

21 世纪高等学校电子信息类教材

单片机原理及其应用

● 孙育才 孙华芳 王荣兴 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

· 21 世纪高等学校电子信息类教材

单片机原理及其应用

孙育才 孙华芳 王荣兴 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

8051 型单片机技术已国际化,成为 8 位单片机的主流产品。本书以 8051 型单片机为主线,结合相关兼容机型进行全面而详细论述。

全书共分 9 章,第 1~6 章属基本理论、功能原理部分,详细并深入地阐述 8051 型单片机的系统结构、各部分的功能原理及其基本理论和技术,以及指令系统、存储器组成、接口部件等;第 7~8 章是应用与设计的基础,着重介绍应用系统硬件组成与设计,包括外部功能扩展、应用程序的基本组成结构及其设计步骤与方法;第 9 章是应用系统的仿真与调试。

本书可作为高等学校电子信息类专业教材,以及各类单片机培训班教材,也可供广大科技工作者参考。

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,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及其应用/孙育才,孙华芳,王荣兴编著.北京:电子工业出版社,2006.3

21 世纪高等学校电子信息类教材

ISBN 7-121-02333-4

I.单... II.①孙...②孙...③王... III.单片微型计算机-高等学校-教材 IV.TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 015015 号

责任编辑:韩同平 特约编辑:杨逢仪

印 刷:北京冶金大业印刷有限公司

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:18.5 字数:473.6 千字

印 次:2006 年 3 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:25.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

20 世纪 70 年代末,美国 Intel 公司在全面总结了 MCS—48 系列单片机的基础上,于 1980 年推出了全新的 MCS—51 系列单片机。由于其具有系统结构新颖、灵活、功能强、指令丰富、体积小、可靠性高、价格低廉等诸多特点,而轰动全世界!我国也于 20 世纪 80 年代初及时引进了 MCS—51 系列单片机,并得到了极其广泛的应用,而且很快进入了课堂,成为全国各大专院校,包括各种类型的单片机培训班的主选机型和教学内容。

20 多年来,随着超大规模集成电路技术的发展,单片机技术也有了迅速的发展,芯片的集成度、存储容量、功能的增强与扩展、运算速度等都有了显著的提高,并推出了很多种系列、机型的单片机。但 MCS—51 系列单片机仍为 8 位单片机中的主流机型。由于 8 位字长的单片机完全能满足实时应用领域中绝大部分应用的需要,所以它仍是今后较长时期内市场中的主流产品。近几年来,Intel 公司已将 MCS—51 的内核技术先后转让给世界很多国家,以及著名半导体生产厂家,如美国 ATMEL、PHILIPS,韩国 LG,中国、德国等,已成为国际型单片机核心技术。

MCS—51 系列单片机具有系统结构典型、灵活、通用性强,指令完整、丰富,计算机技术系统化、理论与实用紧密结合,外部配件丰富、接口简单等诸多独特优点,非常适合课堂教学,加上教学设备、开发、实验环境均能配套齐全,为课堂教学、提高教学质量创造了有利条件。学好了 MCS—51 单片机技术,等于掌握了很多种单片机系列的核心技术,并为学习其他完全不相兼容的单片机系列打下了坚实的基础。所以,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 20 世纪 80 年代初,也就是国内引进单片机开始,就积极投入到单片机的教学、开发应用和研究工作中去。于 1985 年编著并由高等教育出版社出版发行了《MCS—48 系列单片微型计算机及其应用》一书,紧接着于 1986 年编著并由东南大学出版社出版了国内第一本《MCS—51 系列单片微型计算机及其应用》一书,当时在国内引起较大的反响,目前已出版第 4 版,仍很畅销。

借这次电子工业出版社韩同平编辑约稿之机会,认真归纳总结 20 余年教学、开发与研究的实践和经验,吸收很多资源的精华,努力编著好本书,奉献给广大师生与读者。

本书仍以 8051 单片机为主线,兼顾多种以 8051 为内核的兼容机型,既着重单片机的基本理论、功能原理的深入阐述,又理论联系实际,详细剖析多功能模块实际应用的条件与方法,并以实例详述之。在全书内容的安排上,充分考虑到教学的特点,读者的认识规律,从点到面,逐步展开,前面的内容为后述的内容、应用服务。在叙述上由浅入深,力求透彻,说理清楚、明白,力排模糊陈述,使读者能清晰理解。

本书每章的开头有一个简明的提示,表明本章的主要内容和要点,每章的末尾,备有思考题与习题,通过对这些作业的完成,可对本章的主要重点内容加深理解,全面而熟练地掌握,也是读者对这一章学习的总结。

本书共 9 章,可分为三大部分。其中,第 1~6 章是 8051 型单片机的基本组成结构、功能原理及应用特点与方法,重要功能部分,都通过实例,阐明其应用特点、注意事项和实际用法。这 6 章是全书的理论基础、基本原理,必须认真学习,深入理解,为单片机的开发、应用、设计打

好扎实基础。第7、8章是实际应用基础,包括应用系统的硬件组成结构及其外部功能部、器件扩展等具体应用与设计,应用软件的基本程序结构及其设计方法,并详细论述了一个应用系统的设计方法与步骤。第9章阐述应用系统设计完成后仿真、调试的基本步骤、条件与方法,保证应用系统稳定、可靠,达到原设计要求。

综观全书,从基础理论、基本功能原理入手,掌握单片机应用系统的基本设计理论、步骤与方法,最后还需掌握单片机应用系统仿真调试的基本步骤与方法,了解开发环境的建立等,一环扣一环逐步深入,达到并实现从理论→应用设计→仿真调试的全过程。

单片机是多部分紧密相连的整体,必须全面掌握才能胜任实际的开发应用。

本书由孙育才主编。其中第1,2,3,4,9章由孙育才编写,第5,6章由王荣兴编写,第7,8章由孙华芳编写。

本书承南京理工大学侯民生教授(单片机专家)认真审阅,电子工业出版社韩同平编辑的大力支持和帮助,深表感谢!

尽管作者在编著过程中做了努力,但因水平所限或考虑欠妥,书中可能仍有不少缺点、疏漏,甚至错误之处,敬请广大师生、读者批评、指正。

编著者
于东南大学

目 录

第 1 章 概论	(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	(4)
1.3 嵌入式系统与单片机	(5)
1.4 MCS—51 已成为国际典型的 8 位单片机	(8)
思考题与习题	(8)
第 2 章 单片机的组成结构及其功能原理	(9)
2.1 单片机的硬件组成结构	(9)
2.2 单片机的引脚功能说明	(11)
2.3 微处理器	(13)
2.3.1 运算器	(13)
2.3.2 控制器	(15)
2.3.3 振荡器、时钟电路及时序	(15)
2.4 单片机的复位	(19)
2.4.1 单片机的复位功能	(19)
2.4.2 常用复位方式	(20)
2.5 单片机的节电方式	(21)
思考题与习题	(23)
第 3 章 单片机的存储器	(24)
3.1 概述	(24)
3.1.1 半导体随机存取存储器	(24)
3.1.2 只读存储器	(25)
3.2 单片机的存储器结构	(26)
3.2.1 程序存储器的地址空间	(27)
3.2.2 数据存储器的地址空间	(30)
3.2.3 特殊功能寄存器(SFR)的地址空间	(31)
3.3 外部存储器与访问	(33)
3.3.1 外部程序存储器与访问	(33)
3.3.2 外部数据存储器与访问	(34)
3.3.3 外部扩展地址/数据总线——P0 口和 P2 口	(35)
3.4 存储器的寻址方式	(36)
3.4.1 寄存器寻址方式	(36)
3.4.2 直接寻址方式	(37)
3.4.3 寄存器间接寻址方式	(38)
3.4.4 立即寻址方式	(38)
3.4.5 变址间接寻址方式	(39)
3.4.6 相对寻址方式	(40)

3.4.7 位寻址方式	(40)
3.5 布尔(位)处理器	(41)
思考题与习题	(41)
第4章 单片机的指令系统	(42)
4.1 概述	(42)
4.2 数据传送类指令	(44)
4.2.1 一般传送类指令	(44)
4.2.2 堆栈操作类指令	(47)
4.2.3 累加器 A 传送类指令	(48)
4.2.4 16 位数据传送指令	(50)
4.3 算术运算类指令	(50)
4.3.1 加法类指令	(51)
4.3.2 减法类指令	(54)
4.3.3 乘法指令	(55)
4.3.4 除法指令	(57)
4.4 逻辑运算类指令	(57)
4.4.1 单操作数逻辑运算类指令	(57)
4.4.2 双操作数逻辑运算类指令	(58)
4.5 控制转移类指令	(61)
4.5.1 无条件转移类指令	(61)
4.5.2 条件转移类指令	(67)
4.6 布尔(位)处理类指令	(71)
4.6.1 布尔(位)数据传送指令	(72)
4.6.2 布尔(位)操作指令	(73)
4.6.3 布尔(位)逻辑运算指令	(73)
4.6.4 布尔(位)条件转移指令	(74)
思考题与习题	(75)
第5章 中断系统	(78)
5.1 概述	(78)
5.2 8051 型单片机的中断系统	(79)
5.2.1 中断源结构	(79)
5.2.2 中断请求和启/停寄存器——TCON	(79)
5.2.3 中断控制寄存器——IE	(81)
5.2.4 中断优先级	(81)
5.3 响应中断的条件、过程及时间	(83)
5.3.1 响应中断的条件	(83)
5.3.2 响应中断的过程	(84)
5.3.3 中断响应的的时间	(85)
5.4 中断请求的撤除	(86)
5.5 中断服务程序	(88)
5.5.1 中断服务程序的设计	(88)
5.5.2 采用中断时的主程序结构	(89)
5.5.3 中断服务程序的结构	(89)

思考题与习题	(91)
第6章 接口部件的结构及其功能	(92)
6.1 并行 I/O 口的结构及其功能	(92)
6.1.1 并行 I/O 口的内部结构	(92)
6.1.2 读—修改—再写入操作	(96)
6.1.3 总线概念	(96)
6.2 定时/计数器结构与功能	(97)
6.2.1 定时/计数器的基本原理	(97)
6.2.2 定时/计数器的控制与状态寄存器	(98)
6.2.3 定时/计数器 0 和 1 的工作方式	(99)
6.2.4 定时/计数器 2	(101)
6.2.5 定时/计数器的编程和应用	(106)
6.3 串行通信	(112)
6.3.1 串行通信概述	(112)
6.3.2 8051 型串行通信	(116)
6.3.3 串行通信应用举例	(126)
思考题与习题	(137)
第7章 应用系统功能扩展与设计	(138)
7.1 概述	(138)
7.1.1 应用系统硬件部分总体方案的设定	(138)
7.1.2 外部总线	(140)
7.1.3 地址空间的分配	(141)
7.2 外部存储器扩展	(144)
7.2.1 外部程序存储器的扩展	(144)
7.2.2 外部数据存储器的扩展	(147)
7.2.3 外部 EEPROM 存储器的扩展	(151)
7.2.4 其他新型特殊存储器简介	(154)
7.3 并行 I/O 接口的扩展	(155)
7.3.1 外部扩展并行 I/O 口的技术要求	(156)
7.3.2 I/O 口外部扩展的相关技术	(157)
7.3.3 简单、无条件 I/O 口的扩展	(159)
7.3.4 多功能 8155H/8156H 并行 I/O 口的扩展	(161)
7.3.5 8255A 并行 I/O 口的扩展	(168)
7.4 数模(D/A)和模数(A/D)转换器的扩展	(179)
7.4.1 外部扩展数模(D/A)转换器	(179)
7.4.2 外部扩展模数(A/D)转换器	(185)
7.4.3 模拟电路设计中应注意的问题	(195)
7.5 外部中断源的扩展	(197)
7.5.1 片内定时/计数器扩展外部中断源	(197)
7.5.2 查询法扩展外部中断源	(198)
7.5.3 优先权编码器扩展外部中断源	(200)
7.6 串行标准接口的扩展	(201)
7.6.1 配置 RS-232-C 标准接口	(202)

7.6.2 RS-422A、RS-423A 和 RS-485 标准接口简介	(205)
思考题与习题	(208)
第 8 章 程序设计基础	(210)
8.1 程序设计概述	(210)
8.1.1 汇编语言程序设计的基本步骤与方法	(210)
8.1.2 常用伪指令简介	(214)
8.2 程序设计基础举例	(216)
8.2.1 简单结构程序	(216)
8.2.2 分支结构程序	(218)
8.2.3 循环结构程序	(221)
8.2.4 子程序结构程序	(223)
8.2.5 查表结构程序	(228)
8.3 源程序的基本格式	(230)
8.4 软件抗干扰技术简介	(231)
8.4.1 嵌入式测控系统软件的基本要求	(232)
8.4.2 软件抗干扰的特点及其前提条件	(232)
8.4.3 常用的软件抗干扰方法	(233)
8.4.4 故障自动恢复处理程序	(238)
8.5 常用功能模块程序设计举例	(241)
8.5.1 算术运算程序段设计	(242)
8.5.2 数制转换程序段设计	(245)
8.5.3 数字滤波程序段设计	(250)
思考题与习题	(254)
第 9 章 应用系统的开发、设计与调试	(256)
9.1 应用系统的开发与设计	(256)
9.1.1 应用系统的开发与设计过程	(256)
9.1.2 单片机开发仿真系统(器)及其应用	(261)
9.1.3 应用系统(样机)硬件部分的调试过程	(265)
9.1.4 应用系统(样机)软件的开发、调试过程	(268)
9.2 典型的单片机开发仿真系统(器)简介	(270)
9.3 单片机应用简介	(273)
9.4 单片机实验与课程设计	(275)
思考题与习题	(276)
附录 A	(277)
A.1 指令系统中常用符号说明	(277)
A.2 影响标志位设置的指令	(278)
A.3 MCS—51 指令表	(279)
A.4 内部 RAM 中 20H~2FH 的位地址表	(282)
A.5 特殊功能寄存器地址表	(283)
A.6 MCS—51 部分特性表	(284)
参考文献	(288)

第 1 章 概 论

本章简述单片机的诞生、现状与发展,使读者了解单片机发展的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。正确掌握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,大规模集成技术的飞速发展,为满足更广泛的实时应用的需要,从微型计算机家族中诞生出新的一员,形成了一个新的发展分支——单片微型计算机,简称单片机。由于它主要应用于测控系统,所以又称微控制器。它以体积小、价格低廉、功能完善、面向实时测控为特征;它打破了典型微机按逻辑功能划分单晶芯片的传统结构概念;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部、器件:中央处理器(CPU)、运算器(ALU)、存储器(RAM、ROM)、I/O 口,以及其他功能部、器件。这样,一块单晶芯片就构成了一台具有一定功能的计算机,故称为单晶芯片微型计算机,现规范统称单片机。

1976 年 9 月,美国 Intel 公司的 MCS—48 单片微型计算机问世,它成为单片微型计算机跨时代的里程碑。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微型计算机;其后针对不同应用领域的需要,又研制出多种机型,形成了 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,各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功能、技术更趋完善的 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,致使 MCS—51 系列在工艺上、结构上、功能上都有了很大的提高。如应用上具有很好的灵活性,既可单片应用,又可外部进行功能扩展,可以满足各种不同应用领域的需要。

单片机深受广大用户的欢迎,现已渗透到各个应用领域,市场极大。国际上很多公司都相继推出各有特色的新的高档 8 位单片机,其中最有影响的有 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。经历时间考验之后,只有 MCS—51 系列单片机最具通用性,适用领域最为广泛。

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,但市场并不看好,在内部结构上存在某种不足,因此在 20 世纪 90 年代中期已停止生产。

在 MCS—96 系列停产之后,推出了新的、高性能的 6 位 MCS—196 单片机,它是 MCS—96 系列中的一个分支,性能上与 MCS—96 系列相兼容。因此,国内不少产品原选用 MCS—96(98)系列单片机作为主机的,现大多已改用 MCS—196 系列,这样可使原设计不需过多改

动,弥补了因 MCS—96 系列的停产而造成的损失。MCS—196 系列单片机是 16 位工业标准的嵌入式控制器,它与 MCS—96 系列的指令系统、外部结构相兼容,内部结构做了改进,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。多种机型中有 ROM 型、无 ROM 型和 EPROM 型。用户可根据实际需要选型。

之后 Intel 公司又推出了与 MCS—51 相兼容的 8 位和 16 位的新型 MCS—251 单片机。它有如下特征: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外部指令的提取;指令流水作业;对原 MCS—51 系列的指令集做了补充,包括 16 位算术/逻辑指令,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提高等。可见其功能有了较大的扩展。

紧随其后各大公司,如 Motorola、Zilog、Mostek 等公司纷纷推出各具特色的 16 位高档单片机系列。这正反映了单片机技术的自身发展的规律特征。

20 世纪末,各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系统中。

近几年,国际上又推出 ARM 微控制器。ARM 是 Advanced RISC Machines 的缩写,是微处理器行业的一家知名企业,它设计了大量高性能、价廉、低功耗的 RISC 处理器和相关技术软件,适用于多种领域。ARM 自己不生产微控制器芯片,而是将其设计技术授权世界上许多著名的半导体、软件和 OEM 厂商,每个厂商都获得一套独一无二的 ARM 相关技术及服务。利用这种合伙关系,各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 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但功能极强的结构,且功耗非常低,采用 RISC(精简)指令集;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、出色的实时中断等;采用流水技术增加指令流的速度。可见,这是一种新型的高功能、高速度、低功耗的单片机。

随着科学技术的进步和发展,单片机将按其自身规律,向高速、高性能化、大容量、外电路内装化、SOC(System On Chip)等方向飞速发展。今后一段时期内,单片机的发展趋势将具有以下一些特点。

(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前进。如前所述,有 8 位、16 位、32 位、ARM 等,从根本上改变传统控制器的面貌,大大拓宽新的、更高层次的应用领域。

例如,美国 Intel 公司推出的 32 位 MCS—80960 系列单片机,设有 80960KB、KA、MC、CA 四档机型,采用 S_{μ} mCHMOS 工艺,新型 RISC 结构。主频可达 33MHz,运算速度达 20MIPS,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 位浮点寄存器、多端口寄存器阵列、多重并行执行单元、多重内部总线、浮点运算器等。

美国 Motorola 公司推出具有极高集成度的 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集成模块(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 干预。CPU 与 68000 兼容,具有虚拟支持,循环方式操作先行指令栈等 32 位运算,具有极强的寻址功能,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(Advanced RISC Machines),可以认为是这类微控制器的通称,因为其内核技术基本相同,只是各厂商融入了自己的技术、功能特点,推出各不相同的微控制器。

ARM 内核微处理器的特点是:

- 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,指令执行速度更快;
- 大多数数据操作都在寄存器中完成;
- 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,而且体积小,功耗低,所以其适用领域极广。

随着超大规模集成技术的发展,以及市场需要的推动下,还将不断研制出越来越新型、先进的单片机,不断拓宽新的、更高层的应用领域。

(2) 高新技术下移,不断提高 8 位机的性能

尽管新的单片机(16 位,32 位)不断涌现,但就整个市场需求而言,8 位字长的单片机基本能满足大量的实时测控系统的需要,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。8 位机在功能上、技术上也不是停滞不前的,而是不断采用新的技术,增加了新的功能,推陈出新,重点发展。最显著的是将已在微型机、16 位/32 位单片机等已成成熟的先进技术,下移到 8 位机上,不断推动 8 位单片机技术、性能的发展。例如:

- RISC 结构,简化指令集,使应用程序的设计简单、方便;
- 读指令的流水线技术,节省取指令时间,提高运算速度;
- 虚拟结构,扩大存储器容量,I/O 口连接;
- 配置高级(C)语言,提高编程效率,缩短编程周期;
- 改进串行总线结构,如 I²C、CAN 总线等,大大提高串行通信能力;
- 采用双 CPU 结构,以提高处理能力。

另外,随着超大规模集成技术的飞速发展,不断将原属外围功能的器件集装到芯片内部。例如:加大存储器容量,片内 ROM 可达 4~16KB,有的甚至高达 64KB,RAM 为 256B~2KB。片内 EPROM 改用 EEPROM 或 Flash 存储器,实现快速和联机编程或修改,保存重要数据更方便。片内集成 10 位或 12 位 A/D 转换器、看门狗(Watchdog)、DMA、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,逐步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展,低功耗要求日显突出,所以不断采用新工艺。目前单

片机的功耗已降到 μA 级,今后还将更低;主频从 4MHz、8MHz、12MHz,发展到 24MHz、33MHz,大大提高了单片机的运算速度;不断拓宽供电范围,从原来的 $+5\text{V} \pm 10\%$,发展到 $+2.1 \sim +7\text{V}$,在很宽的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,特别便于电池供电的需要;为满足实时应用中高可靠性的要求,采取了很多提高可靠性的措施,设置了多种监视功能,以防止主机死机;加宽了工作环境温度,一般可在 $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ 范围内正常工作。今后还将采用更多措施,以保证应用系统的高可靠性。

(4) 日趋单片应用

随着超大规模集成技术的发展,逐步把所需功能部、器件集成在芯片内,不需外部功能扩展,实现一块芯片(单片机)就构成一个完整的应用系统。为满足不同应用的需要,同一系列均生产有十多种,乃至几十种机型,以满足用户的最佳选择。这样可简化应用系统硬件设计,缩小体积,降低成本,提高可靠性。最具典型的是美国 Motorola 公司的 68HC05 系列和 Microchip 公司的 PIC 系列,今后各家公司都将推出类似产品。

(5) SOC(System On Chip)嵌入式系统

随着集成技术的发展,单片机将进一步发展成 SOC(System On Chip——系统芯片)嵌入式系统。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。这样的系统,体积更小,可靠性更高。

目前国内外正加大投入,研究、开发 SOC 系统芯片。最近,国内已开发出包括温度传感器在内的较简单的 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,应用领域实现大范围的多机网络测控与管理等。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、家电等。

以上是近阶段单片机发展的主要特点。

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,已渗透到多个领域,成绩十分巨大,并已形成了一支具有相当规模的单片机开发、应用的高科技队伍,各大中专院校都纷纷开设单片机原理及其应用课程,不断培养出大批新生力量,为我国科技和经济建设服务。

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,已深入到各个应用领域,几乎无所不及。单片机在实际应用中呈现出如下主要特点:

(1) 小巧灵活、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。单片机芯片本身是按工业测控环境要求设计的,能适应各种恶劣的环境,它与典型微机具有极大的不同。一般单片机(例如 MCS—51 系列)具有以下三级产品:

民用级应用温度范围为 $0^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$;

工业品级应用温度范围为 $-40^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$;

军品级应用温度范围为 $-65^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$;

在实际应用中,可根据具体要求选用。

(3)结构灵活,易于外部功能扩展,以满足各种规模的应用要求。

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

(5)开发、设计、研制周期短。

鉴于以上诸多独特优点,其在以下几个方面得到广泛的应用。

(1)工业自动化

在工业自动化技术中,如在过程控制技术、数据采集技术、测控技术,以及机电一体化等方面,单片机的应用都发挥着越来越重要的作用。

(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、智能程度越来越高,并且有利于提高仪器、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、控制机器人协调工作的核心、中枢是单片机。

(4)民用消费类电子产品

由于单片机的诸多特点,特别是价廉的特点,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、字典、记事簿、照相机、高级游戏机、防盗控制、IC卡等。使产品智能化水平越来越高,操作越来越方便。

(5)汽车、航空、导航与武器装备

汽车中的点火装置、变速器、计价器,民航飞机中的航空仪表及其管理,武器装备等,都普遍应用各类单片机,以迅速提高自动化、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、硬盘驱动器、打印机等,都选用单片机进行管理与控制。

(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,都选用单片机实现数字化、自动化、智能化。

综上所述,单片机的应用遍布各个应用领域,极大地推动了我国四个现代化的进程。

1.3 嵌入式系统与单片机

随着计算机技术和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,且各有其自身的应用领域。

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型计算机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、单片机等则属嵌入式应用型计算机。后者面向实时测控应用系统,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,称之为嵌入式计算机

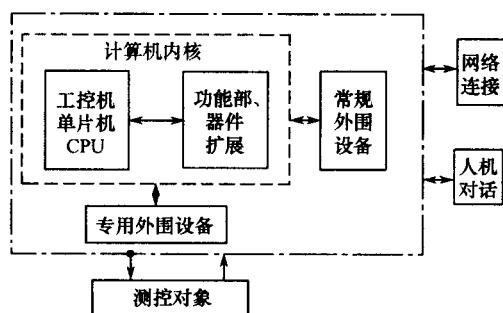


图 1-1 嵌入式应用系统示意图

图 1-1 所示为嵌入式应用系统示意图，其中计算机是整个系统的指挥、管理、测控的核心。

1. 嵌入式系统的硬件结构

嵌入式系统的硬件结构，如图 1-1 所示，主要由以下几部分组成。

(1) 嵌入式计算机内核

嵌入式计算机是构成应用系统的核心部分，是整个系统的指挥、测控和协调中心。嵌入式计算机类型很多，可以是工业控制机，可编程控制机，专用 CPU 或处理器芯片，DSP(数字信号处理器)等，配置外部功能部、器件(RAM、ROM、I/O 口、……)。目前用得最多的是单片机和外部功能部、器件扩展部分。选用何种机型取决于用户和应用系统功能的需要及综合评价。

外部功能部、器件扩展，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。目前的单片机，一方面受集成度限制，另一方面为了满足广泛的应用需要，在结构上为外部功能部、器件的扩展提供了方便。

(2) 常规外围设备

除计算机内核所需功能部、器件之外，根据应用系统的不同需要，还需配置有关的外部设备，如各种各样的输入/输出设备：键盘、扫描仪、触摸屏、打印机、绘图仪、声光报警器等。

(3) 专用外围设备

这类设备名目繁多，是根据不同的应用系统需要而配备的相关专用设备，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部、器件与计算机内核相连。由于外设的多样性和复杂性，给接口电路的设计带来一定的难度，这也是嵌入式应用系统的设计中具有一定难度和复杂的部分。

(4) 人机对话

一般嵌入式应用系统均需人工对运行情况进行干预、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连网管理，如智能家居、智能建筑、智能仪器、大范围的数据采集、通信，包括系统之间、系统与上档机之间的串行通信等。

2. 嵌入式系统的软件配置

一个完整的嵌入式应用系统，除了针对确定的测控对象而研制的硬件系统外，还必须配备对应的软件系统，两者相辅相成，使应用系统有效而可靠地工作。硬件系统相当于一个人

应用系统，简称嵌入式系统(Embedded System)。

嵌入式系统是个广泛的概念。从军用到民用，从工业、农业到社会、家庭用品，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，它应包含全部的硬件结构和应用软件。

的躯体。而软件则是储存在这个人的大脑中的知识和技能,灌输的知识和技能越多越丰富,就能完成更多、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,不同的应用其功能要求也不相同,其规模可大可小,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,即对事件做出实时处理,而且在操作系统管理下的多个事件,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,需处理的任务较多,常常需要同时处理多个任务,所以,它与一般常见的通用分时操作系统不同。

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精力。目前我国正大力进行开发、研究,已有部分软件公司先后推出了多套实时多任务操作系统供用户选用,但还不十分完善、成熟。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,将自己的应用程序挂在此操作系统下运行。

对于规模较小、不太复杂、任务较少的嵌入式应用系统,一般就不配置实时操作系统,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取实时响应处理。

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

目前,很多嵌入式计算机都配置高级语言(C语言)软件。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,其配置的C语言软件也不完全相同。由于嵌入式应用系统的计算机,涉及硬件资源的管理,所以它与通用的C语言软件也不完全相同。目前国内用得较普遍、较成熟的是C51软件。

(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、广泛性,不同的应用程序存在着极大的差异性,因此嵌入式应用系统的应用程序一般均为专一的。

目前,尚没有嵌入式应用系统应用程序的生成软件,都需由嵌入式应用系统的开发者自己进行设计。

对于单片机嵌入式应用系统的应用软件可以选用汇编语言或C语言来编程。应用程序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要由应用程序来实现和完成。因此,应用软件的优劣,将直接影响应用系统的功能要求及其技术质量。设计出一个优良的应用软件至关重要,是技术的关键。

3. 单片机是嵌入式系统中应用最典型、最广泛的机型

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、普通的数据处理和事务管理等要求。但是它体积大、价格贵、可靠性不高,不能满足更大量、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,于1976年美国Intel公司的MCS—48单片机问世,成为跨时代的里程碑。它以体积小、价格低廉、功能完善、面向实时应用为特征,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的需要,以单片机为内核,嵌入到电子产品应用系统中,实现产品自动化、智能化,成为典型的嵌入式应用系统。

随着单片机技术的发展及其广泛的应用,目前应用于嵌入式系统中的计算机绝大部分是单片机。所以说,单片机是当前构成嵌入式应用系统中最典型的主流机型。

1.4 MCS—51 已成为国际典型的 8 位单片机

尽管单片机技术发展很快,先后推出了高档的 16 位、32 位及 ARM 等多种单片机,但就绝大部分的实时测控等应用领域而言,8 位字长的单片机,足以满足实际需要,所以 8 位单片机的市场需求经久不衰。

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先进、结构灵活、功能更强的 MCS—51 系列单片机,影响了整个国际市场,引起了国内极大的关注,掀起了学、用 8051 单片机的热潮。随后,全国各大、专院校的相关专业纷纷开设单片机课程,绝大部分选用 MCS—51 系列作为主讲的机型。它已成为国内技术最成熟、技术资源最丰富、应用最广泛的单片机。

近年来,Intel 公司已先后将 MCS—51 系列的内核技术转让给国际著名的单片机生产厂家,如荷兰的飞利浦(PHILIPS)、美国的 ATMEL、韩国的 LG、中国无锡微电子中心、中国台湾华邦电子等,它们各自推出以 MCS—51 为内核,融进自己特色的单片机系列。新近推出的部分增强型 MCS—51 系列的 Winbond—W78 $\times\times\times$,其内置 EPROM, Flash 64KB, RAM 1280B, 3 个定时/计数器, 9 个中断源, 32/36 I/O 口, WDT(看门狗), ISP(在线编程), 4 个 PWM, 工作电压为 4.5~5.5V, 工作速度为 25~40MHz, 适应温度为 -40℃~+80℃, 可外扩存储器 64KB。工业级系列 W78IE $\times\times\times$ 内置(EPROM、Flash)可 8KB、16KB、32KB, RAM 可 256B 或 256B+1KB, 工作电压为 2.4~5.5V 或 2.7~5.5V, 工作速度为 40MHz, 其余同增强型。可见其功能极强。还有全新的 SST8051 单片机家族等。最新技术 SOC(片上系统), 其内核大多是 8051, 如高速度, 片内、外三时钟;微封装片上系统——C8051 F330/330D 等不胜枚举。今后还将进一步扩大。

从上可见,尽管单片机技术和功能不断发展,但由于 8051 内核技术的灵活、完整,在今后相当长的时期内,仍能满足技术上和市场上应用的需要。另外,由于 8051 内核技术几乎包含了单片机基础技术知识的全部,因此学懂、弄通了 8051 单片机技术,就打好了学习、应用单片机的基础,学、用其他系列单片机就不难了。再者,由于 8051 内核技术的通用性、完整性,相关资源丰富、技术成熟,因此很适合课堂教学和学生操练。这也正是本书仍以 MCS—51 为主线进行编写的原因所在。

思考题与习题

- 1 单片机是在怎样的历史背景下诞生和发展起来的?它与典型微机在结构上、发展宗旨上有何不同?它们应用领域中的重要区别是什么?
- 2 单片机具有哪些突出优点?今后发展的重点是什么?
- 3 何谓嵌入式应用系统?如何正确、全面认识嵌入式应用系统?
- 4 嵌入式计算机有哪些?为什么说单片机是最早、最典型、应用最广泛的嵌入式计算机?
- 5 为什么 8 位单片机应用经久不衰?为什么 MCS—51 能成为当前国际典型的 8 位单片机技术?