

基于 QoS 的网格资源管理^{*}

伍之昂⁺, 罗军舟, 宋爱波

(东南大学 计算机科学与工程学院, 江苏 南京 210096)

QoS-Based Grid Resource Management

WU Zhi-Ang⁺, LUO Jun-Zhou, SONG Ai-Bo

(School of Computer Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-25-83795595, E-mail: zawu@seu.edu.cn, <http://cse.seu.edu.cn/labs/edulab/labsite/>

Wu ZA, Luo JZ, Song AB. QoS-Based grid resource management. *Journal of Software*, 2006,17(11): 2264–2276. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/2264.htm>

Abstract: As resource management becomes a hot research in Grid Computing area, current research forces on solving heterogeneity of grid environment, but the research on enhancing the efficiency of resource management on condition of delivering seamless QoS (quality of service) is not very abundant. In addition, current research about Grid QoS forces on importing related fruit on QoS from multimedia network to support Grid QoS. For that, a hierarchical structure of grid QoS is proposed in this paper. QoS parameters are newly classified into five categories and they can be measured at VO (virtual organization) layer. Then by making use of SNAP (service negotiation and acquisition protocol), the analysis on QoS parameter mapping and converting based on the hierarchical structure model is also addressed. At last, the research on Grid QoS is applied to scheduling heuristics to improve on Min-Min algorithm. The result of the simulation shows that QoS-based resource management can effectively improve grid resource utilization and service ask for success rate in dynamic service-oriented grid.

Key words: grid; virtual organization; QoS (quality of service); resource management; grid service; SLA (service level agreement)

摘要: 资源管理是网格计算研究领域中的一项重要研究点,目前的研究工作大多致力于解决异构性问题,对于在交付无缝 QoS(quality of service)前提下提高资源分配性能方面还缺乏深入的研究.而且,目前对网格 QoS 的研究集中于将多媒体网络 QoS 的相关成果融入网格体系架构中以提供对网格 QoS 的支持,而缺少对网格 QoS 的特性进行系统化的研究与归纳.为此,提出了网格 QoS 的层次结构模型,并对其中承上启下的虚拟组织层 QoS 参数进行了新的分类和测量;然后,利用 SNAP(service negotiation and acquisition protocol)协议对基于网格 QoS 层次结构模型的网格 QoS 参数的映射转换过程进行了分析;最后,设计了网格资源管理仿真系统,并运用相关的网格 QoS 的研究改进了现有的 Min-Min 算法.仿真实验结果表明,基于 QoS 的网格资源管理可以在满足用户

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grants Nos.90412014, 90604004 (国家自然科学基金); the China Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education under Grants No.20030286014 (高等学校博士学科点专项科研基金); the Jiangsu Provincial Key Laboratory of Network and Information Security under Grants No.BM2003201 (江苏省“网络与信息安全”重点实验室)

Received 2006-06-09; Accepted 2006-08-07

QoS 需求下,有效地提高网格资源的利用率和服务请求的成功率。

关键词: 网格;虚拟组织;QoS(quality of service);资源管理;网格服务;SLA(service level agreement)

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

网格资源管理^[1]是指控制网格资源和服务怎样向包括用户、应用或服务在内的其他实体提供可用能力的一组操作。在面向服务的网格体系结构中^[2,3],网格资源不能再狭义地理解为某种物理实体,而是表示了在网络化环境中可被共享和利用的任何能力,包括计算机、存储系统、网络、计算机程序、数据库等。网格资源管理自然成为网格计算需首要解决的问题,网格环境下的资源管理和传统计算机的本地系统中资源管理的主要区别在于:网格环境下分配资源是跨越多个管理域的,跨管理域的网格资源调度就成为网格资源管理中的一项关键技术。网格资源调度的实质就是将任务分配到合适的资源上,使得在满足用户需求的前提下任务完成时间尽量小且资源利用率尽量高。用户的需求必须通过网格 QoS(quality of service)参数来描述,因此,网格 QoS 的研究在资源管理中发挥着基础性的作用。OGSA(open grid services architecture)^[3],OGSI(open grid services infrastructure)^[4]以及 Web 服务资源框架(WS-resource framework,简称 WSRF)^[5]要求所有的服务都能够交付无缝的 QoS。QoS 是一个综合指标,用于衡量用户使用一个服务的满意程度。它描述了一个服务的某些性能特点,这些性能特点是用户可见的。它以用户可理解的语言表述为一组参数,是对服务者服务水平的一种量度和评价。

文献[6]认为,研究 QoS 必须分清层次,因为 QoS 在不同层次上的表现形式大相径庭。该文从应用、系统、资源这 3 个层次来看待基于 QoS 的资源管理。从应用的角度来看,应用需要利用一定量的资源来达到自己预想水平的 QoS,应用在该文中被抽象为应用模型和效益函数;从系统的角度来看,资源管理系统应当包含应用与资源等实体以及调度策略、安全策略等元素;从资源的角度来看,每个资源只关心其自身的访问策略和运行于其上的应用,而并不关心其他资源的情况,资源之间是相互独立的。从这 3 个角度来看待基于 QoS 的资源管理的方法具有普遍意义,但是针对网格这个特定的问题域需要加以细化,应用层固然可以抽象为应用模型和效益函数,但是在网格环境下的资源层中,各资源之间并不是相互独立的,而且对外表现的能力也并非就是物理资源所具备的能力。本文在考虑本地负载的基础上将其抽象为逻辑资源,各种逻辑资源被聚合成为 VO(virtual organization)。

Foster 等学者在文献[7-9]中提出了支持资源预留和协同分配的网格资源管理体系架构 GARA (general-purpose architecture for reservation and allocation)。由于 GARA 面向以计算为中心的网格环境,在 GARA 的有关 QoS 的控制接口中,针对的是最终的物理资源,但在以服务为中心的 OGSA 和 WSRF 中,物理资源对用户是透明的,用户只能针对网格服务或虚拟组织中的逻辑资源提出 QoS 需求,因此,需要将针对服务的 QoS 需求映射转换为物理资源的 QoS 参数。为了抽象出网格 QoS 参数映射转换的共同特点,需要对网格 QoS 层次结构中各层之间 QoS 参数间的映射关系进行研究。

在文献[10]中,Roy 等学者提出了一种新的消息传递架构 MPICH-GQ,它综合了 QoS 描述、预留和实现技术,从基于消息传递编程的角度给出了网格 QoS 的一些实现机制,并涉及到了网格 QoS 层次的问题。在 MPICH-GQ 的系统架构中,通过 MPI QoS Agent 实现应用层 QoS 参数到低层次 QoS 参数的映射转换,但他们没有对网格 QoS 的层次结构进行更进一步的研究,也没有具体实现作为 MPICH-GQ 主要部件的 MPI QoS Agent 模块。另外,在 MPICH-GQ 的实现中,只是将应用层 QoS 简单地与物理资源 QoS 进行了绑定,没有给出从应用层 QoS 到物理资源 QoS 的映射转换解决方案。

文献[11]将网格 QoS 的参数划分成 Accounting QoS,Service QoS,Provisional QoS,Service Reliability 和 Service Security 这 5 种类型。这种划分方案反映了网格 QoS 的一些特性,较全面地考虑了网格 QoS 参数在服务代价、安全和可靠程度等方面的需求,但它也存在着值得商榷的方面,比如在用户首先要保证服务代价的情况下,Accounting QoS 就要定义为对 QoS 起主要的决定性作用的硬 QoS,即属于 Service QoS,因此,Accounting QoS 就会与 Service QoS 发生重叠,从而无法保证 5 种类型的 QoS 参数是正交的。

文献[12-14]提出了分布异构网络的性能测量框架,该框架对分布异构网络中的优先级、版本、完成期限和安全等 QoS 参数进行了测量。但是该文仅代表性地测量了几个网络中的 QoS 参数,而且目前缺乏测量网格 QoS

参数的高效机制.基于此框架,可以将虚拟组织层的 QoS 参数测量出来,以利于它们相互之间的比较.

文献[15]在对 Min-Min 算法改进的基础上,提出了以 QoS 为导向的 Min-Min 网络资源分配算法,并且设计了相应的网络仿真系统.以 QoS 为导向极大地缩短了任务的响应时间.但是,该算法仅仅考虑了一维的 QoS 参数,这不能恰如其分地反映出用户的需求,在实际的网络系统中,常常需要多维的 QoS 参数来描述用户的需求.

综上所述,网络资源管理的早期工作提出了资源管理体系结构.它仅解决了跨越多个管理域带来的异构性问题,在满足用户需求和提高资源分配性能方面还缺乏深入研究,比如,大部分的资源调度算法仅仅考虑了时间因素,某些以 QoS 为导向的调度算法也只考虑了一维的 QoS 参数.另外,目前对网络 QoS 的研究成果尚且不多,且存在一些值得研究的问题,如网络 QoS 所处的层次比较模糊、网络 QoS 的分类正交性较差、缺乏合理的各层 QoS 参数之间的映射方案等.

针对这些问题,本文首先用分层的思想对不同层次的网格 QoS 参数进行研究,对其中承上启下的虚拟组织层的 QoS 参数进行新的分类;接下来,根据不同对象在 QoS 描述方面的不同需要,提出并建立了网格 QoS 的层次结构模型,并对各个层次需要考虑的问题作出了详尽的描述;其次,利用 SNAP 协议^[16]所提出的 3 种不同类型的服务水平协定,对基于网格 QoS 层次结构模型的网格 QoS 参数的映射转换过程进行了分析,并在虚拟组织层 QoS 参数分类的基础上提出了测量各类 QoS 参数的方法,对各类 QoS 参数作了定量的描述,并对网格应用的服务质量进行测量;最后介绍了网络资源管理仿真系统,对以 QoS 为导向的 Min-Min 算法进行了改进,将虚拟组织层 QoS 的分类和测量运用到 Min-Min 算法中;仿真系统的调度算法考虑了多维的 QoS 参数,并通过仿真实验验证了在面向服务的动态网格环境下,基于 QoS 的网格资源管理可以有效提高网格资源的利用率和服务请求的成功率.

1 网格 QoS 的层次结构模型

QoS 对不同的对象可以有不同的描述,QoS 参数在不同的层次上表现为不同的组成单元.所以,对所考虑的 QoS 参数一定要指明其所处的层次.我们将网格 QoS 分为 3 层:低层的资源设备层、中间 VO 层和上层的应用/网格服务层.图 1 详细表示出了网格 QoS 的层次结构.

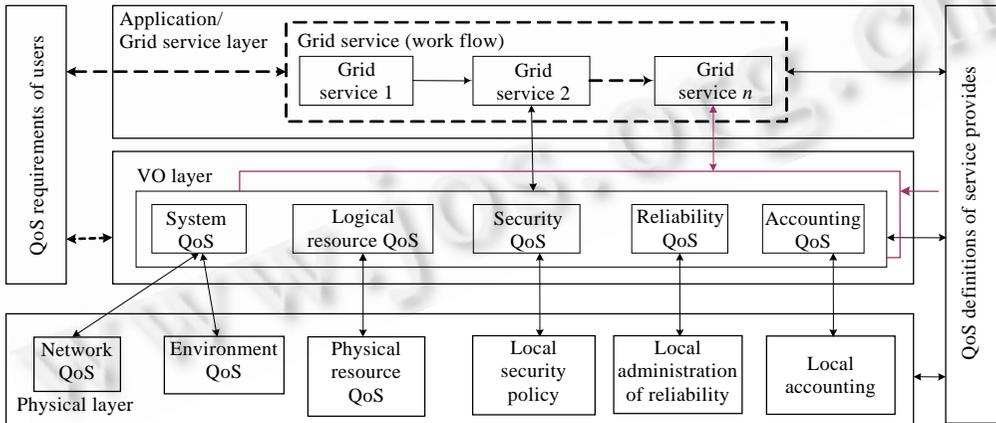


Fig.1 The hierarchical structure of grid QoS

图 1 网格 QoS 层次结构

1.1 应用/网格服务层

网格应用通过访问合适的网格资源来达到预定水平的 QoS.它们不关心如何达到预定水平的 QoS,也不关心在达到这一水平的过程中其他应用的情况.网格应用可能是一个单一的服务,也可能是由一系列的子服务所抽象成的网格服务工作流.对于网格应用是由子服务工作流组成的情况,服务提供者在确定网格应用的 QoS 参

数时,需要从各子服务相关参数定义的语义出发进行统一抽象,确保高层服务能够获得一致的服务质量.因此,应用层需要抽象出网格应用的模型,以表达网格应用的结构及其分配资源的最小单元.另外,应用层利用服务质量曲线将 QoS 参数与用户满意度相关联,以描述资源提供者的 QoS 水平,它是 VO 层 QoS 测量的依据.

1.1.1 网格应用模型

网格应用可以通过有向图来表示^[6],图的结点表示工作单元(units of work,简称 UoW),图的边表示 UoW 之间的数据流.UoW 是资源分配的最小单位.服务是一个或多个 UoW 的集合,因此,服务可能牵涉到多个资源.所以,一个网格应用由多个网格服务构成,QoS 需求是针对整个网格服务而言的,服务的激活者负责协商 QoS 需求,但是它却无须了解该服务的 UoW 构成细节.图 2 是一个网格应用模型的例子,该网格应用由 5 个 UoW 构成,Service 1 和 Service 3 包含了一个 UoW,Service 2 包含了 3 个 UoW,这样 3 个子服务的工作流便构成了此网路应用.

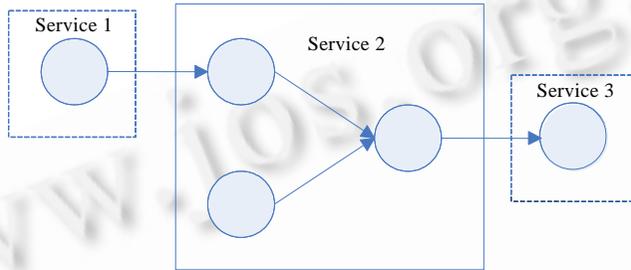


Fig.2 Grid application model
图 2 网格应用模型

1.1.2 服务质量曲线

定义 1. 用户满意度:区间[0,1]内的实数,值越大表示用户对服务越满意,取值 1 表示用户需求得到完全满足;取值 0 表示用户的最低要求未被满足.

定义 2. 用户满意函数:用来描述某个特定的 QoS 参数与用户满意度之间的映射关系. u_{ij} 表示第 i 个网格服务中的第 j 个 QoS 参数与用户满意度之间的映射关系,用户满意函数的定义域因不同的 QoS 参数而异,值域为 [0,1]内的实数.

用户满意函数因用户提供的应用不同而有所不同,网格资源管理系统可以根据用户满意函数的性质来提供尽量优质的服务.另外,用户满意函数也因 QoS 参数的不同而呈现不同的性质.例如,如图 3 所示,用户对 CPU、带宽的需求越高越好,因此用户满意函数可能是一条无限逼近于 1 的曲线,如图 3(a)所示;用户对外存的要求可能有一个最小值,超过这个值用户就得到完全满足,所以,此时用户满意函数可能是折线型的,用户满意度在最小值前为 0,最小值后为 1,如图 3(b)所示;在采用页式管理的操作系统中,用户对内存的需求与页面的大小有关系,分配给用户内存大小必须增加到一个页面大小时才增大用户满意度,所以,用户满意函数可能是阶梯型的折线,如图 3(c)所示.

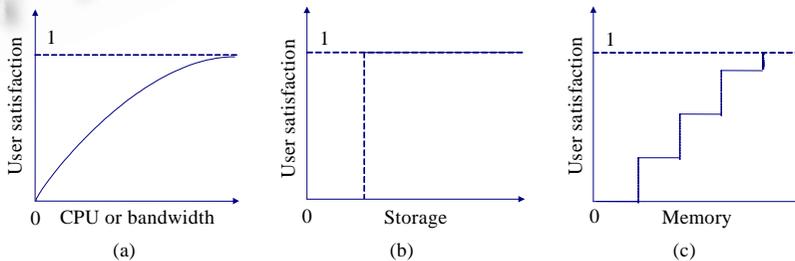


Fig.3 Examples of user satisfaction function
图 3 用户满意函数的例子

1.2 虚拟组织层

中间层是承上启下的 VO 层. VO 层将用户提出的 QoS 需求映射到某一类的网格 QoS, 并将物理层中相似的 QoS 参数整合为一类. 这样, VO 层不仅屏蔽了物理资源的异构性, 还降低了物理层 QoS 的复杂性. 为此, 我们对 VO 层网格 QoS 的分类进行了研究. 由于 VO 是连接网格服务和物理资源的纽带, 是网格特性得以体现的关键, 因此, 从 VO 层对网格 QoS 参数进行分类, 一方面可以很详细地表达网格 QoS 参数的特性, 另一方面可以很方便地将 VO 层的 QoS 参数分别映射转换成网格应用层和物理资源的 QoS 参数.

根据 QoS 参数所表达的 QoS 特性的不同, 我们在 VO 层将网格 QoS 参数分成了逻辑资源类、系统类、安全类、信任类和记账类 5 种类型.

(1) 逻辑资源 QoS

逻辑资源 QoS 是由服务提供者提供的用来描述虚拟组织中直接提供网格服务的逻辑资源的 QoS 参数. 它综合考虑了物理资源本身的整体服务性能、资源本地任务的负载情况以及资源的共享策略等因素, 是物理资源在网格环境中服务性能的抽象. 逻辑资源 QoS 是网格服务 QoS 的主要决定因素, 也是网格 QoS 不同参数种类中最活跃的参数类型.

(2) 系统 QoS

系统 QoS 是用来描述对网格服务的服务能力有一定影响的系统环境方面的 QoS 参数. 主要包括网络性能和本地资源节点环境两个方面的 QoS.

(3) 安全 QoS

安全 QoS 是由服务提供者提供的用来表明网格服务自身安全级别和网格服务访问控制策略等方面的 QoS 参数. 其中网格服务安全级别 QoS 用来满足网格用户对服务安全方面的 QoS 需要, 网格服务访问控制策略 QoS 用来满足服务提供者安全管理方面的需要.

通过服务访问控制策略 QoS, 服务提供者一方面可以确定合法的用户以及不同角色用户的不同使用权限, 从而实现区分访问的控制, 另一方面可以实现与本地安全管理策略的无缝映射.

文献[6]将安全 QoS 划分为两类具体的参数: 保密性级别和完整性级别. 这样的划分仅仅考虑了数据的安全性, 却没有考虑网络的安全性, 比如用户身份的认证、用户的权限等. 在复杂的网格环境中, 需要既考虑网格应用数据的安全性又考虑网格环境的安全性, 因此, 网格的安全 QoS 应当是一个多维向量, 分量可以包括: 数据的保密性级别、数据的完整性级别、用户身份的合理性以及用户权限的级别等.

(4) 信任 QoS

为了保证网格用户的 QoS 需要, 要求虚拟组织中网格服务的信息是准确、可靠的, 但由于网络性能和网格资源的动态变化以及可能存在的少数服务提供者故意虚报信息的情况, 使得虚拟组织中由服务提供者提供的信息与实际信息有一定的偏差. 偏差的大小将直接影响网格服务的健壮性和对 QoS 的保证能力, 因此, 需要对服务提供者提供的信息进行可信性评价.

信任 QoS 就是用来评价服务信息可信度的 QoS 参数. 它是由服务提供者和虚拟组织共同提供和维护的. 服务提供者可以根据那些不确定的动态因素对信息的可能偏差作出估计, 并依此向虚拟组织主动提供信任 QoS. 为了防止用户故意虚报信任 QoS 的情况发生, 虚拟组织需要对用户提供的信任 QoS 进行评价并拥有最终的决定权和奖惩措施, 从而确保信任 QoS 能够准确反映服务信息的真正可信程度. 当然, 虚拟组织也可以根据不同管理策略的需要, 主动设置服务提供者的信任 QoS, 并根据信任信息的统计情况对信任 QoS 进行修改.

(5) 记账 QoS

为了构建大规模的网格系统, 就必须存在一种激励机制, 以促进资源提供者贡献自己的资源并从中获利^[17]. 记账 QoS 就是用来描述服务代价及其管理策略方面的 QoS 参数, 它由服务提供者提供. 当然, 不同的服务提供者对服务代价的管理策略不尽相同, 如对不同类型的用户收取不同的费用、对不同的 QoS 需求收取不同的费用、对不同时间段提供的服务收取不同的费用等. 网格用户在选择服务时也会考虑到服务代价的问题, 他们试图选择性能价格比最高的服务. 所以, 当构建大规模的网格环境时, 甚至当网格真正成为公共设施时, 记账 QoS 必将

成为不可或缺的要害.图 4 是虚拟组织层网格 QoS 参数的分类示意图.

在这 5 种类型的 QoS 参数里,逻辑资源 QoS 和系统 QoS 对网格服务的服务能力产生决定性的影响,因此,我们又把这两种类型的 QoS 参数称为功能性 QoS 参数.用户在申请服务时,可以根据自己的需要,申请或选择不同的系统 QoS 和逻辑资源 QoS 参数,从而获得不同的 QoS 等级.而安全 QoS、信任 QoS 和记账 QoS 这 3 种类型的 QoS 参数都属于网格服务属性方面的 QoS,它们对网格服务的服务能力没有产生决定性的影响,只是向用户提供一些必须的 QoS 信息,用户也没有办法决定这些 QoS 参数的具体值,因此,我们又将这 3 种类型的 QoS 参数称为描述性 QoS 参数.

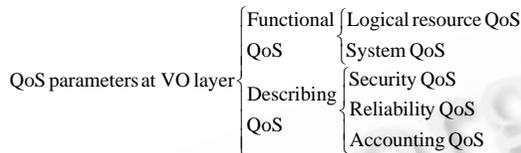


Fig.4 The classification of QoS parameters at VO layer

图 4 虚拟组织层 QoS 参数的分类

该层 QoS 参数是上层网格服务的 QoS 参数在虚拟组织中的映射.对于描述性 QoS 参数,网格服务工作流中的每个子服务可以基于语义映射成各自的安全 QoS、信任 QoS 和记账 QoS 3 种类型的属性 QoS 参数.对于功能性 QoS 参数,在虚拟组织层,服务提供者需要分别给出每个子服务不同 QoS 等级所对应的系统 QoS 和逻辑资源 QoS 的参数值.

1.3 资源设备层

最底层为资源设备层.该层捕获各个物理资源的 QoS 属性以支撑虚拟组织层的各类 QoS.

由于网格环境中的物理资源不仅要响应网格任务的资源请求,还要响应本地任务的资源请求,并且本地任务的优先级在一般情况下要高于网格任务的优先级,因此,在共享资源可用的情况下,本地任务的到来将会导致资源对网格任务服务性能的下降甚至网格任务的中断.假设有一个物理资源整体服务性能很好,但该物理资源的本地任务到达率很高,使得该物理资源可被网格用户使用的时间很少,同时使得提交到该资源节点的网格任务的中断率很高,所以从网格资源的角度来看,虽然该物理资源整体服务性能很好,但对于 VO 中映射到该物理资源上的逻辑资源而言,该逻辑资源的服务性能就比较差了.从这里我们可以看出,逻辑资源的服务性能是随着对应物理资源的本地任务负载情况的变化而动态变化的,但物理资源本身的整体服务性能是相对稳定的.因此,物理资源的 QoS 特性并不能直接代表 VO 中逻辑资源的 QoS 特性.逻辑资源 QoS 应该是综合考虑了物理资源本身的整体服务性能、资源本地任务的负载情况以及资源的共享策略等因素,是物理资源在网格环境中服务性能的抽象.

另外,由于逻辑资源所映射的物理资源要依附于一个物理资源节点,并且物理资源节点的支撑环境,如资源节点的操作系统环境、节点的响应速度和吞吐量、节点内存的大小等,它们虽然不能直接决定网格服务的整体 QoS,但也会产生一定程度的影响.为了准确地对逻辑资源的 QoS 进行描述,在逻辑资源 QoS 参数中,我们只是描述了虚拟组织中直接提供网格服务的逻辑资源的 QoS,而没有对逻辑资源所在资源节点的环境 QoS 进行描述,因此,资源环境 QoS 在虚拟组织层应被抽象成系统 QoS 的一个组成部分.类似地,网络性能对网格服务的 QoS 也不能起直接决定作用但可以产生一定的影响,网络 QoS 在虚拟组织层也应该被抽象成系统 QoS 的一个组成部分.所以,系统 QoS 应该是网络 QoS 和资源环境 QoS 两个方面 QoS 参数在虚拟组织层的抽象.

因此,虚拟组织层中各 QoS 参数在资源设备层上的具体映射为:系统 QoS 被映射成资源环境 QoS 和网络 QoS,逻辑资源 QoS 被映射成物理网格资源 QoS,安全 QoS 被映射到本地安全管理策略模块,信任 QoS 被映射到信任信息统计模块,记账 QoS 被映射到本地记账模块.

由于物理资源对网格用户是透明的,用户只能在应用层/网格服务层或者虚拟组织层提出 QoS 需求.在层次结构模型中,我们用虚线表示用户可以根据自己的需要选择在不同的层次上提出 QoS 需求.其中:在应用层/网

格服务层,用户在功能性 QoS 方面可以提出简略的 QoS 请求;而在虚拟组织层,用户只能提出具体的 QoS 参数请求.

2 QoS 参数的映射和转换

QoS 参数的映射转换过程就是不同类型 SLAs 的建立和维护过程.这个过程可以通过 SNAP 协议来实现.文献[16]给出了 SNAP 在 OGSA 服务模型的安全方面、资源管理方面以及资源和服务发现等方面的实现方案.

图 5 是 3 种不同的 SLAs 与 QoS 层次结构之间的关系示意图.QoS 协商和参数的映射转换过程就是不同类型 SLAs 的建立和维护过程.

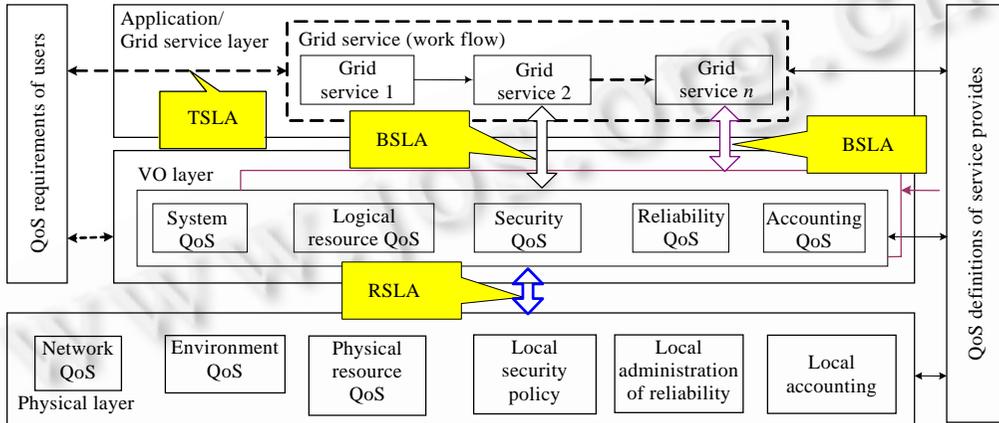


Fig.5 The relation between SLAs and QoS hierarchical structure

图 5 SLAs 与 QoS 层次结构的关系

资源设备层可以抽象为一组逻辑资源的集合,即 $R=\{R_1,R_2,\dots,R_n\}$.当资源设备层向虚拟组织提供逻辑资源时,需要综合考虑物理资源本身的整体服务性能、资源本地任务的负载情况以及资源的共享策略等因素,抽象出逻辑资源的 QoS 参数,形成 RSLAs(resource service level agreements),所以,每个逻辑资源可以看作是一组 QoS 需求的集合,即 $R_i=\{q_1,q_2,\dots,q_k\}$.

当用户向网格服务机构提交应用时,就开始了针对应用中的每个服务协商建立 TSLAs(task service level agreements)的过程,当用户的服务申请得到服务机构的批准并就 QoS 协商成功时,完成用户 QoS 需求与应用/网格服务层 QoS 参数的映射转换和 TSLAs 的建立.该 TSLAs 中包含了用户所申请服务的构成情况、资源需求和用户的 QoS 需求.网格应用被抽象为一组网格服务的集合,即网格应用 $A=\{S_1,S_2,\dots,S_n\}$.SNAP 协议针对每个网格服务建立了一个 TSLA,所以,其中的每个网格服务可以看作是一组 QoS 需求的集合,即 $S_i=\{q_1,q_2,\dots,q_k\}$,假设集合中 QoS 需求的权重递减,即 $p_1>p_2>\dots>p_k$.

VO 层根据网格 QoS 的特性,将网格 QoS 分成了 5 类.映射机制将网格应用及逻辑资源的 QoS 需求分别映射到这 5 类网格 QoS,这样,在 VO 层能够很方便地根据 TSLAs 中对资源和 QoS 的需求来查找资源的抽象服务能力可满足 TSLAs 要求的 RSLAs,并将它们关联到一起,形成 BSLAs(binding service level agreements).如果无法找到满足 TSLAs 要求的 RSLAs,则可以根据所建立的 TSLAs 和 RSLAs 中 Obligations 部分的协定以及网格服务机构的管理策略进行 RSLAs 或者 TSLAs 的重新协商.

形成 BSLAs 的过程就是 TSLAs 和 RSLAs 的匹配过程.匹配策略可以抽象为一个匹配函数.匹配函数 M^i 可以定义为 $R^n \rightarrow R^m$,即函数 M 是从 n 维空间到 m 维空间的映射.资源调度算法的实质就是找到匹配函数 M^i ,使得目标函数 $\phi(M^i)$ 最小.目标函数 ϕ 可以根据资源管理策略的性能目标的不同而有不同的定义.

对于网格服务是单一服务的情况,SLAs 间的相互关系如图 6(a)所示,网格服务的 QoS 通过 TSLA 来保证.

由于该网格服务是单一服务,因此,它可以直接与 RSLA 进行匹配,并通过 BSLA 将它们进行关联绑定.对于网格服务由多个子服务组成的情况,即网格服务的跨层抽象问题,SLAs 间的相互关系如图 6(b)所示,根据网格服务的组成情况,TSLA1 包含一个直接的资源请求 RSLA1、一个单一服务 TSLA2 和另外一个组合服务 TSLA3.由于每一个 TSLA 都会根据自己的资源需求查找 RSLA 或者根据服务步骤建立子服务的 TSLA,并由子服务的 TSLA 去完成查找并绑定 RSLA 的工作,因此,利用 SLAs 可以很方便地解决不同网格服务 QoS 参数的映射转换.

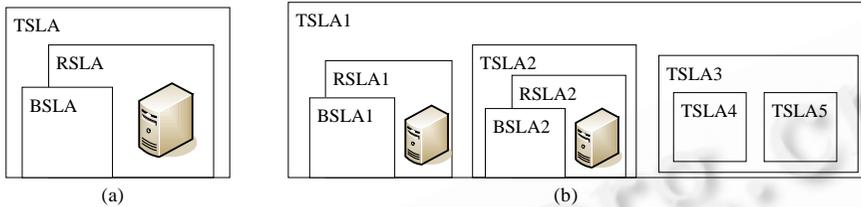


Fig.6 The composing relation between SLAs and grid service

图 6 SLAs 与网格服务的构成关系

由于 3 种类型 SLAs 的建立和维护可以相互独立地进行,因此,在资源动态变化的网格环境下,利用 RSLAs 可以动态地及时更新资源的状态信息,并根据 BSLA 的绑定,为相关的 TSLA 提供最新的资源 QoS 信息,从而可以最大限度地保证用户的 QoS 需求.同时,在一定的管理策略下,可以通过 BSLA 的重新建立来实现任务和资源的重新绑定,实现资源的优化使用,从而提高资源的利用率.

3 虚拟组织层 QoS 的测量

由于受到网格中的资源和策略机制方面的限制,而且计算速度、存储量和系统吞吐率等多种 QoS 需求很难同时满足,有时候这些需求甚至是相互抵触的,因而,评价一种资源管理策略是否合理,针对单个性能目标是片面的,而应当针对多个性能目标,是综合性的.针对多个性能目标的资源管理的关键问题在于找到一种测量机制,该机制能够同时反映多个 QoS 目标,并体现其内在联系.本文提出一种测量机制,它将层次结构模型中最重要 VO 层的各类 QoS 定量地描述出来,从而提供优化网格资源管理的量度和目标.

3.1 逻辑资源QoS、安全QoS和记账QoS的测量

逻辑资源 QoS 是直接反映服务性能的一个综合因素,包含很多具体的参数,如计算速度、存储容量、传输带宽等等.而不同网格服务的逻辑资源 QoS 对具体的 QoS 参数又有所侧重,比如计算密集型服务可能不考虑存储容量这个参数,因为它对存储能力的要求比较低,很容易得到满足;反之,存储密集型服务可能不考虑计算速度.但是,无论一个网格服务侧重于什么样的 QoS 参数,这些服务性能方面的参数都综合形成了逻辑资源 QoS.在网格应用 A 中,第 i 个网格服务 S_i 的逻辑资源 QoS 表示成 n 维的布尔向量 ϕ_i^L , n 为所有逻辑资源 QoS 参数的种类.若 $\phi_i^L[k]=1$,则表示该网格服务用到了第 k 个分量所对应的 QoS 参数;反之,若 $\phi_i^L[k]=0$,则第 k 个分量所对应的 QoS 参数没有被用到.

如果网格服务不能满足用户的最低要求,用户满意度就为 0;只有当用户所递交任务的逻辑资源 QoS 所包含的所有具体 QoS 参数的最低要求都被满足时,才能认为该网格系统有能力接受该任务.我们用特征值 l_i^L 来表征逻辑资源 QoS 向量 ϕ_i^L 包含的所有值为 1 的分量所对应的 QoS 参数的最低要求是否都被满足:若都被满足,则 $l_i^L=1$;否则, $l_i^L=0$.

u_{ij} 为第 i 个网格服务的 $\phi_i^L[j]$ 分量所对应 QoS 参数的用户满意函数,逻辑资源 QoS 的用户满意度计算公式如下:

$$l_i = \frac{\sum_{j=1}^n \phi_i^L[j] \cdot u_{ij}}{n} \tag{1}$$

逻辑资源 QoS 的总的测量公式为 l_i, l'_i . 当用户提出的 QoS 需求有一个不能被满足时,特征值 $l'_i = 0, l_i, l'_i$ 也为 0,至少有一个用户的 QoS 需求的最低要求没有被满足,所以用户满意度为 0.

我们可以仿照建立逻辑资源 QoS 测量公式的方法来建立安全 QoS 的测量公式:以 n 维布尔向量 $\phi_i^s[j]$ 表示网格应用中的第 i 个网格服务 S_i 的安全 QoS 所用到的 QoS 参数;以 s'_i 为特征值, s_i 为安全 QoS 的用户满意度;同样地,安全 QoS 的测量公式就为 s_i, s'_i .

记账 QoS 是用来描述服务代价及其管理策略方面的 QoS 参数.网格资源的提供者和消费者之间协商价格是一个很复杂的问题,Buyya 等学者参照经济学的原理对网格中的价格协商机制进行了研究^[17].本文假设网格消费者已经以某种机制选定了某个网格资源的提供者,认可了网格资源的提供者所提供的价格,与逻辑资源 QoS 和安全 QoS 所不同的是,记账 QoS 是一个一维向量,根据其用户满意函数就可以直接得到记账 QoS 的用户满意度,于是,可以用相似的方法对记账 QoS 定量描述.假设 c'_i 为特征值, c_i 为记账 QoS 的用户满意度,记账 QoS 的测量公式就为 c_i, c'_i .

在这种测量机制中,用一个特征值表示用户提出的 QoS 需求的最低要求是否全部被满足,即网格系统能否接受此任务.对于能被网格系统接受的任务,再进一步地通过用户满意函数计算出用户满意度,即测量出了网格系统提供给该任务的服务质量水平.

3.2 系统QoS的测量

系统 QoS 是用来描述对网格服务的服务质量有影响的系统环境方面的 QoS 参数.由于不同 VO 中的资源有着不同的共享关系、不同的认证授权方式以及不同的资源代理和资源发现机制,所以,不同 VO 的系统 QoS 是不尽相同的.假设处在两个不同 VO 中的两个计算结点都被评价为良好,显然,这两个计算结点虽然得到相同的评价,但是它们的服务质量可能是有差别的.在环境好的 VO 中被评价为良好的计算结点显然比环境差的 VO 中被评价为良好的计算结点所提供的绝对服务质量要高,于是,为了比较计算结点的绝对服务质量,就必然要考虑计算结点所处的系统环境.每个 VO 都有一个反映其网格环境的系统 QoS,这个系统 QoS 可以作为跨 VO 比较服务质量优劣的基点.

为了计算 VO 的系统 QoS 值,可以将同一组服务集合部署到多个 VO 中去运行,以获得有差异的用户满意度,用户满意度越高说明 VO 的环境越好,系统 QoS 值就越高.计算 VO 的系统 QoS 的算法伪代码如下:

```

将服务集以相同的方式排序生成服务队列;系统 QoS  $E=0$ 
while 服务队列非空
  取出队首服务  $t_i$ 
  if  $l'_i \neq 0$  and  $s'_i \neq 0$  and  $c'_i \neq 0$  //即任务最低 QoS 需求可满足
    将  $t_i$  分派到可满足其 QoS 需求的最低限且预计完成时间最小的计算节点
     $U_i = w_l \cdot l_i + w_s \cdot s_i + w_c \cdot c_i$ 
     $E = E + U_i$ 
  end if
  将任务  $t_i$  从任务集中删除
end while

```

在上述算法中, w_l, w_s, w_c 分别为逻辑资源 QoS、安全 QoS、记账 QoS 的权重, U_i 为该服务总的用户满意度.算法根据以下几个步骤来计算系统 QoS:首先,算法以某种方式对服务集合进行排序,比如可以根据服务优先级的高低、服务预测完成时间的大小或者服务的完成期限等参数来排序;其次,算法检测排在最前面的服务,其所有 QoS 参数的最小要求是否能全部被满足,如果可以全部被满足,算法就计算该服务的用户满意度,并把它加到系统 QoS 值上.重复执行同样的过程,直到服务集为空.这样,所有被该 VO 接受的服务的用户满意度就都加到了系统 QoS 值上.

4 网格资源管理仿真系统

为了分析网格 QoS 层次结构模型在资源管理和保证用户 QoS 需求方面的性能,我们参考文献[15]的网格模拟器,设计并实现了如图 7 所示的网格资源管理仿真系统.

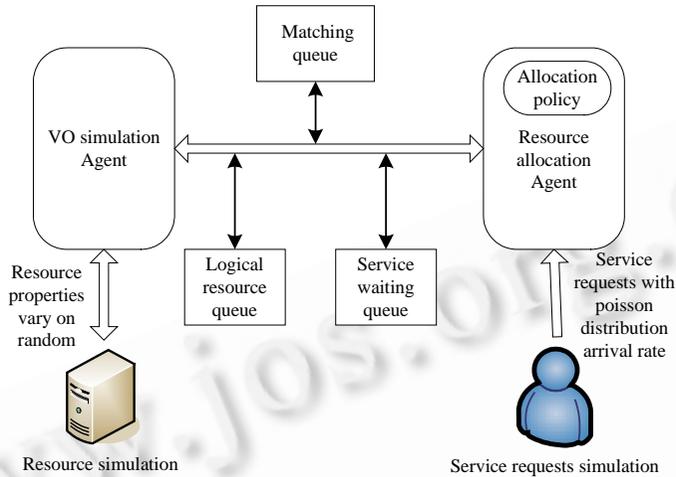


Fig.7 Simulated grid resource management system

图 7 网格资源管理仿真系统

在仿真系统中,我们以随机概率的形式决定资源的加入或离开,并以随机概率的形式进行资源可负载能力和 QoS 的动态调整,从而实现资源的动态变化模拟.对于用户的服务请求,我们以 Poisson 分布的到达率动态提交用户的服务请求,服务请求的内容包括资源负载容量和 QoS 两个方面.为了使仿真的网格环境更加接近于实际的网格系统,我们增加了网格服务构成的复杂性,让动态到达的网格服务请求由不同数量的子服务组成,并且这些子服务有不同的资源负载容量请求和 QoS 需求.服务请求 Agent 建立服务请求等待队列,并根据每个服务请求的 QoS 需求建立 TSLA.虚拟组织仿真 Agent 负责对资源的逻辑抽象和资源动态变化的监控,并建立可用的逻辑资源队列,建立相应的 RSLA,供资源分配 Agent 进行资源分配.当虚拟组织仿真 Agent 发现处于预留状态的资源不能满足用户的 QoS 需求时,就通知资源分配 Agent,并由资源分配 Agent 进行处理.资源分配 Agent 与虚拟组织仿真 Agent 进行交互,负责对用户的服务请求进行资源分配,并根据需要建立服务等待队列.对于处于执行状态的服务,由资源分配 Agent 负责建立服务-资源匹配队列,并与虚拟组织仿真 Agent 交互,实现对预留资源状态的监控,如果收到虚拟组织仿真 Agent 发出的预留资源 QoS 不能满足要求的消息,则根据不同的分配策略进行相应的处理.资源分配 Agent 还要负责对执行完毕的服务进行相关的统计工作,如该服务的等待时间、实际执行时间以及资源的使用情况等.

无论是对于什么样的网格应用,仿真系统将网格应用抽象为一组最小调度单位的集合,称为任务集合,对于其中任意的一个任务,利用式(2)计算它所对应的用户满意度,以表征它的综合 QoS 的高低.

$$U_i = w_r \cdot l_i + w_s \cdot s_i + w_c \cdot c_i \tag{2}$$

我们对 Min-Min 算法作了改进,以作为该仿真系统的调度算法,伪码如下:

```

for 每个等待调度的任务  $t_i$ 
    根据式(2)计算出  $U_i$ 
end for
根据  $U_i$  从大到小排列任务集合,生成从大到小的任务队列
while 任务队列非空
    取出队首任务  $t_k$ 
    计算任务  $t_k$  的最小完成时间

```

将任务 t_k 分配到最快执行完的计算结点 n_l 上
 将任务 t_k 从任务队列中删除,并更新资源队列

end while

5 仿真实验

由于实验的目的是验证网络 QoS 的研究在资源管理和保证用户 QoS 需求等方面所起的作用,所以,仿真实验对改进的 Min-Min 算法和原始的 Min-Min 算法进行比较.改进的 Min-Min 算法加入了 QoS 参数的比较,这样能够很好地说明网络 QoS 在资源管理中所起的积极作用.文献[12]做了类似的仿真实验,但是它只考虑了一维的 QoS 参数.在本文的仿真实验中,调度算法考虑了 3 类 QoS 参数,每类 QoS 参数包含了其最常见的 QoS 参数,比如:逻辑资源 QoS 包含了 CPU 周期、存储容量和传输带宽;安全 QoS 包含了保密性级别和完整性级别;记账 QoS 包含了代价;用户提供任务需要的 QoS 参数,系统通过映射将各个具体的 QoS 参数映射到 VO 层的相应类别.然后,调度算法利用文中提出的网络 QoS 的测量机制将 3 类 QoS 参数结合到一起,作为调度的目标函数.在实验中,我们选择服务请求成功率和网络资源利用率两个测度进行了对比实验.我们采用公式(3)和公式(4)分别计算服务请求成功率和网络资源利用率.

$$\text{服务请求成功率} = \frac{\text{得到满足的服务请求数总和}}{\text{服务请求数总和}} \quad (3)$$

$$\text{资源利用率} = \frac{\text{被使用的资源负载容量总和}}{\text{系统资源可使用负载容量总和}} \quad (4)$$

为了对比在不同的网络资源构成情况下网络 QoS 层次结构模型的性能,我们设计了 3 种不同的实验场景:(1) 75% 的网络资源的 QoS 水平大于网络服务请求的平均 QoS 需求;(2) 50% 的网络资源的 QoS 水平大于网络服务请求的平均 QoS 需求;(3) 25% 的网络资源的 QoS 水平大于网络服务请求的平均 QoS 需求.我们模拟了 500 个网络资源节点和 2 000 个网络服务请求,对于每种不同的实验场景重复进行了 100 次对比实验,取 100 次实验的平均结果作为我们的实验结果.

表 1 和图 8 是两种算法在相同的实验环境下有关服务请求成功率的实验数据,表 2 和图 9 是有关网络资源利用率对比实验的结果.由于在原始的 Min-Min 算法实验中,用户在进行服务请求时,系统只根据服务请求中资源可负载能力请求的满足情况来决定用户服务请求的资源分配,因此,常常出现低 QoS 水平的任务占用高 QoS 水平的资源,从而使得服务申请的成功率和网络资源利用率都偏低.改进的 Min-Min 算法首先满足了综合 QoS 水平高的任务,从而减少了低 QoS 水平的任务占用高 QoS 水平的资源现象的发生.在 3 种实验场景中,改进的 Min-Min 分配算法与原始的 Min-Min 算法相比,在实验结果上都有了不同程度的提高,特别是在实验场景(3)中,由于高 QoS 水平的网络资源比场景(1)和场景(2)要少,因此,实验数据的提高幅度更加明显.

Table 1 Service ask for success rate (%)

表 1 服务请求成功率 (%)

Scenario	Min-Min	Modified Min-Min	Improvement
1	83.6	96.6	13.0
2	78.4	92.4	14.0
3	65.9	88.7	22.8

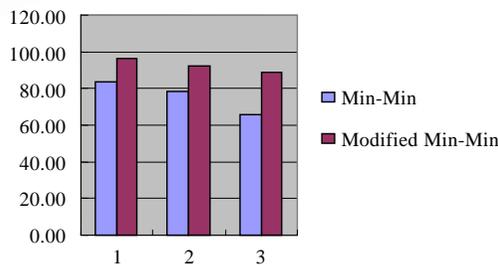


Fig.8 The comparison chart of success rate (%)

图 8 服务请求成功率对比图(%)

Table 2 Grid resource utilization rate (%)**表 2** 网格资源利用率 (%)

Scenario	Min-Min	Modified Min-Min	Improvement
1	55.2	61.4	6.2
2	51.5	57.8	6.3
3	45.6	55.8	10.2

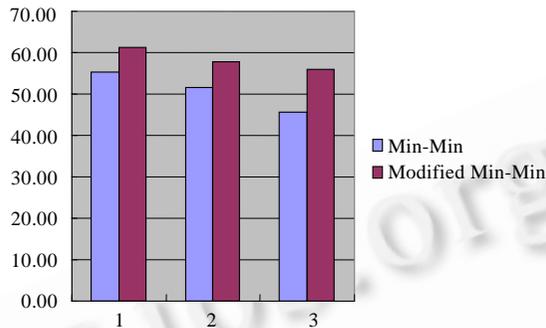


Fig.9 The comparison chart of utilization rate (%)

图 9 网格资源利用率对比图(%)

6 结论与展望

本文依据研究 QoS 的一般原理并结合网格的特点,提出并建立了网格 QoS 的层次结构模型,重点研究了其中的虚拟组织层 QoS.本文将虚拟组织层 QoS 进行了新的分类,并提出测量虚拟组织层 QoS 的方法.在此基础上,根据 SNAP 协议所提出的 3 种不同类型的服务水平协定 TSLAs,RSLAs 和 BSLAs,对基于网格 QoS 层次结构模型的网格 QoS 参数的映射转换过程进行了分析.最后,设计并实现了一个动态的网格资源管理仿真系统.仿真分析的结果也表明,在面向服务的动态网格环境下,基于 QoS 的网格资源管理可以有效地提高网格资源的利用率和服务请求的成功率.

在今后的工作中,我们计划对网格经济中的一些新的课题进行研究,如资源的价格机制、价格协商协议以及记账、支付机制等.我们相信,网格 QoS 的研究必将在这些新课题的研究中发挥出基础性的作用.

References:

- [1] Foster I, Kesselman C, Write; Jin H, Yuan PP, Shi K, Trans. The Grid 2: Blueprint for a New Computing Infrastructure. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2004 (in Chinese).
- [2] Foster I, Kesselman C, Tuecke S. The anatomy of the grid: Enabling scalable virtual organizations. *Int'l Journal of Supercomputer Applications*, 2001,15(3):200-222.
- [3] Foster I, Kesselman C, Nick JM, Tuecke S. The physiology of the grid: An open grid services architecture for distributed systems integration. 2002. http://www.gridforum.org/ogsi-wg/drafts/ogsa_draft2.9_2002-06-22.pdf
- [4] Tuecke S, Czajkowski K, Foster I, Frey J, Graham S, Kesselman C, Maquire T, Sandholm T, Snelling D, Vanderbilt P. Open grid services infrastructure (OGSI) Version 1.0. 2003. <http://forge.gridforum.org/projects/ggf-editor/document/draft-ogsi-service-1/en/1>
- [5] Czajkowski K, Ferguson DF, Foster I, Frey J, Graham S, Seduknin I, Snelling D, Tuecke S, Vambenepe W. The WS-resource framework (Version 1.0). 2004. <http://www-106.ibm.com/developerworks/library/ws-resource/ws-wsrf.pdf>
- [6] Chatterjee BSS, Sydir MDJJ, Lawrence TF. Taxonomy for QoS specifications. In: Proc. of the 3rd Int'l Workshop on Object-Oriented Real-Time Dependable Systems (WORDS'97). Newport Beach, 1997. 100-107.
- [7] Foster I, Kesselman C, Lee C, Lindell B, Nahrstedt K, Roy A. A distributed resource management architecture that supports advance reservations and co-allocation. In: Proc. of the 7th Int'l Workshop on Quality of Service, Vol 13. 1999. 27-36. http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=766475

- [8] Foster I, Roy A, Sander V. A quality of service architecture that combines resource reservation and application adaptation. In: Proc. of the 8th Int'l Workshop on Quality of Service. 2000. 181-188.
- [9] Roy A. End-to-End quality of service for high-end application [Ph.D. Thesis]. Chicago: University of Chicago, 2001.
- [10] Roy A, Foster I, Gropp W, Karonis N, Sander V, Toonen B. MPICH-GQ: Quality-of-Service for Message Passing Programs. San Diego: IEEE Computer Society Press, 2000. 19-30.
- [11] Al-Ali R, ShaikhAli A, Rana O, Walker D. Supporting QoS-based discovery in service-oriented grids. In: Proc. of the Int'l Parallel and Distributed Processing Symp. (IPDPS 2003). Nice: IEEE Computer Society, 2003. 101-109
- [12] Irvine CE, Levin T. Toward quality of security service in a resource management system benefit function. In: Proc. of the 15th Annual Computer Security Application Conf. IEEE Computer Society, 2000. 133-139. http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=843738
- [13] Irvine CE, Levin T. An approach characterizing resource usage and user preferences in benefit functions. Technical Report, NPS-CS-99-005, NPS, 1999.
- [14] Kim JK, Kidd T, Siegel HJ, Irvine CE, Levin T, Hensgen DA, St. John D, Prasanna VK, Freund RF, Porter NW. Collective value of QoS: A performance measure framework for distributed heterogeneous networks. In: Proc. of the Int'l Parallel and Distributed Processing Symp. (IPDPS). San Francisco: IEEE Computer Society, 2001. 137-150.
- [15] He XS, Sun XH, von Laszewski G. QoS guided min-min heuristic for grid task scheduling. Journal of Computer Science and Technology, 2003,18(4):442-451.
- [16] Czajkowski K, Foster I, Kesselman C, Sander V, Tuecke S. SNAP: A protocol for negotiating service level agreements and coordinating resource management in distributed systems. Lecture Notes in Computer Science, 2002,2537:153-183.
- [17] Buyya R, Abramson D, Venugopal S. The grid economy. Proc. of the IEEE, 2005,93(3):698-714.

附中文参考文献:

- [1] Foster I, Kesselman C. 著;金海,袁平鹏,石柯,译. 网格计算. 北京:电子工业出版社,2004.



伍之昂(1982 -),男,江苏宜兴人,博士生,主要研究领域为网格计算.



宋爱波(1970 -),男,博士,副教授,主要研究领域为网格计算, Petri网.



罗军舟(1960 -),男,教授,博士生导师,CCF高级会员,主要研究领域为协议工程,网络安全,网络管理,网格计算.