

巨型计算机的发展现状和趋势

Present State and Tendency of Supercomputer Development

林钟官

(江南计算技术研究所)

提 要 巨型计算机以其运算速度快、功能强的特点发挥着越来越重要的作用,它的发展水平已成为衡量一个国家的科学技术水平和经济发展实力的重要标志。因此,当前许多国家竞相投入巨资开发速度更快、功能更强的巨型机。本文简要叙述巨型机的发展现状和趋势,分析巨型机的类型,指出采用超级并行处理技术是当前巨型机发展的大势所趋,加速开发并行处理软件是提高巨型机使用效率的关键。

一、发展概况

巨型计算机(也称超级计算机)一般指其所在时代里性能最强、规模最大、技术最新的计算机。但是,近几年来出现了名为“小巨型计算机”和“超级并行计算机”的新机型,它们以性能/价格比高、可靠性强、扩充性好和使用方便等优点,显示了强大的生命力和竞争力。以往巨型机主要用于科学和工程数值的高速浮点计算现已开始向经济领域渗透,用于经济模型的数值模拟和股票市场预测。所以,一般将对各种自然现象进行数值模拟的计算机叫作巨型机。巨型机的研制水平、生产能力和应用程度已成为衡量一个国家经济实力和科技水平的重要标志之一,它对国家安全和科技发展起着极其重要的作用。因此,许多国家都竞相投入巨资,通过各种途径研究、开发和生产巨型计算机。

巨型机从问世到今天的短短十多年中;经历了三个发展阶段。1976年以前为早期阶段,主要代表机种有STAR—100、ASC和ILLIACIV。1976年Cray—1机研制成功,标志了巨型机的发展进入第二阶段。跨入80年代以后,采用多机结构的机器相继问世,使其处理速度开始突破MFLOPS大关向GFLOPS迈进并涌现出了许多超级并行计算机系统,使巨型机的发展跨入了一个崭新的阶段,加快了巨型机的发展步伐。预计90年代巨型机的运

算速度将以每五年提高一个数量级的速度发展,90年代中期将推出TFLOPS的巨型机。目前全世界巨型机的装机台数约为500多台,今后随着应用日渐普及、市场日趋扩大和一些高科技领域对大量高速复杂计算的迫切要求,预计90年代中期全世界将有1000多台的巨型机投入运行,巨型机的市场将持续走俏。

目前,美国和日本在发展巨型机技术方面走在各国前面,它们拥有的巨型机数量最多,应用范围最广,同时它们在市场上的竞争也最为激烈。美国Cray公司是有着举足轻重影响的老牌巨型机公司,占据着世界巨型机市场的60~70%,其主要竞争对手是日本富士通、日立和NEC三家公司和欧洲的Parasytec以及Meiko等公司。因此,90年代巨型机的发展将与美日两国推出的巨型机紧密相关。本文主要以美日两国巨型机发展的势态加以论述。

二、分类和性能

早期巨型机主要是基于多功能部件和流水线技术的单向量巨型机。近几年来,巨型机除了继续追求高性能的向量巨型机外,一些公司和厂家为了提高性能价格比,拓宽应用领域,争夺巨型机市场,正热衷于开发小巨型机。尤其是32位高性能微处理机出现后,采用并行处理来提高巨型机的性

能已成为计算机研究人员开发的热门领域,从而使并行处理技术得到极大的发展,巨型机的组织结构由单处理机系统向多处理机系统迅速转移,多处理机系统成为当前巨型机系统结构的主要发展趋势。

1. 高性能向量巨型机

美国早期的巨型机和日本近几年推出的巨型机大多数为流水线结构的向量巨型机。这种巨型机经过十多年的发展,在技术上已比较成熟,是当前巨型机市场的主流机种。但是,由于这种巨型机继续靠缩短机器周期来提高速度,受到信号传送延迟和组装技术等因素的制约,遇到的困难愈来愈大,提高性能的潜力愈来愈小。所以近几年来这类机器正在朝着采用性能较高而数量不多(一般为2~16个)的处理机互连成一个共享主存的紧密耦合的多处理机系统方向发展,使系统性能得到大幅度的提高。

美国近两年推出的和正在研制的巨型机大多数采用多机系统结构。例如1987年10月推出的ETA—10系统由8个处理机组成,其峰值速度突破了10GFLOPS;1988年Cray Research公司推出的Y—MP也采用了8个处理机组成;Cray Computer公司预定今年推出的采用GaAs器件制成的Cray—3由16个处理机组成,其峰值速度可达16GFLOPS,计划90年代中期将推出由64个处理机组成的Cray—4,其峰值速度将达到128GFLOPS;此外,Cray Research公司1995年以Y—MP为前端机将开发出TFLOPS的MPPI,将宣布64GFLOPS的TRITON;1997~1998年将完成200GFLOPS的TRITON—X(GaAs器件)。

日本富士通VP2000和日立S820/80的峰值速度分别为5GFLOPS和3GFLOPS,是目前世界上最快的单向量巨型机。但是近两年来,日本开始认识到采用多处理机体系结构已是提高巨型机处理速度的一个必然趋势。所以,日本NEC于1989年推出SX—3系列,其高档机型为4处理机紧耦合结构,具有22GFLOPS处理速度。1992年元月又将SX—3系列改进成为SX—3R系列,其SX—3/44R机峰值处理速度为25.6GFLOPS。

尽管高性能向量巨型机遇到的困难愈来愈大,使有些计算机专家对其前景表示疑虑,但随着高速器件的开发和系统结构的革新,高性能向量巨型机至少在本世纪末仍将会得到不断地发展。

2. 超级并行计算机系统

目前通常把使用100个以上处理器组成的系统定义为广义的超级并行计算机系统。这样的系统必须解决十几个处理器构成的系统所难以遇到的处理机间连接方式等种种问题。但是,要大幅度地提高计算机的处理能力,除了更新器件、提高工

艺技术外,其潜力主要在于大规模地实现并行处理。

从80年代中期以来,随着微电子技术的进步,采用数百个,甚至成千上万个专用处理器或通用微处理器组成的超级并行计算机系统已商品化,其性能已接近高性能向量巨型机,且大有超过的趋势,而成本却比同档向量巨型机低得多。随着其性能的提高,必将进一步进入巨型机的应用领域,成为新一代巨型机结构的特征。目前追求超级并行处理可以说已成为巨型机发展的时代潮流。超级并行计算机系统的开发已受到世界各主要计算机公司的密切关注。

美国在1984年就推出了由100个以上处理器组成的商用并行计算机系统。美国NCUBE公司和英特尔公司研制的超级并行计算机NCUBE和iPSC等产品已商品化,且正努力向更大规模和更高速方向发展。1989年NCUBE公司已开始出售由8192个处理器构成,峰值性能为18.5GFLOPS(64位浮点运算)的NCUBE—2标量巨型机。它不仅运算速度可以与最高速的向量巨型机相匹敌,而且还配备了关系数据库等应用软件。英特尔公司于去年推出了采用128个RISC结构的i860芯片构成的,峰值速度达7.6GFLOPS的样机,并计划在今年内推出一个以i860XP芯片组成的Touchstone Sigma系统,其峰值速度达150GFLOPS。美国思维机公司已经出售了数套最多由65536个1位处理器构成的连接机系统。由于它并行度很高,处理器很小,因此在图形识别等专用领域具有很重要的价值。前年美国国防高级研究局同思维机公司签订了研制一台具有每秒千亿次的样机,作为实现每秒万亿次运算速度的超级并行计算机的合同。该公司预定在今年先推出每秒万亿次机的重要基础,且保持软件兼容。过去一直致力于开发向量巨型机的美国Cray公司计划采用几百个乃至几千个由DEC公司开发的下一代RISC芯片微处理器来构成超级并行巨型机。该计划分三个阶段实施,预定1997年开发出由1024个处理器构成峰值速度达1000GFLOPS的超级并行处理系统。

美国之所以有许多公司热衷于研制超级并行计算机,其原因在于,超级并行处理系统有可能成为下一代巨型机的发展重点,他们认为要想保住美国在巨型机方面的领先地位,就必须采用这种并行处理技术并大力推进其研究工作,而且认为如果掌握大规模并行理论的时间越晚,则竞争能力就越差,未来称雄高性能巨型机行业的可能性也就越小。

但是,目前美国生产超级并行计算机的一般倾向是,不过分追求单个处理器的性能,而是把重点放在增加处理器个数上,它们宁可把开发重点

放在并行处理用编译器等软件的完备上。

日本在开发超级并行计算机方面正迎来一个崭新的局面。目前一些厂家和大学已开发出由128~512个处理器构成的样机,并且完成了性能评价和软件开发,有的厂家还在酝酿使之商品化。不久前日本松下电气公司与京都大学合作研制的并行计算机系统ADENA业已问世。目前该系统最大构成为256个处理器,峰值速度达到5GFLOPS。日立公司正在研制由100个以上配置向量运算部件的处理器构成并行处理系统,预计峰值速度可达10GFLOPS。该公司在推向商品化时打算将处理器的峰值速度提高到200MFLOPS,使并行配置1000个这种处理器的系统峰值速度可达到200GFLOPS。

目前日本各公司研制的超级并行处理系统大多数采用适用于特定科学计算的体系结构。其主要原因之一是,日本计算机研究大多指向硬件,而软件研制却搞的很少,真正从事并行处理研究的人也大多是围着体系结构转。编写能充分发挥机器并行性的程序的确很难。如果考虑到机器的通用性,需要解决的问题就更多。总之,通往实用化的道路还很艰难。但是,如果把机器集中于某个特定的科学计算领域,开发专用软件就相对容易得多。

在超级并行计算机系统的研制过程中,采用高性能通用微处理器构成规模可变的多处理器系统得到重视。目前尽管这种系统的绝对运算速度还比不上传统巨型机,但它发展迅速,可望在90年代中期超过,而且利用RISC芯片开发超级并行巨型机,将使费用大幅度下降。因此,采用并行处理技术来提高计算机性能已是大势所趋。

3. 小巨型机

小巨型机是80年代中期兴起的新机种,由于它具有性能/价格比高,换代周期短,尽可能多地采用新的体系结构和软硬件技术,以及应用领域广等优点,已获得广大用户欢迎。因而使其发展异常迅速。在短短的几年中已推出了三代产品,第一代以美国C—1,FX/8和iPSC/VX以及日本的VP—3和S810/5为代表,它们的性能一般接近100MFLOPS;第二代以C—240,FX/80和iPSC/2为代表,其性能可达到200MFLOPS;第三代以C—3,FX/2800和iPSC/860为代表,其性能超过了1000MFLOPS。

从研制的角度来看,目前小巨型机可分为三种类型,一种是称为普及型巨型机,它是采用原有巨型计算机的软硬件技术,适当缩小了配置规模,降低了价格,以扩大应用范围,如FOCOMVP—30。另一种是体系结构上采用巨型机行之有效的流水线和并行处理技术,并与现有巨型机指令级

保持兼容,以力求提高性能/价格比和拓宽应用领域,如CONVEXC系列机等。第三种是立足于市售或专用微处理器的并行处理系统,如Intel iPSC系列机等。这种类型的小巨型机研制周期短,扩充性好,便于提高系统性能。其中后两种类型的巨型机是当前小巨型机发展的主流。

美国CONVEX公司是最早开创小巨型机的公司,它于84年率先推出了C—1小巨型机。88年推出的C—240,是一种颇有特色的小巨型机,其体系结构类似于Cray机器。C-240含有4个处理机,采用自动分配技术,动态并行度相当高,标量运算速度达124MIPS,向量运算速度为200MFLOPS,性能指标超过CrayX—MP/14,而价格仅约为100万美元。它的显著特点之一是,同一处理机内的标、向量处理器可同时执行。另一个特点是其FORTRAN编译器的自动向量化和自动并行化水平在众多机器中占领先地位,它的编译器使机器效率相当高。

三、先进工艺是开发巨型机的基础

巨型机历来是先进器件和组装技术首先应用的重要领域,它是巨型机性能迅速提高的基础。美国ETA—10巨型机采用ETA公司和Honeywell公司合作开发的在77°K环境下工作的先进的2万门CMOS门阵列和用44层印刷板组装成单板的巨型机CPU,其时钟周期提高到7纳秒,运算速度突破每秒百亿次大关。Cray Computer公司在其Cray—3和Cray—4巨型机中采用了开关速度比硅快五倍的GaAs门阵列,使时钟周期分别提高到2纳秒和1纳秒。

随着微电子技术的发展,微处理器芯片的集成度越来越高。最近TRW公司和Motorola公司联合研制的CPU AX高级芯片集成了400万只晶体管,在单个芯片上可以集成多个微处理器、存储块和支持功能部件,并行结构可移入芯片级或晶片级。高效的RISC结构微处理器将主宰微处理器的市场。

90年代初期,CMOS芯片的集成度将达到50万门;双极ECL5万门、功耗30~40瓦的门阵列已投放市场;BiCMOS门阵列样品芯片的集成度将提高一倍;GaAs芯片集成度已达到3万门,预计1992年GaAs门阵列的集成度也可以提高一倍,而且它将增加象SRAM那样用作寄存器堆或暂存的新特点;4兆比特DRAM已投放市场,本世纪末1Gb的DRAM将投入批量生产,门电路的开关延迟时间可达到10~25皮秒。这些高集成度芯片不仅大大提高了巨型机性能,而且为实现超级并行结构,减小系统体积,降低系统成本提供了物质基

础。

采用高密度组装技术缩短连线和信号传输延迟时间也是提高巨型机主频,缩短周期时间的重要因素,只有采用高密度组装技术才能充分发挥高速集成电路的效力。目前,计算机厂家已普遍采用和大力推广表面安装技术(SMT),使SMT无论在技术或操作环境方面都日趋成熟,表面安装设备的生产、销售和应用也日益增长。预计90年代初计算机将普遍采用表面安装技术。

高效制冷技术也是研制巨型机必不可少的技术手段。目前空冷技术仍在普遍使用。随着功率密度的不断增长,估计今后将出现空冷与局部液冷结合使用,而且将会有更多的巨型机采用效率更高的液冷和浸液冷却技术,以保证机器可靠地高速运行。

四、加快并行处理软件的开发

巨型机的峰值性能虽然已达每秒30GFLOPS,但是用户所得到的实际性能往往只有峰值性能的5~15%。其原因是,软件跟不上硬件的发展步伐,缺乏足够的软件支持是一个十分重要的因素。尤其当前硬件技术发展很快,采用多机并行处理已成为当前巨型机系统结构发展的必然趋势。因此加快开发高性能并行操作系统和并行处理软件已成为软件设计人员面临的关键问题。目前巨型机软件研究工作相当活跃,主要的研究中心有美国的Cray公司、IBM公司、伊利诺斯大学和康奈尔大学等,并已取得了较大的进展。多处理机系统的编译程序从早期的非自动并行编译开始迈入自动并行编译的阶段,并行Fortran编译程序已在小巨型机中使用,并行C语言编译程序也在积极研究之中。目前能够支持并行程序设计的编译程序大致分为两类,其中一类是自动将现有的串行程序转换成并行操作。它既可以书写新的并行程序,也可以转换原有程序。美国由25家公司组成的并行计算论坛正在着手起草Fortran并行语法的标准。

对于超级并行处理系统来说,则就更需要开发和使用新的并行程序设计语言,或者扩充Fortran、Ada和C语言这类现有的高级语言。近几年来,尽管也设计出了一些全新的并行语言来支持并行处理,如并行Pascal、Modula—2、Occam和Sisal等,但是这类语言只包含某些面向应用的并行性,而不能支持所有类型的并行性。目前,软件

研究人员正为并行/向量巨型机探索一种理想的并行程序设计语言。这种语言将与机器的体系结构无关,适合于各种计算方式。

在美国,巨型机操作系统正向UNIX系统靠拢。Cray公司在其X—MP巨型机中将UNIX COS作为选件提供,而在Y—MP巨型机中则已成为标准的操作系统。IBM公司也在转向UNIX,开发支持3090机的UNIX版本。当然,UNIX要充分满足巨型机的需要,成为一种真正的巨型机操作系统,还需要经过重大修改和建立新标准,扩充进一些重要功能。目前,UNIX用户协会正在为Fortran程序同UNIX、高速异步I/O、批处理子系统和检验点恢复机构的接口方式制定标准。今后还将研究多重处理、分布式处理、资源分配等方面的问题。虽然目前许多公司还是坚持使用它们自己的操作系统,但是UNIX操作系统设计简洁,功能强,具有良好的移植性,并且得到包括美国政府在内的各种用户的广泛支持。因此,这种向UNIX靠拢的趋势在今后几年内将会逐步加快,它在巨型机领域中的地位亦会不断得到加强。

五、新一代巨型机的研制初见成效

由于传统的计算机结构对实现并行计算存在着致命弱点,即并行计算受到单一顺序程序的制约。因此,人们从长远的观点考虑出发,一直在探索一种摆脱这种结构束缚,适应于并行计算要求的新型体系结构的计算机。近几年来,数据流计算机的研制已初见成效,它为超级并行处理提供了一种新的途径。

日本工业技术院电子技术研究所前年开发成功一种数据流巨型机SIGMA—1,它由128个处理部件、128个结构部件、32个局部网络和一个全局网络组成,以100MFLOPS的平均速度执行实际的应用程序,建立支持超并行计算的程序设计环境。该机的研制成功证实了数据流计算机作为一种实际的超并行计算机的可行性。

日本第五代计算机经过了近十年的研制工作,可望即将建成一个具有1 000个处理器并行处理的演绎机。该机建成后可处理的数据量将为通常巨型机的500倍,它能够识别人的声音,理解人的思维过程,为新一代巨型机走向实用化开辟了道路。可以肯定地说,90年代将是巨型机蓬勃发展的十年。

(责任编辑 宋义荣)