

高等院校教材

微控制器原理与应用

徐安 陈耀 方春华 编著

白英彩 主审



科学出版社
www.sciencep.com

第2版

微控制器原理与应用

唐文海 唐文强 孙志华 主编

机械工业出版社



机械工业出版社
MECHANICAL INDUSTRY PRESS

高等院校教材

微控制器原理与应用

徐 安 陈 耀 方春华 编著

白英彩 主审

科学出版社

北 京

内 容 简 介

微控制器 (MCU) 即单片机, 是作为嵌入式系统的控制核心而设计、制造和应用的。本书从微控制器这一共性出发, 讲述了 MCU 的原理、结构、指令、汇编语言程序设计、基本模块和系统扩展、 $\mathbb{P}C$ 、USB、CAN 等总线接口和 C 语言程序设计; 并根据 MCU 个性化、多功能化、网络化的普遍发展趋势, 介绍了多项 MCU 功能的增强。

本书选择了 LPC900(80C51 内核)、M68HC08 和 PIC 等系列中 3 种最有代表性的微控制器为典型, 较详细地介绍了它们的原理、性能和应用。

本书可作为普通高等院校电子信息、自动化、电气工程、机电一体化等专业本科生的教材, 也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

微控制器原理与应用/徐安, 陈耀, 方春华编著. —北京: 科学出版社, 2006

(高等院校教材)

ISBN 7-03-017811-4

I. 微… II. ①徐…②陈…③方… III. 微控制器-高等学校-教材
IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 093332 号

责任编辑: 匡敏 余江 潘继敏/责任校对: 张琪

责任印制: 张克忠/封面设计: 陈敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 9 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006 年 9 月第一次印刷 印张: 31

印数: 1—3 000 字数: 586 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈路通〉)

科学出版社高等教育分社

教学支持说明

科学出版社高等教育分社为了对教师的教学提供支持，特对教师免费提供本教材的电子课件，以方便教师教学。

获取电子课件的教师需要填写如下情况的调查表，以确保本电子课件仅为任课教师获得，并保证只能用于教学，不得复制传播用于商业用途。否则，科学出版社保留诉诸法律的权利。

地址：北京市东黄城根北街16号，100717

科学出版社 高等教育分社 匡敏（收）

联系方式：010-64034548 010-64033787（传真）

kuangmin@mail.sciencep.com

登陆科学出版社网站：www.sciencep.com“教材天地”栏目可下载本表。

请将本证明签字盖章后，传真或者邮寄到本社，我们确认销售记录后立即赠送。

如果您对本书有任何意见和建议，也欢迎您告诉我们。意见一旦被采纳，我们将赠送书目，教师可以免费选书一本。

证 明

兹证明_____大学_____学院/_____系
第_____学年□上/□下学期开设的课程，采用科学出版社出版的
的_____ / _____（书名/作者）作为
上课教材。任课老师为_____共_____人，
学生_____个班共_____人。

任课教师需要与本教材配套的电子课件。

电 话：_____

传 真：_____

E-mail: _____

地 址：_____

邮 编：_____

学院/系主任：_____（签字）

（学院/系办公室章）

_____年____月____日

序 言

微控制器即单片微型计算机。由于在设备控制、过程控制和数字控制中表现出的优异特性和强大功能,微控制器已成为信息社会不可缺少的重要支柱,无时无刻不存在于当今的数字化时代。

我国各高校普遍开设了“微控制器(单片机)原理与应用”这一课程。《微控制器原理与应用》一书以新颖独特的视角面对浩瀚的微控制器世界,从“微控制器是作为嵌入式系统的控制核心而设计、制造和应用的”这一共性出发,选择3种最有代表性的微控制器为典型加以叙述,由浅入深,循序渐进;使读者能够触类旁通,举一反三,对微控制器的原理与应用有更本质的理解。

作者徐安教授自文革结束,师从王祖泽教授攻读研究生以来,一直在微控制器应用的科研和教学领域辛勤工作,成绩斐然;以其二十多年教学经验和诸多科研成果为基础,传承清华大学、上海交通大学、同济大学的严谨学风,编写了这部教材。该书可以为教师课堂精讲提供基础,为学生课下勤学拓展空间,并有利于各相关专业量体裁衣。

作为清华大学电机系的学长,我高兴地向电子与信息工程、自动控制、电气工程和机电一体化等有关专业的教师和学生推荐这本结构清晰、语言简明、共性凝练、内容翔实的教材,更期待着徐安教授为我国微控制器教学做出更多的贡献。



2006年7月

前 言

微控制器(MCU)即单片机,是作为嵌入式系统的控制核心而设计、制造和应用的,这是微控制器万变不离其宗的共性。无论从存储空间、封装、引脚的安排,还是各种模块,直到每一项功能的实现,都深刻地体现着这一共性。

微控制器技术飞速发展,MCU 世界五彩缤纷,新型号、新技术日新月异,只有从共性出发,理论联系实际,打下学以致用的坚实基础,才能够明确方向,具备在计算机知识的海洋中,根据今后的各种不同需要继续深入学习与应用的能力,既不至于无所适从,又不拘泥于某一特定机型。

本书尝试从微控制器的共性出发,讲述了 MCU 的原理、结构、指令、汇编语言程序设计、基本模块和系统扩展、I²C、USB、CAN 等总线接口和 C 语言程序设计;并根据 MCU 个性化、多功能化、网络化的普遍发展趋势,介绍了多项 MCU 功能的增强。

本书选择了 LPC900(80C51 内核)、M68HC08 和 PIC 等系列中 3 种最有代表性的微控制器为典型,较详细地介绍了它们的原理、性能和应用,以利于各专业进行教学活动时量体裁衣。

课堂教学的时间极其有限,其首要任务应该是激发学生的学习热情,帮助学生树立基本的但必须是正确的概念。建议根据课堂精讲、课下勤学的教学原则,在启发、互动、形象的课堂氛围中,在主讲教师引导下,越过本课程、本章节的最初门槛;课下则举一反三,进一步探讨和实验印证。例如,指令的寻址方式是一个教学重点,也是个难点,建议首先对书中归纳的 7 种微控制器常用寻址方法进行深入的分析和理解,然后再用各型号微控制器的具体指令系统进行对比,通过实验,进一步领会微控制器指令寻址方式是如何解决快捷和广域的矛盾,为嵌入式系统服务的。

实验和实践对学习和掌握微控制器的设计与应用极为重要,本书限于篇幅未能更多涉及,将在配套教材《微控制器原理与应用实验教程》中另行介绍。

多年来,白英彩、陈章龙、张友德、涂时亮、何立民、胡汉才、邵贝贝、马忠梅、周航慈、阮家栋、周立功、陈明计、谢瑞和、刘慧银、金炯泰、李学海、白中英等教授在微控制器教学的园地里辛勤耕耘,本书多处引用了他们的研究成果,谨在此表示衷心的感谢。

担任本书主审的上海交通大学白英彩教授认真审阅了全书,提出了指导性的建议和中肯的意见;研究生丁才云、张振富、吴丽蓉、郭凯杰、陆圣轩和吴霄等为图文制作输入和程序校核付出了辛勤劳动,在此谨致以深切的谢意。

本书由徐安执笔主编,陈耀参加第9章、第10章的编写,方春华对全书各章提出了修改意见。电子课件正在制作中,主要用于辅助任课教师教学。

本书为同济大学教材、学术著作出版基金委员会资助的同济大学“十五”规划教材。

限于编者水平,书中错误和不妥之处在所难免,热切期待着读者的批评指正。
邮件地址: xuanb@online. sh. cn。

编者

2006年7月

目 录

序言

前言

第 1 章 概论	1
1.1 微控制器概述	1
1.2 MCU 和 MPU	1
1.3 微控制器和嵌入式系统	2
1.4 微控制器的应用开发	3
1.4.1 硬件和软件的协同设计	3
1.4.2 微控制器系统的设计方法	3
1.5 微控制器的历史与发展	5
习题与思考题.....	6
第 2 章 微控制器的结构、时序和工作方式	7
2.1 微控制器的结构	7
2.1.1 微控制器常用封装	7
2.1.2 微控制器的体系结构	8
2.1.3 微控制器的组成	9
2.2 微控制器时序.....	13
2.2.1 时钟周期、机器周期和指令周期	14
2.2.2 取指令和执行指令时序	15
2.3 微控制器工作方式	16
2.3.1 复位方式	16
2.3.2 程序执行方式	17
2.3.3 节电工作方式	17
2.3.4 程序的写入、校验和擦除	18
2.4 典型微控制器的特点.....	19
2.4.1 P89LPC936 的特点	19
2.4.2 MC68HC908GP32 的特点.....	21
2.4.3 PIC16F877 的特点	25
习题与思考题	29

第3章 微控制器的指令系统	30
3.1 指令的表示与字节	30
3.1.1 指令表示形式	30
3.1.2 指令的字节	30
3.2 指令的寻址方式	31
3.2.1 隐含寻址	31
3.2.2 立即寻址	31
3.2.3 直接寻址	32
3.2.4 寄存器间接寻址	32
3.2.5 变址寻址	34
3.2.6 相对寻址	37
3.2.7 位寻址	38
3.3 指令的功能	38
3.3.1 数据传送指令	38
3.3.2 算术运算指令	40
3.3.3 逻辑运算指令	40
3.3.4 移位指令	40
3.3.5 位操作指令	40
3.3.6 控制转移指令	40
3.3.7 其他指令	40
3.4 典型微控制器的指令系统	40
3.4.1 MCS-51 指令系统	40
3.4.2 M68HC08 指令系统	57
3.4.3 PIC 指令系统	74
习题与思考题	79
第4章 汇编语言程序设计	80
4.1 汇编语言的格式与构成	80
4.1.1 汇编语言的格式	80
4.1.2 伪指令	81
4.1.3 源程序的汇编	85
4.2 汇编语言程序设计方法	85
4.2.1 分支结构	86
4.2.2 循环结构	86
4.2.3 子程序调用	88
习题与思考题	90

第 5 章 微控制器的存储器、时钟和定时/计数器模块	91
5.1 存储器模块	91
5.1.1 半导体存储器的种类和特点	91
5.1.2 微控制器内部的存储器	93
5.1.3 ICP、ISP、IAP 和监控 ROM	95
5.1.4 P89LPC936 的存储器模块	96
5.1.5 MC68HC908GP32 的存储器模块	105
5.1.6 PIC16F877 的存储器模块	111
5.2 时钟模块	121
5.2.1 时钟模块的构成	121
5.2.2 P89LPC936 的时钟模块	122
5.2.3 MC68HC908GP32 的时钟模块	125
5.2.4 PIC16F877 的时钟模块	132
5.3 定时器/计数器及其扩展	135
5.3.1 定时/计数器模块的构成	135
5.3.2 P89LPC936 的定时/计数器模块	136
5.3.3 MC68HC908GP32 的定时/计数器模块	144
5.3.4 PIC16F877 的定时/计数器模块	147
5.4 输入捕捉、输出比较与脉宽调制	150
5.4.1 CCP 原理	150
5.4.2 P89LPC936 的 CCP 功能	151
5.4.3 MC68HC908GP32 的 CCP 功能	162
5.4.4 PIC16F877 的 CCP 功能	166
习题与思考题	176
第 6 章 I/O 端口与数据传送	178
6.1 I/O 数据传送方式	178
6.1.1 几种用以类比的交通方式	178
6.1.2 几种 I/O 数据传送方式	179
6.2 I/O 端口编址与类型	181
6.2.1 I/O 端口编址	181
6.2.2 I/O 端口类型	182
6.3 并行 I/O 端口	182
6.3.1 微控制器 P89LPC936 的 I/O 端口	184
6.3.2 MC68HC908GP32 的 I/O 端口	188
6.3.3 微控制器 PIC16F877 的 I/O 端口	190

6.4	异步串行通信接口 SCI	190
6.4.1	串行通信基础	191
6.4.2	RS-232C 标准	197
6.4.3	LPC900 的 SCI 模块	199
6.4.4	M68HC08 的 SCI 模块	207
6.4.5	PIC16F877 的 SCI 模块	217
6.5	同步串行端口 SPI	228
6.5.1	SPI 的工作原理与模块构成	228
6.5.2	LPC900 的 SPI 接口	233
6.5.3	M68HC08 的 SPI 接口	239
6.5.4	PIC16F87X 的 SPI 接口	243
6.6	I ² C 接口	247
6.6.1	I ² C 结构与数据传输	247
6.6.2	LPC900 的 I ² C 接口	258
6.6.3	PIC16F87X 的 I ² C 接口	268
6.7	USB 接口	270
6.7.1	接口特点	270
6.7.2	结构和数据流	271
6.7.3	USB 交换的包格式	276
6.7.4	接口芯片和微控制器	279
6.7.5	USB 系统的典型应用	284
6.8	CAN 接口	285
6.8.1	特点	285
6.8.2	数据传送	286
6.8.3	物理层设计	288
6.8.4	CAN 总线的通信芯片与微控制器	288
	习题与思考题	298
第 7 章	复位、中断、监控与节电	300
7.1	复位	300
7.1.1	复位的作用、效果和复位源	300
7.1.2	LPC900 的复位功能	301
7.1.3	M68HC08 的复位功能	304
7.1.4	PIC16F87X 的复位功能	306
7.2	中断	307
7.2.1	微控制器的中断源、中断功能和中断过程	307

7.2.2 P89LPC936 的中断系统	310
7.2.3 MC68HC908GP32 的中断系统	313
7.2.4 PIC16F877 的中断系统	319
7.3 键盘模块与键盘中断	328
7.3.1 键盘与键盘中断(KBD)原理	328
7.3.2 LPC900 的键盘中断功能	330
7.3.3 M68HC08 的键盘中断功能	330
7.4 监视定时器 WDT	333
7.4.1 监视定时器原理	333
7.4.2 LPC900 的 WDT	334
7.4.3 M68HC08 的 WDT	337
7.4.4 PIC16F87X 的 WDT	339
7.5 电源监控与节电模式	341
7.5.1 LPC900 的电源监控和节电模式	342
7.5.2 M68HC08 的节电模式	343
7.5.3 PIC16F87X 的节电模式	350
习题与思考题	352
第 8 章 数模转换与模数转换	353
8.1 D/A 原理与技术性能	353
8.1.1 数模转换器技术性能	353
8.1.2 脉宽调制型数模转换	354
8.1.3 T 型电阻网络型数模转换	355
8.2 A/D 原理与技术性能	359
8.2.1 模数转换器技术性能	359
8.2.2 逐次比较型模数转换	362
8.2.3 输入捕获型模数转换	371
8.3 ADC 模块	372
8.3.1 P89LPC936 的 ADC 模块	372
8.3.2 MC68HC908GP32 的 ADC 模块	379
8.3.3 PIC16F877 的 ADC 模块	382
习题与思考题	387
第 9 章 微控制器的 C 语言程序设计	388
9.1 C 语言与微控制器	388
9.1.1 微控制器的编程语言	388
9.1.2 C 语言编译器与程序开发过程	390

9.2	51 系列微控制器 C 语言程序设计基础	390
9.2.1	KEIL 编译器	390
9.2.2	C51 程序设计基础	390
9.2.3	P89LPC936 内部资源的 C 编程	394
9.3	Motorola 微控制器 C 语言程序设计基础	395
9.3.1	ICC08 编译器和 08C 语言	395
9.3.2	Motorola 08C 语言编程	399
9.4	Microchip 微控制器 C 语言程序设计基础	401
9.4.1	PICC 编译器和 PICC C 语言	401
9.4.2	PICC C 语言编程	405
	习题与思考题	408
第 10 章	嵌入式实时操作系统	409
10.1	嵌入式实时操作系统基础	409
10.1.1	基本概念	409
10.1.2	嵌入式实时操作系统技术特点	410
10.2	几种典型的嵌入式实时操作系统	418
10.2.1	嵌入式实时操作系统 RTX51	418
10.2.2	嵌入式实时操作系统 PICOS18	421
10.2.3	嵌入式实时操作系统 Small RTOS51	425
10.2.4	嵌入式实时操作系统 μ C/OS-II	426
10.3	嵌入式实时操作系统的移植与应用	429
10.3.1	RTX51 在单片机控制的 GPS 接收板上的应用	429
10.3.2	占先式实时内核 μ C/OS-II 在 MC68HC908GP32 上的移植	431
	习题与思考题	433
第 11 章	微控制器应用系统的研制	434
11.1	微控制器应用系统的开发	434
11.1.1	开发工具	434
11.1.2	微控制器开发系统功能	435
11.1.3	应用 ISP 功能进行开发调试	437
11.2	微控制器应用系统研制过程	437
11.2.1	总体设计	437
11.2.2	硬件设计	439
11.2.3	软件设计	439
11.2.4	可靠性设计	442
11.3	应用实例 1——T-40 型机车速度表检验仪	444

11.3.1 配置与工作过程	444
11.3.2 系统构成	445
11.3.3 语音合成技术的应用	446
11.4 应用实例 2——基于 Small RTOS51 的肠营养液输液系统	449
11.4.1 系统设计	450
11.4.2 使用 Small RTOS51 的优点	452
11.5 应用实例 3——基于 Ethernet 和 CAN 的楼宇设备控制系统	453
11.5.1 系统总体设计	453
11.5.2 区域控制器	454
11.5.3 现场控制器	455
11.5.4 应用系统特点	456
习题与思考题	456
参考文献	458
附录 A MCS-51 指令表	459
附录 B M68HC08 指令表	465
附录 C PIC16F87X 指令表	478

第 1 章 概 论

1.1 微控制器概述

微控制器 (microcontroller unit, MCU) 是专为控制和检测而设计制造的微型计算机, 因为它完全作嵌入式应用, 所以又被称为嵌入式微控制器 (embedded microcontroller); 又因为它在一片集成电路芯片上集成了计算机的三大部分: 中央处理器 (CPU)、存储器 (RAM 和 ROM) 和输入输出端口 (I/O Port), 在我国又被广泛称作单片机 (single chip microcomputer)。飞速发展的微控制器, 功能越来越强大, 成本越来越低, 促使经典电子系统迅速进化为全盘智能化的现代电子系统。微控制器作为最典型、最广泛、最普及的现代电子系统的基本核心, 已成为电气工程师和各行各业的技术人员实现检测和控制技术目的的有力工具。

微控制器应用的实例已是举不胜举。从家用电器到航天飞机, 一切现代化技术都离不开微控制器, 可以毫不夸张地说, 微控制器已经广泛渗透到了国民经济各个领域, 已经无时无刻不在影响每个现代人的生活。

1.2 MCU 和 MPU

微计算机技术的发展, 形成了两大分支: 微控制器和微处理器。

微处理器 (microprocessor unit, MPU) 是计算机的核心部件, 计算机系统的主要用途是科学计算、数据处理、图像分析、数据库管理、人工智能、数字模拟和仿真等。

微控制器主要用于控制目的, 所构成的检测控制系统要求有实时、快速的外部响应, 能迅速采集到大量数据, 再做出逻辑判断与推理, 实现对被控制对象的参数调整与控制。

随着计算机科学与微电子技术的高速发展, 这两大分支都得到了突飞猛进的发展。

由于人类对海量数值运算的无限需求, 8 位、16 位的 MPU 都已经被淘汰, 32 位和 64 位机也以每两三年换代一次的速度发展。计算机系统速度越来越快, 功能越来越强, 而用户的操作则越来越简单。

微控制器的发展直接利用了 MPU 的成果, 也发展了 16 位、32 位及 64 位机

型,目标是高性能、高可靠性、低电压、低功耗、低噪声和低成本。在以 ARM 为代表的 32 位微控制器日益发展的同时,现阶段世界年产量以数十亿计的 8 位微控制器仍占据着重要地位。

为了满足多种多样检测控制对象的要求,构成各种专用控制器与多机控制系统,微控制器的发展还表现在接口及其性能上,例如,各种传感器接口、工业对象的电气接口、伺服驱动的功率接口、人机对话接口、通信网络接口等;接口的高速互用、中断处理;模/数、数/模转换的速度和精度,位操作和功率驱动,程序运行监控和信号实时处理等性能。

1.3 微控制器和嵌入式系统

近代电子计算机进入了微型机时代后,微型计算机在信息处理、逻辑分析、决策判断和输入输出管理等自动控制领域表现出无与伦比的优势,并以其可接受的小型体积和现场可靠性嵌入到各种对象体系中,构成了形形色色的自动化系统:机车、舰船、生产线、大型机床、微型机器人等。

面向检测控制对象、嵌入到应用系统中的计算机系统称为嵌入式系统。实时性是其主要特征,在可靠性、物理尺寸、重启动和故障恢复方面也有特殊要求,因而比通常的计算机应用设计更为复杂,涉及面也更为广泛。由于被嵌入对象的体系结构、应用环境要求不同,所以嵌入式系统也有各种类型。

微控制器是典型的嵌入式系统。它应嵌入式计算机系统应用的要求而生,并以嵌入式应用为唯一目的。微控制器从体系结构到指令系统都是按照嵌入式应用特点专门设计的,能最好地满足面向控制对象、应用系统的嵌入、现场的可靠运行及控制品质的各种要求。在其基本体系结构上,衍生出了能满足各种应用要求的兼容系统,成为发展最快、品种最多、数量最大的嵌入式系统。

从形式上可将嵌入式系统分为系统级、板级和器件级:

系统级为各种类型的工控机,包括通用机改装的工控机、各种总线方式的工控机或模块组成的工控机,如 PC104 等。

板级有各种类型的带 CPU 的主板及 OEM 产品。

器件级则以微控制器最为经典。其 IC 器件的体积小,现场运行环境的可靠性高,满足了许多小型对象的嵌入式应用要求。不少半导体厂商还以嵌入式应用为目标,将通用 CPU 改造成嵌入式微处理器(embedded microprocessor unit, EMPU),形成了具有良好的开发环境与操作系统支持的器件级嵌入式系统,例如,由 80386 改造成的 386EX。