

网格环境中信任-激励相容的资源分配机制*

张煜⁺, 林莉, 怀进鹏, 李先贤, 钟亮

(北京航空航天大学 计算机科学与技术系, 北京 100083)

A Resource Allocation Mechanism Providing Trust and Incentive in Grid

ZHANG Yu⁺, LIN Li, HUAI Jin-Peng, LI Xian-Xian, ZHONG Liang

(Department of Computer Science and Technology, BeiHang University, Beijing 100083, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-10-80939337, Fax: +86-10-82316796, E-mail: zhangyu@act.buaa.edu.cn, <http://act.buaa.edu.cn>

Zhang Y, Lin L, Huai JP, Li XX, Zhong L. A resource allocation mechanism providing trust and incentive in grid. *Journal of Software*, 2006,17(11):2245-2254. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/2245.htm>

Abstract: In grid environment, when every participating node tries to maximize its own utility, the overall utility of the collaboration drops. In the worst case scenario, grid resources are easily depleted due to selfish users taking free rides without offering any sharing resource. Certain resource management scheme has to be implemented on grid systems to ensure them working properly and to achieve better scalability. In this paper, the relationship of resources incentive and allocation in the grid is discussed. In grid computing, the evaluation of shared resource is the key to allocate and manage them. To address the issue, the price strategy of sellers and an adaptive trust-incentive compatible resource allocation mechanism ATIM (adaptive trust-incentive compatible resource allocation) are presented to ensure the balance of supply and demand, promote the users to share valuable resource, and maximize resource utility. Intending for a secure collaborative environment, the framework considers the factors of trust and economy to ensure the steady development of grid resource market. This approach is also evaluated by comprehensive experiments in CROWN (China research and development environment over wider-area network).

Key words: resource allocation; incentive; trust; price strategy; CROWN (China research and development environment over wider-area network)

摘要: 在网格环境中,多数节点希望能够更多地使用其他节点的资源,而不愿共享本地的资源.每个理性的用户在追求自身利益最大化的同时,严重影响了协作整体的运行效率.在实际应用中,要吸引资源的拥有者加入资源协作,就必须保证其利益和安全.讨论了资源激励机制和分配机制之间的依赖与制约关系,从经济、信任角度提出自适应的信任-激励相容的资源分配机制.在网格环境中,资源供需的变化会引发价格的浮动,基于经济学的一般均衡理论,给出了资源提供者的动态价格调整策略.提供者可根据当前资源的供需和负载状况,制定自适应的信任-激励相容的分配策略 ATIM(adaptive trust-incentive compatible resource allocation),遵循多贡献多分配的原则,激励节点共享

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.90412011 (国家自然科学基金); the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2005AA119010 (国家高技术研究发展计划(863)); the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under Grant No.2005CB321803 (国家重点基础研究发展规划(973))

Received 2006-06-08; Accepted 2006-08-07

出有价值的资源,最大化资源的聚合效用.在 CROWN(China research and development environment over wider-area network)平台中评估了 ATIM 机制的效率和性能.

关键词: 资源分配;激励;信任;价格策略;CROWN(China research and development environment over wider-area network)

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

网格的核心思想是为终端用户提供网络资源共享与协同一体化的运行服务平台,使用户可以最大限度地共享资源,包括 CPU、磁盘空间、内存空间、网络带宽和专业处理能力等,协同资源完成目标.然而,一个有趣的两难问题随之产生.多数节点的意愿是更多地消耗其他节点的资源,而不愿共享本地的资源.每个理性的用户在追求自身利益最大化的同时,也会严重影响协作整体的运行效率.如 2004 年 OSDI(operating systems design and implementation)国际会议论文在线投稿,CPU 的超负荷见证了网格资源的“tragedy of the commons”问题^[1].因此,如何在一个异构、动态、无序的分布式计算环境中支持动态资源的共享和协同,已逐渐成为日益严峻、亟待解决的问题.此外,在实际应用中,大量的资源并不是无偿使用的,要吸引资源的拥有者加入网格,就必须保证其利益和安全.面对不断变化的资源供求关系,网格资源的价格、安全因素变得尤为重要.

目前,已有的工作采用软激励^[2-5]的方式激励节点共享资源,软激励实质上属于信誉度系统.提供共享资源越多的节点所积累的信任度越高,因而具有访问其他资源的权限.然而,在复杂的协作环境中,一些节点希望通过提供本身的资源获取相应的经济利益,软激励机制不能满足该类节点的需求.与软激励相对应,另有一些研究采用硬激励^[1,6,7]的方式促进共享资源的增多,即节点提供自身的资源以获取虚拟货币,进而利用货币投标其他资源.然而,积累虚拟货币越多的节点其信任度也越高的这种假设前提,在实际应用中是不合理的.仅仅考虑节点投标价格的资源分配机制,不能满足来自不同组织节点的安全需求.

综上所述,本文的目标是充分整合和协同分散的资源,结合软激励和硬激励机制,提出自适应的信任-激励相容的资源分配机制(adaptive trust-incentive compatible resource allocation,简称 ATIM),以简洁的经济和可计算的模式实现了资源的交换与分配.资源供需的变化会引发价格的浮动,基于经济学的一般均衡理论,给出了资源提供者的动态价格调整策略.提供者可根据当前资源的供需和负载状况,制定自适应的信任-激励相容的分配策略 ATIM,遵循多贡献多分配的原则,激励节点共享出有价值的资源,最大化资源的聚合效用.最后,在 CROWN(China research and development environment over wider-area network)环境中验证 ATIM 分配策略、价格调整策略的效率和合理性,并给出实验方法.

1 相关工作

资源激励的宗旨是促使网络节点共享有价值的资源,可分为硬激励和软激励两种方式.软激励^[2-5]分为信任度判定方案和服务质量区分方案两种,其本质是根据节点提供资源的效用和数量确定节点的信任度^[3,4](或慷慨度^[2]、贡献率^[5]),节点在访问共享资源时只能访问具有同级别或低级别信任度的节点资源^[4],资源分配要优先满足贡献率高的节点,且所提供的服务质量也有区别.软激励机制在本质上属于信誉度系统,忽略了资源的价格因素.在复杂的协作环境中,一些节点希望通过提供资源获取相应的经济利益,软激励机制不能满足该需求.

目前,已有很多基于经济模型的网格资源管理的研究.Buyya 等人^[8,9]提出经济社会中多种已有的模型可适用于网格资源的管理,如拍卖模型、多商品交换模型、合同模型、议价模型等.然而,Buyya 只是经济概念层次上的讨论,并没有提出具体的实施评估方法.与软激励相对应,根据资源的供需状态评估节点提供资源的价值,分配相应的货币,该方式可称作硬激励机制^[1,6,7].Chun 等人^[1]采用拍卖-投标(auction-bidding)模型,其目标是在资源交换的市场竞争中买卖资源,匹配请求的资源 and 可用的资源,最大化资源的聚合效用.Feldman^[6]等人假定消费者预先描述了对资源的偏好,采用最佳响应(best response)算法获取更多的效用.以上系统中的资源分配仅考虑了节点的投标价格,即节点报价越高,所分配到的资源也越多.然而,报价高的节点其信任度也越高的这种假设前提在实际应用中并不合理,仅考虑节点投标价格的资源分配机制不能满足来自不同组织节点的安全需求.

本文的 ATIM 机制结合硬激励和软激励两种方式,综合考虑经济和信任因素,提出“可计算经济”的效用驱动模式.资源提供者根据当前供需和负载状况,制定自适应的信任-激励相容的分配策略,激励节点共享有价值的资源,最大化聚合效用.同时,基于经济学中的一般均衡理论,给出了动态价格调整策略,保障共享资源的安全与平衡.

2 CROWN 资源管理体系

CROWN 是国家自然科学基金委资助的综合网络科研协作环境实验平台.目前,典型的 Grid,P2P 资源管理结构多采用分层体系^[10-12].CROWN 也采用如图 1 所示的分层体系结构.依据节点的非功能参数,性能评估参数较高的节点可作为上层管理节点(本文称其为汇点 sink,构成系统中的骨干层(backbone)).每一个汇点可为一系列的客户端作为服务器运作,构成由不同组织管理的小范围的联合,再采用汇点的 P2P 模式构成一个大规模的网格,在集中式管理的效率及分布式搜索的健壮性中提供一种有效的平衡.下面,我们给出一些定义.

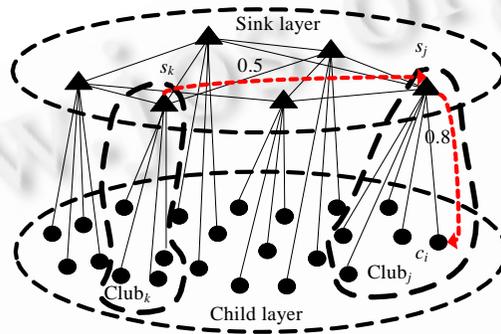


Fig.1 The two-tier architecture of resource management

图 1 资源分层管理体系结构

定义 2.1. 子点可作为资源的提供者和消费者,定义为 $c_i, i \in \{1, \dots, q\}, q \in \mathbb{N}$.

定义 2.2. 汇点为性能评价参数较高的节点(可事先设定一些阈值作为评价的基准),定义为 $s_j, j \in \{1, \dots, p\}, p \in \mathbb{N}$.

每个子点选择距离最近、最可信的汇点作为自己的父节点,注册共享资源的信息.一个汇点及选择它的多个子点构成一个 Club.为了简化问题的描述,本文假设一个 Club 中主要提供一种类型的服务资源.

定义 2.3. $\text{Club} \triangleq (\text{num}, S, D, E, P)$. $\text{num} \in \mathbb{N}$ 表示 Club 中子点数量; S, D, E, P 分别表示 Club 中资源的供应量、需求量、剩余量和价格.

定义 2.4 (TRUST 模型). 采用方案^[13]中的信任模型,认为同一 Club 内的节点间存在直接信任关系,不同 Club 的节点间存在间接信任关系,汇点间存在推荐信任关系.

不同节点间信任度的推演采用如下的计算方式:

(1) 直接信任度:约定当 Club_j 中的子点使用子点 c_i 的资源执行作业后,将向汇点 s_j 报告一个肯定的或者否定的经验值.经过一定的积累,若 Club_j 的汇点所记录的 c_i 的经验均为肯定经验(不妨设数量为 h),则认为该汇点与 c_i 存在直接信任关系,直接信任度 $dt_{j,i} = 1 - \lambda^h$, λ 是完成一次任务的期望值.

(2) 推荐信任度:当 Club_k 中子点使用 Club_j 中子点的资源执行作业后,向本地汇点 s_k 报告一个肯定的或否定的经验值.经过一段时间, Club_k 的汇点累积了一定数量的经验值 m, n (分别对应于 Club_k 的所有子点使用 Club_j 中资源的肯定和否定经验值总数),则 Club_k 的汇点认为 Club_j 的汇点的推荐信任度如下:

$$rt_{k,j}(m, n) = \begin{cases} 1 - \lambda^{m-n}, & \text{if } m > n \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

(3) 根据以上的计算, Club_k 对 Club_j 的子点 c_i 的信任度为 $t_{k,i} = 1 - (1 - dt_{j,i})^{rt_{k,j}}$.

由计算公式易见,每个节点只有为其他消费者提供有价值的资源,累积更多的肯定经验值,才能获取更高的信任度.例如,在图 1 中,汇点 s_j 所记录的子点 c_i 的直接信任度为 0.8,汇点 s_k 认为 s_j 的推荐信任度为 0.5,则 s_k 对 s_j 的子点 c_i 的信任度为 $1-(1-0.8)^{0.55}=0.55$.

3 ATIM 机制的设计

本文采用组合投标的方式匹配多个请求方和提供方的资源.如图 2 所示,设当前网格中有 $p \in \mathbb{N}$ 个汇点(即 p 个 Club)作为提供者,周期性地发布 Club 内的资源数量及价格; $q \in \mathbb{N}$ 个子点作为消费者,采用投标方式选择所需资源.

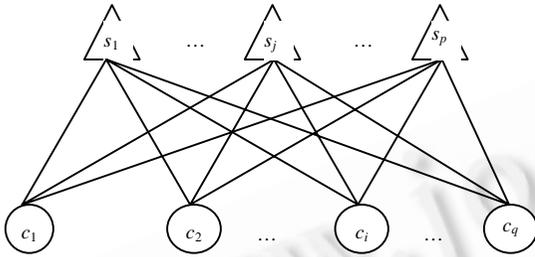


Fig.2 Consumers bidding and providers allocation
图 2 消费者的投标与提供者的分配

在每一轮的交互过程中,消费者可在执行时间和资金预算的约束下,制定相应的投标价格策略,最大化自身的效用.限于篇幅,本文不再详细讨论消费者的投标策略,其方法可参见文献[14].针对多个消费者的资源请求,本文着重讨论提供者的分配策略,提出一种自适应的信任-激励相容的资源分配机制,其主要特性是:(1) 资源提供者根据消费者的投标报价、信任度及完成时间的约束,构造收益函数,提供有区分的服务;(2) 激励节点共享资源,获取更高的信任度;(3) 根据当前资源的供需和负载状况,自适应地调整资源分配策略;

(4) 最大化资源的聚合效用.这种互动机制可以有效地促进资源的供应与需求的满足,也为资源的优化组织和发展提供某一方面的基础.在这种机制实施到一定程度后,大部分消费者与提供者之间形成了共享均衡与默契,有利于改善资源的共享和协同,提高资源的使用效率.

3.1 提供者价格策略

由于网格资源的价值与诸多因素有关,且随时间而变化,因此难以给出一个准确的计算公式.但在不同的前提和目的下,可以建立相对有效的价格模型.基于经济学的一般均衡定理,本节提出了反映供求平衡的提供者价格策略.一般均衡理论是微观经济学理论中重要的分支,它从微观经济主体的行为角度出发,考察每一种产品的供需达到均衡状态时所需的条件、相应的均衡价格和均衡数量.基于上文 Club 的定义,我们有:

定义 3.1. 当 $E(P^*)=0$ 时,称 Club 达到均衡, P^* 为均衡价格.

汇点可采用迭代公式 $P=P+\delta(D-S)$ 计算资源的均衡价格^[15,16], δ 和 ε 分别表示价格调整速率和迭代终止参数,迭代过程如图 3 所示.当资源的供给大于资源的需求,即 $D-S>0$ 时,下调价格;反之,上调价格,并且价格升降的速度与 $|D-S|$ 成正比.在经济学中,这样的价格调整过程称为摸索(tatonnement)过程^[15,16],可以通过构造李亚普诺夫能量函数的方法证明 Tatonnement 过程收敛于均衡价格.

图 3 清晰地说明了资源分配是一个以时间段 T 为间隔的重复过程,在每个 T 中又嵌插着一个价格摸索的子过程,力图达到均衡价格.每个消费者给出不同价格下的投标报价;资源提供者给出在均衡价格下(即 $|D-S|<\varepsilon$)的分配策略.而后,进入下一时段的重复过程.然而,在实际的网格应用中,我们认为 $|D-S|<\varepsilon$ 这个条件不一定总能达到,有如下两种原因:

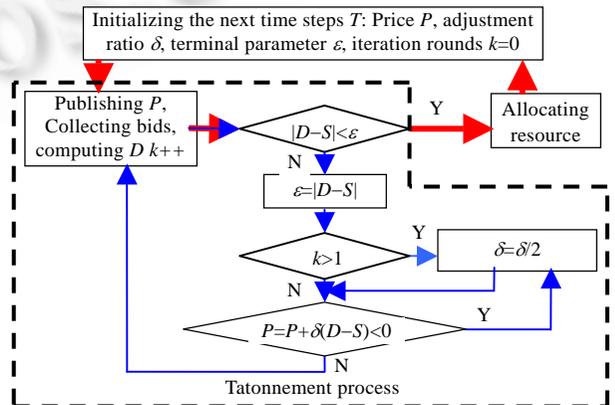


Fig.3 The tatonnement process of price adjustment
图 3 价格调整的 Tatonnement 过程

- (1) 大规模消费者的并发请求,使得资源数量不能满足消费者的最低下限,即 $D \gg S$;
 - (2) 恶意节点的虚假需求数量,使得 $D \gg S$,价格迭代过程不能快速收敛.
- 针对以上两个问题,本文着重讨论资源配策略.

3.2 资源提供者的分配策略

我们为资源提供者制定表 1 所示的分配策略,分别讨论如下.

Table 1 The allocation strategy of resource providers
表 1 资源提供者的分配策略

Policy	Condition	Mode
TIM	$ D-S < \varepsilon$	Maximizing profit while satisfying the execution deadline of jobs
Greedy	$D \gg S$	Focusing on the profit of executing the unit length job
ATIM		Switching between TIM and Greedy according to supply and demand

1. TIM 策略

针对消费者在均衡价格下 ($|D-S| < \varepsilon$) 的投标请求, TIM 策略的目标是:提供者如何根据请求者的信任度和投标报价提供有区分的服务,满足作业的执行期限,并最大化资源的聚合效用.在分散的网格环境中,提供者不可能获知消费者的效用函数,但可以根据消费者的投标信息,近似地构建出消费者的支付状况,预计执行该作业的收益.

定义 3.2. 一个子点向一个汇点的投标请求定义为 $bid=(nlow, l, pl, dl, t, \phi)$, 其中, $nlow$ 表示请求资源数量的最低下限, l 表示作业的长度, pl 和 dl 分别表示作业的惩罚限 (penalty line) 和执行期限 (deadline), t 表示汇点对子点的信任度, ϕ 表示投标支付.

根据消费者的投标信息,提供者可以构建如图 4 所示的收益函数,计算出投标作业的惩罚率 $\xi = \frac{\phi}{dl - pl}$. 设提供者为该作业分配的资源数量为 $x (\geq nlow)$, 我们用 $\frac{l}{x}$ 近似地表示作业的执行时间, $\frac{l}{x} - pl$ 表示超过惩罚限的时间, 则执行该投标作业后所获得的效用为 $t \left(\phi - \xi \times \left(\frac{l}{x} - pl \right) \right)$, t 为效用的权重, 是提供者 (汇点) 对消费者 (子点) 的信任度, 信任度的推演见定义 2.4.

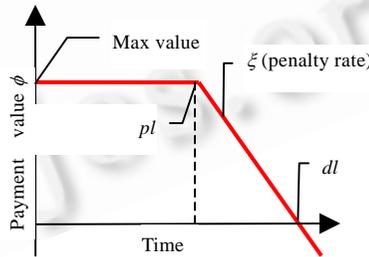


Fig.4 The provider's utility for executing a bid
 图 4 提供者执行一个投标的收益

针对 q 个子点的投标请求,提供者资源分配向量为 $(x_1^j, x_2^j, \dots, x_q^j)$, 效用函数 $U(x_j^i)$ 表示提供者所获得的聚合效用, 定义为:

定义 3.3. 提供者 s_j 对 q 个投标请求在分配策略 $(x_1^j, x_2^j, \dots, x_q^j)$ 下所产生的效用为

$$U(x_j^i) = \sum_i t_{j,i} \left(\phi_i^j - \xi_i \times \left(\frac{l_i^j}{x_j^i} - pl_i^j \right) \right)$$

该效用函数在 $x_j^i \in (0, S_j)$ 上满足凹性和单调性(证明略).在一般均衡定理中,只要效用函数满足凹性和单调

性,均衡解这一最合理的分配方案就一定存在.TIM 的目标是分配向量 $(x_j^1, x_j^2, \dots, x_j^q)$ 在约束条件 $g(x_j^i) = \sum_i x_j^i \leq S_j$ 的限制下,最大化聚合效用 MAU(maximizing aggregate utility),可转化为如下优化问题的求解:

$$\begin{cases} \max U(x_j^i) \\ \text{s.t. } g(x_j^i) \leq S_j \end{cases}, g(x_j^i) = \sum_i x_j^i.$$

定理 3.1. 提供者 s_j 在均衡价格 P_j 下,存在一个 s_j 对 c_i 的分配策略 $(x_j^i)^* = \frac{\sqrt{t_{j,i} \xi_i^j}}{\sum_k \sqrt{t_{j,k} \xi_k^j}} S_j$,使得 $(x_j^i)^*$ 是 MAU

问题的解.

利用拉格朗日乘法容易得证,证明略.

定理 3.1 说明,提供者针对在均衡价格下的投标请求,实施 TIM 分配策略,遵循多贡献多分配的原则,更倾向于将资源分配给信任度高、惩罚率高(即投标资金高或执行期限短)的请求者,提供有区分的服务,激励节点贡献资源,最大化聚合效用.

2. Greedy 策略

TIM 策略解决了提供者在均衡价格下的分配问题,最大化资源的聚合效用.然而,在高可变、弱可信的网格环境中,大规模消费者的动态作业请求使得需求量往往超过供应量,即 $S_j \ll \sum_i nlow_i^j, S_j \ll D_j$; 或者恶意节点的虚假请求也使得 $S_j \ll D_j$, 导致第 3.1 节的价格迭代过程不能快速收敛.为了规避这类问题,提供者可采用 Greedy 策略,依据每单位长度作业可获取的收益(即 $t \times \frac{\phi}{l}$) 降序排列投标,分配可用资源.Greedy 策略适用于需求量远大于供应量下的资源分配,但这不是一个优化的过程.

3. ATIM 策略

以上的 TIM 策略和 Greedy 策略分别适用于不同的系统状态:当供需趋于平衡,提供者可以满足绝大多数消费者的执行期限约束时,TIM 策略解决了如何分配资源获取最大聚合效用的问题;而 Greedy 策略则解决了当需求量远大于供应量时的资源分配问题.为了适应更宽泛的供需和负载状况,本文提出自适应的信任-激励相容的分配策略 ATIM.如图 5 所示,通过设定迭代次数门限 $k_{threshold}$ 和超额需求门限 $E_{threshold}$,资源提供者自动地在 TIM 和 Greedy 之间切换分配策略.

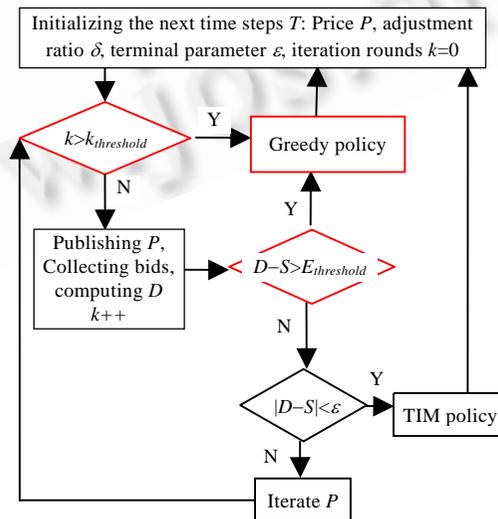


Fig.5 ATIM mechanism

图 5 ATIM 机制

4 实验分析

4.1 实验环境

我们在 CROWN 平台中验证本文的 ATIM 机制.CROWN 是分布式的 Grid 中间件平台,为用户提供统一的互操作接口.我们在 CROWN 环境中部署了 32 个节点评估 ATIM 的性能.所有节点采用 Linux 操作系统,Intel Nocona Xeon 2.8GHz,2G RAM 的配置.实验中生成 5 个 Club,每个 Club 包含 1 个汇点、40~50 个虚拟子点.我们将汇点和子点所提供的服务部署到 CROWN 容器中,并配置群通信的消息拦截插件,在多个节点之间实现消息的洪泛机制^[17],执行投标过程.图 6 为 Club 服务调用的时序图,提供者(汇点)收集、发布本地资源信息,创建并启动接收投标请求的服务.资源消费者可以通过 Web 方式或者 Club 组通信方式调用相应的 Grid 服务.

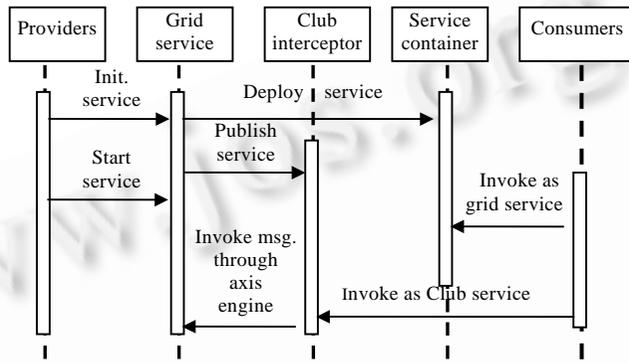


Fig.6 The invoking sequence diagram of Club service

图 6 Club 服务调用时序图

4.2 评估ATIM分配机制

设一个 Club 拥有 200 单位的资源,并且令来自 5 个不同 Club 的子节点竞标该资源,请求资源的数量均为 100.由于竞标的节点所贡献的资源数量不同,累积的虚拟货币值和投标值也不同.图 7 和图 8 的 x 轴是以每轮 bids 为间隔的时间轴,y 轴为所得资源数量 G 与请求资源数量的比率,即 G/100.

图 7 的 5 条曲线为不考虑信任度因素的资源分配状况,即每个请求者所得资源数量为 $(x_j^i)^* = \frac{\sqrt{\xi_i^j I_i^j}}{\sum_k \sqrt{\xi_k^j I_k^j}} S_j$ (见

定理 3.1),以下简称 Proportion 策略;图 8 采用 ATIM 策略.图 7 和图 8 中的 s 值表示各个节点所提供资源的百分比,例如,第 1 个节点向其他节点提供了 90%的本地资源;图 8 的 t 值表示节点的信任度.在前 3 轮的投标中,只有两个节点分别请求 100 单位的资源,资源供应正好满足需求,所获得资源的百分比为 100%.自第 3 轮之后,资源请求者的增加导致供应小于需求.每个请求者在提供者的价格指引下不断调整请求数量.

从图 7 可以看出,提供相同比率资源的节点,分配得到的资源数量几乎一致.图 7 的第 9 轮投标显示:节点 5 所提供的资源较多(90%),所分得的资源比率也较多(50%).图 8 考虑了信任度的因素.通过比较图 7 和图 8 的第 3 轮投标我们发现,虽然节点 3 所提供的资源(60%)小于节点 1 所提供的资源(90%),但由于节点 3 积累了较高的信任度($t=0.6$),故仍可分得多于节点 1 的资源.再如,图 8 的第 6 轮投标明显地说明:虽然节点 2 和节点 4 提供了相同比率的资源(30%),但由于节点 2 的信任度($t=0.8$)远大于节点 4 的信任度($t=0.1$),故节点 2 分得了较多的资源.

在不正规节点的虚假需求下,第 2 个实验分析了不同策略对资源聚合效用的影响.我们生成了 3 个 Club,每个 Club 有 40 个节点作为资源的提供者,其中 Club₁ 采用 Proportion 策略,Club₂ 采用 TIM 策略;Club₃ 采用 ATIM 策略.同时,来自另外两个 Club 的 100 个节点作为资源消费者,产生竞标资源的请求.我们令提供资源的 3 个 Club

接收到同样的 100 个投标请求,并且 100 个投标中恶意节点的比率在[0,0.9]区间内以 0.1 的步长发生变化.正如图 9 所示,当恶意节点的比率达到 20%以后,采用 TIM 策略的 Club₂ 所获得的收入要高于 Club₁.而当恶意节点的比率达到 70%以后,恶意的虚假请求扰动了 TIM 策略的分配效率,ATIM 策略则具有更好的适应能力.

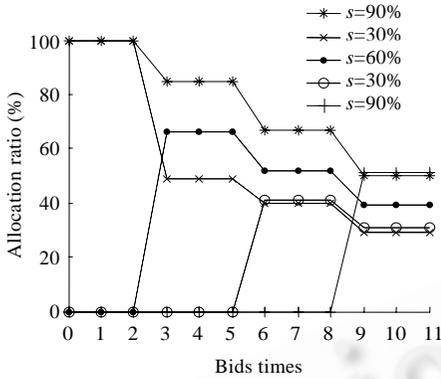


Fig.7 Proportion strategy
图 7 比例策略

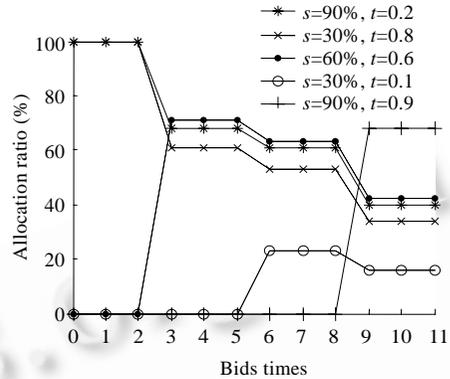


Fig.8 ATIM strategy
图 8 ATIM 策略

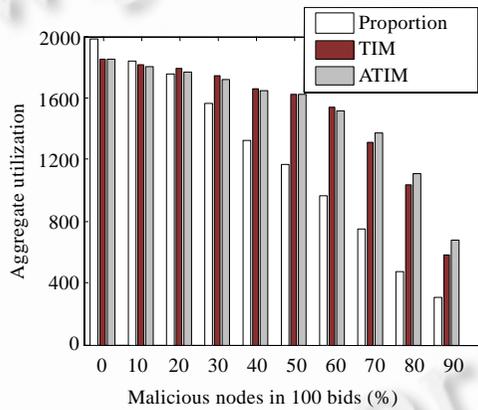


Fig.9 Malicious nodes vs. aggregate utilization
图 9 恶意节点 vs. 聚合效用

4.3 评估ATIM价格策略

在本节实验中,主要评估 ATIM 价格策略对作业执行效率的影响.我们分别采用 ATIM 价格策略和轮转 (round-robin)策略分配资源,并比较在不同策略作用下的作业完成时间,一个作业的完成时间是指从访问到达时刻起到作业执行完毕的时间跨度.我们仍设置 3 个 Club 作为资源的提供者,每个 Club 内部拥有 200 单位的资源数量,汇点以 700ms 的间隔发布各自 Club 内的资源价格信息.来自另两个 Club 的子点作为资源消费者以 350ms 的间隔发出作业投标请求.此外,根据资源提供数量和投标作业的资源请求数量,可得出系统负载的近似表示,即系统负载 = $\frac{\text{请求资源总量}}{\text{提供资源总量}}$.因而,通过增加投标作业的资源请求量,我们可使系统负载以 0.1 步长自 0.1 到 0.9 递增.

如图 10 所示,我们分别在 0.4,0.6,0.8 的系统负载状况下比较 ATIM 价格导向策略和轮转策略的执行性能.在图 10 中,x 轴表示作业的执行时间,y 轴表示系统当前负载,z 轴表示作业在 x 轴时间内完成的比率.例如,值 83% 表示采用 ATIM 价格导向策略并且系统负载为 0.6 的状况下,作业在 10s 内完成的比率为 83%;然而,采用轮转策略,作业完成的比率仅为 64%.可见,与轮转策略相比,采用 ATIM 价格导向策略有效地提高了作业的执行效率、

缩短了作业的完成时间,尤其是在整个协作系统负载较高的状况下,所产生的区别尤为明显.

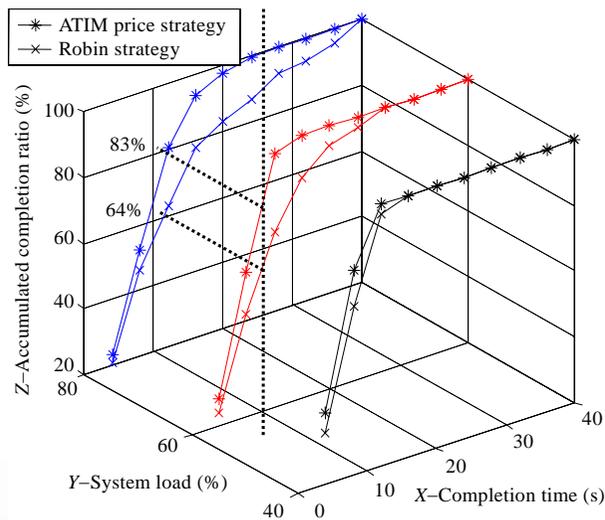


Fig.10 Task completion ratio vs. system load

图 10 任务完成比率 vs. 系统负载

5 结束语

本文讨论了资源激励和分配机制之间的依赖与制约关系,提出自适应的信任-激励相容的资源分配机制.在网格环境中,资源供需的变化会引发价格的浮动,基于经济学的一般均衡理论,本文给出了资源提供者的动态价格调整策略.提供者可根据当前资源的供需和负载状况,制定自适应的信任-激励相容的分配策略 ATIM,遵循多贡献多分配的原则,激励节点共享出有价值的资源,最大化资源的聚合效用.

References:

- [1] Chun BN, Ng J, Parkes DC. Computational resource exchanges for distributed resource allocation. Technical Report, Harvard University, 2004.
- [2] Feldman M, Lai K, Stoica I. Robust incentive techniques for peer-to-peer networks. In: Breese JS, ed. Proc. of the 5th ACM Conf. on Electronic Commerce (EC). New York: ACM Press, 2004. 102–111.
- [3] Kwok YK, Song SS, Hwang K. Selfish grid computing: Game-Theoretic modeling and NAS performance results. In: Rajkumar Buyya R, ed. Proc. of the Cluster Computing and Grid (CCGrid). Washington: IEEE Computer Society, 2005. 1143–1150.
- [4] Ranganathan K, Ripeanu M, Sarin A, Foster I. To share or not to share: An analysis of incentives to contribute in collaborative file sharing environments. In: Proc. of the Workshop on Economics of Peer to Peer Systems. 2003. <http://people.cs.uchicago.edu/~matei/PAPERS/>
- [5] Ma RTB, Lee SCM, Lui JCS, Yau DKY. A game theoretic approach to provide incentive and service differentiation in P2P networks. In: Coffman E, ed. Proc. of the ACM SIGMETRICS/PERFORMANCE. New York: ACM Press, 2004. 189–198.
- [6] Feldman M, Lai K, Zhang L. A price-anticipating resource allocation mechanism for distributed shared clusters. In: Riedl J, ed. Proc. of the 6th ACM Conf. on Electronic Commerce. New York: ACM Press, 2005. 127–136.
- [7] Golle P, Leyton-Brown K, Mironov I. Incentives for sharing in peer-to-peer network. In: Proc. of the 3rd ACM Conf. on Electronic Commerce. New York: ACM Press, 2001. 264–267.
- [8] Buyya R, Abramson D, Venugopal S. The grid economy. IEEE Special Issue on Grid Computing, 2005,93(3): 698–714.
- [9] Buyya R. Economic-Based distributed resource management and scheduling for grid computing [Ph.D. Thesis]. Melbourne: Monash University, 2002.

- [10] Huang LC, Wu ZH, Pan YH. A grid architecture for scalable e-science and its prototype. Journal of Software, 2005,16(4):577-586 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/16/577.htm>
- [11] Zhuang ZZ, Liu YH, Xiao L. Dynamic layer management in super-peer architectures. In: Elgenmann R, ed. Proc. of the 33th Int'l Conf. on Parallel Processing (ICPP). Washington: IEEE Computer Society, 2004. 29-36.
- [12] Chawathe Y, Ratnasamy S, Breslau L. Making gnutella-like P2P systems scalable. In: Feldmann A, ed. Proc. of the Conf. on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications (SIGCOMM). New York: ACM Press, 2003. 407-418.
- [13] Beth T, Malte B, Birgit K. Valuation of trust in open networks. In: Proc. of the Conf. on Computer Security. New York: Springer-Verlag, 1994. 3-18.
- [14] Li CL, Li LY. A utility-based two level market solution for optimal resource allocation in computational grid. In: Feng WC, ed. Proc. of the 34th Int'l Conf. on Parallel Processing (ICPP). Washington: IEEE Computer Society, 2005. 23-30.
- [15] Varian HR. Microeconomic Analysis. 3rd ed., New York: W.W. Norton & Company, 1992.
- [16] Cao HQ, Xiao N, Lu XC, Liu Y. A market-based approach to allocate resources for computational grids. Journal of Computer Research and Development, 2002,39(8):913-916 (in Chinese with English abstract).
- [17] Huai JP, Zhang Y, Li XX, Liu Y. Distributed access control in CROWN groups. In: Feng WC, ed. Proc. of the 34th Int'l Conf. on Parallel Processing (ICPP). Washington: IEEE Computer Society, 2005. 435-442.

附中文参考文献:

- [10] 黄理灿,吴朝晖,潘云鹤.支持 e-Science 的网格体系结构及原型研究.软件学报,2005,16(4):577-586. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/16/577.htm>
- [16] 曹鸿强,肖依,卢锡城,刘艳.一种基于市场机制的计算网格资源分配方法.计算机研究与发展,2002,39(8):913-916.



张煜(1977 -),女,山东蓬莱人,博士生,主要研究领域为信息安全,Grid 与 P2P 理论及应用.



林莉(1979 -),女,博士生,主要研究领域为信息安全,Grid 理论,代数应用.



怀进鹏(1962 -),男,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为计算机软件,网络安全.



李先贤(1969 -),博士,副教授,主要研究领域为信息安全,计算机科学理论.



钟亮(1982 -),男,博士生,主要研究领域为 Grid 理论及应用.