

EMC 大学计划用书

EM78 单片机实用教程——基础篇

李学海 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书讲解以 EM78P447S 型号单片机为主,适当兼顾 EM78 整个系列的产品。内容共分 10 章,包括:基本概念、硬件概况、指令系统、汇编程序基础、软硬件模拟器、集成模拟环境、集成开发环境和仿真器、定时器、中断、系统配置和可靠设计。本教材实用性强、通俗易懂、系统全面、学用并重、实例丰富、习题齐全,令教者轻松、学者生趣。

本书适用于初步具备电子技术基础和计算机基础的学生、教师、电子爱好者、电器维修者、电子产品开发者以及工程技术人员阅读。

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

EM78 单片机实用教程. 基础篇/李学海编著. —北京:电子工业出版社,2003.5

EMC 大学计划用书

ISBN 7-5053-8240-3

I. E… II. 李… III. 单片微型计算机, EM78—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 029048 号

责任编辑:周晓云

印 刷:北京兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

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:23 字数:585 千字

版 次:2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:32.00 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

前 言

本教程是作者应义隆公司（EMC, ELAN Microelectronics Corp.）之邀，为该公司在中国大陆开展的“大学计划”撰写的教学用书、培训教材和自学读本。同时也广泛适用于初步具备电子技术和计算机基础的电子、电信、电脑、电器、电力、电气、机电等涉电专业的在校学生和教师，以及单片机爱好者、电子爱好者、电器维修者、电子产品开发者、工程技术人员阅读和参考。

本教程的特点是：① 内容叙述循序渐进、通俗易懂、系统完整；② 适合于自学和便于教学；③ 注重激发学习者的兴趣，知识与技能并举；④ 容易上手，开发手段经济实用，甚至借助于免费软件模拟器，仍可体验开发单片机的乐趣；⑤ 强调学用结合、边学边练、理论密切联系实际，改变了单片机学习的传统模式；⑥ 以读者的求知需要、认识规律和市场需求为写作主线；⑦ 专门为本教程设计的实验范例和编程示例丰富多彩，便于读者快速上手；⑧ 思考题和练习题齐全，便于教学和读者自测；⑨ 突出了实用性和资料性；⑩ 在降低入门门槛的前提下兼顾深度和广度；⑪ 将理论教科书和实验指导书的双重功能有机地融合为一体，令学习者生趣、教学者轻松。

本教程在写作手法上，力求循序渐进、通俗易懂、趣味性强，将枯燥乏味的学习过程变得更加轻松有趣，力图引导读者享受到学习单片机的乐趣，在学习和实践过程中更多地品尝到成功感，而尽量避免受到挫折。尽可能使读者在通过阅读本教程来学习 EM78 单片机的过程中，以花费尽可能少的时间和精力，掌握和了解尽可能全面的单片机理论知识和开发技术。采用以读者为中心的写作手法，来努力克服以产品手册为中心，或者以作者知识结构或兴趣范围为中心的传统写作模式，给读者所带来的种种不便和困惑。

本教程的编写思路是，充分发挥作者在为《无线电》、《电子制作》和《电子世界》等科技期刊撰写单片机技术连载讲座中，以及在面授教学过程中积累的成功经验，再通过细致编排讲述顺序和精心筛选教学内容，来尽量减少对读者背景知识的要求，以便尽可能降低初学者通过了解 EM78 单片机而进入单片机世界的门槛。书中以讲解 EM78P447S 单片机为主，并且酌情兼顾 EM78 单片机家族中的其他成员的个性以及全体成员的共性。以便使读者达到举一反三、触类旁通之功效。

本教程的编写目标是，努力追求“从入门到提高、从知识到技能”平滑上升的学习效果；不仅能“给人以鱼”，而且更能“授人以渔”；不仅传授单片机知识，而且更注重教会开发方法和应用技巧；不仅可以提高理论水平，而且更侧重强化将所学知识转化为实际工作的能力；力图实现将每一位有志于迈进单片机王国的外行人，培养成既懂单片机知识，又能掌握基于单片机的智能电子产品开发技术的内行人。为了达到这一目标，除了恰当的引导和正确的学习方法之外，当然也离不开读者的自身努力。“兴趣是最好的老师！”作者深信这个哲理。培养读者的学习兴趣比传授知识更重要。一旦帮助读者树立起浓厚的学习兴趣和强烈的求知欲望，就很可能达到令人受益终生的效果，这也是每位教育工作者追求的最高境界。

本教程在内容安排上充分注意了可读性、层次性、系统性、完整性、先进性和资料性，

力求覆盖从单片机理论学习到开发应用的各个阶段,所有必不可少的硬件和软件知识、开发环境和开发工具的使用方法和技巧。尽可能不需要翻阅其他书籍就可以学习到,从单片机入门到单片机开发制作的全程知识。书中讲出了其他同类书籍中没有讲出或者没有讲透的一些技术细节和背景知识。作者对于英文数据手册中的多处文字差错进行了纠正,还对多处欠缺的示意图进行了补充,以方便于教学和自学。对于一名初步具备电子技术和微机应用基础的初学者,成长为一位单片机应用工程师,所需要学习的核心知识主要有:单片机硬件系统;指令系统;汇编程序设计基础以及汇编器用法;仿真器及其用法;烧录器及其用法。这些内容书中都有详尽的介绍。此外,为了突出实践性,在每个需要演练的章节后面都精心设计了几个针对性很强的实验范例,并且大都调试成功;为了便于查找资料,还将作者近几年在科研实践中研究过的一些新颖外围器件和实用开发技术,精选之后列入《扩展篇》中以供读者深入学习和应用开发时参考。

近 20 年来,8 位单片机因其价格低廉、功耗低微、指令简练、易于开发,加上近几年嵌入式 C 语言的推广普及、执行指令的速度也不断提高、片载闪速(FALSH)程序存储器、及其在系统内编程(ISP)和在应用中编程(IAP)技术的广泛采纳和片内配置外设模块的不断增多,以及新型外围接口的不断扩充,广泛受到电子工程师的欢迎。目前,各家厂商竞相为单片机增加符合潮流的新功能和为设计者提供 C 语言编译器、软件模拟器和廉价硬件仿真器等开发工具套件。根据专门从事半导体行业市场研究的 SEMICO 公司的统计资料表明,目前在整个单片机市场中 8 位单片机仍高居榜首,2002 年销售额增长 4.4%,高达 45 亿美元,占据单片机销售总额的 43%和发货量的 60%,其销售额之大令人惊讶。预计 2004 年和 2006 年 8 位单片机的销售额将分别达到 50 亿和 56 亿美元。MOTOROLA 公司估计到 2010 年平均每人每天接触到多达 351 片甚至更多的单片机。

国家积极倡导的素质教育和创新工程,旨在提高受教育者的素质和培养将所学知识转化为生产力、创造力和经济效益的能力。为了更好地适应发展潮流和就业需要,我认为,单片机的学习和应用,可以为电子、电信、电脑、电器、机电以及相关领域的爱好者、从业者和在校生,提供了一个容易激发学习热情和创作欲望的、可操作性很强的学习途径和实践平台。至今,许多老一辈的工程师、专家、教授当年都是无线电爱好者。如果说从 20 世纪 50 年代起,无线电世界造就了几代电子英才,那么当今的单片机世界也必将会培育出更多的电子精英。

1985 年本人在北京邮电学院学习通信系统专业研究生课程的时候,导师蹇锡君教授(时任多路通信教研室主任)曾经预言,单片机在我国未来必定要有大发展。从那时起,我对单片机建立起了浓厚的兴趣,时常关注世界各个著名公司的单片机发展动向,以及在我国市场上的推展进程。凭着一种对单片机的强烈求知欲望,经过多年的探索和磨砺,本人曾先后涉猎和研究了许多世界顶级公司研制的各具特色的单片机,及其性能特点、硬件架构、指令系统和开发环境。比如,Intel 的 MCS-48 和 MCS-51 系列、ATMEL 公司的 AT89C 和 AVR 系列、ZILOG 公司的 Z8 和 Z8+系列、TI 公司的 MSP430F 系列、ST 公司的 ST62 系列、SCENIX 公司的 SX 系列、Microchip 公司的 PIC 系列、MOTOROLA 公司的 MC68HC908 系列、PHILIPS 公司的 P87LPC 系列、NS 公司的 COP8 系列、HOLTEK 公司的 HT48 系列、ELAN 公司的 EM78 系列、LG 公司的 GM97C 和 GM87C 系列,等等。博采众家之长,全面了解单片机世界的发展趋势。不仅如此,还先后参加了多项全国性的单片机应用开发赛事,并且均从中获得了奖项。比如,在 1997 年由国家教育电视台、《无线电》杂志社和力源单片机技术研究所联合举

办的，共有 2 300 余人参加的，“第二届力源杯单片机开发制作大奖赛”中获奖；在 1999 年由 MOTOROLA 公司、中国计算机学会微机专业委员会、《电子产品世界》杂志社联合主办的，由清华大学、复旦大学、深圳大学承办的，有 1 500 余名电子工程师报名参加的，“第三届 MOTOROLA 杯单片机应用设计大奖赛”中获奖。另外，还曾获得过 4 项国家专利和发明成果展览会金奖，还曾编著过两本单片机大学教程，已经被一些高校选作教材，收到了理想的教学效果。

作为一名教育工作者，不仅要留意观察单片机领域的新动向，而且还应注意搜寻更适合认识规律和教育规律、容易诱发学习者兴趣和容易入门的单片机品种。一次偶然机会发现了义隆公司的 EM78 系列单片机那别具特色的哈佛总线和 RISC 结构、适合学习习惯的指令系统、易学好用的突出优点，顿时激发起本人的求知欲望。更令人惊喜的是，义隆公司与寰群公司相继又推出了非常适合单片机教育市场需求和单片机初学者学习和演练的多种各具特色的物美价廉型学习套件和开发工具。这给那些经济拮据又成才迫切的众多求知者，提供了一些投资少见效快的便捷途径。于是，在 2001~2003 年为《无线电》撰写的“义隆单片机课堂——EM78P447S 单片机入门与实作系列讲座”中，就选定了 EM78P447S 作为讲解的样板，结果取得了很好的效果，在广大读者中引起强烈反响和共鸣。本人收到全国各地读者的许多来函、来电和 EMAIL，其中既有初学者也有大学教师，字里行间流露着对讲座的充分肯定和热情鼓励，并且有些读者还积极建议和期待编成专著和光盘发行。这些都会在成书过程中给予作者强大的精神动力，从众多读者的反馈信息中积累了大量的有益经验和素材，也为本教程的成功推出奠定了坚实的基础。

自从 1983 年以来，本人先后曾在 31 种电子和通信类科技期刊、单片机与嵌入式系统学术年会论文集等刊物上发表专业论文、译文、科普文章和科研成果 280 余篇，内容涉及电子、电信、电脑和电器等领域，受到了广大读者的普遍欢迎和热情鼓励，以及多位责任编辑的称赞。另外，在 1999 年应《家用电器》资深编辑王远美老师举荐，为天津科学技术出版社出版的系列丛书撰写了内容涉及通信终端设备的一部，发行后得到了广大读者的认可，在不到一年的时间内就二次重印。从近 20 年的技术研究和文字创作过程中，探索出了一套通过文字向读者传达知识和技术的有效方法和写作风格，并且经历了时空的检验。再者，本人 20 余年的教学经历，也必定会在讲解内容的组织与锤炼、讲解顺序的安排与优化方面，更增添一份得天独厚的优势。

教程全书共分两篇，基础篇和扩展篇，两篇之间内容相对独立，以适应不同学习目标、不同专业背景、不同学时数的需求，也为读者和教师增加了一种可选方案。

■基础篇。通过本篇的学习和实践，读者可以掌握 EM78 系列单片机的基础硬件结构、指令系统、汇编程序设计、开发工具及开发技术。可以利用 EM78P447S 单片机内部的常规硬件资源（包含程序存储器、数据存储器、输入/输出端口、中断逻辑、定时器等），来设计和研制一些功能不太复杂的小型电子项目。

■扩展篇。通过本篇的学习和实践，读者可以掌握 EM78P447S 单片机更加灵活高效的资源利用技巧、节电设计措施、系统扩展手段、OTP 单片机重复烧写诀窍和一些实用的单片机外扩器件及其应用方法。利用这些方法和技术可以设计和研制智能性更强、可靠性更高、功能更丰富的电子产品系统甚至网络产品。

长期以来，作者在学术研究、专业深造和教学实践等方面，得到了所在单位的张兰猛校长、边根锡校长、张宪居处长等各级领导的大力支持和热情鼓励。

在本教程的编著过程中,得到了义隆电子股份有限公司教育推广部部长钟元之先生、寰群科技有限公司总经理陈宏升先生、《无线电》资深编辑房桦女士等专家学者们的大力支持和热情鼓励。除了提供最新资料和实验物品之外,还将他们在长期实践中积累的经验体会和开发技巧无私地奉献出来供广大读者分享。另外,为本书的编著工作尽力的还有张拥军、于复生、张波、孙群中、王国联、张秀芳、王成堂、杨金祥、朱永芳、贡雪梅、任志刚、张自宾、韩家民、徐福成、周鹏、任胜利、赵鹏、池俭、胡素英、王树生、李学英、范俊海、石玉林、丁永再、孙桂良、李学峰、王有才、王友发、莱永泽、王友起、范淑玲、王有勇、李青石、解帅、裴新华、杨琳、李晗羽、李子杨等等。在此一并深表诚挚的谢意!

单片机的学习、应用与开发是一个环节很多、实践性很强的循序渐进过程,在整个学习和实践过程中所用到的各种软件和硬件辅助工具种类也较多。如果读者在学习和实践过程中遇到什么困难,可以与我们联系(E-MAIL: lixuehai@163.net 或 yanglin...@163.com),作者愿意在自己的能力范围之内帮助解决或者协调解决。

由于义隆公司的产品线较多并且不断推出新品,可查阅的中文新资料尚不够丰富,需要撰写的内容不仅量大而且新颖,加之作者的水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者不吝赐教。

李 学 海

2003 年 1 月 1 日

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 学习单片机理论知识和开发技术的现实意义	(1)
1.2 单片机究竟是什么	(5)
1.3 单片机有哪些应用	(7)
1.4 单片机有哪些特点	(8)
1.5 单片机的发展状况	(9)
1.6 本教程的写作思路和目标	(12)
1.7 常用专业术语	(13)
1.7.1 硬件方面	(14)
1.7.2 软件方面	(17)
1.8 EM78P447S 单片机的性能特点	(18)
思考与练习题	(19)
第 2 章 EM78P447S 硬件系统概况	(21)
2.1 EM78P447S 的引脚功能	(21)
2.2 EM78P447S 内部结构	(22)
2.2.1 核心区域的单元电路及其功能	(24)
2.2.2 功能部件及其功能	(25)
2.2.3 外设模块及其功能	(26)
2.3 程序存储器 ROM 和硬件堆栈	(26)
2.4 数据存储器 RAM	(27)
2.4.1 通用寄存器	(29)
2.4.2 专用寄存器	(29)
2.5 输入/输出端口模块	(30)
2.5.1 与输入/输出端口基本功能相关的寄存器	(31)
2.5.2 输入/输出端口的内部结构和工作原理	(31)
思考与练习题	(34)
第 3 章 指令系统	(36)
3.1 EM78P447S 指令的执行时序	(36)
3.2 EM78P447S 指令概述	(37)
3.2.1 指令结构	(37)
3.2.2 指令描述方法	(37)
3.3 EM78P447S 指令说明	(38)
3.4 EM78P447S 指令中操作数的寻址方式	(50)
3.4.1 立即寻址	(50)
3.4.2 直接寻址	(51)
3.4.3 间接寻址	(51)

3.4.4 隐含寻址	(53)
3.4.5 比特寻址(或位寻址).....	(53)
3.5 以累加器 A 为中枢的数据传递方式	(53)
3.6 “CPU 内核-专用寄存器-模块或部件”三者相互关系	(54)
思考与练习题	(56)
第 4 章 汇编器 MASM78 和汇编程序设计基础	(58)
4.1 汇编语言的语句格式	(59)
4.2 常用伪指令	(60)
4.3 程序书写格式	(62)
4.4 程序流程图	(63)
4.5 顺序程序结构	(64)
4.6 分支程序结构	(65)
4.7 循环程序结构	(66)
4.8 子程序结构	(67)
4.9 延时程序的设计方法	(69)
4.10 查表程序的设计方法	(71)
4.11 工作寄存器体选寻址的处理方法	(75)
4.12 程序跨页跳转和跨页调用的处理方法	(76)
4.13 汇编器 MASM78 的应用	(78)
思考与练习题	(80)
第 5 章 软硬件模拟器 SIM447 及其应用	(82)
5.1 软硬件模拟器简介	(82)
5.1.1 硬件仿真器	(82)
5.1.2 软件模拟器	(83)
5.1.3 软硬件模拟器 SIM447	(83)
5.2 SIM447 的安装与启用	(84)
5.2.1 安装条件	(84)
5.2.2 安装方法	(84)
5.2.3 首次启用	(85)
5.2.4 画面介绍	(86)
5.3 初次体验程序的运行	(86)
5.4 SIM447 系统命令	(91)
5.5 虚拟电路组件及其应用	(105)
5.5.1 电路组件及其与单片机的连接关系	(105)
5.5.2 开发应用和编程方法	(112)
思考与练习题	(142)
第 6 章 视窗版集成模拟环境软件包	(144)
6.1 Simulator 功能简介	(144)
6.2 Simulator 如何下载	(144)
6.3 Simulator 如何安装	(149)

6.4	Simulator 如何启动和退出	(152)
6.4.1	Simulator 的启动	(152)
6.4.2	Simulator 工作环境简介	(154)
6.4.3	Simulator 工作窗口布局方法	(154)
6.4.4	Simulator 的退出	(156)
6.5	Simulator 如何应用	(156)
6.5.1	如何创建一个新项目	(157)
6.5.2	如何在项目中添加、创建或删除文件	(158)
6.5.3	如何建立目标文件	(161)
6.5.4	如何调试程序	(164)
6.6	Simulator 系统命令汇总归纳	(176)
6.6.1	工具栏 (Tool bar)	(176)
6.6.2	系统命令归纳	(176)
	思考与练习题	(190)
第 7 章	在线实时仿真器和集成开发环境	(192)
7.1	E8-ICE 仿真设备简介	(192)
7.2	EM78447ICE-WR 开发设备简介	(196)
7.3	集成开发环境软件包 WICE	(201)
7.4	如何获取 WICE	(212)
7.5	如何安装和拆除 WICE	(217)
7.6	仿真器与 WICE 如何配合使用	(220)
7.6.1	仿真器的安装和设置	(220)
7.6.2	WICE 的启动	(221)
7.6.3	WICE 的退出	(224)
7.7	如何应用仿真器和 WICE 统调目标程序和电路	(224)
7.7.1	项目开发流程	(225)
7.7.2	程序调试举例	(226)
	思考与练习题	(233)
第 8 章	定时器/计数器 TCC	(234)
8.1	定时器/计数器模块的基本用途	(234)
8.2	EM78 系列单片机中定时器/计数器 TCC 模块的特性	(234)
8.3	定时器/计数器 TCC 相关的寄存器	(235)
8.4	定时器/计数器 TCC 模块的电路结构和工作原理	(237)
8.4.1	分频器	(239)
8.4.2	TCC 累加计数寄存器	(240)
8.5	定时器/计数器 TCC 模块的应用举例	(241)
8.5.1	TCC 用做硬件定时器	(241)
8.5.2	TCC 用做硬件计数器	(248)
	思考与练习题	(258)
第 9 章	中断功能	(259)

9.1	中断的基本概念	(259)
9.2	EM78P447S 的中断源和中断逻辑	(261)
9.3	中断相关的寄存器	(263)
9.4	中断的处理	(264)
9.4.1	中断的延时处理问题	(265)
9.4.2	中断的现场保护问题	(265)
9.4.3	需要注意的一些问题	(268)
9.5	中断功能的应用举例	(269)
9.5.1	TCC 溢出中断	(269)
9.5.2	INT 外部中断	(276)
9.6	外部中断的扩充方法	(285)
9.6.1	用 TCC 外部时钟源扩展法	(285)
9.6.2	用 P6 端口扩展法	(286)
	思考与练习题	(288)
第 10 章	系统配置方法和可靠运行措施	(290)
10.1	系统配置字单元	(290)
10.1.1	系统配置位	(290)
10.1.2	用户识别码 ID 位	(291)
10.2	时钟系统	(292)
10.2.1	外接晶体振荡器/陶瓷谐振器 (HXT 和 LXT)	(292)
10.2.2	外接阻容器件 (ERC)	(293)
10.2.3	引入外来时钟源 (HXT 和 LXT)	(295)
10.3	复位系统	(296)
10.3.1	几种不同的复位方式	(296)
10.3.2	单片机内部复位的操作处理	(296)
10.3.3	复位系统硬件逻辑	(300)
10.3.4	内部上电延时复位功能	(301)
10.3.5	外部上电延时复位电路	(302)
10.3.6	外部人工复位开关电路	(303)
10.3.7	外接电压检测复位电路举例	(304)
10.4	监视定时器 WDT	(307)
10.4.1	程序失控的回复	(308)
10.4.2	WDT 的电路结构	(310)
10.4.3	WDT 的工作原理	(311)
10.4.4	WDT 相关寄存器	(311)
10.4.5	使用 WDT 的注意事项	(313)
10.4.6	WDT 的应用举例	(314)
	思考与练习题	(319)
附录 A	英文指令一览表	(320)
附录 B	ASCII 码表	(322)

附录 C 典型算术例程 7 款	(324)
附录 D 电压检测器 HT70XX 系列专用芯片	(332)
附录 E 带延时复位功能的电源监控器 IMP809/810	(338)
附录 F 带延时和人工复位的电源监控器 IMP811/812	(343)
附录 G 带延时、人工复位及电源故障检测的电压监测器 MAX707/708	(348)
参考文献	(353)

第1章 绪 论

最近几年来,许多国际著名半导体公司,开发的单片机品种不断增多、性能不断增强、价格却不断降低。并且与之配套的学习和开发工具,其价格也日益低廉,开发环境软件也越来越友好。昔日只有专业工程师才能用得起的仿真器,现在对于初学者也不再是可望不可及的奢侈品。随着我国加入世界贸易组织和融入世界经济的步伐不断加快,世界上一些著名的微电子公司都在积极开拓我国市场,这使得国内上市的单片机品种型号越来越多,价格也越来越低廉。这给电子爱好者或单片机初学者学习和开发单片机,提供了丰富廉价的物质基础。因此,有越来越多的电子爱好者对单片机产生了浓厚的兴趣。

1.1 学习单片机理论知识和开发技术的现实意义

对于一名单片机初学者或电子爱好者,一旦掌握了单片机的理论知识和开发应用技术,就进入了一个崭新而又广阔的创作天地,任由您去自由发挥自己的想像力和创造灵感,使您不仅能够充分享受到成功感,而且可以提高自己的业务素质,增强自己的创新能力,增多自己的就业机会。

与电子制作中常用的 TTL 或 CMOS 通用数字集成电路,以及其他专用集成电路(ASIC)相比,单片机学习和掌握起来不太容易,问题在于单片机具有智能化功能,不光需要学习其硬件电路,还需要学习其特有的指令系统、配套的语言工具和开发环境软件、配套的硬件仿真器和程序烧写器等工具,而且软件设计需有一定的创造性。这虽然给学习它的人带来一定的难度,但这也正是它的迷人之处。创作者可以把单片机作为一种载体,将自己的知识和智慧嵌入和固化其中,不仅可以创造自己的知识产权和专利技术,还能够使其数倍甚至数十倍地升值,来创造社会效益和经济效益。

到底初学者在没有太多专业基础知识的条件下,能否通过自学在短暂的时间内掌握单片机技术,事实表明是做得到的!如果在学习理论的同时再注意反复演练和动手实践,将自己培养成单片机应用开发工程师也是完全可能的!至今,许多老一辈的工程师、专家、教授当年都是无线电爱好者。如果说从 20 世纪 50 年代起,无线电世界造就了几代电子英才,那么当今的单片机世界将会造就出新一代电子精英!

国家积极倡导的素质教育和创新工程,旨在提高受教育者的素质和将所学知识转化为生产力。单片机的学习和应用,可以为电子、电信、电脑、电器、机电以及相关领域的爱好者、从业者和在校生,提供一个容易激发学习兴趣和创作欲望的、可操作性很强的学习途径和实践平台。

今天,我们的生活环境和工作环境中越来越多称之为单片机的小电脑在为我们服役,可我们并意识不到这些“小精灵”的存在。比如:当我们每天用遥控器操纵电视机或 VCD 享受其丰富功能的时候,也许我们并没有意识到这是单片机在接收我们的遥控命令;单片机在寻呼机和移动电话手机中也发挥着不可替代的重要作用;就连曾经一度令许多青少年朋友

痴迷的电子宠物，也是单片机在大显神威。那么，为何绝大多数的人竟然对它的存在视而不见呢？究其原因，一是单片机几乎都是作为幕后英雄，嵌入到许许多多外观形态并不像计算机的装置或设备之中，也就是说，单片机技术往往应用于非计算机产品当中；二是我们对这些“忠心耿耿”地在为我们服务的“小精灵”却了解甚少，这或许是更重要的原因。时下，家用电器和办公设备的网络化、智能化、遥控化、模糊控制化已成为发展趋势，而这些高性能几乎无一不是靠单片机来实现的。如果我们不具备单片机方面的知识、不掌握单片机的应用技术，对这些电器设备的日常保养和故障维修都会形成很大的障碍，就更不用说设计和开发以单片机为控制核心的各种电子电路和电器产品了。

过去由于条件所限，五六十岁的电子爱好者用简陋的元件制作出只能用耳机听音的矿石收音机，曾令他们兴奋不已；三四十岁的电子爱好者用半导体分立元件制作再生来复式或超外差式晶体管收音机，也曾让他们享受一把成功的喜悦；而当今新生代的电子爱好者却拥有一个前所未有的大好时机和廉价丰富的物质条件，不仅可以用芯片制作集成电路收音机，还可以用单片机制作许多带智能的小电器，可以更容易地圆自己一个创新发明和创造专利的成功之梦。一只固化有专用软件的单片机芯片，配上一只液晶显示屏和几只小按钮，再装入一只小塑料壳，便可构成一只妙趣无穷的电子宠物（是一位日本女工程师发明的）。其成本只不过几元，但市场售价竟可高达 120~180 元。理由在于它是具备高科技背景的产品，技术含量高，其中的软件凝聚着开发者的聪明和智慧。

近年来，随着微电子技术的迅猛发展，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完善，它已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，特别是在电信、家用电器、工业控制、仪器仪表、汽车电子等领域的智能化方面，扮演着极其重要的角色。提到单片机的应用，有人这样说，“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数以亿计，使得其应用范围之广，花样之多，一时难以统计。

目前，单片机的产量正以每年 27% 的速度递增。据统计，单片机的年产量 1995 年为 16 亿片，到了 2000 年这个数字就达到了 28 亿片。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。因此，很多院校为研究生、大学生、中专生、中学生等不同层次的学生开设了单片机课程。原机械电子工业部 1991 年就已经将单片机列为工科电子类专业学生的必修课程。在职技术人员由于工作需要，也迫切希望掌握单片机的应用开发技术。为了满足广大读者业余自学这项“热门技术”的欲望，一些电子和电脑类期刊，纷纷开辟专栏，举办单片机知识讲座。随着微控制技术（以软件代替硬件的高性能控制技术）的日臻完善和发展，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，掌握单片机的应用技术，具有划时代的现实意义。

自从 1946 年世界出现了第一台数字电子计算机，至今电子计算机技术的发展大致经历了四代。以超乎寻常的速度在突飞猛进的现代电子计算机技术，不仅自身形成的产业规模不断膨胀，而且还在带动其他各行各业发展的过程中起着发动机的作用，它将世界经济从资本经济带入到知识经济时代，它也将从农业社会走过来的工业社会又带进了信息社会。

在电子世界的领域中，从 20 世纪中的无线电时代也进入到 21 世纪以计算机技术为中

心的智能化现代电子系统时代。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。早在 20 世纪五六十年代，先进的最具代表性的电子技术就是无线电技术，包括无线电广播、收音、无线通信（电报）、业余无线电台、无线电定位、导航等遥测、遥控、遥信技术。当时就是这些电子技术带领着许多青少年步入了奇妙的电子世界，无线电技术展示了科技生活美妙的前景。

电子科学开始形成了一门新兴学科。无线电技术不仅成为了当时先进科学技术的代表，而且吸引了广大青少年，并使他们从中找到了无穷的乐趣。从床头的矿石收音机到超外差收音机；从无线电发报到业余无线电台；从电话、电铃到无线电操纵模型。无线电技术成为当时青少年科普、科技教育最普及、最广泛的内容。

至今，许多老一辈的工程师、专家、教授当年都是无线电爱好者。无线电技术的无穷乐趣、无线电技术的全面训练，从电子学基本原理、电子元器件基础到无线电遥控、遥测、遥信电子系统制作，培养出了几代科技英才。早期的无线电技术推动了电子技术的发展，其中最主要的是真空管电子技术向半导体电子技术的发展。半导体电子技术使有源器件实现了微型化和低成本，使无线电技术有了更多普及和创新，并大大地开阔了许多非无线电的控制领域。

半导体技术发展导致集成电路器件的产生，形成了近代电子技术的飞跃，电子技术从分立器件时代走进了电路集成时代。电子设计工程师不再用分立的电子元器件设计电路单元，而直接选择集成化的电路单元器件构成系统。他们从电路单元设计中解放出来，致力于电路系统设计，大大地解放了科技生产力，促进了电子系统更大范围的普及。半导体集成电路首先在基本数字逻辑电路上取得突破。大量数字逻辑电路，如门电路、触发器、锁存器、计数器、定时器、移位寄存器以及多路数据选择器、模拟开关、比较器等，为数字电子控制提供了极佳的条件，使传统的机械控制转向电子控制。功率电子器件以及传感技术的发展使原先以无线电为中心的电子技术开始转向工程领域中的机械系统的数字控制、检测领域中的信息采集、运动机械对象的电气伺服驱动控制。半导体及其集成电路技术将我们带入了一个电子技术普及的时代，无线电技术成为电子技术应用领域的一个部分。

在进入 20 世纪 70 年代以后，大规模集成电路出现，促进了常规的电子电路单元的专用电子系统发展。许多专用电子系统单元变成了集成化器件，如收音机、电子钟、计算器、电视机、电子手表等，在这些领域的电子工程师从电路、系统的精心设计、调试转变为器件选择、外围器件适配工作。电子技术发展了，电子产品丰富了，电子工程师的难度减少了，但与此同时，无线电技术、电子技术的魅力却削弱了。半导体集成电路的发展使经典电子系统日趋完善，留在大规模集成电路以外的电子技术日益减少，随即电子技术也就逐渐失去了往日无线电时代的无穷乐趣和全面的工程训练。

在进入 20 世纪 80 年代以后，世界经济中最重要的变革是计算机的产业革命。而计算机产业革命的最重要标志则是，微型个人计算机（PC）的出现和迅速普及，以及计算机嵌入式应用的诞生及其在控制领域的迅速推广。近代电子计算机是为了满足大量的科学计算和数值处理的需求而诞生的。在很长的时间内，电子计算机都是以发展海量数值计算为主要目标。但是电子计算机表现出的逻辑运算、处理、控制能力，吸引了电子控制领域的专家，他们要求发展能满足控制对象要求的、实现嵌入到非计算机产品中应用的计算机系统。如果将

满足海量数据处理的计算机系统称为通用计算机系统，那么则可把嵌入到对象体系（如电视机、照相机、VCD、DVD、寻呼机、移动电话手机、舰船、飞机、机车等非计算机产品）中的计算机系统称作“嵌入式计算机”。显而易见，两者的技术发展方向是不同的。前者要求海量数据存储、吞吐、高速数据处理分析及传输；而后者要求在被控对象环境中可靠运行，对外部物理参量的高速采集、逻辑分析处理和对外部被控目标的快速控制等。早期人们将通用计算机加上数据采集单元、输出驱动电路勉为其难地构成一个热处理炉的温控系统。这样的通用计算机系统不可能为大多数电子系统采用，而且要使通用计算机系统满足嵌入式应用要求，必然影响高速数值处理技术的发展。为了解决计算机技术发展的矛盾，在 20 世纪 70 年代，半导体专家另辟蹊径，完全按照电子系统的计算机嵌入式应用要求，将一个微型计算机的基本系统集成在一个芯片上，形成了早期的单片机（Single Chip Microcomputer）。单片机问世后，在计算机领域中开始出现了通用计算机系统和嵌入式系统的“两大分支”。此后，无论是嵌入式计算机系统，还是通用计算机系统都在各自的专业方向上得到了飞速的发展。

早期虽然有通用计算机改装而成的嵌入式计算机系统（比如专用单板计算机系统，简称单板机），而真正意义上的嵌入式系统始于单片机的出现。因为单片机是专门为嵌入式应用设计的，单片机只能实现嵌入式应用。单片机能最好地满足嵌入式应用的环境要求，例如，芯片级的物理空间、大规模集成电路的低价位、良好的外围接口总线和突出控制功能的指令系统。单片机将计算机系统内核，嵌入到电子系统中，为电子系统智能化奠定了基础。因此，当前单片机在电子系统中的广泛使用，使经典电子系统迅速过渡到智能化的现代电子系统。

嵌入式系统源于计算机的嵌入式应用，早期嵌入式系统是将通用计算机经改装后嵌入到被测控对象体系中的各种电子系统，如舰船的自动驾驶仪，轮机监测系统等。嵌入式系统首先是一个计算机系统，其次它被嵌入到对象体系中，在对象体系中实现被控对象要求的数据采集、分析处理、状态显示、输出控制等功能，由于嵌入在对象体系中，嵌入式系统的计算机没有计算机的独立形态及功能。单片机完全是按照嵌入式系统要求设计的，因此单片机是最典型的嵌入式系统。早期的单片机只是按嵌入式应用技术要求设计的计算机的单芯片化集成电路器件，也就是将电子计算机的全部特征器件统统集成到一片芯片上，故国人形象地将其俗称为单片机。随后，单片机为满足嵌入式应用要求不断增强其控制功能与外围接口功能，尤其是突出控制功能，因此国际上已将单片机正名为微控制器（MCU，Microcontroller Unit）。

单片机是芯片级的计算机系统，它可以嵌入到任何对象体系中去，实现智能化控制。小到微型机械，如手表、助听器。集成芯片级的低价位，低到几元、十几元，足以使单片机普及到许多民用电器，甚至电子玩具中去。单片机构成的现代电子系统已深入到各家各户，正改变我们的生活，如家庭中的音响、电视机、洗衣机、微波炉、电话、防盗系统、空调机等。单片机革新了原有的电子电路系统，如微波炉采用单片机控制后，可方便地进行时钟设置、程序记忆、功率控制；空调机采用单片机后不但遥控参数设置方便，运行状态自动变换，还可实现变频控制。目前许多家用电器如 VCD、DVD 只有单片机出现后才可能实现其功能。

目前电子元器件产业除了微处理器、嵌入式系统器件外，大多是围绕现代电子系统配套的元器件产业。例如，满足人-机交互用的按键、键盘控制器、LED/LCD 显示驱动、LED/LCD 显示单元、语音集成器件等；满足数据采集通道要求的数字传感器、数字电位器、模数转换器、数据采集模块、信号调理模块等；满足伺服驱动控制的功率驱动器、数模转换器、固体

继电器、步进电机控制器、变频控制单元等；满足通信要求的各种总线驱动器、电平转换器等；满足信息转储并且掉电不丢失的 E^2 PROM 电擦写存储器、FLASH 闪速存储器、NV-SRAM 非易失性存储器等。世界电子元器件在嵌入式系统带动下，沿着充分满足嵌入式应用的现代电子系统要求发展。这就使原来经典电子系统的天地愈来愈小。电子系统中的各类从业人员应尽早转向现代电子系统设计开发的宽广之路。如果说 20 世纪 50 年代起，无线电世界造就了几代电子英才，那么当今的单片机世界将会造就出新一代电子精英。

经典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，也就是控制逻辑电路是将若干电子元器件通过布线连接而成的。如果想要给已经定型的系统增加功能或者改进性能，非得大动手术或者重新设计，否则，别无办法；而现代电子系统完成的许多功能是通过存储程序控制（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，非常灵活。若将经典电子系统当做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“身躯”，单片机应用系统的应用程序赋予其“灵魂”。例如，在设计智能化仪器显示器的显示功能时，可在开机时显示系统自检结果，未进入工作时显示各种待机状态，仪器运行时显示运行过程，工作结束后可显示当前结果、自检结果、原始数据、各种处理报表等。在无人值守时，可给定各种自动运行功能。电子系统的智能化程度是无止境的，常常不需硬件资源的增添就能实现各种功能翻新和增添，这也是当前许多家用电器的功能大量增设和不断扩展的重要因素。

在我们全人类进入计算机时代的 21 世纪，许多人不是在研究计算机便是在使用计算机。在使用计算机的人群当中，只有从事嵌入式系统应用的人才真正地进入到计算机系统的内部软、硬件体系中，才能真正领会计算机的智能化本质并掌握智能化设计的知识和技术。从学习单片机应用技术入手是当今培养计算机应用软、硬件开发技术人才的最经济实用、最简便易行的可选途径之一。

独具魅力的单片机能使你体会到电脑的真谛，你用单片机可以亲自动手设计智能玩具，可以设计不同的应用程序实现不同的功能。既有硬件制作又有软件设计，既动脑、又动手。能够很快让你体验到自己的创造能力和成功感。初级水平者可开发智能玩具，用汇编语言指令编程；中级水平者可开发一些智能控制器，如电脑鼠、智能车、各种遥控模型；高级水平者可开发机器人，如机器人足球赛，开发工业控制单元，网络通信等，并用汇编语言或高级语言设计应用程序。围绕单片机及嵌入式系统形成的电子产业的未来，将会为电子爱好者提供一个广阔的天地、一个比当年无线电世界更广阔、更丰富、更持久、更具魅力的电子世界。投身到单片机世界中来必将使你得到更加宽广的创作天地和就业空间，一生受益。

1.2 单片机究竟是什么

单片机（Single Chip Microcomputer）亦称单片微电脑或单片微型计算机，国际上统称为微控制器（Microcontroller, MCU, μ C），就是把中央处理器 CPU、随机存取存储器 RAM、只读存储器 ROM、输入/输出端口 I/O 等主要的计算机功能部件，都集成在了一块集成电路芯片上，从而形成一部概念上完整的微型计算机。换言之，把微型计算机的所有功能部件都

集成并封装在一块芯片内而构成一部超微型计算机，就称其为单片机。单片机是大规模集成电路技术发展的结晶。单片机具有性能高、速度快、体积小、价格低、稳定可靠、应用广泛、通用性强等突出优点。

单片机的设计目标主要是增强“控制”能力，满足实时控制（就是快速反应）方面的需要。因此，它在硬件结构、指令系统、I/O 端口、功率消耗及可靠性等方面均有其独特之处，其最显著的特长之一就是具有非常有效的控制功能。为此，又常常被人称为微控制器（MCU 或 μC ）。

尽管单片机主要是为控制目的而设计的，它仍然具备通用微型计算机的全部特征。“麻雀虽小，五脏俱全”。既然单片机是一部概念上完整的微型计算机，那么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。因此，我们可以先通过参照微型计算机的基本组成和工作原理，来逐步接近单片机。

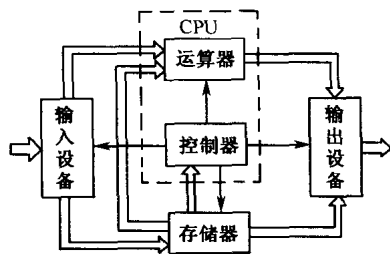


图 1.1 微型计算机基本结构

如图 1.1 所示，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五个部分、若干块集成电路组成的。虽然微型计算机技术得到了最充分的发展，但是常见的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，就称之为冯·诺依曼计算机体系结构。至今为止，计算机的发展已经经历了四代，尚未冲出诺依曼体系。当前，市场上仍然有一些型号的单片机也还遵循着诺依曼体系的设计思路。

下面来分析一下计算机各部分的作用以及计算机的工作原理：如果要使计算机按照人们的需要解决某个具体问题，并不是把这个问题直接让计算机去解决，而是要用计算机可以“理解”的语言，编写出一系列解决这个问题的步骤（即程序）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），编写程序所用的语句就叫指令。由于计算机是严格按照程序对各种数据或者输入信息进行自动加工处理的，必须预先把程序以及数据用“输入设备”送入计算机内部的“存储器”中，处理完后还要把结果用“输出设备”输送出来。“运算器”完成程序中规定的各种算术和逻辑运算操作。为了使计算机各部件有条不紊地工作，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。通常，在微型计算机中，把控制器和运算器制作在一块集成电路内，并称之为中央处理器或中央处理单元（CPU）。

单片机的一般结构可以用图 1.2 所示的方块图描述。图 1.2 与图 1.1 的对应关系是 CPU 包含控制器和运算器；ROM 和 RAM 对应着存储器，前者存放程序，后者存放数据；I/O 则对应着输入设备和输出设备。用总线实现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。此外，为了提高单片机的性能和扩展单片机的用途，厂家通常将一些不同功能的专用模块也集成到单片机芯片内部当中来，比如定时器模块、数/模转换模块、串行端口模块等等。人们习惯于把这些模块与 I/O 端口模块一起统称为“外围模块”。