

出版二十载 畅销十万册

● 高等学校电子信息类专业精品教材

(第5版)

# MCS-51 系列 单片机及其应用

孙育才 孙华芳 / 著

SE 东南大学出版社

## 内 容 提 要

本书第5版对前几版进行了全面的总结,在保持原有的风格和特点的基础上做了进一步的调整和补充,使全书内容更加充实、完整,更符合学习和教学环节。

全书共分9章,前6章着重于硬件结构、功能特点、基本原理、基本概念的阐述,后3章阐述程序设计、外部功能扩展、开发与应用,结合应用举例,重点讲解应用和设计。论述较前版更加清晰,通俗易懂,重点突出,理论与应用紧密结合,实用性强。

本书适合广大科技工作者阅读,也适合作为各大专院校单片机课程教学用书,还可作为各类选修课和培训班等的主选教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

MCS-51 系列单片机及其应用(第5版)/孙育才,  
孙华芳著. —5版. —南京:东南大学出版社,2012.6

ISBN 978-7-5641-2287-4

I. ①M… II. ①孙… ②孙… III. ①单片机-  
高等学校-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 107920 号

### MCS-51 系列单片机及其应用(第5版)

---

著 者 孙育才 孙华芳

责任编辑 张 煦

出 版 人 江建中

---

出版发行 东南大学出版社

社 址 南京市四牌楼2号(邮编:210096)

网 址 <http://www.seupress.com>

印 刷 南京玉河印刷厂

制 版 南京理工大学资产经营有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 22.75

字 数 582千

版 次 2012年6月第5版 2012年6月第22次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-2287-4

印 数 98 001—103 000 册

定 价 36.00 元

---

## 第 5 版前言

20 世纪 80 年代中期,国内开始掀起了学习、应用单片机的热潮,《MCS-51 系列单片微型计算机及其应用》一书,于 1987 年首次在国内正式出版发行,恰好适应了全国广大科技工作者学习、应用单片机技术的迫切需要。因而深受广大读者的欢迎,成为广大科技工作者人手一册的畅销书。

为了适应全国各大专院校开设单片机课程的需要,于 1987 年进行了第 2 版的修订,1997 年进行了第 3 版的修订,2004 年又进行了第 4 版的修订。

本书自 1987 年首次在国内出版发行以来,至今已有 20 多个年头了,中间进行了 3 次大的修订,紧紧跟随着单片机开发与应用不断发展的步伐。并于 2006 年荣获华东地区大学出版社第七届优秀教材、学术专著二等奖和江苏省第十届优秀图书奖二等奖。承蒙全国广大读者的厚爱,本书已成为广大科技工作者学习、开发与应用单片机的必备用书,全国各大专院校单片机课程的首选教材,致使本书一直畅销、经久不衰。值此再版之际,再次向广大读者、广大师生们致以最诚挚的谢意,谢谢!

近几年来,尽管单片机技术发展飞快,高档的 16 位、32 位单片机相继推向市场,但整个应用领域的 80%~90% 仍青睐 8 位字长的单片机,这是因为 8 位单片机已完全能满足他们对应用功能的需求。所以,8 位字长的单片机始终是整个应用领域的主流机种。需要是一切发展的强大动力。

MCS-51 系列单片机,由于功能强、系统结构合理、理论与技术完整、应用灵活等诸多特点,深受广大用户欢迎。另外,因其系统性强,理论与技术完整,也非常适合课堂教学。近年来,Intel 公司已将 MCS-51 系列单片机的内核技术知识产权转让给很多家国际著名的单片机生产厂商,如 PHILIPS、ATMEL、LG 等,厂商们各自结合自己的特色推出适合目标市场的产品,从而又大大推动了 MCS-51 技术的发展,但基本内核技术不变,均与 MCS-51 相兼容,MCS-51 成为国际经典!

MCS-51 系列单片机具有系统结构完整、典型、灵活,通用性强,指令丰富、功能强,计算机技术系统化,理论与应用紧密结合,外部配套器件丰富,接口简单等诸多独特优点,不仅应用领域广阔,而且非常适合课堂教学,加上教学设备、开发实验环境均配套齐全,为课堂教学,提高教学质量创造了有利条件。学好了 MCS-51 系列单片机原理与应用技术,等于掌握了单片机核心技术,为学习其他不同类型的单片机打下了坚实的基础。MCS-51 系列单片机的技术优势还将在今后较长时期内保持下去。

本书作者从上世纪 80 年代初,也就是国内单片机开发、应用初期,就积极投身到单片机的教学、开发应用和科研工作中,一直担任全国单片机学会常务理事,曾多次负责承办全国单片机学术与展示大会,为我国单片机技术的开发、应用与发展倾注了很大的精力和热情。结合自己长期从事单片机教学实践与开发应用的经验,广泛吸取了国内外许多资源与精华,全力编著好本书及其多次再版,奉献给广大师生与读者。

本书自第 4 版修订至今,又已是 8 个年头了。本次在前 4 版的基础上,结合近年来新的发展,进行了以下几方面的修订:

1. 首先对前几版的结构、编排与内容进行了全面、仔细的查阅与整理,在继续保持原版的构思、风格与特点的基础上作了较大的调整、修改与补充,使之更具有严谨的科学性、实践性和正确性,更符合学习和认识规律,更符合教学系统性和规律要求。

2. 为了能更好地便于读者的学习、理解和掌握,对全书的文字叙述进行了全面的审阅和梳理,使之文理通顺易懂、说理明白透彻、重点突出、层次分明,进一步提高了文学水平与图表质量。

3. 单片机是一门应用性技术,重在应用。因此,在本次修订中进一步加强了理论联系实际,强调实际应用。对每一个重要技术原理、概念,均配以应用实例,示范实际应用技术与方法,以提高读者的实际应用能力。另外,增加和强化了如何开展单片机应用系统的实际开发、设计、调试等技术环节,以提高实际应用设计的能力,加快从学习到设计的进程。

4. 随着单片机的广泛应用,特别是嵌入式单片机测控系统,对应用系统的可靠性要求越来越突出,因此,在本次修订中增强了可靠性要求和相关内容。另外,近年来单片机技术发展迅速,本版修订时同时增加了部分新的信息和内容,使本书能一直跟上单片机技术不断发展的步伐!

本书自出版发行以来,经过多次修订再版,共发行了 20 多个年头。这在科技书中很是不易,决心趁第 5 版修订之机,尽最大努力铸就高质量、高水平的经典著作,以此答谢广大读者的厚爱!

为了尽力做好本次修订工作,邀约王荣兴(高级工程师)、孙华芳(应用工程师)共同参与整个修订工作的全过程。特邀南京航空航天大学纪宗南高级工程师共同商讨修订大纲、内容提要等,特致以衷心感谢!

尽管我们在修订过程中作了很大努力,但因文学功底、技术水平所限,有疏漏、不足之处,敬请广大读者、同行批评指正!

孙育才

于 2012 年 3 月

# 目 录

<b>1 绪 论</b> .....	( 1 )
1.1 单片机的诞生、现状及其发展 .....	( 1 )
1.2 单片机的广泛应用 .....	( 3 )
1.3 单片机的发展趋势与特点 .....	( 4 )
1.4 嵌入式系统与单片机 .....	( 7 )
1.5 MCS-51 系列单片机 .....	( 9 )
1.6 MCS-51 已成为国际经典 .....	( 10 )
思考题与习题 .....	( 11 )
<b>2 MCS-51 系列单片机系统结构</b> .....	( 12 )
2.1 MCS-51 系列单片机的基本结构 .....	( 12 )
2.2 MCS-51 系列单片机的外特性——引脚功能说明 .....	( 14 )
2.3 中央处理器——CPU .....	( 16 )
2.3.1 运算器 .....	( 17 )
2.3.2 控制器 .....	( 18 )
2.3.3 振荡器、时钟电路及时序 .....	( 20 )
2.4 MCS-51 系列单片机的复位 .....	( 24 )
2.4.1 复位功能 .....	( 24 )
2.4.2 常用复位电路 .....	( 25 )
2.5 MCS-51 系列单片机的节电方式 .....	( 26 )
2.5.1 标准的节电运行方式 .....	( 26 )
2.5.2 掉电保持方式 .....	( 28 )
2.6 EPROM 型 8751H 单片机 .....	( 29 )
2.6.1 8751H 型单片机内部 EPROM 编程 .....	( 29 )
2.6.2 8751H 型单片机内部程序的校验 .....	( 30 )
2.6.3 片内程序存储器保密位 .....	( 30 )
2.6.4 片内 EPROM 程序的擦除 .....	( 31 )
2.7 片内振荡器 .....	( 32 )
2.7.1 HMOS 型 8051 片内振荡器结构 .....	( 32 )
2.7.2 CHMOS 型 80C51 片内振荡器结构 .....	( 33 )
思考题与习题 .....	( 33 )
<b>3 MCS-51 系列存储器和布尔(位)处理器</b> .....	( 35 )
3.1 概述 .....	( 35 )
3.1.1 随机存取存储器——RAM .....	( 35 )
3.1.2 只读存储器——ROM .....	( 36 )

3.2	MCS-51 系列存储器结构	( 38 )
3.2.1	MCS-51 系列程序存储器的地址空间	( 39 )
3.2.2	MCS-51 系列数据存储器的地址空间	( 42 )
3.2.3	特殊功能寄存器(SFR)的地址空间	( 44 )
3.3	外部存储器与访问	( 46 )
3.3.1	外部程序存储器与访问	( 46 )
3.3.2	外部数据存储器与访问	( 47 )
3.3.3	外部扩展地址/数据总线——P0 和 P2 端口	( 48 )
	思考题与习题	( 49 )
<b>4</b>	<b>MCS-51 系列指令系统</b>	( 50 )
4.1	概述	( 50 )
4.2	MCS-51 系列的寻址方式	( 53 )
4.2.1	寄存器寻址方式	( 54 )
4.2.2	直接寻址方式	( 54 )
4.2.3	寄存器间接寻址方式	( 55 )
4.2.4	立即寻址方式	( 56 )
4.2.5	变址间接寻址方式	( 56 )
4.2.6	相对寻址方式	( 57 )
4.2.7	位寻址方式	( 58 )
4.3	MCS-51 系列指令系统	( 58 )
4.3.1	数据传送类指令	( 58 )
4.3.2	算术运算类指令	( 66 )
4.3.3	逻辑运算类指令	( 74 )
4.3.4	控制转移类指令	( 78 )
4.3.5	布尔(位)处理类指令	( 90 )
	思考题与习题	( 96 )
<b>5</b>	<b>中断系统</b>	( 99 )
5.1	概述	( 99 )
5.2	MCS-51 系列中断系统	(101)
5.2.1	中断源结构	(101)
5.2.2	中断控制	(103)
5.2.3	中断响应	(106)
5.2.4	中断请求的撤除	(109)
5.3	中断服务程序	(110)
5.3.1	中断服务的初始化	(111)
5.3.2	采用中断服务时的主程序结构	(112)
5.3.3	中断服务程序的基本结构	(113)
	思考题与习题	(114)
<b>6</b>	<b>接口部件的结构及其功能</b>	(115)
6.1	并行 I/O 口的结构及其功能	(115)

6.1.1	并行 I/O 口的内部结构	(115)
6.1.2	重写操作	(120)
6.1.3	总线概念	(120)
6.2	定时/计数器结构及其功能	(121)
6.2.1	定时/计数器的基本结构	(121)
6.2.2	定时/计数器 0 和 1 的控制与状态寄存器	(122)
6.2.3	定时/计数器 0 和 1 的工作方式	(124)
6.2.4	定时/计数器 2	(127)
6.2.5	定时/计数器的编程和应用	(131)
6.3	串行通信	(138)
6.3.1	串行通信概述	(138)
6.3.2	MCS-51 系列的串行通信	(143)
6.3.3	串行通信应用举例	(156)
	思考题与习题	(167)
7	应用系统功能扩展与设计	(169)
7.1	概述	(169)
7.1.1	应用系统硬件部分总体方案的设定	(169)
7.1.2	外部总线概述	(172)
7.1.3	地址空间的分配	(173)
7.2	外部存储器的扩展与电路设计	(176)
7.2.1	外部程序存储器的扩展与电路设计	(176)
7.2.2	外部数据存储器的扩展与电路设计	(186)
7.2.3	其他新型特殊存储器简介	(190)
7.3	并行 I/O 接口的扩展	(192)
7.3.1	外部扩展并行 I/O 口的相关要求	(193)
7.3.2	功能单一的 I/O 口扩展	(196)
7.3.3	多功能 8155H/8156H 并行 I/O 口的扩展	(199)
7.3.4	8255A 型并行 I/O 口的扩展	(207)
7.4	数模(D/A)和模数(A/D)转换器的扩展	(218)
7.4.1	外部扩展数模(D/A)转换器	(218)
7.4.2	外部扩展模数(A/D)转换器	(225)
7.4.3	模拟电路设计中应注意的问题	(236)
7.5	外部中断源的扩展	(237)
7.5.1	片内定时/计数器扩展外部中断源	(238)
7.5.2	采用查询法扩展外部中断源	(239)
7.5.3	优先权编程器扩展外部中断源	(241)
7.6	串行标准接口的扩展	(243)
7.6.1	配置 RS-232-C 标准接口	(243)
7.6.2	RS-422A、RS-423A 和 RS-485 标准接口简介	(247)
7.7	硬件系统可靠性概述	(250)

思考题与习题 .....	(255)
<b>8 汇编语言程序设计基础 .....</b>	<b>(257)</b>
8.1 汇编语言程序设计概述 .....	(257)
8.1.1 汇编语言程序设计的基本步骤与方法 .....	(257)
8.1.2 常用伪指令简介 .....	(262)
8.2 汇编语言程序设计基础和举例 .....	(265)
8.2.1 简单结构程序 .....	(265)
8.2.2 分支结构程序 .....	(266)
8.2.3 循环结构程序 .....	(270)
8.2.4 子程序结构 .....	(273)
8.2.5 查表结构程序 .....	(277)
8.3 源程序的基本格式 .....	(280)
8.4 软件抗干扰技术简介 .....	(282)
8.4.1 嵌入式测控系统软件的基本要求 .....	(282)
8.4.2 软件抗干扰的特点及其前提条件 .....	(283)
8.4.3 常用软件抗干扰方法 .....	(284)
8.4.4 故障自动恢复处理程序 .....	(289)
8.5 常用功能模块程序设计举例 .....	(293)
8.5.1 算术运算程序段设计 .....	(293)
8.5.2 数制转换程序段设计 .....	(297)
8.5.3 数字滤波程序段设计 .....	(302)
思考题与习题 .....	(307)
<b>9 应用系统的开发、设计与调试 .....</b>	<b>(309)</b>
9.1 应用系统的开发与设计 .....	(309)
9.1.1 开发应用系统项目的确定 .....	(309)
9.1.2 单片机开发仿真系统及其应用 .....	(315)
9.1.3 应用系统(样机)硬件部分的检验与调试 .....	(318)
9.1.4 应用系统(样机)应用软件程序的调试 .....	(321)
9.2 典型单片机开发仿真系统(仿真器)简介 .....	(323)
9.3 嵌入式单片机应用简介 .....	(326)
9.4 MCS-51 系列单片机开发、应用举例 .....	(328)
9.4.1 人工气候箱的研制 .....	(328)
9.4.2 单片机在双模最优控制器中的应用 .....	(335)
9.5 单片机的实验与课程设计 .....	(338)
思考题与习题 .....	(339)
<b>附 录 .....</b>	<b>(340)</b>



# 1 绪 论

本章简述单片机的诞生、现状与发展。使读者了解单片机的发展历史过程及其广泛应用的重要意义。单片机最早、而且最广泛地应用于嵌入式系统中。正确理解嵌入式应用系统的基本概念及其广泛含义,以及与单片机的密切关系。

---

## 1.1 单片机的诞生、现状及其发展

20 世纪 70 年代中期是 8 位微型计算机发展的极盛时期,随着大规模集成技术的飞速发展,为了满足更广泛的实时测控应用的需要,从当时的微型计算机家族中诞生出一个新的分支——单片微型计算机。由于它主要应用于测控系统,所以国际上统称为微控制器。它以体积小、价格低廉、功能完善、面向实时测控系统为特征;打破了典型微型计算机按逻辑功能划分单晶芯片的传统体系结构概念;以不求规模大、力争小而全为宗旨,在一块单晶芯片上集成了构成一台计算机的主要元件:中央处理器(CPU)、运算器(ALU)、存储器(RAM、ROM)、I/O 端口以及其他功能元件。这样,一块单晶芯片就构成了一台具有一定功能的计算机,故称为单片微型计算机,现规范统称单片机。为此,在本版书中一律采用规范用语:单片机。

1976 年 9 月,美国 Intel 公司研制的 MCS-48 单片机问世,它成为跨时代的里程碑。它标志着大规模集成技术和计算机技术的伟大成就:首先在一块单晶芯片上集成了一台具有一定功能的微型计算机。其后针对不同应用领域的需要,研制出多种相兼容的机型,组成了 MCS-48 系列单片机。

MCS-48 系列单片机的出现,轰动了全世界的电子业,从而美国等各大公司纷纷推出自己的单片机,多种型号的单片机纷纷应运而生。

1980 年,Intel 公司在总结了 MCS-48 系列单片机的基础上推出了技术更趋完善、功能更强的 8 位高档 MCS-51 系列单片机。随着集成和计算机技术的极大发展,MCS-51 系列单片机在工艺上、结构上、功能上均有了很大的改进和提高,如运算速度的提高、存储容量的扩大,特别是体系结构上的灵活性,即既可单片应用,又可外部进行功能扩展,从而可以满足各种不同应用场合、领域的不同需要。

由于单片机的广泛应用,极大地促进了工业技术的自动化、智能化的发展,深受广大应用领域的欢迎、产生了极大的市场需求,因而国际上很多公司均相继推出各有特色的、新的 8 位高档单片机,其中较有影响的有 Motorola、Zilog、ATMEL、Microchip、TI、Rokwel、NEC、LG 等公司的产品,现在市场上推出的各种类型的单片机有上百余种,其中大部分为专用或专用于某一应用领域,而只有 MCS-51 系列单片机最具通用性,适用领域最为广泛。

20 世纪末,Intel 公司已先后将 8051 单片机的内核技术转让给世界 20 多个半导体生产

厂家,如美国的 ATMEL、Dallas 公司,荷兰的 PHILIPS 公司,韩国的 LG 公司,以及中国的无锡微电子科研中心、华邦电子等。各家公司纷纷结合自己的特点,各自推出与 8051 兼容的、又各具特色的高档 8 位单片机系列。因此,学好了 MCS-51 系列单片机的基本原理及其应用技术,就可很方便地选择多种与 MCS-51 系列兼容的,又各具特色及其功能的单片机进行开发、应用。

为了能满足高层次应用的需要,Intel 公司于 1983 年推出了功能极强的 16 位 MCS-96 系列单片机。尽管其功能很强,经实际应用发现其内部硬件结构不尽如人意,且市场并不看好,因此在不久即告停产。目前只有少数新出版的单片机书中,还在继续介绍 MCS-96(98) 系列单片机。

在 MCS-96(98) 系列单片机停产之后,不久即推出了新的、高性能的 16 位 MCS-196 单片机。它是 MCS-96 系列中的 CHMOS 工艺的一个分支,性能上与 MCS-96 系列相兼容。因此,国内不少用户原选用 MCS-96(98) 系列单片机的,可改用 MCS-196 单片机。MCS-196 是 16 位工业标准的嵌入式微控制器,它与 MCS-96(98) 系列单片机的指令系统相兼容,外部体系结构相同,而内部结构进行了改进,增加了许多新的功能,使数据处理速度加快,输入/输出操作方便。MCS-196 系列中的主要产品型号为 8XC196KB、KC、KD、KQ、KT 和 8XC196NQ、NT、MC 等。多种机型中的存储器,分别有无 ROM 型、ROM 型和 EPROM 型等,用户可根据实际需要进行选型。

之后,Intel 公司又推出了与 MCS-51 相兼容的 8/16 位新型 MCS-251 单片机,它有如下的特征:24 位(即 16MB)的线性寻址能力;寄存器化的 CPU,即可按字节、字、双字对寄存器进行访问;采用页面方式加速了对外部指令的提取;指令流水化作业;对原 MCS-51 系列的指令集作了补充,包括 16 位算术/逻辑运算指令,64KB 的扩展堆栈空间,完成一条指令最短执行时间为二拍,支持较大的程序和数据块,使用 C 语言编程的代码效率得到了较大提高等等。可见其功能有了较大扩展和提高。

其他公司也都先后推出 16 位的单片机系列。例如 Motorola 公司采用新的模块化设计技术,生产出 MC68HC16Z1 16 位单片机,它由内部模块总线(IMB)、CPU16 系统集成模块(SIM)、静态 RAM(SRAM)、通用定时器模块(GPT)、队列串行模块(QSM)、模/数转换模块(ADC)等组成。CPU16 是一个真正的 16 位高速 CPU,它与 8 位的 MC68HC11 的 CPU 向上兼容,具有两个 16 位的通用累加器和三个 16 位的变址寄存器,支持 8 位、16 位、32 位的存储和算术运算。它可寻址 1M 字节的数据存储器空间和 1M 字节的程序存储器空间。它具有适合控制要求的数字信号处理(DSP)功能,它支持高级语言,允许使用高级语言(C 语言)来编写控制程序,从而可大大缩短软件设计周期。CPU16 支持位、字节、双字节(字)整数、32 位长整数和 16 位、32 位符号小数以及 20 位有效地址数据类型,具有极丰富的指令(共 260 条)系统。片内设有 1 KB 的高速静态 RAM,统一编址为 1M 字节(20 位地址线)。其他还设有多功能输出比较/输入捕捉通用定时模块,脉宽调制输出,两个串行端口,11 个中断源,12 级中断优先级等功能。相比之下,这是 16 位单片机中功能最强的一种。

其他公司,如 Mostek 公司推出了 68200 16 位单片机,适用于微机局部网络;TI 公司推出了 TMS-9900 系列 16 位单片机;日本国三菱公司研制出第一台 16 位 CMOS 工艺的单片机,其功能可与当时的一台多片机系统相媲美。

其后几家大公司又先后推出更高档的 32 位单片机系列,其功能极强,主要应用于复杂的高层次应用系统中。

作为电子计算机三大体系(巨型机、微型机、单片机)之一的单片机一族,必然按照其自身技术规律向前发展。

近几年,国际上又推出了新型的 ARM 微控制器。ARM 是 Advanced RISC Machines 的缩写,是微处理器行业中的一家企业,它设计了大量高性能、价廉、低功耗的 RISC 微处理器和相关的技术软件,可适用于多种领域。ARM 公司自己不生产这类微控制器芯片,而是将其设计的技术授权给国际上许多著名的半导体、软件和 OEM 厂家,每个厂商都获得一套独一无二的 ARM 相关技术和服务。利用这种合伙关系,各家厂商再生产出具有自己特点的 ARM 微控制器。也就是说,ARM 是一家国际微控制器技术设计公司,专门为各家厂商进行 ARM 微控制器内核的技术设计。目前,国际上已有 30 多家厂商与 ARM 公司签订了技术合作协议,将先后生产出各具特色的 ARM 微控制器。

ARM 的设计实现了内核极小而功能极强的结构,而且功耗很低。其设计采用了 RISC (精简)指令集,设有一个大的、统一的寄存器文件,加载/存储结构;数据处理操作只针对寄存器内容,而是不直接对存储器进行操作;支持字节(8 位)、半字(16 位)、字(32 位)的数据结构;具有高的指令吞吐量,出色的实时中断;采用流水技术,以增加指令流的速度,等等。可见,这是一种新颖的超强功能、高速度、低功耗的单片机。

由于单片机应用领域十分广大,而且不断向更高层次扩展,市场需求量一直经久不衰,极大地推动着单片机的生产和发展。

## 1.2 单片机的广泛应用

单片机以其独特的卓越性能,得到了极其广泛的应用,已经渗透到各个应用领域,几乎已是无所不包、无所不及。单片机在实际应用中呈现出如下主要特点:

(1) 小巧灵活、生产成本低、易于产品化。它能极方便地嵌入到各种自动化、智能化等的测控系统中。

(2) 可靠性高,适应环境温度宽。单片机芯片本身就是按照工业测控环境要求设计的,能适应各种恶劣环境下工作,它与典型微机具有极大的差别。一般单片机(例如 MCS-51 系列)具有以下三个级别的产品:

民用级:应用场合的环境温度为  $0\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。实际要宽于此范围。

工业品级:应用环境温度范围为  $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$ 。这种芯片在生产流程上具有:

- 采用密封式封装;
- 在工业级规定的温度范围内进行电气特性测试;
- 产品经过在  $125^{\circ}\text{C}$  温度下 44 小时的老化处理;
- 老化后 100% 进行电气测试及最终质量检测。

军品级:应用环境温度为  $-65\sim 125^{\circ}\text{C}$ 。这类产品的处理和检测更严格。

当然,不同等级的产品其价格也相差较多。应视实际要求进行选择。

(3) 体系结构灵活,易于外部功能扩展,可以满足规模的应用要求。

(4) 串行通信功能强,可以方便地实现多机、上档机与前端机或分布式测控与管理系统之间进行通信。

(5) 开发与设计简单,研制周期短。

鉴于以上诸多独特优点,其广泛应用涉及各个领域。以下仅列举已广泛应用的几个

方面。

(1) 工业自动化

工业自动化是个极大的领域,例如过程控制、数据采集、机电一体化、工业设备技术改造等等,无不有单片机的用武之地。实践证明,单片机在我国工业技术改造、实现工业自动化发挥了极大的作用。

(2) 智能化仪表

随着单片机的广泛应用,各类仪器、仪表的自动化、智能化程度越来越高,并有利于提高仪器、仪表的精度和准确性,简化结构、缩小体积、降低成本、方便携带,并迅速向数字化、智能化、多功能化、快速化等方向发展。

(3) 各种机器人

近年来各种机器人,特别是工业机器人发展迅速,而指挥、控制机器人协调动作的核心、中枢则是单片机。

(4) 民用消费类电子产品

由于单片机的诸多特点,特别是价格低廉,使之越来越广泛地应用于民用消费类电子产品中,如家用电器、电子玩具、电子字典、记事簿、照相机、游戏机、防盗控制、IC 卡、摄像监控等等,使产品体积越来越小、自动化智能化水平越来越高,而价格却越来越便宜。

(5) 汽车、航空、导航与国防

汽车中的点火装置、变速器、控制仪表、计价器,民航飞机中的诸多航空仪表及其管理,国防武器装备等,都普遍应用了各类单片机,迅速提高自动化、智能化、快速化的能力。

(6) 数据处理及终端设备

计算机网络终端、银行终端以及计算机外部设备,图文传真机、各类驱动器、打印机等,都选用单片机进行管理和控制。

(7) 电信技术

调制解调、程控交换、智能线路运行控制、各类通信设备等,无不选用单片机实现数字化、自动化、智能化。

单片机的应用已遍布各个应用领域,极大地推动了我国信息化的进程。作为电子信息类专业的科技人员应责无旁贷地努力学好单片机技术,其益非浅!

## 1.3 单片机的发展趋势与特点

随着超大规模集成技术与计算机技术的飞速发展,单片机技术亦必然按其自身的发展规律,向高速、高性能化;大容量、外部电路内装化;单一电源、低功耗, SOC(System On Chip——系统芯片)等方向发展。

今后一段时期内,单片机的发展趋势主要有以下特点。

1) 不断推出高档、高性能的新型单片机

单片机作为计算机技术领域的一个分支,必然按其自身的发展规律,不断沿着新的方向飞速发展。如前所述,从 4 位机(日本曾着力推崇)、8 位机到 16 位机、32 位机以及 ARM 等,以字长代表技术进级,不断推出高技术、高性能的机种。每次进级,均代表着具有根本性的突破,并逐步向新的、更高层次的应用领域拓宽。

例如,美国 Intel 公司推出的 32 位 MCS-80960 系列单片机,该系列设有 80960KB、

KA、MC 和 CA 4 档机型。采用  $S_{\mu m}$  CHMOS 工艺,新型 RISC 结构,主频可达 33 MHz,运算速度达到 20 MIPS,设有 DMA 总线,中断控制器(32 级 256 个中断矢量),1KB(字节用“B”表示)的高速缓冲器,4 个 80 位的浮点寄存器、多端口寄存器、多重并行执行单元、多重内部总线、浮点运算器等等。

美国 Motorola 公司推出的具有极高集成度的 32 位 MC68H332 单片机系列,亦采用 RISC 结构,由 5 大模块组成:指令系统进一步优化了的 68020 CPU;基于 RISC 结构的专用定时、事件控制单元(TPU);可完成同步/异步通信的专用模块(QSM);减少系统外部逻辑元件及提供片内系统排错能力的模块(SIM);2KB 高速静态 RAM。CPU 和 TPU 各自独立,TPU RISC 指令可同时处理 16 个定时事件而无需 CPU 的干预。CPU 与 68000 兼容,具有虚拟支持,循环方式操作先行指令等 32 位运算,具有极强的寻址能力,增强的高级语言编译器,运算速度可动态改变。

新近推出的 ARM 微控制器可以认为是这类微控制器的统称,因为其内核技术基本相同,只是各个厂家融入了自己的技术、功能特色,推出各不相同的微控制器。

ARM 内核的技术特点是:

- 采用 RISC 架构;
- 体积小、低功耗、低成本、高性能;
- 支持 Thumb(16 位)/ARM(32 位)双指令集,能很好地兼容 8 位/16 位器件;
- 大量使用寄存器,指令的执行速度快;
- 大多数的数据操作均在寄存器中完成;
- 寻址方式灵活、简单,执行效率高;
- 指令长度固定。

从上可见,ARM 内核在结构上有了很大的改进,增加了灵活性,而且体积小、功耗低,所以其适用领域宽广。

随着超大规模集成技术的不断发展,以及在广大市场需要的推动下,还将不断推出越来越高档的、结构灵活、技术先进的新型单片机,不断拓宽新的、更高层次的应用领域。

2) 成熟的高新技术下移,不断提高单片机的性能

近年来,在典型微型计算机系统中许多成熟的、高新计算机技术不断移植到单片机上,以增强和提高单片机的性能。就整体市场需求而言,8 位字长的单片机基本能满足大量的实时测控应用系统的要求,而且技术成熟、成本低、研制周期短。因此,市场占有率最大,竞争最激烈。为了能保持 8 位单片机在更广阔的市场需要,势必不断采用新的技术,增加新的功能,推陈出新,重点发展。最显著的是将已在微型计算机,特别是已在 16 位和 32 位单片机等验证,成熟可行的新的先进技术,移植到 8 位单片机上,不断推动 8 位单片机技术和性能的发展。例如:

- 采用 RISC 结构,简化指令集,使应用程序的设计简单、方便。
- 取指令的流水技术,节省读取指令时间,提高运算速度。
- 虚拟结构,扩大存储容量,增加 I/O 端口连接。
- 配置高级(C)语言,提高编程效率,缩短程序设计周期。
- 改进串行总线结构,如 I<sup>2</sup>C、CAN 总线等,提高串行通信能力。
- 采用双 CPU 结构,提高数据处理能力。

∴

另外,随着超大规模集成技术的飞速发展,不断提高集成度,把原属外部功能的器集成到芯片内部。例如,加大片内存储器容量:片内 ROM 可达 16KB、32KB 等,甚至可达 64KB; RAM 可达 1~4KB;片内 EPROM 改用 E<sup>2</sup>PROM 或 Flash 存储器,实现快速和联机编程或修改,保存重要数据更加方便;片内集成 10 位或 12 位多路 A/D 转换器、看门狗(watch dog)、DMA 以及相关的放大电路等。

随着硅片面积的增大,集成度的不断提高,片内功能元件的不断扩大,从而实现真正意义上的单片机。

### 3) 不断采用新工艺,实现低功耗、宽电压、高速、高可靠性

随着单片机应用领域的不断扩大,低功耗要求日显突出,所以不断采用新的生产工艺。目前单片机的功耗已降到微安级,今后还将更低。主频已从 4 MHz、8 MHz、12 MHz,发展到 24 MHz、33 MHz,大大提高了单片机的运算速度。不断拓宽供电范围,从早期的多挡电源,改成单挡+5 V±10%,发展到目前的+2.1~+7 V,使单片机能在很宽的供电范围内均能正常工作。今后功耗还将降得更低,供电范围更宽,以满足于电池供电的需要。为满足实时应用中高可靠性的要求,不断采用提高可靠性的措施,设置多种监视功能,以防止主机死机。不断加宽工作环境温度,一般可在-40~+85℃范围内正常工作。

今后还将采用更多新的措施,以保证应用系统的高可靠性运行。

### 4) 日趋单片应用

随着硅片面积的不断扩大以及集成技术的发展,逐步把构成应用系统所需的功能元件集成在一块单晶芯片内,逐步减少或完全不需外部功能扩展,从而实现真正的一块芯片(单片机)就能构成一个完整的应用系统。

为了满足不同应用领域的需要,同一系列的单片机可有多种机型,以满足不同用户的最佳选择。这样就可简化应用系统的硬件设计,缩小体积,降低成本,提高可靠性。这是今后单片机发展的主要方向。

目前市场上的专用单片机,如 Motorola 公司的 68HC05 系列单片机, Microchip 公司的 PIC 系列单片机,均属单片应用。但这类产品在上应用上均有其较大的局限性。今后主要应发展通用性较强的真正意义上的单片机系列,特别是 8 位字长的单片机系列。

### 5) SOC 嵌入式应用系统

随着集成技术的发展。满足应用领域的需要,单片机将进一步发展成 SOC 嵌入式应用系统,即一块芯片就是一个完整的以单片机为内核的嵌入式应用系统。这个应用系统是具有明确的应用对象的系统,其中包括传感器在内的所有硬件组织和全部应用软件。例如,某种类型的空调、冰箱或手机等,只需配上对应的 SOC 芯片,即可构成完整的应用系统。这样的应用系统,体积更小、可靠性更高、系统设计更简单。

目前,国内外正加大投入,开发、研究 SOC 芯片。最近,国内已开发出包括温度传感器在内的 SOC 应用系统芯片,不久的将来将进入这样的时代。

### 6) 单片机应用网络化

近几年来随着网络技术的发展突飞猛进,已有很多单片机应用产品网络化,即借助网络技术实现更广泛的通信,例如,智能家庭、智能建筑等,应用系统实现大范围的多机网络测控与管理。这样可以通过网络查询相关信息,调度、控制和管理有关仪器、设备和家电等。

以上是现阶段单片机发展的趋势和主要特点。

由于单片机极适合我国的国情和需要,所以,尽管单片机在我国开发、应用仅 20 余年的历史,但应用却已极为广泛,已渗透到各个领域,为我国信息化建设发挥了巨大的作用,而且已经形成了一支相当规模的单片机开发、应用高科技队伍,各大专院校均已普遍开设单片机课程,源源不断地培养出大批新生力量,努力为我国科学技术与经济建设服务。

## 1.4 嵌入式系统与单片机

随着计算机技术与超大规模集成技术的发展,就计算机整体而言,形成了三大主流:巨型机、微型机、单片机,并按各自的技术规律飞速发展。

近年来,随着计算机应用体系的不同,将计算机分成嵌入式应用和非嵌入式通用型计算机。巨型机和典型微机系统属非嵌入式通用型计算机,而工控微机、专用 CPU、单片机(微控制器)等则属嵌入式应用型计算机。后者面向实时测控应用系统,一般以这类计算机为内核,嵌入到实际的应用系统中,构成完整的并实现某种特定功能要求的应用系统,故称之为嵌入式计算机应用系统,简称为嵌入式系统(Embedded System)。

嵌入式系统是个广义的概念。从军用到民用,从工业、农业、服务业到社会,从天上到地下,再到海里,所有用于实时测控的计算机应用系统,均可纳入嵌入式应用系统范畴。

嵌入式系统是一个完整的,具有实现某种特定功能的计算机应用系统。因此,它应包含应用系统的全部硬件的组成结构与应用软件。

如图 1.1 所示为组成嵌入式应用系统的示意图,其中计算机是整个系统的指挥、管理、测控、处理的核心,嵌入在整个系统之中。

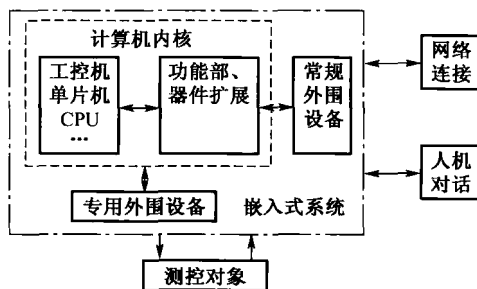


图 1.1 嵌入式应用系统

### 1) 嵌入式系统的硬件结构

嵌入式系统的硬件主要由以下几部分组成。

#### (1) 嵌入式系统的计算机内核

嵌入式计算机是构成应用系统的核心部分,它是整个系统的指挥、测控和协调中心。嵌入式计算机类型广泛,可以是工控机、可编程控制机、专用 CPU 或处理器芯片、DSP(数字信号处理器)、单片机等,配置外部功能元件(RAM、ROM、I/O 口……)。目前应用得最多、最广泛的应属单片机(微控制器)。实际选用何种机型取决于用应用系统功能的需要和综合评价。

外部功能元件扩展是指计算机本身(或芯片内部)功能不足,需外部扩展,如 RAM、ROM、I/O 口、A/D 或 D/A、看门狗、中断源等。就目前的单片机而言,由于受集成度的限制,为了能满足广泛的应用领域的需要,在结构上特为外部功能的扩展提供了方便。

#### (2) 常规外围设备

除计算机内核所需的功能元件之外,根据应用系统的不同需要,还需配置有关的外围设备,如各种各样的输入/输出设备,如键盘、扫描仪、触摸屏、打印机、绘图仪等。

#### (3) 专用外围设备

这类设备名目繁多,应根据不同的应用系统需要而配置的相关专用设备,常用的有电动机、步进电机、动力机械、各类传感器等。专用外围设备一般均需通过相应的接口电路或元件与计算机内核相连通。由于外设的多样性和复杂性,给接口电路的设计会带来一定的难

度,这也是嵌入式应用系统的设计具有一定的难度和复杂部分。

#### (4) 人机对话

一般嵌入式应用系统均需人工对系统运行情况进行干预、调整和操作,一般常用的有键盘、鼠标、显示屏、控制台等。

#### (5) 网络连接

越来越多的嵌入式应用系统已实现联网管理,如智能家居、智能建筑、智能仪器、大范围的数据采集、管理,包括各系统之间、系统与上档机之间网络通信等。

不同的嵌入式应用系统,其硬件配置也各不相同,有简单的、复杂的、很复杂的。显然,以单片机为内核的应用系统是最典型的嵌入式应用系统。

### 2) 嵌入式系统的软件配置

一个完整的嵌入式应用系统,除了针对确定的应用对象而配置的硬件组成系统外,还必须配备对应的软件系统。两者相辅相成,才能使应用系统正确、有效和可靠地工作。硬件系统相当于一个人的躯体,而软件则是储存在这个人脑中的知识和技能,灌输的知识和技能越多、越丰富,就能水平越高,能完成和处理更多、更复杂的工作。同样,一个嵌入式应用系统,它必须配备对应的软件系统。

由于嵌入式计算机的应用领域极为广泛,不同的应用对象,其功能要求也不相同,其规模大小不一,配置和包含的软件系统也各不相同。

#### (1) 嵌入式系统软件

对于采用高档嵌入式计算机的高层次应用,需配备实时多任务操作系统。由于嵌入式应用系统一般都要求具有实时性,即对事件作出实时处理,而且在操作系统的管理下的多个事件,应按规定的时间内做出响应。对于较大规模的嵌入式应用系统,需处理的事件和任务较多,常常需要同时或分时处理多个任务,这就必须配置实时多任务操作系统。它与一般常见的通用分时操作系统不同。即在时间上要求达到实时处理。

要开发一个好的,功能完善的实时多任务操作系统需花费巨大的技术和精力,目前我国正大力进行开发和研制,已有部分软件企业先后推出了多套实时多任务操作系统供用户选用。一般国内开发、研制嵌入式应用系统的用户,多购买现成的实时多任务操作系统,在既定的实时多任务操作系统的环境下研制应用程序,并在此环境下运行应用程序。

对于规模较小、不太复杂、任务较少的嵌入式应用系统,一般不配置实时多任务操作系统,可以开发一个简单的实时监控程序,用以对任务进行管理,对系统中的突发事件采用实时响应处理。

对于大量的、功能不复杂、任务不多的单片机嵌入式应用系统,对硬件资源的管理和事件的实时响应,以及功能的实现,全部融合在应用程序中完成。

目前,很多嵌入式计算机都配置有高级语言(C语言)。不同的单片机系列,其硬件配置不完全相同,或者有较大的不同,或者有较大的不同其配置的C语言软件也不完全相同。由于嵌入式系统计算机,特别是单片机,涉及硬件资源的管理,因此,它与通用型C语言不完全相同。目前国内用得较普遍、较成熟的是C51语言。

#### (2) 应用软件

在嵌入式应用系统中,其全部应用功能的实现,都必须由相应的应用软件来完成。由于嵌入式应用系统的多样性和广泛性,不同的应用软件存在着极大的差异性,所以一般均为专一的。



目前,尚没有嵌入式应用系统应用程序的生成软件,都必须由应用系统的开发者自行开发、设计。

对于单片机的嵌入式应用系统,其应用软件可以选用汇编语言或者 C 语言来设计和编程。应用软件的设计与硬件系统的配置有着密切的关系,整个应用系统的功能最终要由应用软件来完成和实现。因此,应用软件的优劣,将直接影响应用系统的功能要求、技术质量和可靠性。所以,设计出一个优良的应用软件至关重要,是开发、技术的关键。

### 3) 单片机是嵌入式系统中应用最典型、最广泛的内核

20 世纪 70 年代,微型计算机的飞速发展,极大地满足了大量的、普通而广泛的数据处理和事务管理等要求。但由于它体积大、价格贵、可靠性不高等原因,不能满足更大量的、更广泛的电子类产品中实时应用的需要。随着超大规模集成技术的发展,MCS-48 单片机成功问世,它以体积小、价格低廉、功能完整、面向实时测控应用为特征、不求规模大、力争小而全为宗旨,在一块单晶芯片上集成了一台计算机。所以,从单片机诞生之日起,就是为了满足广大电子产品领域实时应用的需要,以单片机为内核,嵌入到具体的电子产品应用系统中,构成一个完整的、具有某种特定功能的实体应用系统。实现产品自动化、智能化,成为最基本、最典型的嵌入式应用系统。

随着单片机技术的发展,功能的不断增强及其应用的广泛性,目前应用于嵌入式系统的计算机内核的绝大部分是单片机。所以说,单片机是当前构成嵌入式应用中最典型的主流机型。学好单片机基本理论及其技术,是开发、设计各类嵌入式应用系统的基础。

## 1.5 MCS-51 系列单片机

美国 Intel 公司自推出 MCS-48 系列单片机以后,陆续推出了 MCS-51 系列、MCS-96 系列、MCS-196 系列以及 MCS-960 系列单片机。有些系列衍生出很多机型以满足广大用户的需要。本书仅论述 MCS-51 系列单片机。

### 1) MCS-51 系列单片机

MCS-51 系列单片机是继 MCS-48 系列单片机之后推出的高档 8 位单片机,它的出现直接与半导体 HMOS 工艺的发展有关。在总结 MCS-48 系列单片机与扩大应用功能的基础上,扩大了片内存储器容量及外部存储器寻址空间,增强了指令系统与寻址能力,扩大了 I/O 端口和新增设了全双工串行通信端口,增加了中断源及优先级,新增了乘、除算术运算及比较和位操作等功能指令。克服了 MCS-48 系列存储容量小、运算功能弱的不足,提高了全机的操作功能与速度。在体系结构上增强了灵活性,以满足各个领域、不同用户在功能上的不同需要。

HMOS 是高性能的 NMOS 工艺,一般的 MCS-51 系列产品(如 8051/8751/8031 等)均属之。将 CMOS 和 HMOS 工艺相结合,产生了 CHMOS 工艺的机型,如 80C51/87C51/80C31 等均属之。这类产品既保持了 HMOS 高速和高封装密度的特点,又具有 CMOS 低功耗的优点。两者结合,特别适合某些应用场合。

CHMOS 工艺的单片机还具有掉电保护和休眠运行两种独特的节电处理方式。

MCS-51 系列单片机的主要机型所具有的功能参数如表 1.1 所述。