

“十五”重点计算机普及出版物规划项目



单片机应用系统开发典型实例系列

PIC单片机

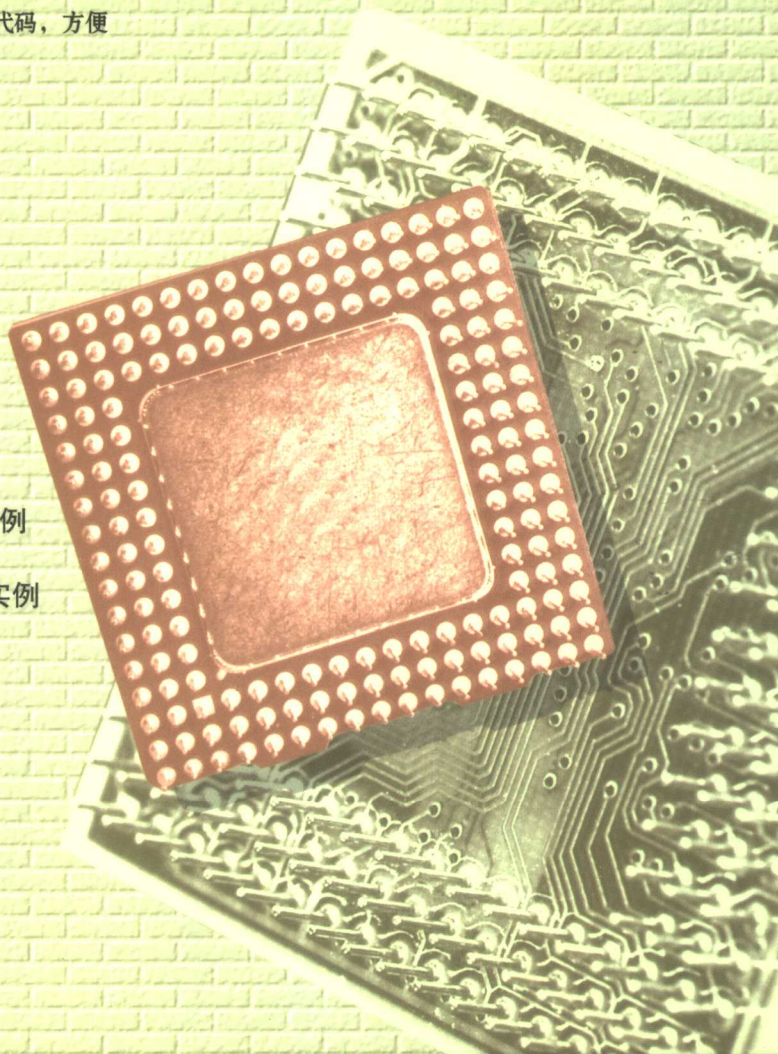
应用系统开发典型实例

罗翼 张宏伟 编著



光盘内含丰富的实例原理图和程序源代码，方便读者的学习、借鉴和使用

- 智能温度显示仪开发实例
- 水位检测仪装置开发实例
- 电动自行车遥控检测装置开发实例
- 带温压补偿的智能涡轮流量计开发实例
- 基于 PIC16F877 的自主机器人开发实例
- 智能路灯节能控制器开发实例



中国电力出版社
www.infopower.com.cn



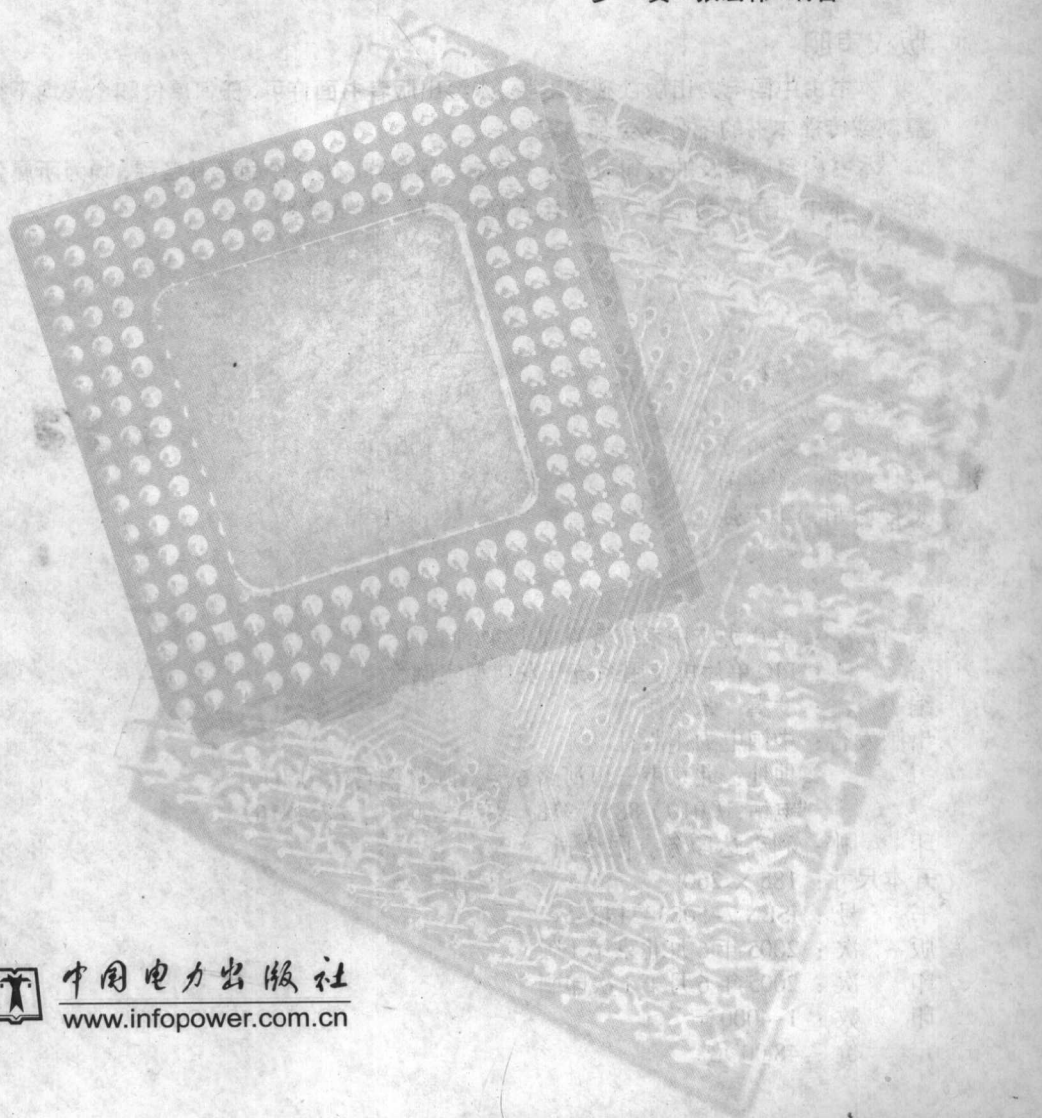
“十五”重点计算机普及出版物规划项目

单片机应用系统开发典型实例系列

PIC单片机

应用系统开发典型实例

罗翼 张宏伟 编著



中国电力出版社
www.infopower.com.cn

丛 书 序

中国加入 WTO 之后,越来越多的国际著名 IT 企业都将生产部门转到中国,部分企业将研究、开发部门也逐步转到中国。同时,中国的企业也正越来越多地参与全球市场竞争。经济全球化越加剧,产品的竞争就越激烈,而产品的竞争最终是人才的竞争。中国能否培养出更多的优秀工程师,已经成为中国电子行业迅猛发展的一个必不可少的因素了。

市场决定技术的发展。在这样的环境下,电子类产品的开发已经成为当今的热点。本套丛书就是在这种条件下,为满足广大读者的需要应运而生的。

首先声明一点:下面的意见,仅仅是我个人对该套图书的内容与质量的理解和看法,其他读者完全可以在阅读本套丛书之后,提出不同的意见。

1. 丛书覆盖范围

本套丛书覆盖了 ARM 编程、FPGA 开发、DSP 开发、单片机编程、USB 接口等多种技术。

2. 基本形式

(1) 内容结构:首先简要介绍了基础知识(例如硬件基本内部结构、开发工具和方法、基本指令、开发流程等),然后对应用系统项目开发实例进行了详细的讲解。

(2) 表现形式:以技术性强的热门实例介绍为主线,全书基本遵照电子系统开发的基本步骤和思路进行详细讲解,讲解中穿插了经验、小技巧与注意事项。

3. 实例的安排

在本套丛书中,每本书都以案例为核心向读者介绍和传递相关的技术,所选用的大多数案例都具有代表性、技术领先性以及应用广泛性,是每一位作者多年开发经验的推广与总结。

每本书附带一张光盘,内容包括书上所介绍的案例的源程序和电路图。这样安排的目的是方便读者在实际工作中充分借鉴,进一步加深对该项电子技术的理解,提高读者应用开发的能力。

4. 本书作者的优势

本套丛书的作者全部都具有多年的电子产品开发和编程经验,有的在全国电子设计大赛中获过奖,在公司中担任项目开发部经理或技术骨干;有的是大学实验室的指导老师,从事过许多科研项目的设计、开发,在专业报刊上发表过许多学术论文,在学术和实际开发中都积累了很多经验。正是这些作者高水平的实际开发能力与丰富的经验积累,保证了本套丛书的质量。

5. 读者对象

本套丛书面向高校计算机、电子、自动化及相关硬件专业的在校大学生以及从事电子开发的科研人员。

科研人员通过学习，可以提高工作中的开发能力，解决和完善实际工作方案；对于在校大学生，光盘中附有丰富的实例硬件原图文件和程序源代码，只要稍加修改，便可应用于自己的学习中，或者完成自己的课题（毕业设计），物超所值。

6. 个人对本套丛书的期望和评价

本套丛书主要偏重于实用性，具有很强的工程实践指导性。所有的例子都是作者本人独自或主要负责完成调试通过并且大部分已进入商品化。衷心地希望本套丛书能够使广大读者受益非浅，并受到广大科研人员以及相关专业大学生的青睐。

韦 岗

2005 年 4 月

韦岗简历：

1963 年 1 月出生，现任华南理工大学电子与信息学院院长。历任副教授、教授、博士生导师（1996 年 5 月），享受国务院政府特殊津贴（1997 年）。

长期从事电子信息领域的教学与研究。研究领域包括：数字无线通信、多媒体信息处理等。先后主持过国家部委、广东省、广州市及企业各级科研项目等 30 多项。获得国家专利 9 项，在国内外著名刊物上发表论文 50 多篇，包括 4 篇 IEEE 汇刊全文论文，被三大索引收录 30 多篇次。获得国家教委、广东省及广州市各级科研多项奖励。1999 年获广东省“五一”劳动奖章及首届广东省“五四”青年奖章。

担任职务：被聘为国家自然科学基金电子与信息学科评委、国际学术刊物“Real Time Systems”（美国）、国家一级学报《电子学报》、《通信学报》、“Control Theory and Applications”及《控制理论与应用》编委、中国电子学会集成电路系统设计委员会副主任等。

被聘为广东省电子政务专家组成员、广东省产业政策咨询委员会委员、广东省电子类正高级职称评审委员会委员、广州市发展信息产业专家组组长、广州市天河软件园（国家火炬计划软件产业基地）专家组组长、广州市电子行业协会副会长。

前 言

目前,单片机的产量仍以每年 27% 的速度递增,性能日臻完善,开创了微控技术的新天地。尽管如此,8 位单片机由于其价格低廉、使用方便,仍然是市场的主流产品。学习单片机原理,掌握单片机技术,具有重要的意义。

PIC 单片机是美国 MICROCHIP (微芯) 公司推出的一种 8 位单片机,其硬件系统设计简捷,指令系统设计精炼,采用精简指令集 (RISC) 和哈佛双总线结构,还具有速度高、功耗低、驱动电流大、控制能力强等优点,能满足用户的各种需要。在所有的单片机中,PIC 单片机是最容易学习、最容易应用的单片机品种之一。从中档产品 PIC16F877 作为切入点,对于单片机的初学者来说,将会取得事半功倍的效果。

目前市面上关于 PIC 单片机的参考书大都偏重讲述其原理,对应用实例涉及不多。本书在介绍原理的同时,重点给出了 6 个综合性的实例,引领读者走进单片机的殿堂。全书共 10 章,主要包括:

第 1 章:概述。介绍单片机的发展与结构,PIC 单片机的品种及其优越性,此外还介绍了 PIC 单片机的开发工具,使读者对单片机及其开发有一定的了解。

第 2 章:PIC16F87X 的内部结构和指令系统。

第 3 章:中断系统。主要是 PIC 单片机中的中断源分析以及中断的处理过程。

第 4 章:PIC16F87X 硬件结构。这是本书的一个重点,是进行 PIC 单片机开发的基础知识,详细介绍了 PIC16F87X 单片机的各个功能模块的工作原理,包括输入/输出端口、定时/计数器、ADC 模块、CCP 模块、SPI 串行通信模块、I²C 通信模块和 USART 串行通信模块等。

第 5 章:智能温度显示仪开发实例。介绍一种温度测量仪表的软硬件设计,主要涉及温度检测、数码管显示和报警。该实例开发难度不算太大,可供读者入门之用。

第 6 章:水位检测仪开发实例。介绍了一种低成本的数码管显示驱动方案和水位检测方法。

第 7 章:电动自行车遥控检测装置开发实例。主要介绍了无线发射/接收模块和微型打印机在 PIC 单片机系统中的应用。此外,本章中还涉及到一些定点数四则运算和数制转换等常用程序。

第 8 章:带温压补偿的智能涡轮流量计开发实例。介绍了一种用于测量饱和蒸汽流量,并能进行温度和压力补偿的智能仪表的软硬件设计。内容涉及涡轮流量计、温度和压力传感器、LCD 显示模块的使用以及温度补偿的实现。

第 9 章:基于 PIC16F877 的自主机器人开发实例。介绍了用于第二届全国大学生机器人电视大赛的自主机器人控制系统制作的全过程。

第 10 章:智能路灯节能控制器开发实例。这是本书内容最为丰富的一个实例,涉及到了电量计量芯片、实时时钟芯片、键盘显示驱动芯片、铁电存储器以及 RS-485 接口芯片等

的应用，此外 I²C、SPI 以及 USART 通信在本章中都得到了充分的体现。

PIC 单片机初学者应该先仔细研读前 4 章内容，然后再结合实例部分，充分掌握 PIC16F87X 系列单片机的使用。有一定单片机基础的读者，也可以直接阅读本书的实例部分。

本书由张宏伟、罗翼主编，其中第 8 章由魏鸣编写，贝能科技有限公司的张国利先生参与编写了开发工具的内容。另外，郑睿、侯亮、许杨飞、陈宸、黄巍、黄浩、许荣、曹光明、沈江波、张强、王孔明、袁瑞波、张晓敏、罗媛、李伟、王鹏、王丽娟、秦龙、王渝梅、张晓平、田丽、金成江、尹才华、钱林杰、刘轶等在书稿校对、资料整理和技术支持方面做了大量的工作，在此一并向他们表示感谢！此外，还要特别感谢我们的父母，他们在本书的写作中给与了我们很大的鼓励和支持！

由于时间仓促，再加之作者的水平有限，书中难免存在一些不足之处，欢迎广大读者批评和指正。

作 者

2005 年 4 月

目 录

丛书序

前 言

第 1 章 概述

1.1 单片机的发展及现状	1
1.1.1 单片机的发展	1
1.1.2 单片机的现状	2
1.2 单片机的结构	3
1.3 PIC 单片机的优越性	4
1.4 PIC 单片机的系列产品	7
1.4.1 基本级 PIC 系列单片机	7
1.4.2 中级 PIC 系列单片机	8
1.4.3 高级 PIC 系列单片机	10
1.5 PIC 系列单片机的开发工具	11
1.5.1 PIC 系列单片机的仿真器	12
1.5.2 PIC 系列单片机的编程器及开发套件	17
1.5.3 PIC 系列单片机的集成开发环境	21
1.6 本章小结	22

第 2 章 PIC16F87X 的内部结构和指令系统

2.1 PIC16F87X 的主要特色	23
2.1.1 PIC16F87X 微控制器核的特色	23
2.1.2 PIC16F87X 微控制器外围特色	24
2.2 PIC16F87X 的内部结构分析	25
2.2.1 PIC16F87X 单片机的核心模块	26
2.2.2 PIC16F87X 单片机的外围模块	27
2.3 PIC16F87X 的引脚功能	28
2.4 CPU 的特色	34
2.4.1 系统配置	34
2.4.2 振荡器配置	36
2.4.3 复位	38

2.4.4 中断	44
2.4.5 监视定时器 WDT	44
2.4.6 睡眠模式	47
2.4.7 在线调试	48
2.4.8 程序代码保护	49
2.4.9 用户标识码	49
2.4.10 在线串行编程技术 ICSP (In-Circuit Serial Programming)	49
2.5 指令系统	50
2.5.1 PIC 汇编语言指令格式	50
2.5.2 PIC16F87X 指令集	51
2.5.3 伪操作指令	57
2.5.4 寻址方式	61
2.6 本章小结	63

第 3 章 中断系统

3.1 中断的基本概念	65
3.2 PIC16F87X 的中断源及中断逻辑	66
3.2.1 PIC16F87X 的中断源	66
3.2.2 PIC16F87X 的中断逻辑	69
3.3 与中断相关的寄存器	70
3.4 CPU 对中断的处理	74
3.5 本章小结	77

第 4 章 PIC16F87X 硬件结构

4.1 输入/输出端口	79
4.1.1 RA 端口	79
4.1.2 RB 端口	80
4.1.3 RC 端口	81
4.1.4 RD 端口	82
4.1.5 RE 端口	83
4.2 定时/计数器	83
4.2.1 定时/计数器 TMR0	84
4.2.2 定时/计数器 TMR1	87
4.3 ADC 模块	94
4.3.1 A/D 转换的种类及其工作原理	95
4.3.2 PIC16F87X 中 ADC 模块的结构和原理	97
4.3.3 PIC16F87X 中与 ADC 相关的寄存器	99
4.3.4 ADC 模块操作的时间要求	102
4.3.5 A/D 转换的操作过程	104

4.3.6	睡眠中的 A/D 转换操作	105
4.3.7	复位对 ADC 的影响	106
4.3.8	A/D 转换的精度和误差	106
4.4	CCP 模块	106
4.4.1	输入捕捉工作模式	107
4.4.2	输出比较工作模式	110
4.4.3	PWM 工作模式	111
4.5	SPI 串行通信模块	115
4.5.1	SPI 模式的内部结构	116
4.5.2	SPI 模式的工作原理	116
4.5.3	SPI 模式的相关寄存器	120
4.6	I ² C 通信模块	122
4.6.1	I ² C 总线概述	124
4.6.2	MSSP 模块中 I ² C 模式及其相关的寄存器	125
4.6.3	I ² C 总线的从动模式	129
4.6.4	I ² C 总线的主控模式	132
4.6.5	I ² C 模式下的几种时序	135
4.6.6	时钟仲裁	138
4.6.7	多主机通信、总线冲突和总线仲裁	138
4.6.8	I ² C 总线的有关接线	142
4.7	USART 串行通信模块	144
4.7.1	USART 波特率发生器 (BRG)	145
4.7.2	USART 的异步模式	146
4.7.3	USART 的同步模式	150
4.7.4	与 USART 模块相关的寄存器	155
4.8	本章小结	158

第 5 章 智能温度显示仪开发实例

5.1	系统功能说明	159
5.2	工作原理及实现方法	159
5.2.1	温度检测及数据采集	159
5.2.2	标度变换	160
5.2.3	数据显示与报警	161
5.3	系统软件设计	165
5.3.1	主程序流程图	165
5.3.2	数码管显示子程序	166
5.3.3	初始化程序	166
5.3.4	延时子程序	166
5.3.5	标度变换子程序	167

5.3.6 修改报警上下限程序.....	167
5.4 程序清单及注释.....	169
5.5 本章小结.....	180

第6章 水位检测仪开发实例

6.1 设计背景.....	181
6.2 功能说明.....	181
6.3 基本原理与实现方法.....	181
6.3.1 水位检测与数据采集.....	182
6.3.2 数码管与LED显示.....	183
6.4 系统软件设计.....	186
6.4.1 初始化程序.....	186
6.4.2 TMR1 中断服务程序.....	187
6.4.3 数据转换子程序.....	187
6.4.4 TMR0 中断服务程序.....	188
6.5 程序清单及注释.....	189
6.6 本章小结.....	198

第7章 电动自行车遥控检测装置开发实例

7.1 检测装置面板及操作.....	199
7.2 硬件设计.....	200
7.2.1 前向通道设计.....	200
7.2.2 后向通道设计.....	202
7.3 软件设计.....	204
7.3.1 主程序.....	204
7.3.2 子程序.....	205
7.4 程序清单及注释.....	207
7.5 本章小结.....	231

第8章 带温压补偿的智能涡轮流量计开发实例

8.1 系统功能说明.....	233
8.2 涡轮流量计的原理与特点.....	233
8.2.1 涡轮流量计的原理.....	233
8.2.2 涡轮流量计的特点.....	234
8.3 系统硬件构成与实现.....	235
8.3.1 流量信号的检测与采集.....	235
8.3.2 温度信号采集模块的设计.....	236
8.3.3 压力信号采集模块的设计.....	238
8.3.4 键盘模块的设计.....	240

8.3.5 显示模块的设计	241
8.4 系统软件的构成与实现	245
8.4.1 主程序	245
8.4.2 初始化程序	246
8.4.3 中断服务程序	246
8.4.4 AD 转换子程序	248
8.4.5 计算子程序	252
8.5 程序清单及注释	253
8.6 本章小结	281

第 9 章 基于 PIC16F877 的自主机器人开发实例

9.1 机器人研究背景	283
9.1.1 机器人的发展史	283
9.1.2 机器人的分类	284
9.2 机器人赛事	285
9.2.1 比赛意图	285
9.2.2 比赛场地	285
9.2.3 比赛规则	287
9.3 机器人驱动装置和传感器	287
9.3.1 驱动电动机的选择	288
9.3.2 传感器的选择	291
9.4 系统硬件	293
9.4.1 电源的设计	293
9.4.2 前向通道设计	294
9.4.3 后向通道设计	297
9.4.4 自主机器人抗干扰的考虑	300
9.5 系统软件	301
9.5.1 主程序设计	301
9.5.2 中断服务程序设计	302
9.5.3 子程序设计	304
9.6 程序清单及注释	309
9.7 本章小结	328

第 10 章 智能路灯节能控制器开发实例

10.1 路灯控制器概述	329
10.2 系统硬件组成	332
10.2.1 电工参数测量通道	333
10.2.2 实时时钟芯片	337
10.2.3 铁电存储器	341

10.2.4	键盘显示驱动.....	343
10.2.5	数字量输入/输出通道.....	346
10.2.6	通信	347
10.3	系统软件.....	348
10.3.1	主程序	348
10.3.2	中断服务程序.....	349
10.3.3	子程序	351
10.4	程序清单及注释	357
10.5	本章小结.....	391

参考文献

第 1 章 概 述

计算机的发展经历了从电子管、晶体管、集成电路到大规模集成电路共 4 个发展阶段。微型计算机是大规模集成技术发展的直接产物,属于第四代计算机。随着微型机的研制成功,不久就出现了单片微型计算机(Single Chip Microcomputer),又称单片机或微控制器(MCU)。它在一块芯片上集成了中央处理器单元(CPU)、只读存储器(ROM)、随机存储器(RAM)、定时/计数器以及 I/O 接口电路等主要计算机部件。换言之,它就是把微型计算机所有的功能部件都集成在一块芯片上了,故国内常称其为单片机。由于单片机体积小、质量轻、功耗低、价格便宜、控制能力强、运行稳定可靠,自问世以来,在各种领域得到广泛的应用。

本章主要包括:

- 单片机的发展及现状。
- 单片机的结构。
- PIC 单片机的优越性。
- PIC 单片机的系列产品。
- PIC 系列单片机的开发工具。

1.1 单片机的发展及现状

1.1.1 单片机的发展

通常按单片机数据总线的位数,将单片机分为 4 位、8 位、16 位和 32 位机。

1975 年,世界上第一个 4 位单片机在德州仪器(TI)公司诞生。后来陆续出现了 OKI 公司的 MSM64164C、MSM64481; NEC 公司的 75006XX 系列; EPSON 公司的 SMC62 系列等 4 位单片机。

1976 年 9 月 INTEL 公司推出了 MCS-48 系列单片机; 1978 年 10 月 ZILOG 公司推出 Z-8 系列单片机; 同时 MOTOROLA 公司推出指令系统与 68000 系列微处理机兼容的单片机 6801; 1980 年 INTER 公司又推出了高性能的 8 位机 MCS-51, 它采用 CMOS 工艺替代了以 8048 为代表的 NMOS 工艺, 使得单片机发展到第二代, 至今, MCS-51 仍然是市场上的主流产品之一。

1983 年, INTEL 公司的 16 位单片机 MCS-96 研制成功。此后, 各大公司的 16 位单片机相继问世, 如 TI 的 MSP430 系列及 MOTOROLA 的 68HC11 系列。

32 位单片机是近年来发展起来的, 它顺应了基于 Internet、无线数字传输的嵌入式应用领域的需求, 目前各主要半导体生产商(如 MOTOROLA、TOSHIBA、HITACH、NEC、EPSON、MITSUBISHI、SAMSUNG 等) 均有 32 位单片机产品, 其中又以 32 位 ARM 单片机及 MOTOROLA 的 MC683XX、68K 系列应用相对广泛。

从以上单片机的发展时间来看, 其发展经历了四代。

20 世纪 70 年代后期, 4 位逻辑控制器件发展到 8 位。使用 NMOS 工艺, 速度低, 功耗

大、集成度低，通常称这一时期的单片机为第一代单片机。

20 世纪 80 年代初，采用 CMOS 工艺，并逐渐被高速、低功耗的 HMOS 工艺代替。代表产品有 MC146805、Intel 8051，这标志着第二代单片机的问世。

近 10 年来第三代 MCU 的发展出现了一些新特点：

- (1) 在技术上，由可扩展总线型向纯单片型发展，即只能工作在单片方式。
- (2) MCU 的扩展方式从并行总线型发展出各种串行总线。
- (3) 将多个 CPU 集成到一个 MCU 中。
- (4) 功耗更低，可靠性更高，MCU 工作电压已降至 3.3V。

FLASH 的使用，标志着 MCU 技术进入了第四代。

从 20 多年来的单片机发展历程可以看出，单片机技术的发展以微处理器技术和大规模集成电路发展为基础，以广泛的市场需求为动力，其特点表现在以下几个方面：

(1) 单片机的生命周期长。与 MCU 相比，CPU 更新换代的速度越来越快，从 386、486、586 到 P4，几乎每隔不到两年，微处理器就有一次换代，微软总裁比尔·盖茨曾指出这个时间是 18 个月。而传统的单片机（如 8051、68HC05 等）已有近 20 年，产量仍处于上升势头。微芯公司的 PIC 单片机问世已多年，在国内市场的销量仍呈上升趋势，而且随着 I/O 功能模块的不断丰富，有望获得较长的生存周期。

(2) 接口功能的不断丰富。这里所说的接口是指各种传感器接口、工业对象的电气接口、驱动功率接口、通信网络接口，这是单片机的应用日益广泛的结果。如今，单片机可以轻松地和一些工业总线（如 RS232、RS485）接口。

(3) 单片机速度越来越快。一方面在软件设计上，通过改善单片机的内部时序，在不提高时钟频率的条件下，运算速度得到了提高；另一方面，随着硬件技术的进步，高速单片机不断出现，迄今为止，高版本的 ARM 处理器内核已经达到了 1GHz 以上的时钟频率。

(4) 低电压与低功耗。几乎所有的单片机都有 Wait、Stop 等省电运行方式，允许使用的电源电压范围也越来越宽。一般单片机工作电压都在 3V~6V，由电池供电的单片机不再需要对电源采取稳压措施。低电压供电的单片机电源下限已由 2.7V 降至 2.2V 或 1.8V。还有 0.9V 供电的单片机也已经问世。

1.1.2 单片机的现状

总的来说，单片机的发展与 PC 机不同，后者是不断淘汰落后的，而单片机能否生存则关键看其是否方便实用，而不是单纯以速度快、位数高、功能全来提高市场占有率，因此不同档次和性能的单片机均占有一定的市场份额，目前，单片机的产量仍以每年 27% 的速度递增。据不完全统计，全世界嵌入式单片机的品种总量已经超过 1000 多种，主流的体系结构有 30 多个系列，其中多半为 8051 体系。生产 8051 单片机的半导体厂家有 20 多个，共 350 多种衍生产品。最近一项关于单片机市场占有率的调查如图 1.1 所示。

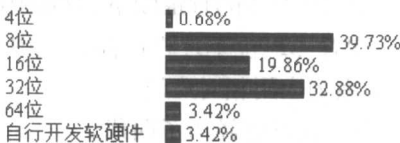


图 1.1 单片机市场占有率对照图

由图可见, 8 位单片机仍然是市场的主流产品。本书所介绍的美国 MICROCHIP (微芯) 公司 PIC 单片机就是一种 8 位单片机, 它采用了哈佛总线结构、精简指令集、流水线指令结构以及灵活方便的外围接口, 自推出以来, 在国内已迅速得到推广。

随着集成工艺水平的不断提高, 单片机的发展逐渐形成了两种趋势: 一是功能不断完善, 在实现相同功能的前提下减少外围电路。比如 PIC16F87 系列单片机片内集成有 10 位 A/D 转换器, 就不需要外接专用的 A/D 转换芯片; 自带 WDT 看门狗电路, 也不需要设计专门的看门狗电路。二是高速的海量数据处理。在图像处理、雷达系统等对数据处理速度和实时性要求高的场合, 专用的数字信号处理芯片 DSP 应运而生。专门的硬件设计以及指令系统, 大大缩短了运算的指令周期, 使得 DSP 的数据处理能力可以达到并超过 PC 机。除此之外, 近年来还出现了神经元单片机、用于计算机网络和并行处理的信息驱动处理器 (MDP) 等新型单片机, 它们都是基于提高单片机速度和处理能力的思想而产生的。

单片机已渗透到我们生活的各个领域。从军事上导弹的导航装置、各种航空仪表, 到工业中的实时控制和数据处理装置、计算机的网络通信与数据传输系统、汽车的电子系统、工业机器人、智能仪表, 以及日常生活中使用的各种智能 IC 卡、数码相机、全自动洗衣机、玩具、电子宠物等, 这些都离不开单片机。作为主流单片机的 8 位机仍将在多个领域扮演重要角色。

1.2 单片机的结构

单片机具有计算机的 3 个基本组成要素: CPU、存储器、I/O 设备。除此之外, 针对不同的功能需求, 还集成了数量不等的外围设备模块, 从而具备了独立的控制能力。

1. 中央处理单元

中央处理单元 (CPU) 为单片机的核心, 它主要由运算器 (ALU)、控制器和寄存器组成。

ALU 以全加器为基础, 辅之以移位寄存器及相应控制逻辑组合而成的电路, 在控制信号的作用下可完成加、减、乘、除四则运算和各种逻辑运算, 专门负责数据运算。

控制器是整个 CPU 的指挥控制中心, 由指令寄存器 IR (Instruction Register)、指令译码器 ID (Instruction Decoder) 和操作控制器 OC (Operation Controller) 3 个部件组成, 对协调整个 CPU 有序地工作极为重要。它根据用户预先编好的程序, 依次从存储器中取出各条指令, 放在指令寄存器 IR 中, 通过指令译码确定应该进行什么操作, 然后通过操作控制器 OC, 按确定的时序, 向相应的部件发出微操作控制信号。

这里所谓的寄存器是指 CPU 中暂时存放数据的地方, 里面保存着那些等待处理的数据, 或者已经处理过的数据, CPU 访问寄存器所用的时间要比访问内存的时间短。采用寄存器, 可以减少 CPU 访问内存的次数, 从而提高 CPU 的工作速度。

CPU 通过单片机的内总线和外部的存储器与外围设备进行数据交换。

2. 存储器

存储器主要分为只读存储器 (ROM) 和随机存取存储器 (RAM), 二者又分别称为程序存储器和数据存储器。

ROM 主要存放程序代码，且容量很大。常用的 ROM 有：

(1) 掩膜 ROM。利用掩膜工艺制造，程序一经写入就不能再修改。大批量生产时，成本很低。

(2) 可编程 ROM (简称 PROM)。一次性写入程序，类似掩膜 ROM。

(3) 可擦除 PROM (简称 EPROM)。这种存储器可由用户按规定的方法多次编程，如想修改程序，可用专用紫外线擦除器照射擦除。

(4) 电可擦除 PROM (简称 E²PROM)。以字节为单位擦写，而不需取下芯片插入编程器编程。

(5) FLASH (又称闪存)。顾名思义，可以进行快速地擦写。同时，存储容量大。

RAM 为数据存储器，有的单片机有片内 RAM 和片外 RAM 之分 (如 51 系列)，其区别在于 CPU 访问数据的速度不同。RAM 主要用于存放用户设置的变量以及程序运行过程中的中间变量等，可以随机读写，其容量不大，一般只有几百字节。

3. I/O 端口

在单片机中，并行 I/O 端口是一个集数据输入缓冲、数据输出驱动及锁存等多项功能于一体的 I/O 电路，是单片机与外界进行数据交换的最基本的通道。

4. 其他外围设备

单片机的其他外围设备一般有异步串行通信口、定时/计数器、A/D、D/A、PWM、DMA、HSI、HSO、复位电路及时钟电路。由于不同的单片机集成的外围设备不同，其功能和适用场合就不同。如 A/D 模块适用于仪表的模拟电压采样，PWM 可以用于电机的转速控制，HSI 和 HSO 用于高速的数字通信等。

时钟电路用于产生单片机工作所需要的时钟信号，单片机本身就是一个复杂的同步时序电路，为了保证同步工作模式的实现，电路应在惟一的时钟信号控制下严格地按时序进行工作。而时序控制所研究的就是指令执行中各信号之间的相互时间关系。

1.3 PIC 单片机的优越性

美国微芯公司是一家专门从事单片机开发、研制和生产的半导体厂商。其 PIC 单片机率先采用了精简指令集 (Reduced Instruction Set Computer, RISC) 结构，突破了传统单片机对 PC 机在结构上存在的自然依赖性，加上哈佛总线的存储器结构、两级流水线指令结构、单周期指令等技术，从而在单片机硬件结构上独辟蹊径，大大提高了系统运行的效率。除此之外，针对单片机应用的特点，从功耗、驱动能力、外围模块设计等方面，PIC 单片机也有一些独到之处，从而使得 PIC 成为了一款方便实用的高性价比的单片机。以下对其优越性分别加以分析：

1. 精简指令集技术

传统的单片机生产厂商采用复杂指令集 (Complex Instruction Set Computer, CISC) 结构，在设计上多带有 PC 机 CPU 结构的痕迹，采用 CISC 结构的单片机指令通常为 50~110 条，且多是多周期指令。而 PIC 的指令系统则是专门根据小型机特点设计的，力求每一条指令达到更高的效率，减少指令功能的重复。高中低档的 PIC 单片机指令数分别为 58 条、35 条和

33 条。这就带来了两方面的好处，一方面可以使代码的利用率大大提高，有利于提高执行速度，另一方面给用户学习、记忆和应用带来了极大的好处，编程和调试相对就更加容易，而且同样的功能所需的编码减少，节约了开发时间。

2. 哈佛 (Harvard) 总线结构

所谓哈佛结构是指程序存储器和数据存储器独立编址，即两者位于不同的物理空间。与之相对的是冯·诺依曼结构（又称普林斯顿结构），其程序存储器和数据存储器位于同一物理空间。冯·诺依曼结构的单片机指令和数据在同一存储空间，限制了工作的带宽，同时数据读取的可靠性也得不到很好的保证。而哈佛结构将二者分开，从而避免了这种瓶颈效应。INTER 公司的 MCS-51 系列单片机采用了哈佛结构，但是程序和数据共用一条总线，在总线上仍然类似有冯·诺依曼结构的瓶颈效应，不能充分体现哈佛结构的优越性；而 PIC 系列单片机不仅采用了哈佛体系结构，还采用了哈佛总线结构，从而充分发挥了哈佛结构的潜在优势，大大提升了系统的运行效率和数据可靠性。两种结构的示意图分别如图 1.2 (a) 和图 1.2 (b) 所示。

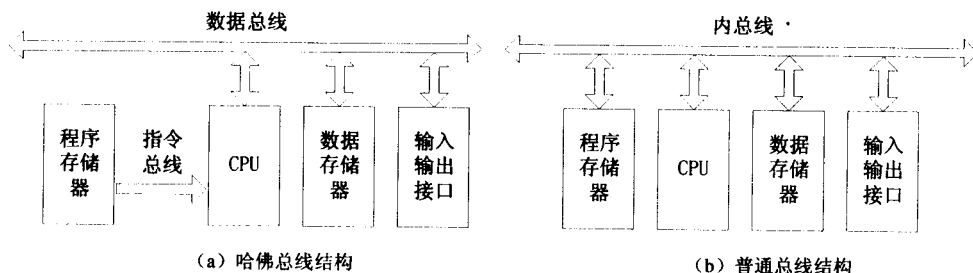


图 1.2 两种总线结构对比

3. 单字节指令

单字节指令对单片机系统是一个革新性的变化。从系统内部机理来讲，采用普林斯顿结构的单片机数据存储器 and 程序存储器统一编址，共用总线，故 8 位机的指令总线（也即程序总线）必然也是 8 位。但是由于数据线和指令总线的分离，8 位单片机的指令总线可以不是 8 位，即所谓的宽字位指令。高中低档的 PIC 单片机的指令位数分别为 16 位、14 位、12 位。ROM 和 RAM 的寻址相对独立，所有的指令实现了单字节化，这样一来，不仅使数据的存取更加安全，其运行速度也得到了显著的提高。从应用上来讲，一方面寻址方式变得简单，PIC 单片机只有 4 种寻址方式，而 51 单片机为 7 种，68HC05 为 6 种；另一方面节省了存储器空间，提高了代码压缩率，与同类单片机相比，相同的存储器空间可以储存更多的指令。

4. 两级流水线指令结构

由于采用了哈佛总线结构，在芯片内部将数据总线和指令总线分离，并且采用了不同的总线宽度，这样一来，在处理一条指令的同时可以对下一条要执行的指令进行预处理，而不必担心与数据读取产生冲突，这样就可以避免瓶颈效应，所谓预处理就是取指令的过程，从而产生了 PIC 单片机的两级流水线结构。如图 1.3 所示，当一条指令被执行时，下一条指令同时被取出，使得在每个时钟周期可以获得更高的效率。