

21世纪重点大学规划教材



北京市高等教育精品教材立项项目

徐惠民 刘瑞芳 李涛 李哲 编著

微机原理与接口技术

(基于嵌入式芯片)



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

 配电子教案

北京市高等教育精品教材立项项目

21 世纪重点大学规划教材

微机原理与接口技术 (基于嵌入式芯片)

徐惠民 刘瑞芳 李涛 李哲 编著

机械工业出版社

本书是基于嵌入式芯片的“微机原理与接口技术”课程的新教材。教材的基本内容符合教育部计算机基础课程教学指导委员会对该课程的基本要求。本书内容包括微型计算机概论、ARM 技术概论、ARM 微处理器的指令系统、ARM 汇编程序设计、ARM 高级语言编程、存储器、STR710F 芯片及其存储系统、中断技术、I/O 接口技术和总线技术。

本书可作为高等院校电子信息工程、通信工程、电子科学与技术、电子工程、自动化等专业计算机技术硬件基础课程的教材,也可作为 ARM 技术培训教材和有关人员的自学教材。

图书在版编目(CIP)数据

微机原理与接口技术:基于嵌入式芯片/徐惠民等编著. —北京:机械工业出版社,2010.3

(北京市高等教育精品教材立项项目·21 世纪重点大学规划教材)

ISBN 978-7-111-29621-8

I. 微… II. 徐… III. ①微型计算机-理论-高等学校-教材 ②微型计算机-接口-高等学校-教材 IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 013317 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:陈 皓 吴超莉

责任印制:李 妍

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2010 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·27.75 印张·685 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-29621-8

定价:45.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

出版说明

“211工程”是“重点大学和重点学科建设项目”的简称，是国家“九五”期间唯一的教育重点项目。

进入“211工程”的100所学校拥有全国32%的在校本科生、69%的硕士、84%的博士生，以及87%的有博士学位的教师；覆盖了全国96%的国家重点实验室和85%的国家重点学科。相对而言，这批学校中的教授、教师有着深厚的专业知识和丰富的教学经验，其中不少教师对我国高等院校的教材建设做过很多重要的工作。为了有效地利用“211工程”这一丰富资源，实现以重点建设推动整体发展的战略构想，机械工业出版社推出了“21世纪重点大学规划教材”。

本套教材以重点大学、重点学科的精品教材建设为主要任务，组织知名教授、教师进行编写，教材适用于高等院校计算机及其相关专业，选题涉及公共基础课、硬件、软件、网络技术等，内容紧密贴合高等院校相关学科的课程设置和培养目标，注重教材的科学性、实用性、通用性，在同类教材中具有一定的先进性和权威性。

为了体现建设“立体化”精品教材的宗旨，本套教材为主干课程配置了电子教案、学习指导、习题解答、课程设计、毕业设计指导等内容。

机械工业出版社

前 言

在多数非计算机工科专业的课程体系中,“微机原理与接口技术”往往是计算机系列课程之一。该课程的培养目标是:加强学生对微型计算机硬件组成的理解,提高对计算机硬件的应用能力,甚至硬件开发的能力,综合应用计算机的软、硬件知识,解决本专业的实际问题。

但是,目前在多数院校开设的“微机原理与接口技术”课程仍然是基于1978年推出的Intel 8086/8088处理器来展开的,其中所用到的8086芯片和其他接口芯片早已退出市场,不再使用。相对于高速发展的微型计算机技术,教材内容显得陈旧,难以做到学以致用,也难以满足学生对新技术、新知识的追求。

如今,嵌入式设备和系统随处可见,各种智能设备都包含嵌入式微处理器或者微控制器,而嵌入式芯片就是一种高档的微处理器。本书以ARM嵌入式芯片为基础讲解微机原理,希望能够解决原来课程内容陈旧、技术落后的问题;也希望能够做到学以致用,解决理论和实际密切联系的问题,提高学生学习的积极性。

本书的基本内容仍然包括处理器体系结构、指令系统及汇编语言编程、微机接口技术3部分。这和教指委的要求是一致的,只是在技术上更加先进。

本书结合意法半导体公司(ST)的STR710芯片和基于这种芯片的实验板进行叙述。书中所介绍的示例程序都已在这个实验板上调试通过。

ARM芯片是32位的RISC芯片,在微处理器体系结构方面,增加了指令流水线技术的介绍。在指令系统方面,RISC处理器的指令比较简单和规范,特别是传送指令、转移指令都比8086指令简单。但是由于指令是32位的,每条指令包含的内容很丰富,学习时要特别注意。

在汇编语言程序设计方面,要注意伪指令和指示性命令的不同。由于实际应用开发中,应用程序多数是用高级语言编写的,也要注意汇编语言和高级语言混合编程的问题。

在存储系统方面,除了介绍一般的RAM、ROM外,对FLASH存储器也有较多的介绍。学生应该了解NOR FLASH和NAND FLASH的区别。另外,还对存储器和32位微机系统的连接进行了较多的介绍,更加符合当前微机系统的实际情况。

在中断技术方面,除了介绍一般的中断原理和中断过程外,还介绍了ARM的两级中断系统。并对中断向量的概念进行了扩展,使之具有更加普遍的意义。

在接口技术方面,没有介绍8255等接口芯片,而是介绍基于片内寄存器的接口技术。这种接口方式,也是当前各种单片机和其他嵌入式处理器所使用的,具有普遍的使用意义。

在总线技术方面,除了介绍一般微机中使用的各种总线及其发展外,还介绍了嵌入式系统中广泛使用的I²C总线和CAN总线,对于STR710的I²C总线接口及应用进行了介绍。

STR710芯片功能较强,各种专用寄存器很多,讲课时可以根据情况酌情选择。

本书由徐惠民主编,参加编写的还有刘瑞芳、李涛、李哲。

由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 微型计算机概论	1
1.1 微型计算机概述	1
1.1.1 微型计算机系统的组成	1
1.1.2 微处理器的发展	2
1.1.3 CISC 与 RISC	7
1.1.4 微型计算机的两个重要分支	11
1.2 微型计算机的基本工作原理	14
1.2.1 冯·诺依曼结构	14
1.2.2 微机主要组成部分的结构及功能	16
1.2.3 冯·诺依曼存储程序工作原理	19
1.2.4 指令流水原理	20
1.3 计算机中数的表示	21
1.3.1 机器数和真值	21
1.3.2 原码	21
1.3.3 反码	22
1.3.4 补码	22
1.4 习题	24
第 2 章 ARM 技术概论	25
2.1 ARM 技术的发展及应用	25
2.1.1 ARM 处理器的应用领域	25
2.1.2 ARM 处理器的特点	26
2.2 ARM 处理器的体系	26
2.2.1 ARM 体系结构的版本	26
2.2.2 ARM 体系结构的变型	27
2.2.3 ARM 体系结构版本的命名方式	27
2.2.4 ARM 处理器的各系列家族	28
2.3 ARM 处理器的工作状态和运行模式	29
2.3.1 ARM 处理器直接支持的数据类型	29
2.3.2 ARM 处理器的工作状态	30
2.3.3 ARM 处理器的运行模式	31
2.4 ARM 处理器寄存器的组织与结构	31
2.4.1 ARM 状态下的寄存器组织	32

2.4.2	Thumb 状态下的寄存器组织	34
2.4.3	程序状态寄存器	35
2.5	ARM7TDMI 处理器的功能结构	37
2.5.1	ARM7TDMI 的 3 级流水线	37
2.5.2	ARM7TDMI 对存储器的访问	38
2.5.3	ARM7TDMI 的内核、模块和功能结构图	38
2.6	ARM7TDMI 处理器的时序与指令周期	41
2.6.1	时序的概念	41
2.6.2	时钟周期、指令周期及总线周期	42
2.6.3	ARM7TDMI 的总线周期	42
2.6.4	ARM7TDMI 处理器的指令周期	45
2.7	ARM 处理器的选型问题	47
2.8	STR710F 处理器概述	48
2.8.1	STR710F 内部结构	49
2.8.2	STR710F 外部引脚	50
2.9	习题	51
第 3 章	ARM 微处理器的指令系统	53
3.1	ARM 微处理器的指令结构	53
3.1.1	ARM 微处理器的指令集分类	53
3.1.2	ARM 微处理器指令的格式	55
3.1.3	ARM 微处理器指令的条件域	56
3.2	ARM 微处理器指令集的寻址方式	57
3.2.1	立即寻址	57
3.2.2	寄存器寻址	58
3.2.3	寄存器间接寻址	58
3.2.4	寄存器偏移寻址	59
3.2.5	基址变址寻址	60
3.2.6	多寄存器寻址	60
3.2.7	相对寻址	61
3.2.8	堆栈寻址	61
3.3	ARM 微处理器的指令集	62
3.3.1	跳转指令	62
3.3.2	数据处理指令	64
3.3.3	乘法指令与乘加指令	70
3.3.4	程序状态寄存器访问指令	72
3.3.5	ARM7TDMI 微处理器的存储器访问指令	73
3.3.6	异常产生指令	79
3.3.7	伪指令	80
3.4	Thumb 指令及应用	82

3.4.1	Thumb 指令集简介	82
3.4.2	Thumb 指令集与 ARM 指令集的区别	83
3.5	ARM 和 Thumb 交叉工作	83
3.5.1	状态的切换	84
3.5.2	ARM 和 Thumb 函数之间的调用	84
3.6	习题	86
第 4 章	ARM 汇编程序设计	88
4.1	ARM 汇编器的汇编指示命令	88
4.1.1	符号定义汇编指示命令	88
4.1.2	数据定义汇编指示命令	91
4.1.3	汇编控制汇编指示命令	96
4.1.4	其他常用的汇编指示命令	98
4.2	ARM 汇编语言的语句格式	104
4.2.1	ARM 汇编语言程序中的常用符号	105
4.2.2	ARM 汇编语言程序中的表达式和运算符	107
4.3	ARM 汇编语言的程序格式	110
4.4	ARM 汇编语言基本结构程序设计方法	111
4.4.1	顺序结构设计方法	111
4.4.2	选择结构设计方法	114
4.4.3	循环结构设计方法	118
4.4.4	子程序结构设计方法	121
4.5	ARM 汇编语言程序示例	125
4.5.1	两组 BCD 数加法	125
4.5.2	多分支结构程序示例	127
4.5.3	LED 灯显示程序示例	129
4.6	习题	130
第 5 章	ARM 高级语言编程	132
5.1	ARM C/C++ 编译器概述	132
5.2	ARM C/C++ 编译器支持的数据类型	132
5.2.1	整数类型	133
5.2.2	浮点数	133
5.2.3	指针类型的数据	134
5.2.4	ARM 处理器的除法运算	134
5.3	ARM 汇编程序、C 程序、C++ 程序的相互调用	135
5.3.1	内联汇编	136
5.3.2	嵌入式汇编	139
5.3.3	C、C++ 程序与汇编程序的相互调用	140
5.4	ARM 中的 C/C++ 库	145
5.4.1	ARM 中的 C/C++ 运行时库简介	145

5.4.2	ARM 中 C/C++ 库的目录结构	146
5.4.3	建立一个包含 C/C++ 运行时库的 C/C++ 应用程序	146
5.4.4	建立不包含 C 运行时库的应用程序	148
5.5	ARM 汇编与 C 语言编程示例	149
5.6	习题	152
第 6 章	存储器	154
6.1	存储器概述	154
6.1.1	存储器的分类	154
6.1.2	存储器的技术指标	155
6.1.3	计算机存储系统的层次结构	156
6.2	半导体存储器概述	157
6.2.1	半导体存储器的分类	158
6.2.2	半导体存储芯片的一般结构	159
6.3	半导体随机存取存储器	161
6.3.1	静态 RAM 随机存取存储器	161
6.3.2	动态 RAM 随机存取存储器	162
6.4	半导体只读存储器	165
6.4.1	早期的 ROM	165
6.4.2	闪速存储器	166
6.5	高速缓冲存储器	170
6.5.1	Cache 的基本工作原理	170
6.5.2	处理器中的 Cache	171
6.6	存储器的接口设计	171
6.6.1	存储器接口设计应考虑的问题	172
6.6.2	异步 SRAM 的接口信号	173
6.6.3	存储器的接口设计实例	174
6.7	ARM 体系结构中的存储系统	186
6.7.1	ARM 体系结构中的地址空间	186
6.7.2	ARM 体系结构中的存储格式	186
6.7.3	ARM 处理器所支持的存储器类型	187
6.8	STR710 实验板存储系统概述	188
6.9	习题	188
第 7 章	STR710F 芯片及其存储系统	190
7.1	STR710F 处理器概述	190
7.1.1	STR710F 功能模块简介	190
7.1.2	STR710F 的寻址空间分布	192
7.2	STR710F 的引脚分布及其信号描述	199
7.2.1	STR710F 引脚分布图及信号描述	199
7.2.2	STR710F 芯片及其引脚分析	207

7.2.3 JTAG 接口简介	209
7.3 电源、复位、时钟控制单元工作原理及编程示例	211
7.3.1 STR710F 内部电源管理模块简介	211
7.3.2 STR710F 复位管理系统简介	212
7.3.3 STR710F 内部时钟管理模块简介	212
7.3.4 STR710F 低功耗工作模式简介	214
7.3.5 STR710F 电源、复位、时钟控制部件寄存器分析	216
7.3.6 STR710F 的初始化	228
7.4 片内外存储器工作原理及操作实例	233
7.4.1 STR710F 处理器片内 FLASH 存储器简介	234
7.4.2 STR710F 处理器片内 FLASH 操作实例	239
7.4.3 STR710F 评估板片外 FLASH 存储器简介	246
7.4.4 STR710F 试验板片外 FLASH 操作实例	248
7.5 习题	251
第8章 中断技术	252
8.1 I/O 接口概述	252
8.1.1 I/O 接口电路的作用	252
8.1.2 接口和端口	252
8.1.3 外设的编址	253
8.2 CPU 和 I/O 的数据传送方式	254
8.2.1 无条件传送	254
8.2.2 查询式传送	255
8.2.3 中断传送方式	256
8.2.4 DMA 传送方式	256
8.3 中断技术概述	257
8.3.1 中断的定义和作用	257
8.3.2 中断的分类	258
8.3.3 中断优先级与中断嵌套	259
8.3.4 中断源	259
8.4 中断的处理过程	260
8.5 ARM 处理器的异常	261
8.5.1 ARM 处理器异常的种类	262
8.5.2 ARM 处理器的异常向量及其优先级	262
8.5.3 ARM 处理器的异常响应	263
8.5.4 ARM 处理器的异常返回	265
8.5.5 ARM 处理器的异常响应延迟	268
8.6 STR71x 系列处理器的多级中断系统概述	269
8.7 STR710F 中断系统的工作原理及编程示例	270
8.7.1 STR710F 的中断源	270

8.7.2	STR710F 高级中断控制器	272
8.7.3	STR710F 中断管理控制器部件寄存器分析	275
8.7.4	STR710F 中断服务的实现	280
8.7.5	STR710F 的外部中断管理模块	287
8.7.6	STR710F 中断系统应用实例	292
8.8	习题	314
第9章	I/O 接口技术	315
9.1	并行 I/O 接口与串行 I/O 接口	315
9.1.1	并行 I/O 接口	315
9.1.2	串行 I/O 接口	315
9.2	定时器部件工作原理及编程示例	315
9.2.1	STR710F 定时器的结构和工作原理	315
9.2.2	STR710F 定时器部件寄存器分析	317
9.2.3	STR710F 定时器的工作模式	322
9.2.4	STR710F 定时器应用实例	326
9.3	通用 I/O 端口接口工作原理及编程示例	336
9.3.1	STR710F 引脚的工作模式	337
9.3.2	STR710F 通用 I/O 端口应用实例	341
9.4	UART 接口工作原理及编程示例	354
9.4.1	异步串行通信原理及 RS-232 接口简介	354
9.4.2	STR710F 的 UART 的基本特性及字符格式	357
9.4.3	STR710F 的 UART 部件寄存器分析	358
9.4.4	STR710F 的 UART 的工作过程	364
9.4.5	STR710F 的 UART 应用实例	367
9.5	模数转换器接口工作原理及编程示例	378
9.5.1	模数转换原理	378
9.5.2	STR710F 模数转换器工作原理简介	379
9.5.3	STR710F 模数转换器部件寄存器分析	381
9.5.4	STR710F 模数转换器应用实例	382
9.6	习题	389
第10章	总线技术	390
10.1	总线概述	390
10.1.1	总线上的信息传送方式	390
10.1.2	总线的分类	391
10.1.3	总线标准与规范	391
10.2	PC 领域常用系统总线	392
10.2.1	ISA 总线简介	392
10.2.2	PCI 总线简介	392
10.2.3	AGP 总线简介	393

10.2.4 PCI-E 总线简介	393
10.3 常用通信总线	394
10.3.1 I ² C 总线简介	394
10.3.2 CAN 总线简介	395
10.3.3 USB 总线简介	396
10.4 I ² C 总线接口工作原理及编程示例	397
10.4.1 I ² C 总线协议简介	397
10.4.2 STR710F I ² C 模块及寄存器简介	400
10.4.3 STR710F 的工作模式	407
10.4.4 I ² C 串行温度传感器简介	411
10.4.5 STR710F I ² C 接口应用实例	414
10.5 STR710F 处理器的 USB 总线	424
10.6 习题	424
附录	426
附录 A ARM 体系结构的变型	426
附录 B ARM 处理器的各系列家族	427
参考文献	430

第 1 章 微型计算机概论

本章介绍了微型计算机的组成、发展历史, RISC 结构和 CISC 结构的特点, 讲解了微型计算机的工作原理, 特别介绍了在现代嵌入式处理器中经常使用指令流水的原理; 最后介绍了计算机中数的表示, 特别是负数的表示。

1.1 微型计算机概述

1971 年, 电子计算机的发展进入了第四代。第四代电子计算机通常可以分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机 5 类。但以系统结构和基本工作原理来说, 微型计算机和其他几类计算机并无本质区别, 只是在体积、性能和应用范围方面有所不同。微型计算机的发展以微处理器为核心, 它具有体积小、功耗低、重量轻、价格低、可靠性高及使用方便等一系列优点, 因此获得了广泛的应用和迅速的发展。

1.1.1 微型计算机系统的组成

微处理器、微型计算机和微型计算机系统定义了微型计算机的 3 个层次结构, 是学习微型计算机原理时必须搞清楚的概念。

1. 微处理器

微处理器 (Microprocessor) 简称 μP 或 MP, 是指由一片或几片大规模集成电路组成的具有运算和控制功能的中央处理器件, 它通常以单芯片的形式出现。在很多书籍或日常用语中把微处理器与 CPU 之间划上了等号, 其实两者之间是有细微区别的。CPU 的概念在第四代计算机之前已经出现。在当时, 随着计算机技术的发展, 整个系统的运算和控制开始采用独立的部件来实现, 这个部件被称为中央处理单元 (Central Processing Unit), 这是 CPU 的原始定义, 它是对计算机的一个功能部件的称呼, 当时的 CPU 通常由一块或多块电路板构成。此后, CPU 成为任何计算机都必须具备的部件, 其设计制造先后经历了电子管、晶体管和集成电路方式。

微处理器是在单个芯片上实现的 CPU。它是设计制造 CPU 的一种方式。微处理器既可以单个独立地工作, 也可以多个协同工作。当前的各种大、中、小型计算机的 CPU 通常由多个微处理器的集合构成; 而微型计算机的 CPU 通常由一个微处理器构成。为区别大、中、小型计算机的 CPU 与微型计算机的 CPU, 又把微型计算机的 CPU 称为 MPU (Microprocessing Unit)。各种称呼的关系如下:

微型计算机的 CPU = MPU = 微处理器 (Microprocessor)

大、中、小型计算机的 CPU = 多个微处理器的集合 = 处理器 (Processor)

由于微型计算机的大量普及, 这使得日常所能见到的 CPU 大都由单个微处理器构成, 所以微处理器和 CPU 这两个概念被逐渐混淆。其实, 微处理器只是 CPU 的一种具体实现方法, 它是一种具体类型的 CPU。尽管在概念上微处理器与 CPU 的区别是比较清晰的, 但是

由于学习和使用的计算机大都只是微型计算机，所以人们习惯上把微处理器直接称为 CPU，而不是 MPU，甚至在有些场合把微处理器的“微”字也省去了。这种习惯称法是可以接受的，既然它们已经出现也就无法再改变，只是在使用时一定要搞清楚它们的真正概念。

2. 微型计算机

微型计算机 (Microcomputer) 简称 μC 或 MC，是指以微处理器为核心，配上半导体存储器、输入/输出接口电路及系统总线所组成的计算机。

3. 微型计算机系统

微型计算机系统 (Microcomputer System) 简称 μCS 或 MCS，是指以微型计算机为核心，配以相应的外部设备、电源和辅助电路，以及控制微型计算机工作的软件所构成的系统。微型计算机如果不配有软件，通常称为裸机。软件又分为系统软件和应用软件两大类。

图 1-1 展示了微处理器、微型计算机和微型计算机系统的结构关系。

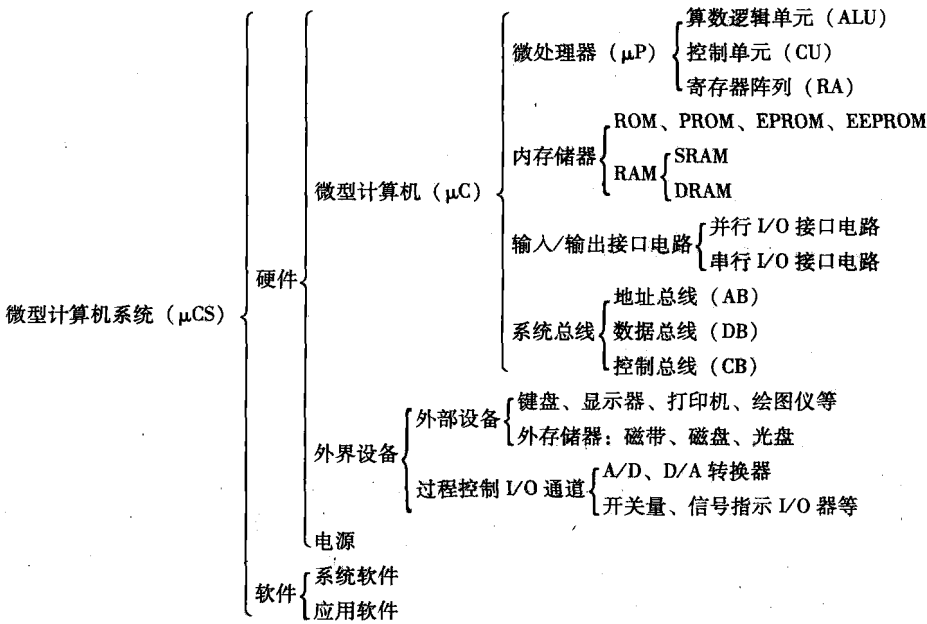


图 1-1 微型计算机系统的组成

1.1.2 微处理器的发展

微处理器的发展从 1971 年 Intel 公司首先研制成功的 4 位 Intel 4004 微处理器算起，已经走过了约 40 年的历史，经历了如下几个阶段的演变：

1. 4 位或低档 8 位微处理器阶段

1971~1973 年为 4 位或低档 8 位微处理器时期。典型产品是 Intel 4004 和 Intel 8008 微处理器。

1) Intel 4004 发布于 1971 年，是世界上第一片微处理器，字长为 4 位，集成了 2300 个晶体管，工作频率达 740 kHz，寻址空间为 4096 个半字节，其指令系统包括 46 条指令。此后，在 1972 年 Intel 发布了 Intel 4004 的加强版本 Intel 4040。

2) Intel 8008 发布于 1972 年，是世界上第一片 8 位微处理器，采用 10 μm 生产工艺，集成了 3500 个晶体管，最初发布时工作频率为 200 kHz，以后随着半导体制造工艺的改进提

升到了 800 kHz，其指令系统包括 48 条指令。

图 1-2 是最早的 Intel 4004 微处理器和 Intel 8008 微处理器的外观。

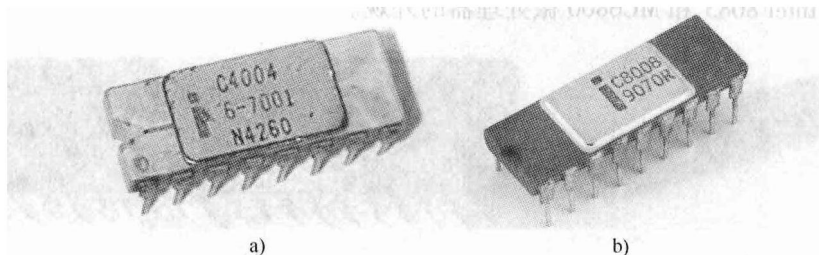


图 1-2 Intel 4004 微处理器和 Intel 8008 微处理器

a) Intel 4004 微处理器 (1971) b) Intel 8008 微处理器 (1972)

2. 中高档 8 位微处理器阶段

1974~1978 年为中高档 8 位微处理器时期。典型产品是 Intel 公司的 8080/8085、Motorola 公司的 MC6800、Zilog 公司的 Z80 和 MOS Technology 公司的 MOS 6502 等微处理器。

1) Intel 8080 发布于 1974 年，采用 $6\mu\text{m}$ 生产工艺，集成了 4500 个晶体管，它作为 Intel 8008 的后续产品，最初发布时工作频率为 2 MHz。在兼容性上，先前基于 Intel 8008 的程序经过重新编译后能直接用于 Intel 8080。

2) Intel 8085 发布于 1976 年，作为 Intel 8080 的改进型产品，它与 Intel 8080 完全兼容。同时，它也是 Intel 公司生产的最后一个 8 位通用微处理器，最初发布时工作频率为 3 MHz。

3) MC6800 发布于 1974 年，作为 Motorola 公司涉足微处理器领域的第一个产品，它的架构对 Motorola 公司日后的 8 位产品有很大影响，同时它也有很多衍生型号，最初发布时工作频率为 1 MHz，其指令系统包括 78 条指令。

4) Z80 发布于 1976 年。Zilog 公司的创始人 Federico Faggin 曾是 Intel 当初负责研发 4004 的三位工程师之一，在完成 Intel 8080 的研发后他离开了 Intel。正是这样的缘故，Z80 与 Intel 8080 的指令集和寄存器完全兼容，同时还在 Intel 8080 的基础上做出了许多显著改进。它性能优于 Intel 8080 和 Intel 8085，且价格便宜，从一上市即全面抢占了 Intel 8080/8085 的市场，作为一款应用最广泛的 8 位微处理器，至今还能在一些低端领域看到它的影子，其工作频率由最初发布时的 2.5 MHz 逐步随着半导体制造工艺的改进，提升到了 25 MHz。此后，Zilog 公司还推出了在 Z80 基础上加入了内存管理单元 (Memory Management Unit, MMU) 的增强版 Z180。

5) MOS 6502 发布于 1975 年。Motorola 公司负责设计 MC6800 的几名工程师在完成 MC6800 的设计后离开了 Motorola，投奔到了 MOS Technology 门下。MOS 6502 与 MC6800 之间的关系类似于 Z80 与 Intel 8080/8085 的关系。MOS Technology 公司先于 MOS 6502 之前发布的 MOS 6501 甚至连引脚都和 MC6800 兼容，这无疑招来了 Motorola 起诉。尽管纠纷不断，但此后的 MOS 6502 还是凭借超低的价格（发布时定价为 29 美元，而当时的 MC6800 售价为 179 美元，此后 MC6800 立即跌到 69 美元）和更强的性能，迅速占领了市场。虽然 MOS Technology 公司的 MOS 650x 系列微处理器很畅销，但它不久就遇到了财政问题被 Commodore 公司收购，此后的 MOS Technology 作为 Commodore 旗下的一个子公司，除了后来随着

半导体制造工艺的改进，在 1985 年推出了功能与 MOS 650x 完全一样的高速版本 MOS 850x 外，没有再推出任何真正意义上的新微处理器。

图 1-3 是 Intel 8085 和 MC6800 微处理器的外观。

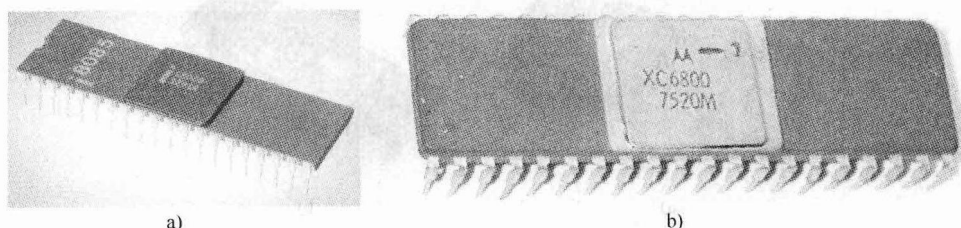


图 1-3 Intel 8085 微处理器和 MC6800 微处理器
a) Intel 8085 微处理器 (1976) b) MC6800 微处理器 (1974)

3. 16 位微处理器阶段

1978~1981 年为 16 位微处理器时期。典型产品是 Intel 公司的 8086/8088、Motorola 公司的 MC68000 和 Zilog 公司的 Z8000 系列等微处理器。

1) Intel 8086 发布于 1978 年，采用 $3\mu\text{m}$ 生产工艺，集成了 2.9 万个晶体管，最初发布时工作频率为 4.77 MHz。其寄存器和内部数据总线均为 16 位，地址总线为 20 位，从而使寻址空间达 1 MB。同时，CPU 的内部结构也有很大的改进，采用了 2 级流水线结构，并设置了 6 字节的指令预取队列。为了保持兼容性，先前基于 Intel 8085 的程序经过重新编译后能直接用于 Intel 8086。Intel 8086 的诞生标志着 Intel 的 x86 微处理器架构的开始。

2) Intel 8088 发布于 1979 年，它除了片外数据总线为 8 位以外，其余均与 Intel 8086 相同。Intel 8088 采用 8 位片外数据总线是为了更好地兼容当时现有的 8 位设备控制芯片，由于 Intel 8088 内部支持 16 位运算，而与 I/O 之间传输为 8 位，故 Intel 8088 称为准 16 位微处理器。此后，在 1982 年 Intel 还发布了 Intel 8086/8088 的加强版本 Intel 80186/80188。

3) Z8000 系列微处理器发布于 1979 年，集成了近 1.75 万个晶体管，作为 Zilog 公司的第一款 16 位产品，它与获得巨大成功的 Z80 却并不兼容，它采用了另一种完全不同的架构。尽管在技术上 Z8000 系列微处理器引入了很多先进元素，但多方面的原因导致它始终没有取得强烈的市场反响。

4) MC68000 微处理器发布于 1979 年，以集成了 6.8 万个晶体管而得名，它的寄存器和内部数据总线为 32 位，但内部的算术逻辑单元 (Arithmetic Logical Unit, ALU) 和片外数据总线却为 16 位。Motorola 公司没有按部就班地推出标准的 16 位微处理器，在 8 位 MC6800 系列后推出的 MC68000，其架构与 MC6800 完全不同，指令也不兼容。Motorola 公司的 68K 架构微处理器对其自身的后续产品和整个微处理器设计领域都有很大的影响。MC68000 系列微处理器在家用游戏机和早期的个人计算机领域得到了非常广泛的应用。1982 年，Motorola 公司发布了 MC68000 的加强版本 MC68010。

图 1-4 是 Intel 8086 和 MC68000 微处理器的外观。

4. 高性能的 16 位和 32 位微处理器阶段

1981~1992 年为高性能的 16 位和 32 位微处理器时期。高性能的 16 位微处理器的典型产品有 Intel 公司的 80286，Zilog 公司的 Z800 系列等微处理器。

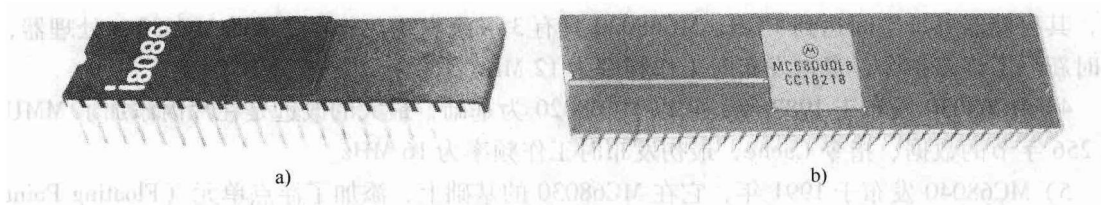


图 1-4 Intel 8086 微处理器和 MC68000 微处理器

a) Intel 8086 微处理器 (1978) b) MC68000 微处理器 (1979)

1) Intel 80286 发布于 1982 年, 基于 Intel 的第二代 x86 架构, 采用 $1.5\ \mu\text{m}$ 生产工艺, 集成了 13.4 万个晶体管, 最初发布时工作频率为 6 MHz。Intel 80286 的数据总线仍然为 16 位, 但地址总线增加到 24 位, 使存储器寻址空间达到 16 MB。

2) Z800 发布于 1985 年, 作为一款 16 位的微处理器, 它与 Z80 兼容。但此时 Zilog 公司把战略中心放在了即将推出的 32 位产品上, 同时 Z80 在市场上还占有相当大的份量, 所以 Z800 微处理器没有引起大的市场反响。不过在 1985 年, Zilog 公司还是推出了 Z800 的升级版 Z280。

图 1-5 是 Intel 80286 和 Intel 80486 微处理器的外观。

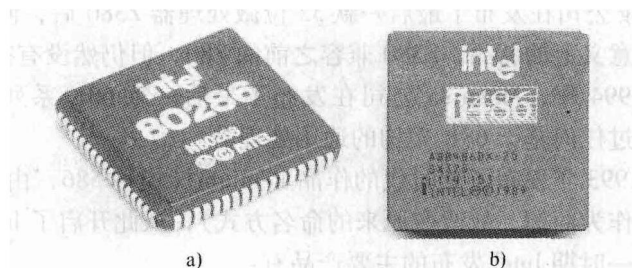


图 1-5 Intel 80286 微处理器和 Intel 80486 微处理器

a) Intel 80286 微处理器 (1982) b) Intel 80486 微处理器 (1989)

高性能的 32 位微处理器的典型产品有 Intel 公司的 80386/80486、Motorola 公司的 MC68020/68030/68040, Zilog 公司的 Z80000 等微处理器。

1) Intel 80386 发布于 1985 年, 基于 Intel 的第三代 x86 架构。它是第一个实用的 32 位微处理器, 采用 $1.5\ \mu\text{m}$ 生产工艺, 集成了 27.5 万个晶体管, 最初发布时工作频率为 16 MHz。Intel 80386 的内部寄存器、数据总线和地址总线都是 32 位的。通过 32 位的地址总线, Intel 80386 的可寻址空间达到 4 GB。

2) Intel 80486 发布于 1989 年, 基于 Intel 的第四代 x86 架构, 采用 $1\ \mu\text{m}$ 生产工艺, 集成了 120 万个晶体管, 最初发布时工作频率为 25 MHz。Intel 80486 微处理器由 3 个部件组成: 一个 80386 体系结构的主处理器, 一个与 80387 兼容的数学协处理器和一个 8 KB 容量的 Cache (高速缓冲存储器)。Intel 80486 对 Intel 80386 的内部结构进行了修改, 大约有一半的指令在一个时钟周期内完成, 而不是原来的两个时钟周期, 这样 Intel 80486 的处理速度一般比 Intel 80386 快 2~3 倍。

3) MC68020 发布于 1984 年, 是 Motorola 公司第一款真正意义上的 32 位微处理器, 它的寄存器、内部数据总线、算术逻辑单元 (ALU)、外部数据总线和外部地址总线均为 32