工作站软件开发环境

金民　张侃

電子工業出版社

工作站软件开发环境

全 民　张 倪　范延军
刘建国　佘晓萍　编

王裕国　审

电子工业出版社

(京)新登字 055 号

内 容 提 要

本书从程序设计、图形、窗口系统、数据库以及网络等五个方面全面系统地介绍了以工作站为平台的软件开发环境及软件开发的理论、方法和工具。其中包括：工作站的系统结构和软件构成、系统软件的管理与维护、大型程序开发、几种典型的图形系统、图形软件开发、图形用户界面开发、当今最重要的几种关系数据库、数据库软件开发、网络软件开发、网络协议与标准等。

本书主旨在于使广大用户了解如何使用以及如何充分利用工作站所提供的强大处理能力和丰富的软硬件资源，是大专院校师生、广大工程技术人员以及计算机软件爱好者的理想参考书。

工作站软件开发环境

全 民 张 倪 范延军 刘建国 余晓萍 编

• 王裕国 审

责任编辑 张 琼

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

电子工业出版社计算机排版室 排版

北京科技印刷厂印刷

*

开本：787×1092 毫米 1/16 印张：37.75 字数：973 千字

1995 年 3 月第 1 版 1995 年 3 月第 1 次印刷

印数：2000 册 定价：48.00元

ISBN 7-5053-2289-3/TP • 634

前　言

自计算机诞生以来，几乎每隔十年就有一种新型计算机风摩市场，六十年代是大型机(mainframe)时代，其典型代表是 IBM 公司的 System 360；七十年代是小型机时代，DEC 公司的 VAX11 系列机是主要代表；八十年代微型机成为市场的主宰，286、386 等产品都是个人机的代表。

然而，九十年代计算机的主流是什么呢？世界权威的市场调查和预测机构 IDC 公司和 Dataguest 公司已得出了相同的结论：工作站将成为九十年代计算机的主流，其主要代表是 Sun、HP、IBM、DEC 以及 SGI 工作站。

随着工作站的日益普及，国内越来越多的单位都已拥有了各种类型的工作站。但是，许多用户并不了解怎样充分利用工作站提供的强大处理能力和丰富的软硬件资源，而往往只是简单地把它作为又一种小型机或传统的大型机来使用，这是对投资和工作站软硬件资源的一种浪费。本书的目的就是帮助读者了解如何使工作站的软硬件资源得到充分发挥。

学习和使用工作站，其主要内容是软件的开发和运行环境。通常，运行环境是指怎样操作工作站，而开发环境则指怎样使用工作站提供的软硬件资源。本书主要讨论软件的开发环境，因为它比运行环境更深刻地体现了工作站系统软件的内部机制。

本书主要从程序设计、图形、窗口系统、数据库以及网络等五个方面讨论开发环境。当然，“开发环境”这一概念可大可小，但上述五方面目前是最适当、最基本的，因为当前市场上的绝大部分软件都是在此基础上开发出来的。

本书各章既是一个有机整体，每一章又可相对独立，适用于不同阅读目的的读者，其中第一章可作为从未接触过工作站的读者阅读本书后续内容的导论。

由于工作站的操作系统几乎是清一色的 UNIX，因而本书的主要内容又可以看作是“UNIX 软件开发环境”。但是，从另一个角度说，书中诸如图形、数据库等方面的内容并不仅仅局限于 UNIX，而是也适用于其它的操作系统(如 VMS、MV 等)之下。同时，我们在内容组织上力求避开与具体机器有关的细节，这样，本书所讨论的方法和理论就更具有普遍意义。

本书由全民、张倪主编，中国科学院软件所王裕国研究员审阅。第一章、第七章以及 § 3.4、§ 3.5、§ 3.7 由全民编写；第五章及 § 3.1、§ 3.2、§ 3.3、§ 3.6 由张倪编写，第二章由刘建国编写；第四章由余晓萍编写；第六章由范延军编写。全民负责统编全书。

由于我们水平有限，书中谬误在所难免，渴望广大读者不吝赐教。

编　者

一九九三年五月四日于北京

目　录

第一章　工作站导论

§1.1　工作站的产生及背景

1.1.1　历史背景

工作站作为商品出现的时间并不长，然而正是在这不长的时间里，工作站不但以极快的速度增长并保持了十年不衰，而且还极大地影响着整个计算机的产品和产业结构。似乎微型机在80年代创造的奇迹又在工作站上重演。

但是，微型机在80年代的奇迹与目前工作站所发生的事有着明显的不同：其一，微型机无论从概念还是从结构上来看，其产生的时间都要比工作站短；其二，微型机与工作站产生的背景有着很大的不同，这个不同也导致了带动两者发展动力的鲜明对比：一个正处于稳定势态，另一个却如日中天。

实际上，工作站作为一种计算机类型的概念可以追溯到60年代，那时的研究人员需要一种面向个人的具有很强处理能力的计算机，以满足诸如文字、图形以及人工智能等应用的需要。这些特性正是构成现代工作站的基本要素。

工作站的第一个产品诞生于1973年Xerox公司的PARC研究中心，该产品命名为Alto。Alto具备了现代工作站的基本特点，它所独创或使用的许多技术都成为现代工作站的标准技术。在概念上，Alto的目的是提供一种具有多任务、多用户处理能力的个人计算环境，在这样的环境中完成文件、图形处理等多种应用。为此，Alto使用了当时的多种最先进的硬件技术，例如光删显示方式，即位映象显示器。在位映象显示器中用帧缓冲器代替旧式显示器中的字符发生器，不但大大提高显示精度和种类，而且控制变得更加灵活。另外，使用鼠标器作为图形操作的设备也是Alto的一个鲜明特点。

Alto对工作站技术另一重大贡献是以太网的试验成功。当时以太网被用来作为多个Alto之间的通信。以太网技术的独创是Alto最为成功的一笔，至今以太网成为了工作站局部互连的标准，并进而扩展为使用最广的一种局域网标准。

Alto的成功在实践上证明了工作站的实用性，同时也说明了工作站作为一种计算机类型存在的必要性。只是由于当时的集成电路技术特别是超大规模集成电路(VLSI)技术还不能提供高性能的CPU和用于图形处理方面的芯片以及价格的昂贵，才使得工作站在当时没能迅速普及开来。

80年代初，随着VLSI技术的成熟，市场上高性能的CPU、RAM等器件的价格已很便宜，工作站大规模商品化的经济条件已完全具备。这时，众多的厂商先后推出一系列物美价廉的工作站产品，使得工作站真正成为计算机产业的一支新军。

1.1.2 技术背景

任何产品的出现必然有其技术基础，工作站的崛起从最基础的技术来讲，是 VLSI 技术在过去二十年间奇迹般的发展，但更直接的催化剂却是 60 年代以来图形和网络技术迅速发展的结果。

回想一下 Alto 工作站，其引人注目之处正是它的图形处理能力和联网能力。图形作为计算机技术的一种发展，一方面是因为图形本身比文字更直观更具有说服力，另一方面是由于现实世界许多问题的结果就是表示为某种形式的图形，例如建筑设计、汽车、飞机、轮船的设计等等。因而计算机诞生不久，人们就自然而然想到了使用计算机来处理图形。

计算机图形学涉及到软件和硬件的许多方面。就硬件而言，有输入设备(键盘、光笔、数字化仪等)输出设备(打印机、绘图机)，显示设备和鼠标器。以上设备中，显示设备及相应的显示方式对交互式图形学的产生影响极大。交互式图形学使得用户在计算机上可以以“看图识字”的方式操作图形，以“所见即所得”的方式处理和生成图形，是一种广泛使用的图形技术。

Alto 工作站在当时为交互式图形技术提供了一个很好的硬件平台，它采用在当时还是十分先进的光删显示技术，显示屏幕的分辨率达 808 ×606，这在当时是很先进的。Alto 还引入鼠标器作为屏幕图形的选择设备，其操作性和选择准确度大大优于以前的光笔等输入装置。值得一提的是，Alto 工作站还开发了一套窗口软件(第一个窗口软件)，在一个屏幕上可以同时出现多重的通常还是重叠的窗口。这使得 Alto 与用户之间有一个非常友好的人机界面，极大地改善了开发人员或普通用户的操作环境。

虽然 Alto 时代的图形技术与今天相比差别是明显的，但 Alto 为单个用户提供良好的图形开发和处理平台这一思想，却与今天的工作站是完全一致的；另一方面，图形技术无论是软件还是硬件，从 Alto 时代以来已取得了长足的进展。1024×1024 分辨率甚至更大分辨率的显示器在今天已不再是奢侈品，而支持 1024×1024 分辨率的 1Mbytes 动态刷新存储器，其价格已便宜得如同我们的日常用品。

80 年代以来，由于显示设备的显示方式从随机扫描显示转向了光删扫描型显示，硬件价格大大下降了。随着 VLSI 技术的迅速发展，CPU 芯片和专用图形处理芯片的能力越来越强，而价格却越来越低，其结果使得图形显示越来越逼真，图形交互处理的速度越来越快。

对工作站有着巨大影响的另一项硬件技术就是网络技术。60 年代后期，美国国防部高级研究计划局所实施的 ARPA 计划，带动了计算机网络技术迅速发展。计算机网络的目的是解决资源共享的问题，由于分别独立的各种计算机的能力和用途各不相同，对资源(软件、硬件资源) 的占用是不平衡的，而且地域和行业的不同对资源的要求也是不同的，因而不可能有一台或多台计算机可拥有所有的资源，资源共享是必然的解决资源不平衡的方法。

计算机网络中解决资源共享的通常办法是互连和互操作。互连解决了分别独立的各台计算机之间的通信问题，互操作是在互连的基础之上进一步解决资源共享问题。ARPA 计划和早期的计算机网络重点解决的是互连性问题。ARPA 是一个广域网，它的试验成功证明广域范围内使用通讯技术连接计算机的可行性和必要性，但 ARPA 传输速率较慢，不能解决在一个小范围内多台计算机(通常是同一型号) 的成组计算。

所谓成组计算是使用高速通讯线路连接的多台独立的计算机共同处理同一个任务。它是在没有巨型机的情况下的一种替代方案。实际上，这种方案已成为当前分布式处理中最常用

的方式之一。Alto 工作站发展出的以太网技术成为成组计算的最佳通讯连接技术，也使得局域网得以发展壮大起来。

有了互连性的有力支持后，互操作问题的解决开始得以实用化了。这里值得一提的是，TCP/IP 协议的 BSD 实现，把网络化的几种典型的互操作集成到操作系统(OS)的核心内。使得用户在网络上可以象使用普通 OS 命令那样进行资源的互操作。如今，以太网、TCP/IP 的 BSD 实现都已成为工作站的标准技术。

最后，特别要提到 UNIX 操作系统对工作站迅速普及有着决定的作用。早期的一些工作站（如：Alto 和 Apollo 工作站）的操作系统都是所谓的专用系统，这里专用系统是相对于开放系统而言的。UNIX 系统除了本身特有的优点之外，与以往其它操作系统最大的不同是它的开放性。正是由于这个开放性，使得 UNIX 系统在可移植性和可扩展性上大大优于其它操作系统，这也正是使工作站迅速普及的关键因素。当然，仅仅具有开放性还是不够的。作为工作站的操作系统还应具有许多的特点。有关对 UNIX 的特点更多的讨论将在本章的 1.6 节进行。

1.1.3 用户的需求

除了技术基础之外，用户的需求是工作站普及的一种直接的推动力。50 年代中到 60 年代中，计算机技术逐渐应用于制造业，产生了一种计算机辅助设计和制造 CAD/CAM 技术，这实际上是计算机的一种应用。CAD/CAM 要求计算机有强大处理和显示能力，也就是较强的图形处理和显示功能。因此，当时大都用大型机加高分辨率的显示器来进行 CAD 或 CAM。常见的情景是，设计人员通过与一台大型机（甚至是巨型机）相连的几十台分时图形终端进行 CAD/CAM 设计。

随着技术的发展，CAD/CAM 技术迅速在各行各业普及开来，因为从原理上讲，凡是需要进行几何形状设计的工作，都可以用 CAD/CAM 技术来完成。所以 CAD/CAM 就不仅限于制造业，象建筑业、服装设计业等行业都可以使用 CAD/CAM 技术。但是如果仍以大型机带若干图形终端的方式来使用 CAD/CAM 技术，对于日益增多的设计人员则变得既不经济也不方便了。人们迫切需要一种个人计算环境的、具有强大图形处理和显示能力的、价格便宜(与大型机比较）的计算机系统。显然，这正是工作站所具有的特征。

实际上，迅速应用工作站的最初领域也正是制造业(包括汽车、飞机、轮船、机械等制造)和建筑业等行业。随后它才又进入大学和科研部门为研究人员提供一种软硬件开发的平台。

当然，用户的需求必须与技术的发展相适合，这样，现有的技术才能满足需求。但反过来，需求又是技术发展的强大动力。正是由于 50～60 年代的人们已经有了使用工作站代替大型机作 CAD/CAM 的需求，也正是由于这种连续不断的需求，才使得目前产生了一种以工作站替代小型甚至大型机的趋势，即所谓缩小化的趋势。这种趋势本质即是将高性能的计算能力个人化。

§1.2 工作站的性能和特点

1.2.1 定义

1989 年，IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)的科学巨型机委员会，为已存

在的所有计算机作了一种新的分类，根据该分类报告将计算机分成了六大类型：

- 个人计算机(Personal Computer，如：IBM-PC 等等)
- 工作站(Workstation，如：Sun 工作站、HP 工作站等等)
- 小型计算机(minicomputer，如：Vax-11 系列)
- 主机(mainframe，如：IBM4381 等等)
- 小巨型计算机(minisupercomputer，如：ELXSI 公司的 ELXSI6400 系统)
- 巨型计算机(Supercomputer，如：Cray-I 等等)

上述分类基本上是根据性能、价格等因素进行的，所以在当时的情况下，工作站被看成是在性能和价格上都介于个人计算机与小型计算机之间的一种计算机。但在目前，如果仅就性能而言，上述分类有许多地方尚需值得考虑，因为目前的工作站性能不但远远超过传统的小型机，甚至也超过了主机，已经与小巨型计算机不相上下；况且，就工作站的整个家族而言，其性能和价格可以从个人计算机类一直延伸到小巨型计算机类甚至是巨型计算机类。而未来的工作站家族，将能提供从膝上型到巨型计算机这样范围内的各种性能的机器。因此，工作站在性能上实际已跨越了上述整个六种计算机类型。

然而，在实际的应用中，工作站仍被用于个人计算的环境，这一点十分类似于个人计算机。实际上，目前的个人计算机(PC 机)与工作站，以及工作站与小型机之间的界线越来越模糊，但是本书仍需要对工作站作出一种简单的区分，即给出一个明晰的定义。

给工作站下一个严格而又贴切的定义是非常困难的一件事。事实上，区分各种计算机类型很少是根据定义进行的，传统的区分方法是根据性能价格比或者干脆用价格来区分，定义只能描述一种类型的计算机的特点和作用。因此，我们在此给出关于工作站主要的描述，亦即现有工作站所具有的一般特点。

- 具有高性能的图形处理能力(包括高分辨率显示设备、图形处理器等等)；
- 具有分布式网络环境(即较强的连网和分布式处理能力)；
- 配置多任务、多用户分时交互的操作系统；
- 作为个人计算环境来使用。

从上述特点可以看出，工作站具备小型机和主机的处理能力，而最后一点又说明了工作站与小型机和主机的不同使用途径。

1.2.2 分类

工作站本身是一个庞大的家族，但如果按其功能分类，则大致可分为两类：客户(Client)和服务器(Server)。这种分类既考虑到了工作站在连网时的工作方式(Client-Server 方式)又考虑了它们的使用方式。

作 Client 的工作站就是我们通常意义上的工作站，其基本配置是主机箱(包括 CPU、内存、软盘驱动器、硬盘、图形处理器等等)和高分辨显示器，有时还带有外接磁带机等设备。虽然操作系统是多用户的，但工作站绝大部分情况下是作为个人计算环境来使用的，因而工作站充分体现了高性能处理能力的个人占用。

服务器就其使用特点来说已不那么个人化了，服务器与工作站相比，在机器的体系结构上几乎没有什么本质的差别，但服务器比工作站具有更多的 I/O 接口和更多的外存空间，可以带更多的用户对服务器进行信息的存取。因此，服务器已经不太具有个人性，而更象传统

意义上的小型机或主机。但从另一方面说，服务器又完全是从工作站中派生出来的，这可以从 Sun Microsystems 公司对服务器的描述中看出："服务器就是将工作站的头（高分辨率显示器）砍掉后的机器"。

图形功能的大小是工作站与服务器另一重要的差别，作为服务器一般都不配置很强的图形功能，有的甚至根本就不配置专用的图形处理器，因为服务器在网络中强调的是文件资源的共享以及事务处理的速度，图形功能是留给网络中工作站的。

工作站与服务器虽然是工作站的两个类型，它们在系统结构上和软件的开发环境上却是没有区别的。尽管许多人已将服务器看做另一种形式的小型机或大型机，许多工作站厂商也将服务器作为小型机或大型机向用户介绍，但是本书有关工作站的系统结构和软件开发环境的讨论中，对工作站和服务器是完全一视同仁的。

1.2.3 性能概述

工作站一般都具有很高的性能。由于在应用领域和价格方面的考虑，工作站越来越向着两个方向发展：一是低档工作站，主要是指价格在 5 千美元或 5 千美元以下的工作站。但它的性能却一点也不"低档"，远远超过了高档的微型机，在 CPU 运算速度、内存容量以及图形和网络能力上，也超过了传统的小型机。因此，这一类工作站在社会上的普及已指日可待。

另一方向是高档工作站，包括用于商业和事务处理的所谓服务器（例如 Sun 公司的 SPARC server 600MP 系列、center 2000 系列，HP 公司的 HP9000/800 系列等等）。它们大都具有相当高的整数和浮点数运算速度，大容量的内存（从 64MB 到 1GB），海量的磁盘、带空间以及各种不同应用的 I/O 接口。这一类工作站在性能上已接近小巨型机，有些甚至已接近巨型机。

当前工作站性能的典型指标是：CPU 运算速度为 10-400MIPS，内存容量 8MB-1GB，显示器分辨率可达 1280×1024 或更高，而用于事务处理的服务器的每秒所能完成的事务处理（tps）可高达 400 多，远远高于 IBM AS/400 这样擅长于事务处理应用的超级小型机。

由于普遍采用了 RISC 技术，CPU 不但有极好的整数运算速度，而且也有极好的浮点处理能力，再结合专用的图形处理器，使得工作站大都有很强的动态三维图形作图能力；此外，以太网和 FDDI 等技术的应用，工作站也具有很强的网络通信功能，既可以通过高速局域网实现所谓网络计算，也可以通过广域网提供共享资源的服务。

工作站不仅提供了极高的性能和优良的性能价格比，更重要的是它的性能以每年 80% 的增长率持续增长。自从 Sun 公司 1982 年诞生第一台 Sun-2 工作站以后，工作站性能每年都能增加一倍。据专家预测，到 1996 年，基于 RISC 体系的工作站，将能以每百万指令/秒仅为 50 美元以下的性能价格比向用户提供处理能力 5 倍于今天中档系统的工作站。这些工作站将采用模糊理论而不是二进制，并具有把文章、图形、声音和活动图象有机地结合起来的多媒体功能。

1.2.4 工作站的特点

工作站特点之一是多总线结构。

典型的微型机（IBM-PC 及兼容机、AT 机、286 和 386）都使用单总线技术，即在一条总线上分别连接着 CPU 、主存、DMA 控制器和 I/O 控制口等等设备，这样一种设计在经济上的好

处是价格非常便宜，但其最大问题是信息在各部件间流动的速度慢，特别是当 CPU 、主存等部件的性能提高之后（如:CPU 从 8086 到 80286 以及 80386），单总线将成为影响整机性能的“瓶颈”。

有鉴于此，工作站进行系统设计时不采用单总线技术，而按系统内各部件不同速率来设置不同的通路。比如，在 CPU 与主存之间设置高速的所谓“内部总线”，其传送速率常常可达 100MB/s,而对进行 I/O 控制的部件，由于其速率较慢通常选用一些工业标准（如 VME 总线等）。此外，工作站都设有图形处理器，而 CPU 与图形处理器之间常有大量信息要传送，因而也设置“内部总线”来作专用通道。上述方法的运用使得工作站的总线成为一种多总线了，可大大加快信息在各部件间的流动，同时其总线的控制和协调也必然要比单总线复杂。

特点之二是 CPU 的 RISC 化。

1987 年,Sun 公司首先推出使用 RISC(Reduce Instruction Set Computer) 技术的 CPU,从而引起了大幅度提高 CPU 性能的一次新热潮。RISC 技术克服了传统的 CISC 的一些固有缺点（例如指令不能直接被硬件执行，而需经微程序解译后才由硬件执行；指令寻址方式繁多而无法在一两个机器周期内被执行等），这就使它的 CPU 速度确实比 CISC 的 CPU 快了许多。工作站是第一个采用 RISC 技术的机种，因而从 CPU 技术上讲，使用 RISC 的工作站与使用 CISC 的微型机在性能上已拉开了较大的档次。当然，随着 RISC 技术的普及,微型机也会使用 RISC 技术的 CPU。

随着技术的进步，以前工作站上的许多技术现在在微型机上都已采用，比如，用 EISA 总线的 486,也有了“内部总线”。486 采用的 SVGA 显示方式其分辨率已可达到 1024×640,已接近工作站的显示分辨 1024×1024。但就此还不可以说微型机已工作站化,而只能说明高性能部件的价格越来越经济，使得微型机在价格不变的前提下，整机性能有了较大提高。

从功用上讲，微型机的前景更多地反映出它将作为另一种家用电器而逐渐走入家庭，而工作站则将作为一种新的强有力的信息处理工具，逐渐普及到科学计算、事务处理、办公自动化等各个领域。

特点之三是工作站在软硬件技术上的开放性。

工作站与大型机或小型机唯一不同的武器是开放。IBM 的大型机和 DEC 的小型机曾对整个计算机产业的发展产生过巨大作用，但它们都是专有系统(注意,这里说的是专有，而不是专用）。这意味着基于这两家公司的大部分应用软件是不能互用的。当然，在其它公司的机器上也是不能互用的。不仅如此，机器的主要部件也只有产生该机器的公司才具有。软件的不可移植性和硬件部件的独家生产是专有系统的最大弊病。在计算机日益普及和软件产品大量增加的情况下，专有系统的确越来越不适应时代了。

正是为了顺应开放的趋势,Sun 公司在将其工作站投入市场时，第一个举起了开放的大旗。开放的简单含义就是公开各种接口、规格和设计的规范，以使不同的厂家可以按照同一规范来自己设计所需要的系统。这样产生的系统不但硬件部件可以在不同厂家间互换，更重要的是由不同厂家生产的各种软件只要符合同一接口规范，就可以相互移植而不必修改软件的原代码。开放性大大增加了用户的选择范围，因为他们不必再把精力花费在考虑一种机器上的软件是否可以在另一种机器上运行。而专有系统的用户就没有这么轻松了,IBM4381 机器上的软件在不修改原代码的情况下，是不可能移植到 VAX11 系列机器上的。为此,在考虑增加新机器或增加新的性能时，专有系统用户将被限制在一个较小的范围内，他们将只能考虑在

生产该专有系统的公司中进行选择。

除了开放性以外，工作站的性能已完全超过传统的小型机和大型机，这是小型机和大型机衰落的技术原因。这也是很重要的一点，因为微型机也是开放的，但它并未对小型机、大型机构成真正在威胁。工作站不但在性能上已大大优于现有的小型机并超过大型机，而且价格比小型机还便宜。

工作站的特点之四是越来越多地采用过去只是巨型机才使用的技术，最典型的就是超标量技术和多 CPU 技术。

超标量技术是在工作站的 CPU 中所使用的。超标量处理器通常具有两个或两个以上的并行指令流水线，也就是在一个 CPU 中设置多个运算部件以及相关的指令解码和译码部件。其本质是利用硬件资源的重复来换取性能的改善。在当前 CMOS 工艺条件下，时钟频率逐渐接近其增益的极限值时，超标量技术在提高单 CPU 性能上是非常有前途的。

同样，多 CPU 技术也是利用硬件资源的重复来提高性能，所不同的是，这已不是在一个部件内进行资源重复了，而是变为在部件之间。当前，属于紧耦合的多 CPU 系统有两种设计方法：一种叫做共享主存的多 CPU 系统(Shared memory multiprocessor)，另一种叫做消息传递的多 CPU 系统(massege passing multiprocessor)。后者由于设计复杂并伴随有许多目前尚不易解决的问题，所以仍是处在研究阶段，市场上还没有商业化的产品。但是，第一种设计方法早在多年前就已在巨型机上实现了(如:Cray-1、Cray-2 都是共享主存的多 CPU 系统)。

消息传递的多 CPU 系统特点是，每个 CPU 都有自己的存储器，各个 CPU 之间通过消息的传递达到同步和信息交换的目的。而共享主存的多 CPU 系统特点是，系统内的所有 CPU 都共享统一的主存空间，并通常使用总线来连接多个 CPU 与主存。目前工作站上的多 CPU 互连设计都使用这种方法。由于多个 CPU 同时存取同一主存，主存的带宽成为性能的瓶颈。随着处理机(即 CPU) 个数的增加，瓶颈问题将越来越严重。所以整机性能并不是随着处理机的个数成正比增加，而是当处理机个数达到某一值量，性能不再增加，即达到饱和。

扩大主存带宽，推迟性能饱和点的有效措施是在每个处理机和主存之间增加一个被称为 Cache 的高速缓冲存储器。这样，各 CPU 对主存的存取要求大部分可以在自己的 Cache 中得到满足，只有一小部分还要去竞争共享内存。

为了使几十个 CPU 可以通过 Cache 共享主存，它们之间的相互连接将成为多 CPU 系统设计的关键。当然，互连的方法有许多(如网状互连、总线互连等等)，但比较经济而又实用的是总线互连，如图 1.1 所示。

共享主存的多 CPU 系统在使用总线来连接多个 CPU 时，主要应解决 Cache 数据的一致性和总线竞争等问题，这些问题虽然在单 CPU 系统也是存在的，但多 CPU 系统中这些问题来得更复杂。其中 Cache 数据一致性问题已成为多 CPU 系统是否能实用的技术关键。

Cache 数据的一致性是指系统必须保证主存中数据应与其在各 CPU 的 Cache 中的副本保持一致。在单 CPU 系统中，由于整个系统只有一个 Cache，Cache 一致性问题只存在于 Cache 与主存之间。采用“透写”(write-through) 策略，即同时更新 Cache 和主存的数据，便可保证 Cache 的

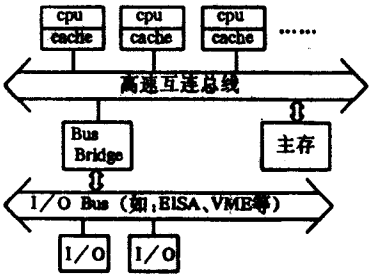

图 1.1　多 CPU 的总线互连