



普通高等教育“十二五”规划教材
电子信息科学与工程类专业规划教材

单片机应用系统设计技术 —— 基于C51的Proteus仿真 (第3版)

张 齐 朱宁西 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

普通高等教育“十二五”规划教材
电子信息科学与工程类专业规划教材

单片机应用系统设计技术

——基于 C51 的 Proteus 仿真（第 3 版）

张 齐 朱宁西 编著



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书系统地介绍 80C51 系列单片机及其应用系统的构成和设计方法, 包括单片机系统电路基础、单片机应用系统的研制与开发环境、单片机软件和硬件基础、单片机内部资源应用与外部资源的扩展方法等。书中的示例多采用 C 语言作为编程教学语言, 实用性较强。书中有阴影背景的程序, 均配有与此程序相对应的 Proteus 格式的电路原理图。Keil μ Vision3 IDE 调试配合 Proteus 单片机仿真电路, 解决了以往单片机课堂教学无法现场演示的问题。本书配套资源均可从华信教育资源网 (www.hxedu.com.cn) 免费下载。

本书既可作为高等学校非计算机专业本、专科计算机应用系统设计类课程的教材, 也可作为从事单片机项目开发与应用工作的工程技术人员的参考书。

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

单片机应用系统设计技术: 基于 C51 的 Proteus 仿真 / 张齐, 朱宁西编著. —3 版. —北京: 电子工业出版社, 2013.7
电子信息科学与工程类专业规划教材

ISBN 978-7-121-20479-1

I. ①单… II. ①张… ②朱… III. ①单片微型计算机—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 106162 号

策划编辑: 王羽佳

责任编辑: 冉 哲

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

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: 20 字数: 577 千字

印 次: 2013 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 39.90 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 zltts@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

单片机是微型计算机应用技术的一个重要分支,单片机应用系统在工业控制、生产自动化、机电一体化设备、电器、智能仪器仪表、家电、航空航天、通信导航、汽车电子、机器人等领域得到了广泛的应用。单片机开发技术已成为电子信息、电气、通信、自动化、机电一体化等相关专业的学生、技术人员必须掌握的技术。

各半导体公司推出的 1T 增强型 80C51 内核 Flash 单片机,指令代码完全兼容传统 80C51,性能提高 8~12 倍,赋予了 80C51 单片机新的生命力。基于此,本书以 80C51 为背景介绍单片机软硬件构成及应用系统设计。

Keil C51 高级语言和 ISP 技术在 Flash 单片机中的广泛应用,使得熟练掌握 80C51 的技术人员不再使用单片机仿真器之类的开发工具,但对于没有任何单片机开发经验的初学者,在学习之初有一定难度。

Proteus 是英国 Labcenter Electronics 公司开发的电路分析与实物仿真软件。它运行于 Windows 操作系统上,实现了单片机仿真与 SPICE 电路仿真相结合。具有模拟电路仿真、数字电路仿真、单片机及外围电路组成的系统的仿真、RS-232 动态仿真、I²C 调试器、SPI 调试器、键盘和 LCD 系统仿真等功能;提供了多种虚拟仪器,如示波器、逻辑分析仪、信号发生器等,便于调试;支持主流单片机系统的仿真。由于 Proteus VSM 支持第三方集成开发环境 IDE,两者联调可以提高开发效率,降低开发成本,尤其适合于单片机教学,实际上 Proteus 软件工具也提供了从仿真到构成实际硬件系统的全部解决方案。本书第 3 章开发环境重点介绍 Keil C51 的集成开发环境—— μ Vision3 IDE 和 Proteus VSM 软件工具的使用方法。

本书第 1 版于 2004 年出版,第 2 版于 2008 年底出版,至今已 8 年有余,在此期间,单片机的芯片技术、开发技术等发展迅速,许多读者和老师也以各种方式对本书提出了宝贵意见,正因为如此,使笔者更加感到责任重大,决心对本书再次修订。

第 3 版修订的内容主要有:

对全书的图、例题和练习做了部分调整,使之更适合教学要求。

在第 7 章中,7.3 节介绍 SST39SF040,其具有完整的三总线引脚,可直接配置到微处理器内存空间;7.6 节增加了点阵式液晶显示模块 LM12864 的介绍及使用方法;7.10 节介绍虚拟串口及串口仿真元件的使用方法。

第 8 章以电梯控制器作为单片机应用系统设计实例进行介绍,并给出仿真实例。

第 9 章介绍 80C51 系列单片机的多任务实时操作系统 RTX-51,结合一个 Proteus 仿真电路的具体实例——交通信号灯控制器,阐述实时多任务操作系统 RTX-51 的应用。

本书的配套教材《单片机应用系统设计技术——仿真实验、题库、题解(第 3 版)》同步修订出版,供读者选用。

为了方便教师备课和读者学习,本书除提供 PPT 格式教学课件外,对于书中有阴影背景的程序,均配有与其相对应的 Proteus 格式的单片机仿真电路原理图、相应源程序及工程文件,请登录华信教育资源网 www.hxedu.com.cn 注册后免费下载。文件下载后,单击 PPT 课件中的 CAI 图标,即可打开相应的仿真电路。

本次修订工作由张齐和朱宁西共同完成。在成书过程中,岳亚涛、李蕾、武佳斌、何毅坤、张泽

斌、胡恩慈、刘群、李攀登、曾令华、胡佳、张英彬、许志坚、王永光对本书的修订做了大量的工作，作者谨向他们表示衷心的感谢。本书修订又一次得到电子工业出版社的大力支持和帮助，编辑和工作人员们做了大量而细致的工作，在此对他们致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限，修订后的教材一定还有不完善之处，书中误漏在所难免，殷切地期望读者给予批评指正。

编著者
2013年7月

目 录

第 1 章 单片机概论.....1	
1.1 微处理器、微型计算机与单片机.....1	
1.2 单片机的结构与组成.....2	
1.3 单片机的分类和指标.....3	
1.4 常用的单片机系列.....4	
1.5 单片机的特点.....6	
1.6 单片机应用系统.....6	
1.7 单片机的应用领域.....6	
本章小结.....8	
习题 1.....8	
第 2 章 单片机系统电路基础.....9	
2.1 数制与编码.....9	
2.1.1 进位计数制.....9	
2.1.2 进位计数制的相互转换.....10	
2.1.3 数码和字符的代码表示.....11	
2.2 单片机系统常用数字集成电路.....13	
2.2.1 常用的逻辑门电路.....13	
2.2.2 集电极开路门输出电路.....16	
2.2.3 常用组合逻辑电路.....17	
2.2.4 常用时序逻辑电路.....22	
2.3 单片机系统中的常用存储器电路.....24	
2.3.1 RAM 存储器.....25	
2.3.2 ROM 存储器.....29	
本章小结.....31	
习题 2.....32	
第 3 章 单片机应用系统的研制与开发环境.....34	
3.1 单片机应用系统的研制步骤和方法.....34	
3.1.1 总体设计.....35	
3.1.2 硬件系统.....35	
3.1.3 软件系统.....36	
3.2 单片机应用系统开发的软、硬件环境.....38	
3.2.1 单片机应用系统开发的软、硬件环境构成.....38	
3.2.2 单片机应用系统开发工具选择原则.....39	
3.2.3 使用 JTAG 界面单片机仿真开发环境.....39	
3.2.4 单片机的在线编程.....40	
3.3 Keil C51 高级语言集成开发环境—— μ Vision3 IDE.....40	
3.3.1 μ Vision3 IDE 主要特性.....41	
3.3.2 μ Vision3 IDE 集成开发环境.....42	
3.3.3 μ Vision3 IDE 的使用.....45	
3.3.4 Keil C51 中 printf 库函数.....54	
3.4 基于 Proteus 的单片机系统仿真.....54	
3.4.1 Proteus 7 Professional 界面介绍.....55	
3.4.2 绘制电路原理图.....57	
3.4.3 Proteus VSM 与 μ Vision3 的联调.....61	
3.4.4 Proteus VSM 中的电源、复位与时钟.....64	
本章小结.....64	
习题 3.....65	
第 4 章 80C51 单片机硬件基础知识.....66	
4.1 MCS-51 系列及 80C51 系列单片机简介.....66	
4.1.1 MCS-51 系列和 80C51 系列单片机.....66	
4.1.2 80C51 系列单片机的三次技术飞跃.....67	
4.1.3 高性能 80C51 单片机的特点.....68	
4.2 80C51 系列单片机外引脚功能.....68	
4.3 80C51 单片机内部结构.....72	
4.3.1 中央处理器 (CPU).....72	
4.3.2 存储器组织.....75	
4.3.3 并行输入/输出端口结构.....85	
4.3.4 时钟电路.....90	

4.3.5 复位电路	92	5.6.3 关系运算符	141
4.4 低功耗运行方式	94	5.6.4 逻辑运算符	142
4.4.1 电源控制寄存器 PCON	95	5.6.5 位运算符	142
4.4.2 待机方式	95	5.6.6 复合运算符	143
4.4.3 掉电方式	95	5.6.7 指针和地址运算符	143
4.5 80C51 单片机最小系统	96	5.7 C51 的库函数	143
本章小结	97	5.7.1 本征库函数和非本征库函数	143
习题 4	98	5.7.2 几类重要的库函数	144
第 5 章 80C51 单片机软件基础知识	99	5.8 C51 的应用技巧	148
5.1 80C51 单片机指令系统概述	99	本章小结	151
5.1.1 指令的概念	99	习题 5	153
5.1.2 指令系统说明	100	第 6 章 80C51 单片机内部资源及应用	156
5.1.3 80C51 指令系统助记符	100	6.1 中断系统和外中断	156
5.1.4 指令系统中的特殊符号	102	6.1.1 中断技术概述	156
5.2 80C51 单片机寻址方式	102	6.1.2 80C51 单片机中断系统	158
5.2.1 寄存器寻址方式	103	6.1.3 C51 中断服务函数	164
5.2.2 直接寻址方式	103	6.1.4 外部中断的应用实例	165
5.2.3 寄存器间接寻址方式	103	6.2 定时器/计数器	167
5.2.4 立即寻址方式	104	6.2.1 定时器/计数器 0、1 的结构及 工作原理	168
5.2.5 变址间接寻址方式	105	6.2.2 定时器/计数器 0、1 的 4 种工作 方式	170
5.2.6 相对寻址方式	105	6.2.3 定时器/计数器对输入信号的 要求	175
5.2.7 位寻址方式	105	6.2.4 定时器/计数器 0、1 的编程和 应用实例	176
5.3 80C51 单片机指令系统	107	6.2.5 定时器/计数器 2	181
5.3.1 数据传送类指令	107	6.3 串行通信	183
5.3.2 算术运算类指令	111	6.3.1 串行通信基础知识	183
5.3.3 逻辑运算类指令	114	6.3.2 80C51 串行接口	186
5.3.4 控制转移类指令	116	6.3.3 应用实例	194
5.3.5 位操作指令	119	本章小结	199
5.4 80C51 汇编语言程序设计	123	习题 6	201
5.4.1 伪指令	124	第 7 章 单片机外部扩展资源及应用	203
5.4.2 汇编语言程序设计举例	124	7.1 单片机外部扩展资源和扩展编址 技术概述	203
5.5 80C51 单片机 C51 程序设计语言	126	7.1.1 单片机外部扩展资源分类	203
5.5.1 C51 的标识符和关键字	127	7.1.2 单片机系统扩展结构与编址 技术	204
5.5.2 C51 编译器能识别的数据类型	129	7.1.3 单片机系统存储器扩展方法	206
5.5.3 变量的存储种类和存储器类型	132		
5.5.4 绝对地址的访问	137		
5.5.5 中断服务程序	139		
5.6 C51 的运算符和表达式	140		
5.6.1 赋值运算符	140		
5.6.2 算术运算符	141		

7.2	并行 I/O 接口扩展	207	7.9.3	串行 E ² PROM 芯片与 89C52 的 接口与编程	257
7.2.1	8255 可编程并行 I/O 接口 芯片	207	7.10	RS-232C 和 RS-485/422 通信 接口	258
7.2.2	用 74HC 系列芯片扩展 I/O 接口	213	7.10.1	RS-232C 接口的物理结构、电气 特性、信号内容	258
7.3	大容量闪存存储器的扩展	215	7.10.2	RS-485/422 接口	265
7.3.1	Super Flash 39SF040 简介	215	本章小结		267
7.3.2	89C52 单片机和 39SF040 接口方法	216	习题 7		268
7.4	单片机系统中的键盘接口技术	218	第 8 章	单片机应用系统设计实例	269
7.4.1	键盘工作原理及消抖	218	8.1	设计要求	269
7.4.2	独立式键盘及其工作原理	219	8.2	总体方案	269
7.4.3	行列式键盘及其工作原理	221	8.3	硬件电路设计	270
7.4.4	键盘扫描的控制程序	222	8.4	软件设计	272
7.5	单片机系统中的 LED 数码 显示器	222	8.4.1	主程序模块	273
7.5.1	LED 显示器的结构与原理	222	8.4.2	每到一层的状态控制	274
7.5.2	LED 静态显示接口	223	8.4.3	内部按键扫描	274
7.5.3	LED 动态扫描显示接口	225	8.4.4	外部按键扫描	274
7.6	单片机系统中的 LCD 液晶 显示器	227	8.5	仿真测试	275
7.6.1	字符型液晶显示模块的组成 和基本特点	227	8.5.1	测试正常功能	275
7.6.2	LCD1602 模块接口引脚功能	228	8.5.2	测试异常功能	276
7.6.3	LCD1602 模块的操作命令	229	本章小结		276
7.6.4	LCD1602 与 89C52 单片机接口 与编程	233	第 9 章	多任务实时操作系统 RTX-51	277
7.6.5	点阵式图形 LCD 显示器的组成 和基本特点	237	9.1	RTX-51 实时多任务操作系统 简介	277
7.7	日历时钟接口芯片及应用	241	9.1.1	单任务程序与多任务程序的 比较	277
7.7.1	并行接口日历时钟芯片 DS12887	241	9.1.2	使用 RTX-51 Tiny 的软硬件 要求	279
7.7.2	串行接口日历时钟芯片 DS1302	245	9.1.3	使用 RTX-51 Tiny 的注意事项	280
7.8	单片机数据采集系统	248	9.2	RTX-51 Tiny 的任务管理	281
7.8.1	并行 A/D 转换器 ADC0809	249	9.2.1	定时器滴答中断	281
7.8.2	串行 A/D 转换器 TLC2543	251	9.2.2	任务	282
7.9	I ² C 总线接口电路 E ² PROM 及其 应用	253	9.2.3	任务状态	282
7.9.1	串行 E ² PROM 电路 CAT24WCXX 概述	254	9.2.4	事件	282
7.9.2	串行 E ² PROM 芯片的操作	255	9.2.5	任务调度	283
			9.2.6	任务切换	283
			9.3	如何使用 RTX-51 Tiny	286
			9.3.1	编写程序	286
			9.3.2	编译和连接	287

9.3.3	调试	287	9.6.2	总体方案	300
9.3.4	实例 1——os_wait 函数的 使用	288	9.6.3	硬件电路	300
9.4	RTX-51 Tiny 提供的系统函数	290	9.6.4	软件设计	302
9.5	RTX-51 Tiny 的配置	297	9.6.5	功能使用说明	304
9.5.1	配置	297	9.6.6	程序运行与测试	304
9.5.2	库文件	299	本章小结		305
9.5.3	优化	299	习题 9		306
9.6	基于 Proteus 的 RTX-51 应用实例—— 交通信号灯控制器	299	附录 A 指令速查表		307
9.6.1	交通信号灯控制器设计要求	299	参考文献		312

第1章 单片机概论



单片机即一块芯片上的计算机，以单片机为核心组成的硬件电路称为单片机系统，嵌入了应用软件的单片机系统则称为单片机应用系统。

1.1 微处理器、微型计算机与单片机

典型的微型计算机包括运算器、控制器、存储器、输入/输出接口 4 个基本组成部分。如果把运算器与控制器封装在一小块芯片上，则称该芯片为微处理器（MPU，Micro Processing Unit）或称中央处理器（CPU，Central Processing Unit）。如果将它与大规模集成电路制成的存储器，输入/输出接口电路在印制电路板上用总线连接起来，就构成了微型计算机。显然，单硅片的中央处理器是微型计算机区别于大、中、小型计算机的主要结构特征。一个只集成了中央处理器的集成电路（IC，Integrate Circuit）封装，只是微型计算机的一个组成部分。

如果在一块芯片上，集成了一台微型计算机的 4 个基本组成部分，这种芯片就被称为单片微型计算机（Single Chip Microcomputer），简称单片机。也就是说，单片机是一块芯片上的微型计算机。以单片机为核心的硬件电路称为单片机系统，单片机系统属于嵌入式系统的应用范畴。嵌入式系统一般指嵌入到对象体系中并实现对象体系智能化控制的计算机，它包括硬件和软件两部分：硬件部分包括中央处理器、存储器、外设器件、I/O（输入/输出）端口和图形控制器等；软件部分包括操作系统软件（OS）（要求实时和多任务操作）和应用程序软件，有时设计人员把这两种软件组合在一起。应用程序控制着系统的运作和行为，而操作系统控制着应用程序与硬件的交互作用。

为了进一步突出单片机在嵌入式系统中的主导地位，许多半导体公司在单片机内部还集成了许多外围功能电路和外设接口，如中断、定时器/计数器、串行通信、模数转换器（ADC）、脉冲宽度调制（PWM）等单元。这些单元突出了单片机的控制特性。一般来说，单片机利用大规模集成电路技术把中央处理器和数据存储器（RAM）、程序存储器（ROM）及其他 I/O 通信口集成在一块芯片上，构成一个最小的计算机系统。而现代的单片机则配置了中断单元、定时单元及 A/D 转换等更复杂、更完善的电路，使得单片机的功能越来越强大，应用更广泛。国外目前习惯称单片机为微控制器（MCU，Micro Control Unit），本书仍然沿用单片机一词。

20 世纪，微电子、IC 集成电路行业发展迅速，其中单片机行业的发展最引人注目。单片机功能强大、价格便宜、使用灵活，在计算机应用领域中发挥着极其重要的作用。从 Intel 公司于 1971 年生产的第一片单片机 Intel-4004 开始，单片机就开创了电子应用的智能化新时代。单片机以其高性价比和灵活性，牢固树立了其在嵌入式系统中的“霸主”地位。在 PC 以 286、386、486、Pentium 高速更新换代的同时，单片机却“始终如一”地保持着其旺盛的生命力。例如，80C51 系列单片机已有 20 多年的生命期，如今仍保持着上升的趋势，就充分证明了这一点。

尽管单片机主要是为控制目的而设计的，但它仍然具备微型计算机（如 PC）的全部特征。因此，单片机的功能部件和工作原理与微型计算机也是基本相同的，我们可以通过参照微型计算机的基本组成和工作原理逐步接近单片机。

图 1.1 所示为一台微型计算机的基本结构。由图 1.1 可知，一台微型计算机是由运算器、控制器、

存储器、输入设备和输出设备 5 部分组成的。虽然微型计算机技术得到了最充分的发展,但是微型计算机在体系结构上仍属于经典的计算机结构。这种结构是由计算机的开拓者数学家约翰·冯·诺依曼最先提出的,所以称为冯·诺依曼计算机体系结构。迄今为止,计算机的发展已经经历了 4 代,仍尚未冲出冯·诺依曼体系,当前市场上常见的大多数型号的单片机也还遵循着冯·诺依曼体系的设计思路。

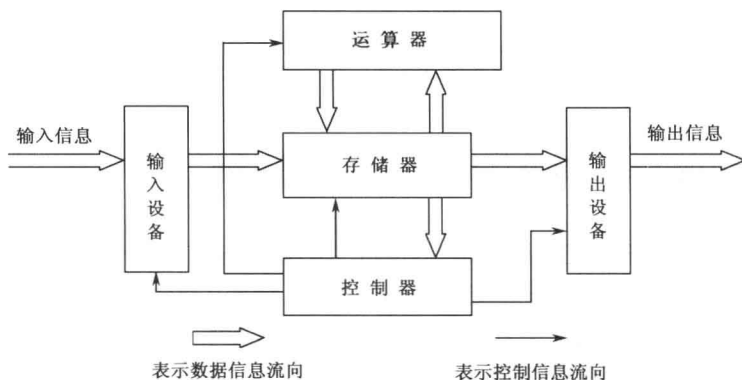


图 1.1 微型计算机的基本结构

下面分析微型计算机各部分的作用和微型计算机的工作原理。如果要使微型计算机按照需要解决某个具体问题,并不是把这个问题直接让微型计算机去解决,而是要用微型计算机可以“理解”的语言,如 C、Pascal、BASIC 或 PL/M 语言,编写出一系列解决这个问题的步骤,并输入到计算机中,命令它按照这些步骤顺序执行,从而使问题得以解决。编写解决问题的步骤,就是人们常说的编写程序(也叫程序设计或软件开发)。计算机是严格按照程序对各种数据或输入信息进行自动加工处理的,因此必须预先把程序和数据用输入设备送入微型计算机内部的存储器中,处理完成后还要把结果用输出设备输送出来,由运算器完成程序中规定的各种算术和逻辑运算操作,而为了使微型计算机的各部件有条不紊地工作,必须由控制器理解程序的意图,并指挥各部件协调完成规定的任务。

1.2 单片机的结构与组成

单片机的一般结构可用图 1.2 所示的方框图描述。图 1.2 与图 1.1 的对应关系是:CPU 包含了控制器和运算器;ROM 和 RAM 对应存储器,ROM 存放程序,RAM 存放数据;I/O 对应输入设备和输出设备。

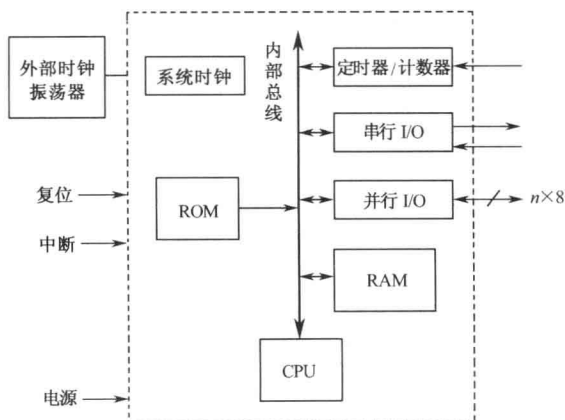


图 1.2 单片机的内部基本组成

单片机通过总线实现 CPU、ROM、RAM、I/O 各模块之间的信息传递。其实,具体到某一种型号的单片机,其芯片内部集成的程序存储器 ROM 和数据存储器 RAM 可大可小,输入和输出端口(I/O)可多可少,但 CPU 只有一个。

首先介绍单片机内部各部分的功能。

中央处理器(CPU): 是单片机的核心单元,通常由算术逻辑运算部件 ALU 和控制部件构成。CPU 就像人的大脑一样,决定了单片机的运算能力和处理速度。

程序存储器(ROM): 用来存放用户程序,可分为 EPROM、Mask ROM、OTP ROM 和 Flash

ROM 等。EPROM 型存储器编程（把程序代码通过一种算法写入程序存储器的操作）后，其内容可用紫外线擦除，用户可反复使用，故特别适用于开发过程，但 EPROM 型单片机价格很高。Mask ROM 型存储器的单片机价格最低，适用于大批量生产。由于 Mask ROM 型单片机的代码只能由生产厂商在制造芯片时写入，故用户更改程序代码十分不便，在产品未成熟时选用此类型单片机风险较高。OTP ROM 型（一次可编程）单片机价格介于 EPROM 和 Mask ROM 型单片机之间，它允许用户自己对其编程，但只能写入一次。OTP ROM 型单片机生产多少完全可以由用户自己掌握，不存在 Mask ROM 型有最小起订量和掩模费的问题。另外，该类单片机价格已同掩模型十分接近，故特别受中小批量客户的欢迎。Flash ROM 型单片机可采用电擦除的方法修改其内容，允许用户使用编程工具或在系统中快速修改程序代码（In-System-Programmable），且可反复使用，故一推出就受到广大用户的欢迎。Flash ROM 型单片机既可用于开发过程，也可用于批量生产，随着制造工艺的改进，价格不断下降，使用越来越普遍，已成为现代单片机的发展趋势。

随机存储器（RAM）：用来存放程序运行时的工作变量和数据。由于 RAM 的制作工艺复杂，价格比 ROM 高得多，所以单片机内部 RAM 非常宝贵，通常仅有几十到几百 B。RAM 的内容是易失性（也有称为易挥发性）的，掉电后会丢失。最近出现了 E²PROM 或 Flash ROM 型数据存储器，方便用户存放不经常改变的数据及其他重要信息。单片机通常还有特殊寄存器和通用寄存器，也属于 RAM 空间，但它们在单片机中存取数据速度很快，特殊寄存器还用于充分发挥单片机各种资源的功效，但这部分存储器占用存储空间更小。

并行输入/输出（I/O）端口：通常为独立的双向 I/O 口，既可以用做输入方式，又可以用做输出方式，通过软件编程设定。现代单片机的 I/O 口也有不同的功能，有的内部具有上拉或下拉电阻，有的是漏极开路输出，有的能提供足够的电流直接驱动外部设备。I/O 是单片机的重要资源，也是衡量单片机功能的重要指标之一。

串口输入/输出口：用于单片机和串行设备或其他单片机的通信。串行通信有同步和异步之分，可以用硬件或通用串行收发器件实现。不同的单片机可能提供不同标准的串行通信接口，如 UART、SPI、I²C、MicroWire 等。

定时器/计数器（T/C）：用于单片机内部精确定时或对外部事件（输入信号如脉冲）进行计数，通常单片机内部有多个定时器/计数器。

系统时钟：通常需要外接石英晶体或其他振荡源提供时钟信号输入，也有的使用内部 RC 振荡器。系统时钟相当于 PC 中的主频。

以上只是单片机的基本构成，现代的单片机又加入了许多新的功能部件，如模数转换器（ADC）、数模转换器（DAC）、温度传感器、液晶（LCD）驱动电路、电压监控、看门狗（WDT）电路、低电压检测（LVD）电路等。此时的单片机才属于真正的单片化，内部的 ROM 和 RAM 的容量也越来越大，ROM 寻址空间可达几百 KB，RAM 寻址空间可达几十 KB。可以说，单片机发展到了一个新的阶段，应用领域也更为广泛，许多家用电器均走向利用单片机控制的智能化发展道路。

1.3 单片机的分类和指标

单片机从用途上可分为专用型单片机和通用型单片机两大类。专用型单片机是为某种专门用途而设计的，如 DVD 控制器和数码摄像机控制器芯片等。在用量不大的情况下，设计和制造这样的专用芯片成本很高，而且设计和制造的周期也很长。我们通常所用的都是通用型单片机，通用型单片机把所有资源（如 ROM、I/O 等）全部提供给用户使用。当今通用型单片机的生产厂家已不下几十家，种类有几百种之多。下面就从单片机的几个重要指标进行介绍。

位数: 是单片机能够一次处理的数据的宽度, 有 1 位机 (如 PD7502)、4 位机 (如 MSM64155A)、8 位机 (如 MCS-51)、16 位机 (如 MCS-96)、32 位机 (如 ARM 内核单片机)。

存储器: 包括程序存储器和数据存储器, 程序存储器空间较大, 字节数一般从几 KB 到几百 KB ($1\text{KB}=2^{10}\text{B}=1024\text{B}$), 另外还有不同的类型, 如 ROM、EPROM、E²PROM、Flash ROM 和 OTPROM (详细解释参看 2.3.2 节) 型。数据存储器的字节数则通常为几十到几十 KB。程序存储器的编程方式也是用户选择的一个重要因素, 有的是串行编程, 有的是并行编程, 新一代的单片机有的还具有在系统编程 (ISP, In-System-Programmable) 或在应用再编程 (IAP, In-Application re-Programmable) 功能, 有的还有专用的 ISP 编程接口 JTAG 口。

I/O 口: 即输入/输出口, 一般有几个到几十个, 用户可以根据自己的需要进行选择。

速度: 指的是 CPU 的处理速度, 以每秒执行多少条指令衡量, 常用单位是 MIPS (百万条指令每秒), 目前最快的单片机可达到 100MIPS。单片机的速度通常是与系统时钟 (相当于 PC 的主频) 相联系的, 但并不是频率高的处理速度就一定快。对于同一种型号的单片机来说, 采用频率高的时钟一般比频率低的速度要快。

工作电压: 通常工作电压是 5V, 范围是 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$, 也有 3V/3.3V 电压的产品, 更低的可在 1.5V 工作。现代单片机又出现了宽电压范围型, 即在 2.5~6.5V 内都可以正常工作。

功耗: 低功耗是现代单片机所追求的一个目标, 目前低功耗单片机的静态电流可以低至 μA (微安, 10^{-6}A) 或 nA (纳安, 10^{-9}A) 级。有的单片机还具有等待、关断、睡眠等多种工作模式, 以此来降低功耗。

温度: 单片机根据工作温度可分为民用级 (商业级)、工业级和军用级 3 种。民用级的温度范围是 $0^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$, 工业级是 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$, 军用级是 $-55^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ (不同厂家的划分标准可能不同)。

附加功能: 有的单片机有更多的功能, 用户可根据自己的需要选择最适合自己的产品。例如, 有的单片机内部有 A/D 转换、D/A 转换、串口、LCD 驱动等, 使用这种单片机可以减少外部器件, 提高系统的可靠性。

1.4 常用的单片机系列

1. MCS-51 系列及与之兼容的 80C51 系列单片机

由于历史的原因, Intel 公司的 MCS-51 及与之兼容的 80C51 系列单片机 (以下统称 80C51 系列单片机) 是国内应用最为广泛的单片机, 也是最多被电子设计工程师掌握的单片机。市场上关于单片机的书籍资料有很大一部分是基于 80C51 系列的, 各种 80C51 系列单片机的开发工具如汇编器、编译器、仿真器和编程器等也很容易找到。另外, 除了 Intel 公司外, 还有 Atmel、Winbond、Philips、TEMIC、ISSI 和 LG 等公司都生产兼容 80C51 的产品。因此用户在采购时具有广泛的选择余地, 而且由于激烈的竞争关系, 各兼容生产厂家不断推出性价比更高的产品, 选用该系列的用户就能获得更大的价值。大量熟练的用户群、充足的支持工具、充沛的货源, 是 80C51 兼容系列单片机的市场优势。所以自从 80C51 系列单片机推出以来, 虽然其他的公司也推出了许多新的单片机系列, 但是 80C51 系列单片机及其兼容产品仍然占据了国内市场的很大份额。

2. TI 公司的超低功耗 Flash 型 MSP430 系列单片机

关于超低功耗单片机, 有业界最佳“绿色微控制器 (Green MCUs)”称号的 TI 公司的 MSP430 Flash 系列单片机, 是目前业界所有内部集成闪存存储器 (Flash ROM) 产品中功耗最低的, 消耗功率仅为其他闪存微控制器 (Flash MCUs) 的 1/5。在 3V 工作电压下其耗电电流低于 $350\mu\text{A}/\text{MHz}$, 待机模式仅为 $1.5\mu\text{A}/\text{MHz}$, 具有 5 种节能模式。该系列产品的工作温度范围为 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$, 可满足工业应用

要求。MSP430 微控制器可广泛地应用于煤气表、水表、电子电表、医疗仪器、火警智能探头、通信产品、家庭自动化产品、便携式监视器及其他低耗能产品。由于 MSP430 微控制器的功耗极低，可设计出只需一块电池就可以使用长达 10 年的仪表应用产品。MSP430 Flash 系列的确是不可多得的高性价比单片机。

3. OKI 低电压、低功耗单片机

OKI 公司的高性价比 4 位机 MSM64K 系列也是低功耗低电压的微控制器，其工作电压可低至 1.25V，使用 32kHz 的工作频率，典型工作电流可低至 3~5 μ A，HALT（关断）模式下小于 1 μ A，而其功能却并不逊色，片内集成了 LCD（液晶显示器）驱动器，可方便地与液晶显示器接口，具有片内掩模（Mask）的程序存储器，有些型号还带有串口、RC 振荡器、看门狗、ADC（模数转换器）、PWM（脉宽调制）等，几乎不需要外扩芯片即可满足应用，工作温度范围可达-40℃~85℃，提供 PGA 封装和裸片。该系列微控制器应用广泛，适用于使用 LCD 显示、电池供电的设备，如掌上游戏机、便携式仪表（体温计、湿度计）、智能探头、定时器（时钟）等低成本、低功耗的产品。

4. ST 公司的 ST62 系列单片机

美国 ST 微电子有限公司是一家独立的全球性公司，专门从事应用于半导体集成电路的设计、生产、制造和销售，以及生产各种微电子应用中的分立器件。应用领域涉及电子通信系统、计算机系统、消费类产品、汽车应用、工业自动化和控制系统等。ST 公司可提供满足各种场合的单片机或微控制器，其中，ST62 系列 8 位单片机以其简单、灵活、低价格等特点，特别适用于汽车、工业、消费领域的嵌入式微控制系统。ST62 系列提供多种不同规格的单片机以满足各种需要，存储器从 1KB 到 8KB，有 ROM、OTP、EPROM、E²PROM、Flash E²PROM，I/O 口从 9 个到 22 个，引脚从 16 个到 42 个，还有 ADC、LCD 驱动、看门狗、定时器、串行口、电压监控等部件。ST62 单片机采用独特的制造工艺和技术，大大提高了抗干扰能力，能适应于各种恶劣环境。

5. AD 公司的带 A/D 与 D/A 转换器的单片机

AD μ C812 是 AD 公司推出的全集成 12 位数据采集系统，片内集成了 8 路 12 位高性能的自校准 ADC、2 路 12 位 DAC 和与 80C51 指令兼容的 8 位 MCU。AD 公司最近又推出了 16 位和 24 位 ADC 的 AD μ C816 和 AD μ C824，其他性能特性与 AD μ C812 基本相同。

AD μ C812 MCU 包括 8KB 的 Flash 程序存储器、640B 的 Flash 数据存储器、256B 的 RAM 和与 80C51 兼容的内核，并且具有看门狗定时器、电源监视器及 ADC DMA 功能，32 个可编程 I/O 口、I²C/SPI 兼容和标准 UART 串行通信接口。芯片具有正常、空闲和掉电 3 种工作模式，非常适合低功耗应用的电源管理方案，如智能传感器、电池供电系统（可移动 PC、手持仪器、终端）、瞬时捕捉系统、DAS 和通信系统等。

6. 基于 ARM 核的 32 位单片机

ARM（Advanced RISC Machine）是一种通用的 32 位 RISC 处理器。这里的 32 位是指处理器的外部数据总线是 32 位的，与 8 位和 16 位的相同主频处理器相比，其性能更强大。ARM 是一种功耗很低的高性能处理器，如 ARM7TDMI 具有每瓦产生 690MIPS（百万条指令每秒）的能力，已被证明在工业界处于领先水平。ARM 公司并不生产芯片，而是将 ARM 的技术授权其他公司生产。ARM 本质上并不是一种芯片，而是一种芯片结构技术，不涉及芯片生产工艺。授权生产 ARM 结构芯片的公司采用不同的半导体技术，面对不同的应用进行扩展和集成，标有不同的系列号。目前，可以提供含 ARM 核 CPU 芯片的著名半导体公司有：英特尔、德州仪器、三星半导体、摩托罗拉、飞利浦半导体、意法

半导体、亿恒半导体、科胜讯、ADI 公司、安捷伦、高通公司、Atmel、Intersil、Alcatel、Altera、Cirrus Logic、Linkup、Parthus、LSI Logic、Micronas、Silicon Wave、Virata、Portalplayer inc.、NetSilicon、Parthus。ARM 的应用范围非常广泛，如嵌入式控制——汽车、电子设备、保安设备、大容量存储器、调制解调器、打印机，数字消费产品——数码相机、数字式电视机、游戏机、GPS、机顶盒，便携式产品——手提式计算机、移动电话、PDA、灵巧电话。

1.5 单片机的特点

单片机除了具备体积小、价格低、性能强大、速度快、用途广、灵活性强、可靠性高等优点外，它与通用微型计算机相比，在硬件结构和指令设置上还具有以下独特之处。

① 存储器 ROM 和 RAM 是严格分工的。ROM 用做程序存储器，只存放程序、常数和数据表格，而 RAM 用做数据存储器，存放临时数据和变量。这样的设计方案使单片机更适用于实时控制（也称为现场控制或过程控制）系统。配置较大程序存储空间 ROM，将已调试好的程序固化（即对 ROM 编程，也称烧录或烧写），这样不仅掉电时程序不丢失，还避免了程序被破坏，从而确保了程序的安全性。实时控制仅需容量较小的 RAM，用于存放少量随机数据，这样有利于提高单片机的操作速度。

② 采用面向控制的指令系统。在实时控制方面，尤其是在位操作方面，单片机有着不俗的表现。

③ 输入/输出（I/O）端口引脚通常设计有多种功能。在设计时，究竟使用多功能引脚的哪种功能，可以由用户编程确定。

④ 品种规格的系列化。属于同一个产品系列、不同型号的单片机，通常具有相同的内核、相同或兼容的指令系统，其主要的差别仅在于片内配置了一些不同种类或不同数量的功能部件，以适用不同的被控对象。

⑤ 单片机的硬件功能具有广泛的通用性。同一种单片机可以用在不同的控制系统中，只是其中所配置的软件不同而已。换言之，给单片机固化上不同的软件，便可形成用途不同的专用智能芯片，有时将这种芯片称为固件（Firmware）。

1.6 单片机应用系统

单片机应用系统是以单片机为核心构成的智能化产品。其智能化体现为以单片机为核心构成的微型计算机系统，它保证了产品的智能化处理与智能化控制能力。单片机智能化产品包括智能仪表、可编程序控制器、空调控制器、全自动洗衣机控制器、DVD 控制器、数据采集系统、金融 POS 机、移动电话机芯等。在这些单片机智能化产品中，以单片机为核心组成的硬件电路统称为单片机系统。

为了实现产品的智能化处理与智能化控制，还要嵌入相应的控制程序，称为单片机应用软件。

嵌入了应用软件的单片机系统称为单片机应用系统。

单片机是单片机系统中的一个器件，单片机系统是构成某一单片机应用系统的全部硬件电路，单片机应用系统是单片机系统和应用软件相结合的产物。

1.7 单片机的应用领域

单片机由于其体积小、功耗低、价格低廉，且具有逻辑判断、定时计数、程序控制等多种功能，广泛应用于仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域。下面简单介绍一些典型的应用。

1. 单片机在智能仪表中的应用

单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化和使用方便等优点,被广泛应用于仪器仪表中,结合不同类型的传感器,可实现诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、压力等物理量的测量。采用单片机控制使得仪器仪表数字化、智能化、微型化,且功能比起采用电子或数字电路更加强大,提高了其性能价格比,如精密的测量设备(功率计、示波器、各种分析仪)。

2. 单片机在机电一体化中的应用

机电一体化是机械工业发展的方向。机电一体化产品是指集机械技术、微电子技术、计算机技术、传感器技术于一体,具有智能化特征的机电产品,如微机控制的车床、钻床等。单片机作为产品中的控制器,能充分发挥了它体积小、可靠性高、功能强等的优点,可大大提高机器的自动化、智能化程度。可编程顺序控制器也是一个典型的机电控制器,其核心通常就是由一个单片机构成的。

3. 单片机在实时控制中的应用

单片机广泛地应用于各种实时控制系统中。例如,在工业测控、航空航天、尖端武器等各种实时控制系统中,都可以使用单片机作为控制器。单片机的实时数据处理能力和控制功能,能使系统保持在最佳工作状态,提高了系统的工作效率和产品质量。再如机器人,每个关节或动作部位都是一个单片机实时控制系统。

4. 单片机在分布式多机系统中的应用

在比较复杂的系统中,常采用分布式多机系统。多机系统一般由若干台功能各异的单片机应用系统组成,各自完成特定的任务,它们通过串行通信相互联系、协调工作。单片机在这种系统中往往作为一个终端机,安装在系统的某些节点上,对现场信息进行实时测量和控制。单片机的高可靠性和强抗干扰能力,使它可以被置于恶劣环境的前端工作。

5. 消费类电子产品控制

这类应用主要反映在家电领域,如洗衣机、空调、汽车电子与保安系统、电视机、录像机、DVD机、音响设备、电子秤、IC卡、手机、BP机等。在这些设备中使用单片机机芯之后,其控制功能和性能大大提高,并实现了智能化、最优化控制。

6. 终端及外部设备控制

在计算机网络终端设备(如银行终端、商业POS机、复印机等)和计算机外部设备(如打印机、绘图仪、传真机、键盘和通信终端等)中使用单片机,使其具有计算、存储、显示、输入等功能,并具有和计算机连接的接口,使计算机的能力及应用范围大大提高,可以更好地发挥计算机的性能。

可以毫不夸张地说:凡是能想到的地方,单片机都可以用得上。全世界单片机的年产量数以亿计,应用范围之广,花样之多,一时难以详述。单片机应用的意义不仅限于它的广阔应用范围和所带来的经济效益,更重要的还在于从根本上改变了传统的控制系统设计思想和设计方法。从前,必须由模拟电路或数字电路实现的大部分控制功能,现在可以使用单片机通过软件方法实现。这种以软件取代硬件并能提高系统性能的控制技术称为微控制技术。微控制技术标识着一种全新概念,随着单片机应用的推广普及,微控制技术必将不断发展和日趋完善,而单片机的应用必将更加深入、更加广泛。

单片机与常用的TTL、CMOS数字集成电路相比,掌握起来不太容易,问题在于单片机具有智能化功能,不仅要学习其硬件的使用方法还要学习其软件的使用方法,而软件设计需要有一定的创造性。

这虽然给学习者带来一定难度，但这也正是它的迷人之处。一个普通的消毒碗柜配上装有专用软件的单片机，虽然成本增加了 10 多元，但市场售价可高出 300 多元。理由何在？原因在于它的技术含量高，其中的软件凝聚着开发者的聪明和智慧。

由此可见，单片机技术无疑将是 21 世纪最为活跃的新一代电子应用技术。随着微控制技术（以软件代替硬件的高性能控制技术）的发展，单片机的应用必将导致传统控制技术发生巨大变革。换言之，单片机的应用是对传统控制技术的一场革命。因此，学习单片机的原理，掌握单片机应用系统设计技术，具有划时代的意义。



本章小结

如果在一片芯片中包含了微型计算机的 4 个基本组成部分：运算器、控制器、存储器和输入/输出接口，就称此芯片为单片机。为了增加单片机的控制特性，许多半导体公司在单片机内部又增加了许多新的功能部件，如模数转换器（ADC）、数模转换器（DAC）、温度传感器、液晶（LCD）驱动电路、电压监控、看门狗（WDT）电路、低电压检测（LVD）电路等，使得单片机更接近“单片化”。

从用途上单片机可分为专用型单片机和通用型单片机两大类，本书以通用型单片机为背景介绍。从数据总线的宽度上单片机可分为 1 位机、4 位机、8 位机、16 位机、32 位机。通用型单片机中由于 8 位机的生产厂家最多，故其性价比最高。

以单片机为核心的全部硬件电路称为单片机系统，为了使单片机系统具有智能化处理与智能化控制的能力，还要嵌入单片机应用软件。嵌入了应用软件的单片机系统称为单片机应用系统。

单片机由于其体积小、功耗低、价格低廉，且具有逻辑判断、定时计数、程序控制等多种功能，被广泛应用于仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域。



习题 1

1. 简述微型计算机的基本组成。
2. 简述单片机的基本含义及应用领域。
3. 单片机的主要特点是什么？
4. 单片机的分类及主要指标是什么？
5. 简述微型计算机与单片机的异同。
6. 简述单片机、单片机系统、单片机应用系统之间的异同。