

高等院校计算机应用系列教材

微机与单片机 原理及应用

林丽群 廖一鹏 主 编
赵铁松 高跃明 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书详细介绍了与 MCS-51 单片机兼容的 80C51 单片机原理、接口及应用技术。本书主要内容包括微型计算机的组成与结构, 80C51 单片机的硬件结构、指令系统、中断系统、定时器及应用、串行口通信及串行通信技术、单片机最小系统及片外扩展、汇编语言程序设计和 80C51 程序设计等。

本书可作为各类工科院校工业自动化、智能仪器仪表、计算机、电子技术、自动控制、电气工程、机电一体化等专业单片机课程的教材, 也可供从事单片机应用设计的工程技术人员参考。

本书配套的电子课件、实例源代码和习题答案可以到 <http://www.tupwk.com.cn/downpage> 网站下载, 也可以扫描前言中的二维码获取。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。举报: 010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

微机与单片机原理及应用 / 林丽群, 廖一鹏主编. —北京: 清华大学出版社, 2023.12

高等院校计算机应用系列教材

ISBN 978-7-302-64870-3

I. ①微… II. ①林… ②廖… III. ①微控制器—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 215138 号

责任编辑: 胡辰浩

封面设计: 高娟妮

版式设计: 孔祥峰

责任校对: 成凤进

责任印制: 曹婉颖

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <https://www.tup.com.cn>, <https://www.wqxuetang.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-83470000 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京同文印刷有限责任公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 13.25 字 数: 339 千字

版 次: 2023 年 12 月第 1 版 印 次: 2023 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 69.00 元

产品编号: 103214-01

前 言

单片机自 20 世纪 70 年代问世以来,对人类社会产生了巨大的影响。尤其是美国 Intel 公司生产的 MCS-51 系列单片机,由于其具有集成度高、功能性强、可靠性高、系统结构简单、价格低廉、易使用等优点,在工业控制、智能仪器仪表、办公室自动化和家用电器等诸多领域得到广泛的应用。

本书从“微机原理”与“单片机原理”两门课程的共性出发,结合当前高校微处理器教学趋势和学生的学习兴趣及掌握的难易程度,将这两门课程的教学内容进行合并,形成了一门课程。本课程的改革目标是在压缩“微机原理与接口”和“单片机原理与应用”原有的授课时数下,改革课程知识结构,目的是加深学生对当代单片微型计算机的基本结构和原理的理解;增强学生自学其他单片微型计算机(包括高档单片机)的能力;培养学生对经典 51 系列单片机的实际应用技能,以夯实学生在嵌入式技术方面的实际基础知识,拓宽其专业技能,满足现阶段创新人才和创业型人才培养的要求。

本书的主要特点如下。

(1) 注重原理与应用相结合,软硬件不脱节,在介绍各种外围电路及硬件接口设计的同时,对相应的 51 单片机编程设计也做了详细介绍,并给出实例。

(2) 突出了选取内容的实用性、典型性。书中所介绍的各种设计方案,均为实用的典型方案,并提供了相应的编程实例,有利于学生提高设计工作的效率。

(3) 为便于学生自学,本书力求文字精练,通俗易懂,深入浅出。书中各章末均有习题,供学生巩固、消化、理解课堂所学内容之用。

在本书的编写过程中参考了相关文献,在此向这些文献的作者深表感谢。由于作者水平有限,书中难免有不足之处,恳请专家和广大读者批评指正。我们的电话是 010-62796045,邮箱是 992116@qq.com。

本书配套的电子课件、实例源代码和习题答案可以到 <http://www.tupwk.com.cn/downpage> 网站下载,也可以扫描下方二维码获取。



编者
2023 年 9 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电子计算机的发展	1
1.2 微型计算机的发展	2
1.3 单片机及其发展	3
1.3.1 什么是单片机	3
1.3.2 单片机的发展历史	4
1.3.3 单片机的特点	5
1.3.4 单片机的应用	5
1.3.5 单片机的发展趋势	6
1.3.6 MCS-51 系列与 AT89S5x 系列单片机	7
1.3.7 STC 系列单片机	9
1.4 嵌入式处理器的发展	10
1.4.1 数字信号处理器(DSP)	11
1.4.2 嵌入式微处理器	11
习题	12
第 2 章 微型计算机组成与结构	13
2.1 计算机硬件	13
2.2 计算机软件	15
2.2.1 软件的组成与分类	15
2.2.2 计算机语言	16
2.2.3 指令集结构	17
2.3 计算机系统的体系结构	19
2.4 计算机系统的层次结构	21
2.5 计算机的基本工作原理	23
2.5.1 存储程序工作原理	23
2.5.2 计算机的工作过程	23
2.6 计算机的性能指标	25
2.7 计算机系统的分类	27
2.8 通用微处理器	29

2.8.1 微处理器简介	29
2.8.2 微型计算机系统	29
2.8.3 通用微处理器的基本结构	31
2.9 总线分类与特性	37
习题	39
第 3 章 80C51 单片机内部结构及指令系统	40
3.1 80C51 单片机的内部结构	40
3.2 80C51 单片机的引脚信号	43
3.3 80C51 单片机的存储器配置	45
3.3.1 程序存储器地址空间	46
3.3.2 数据存储器地址空间	47
3.4 时钟电路及 80C51 CPU 时序	53
3.5 复位操作	58
3.6 80C51 单片机的低功耗工作方式	60
3.7 指令系统与汇编语言	62
3.7.1 概述	62
3.7.2 汇编语言与机器语言	63
3.8 微处理器常见的寻址方式	64
3.8.1 操作数寻址方式	64
3.8.2 程序转移地址的寻址方式	65
3.9 80C51 单片机指令系统	66
3.9.1 指令分类	66
3.9.2 指令格式	66
3.9.3 指令系统中使用的符号	67
3.9.4 寻址方式和寻址空间	68
3.9.5 数据传送类指令	69
3.9.6 算术运算类指令	73
3.9.7 逻辑运算类指令	77

3.9.8 控制转移类指令·····	80
3.9.9 布尔(位)操作类指令·····	84
习题·····	87
第4章 80C51 单片机外设功能及应用·····	88
4.1 I/O接口概述·····	88
4.1.1 I/O接口的主要功能·····	88
4.1.2 I/O接口电路的基本模型·····	89
4.1.3 I/O端口的编址·····	90
4.1.4 I/O地址的译码方法·····	92
4.1.5 80C51的并行I/O接口·····	92
4.1.6 I/O接口扩展方法·····	100
4.2 CPU异常与中断·····	111
4.2.1 概述·····	111
4.2.2 CPU异常·····	112
4.2.3 异常向量与中断向量·····	114
4.2.4 异常处理的优先顺序与嵌套·····	115
4.2.5 中断程序设计原则·····	116
4.2.6 80C51中断系统·····	117
4.3 定时器/计数器·····	121
4.3.1 概述·····	121
4.3.2 定时器/计数器T0、T1·····	121
4.3.3 定时器/计数器T2·····	127
4.3.4 看门狗·····	131
4.3.5 定时器/计数器的编程和使用·····	132
4.4 串行接口·····	138
4.4.1 概述·····	138
4.4.2 串行工作原理·····	138
4.4.3 串行口的编程和应用·····	146
习题·····	152
第5章 80C51 单片机的程序设计·····	154
5.1 概述·····	154
5.2 程序设计及程序结构·····	155
5.3 汇编语言及其程序设计·····	158
5.3.1 汇编语言中的伪指令·····	158
5.3.2 汇编语言程序设计·····	160
5.4 C语言及其程序设计·····	175
5.4.1 Keil C 语言·····	175
5.4.2 C语言与汇编语言的混合编程·····	182
5.4.3 80C51功能单元的C语言编程·····	186
习题·····	190
参考文献·····	191
附录A 80C51 指令·····	192
附录B 8086 指令·····	198

第 1 章

绪 论

电子计算机的出现和发展是 20 世纪最重要的科技成果之一，尤其是 70 年代微处理器出现以来，以微处理器为核心的微型计算机以不可阻挡的势头迅猛发展，并得到日益普及和广泛应用，使计算机深入社会的每一个角落，让人类社会的生产、生活方式发生了重大变革。电子计算机成为信息时代的主要标志。广义地讲，计算机的贡献就是帮助人们进行信息处理。随着人类社会的高度发展，电子计算机技术的不断更新，各种信息处理应用领域的多样需求，促使计算机领域发展出各种庞大和复杂的分支。本书将要讲授的微型计算机(简称微机)和单片微型计算机(简称单片机)，就是电子计算机向微型化方向发展的一个非常重要的分支。

1.1 电子计算机的发展

首台真正意义的电子计算机的产生，始于美国为解决复杂的弹道计算问题。1946 年 2 月，由美国宾夕法尼亚大学莫尔学院的物理学博士莫克利和电气工程师埃克特领导的研制小组，研制成功了世界上第一台数字式电子计算机 ENIAC，现代计算机历史由此开始。这台计算机使用了约 18 000 个电子管、1 500 个继电器、每小时的耗电量约为 $150\text{kW}\cdot\text{h}$ ，占地面积 167m^2 ，重量约 30t，计算速度为 5 000 次/s，采用字长 10 位的十进制计算方式，编程通过接插件进行。

1944 年，著名的数学家冯·诺依曼参加了为改进 ENIAC 而举行的一系列专家会议，研究了新型计算机的系统结构。在由他执笔的报告中，提出了采用二进制、存储程序，并在程序控制下自动执行的思想。按照这一思想，新机器由运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备五部分构成，这种模式的计算机称为冯·诺依曼机。1949 年，英国剑桥大学的威尔克斯等人在 EDSAC 机上实现了这种模式。时至今日，电子计算机的发展已经经历了五代，虽然在技术上不断发展和完善，但基于冯·诺依曼机的基本结构仍然未有大的变化。

第一代(1946—1957 年)：以电子管为逻辑部件，以阴极射线管、磁心和磁鼓等为存储器。软件上采用机器语言，后期采用汇编语言。

第二代(1958—1965 年)：以晶体管为逻辑部件，内存用磁心、外存用磁盘。软件上广泛采用高级语言，并出现了早期的操作系统。

第三代(1966—1979 年)：以中小规模集成电路为主要部件，内存用磁心、半导体，外存用磁盘。软件上广泛使用操作系统，产生了分时、实时操作系统和计算机网络。

第四代(1980—1993 年)：以大规模、超大规模集成电路为主要部件，以半导体存储器和磁

盘为内、外存储器。在软件方法上产生了结构化程序设计和面向对象程序设计的思想。

第五代(1994 年至今): 以超大规模集成电路为主要部件, 以半导体存储器和磁盘为内、外存储器。在软件方法上, 占支配地位的语言变为 C++、Java、HTML 和 XML。此外, 基于统一建模语言(UML)的图形设计语言开始出现。

1.2 微型计算机的发展

第四代电子计算机的一个重要分支是以大规模、超大规模集成电路为基础发展起来的以微处理器为核心的微型计算机。

计算机内部对数据进行处理并对处理过程进行控制的部件(即冯·诺依曼机结构中的运算器和控制器), 称为中央处理器(CPU)。伴随着大规模集成电路制造技术的迅速发展, 芯片集成密度越来越高, CPU 可以集成在一个半导体芯片上, 这种具有中央处理器功能的大规模集成电路器件, 被统称为微处理器(MPU)。

微型计算机是微电子学飞速发展的产物。可以说微处理器的问世是一次伟大的工业革命, 从 1971 年至今, 微处理器的发展日新月异, 令人难以置信。可以说, 人类的其他发明都没有微处理器发展得如此神速, 影响这么深远。微型计算机大致已经历了以下几个阶段。

第一阶段是 1971—1973 年, 微处理器有 4004、4040、8008。1971 年, Intel 公司推出了世界上第一款微处理器 Intel 4004, 研制出 MCS-4 微型计算机。Intel 4004 是第一个可用于微型计算机的 4 位微处理器, 它集成了 2300 只晶体管。随后 Intel 公司又推出了以微处理器 8008 为核心的 MCS-8 微型计算机。

第二阶段是 1974—1977 年, 微型计算机的发展和改进阶段。微处理器有 8080、8085、M6800、Z80。初期产品有 Intel 公司的以 8080 为核心的 MCS-80 型 8 位机。Intel 8080 很快作为代替电子逻辑电路的器件被广泛应用于各种电子设备中, 成为早期嵌入式系统的核心部件。

由于微处理器可用来完成很多以前需要用较大设备完成的计算任务, 价格又便宜, 于是各半导体公司开始竞相生产微处理器芯片。Zilog 公司生产了 Intel 8080 的增强型 Z80, Motorola 公司生产了 M6800, Intel 公司于 1976 年又生产了增强型 Intel 8085, 但这些芯片并没有改变 Intel 8080 的基本特点, 都属于第二代 8 位微处理器。它们均采用 NMOS 工艺, 集成度约 9 000 只晶体管, 平均指令执行时间为 1~2 μ s, 采用汇编语言、BASIC、FORTRAN 编程, 使用单用户操作系统。

第三阶段是 1978—1983 年, 16 位微型计算机的发展阶段。微处理器有 8086、8088、80186、80286、M68000、Z8000。微型计算机代表产品是 IBM-PC(MPU 为 8086)。1978 年, Intel 公司生产的 Intel 8086 是第一个 16 位的微处理器, 很快 Zilog 和 Motorola 公司也宣布计划生产 16 位微处理器 Z8000 和 M68000。这就是第三代微处理器的起点。

Intel 8086 微处理器最高主频为 10 MHz, 16 位字长, 内存寻址能力为 1 MB。同时 Intel 公司还生产出与之相配套的数学协处理器 i8087, 这两种芯片使用相互兼容的指令集, 此外 i8087 指令集中还增加了一些专门用于对数、指数和三角函数等数学运算的指令。人们将这些指令集统称为 x86 指令集。虽然以后 Intel 公司又陆续生产出更先进和速度更快的新型微处理器, 但都兼容原来的 x86 指令集, 而且 Intel 公司在后续微处理器的命名上沿用了 80x86 序列, 直到后来

因商标注册问题,才放弃了继续用阿拉伯数字,而改用 Pentium(奔腾)命名。

1981年,美国IBM公司将8088芯片用于其研制的个人计算机(PC)中,从而开创了全新的微机时代,个人计算机的概念开始在全世界范围内发展起来。

该阶段的顶峰产品是1984年Apple公司的Macintosh(MPU为M68000)和1986年IBM公司的PC/AT286(MPU为80286)微型计算机。

第四阶段是1984—2003年,为32位微型计算机的发展阶段。微处理器相继推出80386、80486。386、486微型计算机是初期产品。1985年10月17日,Intel公司划时代的产品——80386DX正式发布,其内部包含27.5万个晶体管,时钟频率为12.5MHz,后逐步提高到20MHz、25MHz、33MHz,乃至40MHz。80386DX的内部和外部数据总线是32位,地址总线也是32位,可以寻址到4GB内存,并可以管理64TB的虚拟存储空间。1993年,Intel公司推出了Pentium微处理器,它具有64位的内部数据通道,之后几年Intel公司相继推出了Pentium MMX、Pentium II、Pentium III等一系列微处理器,以及面向低端市场的Celeron系列微处理器等。另一方面异军突起的AMD公司,也在与Intel公司持续的竞争中相继推出了K5、K6、K7(Athlon)等系列微处理器,并且率先达到1GHz主频。

现阶段是从2003年开始的64位、多核微型计算机的发展阶段。2003年4月,AMD公司发布了AMD 64位处理器Opteron;9月,AMD Athlon 64处理器(K8)问世,宣告了64位个人计算机时代的到来。Athlon 64拥有当时先进的技术,集成内存控制器,使用Hyper Transport总线技术,从而提高了效能。

在2005年,Intel和AMD先后发布了自己的双核处理器——Pentium D和Athlon 64 X2,宣告微处理器双核时代的来临。并且随着双核处理器逐渐地推广,开始向多核发展,2006年,Intel首颗4核处理器Core 2 Extreme QX 6700正式发布,将处理器的性能推向了一个新的高度。

这些高性能的微处理器被广泛应用于各种领域,如大中型计算机、通用个人计算机、测控领域专用计算机和普通嵌入式系统,因此上述的单片CPU又称为通用微处理器。

1.3 单片机及其发展

单片机自20世纪70年代问世以来,已广泛应用在工业自动化、自动控制与检测、智能仪器仪表、机电一体化设备、汽车电子、家用电器等各个方面。

1.3.1 什么是单片机

单片机就是在一片半导体硅片上,集成了中央处理单元(CPU)、存储器(RAM/ROM)、并行I/O、串行I/O、定时器/计数器、中断系统、系统时钟电路及系统总线,用于测控领域的单片微型计算机。

由于单片机在使用时,通常处于测控系统的核心地位并嵌入其中,因而国际上通常把单片机称为嵌入式微处理器(Embedded Micro Controller Unit, EMCU)或微处理器(Micro Controller Unit, MCU)。而在我国,大部分工程技术人员则习惯使用“单片机”这一名称。

单片机的问世,是计算机技术发展史上的一个重要里程碑,它标志着计算机正式形成了通用计算机和嵌入式计算机两大分支。单片机芯片体积小、成本低,可广泛地嵌入工业控制单元、机器人、智能仪器仪表、武器系统、家用电器、办公自动化设备、金融电子系统、汽车电子系统、玩具、个人信息终端以及通信产品中。

单片机按照其用途可分为通用型和专用型两大类。

(1) 通用型单片机将其内部可开发的资源(如存储器、I/O 等各种片内外围功能部件等)全部提供给用户。用户可根据实际需要,设计一个以通用单片机芯片为核心,再配以外围接口电路及其他外围设备(简称外设),并编写相应的程序来控制功能,以满足各种不同测控系统的功能需求。我们通常所说的和本书所介绍的单片机都是指通用型单片机。

(2) 专用型单片机是专门针对某些产品的特定用途制作的,如各种家用电器中的控制器等。由于是用于特定用途,单片机芯片制造商常与产品厂家合作,设计和生产“专用”的单片机芯片。

在设计中,已经对专用型单片机的系统结构最简化、可靠性和成本的最佳化等方面都做了全面综合考虑,所以专用型单片机具有十分明显的综合优势。但是,无论专用型单片机在用途上有多么“专”,其基本结构和工作原理都是以通用型单片机为基础的。

1.3.2 单片机的发展历史

单片机根据其基本操作处理的二进制位数,主要分为 8 位单片机、16 位单片机和 32 位单片机。

单片机的发展历史可大致分为 4 个阶段。

第一阶段(1974—1976 年):单片机初级阶段。因工艺限制,单片机采用双片的形式,而且功能比较简单。1974 年 12 月,仙童公司推出了 8 位的 F8 单片机,实际上只包括了 8 位 CPU、64B RAM 和 2 个并行口。

第二阶段(1976—1978 年):低性能单片机阶段。1976 年 Intel 公司推出的 MCS-48 单片机(8 位),极大地促进了单片机的变革和发展。1977 年 GI 公司推出了 PIC1650,但这个阶段的单片机仍然处于低性能阶段。

第三阶段(1978—1983 年):高性能单片机阶段。高性能单片机使应用跃上了一个新的台阶。这个阶段推出的单片机普遍带有串行 I/O 口、多级中断系统、16 位定时器/计数器,片内 ROM、RAM 容量加大,且寻址范围达 64KB,有的片内还带有 A/D 转换器。由于这类单片机性价比高,因而得到了广泛应用。其典型代表产品为 Intel 公司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 6801 单片机。此后,各公司与 MCS-51 系列兼容的 8 位单片机得到迅速发展,新机型不断涌现。

第四阶段(1983 年至今):8 位单片机巩固发展及 16 位/32 位单片机推出阶段。20 世纪 90 年代是单片机制造业大发展时期,这个时期的 Motorola、Intel、微芯科技公司、ATMEL、德州仪器(TI)、三菱、日立、飞利浦、LG 等公司也开发了一大批性能优越的单片机,它们极大地推动了单片机的推广与应用。近年来,新型的高集成度的单片机不断涌现,出现了单片机产品百花齐放的局面。目前,不仅 8 位单片机得到广泛应用,16 位、32 位单片机也得到了广大用户的青睐。

1.3.3 单片机的特点

单片机是集成电路技术与微型计算机技术高速发展的产物。单片机体积小、价格低、应用方便、稳定可靠,因此单片机的发展与普及给工业自动化等领域带来了一场重大革命和技术进步。由于单片机很容易嵌入系统之中,因而便于实现各种方式的检测或控制,这是一般微型计算机根本做不到的。单片机只要在其外部适当增加一些必要的外部扩展电路,就可以灵活地构成各种应用系统,如工业自动控制系统、自动检测监视系统、数据采集系统等。

为什么单片机应用如此广泛?其主要原因如下。

(1) 简单方便,易于掌握和普及。由于单片机技术是较容易掌握的普及技术,单片机应用系统设计、组装、调试已经是一件容易的事情,广大工程技术人员通过学习可很快地掌握其应用设计与调试技术。

(2) 功能齐全,应用可靠,抗干扰能力强。

(3) 发展迅速,前景广阔。在短短几十年的时间里,单片机就经过了4位机、8位机、16位机、32位机等几大发展阶段。尤其是形式多样、集成度高、功能日臻完备的单片机不断问世,更使得单片机在工业控制及自动化领域获得了长足发展和大量应用。近几年,单片机内部结构越来越完美,配套的片内外围功能部件越来越完善,一个芯片就是一个应用系统,为应用系统向更高层次和更大规模的发展奠定了坚实基础。

(4) 嵌入容易,用途广泛。单片机体积小、性价比高、灵活性强等特点在嵌入式微控制系统中具有十分重要的地位。在单片机问世前,人们要想制作一套测控系统,往往采用大量的模拟电路、数字电路、分立器件来完成,它不但系统体积庞大,且因为线路复杂,连接点太多,极易出现故障。单片机问世后,电路组成和控制方式都发生了很大变化。在单片机应用系统中,各种测控功能的实现绝大部分都已经由单片机的程序来完成,其他电子线路则由片内的外围功能部件来替代。

1.3.4 单片机的应用

单片机具有软硬件结合、体积小,很容易嵌入各种应用系统中的优点。因此,以单片机为核心的嵌入式控制系统在以下各个领域得到了广泛的应用。

1. 工业控制与检测

在工业领域,单片机的主要应用有工业过程控制、智能控制、设备控制、数据采集和传输、测试测量、监控等。在工业自动化领域,机电一体化技术将发挥越来越重要的作用。在集机械、微电子和计算机技术于一体的综合技术(如机器人技术)中,单片机扮演着非常重要的角色。

2. 智能仪器仪表

目前用户对仪器仪表的自动化和智能化要求越来越高。在智能仪器仪表中使用单片机不但有助于提高仪器仪表的精度和准确度,简化结构、减小体积且易于携带和使用,而且能够加速仪器仪表向数字化、智能化、多功能化方向发展。

3. 消费类电子产品

单片机在家用电器(如, 洗衣机、电冰箱、微波炉、空调、电风扇、电视机、加湿机、消毒柜等)中的应用已经非常普及。在这些消费类电子产品中嵌入单片机后, 其功能与性能都大大提高, 并实现了智能化、最优化控制。

4. 通信设备

在调制解调器、各类手机、传真机、程控电话交换机、信息网络以及各种通信设备中, 单片机也已经得到了广泛应用。

5. 武器装备

在现代化的武器装备中, 如飞机、军舰、坦克、导弹、鱼雷制导、智能武器装备、航天飞机导航系统等, 都有单片机的嵌入。

6. 各种终端及计算机外部设备

计算机网络终端设备(如银行终端)和计算机外部设备(如打印机、硬盘驱动器、传真机、复印机等)中都使用了单片机作为控制器。

7. 汽车电子设备

单片机已经广泛地应用在各种汽车电子设备中, 如汽车安全系统、汽车信息系统、智能自动驾驶系统、汽车卫星导航系统、汽车紧急请求服务系统、汽车防撞监控系统、汽车自动诊断系统以及汽车黑匣子等。

8. 分布式多机系统

在比较复杂的多节点测控系统中, 常采用分布式多机系统。分布式多机系统一般由若干台功能各异的单片机组成, 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。在这种系统中, 单片机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的测量和控制。

综上所述, 从工业自动化、自动控制、智能仪器仪表、消费类电子产品等方面, 到国防尖端技术领域, 单片机都发挥着十分重要的作用。

1.3.5 单片机的发展趋势

单片机将向大容量、高性能、外围电路内装化等方面发展。

1. CPU 的改进

(1) 增加数据总线的宽度。例如, 各种 16 位单片机和 32 位单片机, 其数据处理能力要优于 8 位单片机。另外, 8 位单片机内部采用 16 位数据总线, 其数据处理能力明显优于一般 8 位单片机。

(2) 采用双 CPU 结构, 以提高数据处理能力。

2. 存储器的发展

(1) 片内程序存储器普遍采用闪烁(Flash)存储器。闪烁存储器能在+5V 下读写, 既可以实

现静态 RAM 的读写操作,又可以保证在掉电时数据不会丢失。单片机可不用扩展外部程序存储器,这大大简化了系统的硬件结构。有的单片机片内程序存储器容量最大达 128KB,甚至更多。

(2) 加大片内数据存储器存储容量,如 8 位单片机 PIC18F452 片内集成了 4KB 的 RAM,以满足动态数据存储的需要。

3. 片内 I/O 的改进

(1) 增加并行口的驱动能力,以减少外部驱动芯片。有的单片机可以直接输出大电流和高电压,以便能直接驱动 LED 和 VFD (荧光显示器)。

(2) 有些单片机设置了一些特殊的串行 I/O 功能,为构成分布式、网络化系统提供了条件。

(3) 引入了数字交叉开关,改变了以往片内外设与外部 I/O 引脚的固定对应关系。交叉开关是一个大的数字开关网络,可通过编程设置交叉开关控制寄存器,将片内的计数器/定时器、串行口、中断系统、A/D 转换器等片内外设灵活配置在端口 I/O 引脚,允许用户根据自己的特定应用,将内部外设资源分配给端口 I/O 引脚。

4. 低功耗

目前单片机产品均为 CMOS 化芯片,具有功耗小的优点。这类单片机普遍配置有等待状态、睡眠状态、关闭状态等工作方式。在这些状态下,低电压工作的单片机消耗的电流仅在 μA 或 nA 量级,非常适合电池供电的便携式、手持式的仪器仪表以及其他消费类电子产品。

5. 外围电路内装化

随着集成电路技术及工艺的不断发展,把所需的众多外围电路全部装入单片机内,即系统的单片化是目前单片机发展趋势之一,一个芯片就是一个“测控”系统。

6. 编程及仿真的简单化

目前大多数的单片机都支持程序的在线编程,也称在系统可编程(In System Programming, ISP),编程时只需一条与 PC 相连的 ISP 下载线(多为 USB 口或串口),就可以把仿真调试通过的程序代码从 PC 在线写入单片机的 Flash 存储器内,省去了编程器。某些机型还支持在应用可编程(In Application Programming, IAP),可在线升级或销毁单片机的应用程序,省去了仿真器。

综上所述,单片机正在向多功能、高性能、高速度、低电压、低功耗、低价格、外围电路内装化以及片内程序存储器、数据存储器容量不断增大的方向发展。

1.3.6 MCS-51 系列与 AT89S5x 系列单片机

20 世纪 80 年代以来,单片机的发展非常迅速,其中 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机是一款设计成功、易于掌握并在世界范围得到广泛应用的机型。

1. MCS-51 系列单片机

MCS 是 Intel 公司生产的单片机的系列符号,MCS-51 系列单片机是 Intel 公司在 MCS-48 系列单片机的基础上,于 20 世纪 80 年代初发展起来的,是最早进入我国并在我国得到广泛应用的机型。

MCS-51 的基本型产品主要包括 8031、8051、8751 (对应的低功耗型 80C31、80C51、87C51)，增强型产品主要包括 8032、8052 和 8752。

1) 基本型

基本型的典型产品有 8031、8051、8751。8031 内部包括 1 个 8 位 CPU、128B RAM、21 个特殊功能寄存器(SFR)、4 个 8 位并行 I/O 口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时器/计数器、5 个中断源，但片内无程序存储器，因此需外部扩展程序存储器芯片。

8051 是在 8031 的基础上，片内又集成有 4KB ROM 作为程序存储器。所以，8051 是一个程序不超过 4KB 的小系统。ROM 内的程序是芯片厂商制作芯片时为用户烧制的，主要用在程序已定且批量大的单片机产品中。

8751 与 8051 相比，片内集成的 4KB 的 EPROM 取代了 8051 的 4KB ROM，从而构成了一个程序不大于 4KB 的小系统。用户可以将程序固化在 EPROM 中，EPROM 中的内容可反复擦写、修改。8031 外部扩展一片 4KB 的 EPROM 就相当于一片 8751。

2) 增强型

Intel 公司在 MCS-51 系列基本型产品基础上，又推出了增强型系列产品，即 52 子系列，其典型产品为 8032、8052 和 8752。它们的内部 RAM 增至了 256B，8052/8752 的片内程序存储器扩展到 8KB，16 位定时器/计数器增至 3 个，共有 6 个中断源。表 1-1 列出了基本型和增强型的 MCS-51 系列单片机片内的基本硬件资源。

表 1-1 MCS-51 系列单片机的片内硬件资源

型号		片内程序存储器	片内数据存储器/B	I/O 口/位	定时器/计数器/个	中断源个数/个
基本型	8031	无	128	32	2	5
	8051	4KB ROM	128	32	2	5
	8751	4KB EPROM	128	32	2	5
增强型	8032	无	256	32	3	6
	8052	8KB ROM	256	32	3	6
	8752	8KB EPROM	256	32	3	6

2. 8051 内核单片机与 AT89S5x 系列单片机

MCS-51 系列单片机的代表产品为 8051，目前世界上其他公司推出的兼容扩展型单片机都是在 8051 内核的基础上进行了功能的增减。20 世纪 80 年代中期以后，Intel 公司已把精力集中在高档 CPU 芯片的研发上，逐渐淡出单片机的开发和生产。MCS-51 单片机由于其设计上的成功以及较高的市场占有率，得到了世界众多公司的青睐。Intel 公司以专利转让或技术交换的形式把 8051 的内核技术转让给了许多芯片生产厂家，如 ATMEL、Philips、ANALOG、LG、ADI、Maxim、DEVICES、DALLAS 等。这些厂家生产的兼容机型均采用 8051 的内核结构，指令系统相同，且采用 CMOS 工艺；有的公司还在 8051 内核的基础上又增加了一些片内外设模块，使其集成度更高，功能和市场竞争力更强。人们常用 8051 (或 80C51，“C”表示采用 CMOS 工艺)来称呼所有具有 8051 内核且使用 8051 指令系统的单片机，人们习惯把这些兼容扩展型的衍生品统称为 8051 单片机。

在众多的兼容扩展型的衍生机型中,美国 ATMEEL 公司的 AT89 系列,尤其是该系列中的 AT89C5x/AT89S5x 子系列单片机在世界 8 位单片机市场中占有较大的份额。

ATMEL 公司是美国 20 世纪 80 年代中期成立并发展起来的半导体公司。该公司于 1994 年以 EPROM 技术与 Intel 公司的 80C51 内核的使用权进行了交换。ATMEL 公司的技术优势是其 Flash 存储器技术,它将 Flash 技术与 80C51 内核相结合,形成了片内带有 Flash 存储器的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机。AT89C5x/AT89S5x 系列单片机与 MCS-51 系列单片机在原有功能、引脚以及指令系统方面完全兼容,系列中的某些品种又增加一些新的功能,如看门狗定时器 WDT、ISP 及 SPI 串行接口等,片内 Flash 存储器可直接在线重复编程。此外,AT89C5x/AT89S5x 还支持两种节电工作方式,非常适用于电池供电或其他低功耗场合。

AT89S51 片内 4KB Flash 存储器可在线编程或使用编程器重复编程,且价格较低,因此 AT89S5x 单片机是目前 8051 单片机的典型芯片之一。AT89S5x 的“S”档系列是 ATMEL 公司继 AT89C5x 系列之后推出的新机型,“S”表示含有串行下载的 Flash 存储器,代表产品为 AT89S51 和 AT89S52。AT89C51 单片机已不再生产,可用 AT89S51 直接代替。与 AT89C5x 系列相比,AT89S5x 系列的时钟频率以及运算速度都有了较大的提高。例如,AT89C51 工作频率的上限为 24MHz,而 AT89S51 则为 33MHz。AT89S51 片内集成有双数据指针 DPTR、看门狗定时器,具有低功耗空闲工作方式和掉电工作方式,另外还增加了 5 个特殊功能寄存器。

AT89S51 片内有 4KB 的 Flash 存储器、128B 的 RAM、5 个中断源,以及 2 个定时器/计数器。而 AT89S52 片内有 8KB 的 Flash 存储器、256B 的 RAM、6 个中断源和 3 个定时器(比 AT89S51 多出的 1 个定时器,具有捕捉功能)。

尽管 AT89S5x 系列有多种机型,但是掌握好基本型 AT89S51 是十分重要的,因为它是各种 8051 内核的单片机的基础,最具代表性,同时也是各种 8051 内核的增强扩展型等衍生品种的基础。

除了 8 位单片机得到广泛应用外,一些厂家的 16 位单片机也得到了用户的青睐,如美国 TI(Texas Instruments)公司的 16 位的 MSP430 系列、Microchip 公司的 PIC24xx 系列单片机。这些单片机本身都带有 A/D 转换器,增加了各种串行口和各种数字控制部件,一个芯片就构成了一个测控系统,使用非常方便。除了 16 位单片机外,各公司还推出了 32 位单片机。尽管如此,8 位单片机的应用还是非常普及的,这是因为目前在大多数应用场合中,8 位单片机的性能能够满足大部分实际需求,且 8 位单片机的性价比也较高。

1.3.7 STC 系列单片机

除了 AT89S5x 系列单片机,世界各半导体器件厂家也推出了 8051 内核、集成度高、功能强的增强扩展型单片机,并得到了广泛应用。

STC 系列单片机是我国具有自主知识产权的产品,其功能与抗干扰性强的增强型 8051 单片机一样。STC 系列单片机中有多种子系列、几百个品种,以满足不同应用的需要。其中的 STC12C5410/STC12C2052 系列的主要性能及特点如下。

(1) 高速:普通的 8051 单片机是每个机器周期为 12 个时钟,而 STC 单片机可以是每个机器周期 1 个时钟,指令执行速度大大提高,速度是普通的 8051 速度的 9~13 倍。

(2) 宽工作电压:5.5~3.8V,2.4~3.8V(STC12LB5410AD 系列)。

- (3) 12KB/10KB/8KB/6KB/4KB 片内 Flash 程序存储器, 擦写次数为 10 万次以上。
 - (4) 512B 片内的 RAM 数据存储器。
 - (5) 在系统可编程(ISP)/在应用可编程(IAP), 无需编程器/仿真器, 可远程升级。
 - (6) 8 通道的 10 位 ADC, 4 路 PWM 输出。
 - (7) 4 通道捕捉/比较单元, 也可用来再实现 4 个定时器或 4 个外部中断(支持上升沿/下降沿中断)。
 - (8) 2 个硬件 16 位定时器, 兼容普通 8051 的定时器。4 路可编程计数/定时器阵列(PCA), 还可再实现 4 个定时器。
 - (9) 硬件看门狗(WDT)。
 - (10) 高速 SPI 串口。
 - (11) 全双工异步串行口(UART), 兼容普通 8051 的串口。
 - (12) 通用 I/O 口(27/23/15 个)中的每个 I/O 口驱动能力均可达到 20mA, 但整个芯片最大不可超过 55mA。
 - (13) 超强抗干扰能力与高可靠性:
 - 高抗静电;
 - 通过 2kV/4kV 快速脉冲干扰测试(EFT 测试);
 - 宽电压, 不怕电源抖动;
 - 宽温度范围: $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$;
 - I/O 口经过特殊处理;
 - 片内的电源供电系统、时钟电路、复位电路、看门狗电路均经过特殊处理。
 - (14) 采取降低单片机时钟对外部电磁辐射的措施: 如选每个机器周期为 6 个时钟, 外部时钟频率可降一半。
 - (15) 超低功耗设计如下。
 - 掉电模式: 典型功耗 $<0.1\mu\text{A}$ 。
 - 空闲模式: 典型功耗为 2mA。
 - 正常工作模式: 典型功耗为 4~7mA。
 - 掉电模式可由外部中断唤醒, 适用于电池供电系统, 如水表、气表、便携设备等。
- STC 单片机可直接替换 ATMEL、Philips、Wimbond (华邦)等公司的 8051 机型。
- 由上述可知, STC 单片机是一款高性能、高可靠性的机型, 尤其是其较高的抗干扰特性, 用户应给予足够的重视。

1.4 嵌入式处理器的发展

在第一款微处理器诞生之后, 微型计算机的技术发展就进入了两大分支: 通用计算机系统和嵌入式计算机系统。通用计算机系统用于高速数值的计算和海量数据的处理; 嵌入式计算机系统(简称嵌入式系统)则面向工控领域, 嵌入各种控制应用系统、各类电子系统和电子产品中。

早期的嵌入式计算机系统由单板机构成, 使用了通用微处理器。但应用对象对低功耗、小体积、高可靠性的苛刻要求, 使它很快让位给了单片微型计算机(简称单片机), 即嵌入式处理

器。嵌入式处理器早期的低端产品是 8 位单片机，其代表是 MCS-51 单片机。随着微电子技术的发展，嵌入式处理器和通用微处理器一样，得到了飞速发展，CPU 主频从 12MHz 发展到 400MHz，字长从 8 位发展到 32 位。以各类嵌入式处理器为核心的嵌入式系统的应用，已经成为当今电子信息技术应用的一大热点。现代的制造业、过程控制、通信、仪器、汽车、船舶、航空航天、军事装备和消费类产品等方面均是嵌入式处理器的应用领域，并且在应用数量上远远超过了各种通用微处理器。具有不同体系结构的嵌入式处理器是嵌入式系统的核心部件。除了单片机，还有数字信号处理器(DSP)以及嵌入式微处理器。

1.4.1 数字信号处理器(DSP)

数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)是非常擅长高速实现各种数字信号处理运算(如数字滤波、快速傅里叶变换即 FFT、频谱分析等)的嵌入式处理器。由于 DSP 的硬件结构和指令进行了特殊设计，因而其能够高速完成各种数字信号处理算法。

1981 年，美国 TI (Texas Instruments)公司研制出了著名的 TMS320 系列的首片低成本、高性能的 DSP 芯片——TMS320C10，它使 DSP 技术向前跨出了意义重大的一步。

20 世纪 90 年代，由于无线通信、各种网络通信、多媒体技术的普及和应用，以及高清晰度数字电视的研究，极大地刺激了 DSP 的推广应用，DSP 大量进入嵌入式领域。推动 DSP 快速发展的是嵌入式系统的智能化，如各种带有智能逻辑的消费类产品、生物信息识别终端、实时语音压缩解压系统、数字图像处理等。这类智能化算法一般运算量都较大，特别是向量运算、指针线性寻址等，而这些正是 DSP 的长处所在。但在一些实时性要求很高的场合，单片 DSP 的处理能力还是不能满足要求。因此，各大公司又研制出多总线、多流水线和并行处理的包含多个 DSP 的芯片，从而大大提高了系统的性能。

DSP 所具有的实现高速运算的硬件结构与指令系统以及多总线结构，尤其是 DSP 处理数字信号处理算法的复杂度和庞大的数据处理流量，这些都是单片机不可企及的。

DSP 的主要厂商有美国 TI、ADI、Motorola、Zilog 等公司，TI 公司位居榜首，占全球 DSP 市场约 60%。DSP 代表性的产品是 TI 公司的 TMS320 系列，其中包括用于控制领域的 2000 系列，用于移动通信的 5000 系列以及应用在网络、多媒体和图像处理领域的 6000 系列等。

今天，随着全球信息化和 Internet 的普及、多媒体技术的广泛应用，以及尖端技术向民用领域的迅速转移，DSP 也大范围地进入消费类电子产品领域。DSP 的不断更新换代，性能指标不断提高，价格不断下降，已成为新兴科技，如通信、多媒体系统、消费电子、医用电子等飞速发展的主要推动力。据国际著名市场调查研究公司 Forward Concepts 发布的一份统计和预测报告显示，目前世界 DSP 产品市场每年正以 30% 的增幅增长，它是目前最有发展和应用前景的嵌入式处理器之一。

1.4.2 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器(Embedded Micro Processor Unit, EMPU)的基础是通用计算机中的 CPU，虽然在功能上它和标准微处理器基本是一样的，但由于它只保留和嵌入式应用有关的功能，因此可大幅度减小系统体积和功耗，同时在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面都做了各种增强处理。

嵌入式微处理器中比较有代表性的产品为ARM系列,主要有5个产品系列:ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10 和 SecurCore。

以 ARM7 为例,它的地址线为 32 条。所扩展的存储器空间要比单片机存储器空间大得多,可配置实时多任务操作系统(Real Time multi-tasking Operation System, RTOS),它是嵌入式应用软件的基础和开发平台。

常用的 RTOS 为 μ Linux(数百 KB)、Vxworks (数 MB)和 μ C/OS-II。由于嵌入式实时多任务操作系统具有高度灵活性,可很容易地对它进行定制或适当开发,即对它进行“裁剪”“移植”和“编写”,从而可以设计出用户所需的程序,满足实际应用需要。

由于嵌入式微处理器能运行实时多任务操作系统,能够处理复杂的系统管理任务。因此,在移动计算平台、媒体手机、工业控制和商业领域(如智能工控设备、ATM 等),以及电子商务平台、信息家电(机顶盒、数字电视)等方面,甚至军事上的应用,它都具有巨大的吸引力。以嵌入式微处理器为核心的嵌入式系统的应用,已经成为继单片机、DSP 之后的电子信息技术应用的又一大热点。

习题

1. 除了单片机这一名称,单片机还可称为什么?
2. 单片机与普通微型计算机的不同之处是什么?
3. 单片机内部数据用二进制形式表示的原因是什么?
4. 微型计算机、微处理器、CPU、单片机、嵌入式处理器,它们之间有何区别?
5. 什么是“嵌入式系统”?系统中嵌入了单片机作为控制器,是否可称为“嵌入式系统”?
6. 嵌入式处理器家族中的单片机、DSP、嵌入式微处理器各有何特点?它们的应用领域有何不同?