

世界级重大挑战性课题与 大规模并行处理系统

王文义 王若雨

(郑州工业大学计自系) (河南电力培训中心, 郑州, 450051)

摘 要 介绍了当今急需解决的若干世界级重大挑战性课题以及它们对计算机性能的需求, 同时对具有高级系统结构的大规模并行计算机的发展状况和存在问题也进行了讨论。

关键词 重大挑战课题; 大规模并行机; 并行程序设计

中图分类号 TP30

0 引言

随着社会与科学的飞速发展, 许多复杂的科学计算、巨量数据处理、超大型工程设计等课题都急迫地摆在了人们面前, 实现和完成这些工作无一不对计算机的运算速度、存储容量和数据传输速度等提出了几乎是无止境的要求。微型计算机显然无法满足这些要求。既是向量巨型机对上述要求也已显得力不从心。只有采用先进的大规模并行处理(Massively Parallel Processing - MPP) 技术才能满足上述要求。当今, 世界各主要经济技术大国, 特别是美、日等国都相继投入了巨额资金用于发展研究 MPP 技术。美国的 HPCC(High Performance Computing & Communication) 计划, 日本的 RWC(Real World Computing) 计划等都是围绕上述目标而提出的。我国的 MPP 技术研究也在急起直追, 前不久我国的曙光 - 1000 大型并行计算机出口喀麦隆就是一个证明。

1 世界级重大挑战性课题

“世界级重大挑战性课题”概念是由美国在其 HPCC(高性能计算和通信) 计划中提出来的, 该计划主要阐明大规模并行性开发和应用的可能性, 评估过去的进展并提出 MPP 未来的发展趋势, 课题包括如下领域:

1.1 磁记录技术 磁记录工业依靠使用计算机来研究静磁和交互感应以降低高密度磁盘金属薄膜镀层的噪音。

1.2 合适的药物设计 通过抑制人的免疫故障病毒蛋白酶的作用来研制治疗危及人类生存的癌症和艾滋病的药物。

收稿日期: 1997-09-11

第一作者: 男, 1947 年生, 学士, 副教授

1.3 高速民用运输机设计 在超级计算机上研究计算流体动力学以辅助设计出高速民用飞机,通过化学动力学的计算可以设计出较好的发动机模型,从而提高燃料的燃烧效率。

1.4 催化作用 对许多由酶催化控制的生物过程可用计算机来设计出用于化学反应的催化剂。大规模并行量子模型要进行大量模拟以减少催化剂设计以及对其进行特性优化所需要的时间。

1.5 海洋建模 不具备超级计算能力的计算机是不可能对海洋行为进行精确建模的。臭氧耗损的研究要求用计算机去分析其复杂的化学和动力机制。海洋活动和臭氧耗损都将影响到全球的气候变化。

1.6 其它 需要计算支持的其它重要领域还有实时医疗诊断的数字解析,通过计算建模研究减少大气污染,计算生物学家设计蛋白质结构,图像和图像理解等等。

HPCC 计划所提出的某些重大挑战性课题对计算机的需求如图 1 所示,它要求计算机硬件具有 $3T(Tera-10^{12})$ 性能指标,即:1TB 的内存容量,1Tflops 的运算速度和每秒 1TB 的数据传输带宽。即使使用现在最优秀的计算机与这些要求相比,其速度也要差 10 倍到几百倍。在图 1 中指出了支持科学模拟、先进的 CAD 和大型数据库与信息检索操作的实时处理等所需要的处理速度和存储器规模的量级。

2 MPP 技术的发展历史与现状

2.1 传统向量机的技术限制因素

在过去很长一段时间里,向量机 VPP(Vector Parallel Processor) 倍受青睐,它的确有其优点,但随着科学技术的发展,它的弱点也就逐渐地显露出来,这主要体现在以下几个方面:

- 受器件限制,主频率率受到约束,在工艺上,1ns 被认为是极限(对应单机性能 1Gflops,1G=10⁹)。
- 单机体系结构技术已相当成熟,很难再有突破性进展。

- 由于共享存储(Shared memory),可扩展性差,使处理机数目受限,目前商业化的 VPP,其处理机数目一般都少于 10 个,因此其性能难以达到 3T 指标。

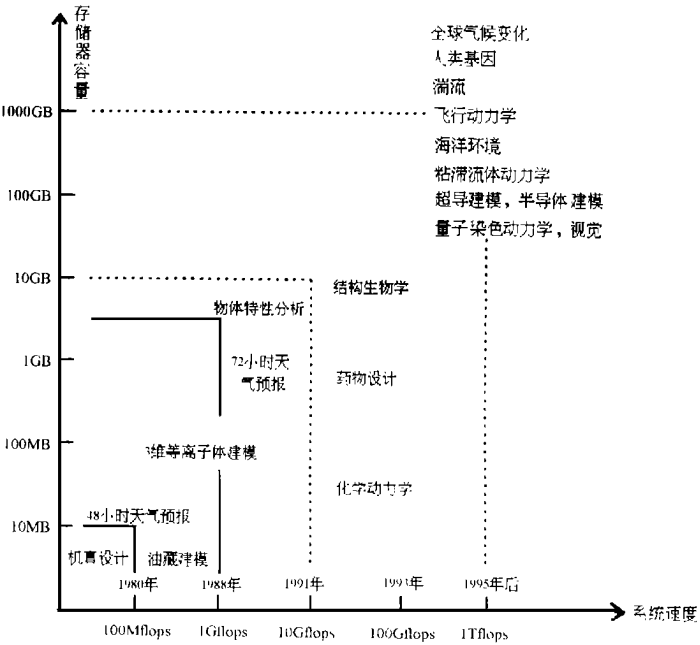


图 1 重大挑战性课题需求(美国 HPCC 计划,1992)

2.2 MPP 技术发展综述

MPP 系统与 *VPP* 系统二者曾存在有一个迭合期。在 1968 年, *MPP* 系统随着在一个控制器下有 64 个 *PE* (*Processing element*, 处理部件) 的 *ILLIac IV* 计算机的出现而问世。接着, 一台称为 *MPP* 大规模并行处理机由 *Goodyear* 公司用 16384 个 *PE* 制成。*IBM* 公司研制了一台 576 个 *PE* 的 *GF-11* 计算机。*MasPar MP-1*, *AMT DAP610* 和 *CM-2* 都是 *SIMD* (*Single Instruction Multiple Data*) 模式。以 *MIMD* (*Multiple Instruction Multiple Data*) 模式运行的 *MPP* 系统有 *BBN TC-200*, 其最大配置为 512 台处理机(仅实现了 64 台处理机的方案), *Intel Touchstone Delta* 系统有 570 台处理机。最近 *IBM* 公司宣布了一个用几千台 *IBM RS/6000* 处理机的 *MPP* 项目, *CRAY Research* 准备用 *Digital* 的 *Alpha* 处理机作积木构件来研制 *MPP* 系统。

由于 *MPP* 系统具有良好的可扩展性(*Scalability*), 故它的理论速度几乎没有上限, 所以近几年来, 以 *RISC* 芯片为基础的并行计算机正在迅速地替代由传统向量机所占领的市场而形成主导潮流, 象 *Paragon XP/S*、*SPP1600*、*T3D*、*CM-5E*、*SP2* 等都是新一代的超级并行计算机。

由美国和德国的一些专家组成的评审组每年都要评出世界上速度最快的 500 台计算机并张榜公布。在 1995 年公布的 *TOP500* 排名表中前 100 台属于每秒百亿次以上浮点运算速度的超级计算机, 其中有 63 台是 *MPP*。在最近的一次排序中, 前三名都是日本制造的 *MPP* 计算机, 它们依次为:

- 96 年 10 月投入运行的日本筑波大学研制的 *CP-PACS MPP*, 有 2000 个处理器, 速度为 3700 亿次/秒, 主要用于揭开宇宙之谜和验证素粒子理论。
- 日本科技厅航空宇宙技术研究所“数值风洞”计算机, 速度为 2297 亿次/秒。
- 日本东京大学的“*SR2201*”计算机, 速度为 2204 亿次/秒。

近年来的实践表明, 要实现万亿次(1000Gflops 或 1Tflops) 量级超级巨型机, 唯有大规模并行处理技术才能胜任, 只有对 *MPP* 技术进行不断地研究和发展, 才能达到和突破万亿次大关, 才有可能去解决上述的世界级挑战性课题。

3 *MPP* 存在的问题

MPP 系统易于实现, 可扩展性好, 具有优良的性能价格比, 但由于它还处在发展阶段, 故尚有许多问题有待解决。下面列出其中主要的两个问题进行讨论。

3.1 有效速度问题

并行机一般都具有很高的峰值速度(*Peak Speed*), 但用户在实际应用中所获得的有效速度(*Effective Speed*) 却往往与之相差甚远, 一般只能达到峰值速度的 10% 左右。其中最主要的原因是由 *Cache* 未命中延迟(*Cache missing Latency*) 所引起的(当然还有其它一些因素)。虽然有些 *MPP* 系统也在硬件方面采取了诸如增加芯片 *cache* 容量, 设置多重入口和设置整数处理器以增加预取(*Prefetching*) 功能等措施, 但在进行复杂的大型科学计算时, 仍然不可避免的要受到程序和计算方法等因素的制约, 不能大幅度地提高计算机的实际运算速度。所以说高性能的并行机还需要与高水准的并行编程技术和优秀的并行算法相辅相成才能发挥出应有的高效率。

并行软件和并行算法的严重滞后已成为推广应用高性能并行机的瓶颈。在目前情况下, 只有在并行程序设计和并行算法研究上取得进展或突破, 才是提高 *MPP* 系统应用效率的唯一可行途径。