程序的编写、调试、交流带来极大的方便。而 MCS—51 系列的单片机指令有 111 条，MC68 系列单片机的指令系统也有 89 条指令。PIC 系列单片机不仅全部指令均为单字节指令，而且绝大多数指令为单周期指令，以利于提高执行速度。

4. 寻址方式简单

PIC16F87X 系列单片机只有 4 种寻址方式：寄存器间接寻址、立即数寻址、直接寻址和位寻址。而 MCS—51 系列单片机有 7 种寻址方式，MC68 系列单片机有 6 种寻址方式。

5. I/O 口驱动能力强

PIC16F87X 单片机的 I/O 口驱动负载能力较强，每个 I/O 口的引脚输入电流和输出电流的最大值可以分别达到 25mA 和 20mA，能够直接驱动发光二极管、光电耦合器或微型继电器等器件。

6. 具备 I²C 和 SPI 串行总线端口

PIC16F87X 系列单片机具有 I²C 和 SPI 串行总线端口。I²C 和 SPI 分别是 Philips 和 Motorola 公司提出的在芯片之间实现同步串行数据传输的两种串行总线技术。利用单片机串行总线端口可以方便灵活地扩展一些必要的外围器件。串行接口和串行总线的设置，不仅极大地简化了单片机应用系统的结构，而且还极易形成产品电路的模块化设计结构。目前国内外的家电厂商，如长虹、王牌、康佳、索尼、松下、日立等公司在其家电产品中都大量使用了 I²C 技术。

7. 外围电路简洁

PIC16F87X 系列单片机在片内集成了上电复位电路、I/O 引脚上拉电路、看门狗定时器等，可以最大程度地减少或者不使用外围器件，便于实现“纯单片”应用。这样，不仅便于开发，而且还可节省用户的电路板空间和制造成本。

8. 程序保密性强

目前尚无办法对 PIC 系列的单片机程序直接进行解密拷贝，可以最大限度地保护用户的程序版权。PIC16F87X 系列单片机除了具有上面的这个特点外，还可以实现在线调试和在线编程。这是 MCS—51 和 MC68 系列单片机所不具备的，却正是广大单片机用户最需要的。

9. 低功耗，宽电压设计

PIC16F87X 单片机芯片采用了 CMOS 工艺，工作在 5V、4MHz 时的工作电流小于 2mA，工作在 2V、32kHz 时，工作电流仅 60μA。在工作电压为 2V 的睡眠模式下工作电流才 26μA。PIC16F87X 还具有宽工作电压范围：商用级为 2.0V~6.0V；工业级为 2.0V~6.0V。而且还具有宽工作温度范围：商用级为 0℃~+70℃；工业级为 -40℃~+85℃；汽车级为 -40℃~+125℃。

1.2.2 PIC16F87X 单片机的硬件资源

前面介绍了 PIC16F87X 单片机的特点, 下面将概括地介绍 PIC16F87X 单片机的硬件资源, 详细的使用将在后面的章节里结合实例进行专门的介绍。PIC16F87X 包括的四种芯的封装分为两种。其中, PIC16F873 和 PIC16F876, PIC16F874 和 PIC16F877 引脚定义是相同的。如图 1.2 所示, 两种封装的主要区别是 40 脚的封装比 28 脚的封装多了 D 和 E 两个 I/O 口, 从下面的表 1.6 中可以更清楚地看出这几种单片机的硬件资源上的差异。

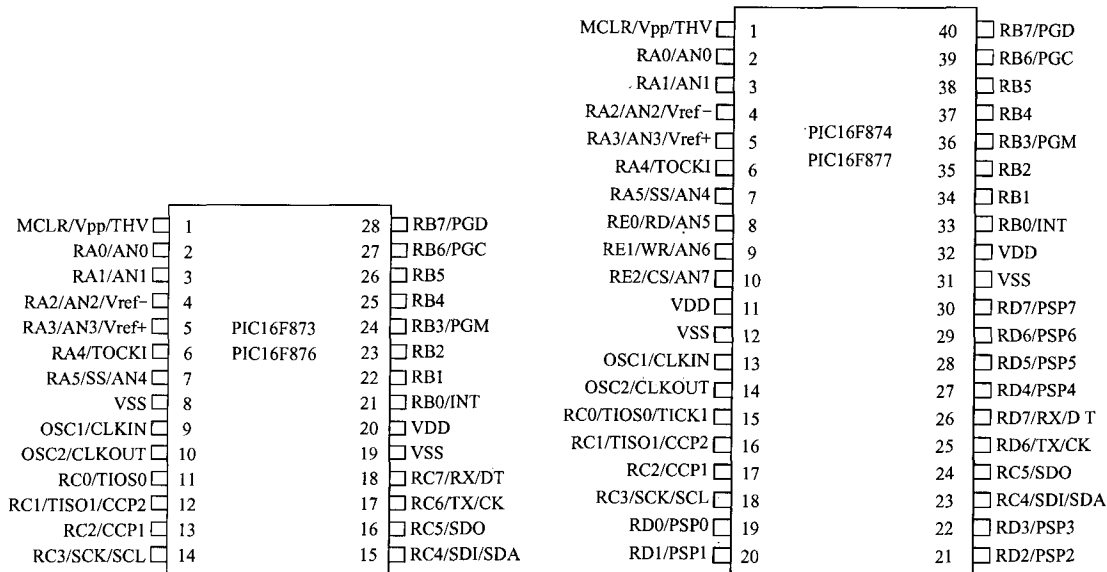


图 1.2 PIC16F87X 引脚图

表 1.6 PIC16F87X 对比

	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Flash 程序存储器	4K×14	4K×14	8K×14	8K×14
数据存储器	192	192	368	368
EEPROM 数据存储器	128	128	256	256
中断源个数	13	14	13	14
引脚数目	28	40	28	40
I/O 端口	A、B、C	A、B、C、D、E	A、B、C	A、B、C、D、E
并行通信端口	无	有	无	有
10 位 AD 通道	5	8	5	8

由表 1.6 可以看出, PIC16F87X 系列的 4 种单片机实际上是引脚数和存储器容量交互搭配所得到的 4 种选择。下面将从芯片的内部结构介绍 PIC16F87X 系列单片机共有的硬件资源。

1. 存储器结构

在 PIC16F87X 系列单片机中有 3 个存储器模块：程序存储器、数据存储器和 EEPROM 数据存储器。PIC16F87X 有一个 13 位的程序计数器，它的寻址能力可以达到 $8K \times 14$ 个程序存储器空间。数据存储器被分为多个块，包括通用寄存器（GPR）和特殊功能寄存器（SFR）。位 RP1 和 RP0 是块选择位，如表 1.7 所示。

表 1.7 存储器选择表

RP1	RP0	(STATUS<6:5>)
0	0	块 0
0	1	块 1
1	0	块 2
1	1	块 3

2. I/O 端口

这些输入/输出端口是多路复用的，它对于单片机的外部特性具有可选择功能。通常当使用外部功能时，这个引脚就不能作为正常的输入/输出引脚使用。

端口 A 是一个 6 位双向端口，相应的数据方向寄存器是 TRISA。端口 B 是一个 8 位字宽的双向端口，相应的数据方向寄存器是 TRISB。端口 C 是一个 8 位字宽的双向端口，相应的数据方向寄存器是 TRISC。端口 D 是一个 8 位端口，它带有施密特触发器输入缓冲器，每个引脚单独设定为输入或输出。

3. TIMER 模块

TIMER 模块包括 Timer0、Timer1、Timer2。Timer0 模块为 8 位定时器/计数器寄存器，其中包括了 8 位可编程预分频器；Timer1 模块由两个 8 位可读写寄存器（TMR1H 和 TMR1L）组成的一个 16 位定时器/计数器，也包括了预分频器，在休眠模式下也可以使用外部的时钟来递加计数；Timer2 模块是一个带有预分频器和后分频器的 8 位定时器，同时还包括了 8 位的周期寄存器。

4. CCP 模块

CCP 模块集中了捕捉器/比较器/脉宽调制(PWM)。CCP 模块包括 CCP1 模块和 CCP2 模块。CCP1 模块由两个 8 位寄存器组成，即 CCPR1L（低位字节）和 CCPR1H（高位字节）。CCP1CON 寄存器控制 CCP1 的运行，通过比较相等时产生特别事件触发器和将对 Timer1 复位和启动一个 A/D 转换器（如果 A/D 模块使能）；CCP2 模块由两个 8 位寄存器组成，即 CCPR2L（低位字节）和 CCPR2H（高位字节）。CCP2CON 寄存器控制 CCP2 的运行，通过比较相等时产生特别事件触发器和将对 Timer1 复位和启动一个 A/D 转换器（如果 A/D 模块使能）。

5. 主同步串行中断模式（MSSP）

同步串行端口模块是一个串行接口，它对于和其他外部器件或单片机之间的通信非常有用。这些外部器件可以是串行 EEPROMS、移位寄存器、显示驱动器、A/D 转换器等。

6. 通用同步异步接收/发送器 (USART)

通用同步异步接收/发送器模块是两个串行 UO 模块之一, USART 也被称做串行通信接口或 SCI。USART 可被设置为全双工异步系统, 它能和外部器件通信, 如 CRT 终端和个人计算机; 或者它可设置为一个半双工同步系统, 能够和外部器件通信, 如 Am 或 D/A 集成电路、串行 EEPROMS 等。

7. A/D 转换器模块

模/数转换器对于 28 引脚有 5 个输入, 对于其他有 8 个输入。模拟输入充电一个采样和保持电容, 采样和保持输出是输入到转换器。转换器通过逐次近似法产生一个模拟电平的数字结果。模拟输入信号的 A/D 转换产生一个相应的 10 位数字数。A/D 模块有高或低的参考电压输入, 它是可用软件选择的 VDD、VSS、RA2 或 RA3 的组合。A/D 转换器具有一个独一无二的特征, 即在单片机处在睡眠方式时, A/D 转换器仍能够运行。为了在睡眠下运行, A/D 转换器的时钟必须从 A/D 转换器指定的内部 RC 振荡器中导出。

第2章 MPLAB 集成开发环境软件包

Microchip 公司为 PIC 系列单片机配备了功能强大的软件集成开发环境 MPLAB，可以通过网上下载和光盘发行两种方式为用户免费提供。使用户能在自己的微机系统上对 PIC 系列单片机进行程序的创建、录入、编辑及汇编，甚至还能实现程序的模拟运行和动态调试等的虚拟实战演练，并且调试的方式可以采用连续运行、单步运行、自动单步运行、设置断点运行等多种运行方式。我们从简单实用角度出发，向读者展示 MPLAB 的基本用法。

2.1 MPLAB 的组成

MPLAB 是一个集成了多种单片机应用开发工具软件于一体的、功能完备的软件包，在此仅对其中的 8 种工具进行简要介绍。

1. Project Manager（工程项目管理器）

工程项目管理器是 MPLAB 的核心部分，用于创建和管理工程项目，为开发人员提供自动化程度高、操作简便的符号化（屏幕上的指令、指令地址、常数、变量、寄存器等均用表义性和可读性很强的符号代表和标识）调试工作平台。

2. MPLAB Editor（源程序编辑器）

源程序编辑器是一个全屏文本编辑器，用于创建和修改汇编语言源程序文件。源程序文件以纯文本格式保存，其文件扩展名为“.asm”。

3. MPASM Assembler（汇编器）

用于将汇编语言源程序文件（.asm）汇编成机器语言目标程序文件（.hex），并负责查找语法错误和格式错误等一些浅层次简单错误。

4. MPLAB-ICE Emulator——硬件仿真器

MPLAB-ICE 是 Microchip 开发的硬件仿真器，必须另外购买。MPLAB-ICE 包括了一台主机和不同单片机的转接头。使用硬件仿真器的优点在于将仿真器搭配所设计的电路，实际地做仿真与调试的工作，电路上的信号也可通过示波器的测量直接观察，和软件仿真器相比较具有临场感。Microchip 的硬件 ICE 名称为 PICMASTER，不过 PICMASTER 已经是上一代的产品了，最新的 ICE 名称为 MPLAB-ICE2000。

5. PLAB-SIM Software Simulator（软件模拟器）

软件模拟器是一种代替价格较贵的 Hardware Emulstor（硬件仿真器）的调试工具，也是一种非实时、非在线的纯软件的调试工具。借助这个在微机系统上运行的工具软件，可以不