

文章编号: 1672-2892(2010)04-0495-05

## 基于经济机制的网格资源调度分析

林晓鹏<sup>1a,2</sup>, 郭东辉<sup>1a,1b</sup>

(1.厦门大学 a.物理系; b.电子工程系, 福建 厦门 361005; 2.厦门海洋职业技术学院 信息技术系, 福建 厦门 361012)

**摘要:** 为了解决传统的基于系统性能的网格资源分配方法扩展性问题, 分析了在网格资源管理中采用经济调度的优势, 对基于价格机制和基于纳什均衡的经济调度方式以及相应模型、调度算法进行阐述, 介绍基于经济调度的网格资源管理系统的代表性项目, 指出了经济调度方式所面临的问题和发展方向。

**关键词:** 网格; 资源调度; 价格机制; 纳什均衡

**中图分类号:** TN911.6

**文献标识码:** A

## Analysis of grid resource scheduling based on economy

LIN Xiao-peng<sup>1a,2</sup>, GUO Dong-hui<sup>1a,1b</sup>

(1a.Department of Physics; 1b.Department of Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China;  
2.Department of Information and Technology, Xiamen Ocean Vocational College, Xiamen Fujian 361012, China)

**Abstract:** Aimed at the scalability of resource allocation preferring for system performance, the advantages of economic-based mechanisms for resource management in grid computing was addressed. The model and the algorithms based on pricing mechanism and Nash equilibrium were analyzed. After comparing the representative works related to economic-based grid resource scheduling, this study pointed out the significant problems existing in this field and prospected the research orientations of economic dispatch control.

**Key words:** grid; resource scheduling; price mechanism; Nash equilibrium

网格计算<sup>[1]</sup>是希望将网络上的服务器、存储系统、测试系统等各类资源联合在一起, 组成1个超级计算系统, 为用户提供高质量的网络计算与信息服务。从早期 SETI@HOME 项目, 到前些年 IBM 提出的“Grid Computing”和 SUN 公司提出的“Sun Grid Engine”等系统, 以及当前的云计算、Web 计算等, 都表明网格计算不仅可应用于大规模的仿真分析、超级计算等科学研究领域, 而且在社会经济领域也有广阔的应用前景。

网格资源管理与调度是实现网格计算的工作基础<sup>[2]</sup>, 在早期的研究工作中, 网格资源管理通常采用性能调度方式, 即要求网格计算资源接受统一调度, 以提高系统整体性能为目标, 如以资源利用率、信息吞吐量、最小响应时间等<sup>[3]</sup>性能的最优化来决定计算任务在哪个资源上执行。但由于性能调度方式缺乏促使资源所有者提供共享资源的动力, 且网格资源具有分布、异构、自治、动态等特点<sup>[4]</sup>, 使得性能调度方式难以推广到大规模的网格计算环境, 因此人们考虑可以将经济学模型引入到网格计算环境中, 并推出了各种经济调度方式<sup>[5]</sup>。经济调度方式是将资源提供者和使用者的利益目标用一定的价值形式来表述, 资源使用者通过支付一定的费用来获取资源的使用权, 资源提供者则通过提供资源而从中获利, 双方为了获得最大利益制定使用或共享资源的策略, 依据所引入的经济学模型不同, 这种经济调度方式通常可分为基于价格机制的资源调度和基于纳什均衡的资源调度。基于价格机制的资源调度方式是假定存在完全竞争的市场, 资源提供者与使用者通过资源市场进行交易, 市场根据当前资源的供求关系调节资源价格实现资源的有效配置, 如 Spawn<sup>[6]</sup>模型以及 Buyya R 提出基于计算经济的网格框架体系<sup>[7]</sup>。而基于纳什均衡<sup>[8]</sup>的资源调度方式则对多个理性参与者的行为所产生的相互影响进行分析, 将资源配置看作一个博弈问题, 通过寻找纳什均衡解得到效用最大化下的资源分配方案<sup>[9-10]</sup>。

本文将主要就这2类网格资源调度的优势和特点进行阐述, 分析实现条件, 比较采用不同经济学模型如商品市场模型、拍卖模型、议价模型及标价模型、按出价比例共享模型等网格资源调度的实现方式, 介绍采用这些

收稿日期: 2009-12-25; 修回日期: 2010-03-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60753001); 教育部专项科研基金资助项目(20090121110019)

经济调度方式进行资源分配的代表性项目,最后指出经济调度方式需考虑的问题及发展方向。

## 1 网络资源的经济调度模型

网络资源的经济调度模型是在假设参考人理性(追求个人效益最大化)的前提下,引入经济约束条件将资源提供者和使用者的需求用一定的形式表述,使得网络环境中所有资源,包含计算能力、存储器、通信带宽、数据信息以及仪器设备资源等都可以交易,这种方式为调度异构、自治的资源提供了简单而有效的方法,有助于建立高可扩展性的网络系统。

### 1.1 经济调度的前提

由于在经济调度模型中需要对资源提供者和使用者的需求进行表述,因此在经济调度模型中需要提供相应的机制来表述资源提供者和使用者的这种需求,并提供决策的方便。这些机制和工具包括价值的表述、价值的转换和价值的实施机制,如资源使用者需要通过一个效用模式,表达资源需求和偏好参数;资源中间代理(Broker)需要有资源的发现机制,并能将用户的价值表述转换成实际的资源分配信息;资源提供者有相应的机制支持服务的发布、交易、清算,同时要有协作机制,以保证任务的分布执行。

### 1.2 基于价格机制的资源调度模型

在基于价格机制的资源调度模型中,资源提供者和使用者的需求和目标统一通过货币的形式表述,采用微观经济学或宏观经济学原则来解决网络资源的共享和分配问题,这类模型有商品市场模型<sup>[11]</sup>、拍卖模型<sup>[12]</sup>、议价模型及标价模型<sup>[13]</sup>、按出价比例共享资源模型<sup>[14]</sup>和协作交换模型等。

#### 1.2.1 商品市场的模型

资源的价格  $p$  由供求关系决定,资源的供给量  $S(p)$  与需求量  $D(p)$  分别是与资源价格相关的函数。当  $S(p) > D(p)$  时,资源使用者将通过某种价格策略降低资源的价格,则可能使部分资源提供者认为无利可图而拒绝出售资源,使供给量变小;当  $S(p) < D(p)$  时情况相反,通过供求关系的市场调节,最终使  $S(p) = D(p)$ ,双方在供求平衡价格下交易资源。

该算法中资源的价格是由资源提供者共同决定,单个用户无法影响对资源的定价,而且平衡时相同类型的资源是以相同的价格进行交易,难以满足用户服务质量(Quality of Service, QoS)需求。

#### 1.2.2 拍卖模型

资源提供者发布资源信息,由拍卖师向使用者用户进行公告,并接收用户对资源的出价,确定资源的成交情况,根据出价方式的不同可分为英国式拍卖和荷兰式拍卖,根据成交价格可分为第1价格拍卖方式和第2价格拍卖方式。在商品市场中一次可以同时交易多个资源,而在拍卖模型中一次只能成交一个资源,任务执行时往往需要计算力、通信带宽、存储空间等多种资源,因此拍卖方式往往涉及到多类型的资源拍卖过程,同时还要考虑用户联合结盟的问题。竞拍物可以是资源,也可以是用户任务,竞拍物是用户任务的拍卖通常又称为招标。

#### 1.2.3 议价模型

在商品市场模型中,资源价格由资源提供者决定,使用者只能被动地接收或拒绝当前价格。而在议价模型中,由资源的提供者和使用者相互协商,共同确定资源的价格。协商最终结果将达到双方都可接受资源价格,或双方都不再让步导致议价失败。议价模型使得资源使用者可向用户提供一定的优惠条件来获取长期稳定的用户群,从而提高资源使用率。由于议价过程需要一定时间并消耗资源,因此议价模型中要有一定的机制来保证尽量多的资源可议价成功,以提高系统的效率。

#### 1.2.4 按出价比例共享资源模型

在该模型中,用户所获得的资源能力是按该用户的出价占所有用户出价总和的比例来分配资源,即:

$$r_i = \frac{c_i}{\sum c_i} R$$

式中:  $r_i$  为用户  $i$  所获得的资源能力;  $c_i$  为用户对资源的出价;  $R$  为资源的总能力。

该模型可以解决一个用户长期独占资源的问题,以避免出价低的用户得不到可执行的资源,导致任务“饿死”现象。同时用户可以根据情况提高比价来获取更多的资源能力,以获得 QoS 需求。

1.3 基于纳什均衡的资源调度模型

上述基于价格机制的网格资源调度方法存在一个假定:市场参与者的数量足够多,从而市场是竞争性的。然而,这个假定在实际的网格环境中难以得到满足,在实际网格环境中买卖双方的数量常常是有限的,在有限参与人下的市场是不完全竞争的市场,而不完全竞争市场中人们之间的行为是互相影响的,所以一个人在决策时必须考虑对方的反应,而这正是博弈理论所研究的内容,因此可用博弈理论通过寻找纳什均衡来解决网格资源分配和调度问题<sup>[15]</sup>。

1 个最基本的博弈,包括 3 个基本要素:参与者集合  $P$ 、策略空间  $S$  和效用函数  $U$ 。在网格环境中,资源提供者 and 使用者作为博弈的参与者;参与者  $i$  可选择的策略集合构成策略空间  $S_i = \{s_i\}$ ;每个参与者的收益可用收益函数  $u_i(s_1, s_2, \dots, s_n)$  表示,所有用户的目标是在满足一定的条件下使得自己的收益最大化,即:  $\max u_i(s_1, s_2, \dots, s_n)$ , ( $i=1, 2, \dots, n$ )。可见该最大收益策略不仅取决于用户自己当前所选择的策略,而且受到其他参与者的策略影响。

1.4 经济调度算法

在网格资源的经济调度模型中,需要综合考虑任务成本预算和执行时间,常采用的任务调度算法有最短时间调度算法、最低成本调度算法、成本优先调度算法和时间优化调度算法<sup>[16]</sup>,各种调度算法的差异见表 1,除此之外,有些算法还考虑调度的公平性、效率、信任度问题等<sup>[15]</sup>。

表 1 常用的网格经济学调度算法

Table 1 Scheduling algorithm commonly for grid economic

scheduling algorithm	executing time	executing cost
min executing cost	limited by deadline	minimum
min executing time	minimum	limited by cost
executing cost preference	as fast as possible	minimum
executing time preference	minimum	as cheap as possible

2 网格经济调度的代表性项目

1) Spawn<sup>[17]</sup>: Spawn 是运行并行任务的多 Agent 系统,每个工作站用第 2 价格密拍方式拍卖该工作站管理的 CPU 时间, Agent 在给定预算条件下完成任务的前提下参加竞拍,并在可能情况下将一个任务分解成多个并行的子任务。

2) D'Agent<sup>[18]</sup>: 在该系统中,移动 Agent 在网格中移动并执行相应的任务。当移动 Agent 的目标结点是其他管理组织时, Agent 根据这些结点发布的价格决定是否接受这些结点,通过对贪婪用户请求的限制达到系统内部的稳定,实现均衡的资源分配。

3) JavaMarket<sup>[19]</sup>: 资源购买者将应用程序用 Java 语言描述并注册到市场服务器(Market Server)上;资源出售者利用注册在市场服务器上的 URL 链接以 Java Applets 的方式执行这些应用程序;市场服务器管理应用程序的上传和下载,并对购买订单和出售订单进行匹配。这种方式采用 C/S 服务模式,可扩展性受市场服务器的约束。

4) G-Commerce<sup>[20]</sup>: 该系统是根据每个用户对不同资源的需求,以及资源提供者对资源的供给,利用经济学的一般均衡理论计算网格市场中全部资源的均衡价格,价格调整算法有集中式和分布式之分,集中式算法速度快,而分布式算法的可扩展性好。

5) Nimrod/G<sup>[21]</sup>: 系统中将计算经济原理应用于分布式系统的资源分配。网格用户层对网格系统提出自己的要求,包括所需资源和交易所必须的信息,如价格、时间限制、偏好等;网格资源经纪层负责资源发现、资源选择、软硬件资源的绑定、计算初始化、单一资源映像等功能;网格服务供应商按照经济模型制定价格策略和交易原则,以求获得最大利益;网格中间件服务层利用网格中间件实现了构造经济网格模型所需的各种服务,其中包括登录、安全和服务质量控制;网格服务供应商和网格用户通过网格银行和网格市场服务器进行结算。

6) GESA<sup>[22]</sup>: 网格经济服务框架(Grid Economic Services Architecture, GESA)由全球网格论坛(Global Grid Forum, GGF)的一个项目组负责,是在开放网格服务架构(OGSA)基础之上制定的网格经济学服务标准和规范,包括可交易网格服务

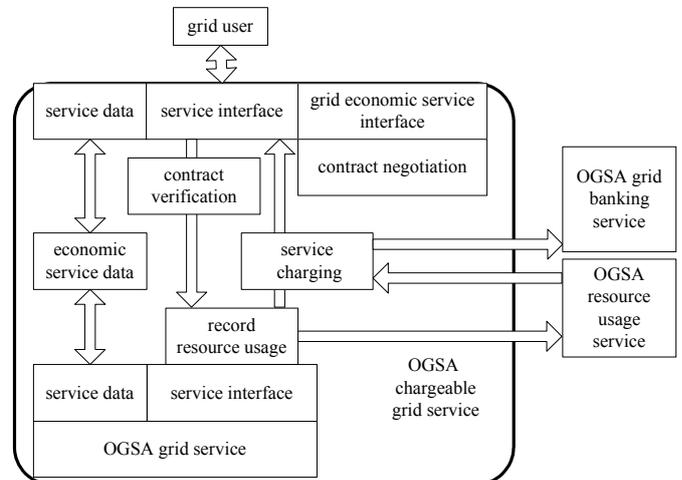


Fig.1 Grid economic services architecture  
图 1 网格经济服务框架

(Chargeable Grid Services, CGS)、网格银行服务(Grid Bank Services, GBS)、GBS 持有服务(GBS Hold Services)。

CGS 中包含服务数据元素(Services Data Elements, SDE)和网格经济学服务接口(Grid Economic Services Interface, GESI), 其中 SDE 描述了服务的价格和定价机制等, GESI 定义了价格获取、价格参数、价格接受等接口, 成交之后服务双方将签署一个由 SDE 构成、用 XML 格式描述的合同; GBS 中定义了一系列与支付相关的接口, 包括帐号操作和交易查询等功能<sup>[20]</sup>, 其结构见图 1。

### 3 网格资源经济调度的问题及发展

经济调度模型将资源提供者和使用者的需求和目标用统一的价格或效用进行表述, 在此基础上, 网格环境中的所有资源都可以进行交易, 这种方式为建立高可扩展性的网格系统提供了简单、有效的资源管理方法, 但经济调度方式也面临一些问题。

#### 3.1 个人理性与整体效率的矛盾

在经济调度方式中, 各参与人以追求个人效益最大化为目标而不考虑其他用户的利益, 但大量的经济现象表明, 当所有的参与者都以个人效益最大化为目标时, 个人行为可能会对整体造成负面影响, 产生“公共地悲剧”的现象, 因此在经济调度中除了要考虑参与人利益之外, 还需要考虑调度系统公平性和整体效率。

#### 3.2 完全理性的局限性

在经济调度方式中, 参与人追求个人效益最大化是建立在完全理性的基础之上的, 即用户在决策时不会犯任何错误, 用户所选择的策略都是对当前情况的最佳反应。但在实际网格中, 系统的复杂性导致参与者获取的信息不完全或用户决策失误等, 无法确保用户的每次策略都符合其最大效益, 因此必需建立相应的机制, 使得在有限理性的情况下, 用户可通过不断地学习和调整策略来获取个人的最大效益。

#### 3.3 信任度评估

当前的经济调度侧重于资源的交易而缺乏事后的监控, 需要研究相应的机制对交易过程中的欺诈行为进行约束和监管。此外, 由于参与者的收益是虚拟化的, 虽然有网格银行对参与者的收益进行保证, 但网格银行本身缺乏经济实体的支持, 因此用户对经济调度的信任度有待增强。

## 4 结论

经济调度方式采用经济学理论, 将资源提供者和使用者的目标用一定的价值形式表述, 统一网格资源所有者和使用者的需求, 通过设置运行时间和运行预算成本等约束, 采用价格机制或寻找纳什均衡策略实现网格资源的分配调度。基于经济理论的网格资源调度方法为建立高可扩展性的网格系统奠定了基础, 已在多个网格项目中得到应用。通过完善调度效率、公平性、可信度和安全性等性能, 经济调度可为网格计算商业化推广提供有力的支撑。

### 参考文献:

- [1] Foster I, Kesselman C. The Grid: Blueprint for a new Computing Infrastructure[M]. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1999.
- [2] 林晓鹏, 李晓潮, 郭东辉. 网格计算基本原理及其系统管理关键技术问题[J]. 通信技术, 2009, 42(2): 218-220. (Lin Xiaopeng, Li Xiao-chao, Guo Dong-hui. Principles and Key Technologies of Grid Computing[J]. Communications Technology, 2009, 42(2): 218-220.)
- [3] Bacon J, Harris T. Operating systems: concurrent and distributed software design[M]. Beijing: House of Electronics Industry, 2003.
- [4] 郁志辉, 陈渝, 刘鹏. 网格计算[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [5] Wolski R, Plank J S, Brevik J, et al. Analyzing market-based resource allocation strategies for the computational grid[J]. International Journal of High Performance Computing Applications, 2001, 15(3): 258-281.
- [6] Waldspurger C A, Hogg T, Huberman B, et al. Spawn: A distributed computational economy[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1992, 18(2): 103-177.
- [7] Buyya R, Abramson D, Giddy J. A Case for Economy Grid Architecture for Service-Oriented Grid Computing[C]// Proc. of the 10th IEEE Int'l Heterogeneous Computing Workshop. Washington: IEEE Computer Society, 2001: 776-790.

- [8] Nash J F. Non-Cooperative games[J]. *Annals of Mathematics*, 1951,54(2):286-295.
- [9] Kwok Y K,Song SS,Hwang K. Selfish grid computing:Game-Theoretic modeling and NAS performance results[C]// *Proc. of the IEEE Int'l Symp. on Cluster Computing and the Grid*. Washington:IEEE Computer Society, 2005:349-356.
- [10] Khan SU,Ahmad I. Non-cooperative,Semi-cooperative,and Cooperative Games-based Grid Resource Allocation[C]// *Parallel and Distributed Processing Symposium*, Rhodes Island,Greece:[s.n.], 2006:25-29.
- [11] Ferguson D,Yemini Y,Nikolaou C. Microeconomic algorithms for load balancing in distributed computer systems[C]// *Proc. IEEE Int. Conf. on Distributed Computer Syst.* San Jose,CA:[s.n.], 1988:491-499.
- [12] 李立,刘元安,马晓雷. 基于组合双向拍卖的网格资源分配[J]. *电子学报*, 2009,37(1):165-169. (Li Li,Liu Yuan-an,Ma Xiao-lei. Grid resource allocation based on the combinatorial double auction[J]. *ACTA Electronica Sinica*, 2009,37(1): 165-169.)
- [13] Buyya R,Abramson D,Giddy J,et al. Economic Models for Resource Management and Scheduling in Grid Computing[J]. *Concurrency and Computation: Practice and Experience(CCPE)*, 2002,14(13-15):1507-1542.
- [14] Chun B,Culler D. Market-based Proportional Resource Sharing for Clusters[R]. Technical Report CSD-1092, University of California, Berkeley, 2000.
- [15] Lin X P,Xu X F,Guo D H. The Analysis of Resource and Scheduling in Grid Computing[J]. *International journal of Information and Electronic*, 2009,2(2):10-15.
- [16] Krauter K,Buyya R,Maheswaran M. A taxonomy and survey of grid resource management system for distributed computing[J]. *Software:Practice and Experience*, 2002,32(2):135-164.
- [17] Weng C,Li M,Lu X,et al. An economic-based resource management framework in the grid context[C]// *Proc. of 5th IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid*, Cardiff,Wales:[s.n.], 2005:542-549.
- [18] Bredin J,Kotz D,Rus D. Utility driven mobile agent scheduling[R]. Technical Report CS-TR98-331. Dartmouth College, Hanover, NH, 1998.
- [19] Amir Y,Awerbuch B,Borgstrom R S. A cost-benefit framework for online management of a meta computing system[C]// *1st Int Conf., international and Computational Economy*,Charleston,SC:[s.n.], 1998.
- [20] Wolski R,Plank J S,Brevik J,et al. Analyzing market-based resource allocation strategies for the computational grid[J]. *International Journal of High performance Computing Applications*, 2001,15(3):258-281.
- [21] Buyya R,Abramson D,Giddy J. Nimrod/G:An Architecture for a Resource Management and Scheduling System in a Global Computational Grid[C]// *Proceedings of the HPC ASIA'2000,the 4th International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region*, Beijing:IEEE Computer Society Press, 2000:283-289.
- [22] Newhouse S. GWD-R(draft-ggf-gesa-services-1). Grid Economic Services Architecture(GESA)[EB/OL]. [2003](2009-12-25). [http://www.gridforum.org/3\\_SRM/gesa.htm](http://www.gridforum.org/3_SRM/gesa.htm).

#### 作者简介:



林晓鹏(1972-),男,福建省平潭市人,在读博士研究生,讲师,主要研究领域为网络资源管理、任务调度、通信协议,email:pengxlin@yahoo.com.cn.

郭东辉(1967-),男,福建省莆田市人,教授,博士生导师,主要研究领域为人工智能、计算机网络通信、集成电路设计自动化.