

机群管理系统
管理科学
并行环境
Windows (S)

23-26

机群管理系统的比较与评价*

Comparison and Evaluation of Cluster Management System

雷州 徐志伟 祝明发

TP315

TP316

(国家智能计算机研究开发中心 中国科学院计算技术研究所 北京 100080)

Abstract Network computing is one of the trends of computer development. Through network, the clusters of workstations form distributed computing environment, which is used to utilize the resources of the networks, increase the throughput of user applications, and process some high-performance programs. In order to achieve the goals, cluster management is critical. Firstly, this paper summarizes the basic model of Cluster Management System (CMS), then enumerates the standards to evaluate one CMS. Introducing several representative CMS, we give our evaluation. We hope to provide users a reference and give a help for research workers.

Keywords Cluster, Cluster Management System, Load balancing, Job

1 引言

尽管处理器速度、存储器容量等正遵循着摩尔定律高速发展,但仍然无法满足应用软件对计算机处理速度不断增长的需求。无论是事务处理,还是科学计算,大型主机越来越显得力不从心。在过去的十多年中,人们的注意力已从大型主机逐步转向以网络为中心的分布式计算平台。

通过网络相连的多台计算机组成的可扩展的机群系统具有优良的性能价格比,已成为人们充分利用现有资源,提高处理能力的主要手段。在机群系统中,管理软件是至关重要的组成部分,它能使用户象使用单机一样来掌管整个网络上的所有资源,多个处理器间的并行计算能够达到极高的运算速度,可完成即使在大型主机上也不能处理的应用程序。在企业的管理方面,由管理软件组合在一起的机群系统显示了其卓越的性价比;在科学计算方面,机群管理系统提供的可扩展的并行处理平台能使科研工作者得到所需的运算速度。

有鉴于此,机群管理系统的研制与开发已成为越来越多的科研工作者和软件商关注的焦点,因而,涌现出多种不同侧重点的机群管理软件。这给我们

提供了广阔的选择余地,同时又增加了取舍的难度。本文将对机群管理系统的评估标准加以说明,对几种成熟的系统进行比较。

2 机群管理系统基本工作模式

不同的机群管理系统在运行形式上千差万别,但其基本的工作模式却是相似的。每一个作业都必须经历从作业定义、提交运行和后处理三个阶段^[12]。

为了通过机群管理系统运行一个作业,首先必须定义一个作业描述文件,说明作业运行所需资源,如运行平台、内存大小等,对于并行作业,需指出并行环境、处理器数目。不同的系统定义作业描述文件的方式不同,通常采用文本编辑和图形用户界面(GUI)。

按照 CMS 所规定的语法规则定义好作业描述文件后,可通过驻留在用户工作站上的提交命令送给系统调度器。一般说来,调度器是一个 CMS 的核心,它管理整个机群系统的资源。每个机群工作站都必须定期或不定期向调度器报告自己的状态。调度器不仅要做到作业资源请求的满足,而且要公平合理地调度作业,并使得负载平衡,提高系统的使用

*)本课题得到了国家 863 计划资助。雷州 博士研究生,研究方向为并行处理与分布式系统。徐志伟 研究员,研究方向为并行体系结构与分布式编程环境。祝明发 研究员,博士生导师,研究方向为计算机体系结构、人工智能与模式识别。

率。

CMS 对作业运行后的处理是必不可少的。当作业正确执行并退出后, CMS 记录资源的使用情况; 当作业异常退出, 向用户报告出错信息。

3 评价标准

机群系统代表了计算机体系结构新的发展方向。作为机群系统的关键组成部分之机群管理软件已成为研究的热点, 因而出现了很多版本的管理软件, 从它们开发者的角度, 我们大致可将其分为科研产品和商用软件两类。不管每种机群管理软件都声称自己产品的特点和优势如何, Kaplan 和 Nelson^[4] 在调查了大多数机群系统的管理者和使用者后提出了 CMS 的评估标准, 我们总结为以下六大方面:

a. 计算环境 考察一个机群管理系统, 首先要看它的适用范围, 即计算环境。计算环境包括有三个方向的内容: 是否支持异构机群; 适用的硬件软件平台有哪些; 是否需要额外的硬件和软件。异构机群是指机群中的结点具有不同的硬件或操作系统。几乎所有的机群管理软件包都运行在基于 UNIX 工作站和 MPP 系统上。有一些科研机构开发的软件包支持 Linux。日立公司声称他们开发的 JP1 能够在 Window NT 上运行^[5]。到目前为止, 还没有发现能够在 Windows 95 上运行的机群管理系统。

b. 作业类型 在机群中, 按不同的角度将用户提交的作业分为交互/批处理作业, 并行/串行作业。交互式作业在运行过程中提示用户输入信息, 并实时地将运行结果反馈给用户; 批处理作业在用户提交后, 不必马上被执行, 系统会根据其策略在适当的时间, 调度作业到合适的处理机上运行, 用户为作业提供输入文件, 作业的输出及出错信息都以文件的形式展示给用户; 串行作业执行一个串行程序; 并行作业则允许将其多个子任务在多个处理机上同时执行, 其目的是缩短作业的执行时间。无论是并行还是串行作业, 都可以交互或批处理方式执行, 作为一个完备的机群管理系统, 必须最大限度地支持用户提交的各种类型的作业。

c. 作业调度与结点分配策略 作业在提交后, 如何被合理地调度, 既要做到公平, 又要做到系统最大限度地发挥作用, 是每一个机群用户和管理员所共同关心的问题。这涉及到系统所启用的作业调度与结点分配策略。CMS 维护着一个或多个作业队列, 作业调度负责从作业队列中选取作业投入运行, 一般的作法是根据优先级来选取作业; 而结点分配

算法负责为将运行的作业选择执行结点, 通常采用负载平衡和进程迁移来提高系统的性能。当机群由非专用的网络工作站组成时, 在运行一个机群作业后对结点的影响, 也是作业调度与结点分配策略需要考虑的因素, CMS 应尽量通过进程迁移的方式, 让工作站用户感觉不到机群作业的运行。

d. 资源管理 一个机群可以看作是一个用来执行程序的资源的集合, CMS 将资源分为动态资源、静态资源、布尔资源和专用资源。动态资源指随着主机结点的运行而动态变化的资源, 例如可得到的实际内存、结点状态(是否锁定, 是否繁忙等)、运行队列长度等; 静态资源是指不随作业运行而改变的固有结点资源, 如一台结点的处理器数目、机群所有计算机结点之间的相对处理速度、最大的内存空间和交换空间等; 布尔资源包括那些特定的硬件配置和某些只能在一定机器上运行的软件(如许可证 license 限定); 专用资源是布尔资源的特殊形式, 例如一个软件组有一个执行结点, 具有高速磁盘和某个编译器许可证, 且仅被用于处理编译作业, 那么这个结点即为专用资源。是否有效地管理资源是衡量 CMS 的重要参数之一。

e. 作业监控 在作业提交后, CMS 应保证用户仍然可对作业进行实时监控, 查看系统运行状态; 挂起或释放作业; 当不希望作业运行时, 可对该作业使用删除命令。

f. 安全与记帐 一般来说, 机群系统是一个多用户系统。CMS 必须保证多用户环境下用户的安全与记帐。直接利用 UNIX 认证或 Kerberos 确认系统被大多数 CMS 所采用, 只有系统管理员或授权的用户才能对作业和队列作相应的操作, 如作业的提交、删除、修改、挂起等。在记帐方面, CMS 应对每一已运行结束的作业记录下其资源使用清单, 如运行开始/结束时间、退出状态、优先级、通讯量等。系统管理员可对各项赋予不同的权值, 最后得到该作业所需的费用。

4 几种机群管理软件

目前大约有几十种各具特色的机群管理软件, 都在不同程度不同侧面反映了机群管理所应具备的功能。下面我们对颇具代表性的五种 CMS 作一下简单介绍, 其中三种属于商业软件, 两处源于科研项目。

NQE (Network Queueing Environment)^[2,5] 是 Cray 公司开发的机群管理软件, 是 NQS 的升级

版本,在性能上优于 NQS。它通过控制资源瓶颈,管理工作负载来提高系统性能。NQE 不仅能平衡单个计算机系统的工作负载,也能使多个计算机系统达到负载均衡。

基于用户作业的资源请求,NQE 通过一个作业调度程序来选择合适的执行服务器去完成作业的运行,其中负载均衡器(NLB)起到了关键作用。另外,用户还可将作业间相互依赖关系报告给系统,系统将负责安排作业间的执行顺序。FTA(File Transfer Agent)完成作业输出的重定向。

NQE 的基本特征是:机群间的负载均衡;支持 PVM 并行作业;作业依赖关系定义使得 NQE 能够用于事务处理;FTA 保证作业的输出;与 NQS 的完全兼容;基于 Motif 的图形用户界面(GUI)。

LSF(Load Sharing Facility)^[9,10] 该负载共享软件由加拿大平台计算公司开发的。从强大的功能和广泛采用的角度来看,LSF 可谓是一个成熟的机群管理系统。LSF 不仅适合科学计算,也可用于企业的事务处理,已在全球各地被应用于电子、航空、汽车、石油、化工、金融、医药、通讯、教育和科研等各行各业。

其特征概括为这样几点:批处理作业的排队与调度;支持交互作业;支持多种并行环境;动态负载均衡与负载监测;强大的资源管理;容错功能强,无单一出错点 SPF(Single Point of Failure)。

LoadLeveler^[11] 由 IBM 开发,既可运行在机群系统中,也可运行于多处理机系统中。IBM SP2 上就是采用 LoadLeveler 作为其作业管理软件。

LoadLeveler 的作业脚本文件具有类似于 UNIX Shell 的语法结构。当系统能够满足作业所需求的资源时,LoadLeveler 将作业投入运行。作业的资源请求包括内存大小,磁盘空间,操作系统等。LoadLeveler 也提供检查点切取(checkpointing)功能,当运行的作业异常终止后,系统仍可根据最近切取的检查点来继续执行,充分利用了计算资源。

LoadLeveler 的特征是:分布式作业调度;支持并行/串行,交互/批处理作业;负载均衡;支持异构环境;系统中心控制;可扩展性强;检查点切取。

DQS^[11] 是佛罗里达州立大学超级计算机研究所(SCRI)研制的基于 UNIX 的队列系统。该项目由美国能源部提供资助,目的是为了管理分布于计算机网络中的各种计算资源。

DQS 能够很大限度地解除异构网络环境给用户和管理者带来的不便;支持多种并行编程环境是

它的一大特色;并行 Make 工具进一步方便了用户。一些 DQS 特点是:并行 Make 工具;基于图形用户界面的作业监控与系统管理;支持多种并行编程环境(PMV,TCG/MSG,MPI,P4);基于资源的调度;UNIX 的安全认证方式。

Condor^[7,8] 充分利用工作站空闲时间是威斯康星大学开发的机群管理系统 Condor 最显著的特征。在由网络工作站组成的机群系统中,Condor 监测所有工作站的状态,一旦某台计算机被认为空闲,Condor 就将其放入资源池中,在资源池中的结点被用来执行作业。当资源池中某工作站的“拥有者”开始使用时,Condor 将在其上运行的作业迁移到其它结点上继续运行,不影响工作站“拥有者”对该工作站的使用。所有这些特征并不需要修改 UNIX 核心。对于用户程序,也只需与 Condor 的库函数重新编译链接即可投入运行。

Condor 的主要特征是:主要用于科学研究;检查点切取与进程迁移;不支持并行作业;动态负载均衡;支持异构环境。

5 比较与评价

上述五种机群管理系统孰优孰劣,我们很难一言概之。一个简单的例子是 Condor。作为一个科研项目,在检查点切取、进程迁移等方面,Condor 作出了很大程度的创新,然而它不支持并行作业,在实用化的问题上还存在一定的距离。为了充分对这五种系统进行估价,下面给出了一个对照表(见下页表 1)。

尽管各种 CMS 的优劣不一而足,通过对上面表格的分析,我们仍然可以得到一些有益的结论。

无论是商业目的,还是科研项目,这五种软件包都可运行在多种版本的 UNIX 平台上,我们可以看出,一个机群管理系统必须支持异构环境;具有广泛应用基础的 LSF 支持 Windows NT,但我们还没发现有基于 Windows 95 的产品,随着 Windows NT 的普及,我们相信支持 NT 将是 CMS 研究与开发的方向之一;支持交互式和批处理作业、作业监控、保证安全和友好的用户界面等方面是 CMS 的基本功能,虽然 Condor 不处理并行作业,但从其它四种软件包和我们的了解来看,对并行计算的支持已成了 CMS 必不可少的部分;尽管采用不同的标准和方法,达到不同的效果,但这五种软件包都声称支持负载均衡,我们认为负载均衡是机群管理系统的关键组成部分之一。

表 1

软件名	商业产品			科研项目	
	NQE	LSF	LoadLeveler	DQS	Condor
支持平台	Unix	Unix&NT	Unix	Unix	Unix
支持批处理	是	是	是	是	是
交互作业	是	是	是	是	是
支持并行	是	是	是	是	否
负载均衡	是	是	是	是	是
检查点切取	否	否	是	否	是
进程迁移	否	是	是	否	是
作业监控	是	是	是	是	是
容错特性	一般	强	强	一般	弱
安全措施	Us DoD BI	Unix	Unix	Unix	Unix

从检查点切取、进程迁移及对工作站“主人”的影响来说,Condor作了可贵的探索,走在了其它软件包的前面,带有较强的研究性质;从系统容错来考虑,商业产品明显地较科研项目软件容错性强,这几方面告诉我们商用产品更注意系统的可靠性,科研项目更关注挑战性的课题。

参考文献

- 1 Prenneis A A. LoadLeveler: Workload Management for parallel and Distributed Computing Environments. Available at: http://www.rs6000.ibm.com/resource/aix_resource/sp_books/loadleveler/index.html
- 2 Cray Research Inc. Introducing NQE-IN-2153 2.0. Craysoft Publications, May 1995
- 3 Lever H P. Uses of Computing Clusters for Parallel Cooperative Computing: [A Report for JISC NTSC]. Manchester University, 1993
- 4 IBM Inc. Using and Administering LoadLeveler. IBM Document Number-SH26-7220-04. Available via anonymous ftp from lscftp.kgn.ibm.com/pub/pps/

loadleveler/luadmn.ps.Z

- 5 Clegg J, Coulthart D. NQE Update. Available at: http://www.cray.com/products/software/nqe/technical_articles.html
- 6 Nelson K M L. A Comparison of Queuing, Cluster and Distributed Computer System: [Technical Report]. NASA Langley Research Center, 1994
- 7 Litzkow M, Livny M. Experience With The Condor Distributed Batch System. Available at: <http://www.cs.wisc.edu/condor/publications.html>
- 8 Livny. The Condor Distributed Processing System. Dr Dobbs Journal, 1995 (Feb): 40~48
- 9 Platform Computing Inc. LSF Administrator's Guide. Third Edition, February 1996
- 10 Platform Computing Inc. LSF User's Guide. Third Edition, February 1996
- 11 Green. DQS 3.1.2 Readme/Installation Manual. Supercomputer Computations Research Institute, Florida State University, July 1996
- 12 Saphir W, et al. Job Management Requirements for NAS Parallel Systems and Clusters: [NAS Technical Report NAS-95-006]. 1995

(上接第 18 页)

- 6 董聪、郭晓华、袁曾任. 基于广义遗传算法的全局优化方法. 计算机科学, 1999, 26(6)
- 7 董聪、杨庆雄. 结构系统疲劳寿命可靠性分析理论与算法. 航空学报, 1993, 14(5): 247~253
- 8 董聪、杨庆雄. 冗余桁架结构系统可靠性分析理论与算法. 计算结构力学及其应用, 1992, 9(4): 393~398
- 9 董聪、刘西拉. 非线性结构系统可靠性理论及其模拟算法. 土木工程学报, 1992, 31(1): 33~43
- 10 Hornik K. Approximation Capabilities of Multilayer Feedforward Networks. Neural Networks, 1991, (4):

511~557

- 11 董聪、滕正能、夏人伟、何庆芝. 多层前向网络研究进展及若干问题. 力学进展, 1995, 25(2): 186~196
- 12 董聪. 多层前向网络的逼近机理与拓扑结构学习方法. 通信学报, 1998, 19(3): 29~34
- 13 董聪、刘西拉. 广义 BP 算法及网络容错性和泛化能力的研究. 控制与决策, 1998, 13(2): 120~124
- 14 董聪. 前向网络全局最优化问题研究. 中国科学基金, 1997, (1): 23~29