

* 成果与应用 *

“曙光一号”并行计算机

李国杰 陈鸿安 樊建平 刘金水

(计算技术研究所国家智能计算机研究开发中心 北京 100080)

一、背景和目标

近几年来,国际上计算机与半导体工业发展飞速,在不断提高单机或单处理器性能的同时,多处理机系统和并行计算机已大量进入市场。这是因为并行机具有比单机更高的速度,更高的作业吞吐量,更高的性能价格比,更高的可扩充性和可靠性。所以,并行机已成为 90 年代计算机发展的主流。

并行机的发展建立在高性能的 RISC 处理机芯片基础上,采用当前流行的操作系统和一系列工业标准,形成了“开放的”体系结构。这种开放系统打破了少数公司对计算机的垄断,给后来者和小公司提供了绝好的机会,一批名不见经传的小公司已挤入国际著名计算机的行列。国内的改革开放和国际趋于缓和的形势为我们学习和利用国外先进技术,建立国际合作提供了机会。并行机的研制在国外也是起步不久的新领域,关键在软件上,技术并不很成熟。发展并行机是我们面临的一次新的机遇。曙光一号并行机的研制就是在这样背景下的一次成功的尝试。

在“863”计划智能计算机专家组的正确指导下,设在我所的国家智能计算机研究开发中心,通过分析并行机的发展现状和趋势,选定了以研制全对称共享存储多处理机(SMP)系统的曙光一号和分存储的大规模多处理机(MPP)的东方一号为主攻方向。从用户使用角度看,目前最成熟的还是共享存储多处理机。从国内外市场需求看,目前需要量最大的也是共享存储的多处理器服务器。国内已研制成功的几种共享多存储多处理系统不是全对称的,而是靠在一台主机上串行地运行操作系统的核心去支持用户程序。操作系统核心本身并没有并行化。根据国外对典型的服务器运行进程的统计,平均一个进程花费 40—50%的时间运行系统核心代码。因此,采用非对称方式,许多应用只适用于两个 CPU 的多机系统,即使每个用户进程花费 10%时间执行核心代码,这种多处理机最多只能供 10 个用户同时使用。所谓全对称的多处理机则是指每一个 CPU 对主存和外设的访问以及接收中断请求等都具有相等的能力。每个 CPU 都可以同时运行系统核心程序,响应中断,也可以运行用户程序,这样就大大扩充了同时运行的用户数。曙光一号瞄准全对称多处理机的方向,把攻克和掌握 90 年代全对称多处理机技术作为自己的重要目标。

同样是多处理机,并行计算的粒度(grain)差别很大。国内已研制的多处理机最细粒度只能到并行循环这一级,采用进程切换,这样的进程切换的开销在毫秒级。但是在大量科学工程

计算,智能应用和实时处理中需要细粒度并行。这就要求引入多线程(Multi-thread)技术,大大降低上下文切换(Context switch)的开销,这也是 90 年代多处理机的一项关键技术。曙光一号也把具有多线程机制、支持细粒度并行,作为技术突破的重要方向。

我们以邓小平同志“发展高科技,实现产业化”的题词作为研制曙光一号的指导思想。从设计伊始就定下一个目标:曙光一号不能是一个原理性样机,而应是具有市场竞争力的高科技产品。为了在国内能批量生产,不能选用国外禁运的 CPU 芯片,而要能在国内买到的,支持细粒度并行,实时处理能力强的芯片,在当时条件下,只有 Motorola 的 88K 芯片具备这些条件。要攻克全对称多处理和支持细粒度并行的多线程技术,目的是增强产品的竞争力而不是纯学术研究。在硬件和软件设计时特别强调采用公认的工业标准,要在遵从工业标准的基础上积极创新,以利于应用软件的移植和推广应用以及设备的更换和扩充,系统总体强调开放性和通用性。设计从高起点起步,采用最先进的设计工具,通过加强国际合作,尽量缩短产品开发周期。

二、特点和性能

曙光一号并行计算机系统是我国自行研制的第一台用微处理机芯片构成的全对称多处理机(SMP),又是一个通用的并行计算平台。它采用 90 年代最新技术,如精简指令系统 RISC 技术,多种大规模集成电路芯片和大容量动态存储器;设计了内部高速总线,实现了各主要部件之间的高速数据通信;选用最新的现场可编程门阵列 FPGA,自行设计并实现了多处理机中断控制器 CD-92,处理多处理机的中断请求,保证每个处理机平等访问内部总线上的资源,形成了一个全对称的紧耦合的共享存储的体系结构;在输入/输出端口上采用了 VMEbus, SCSI, Ethernet 和 RS-232C 等标准的总线技术,可灵活地连接网络,配置系统。

曙光一号的操作系统 SNIX(Symmetric Unix)是通过在 UNIX 版本细粒度加锁以及动态分配 I/O 中断向量方法,实现多处理机系统的对称式处理,通过在 UNIX 操作系统核心中增加共享资源进程以及成群调度策略,在用户空间以库函数方式实现线程(threads)概念,支持中细粒度的并行计算。在操作系统之上,提供了大量 UNIX 实用程序、标准化的串行语言编程环境与调试环境(包括串行 Fortran 语言的自动识别器)、X-Window/Motif 图形用户界面、基于 TCP/IP 协调的网络软件、第四代语言、数据库管理系统、智能应用开发环境以及分布式程序设计 Express 等。

曙光一号在预先研究基础上,经过一年多的艰苦努力终于研制成功,实现了 90 年代并行计算机的主流技术:全对称多处理机系统。自行设计的 CD92 多处理机中断控制控制器(两块万级门规模的大规模集成电路芯片)和局部总线支持了全对称多处理机的硬件实现,操作系统核心并行化的改造和并行编译支持其软件实现。此外还有几个特点:

- 支持细粒度并行的多线程技术(Multi-thread)。
- 不仅支持多用户多任务的多处理(SMP),而且真正加速单任务的并行。
- 提供具有世界先进水平的并行编译。
- 硬件和软件都遵循国际公认的工业标准,是开放性系统,扩充和更换设备灵活。软件界面友好的移植十分方便,应用软件丰富。
- 中断处理速度快,适于做事物处理服务器,网络通信服务器。

- 系统扩展性强,支持用户多。
- 实时处理能力强,适于实时仿真。
- 系统稳定可靠。

曙光一号经过严格测试表明具有很高性能,全部达到或超过设计指标。这里简列几项:

- 8CPU 实测定点速度 305.25MIPS,浮点速度 35.10MFLOPS。
- 并列加速比:4CPU 是单 CPU 的 3.4 到 5.7 倍。
- 操作系统核心代码并行加速比:4CPU 下为 3.5。
- 中断响应系统开销小于 17.6 微秒。
- 多用户吐量:严格同时运行 128 个用户,系统响应时间只增 12%。

曙光一号性能优于国外 90 年代初同类产品水平,一家外国公司承认我们的系统软件水平比他们同类机器好。根据我们最近获得的机能测试报告,曙光一号上下文切换(以空系统调用测)远远小于 SUN 公司和 IBM 公司最近推出的同类型机器。

三、市场与应用

曙光一号于 1993 年 10 月通过由国家科委组织的技术鉴定,受到鉴定委员会的高度评价,认为:曙光一号是“863”高科技计划信息领域的一项重大成果,达到了 90 年代初同类计算机产品的国际先进水平,不但是一项科研成果,而且是一个具有市场竞争力的、性能价格比高的高技术产品,具有广阔的应用前景。

1994 年 10 日,国务院总理李鹏在八届人大二次会议的政府工作报告中指出:我国科技事业在深化改革中取得新的进步,银河 II 型计算机、曙光一号并行机等一批科研成果达到世界先进水平。国家科委和中科院领导十分重视将科技成果转化成为生产力,要把曙光一号推向市场,促进高性能计算机的产业化。国家科委党组做出决定:将曙光工程列为 1994 年优先实施的重大科技产业工程,并作为首选项目,拨款 200 万元作为紧急启动费用。中国科学院工作会议上把曙光一号列为五大产业化战役之一。

国家智能中心十分重视市场和推广应用。几乎在研制曙光一号的同时,组建了成果推广部,随后又正式注册成立了“北京市曙光计算机公司”,开展了市场和销售工作,取得初步的成绩。

1993 年 12 月初,第一台曙光一号安装在武汉大学软件基地,用作校园联网服务器;中国科学技术大学计算机系也安装了一台曙光机,用于国际联网服务器;全国高新技术开发区联网、航天部、内贸部和铁道部等单位正在洽谈合同;清华在大学 CIMS 中也选用并安装了一台曙光一号做大型企业 MIS 系统服务器;作为援外项目,一台曙光一号即将出口,装备埃及穆巴拉克国家实验室;南京新技术开发区也将安装一台,用于信息演示中心和开发区联网;国家科委办公室自动化系统也采用一台曙光一号作为服务器即将安装;邮电部业务管理系统也将安装曙光机作为服务器;湖南省邮电业务系统准备采用多台曙光一号作为地市级服务;湖南省计算机所已签订合同,购置曙光一号做软件开发平台。

由于计算机发展异常迅速,每一、二年就会有新一代的机种问世。要形成产业就必须不断升级换代,以满足市场需求和保护用户资源,在升级换代中不断扩大市场,增加市场占有率。曙光一号的升级和形成曙光系列的工作已在进行,曙光系列机的市场将配合国家经济信息化和

三金工程,争取直接为三金工程服务。曙光系列主要面向通信,通过研制通信需要的硬件和软件,使曙光系列在通信服务上形成特色;同时重点开辟邮电领域与商业自动化的管理市场,使曙光系列计算机在大型商场、企业和政府机关实现管理计算机化中作出贡献。

为了推广曙光系列计算机,形成高性能计算机产业,在国家科委有关部门推动下,今年 7 月已正式签订成立中外合资曙光计算机有限公司的协议,注册资本 7812 万元(合 880 万美元),其中曙光一号知识产权占 240 万美元。该公司的成立受到国内外各大公司关注,许多公司主动前来洽谈合作。Motorola 公司将智能机中心与曙光公司选作重要的合作伙伴,打算今后在曙光系列产品升级与推广中全面合作。曙光二号,三号产品明年将推向市场。我们相信,曙光计算机将在我国高性能计算机市场上占有一席之地。

四、几点体会

外国计算机大量进入中国市场,我国计算机产业面临严重的挑战。我们是一退到底,甘于做代理商,还是知难而进,力争一席之地?对此必须作出回答。曙光计算机研制成功与初步走向市场给我们许多启示。我们认为,并行计算机的发展为我们提供了难得的机遇,我们有可能后来居上,这一机遇一定要抓住,千万不可错过。要想后来居上,一定要有所赶。在曙光计算机研制中,我们体会到要改变过去研制成果难以推向市场的局面,应该“三不做”。即完全仿制,没有自己知识产权的产品不做;仅仅为了填补国内空白,没有市场竞争力的产品不做;不符合国际工业标准,与主流技术脱节的产品不做。我们集中力量突破从国外买不到的或附加值高的技术,开发有自己特色知识产权的技术,设计与生产都从全世界范围内择优。在研制过程中大胆重用年轻科技人才,用开放的思路研制开放的计算机系统,坚持以应用带动整机研制和生产,以我们诚心诚意的服务和负责到底的精神取得用户信任,战胜国外对手。国产高性能计算机的曙光已经出现在地平线上,让我们以千百倍的热情去迎接光明的未来。