



卓越工程师培养计划

■ 单片机 ■

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

陈忠平 编著



基于Proteus的

PIC单片机C语言 程序设计与仿真



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

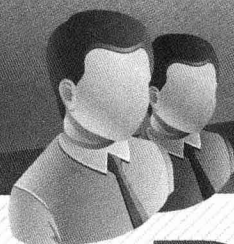


卓越工程师培养计划

■ 单片机 ■

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

陈忠平 编著



基于Proteus的 PIC单片机C语言 程序设计与仿真

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以目前流行的 PIC16 系列单片机为核心,通过丰富的 C 语言实例详细介绍了 Proteus 仿真软件在 PIC16F877A 单片机课程教学和单片机应用产品开发过程中的应用。

本书以夯实基础、面向应用、理论与实践紧密结合为原则,采用新颖的讲解形式,深入浅出地介绍了单片机系统的设计与开发环境、Proteus 中原理图的绘制与仿真及 PCB 制作、PIC 单片机的 C 语言基础知识、PIC16F877A 通用 I/O 控制、中断系统与 LED 数码管显示、定时/计数器控制、CCP 模块、USART 串行通信、模拟比较器和模数转换器、键盘与液晶显示器、串行总线的应用、电动机控制等内容。书中选择的实例具有很强的实用性和指导性。

本书适合从事 PIC 单片机的应用和研发人员阅读使用,也可作为高等学校信息工程、计算机应用、自动化、电气工程等相关专业的 PIC 单片机教材或培训教材,还可作为 PIC 单片机爱好者的自学实践教材。

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

基于 Proteus 的 PIC 单片机 C 语言程序设计与仿真/陈忠平编著. —北京:电子工业出版社,2013.1
(卓越工程师培养计划)

ISBN 978-7-121-11314-7

I. ①基… II. ①陈… III. ①单片微型计算机—C 语言—程序设计 IV. ①TP368.1 ②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 263312 号

策划编辑:张 剑(zhang@phei.com.cn)

责任编辑:徐 萍

印 刷:北京东光印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

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:787×1092 1/16 印张:26 字数:666 千字

印 次:2013 年 1 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:59.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,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 zlts@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

PIC (Peripheral Interface Controller) 系列单片机是由美国微型公司 (Microchip Technology Inc.) 推出的一系列单片机的总称, 该单片机的 CPU 采用 RISC 指令集, 使用 Harvard (哈佛) 双总线结构, 具有指令集简洁、简单易学、速度快、功能强、功耗低、价格低廉、体积小、适用性好及抗干扰能力强等特点。PIC 系列单片机大量应用于汽车电气控制、电动机控制、工业控制和仪表、通信、家电、玩具等领域。现在, PIC 系列单片机在世界单片机市场的份额排名中已逐年上升, 尤其是在 8 位单片机市场上, 据称已从 1990 年的第 20 位上升到目前的第 2 位, 在我国的使用量也名列前茅。

许多单片机初学者都是先学习单片机相关基础知识, 然后使用计算机在一些编译软件中编写程序, 通过分析寄存器的内容检验程序设计是否符合要求, 或者自己焊接硬件电路将源程序代码下载到单片机中, 观察运行效果。这种学习方法很好, 但是如果所设计的系统较复杂, 难以分析相关寄存器的内容, 或者由于硬件成本过高, 难以制作硬件电路时, 这种学习方法就有所欠缺, 尤其是对在校学生而言。

Proteus 软件强势推出后, 改变了单片机传统的学习方法, 该软件对于单片机学习和系统开发都能提供有力的帮助。Proteus 是多功能的 EDA 软件, 真正实现了虚拟物理原型功能, 在目标板投产前就可以对所设计硬件系统的功能、合理性和性能指标进行充分调整, 并可以在没有硬件电路的情况下进行相应的程序设计与调试, 可由仿真原理图直接导出并绘制成印制电路板 (PCB)。虚拟物理原型, 对于单片机初学者来讲可节约学习成本, 提高学习积极性, 对于单片机系统开发人员来讲可缩短开发时间, 提高设计效率, 降低开发成本。

为使初学者能迅速入门, 提高对 PIC 单片机的兴趣与爱好, 并能在短期内掌握 PIC 单片机的应用开发要领, 特编写此书。在编写过程中编者注重题材的取舍, 使本书具有以下四个特点。

1. 由浅入深, 循序渐进

本书在内容编排上遵循由浅入深、由易到难的原则, 从最初的 PIC 单片机开发环境、Proteus 软件的使用, 到单片机内部单元的实现, 再到单片机外围扩展, 直至单片机的电动机控制应用。这样的编排可使读者根据自己的情况选择阅读起点。

2. 软硬结合, 虚拟仿真

沿用传统单片机的学习与开发经验, 以 MPLAB 整合开发环境和 HI-TECH C 编译器作为软件开发平台、Proteus 软件作为硬件电路开发平台, 在软件开发平台中编写程序并生成 .HEX (或 .coff) 文件, 然后在 Proteus 中画好硬件电路图 (这一过程相当于硬件电路的焊接), 调用 HEX 文件进行虚拟仿真 (这一过程相当于硬件调试)。这样可以节约学习成本, 提高读者的学习积极性。

3. 采用 C 语言编程, 增强可读性

C 语言是一种编译型程序设计语言, 它兼顾了多种高级语言的特点, 并具备汇编语言的功能。用 C 语言编写程序会大大缩短开发周期, 且明显地增加程序的可读性, 便于改进和扩充。采用 C 语言进行单片机程序设计是单片机开发与应用的必然趋势。许多人在学习

MCS-51 单片机时，都先学习了汇编语言，然后再学习用 C 语言编写 MCS-51 程序代码，通过这种历程他们有了深深的感悟：汇编指令太枯燥，学习起来费时费力，用汇编语言编写程序或读懂程序并不是一件容易的事情；使用 C 语言编程时，不必对单片机的硬件结构有很深入的了解，编写程序相对简单，且程序的可读性和可移植性均很强。对于以前学过 MCS-51 单片机的人或从未学过单片机的人来说，学习 PIC 单片机是否也要先从汇编语言入手呢？答案是否定的。

考虑到有些单片机初学者以前从未使用 C 语言编写单片机程序，因此本书在第 3 章介绍了 C 语言的相关知识，以使他们能够在很短的时间内掌握 C 语言的相关语法。全书所有实例均采用 C 语言编写，这样可使已学过 MCS-51 单片机和从未学过单片机的读者都能很容易看懂程序或进行程序的移植，快速进入 PIC 的学习之门。

4. 兼顾原理，注重实用

基本原理、基本实例一直是学习和掌握单片机应用技术的基本要求，由于许多 PIC 单片机初学者在学习 PIC 单片机时对相关原理不是很清楚，因此本书从第 4 章至第 12 章，在讲解 PIC 单片机的部分功能应用时，首先讲解相关原理，然后通过一些实例讲解其应用。在讲解实例时，先进行设计分析，再给出源程序代码。这样的编写安排可使初学者不必借助其他 PIC 单片机原理方面的书籍，直接通过本书的学习就能掌握 PIC 单片机的应用。

参加本书编写的有湖南工程职业技术学院陈忠平、陈建忠、龚亮，湖南航天局 7801 研究所刘琼，湖南涉外经济学院侯玉宝、高金定，湖南科技职业技术学院高见芳，湖南衡阳技师学院胡彦伦，湖南三一重工集团王汉其等。全书由湖南工程职业技术学院李锐敏教授主审。本书在编写过程中参考了多部 PIC 单片机原理及相关著作，在此向这些作者表示深深的谢意。由于编者知识水平和经验有限，书中难免存在缺点和错误，敬请广大读者批评指正（编著者 E-mail: czpmcu@126.com）。

编著者

目 录

第 1 章 PIC 单片机系统的设计与开发环境	1
1.1 PIC 单片机简介	1
1.2 PIC 单片机与 C 语言的关系	6
1.3 MPLAB – IDE 的使用	8
1.4 下载软件	13
第 2 章 Proteus 7.8 入门	19
2.1 Proteus ISIS 的操作及电路原理图设计	19
2.2 Proteus VSM 虚拟系统模型	41
2.3 Proteus ARES 的 PCB 设计	55
第 3 章 PIC 单片机的 C 语言基础知识	67
3.1 数据运算	67
3.2 流程控制	82
3.3 数组	92
3.4 指针	96
3.5 结构体	99
3.6 共用体	105
3.7 函数	106
3.8 编译预处理	111
第 4 章 PIC16F877A 通用 I/O 控制	115
4.1 PIC16F877A 的基本结构	115
4.2 PIC16F877A 的 I/O 端口	127
4.3 输出端口的应用	134
4.4 输入端口的应用	143
第 5 章 中断系统与 LED 数码管显示	154
5.1 中断系统	154
5.2 LED 数码管的基础知识	160
5.3 INT 和 LED 数码管的应用	165
5.4 RB 端口电平变化中断的应用	180

第 6 章 定时/计数器控制	187
6.1 定时/计数器基本知识	187
6.2 定时/计数器的应用	193
第 7 章 CCP 模块	217
7.1 CCP 模块基本知识	217
7.2 CCP 模块的应用	221
第 8 章 USART 串行通信	233
8.1 PIC16F877A 串行通信 USART	233
8.2 USART 串行通信应用	242
第 9 章 模拟比较器和模数转换器	265
9.1 模拟比较器和模数转换器基本知识	265
9.2 模拟比较器和模数转换器的应用	271
第 10 章 键盘与液晶显示	279
10.1 键盘及应用	279
10.2 字符式 LCD 液晶显示器及其应用	294
10.3 汉字式 LCD 液晶显示器及应用	306
第 11 章 串行总线的应用	322
11.1 SPI 总线	322
11.2 I ² C 总线	343
第 12 章 电动机控制	364
12.1 步进电动机控制	364
12.2 直流电动机控制	379
12.3 伺服电动机控制	396
参考文献	407

第1章 PIC 单片机系统的设计与开发环境

自从1946年美国宾夕法尼亚大学研制了世界上第一台数字电子计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) 以来,计算机的发展经历了4个时代。在短短的几十年中,已发展成大规模/超大规模集成电路的计算机,运算速度每秒钟可达上万亿次。近年来,计算机更是朝着巨型化、智能化、网络化、微型化的方向发展。

微型化的发展也就是微型计算机的发展。在微型计算机中,单片微型计算机(简称单片机)是其重要的成员之一。单片机的发展也非常迅速,它依靠一定的硬件基础,根据特定环境,能完成一定需求。因其结构比较简单,工作任务针对性较强,使得在国民经济各个领域中都留有它的踪迹。

自从1974年美国仙童(Fairchild)公司运用计算机技术生产了世界上第一块单片机(F8)以来,在短短的几十年中,单片机作为微型计算机中的一个重要分支,其应用面极广,发展速度极快。



1.1 PIC 单片机简介

PIC (Peripheral Interface Controller) 系列单片机是由美国微型公司 (Microchip Technology Inc.) 推出的一种用于开发控制外围设备的集成电路 (IC), 它是一种具有分散作用 (多任务) 功能的 CPU。

PIC 系列单片机的 CPU 采用 RISC 指令集, 使用 Harvard (哈佛) 双总线结构, 具有指令集简洁、简单易学、速度快、功能强、功耗低、价格低廉、体积小、适用性好及抗干扰能力强等特点。PIC 系列单片机大量应用于汽车电气控制、电动机控制、工业控制和仪表、通信、家电、玩具等领域。

1. PIC 单片机的优势

当今, 单片机厂商繁多, 产品性能各异。与其他系列单片机相比, PIC 单片机主要具有以下优势。

【型号多种, 满足各种需求】 PIC 不搞单纯的功能堆积, 而是从实际出发, 重视产品的性价比, 靠发展多种型号来满足不同层次的应用要求。PIC 单片机分为 8 位、16 位和 32 位, 每种类型又有很多型号供用户选择。例如, 一个摩托车的点火器需要一个 I/O 较少、RAM 及 ROM 存储空间不大、可靠性较高的小型单片机, 若采用 40 脚且功能强大的单片机, 会造成资源浪费, 使用起来也不方便。PIC12C508 单片机仅有 8 个引脚, 是世界上最小的单片机。该型号有 512B ROM、25B RAM、一个 8 位定时器、一根输入线、5 根 I/O 线, 正适合像摩托车点火器这样的应用场合。PIC16C74 (尚不是其最高档型号) 有 40 个引脚, 其内部

资源为 ROM 共 4KB、192B RAM、8 路 A/D、3 个 8 位定时器、2 个 CCP 模块、3 个串行口、1 个并行口、11 个中断源、33 个 I/O 引脚，这样一个型号的单片机可以和其他品牌的高档型号单片机相媲美。

【精简指令集，执行效率高】基于 8051 内核的微控制器采用了复杂指令系统 CISC (Complex Instruction Set Computing) 体系。CISC 结构的单片机是传统的冯·诺依曼 (Von-Neumann) 结构，这种结构又称为普林斯顿 (Princeton) 体系结构。其片内程序空间和数据空间合在一起，取指令和操作数都是通过同一簇总线分时进行，当高速运算时，取指令和操作数不能同时进行，否则会造成传输通道上的瓶颈现象。

PIC 单片机采用精简指令集 RISC (Reduced Instruction Set Computing) 的 Harvard (哈佛) 双总线结构。该结构的数据总线和指令总线分离，使指令具有单字长的特性，且允许指令码的位数可多于 8 位的数据位数，这与传统的采用 CISC 结构的 8 位单片机相比，可以实现 2:1 的代码压缩，速度可以提高 4 倍。

【产品上市零等待】采用 PIC 的低价 OPT (One Time Programmable，一次性可编程) 芯片，可使单片机在其应用程序开发完成后立刻使产品上市。

【开发环境优越，实时性好】OTP 单片机开发系统的实时性是一个重要的指标。普通 51 单片机的开发系统大都采用高档型号仿真低档型号，其实时性不尽理想。PIC 在推出一款新型号的同时推出相应的仿真芯片，所有的开发系统由专用的仿真芯片支持，实时性非常好。就作者个人的经验来看，还没有出现过仿真结果与实际运行结果不同的情况。

【引脚具有瞬态抑制能力】PIC 单片机的引脚具有防瞬态能力，通过限流电阻可以接至 220V 交流电源，可以直接与继电器控制电路相连，不需要加光耦合器进行隔离，抗干扰能力强。

【保密性强】PIC 以保密熔丝来保护代码，用户在烧入代码后熔断熔丝，其他人再也无法读出程序代码，除非恢复熔丝。目前，PIC 采用熔丝深埋工艺，恢复熔丝的可能性极小。

【内置看门狗】PIC 单片机的片内带看门狗定时器，可用于提高程序运行的可靠性。

【睡眠和低功耗模式】PIC 单片机可以工作在睡眠和低功耗模式下，特别是在便携式设备中，可以满足电池供电场合的应用。虽然 PIC 在这方面不能与新型的 MSP430 单片机相比，但也能满足一些低功耗场合的应用。

2. PIC 单片机命名规则

PIC 单片机型号较多，但是这些单片机的命名均遵循一定的规则。PIC 单片机的命名由前缀、系列号、器件类型等部分组成，如下所示。

PIC	xx	xxx	xxxx	(x)	-xx	x	/xx
1	2	3	4	5	6	7	8

【前缀】PIC Microchip 公司产品代号。注意，“dsPIC”为集成 DSP 功能的新型 PIC 单片机。

【系列号】10、12、16、18、24、30、33，其中 PIC10、PIC12、PIC16、PIC18 为 8 位单片机；PIC24、dsPIC30、dsPIC33 为 16 位单片机；PIC32 为 32 位单片机。

【器件类型】C 表示 CMOS 电路；CR 表示 CMOS ROM；LC 表示小功率 CMOS 电路；LCS 表示小功率保护；AA 表示工作电压为 1.8V；LCR 表示小功率 CMOS ROM；LV 表示低

电压；F 表示快闪可编程存储器；HC 表示高速 CMOS；FR 表示 FLEX ROM。

【改进类型或选择】主要有 54A、58A、61、62、620、621、622、63、64、65、71、73、74、42、43、44 等。

【晶体标示】LP 为小功率晶体；RC 为电阻电容；XT 为标准晶体/振荡器。

【工作频率】-02 表示 2MHz；-04 表示 4MHz；-10 表示 10MHz；-16 表示 16MHz；-20 表示 20MHz；-25 表示 25MHz；-33 表示 33MHz。

【温度范围】空白表示 0 ~ 70℃；1 表示 -45 ~ 85℃；E 表示 -40 ~ 125℃。

【封装形式】L 表示 PLCC 封装；JW 表示陶瓷熔封双列直插，有窗口；P 表示塑料双列直插；PQ 表示塑料四面引线扁平封装；W 表示大圆片；SL 表示 14 引脚微型封装，引脚间隔为 150mil；JN 表示陶瓷熔封双列直插，无窗口；SM 表示 8 引脚微型封装，引脚间隔为 207mil；SN 表示 8 引脚微型封装，引脚间隔为 150mil；VS 表示超微型封装 8mm × 13.4mm；SO 表示微型封装，引脚间隔为 300mil；ST 表示薄型缩小的微型封装，引脚间隔为 4.4mm；SP 表示横向缩小型塑料双列直插；CL 表示 68 引脚的陶瓷四面引线，有窗口；SS 表示缩小型微型封装；PT 表示薄型四面引线扁平封装；TS 表示薄型微型封装 8mm × 20mm；TQ 表示薄型四面引线扁平封装。

3. PIC 单片机的种类及选型

Microchip 公司的 PIC 系列单片机分为 8 位单片机、16 位单片机、32 位单片机和超低功耗单片机，本书仅介绍 8 位单片机的相关知识。

8 位单片机在其整个 8 位机家族中分为基本级、中级、高级 3 档，对应的内部指令宽度分别是 12 位、14 位、16 位。

- ▶ 12 位指令宽度的低档单片机结构简单、价格低廉。如 PIC16C5x 系列的 PIC16C54C、PIC16C57C 等，适用于一些控制任务相对简单且对价格敏感的家电产品。又如 PIC12C5xx 系列的 PIC12C508A、PIC12C509 等，是世界上较早出现的 8 引脚低价单片机，因其体积小，完全可以适用于以前不能使用单片机的家电产品中。
- ▶ 14 位指令宽度的中档单片机是目前型号最丰富的品种系列，其片内功能模块种类齐全，组合灵活多变，如内部带有 A/D 变换器、E²PROM 数据存储器、比较器输出、PWM 输出、I²C 和 SPI 等接口；外部结构形式较丰富，有 8 引脚到 68 引脚的各种封装。该档产品性能很高，适用于各种高、中和低档电子产品的设计。代表型号如 PIC16F7x 系列的 PIC16F73、PIC16F74、PIC16F76、PIC16F77；PIC16F87xA 系列的 PIC16F873A、PIC16F874A、PIC16F876A、PIC16F877A 等。
- ▶ 16 位指令宽度的高档单片机在命名上以 PIC18 开头，整个内核体系在 PIC16 系列基础上有很大提高，最高指令流可达 10MIPS（单条指令执行时间为 100ns），达到部分 16 位单片机的性能，适用于要求高速数字运算的高端产品。

由于实际项目对单片机的功能要求不同，所以在使用前要根据实际需求选择合适的 PIC 单片机型号。本节以引脚（pin）数目为索引列出 PIC 系列 8 位单片机的产品列表。

表 1-1 所示是 8/14 引脚的单片机选型表，该类单片机的突出特点是体积微小、功能丰富，主要用于低成本、体积敏感型应用领域。

表 1-2 所示是 18/20 引脚的单片机选型表，这类单片机是产品设计中常用的，其特点是体积小，不同型号的功能特色明显，主要应用于低成本控制领域。

表 1-3 所示是 28 引脚单片机选型表，这类单片机也是产品中常用的，其特点是体积小、功能强，不同型号的功能特色明显。

表 1-1 8/14 引脚单片机选型表

引脚	功能	型 号
8 引脚	普通型	PIC12C508、PIC12C509; PIC12CE518、PIC12CE519 (E ² PROM)
	带 A/D	PIC12C617、PIC12C672、PIC12CE673、PIC12CE674 (E ² PROM)
	高级	Flash 程序/数据区/8×8 乘法器 PIC18F010、PIC18F020; PIC18F012、PIC18F022 (10 位 A/D)
14 引脚	普通型	PIC16C505

表 1-2 18/20 引脚单片机选型表

引脚	级别	功 能	型 号
18/20 引脚	基本级	普通型	PIC16C52、PIC16C54、PIC16C56、PIC16C58
		高电压 (3.5~15V)	PIC16HV540
	中级	普通型	PIC16C554、PIC16C558
		LIN 总线	PIC16C432 (比较器)、PIC16C433 (A/D)
		电压比较器	PIC16C620、PIC16C621、PIC16C622; PIC16CE623、PIC16CE624、PIC16CE625 (E ² PROM)
		Flash 程序/数据区	PIC16F627、PIC16F628 (电压比较器/PWM/USART/SCI)
		8 位 A/D	PIC16C710、PIC16C71、PIC16C711、PIC16C715、PIC16C712、PIC16C716 (CCP 模块)
		10 位 A/D	PIC16C717 (ECCP 模块/MI ² C/SPI)
		OP/8 位 A/D 或 D/A	PIC16C781、PIC16C782 (电压比较器/参考电压)
		12 位 A/D	PIC16C770、PIC16C771 (ECCP 模块/MI ² C/SPI)
		Flash 程序/数据区	PIC16F83、PIC16F84; PIC16F85、PIC16F86 (8 位 A/D/电压比较器); PIC16F812、PIC16F816 (8 位 A/D/CCP 模块)

表 1-3 28 引脚单片机选型表

引脚	级别	功 能	型 号
28 引脚	基本级	普通型	PIC16C55、PIC16C57
	中级	CCP 模块	PIC16C62 (I ² C/SPI); PIC16C63 (USART/I ² C/SPI); PIC16C66 (USART/I ² C/SPI)
		电压比较器	PIC16C642
		8 位 A/D CCP 模块	PIC16C72 (I ² C/SPI)、PIC16C73、PIC16C76 (USART/I ² C/SPI)
		8 位 A/D Flash 程序	PIC16F73、PIC16F76 (CCP 模块/USART/I ² C/SPI)
		USB 1.1	PIC16C745 (CCP 模块/USART)
		12 位 A/D	PIC16C773 (CCP 模块/USART/I ² C/SPI)
		Flash 程序/数据区/10 位 A/D	PIC16F870 (CCP 模块/USART); PIC16F872、PIC16F873、PIC16F876 (CCP 模块/USART/MI ² C/SPI)
		混合信号处理: 带 8 位 A/D 或 D/A 温度传感器/电压比较器	PIC140000 (I ² C/SMB)
	高级	10 位 A/D	PIC18F232、PIC18C/F242、PIC18C/F252 (CCP 模块/8×8 乘法器/USART/MI ² C/SPI)
		CAN 2.0B/10 位 A/D	PIC18F248、PIC18F258 (CCP 模块/8×8 乘法器/USART/MI ² C/SPI)

表 1-4 所示是 40/44 引脚单片机选型表, 这是 PIC 单片机中主要用于教学、科研的一类型号, 其特点是功能齐全, 性价比高。

表 1-4 40/44 引脚单片机选型表

引脚	级别	功 能	型 号
40/44 引脚	基本级		无
	中级	CCP 模块	PIC16C64、PIC16C55、PIC16C67 (USART/I ² C/SPI)
		电压比较器	PIC16C661、PIC16C662
		8 位 A/D	PIC16C74、PIC16C77 (CCP 模块/USART/I ² C/SPI)
		USB 1.1	PIC16C765 (CCP 模块/USART)
		12 位 A/D	PIC16C774 (CCP 模块/USART/I ² C/SPI)
		Flash 程序/8 位 A/D	PIC16F74、PIC16F77 (CCP 模块/USART/I ² C/SPI)
		Flash 程序/10 位 A/D	PIC16F877、PIC16F877A (CCP 模块/USART/I ² C/SPI)
	高级	10 位 A/D	PIC18F432、PIC18F442、PIC18C/F452 (CCP 模块/8 × 8 乘法器/USART/MI ² C/SPI)
		CAN 2.0B/10 位 A/D	PIC18F448、PIC18F458 (CCP 模块/8 × 8 乘法器/USART/MI ² C/SPI)
		CCP 模块	PIC17C (R) 42、PIC17C (R) 43、PIC17C (R) 44 (外部中断/8 × 8 乘法器/USART)

表 1-5 所示是 64/68 引脚单片机选型表, 这类单片机主要用于液晶显示模块、CAN 总线控制等领域。

表 1-5 64/68 引脚单片机选型表

引脚	级别	功 能	型 号
64/68 引脚	基本级		无
	中级	LCD 显示模块	PIC16C923 (CCP 模块/I ² C/SPI); PIC16C924 (8 位 A/D/CCP 模块/I ² C/SPI); PIC16C925、PIC16C926 (10 位 A/D/CCP 模块/I ² C/SPI)
	高级	12 位 A/D	PIC17C752、PIC17C756 (8 × 8 乘法器/PWM/比较器/USART/I ² C/SPI)
		10 位 A/D	PIC18F6520、PIC18F6620、PIC18F6720 (CCP 模块/8 × 8 乘法器/USART/MI ² C/SPI)
		CAN 2.0B/10 位 A/D	PIC18C658 (CCP 模块/8 × 8 乘法器/USART/MI ² C/SPI)
		ROMless	PIC18C601 (10 位 A/D/CCP 模块/8 × 8 乘法器/USART/MI ² C/SPI)

表 1-6 所示是 80/84 引脚单片机选型表, 这类单片机主要应用于 LCD 控制、高精度 A/D 转换、CAN 总线等多输入/输出 (Input/Output, I/O) 引脚控制领域。

表 1-6 80/84 引脚单片机选型表

引脚	级别	功 能	型 号
80/84 引脚	基本级		无
	中级		无
	高级	16 位 A/D	PIC17C762、PIC17C766 (8 × 8 乘法器/PWM/比较器/USART/I ² C/SPI)
		10 位 A/D	PIC18F8520、PIC18F8620、PIC18F8720 (CCP 模块/8 × 8 乘法器/USART/MI ² C/SPI)
		CAN 2.0B/10 位 A/D	PIC18C858 (CCP 模块/8 × 8 乘法器/USART/MI ² C/SPI)
		ROMless	PIC18C801 (10 位 A/D/CCP 模块/8 × 8 乘法器/USART/MI ² C/SPI)

尽管 PIC 单片机种类很多, 但不同家族、不同型号之间的源代码移植非常方便。这完全得益于 PIC 单片机内核设计的一致性, 使其指令上下兼容, 具备相同的功能模块操作方式,

更重要的是其表现出的电气特性也一致。目前,国内单片机的应用方向还主要定位在中低端的产品设计中,自然 PIC16 系列成为广大设计工程师关注的焦点。本书就以 PIC 家族中最典型的中档产品 PIC16F877/PIC16F877A 为立足点展开深入讨论。

PIC16F877 是 Microchip 公司于 1998 年年底推出的一款 Flash 单片机,这款单片机以高性价比、适合于学习研究而著称。后来 Microchip 公司又推出了改进版本 PIC16F877A,对 PIC16F877 做了细微的优化和改进,但二者的使用方法基本相同。本书所述内容同时适用于 PIC16F877 和 PIC16F877A 单片机,书中对这两款单片机不作区分。



1.2 PIC 单片机与 C 语言的关系

1. PIC 单片机采用 C 语言编程的原因

单片机以其体积小、质量轻、成本低、功耗低等特点广泛应用于各个领域。C 语言作为一种简洁高效的编译型高级语言,具备可读性好、可靠性高、运算速度快、编译效率高、可移植性好、有功能丰富的函数库等特点,并且可以直接实现对系统硬件的控制。

当前,许多单片机硬件开发人员纷纷舍弃了汇编语言,而改用单片机 C 语言进行系统编程。汇编语言有执行效率高的优点,但其可移植性和可读性差,并且它本身就是一种编程效率低下的低级语言,这些都使它的编程和维护极不方便,从而导致整个系统的可靠性也较差。而使用 C 语言进行嵌入式系统的开发,有着汇编语言编程不可比拟的优势。

【编程、调试灵活方便】C 语言作为高级语言的特点决定了它灵活的编程方式。它具有丰富的数据结构类型,可以根据需要采用整型、实型(又称为浮点数型)、字符型、数组类型、指针类型、结构类型、联合类型、枚举类型等多种数据类型实现各种复杂数据结构的运算。C 语言的语法规则不太严格,程序设计的自由度较大,程序的书写格式自由灵活。同时,当前几乎所有系列的嵌入式系统都有相应的 C 语言级别的仿真调试系统,使得它的调试十分方便。

【生成的代码编译效率高】过去长期困扰人们的所谓“高级语言产生代码太长,运行速度太慢,因此不适合单片机使用”的缺点经过多家公司艰苦不懈的努力,已被大幅度地克服,终于在 20 世纪 90 年代开始趋于成熟,现已成为专业化的单片机高级语言。目前,单片机上 C 语言的代码长度已经做到了汇编水平的 1.2~1.5 倍。代码长度在 4KB 以上的程序,C 语言的优势更能得到发挥。至于执行速度的问题,只要有好的仿真器的帮助,找出关键代码,进一步用人工优化,就可以很简单地达到十分完美的程度。

【完全模块化】C 语言以函数作为程序设计的基本单位,一种功能由一个函数模块完成,这相当于汇编语言中的子程序。数据交换可以方便地约定实现,这样十分有利于多人协同进行大系统项目的合作开发;同时,由于 C 语言的模块化开发方式,使得用它开发的程序模块可不经修改就被其他项目所用,可以很好地利用现成的大量 C 程序资源与丰富的库函数,从而最大程度地实现资源共享。

【可移植性好】由于不同系列的嵌入式系统 C 语言编译工具都是以 1983 年的 ANSI C 为基础进行开发的,因此,一种 C 语言环境下所编写的 C 语言程序,只需将部分与硬件相关的地方进行适度修改,就可以方便地移植到另外一种系列上。对于许多单片机开发人员来说,以前大都使用汇编语言或 C51 进行 8051 单片机的系统开发,若一下子改用 PIC 单片机,

由于PIC单片机也有一套汇编指令集,如果再学PIC汇编指令集,这样会花费大量的时间,若采用C语言进行PIC单片机编程,则只需将C51下编写的程序改写头文件,同时做少量的程序修改,即可方便地移植到PIC系列上。也就是说,基于C语言环境下的嵌入式系统能基本达到平台的无关性。

【便于项目维护管理】用C语言开发的代码便于开发小组计划项目、灵活管理、分工合作,以及后期维护,基本上可以杜绝因开发人员变化而给项目进度或后期维护或升级带来影响,从而保证了整个系统的高品质、可靠性及可升级性。

【可以直接操作单片机硬件】C语言具有直接访问单片机物理区域的能力,可以直接访问片内或片外存储器。当一下子改用PIC单片机时,程序开发人员即使并不完全懂得PIC单片机的具体硬件,也能够编出符合硬件实际专业水平的程序。

2. PIC 单片机的 C 编译器简介

PIC单片机既可以采用汇编语言开发,也可以采用C语言开发。由于PIC10、PIC12、PIC16等系列的8位单片机片内程序区较小,Microchip公司没有推出针对这些中、低档系列PIC单片机的C语言编译器,而只提供针对PIC18、PIC24、dsPIC、PIC32系列单片机的C语言编译器MCC(MCC18/MCC30/MCC32)。但很多专业的第三方公司提供众多支持PIC单片机的C语言编译器,常见的有HITECH、CCS等公司。HITECH公司(现已成为Microchip旗下的一家全资子公司)的PICC编译器稳定可靠,编译生成的代码效率高,在用PIC单片机进行系统设计和开发的工程师群体中得到了广泛认可。

HI-TECH PICC是一款高效的C编译器,支持Microchip PICmicro 10/12/14/16/17系列控制器。它是一款强劲的标准C编译器,完全遵守ISO/ANSI C,支持所有的数据类型(包括24 and 32 bit IEEE 标准浮点类型)。由于PIC单片机特殊的堆栈结构,使得HI-TECH PICC不支持函数的递归调用。PIC单片机中的堆栈是硬件实现的,其深度已随芯片固定,无法实现需要大量堆栈操作的递归算法;另外,在PIC单片机中实现软件堆栈的效率也不是很高。为此,HI-TECH PICC编译器采用一种“静态覆盖”技术,以实现C语言函数中的局部变量分配固定的地址空间。经过这样处理后产生出的机器代码效率很高。当代码量超过4KB后,C语言编译出的代码长度与全部用汇编代码实现的差别已经不是很大(<10%),当然前提是在整个C代码编写过程中需时时注意所编写语句的效率。

本书中所使用的MPLAB-IDE软件包中默认情况下已经安装了HI-TECH PICC LITE V9.60PL1版本的编译器。此编译器是HI-TECH PICC的精简版本,能够支持PIC16F877、PIC16F877A、PIC16F873等几款常见芯片的C语言源代码编译,但是有ROM和RAM的使用限制:①目标文件ROM使用量小于2KB;②目标文件RAM仅能使用Bank0和Bank1(2个体256B);③目标文件优化程度低,占用ROM/RAM较多。

但是,这些限制不影响初学者对PIC单片机C语言的学习,所以本书还是以此版本为例介绍PIC单片机C语言的基础和编程。如果用于实际项目的开发,建议购买正版HI-TECH PICC编译器或使用更高版本的精简版,那样就可以利用所有单片机的资源并充分发挥编译器的优化能力。

CCS PIC虽然也是一款高效的C语言编译器,但因为头文件不同,所以它的程序和HI-TECH PICC、MCC都不一样,三者的程序不能混着编译,比如针对CCS PIC编写的程序只能用CCS PIC的编译器编译,用HI-TECH PICC编译可能报错。



1.3 MPLAB - IDE 的使用

要进行单片机应用系统的开发，必须有一个容易使用的软件开发环境作为基础。PIC 单片机的开发环境有许多，最常用的是 Microchip 公司为其用户免费提供的 MPLAB - IDE。

MPLAB 集成开发环境 (IDE) 是综合的编辑器、项目管理和设计平台，适用于使用 Microchip 的 PIC 系列单片机进行嵌入式设计的应用开发。MPLAB - IDE 是以项目为导向的综合模拟调试开发环境软件，它把文本编辑器、链接器、项目管理和一系列调试器全部集成到一个模拟开发环境下，从而形成了一套不仅功能丰富并且使用方便的软件包。通过 MPLAB - IDE，单片机项目开发者可以在计算机中对 PIC 系列的单片机进行源程序编写、编译，甚至还能实现目标程序的模拟运行和动态调试等操作。

1. MPLAB - IDE 软件安装

本书用的是 MPLAB - IDE V8.33，如果想用最新版本，可以到相关网站进行下载。将 MPLAB - IDE V8.33 软件解压缩后，双击 Install_MPLAB_8_33 文件进行安装，在安装过程中会弹出如图 1-1 所示对话框，询问是否安装 HI - TECH C 编译器，如果单击“是 (Y)”按钮，HI - TECH C 编译器会内嵌在 MPLAB - IDE 软件中。MPLAB - IDE 安装完成后出现 MPLAB 图标，双击该图标即可启动 MPLAB - IDE 开发工具。

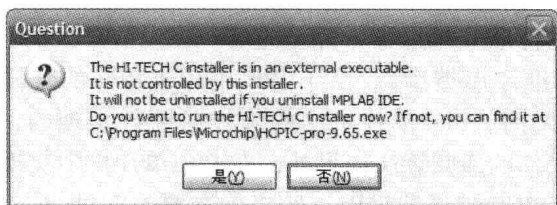


图 1-1 询问是否安装 HI - TECH C 编译器

2. MPLAB - IDE 项目生成

启动 MPLAB - IDE 软件后，里面是空的，首先必须创建项目，这类软件都是以项目为目标进行统一管理的。

执行菜单命令“Project”→“Project Wizard”，弹出如图 1-2 所示的项目创建向导窗口。单击“下一步”按钮，弹出如图 1-3 所示窗口，在此窗口中单击“Device”右侧的下拉列表按钮，可以查看各种型号的器件名称，用户可根据需要选择合适的目标芯片型号。选择完目标芯片型号后，单击“下一步”按钮，出现如图 1-4 所示窗口，要求用户选择合适的编译器。如果用户使用汇编语言编程，可单击“Active Toolsuite”右侧的下拉列表按钮并选择默认的“Microchip MPASM ToolSuite”，即 Microchip 公司的 PIC 单片机汇编语言编译器；如果用户使用 C 语言编程，可单击“Active Toolsuite”右侧的下拉列表按钮并选择默认的“HI - TECH Universal ToolSuite”，即选择 HI - TECH PICC 编译器。选择完编译器后，单击“下一步”按钮，出现创建项目文件窗口，如图 1-5 所示。在该窗口中单击“Browse...”按钮，并选择项目文件创建的路径（注意路径不能含有中文，本项目命名为“LED_test.mcw”），然

后单击“下一步”按钮，出现如图 1-6 所示窗口。在该窗口中，要求添加已有文件到项目中，如果事先没有现成的文件或用户不想加入已有文件，可以直接单击“下一步”按钮。接着出现项目创建完成窗口，如图 1-7 所示。在该窗口中将会显示这一项目的摘要情况，包括所选择的目标器件、选用的编译器、项目路径及项目名称。如果确认没有问题，则单击“完成”按钮建立项目；否则可单击“上一步”按钮，再一步一步地退回并更改相应内容。



图 1-2 项目创建向导窗口

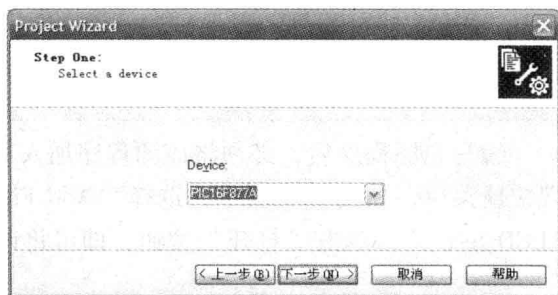


图 1-3 选择目标芯片

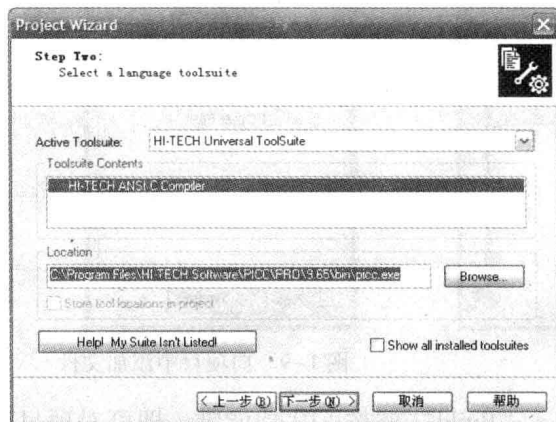


图 1-4 选择编译器

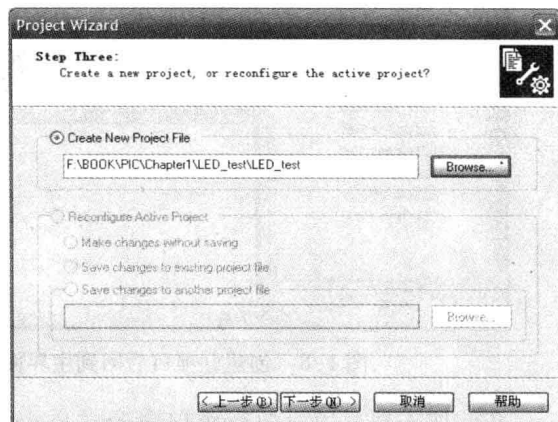


图 1-5 创建项目文件



图 1-6 添加已有文件到项目中

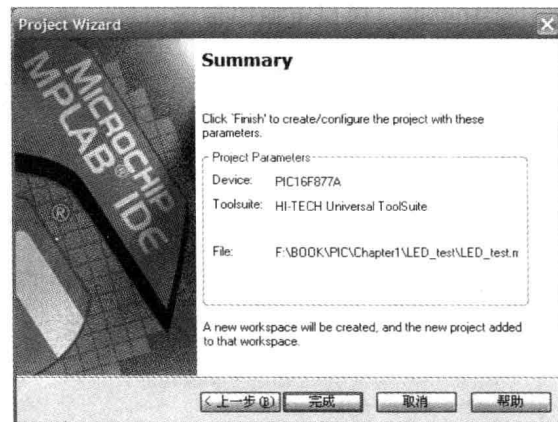


图 1-7 项目创建完成

项目创建后, 回到 MPLAB - IDE 的主界面, 如图 1-8 所示。如果并没有显示出如图 1-8 所示的“LED_test.mcw”项目窗口, 则可执行菜单命令“View”→“Project”, 以打开该窗口。

注意:

在图 1-8 所示的项目窗口中并没有包含任何文件, 需要用户创建源程序文件。

执行菜单命令“File”→“New”, 打开一个空白的源程序编辑窗口。在此窗口中输入源程序, 输入完后将其保存。在保存时源程序的文件名由用户自己定义 (在此定义为 LED_test.c), 如果编写的是 C 语言程序, 则文件的扩展名为 .c。

注意:

文件名不能含有中文。

编写完源程序后, 必须将该源程序加入项目中。在项目窗口中右击“Source Files”, 出现快捷菜单, 如图 1-9 所示, 选择“Add Files...”, 即出现如图 1-10 所示的对话框, 选择“LED_test.c”, 单击“打开”按钮, 即可将该文件加入到项目中。

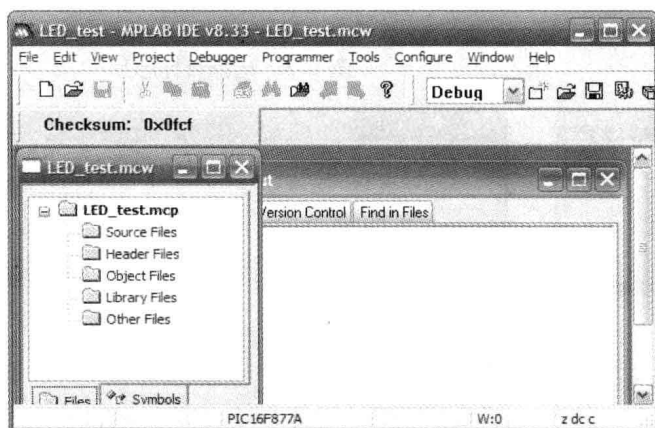


图 1-8 创建好项目后回到主界面

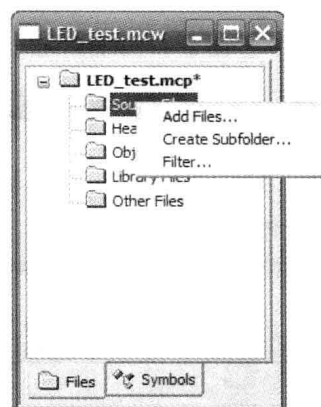


图 1-9 向项目中添加文件

文件加入项目后, 执行菜单命令“Project”→“Build”或按 F10 功能键, 即可对项目中的源程序进行编译。编译、链接的结果如图 1-11 所示。如果源程序代码书写有错误, 则会在“Output”窗口中输出错误信息, 并指定错误所在行。用户在错误原因上双击即可自动

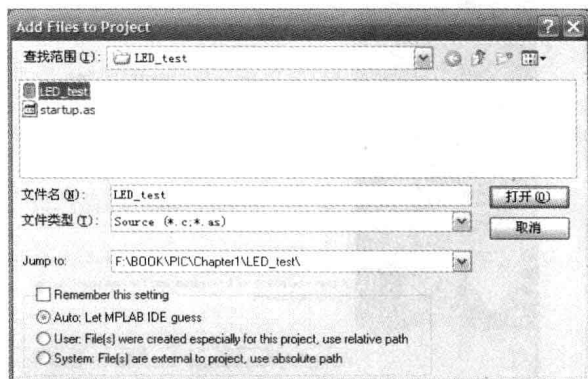


图 1-10 将源程序加入项目中

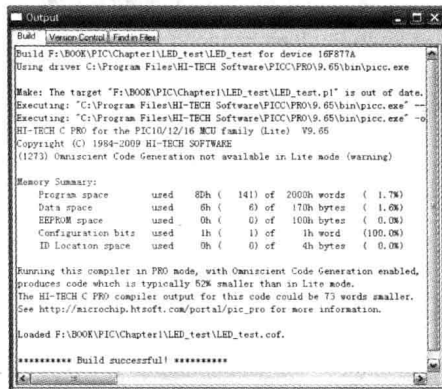


图 1-11 编辑、链接完成的结果