

一种基于期货市场理论的网格资源分配机制^{*}

刘会斌 都志辉

(清华大学计算机系 北京 100084)

摘要 在比较了计算网格资源和期货特点的基础上,提出了一种基于期货市场理论的网格资源分配机制,避免了现货市场价格的大幅波动。提出了基于期货市场的资源竞价交易算法,通过在电力网格系统上的模拟实验以及与“蛛网模型”的对比,表明本文提出的竞价算法具有资源的利用率高、稳定性高的优点。针对资源域内任务调度,提出了基于期货合约任务调度算法,通过实验比较了群集循环法、先来先服务、Max-min 调度算法的完成时间,基于期货合约的任务调度算法完成时间最短。最后讨论了网格技术及期货市场理论在电力系统的应用。

关键词 网格资源分配,期货,任务调度

A Grid Resources Allocation Mechanism Based on Futures Markets Theory

LIU Hui-Bin DU Zhi-Hui

(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract After comparing the characteristics of grid computing resource and futures, a grid resource allocation mechanism based on futures markets theory is presented. Simulation results show that futures market model can avoid price fluctuating. A new allocation algorithm based on competition is proposed. The performance of the allocation algorithm based on competition and cweb model is compared by experiments. The experimental results indicate that the algorithm based on competition is more stable with higher utilization ratio of the grid resource. A scheduling algorithm based on futures contract within a domain of grid resource is presented. The performances of the scheduling algorithm based on futures contract, first come first served model, Cluster Round robin algorithm and Max-min scheduling algorithm are compared by experiments, and the experimental results indicate that the scheduling algorithm based on futures contract algorithm can attain the shortest response time among them. Grid computing, futures markets theory and its application in power system are also discussed.

Keywords Grid resource allocation, Futures, Task scheduling

1 引言

网格资源的异构性、动态性、分布性的特点,决定了网格资源的管理是一个复杂的问题。Buyya 在文[2]中指出了应用经济学原理为网格资源管理建模的合理性,认为基于市场/经济的网格资源管理模型更适合分布的、复杂环境下网格资源管理;资源用户相当于商品消费者,资源供应商相当于产品制造商;用户使用供应商的资源并支付费用。资源的调度是由终端用户的需求来动态决定的,价格策略由用户的需求和资源的供给决定,是竞争性的市场经济模型。网格经济研究领域,包括网格经济体系结构、经济模型在网格中应用、网格资源定价策略、资源使用记账和支付等方面的内容。本文重点研究经济模型在网格资源管理中的应用。

2 相关工作和本文贡献

目前,运用经济学原理研究网格资源调度主要包括文[2,4~8],文[2]、[7]讨论了各种有代表性的基于经济网格资源管理系统,提出了一种基于经济理论的以服务为中心的、可扩展的网格体系结构,并给出了基于现有网格技术的实现方法;介绍了资源分配的物品交易模型和拍卖模型,介绍了物品经济模型在计算网格和数据网格的资源管理和应用调度中的应用。文[6]应用微观经济学的理论提出了一种基于日用品

市场的网格资源定价算法,使供给和需求曲线快速收敛,很快达到均衡价格。文[4]以一般均衡理论为基础,依靠市场机制,提出了一种基于市场机制的资源分配方法,实现计算网格资源的优化分配。文[8]结合集中式同步调价算法,以及分布式 WAL2RAS 算法可扩展性优点,提出一种分布分组调价算法。

这些研究工作主要应用经济学原理研究了网格资源框架结构、定价策略、交易算法等问题,没有涉及网格资源性质分析及相关市场模型的研究。经济领域有现货市场、证券市场、期货市场等不同类型的市场。本文在分析网格资源不同特性的基础上,将期货市场理论应用于网格资源管理,提出了基于期货市场的网格资源分配机制。在 OGSA 规范中,将网格资源虚拟化和服务化的基础上,进一步推动了网格资源走向市场化的研究,其结论对于网格平台从研究性基础设施向同时支持研究和商业应用基础设施的转变具有重要的参考价值。

3 期货网格资源市场结构

3.1 期货网格资源市场的提出

在网格系统中,系统对资源的需求随时间动态变化,相应资源的价格也随时间动态变化。例如,计算资源在工作日时间段,资源供应紧张,价格也较高;休息时间段,使用服务的用户较少,造成资源的闲置,资源的利用率较低。而有些用户应

^{*} 本研究受到国家重点基础研究计划(973 计划)“提高大型互联网运行可靠性的基础研究”子课题“大型互联网分布式计算理论和方法研究”(课题编号:2004CB217903)和 863 仿真应用网格项目“仿真网格的应用研究与开发”(课题编号:2004AA104330)的资助。刘会斌 硕士研究生,主要研究方向为网格计算;都志辉 副教授,主要研究方向为并行计算和网格计算。

用不需要立刻完成,可以在将来某个时间段完成,通过资源供应商和用户签订合同方式,使供方资源提前出售,需方提前订购资源。提高供应商资源的利用率,满足了用户的需求,同时减少了用户的费用。在实际履行合约前,供需双方可以自由买卖合约,避免交易的风险。这种合约的交易类似经济学中期货交易的方式。

期货是标准化的远期合约,期货交易指在期货交易所内买卖期货合约。期货市场的交易方式是合约的买卖,而不是实际商品的买卖,真正的实货交收经过一定时间后进行^[3]。期货上市品种包括一些生产资料或贮藏时间有限的农产品。大豆和小麦等季节性很强的农产品,价格波动很大。在收获季节,供给大于需求,价格严重下跌;在青黄不接的时候,供不应求,造成价格飞涨。同农产品类似,计算资源也具有不可存储、价格波动的特点。在计算网格资源市场中,引入期货市场能够调节供需,避免价格的大幅度波动,为供需双方交易提供合理的参考价格。

3.2 期货网格资源市场的结构

一个网格系统由多个分布的自治资源域组成。一个资源域通常处在同一机构的局域网范围,而资源域与资源域之间通过广域网相连。每个资源域包含一定种类和数量的资源,诸如计算资源、存储资源等。在一个资源域中,同时还存在一些网格应用,这些网格应用需要相应的本地资源。在某一时段,对于特定的资源域,它可以通过网格向外界提供多余的资源,或者它可以通过网格向外界请求资源^[4]。

期货网格资源市场由特定的资源域、资源代理、用户代理、期货市场几部分构成,其结构用图1表示。

- 资源域:一定范围内局域网,既可以对外提供多余资源,也可以请求资源。

- 资源代理:资源代理负责资源的实际分配,代表资源域向网格期货市场发布未来某段时间能提供资源的数量、质量、价格、使用时长等参数。

- 用户代理:将用户的应用请求转换为对资源的请求,在网格市场发布资源需求。

- 期货市场由结算中心、市场交易、合约管理几部分构成。结算中心:提供支付和收费功能;市场交易:实现服务的注册、发现,网格期货资源的交割等功能。通过一定的市场竞争机制,决定资源价格和资源在多个任务之间的分配比例。资源发现、注册等功能可使用现有的 Globus 和 GRACE 提供的中间件,并在此基础上,增加价格策略、交易机制等适合期货市场中间件;合约管理:对双方签署合约进行登记、撤销等管理。

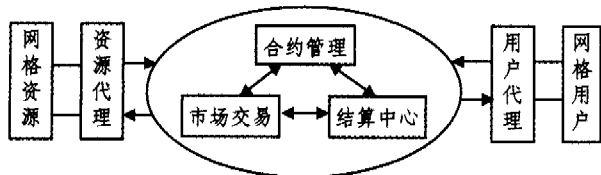


图1 期货网格资源市场的结构

4 期货网格资源的分配机制

4.1 期货网格资源竞价交易算法

4.1.1 期货网格资源交易原则

统计表明,现有集群的利用率不到30%,桌面计算机的利用率不到10%。同一般的商品比,计算资源的利用率很

低,大量的资源没有得到充分的利用。而在工业、商业、科学领域,有很多应用需要大量的资源,用户往往找不到合适资源供应商请求资源,被迫花费大量的资金购买集群、小型机、微机,以满足应用的需求。

另一方面,计算网格资源同电能一样,具有不可存储的特点^[9]。在没有用户使用资源或资源没有充分利用的情况下,资源无法进行有效的存储、调控。因此,本文提出的竞价交易算法,遵循下面原则:

- 供应商尽量给用户分配资源,以提高资源利用率。
- 保证资源供应商的收益。
- 满足用户对资源的需求,使用户满意度高。

4.1.2 算法设计

用户代理和资源代理分别代表各自的资源域在期货市场发布供求信息,信息包括资源的类型、价格、数量、使用时长、响应时间等。交易系统立即分别将供给、需求按价格升序排序,一个供给方和多个需求方签署合约。当供需双方条件相符,且需求方报价高于供给方报价时,交易系统每隔一定周期,自动撮合成交。成交前,供给方和需求方可实时修改报价。当多个用户竞争一个供应商资源,而用户的报价相同,最先提出资源请求的用户成交。

每一轮成交完毕,用户和供应商根据资源供需情况调整价格。用 k 表示资源调价系数, $k=(\text{总供给}-\text{总需求})/\text{总供给}$ 。 k 越大,表明市场的供需矛盾越大。供需双方报价 P 根据 k 动态调整, $P=P\times k$, k 越大,价格调整幅度越大。

在供应商资源有剩余或有用户需求没有满足的情况下,执行下面步骤:

- 供方的报价低于需方的出价且资源供大于求,双方按照用户的需求签署合约,当前用户退出市场,供方剩余资源更新为供需差。

- 供方报价高于用户的报价且资源供大于求,供方根据 k 降低价格,调整后价格要高于供给方最低价,以保证供应商的利润。

- 供方报价高于用户的出价且资源供不应求,不为当前用户分配资源。

- 供方的报价低于用户的出价且资源供不应求时,按照供应商提供资源数量签订合同,当前供应商退出市场,用户转向其他供应商请求剩余资源。

4.2 期货网格资源交易的蛛网模型

在自由竞争的市场经济中,经济学中最常用的是“蛛网模型^[10]”。商品的价格取决于数量,它反映用户对这种商品的需求关系,称为需求函数。因为商品的数量越多,价格越低,需求函数是一个减函数。商品生产的数量由价格来决定,它反映生产者的供应关系,称供给函数。通过价格杠杆调节供需,供给大于需求时,价格下调,刺激消费;供给小于需求时,价格上调,抑制消费,直到系统总需求等于总供给的均衡状态。

蛛网模型同样适用于期货市场,卖出合约相当于供给方,买入合约相当于需求。在价格较低时,即当资源供给大于需求时,交易者大量买入期货合约,刺激市场需求,使价格上涨;价格较高时,即资源供给小于需求时,交易者大量卖出期货合约,增加市场供给,又使价格下跌。这样不断调整价格,直到供需均衡,此时的价格即为均衡价格。当需求函数曲线斜率小于供给曲线斜率时,经过反复迭代,能够达到平衡状态;当需求函数曲线斜率大于供给曲线斜率时,经过反复调整不能

达到平衡状态,趋向发散,是不稳定的状态。需求曲线越平坦,供给曲线越陡,越有利于经济稳定。

4.3 基于期货合约的任务调度算法

用户代理和资源代理代表本资源域签署资源分配合约。双方签署的合约是较长时间段内资源分配合约,在这个时间段内,资源数量是波动的。针对资源域内任务调度,本文提出了基于期货合约任务调度算法,目标是使任务执行时间最短。

假设任务之间不存在通信,是无关任务的调度。将资源代理和用户代理期货合约的时间段进一步划分,划分为更小的 m 个时间段,使每一小时间段内资源处理能力基本稳定。

将 m 个时间段服务提供者 j 按其处理能力升序排列 $C = (c_1, c_2, \dots, c_m)$;

n 用户 i 按需求资源数量 q_i 降序排列 $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 。

$i=1, j=1$ 。

$i < n$ 或 $j < m$, 执行下面步骤:

b_i 映射到 c_j ;

计算服务提供者和用户需求资源的差;

- 如果服务提供者资源有剩余,按照用户需求和当前用户签订资源合约,将提供者剩余资源设置为二者差值,转向为下一个用户提供资源, $i=i+1$ 。

- 如果服务提供者的资源不能满足用户需求,按照服务提供者资源数量和当前用户签订合同,服务提供者退出,用户转向下一个服务提供者请求资源, $j=j+1$ 。

- 如果服务提供者的资源刚好满足用户需求,按照服务提供者资源数量和当前用户签订合同,服务提供者退出,用户退出,分别转向下一个用户和供应商, $j=j+1, i=i+1$ 。

5 应用实例和模拟实验

5.1 基于期货市场网格资源分配机制在电力系统的应用

网格的思想源于电力网。文[9]从资源类型、传输网络、安全性、可存储性等多个方面进行了比较,表明电力网和网格有很多相似之处。通过研究网格,对电网建设有一定借鉴意义。随着煤炭、石油资源的日渐枯竭,未来电网将转向使用可再生能源。未来将有大量的使用可再生能源的小型发电机接入电网,使电网的监控更加复杂。未来的电力市场包括发电厂、输电公司、售电公司、电能用户、政府等各种角色,应该是一个开放的竞争的市场,电力市场的交易和电网的管理更加复杂。

通过网格技术集成到电网监控系统,监视电网的运行状态,控制发电机启动、停止,使电力系统自动调节,协调工作^[11]。通过网格整合各种软件、硬件、信息资源,为电力市场运行和电网的管理提供一个平台。

电能和计算网格资源都具有不可存储、价格波动的特点,期货市场模型同样适合电力市场的交易。文[12]在期货电力交易模式方面进行了研究,提出了期货与现货市场结合的新电力交易模式,并给出了数学模型。交易者可以通过电力期货交易规避价格风险,维持负荷的平衡,从而保证电力供应长期稳定。

5.2 性能分析及实验

5.2.1 期货网格资源交易算法的验证

通过在电力网格平台的模拟仿真,比较了期货市场和现货市场的价格曲线、竞价交易算法和蛛网模型的资源利用率以及竞价算法和蛛网模型的稳定性。

为比较期货市场和现货市场,设计了一个模拟程序。实验包含 100 个任务,每个任务执行时间 1s,竞争 50 个资源,不同时间段资源价格不同。图 2、图 3 分别是现货市场和期货市场一段价格曲线,同现货市场比,期货市场价格平稳。

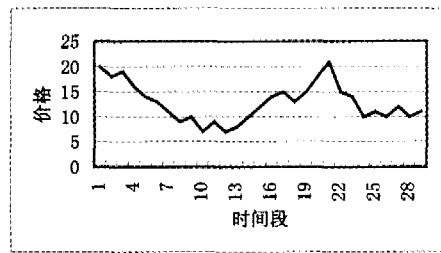


图 2 现货市场的价格曲线

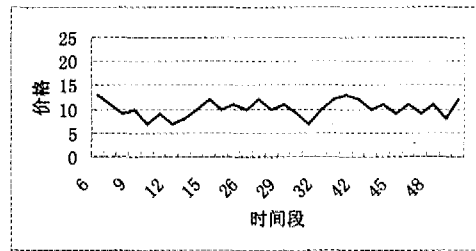


图 3 期货市场的价格曲线

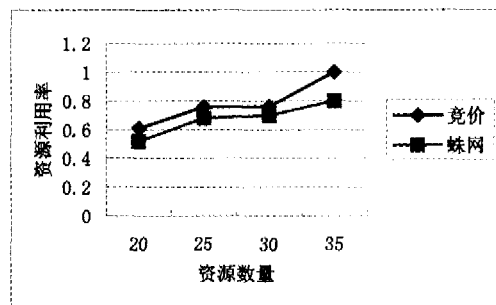


图 4 用户资源的利用率对比

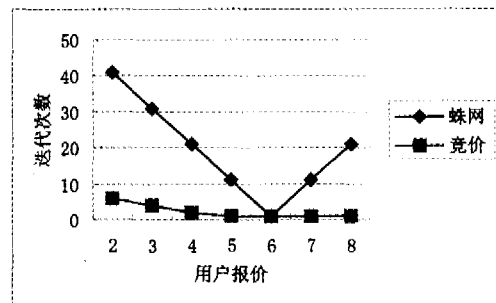


图 5 迭代次数的比较

在 PC 机上模拟竞价算法和蛛网模型。每个资源供应商可为多个用户服务,每个用户有不同的需求曲线。用户总需求资源数量为 32 个标准任务,图 4 比较竞价算法和蛛网算法的资源利用率。供应商资源数量小于 32 时,如供不应求,资源供应商满足部分用户需求,竞价模型资源利用率高于蛛网模型;供大于求时,蛛网模型经过反复迭代,达到平衡点,满足部分用户的需求,竞价模型此时满足所有用户的需求,资源利用率高于蛛网模型。

图 5 是蛛网模型和期货合约模型达到均衡价格的迭代次数。蛛网模型和竞价模型均衡价格为 6,资源的总供给 35。

改变资源的初始报价,蛛网模型中初始报价离均衡价格越远,迭代次数越多。竞价模型每次迭代根据供需差调整:供需差越大,调价幅度越大,很快达到均衡状态。

通过试验对比,竞价交易算法的优点主要有:

(1)迭代次数少,稳定性高。根据供应商调价系数 k 来调整价格,供需矛盾越紧张,调价的比率越大,很快达到均衡状态,避免蛛网模型的反复迭代,并且保证收敛。

(2)资源利用率高。供应商在有利润情况下,尽量把资源分配给更多的用户,资源利用率高于蛛网模型。

(3)供应商的调整价格高于最低价,保证利润。并且,由于资源利用率的提高,增加了资源供应商收益。同时,满足了用户对资源的需求,考虑了用户和供应商双方利益。

5.2.2 基于期货网络任务调度算法的验证

在无关任务和元任务调度研究中,出现了很多成熟的算法,如 MET (Minimum Execution Time)、Max-min (Min-min)、Round robin 算法、CA 和 SA 等^[13]。通过实验比较群集循环法 (cluster Round robin, RR)、先来先服务 (First-come-First-served, FF)、Max-min 调度算法的完成时间。

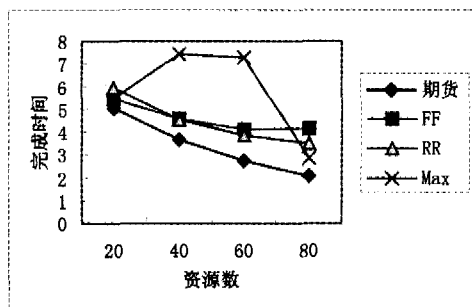


图6 供应商计算资源数量变化

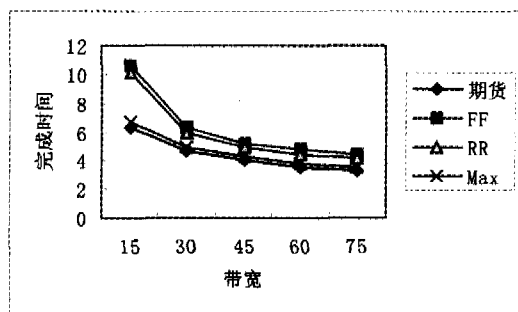


图7 总传输资源变化

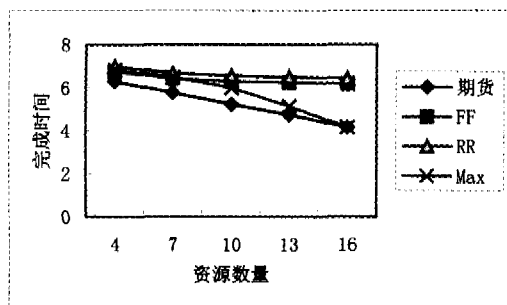


图8 单个时间段资源供应商资源变化

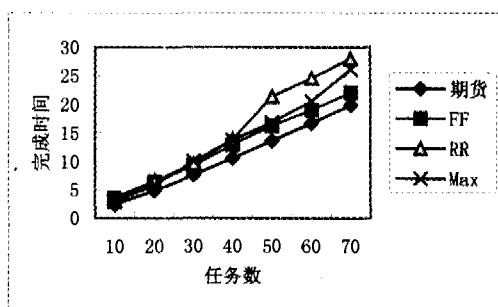


图9 任务数量变化

从实验结果看出,无论是计算资源变化、网络带宽变化,还是任务数量发生变化在这几种任务调度算法中,基于期货理论任务调度算法的完成时间最短。

结论 运用市场机制解决网络资源分配问题是网络资源管理的重要研究方向。针对不可存储的网络资源,资源利用率较低,价格波动大,将期货市场理论应用于网络资源管理,并提出了基于期货市场网络资源竞价交易算法,并给出了电力网格中应用实例。通过在电力网格平台的仿真实验比较了竞价算法和蛛网模型的性能。本文提出的基于期货的竞价算法具有资源的利用率高、快速收敛、稳定性高的优点。提出了基于期货合约的任务调度算法,根据不同时间段服务提供者处理能力,合理地调度任务,使任务完成时间最短。

参考文献

- 1 Foster I. What is the Grid? A Three Point Checklist, July 20, 2002. <http://www-fp.mcs.anl.gov/~foster/Articles/WhatIsTheGrid.pdf>
- 2 Buyya R. The Grid Economy. Proceedings of the IEEE, 2005, 93 (3)
- 3 Fundamentals of Futures and Options Markets, 4th ed. Hull J C. Prentice Hall Inc, 2002
- 4 曹鸿强,肖依,卢锡城,等.一种基于市场机制的计算网络资源分配方法.计算机研究与发展,2002,39(8):913~916
- 5 Wolski R, Plank J S, Brevik J, et al. Analyzing market-based resource allocation strategies for the computational grid. International Journal of High Performance Computing Applications, 2001, 15(3):258~281
- 6 Subramoniam K, Maheswaran M, Toulouse M. Towards a micro-economic model for resource allocation in grid computing systems. The 2002 IEEE Canadian Conf on Electrical & Computer Engineering, Manitoba, Canada, 2002
- 7 Buyya R, Vazhkudai S. Compute Power Market: Towards a Market-Oriented Grid. CCGRID 2001. 574~581
- 8 翁楚良,陆鑫达.一种基于市场机制的网络资源调价算法.计算机研究与发展,2004,41(17):1151~1156
- 9 Chetty M, Buyya R. Weaving Computational Grids: How Analogous Are They with Electrical Grids? Computing in Science and Engineering Archive 2002, 4:61~71
- 10 Contreras J, Candiles O. A Cobweb Bidding Model for Competitive Electricity Markets. IEEE Transactions on Power Systems, 2002, 17(1)
- 11 Irving M, Taylor G, Hobson P. Plug into grid computing-Moving Beyond the Web, a Look at Potential Benefits of Grid Computing for Future Power Network. IEEE Power & Energy Magazine, 2004, 4
- 12 江健健,夏清,等.基于期货的新型电力交易模式.中国电机工程学报,2003,4(4):31~37
- 13 Braun R D, Siegel H J. A Comparison of Eleven Static Heuristics for Mapping a Class of Independent Tasks onto Heterogeneous Distributed Computing Systems [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2001, 61:810~837