

基于合作博弈的虚拟化资源效用分配策略

张小庆^{1,2} 李春林² 钱琼芬^{1,3} 张恒喜^{1,4}

(黄冈师范学院数学与计算机科学学院 黄冈 438000)¹

(武汉理工大学计算机科学与技术学院 武汉 430063)²

(空军雷达学院四系 武汉 430019)³ (徐州空军学院基础部 徐州 221000)⁴

摘 要 效用分配是网格虚拟化资源提供者结成联盟完成用户任务时的关键问题。针对资源提供者建立联盟来提高网格整体效用的情况,研究了利用合作博弈论分配网格资源。给出了资源建立联盟的依据,并以基于费用最小化的MIN_COST算法得到了资源的最优化映射方案。在效用分配中,分别从联盟效用的平均分配和Shapley值分配两方面进行了分析,提出了基于Shapley值的资源联盟效用分配策略。算例结果表明,网格资源联盟可以提高任务的执行效率和资源整体收益,而Shapley值法在均衡联盟个体的效用分配方面也是有效可行的。

关键词 网格,合作博弈,联盟,效用分配,Shapley值

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Utility Allocation Strategy for Virtualized Resource Based on Cooperative Game

ZHANG Xiao-qing^{1,2} LI Chun-lin² QIAN Qiong-fen^{1,3} ZHANG Heng-xi^{1,4}

(College of Mathematics and Computer Science, Huanggang Normal University, Huanggang 438000, China)¹

(School of Computer Science and Technology, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)²

(No. 4 Department, Air Force Radar Academy, Wuhan 430019, China)³

(Department of Fundamental, Xuzhou Air Force Academy, Xuzhou 221000, China)⁴

Abstract The utility allocation is a key problem when grid virtualized resource providers form coalition to complete grid tasks. Aiming at the situation that grid resource providers form coalition to increase overall utility, the cooperative game theory was applied to research the grid resource allocation. The basis of forming resource coalition was provided, and an optimal resource allocation was presented by MIN_COST algorithm based on the minimum cost. For the utility allocation, we made some analyses from two aspects, including average allocation and Shapley value allocation of coalition utility, and proposed an allocation strategy of coalition utility based on Shapley value. The numerical results show that the grid resource coalition can improve the executing efficiency of tasks and the entire resource revenue, and the Shapley value is feasible in balancing utility allocation among coalition members.

Keywords Grid, Cooperative game, Coalition, Utility allocation, Shapley value

网格^[1,2]作为一种地域广泛的分布式系统,侧重于大规模的资源共享、创新性应用以及高性能计算。由于网格资源本身分布跨度广、管理域众多以及网格用户对资源需求的多样性,网格资源管理和分配问题^[3,4]一直是网格系统研究中较复杂的难题。因此,许多研究^[5-8]运用市场/经济模型来解决网格环境下的资源管理与分配问题。市场机制把网格用户视为购买商品的客户,把网格资源视为将要出售的商品。用户在使用资源时必须支付费用,而网格用户作为理性的利益主体,完成自身任务时也会有预算的限制。鉴于经济活动中各利益主体之间通常存在相互竞争和相互博弈的关系,以博弈论的视角研究网格资源分配是目前的热点问题。

文献[9]利用正比例共享机制将完全理性的资源分配视为博弈论问题,以经济模型为基础证明了纳什均衡分配策略的存在性和唯一性。文献[10]提出了基于QoS需求的资源分配博弈模型,将资源分配的QoS问题构建为合作式博弈,并证明了满足用户QoS的同时存在帕累托最优解。李志洁等人在文献[11]中针对网格资源分配的负载评估问题,利用序贯博弈优化用户对资源的竞争时间。该策略将正比例资源共享的网格环境中多用户竞争同一资源的问题形式化为多人序贯博弈,通过寻求各博弈阶段的纳什均衡解来预测资源负载。文献[12]为解决资源竞争问题,通过建立用户联盟以合作方式增加效用,但模型本身并没有解决合作式博弈的效用

到稿日期:2011-07-19 返修日期:2011-11-11 本文受国家自然科学基金项目(60970064),教育部新世纪优秀人才计划项目(NCET-08-08 06),中央高校基本科研业务费专项资金(2010-YB-19),软件开发环境国家重点实验室开放课题(SKLSDE-2011KF-01),武汉市科技攻关项目(201010621207),霍英东教育基金项目(121067)资助。

张小庆 男,博士生,主要研究方向为网络计算、云计算,E-mail: zqxqzy@whut.edu.cn;李春林 女,教授,博士生导师,主要研究方向为网络计算与高性能计算机网络;钱琼芬 女,博士生,主要研究方向为计算机网络与网络计算;张恒喜 男,博士生,副教授,主要研究方向为云计算。

分配问题。本文针对网格资源提供者建立联盟来提高网格整体效用的情况,利用合作博弈论对网格资源分配进行了研究。主要从以下3个方面进行了分析:1)资源联盟建立的依据;2)资源联盟的效用;3)资源联盟效用在联盟成员间的分配。基于以上3点,本文以费用最小化算法进行资源映射,并以Shapley值法对资源联盟效用进行了合理分配。

1 合作博弈论基础

合作博弈论是博弈论^[13]的一个重要分支,它对人们的相互依存关系作出与非合作博弈完全不同的规范化,从而形成不同的理论体系。非合作博弈将模型的描述精确到每个博弈者的行动及其次序,而合作博弈则将这些细节抽象掉,直接关注各博弈者形成不同的联盟会带来哪些结果,研究的是博弈者和与该博弈者有关的联盟之间的相互关系。非合作博弈包括4个构成要素:博弈者、博弈规则、博弈结局和博弈效用。合作博弈将后3个要素抽象为一个整体,这样合作博弈就由两部分构成:一是所有博弈者的集合,二是不同博弈者的组合对应其可得联盟效用的函数。

设合作博弈中博弈者集合 $\mathcal{N} = \{1, 2, \dots, N\}$, 以 τ 表示集合 $\mathcal{N}$ 的一个子集, 即 $\tau \subseteq \mathcal{N}$, τ 表示 N 个博弈者中一个可能的联盟(coalition)。每个联盟的形成都对应一个价值(worth), 价值是以合作博弈的特征函数描述的。

定义1 包含 N 个博弈者的合作博弈的特征函数为 $v: \tau \subseteq \mathcal{N} \rightarrow \mathbb{R}$, 其中 τ 表示由 $\mathcal{N}$ 的所有子集组成的集合, $v(\emptyset) = 0$ 。

特征函数 v 给出了任意联盟 τ 所能获得的最大效用 $v(\tau)$, 它并不描述联盟外的博弈者对联盟效用的影响。基于定义1, $(\mathcal{N}, v)$ 组合就构成了一个合作式博弈。

合作式博弈的关键问题是联盟形成, 即如何划分所有博弈者形成不相交的子集。对于联盟集合 $\tau = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k\}$, 每个博弈者只能成为其中一个联盟的成员, 即对于 $\forall i, j, i \neq j, \tau_i \cap \tau_j = \emptyset$, 且 $\bigcup_{i=1}^k \tau_i = \mathcal{N}$ 。

2 网格的合作博弈模型

本节定义网格资源分配的合作博弈模型。网格用户包括 n 个独立的并行任务, 定义为 $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$, 任务完成的截止时间为 T 。网格资源集合定义为 $R = \{R_1, R_2, \dots, R_m\}$ 。资源提供者是完全理性的利益主体, 即追求自身利益最大化。任务执行费用函数定义为 $e: J \times R \rightarrow \mathbb{R}$, 给出的是任务 $J \in J$ 在资源 $R \in R$ 上执行的代价。任务执行时间函数定义为 $t: J \times R \rightarrow \mathbb{R}$, 给出的是任务在对应资源上的执行时间。假设任务执行过程中资源不能再分配, 即资源独占。用户的费用预算为 E 。

资源效用定义为费用预算与任务执行费用之差^[14]。对于每一个资源联盟 $\tau \subseteq R$, 必定存在任务与资源间的映射 $\pi: J \rightarrow \tau$, 使得任务 $J \in J$ 分配到资源 $\tau \subseteq R$ 上。在该映射关系下, 任务集 J 在 τ 上执行的费用为

$$E(J, \tau) = \sum_{J \in J} \sum_{R \in \tau} \delta_r(J, R) e(J, R)$$

其中, $\delta_r(J, R)$ 表示映射因子, 即

$$\delta_r(J, R) = \begin{cases} 1, & \pi_r(J) = R \\ 0, & \pi_r(J) \neq R \end{cases}$$

对于并行的网格任务, 任务的总执行时间(Makespan)为

$$T(J, \tau) = \max_{R \in \tau} \sum_{J \in J} \delta_r(J, R) t(J, R)$$

资源提供者需要根据所获取的效用来决定加入的联盟, 即联盟的总效用要以某种方式在联盟成员中进行分配。即使联盟的执行费用小、效用小也无法使得资源提供者加入该联盟。

对于由资源集合 R 组成的博弈者集合 $\mathcal{N}$, 定义网格的合作式博弈 $(\mathcal{N}, v)$ 的特征函数为

$$v(\tau) = \begin{cases} E - E(J, \tau), & |\tau| > 0 \text{ and } T(J, \tau) \leq T \\ 0, & |\tau| = 0 \text{ or } T(J, \tau) > T \end{cases}$$

式中, $|\tau|$ 表示联盟中博弈者个数, 且满足 $v(\emptyset) = 0$ 。

3 资源最优分配及联盟形成

本文利用基于费用最小化的 MIN_COST 算法对资源进行分配。算法在总费用最小化的同时最大化了资源提供者的效用。利用算法, 资源可以在任意联盟中以最小化费用计算资源映射。MIN_COST 算法描述如下:

Algorithm MIN_COST // 基于费用最小化的资源映射算法

输入: 任务集 $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$

资源联盟 $\tau = \{R_1, \dots, R_j, \dots, R_k\}$

截止时间 T

费用预算 E

费用函数 $e(J, \tau)$

时间函数 $t(J, \tau)$

输出: 任务与资源的映射关系 π

Begin

Step1 For $i = 1, 2, \dots, n$ // 根据费用创建任务的优先级队列

Create priority queue MQ_i ordered by decreasing cost for tuples $(J_i, R_j, e(J_i, R_j))$ for any i and j

Step2 Create empty priority queue NQ ordered by decreasing cost for tuples $(J_i, R_j, e(J_i, R_j))$

Step3 For $i = 1, 2, \dots, n$ // 初始化队列 NQ

$NQ.enqueue() \leftarrow MQ_i.dequeue()$

Step4 For $i = 1, 2, \dots, n$ // 执行时间初始化

$T_i \leftarrow 0$

Step5 While NQ is not empty

$(J_i, R_j, e(J_i, R_j)) \leftarrow NQ.dequeue()$

If $T_i + t(J_i, R_j) \leq T$ // 是否超出截止时间

$\pi.assign(J_i) \leftarrow R_j$

Else

$NQ.enqueue() \leftarrow MQ_i.dequeue()$

Return π

End

算法分析及时间复杂度: MIN_COST 算法旨在以最小代价寻找资源分配的最优方案。递归过程为: 在费用最小化且不超过截止时间的情况下, 将所有未分配的网格任务 $J \in J$ 分配至网格资源 $R \in \tau$ 上执行。算法第1步, 为每个任务以执行费用递减顺序建立优先级队列 MQ_i , 队列存储一个三元组对象 $(J_i, R_j, e(J_i, R_j))$; 算法第2步, 创建另一个根据费用递减的空优先级队列 NQ , 用于 MQ_i 队列输出元素的存储, 即算法第3步表述的; 第4步进行了执行时间的初始化; 第5步是循环判断过程, 表示未超过截止时间时进行最小化费用的资源分配, 该过程执行至队列 NQ 为空。由于算法使用的是以队列机制为原型的启发式算法模型, 因此可以得出 MIN_COST 算法的时间复杂度为 $O(n|\tau| \log |\tau|)$ 。

4 联盟效用分配

本节提出利用 Shapley 值(又称沙普利值)对资源联盟效用进行分配。Shapley 值注重联盟个体成员对联盟的贡献度,规定在一个联盟 τ 中,博弈者 i 应获取的效用取决于 i 对联盟 τ 的贡献度。

定义 2 $m_i(\tau)=v(\tau)-v(\tau\setminus\{i\}) (i\in\tau)$ 为博弈者 i 对联盟 τ 的边际贡献(Marginal Contribution),其中 $\tau\setminus\{i\}$ 表示除 i 之外 τ 中的其他博弈者形成的联盟。

Shapley 值以 $m_i(\tau)$ 来衡量博弈者 i 的加入能在多大程度上提高原联盟 $\tau\setminus\{i\}$ 的总效用。其原理为:博弈者 i 在 (N,v) 博弈中可能形成各种联盟,只要将它对不同联盟的边际贡献平均起来,就得到它在全体联盟 N 下的最终效用分配 $\phi_i(N,v)$ 。

定义 3 一个 (N,v) 合作博弈的 Shapley 值是一组分配 $\phi=(\phi_1,\phi_2,\cdots,\phi_N)$,其中 $\phi_i(N,v)=\sum_{\tau\subseteq N} p(\tau) m_i(\tau)$, $p(\tau)=(|\tau|-1)!(N-|\tau|)!/N!$,表示 i 形成联盟 τ 的概率, $N!$ 表示博弈者排列的个数, $(|\tau|-1)!$ 表示出现在 i 之前的博弈者排列个数, $(N-|\tau|)!$ 表示出现在 i 之后的博弈者排列个数。

正如前面提到的,追求利益最大化的资源加入联盟的依据是它在联盟中所获取的效用而非联盟的总效用。因此,定义资源 R 选择联盟的标准为

$$\begin{cases} \max_{(\tau)} \frac{E-E(J,\tau)}{|\tau|} \\ \text{s.t } T(J,\tau)\leq T, R\in\tau \end{cases}$$

上式表示联盟在截止时间内完成任务时联盟成员 R 所能获取的最大效用。

5 算例分析

以下以 6 个网络任务和 3 个网络资源为例,使用 MIN_COST 算法求解该模型下联盟的形成过程及效用分配情况。联盟的结盟次序初始化为 $\{R_1R_2,R_2R_3,R_1R_3\}$ 。表 1 和表 2 分别给出了每个任务在不同资源上的执行费用和执行时间。其中,表 1 的含义为:若资源 R_3 执行所有任务,则执行费用为 $4+1+3+4+3+3=18$;表 2 的含义为:若资源 R_2 执行所有网络任务,则执行时间为 $3+3+4+2+2+3=17$ 。设网络任务的费用预算 $E=20$,截止时间为 $T=11$ 。每个资源提供者利用 MIN_COST 算法为联盟计算最小费用及资源分配方案。资源联盟的分配方案如表 3 所列,联盟效用如表 4 所列。

表 1 任务的执行费用

	R ₁	R ₂	R ₃
J ₁	4	1	4
J ₂	3	2	1
J ₃	3	4	3
J ₄	2	5	4
J ₅	2	5	3
J ₆	4	2	3

表 2 任务的执行时间

	R ₁	R ₂	R ₃
J ₁	2	3	5
J ₂	3	3	4
J ₃	4	4	5
J ₄	3	2	3
J ₅	4	2	3
J ₆	5	3	2

表 3 资源联盟中的资源分配

联盟	资源与任务间的映射
{R ₁ }	超过截止时间,无法分配
{R ₂ }	超过截止时间,无法分配
{R ₃ }	超过截止时间,无法分配
{R ₁ ,R ₂ }	J ₁ ,J ₂ ,J ₆ ←R ₂ ;J ₃ ,J ₄ ,J ₅ ←R ₁
{R ₂ ,R ₃ }	J ₁ ,J ₄ ,J ₅ ,J ₆ ←R ₂ ;J ₁ ,J ₂ ,J ₃ ←R ₃
{R ₁ ,R ₃ }	J ₁ ,J ₃ ,J ₄ ←R ₁ ;J ₂ ,J ₅ ,J ₆ ←R ₃
{R ₁ ,R ₂ ,R ₃ }	J ₁ ,J ₆ ←R ₂ ;J ₂ ←R ₃ ;J ₃ ,J ₄ ,J ₅ ←R ₁

表 4 联盟效用

联盟	联盟效用	资源平均效用
{R ₁ }	0	0
{R ₂ }	0	0
{R ₃ }	0	0
{R ₁ ,R ₂ }	8	4
{R ₂ ,R ₃ }	3	1.5
{R ₁ ,R ₃ }	4	2
{R ₁ ,R ₂ ,R ₃ }	9	3

表 5—表 7 给出了 3 个资源提供者在所有可能形成的联盟中的边际贡献以及 Shapley 值。

表 5 联盟博弈中资源 R₁ 的效用分配

τ	$v(\tau)$	$m(\tau)$	$ \tau $	$p(\tau)$	$p(\tau)m(\tau)$
{R ₁ }	0	0	1	1/3	0
{R ₁ ,R ₂ }	8	8	2	1/6	4/3
{R ₁ ,R ₃ }	4	4	2	1/6	2/3
{R ₁ ,R ₂ ,R ₃ }	9	6	3	1/3	2

表 6 联盟博弈中资源 R₂ 的效用分配

τ	$v(\tau)$	$m(\tau)$	$ \tau $	$p(\tau)$	$p(\tau)m(\tau)$
{R ₂ }	0	0	1	1/3	0
{R ₁ ,R ₂ }	8	8	2	1/6	4/3
{R ₂ ,R ₃ }	3	3	2	1/6	1/2
{R ₁ ,R ₂ ,R ₃ }	9	5	3	1/3	5/3

表 7 联盟博弈中资源 R₃ 的效用分配

τ	$v(\tau)$	$m(\tau)$	$ \tau $	$p(\tau)$	$p(\tau)m(\tau)$
{R ₃ }	0	0	1	1/3	0
{R ₁ ,R ₃ }	4	4	2	1/6	2/3
{R ₂ ,R ₃ }	3	3	2	1/6	1/2
{R ₁ ,R ₂ ,R ₃ }	9	1	3	1/3	2/3

从以上 3 个表可以得出:资源 R_1 的效用分配为 $0+4/3+2/3+2=4$, R_2 的效用分配为 $0+4/3+1/2+5/3=3.5$, R_3 的效用分配为 $0+2/3+1/2+2/3=1.5$,由此可以得出该算例中网格资源的合作博弈的 Shapley 值为 $(4,3.5,1.5)$ 。该 Shapley 值说明,资源 R_1 对联盟的贡献度最大,建立联盟时会被优先吸收为成员; R_3 的 Shapley 值最小,即对联盟的贡献度最小,建立联盟时优先级最低。在初始化结盟次序为 $\{R_1R_2,R_2R_3,R_1R_3\}$ 的情况下,最终形成的资源联盟为 $\{R_1R_2,R_3\}$ 。

结束语 本文运用合作博弈论对网格资源效用分配进行了研究。针对网格资源建立联盟提高整体效用的情况,给出了网格的合作博弈模型以及资源建立联盟的依据。在以基于费用最小化的 MIN_COST 算法得出资源的最优分配方案后,以 Shapley 值法对联盟总效用进行了分配。此分配方案充分考虑了联盟成员对联盟总效用的贡献度,使得联盟总效用在个体成员间更加均衡合理地分配。算例结果表明,所提出的方案在提高资源收益和均衡效用分配方面是有效可行的。

参考文献

- [1] Foster I The grid; A new infrastructure for 21st century science [J]. Physics Today,2002,55(2):42-47
- [2] Foster I, Kesselman C, Nick J M, et al. Grid services for distributed system integration[J]. Computer,2002,35(6):37-46
- [3] Batista D M,Fonseca N,Miyazawa F K,et al. Self-adjustment of resource allocation for grid applications [J]. Computer Networks,2008,52(9):1762-1781

(下转第 80 页)

dation 节点中参数信息,安全检测模块读取所收到的 SOAP 消息。参数的数据结构如下:

- a) 参数个数为 3;
- b) 第一个元素名称为“a”;
- c) 第一个元素子节点为“b”;
- d) 第一个元素直接后驱为“b”;
- e) 第一个元素直接前驱“无”。

可以看出,SOAP Validation 节点中包含的参数信息与 SOAP 消息中的参数数据结构存在差异,于是发出警告,提示 SOAP 消息已受到攻击。

4.5 检测 SOAP Validation 节点是否被更改

为确保 SOAP Validation 节点中的信息在传输过程中未被修改,当 SOAP 消息达到服务提供者处时,可设置过滤器。先从服务器端的 WSDL 中获取参数数据结构,然后与 SOAP 消息中 SOAP Validation 节点中的信息进行对比。

从 WSDL 文档中获取的参数的数据结构信息如下:

- a) 参数个数为 2;
- b) 第一个元素名称为“a”;
- c) 第一个元素子节点类型为 int;
- d) 第一个元素直接后驱为“b”;
- e) 第一个元素直接前驱“无”。

于是,可以看到 SOAP Validation 节点中的数据未被修改,再对 SOAP 消息中的参数数据结构与 SOAP Validation 节点中的信息进行对比(过程与 4.4 节相同),从而检测 SOAP 消息是否受到攻击。

结束语 本文针对现有的基于 WS 安全标准的安全传输机制进行深入的探讨,指出其存在的缺陷,并提出了一种在原有安全传输机制基础上添加 SOAP Validation 节点的 SOAP Validation 安全传输机制。SOAP Validation 安全传输机制与基于 WS 安全标准的安全传输机制相比,能有效地检测出 XML 注入攻击和 XML 过载攻击等 Web 攻击,进一步确保了 SOAP 消息传输的安全性。更重要的是,本安全传输机制可以通过增加 SOAP Validation 节点中的内容来检测出更多的 XML 攻击。其次,本安全传输机制在 SOAP 消息经过中间节点时,便可对 SOAP 消息进行安全检测,从而在第一时间检测出 XML 攻击,提高了检测的效率。但是本安全传输机制

还无法对其他一些 Web 服务攻击(如签名包装攻击)进行有效检测,需进一步完善,这是本课题下一步的研究工作。

参考文献

- [1] Nikolao A, Island C. Service Oriented Architecture: Tools and Technologies[C]//Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Computers, 2007:485-490
- [2] Bhargavan K, Fournet C, et al. An Advisor for Web Services Security Policies[C]//Proceedings of ACM Workshop on Secure Web Services(SWS). 2005:1-9
- [3] Xu Tao, Yi Chun-xiao. SOAP-based Security Interaction of Web Service in Heterogeneous Platforms [J]. Journal of Information Security, 2010, 2(1):1-7
- [4] Xu Tao, Yi Chun-xiao. Signature and Encryption on Parts of SOAP Message Based on Rampart[C]//Proceedings of 2nd International Conference on Intelligent Systems and Applications. 2010:1218-1223
- [5] 凌晓东. SOA 综述[J]. 计算机应用与软件, 2007, 24(10):122-123
- [6] Viega J. Why Applying Standards to Web Services is not Enough[C]//Proceedings of IEEE Security and Privacy. 2006:25-31
- [7] 刘振鹏,周冬冬,等. 一个基于 SOAP 消息的 Web 服务综合安全模型[J]. 武汉大学学报:理学版, 2006, 52(5):570-573
- [8] 李双江,郝克刚,葛伟. 一种基于 Axis2 的 SOAP 安全传输模型的研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(11):142-145
- [9] 程睿,郑有才. 基于 SOA 的 SOAP 消息交互安全机制的研究与实现[D]. 西安:西安电子科技大学, 2008
- [10] Jensen M, Gruschka N, Hekenhoefer R, et al. SOA and Web Services: New Technologies, New Standards-New Attacks[C]//Proceedings of the 5th IEEE European Conference on Web Service. 2007:11-13
- [11] 夏敏,陈平. Web 服务安全关键技术研究综述[J]. 网络安全技术与应用, 2009, 3(3):69-71
- [12] 付永军. 基于 WSE3.0 的 Web 服务安全的应用研究[D]. 成都:西南交通大学, 2007
- [13] 孟军,盛雨,刘洪波. 基于 .NET 的 SOAP 加密方法研究与实现[J]. 计算机科学, 2005, 32(8):52-54
- [4] Li Zhi-jie, Huang Fei-xue. Grid Resource Allocation Based on Evolutionary Algorithm[C]//Fourth International Conference on ICNC '08, 2008:455-459
- [5] 黄智兴,刘洪涛,邱玉辉. 基于经济机制的资源管理与网格经济研究进展[J]. 计算机科学, 2006, 33(9):110-114
- [6] Vanderster D C, Dimopoulos N J, Parra-Hernandez R, et al. Resource allocation on computational grids using a utility model and the knapsack problem[J]. Future Generation Computer Systems, 2009, 25(1):35-50
- [7] Huang P, Peng H, Lin P, et al. Macroeconomics based Grid resource allocation [J]. Future Generation Computer Systems, 2008, 24(7):694-700
- [8] Li Z J, Cheng C T, Huang F X. Utility-driven solution for optimal resource allocation in computational grid[J]. Computer Languages Systems & Structures, 2009, 35(4):406-421
- [9] Bredin J, Maheswaran R T, Imer C, et al. Computational markets to regulate mobile-agent systems[J]. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2003, 6(3):235-263
- [10] Subrata R, Zomaya A Y, Landfeldt B. A cooperative game framework for QoS guided job allocation schemes in grids[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2008:1413-1422
- [11] 李志洁,程春田,黄飞雪,等. 一种基于序贯博弈的网格资源分配策略[J]. 软件学报, 2006, 17(11):2373-2383
- [12] 李志洁,程春田,黄飞雪. 基于合作博弈的网格资源分配[J]. 大连理工大学学报, 2007, 47(6):909-913
- [13] 涂志勇. 博弈论[M]. 北京:北京大学出版社, 2009
- [14] Carroll T E, Grosu D. Formation of virtual organization in grids: a game-theoretic approach[J]. Concurrency and Computation-Practice & Experience, 2010, 22(14):1972-1989