

中国电子教育学会高教分会推荐
高等学校电子信息类“十三五”规划教材

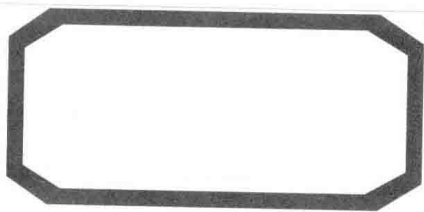
机 电 计 算 机 电 子
MECHATRONICS COMPUTER ELECTRONICS

- 随书提供PPT课件、设计案例、汇编程序源代码等资料。
- 内容精练、重点突出，强调编程思想和逻辑思维的训练。

单片机原理及应用

李桂林 王新屏 马 驰 张春光 编著

中国电子教育学会高教分
高等学校电子信息类“十



单片机原理及应用

李桂林 王新屏 马驰 张春光 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书以 MCS-51 系列单片机原理和应用为主线,重点介绍单片机的结构、指令系统、汇编程序设计、内部标准功能单元、硬件系统扩展等内容,并精心设计了大量例题和多种解题思路。本书教学重点突出,叙述准确精练,完全可以满足教师课堂教学和学生课程学习之需要。

全书结构规范、系统性强、实例丰富,既注重基础知识的讲解和逻辑思维的训练,又突出工程实践和实际应用。为了方便教师教学和学生自学,随书提供 PPT 课件、汇编程序源代码等辅助学习资料(扫描二维码即可)。

本书既可作为普通高等院校通信工程、电子信息、自动化、电气工程、机电一体化、测控技术和仪器仪表等专业的教材,也可作为电子设计、开发爱好者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用/李桂林等编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2017.8(2017.9 重印)

高等学校电子信息类“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-4592-6

I. ① 单… II. ① 李… III. ① 单片微型计算机—教材 IV. ① TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 174376 号

策 划 李惠萍

责任编辑 王 瑛

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 9 月第 2 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 17

字 数 402 千字

印 数 501~3500 册

定 价 34.00 元

ISBN 978-7-5606-4592-6/TP

XDUP 4884001-2

* * * 如有印装问题可调换 * * *

前 言

一、学习单片机的意义

传统的电子系统所完成的一切功能都是通过布线逻辑控制(Wired Logic Control)实现的,若要增加功能或者改进性能,必须修改或者重新设计硬件电路。而现代电子系统完成的许多功能是利用单片机通过存储程序控制(Stored Program Control)实现的,也就是控制功能是通过计算机执行预先存储在存储器中的程序来实现的。如果想要给系统增加功能或者改进性能,只需要改写程序(即软件)即可轻而易举地达到目的,操作非常灵活。若将传统的电子系统当作一个僵死的电子系统,那么智能化的现代电子系统则是一个具有生命的电子系统。单片机应用系统的硬件结构给予电子系统以“身躯”,单片机应用系统的应用程序则赋予其“灵魂”。电子系统的智能化程度是无止境的,常常不需增添硬件资源就能实现各种功能的更新和增添,这也是当前许多电子设备的功能大量增强和不断扩展的重要因素。

单片机是一种面向控制的大规模集成电路芯片,具有体积小、性价比高、功能强、性能稳定、控制灵活等优点,已成为电子系统中最重要的智能化核心部件,是微型计算机的一个重要分支。目前,单片机技术在通信、电子信息、工业检测控制、机电一体化、电力电子、智能仪器仪表、汽车电子等领域得到了广泛的应用。其中 MCS-51 系列单片机以其特有的简单、易学、易用和高性价比的优势,占有单片机市场的大部分份额,是初学者学习单片机的首选机型。为了帮助本科生和科技人员尽快掌握单片机的基本知识和应用开发方法,在理论方面打好基础,在应用方面快速上手,编著者特精心编写了本书。

二、本书的结构和特点

参加本书编写的人员均为长期从事单片机技术教学的一线教师,具有丰富的教学经验,同时这些教师均参加过智能化电子产品的开发和研制。本书是编者依据多年来单片机课程教学和应用系统开发的经验,并参考了大量的同类书籍和单片机发展的最新技术资料编写而成的。

本书以课堂教学和课堂学习为主线,力图解决困扰大多数学生的单片机学习问题(如:基本概念理解困难,没有编程思路,很难建立中断的概念,不了解单片机软硬件之间的关系等),从精简内容、突出重点、加强逻辑思维能力训练等方面入手编写,具有如下特点:

(1) **内容精练、重点突出。**本书缩减了一些次要内容,突出学习重点,关键内容和知识点在字体上都做了加黑处理,使得学生在学习过程中可更好地抓住重点。在指令的运用上,突出常用指令(在附录中加了“*”),而且所有的例题均限定在这些指令之内。

(2) **强调编程思想和逻辑思维的训练。**通过多年教学经验总结,笔者认为很大一部分学生缺乏分析问题的能力和逻辑思维能力,需要加强这方面的训练。本书以此作为切入

点，重点展开论述。针对本课程实践性强的特点，笔者对书中例题进行了精心设计，并突出了例题的多角度讲解，给出不同思路下的解题(编程)方法，以激发学生思维能力。

(3) **注重实用、与时俱进。**根据单片机外围芯片发展的实际情况，增加了串行总线技术及常用芯片的讲解，如 I²C 总线、SPI 总线，将 AT89 系列单片机作为实例，以适应当代主流单片机和外围接口器件的发展趋势。

本书由李桂林、王新屏、马驰和张春光编写，李桂林编写第 1 章、第 4 章、第 8 章、第 9 章，并负责全书的组织和统稿工作；王新屏编写第 3 章、第 5 章及第 6 章的部分内容；马驰编写第 2 章、第 7 章的部分内容；张春光编写第 6 章的部分内容、第 7 章的部分内容。特别感谢西安电子科技大学出版社李惠萍编辑对本书编写所提出的宝贵意见，同时对本书所列参考文献的作者也在此表示诚挚的谢意。

按照编写目标，编著者进行了许多思考和努力。由于编著者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正，以便不断改进(联系邮箱：modulation@sina.com)。

针对本书内容和其他扩展内容，我们开发了一个极具特色的网站：www.mcs-51.com(支持手机版)，里面有知识点的形象讲解、扩展内容和芯片的学习、C51 开发语言的学习，还有一些电子制作的实际案例讲解、电路图和全部代码，欢迎读者登录网站查阅和学习。读者也可通过扫描本页或封底的二维码下载并安装手机 App 应用。



编著者
2017 年 4 月

目 录

第 1 章 单片机基础知识	1	2.4.4 P3 口	26
1.1 单片机概述	1	2.5 单片机的辅助电路	27
1.1.1 单片机的组成	1	2.5.1 时钟电路	27
1.1.2 单片机的特点	2	2.5.2 复位电路和复位状态	28
1.1.3 单片机系统	2	2.5.3 单片机最小系统	30
1.1.4 单片机程序设计语言	3	2.6 单片机的工作时序和工作方式	31
1.2 单片机的历史和发展	4	2.6.1 时序的基本概念	31
1.2.1 单片机的发展历史	4	2.6.2 单片机的工作时序	31
1.2.2 单片机的发展趋势	4	2.6.3 单片机的工作方式	33
1.3 典型单片机简介	5	思考与练习	34
1.3.1 MCS-51 系列单片机	5	第 3 章 单片机指令系统	35
1.3.2 AT89 系列单片机	6	3.1 指令系统概述	35
1.3.3 PIC 系列单片机	7	3.1.1 指令的表达形式	35
1.3.4 MSP430 系列单片机	8	3.1.2 指令中的常用符号	37
1.4 单片机的应用	8	3.2 单片机的寻址方式	38
1.4.1 单片机的应用特点	9	3.2.1 立即寻址	38
1.4.2 单片机的应用领域	9	3.2.2 直接寻址	39
思考与练习	10	3.2.3 寄存器寻址	40
第 2 章 单片机基本结构和工作原理	11	3.2.4 寄存器间接寻址	41
2.1 单片机的组成和内部结构	11	3.2.5 变址寻址	41
2.1.1 单片机的组成	11	3.2.6 相对寻址	42
2.1.2 单片机的内部逻辑结构	12	3.2.7 位寻址	43
2.1.3 CPU 的内部结构	13	3.3 单片机的指令系统	44
2.1.4 单片机的其他结构模块	14	3.3.1 数据传送类指令	45
2.2 单片机的外部引脚及功能	14	3.3.2 算术运算类指令	52
2.2.1 I/O 引脚	15	3.3.3 逻辑运算类指令	57
2.2.2 控制引脚	15	3.3.4 控制转移类指令	61
2.2.3 电源与晶振引脚	16	3.3.5 位操作类指令	68
2.3 单片机的存储器结构	16	思考与练习	71
2.3.1 程序存储器	16	第 4 章 单片机汇编语言程序设计	74
2.3.2 数据存储器	18	4.1 汇编语言程序的设计基础	74
2.3.3 特殊功能寄存器	20	4.1.1 汇编语言的语句格式	74
2.4 单片机的 I/O 电路	23	4.1.2 伪指令	74
2.4.1 P0 口	23	4.1.3 汇编语言程序的结构	76
2.4.2 P1 口	24		
2.4.3 P2 口	25		

4.1.4 汇编语言程序的编辑与汇编	78	6.2 串行口的内部结构和工作原理	141
4.1.5 汇编语言程序的设计方法	78	6.2.1 串行口的内部结构	141
4.2 汇编语言程序的基本结构形式	79	6.2.2 串行口的工作原理	142
4.2.1 顺序程序	80	6.2.3 串行口的控制与状态	142
4.2.2 分支程序	81	6.2.4 串行口的工作方式	144
4.2.3 循环程序	86	6.3 串行通信的应用	145
4.2.4 子程序	89	6.3.1 串行口波特率的确定和初始化	145
4.3 常用程序设计举例	91	6.3.2 串行口用于扩展并行 I/O 口	148
4.3.1 数制转换子程序	91	6.3.3 双机通信	149
4.3.2 延时子程序	94	6.3.4 多机通信	155
4.3.3 均值滤波程序	94	6.3.5 单片机与 PC 之间的通信	158
4.3.4 数据极值查找子程序	96	思考与练习	164
4.3.5 算术运算子程序	98	第 7 章 单片机并行扩展技术	165
思考与练习	100	7.1 单片机的最小系统	165
第 5 章 单片机中断和定时器/计数器	102	7.1.1 80C51/89C51 最小应用系统	165
5.1 单片机的中断系统	102	7.1.2 8031 最小应用系统	165
5.1.1 中断系统的基本概念和基本结构	102	7.2 总线扩展及编址方法	166
5.1.2 中断系统的控制与实现	104	7.2.1 单片机的外总线结构	166
5.1.3 中断系统的处理过程	109	7.2.2 单片机的扩展能力	167
5.1.4 中断系统的应用	114	7.2.3 地址译码方法	167
5.2 单片机的定时器/计数器	120	7.3 存储器的扩展	170
5.2.1 定时器/计数器的基本结构和工作原理	120	7.3.1 EPROM 程序存储器的扩展	170
5.2.2 定时器/计数器的控制与状态	121	7.3.2 E ² PROM 程序存储器的扩展	172
5.2.3 定时器/计数器的工作方式	123	7.3.3 数据存储器及其扩展	173
5.2.4 定时器/计数器的初值计算和初始化	126	7.4 并行 I/O 口的应用	176
5.2.5 定时器/计数器的应用	126	7.4.1 I/O 口的简单扩展	177
思考与练习	137	7.4.2 LED 数码管显示接口	178
第 6 章 单片机串行通信接口	138	7.4.3 键盘接口	184
6.1 串行通信的基本概念	138	7.5 A/D、D/A 转换器及应用	192
6.1.1 串行通信的分类	138	7.5.1 A/D 转换器	192
6.1.2 串行通信的数据传输方式	140	7.5.2 D/A 转换器	199
		思考与练习	204
		第 8 章 单片机串行扩展技术	206
		8.1 串行总线概述	206
		8.2 I ² C 总线接口及其扩展	206
		8.2.1 I ² C 总线的基础知识	206

8.2.2 I ² C 总线的数据传输时序	207	9.2 Keil 集成开发平台	232
8.2.3 I ² C 总线的时序模拟	209	9.2.1 应用程序的创建	232
8.2.4 串行程序存储器 AT24C04	210	9.2.2 应用程序的编辑、编译和链接	237
8.3 SPI 总线接口及其扩展	216	9.2.3 应用程序的仿真和调试	238
8.3.1 SPI 总线的基础知识	216	9.2.4 应用程序调试的常用窗口	241
8.3.2 SPI 总线的数据传输时序	217	9.2.5 调试实例	243
8.3.3 E ² PROM 芯片 X25045	218	9.3 实际应用案例	245
8.3.4 A/D 转换器芯片 TLC549	223	9.3.1 汽车驾驶操纵信号灯控制系统	245
思考与练习	225	9.3.2 高精度模拟信号的采集和显示	249
第 9 章 单片机开发入门知识	226	思考与练习	255
9.1 单片机应用系统开发技术	226	附录 A ASCII 表	256
9.1.1 单片机应用系统的开发过程	226	附录 B MCS-51 指令表	260
9.1.2 单片机开发调试工具	228	参考文献	264

第1章 单片机基础知识

本章主要介绍单片机的基本概念、特点及应用领域，重点讲述单片机应用系统和开发语言的基本知识、常用单片机系列和分类。

1.1 单片机概述

单片机是一种集成电路芯片，伴随着微电子技术的发展而产生，是微型计算机的一个重要分支。

现代电子系统的基本核心是嵌入式计算机应用系统(简称嵌入式系统, Embedded System)，而单片机就是最典型、最广泛、最普及的嵌入式计算机应用系统，也可以称其为基本嵌入式系统。

1.1.1 单片机的组成

单片机是把中央处理器(CPU)、随机存储器(RAM, 一般用于存储数据)、只读存储器(ROM, 一般用于存储程序)、中断系统、定时器/计数器以及 I/O 接口电路(可能还包括显示驱动电路、脉宽调制电路、模拟多路转换器、A/D 转换器等电路)等集成在一块芯片上的微型计算机。换一种说法, 单片机就是不包括输入/输出设备、不带外部设备的微型计算机。虽然单片机只是一个芯片, 但从组成和功能上看, 它已具有了计算机系统的属性, 因此称它为单片微型计算机(Single Chip Micro-Computer, SCMC), 简称单片机。

目前, 单片机已有几十个系列, 上千个品种。图 1-1 为某些型号的单片机。在众多产品中, 20 世纪 80 年代 Intel 公司推出的 MCS-51 系列单片机应用最为广泛。

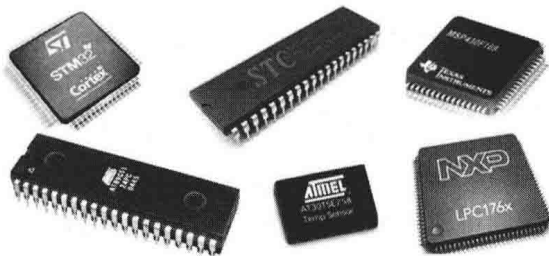


图 1-1 各种型号的单片机

虽然单片机型号各异, 但其基本组成部分相似。图 1-2 为单片机的典型结构框图。

单片机在应用时通常处于被控系统的核心地位并融入其中, 即以嵌入的方式使用。为了强调其“嵌入”的特点, 也常常将单片机称为嵌入式微控制器(Embedded Micro-Controller Unit, EMCU), 在单片机的电路和结构中有许多嵌入式应用的特点。

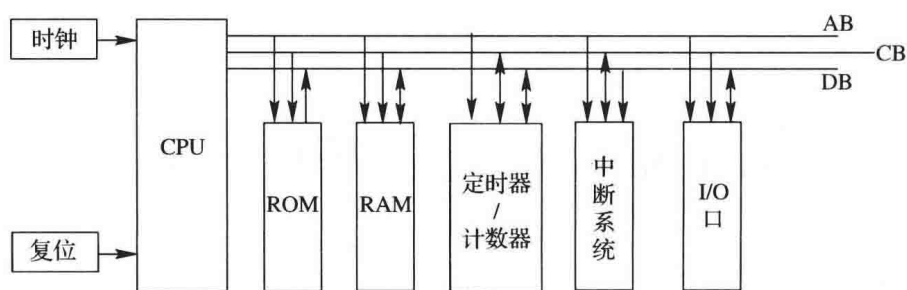


图 1-2 单片机的典型结构框图

1.1.2 单片机的特点

单片机是一种集成电路芯片，在工业控制领域得到了广泛应用。单片机的主要特点如下所述。

1. 集成度高、体积小、可靠性高

单片机将各功能部件集成在一块集成电路芯片上，所以集成度很高，体积自然也是最小的。芯片本身是按工业测控环境要求设计的，内部布线很短，数据在传送时受干扰的影响较小，其抗工业噪声性能优于一般通用的 CPU。单片机程序指令、常数及表格等固化在 ROM 中不易破坏，许多信号通道均在一个芯片内，故可靠性较高。

2. 控制功能强

为了满足实际控制要求，各类单片机的指令系统均有极丰富的条件分支转移能力、I/O 口的逻辑操作及位处理能力，单片机的位操作能力更是其他计算机无法比拟的。单片机的实时控制功能特别强，非常适用于专门的控制系统。

3. 低电压、低功耗，便于生产便携式产品

为了满足广泛使用的便携式产品的开发，许多低功耗单片机的工作电压仅为 1.8~3.6V，而工作电流仅为数百微安，能够使系统在低功耗状态下运行。

4. 易扩展

单片机芯片内具有计算机正常运行所必需的部件，芯片外部有供扩展用的三总线及并行、串行输入/输出引脚，很容易构成各种规模的单片机应用系统。

5. 性能价格比优异

为了提高运行速度和工作效率，高端单片机已开始使用 RISC 流水线和 DSP 等技术。寻址能力也已突破 64 KB(B 为 Byte 的简写，即字节，为 8 位二进制码)的限制，有的已达到 16 MB，片内 RAM 容量则可达 2 MB。由于单片机的广泛使用，因而其销量极大。各大公司的商业竞争更使其价格十分低廉，所以其性能价格比极高。

1.1.3 单片机系统

初学者在学习单片机时，应注意区分单片机和单片机系统、单片机应用系统和单片机开发系统。

1. 单片机和单片机系统

单片机只是一个芯片，而单片机系统则是在单片机芯片的基础上扩展其他电路或芯片

构成的具有一定应用功能的计算机系统。

通常所说的单片机系统都是为实现某一应用需要而由开发人员设计的,是一个围绕单片机芯片而组建的计算机应用系统。在单片机系统中,单片机处于核心地位,是构成单片机系统的硬件和软件基础。

2. 单片机应用系统和单片机开发系统

单片机应用系统(简称单片机系统)主要是为应用而设计开发的,该系统与控制对象结合在一起工作,是单片机开发应用的成果。单片机系统的设计开发包括硬件设计和软件编程两部分。由于软/硬件资源所限,单片机与微型计算机不同,单片机系统本身不能实现自我开发,要进行系统设计开发,必须使用专门的单片机开发系统。

单片机开发系统是单片机应用系统开发调试工具的总称。在线仿真器(In-Circuit Emulator, ICE)是单片机开发系统的核心部分(参见 9.1.2 节)。在单片机系统的设计中,仿真器应用的范围主要集中在对程序的仿真上。因为,在单片机的开发过程中,程序设计是最重要的,但也是难度最大的。一种最简单和原始的开发流程是:编写程序→烧写芯片→验证功能,这种方法对于简单系统是可以应付的,但在复杂系统中使用这种方法则是完全不可能的,所以需要使用单片机开发系统来支持开发工作。

1.1.4 单片机程序设计语言

程序实际上是一系列计算机指令的有序集合。我们把利用计算机指令系统来合理地编写出解决某个问题的程序的过程,称为程序设计。这也是我们学习这门课程的主要目的之一。

单片机程序设计语言,主要是指在开发系统中使用的语言。在单片机开发系统中主要使用汇编语言和高级语言,而单片机应用系统运行时使用机器语言。

1. 汇编语言

汇编语言是用助记符表示的机器指令。汇编语言是对机器语言的改进,是单片机最常用的程序设计语言之一。汇编指令和机器指令一一对应,所以用汇编语言编写的程序效率高,占用存储空间小,运行速度快,因此汇编语言能编写出最优化的程序。虽然汇编语言是高效的计算机语言,但它是面向机器的低级语言,不便于记忆和使用,且与单片机硬件关系密切,这就要求程序设计人员必须精通单片机的硬件系统和指令系统。每一类单片机都有它自己的汇编语言,它们的指令系统是各不相同的,也就是说,不同的单片机有不同的指令系统。尽管目前已有不少程序设计人员使用 C 语言来进行单片机的应用程序开发,但是在对程序运行空间和时间要求很高的场合,汇编语言仍是必不可少的。

2. C 语言

也可以使用高级语言进行单片机应用系统开发,最常用的是 C 语言。单片机开发用的 C 语言是在标准 C 基础上经过扩充的 C 语言,也称为 C51 语言。与汇编语言相比, C 语言不受具体“硬件”的限制,具有通用性强,直观、易懂、易学,可读性好等优点。目前多数的单片机开发者使用 C 语言来进行程序设计。C 语言已经成为人们公认的高级语言中高效、简洁而又贴近单片机硬件的编程语言。用 C 语言进行单片机的软件开发,可大大缩短开发周期,且可明显地增加软件的可读性,便于改进和补充。

1.2 单片机的历史和发展

单片机作为一种面向测控的微控制器，应用极为广泛。自 20 世纪 70 年代以来历经 4 位机、8 位机、16 位机、32 位机等发展过程，现已有 50 多个系列，上千个品种，新的系列和型号还不断出现，但 8 位通用单片机一直是市场上的主流。

1.2.1 单片机的发展历史

1. 单片机形成阶段

1976 年，Intel 公司推出了 MCS-48 系列单片机，这是第一个 8 位单片机。它是 8 位 CPU、1KB ROM、64B RAM、27 根 I/O 线和 1 个 8 位定时器/计数器等集成于一块半导体芯片上的单片结构。

其特点是：存储器容量较小，寻址范围小(不大于 4 KB)，无串行接口，指令系统功能不强。这一阶段的单片机产品还有 Motorola 公司的 6801 系列和 Zilog 公司的 Z8 系列。

2. 性能完善提高阶段

1980 年，Intel 公司又推出了内部功能单元集成度更强的 8 位机——MCS-51 系列产品。其性能大大超过了 MCS-48 系列产品，一经问世便显示出其强大的生命力，广泛应用于电子信息、工业控制、仪器仪表等领域。

其特点是：结构体系完善，性能卓越，面向控制的特点进一步突出。

现在，MCS-51 已成为公认的单片机经典机种。

3. 微控制器化形成阶段

1982 年，Intel 推出 MCS-96 系列单片机。芯片内集成有 16 位 CPU、8 KB ROM、232B RAM、5 个 8 位并口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时器/计数器，寻址范围为 64 KB，片上还有 8 路 10 位 ADC、1 路 PWM 输出及高速 I/O 部件等。

其特点是：片内增强了面向测控系统的外围电路，使单片机可以方便灵活地用于复杂的自动测控系统及设备。

这一阶段，“微控制器(MCU)”的称谓更能反映单片机的本质。

4. 微控制器化完善阶段

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(在系统可编程，In System Programmable, ISP)等方面都有了进一步的增强。

其特点是：适合不同领域要求的各种通用单片机系列和专用型单片机得到了大力发展，单片机的综合品质(如成本、性能、体系结构、开发环境、供应状态)有了长足的进步。

8 位单片机从 1976 年公布至今，其技术已有了很大的发展，目前乃至将来仍是单片机的主流机型之一。

1.2.2 单片机的发展趋势

1. 低功耗

HCMOS 工艺出现后，HCMOS 器件得到了飞速的发展。如今，数字逻辑电路、外围

器件都已普遍 CMOS 化。采用 CMOS 工艺后,单片机具有极佳的低功耗和功耗管理功能。现在新的单片机的功耗越来越低,特别是很多单片机都设置了多种工作方式,包括等待、暂停、睡眠、空闲、节电等工作方式。MCS-51 系列的 8031 单片机推出时的功耗达 630mW,而现在的单片机功耗普遍都在 100mW 左右,有的只有几十微瓦。

MSP430 系列单片机是低功耗单片机的典型代表。

2. RISC 体系结构的发展

早期单片机大多是复杂指令集(Complex Instruction Set Computer, CISC)结构体系,即所谓的冯·诺伊曼结构,如 MCS-51 系列单片机。采用 CISC 结构的单片机数据线和指令线分时复用,其指令丰富,功能较强,但取指令和取数据不能同时进行,速度受限。由于指令复杂,指令代码、周期数不统一,指令运行很难实现流水线操作,大大阻碍了运行速度的提高。传统的 MCS-51 系列单片机,时钟频率为 12 MHz 时,单周期指令速度仅 1MIPS。虽然单片机对运行速度要求远不如通用计算机系统或数字信号处理器(DSP 芯片)对运行速度的要求高,但速度的提高仍会带来许多好处,能拓宽单片机的应用领域。

采用精简指令集(Reduced Instruction Set Computer, RISC)体系结构的单片机,数据线和指令线分离,即所谓的哈佛结构,这使得取指令和取数据可以同时进行,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。

Microchip 公司的 PIC 系列、Atmel 公司的 AT90S 系列、SAMSUNG 公司的 KS57C 系列、义隆公司的 EM-78 系列等多采用 RISC 结构。

3. ISP 及基于 ISP 的开发应用

目前,片内带 E²PROM 的单片机的广泛使用,推动了“在系统可编程”(ISP)技术的发展。在 ISP 技术基础上,首先实现了目标程序的串行下载,从而促使了模拟仿真开发方式的兴起。在单时钟、单指令运行的 RISC 结构单片机中,可实现 PC 通过串行电缆对目标系统的仿真调试。上述仿真技术,使远程调试(即对原有系统方便地更新软件、修改软件和对软件进行远程诊断)成为现实。

现在很多单片机的程序存储器和数据存储器都采用 Flash 存储器件,可以在线电擦写,并且断电后数据不丢失,系统开发阶段使用十分方便,在小批量应用系统中得到了广泛应用。

1.3 典型单片机简介

1.3.1 MCS-51 系列单片机

MCS-51 是 Intel 公司生产的 8051 单片机系列名称。

MCS-51 系列单片机以其良好的开放式结构、种类众多的支持芯片、丰富的软件资源,在我国应用十分广泛。其技术特点是完善了外部总线,确立了单片机的控制功能。外部并行总线规范化为 16 位地址总线,以寻址外部 64 KB 程序存储器和数据存储器空间,8 位数据总线和相应的控制总线,形成完整的并行三总线结构。

MCS-51 系列单片机采用两种生产工艺:一是 HMOS 工艺(高密度短沟道 MOS 工艺);二是 CHMOS 工艺(互补金属氧化物的 HMOS 工艺)。CHMOS 是 CMOS 和 HMOS

的结合，既保持了 HMOS 高速度和高密度的特点，还具有 CMOS 的低功耗特点。在产品型号中凡带有字母“C”的即为 CHMOS 芯片(如 80C51 等)，CHMOS 芯片的电平既与 TTL 电平兼容，又与 CMOS 电平兼容。

8031 是最早、最基本的产品，该系列的其他单片机都是在 8031 的基础上通过增加功能而来的。

80C51 是 MCS - 51 系列中 CHMOS 工艺的一个典型品种。其他厂商以 8051 为基核开发的基于 CMOS 工艺的单片机产品统称为 80C51 系列，而 MCS - 51 系列和 80C51 系列统称为 51 系列单片机(本书在后面的章节中一般会用 MCS - 51 单片机来表述)。当前常用的 51 系列单片机主要产品有 Intel 公司的 80C31、80C51、87C51、80C32、80C52、87C52 等，Atmel 公司的 AT89C51、AT89C52、AT89C2051、AT89S51 等。另外，还有 Philips、华邦、Dallas、Siemens(Infineon)等公司的许多产品，在此不一一列举。

51 系列单片机分类及性能指标见表 1 - 1。

表 1 - 1 51 系列单片机分类及性能指标

分类		芯片型号	存储器类型及字节数		片内其他功能单元数量			
			ROM	RAM	并行口	串行口	定时器/ 计数器	中断源
总线型	基本型	80C31	无	128B	4 个	1 个	2 个	5 个
		80C51	4KB 掩模	128B	4 个	1 个	2 个	5 个
		87C51	4KB EPROM	128B	4 个	1 个	2 个	5 个
		89C51/89S51	4KB Flash ROM	128B	4 个	1 个	2 个	5 个
	增强型	80C32	无	256B	4 个	1 个	3 个	6 个
		80C52	8KB 掩模	256B	4 个	1 个	3 个	6 个
		87C52	8KB EPROM	256B	4 个	1 个	3 个	6 个
		89C52/89S52	8KB Flash ROM	256B	4 个	1 个	3 个	6 个
非总线型		89C2051	2KB Flash ROM	128B	2 个	1 个	2 个	5 个
		89C4051	4KB Flash ROM	128B	2 个	1 个	2 个	5 个

1.3.2 AT89 系列单片机

AT89 系列单片机是 Atmel 公司的 8 位 Flash 单片机系列。这个系列单片机的最大特点是在片内含有 Flash 存储器，开发十分便捷，是 80C51 系列的主流单片机。AT89 系列单片机是以 8051 核为基础构成的，所以，它和 MCS - 51 系列单片机是完全兼容的，可以替代以 MCS - 51 为基础的单片机系统。对于熟悉 8051 的用户来说，用 Atmel 公司的 89 系列的 AT89C51(或 AT89S51)取代 8051 的系统设计，是轻而易举的事。本书许多案例中的单片机就是以 AT89C51 为例的(但我们在书中还是统一称为 MCS - 51 单片机)。

AT89 系列单片机的主要型号有 AT89C51、AT89C52、AT89C2051、AT89S51、AT89S52 等。

89S51 是 89C51 的升级版本，89SXX 可以向下兼容 89CXX 等 51 系列芯片。89S51 有

ISP 在线编程功能；最高工作频率为 33 MHz；内部集成看门狗计时器；带有全新的加密算法，程序的保密性大大加强；电源范围宽达 4~5.5 V。

AT89 系列单片机具有以下优点：

(1) 内部含 Flash ROM。在系统的开发过程中，可以十分容易地进行程序修改，这大大缩短了系统的开发周期，同时在系统工作过程中能有效地保存一些数据信息，即使外部电源损坏也不会影响到信息的保存。

(2) 和 MCS-51 系列单片机引脚兼容。由于 AT89 系列单片机的引脚是和 MCS-51 系列单片机的引脚完全一样的，所以可以用 AT89 系列单片机替代 MCS-51 系列单片机，这时不管采用 40 引脚或是 44 引脚的芯片，只要用相同封装的芯片直接取代即可。

(3) 静态时钟方式。AT89 系列单片机采用静态时钟方式，可以节省电能，这对于降低便携式产品的功耗十分有用。

1.3.3 PIC 系列单片机

PIC(Peripheral Interface Controller)系列单片机是一种用来控制外围设备的可编程集成电路，是由美国 Microchip 公司推出的单片机系列产品。PIC 系列单片机采用了 RISC 结构，其高速度、低电压、低功耗、大电流 LCD 驱动能力和低价位 OTP(一次性编程)技术等都体现出单片机产业的新趋势。PIC 系列单片机在电脑外设、家电、通信设备、智能仪器、汽车电子等各个领域得到了广泛应用，现今的 PIC 系列单片机已经是世界上最有影响力的嵌入式微控制器之一，如 PIC10XX、PIC16XX、PIC24XX、dsPIC30XX、PIC32XX 等。

PIC 系列单片机具有以下优点：

(1) 适用性广。PIC 系列单片机最大的特点是从实际出发，重视产品的性能与价格比，靠发展多种型号来满足不同层次的应用要求。PIC 系列单片机从低到高有几十个型号，可以满足各种需要。其中，PIC12C508 单片机仅有 8 个引脚，是世界上最小的单片机。

(2) 运行效率高。PIC 系列单片机的精简指令集(RISC)使其执行效率大为提高。PIC 系列 8 位 CMOS 单片机具有独特的 RISC 结构，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，可以达到 2:1 的代码压缩，速度提高 4 倍。

(3) 开发环境优越。单片机开发系统的实时性是一个重要指标。MCS-51 系列单片机的开发系统大都采用高档型号仿真低档型号，实时性不尽理想。PIC 单片机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。

(4) 可靠性高。PIC 系列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，可直接与继电器控制电路相连，无需光电耦合器隔离，给应用带来极大方便。PIC 系列单片机自带看门狗定时器，可以用来提高程序运行的可靠性。

(5) 保密性好。PIC 系列单片机以保密熔丝来保护代码，用户在烧入代码后熔断熔丝，别人再也无法读出，除非恢复熔丝。目前，PIC 系列单片机采用熔丝深埋工艺，恢复熔丝的可能性极小。

1.3.4 MSP430 系列单片机

MSP430 系列单片机是美国德州仪器公司(TI)1996 年开始推向市场的一种 16 位超低功耗、具有精简指令集(RISC)的混合信号处理器(Mixed Signal Processor)。之所以称为混合信号处理器,是由于其针对实际应用需求,将多个不同功能的模拟电路、数字电路模块和微处理器集成在一个芯片上,以提供“单片”解决方案。该系列单片机多应用于需要电池供电的便携式装置中。MSP430 系列单片机具有以下优点:

(1) 处理能力强。MSP430 系列单片机是一个 16 位的单片机,采用了精简指令集(RISC),具有丰富的寻址方式(7 种源操作数寻址、4 种目的操作数寻址)、简洁的 27 条内核指令以及大量的模拟指令;寄存器以及片内数据存储器都可参与多种运算;还有高效的查表处理指令。这些特点保证了可编制出高效率的源程序。

(2) 运算速度快。MSP430 系列单片机能在 25 MHz 晶振的驱动下实现 40 ns 的指令周期。16 位的数据宽度、40 ns 的指令周期以及多功能的硬件乘法器(能实现乘法运算)相配合,能实现数字信号处理的某些算法(如 FFT 等)。

(3) 超低功耗。MSP430 系列单片机的电源电压采用的是 1.8~3.6 V 电压,使芯片整体上处于较低功耗运行状态。独特的时钟系统设计,在 MSP430 系列中有不同的时钟系统:基本时钟系统、锁频环时钟系统和 DCO 数字振荡器时钟系统。可以只使用一个晶体振荡器,也可以使用两个晶体振荡器。由时钟系统产生 CPU 和各功能所需的时钟。并且这些时钟可以在指令的控制下打开和关闭,从而实现对总体功耗的控制。在实时时钟模式下,电流可低到 0.3~2.5 μA ;而在 RAM 保持模式下,电流最低可达 0.1 μA 。

(4) 片内资源丰富。MSP430 系列单片机都集成了较丰富的片内外设。它们分别是看门狗(WDT)、模拟比较器 A、定时器 A0、定时器 A1、定时器 B0、UART、SPI、I²C、硬件乘法器、液晶驱动器、10 位/12 位 ADC、16 位 $\Sigma-\Delta$ ADC、DMA、I/O 端口、基本定时器(Basic Timer)、实时时钟(RTC)和 USB 控制器等若干外围模块的不同组合。这些片内外设为系统的单片解决方案提供了极大的便利。

(5) 方便高效的开发环境。MSP430 系列有 OTP 型、Flash 型和 ROM 型三种类型的器件,这些器件的开发手段不同。OTP 型和 ROM 型的器件使用仿真器开发,开发成功之后烧写或掩模芯片;Flash 型的器件则有十分方便的开发调试环境,因为器件片内有 JTAG 调试接口,还有可电擦写的 Flash 存储器,因此采用先下载程序到 Flash 存储器内,再在器件内通过软件控制程序的运行,由 JTAG 接口读取片内信息供开发者调试使用。这种方式只需要一台 PC 和一个 JTAG 调试器,而不需要仿真器和编程器。

1.4 单片机的应用

单片机技术的发展速度十分惊人。时至今日,单片机技术已经发展得相当成熟,成为计算机技术的一个独特而又重要的分支。单片机的应用领域也日益广泛,特别是在工业控制、仪器仪表、汽车电子、家用电器等领域的智能化方面,扮演着极其重要的角色。

1.4.1 单片机的应用特点

单片机的特点很多,这里仅从应用的角度讨论单片机以下几个方面的特点。

1. 控制系统在线应用

控制系统在线应用中,由于单片机与控制对象联系密切,所以不但对单片机的性能要求高,而且对开发者的要求也很高,他们既要熟练掌握单片机,还要了解控制对象,懂得传感技术,具有一定的控制理论知识等。

2. 软/硬件结合

虽然单片机的引入使控制系统大大“软化”,但与其他计算机应用系统相比,单片机控制应用中的硬件内容仍然较多,所以说单片机控制应用具有软/硬件相结合的特点。为此,在单片机的应用设计中需要软、硬件统筹考虑,开发者不但要熟练掌握软件编程技术,而且还要具备较扎实的单片机外围硬件电路设计方面的理论和实践知识。

3. 应用现场环境恶劣

通常,单片机应用现场的环境比较恶劣,电磁干扰、电源波动、冲击震动、高低温等因素都会影响系统工作的稳定性。此外,无人值守环境也对单片机系统的稳定性和可靠性提出了更高的要求。所以,稳定性和可靠性在单片机应用系统中具有十分重要的意义。

1.4.2 单片机的应用领域

提到单片机的应用,有人会这样说:“凡是能想到的地方,单片机都可以用得上。”这并不夸张。由于全世界单片机的年产量以亿计,应用范围之广,花样之多,一时难以详述,下面仅列举一些典型的应用领域或场合。

1. 智能仪器仪表

单片机用于各种仪器仪表,既提高了仪器仪表的使用功能和精度,也使得仪器仪表更加智能化,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。典型的智能仪器仪表如各种智能测量仪表、智能传感器等。

2. 机电一体化产品

机电一体化产品是集机械技术、微电子技术、自动化技术和计算机技术于一体,具有智能化特征的各种机电产品。单片机在机电一体化产品的开发中可以发挥巨大的作用。典型产品如机器人、数控机床、自动包装机、医疗设备等。

3. 实时工业控制

单片机还可以用于各种物理量的采集与控制。电流、电压、温度、液位、流量等物理参数的采集和控制均可以利用单片机方便地实现。在这类系统中,利用单片机作为系统控制器,可以根据被控对象的不同特征采用不同的智能算法,实现期望的控制目标,从而提高生产效率和产品质量。典型应用如电机转速控制、温度控制、自动生产线等。

4. 分布式系统的前端模块

在较复杂的工业系统中,经常要采用分布式测控系统完成大量的分布参数的采集。在这类系统中,采用单片机作为分布式系统的前端采集模块,具有运行可靠、数据采集方便灵活、成本低廉等一系列优点。