


新世纪电子信息工程系列教材

# 十六位单片微处理器 原理及应用 (凌阳 SPCE061A)

张培仁 张志坚 高修峰 编著

- 
- 紧跟技术发展
  - 内容系统全面
  - 精选应用实例
  - 提升综合能力



清华大学出版社

► 新世纪电子信息工程系列教材

# 十六位单片微处理器原理及应用 (凌阳 SPCE061A)

张培仁 张志坚 高修峰 编著

清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

SPCE061A 是台湾凌阳公司 2001 年推出的新一代单片机, 具有高速度、低价格、体积小、功耗低、可靠实用、简单易学等特点。本书以 SPCE061A 为例, 介绍十六位嵌入式微控制器的工作原理、内部结构、指令系统、程序设计、开发工具, 以及嵌入式操作系统。讲解过程中, 技术理论与实践应用并重, 通过大量实例来加深理解、强化应用, 还通过 13 个基础实验进一步提高学生的综合应用能力和动手能力。

本书体系完整、层次清晰、通俗易懂、极具实用性, 可作为大专院校自动化、计算机应用、仪器仪表等有关专业的教材使用, 也可以供从事嵌入式系统设计、开发和维护的广大科技人员阅读参考。

版权所有, 翻印必究。举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术, 用户可通过在图案表面涂抹清水, 图案消失, 水干后图案复现; 或将表面膜揭下, 放在白纸上用彩笔涂抹, 图案在白纸上再现的方法识别真伪。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

十六位单片微处理器原理及应用 (凌阳 SPCE061A) / 张培仁, 张志坚, 高修峰编著.

—北京: 清华大学出版社, 2005.4

(新世纪电子信息工程系列教材)

ISBN 7-302-10790-4

I. 十… II. ①张…②张…③高… III. 单片微型计算机, 凌阳 SPCE061A—基本知识  
IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 031459 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 夏非彼

文稿编辑: 周烈强

封面设计: 林陶

版式设计: 科海

印 刷 者: 北京科普瑞印刷有限责任公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 印张: 23.5 字数: 572 千字

版 次: 2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-10790-4/TP·7173

印 数: 1~5000

定 价: 34.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题, 请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010) 82896445

## 丛书序

随着现代科学技术的不断发展,世界正面临一场大规模的新的工业革命(又称信息革命)。特别是我国加入WTO(世界贸易组织)后,各行各业都经历着深刻的变革,人们对于信息资源的需要也日益增长。对于信息技术来说,其关键在于信息采集和信息处理两个环节。因此,在现代的信息技术教程中,被人们誉为“电子技术的五官”的传感器技术和被称为“电子技术的脑”的计算机技术就显得尤为重要了。简单地说,电子技术、传感技术、计算机技术(包括单片计算机技术)已经成为21世纪最常用、最基础、最实用的技术。

除了对于理论知识的学习外,实践能力也成为一项考核信息技术从业人员的重要指标,能够实际动手解决科研难题才是最终目的,于是,作为信息技术培训基地的高等院校进行教改势在必行。但是目前能满足实践操作方面的教材相当缺乏,已有教材涉及到的内容大多比较陈旧。为此,我们组织了大量有教学、科研经验的专家、教授,参照国家教育部“高等院校基础课程教学大纲”的要求,从“能够解决实际问题”的角度出发,精心编写了这套“新世纪电子信息工程系列教材”,首批推出以下6本:

《电子线路与电子技术》

《电子线路及应用》

《单片机原理及应用》

《传感技术与应用教程》

《传感技术与实验》

《十六位单片微处理器原理及应用(凌阳SPCE061A)》

《电子线路与电子技术》一书包含模拟电路与数字电路两部分。该书主要讲解电子线路与电子技术中的基本内容,包括半导体二极管、三极管,基本放大电路,模拟集成电路,晶闸管(可控硅)电路,脉冲数字电路及逻辑时序电路,半导体存储器及信号转换处理电路等。讲解由浅入深,并且配合了大量的实例,另外每章附有小结、习题,书末附有习题参考答案,非常适合在校大学生和技术人员使用。

《电子线路及应用》作为《电子线路与电子技术》的配套教材,着重介绍了电子线路中的各种元器件及电子技术综合实践知识,更加突出了电子技术实践性强的特点。它分上、下两篇,上篇介绍了电阻、电容、电感、晶体管、电声器、数码管、转换器、继电器等各种常用电子元器件的外形特征、选用方法、使用注意事项。下篇主要介绍模拟电路与数字电路的25个实验,其中包括19个基本技能培训实验,6个综合技能培训实验。

《单片机原理及应用》介绍了单片机结构原理、单片机指令系统及程序设计、单片机中断、单片机串行接口、定时器/计数器、A/D和D/A转换接口、单片机系统的工程设计实

例, 计算机系统的扩展技术及单片机C语言程序设计等内容, 非常注重实用性。

《传感技术与应用教程》主要介绍了传感技术的作用、原理、结构特征及使用方法, 其内容包括光电式传感器、数字式传感器、热电式传感器、电阻电感电容式传感器、霍尔传感器、生物传感器、超导传感器、智能传感器等。

《传感技术与实验》作为《传感技术与应用教程》的配套教材, 分为上、下两篇。上篇主要介绍传感器的精确度评定、标定方法、信号分类和各种传感器的外形特征等。下篇本着重视实践操作的思路, 着重介绍了传感器实验仪器的使用方法及51个传感器实验, 是每一位立志在传感器研究领域发展的人士不可或缺的宝贵资料。

《十六位单片微处理器原理及应用(凌阳SPCE061A)》一书结合台湾凌阳公司2001年推出的新一代单片机SPCE061A, 全面系统地介绍了16位微处理器的原理和应用。主要内容包括: SPCE061A 16位嵌入式微控制器的工作原理、内部结构、指令系统、开发工具, 列举了大量应用实例, 并且介绍了嵌入式操作系统。

正是由于采用了新的教育理念, 本套教材严格遵循以下特点:

- 内容新颖、结构严谨、系统全面、语言精炼。
- 图文并茂、讲述深入浅出、通俗易懂、注重理论与实践的紧密结合。
- 详尽介绍了其他书籍中涉及不到的技术细节、技术关键, 实用性强。

所以, 本套教材具有非常广泛的应用范围。它不仅适合作为高等院校电子技术专业、电子信息专业、仪器仪表专业、应用物理专业、机械制造专业、测控计量专业、工业自动化专业、自动控制专业、生物医学专业、微电子专业、机电一体化专业、计算机应用专业等的教学参考书, 同时也是科学研究人员、工程技术人员、维护修理人员自学参考的重要书籍。

本套教材在编写过程中, 得到了四川大学、中国科技大学、南京大学、清华大学、重庆大学、北京大学、四川师范大学、复旦大学、浙江大学、南开大学、西南交通大学、电子科技大学、成都理工大学、北京科技大学、贵州教育学院等众多老师的支持, 他们客观地提出了许多宝贵意见; 北京科海电子出版社的夏非彼、陈跃琴老师也给予了大力支持和帮助; 特别要感谢的是高洁院士, 他在百忙之中审定了本套教材并做出特别推荐, 他认为“这套教材内容实用、叙述清晰、深入浅出、体系完整, 特别注重对学生动手能力的培养”。在此谨向参与本书编写的所有人员表示衷心感谢。

新世纪, 新教材, 新尝试。由于时间仓促, 编者水平有限, 书中难免存在不足和错误之处, 敬请广大读者批评、指正。

编委会

2005年4月

# 前 言

嵌入式微控制器和微处理器在各项科研和工业系统中得到了广泛的应用，并取得了很好的技术效果和可观的经济效益。可以说嵌入式微控制器和微处理器已经走向社会各个领域，走向了千家万户。目前国际上衡量一个国家信息技术发展水平的一个重要标志就是每年使用微控制器和微处理器的数量。

中国科学技术大学自动化系嵌入式系统与控制网络研究室从事这方面的研究和教学工作已经有 30 年了，具有丰富的经验和深厚的理论基础。此次应出版社和北阳电子公司两方面要求编著此书，主要是把近两年从事 16 位嵌入式微控制器的教学、科研工作总结一下。

本书经中国科学技术大学张培仁教授精心选材、组织、审定，由张培仁教授、张志坚博士、高修峰博士共同编写。第 0、1、2 章由张培仁执笔，第 5、8、9、10 章由张志坚执笔，第 3、4、6、7 章由高修峰执笔。

本书中所有程序都经过验证，并在教学和科研中使用过。

本书在编写过程中得到了北阳电子罗亚非、刘宏韬等人的大力支持，他们提供了大量的实用资料，并在凌阳大学计划中帮助我校建立了凌阳单片机的实验室，在此表示衷心的感谢。也感谢实验室各位老师、硕士研究生、博士研究生在编写本书过程中所给与的大力帮助。同时感谢张超为本书多章内容进行的录入、编辑工作。

由于时间紧促，作者水平有限，书中难免存在不足和错误之处，敬请广大读者批评指正。

张培仁

2005 年 4 月

# 目 录

<b>第 0 章 嵌入式微控制器发展概述</b> .....	1
0.1 微处理器、微型计算机和单片机的概念 .....	1
0.1.1 微处理器 (Microprocessor) .....	1
0.1.2 微型计算机 (Microcomputer) .....	1
0.1.3 单片机 .....	1
0.2 计算机如何工作 .....	2
0.3 微处理器与微控制器在组成计算机系统方面的区别 .....	3
0.3.1 基本系统 .....	4
0.3.2 扩展系统 .....	4
0.4 嵌入式微控制器的进展 .....	5
0.4.1 嵌入式微控制器的新进展 .....	5
0.4.2 嵌入式微控制器的开发平台 .....	6
0.4.3 实时多任务操作系统 .....	6
0.4.4 实时在线仿真器 (ICE) .....	7
0.5 微控制器典型产品分类 .....	8
0.6 单片机发展趋势 .....	9
<b>第 1 章 基于基本系统的单片机简介</b> .....	10
1.1 凌阳 16 位单片机 .....	10
1.2 SPCE061A .....	11
1.2.1 总述 .....	11
1.2.2 性能 .....	11
1.2.3 SPCE061A 的结构 .....	12
1.2.4 SPCE061A 最小系统 .....	13
1.2.5 SPCE061A 的开发方法 .....	14
1.2.6 特性和引脚功能 .....	14
1.2.7 应用领域 .....	17
<b>第 2 章 SPCE061A 单片机硬件结构</b> .....	18
2.1 $\mu^n$ SPTM 的内核结构 .....	18
2.2 单片机的片内存储结构 .....	22
2.2.1 单片机的 ROM .....	22
2.2.2 单片机的 RAM .....	23

2.2.3	SPCE061A 内存储器结构 .....	23
2.2.4	SPCE061A 堆栈 .....	24
2.2.5	闪存 Flash .....	24
2.2.6	编程操作实例 .....	24
2.3	单片机输入/输出接口 .....	27
2.3.1	单片机输入/输出接口应注意的问题 .....	27
2.3.2	SPCE061A 输入/输出接口 .....	29
2.4	时钟电路 .....	41
2.5	锁相环 PLL (Phase Lock Loop) 振荡器 .....	42
2.5.1	锁相环与系统时钟 .....	42
2.5.2	系统时钟 .....	43
2.6	时间基准信号 .....	45
2.7	低功耗睡眠和唤醒 .....	46
2.7.1	单片机低功耗技术 .....	46
2.7.2	睡眠状态的低功耗 .....	46
2.7.3	低功耗系统中要注意的问题 .....	47
2.7.4	睡眠与唤醒 .....	48
2.8	定时器/计数器 .....	50
2.9	A/D 转换器设计实例 .....	53
2.9.1	主要 A/D 转换器特点 .....	53
2.9.2	SPCE061A 的模数转换器 (ADC) .....	57
2.10	DAC 方式音频输出 .....	60
2.11	低电压监测 (LVD), 复位, 保密设定, 看门狗 .....	63
2.11.1	低电压监测和低电压复位 .....	63
2.11.2	复位 .....	64
2.11.3	保密设定 .....	65
2.11.4	看门狗计数器 (WatchDog) .....	66
2.12	SIO 接口 .....	67
2.12.1	通用同步串行接口 .....	67
2.12.2	061A 串行设备输入输出 .....	67
2.13	UART 接口 .....	68
2.13.1	通用异步通信方式 .....	68
2.13.2	061A 的通用异步串行接口 UART .....	68
	习题 .....	73
<b>第 3 章</b>	<b>微控制器寻址方式与指令系统 .....</b>	<b>75</b>
3.1	微控制器的寻址方式 .....	76
3.1.1	立即数寻址 (Immediate Addressing) .....	76
3.1.2	寄存器寻址 (Register Addressing) .....	77

3.1.3 直接寻址 (Direct Addressing) .....	77
3.1.4 寄存器间接寻址 (Register Relative Addressing) .....	78
3.1.5 变址寻址 .....	78
3.2 SPCE061A 指令分类 .....	79
3.2.1 数据传送指令 .....	79
3.2.2 算术运算指令 .....	81
3.2.3 SPCE061A 的逻辑运算和移位指令 .....	88
3.2.4 SPCE061A 的控制转移类指令 .....	93
3.2.5 伪指令 .....	95
3.2.6 宏定义与调用 .....	102
习题 .....	106
<b>第 4 章 程序设计 .....</b>	<b>107</b>
4.1 汇编语言程序设计 .....	107
4.1.1 $\mu$ 'nSPTM 汇编语言程序的结构 .....	107
4.1.2 汇编语言的语法 .....	108
4.1.3 汇编语言程序举例 .....	111
4.2 C 语言程序设计 .....	117
4.3 C 和汇编混合编程 .....	119
4.3.1 C 语言的在线汇编 .....	119
4.3.2 C 和汇编语言的相互调用 .....	121
习题 .....	129
<b>第 5 章 开发环境简介 .....</b>	<b>130</b>
5.1 概述 .....	130
5.2 菜单、工具栏 .....	131
5.3 窗口 .....	134
5.3.1 Workspace 窗口 .....	135
5.3.2 输出窗口 Output .....	135
5.3.3 编辑窗口 Edit .....	136
5.3.4 内存窗口 Memory .....	136
5.3.5 寄存器窗口 Register .....	136
5.3.6 命令窗口 Command .....	136
5.3.7 断点窗口 BreakPoints .....	137
5.3.8 变量表窗口 Watch .....	137
5.3.9 反汇编窗口 Disassemble .....	137
5.4 项目 .....	138
5.4.1 项目的操作 .....	138
5.4.2 选择 Probe 型号 .....	139
5.4.3 项目设置 .....	140

5.4.4 项目的编制 .....	141
5.4.5 加载程序 .....	141
5.4.6 调试器 .....	141
5.4.7 程序示例 .....	142
5.5 项目流程实例——音频播放 .....	145
5.5.1 音频概述 .....	145
5.5.2 凌阳音频简介 .....	147
5.5.3 凌阳音频解决方案 .....	147
5.5.4 凌阳音频播放过程 .....	148
习题 .....	150
<b>第6章 中断系统 .....</b>	<b>151</b>
6.1 概述 .....	151
6.1.1 中断概念 .....	151
6.1.2 中断源 .....	151
6.1.3 中断的一般处理过程 .....	151
6.1.4 中断向量表 .....	152
6.1.5 中断优先级 .....	152
6.1.6 中断屏蔽 .....	152
6.1.7 使用中断应该注意的问题 .....	153
6.2 SPCE061A 单片机中断系统 .....	153
6.2.1 中断分类 .....	153
6.2.2 中断向量 .....	154
6.2.3 中断源 .....	154
6.2.4 中断控制 .....	154
6.2.5 中断处理过程 .....	156
6.3 中断程序举例 .....	157
6.3.1 用汇编语言编写中断服务子程序 .....	158
6.3.2 用C语言编写中断服务子程序 .....	168
习题 .....	171
<b>第7章 嵌入式实时操作系统 .....</b>	<b>172</b>
7.1 实时操作系统的一些基本概念 .....	172
7.1.1 任务 .....	172
7.1.2 多任务 .....	173
7.1.3 任务切换 .....	173
7.1.4 内核 .....	173
7.1.5 任务调度 .....	173
7.1.6 任务优先级 .....	174
7.1.7 资源、共享资源与互斥 .....	174

---

7.1.8 死锁和饿死 .....	175
7.1.9 同步 .....	176
7.1.10 任务间通信 .....	177
7.1.11 消息邮箱和消息队列 .....	177
7.1.12 中断 .....	177
7.1.13 时钟节拍 (Clock Tick) .....	178
7.1.14 对存储器的需求 .....	178
7.1.15 实时系统内核的优点 .....	179
7.2 $\mu$ C/OS-II 内核结构 .....	179
7.2.1 任务 .....	180
7.2.2 任务状态 .....	180
7.2.3 任务控制块 (Task Control Blocks, OS_TCBs) .....	181
7.2.4 任务管理 .....	183
7.2.5 中断处理 .....	186
7.3 $\mu$ C/OS-II 的移植 .....	186
7.3.1 OS_CPU.H .....	187
7.3.2 OS_CPU_A.ASM .....	188
7.3.3 OS_CPU_C.C .....	193
习题 .....	202
<b>第 8 章 实验箱 .....</b>	<b>203</b>
8.1 硬件结构及 I/O 分配 .....	203
8.2 PROBE 说明与硬件连接 .....	205
8.3 实验箱各个模块的说明 .....	206
8.3.1 电源 .....	206
8.3.2 SPCE061A 芯片周边电路 .....	208
8.3.3 I/O 口电路 .....	209
8.3.4 音频输入 .....	209
8.3.5 音频输出 .....	210
8.3.6 双色 8×8LED 点阵 .....	211
8.3.7 双路 0~3.3V 可调电路 .....	212
8.3.8 SPR4096 构成的 SIO 存储电路 .....	212
8.3.9 电平发生按键电路 .....	212
8.3.10 逻辑电平指示灯 .....	214
8.3.11 异步串口通信电路 .....	214
8.3.12 4×4 键盘矩阵 .....	216
8.3.13 数码管 .....	217
8.3.14 LCD .....	219
习题 .....	222

<b>第 9 章 基础实验</b> .....	223
实验一 熟悉 $\mu'nSP^TM$ IDE 开发环境 .....	223
实验二 IO 口实验 .....	226
实验三 用定时器 A/B 产生 PWM 信号 .....	233
实验四 FIQ 中断实验 .....	238
实验五 IRQ0/IRQ1/IRQ2 中断实验 .....	245
实验六 IRQ4/IRQ5 中断实验 .....	252
实验七 UART 实验 .....	260
实验八 A/D 转换 .....	266
实验九 双通道 D/A 转换 .....	270
实验十 32K 字的 Flash 读/写 .....	274
实验十一 音频播放——SACM-A2000 .....	280
实验十二 6 位 7 段 LED 数码管显示实验 .....	286
实验十三 LCD 上的字符显示 .....	289
<b>第 10 章 SPCE061A 单片机应用举例</b> .....	296
10.1 生产线货物自动计数设备 .....	296
10.1.1 问题描述 .....	296
10.1.2 硬件电路设计 .....	296
10.1.3 算法及流程 .....	297
10.1.4 源程序 .....	300
10.2 电子时钟与作息时间控制 .....	311
10.2.1 问题描述 .....	311
10.2.2 硬件电路设计 .....	312
10.2.3 算法及流程 .....	312
10.2.4 源程序 .....	316
<b>附录 1 C-Lib 中的函数集</b> .....	339
<b>附录 2 <math>\mu'nSP^TM</math> 汇编器伪指令集</b> .....	351
<b>附录 3 与 <math>\mu'nSP^TM</math> 编译相关的错误信息</b> .....	353
<b>附录 4 端口速查表</b> .....	361
<b>附录 5 符号约定</b> .....	363
<b>参考文献</b> .....	364

# 第 0 章 嵌入式微控制器发展概述

## 0.1 微处理器、微型计算机和单片机的概念

### 0.1.1 微处理器 (Microprocessor)

微处理器又称为中央处理器 (Central Processing Unit, CPU)。它利用半导体集成技术,将运算器 (Arithmetic Logic Unit, ALU)、控制器 (Control Unit, CU) 和寄存器组 (Registers) 等功能部件通过内部总线集成在一块硅片上。它虽然不是一台计算机,却是组成微型机的核心部分。

### 0.1.2 微型计算机 (Microcomputer)

微型计算机简称微型机,是具有完整运算和控制功能的计算机。它是以微处理器 CPU 为核心,以系统的三条总线——地址总线 (Address Bus, AB)、控制总线 (Control Bus)、数据总线 (Data Bus) 为信息传输中枢,配上大规模集成电路的存储器 (Memory)、输入输出接口 (Input/Output Interface) 电路组成的计算机,如图 0.1 所示。以微型计算机为中心,配以电源、辅助电路和相应的外设,以及指挥协调微型计算机工作的系统软件及应用软件,就构成了微型计算机系统 (Microcomputer System)。

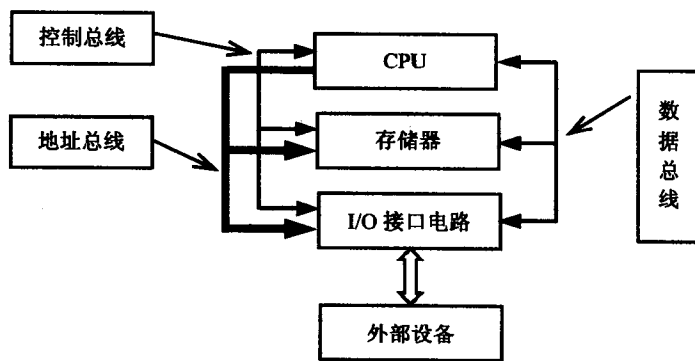


图 0.1 微型计算机的组成

### 0.1.3 单片机

单片机 (Single Chip Microcomputer 或 One Chip Microcomputer) 利用半导体集成技术,将 CPU、一定容量的随机存取存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、定时器/计数器 (T/C)、并行输入输出接口和串行通信接口等多个功能部件集成在一个芯片上,形成具有完整计算

机功能的大规模集成电路。由于单片机面向控制，又被称为微控制器（Micro controller）。因其体积小可嵌入产品内部，成为产品的一个元件使产品智能化，因而又被称为电控单元（Electronic Control Unit, ECU）。

## 0.2 计算机如何工作

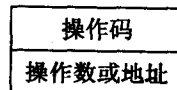
计算机把人所编的程序用存储器存起来，在微处理器中有序执行和工作。微控制器从硬件上讲要有存储器、CPU、接口电路、及三总线（控制总线、地址总线、数据总线）。仅有硬件计算机仍无法工作，必须配置软件，也就是通常所说的程序。软件分为两类，即系统软件和应用软件。

计算机之所以能够脱离人的干预自动运算，就是因为它具有记忆功能。程序和数据预先被有序地存放在存储器中，在工作过程中再由存储器快速提供给 CPU 进行处理，这就是所谓“程序存储”工作方式。

微处理器和微控制器都必须有可识别的程序，同时 CPU 要知道程序指令从何处开始执行，以及从何处去取指令，从而有序执行。

所谓指令就是使计算机完成某种基本操作的命令，如加、减、乘、除、移位、与、或、非等。全部指令的集合构成指令系统。任何一台计算机都有它自己的指令系统，少则几十条，多则几百条。这些指令都有各自的寻址方式。

指令通常由两部分组成：第一部分为操作码（OP），它表示计算机的操作性质；第二部分为操作数或地址，它代表参加运算的操作数或存放该数的地址。指令的一般格式为：



在计算机中，指令是以一组二进制编码的数来表示和存储的，这样的编码称为机器码或机器指令。

指令执行过程分为两个阶段，即取指令阶段与执行指令阶段。执行一条指令通常占用一个或几个 CPU 周期，如图 0.2 所示。

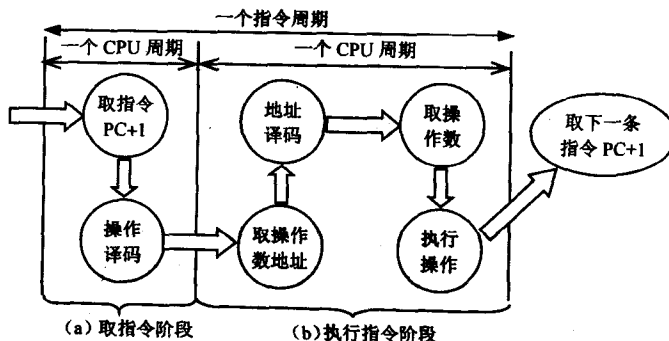


图 0.2 直接寻址的指令执行周期

第一个 CPU 周期是取指令阶段，由 PC（程序计数器）给出指令地址，从存储器中取出指令，PC+1，为取下一条指令做好准备，并进行指令译码。

第二个 CPU 周期是执行指令阶段，取操作数地址并译码，获得操作数，同时执行这条指令。然后取下一条指令，周而复始。

图 0.2 表示的仅仅是一般的情况。也有一个 CPU 周期完成 (a)、(b) 两步工作的。也有一个指令阶段需要多个 CPU 周期的情况。

### 0.3 微处理器与微控制器在组成计算机系统方面的区别

微处理器和微控制器都有 CPU。CPU 由三部分组成：第一部分包含运算器、累加器、标志寄存器；第二部分包含控制器、指令寄存器、指令译码器、组合逻辑阵列 PLA；第三部分包含 CPU 与外部 I/O 口、外部三总线（地址总线、数据总线、控制总线）的接口控制。

微处理器（如 8086、80286、80386 等）一般有两种工作模式。因为 CPU 内部无程序存储器，要从外部程序存储器中取指令，CPU 还要与片外 RAM 读写数据，与 I/O 口交换数据，所以，CPU 的一种工作方式是经过总线控制芯片（8282）和中断控制芯片（8259）间接控制片外总线，通过三总线与 ROM、RAM、I/O 口交换数据。这种工作模式叫做最大模式。另外一种工作模式是最小模式。在最小模式下，CPU 直接控制片外三总线，与 ROM、RAM、I/O 口交换数据。不论最大模式还是最小模式，程序都是存储在片外（CPU 以外），存储随机数据的 RAM 也在片外，I/O 接口也在片外。见图 0.3 和图 0.4。

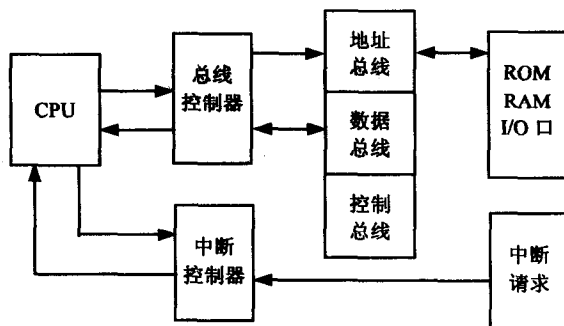


图 0.3 微处理器的最大模式

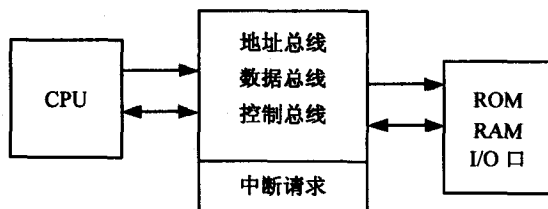


图 0.4 微处理器的最小模式

微控制器中除了包含 CPU (运算器、控制器、I/O 接口) 以外, 还包括 ROM (存储程序)、RAM (存储随机数据) 以及专用功能的各种硬件。

微控制器的种类比微处理器多很多, 但大部分是专用的。

微控制器由于硬件的这种特点而产生两种工作方式: 一种是基本工作方式 (也称最小系统), 另一种是扩展工作方式。微控制器的扩展系统相当于微处理器的最小模式。

由于单片机的应用场合及系统要求不同, 用单片机构成的应用系统在规模和结构上区别很大, 大致可分为基本系统和扩展系统两种类型。

### 0.3.1 基本系统

这种应用系统的单片机外部没有程序存储器、数据存储器、I/O 接口等扩展部件, 它是由 ROM 型或 EPROM 型单片机构成的应用系统。换言之, 它是由一块片内含有程序存储器和数据存储器的单片机构成, 仅在外配置电源、输入/输出设备, 因而也称为最小应用系统。批量较大的单片机应用系统为降低成本、提高可靠性往往采用这种结构。单片机基本系统结构如图 0.5 所示。

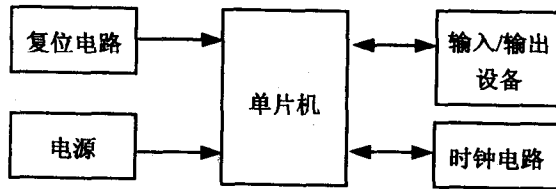


图 0.5 单片机基本系统结构图

### 0.3.2 扩展系统

为了满足应用系统的特殊需要, 有时要进行系统的扩展设计以弥补单片机内部资源的不足。单片机的扩展系统通过并行 I/O 口或串行口作总线, 在外部扩展了程序存储器、数据存储器或 I/O 口及其他功能部件。单片机扩展系统结构如图 0.6 所示。

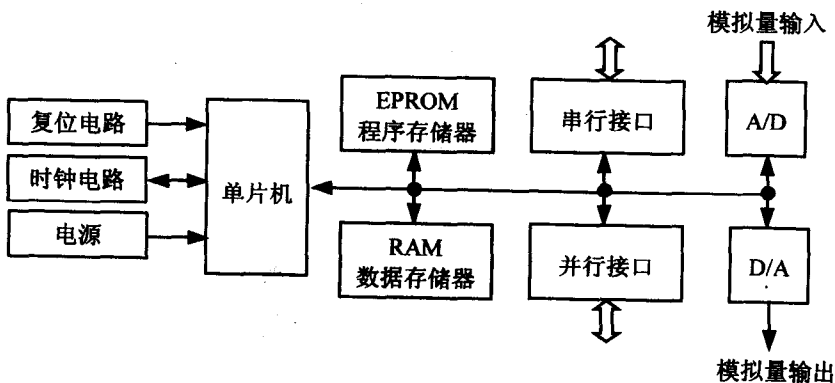


图 0.6 单片机扩展系统结构图

## 0.4 嵌入式微控制器的进展

### 0.4.1 嵌入式微控制器的新进展

嵌入式控制器主要分两类：一类是嵌入式微控制器，另一类是嵌入式微处理器。嵌入式微控制器（Embedded Microcontrollers）通常在一个硅片上集成了CPU、定时器、中断控制器、I/O口、串行口、看门狗、存储器及其他专用功能（如A/D、D/A、PMW口、I<sup>2</sup>C口和CAN网络口等），国内通常把它称为单片机系统。这种叫法主要是侧重于功能而言的，因为构成计算机的三要素CPU、存储器、外设集成于一个芯片之中。它追求的目标是整体化、小型化和廉价。

嵌入式微处理器（Embedded Microprocessors）是由微处理器发展而来的，它不附加内部存储器，依靠三总线与片外存储器连接起来，使用原微处理器的指令系统，不需要重新学习。这类芯片有80188，80186，8680，V20，V40等。本书主要介绍嵌入式微控制器。

目前世界上集成电路生产厂家几乎都有自己的微控制器系列产品。不同厂家微控制器的指令不同，开发装置也不兼容。但是从近年的发展来看，8051系列可能最终形成微控制器的工业标准。这是由于Intel公司向不同厂家转让了8051微控制器的生产权。目前生产的8051系列有百余种派生芯片，它们既保留8051核心结构又增加了各个厂家赋予的专用功能，或在原来功能的基础上给予扩充。芯片速度有所提高，功耗低，封装尺寸上也有很大改进，这样就形成了广泛的系列。同时大部分用户已习惯使用它，市场上有大量的软件包和硬件接口可供用户选用。

20世纪90年代以后逐步开发的16位微控制器80C251和80C51XA与8051指令兼容，这有利于以前开发的程序库重复使用和推广。

微控制器8051系列的C编译器经过多年实践日趋成熟，达到专用化水平的C编译器也已被广大用户认可。另外一个原因是，只有8051系统被多家公司成功研制出实时多任务操作系统（RTOS），它给用户有效管理应用程序的运行、合理分配CPU时间和资源都带来极大的方便，为用户解决复杂应用系统、软件产业化等问题带来了好处。开发8051系列的公司很多，目前芯片价格很低，因此可选择性也很强。

16位微控制器MCS-8096是在20世纪80年代中期被制造出来的，Intel公司又把它做了进一步改造，产生了80C196/296的新产品。微控制器的其他产品还有：Siemens生产的RISC系列的SAB167和面向工业控制的C166系列，台湾集成电路有限公司生产的SPCE061A、SPMC701、SPMC903系列等。

嵌入式微控制器在处理速度、寻址能力、更好的兼容性、支持多任务等方面都有很大进步。在处理速度上，已达到20MHz以上。这主要是因为是在结构上采用流水线设计，一般同时可以执行几条指令，单周期执行也缩短到100ns，中断响应小于400ns，有的CPU还增加了DSP处理器。在寻址能力上，各公司都达到24位线性空间寻址。在寻址方式上，支持间接、扩展、相对和位寻址，一般都提供两个地址空间（即程序、数据空间）。芯片中资源越来越丰富，有FLASH ROM、RAM、A/D、PMW、I<sup>2</sup>C、CAN等专用功能模块。