

微处理机与微系统 增刊

8086/8088

16 位微处理机基础



《微处理机与微系统》编辑部

microprocessors and
microsystems

• 16位微型机丛书 •

8086/8088

16位微处理器基础

C. L. Morgan
Mitchell waite 著

王振华 译

张 弋 /

中国电子学会 湖南电子学会
《微处理器与微系统》编辑部

8086/8088
16位微处理机基础

责任编辑 贺光辉

《微处理机与微系统》增刊

编辑 《微处理机与微系统》编辑部
出版 中国电子学会 湖南电子学会
印刷 湖南省农科院印刷厂
发行 湖南省电子应用研究中心
刊号 湖南省报刊登记证第51号

0400

目 录

第一章 结 论	(1)
§ 1.1 什么是16位微处理机.....	(1)
§ 1.2 本书内容简介.....	(1)
§ 1.3 16位微处理机的特点.....	(1)
§ 1.4 8086/8088概况	(4)
§ 1.5 8086软件介绍.....	(6)
§ 1.6 本书的编排与阅读方法.....	(7)
第二章 16位微处理机的基本概念	(9)
§ 2.1 微型计算机概貌.....	(9)
§ 2.2 基于8086/8088的系统	(16)
§ 2.3 数据类型与数.....	(20)
§ 2.4 几种16位机的概念.....	(24)
§ 2.5 低级微处理机程序设计.....	(34)
§ 2.6 16位处理机汇编程序的开发.....	(36)
§ 2.7 本章小结.....	(42)
第三章 8086和8088通用处理机	(43)
§ 3.1 开发8088的目的.....	(43)
§ 3.2 8088与8085的类同点.....	(45)
§ 3.3 8086/8088 CPU的主要特性:概述	(46)
§ 3.4 流水线结构.....	(48)
§ 3.5 寄存器组.....	(49)
§ 3.6 信号及引出线.....	(51)
§ 3.7 寻址方式.....	(56)
§ 3.8 存储器结构及分段法.....	(58)
§ 3.9 指令系统.....	(60)
§ 3.10 典型指令的机器语言	(86)
§ 3.11 程序实例.....	(88)
§ 3.12 本章小结.....	(91)
第四章 8087数值数据处理机	(92)
§ 4.1 数的处理.....	(93)
§ 4.2 8087 NDP 用作协处理机.....	(95)
§ 4.3 8087 NDP用作8086/8088 CPU的扩充.....	(96)
§ 4.4 8087 NDP的数据类型	(98)

§ 4.5	NDP 堆栈的使用	(100)
§ 4.6	8087 NDP 的指令系统	(102)
§ 4.7	控制字与状态字	(104)
§ 4.8	异常处理	(105)
§ 4.9	程序实例	(105)
§ 4.10	本章小结	(110)
第五章	8089 输入/输出处理机	(111)
§ 5.1	关于输入/输出	(111)
§ 5.2	外围处理机与协处理机	(116)
§ 5.3	本机/远程方式	(117)
§ 5.4	8089 IOP 的工作原理	(118)
§ 5.5	8089 IOP 寄存器组	(120)
§ 5.6	8089 IOP 的寻址方式	(122)
§ 5.7	8089 IOP 的指令系统	(122)
§ 5.8	8089 IOP 的程序实例	(124)
§ 5.9	本章小结	(127)
第六章	8086/8088 的芯片	(128)
§ 6.1	时钟发生逻辑	(128)
§ 6.2	总线接口逻辑	(129)
§ 6.3	系统控制器与外设控制器	(134)
§ 6.4	本章小结	(146)
第七章	8086/8088 程序十一例	(147)
§ 7.1	系统的建立	(147)
§ 7.2	程 序	(151)
§ 7.3	本章小结	(189)
第八章	现状: 8086/8088 产品及程序	(190)
§ 8.1	两条腿走路	(190)
§ 8.2	前四年的回顾	(191)
§ 8.3	IBM ACORN	(195)
§ 8.4	本章小结	(197)
附录 1	iAPX186 和 iAPX286	(197)
附录 2	Intel iAPX432 32 位微处理机	(199)
附录 3	8086/8088 指令系统	(209)

第一章 绪 论

§ 1.1 什么是16位微处理机

16位微处理机是硅材料专家和集成电路制造者研制成功的新一代微型计算机芯片。它是为替代和完善七十年代引起微型计算机革命的8位微处理机而设计的功能强得多的器件。16位微处理机之所以如此重要，原因是它在结构上的一些改进，并且，在某些计算方面较之8位芯片要强四千倍，而价格却与其相当。这种惊人的能力将以智能产品的形式显露出来，从而对社会产生不可估量的影响。这是因为，16位微处理机可使产品具有某种智能。这将使我们更有可能在最终产品方面进行一场更深刻的革命。这些最终产品包括：能听会讲的智能机；三维彩色显示器；借助你的电话便可访问大型数据库的先进通信网络；智能化（即计算机化）的汽车；可随从居民搬迁并能实现最大能源利用率的时髦居室等。

§ 1.2 本书内容简介

本书介绍问世最早、功能最强、应用最广的一种16位微处理机——Intel 8086（同时还介绍8086的姊妹芯片8088，我们说的8086通常是指上述这两者）。介绍8086的工作原理、配置构成及如何发挥其功能优势。由于8086是最先投放市场的16位芯片，因此，现已建立起坚强的后盾；已拥有相当广泛的用户和生产支持产品的厂商。它也是市场上几种主要的16位芯片中价格最便宜的一种。

本书简明实用地介绍了8086及其所有支持芯片系列，同时还介绍了其增强型芯片186、286和486。假如你已掌握Intel公司较早推出的广为流行的8080芯片，那么你一定想进一步熟悉功能更强的8086芯片。再者，由于8086是8080的逻辑扩充，对已掌握8080的人来说，要熟悉8086是很容易的。由于本书深入浅出地论述了8086及其系列芯片的基本情况，因此，对于已掌握8位机面想进一步了解16位机的读者来说，本书不仅是一本手册，而且是一本基础教材。

§ 1.3 16位微处理机的特点

16位微处理机的特点是能并行处理16位（而不是8位）信息。实际上，16位微处理机能够处理包括8位和16位两种基本字长的数据，原因在于16位处理机的主要机构是8位机的主要部件的两倍。此外，由于16位机处理的每个数据段可为8位机数据的两倍长度，故其处理精度可提高许多倍。8位所能表示的最大数为255（ 2^8 ），而16位可表示的最大数为65535（ 2^{16} ），较前者增加256倍。因此，采用不同的数值表示格式，可以大大增加数值表示范围和精度。有趣的是，8086/8088仍沿用面向字节的指令系统，即对8086/8088来说，一条机器语言指令占用1~6个存储器字节，而对于8080之类的处理机而言，一条机器语言指令仅占用1~3个存储器字节。因此，16位处理机将拥有更丰富、更通用的指令系统。同时，由于16位处理机能处理16位数据块，故能以每次两字

节的速率获取它的指令。这种16位能力也可在其它方面提高处理机的速度。举例来说，16位处理机可以在一次传送中发送或接收一个16位数据，而8位微处理机则需用两次独立操作来实现。此外，因为在16位CPU的寄存器中表示和运算16位数据都很方便，故能更有效地发挥软件功能。而在8位微处理机中，16位操作通常要分两步来完成。要完成一个16位指令的作业，8位机往往需用四倍数目的指令。

16位功能仅是16位微处理机的特点之一。除了双倍数据字长所起的作用之外，16位芯片制造者决心克服重重困难而提高其计算功能。为了实现这一目标，他们在芯片上采用了更为复杂的电路。我们知道，微处理机实际上只不过是在一块微小芯片上用成千上万只晶体管做成的计算机部件（这些晶体管是一些微细的放大器，它们允许受控电子的流动）。这是采用缩微光刻技术将晶体管刻蚀在硅片上，再放入电化学环境中进一步加工，尔后切割封装成许许多多计算机芯片。

硅片上所能容纳的晶体管数量取决于微缩化的程度。晶体管数量越大，所能承担的工作就越复杂。在开发8086的过程中，为了进一步缩小晶体管的体积，采用了微细加工技术。8086系列采用了一种新的HMOS（读作h-moss）的硅片制造工艺。用这种工艺可以在一块单独的微处理机芯片上集成七万多只（或更多）晶体管。这就保证了16位芯片制造者得以制造更复杂的硬件线路。例如，目前有些芯片已拥有片上乘、除指令。由于乘、除直接由硬件完成，无须软件模拟，这就大大加快了算术运算的速度。由于有这么多的晶体管，故可以将某些复杂的中断机构（采用内部中断优先电路）直接做在芯片上。这样，只要再略加些硬件，就可有效地实现对多个I/O设备的控制。

16位芯片还有一些8位芯片远远不及的地方。例如，16位芯片提供的存储空间较之8位芯片要大得多。就8086/8088来说，可读/写1M字节的存储空间。而大多数8位芯片所能读/写的最大存储空间仅有64K字节。这就为程序员设计功能更强、更复杂的计算机程序提供了保证。运行一个支持高档计算机产品的高级操作系统，需用大约256K字节的存储空间。拥有大容量的存储器亦意味着使几个用户极易共享同一计算机。一般说来，十六个用户共享一台有1M字节的字处理机较为合适，每个用户都拥有一台与中央处理机8086通信的8088终端机。

而16位微处理机最奥妙、最引人注目的地方，还在于其智能特性的分布。16位机芯片配置有较之完成专门任务的单个处理机功能强得多的计算机构。但是，8位机在一个系统中通常要完成所有的计算，而16位微处理机则将该计算任务划分为若干适合于任选专用芯片的子任务。这就是，对于简单运算无须动用专用芯片，而在需要时则可动用所有这些芯片。目前，已有实现浮点算术运算（包括三角函数）的专用芯片，此外还有能自动完成特殊I/O操作（无须用主处理机）的芯片。

这些协处理机或附加处理机不只是一些简单的支持芯片。实际上，它们是派专门用途（以前，这种专门用途可能要求包含多块大型电路板）的完整微处理机，故也称为专用处理机。Intel 8087算术芯片就属于这种处理机。它本身功能极强，有自己的程序设计语言，能在相当短的时间内，实现高精度计算。在一台16位微处理机上，用软件来计算一个双精度的平方根（53位精度）要花近20mS，而用一块专用算术芯片则只需36 μ S左右，后者比前者快300多倍（当然，实际操作环境并不希望保持这种超运行

速率)，这就大大简化了冗长而死板的存储器仿真程序。某些高级语言，如BASIC、Pascal与这种芯片联用，将意味着不仅程序运行得相当快，所用存储空间亦很少，而且又便宜又可靠。这些算术芯片或协处理机的用途已超出了科学处理或扩充高级语言指令系统的范围。例如，用一块算术芯片和一块8088芯片可以组成一台成本低、性能高的工业控制机。这就能使一些复杂方程得以实时求解。数字记录、谱线分析、音乐合成、语言识别、通信等，都要用到这种速度。

设计者除实现了16位微处理机有创新的连接外，还设法实现了一些绝妙的技巧。随着计算机硬件成本的降低，复杂而耗时的工作要数计算机的编程，这是所有基于微处理机的产品最费钱的开发工作。对过程控制机、事务计算机或个人计算机来说，同样存在这个问题。设计者集16位微处理机芯片功能之大成，使得程序可以在存储器中方便地转移，而不会有什么困难。如果你要开发功能更强的软件，实现程序在存储器中转移的功能则很重要。例如，这种功能可使某一程序在扫描期间自身重新组合，以建立适用于每种单一应用的大容量存储器的专用型。就16位微处理机而言，由于大量程序可以很容易地重新定位，因而使得各制造厂商的程序能协调地工作。

16位微处理机另一得到增强的功能是检错。这是一个往往被微计算机工业所忽视的问题。不能正确处理错误的程序将会引起操作方面的问题。例如，如果计算机的检错功能差，则错误可能检测不出来，使程序运行的结果不可信。如果纠错功能弱，则会使程序失效，以致于前功尽弃，只得重新启动。反之，假如有完善的纠错功能，则当错误发生时，程序能自动定位并能继续执行。16位处理机普遍都加强了错误检测功能。对算术处理机来说，这一点显得尤为重要。譬如，如果在除法指令中存在错误（如溢出、除数为零等），则微处理机一旦发现这个问题，便会调用中断处理程序。中断处理程序有条不紊地进行中断处理。先给控制台送一个信息，使控制返回到该处理程序，打入更合适的值（或根据需要进行）。有了这样一种可靠的纠错机构，就有可能设计这样一些程序，它们既不会中止系统，也不会破坏系统。有了这样一些功能就可保证在16位微处理机上运行诸如C、UNIX、Pascal、Forth以及Ada之类的高级语言和操作系统。

8086为大量用户产品提供了这样一种潜力，即高速、高效运行复杂用户程序的能力。在目前使用微计算机芯片的特殊产品中，可通过16位微处理机芯片极大提高本产品的性能。8086微处理机芯片尤其适用于高档个人计算机（如具有图形处理功能的小型事务处理机）、电视游戏机、汽车、炊具计算机、打字机、应答机及收音机等个人消费品。由于强功能16位机芯片的渗入，语言通信设施将在八十年代的计算机产品中居重要地位。例如，个人计算机将配置提问和应答程序，自动售货机将不用按键，只用一个硬币入口、一个询问器和一个麦克风。人们同这样一些智能机器对话，将会变得象用喷嘴饮水那样平常。

由于8086的价格并不比8080高多少，最终甚至会低于8080，这就使其有可能出现在对重量、成本和高级智能要求苛刻的场合，例如，用于飞机、武器等。用8086以伺服方式分别控制飞机的各子系统，将使整个飞机操纵起来较以往更精确、更迅速、更可靠。数学处理机可用于导航控制系统，这样就使8086同自动引导系统紧密结合起来。不难预料，采用大量16位处理机芯片，将使喷气战斗机本身拥有高度智能。这样，飞行员就可

以在地面的模拟仓中，通过计算机指挥作战了。

然而毫无疑问的是，8086将首先打入竞争日益加剧的个人和家用计算机市场。1981年8月，IBM宣布了他们的第一台个人计算机（IBM PC）。这种个人计算机除可以运行市场上大量8位机软件外，还选用了8088作为中央处理器，因此引起了轰动。8088的内部结构类似于8086，唯独外部采用了8位数据总线。这就使它极易同通用流行而廉价的8位I/O芯片及存储器芯片接口。IBM PC由于选用了强功能的8088作为CPU，故成了市场上功能最强的个人计算机之一。也由于8088的使用，IBM可以开发和使用功能极强的软件。此外，IBM PC亦提供了一个8087芯片的插座。在典型的IBM PC中，配有8087“数值捣弄”芯片，从而使IBM PC成为一个数学奇才。

8086要打入低成本的电视游戏机中的可能性，目前还不怎么大，但它有可能出现在高档电话应答机中。8086辅以数值捣弄芯片和I/O处理机，就可将信息存储在机内RAM中，而无须借助磁带。由于8086强有力的语言结构，故可以想象，这类高级电话应答机不仅配有信息提取式计算机系统，而且还可包括约会提示程序及电子邮件功能。

8086还可用于电话系统的数字专用交换机。专用交换机（PBX）是一种由一个或数个接线员操纵的，把许多事务电话同外界接通的通信装置。有些PBX把系统中的每部电话机转接到智能控制台。大多数PBX由一个或数个接线员来操纵呼入电话和长途呼出电话。有了8086，就可由一种配有人工合成语言的智能计算机充当接线员。这种智能计算机可以发出“您好！这里是XYZ公司，有何贵干？”来应答呼叫，并能成功地反应呼叫语调，如“请接哈维·默德”之类。此外，计算机总是以友好、和气的口气向传呼人员发出问候信息，从不象现在某些接线员那样含糊其词，使人厌烦。自动PBX甚至还能将其无法处理的呼叫接到值班室或接线员那里，并说明无法处理的原因。可以肯定，诸如8086之类的16位微处理机在当今的机器操纵、机器性能及人一机联系等方面产生巨大的影响。人们只希望它带给人类的是光明和希望，而不是灾难。

§ 1.4 8086/8088概况

鉴于本章属绪论，故这里只简述8086/8088的一些最基本的特征，以便为进一步学习以后各章作些准备，后续各章将深入介绍整个芯片系列。

8086和8088是在普及型8080 8位微处理机基础上加以逻辑扩充而成的16位微处理机。8088在内部结构上与8086极其相同，所不同的只是外部数据总线为8位，其目的是使8088能同现有其它8位总线相兼容。而8086则为16位数据总线。8086中的6意指数据总线为16位，8088中的8意指数据总线为8位（内为16位，外为8位），两者均指硬件数据总线的宽度。而在内部，它们均具有相同的位宽和相同的指令系统。为了提高计算机的速度，两者都采用了指令队列的概念。芯片内部有一块称之为指令队列的区域，用以存放指令的若干字节。当计算机已准备好执行第二条指令时，由于整条指令事先已被放入队列，故处理机无需再从存储器取出多个字节。这样，就避免了地址和数据总线的紧张现象，因为不需要象8位机那样经常访问存储器。计算机总线犹如高速公路，亦有高、低峰之分。8086的奥妙之处，就在于它的队列能够调度“车流”，将高峰时的“车流”疏散到松弛的低峰，从而更加有效地控制了流量。由于有效地利用了总线，增加了

总线宽度及运行速度，因而为其它设备提供了更多的总线利用时间。8086队列长度为6字节，而8088队列长度为4字节。这也就是8086较8088效率更高的原因所在。

8086可访问1M字节的读写存储器（ 2^{20} 字节RAM）。但它采用了一种称之为段（Segment）的存储器寻址方式。段中，指定的段寄存器将自动增1的基地址加到机内16位用户地址上。尽管8086中只有四个段寄存器，但可用基地址（段寄存器给出）以16字节为单位，对1兆字节的存储器空间进行寻址。至于为何要这样做，以及如何实现它，这将在第二、三两章讨论。

部分地址线与全部数据总线被多路转接到16个引脚上。其余4位地址线由四个用于状态的附加引脚提供。为了对地址和数据总线实现多路分配，需要采用一个外部时钟及一个外部总线控制器。图1.1示出了8086/8088的内部寄存器组的结构。

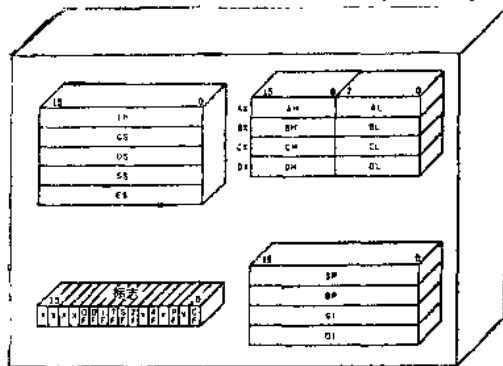


图1.1 8086/8088内部寄存器组的结构

8086有很强的中断结构。为保证良好的中断操作，几乎所有8位微处理器都需附加外部芯片。8086划分出约1000个存储器单元，用以存放256个向量指针。8086的I/O操作是在一个称之为I/O空间的独立存储空间进行的。I/O空间的容量为64K字节。为使用协处理器，8086还设有一个专用TEST（测试）输入脚，用以了解何时协处理器完成了作业。当发出一条WAIT（等待）指令时，8086便暂停其当前操作，并等待协处理器或其它硬件设备，在TEST引脚得到响应之后，便继续运行。8086还设有浮动地址码和栈处理机构（后面将解释这些术语）。它有16位的带符号算术指令，其中包括乘、除、高位操作，可中断的串操作（能对文本串进行自动扫描，在文本串匹配或失配时能自动停机）。这对串处理是相当有用的，因为它能极大地提高操作速度。

8086除拥有全部8080的寄存器外，还新增加了几类寄存器。其中，原8080的三个寄存器对（HL、BC、DE）现称为BX、CX、DX。这些寄存器既可用作8位寄存器对，亦可作为16位寄存器（视具体情况，灵活应用）。8080的累加器在8086中称为AX，共16位，其中低8位仍可用作8位累加器。8086还新增设四个16位寄存器，这在芯片竞争日益加剧的情况下，将越来越显示出它的优越性。这四个寄存器均为段寄存器，称之为CS、DS、SS及ES（如图1.1所示）。它们用于8086的分段寻址方案。由于有了这些寄存器，就可随时分别通知计算机：在1M字节寻址范围内，某段程序、某个数据以及堆栈等究竟处在什么位置。另外，还有四个16位寄存器：堆栈指示器（与8080相同），基址指示器，两个变址寄存器——源变址寄存器及目的地变址寄存器。

8086有极高的操作速度。若采用5MHz时钟，用绝对寻址方式，在1M字节存储空间内取一个数（或指令）到累加器仅需2mS。若采用8MHz时钟，则一条绝对寻址指令只用1.25mS。甚至更高速度的芯片亦将问世（或许在1mS之内就能完成上述操作）。

8086在255密耳见方的硅片上集成了29000只晶体管，而体积只比8080大27%左右，因此，它的成本很低。

除8086外，另外还有两个协处理机。8087数值数据处理机为8086提供高速浮点运算功能。由于8087的本机数据总线和地址总线与8086的相重叠，所以只要稍为改变跨接线且无需另加硬件便可连上8087。8087监视8086的指令流，寻找自己的指令。它可独立执行其指令，而不依赖于8086。另一个协处理机系8089 I/O处理机，它是专为高效率传送数据块而设计的。它有两个通道，可以利用这两个通道方便地交替进行输入和输出。其本机总线也同8086的相重叠，但有自己独立的指令系统。8086配上这两个协处理机便可构成功能极强的计算机。

§ 1.5 8086软件介绍

软件是一个非常重要的部分。“没有软件，微处理机将是一个废物”。这意味着，要想充分应用微处理机，就必须具有大量能在其上运行的计算机程序。目前，基于8位微处理机的微型机，已有大量的应用程序。就普及型8080而言，就有数以千计的程序销售商。然而，16位微处理机由于有其独特的（功能更强的）指令，故不能简单地把一般8位机的程序拿到16位机上运行，而必须由程序员根据16位机指令功能来编制能在16位机上运行的程序新版本。新的16位机比8位机具备更强的功能，但得花很长的时间来开发软件。因此，有时人们往往会在软件开发上花费大量精力。值得庆幸的是，对8086来说，这不算一个很了不得的问题。这是因为，16位的8086微处理机与8位的8080微处理机在指令、寄存器方面存在着很密切的关系。当然，为了便于区别，名称上有所更改。很明显，8086的设计者是在考虑到上述问题的前提下设计8086的。实际上，只需对少量应用最广的低级程序进行翻译或重新开发后，大量为8080开发的高级应用程序就可新的16位机上运行。为此，8086的设计者与一些8086用户设计了一种将8080代码转换为8086代码的专用翻译程序。这样就使这种代码转换过程变得更容易，更简便。在看完这本书后，读者不妨试写这样一段程序。翻译过程差不多是自动进行的，但也不尽然。程序员还必须进一步对代码作些工作，以便预置段寄存器，处理汇编语言之间的非一致性，排除8080机器语言程序中的隐错（缺乏编程实践的初学者编写的程序，往往会有这种隐错）。这一翻译过程仍不会产生最优代码。但无论怎样，这确实可以加速整个翻译过程。这就意味着，当前那些出售8080软件包的公司将很快提供8086的软件版本。

掌握软件的关键是熟悉操作系统。这是一个极为重要而又极为陌生的问题。要想在8086上运行较强的程序，往往都需要某种已装入其内称之为操作系统的程序。这种操作系统犹如母程序，用以监控应用程序的运行。这种操作系统可以使用户程序按照提供的标准方式运行，以便对计算机系统内的键盘、软磁盘、打印机等设备进行访问。操作系统还可使用户程序不受具体系统的限制，故而可从广阔的软件市场获取各种不同的程序。问题在于存在着许多种操作系统可供你的16位机使用。究竟选取哪一种，这是问题的关键，因为它决定了能在其上运行的软件的范围。除此之外，操作系统还有高、低档之分。例如，微处理机控制程序（CP/M）就是一种典型的低档操作系统，但也是目前微型机最普及的操作系统之一。CP/M价格低廉，使用简便，但亦存在一些不足之

处。诸如OASIS或UNIX之类更为复杂的高档操作系统虽价格十分昂贵，但却具有惊人的灵活性。甚至连Intel公司也有它自己的操作系统ISIS-II。总之，在你的机器上运行的程序范围，取决于所选用的操作系统，这是在选择操作系统时应注意的。

专为8086、8088设计的操作系统在市场上正日益增多。8086最初所选用的操作系统是Digital Research公司的CP/M-86，它是由最流行的CP/M-80的设计者设计的。两者极为相似，但前者具有某些16位机的特殊性能。但它也不尽完善，纠错能力较差，可移植性亦显不足。

选用的另一个操作系统是Microsoft公司的MS-DOS。该操作系统是用C编程语言编写的，经重新编译后，可运行于Z8000、68000和已问世的绝大多数16位微处理器。它同Microsoft公司仿UNIX的操作系统XENIX可实现向下兼容。MC-DOS部分参考了CP/M-80，实际上仿效了CP/M-80的所有系统调用。因此，运行在CP/M-80下的8位机程序都可翻译为8086代码，CP/M的调用程序自然也就是MS-DOS的调用程序了。它采用了独立于外部设备的I/O，这意味着每台外部设备就犹如一个文件，可以打开、关闭、读出和写入。这样，所有的MS-DOS程序都可要求在屏幕上显示，不论所用显示器是何类型，其信息均可正确地显示在屏幕上。MS-DOS是可重定位的，这就使所有程序都可利用8086的分段寻址方案。MS-DOS的最大特点也许要数其独立于外部设备的绘图功能，这是微型计算机产业长期未获解决的问题。MS-DOS采用Teletex传输的ATT标准，即一种称之为表示层协议(PLP)的增强型Telidon格式。由于ATT拥有庞大的国家电话网，故一个含有解释PLP的命令的操作系统将具有极大的潜力。程序员无须考虑具体机器就能编写图形程序。要知道，Apple(苹果)机虽然具有极强的图形功能，但由于它采用了特殊的硬件设计，故程序员要进行若干年人的努力，才能使其代码适合于苹果机。由于有PLP，程序员就无需考虑硬件问题。而硬件设计者亦只要设计一种能翻译PLP命令的显示器即可。PLP命令包括字符集、几何图形指令等等。

IBM PC目前又使用一种称之为IBM PC DOS的操作系统，它是MS-DOS的改型。专家们预言，MS-DOS将远远超过CP/M-86而成为16位机最通用的操作系统。本书最后一章的附表中，罗列了本书编写期间已在市场上流行的一些软件。由于其增长速度很快，因而必须随时做一些市场调查，才能使列举的内容比较全面。表中所包含的有操作系统；BASIC、FORTRAN IV和Pascal之类的高级语言；宏汇编、交叉汇编、连接装入程序、编辑程序之类的软件工具；一些高档游戏程序等等。毫无疑问，越来越多的8086新软件将投放市场，其性能将远比那些8位机同类产品优越得多，从而将逐步取代那些陈旧而过时的8位机软件产品。

§ 1.6 本书的编排与阅读方法

本书共分八章。读者应依一到八章的顺序阅读，但对某些已掌握的概念可以略去不读。第一章“结论”是16位微处理器8086的入门篇。第二章“16位微处理器的基本概念”，向初学者全面介绍8位、16位微处理器领域的全貌，以及新16位微处理器的种种新概念。在这一章中，首先向读者介绍典型的基于微处理器的微计算机结构和术语。尔

后再进一步介绍8086/8088系列以及更大的8000系列。接着,探讨了一些评价16位机所需了解的基本概念。这涉及到从位、半字节到数据串、指针等数据类型及数的内容。本章还介绍了物理存储器组织、存储器管理、协处理机以及指令队列。章末附有用来建立本书中用到的程序的软件说明。

第三章“8086和8088通用处理机”,详细介绍了这两种芯片的内外概貌,包括它们同8080、8085的相似性,以及它们的主要特性、电源要求、流水线结构、信号及引脚等。按功能分组介绍了指令系统,如数据传输类、二进制算术类、串操作类等指令。最后,还提供了少量相当简短的例行程序,供读者自我考核。建议读者详细阅读本章。第四章“8087数值数据处理机”,精辟地阐述了8087的数据加工过程。介绍了浮点表示法的概念,解释了该数值数据处理机(NDP)如何作为协处理机来工作;详细描述了它如何扩充软件;说明了它的体系结构和硬件;介绍了对8086/8088的市场影响。此外,还介绍了8087的数据类型(8087能处理多种类型的数据)、堆栈、强功能指令系统及“异常”处理能力。本章亦附有NDP上运行的例行程序答案。

第五章“8089I/O处理机”,介绍了具有惊人智能的类似高速DMA的这一器件的功能,以及怎样合理地使用它。本章自成系统,专门介绍8089IOP处理机。章末附有配合说明8089I/O处理机的使用的程序实例。读者若对此不感兴趣,可跳过本章。第六章“8086/8088支持芯片”,对全部8200系列芯片作了介绍。支持芯片是一套可与主处理机芯片联用并从属于主处理机的芯片系列,很好地了解这些芯片将有助于评价各种基于8086/8088的计算机系统的配置方案。

第七章“8086/8088程序十一例”,提供了一套教学用CP/M应用程序。这些应用程序是专为学习编制8086程序而写的。它简短、有趣,容易掌握。每段程序都引出一组新的指令。例如,从数据传输类指令开始,告诉读者如何用这类指令使字“HI”显示在屏幕上;然后再学习循环指令,指导读者怎样在屏幕上进行多位计算(两个过程的结合),等等。这一章对从事程序设计的程序员来说是很重要的,但对仅想了解一下芯片的读者来说可以略去不读。第八章“现状:8086/8088产品及程序”,介绍了8086的软、硬件发展沿革、芯片开发,以及IBM PC。此外,还罗列了现今适用于8086芯片的设备和软件清单,以及基于8086的产品的销售商和制造商名单。本书中,我们给出了许多插图和表格,这有助于加深读者的理解。阅读此书时,应特别注意熟练掌握8086,因为它可以为你对IBM PC等个人计算机进行编程奠定良好基础。

第二章 16位微处理机的基本概念

本章将讨论有关16位微处理机的一些基本概念。其中包括：典型的新型微处理机的组织；Intel微处理机及微处理机支持芯片系列概述；新的16位微处理机所特有的一些概念，诸如分段法、存储管理、多重处理等；各种通用数据类型；汇编语言程序设计简介。在本书其它章节，我们还将结合具体芯片，进一步讨论这里所提出的一些基本概念。在第三章中，我们还要讨论后续章节要用到的其它一些基本概念。

§ 2.1 微型计算机概貌

人们所熟悉的现行微型计算机的基本配置通常为一个键盘、一个视频显示器、两个软磁盘机和一台打印机。还可包括数字绘图仪、控制杆、数字图形输入板等设备（见图2.1）。这些设备均经电缆同主机箱连接。有时，键盘、视频显示器甚至磁盘机一并装在主机箱内。因此，所谓计算机系统，实际上是一台带有若干外部设备的计算机。

2.1.1 基于总线的计算机结构

计算机的内部，一般都有一个连接各种器件的主总线。这一总线犹如一束横穿计算机的平行电导线。如在流行的S-100总线计算机中，有一块称之为母板的大印制电路板，一般平置于计算机底部，上面布有这种总线，如图2.2所示。S-100总线的100根信号线从母板一端到另一端地平行铺设着。板上有5~20个插座，垂直跨接在S-100总线的100根信号线轨道上。这些插座插入S-100总线板，板上装有存储器、中央处理器（CPU）和I/O接口逻辑等重要功能器件。从图2.2可以看出，这些插座相互平行，但与S-100总线（母板总线）轨道相垂直。这是正交（Orthogonality）原理最简单的应用，即不同的量两两以绝对唯一的方式相互作用。所有插座上

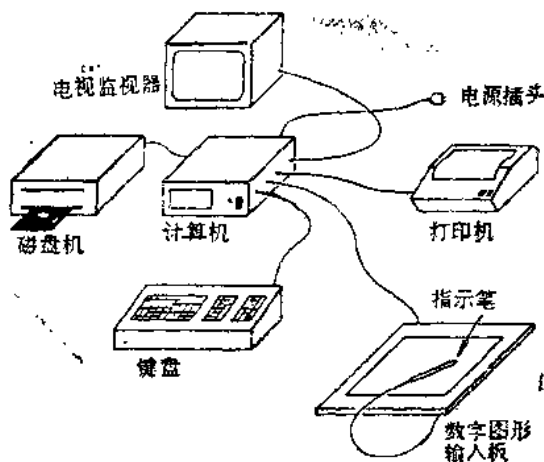


图2.1 典型的计算机系统

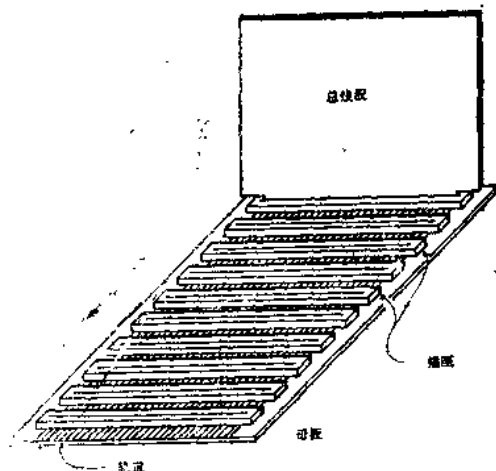


图2.2 典型的总线——S-100总线母板

S-100总线100根信号线的排列均相同。因此，原则上S-100总线插件板可任意插入。人们发现，只要排列适当，就可降低系统内的噪声电平。

S-100总线的诸信号线上基本上没有有源电子器件。这就是说，除有些制造商为减少导线上的电噪声而加了少许元件构成终端匹配电路之外，一般不含有晶体管或集成电路。有时，母板上有部分电源。除终端匹配电路和主电源外，全部有源电子器件均安装在插入S-100总线插座的插件板上（图2.3为典型的S-100总线系统框图）。在非S-100总线的计算机内，通常有一块装有全部计算机基本组成部件的主电路板，而带有总线的母板则接插到该主电路板上。有些系统其主电路板和母板的功能件是组装在一块板上的。尽管安排有别，但把计算机的逻辑模型始终看成是连接其它设备的总线，这是很有用的。

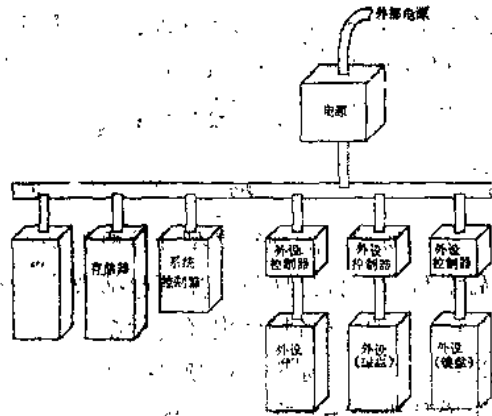


图2.3 一个基于总线的系统的框图。

计算机的主总线又分为四种不同的子总线，它们分别是：1）电源子总线（power subbus）；2）控制子总线（control subbus）；3）地址子总线（address subbus）；4）数据子总线（data subbus）。

电源子总线

电源子总线为计算机各部分馈送电源。在原来的基于8080的S-100总线中，必须有几根线用作电源总线。这是因为，8080CPU芯片需要三条不同的电源线，此外还需一根回路线（即共用地线）。由于后期的芯片（指微处理机及其支持芯片两者）只用单电源（+5V，DC），这根子总线现在只需两根导线（即5V电源线和地线）。这些新的芯片不再用原来的±18V电源线了。只需送出一个略高于5V，有轻微脉动的（60~120Hz）电压，再经每块电路板分别就地滤波、降压而得到+5V直流电压。这可以大大减少噪声、电源子总线上的电压降，以及布有电源线的底板之间的串扰，同时也可降低设备成本。

控制子总线

控制子总线担负诸如定时（系统时钟信号）、命令（存储器与I/O存取）、数据定向（读或写）、忙信号（READY线）及中断等信号的传输任务。

地址子总线

地址子总线承担传输带有选择信息的特殊控制信号的任务。选择信息是用来识别计算机系统中各种I/O设备和数以千计的存储单元的。举例来说，如果要想把某一存储单元的信息传送到另一存储单元，则具体步骤为：选择第一个存储单元的地址送上地址总线；接着将当前寻址的存储单元（第一个存储单元）的数据送上数据总线；接下来将第二个存储单元的地址送上地址总线；最后将数据总线上的数据送到当前寻址的存储单元（即第二个存储单元）。

地址总线用来传输二进制地址码。地址总线的每根导线传送一个对应于二进制数码（比特）的数字信号。高电平（高于确定的上限）表示二进制数1；低电平（低于确定的下限）表示二进制数0。由于系统本身的损耗和其它的不精确因素，故二态“是/否”或“1/0”逻辑（或二进制值）是以某电压范围来表示的。按照二进制算术运算规则，若有 n 位二进制位，则表示的二进制数值的范围就为 $0 \sim 2^n$ 。8080、8085及Z80等早期的8位处理机，有16根信号线，故 $2^{16} = 65535$ 个不同的地址。这足以满足大多数微计算机应用的需要。然而，随着存储器价格的下跌，一台中等规模的微型计算机可以使用10万以上的存储单元，当然每个存储单元都需要一个地址。同时，象Pascal、Ada之类的现代高级语言需要的存储器容量远大于64K。所推荐的S-100总线的IEEE标准规定地址线为24根，这就给出了 $2^{24} = 16777216$ 的寻址范围。其地址多于16兆位，它足以存放十六本圣经。

数据子总线

数据子总线负责在整个计算机中传送真正的信息。在基于8080、8085、Z80以及更新型的8088的微型机上，数据总线有8个插座，可并行传输8位信号。这就意味着该数据总线可用来传输单位数据，每个单位数据为八个二进制位（即一个字节）。数据总线每次只能传输一个上述的单位数据。由于数据总线的宽度为8位，故每个单位数据可表示的二进制数值范围为 $0 \sim (2^8 - 1)$ ，即255。但在16位机（包括用8086作为CPU的16位机）上，16位并行数据线所能传输的数值范围为 $0 \sim (2^{16} - 1)$ ，即65535。巨型计算机的数据总线宽度可达64位，能传送的数值可达 1.8×10^{19} 。在本章后面我们可以得知，为什么在小型计算机上可以表示出比上述范围更大或更小的数，以及诸如字符和小数之类的数据类型。小型机具有表示与大型机相同大小的数，但是做到这一点，就需要更多的机器周期，从而将在比大型机慢得多的速度下操作。但是，用户少的小型机在功能上往往也可以胜过众多用户的大型机。从图2.3可以看到，有许多不同的设备跟主总线相连，包括电源、中央处理机、存储器以及各种外设控制器。下面我们就从电源开始逐一介绍各种设备。

2.1.2 电 源

电源的作用是将外部电源（一般为120V，60Hz，交流）转换成电源总线所需的各种电源。若电源调整部分做在插件板上，则电源所提供的是8伏左右带纹波的直流电压。另一方面，对基于传统的8080的S-100总线而言，另外还有 $\pm 20V$ 电源，它也带有纹波。

2.1.3 中央处理机

中央处理机（CPU）是计算机的“大脑”或控制中心。现代计算机的CPU大多是由一块或几块插入总线插座的插件板组成。在多数计算机中，CPU往往放在主电路板上。无论它如何装配，我们均可将其视为一个“挂”在主总线上的与众不同的设备。由电源总线供电，控制总线收发控制信号，地址总线发送地址，数据总线往返传送数据。在超小型和大型机中，CPU还可能用由安装在若干独立的芯片上的一些集成度较低（就逻辑意义而言）的电子器件阵列构成的。但在微型机中，CPU通常只由几块（1~3块）高集成度（LSI或VLSI）芯片构成。外加四十多块集成度较低的中规模集成电

路和小规模集成电路支持芯片，就可构成所谓的微处理机。因此，虽然我们习惯上常把微处理机芯片称之为CPU，但微处理机跟常规计算机的完整CPU往往并不相等。

有时，CPU也可以由形成一个群体的若干个微处理机组成。有时，在一台计算机中还可以有几个这样的群体。在第四、第五两章论述协处理机与多处理机的概念时，我们还要进一步讨论这个问题。

2.1.4 存储器

计算机的存储器实际上也是连接到主总线上的设备之一。存储器一般安装在系统中的一块或多块板上。存储器的任务是存放数据和程序，通常是暂时性的。存储器实际上是成千上万个独立存储单元的集合，每一个存储单元均由一个称之为地址的数来指定。指定的存储单元并不存储这个地址本身，而是由CPU和存储器中的控制线路借助这个地址来选择某个具体的存储单元。存储器与存储器之间或存储器与CPU之间的所有数据传输是经由数据总线实现的。地址总线用于选择所需的存储单元，控制总线用于预置和监控这一过程。

多数微处理机都可以用一种称之为DMA（直接存储器存取）的特殊方法实现存储单元之间的信息传输（这不同于存储器与CPU之间的信息传输）。用DMA方式，CPU将主总线的控制权交给一个称之为DMA控制器的专门设备。有关DMA控制器芯片，我们将在第六章中介绍。

主存储器一般由若干半导体集成电路芯片组成。早期的主存储器是磁芯存储器，但因造价过于昂贵，现已不大采用。目前，微处理机中普遍采用的是两种在逻辑上截然不同的半导体存储器，即我们通常所说的RAM和ROM。RAM是Random-Access Memory（随机存取存储器）的缩写。这并非是指存取此类存储器所得到的全是随机结果，而是指可以随意地直接存取所需之任何存储单元的数据。RAM和ROM（Read-Only Memory的缩写，只读存储器）均有随机访问的特性。所不同的是，RAM既可连续写入（存储信息），也可连续读出（输出信息）；而ROM则只能连续读出。ROM也可以写入，但这是在一种称为编程或熔断的特殊过程中进行的。在常规操作下，读ROM的操作并不会“破坏”计算机，也就是说，不致于引起所读存储单元的内容的改变。严格的命名也许应该是：RAM应包括现在所谓的RAM和ROM二者的全部，因为二者均系随机存取存储器。因此，整个主存储器较合理的名称应该是广义的RAM（包括习惯上的RAM和ROM二者）。对RAM我们将采用一个新名称即RWM（读写存储器），而ROM则保留其原名和定义。此外，磁带之类的顺序存取型外部存储器则称之为SAM（顺序存取存储器）。所谓顺序存取是指：为了取出所需存储单元的信息，必须从头到尾访问存储单元的整个序列。但是，由于RAM、ROM早已脍炙人口，人们都已经形成了固定概念，因此索性就将错就错了。上述关于存储器的分类请见表2.1。

即使在大16位微型机上，存储器也是按8位（一个字节）的存储单元编排的。这是因为，即使是16位机也是按字节（8位）方式处理数据。因此，16位乃至32位处理机都具有处理包括8位字节在内的各种长度的数据的指令。例如，通过键盘处理象字符之类的字长8位的数据类型，就是键入和编辑各种程序所必需的。因此在16位机上，一个16位的机器字由一个字节对组成。字节对的两个字节之地址是相邻的，字节对的地址