

# 计算机硬件技术基础

万晓冬 陈则王 孔德明 编著

南京航空航天大学

2013年1月

## 内容提要

本书以 Intel 微处理器为主要对象,系统地阐述了微机的基本组成、工作原理、接口技术及硬件连接,把微机系统软件技术和硬件技术有机地结合起来。全书共 10 章,主要内容包括计算机硬件基础、微处理器、指令系统、汇编语言程序设计、存储器、输入/输出接口、中断技术、计数器/定时器、并行和串行接口、总线技术、模拟通道接口、嵌入式系统简介。

本书是针对工科非计算机专业的计算机硬件技术基础课程的教学要求编写的。本书可作为工科非计算机专业大学本科生、研究生教材,也可作为应用软件人员或工程技术人员的参考教材。

## 前 言

“计算机硬件技术基础”是自动化、电气工程等相关专业的一门重要的专业基础课程。随着微处理器技术的迅猛发展和教学改革的需要，我们在总结多年从事“计算机硬件技术基础”教学和科研经验的基础上，组织编写了这本《计算机硬件技术基础》教材。主要目的是使学生通过本课程的学习，了解当代微机系统的体系结构，培养学生具有微型计算机硬件和软件开发的能力，为后续课程的学习和今后的工作打下坚实的基础。

本书包括微机原理、汇编语言和接口技术三部分，从微机应用需求出发，以 Intel 微处理器和 IBM-PC 微型计算机为背景机，从理论和实践上系统、全面、深入地阐述了微机的基本组成、工作原理、接口技术及硬件连接，把微机系统软件技术和硬件技术有机地结合起来。系统地介绍 16 位微型计算机的基本结构、工作原理，同时对 80X86、Pentium 等 32 位微处理器的关键技术作了详细介绍；汇编语言部分以介绍 8086/8088 指令系统为基础，扼要介绍 80X86、Pentium 扩充和增加的指令，汇编语言程序设计着重介绍基本方法和技巧，并在后续章节中应用和深化；接口技术部分详细阐述存储器接口、中断技术、计数/定时技术、DMA 技术、并行接口、串行接口、模拟通道接口、总线技术及微机体系结构；最后对当今应用十分广泛的嵌入式系统做了简略介绍，以扩充学生的知识面。

本书由万晓冬担任主编，负责全书的组织和统稿。书中第 1, 2, 5, 7, 9, 10 章由万晓冬编写；第 6, 8 章由陈则王编写；第 3, 4 章及附录由孔德明编写。陈鸿茂老师对全书进行了认真的审阅和指导，提出了许多宝贵意见，在此特表示衷心感谢。研究生姚梦雪、高峰、林坤杰、王光辉同学参加了图表的绘制工作，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，加之编者水平有限，难免有不足之处，恳望读者批评指正。

编者

2009 年 01 月

*EmuSoft*

# 目 录

第 1 章 计算机硬件基础 .....	1
1.1 计算机硬件的发展概况 .....	1
1.1.1 微型计算机的发展历史 .....	1
1.1.2 微型计算机的分类 .....	4
1.1.3 微型计算机的应用 .....	5
1.1.4 嵌入式系统 .....	6
1.2 微型计算机运算基础 .....	7
1.2.1 计算机中数值数据的表示 .....	7
1.2.2 计算机中非数值数据的表示 .....	13
1.2.3 计算机的运算 .....	14
1.3 微型计算机系统 .....	18
1.3.1 微型计算机系统的组成 .....	18
1.3.2 微型计算机的硬件基本结构及功能 .....	18
1.3.3 微型计算机的软件系统 .....	25
1.3.4 微型计算机系统的性能指标 .....	26
1.4 微型计算机基本工作原理 .....	27
1.4.1 指令与程序的概念 .....	27
1.4.2 指令类别 .....	28
1.4.3 指令与程序的执行 .....	28
1.4.4 程序的执行过程 .....	29
习题 1 .....	31
第 2 章 微处理器 .....	34
2.1 8086/8088 微处理器 .....	34
2.1.1 8086/8088 微处理器的内部结构 .....	34
2.1.2 8086/8088 的内部寄存器 .....	37
2.2 8086/8088 微处理器子系统 .....	45
2.2.1 8086/8088 微处理器的引脚及功能 .....	45
2.2.2 最小模式下的 8086 / 8088 微处理器子系统 .....	49
2.2.3 最大模式下的 8086/8088 微处理器子系统 .....	52
2.3 8086/8088 微处理器的工作时序 .....	53
2.3.1 时钟周期、指令周期和总线周期 .....	53
2.3.2 最小模式下的总线读写周期 .....	54
2.3.3 最大模式下的总线读写周期 .....	56
2.3.4 总线等待 (WAIT) 状态 .....	58
2.3.5 总线空闲状态 .....	58
2.4 80X86 微处理器 .....	59
2.4.1 80286 微处理器 .....	59

2.4.2	80386 微处理器 .....	59
2.4.3	80486 微处理器 .....	77
2.5	Pentium 微处理器 .....	80
2.5.1	Pentium 微处理器的特点 .....	80
2.5.2	Pentium 微处理器的内部结构 .....	81
2.5.3	Pentium 微处理器的寄存器组织 .....	82
2.5.4	Pentium 的超标量流水线 .....	83
2.6	从 PentiumPro 至 Pentium 4 微处理器的特点 .....	87
2.6.1	Pentium Pro 微处理器 .....	87
2.6.2	Pentium II 微处理器 .....	88
2.6.3	Pentium III 微处理器 .....	89
2.6.4	Pentium 4 微处理器 .....	90
	习题 2 .....	91
第 3 章	寻址方式与指令系统 .....	94
3.1	基本概念 .....	94
3.2	操作数的寻址方式 .....	95
3.2.1	操作数的寻址方式 .....	96
3.2.2	转移地址寻址 .....	101
3.3	8086/8088 指令系统 .....	101
3.3.1	数据传送指令 .....	102
3.3.2	算术运算类指令 .....	107
3.3.3	逻辑运算与移位指令 .....	114
3.3.4	字符串处理类指令 .....	119
3.3.5	程序控制指令 .....	123
3.3.6	CPU 控制指令 .....	131
3.4	80X86/Pentium 指令系统 .....	133
3.4.1	80286 增强与增加的指令 .....	133
3.4.2	80386、80486 增强与增加的指令 .....	136
3.4.3	Pentium 系列处理器增加的指令 .....	140
	习题 3 .....	142
第 4 章	汇编语言程序设计 .....	148
4.1	汇编语言程序的基本语法 .....	148
4.1.1	汇编语言程序的分段结构 .....	148
4.1.2	汇编语言语句的类型与格式 .....	150
4.1.3	汇编语言中的基本对象 .....	152
4.2	伪指令语句 .....	159
4.2.1	方式选择伪指令 .....	159
4.2.2	段定义伪指令 .....	160
4.2.3	数据定义伪指令 .....	165

4.2.4	过程与宏定义伪指令 .....	168
4.2.5	结构定义伪指令 .....	171
4.2.6	列表伪指令语句 .....	172
4.2.7	模块定义伪指令 .....	173
4.3	汇编语言程序设计的上机过程 .....	174
4.3.1	汇编语言程序的开发过程 .....	174
4.3.2	汇编语言与 PC-DOS 的接口 .....	176
4.4	汇编语言程序设计的基本方法 .....	177
4.4.1	编写汇编程序基本问题 .....	177
4.4.2	顺序结构程序设计 .....	178
4.4.3	分支结构程序设计 .....	180
4.4.4	循环结构程序设计 .....	184
4.5	子程序结构设计 .....	187
4.5.1	子程序设计方法 .....	187
4.5.2	DOS 系统功能调用 .....	193
4.6	程序设计举例 .....	196
4.6.1	码制转换 .....	196
4.6.2	算术运算 .....	198
4.6.3	表的处理 .....	201
4.7	80X86 汇编语言程序设计 .....	203
4.7.1	概述 .....	203
4.7.2	源程序的基本格式 .....	204
4.7.3	程序设计举例 .....	205
习题 4	.....	206
第 5 章	存储器系统 .....	210
5.1	存储器概述 .....	210
5.1.1	存储器的分类 .....	210
5.1.2	现代微机系统的存储器体系结构 .....	211
5.2	半导体存储器 .....	213
5.2.1	半导体存储器的分类 .....	213
5.2.2	半导体存储器的主要性能指标 .....	214
5.2.3	半导体存储芯片的结构 .....	215
5.3	随机存取存储器(RAM) .....	216
5.3.1	静态 RAM(SRAM) .....	216
5.3.2	动态 RAM(DRAM) .....	221
5.3.3	PC 机内存条 .....	223
5.4	只读存储器(ROM) .....	226
5.4.1	掩膜只读存储器 ROM .....	226
5.4.2	可编程只读存储器 PROM .....	226

5.4.3	光可擦除可编程只读存储器 EPROM.....	227
5.4.4	电可擦除可编程只读存储器 EEPROM(E <sup>2</sup> PROM).....	229
5.4.5	闪速存储器(Flash Memory).....	230
5.5	半导体存储器与 CPU 的接口.....	233
5.5.1	存储器与 CPU 接口的一般问题.....	233
5.5.2	存储器容量的扩展.....	235
5.5.3	8086/8088CPU 与存储器连接.....	238
5.5.4	存储器扩展与连接设计举例.....	240
5.6	高速缓冲存储器 Cache.....	246
5.6.1	Cache 存储器结构与原理.....	246
5.6.2	Cache 的地址映射方式.....	248
5.6.3	替换算法.....	249
5.6.4	Cache 的读/写过程.....	250
5.6.5	多层次 Cache 存储器.....	251
	习题 5.....	252
第 6 章	基本输入/输出接口技术.....	255
6.1	I/O 接口概述.....	255
6.1.1	I/O 信息的种类.....	255
6.1.2	I/O 接口的功能.....	256
6.1.3	I/O 接口的基本结构.....	257
6.1.4	I/O 端口的编址方式.....	257
6.2	简单的 I/O 接口.....	258
6.3	输入/输出传送控制方式.....	261
6.3.1	程序控制方式.....	261
6.3.2	中断传送方式.....	265
6.3.3	直接存储器存取 (DMA) 传送方式.....	265
	习题 6.....	267
第 7 章	中断技术.....	268
7.1	中断技术概述.....	268
7.1.1	中断的概念.....	268
7.1.2	中断源与中断分类.....	269
7.1.3	中断系统的功能.....	271
7.1.4	中断处理过程.....	272
7.1.5	中断优先级的排队.....	275
7.2	8086 中断系统.....	277
7.2.1	8086 的中断分类.....	278
7.2.2	中断向量表.....	280
7.2.3	中断的响应过程.....	281
7.3	Pentium 处理器的中断机制.....	283

7.3.1	实地址方式下的中断机制 .....	283
7.3.2	保护虚地址方式下的中断机制 .....	283
7.3.3	中断向量号分配 .....	285
7.3.4	中断/异常的检测、响应、处理过程 .....	286
7.4	8259A 可编程中断控制器 .....	287
7.4.1	功能概述 .....	287
7.4.2	8259A 内部结构与外部引脚 .....	287
7.4.3	内部端口寻址与读/写控制 .....	289
7.4.4	8259A 的中断工作过程 .....	290
7.4.5	命令字格式与应用编程 .....	291
7.5	中断程序设计 .....	305
7.5.1	中断程序设计方法 .....	305
7.5.2	中断程序设计举例 .....	307
	习题 7 .....	311
第 8 章	可编程接口芯片及其应用 .....	313
8.1	概述 .....	313
8.2	定时计数控制接口 .....	313
8.2.1	8253 定时/计数器 .....	314
8.2.2	8254 定时器/计数器 .....	323
8.3	可编程并行接口 .....	324
8.3.1	8255A 可编程并行接口芯片 .....	324
8.3.2	并行打印机接口 .....	332
8.3.3	键盘接口 .....	336
8.3.4	LED 数码显示接口 .....	340
8.4	串行通信和串行接口 .....	343
8.4.1	串行通信的基本概念 .....	343
8.4.2	可编程串行通信接口芯片 8251A .....	349
8.4.3	8251A 的编程及应用 .....	355
8.5	模拟 I/O 接口 .....	358
8.5.1	概述 .....	358
8.5.2	D/A 转换器及其与 CPU 的接口 .....	359
8.5.3	A/D 转换器及其与 CPU 的接口 .....	367
	习题 8 .....	381
第 9 章	微机总线与微机体系结构 .....	383
9.1	总线概述 .....	383
9.1.1	总线基本概念和分类 .....	383
9.1.2	总线基本功能 .....	384
9.1.3	总线标准 .....	385
9.1.4	总线数据传输 .....	385



9.1.5	总线裁决方式 .....	386
9.1.6	局部总线技术 .....	388
9.1.7	PC 系列机中系统总线的发展简介 .....	388
9.2	ISA 总线 .....	389
9.2.1	ISA 总线结构及特点 .....	389
9.2.2	PC 总线引脚定义 .....	389
9.2.3	ISA 总线引脚定义 .....	391
9.3	PCI 总线 .....	391
9.3.1	PCI 的提出 .....	391
9.3.2	PCI 系统的一般概念 .....	392
9.3.3	PCI 总线的特点 .....	393
9.3.4	PCI 总线结构与引脚定义 .....	394
9.3.5	PCI 总线的应用 .....	396
9.4	USB 通用串行总线 .....	397
9.4.1	USB 概述 .....	397
9.4.2	USB 的特点 .....	397
9.4.3	USB 总线结构 .....	398
9.4.3	USB 总线体系结构 .....	400
9.4.4	USB 的软件结构 .....	401
9.4.5	USB 的数据传输 .....	402
9.5	IEEE 1394 高速串行总线 .....	402
9.5.1	IEEE 1394 的主要性能特点 .....	403
9.5.2	IEEE 1394 系统结构及工作原理 .....	403
9.5.3	IEEE 1394 传输方式与工作过程 .....	404
9.5.4	IEEE 1394 与 USB 的比较 .....	404
9.5.5	IEEE1394 接口的应用 .....	405
9.6	AGP 总线 .....	406
9.6.1	AGP 系统结构 .....	407
9.6.2	AGP 的特点 .....	407
9.6.3	AGP 的工作方式 .....	408
9.7	CAN 总线 .....	408
9.7.1	CAN 总线概述 .....	409
9.7.2	CAN 总线的发展 .....	409
9.7.3	CAN 总线的应用 .....	410
9.8	微型计算机体系结构 .....	411
9.8.1	基于 8088—PC 总线的微机结构 .....	411
9.8.2	基于 80286—ISA 总线的微机结构 .....	413
9.8.3	基于 80386/80486—ISA 总线的微机结构 .....	414
9.8.4	基于 80486—EISA 总线的微机体系结构 .....	415

9.8.5	基于 Pentium—ISA/PCI 总线, 南北桥结构的微机体系结构.....	416
9.8.6	基于 Pentium II—ISA/PCI/AGP 总线, 南北桥结构的微型机体系结构 ...	417
9.8.7	基于 Pentium III—中心结构的微型机体系结构 .....	418
9.8.8	基于 Pentium 4—中心结构的微型机体系结构 .....	420
习题 9	.....	421
第 10 章	嵌入式系统 .....	422
10.1	嵌入式系统概述 .....	422
10.1.1	嵌入式系统的概念 .....	422
10.1.2	嵌入式系统的历史与现状 .....	422
10.1.3	嵌入式系统的体系结构及特点 .....	423
10.1.4	嵌入式系统的特点 .....	426
10.1.5	嵌入式系统的应用领域和发展方向 .....	426
10.2	嵌入式硬件系统 .....	428
10.2.1	硬件基本组成 .....	428
10.2.2	嵌入式微处理器简介 .....	429
10.3	嵌入式软件系统 .....	437
10.3.1	嵌入式软件系统概述 .....	437
10.3.2	嵌入式操作系统 .....	440
10.4	嵌入式应用系统开发 .....	446
10.4.1	嵌入式系统开发流程 .....	446
10.4.2	交叉编译与链接 .....	447
10.4.3	远程调试 .....	448
10.4.4	测试与优化 .....	448
习题 10	.....	449
附录 1	8086/8088 指令系统 .....	450
附录 2	系统中断 .....	465
参考文献	.....	479

# 第1章 计算机硬件基础

## 数字表示和运算

计算机技术是 20 世纪发展最为迅速、普及程度最高、应用最为广泛的科学技术之一。尤其在 20 世纪 70 年代初期，微型计算机的出现为计算机的广泛应用开拓了极其广阔的前景，展示了它在科学技术领域中日益重要的地位。微型计算机技术日新月异地发展，使微型计算机的应用渗透到国民经济和社会生活的各个领域，并已转化成巨大的推动社会前进的生产力。计算机硬件技术是学习和使用微型计算机的基础。

本章主要介绍微型计算机的发展概况、硬件基本结构、系统组成、基本工作原理和主要性能指标及计算机运算基础等基础知识。

### 1.1 计算机硬件的发展概况

#### 1.1.1 微型计算机的发展历史

自从 1946 年美国宾夕法尼亚大学研制出世界上第一台数字电子计算机 ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Calculator)以来，计算机的发展突飞猛进，日新月异。在 60 年的发展历史中，已经历了电子管计算机、晶体管计算机、集成电路计算机和大规模/超大规模集成电路计算机等四代的发展历程。并自 80 年代中期起，开始了以模拟人的大脑神经网络功能为基础的第五代计算机的研究。当今计算机技术的最前沿是利用蛋白质分子制造出基因芯片，研制生物计算机。生物计算机比硅晶片计算机在速度、性能上有质的飞跃，被视为极具发展潜力的“第六代计算机”。各代计算机的更替除主要表现在组成计算机的电子元器件的更新换代外，还集中表现在计算机系统结构和计算机软件技术的改进上。正是这几方面的飞速进步，才使得计算机的功能、性能一代比一代明显提高，而体积却一代比一代明显缩小，价格一代比一代明显降低。今天，一台计算机的性能价格比和性能体积比已经比第一代电子管计算机高出了成百、上千、上万倍。

作为第四代计算机的一个重要分支，微型计算机于 70 年代初诞生了。微型计算机(Microcomputer)与其他大、中、小型计算机的区别在于其中央处理器(Central Processing Unit, CPU)采用了大规模、超大规模集成电路技术。为了将这两种 CPU 相区别，把微型计算机的 CPU 芯片称为微处理器(Micro Processing Unit 或 Microprocessor, MPU)。

1971 年 Intel 公司生产出第一个微处理器 4004(4 位 CPU)，以此为起点，微处理器如雨后春笋般大量涌现出来，到目前为止，微处理器的发展已经历了五代。

第一代微处理器和微型计算机(1971~1973 年)是 4 位和低档 8 位微处理器时代，典型产品有美国 Intel 公司 1971 年首次推出的 Intel 4004 和 Intel 公司 1972 年推出的 8 位通用微处理器 Intel 8008。以 4004 和 8008 为 CPU 构成的微型计算机分别是 MCS-4 和 MCS-8。

这一代微处理器的特点是：芯片采用 PMOS 工艺，集成度为每片 2000 个晶体管，主时钟频率为 1MHz，平均指令执行时间为 15~20 $\mu$ s。指令系统简单，运算功能单一，仅能进行串行十进制运算。采用机器语言编程，其价格低廉、使用方便。主要应用是面向袖珍计算器、家电、交通灯控制器等简单控制场合。

第二代微处理器和微型计算机(1973~1978年)是成熟的8位微处理器时代。1973年, Intel公司推出了性能更好的8位微处理器8080。它的出现加速了微处理器和微型计算机的发展。很多公司对微处理器产生了极大兴趣,纷纷加入这一行业。从此,微处理器和微型计算机如雨后春笋般地蓬勃发展起来。先后推出了一批性能优良的8位微处理器产品,典型产品有Intel 8080(1973年由Intel公司推出)、MC6800(1974年由美国Motorola公司推出)、Z-80(1975年由Zilog公司推出)、Intel 8085(1976年由Intel公司推出)、MOS6502(由MOS公司推出)。

第二代微处理器的特点是:微处理器的设计和生产技术已经更加成熟,微处理器的生产普遍采用NMOS工艺,集成度高达每片10 000个晶体管,性能有明显的改进,主时钟频率为2~4MHz,平均指令执行时间为1~2 $\mu$ s,指令系统已较为完善。这一时期推出的微型计算机,在系统结构上已经具有典型计算机的体系结构,具有中断、DMA等控制功能,在系统设计上考虑了机器间的兼容性、接口的标准化和通用性,外围配套电路种类齐全、功能完善。在系统软件方面,除可使用汇编语言外,还配有高级语言和操作系统。配套外围电路的功能和种类齐全。在软件方面,可使用汇编语言、高级语言和操作系统。8位微处理器和以它为核心构成的微型机广泛应用于信息处理、工业控制、汽车、智能仪器仪表和家用电器等领域。

第三代微处理器和微型计算机(1978~1983年),是16位微处理器时代,这一时期的典型产品是:1978年Intel公司生产的8086、Motorola公司生产的M68000和Zilog公司生产的Z8000。1979年在8086基础上研制成功的8088微处理器,是为了与当时种类齐全的8位外围支持电路相配套,降低系统成本,保护用户投资而设计的。其内部结构与8086相同,但外部总线只有8位,它实际上是后来16位个人计算机的主流型CPU。

第三代微处理器的特点是:采用HMOS高密度制造工艺技术,其集成度高达每片29 000个晶体管,MC 68000集成了68 000个元件,时钟频率为5~40MHz,平均指令执行时间为0.5 $\mu$ s,数据总线宽度为16位,地址线为20位,最大可寻址空间为1MB,具有多种灵活的寻址方式和丰富的指令系统。这一时期CPU的内部结构有了很大的改进。例如,Intel 8086/8088内部采用流水线结构,设置了指令预取队列,使处理速度大大提高。在软件方面可以使用多种高级语言,有完善的操作系统,支持构成多处理系统。总之,其性能指标已达到或超过当时的中档小型机的水平,传统的小型机也从此受到严峻的挑战,而激烈的竞争又促使微型计算机技术以更快的速度发展。

特别是在1982年,Intel公司推出80286微处理器,它是16位微处理器中的高档产品,其集成度达到10万管/片,时钟频率为10MHz,平均指令执行时间为0.2 $\mu$ s,速度比8086快5~6倍。该微处理器本身含有多任务系统所必需的任务转换功能、存储器管理功能和多种保护机构,支持虚拟存储体系结构。地址总线从20位增加到24位,其存储器可直接寻址空间为16MB,时钟频率提高到5~25MHz。从20世纪80年代中、后期到90年代初期,80286一直是个人计算机IBM PC/AT机的主流型CPU。同期的产品还有Motorola的MC 68010。

第四代微处理器和微型计算机(1983~1993年)是32位微处理器时代。这一时期的典型产品有:1983年Zilog公司推出的Z-80000,1984年Motorola公司推出的MC68020,1985年后Intel公司相继推出Intel 80386和Intel 80486,1989年Motorola公司又推出MC

68040 等 32 位微处理器。

1985 年 Intel 公司首次推出的 32 位微处理器芯片 80386, 它拥有 32 位数据总线和 32 位地址线, 直接寻址能力高达 4GB, 同时具有存储保护和虚拟存储功能。集成度达到每片 27.5 万个晶体管, 每秒钟可完成 60 万条指令。同期, 其他一些微处理器生产厂商(如 AMD、TEXAS 等)也推出了 80386 系列的芯片, 使 80386 芯片品种较多, 如按工作时钟频率的不同可分成 16MHz、20MHz、33MHz、40MHz 等, 按内部结构的差异可分成 80386SX、80386DX 等。80386 采用总线速度不同的分级总线结构, 使微机整体性能得到进一步提高。

1989 年, Intel 公司推出性能更高的 32 位微处理器 Intel 80486, 其集成度达 120 万管/片, 是 80386 的 4 倍, 时钟频率从 33~120MHz 不等, 80486CPU 内部还集成了浮点运算协处理器 FPU(相当于 80387)。为了进一步提高微机的运行速度, 解决大容量存储器存储速度较慢的问题, 80486 增加了片内协处理器和一个大容量(8KB)的片内高速缓冲存储器(cache)。并在 CPU 内的指令译码和高速缓存之间采用 128 位总线, 把译码及执行部件扩展成五级流水线, 提高了指令和浮点数据的传送速度, 进一步增强了并行处理能力。80486 首先采用了 RISC(Reduced Instruction Set Computer, 精简指令集计算机)技术, 使 CPU 可以一个时钟周期执行一条指令。由这些高性能 32 位微处理器组成的 32 位微型计算机被称为高档微型机。同期, AMD、TEXAS、IBM、CYRIX 等厂商也推出了相应的 80486 芯片。

第五代微处理器和微型计算机(从 1993 年开始), 是 64 位 CPU 时代。这一时期的典型产品有: 经典的 Pentium(1993 年 Intel 公司推出)、Power PC(1995 年 IBM、Motorola、Apple 联合推出)、Pentium Pro(1996 年 Intel 公司推出)、K5(AMD 公司推出)、Pentium II(1997 年 Intel 公司推出)、Pentium III(1999 年 Intel 公司推出)。

1993 年 3 月, Intel 公司推出的第五代微处理器 Pentium, 俗称 586 或 P5, 在许多方面又有新的突破, 使微处理器技术达到当时的最高峰。它采用 CMOS 工艺制造, 集成度高达 310 万管/片, 每秒钟可完成 100 万条指令。它拥有 32 位寄存器、64 位数据总线、内置 16KB 超高速缓存和高性能浮点处理单元, 浮点处理的能力较 80486 提高了 5~10 倍。Pentium 采用了超标量结构和动态执行(非顺序执行)的新体系结构, 具有两条相对独立的指令并行流水线——U 线和 V 线, 缩短了指令的执行时间。

1995 年 2 月, Intel 公司正式宣布了新一代微处理器 P6, P6 采用 0.6 $\mu\text{m}$  工艺, 集成度为 550 万管/片, 具有两个一级高速缓存(即 8KB 的指令 cache 和 8KB 的数据 cache), 256KB 的二级 cache, 电源电压仅为 2.9V, 主频为 133MHz, 内部采用 12 级超标量流水线结构, 一个时钟周期可以执行 3 条指令, 每秒钟可完成 400 万条指令。同时它在 CISC(Complex Instruction Set Computer, 复杂指令集)/RISC 的混合使用、程序执行等方面都有新的特点。其性能是经典 Pentium 的 2 倍。1996 年经进一步改进, Intel 公司将 P6 正式命名为 Pentium Pro, 该处理器采用 0.35 $\mu\text{m}$  集成工艺, 最高时钟频率为 200MHz, 运算速度达 200MIPS。1996 年 Intel 将 MMX(Multi Media eXtension)多媒体扩展技术用于 Pentium, 推出了多能奔腾芯片(MMX Pentium)。

继 Pentium Pro 之后, 1997 年 Intel 公司又推出了微处理器的新产品 Pentium II, 它是当时世界上运行速度最快、性能最优良的微处理器。在 Windows NT 下, 该芯片的性能非常优越。Intel 公司在 1999 年推出了 Pentium III。Pentium III 的主频为 450~1133MHz。2000 年末 Intel 公司又推出了目前的主流微处理器 Pentium 4。Pentium 4 采用 0.18 $\mu\text{m}$  工艺, 集

成度为 4200 万管/片,具有两个一级高速缓存(即 64KB 的指令 cache 和 64KB 的数据 cache),512KB 的二级 cache,电源电压仅为 1.9V,主频为 1.3~3.6GHz,内部采用 20 级超标量流水线结构。增加了很多新指令,更加有利于多媒体操作和网络操作。

随着超大规模集成电路技术的进一步发展,微处理器及微型计算机的性能将进一步提高。

### 1.1.2 微型计算机的分类

微型计算机的种类很多,型号也各异,对其进行确切分类比较困难。常见的分类方法有以下 4 种:

按字长分:8 位机,16 位机,32 位机和 64 位机等。

按用途分:工业过程控制机与数据处理机等。

按 CPU 或微处理器芯片型号分:286 机,386 机,486 机与 Pentium 机等。

按组装形式分:单片机、单板机与多板微型计算机等。

### 1. 单片机

如果将构成微型计算机的各功能部件(CPU, RAM, ROM 及 I/O 接口电路)集成在同一块大规模集成电路芯片上,一个芯片就是一台微型机,则该微型机就称为单片微型计算机,简称单片机。单片机的特点是集成度高、体积小、功耗低、可靠性高、使用灵活方便、控制功能强、编程保密化、价格低廉,利用单片机可较方便地构成一个控制系统。因此,在工业控制、智能仪器仪表、数据采集和处理、通信和分布式控制系统、家用电器等领域的应用日益广泛。典型产品有: Intel 公司的 MCS8051、8096(16 位单片机), Motorola 公司的 MC68HC05, MC68HC11 等。

一般单片机本身没有软件开发功能,因为单片机内无监控程序或系统通用管理软件,只能放置用户事先调试好的应用程序。随着单片机技术的迅速发展,目前也有部分高档单片机内可固化系统软件,一般面向高档产品,称为嵌入式计算机系统。单片机的开发一般需要开发系统支持。

### 2. 单板机

如果将 CPU 芯片、存储器芯片、I/O 接口芯片及简单的输入、输出设备(如小键盘、数码显示器 LED(发光二极管)装配在同一块印刷电路板上,这块印刷电路板就是一台完整的微型机,称为单板微型计算机,简称单板机。单板机具有完全独立的操作系统,加上电源就可以独立工作。但由于它的输入、输出设备简单,存储容量有限,工作时只能用机器码(二进制)或汇编语言编程输入,故通常只能应用于一些简单控制系统和教学中。国内曾经最流行的单板机是 TP801(CPU 为 Z-80),现已被单片机、系统机(PC)替代。

### 3. 多板微型计算机

也称系统机,把微处理器芯片、存储器芯片、各种 I/O 接口芯片和驱动电路、电源等装配在不同的印刷电路板上,各印刷电路板插在主机箱内标准的总线插槽上,通过系统总线相互连接起来,就构成了一个多插件板的微型计算机。目前广泛使用的微型计算机系统(如 IBM PC/XT、PC/AT、PC386、PC486、Pentium 系列个人计算机等)就是用这种方式构成的。

多板微型计算机也称单机系统,所有的系统软件和应用程序都在系统内的硬盘上或内存中。它功能强、组装灵活。选择不同的功能部件适配卡(如主板、内存条、显示卡、声卡、软、硬盘驱动器、光驱、打印机、键盘、鼠标等)就可以构成不同功能和规模的微型计算机。

### 1.1.3 微型计算机的应用

微处理器和微型计算机的诞生与发展,一方面有力地推动了计算机技术的发展,另一方面也极大地促进了计算机应用的日益广泛和深入。微型计算机诞生前,计算机虽然作为近代伟大的科学成就之一,以其神奇的功能和本领引起了世人的瞩目,但毕竟因其价格昂贵和体积庞大而令人望而却步,只有一些国家重要部门、重要领域、高等院校、科研院所和大型企业才与它有缘。自从微型计算机问世后,它以其极高的性能价格比、性能体积比和极大的使用方便性、灵活性,很快就赢得了广阔的市场,使计算机迅速推广应用到国防事业和国民经济的各行各业、各个领域,引起了社会、经济的巨大变革。今天,伴随着分布式计算技术、网络通信技术和多媒体技术的发展,微型计算机不仅早已进入人们的工作间、办公室,而且已经开始进入千家万户,正在改变着人们的工作、学习和生活习惯。一个全民学“电脑”、用“电脑”的热潮正在兴起。可以预料微型计算机与计算机的应用将以前所未有的速度向着深度和广度发展。

计算机的应用,归纳起来主要有这样几个方面:

(1) 科学计算与数据处理。这是最原始,也是占比重最大的计算机应用领域。在科学研究、工程设计和社会经济规划管理中,存在大量复杂的数学计算问题,如卫星轨道的计算、大型水坝的设计、航天测控数据的处理、中长期天气预报、地质勘探与地震预测、社会经济发展规划的制订等,常常需要进行几十阶微分方程组、几百个线性联立方程组 and 大型矩阵的求解运算,没有计算机是不可设想的。利用计算机则可快速得到较理想的结果。

(2) 生产与过程控制。在工农业、国防、交通等领域,利用计算机对生产和试验过程进行自动实时监测、控制和管理,可提高效率,提高质量,降低成本,缩短周期。

(3) 自动化仪器、仪表及装置。在仪器、仪表及装置中使用微处理器或微型计算机,可明显增强功能,提高性能,减小重量和体积。

(4) 信息管理与办公自动化。现代企事业单位和政府、军队各部门要管理的内容很多,如财务管理、人事档案管理、情报资料管理、仓库材料管理、生产计划管理、信贷业务管理、购销合同管理等。采用计算机和目前迅猛发展的计算机网络技术,可实现信息管理的自动化和办公自动化、无纸化。

(5) 计算机辅助设计。在航空航天器结构设计、建筑工程设计、机械产品设计和大规模集成电路设计等复杂设计活动中,为了提高质量、缩短周期、提高自动化水平,目前普遍借助计算机进行设计,即计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)。CAD技术发展迅速,应用范围不断拓宽,目前又派生出计算机辅助测试(Computer Aided Test, CAT)、计算机辅助制造(Computer Aided Manufacture, CAM)和将设计、测试、制造融为一体的计算机集成制造系统(Computer Integration and Manufacture System, CIMS)等新的技术分支。

(6) 计算机仿真。在对一些复杂的工程问题和复杂的工艺过程、运动过程、控制行为等进行研究时,在数学建模的基础上,用计算机仿真的方法对相关的理论、方法、算法和

设计方案进行综合、分析和评估,可以节省大量的人力、物力和时间。用计算机构成的模拟训练器和虚拟现实环境对宇航员和飞机、舰艇驾驶员进行模拟训练,也是目前培训驾驶员常用的办法。在军事研究领域,目前也常用计算机仿真的方法来代替真枪实弹、真兵演练的攻防对抗军事演习。

(7) 人工智能。人工智能是用计算机系统来模拟人类某些智能行为的新兴学科技术。它包括声音、图像、文字等模式识别,自然语言理解,问题求解,定理证明,程序设计自动化和机器翻译、专家系统等。

(8) 文化、教育、娱乐和日用家电。计算机辅助教学(Computer Aided Instruction, CAI)早已成为国内外高等教育中一种重要的教学手段。目前,它已进一步从大学的课堂走进中、小学和幼儿教育的领地,甚至进入家庭教育。今天电影、电视片的设计、制作,多媒体组合音像设备的推出,许多全自动、半自动“家电”用品的出现,以至许多智能型儿童小玩具,无一不是微型计算机在发挥着作用,显示出奇功。

### 1.1.4 嵌入式系统

嵌入式系统已广泛应用于通信、控制、多媒体、家电、工业自动化仪表及医疗仪器等领域,是目前流行的电路应用与开发技术,它是以应用为中心,软硬件可裁减,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等综合性严格要求的专用计算机系统。嵌入式系统集系统的应用软件与硬件于一体,具有软件代码小、高度自动化、响应速度快等特点,特别适合于要求实时性和多任务的体系。嵌入式系统主要由嵌入式处理器、相关支持硬件、嵌入式操作系统及应用软件系统等组成。

嵌入式系统的硬件部分包括处理器/微处理器、存储器及外设器件和 I/O 端口、图形控制器等。嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器。按照目前的发展趋势,嵌入式系统可以分为以下四类:

(1) 嵌入式微处理器(Embedded Microprocessor Unit, EMPU)。嵌入式微处理器是“增强型”通用微处理器,在工作温度、电磁兼容性以及可靠性方面的要求较通用的标准微处理器高,在功能方面与标准的微处理器基本上是一样的。嵌入式处理器目前主要有 Aml86/88、386EX、SC-400、Power PC、68000、MIPS、ARM 系列等。

(2) 嵌入式微控制器(Microcontroller Unit, MCU),又称单片机。一般以某种微处理器内核为核心,根据应用,在芯片内部集成了 ROM/EPROM、RAM、总线、定时/计数器、看门狗、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM 等各种必要功能部件和外设。有代表性的通用系列包括 8051、P51XA、MCS-251、MCS-96/196/296、C166/167、68300 等;有代表性的半通用系列,如支持 USB 接口的 MCU8XC930/931、C540、C541;支持 I<sup>2</sup>C、CAN 总线、LCD 等的众多专用 MCU 和兼容系列。

(3) 嵌入式 DSP 处理器(Embedded Digital Signal Processor, EDSP)。在数字信号处理应用中,各种数字信号处理算法相当复杂,一般结构的处理器无法实时地完成这些运算。DSP 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计,使其适合于实时地进行数字信号处理。在数字滤波、FFT、谱分析等方面,DSP 算法正大量进入嵌入式领域。比较有代表性的产品是 TI 的 TMS320 系列和 Motorola 的 DSP56000 系列。

(4) 嵌入式片上系统(System On Chip, SOC)。随着 EDI 的推广和 VLSI 设计的普及化,



以及半导体工艺的迅速发展，可以在一块硅片上实现一个更为复杂的系统，这就产生了SOC技术。SOC可分为通用和专用两类，通用SOC如Infineon(Siemens)的TriCore、Motorola的M-Core。专用SOC一般专用于某个或某类系统中。

嵌入式系统是“后PC”时代计算机的主要发展方向，但从技术发展的脉络来看，嵌入式系统是以微处理器为核心的电路系统，所以微型计算机原理及相关的接口知识，仍然是学习、应用嵌入式系统的基础。

## 1.2 微型计算机运算基础

### 1.2.1 计算机中数值数据的表示

#### 1. 机器数和真值

在计算机中，无论数值还是数的符号，都只能用0、1来表示。通常专门用一个数的最高位作为符号位：0表示正数，1表示负数。例如：

$$+18 = 00010010$$

$$-18 = 10010010$$

这种在计算机中使用的、连同符号位一起数字化了的数，称为机器数。而机器数所表示的真实值叫真值。

例如机器数00101010的真值为+0101010(二进制)或+42(十进制)；机器数10110101所表示的真值为-0110101(二进制)或-53(十进制)。如图1.1所示。

可见，在机器数中，用0、1取代了真值的正、负号。

#### 2. 有符号数的机器数表示方法

实际上，机器数可以有不同的表示方法。对有符号数，机器数常用的表示方法有原码、反码、补码三种。

##### 1) 原码

上述机器数表示方法，即最高位表示符号、数值位用二进制绝对值表示的方法，便为原码表示方法。

换言之，设机器数位长为n，则数X的原码可定义为：

$$[X]_{\text{原}} = \begin{cases} X = 0X_1X_2 \cdots X_{n-1}, & X \geq 0 \\ 2^{n-1} + |X| = 1X_1X_2 \cdots X_{n-1}, & X \leq 0 \end{cases}$$

n位原码表示数值的范围是： $-(2^{n-1}-1) \sim +(2^{n-1}-1)$ ，

它对应于原码的111...1~011...1。

例 1.1  $X_1 = 67 = +1000011\text{B}$   $[X_1]_{\text{原}} = 01000011$

$X_2 = -67 = -1000011\text{B}$   $[X_2]_{\text{原}} = 11000011$

在原码表示法中，根据定义，数0的原码有两种不同形式：

$$[+0]_{\text{原}} = 000 \dots 0$$

$$[-0]_{\text{原}} = 100 \dots 0$$

原码表示简单、直观，与真值间转换方便。但用它作加减法运算不方便，因为在两原码数运算时，首先要判断它们的符号，然后再决定用加法还是用减法。致使机器的结构复