



“十二五”职业教育
国家规划教材
经全国职业教育教材
审定委员会审定

单片机原理及应用技术

—基于 C51 的 Proteus 仿真及实板案例

(第 4 版)

李全利 编著

高等教育出版社



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

DANPIANJI YUANLI JI YINGYONG JISHU

单片机原理及应用技术

—基于 C51 的 Proteus 仿真及实板案例

(第 4 版)

李全利 编著

高等教育出版社·北京

内容提要

本书为普通高等教育“十二五”国家级规划教材(高职高专教育)。书中系统地介绍了80C51系列单片机的原理及应用技术,较好地体现了应用型人才的培养要求,其特点为:

着力片上资源、强化编程训练。尽管新型单片机芯片不断推出,但片上基本资源仍保持稳定。掌握单片机技术就是用应用程序调度单片机片内及扩展资源的工作。本书采用C51语言为编程工具讲述程序的设计方法与技巧,并将开发平台 μ Vision的运用、Proteus软件仿真及实板验证贯穿教材的始终。

适合教师讲授、易于学生阅读。本书选材规范,通俗易懂,每章都配有小结、思考题及实训内容。对教师提供配套课件。该教材在串行扩展、C51应用实践和Proteus仿真方面特色突出,反映了单片机应用技术的发展趋势。

本书可以作为高职高专自动化、计算机、电气技术、应用电子技术以及机电一体化等专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用技术:基于C51的Proteus仿真及
实板案例/李全利编著.--4版.--北京:高等教育
出版社,2014.8

ISBN 978-7-04-039338-5

I. ①单… II. ①李… III. ①单片微型计算机-高等
职业教育-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第015098号

策划编辑 孙薇 责任编辑 孙薇 封面设计 张申申 版式设计 于婕
插图绘制 尹莉 责任校对 胡晓琪 责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 涿州市京南印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 23
字 数 440千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2003年3月第1版
2014年8月第4版
印 次 2014年8月第1次印刷
定 价 38.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 39338-00

出版说明

教材是教学过程的重要载体,加强教材建设是深化职业教育教学改革的有效途径,推进人才培养模式改革的重要条件,也是推动中高职协调发展的基础性工程,对促进现代职业教育体系建设,切实提高职业教育人才培养质量具有十分重要的作用。

为了认真贯彻《教育部关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》(教职成[2012]9号),2012年12月,教育部职业教育与成人教育司启动了“十二五”职业教育国家规划教材(高等职业教育部分)的选题立项工作。作为全国最大的职业教育教材出版基地,我社按照“统筹规划,优化结构,锤炼精品,鼓励创新”的原则,完成了立项选题的论证遴选与申报工作。在教育部职业教育与成人教育司随后组织的选题评审中,由我社申报的1338种选题被确定为“十二五”职业教育国家规划教材立项选题。现在,这批选题相继完成了编写工作,并由全国职业教育教材审定委员会审定通过后,陆续出版。

这批规划教材中,部分为修订版,其前身多为普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专)或普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专),在高等职业教育教学改革进程中不断吐故纳新,在长期的教学实践中接受检验并修改完善,是“锤炼精品”的基础与传承创新的硕果;部分为新编教材,反映了近年来高职院校教学内容与课程体系改革的成果,并对接新的职业标准和新的产业需求,反映新知识、新技术、新工艺和新方法,具有鲜明的时代特色和职教特色。无论是修订版,还是新编版,我社都将发挥自身在数字化教学资源建设方面的优势,为规划教材开发配备数字化教学资源,实现教材的一体化服务。

这批规划教材立项之时,也是国家职业教育专业教学资源库建设项目及国家精品资源共享课建设项目深入开展之际,而专业、课程、教材之间的紧密联系,无疑为融通教改项目、整合优质资源、打造精品力作奠定了基础。我社作为国家专业教学资源库平台建设和资源运营机构及国家精品开放课程项目实施单位,将建设成果以系列教材的形式成功申报立项,并在审定通过后陆续推出。这两个系列的规划教材,具有作者队伍强大、教改基础深厚、示范效应显著、配套资源丰富、纸质教材与在线资源一体化设计的鲜明特点,将是职业教育信息化条件下,扩展教学手段和范围,推动教学方式方法变革的重要媒介与典型代表。

教学改革无止境,精品教材永追求。我社将在今后一到两年内,集中优势力量,全力以赴,出版好、推广好这批规划教材,力促优质教材进校园、精品资源进课堂,从而更好地服务于高等职业教育教学改革,更好地服务于现代职教体系建设,更好地服务于青年成才。

高等教育出版社

2014年7月

前 言

本书为普通高等教育“十二五”国家级规划教材(高职高专教育)。该教材旨在达到理论与实践结合、知识与案例统一,注重培养学生运用知识的创新能力和解决实际问题的工程能力。在观念上力求工程科学与工程实践并重,在内容上突出典型开发环境、典型芯片和典型案例,在风格上力求实用、宜教易学。本教材编写目标为:

第一,体现“工程科学”理念。教材内容注意体现与前后课程之间的有机联系。对于单片机内部结构自始至终沿袭“CPU-存储器-I/O接口”的讲授主线,使单片机原理课程成为微型计算机原理与接口课程的典型案例,同时渐进体现嵌入式系统技术基本概念,全面强化学生对“计算机”这一经典工具的全面理解和认识,明确了单片机在计算机技术体系中的特殊地位。

第二,强化“工程实践”要求。单片机的应用,本质上讲就是由其片上资源的熟知,进而完成对这些资源的使用及扩充。该教材注意培养学生解决工程问题的能力,将计算机硬件知识与软件应用有机结合。书中全部程序均通过了 μ Vision平台和开发板的调试运行。每章均配置了经过验证的渐进案例。

第三,突出当前流行技术。串行扩展技术的广泛使用是当今单片机系统设计的趋势,本教材系统地介绍了几种目前应用广泛的串行接口芯片;C51语言编程技术已经广泛流行,该教材全面采用C51语言进行讲授,体现了单片机应用技术的发展方向。

第四,坚持宜教易学目标。作为工程应用型专业教材,在内容的选材上力求知识点经典实用,体系的完整连贯;在讲授的方法上注意简单易懂、层次分明、案例实用;在学生的阅读上力求提示醒目、插图新颖;在教学的组织上每章都配有小结、实训、思考题及习题。

第五,仿真+实板双验证。Proteus是单片机应用系统开发与学习的重要工具,利用其对单片机、接口电路和外设的仿真能力可以大大加快单片机应用系统的开发过程;学习单片机的最终目的依然是设计系统目标板,即能够开发系统的真实电路板;本书的所有程序均通过了Proteus软件仿真和真实目标板运行两种方式的验证。

本书由李全利编著。哈尔滨理工大学仲伟峰教授认真细致地审阅了全部书稿并提出了宝贵的意见,在此表示由衷的感谢。

依照内容典型、注重实用的教材目标,编者进行了许多思考和努力。由于水平的限制,本书

一定存在着许多不尽如人意之处。敬请读者提出宝贵意见和建议。

选用本书的教师可向编者免费索取授课资源。对本书的疑问和建议,可与编者联系。编者
E-mail:liquanli@163.com。

编著者

2014年2月

目 录

第 1 章 绪论	1	引脚功能	20
1.1 电子计算机概述	2	2.2 80C51 单片机的 CPU	21
1.1.1 电子计算机的经典结构	2	2.2.1 CPU 的功能单元	21
1.1.2 微型计算机的组成及其 应用形态	2	2.2.2 CPU 的时钟	24
1.2 单片机的发展过程及产品近况 ...	4	2.2.3 80C51 单片机的复位	26
1.2.1 单片机的发展过程	4	2.3 80C51 的存储器组织	27
1.2.2 单片机产品近况	5	2.3.1 80C51 单片机的程序存储器 配置	27
1.3 单片机的特点及应用领域	6	2.3.2 80C51 单片机数据存储器配置 ...	30
1.3.1 单片机的特点	6	2.3.3 80C51 单片机的特殊功能 寄存器(SFR)	32
1.3.2 单片机的应用领域	6	2.4 80C51 单片机并行口	34
1.4 单片机应用系统开发方法	7	2.4.1 P0 口、P2 口的结构	34
1.4.1 应用系统开发的概念	7	2.4.2 P1 口、P3 口的结构	37
1.4.2 应用系统主要开发工具	8	2.5 80C51 单片机最小系统	39
1.4.3 应用系统开发流程	10	2.5.1 最小系统的硬件构成	39
渐进实训	11	2.5.2 最小系统添加简单 I/O 设备 ...	39
实训 1 利用 μ Vision 平台生成可执行 目标程序	11	渐进实训	41
本章小结	15	实训 2A 发光二极管闪烁的实现与 硬件仿真	41
思考题及习题	15	实训 2B 发光二极管闪烁的 Proteus 软件仿真	44
第 2 章 80C51 的结构和原理	17	本章小结	47
2.1 80C51 的内部结构与引脚功能 ...	18	思考题及习题	47
2.1.1 80C51 的内部结构	18	第 3 章 80C51 的 C51 语言	
2.1.2 80C51 典型产品的资源配置 ...	18		
2.1.3 80C51 典型产品封装和			

程序设计	49	渐进实训	98
3.1 C51 对标准 C 的扩展	50	实训 4 数码管显示信息的 3 键调整 及 Proteus 仿真	98
3.1.1 C51 的数据类型	50	本章小结	104
3.1.2 C51 数据的存储分区	51	思考题及习题	104
3.1.3 C51 的编译模式	52	第 5 章 80C51 的中断系统及 定时/计数器	105
3.1.4 用_at_定义变量绝对地址	52	5.1 80C51 单片机的中断系统	106
3.2 C51 的指针	52	5.1.1 80C51 中断系统的结构	106
3.2.1 已定义数据存储分区的指针	53	5.1.2 80C51 的中断源	107
3.2.2 未定义数据存储分区的指针	53	5.1.3 80C51 中断的控制	109
3.2.3 利用指针实现绝对地址访问	53	5.2 80C51 单片机中断处理过程	111
3.2.4 C51 程序编写示例	54	5.2.1 中断响应条件和时间	111
3.3 C51 的函数	56	5.2.2 中断响应过程	112
3.3.1 C51 的函数定义	56	5.2.3 中断返回	113
3.3.2 C51 函数定义的选项	57	5.2.4 中断程序举例	113
3.3.3 C51 的库函数	59	5.3 80C51 的定时/计数器	118
渐进实训	60	5.3.1 定时/计数器的结构和 工作原理	118
实训 3 LED 流水灯实验验证及 Proteus 仿真	60	5.3.2 定时/计数器的控制	119
本章小结	63	5.3.3 定时/计数器的工作方式	120
思考题及习题	63	5.3.4 定时/计数器应用举例	124
第 4 章 80C51 人机接口技术	65	5.4 80C52 的定时/计数器 T2	130
4.1 LED、数码管及蜂鸣器的 接口技术	66	5.4.1 T2 的相关控制寄存器	130
4.1.1 LED 接口	66	5.4.2 T2 的工作方式	131
4.1.2 数码管接口	68	渐进实训	135
4.1.3 蜂鸣器接口	77	实训 5A 外部中断次数计数器及其 Proteus 仿真	135
4.2 按键及键盘接口技术	79	实训 5B 简易秒表的定时器实现及其 Proteus 仿真	138
4.2.1 独立按键接口	79	本章小结	141
4.2.2 键盘接口	85	思考题及习题	142
4.3 字符型 LCD 显示器接口技术	90	第 6 章 80C51 单片机的	
4.3.1 LCD1602 模块的外形及引脚	90		
4.3.2 LCD1602 模块的组成	90		
4.3.3 LCD1602 模块的命令	92		
4.3.4 LCD1602 模块的接口	93		

串行口	143	7.3 SPI 总线接口及其扩展	206
6.1 计算机串行通信基础	144	7.3.1 单片机扩展 SPI 总线的	
6.1.1 串行通信的基本概念	145	系统结构	206
6.1.2 串行通信接口标准	148	7.3.2 SPI 总线的数据传输时序	207
6.2 80C51 单片机的串行口	151	7.3.3 80C51 扩展 TLC5615 D/A	
6.2.1 80C51 串行口的结构	151	转换器	207
6.2.2 80C51 串行口的控制寄存器	152	7.3.4 80C51 扩展 TLC549 A/D	
6.2.3 80C51 串行口的工作方式	153	转换器	210
6.2.4 80C51 波特率确定与		渐进实训	212
初始化步骤	157	实训 7A 基于 AT24C02 的简易密码锁	
6.3 80C51 单片机串行口应用	158	及其 Proteus 仿真	212
6.3.1 利用单片机串口的并行 I/O		实训 7B 基于 TLC5615 的正弦信号	
扩展	158	发生器及其 Proteus 仿真	226
6.3.2 单片机与 PC 机间的串行通信	159	实训 7C 基于 TLC549 的数字电压表	
6.3.3 单片机与单片机间的串行		及其 Proteus 仿真	230
通信	165	本章小结	235
渐进实训	165	思考题及习题	236
实训 6A 单片机与 PC 机通信及		第 8 章 80C51 应用系统设计	237
其 Proteus 仿真	165	8.1 单片机应用系统设计	238
实训 6B 单片机与单片机通信及		8.1.1 系统设计的基本要求	238
其 Proteus 仿真	169	8.1.2 系统设计的步骤	238
本章小结	178	8.1.3 提高系统可靠性的方法	240
思考题及习题	178	8.2 课程设计案例——LCD 显示	
第 7 章 80C51 的串行总线扩展 ...	179	数字时钟设计	244
7.1 一线总线接口及其扩展	180	8.2.1 数字时钟的方案确定	244
7.1.1 单总线接口及其扩展	180	8.2.2 DS1302 芯片简介	245
7.1.2 DS18B20 的操作命令	183	8.2.3 DS1302 的操作子程序	248
7.1.3 DS18B20 的操作时序	183	8.2.4 数字时钟硬件电路	251
7.1.4 DS18B20 的操作函数	185	8.2.5 数字时钟的软件设计	251
7.1.5 DS18B20 应用实例	186	8.2.6 数字时钟系统的 Proteus 仿真	279
7.2 I ² C 总线接口及其扩展	191	8.3 毕业设计案例——单片机	
7.2.1 I ² C 总线基础	191	综合验证系统设计	280
7.2.2 80C51 的 I ² C 总线时序模拟	194	8.3.1 综合验证系统方案确定	280
7.2.3 80C51 与 AT24C02 的接口	196	8.3.2 HMI 及 Modbus 协议简介	281

8.3.3 综合验证系统的硬件电路·····	283	附录 B 80C51 单片机指令速查表 ···	333
8.3.4 综合验证系统的软件设计·····	286	附录 C C51 相关资源 ·········	337
8.3.5 综合验证系统的 Proteus 仿真 ···	318	附录 D 数制与编码的基础 ·······	348
本章小结 ·····················	319	附录 E ASC II 码表 ···········	351
思考题及习题 ·················	319	附录 F 常用芯片引脚 ··········	353
附录 ···························	321	参考文献 ·····················	354
附录 A Proteus 软件操作概览 ·····	322		

第1章

绪论

● 学习目标

- (1) 理解微型机的两种应用形态；
- (2) 熟悉主流单片机种类及型号；
- (3) 了解单片机系统的开发方法。

● 重点内容

- (1) 单片机的特点及应用领域；
- (2) 单片机应用系统开发过程；
- (3) μ Vision 平台基本操作方法。

1.1 电子计算机概述

1.1.1 电子计算机的经典结构

1946年2月15日,第一台电子数字计算机 ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer)问世。与当代的计算机相比,ENIAC有许多不足,但它的问世开创了计算机科学技术的新纪元,对人类的生产和生活方式产生了巨大的影响。

在研制 ENIAC 的过程中,冯·诺依曼在方案的设计上做出了重要的贡献,并提出了“程序存储”和“二进制运算”的思想,构建了计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备组成这一计算机的经典结构,如图 1.1 所示。

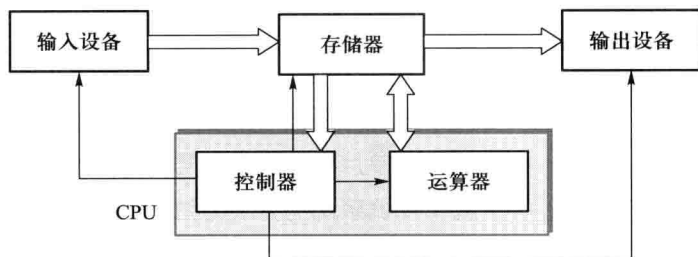


图 1.1 计算机的经典结构

计算机的发展,经历了电子管计算机、晶体管计算机、集成电路计算机、大规模集成电路计算机和超大规模集成电路计算机五个时代,但其组成仍然没有脱离这一经典结构。

1.1.2 微型计算机的组成及其应用形态

一、微型计算机的组成

1971年1月,英特尔公司的特德·霍夫在与日本商业通信公司合作研制台式计算器时,将运算器和控制器集成为一个集成电路芯片上(称为微处理器,即 CPU),并设计了另外的集成电路存储程序和数据,且采用 I/O 接口电路与输入/输出设备相连接。

CPU、存储器及 I/O 接口电路三部分构成了微型计算机,各部分通过地址总线(AB)、数据总线(DB)和控制总线(CB)相连,如图 1.2 所示。

在微型计算机基础上,再配以 I/O 设备和系统软件便构成了完整的微型计算机系统。

二、微型机系统的应用形态

微型机系统有两种主要的应用形态:桌面应用和嵌入式应用。图 1.3 为微型机两种应用形

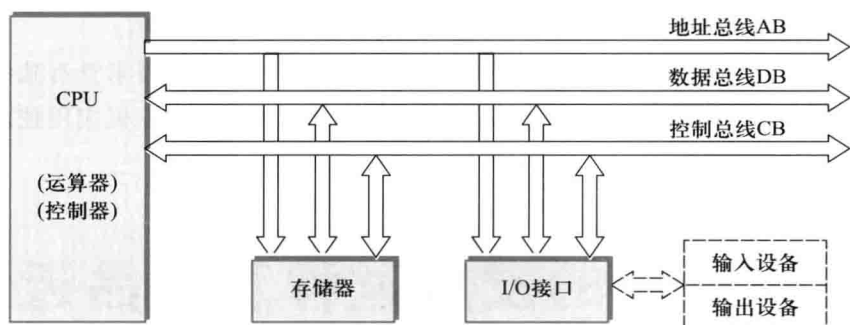


图 1.2 微型计算机的组成

态的比较。

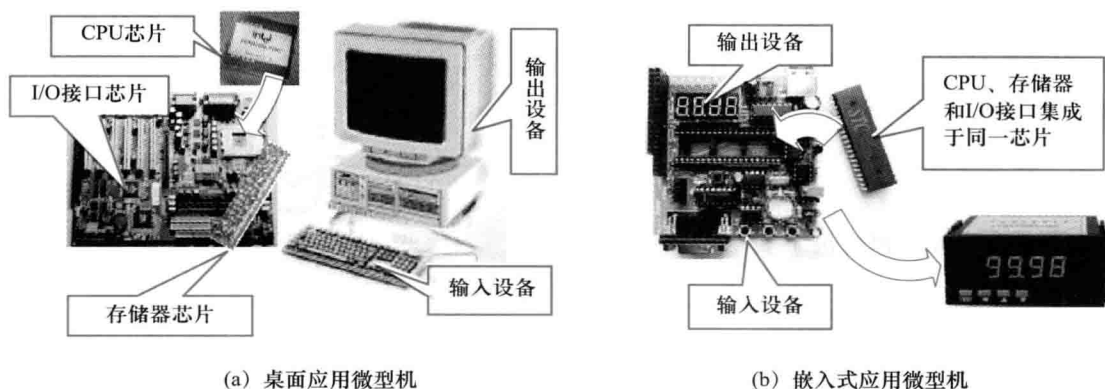


图 1.3 微型机两种应用形态的比较

1. 桌面应用

将 CPU、存储器、I/O 接口电路组装在主板上，通过接口电路与键盘、显示器连接，再配上操作系统及应用软件，就形成桌面微型计算机系统（即 PC 机）。这种桌面应用系统具有极好的人机界面和丰富的软件资源，常用于辅助办公或辅助设计。

2. 嵌入式应用

将 CPU、存储器、I/O 接口集成在一片集成电路芯片上，形成单片微型计算机（简称单片机）。单片机再配以简单外设（按键、数码管等）就构成了嵌入式应用系统。

计算机原始的设计目的是利用较高的计算速度完成大量数据的计算。人们将完成这种任务的计算机称为通用计算机。

在控制领域中，特别是智能仪表、智能家电、智能办公设备等应用系统要求将计算机嵌入到这些设备中。这时人们更多地关心计算机的控制能力和低成本、小体积及高可靠性嵌入能力。嵌入到仪器或设备中，实现嵌入式应用的计算机称为嵌入式计算机。

嵌入式应用计算机可分为嵌入式微处理器（如 ARM）、嵌入式 DSP 处理器（如 TMS320 系

列)、嵌入式微控制器(即单片机,如 80C51 系列)及嵌入式片上系统 SOC。

单片机体积小、价格低、品种多,对于满足广泛领域的嵌入式应用需求具有独特的优势。单片机技术已经成为电子应用系统设计最为常用的手段,学习和掌握单片机应用技术具有非常重要的现实意义。

1.2 单片机的发展过程及产品近况

1.2.1 单片机的发展过程

单片机技术发展迅速,产品种类繁多,通常很难对其进行统一划分产品种类和发展年代。但是,纵观整个单片机技术的发展过程,对典型的单片机发展还是可以大致分为三个主要阶段。下面简述这几个阶段的特点及典型产品:

一、单片形成阶段

1976 年,Intel 公司推出了 MCS-48 系列单片机。基本型产品在片内集成有:

- 8 位 CPU;
- 1 KB 程序存储器(ROM);
- 64 B 数据存储器(RAM);
- 1 个 8 位定时/计数器;
- 2 个中断源。

主要特点:在单个芯片内完成了 CPU、存储器、I/O 接口等部件的集成;但存储器容量较小,寻址范围小(不大于 4 K),无串行口,指令系统功能不强。

二、结构成熟阶段

1980 年,Intel 公司推出 MCS-51 系列单片机。基本型产品在片内集成有:

- 8 位 CPU;
- 4 KB 程序存储器(ROM);
- 128 B 数据存储器(RAM);
- 2 个 16 位定时/计数器;
- 5 个中断源,2 个优先级;
- 1 个全双工串行口。

主要特点:存储器容量增加,寻址范围扩大(64 K),指令系统功能强大。现在,MCS-51 已成为公认的单片机经典产品。

三、性能提高阶段

近年来,各半导体厂商不断推出新型单片机芯片,典型的产品如 Silicon Labs 的 C8051F120 单片机,在片内集成有:

- 8 位高速 CPU(100 MIPS);
- 128 KB 程序存储器(Flash);
- 8 KB 数据存储器(RAM);
- 5 个 16 位定时/计数器;
- 20 个中断源;
- 8 个 8 位并口、2 个 UART,另有 SMBus 和 SPI 总线接口;
- 增益可编程 8 路 12 位 ADC、2 路 12 位 DAC;
- 片内看门狗定时器等。

主要特点:片上接口丰富、控制能力突出、芯片型号种类繁多。因此,“微控制器”的称谓更能反映单片机的控制应用品质。

1.2.2 单片机产品近况

随着微电子设计技术及计算机技术的不断发展,单片机产品和技术日新月异。单片机产品近况可以归纳为:

一、80C51 系列单片机产品繁多,主流地位已经形成

通用微型机的性能体现在计算性能(CPU 位数逐年提高);单片机的性能体现在它的嵌入式能力(片内资源)。目前虽有许多 32 位单片机产品,但应用广泛的仍以 8 位机为主。

实践证明,80C51 单片机系统结构合理、技术成熟可靠。因此,许多单片机芯片生产厂商倾力于提高 80C51 单片机产品的综合功能,从而形成了 80C51 的主流产品地位。目前市场上与 80C51 兼容的典型产品有:

- ATMEL 公司的 AT89S5x 系列单片机(ISP,在系统编程);
- 宏晶公司的 STC89C5x 系列单片机(RS-232 串口编程,方便实用);
- Silicon Labs 公司的 C8051F 系列单片机(SOC,片内功能模块丰富)。

二、非 80C51 结构单片机不断推出,给用户提供了广泛的选择空间

在 80C51 及其兼容产品流行的同时,一些单片机芯片生产厂商也推出了一些非 80C51 结构的产品,影响比较大的有:

- Microchip 公司推出的 PIC 系列单片机(品种多便于选型,如汽车附属产品);
- TI 公司推出的 MSP430F 系列单片机(16 位,低功耗,如电池供电产品);

- ATMEL 公司推出的 AVR 和 ATmega 系列单片机(不易解密,如军工产品)。

由于 80C51 已经成为事实上的单片机主流系列,所以本书以 80C51 为对象讲述单片机的原理与接口方法。80C51 系列单片机兼容产品种类多,选型方便,其技术应用已流行多年,具有丰富成熟的软硬件资源。

掌握了 80C51 系列单片机开发技术,很容易推广到其他系列单片机的应用开发。

1.3 单片机的特点及应用领域

1.3.1 单片机的特点

一、突出的控制性能

由于 CPU、存储器及 I/O 接口集成在同一芯片内,各部件间连接紧凑,数据传送不易受运行环境的影响,所以用单片机设计的产品可靠性较高;单片机是为满足工业控制而设计的,所以控制功能强(其 CPU 可以对 I/O 端口直接进行操作,位控能力更是其他计算机无法比拟的),特别是近期推出的单片机产品,内部集成有高速 I/O 口、ADC、PWM、WDT 等部件,并在低电压、低功耗、串行扩展总线、控制网络总线和开发方式(如在系统编程 ISP)等方面都有了进一步的增强。

二、优秀的嵌入品质

单片机芯片价格低廉,适合于大批量低成本的产品设计;单片机品种和型号多,适于广泛的应用领域;单片机的引脚少体积小(有的引脚已减少到 8 个或更少),从而使应用系统的印制板(PCB)减小,使产品结构精巧。

在当代的各种电子器件中,单片机具有极优的性能价格比。这正是单片机得以广泛应用的重要原因。

1.3.2 单片机的应用领域

由于单片机具有良好的控制性能和优秀的嵌入品质,近年来单片机在各种领域都获得了广泛的应用。概要地分成以下几个方面:

一、智能仪器仪表

单片机用于各种仪器仪表,一方面提高了仪器仪表的使用功能和精度,使仪器仪表智能化,同时还简化了仪器仪表的硬件结构,从而可以方便地完成仪器仪表产品的升级换代。如各种智能电气测量仪表、智能传感器等。