



基于有限理性网格资源分配方法的研究*

林晓鹏^{1,3}, 郭东辉²

(1. 厦门大学物理系 厦门 361005; 2. 厦门大学电子工程系 厦门 361005;

3. 厦门海洋职业技术学院 厦门 361012)

摘要

该文提出基于有限理性博弈最优反应动态的资源分配机制,使得网格用户在不需要掌握其他用户信息的情况下,通过不断地快速学习,进行策略调整而达到网格资源分配的稳定均衡,克服了资源分配博弈过程中网格用户完全理性的限制。仿真表明该机制可实现网格用户在有限理性下效用最大化的资源分配,并可校正用户的决策偏离。

关键词 网格;资源分配;有限理性;最优反应动态

1 引言

网格计算^[1]是通过跨域、跨组织的资源集成,为用户提供统一、标准、可靠的服务,其关键技术有资源管理和分配、任务调度和任务管理等^[2],其中网格资源管理和分配^[3]是实现网格计算的基础,是网格计算研究的重点,目前有多种研究方法,分别从不同的角度研究网格资源管理和分配的性能。

早期网格资源管理的研究主要从提高网格系统性能的角度来研究网格资源的分配,如 I. Foster 等^[4]用平均响应时间、资源利用率、吞吐量等指标来衡量网格资源管理系统的性能。后来人们认识到网格资源的自治、动态和分布等特点,使得网格资源提供者及网格用户之间的交互与人类社会的经济活动过程相类似,因此应用经济学理论来解决网格资源分配问题成为研究热潮。R. Buyya^[5]采用计

算经济学的市场均衡理论来研究网格资源分配,通过市场的供求平衡实现资源优化分配,用户的 QoS 需求通过对资源的出价来体现,并研究了相应的网格体系架构^[6];J. Yu^[7]等分析了服务时间和执行代价等不同优化目标下的资源分配问题;C. S. Yeo 等^[8]对资源分配的动态价格机制进行了研究;R. Wolski 等^[9]分析了应用微观经济学理论来研究网格资源分配的优势,并建立了资源供需双方模型和价格机制;P. J. Huang 等^[10]从宏观经济学角度讨论了资源市场的性能。以上基于价格机制的方法认为网格用户和网格服务提供者之间通过资源市场交互,市场能根据资源的供求状况对资源价格进行相应的调整,最终在资源供求平衡的情况下实现资源分配,而市场的规模是无限大的,单个用户对资源价格的影响可忽略。

然而,由于实际网络的规模是有限的,某个用户对网格资源使用必然会对其他用户造成影响,忽略用户之间的相互影响来研究网格资源分配会导致较大的偏差。实际网格环境中,可将用户之间、用户与资源提供者之间的交互看作是一个博弈过程,各个博弈方通过实施一系列的策略

* 国家自然科学基金资助项目(No.60753001),教育部新世纪优秀人才计划项目和福建省科技项目资助课题



来追求自己的最大效用,可应用博弈理论中求解纳什均衡解^[11]的方法来研究网格资源分配问题。S. U. Khan 等^[12]讨论了合作博弈和竞争博弈时用户的分配策略;Y. K. Kwok 等^[13]研究了分层网格体系结构中用户资源分配的静态博弈;李志洁等^[14]讨论了动态博弈下用户按比例出价的策略;L. Yao 等^[15]分析了多资源环境中资源所有者的博弈策略;李立等^[16]分析了网格环境下资源双向组合拍卖机制。这些方法是建立在网格用户是完全理性的前提下,即所有网格用户的信息及策略是公开的知识,每个用户在此“公共知识”的前提下选择最优策略,而且用户在决策过程中不存在出错的可能。但是,在实际的网格环境中,由于网格环境的复杂性或者用户不愿公开私密性信息等原因,单个用户很难甚至不可能知道其他用户的情况,这时用户就无法确定自己的策略是否是最优策略,而且当用户理性意识和判断分析能力较弱时,进行决策则存在出错的可能,可见用基于完全理性的博弈理论来研究网格资源分配有很大的局限性。为此,需要考虑在有限理性情况下用户的最优资源分配博弈策略的设计问题。

本文应用有限理性博弈的方法来构建网格用户对资源的使用策略,提出基于有限理性^[17]的最优反应动态网格资源分配机制(best-response dynamics grid resource allocation mechanism, BRDGRAM)。网格用户在不需要掌握其他用户信息的情况下,并不一定在博弈初始阶段就能找到最优策略,而是在博弈过程中不断地学习、调整与改进,通过试错寻找较好的策略,最终达到最优策略,并在找到最优策略后即使发生偏离也能得到及时的纠正,实现用户效用最大化下的网格资源分配。本文下一节分析网格用户资源分配模型及最优策略,然后介绍基于有限理性博弈下用户策略及相应 BRDGRAM 算法实现,接着对 BRDGRAM 算法的仿真结果进行分析,最后展望下一步的工作内容。

2 网格资源分配模型

2.1 模型

设网格中有 n 个用户共同使用总量为 R 的单一资源,则用户所占用的资源数量越多其效用最大,同时考虑用户之间对资源占有的竞争关系,若其他用户所占用的资源越多,则该用户的效用将降低。设第 i 个用户对该资源的占有量为 r_i ,可建立该用户的效用函数为:

$$u_i = r_i \left(R - \sum_{j=1}^n r_j \right) \quad (1)$$

则用户 i 在使用资源时的目标为:

$$\begin{aligned} \max u_i &= \max r_i \left(R - \sum_{j=1}^n r_j \right) = \max r_i [R - (T_{-i} + r_i)] \\ &= \max r_i (R - T_{-i} - r_i) \end{aligned} \quad (2)$$

式中 $T_{-i} = \sum_{j=1}^n r_j - r_i$ 为除用户 i 之外,所有其他用户所占资源的总和。 T_{-i} 是一个与 r_i 无关的量。

2.2 用户最优策略

用户 i 的最优资源占有策略 r_i^* 是使得自身的效用达到最大,则由 $\left. \frac{\partial u_i}{\partial r_i} \right|_{r_i^*} = 0$ 时可求出用户的最优资源占有策略为:

$$r_i^* = \frac{R - T_{-i}}{2} = \frac{R - \left(\sum_{j=1}^n r_j - r_i^* \right)}{2} \quad (3)$$

$$\text{得:} \quad r_i^* = R - \sum_{j=1}^n r_j \quad (4)$$

则所有 n 个用户的最优策略为:

$$\begin{cases} r_1^* = R - \sum_{j=1}^n r_j \\ r_2^* = R - \sum_{j=1}^n r_j \\ \dots\dots\dots \\ r_n^* = R - \sum_{j=1}^n r_j \end{cases} \quad (5)$$

根据纳什均衡的定义可知,在纳什均衡时每个用户的策略都是对其他所有用户策略的最优反应,则达到均衡时,式(5)可写成:

$$\begin{cases} r_1^* = R - \sum_{j=1}^n r_j^* \\ r_2^* = R - \sum_{j=1}^n r_j^* \\ \dots\dots\dots \\ r_n^* = R - \sum_{j=1}^n r_j^* \end{cases} \quad (6)$$

从式(6)中可知,达到均衡时所有用户对资源的占有策略是相同的,即:

$$r_1^* = r_2^* = \dots = r_i^* = \dots = r_n^* = R - \sum_{j=1}^n r_j^* \quad (7)$$

$$\text{则:} \quad \sum_{j=1}^n r_j^* = r_1^* + r_2^* + \dots + r_n^* = nr_i^*$$

代入式(7)可得用户 i 对资源的最优占用策略为:

$$r_i^* = \frac{R}{n+1} \quad (8)$$

此时,用户的效用函数为:

$$u_1^* = \dots = u_i^* = \dots = u_n^* = \frac{R^2}{(n+1)^2} \quad (9)$$

此时,若有用户 j 偏离了其最优策略,设其策略为:

$$r_j = \frac{R}{n+1} + \Delta r \quad (10)$$

其中 Δr 为偏离量。可以证明,这时该用户的效用函数为:

$$u_j = \frac{R^2}{(n+1)^2} - (\Delta R)^2 < \frac{R^2}{(n+1)^2} = u_j^* \quad (11)$$

可见,如果用户 j 单独偏离其最优策略 r_j^* 时,其效用 u_j 会降低。因此,当网络中有 n 个用户共同使用一总量为 R 的资源,每个用户的最优策略是占用总资源的 $\frac{1}{n+1}$,而且不会有用户单独偏离该策略,资源分配达到均衡状态。

2.3 情况分析

网格环境中资源总量 R 及资源被使用的信息 $\sum r_j$ 可由公正的第三方向所有网格用户公布,因此理论上用户 i 只要采取 $r_i^* = \frac{R}{n+1}$ 的资源占有策略就可以使其效用达到最大值 u_i^* 。但在实际网格环境中,用户无法知道其他用户的信息,况且网格环境是动态变化的,用户数量本身就不是一个固定的常量,因此用户 i 即使知道最优策略 r_i^* ,但由于 n 等因素的不确定,仍无法得到当前最优资源占有策略的解,可见实际的网格资源分配是一个有限理性的博弈过程。

3 BRDGRAM 算法及实现

3.1 最优反应动态

根据有限理性博弈下的最优反应动态,在复杂局面时虽然博弈方无法进行准确的判断和分析,但可以对前期的博弈结果作出比较正确的事后评估,找到对前期其他博弈方策略的最佳反应策略,并据此对当前策略作相应调整,最终达到各博弈方的纳什均衡策略。

笔者应用有限博弈中的最优反应动态原理,将式(7)作为用户针对其他用户策略的最优反应函数,构建一个最优反应动态网格资源分配机制(BRDGRAM),博弈方通过该机制对网格资源请求策略进行模仿、学习和调整,最后

可达到稳定的资源分配策略均衡,而且在用户犯错等情况下能恢复到策略均衡点。

3.2 最优反应动态资源分配算法

用户 i 根据系统公告的可用资源总量 R 发出资源请求 $r_i(r_i < \frac{R}{2})$,计算该请求的效用 u_i ,接收系统公布的已被使

用资源信息 $\sum_{j=1}^n r_j$,然后根据反应函数 $r_i' = R - \sum_{j=1}^n r_j$ 计算自己下一步的策略 r_i' ,同时计算新的效用 u_i' ,当效用的变化量 $|\Delta u| < \varepsilon$ (ε 为很小的正数)时,可认为达到均衡,否则进行下一轮的博弈。效用函数 T_{-i} 采用之前所采集到的系统公告数值的平均值 \bar{T}_{-i} ,BRDGRAM 具体算法如图 1。

```

① 初始化  $r_i$ 、 $u_i$  及相关参数
② 博弈过程:
    boolean forNextRound = true;
    While( forNextRound )
        发送资源占用策略  $r_i$ 
        接收系统公告的资源使用情况  $\sum_{j=1}^n r_j$ 
        计算  $\bar{T}_{-i}$ 
        根据  $\sum_{j=1}^n r_j$  和  $r_i$ , 计算新的效用  $u_i$ 
        if(  $|u_i - u_i'| < \varepsilon$  )
            forNextRound = false;
            break;
        else
             $r_i = 1 - T_{-i}$ 
             $u_i = u_i'$ 
            根据历史记录计算使用资源量
③ 根据最终的  $r_i$  占用资源, 博弈结果
    
```

图 1 BRDGRAM 算法

4 仿真结果及分析

构建资源数分别为 100、500、1 000 个资源单位,用户数 n 分别为 2、20、50, ε 分别为 1、0.1 时的网格仿真环境,应用 BRDGRAM 算法进行网格资源分配的情况仿真,仿真数据见表 1。

4.1 仿真过程

当 $R=500, n=2, \varepsilon=1$ 时,随着博弈的进行两个博弈方的策略值逼近于式(8)中的理论计算值 166.67,如图 2 所示。当资源总量 R 和用户数 n 取其他值的情况下也能得到类似的仿真结果,可见采用 BRDGRAM 算法,网格用户在无法获得其他用户信息的情况下,也可达到最大效用下的



表 1 BRDGRAM 算法仿真结果

资源总量 (R)	用户数 (n)	ϵ	博弈回合	资源分配情况	资源总量 (R)	用户数 (n)	ϵ	博弈回合	资源分配情况	理论值 $(\frac{1}{n+1})$
100	2	1	23	33.216~33.609	100	2	0.1	76	33.237~33.458	33.333
	20	1	14	4.404 ~ 5.165		20	0.1	54	4.585 ~ 4.961	4.762
	50	1	25	1.709~2.253		50	0.1	27	1.715 ~ 2.248	1.961
500	2	1	78	166.627 ~ 166.840	500	2	0.1	244	166.618 ~ 166.739	166.667
	20	1	49	23.624 ~ 24.019		20	0.1	225	23.722 ~ 23.907	23.810
	50	1	45	9.613 ~ 10.027		50	0.1	204	9.714 ~ 9.908	9.804
1 000	2	1	133	333.312 ~ 333.476	1 000	2	0.1	406	333.298 ~ 333.392	333.333
	20	1	80	47.474 ~ 47.783		20	0.1	367	47.551 ~ 47.696	47.619
	50	1	77	19.462 ~ 19.779		50	0.1	354	19.540 ~ 19.688	19.608

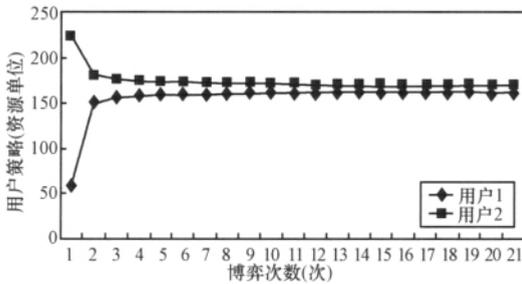


图 2 BRDGRAM 算法仿真过程 (R=500, n=2)

当 $\epsilon \rightarrow 0$, 则说明资源在所有用户之间效用趋向相等, 即资源在所有用户之间进行平均分配, 达到资源分配过程的最大公平性。可见为了提高公平性, 需要用户之间进行更多次的协商, 体现在博弈次数的增加。

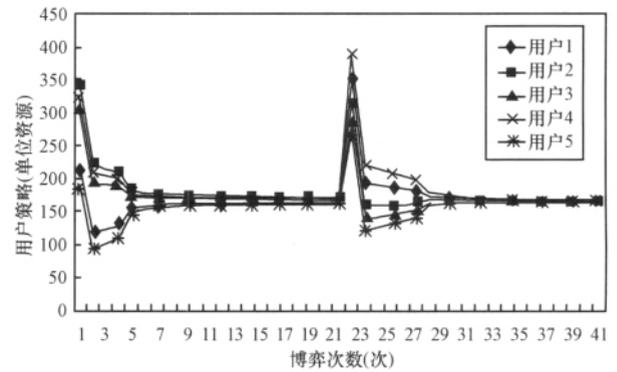


图 3 BRDGRAM 在扰动情况下的调整

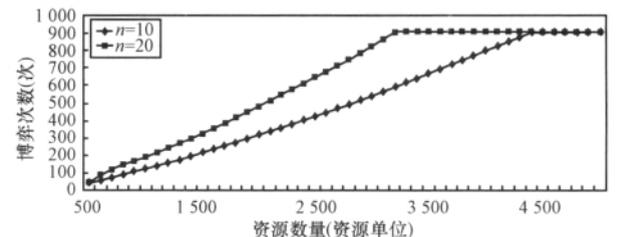


图 4 博弈次数随资源数量变化情况

资源分配策略。

在用户犯错等扰动情况下, BRDGRAM 可进行自动调整, 使用户的策略回到均衡状态, 如图 3 所示。

4.2 结果分析

· 在用户数 n 不变的情况下, 随着资源总量 R 的增加, 达到最优策略所需的博弈回合次数越多。

这是由于当用户数量不变时, 随着资源总量的增加, 每个用户进行策略调整时所带来的效用变化越大, 用户之间需要更多次的协商才能达到最优策略, 如图 4 所示。

· 当用户数 n 和资源总量 R 不变时, 若 ϵ 越小, 则所需博弈的回合越多, 但每个用户分配的资源越平均, 可见体现了资源分配的公平性。

- 当资源总量 R 和 ε 不变的情况下,随着用户数量的增加,博弈次数会减少,但当减少到一定值后,随着用户数量的增加,博弈回合反而会增加。

在资源总量 R 和 ε 不变的情况下,博弈次数受用户之间影响力及博弈规模的影响,这两个因素对博弈的影响相互制约。当用户数量较少,博弈规模小而用户之间的相互影响力比较大时,进行策略调整对其他用户的影响比较明显,因此需要比较长的时间才能达到稳定;随着用户数量的增加,博弈规模相应地增大,需要更多的回合才能让群体用户得到充分的学习。因此当用户数量太小或太大时都不容易达到稳定状态,也说明在大群体情况下会导致博弈方的学习变慢。

5 结束语

针对实际网格环境中网格用户不一定完全掌握相互之间的所有信息,以及用户在决策过程中可以犯错等情况,本文实现了基于有限理性博弈的最优反应动态网格资源分配机制 (BRDGRAM)。仿真结果表明在 BRDGRAM 下,网格用户在不需要预见和预测能力的情况下可通过快速地学习和调整达到均衡策略,实现网格资源的优化分配。即使在用户犯错等扰动情况下,BRDGRAM 也能使用户回到均衡状态。

下一步的工作将针对学习速度慢的网格用户情况,运用生物进化的复制动态机制模拟,研究用户资源分配策略的进化稳定机制,进一步完善有限理性下网格资源的分配机制;在资源分配策略中考虑费用、任务执行时效等约束因素,使其能满足用户不同的 QoS 需求;研究需求多种不同类型资源时的综合评价和分配策略。

参考文献

- 1 Foster I, Kesselman C. The grid: blueprint for a new computing infrastructure. Morgan Kaufmann, San Francisco Publisher, CA, 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. 通信技术,2009,142(2):218~220
- 3 Czajkowski K, Foster I, Karonis N, *et al.* A resource management architecture for metacomputina system. In: The 4th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, Orlando, FL, March 30, 1998
- 4 Foster I, Kesselman C, Tuecke S. The anatomy of the grid: enabling scalable virtual organizations. International Journal of High Performance Computing Applications, 2001 (15): 200~222
- 5 Buyya R. Economic-base distributed resource management and scheduling for grid computing. Ph D Thesis, Monash University, Australia, 2002
- 6 Rajkumar Buyya, Srikumar Venugopal, Rajiv Ranjan, *et al.* The gridbus middleware for market-oriented computing, market oriented Grid and utility computing. Wiley Press, Hoboken, New Jersey, USA, 2009
- 7 Jia Yu, R Buyya. Market-oriented grids and utility computing: the state-of-the-art and future directions. Grid Computing, 2008 (6): 255~276
- 8 Chee Shin Yeo, Srikumar Venugopal, Xingchen Chu, *et al.* Autonomic metered pricing for a utility computing service, future generation computer systems. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, 2009
- 9 Wolski R, Brevik J, Plank J S, *et al.* Grid resource allocation and control using computational economics. Grid Computing: Marking the Global Infrastructure a Reality, Wiley and Sons, 2003
- 10 Peijie Huang, Hong Peng, Piyuan Lin, *et al.* Macroeconomics based grid resource allocation. Future Generation Computer System, 2008(24): 694~700
- 11 Roy S. Game theory: an overview. The ICAFI Journal of Managerial Economics, 2005, 3(4): 46~53
- 12 Khan S U, Ishfaq Ahmad. Non-cooperative, semi-cooperative, and cooperative games-based grid resource allocation. In: Parallel and Distributed Processing Symposium, Rhodes Island, Greece, April 2006
- 13 Kwok Y K, Song S S, Hwang K. Selfish grid computing: game-theoretic modeling and NAS performance results. In: Proc of the IEEE Int'l Symp on Cluster Computing and the Grid, Cardiff, Wales, UK, 2005
- 14 李志洁,程春田,黄飞雪等. 一种基于序贯博弈的网格资源分析策略. 软件学报,2006,17(11):2373~2383
- 15 Lei Yao, Guanzhong Dai, Huixiang Zhang. A novel algorithm for task scheduling in grid computing based on game theory. In: 10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC '08), Dalian, China, September 2008
- 16 李立,刘元安,马晓雷. 基于组合双向拍卖的网格资源分配. 电子学报,2009,37(1): 165~169
- 17 Jorgen Weibull. Evolutionary game theory. MA: The MIT Press, 1995



多用户预编码技术在中继系统中的应用*

王方向,郑侃,龙航,王文博

(北京邮电大学 北京 100876)

摘要

在协同中继系统中,多个用户采用相同时频资源传输信息时,采用预编码技术可以有效消除用户间干扰。本文对多用户预编码技术在中继系统中的应用进行了总结,从下行与上行链路两个方面分析了不同网络拓扑结构下预编码技术的应用。

关键词 协同中继;预编码;多用户

1 引言

处在不利位置(如小区边缘)的用户与基站之间的信

道较差,容易受到噪声及干扰的影响,因此用户信号一般较差,通话困难。如果在原有基站的基础上增加一些新的中继站,可以增大天线的分布密度,拉近天线和用户的距离,此时下行数据从基站先传给中继站,中继站再传给终端用户,上行反之,从而改善链路质量,降低用户掉话率,

* 国家自然科学基金资助项目(No. 60802082),教育部博士学科点新教师基金资助项目(No. 200800131023)

[作者简介] 林晓鹏,厦门大学博士研究生,讲师,研究方向为网络资源管理和任务调度、通信协议等;郭东辉,教授,厦门大

学博士生导师,研究方向为人工智能、计算机网络通信、集成电路设计自动化等。

Research of Grid Resource Allocation Mechanism Based on Bounded Rational Game

Lin Xiaopeng^{1,3}, Guo Donghui²

(1. Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Department of Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 3. Xiamen Ocean Vocational College, Xiamen 361012, China)

Abstract A grid resource allocation mechanism based on the best-response dynamics is introduced in this paper, with which the grid users study and adjust strategy through repeated game to achieve stable equilibrium without the completed information of the others. The performance result validate this mechanism is efficient to lead to an optimal grid resource allocation which maximums the utility of bounded rational grid user, and revise the defected strategy if the grid user take some inaccurate action.

Key words grid, resource allocation, bounded rationality, best-response dynamics

(收稿日期:2010-01-09)