

微型计算机应用基础

(上)

白 英 彩 编

376

苏州电子计算机厂

前言

由于微型机价格便宜、操作简便、应用面广、性能稳定，适于教学。在高等院校利用微型机进行计算机教育的益处是：使学生们有更多机会去实际接触计算机，有足够充裕的时间上机实践和进行程序设计练习。以及进行计算机系统设计、组织和应用方面的实践训练。

从概念上说，微处理机其及配套电路基本上都是“数字逻辑”课程中已学到的 MOS 和 TTL 电路的发展。因而，学习微机将使学生所学到的电路知识得到进一步地巩固和提高。

通过微型机课程使学生很容易了解和掌握这些部件的内部结构，进而用这些部件可以组装成一台完整的计算机，借以说明在课堂上学不到的那些计算机设计原理和计算机的总体结构，并在自己组装的微型机上顺利地通过程序设计实习。

因此，微型机能提供计算机科学技术专业的计算机教学的重要内容，几乎是全部的内容。如果说还缺少的，那就是有关大型系统的某些特点。若是这些特点，尚未过时或暂时不过时、还需要学习的话，则可以通过专题课加以弥补。

计算机专业学生和其它有关专业的学生应该在学校里通过学习微型机理论课和实验课掌握微型机及其应用方面的知识，以便走上工作岗位后在暂时不能接触大型机器的情况下而立即着手开展微型机应用工作，从而使自己有更强的适应能力。

“微型机及其应用”课程是计算机专业技术课，也是计算机专业高年级学生必修核心课程之一。通过本课程的学习将形成微型机系统的初步设计、组织调试及其应用的能力，进而正确地选用微处理机及其配套电路、设计接口电路和扩展系统功能，并能熟练地运用汇编语言编写相应的程序。

欲达到这个目的，必须坚持正确的学习原则：

- (1) 硬件和软件密切结合；
- (2) 理论课和实验课密切结合；
- (3) 学习一般原理和典型产品示例密切结合；
- (4) 学好在各行各业中开展微型机应用的共性知识。

本书是从侧重于微型机的应用的角度编写的，但它不是叙述微机在各个专业应用的具体实例，而是叙述微机用于各专业、各部门的共性知识或基本知识（如接口技术，总线结构，开发系统等）。掌握这些基础知识，以形成解决各种各样实际任务的能力。这就是本书称为《微型计算机应用基础》的缘由。

根据教材要“相对稳定”的要求，以及考虑到当前微机领域中还是 8 位微机占据统治地位的实际情况。因此，本书只阐述了 8 位微机的内容。牢牢地掌握了这部分知识之后，就可以顺利地开拓微机领域中其它方面的知识，如位片式微处理机、16 位和 32 位的微处理机，等等。

在上海交大计算机专业、微机训练班和上海电大微机专业班教学中曾多次试用过本教

材，虽取得了一定的教学效果，但由于部分章节的编写过程，尚欠功夫，趁此重印机会，加以修订并增补了微型机操作系统和微机应用实例两章，在修订过程中承蒙戴家林、程杰、汪为农和王家豫等同志给予不少帮助，谨致谢意。书中定有不少欠妥之处，恳请读者指正。

编 者
一九八二年

目 录

(上 册)

第一章 微处理器概论

§ 1.1 概述	(1)
§ 1.2 微型计算机的特点	(4)
§ 1.3 微型计算机的类型	(5)
§ 1.4 大型、小型和微型计算机的比较	(7)
§ 1.5 微型机的应用	(14)

第二章 微处理机的结构

§ 2.1 微处理机的一般结构	(15)
§ 2.2 Intel 8080 的结构	(24)
§ 2.3 Intel 8085 的结构	(32)
§ 2.4 Z80 的结构	(38)
§ 2.5 M6800 的结构	(44)

第三章 微处理机的指令系统

§ 3.1 概述	(46)
§ 3.2 微机中常用的寻址方式	(46)
§ 3.3 指令格式及其类型	(49)
§ 3.4 状态标志	(58)
§ 3.5 Intel 8080 指令系统	(68)
§ 3.6 8085 异于 8080 的两条指令	(95)
§ 3.7 Z80 的寻址方式及其指令举例	(96)

第四章 微型机的汇编语言

§ 4.1 概述	(108)
§ 4.2 Intel 8080 汇编语言	(111)
§ 4.3 宏指令及宏汇编	(122)
§ 4.4 Z80 汇编程序规则	(126)

第五章 汇编语言程序设计

§ 5.1 概述	(131)
----------	-------

§ 5.2	简单程序示例·····	(132)
§ 5.3	循环程序·····	(138)
§ 5.4	数组传送程序·····	(142)
§ 5.5	算术运算程序·····	(145)
§ 5.6	字符处理程序·····	(147)
§ 5.7	子程序·····	(152)
§ 5.8	用 Z80 汇编语言来编写复杂的算术程序·····	(156)

第六章 微型机的存储器及其接口

§ 6.1	概述·····	(176)
§ 6.2	简单的存储器接口·····	(177)
§ 6.3	简单存储器的设计·····	(183)
§ 6.4	设计半导体存储器系统应考虑的一些问题·····	(185)

第七章 微型机的输入输出及其/接口

§ 7.1	概述·····	(188)
§ 7.2	一般的输入/输出过程·····	(189)
§ 7.3	数据传送的程序控制方式·····	(191)
§ 7.4	数据传送的中断方式·····	(197)
§ 7.5	数据传送的 DMA 方式·····	(197)
§ 7.6	输入/输出总线的控制结构·····	(200)
§ 7.7	模拟量输入/输出通道·····	(207)
§ 7.8	一些典型的外围接口芯片·····	(220)

第一章 微处理机概论

§ 1-1 概 述

所谓微处理机(Microprocessor, 简称 μP)是指一片或多片大规模集成电路组成的中央处理部件(即通常的运算器和控制器)及其时钟脉冲发生器和系统控制器。

所谓微型计算机(Microcomputer, 简称 μC)是指以微处理机为基础再配以随机存贮器(RAM)、只读存贮器(ROM)以及输入/输出(I/O)接口电路和相应的其它配套电路。现在已能够把上述各种片子制作在一个芯片上, 即所谓单片微型计算机。

所谓微型计算机系统(Microcomputer System, 简称 μCS)是指由微型计算机配以相应微型外部设备(如纸带输入机、打印机、CRT 显示器、磁带机和磁盘机等)及其专用接口电路、电源面板以及足够的软件而构成的系统, 如图 1-1 所示。

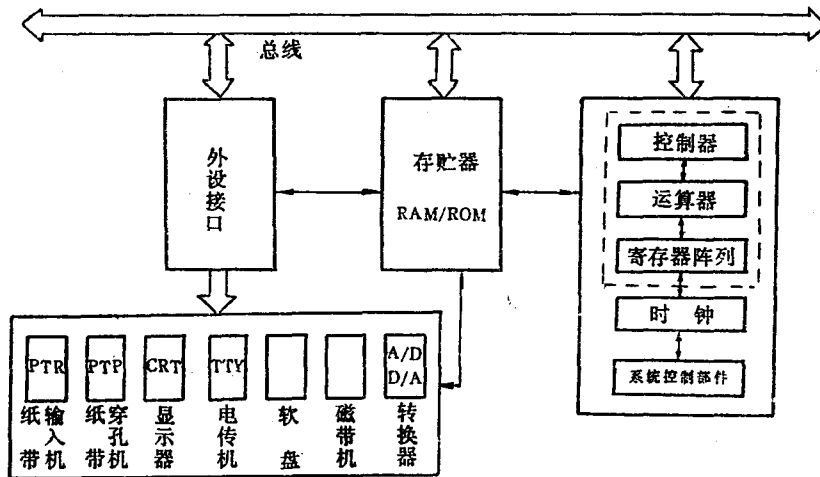


图 1-1 微型计算机系统框图

§ 1-1-1 微处理机和微型计算机的发展概况

1971 年末美国 INTEL 公司首先发表了 4004 微型处理机, 它是实现 4 位、并行运算的单片处理机。所有元件都集成在一片 MOSLSI 芯片上。以 4004 为基础再配以相应的 RAM、ROM、I/O 接口等芯片就构成了相应的 MCS-4 微型计算机。

1972 年 INTEL 公司又发表了 8 位、并行的微处理机 8008 及其相应的 MCS-8 微型计算机。这些都是以 PMOS 工艺为基础制成的, 属于第一代微型机。

1973 年该公司又制成了功能更强的 8080 微处理机及相应的 MCS-80 微型计算机。开创了第二代微型计算机, 它主要是采用 NMOS 工艺制成的。

1974 年该公司又制成了运算速度更快的、位片式 INTEL 3000 系列微型计算机, 采用 STTL 工艺。

与此同时,在美国、日本等国家的一些集成电路生产厂商和小型机制造厂竞相投产微型机。使微型机获得了迅速发展,其性能和电路集成度几乎每年翻一翻,而微型机的产量则每年增长数倍。

1978年INTEL公司又首先发表了第三代微型计算机产品intel 8086微处理机和相应的MCS-86微型计算机。比8080A的速度快7~12倍,采用HMOS工艺构成,片上晶体管数达29000个。接着,Zilog公司宣布制成了Z-8000系列微型计算机,大致上相当于小型计算机PDP-11/45,其性能比前者还好,1979年Motorola公司宣布制成MC68000微型计算机,它有32位地址总线,可执行32位算术逻辑操作。MC68000比Z-8000和Intel 8086还要快40%,每秒执行二百万条指令。将接近于小型机中的高档机种。这是在微型机领域里第三代产品中具有竞争能力的三个典型机种。新的机种层出不穷、数量猛增,性能日益提高。

微处理机虽然仅有十多年的历史,但发展十分迅猛,经历过三代更新,现进入第四代。

1971-73年 4位机,8位机低档,PMOS为主的 μP

1973-78年 8位中档机,8080/8085,6800,Z-80

1978-81年 16位高档机,8086,Z-8000,MC68000

1981年以后 32位更高档机,如HP研制的45万个元件/片的 μP

微型计算机“已经过了摇篮期,处于旺盛生长的青年期”,可谓方兴未艾,有人把微型计算机比拟为第二次工业革命。引起第一次工业革命的蒸汽机给人类以“动力”;而引起第二次工业革命的微型计算机则给人类以“智能”。微型计算机的出现,是电子计算机更广泛地深入到人类生活的重大转折点,它已深入到过去计算机无法深入的领域。因而微型计算机将对整个社会产生重大影响。

§ 1-1-2 微型机迅速发展的成因:

运用辩证唯物主义的观点来分析和看待微型计算机的发生和发展的必然性,可归纳为以下几个因素:

(1) 计算器和终端设备是导致 $\mu P/\mu C$ 出现的重要背景

(A) 计算器促使4位 μP 的诞生

Intel 4040就是作为一种灵活的计算器芯片而研制出来的。在六十年代后期,由集成电路器件构成的计算器迅速发展并普及开来。它的功能很简单,通过一个小键盘接收数据,每次接收一个数字,然后执行所要求的算术运算,最后在一个发光数字显示器上显示出结果。计算器的程序是存在只读存储器(ROM)里的,用户输入的数据则存在小容量随机存储器(RAM)里。

归纳起来,计算器所需要的器件应能满足下列要求:

- 能方便地与键盘和发光显示器相接口
- 能方便地处理十进制(BCD)数字,因此要它一次处理4位二进制数或多个BCD数字
- 能执行ROM中的标准程序并通过RAM处理随机数据
- 具有可靠性、灵活性、价格低、体积小、功耗低等特点,以适应携带方便的要求。

在六十年代中期七十年代初期,已经生产出数以百万计的计算器芯片(每片几美元),但缺乏灵活性,也不能扩充。计算机制造厂不能方便地增加新的功能,用户也不能自己编

程满足新的算法要求。因而，这时计算器便向集成电路厂商提出制造更复杂的、功能更强的计算器芯片。于是在 1971 年 Intel 4040 便应运而生了。

Intel 4040 它具有计算器芯片所要求的一切特点，然而在功能上它已突破了计算器芯片的范畴，由于它具有用户自己编程的特点，使其能实现附加的功能，操纵较多的输入/输出设备。已能够作为微处理机投放到市场。

(B) 终端设备促使 8 位 μP 的诞生

终端设备也是随集成电路的发展而发展的，在六十年代末、七十年代初期，出现了各种终端设备。用来将数据输入至一台远距离以外的计算机去，或是通过电话或其它通信线路发送和接收信息。以满足当时多用户计算机分时系统蓬勃发展的需要。

终端设备，特别是智能终端要求具有以下特点的电路：

- 能以字符为单位进行处理，而 ASCII 字符用得最普遍，它是以 8 位二进制数字(一个字节)构成的，因而要求每次能处理一个或多个字节数据。
- 能方便地与各种输入/输出设备相接口，其中包括键盘、打印机、CRT 显示器、通信设备、磁盘机、盒式磁带机以及其它终端设备等。
- 能执行存放在 ROM 中的标准程序和存放在盒式磁带、磁盘或卡片上的用户程序。
- 对随机存储器有较大的寻址能力，使系统运行各种程序，并能发送一页或帧数据，能对数据块进行处理。
- 能通过指示器对选定的存贮单元进行快速存取。指示器所包含的是存贮单元的地址而不是数据。用户可把某个特定字符的地址放入一个指示器，从而对该字符进行存取。
- 具有灵活性、可扩充性、价格低、体积小、功能低等特点。

在这种需求之下，于 1972 年 Intel 8008 就应运而生了。

Intel 8008 就是第一种能满足以上要求的为终端设备专门设计的微处理机；它能方便地处理字符变量、具有逻辑和移位指令，对处理字符数据尤其有用。其指令系统寻址方式以及多个通用寄存器等都与普通的小型机相似。Intel 8008 虽然最初是专门为终端设备设计的；但它比 Intel 4040 更象一台典型的处理机。事实上也确是如此。它成为 8 位微处理机的开端，作为计算机科学和计算机工业的重要里程碑。而后，在 8008 基础上进一步改善性能，制成 8080 就是目前最流行也是最典型的微处理机。

(2) 半导体集成电路的迅速发展是产生微型计算机的先决条件和物质基础；第一代和第二代微处理机主要是集成电路生产厂搞出来的。

(3) 计算技术的发展，特别是小型计算机(minicomputer)的迅速发展和臻于成熟是促成 μP 和 μC 出现和发展的重要因素，因此有人说，微处理机是迅速发展的 LSI 技术和日益强化的小型机两者相结合的产物。

(4) μP 和 μC 也是为满足计算机市场和社会需要应运而生的产物。

(5) 此外，在军事、宇航、卫星和原子弹等领域由于使用环境需要体积甚小、高可靠性的计算机；在工业自动化领域中常常需要把体积甚小的计算机嵌装于工业设备；机器人尤其需要体积小而功能强的计算机作为“电脑”；在人类难于生存的环境(剧毒、辐射、缺氧和易爆等场合)中特别需要计算机“代替”人进行探索。这些特殊需求也有力地推动了微型机的不断发展。

§ 1-2 微型计算机的特点

如前所述, μC 是在小型机基础上发展起来的, 且移植了小型机的先进技术, 甚至于借用了小型机尚未来得及引用的大型机所采用的先进技术。因而, 微型机比小型机有着更多的优点:

(1) 体积小

与已往各“代”电子计算机相比, 微型机的体积最小, 甚至在约为 0.2 吋^2 的芯片上就可构成有相当功能的单片计算机。

(2) 价格低

微型机要比相应的小型机在价格上低 1~2 个数量级。生产批量越大, 价格就越便宜。一般 μP 每只为 2~12 美元, 组成 μC 时大约为数百美元。如 1981 年市售 Z-80 和 8080 μP 均在几美元。

(3) 可靠性高

由于集成度大幅度地提高, 每个 μP 芯片相当于常规的集成电路数十片或数百片。因而构成 μC 时所用的总的器件数大大地减小, 外连线亦减少, 使可靠性显著提高。

(4) 功耗低

微型机功耗只有小型计算机的 $1/3 \sim 1/4$, 如采用 CMOS 工艺制成的微型计算机, 其功耗还可大幅度地降低。

(5) 灵活性好

单片的 μP 和 μC 本身就是一块大规模集成电路, 它易于构成多种多样的复合系统, 或嵌装于其它设备中作为控制器。

由于 μP 和 μC 大批量生产, 具有标准化和系列化的优点, 这为用户带来了很大方便。

(6) 研制周期短, 投运简便

一般地说, 研制一种微处理机大约需 6-12 人年。因此, 改进性能亦方便, 可在较短时间内吸取一些可能采用的新技术。例如, INTEL 8086 便捷足先登, 抢先在小型机之前采用了一个最佳的 6 字节先行取指队列。这样技术只是大型机重迭指令执行操作中所采用的。由于小型机的研制周期相对较长, 迄今为止尚未及移植过去这种指令先取技术。这种微型机可用于各行各业, 投运相当方便。

为说明微型计算机具有体积小、重量轻、功耗低、可靠性高等优点, 现将世界上第一台计算机 E NIAC 与其功能相似的 8 位微型计算机 F-8 加以比较, 列入表 1-1。

当然, 和小型机相比, 微型机还有一些不足之处:

(1) 速度嫌低

目前的第一代、第二代的 μP 分别采用了 PMOS 和 NMOS 工艺, 从而使 μP 的运算速度受到一定限制。但在第三代的 μC 中, 运算速度已经大幅度地提高了, 例如 Fairchild 公司采用了 ECL 工艺所制成的 μC , 其时钟频率高达 20 兆赫。

(2) 功能较差

初期产品, 字长较短, 内存容量嫌小、指令条数较少、寻址方式不太多、中断级数较少、内部寄存器嫌少、输入/输出接口尚感不敷所需, 等等。但是, 近年来的第三代机种已有长足进步。例如 MC68000 具有 16 个 32 位的通用寄存器、14 种寻址方式、共有 1000

表 1-1 ENIAC 与 F-8 比较

项 目		ENIAC	F-8	说 明
1	体 积	85m ³	0.0003m ³	相差 30 万倍
2	功 耗	140KW	2.5W	相差 5.6 万倍
3	ROM	16K 继电器与开关	16K	
4	RAM	1K(触发器)	8K	F-8 大 7 倍
5	时钟速度	100KHz	2MHz	F-8 快 10 倍
6	电子管或晶体管	18000 电子管	20000 晶体管	
7	电 阻 器	70000 个	无	
8	电 容 器	10000 个	2 个	相差 5000 倍
9	继电器与开关	7500 个	无	
10	加法时间	200ms(12 位)	150ms(8 位)	
11	MTBF	1故障/几小时	1故障/几年	相差 10000 倍
12	重 量	30 吨	小于 453 克	相差 6.6 万倍

种操作码形式的指令，8 级优先权中断，可寻址能力达 16 兆字节。

由此可见，近几年来微型机的发展十分迅速，原来与小型机相比的不足之处已经根本改观。这使得微型机的生命力更加旺盛。

应当强调指出的是，由于微型机与小型机有着很深的渊源。因而，在很大程度上微型机继承了或因袭于小型机的结构特点。例如在微型机中更普遍地采用了微程序控制技术、直接存取主存 (DMA) 方式、多级中断系统、堆栈技术、总线结构方式、多通用寄存器结构、位片式结构，有些新的微型计算机系统还采用了并行和流水线结构、指令先取技术等措施来提高性能。

§ 1-3 微型计算机的类型

可从不同角度对微型机加以分类

§ 1-3-1 按微型机的利用形态分类

根据向用户提供的微型机组装形式可分成下述四种：

(1) 单片微型计算机

它是把微处理机 μP 、1~2K 字节 ROM、64~128 字节 RAM、I/O 片子均制作在一个芯片上而成的。如 intel 8048、8049、8748、[8749; Mostek 3870; Z-8; TI 9940(16 位)。这种单片机主要作为控制用，作为一个电路元件放到仪器和控制设备中去。

(2) 单板微型计算机

这是把微处理机 μP 、一定容量的 ROM、RAM 和 I/O 电路组装在一块印制板上的微型计算机。如 iSBC-80、M68-MCB 等系列均属于单板微型计算机。在印刷电路板上配备有小型键盘和显示装置，在 ROM 中放监控程序。在设计上要求它具有较强的扩充能力以及具有较强的与外部设备接口能力，它比单片机有更大的存贮器容量，因而功能更强，尤其是由于单板机具有串行和并行的输入/输出端口 (port)，便可以方便地配上电传打字机、纸带输入机、盒式磁带机等外部设备。

(3) 微型计算机装置

这是把单板微型计算机、各种 I/O 设备控制器、控制面板、电源等都组装在一个机

架内所构成的计算机装置。它配备有高速纸带输入机、CRT 显示器、打印机、软盘或硬盘等多种外部设备,并具有足够的软件系统。实际上已经接近于小型计算机的系统结构。

(4) 微型计算机套件

这是由生产厂家提供的微处理机、ROM 和 RAM 器件、I/O 接口电路片、印刷板、插座、必要的阻容元件等配套器件,由用户按着说明书和技术手册的规定组装成单板微型计算机。例如微型计算机系统设计套件 SDK-85,它包括 intel 8085、8155 (RAM 计时器)、8355 (ROM) 或 8755、8279 (键盘/显示器用的控制器)、8205 (译码器) 等主要器件及其键盘、显示器、印制板等附件。

§ 1-3-2 按 μP 的 CPU 位数分类

按微型机 CPU 的位数的多少可分成以下几种:

(1) 4 位的 μC

这是初期生产的最低档的 μC (如 MCS-4)。一般是为专门用途而定制的单片机,大批量生产、价格低(几个美元)。近年来新出现的 4 位 μC 均为单片机,应用数量最多,约占整个微型机市场的 70%,可用于控制微波炉、烘箱、冷冻机、洗衣机、缝纫机、电视游戏机、录音机、录像机、计算器、高级照相机、各种仪表和办公设备等。

(2) 8 位的 μC

大都是单片或多片式,作为控制和计算用,如用于机械手、机器人、仪器仪表、交通控制、工业设备控制、数控机床、公害监视、自动售货机、销售点终端等。它是当前微型计算机的主流。

(3) 12 位的 μC

只有英特西尔公司生产的 6100 和东芝公司的 TLCS-12 等产品,再没有什么新的品种。

(4) 16 位的 μC

高档的 16 位 μC ,作为集中式数据处理,势必取代低档和中档的小型计算机。如 DEC 公司的 LSI-11/V03、intel 公司的 8086 和 Zilog 公司的 Z-8000 以及 Motorola 公司的 MC68000 等产品,都是高性能的 16 位微处理机。这表明 μC 正向高速、高集成度方向发展。予期在 80 年代初期可以研制出单片的多微处理机(即每个芯片上制作有 3~5 个 μP)。而 80 年代中期将会出现每个芯片含有上百万个元件的、功能甚强的单片微型机。45 万个元件/片的 μP 已经上市。

(5) 位片式微型计算机

采用双极型工艺制成的 2 位的或 4 位的位片,再根据需要组成一定字长的微型计算机,而且多采用微程序控制。由于采用双极型工艺,所以运算速度很高,如 Motorola 公司的 10800 系列,其最高时钟频率可达 20 兆赫。由于位片式 μC 采用微程序控制,就可以仿真任何流行机种的指令系统,例如 Twopi 公司用 Am2901 位片(4 位的)来组成 32 位的大型计算机,其寻址能力达 4 兆字节,而其软件则用微程序完全仿真 IBM370 系统软件。这样拼成的系统,其功能可以同 IBM370/138 大抵相当,但体积小得多,而价格也便宜得多。因而有良好前景。

§ 1-3-3 按 μP 的工艺分类

还可以按制造 μC 的工艺进行分类:

微型计算机是飞跃发展的半导体集成电路和计算技术巧妙结合的产物,而 μP 本身就是数字式大规模集成电路(LSI)。可概括为两大类:一类是由单极型 MOS(金属氧化物—半导体)场效应管构成的 LSI;另一类是由双极型晶体管构成的 LSI。前者可细分为 PMOS、NMOS、CMOS、HMOS 等等;后者可细分为 DTL、TTL、HTL、ECL、DCTL、RTL、 I^2L 、 I^3L 等等。

第一代的 μC 是由 PMOS 工艺制成的,其价格低、集成度很高,但速度很慢,与 TTL 电路不兼容,输出电流电平低;属于 PMOS 工艺的 μP 有 Intel 公司的 4004、4040、8008、国家半导体公司的 IMP-4、SC/MP、IMP-16 和 PACE、Rock well 公司的 PPS-4 和 PPS-8,以及东芝公司的 TLCS-1 等。第二代的 μP 主要采用 NMOS 工艺制造,其运算速度比 PMOS 高些,但仍低于 TTL 电路的速度,可以做得与 TTL 电路兼容,输出电流电平较低,属于 NMOS 工艺的 μP 有 Intel 公司的 8080、8085、Motorola 公司的 6800、Zilog 公司的 Z-80、MOS 工艺公司的 6502、Signetics 公司的 2650 和 TI 公司的 9900 等。

由于 PMOS 和 NMOS 的集成度高,可以制成单片微处理机和单片微计算机。这两种工艺制成的 μP ,速度较低,电流电平低、必需借助于放大器才能驱动其它电路。

用 CMOS 工艺制成的 μC ,其速度中等,与其它 MOS 工艺相比价格较贵,集成度较低,能与 TTL 兼容。它的突出特点是功耗甚低,抗干扰能力强,能承受恶劣环境条件。因此,CMOS 的 μP 用于汽车、航空、卫星、军用和便携式通讯系统等方面。属于 CMOS 工艺的 μP 有仙公司的 Macrologic、英梯西尔公司的 6100 以及 RCA 公司的 CDP1802 (COSMAC)等。

采用肖特基 TTL 工艺制成的 μP ,其速度比 MOS 和标准 TTL 电路都快,价格较贵,功耗较大,集成度较低,与标准 TTL 电路完全兼容。一般主要用于位片微处理机中,这类微处理机常用来作为在计算机、通信和信号处理方面用的高速控制器。属于肖特基 TTL 工艺 μP 有先进微器件公司的 2900,仙童公司的 Macrologic、Intel3000 等。

采用 ECL 工艺制成的微处理机,速度最快,价格昂贵,功耗更大,难于连接。属于 ECL 工艺的 μP 有 Motorola 公司的 MECL10800 位片式微处理机等。这种 μP 最适于要求很高速度的场合应用,例如计算机主机,高速通信、精密仪器等方面。

I^2L 和 I^3L 工艺的 μP 已有生产,这是一种新工艺,其成熟的程度尚不如其它工艺。

工艺特点决定了 μP 的特点。

通常用速度、集成度、功耗、抗扰度、耐用性、与 TTL 兼容性、工艺成熟性和价格等特点来衡量制造微处理机的各种半导体工艺。这些特点决定了用某种工艺制成的微处理机可以有多高的运算速度,构成一台完整的微型计算机需要多少块电路片,消耗多少功率,能承受什么样的环境条件,与标准 TTL 电路接口的难易程度和生产这种器件的难易情况以及微处理机的价格。

微处理机的每种应用场合都有其主要要求,应根据这种要求恰如其分地选择相应工艺制成的微处理机,现归纳如表 1-2 所示。

§ 1-4 大型、小型和微型计算机的比较

现选取 IMB370/168 作为大型机的代表,这是一种广泛用于数据处理的计算机;选取

表 1-2 应用场合的主要要求与最适用的 μP 工艺

主要要求	最适用的工艺
廉 价	PMOS、NMOS
体 积 小	PMOS、NMOS
高 速	ECL、肖特基 TTL
低 功 耗	CMOS
耐恶劣环境	CMOS
与 TTL 兼容	肖特基 TTL、CMOS
与 CMOS 兼容	肖特基 TTL、CMOS
来 源 广	ECL
标准化程度高	PMOS、NMOS
存储器容量	PMOS、NMOS、肖特基 TTL
软/硬件支援多	PMOS、NMOS
与 ECL 兼容	ECL

PDP-11/45 作为小型计算机的代表，而用 MCS-80 作为微型机的代表。

大型、小型和微型计算机的典型机种的主要性能比较如表 1-3 所示。并作如下说明。

1. 大型机价格昂贵，仅局限于特殊机构应用

这种大型机需要专门训练的程序员、操作员和系统分析员。它具有齐全的外设和丰富的软件。

表 1-3

	IBM370/168	PDP11/45	MCS-80
价格(美元/台)	450 万	5 万	250
字长(位)	32	8	8
主存容量(字节)	8.4M	256K	64K
加法时间(μS)	0.13	0.9	2.0
数据输入/输出的 最大速率(字节/秒)	16M	4M	0.5M
通用寄存器数	64	16	7
外 设	全	多种	PTR FDD UPP
软 件	全	多种	汇编, 监控, PL/M,

因此它主要应用于复杂的科学计算(如全球天气预报、宇航和军事工程等)和大宗的数据处理任务(如银行、保险公司、政府机关、仓库等的数据处理业务)。

2. 小型机和微型机价格便宜，用途广泛并在应用上有以下特点：

(1) 作为 OEM(原始设备制造厂)产品的配套部件或控制部件。整个系统可能是大型机加工设备、生产过程装置或测试设备，采用小型或微型计算机作为其控制部件。计算机在该系统里完成专门的任务如局部数据处理、设备操作的控制等。

(2) 通常采用固定程序。完成专门的任务。

(3) 通常应付实时任务，特别是实时控制任务，在这些任务中计算机必须在特定时刻产生回答，以满足系统要求。

(4) 小型机计算机，特别是微型计算机的程序设计工作与整个系统密切相关，要求设计人员知道计算机的工作细节。硬件和软件常常是交织在一起的。设计人员必须为硬件和

软件分配任务。既要考虑价格也要考虑速度。并编写 I/O 设备的输入/输出数据的程序。因此,采用小型机和微型机去构成一个用户系统。其研制过程相当繁杂、硬件及接口往往是与程序同时进行研制,使用户程序处在与它们最终运行环境所不相同的环境下编写,既麻烦又费时。为解决以微型机为基础的用户系统的研制工程,出现了微型机开发系统,借助于它,可以较好的完成用户系统的研制工作。

3. 关于字长的问题

所谓计算机的字长,是指计算机内部一次可以处理的二进制数的位数。通常,一个计算机的字长由下述条件决定。

- 运算器一次能处理的二进制位数;
- 通用寄存器的位数或累加器的位数;
- 数据总线的宽度;
- 主存的字长

通常,大型机的字长是为 32~64 位,小型机的字长为 16~32 位,而微型机为 4~8 位(第三、四代的微型机的字长将分别增加到 16 位和 32 位,就其功能而言,已与第三代计算机中的小型机相当了)。显然,计算机处理数据的速率与它一次可以处理的位数(字长)密切相关。可以认为,若一台计算机的字长为另一台计算机字长的两倍,则即使两台计算机的运算速度相同,在给定的时间内,前者将比后者多完成一倍工作。

字长较长的计算机执行复杂算术运算比字长短的计算机出色。大型科学计算时需要,而控制方面的题目一般不需要很长的字长。

字长较短的计算机可将数据组合起来输送给大的计算机,短字长的微处理机作为予处理,如图 1-2 所示。

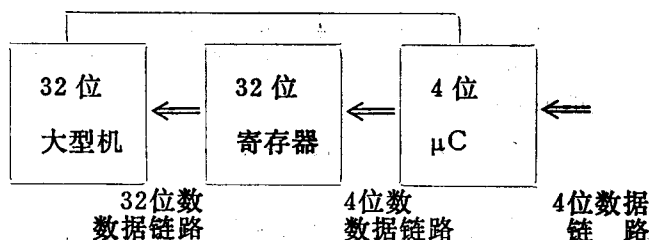


图 1-2 用微处理机向大型机提供数据

4. 存贮容量

通常用字节(或字)数来衡量内存或主存的存贮容量这一指标。它决定了计算机能方便地进行的程序长度和数据量。是决定计算机性能的重要指标。如果程序长度和计算数据超过所允许的存贮容量,则需用辅助存贮器(如磁盘、磁带和磁鼓等),但辅存的速度较慢。

通常,程序计数器 PC(也叫指令计数器 PC)的位数与主存贮器容量有相互对应关系,而 PC 的位数等于地址总线宽度,亦即等于地址寄存器的位数,决定存贮器的寻址范围。它们都反映“地址长度”,这个地址长度与主存容量的关系如表 1-4 所示。

应当指出,一个计算机所能寻址的范围,不等于该机的主存的实际容量。例如 Motorola 公司的 MC68000 微处理机的寻址范围可达 16MB,但实际上并不一定安装那么多容量的存贮器件,这要视具体需要而定,但是,实际需要的存贮容量,超过它的寻址

表 1-4

地址长度(位)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
主存容量(字节)	256	512	(= 1024)	2K	4K	8K	16K	32K	64K	12K	256K	512K	1M

能力时,则就无能为力了。

5. 指令执行时间

计算机的性能与其指令的执行速度密切相关,而其中的加法指令能在较大程度上反映出计算机运算速度的情况。在执行指令时间方面 IBM370/168 比 MCS-80 快 7 倍,但前者的字长是后者的 4 倍,因而前者的处理能力约为后者的 28 倍。

一般地说,若字长较短,则寻址速度较慢,平均指令执行时间就较长。

除了执行指令时间以外,计算机指令系统的指令条数和复杂程度也会影响计算机的处理能力。例如,一般小型机和微型机没有硬件乘除法指令,欲执行乘除计算时,则需要用多次重复加法和减法指令的办法实现,这就降低了它的处理能力。

应当指出,计算机的字长与其指令条数和平均执行时间有很大关系。在一个指令字中用来识别指令的字段,称为操作码字段,该字段的长短与可能识别的指令条数有如下关系:

操作码字段位数	3	4	5	6	7	8
可能识别的指令条数	8	16	32	64	128	256

字长较长时,在一个指令字中,除了操作码字段占用 7、8 位以外还可以留出许多位供确定数据的地址。在短字长的微处理机中,通常用一个指令字来代表操作码,这时就只好用其它的字来表示操作数的地址了。因此微处理机采用的是多字节指令格式。

6. 数据输入/输出的最大速率

大型计算机通常具有高速磁盘系统和其它高速设备,以使用高的输入/输出速率(数百万位/秒)来传输数据。

大型机或高档小型计算机,通常都用功能较强的指令和硬件专门来处理输入/输出数据。只用很少几条指令便可以启动输入/输出通道和控制器,而这些通道和控制器一经启动,便可以传输大量数据,且不需要处理机的干预,而一般的微型计算机就欠缺这种能力。

另外,微型机的字长较短,也影响到计算机对 I/O 设备的处理能力。字长较长的计算机更容易识别大量 I/O 设备地址。

因此,小型和微型计算机适用于低速应用,涉及到人机对话的场合(如电视游戏机、现金出纳机、销售点终端等)对微型机来说是合适的。因为人的响应时间为十分之一秒。此外,对于变化缓慢的物理参量(诸如温度、压力、流量、液面等)进行控制来说,微型机也是很适用的。

7. 通用寄存器的数目

假如计算机的通用寄存器数目较多,则可以用这些寄存器来保存最频繁使用的数据(如操作数)和中间计算结果,就可以减少与存储器打交道的次数,因为向存储器存取一个

数据所需要时间比从寄存器中存取一个数据的时间长得多,有时相差一个数量级。可见多通用寄存器对计算机的性能有着密切关系。可以认为,寄存器组就是 CPU 内部的小存储器。寄存器与主存的关系,犹如主存与辅存(如磁盘、磁带存储器)的关系一样。

因此,现代大型计算机中常常在 CPU 内采用几十个乃至数百个通用寄存器,而微处理机内的通用寄存器数目尚为有限。这也是微处理机的处理能力和运算速度较低的一个原因。

8. 外围设备

在现代的计算机中,外围设备将占据重要地位。在一部计算机系统硬件中,外围设备所占的成本是总成本的绝大部分,而对于微型计算机来说,更加明显。一个中央处理单元芯片常常是几元,而外部设备则是成千上万元。一台计算机可采用哪些外围设备对于程序研制和系统接口都有重大影响。采用高速输入/输出设备和海量存储器,使程序研制工作方便得多。否则,采用低速外围设备,等待程序和数据的输入/输出将花费大量机器时间。

9. 软件

软件是否齐全既可视为一部计算机系统的技术指标,亦可视作计算机系统的组成部分。严格来说,现代的计算机离开软件(包括系统软件和应用软件)是不能工作的。因此,确切地说,系统软件应该是构成计算机系统的重要组成部分。就整计算机系统价格而言,系统软件和某些应用软件常常是其总价格的大部分。而且,相对于硬件而言,软件的价格一直在上升!

软件的可用性既影响研制过程,又影响设计新程序所需的工作量。良好的系统软件使用户方便地完成用户程序的研制工作。

通常,一部大型计算机有着丰富而齐全的软件,而微型机系统的软件就显得贫乏得多。

由于微型机的应用面广,存储容量小,外部设备数量有限,这常常给微型机程序编制工作带来极大的麻烦。同样,大部分的通用语言都是面向科学计算和商业数据处理,而很少面向控制任务的。因此,要有效地进行微处理机的软件研制工作,就需要良好的软件研制工具。

在这里只能对微型机的软件情况作一个概括的论述。

当利用微型机完成某一控制任务或解算一个题目时,就得预先为其编制出一套完整而有效的工作程序,总称为程序系统(亦称软件)。所谓“程序”,就是指令的有序集合。软件与构成 μC 的各实体部分(称硬件)一起组成微型计算机系统。可见,软件已是计算机系统不可缺少的组成部分。它的作用是利用硬件本身的逻辑功能协调各种设备的动作,以高效地实现计算过程,从而部分地替代了人在系统中所承担的工作,使之在没有操作员干预下,整个系统高效地、自动地工作。微型计算机的软件系统大体包括以下四个部分:

- 程序设计语言
- 系统软件
- 应用软件
- 工具软件

(1) 程序设计语言。它是人与计算机通讯的基本手段,对用户来说,它又是描述解题算法的工具,而对计算机的加工系统来说,它还是信息的源泉和加工依据。从语言的性质

来分,有机器语言、面向机器的语言、面向过程的语言或面向问题的语言。每种语言均有相应的处理程序,它用来把采取程序设计语言所编写的源程序翻译成机器能“懂得”的机器语言程序(或称目标程序)。具体地说,所谓程序设计语言就是在计算机中用来为传达信息而用的特定字符所组成的表示法、约定和规则的集合。通常分为机器语言、汇编语言和高级语言等三类。

机器语言。这是一种用机器码(即指令码)来编制的程序,这些代码不需翻译就能直接被计算机所接受,由于计算机不经翻译就直接“懂得”这种语言,故称机器语言,它使用绝对地址和绝对操作码。这是一种典型的面向机器的语言,与计算机的具体结构紧密相联,因而同一个问题在不同机器上计算,就得使用不同机器指令码编写出不同的程序才行。而且,人们只得以手工方式编制程序,既慢又易出错。为克服这个缺点,人们创立了各种各样的程序语言,其中有三百多种专用语言和近百种通用语言。但有实用价值和理论价值的语言为数不多。

汇编语言(初级语言)。目前的微型机系统已普遍地配备了这种面向机器的符号语言,即汇编语言。通常包括基本指令和宏指令两种形式。基本指令与其机器指令一一对应(每条指令执行某一操作);宏指令则是一种表达多条基本指令功能的汇编语句,用以表达由一串基本指令组成的子程序。这样可以缩短源程序的长度。用汇编语言编写的源程序必须“翻译”成 μC 能“懂得”的机器语言组成的目标程序,实现这个“翻译”功能的是汇编程序,其任务是:把符号书写的指令操作码转换为与其对应的机器指令操作码,把宏指令转换为一串基本指令;把相对地址转换为绝对地址并能存取以操作数符号表示的数据。目前, μC 仍以汇编程序为主,根据 μC 内存容量和I/O设备的情况,可分为自汇编和交叉汇编。自汇编就是把汇编语言编写的源程序直接在该机器上将它汇编成目标程序,因而要 μC 有足够容量来存放汇编程序。由于RAM器件越来越便宜、软盘和高速打印机等I/O设备的发展,这种自汇编日益普遍。交叉汇编就是利用一台内存容量大、外部设备完善、处理能力强的中小型计算机作为主机,把用户提供的源程序放在主机上进行汇编。最终将输入的源程序翻译成 μC 所需的目标程序。在汇编过程中两台机器的程序彼此相互作用,故称交叉汇编。汇编语言是与机器类型密切相关的语种,它可以直接操作到机器内部的一些工作寄存器,因而应用程序的效率高、汇编速度快、占内存空间较小。但因与机器结构密切相关,必须仔细了解各机器指令系统才行。难学、难编、费时、繁琐。所以从使用角度来说,称它为初级语言。

高级语言(编译语言)。相对于初级语言来说,那些比较接近于日常用语的程序设计语言(如FORTRAN、BASIC、PL/M等)编译语言,则与机器无关(即不依赖于机器指令结构)。它们相对来说易编、通用,而且编出来的程序较短,对用户来说是方便的,故称之为高级语言。它是面向问题或面向过程的语言。它不像汇编语言那样,由汇编程序产生的机器指令和源语句是一一对应的,而用编译语言所写的一个源程序语句,经过编译程序编译之后等价于多条机器指令。因而,用户使用编译语言时,不必深究各种机器的硬件结构,可集中精力解决处理问题的算法,提高编制程序工作的效率,以促进普及计算机的应用。但用高级语言编写的程序在语言处理方面所花的时间(编译时间)比汇编时间来得长,机器效率嫌低。通常,高级语言由语句说明和语句两个基本部分构成,每个语句表达一定的操作内容,在功能上相当于一或多条机器指令。不同的高级语言所适应于处理的问题