

分类号 TN915.5 密级

重庆邮电大学硕士学位论文

论文题目 基于 OGSA 的光网络资源管理和调度

(题名和副题名)

英文题目 OGSA-Based Resource Management and Scheduling for Optical Networks

硕士研究生 程 平

指导教师 隆克平 教授

学科专业 通信与信息系统

论文提交日期 2006.5.28 论文答辩日期 2006.6.10

论文评阅人 刘光明 副教授 北京邮电大学

刘光明 教授 重庆邮电大学

答辩委员会主席 刘光明 教授 重庆邮电大学

2006 年 5 月 28 日

摘 要

开放网络服务体系 (Open Grid Service Architecture: OGSA) 是网络计算和 Web 服务技术互相融合的产物, 它将网络资源共享的概念扩展为更具有普遍意义的服务的共享和协作, 具有对异构资源和服务无缝集成的能力, 是下一代网络业务管理和控制最合适的解决方案。同时, 随着光互联网技术的飞速发展, 在过去的几年里, 人们已经将光网络作为未来全球网络最佳的传输基础设施这一理念达成了共识。在 OGSA 框架下, 应用通常需要资源和服务进行跨域分布式协作和动态聚合, 对光网络的灵活性和动态性提出了更高的要求, 光网络资源管理在资源抽象, 资源分配与负载均衡, 资源协同调度与服务动态协商等方面面临着一些亟待解决的新问题。

本文讨论了网格环境下光网络资源管理和调度的需求与面临的挑战, 提出了基于 WSRF 的光网络资源管理框架和基于经济模型的光网络资源调度网格框架 (GRACIE), 以及相关的资源调度策略和算法来解决这些问题。我们扩展了网格仿真工具 GridSim 对光网络资源建模的能力, 并利用它对 GRACIE 进行了仿真分析。

本文的主要贡献如下:

- 讨论分析了网格环境下光网络资源管理调度的需求特点和关键问题。
- 将光网络资源抽象封装为 Lightpath WS-Resource, 提出了基于 WSRF 的光网络资源管理框架, 使用户获得了一个统一的逻辑光网络资源视图, 赋予了网格用户管理和调度光网络资源的能力。
- 提出了 GRACIE: 基于经济模型的光网络资源调度网格框架来解决网格环境下光网络资源调度所面临的一些问题。在此框架下, 提出并详细讨论了基于商品市场模型的 Lightpath 调度策略, 给出了定价策略和算法, 资源请求调度算法以及 Lightpath 创建控制算法。
- 对网格仿真工具 GridSim 进行了扩展, 开发了 opticalgrid 包以支持对光网络资源的建模, 并以此为基础, 对 GRACIE 进行了仿真和性能评估。

仿真结果验证了 GRACIE 框架的有效性, 表明其能够在全局视图下有效地调度和均衡地分配资源请求, 实施阻塞控制和减少资源碎片, 明显地降低光网络阻塞概率和提高资源利用率。

关键词: OGSA, WSRF, 光网络, 资源管理和调度, Lightpath

Abstract

The Open Grid Service Architecture (OGSA) is the combination of Grid Computing and Web Service technologies and extends the grid concept of resource sharing to a more general concept in terms of service sharing and collaboration. It has then been provided with abilities of integrating heterogeneous resources and services seamlessly, and regarded as the promising candidate of service management and control solutions for the next generation network. During the past few years, with the rapid progress of optical internetworking technologies, it has become evident that optical network can serve as an important core infrastructure for the global grid. Besides, the applications in OGSA usually need resources and services aggregating dynamically or collaborating with each other across multi-domains, and thus it requires the optical network architecture to be more agile and dynamic. Therefore, there are some new problems related to the resource management in optical networks, such as resource abstracting, the resource allocation and load equilibrium, co-scheduling resource and dynamic service negotiation, etc.

This thesis discussed the requirements and challenges of optical network management and scheduling in grid environment, and then proposed the WSRF-based optical network resource management framework, and the grid architecture based on economic models for optical resource scheduling (GRACIE). Furthermore, it presented some management and scheming algorithms. Finally, the thesis also extended the GridSim simulator able to model optical networks and simulated GRACIE.

On the whole, there are the following contributions in the dissertation:

- 1) It has studied the key requirements and problems of optical network management and scheduling in grid environment.
- 2) The thesis has described how to abstract and encapsulate the optical network resource to Lightpath WS-resource in order to define a unified logic view of optical resource for grid users; and proposed WSRF-based optical network resource management architecture to authorize the end-users able to control and manage the optical resources.
- 3) It proposed a novel framework for optical network resource management and scheduling, i.e., GRACIE (GRid Architecture for optiCal Internet Economy), which is able to solve some problems of Lightpath scheduling

in grid-enabled optical networks. It also presented scheduling policies based on commodity market model, pricing policy and algorithm, requests scheduling algorithm and Lightpath admission control algorithm.

- 4) The thesis has developed an *opticalgrid* package for GridSim simulator to support modeling the optical network resource; simulated and evaluated the GRACIE on GridSim.

Some simulation results validated the effectiveness of GRACIE and showed that GRAICE has abilities of efficient scheduling Lightpath requests and equilibrating both requests and resource allocation in global view, performing block control and reducing the resource fragments to decrease block probability and increase the utility of optical network resource significantly.

Key Words: OGSA, WSRF, Optical Networks, Resource Management and Scheduling, Lightpath

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得重庆邮电大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：程平

签字日期：2006年5月28日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解重庆邮电大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权重庆邮电大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后适用本授权书)

学位论文作者签名：程平

导师签名：陈平

签字日期：2006年5月28日

签字日期：2006年5月28日

第一章 绪论

1.1 研究背景

随着网络技术的发展,网络应用的范围已经从传统的高性能计算和数据密集型应用拓展到更广泛的应用领域,为全球范围分布式的,异构的、多样的资源共享提供了重要的基础设施。开放网格服务体系(Open Grid Service Architecture: OGSA)的提出,标志着网络计算和 Web 服务技术的融合,将资源共享的概念扩展为更具有普遍意义的服务的共享和协作。网格也不再仅仅局限于科学研究,它引起了工业界的广泛关注和研究,被称为是下一代的 Internet^[1]。

由于 OGSA 具有对异构资源和服务无缝集成的能力,使得它成为下一代网络业务管理和控制最合适的解决方案^[2,3]。目前,Parlay/OSA 被认为是下一代网络主要的业务接入架构^[4,5],它们都强调对电信网络能力的封装和提供统一的访问接口。此外,OGSA 还强调服务互操作能力、服务动态协商能力、AAA (Authentication Authorization Accounting, 下同)控制能力等方面,因此 OGSA 能为实现广泛异构多层次的服务集成和管理提供重要的基础设施。Parlay/OSA 和 OGSA 的结合,使得业务提供和业务承载相分离更加容易,而且也简化了传输网络的管理。

目前已经定位 IP 技术将是下一代网的核心技术,而在传输层面,IP over Optical 则是下一代网络的核心传输模式,无论是承载网或业务网都将围绕 IP over Optical 技术这个核心来开展研究^[6]。随着光网络技术和结构的复杂化、业务的多元化发展,以及 OGSA 框架下的业务管理所具有的跨多个管理域的资源协作,服务协作和动态聚合等特点,终端用户以及业务提供商对网络资源/服务可控可管的需求增大,越来越迫切地要求网络能在业务驱动下,具有自动的资源搜索、自主的资源分配和协商以及资源优化与重组能力,为用户提供高性能的网络服务。

因此,对 OGSA 框架下的光网络资源管理和调度问题进行研究,无论从技术本身或者应用价值方面都有重要的意义。首先,在技术方面,OGSA 框架下的应用所具有的跨域分布式协作,动态聚合等特点,对光网络管理的灵活性和动态性提出了更高的要求。在资源抽象,资源分配与负载均衡,协同调度与动态协商等方面面临着一些亟待解决的新问题。其次,下一代网络中业务承载与业务提供平台的分离,将形成更为合理的新兴宽带价值链,进一步繁荣电信市

场, 相关研究成果必将具有最终转化为巨大商业价值的潜力。

1.2 研究现状

下面从光网络控制与管理以及网格环境下的光网络管理两个方面来介绍与本文研究内容相关的国内外研究现状与趋势。

(1) 光网络控制与管理

当前, ITU-T、IETF、OIF 和 ODSI 等国际标准化组织和行业论坛分别提出了基于叠加、对等和扩展三种不同模型的光网络体系结构, 制定出了一些开放式的通用智能化光网络模型、相关标准接口、自动交换和动态配置控制协议, 以促进不同厂商的光网络设备的互联互通。

智能化光网络的自动交换和动态配置控制主要有两种模型: 客户-服务者模型和对等模型。客户-服务者模型也称为重叠模型, ITU-T 是这种模型的代表者, 已提出了一种称之为自动交换光网络 (ASON) 的智能光网络方案。ASON 是一种具有在信令网的控制下自动完成交换功能的新一代光传送网, ITU-T 计划在已有 OTN 建议的基础上尽快完成有关 ASON 的一系列建议: 已于 2001.10 完成总体结构、自动拓扑发现与信令等方面的建议, 如 G8080 v1.0。目前已完成绝大部分建议。ODSI 也倾向于采用客户-服务模型。IETF 采用的是对等模型, 目前已提出了自动交换传输网络的标签请求规范和基于 GMPLS 的 ASON 控制平面的草案。OIF 也在一直致力于智能光网络的研究工作, 目前已完成了 UNI 1.0 信令规范。

ODSI、IETF 和 OIF 等组织的研究工作有很大的相关性, 其思路都是将现有的信令协议进行扩展和修改作为智能光网络的路由和信令协议来开发 UNI 接口, 主要将 LDP 协议和 RSVP 这两个已有的 MPLS 信令协议进行修改并向光域扩展。OIF 的 UNI 1.0 规范的信令协议和自动发现机制基本上是基于 IETF 的 GMPLS 和 LMP 协议的。

这些方案的不足之处在于, 它们可以说是面向“网络提供商”的, 试图用一个通用的管理系统去控制所有的光设备。光路资源的管理和控制权掌握在网络提供商手中。虽然也提供了 UNI 等接口, 由于操作的复杂性, 不同厂商与型号设备之间的差异, 以及缺少动态的协商和 AAA 机制等原因, 最终用户实际无法控制他们需要的光路资源, 无法满足网格环境下服务协作和动态聚合要求对各种资源进行联合调度的需要。

(2) 网格环境下的光网络管理

由于光网络巨大的传输能力和较低的传输时延, 早在计算网格时代, 光网络就被认为是最合适的网格基础传输网络, 但一直以来, 光网络只是被当作网

格应用环境中传输数据的基础设施来对待,并没有获得和其它网格资源一样的地位,这在早期的网格系统设计中可以看出来^[7]。

全球网格论坛 GGF (Global Grid Forum) 的 GHPN-RG 工作组致力于研究和融合网格与光网络领域的最新技术,其在 2004 年发布的草案“Optical Network Infrastructure for Grid”^[8]中,建议将光网络也视为一种“网格资源”,使得它和其它典型的网格资源(例如计算资源、存储资源)一样,也能够被网格控制、管理和调度。

基于这样的思想,研究者们已经提出了一些解决方案,最著名的是加拿大 CANARIE (Canadian Network for the Advancement of Research, Industry and Education) 开发的 CA*net 4 网络^[9],提出了 UCLP^[10] (User Controlled LightPath) 的概念和框架结构,设计了一种新型的分布式内部光交换设备 (IX),通过封装光通路为 LPO (LightPath Object) 对象,赋予了用户建立和管理在自己网络上运行的波长的能力,其最终目标是开发横贯加拿大的“与运营商无关”的分布式光互联网及相关的交换设备。

由美国 California 大学、Maryland 大学、George Mason 大学等联合开发的项目 DRAGON^[11] (Dynamic Resource Allocation via GMPLS Optical Networks) 提出了一种基于策略的光网络资源管理和提供服务方案。该项目主要致力于解决面向服务的光网络中面临的域间管理系统协作,跨域端到端路径计算,高层调度机制以及 AAA 问题。

文献[12]提出了 LambdaGrid 的概念,所谓 LambdaGrid,是指由应用可控 (application-configurable) 的光通路构成的网络所连接起来计算资源的集合,虽然没有专门针对光网络资源的管理问题,实质上也是提出了用户可管理光网络资源的概念,文献[13,14]对 LambdaGrid 框架下的资源提前预留,跨域光通道的建立,AAA 问题等进行了讨论。

荷兰 Amsterdam 大学与荷兰北电网络 Leon Gommansa, Tal Lavian 等人提出了应用驱动的网络控制方案^[15],通过在传统的控制平面上加入一个新的服务平面 (Service Plane) 以建立域间的信任关系,向信任的用户提供高层的对光网络管理和控制的能力。

另外,文献[16]提出的 GridJET,以及 GHPN-RG 工作组在 2006 年 1 月最新发布的草案“Grid Optical Burst Switched Networks (GOBS)”^[17]中,对网格环境下光突发交换网络 (OBS)^[18]的管理和控制问题进行了讨论。

从目前的研究现状来看,网格环境下光网络资源管理已经成为研究的热点,但目前所提出的方案主要集中于利用网格技术来封装控制平面的管理和控制能力,解决跨域端到端光通路建立时所面临的一些高层的协作问题,很少有对网

格环境下光网络资源的调度问题进行探讨。另外，这些方案也不支持 OGSA 最新的资源管理框架 WSRF。

1.3 论文结构

本文后续各章的结构安排如下：

第二章概述开放网格服务体系（OGSA）的概念和基本思想，介绍其体系结构以及最新的基于 Web 服务的资源管理框架 WSRF。

第三章讨论了网格环境下对光网络资源分配和管理的需求，讨论了光网络资源的抽象和封装，并给出了基于 WSRF 的光网络资源管理体系结构，为实现将光网络资源和其它网格资源进行联合调度提供了技术基础。

第四章讨论了网格环境下光网络资源调度所面临的关键问题，提出了 GRACIE：基于经济模型的光网络资源调度网格框架来解决这些问题，详细描述了 GRACIE 框架结构的组成和基本功能，以及可用的经济模型。详细分析了基于商品市场模型的 Lightpath 调度策略，给出了定价策略和算法，资源请求调度策略和算法以及 Lightpath 创建控制算法。

第五章利用 GridSim 工具对 GRACIE 进行了仿真，并对仿真结果进行了分析和评估。

第六章对全文进行总结并给出了未来的工作方向。

第二章 开放网格服务体系 (OGSA)

2.1 概念和基本思想

根据 Ian Foster 的观点, 网格必须同时满足三个条件^[19]: 在非集中控制的环境中协同使用资源; 使用标准、开放和通用的协议和接口; 提供高质量的服务。这三个条件, 正是开放性的网格体系结构 OGSA 制定的动力。OGSA 是由 Global Grid Forum (GGF) 联合 IBM 公司在 2002 年 6 月共同推出的, 是以服务为中心的“服务结构”, 是 Web 服务和网络技术相融合的产物。

OGSA 定义了一个统一的对外服务语义 (网格服务); 定义了创建、命名和发现短暂网格服务的标准机制; 提供了服务实例定位的透明性和多协议绑定; 支持与本地平台设施的整合。通过结合 Web 服务描述语言 (WSDL) 中的接口定义和相关规范, OGSA 还定义了创建和组合复杂分布式系统所需的一系列机制, 包括生命周期管理、服务状态变更管理及异步消息通知等。另外, 它还包括认证、授权和委托等安全服务框架。

总体来说, OGSA 的主要目标^[20]是:

- 跨分布式异构平台管理资源。
- 交付无缝的服务质量, 网格的拓扑结构通常十分复杂, 而且网格资源的交互往往是动态的。网格应当可以提供健壮的后台服务, 比如授权、访问控制和委托。
- 为自治管理解决方案提供公共基础。网格可以包含许多资源, 还有大量的配置组合、交互以及状态与故障模式的改变。对于这些资源来说, 一些智能自动调节与自治管理方式是必不可少的。
- 定义开放的、已公布的接口。OGSA 是一个由 GGF 标准团体进行管理的开放式标准。为了使不同资源之间具有互操作性, 网格必须构建在标准接口及协议之上, 利用行业标准的集成技术。OGSA 的创始者很有远见地利用了现有解决方案。OGSA 的基础是 Web 服务。

OGSA 服务是对传统网格资源共享概念的扩展, 虽然 OGSA 也强调资源, 但其所指的概念更加广泛, 包括计算资源, 存储资源, 网络资源, 信息资源, 设备资源, 甚至是专家, 组织等人力资源, 一切资源都被包装为服务, OGSA 实现的是对服务的共享。从资源到服务, 这种抽象, 将资源、信息、数据等统一起来, 更加有利于更广泛的、灵活的、一致的、动态的共享机制的实现。

2.2 OGSA 体系结构

早期所提出的 OGSA 框架如图 2-1 所示:

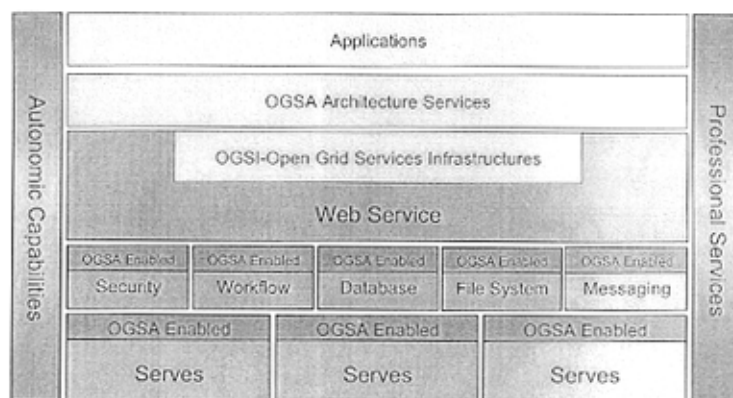


图 2-1 OGSA 体系结构图^[21]

OGSA 架构由四个主要的层构成, 从下到上依次为:

(1) 资源—物理资源和逻辑资源层: 资源的概念是 OGSA 以及通常意义上的网格计算的中心部分。构成网格能力的资源并不仅限于处理器, 物理资源包括服务器、存储器和网络, 还可以包括信息、数据、以及人和组织等非传统资源。物理资源之上是逻辑资源。它们通过虚拟化和聚合物理层的资源来提供额外的功能。通用的中间件, 比如文件系统、数据库管理员、目录和工作流管理人员, 在物理网格之上提供这些抽象服务。

(2) Web 服务, 以及定义网格服务的 OGSI 扩展, 注意这里所有网格资源(逻辑的与物理的)都被建模为服务。

OGSI (Open Grid Service Infrastructure) 是 GGF 在 2003 年 6 月推出的网格服务具体实现规范, 它定义了网格服务并建立在标准 Web 服务技术之上, 利用诸如 XML 与 Web 服务描述语言 (Web Services Description Language, WSDL^[22]) 这样的机制, 为所有网格资源指定标准的接口、行为与交互。OGSI 进一步扩展了 Web 服务的定义, 提供了动态的、有状态的和可管理的 Web 服务的能力, 这在对网格资源进行建模时都是必需的。然而 OGSI 超前地大量使用 XML 模式 (Schema) 等技术, 不能得到现有 Web 服务工具环境的有力支持, 因此 OGSI 在 2004 年由 IBM、Globus 联盟和 HP 共同提出 Web 服务资源框架 WSRF 所替代, WSRF 实现了 Web Service 技术与网格技术完全地融合, WSRF 消除了 OGSI 与 Web Service 技术间的差异, 如图 2-2 所示。

WSRF 是本文实现对光网络资源封装和管理的基础, 下一节将详细介绍 WSRF 技术。

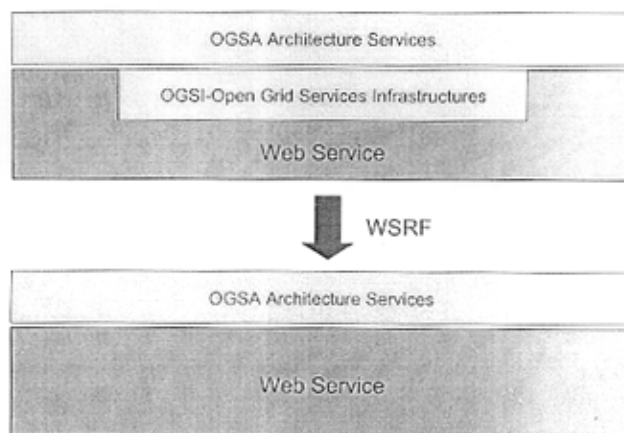


图 2-2 从 OGSI 演进到 WSRF

(3) 基于 OGSA 架构的服务层: Web 服务层及其 OGSI 扩展为上层提供了基础设施: 基于架构的网格服务。GGF 目前正在致力于在诸如程序执行、数据服务和核心服务等领域中定义基于网格架构的服务^[21]。随着这些新架构的服务开始出现, OGSA 将变成更加有用的面向服务的架构 (SOA)。

(4) 网格应用层: 随着时间的推移, 丰富的基于网格架构的服务将不断被开发出来, 使用一个或多个基于网格架构的服务的新网格应用程序亦将出现。这些应用程序构成了 OGSA 架构的第四个主要的层。

2.3 Web Service 资源框架 (WSRF)

OGSI 在实践中, Web 服务领域发现它有三个方面的不足^[23]:

- (1) OGSI 把繁杂的技术内容全部集中在一个规范中, 无法实现对不同部分的灵活运用。
- (2) 由于 OGSI 超前地大量使用 XML 模式(Schema)等技术, 不能得到现有 Web 服务工具环境的有力支持。
- (3) 对于面向对象, 将服务(资源)的状态、标识以及生命周期管理等完全封装在 Web 服务中, 受到了 Web 服务纯化论者的批评和抵制。来自 Web 服务领域的不同意见阻碍了网格的广泛接受和推广。

WSRF 针对 OGSI 三个方面的缺点进行了以下改进:

- (1) WSRF 把 OGSI 功能分成一系列功能规范, 这样就可以灵活地使用各个部分。
- (2) WSRF 减少了对 XML 模式的使用, 这样就可以得到目前大多数 Web 服务工具的直接支持, 而且开发者比较熟悉。

- (3) WSRF 明确地把服务与该服务所作用的有状态资源区别开来, 而不是集成在一起。

WSRF 中引入了有状态资源的概念来对资源进行模型化。其框架结构如图 2-3 所示。



图 2-3 WSRF 框架结构^[24]

WSRF 中的有状态资源称为 **WS-Resource**, 由资源属性文档和 Web 服务描述文档所组成。“状态”是许多应用中都存在的一个重要概念, WSRF 把有状态的实体统称为有状态资源, 有状态资源具有特定生命周期和一组状态数据, 可被一个或多个 Web 服务访问和改变。

WSRF 通过修改资源属性文档来设置 **WS-Resource**。WSRF 定义了特殊操作来获取和设置属性值。例如, 单个元素值的获取, 多属性值获取 / 修改等。服务请求者可以修改一个 Web 服务多项属性值。通过发送设置属性请求来对资源属性文档元素进行插入、更新、删除操作, 从而达到改变 **WS-Resource** 状态的目的。

WSRF 由 5 个标准化的规范定义, 这 5 个规范分别是:

- (1) **WS-ResourceProperties**: 描述有状态的 WS 资源, 以及资源属性和元素是怎样获得、更改、删除的。每个 **WS-Resource** 具有一个 XML 格式的资源特性文档。服务请求者可以通过标准的方法访问。
- (2) **WS-ResourceLifetime**: 控制资源的生命周期, 允许服务的申请人终止服务。在 WSRF 中有两种方法: 或者直接立即终止; 或者通过调度在某一时刻终止。这两种方法用于不同场合, 大多数可以立即终止, 某些时候申请者可能无法去终止服务, 比如连接中断, 此时需用后者。
- (3) **WS-RenewableReferences**: 描述如何通过某种通知策略重新找回失效的服务端点。
- (4) **WS-ServiceGroup**: 通过引用的方式创建和使用异构的多个 Web Service。

- (5) **WS-BaseFault**: 描述了如何报告错误的机制。定义了一个返回错误信息的基本错误类型。它强制了在 WSRF 体系内, 当发生错误后, 返回错误信息的一致性。

以上 5 个规范合起来构成 WSRF。另外, WSRF 的各种协议规范都基于 WS-Addressing。WS-Addressing 提供了一种传输中立 (Transport-neutral) 的机制来定位 Web 服务。它包含两个部分: 端点引用 (Endpoint References) 和消息的信息头 (Message Information Headers)。端点引用除了包含地址之外, 还包含接口名称、使用政策、引用特性等元素。

另外, 还有两个不属于 WSRF 规范, 却是必不可少的标准方法:

- **WS-Notification**: 其本身是一套(包含三个规范)标准的规范, 定义了基于主题的, 用于发布和订阅 Web 服务体系中的通知消息。
- **WS-Agreement**: 一套动态服务协商机制的规范。它定义了协议发起者 (Agreement initiator: 通常代表用户和客户端) 和协议提供者 (Agreement Provider: 通常代表资源和服务端) 两个关键角色, 定义了两个角色间动态协商的标准步骤和信令过程, 通过协商服务实现两个角色之间对于服务内容和属性理解上的一致。WS-Agreement 允许用户和服务提供者动态地改变自己的策略, 为实现多管理域环境下分布式资源和服务的动态调度提供了技术基础。

2.4 小结

本章介绍了开放网格服务体系 (OGSA) 的概念和基本思想, 分析了其体系结构以及最新的基于 Web 服务的资源管理框架 WSRF。WSRF 框架以及 WS-Agreement 规范是我们实现对光网络资源建模和封装, 管理和调度的技术基础。

第三章 基于 WSRF 的光网络资源管理

3.1 网络环境下的光网络

OGSA 概念以及 WSRF 的提出,将传统的网格计算扩展到了网格服务领域,为下一代网络的业务能力和应用集成提供了关键的基础设施。在面向网络的光网络业务支撑环境中,由于网格应用具有跨域分布式协作,动态聚合等特点,对光网络管理的灵活性和动态性提出了更高的要求,传统的网络管理控制方案(例如 ITU-T GASTN/ASON, OIF UNI 1.0)难以满足其需要,我们需要一种更加灵活的光网络资源提供、分配和调度机制。

网格应用通常需要地理上分散的,并且跨多个管理域的多个资源相互协作才能完成。资源通常都需要预留以保证业务执行期间的服务质量,需要动态进行分配和调度以适应业务协作和聚合的要求。然而,传统的解决方案中,光网络仅被当作基础传输设施,网络资源通常是静态(手工)进行配置或者是按需分配,前者通常需要较长的通路建立时间并且不够灵活^[10],后者无法确保业务执行时的服务质量。另外,现有的光网络管理控制模型可以说是面向“网络提供商”的,都假定网络提供者对整个网络结构和网络元素都有清晰、全面的了解,并且试图用一个通用的管理系统去控制所有的光设备,光路资源的管理和控制权掌握在网络提供商手中,虽然也提供了 UNI 接口,由于操作的复杂性,不同厂商和型号设备之间的差异,以及缺少动态的协商和 AAA 机制等原因,最终用户实际无法控制他们需要的光路资源,无法满足网格业务协作和动态聚合对各种资源联合进行调度的需要。

为了解决这个问题,GGF(Global Grid Forum)的 GHPN-RG 工作组在 2004 年发布的草案“Optical Network Infrastructure for Grid”^[8]中,建议将光网络也视为一种“网格资源”,它和其它典型的网格资源(例如计算资源、存储资源)一样,也能够被网格控制、管理和调度。我们采纳了这个建议,并且在 OGSA 的框架下,对光网络资源进行抽象和封装,提出了基于 WSRF 的光网络资源管理框架。

3.2 光网络资源的抽象

首先要解决的问题是对光网络资源的抽象与封装,使网格用户获得一个统一的网络资源视图。这是在 OGSA 框架下对光网络资源进行管理和调度的基础。

3.1.1 基本资源元素的抽象与定义

在光网络中,存在多种多样的资源,例如 OXC 或者是 PXC 这样的设备,光纤,波长,波段,标签,光时隙等等^[25]。对于特定的应用来说,这些资源具有不同的属性和用途。那么,如何从这些具体的物理资源中抽象出一种逻辑资源,使得所有的网路应用获得一个统一的光网络资源视图呢?很明显,Lightpath 是最合适的选择^[25,26],原因如下:

首先,Lightpath 定义为一条从一个节点起源,穿过光传送网络而终结于另一个节点,由一个或若干个波长组成的连接通道。对于任何类型的应用来说,该概念容易具体化,通过定义一些附加的约束参数,例如目的地址、带宽、预留持续时间,保护等级等。网路用户可以详细地定义所需要的端到端光通路,从而实例化一个 Lightpath 资源。

其次,像存储和计算这样的资源一般是某个单独的实体,是一种“点”状的资源,而网络连接是一种“线状”的资源,它需要至少两个网络节点间的协作来创建和管理。在跨越多个域的情况下,还要考虑多个不同管理域的节点间的协商和协作问题。Lightpath 正好体现了这种线状资源的特点。

最后,为了适应 OGSA 的要求,使得网络资源能被单独的用户所拥有和在网路用户间共享,光网络资源必须被包装为一个对象,这个对象有名字,属性,能够被创建,调用,监控和重配置。随着密集波分复用(DWDM)技术的成熟以及光交换和路由技术的发展,通过在已有的光控制平面基础上(ASON, GMPLS 等)叠加合适的中间件,Lightpath 满足这样的要求,可以被当作一个对象来管理和调度。

基于以上的原因,我们考虑将 Lightpath 视为 OGSA 框架下光网络资源管理的基本资源元素,根据参考文献[26]和 CA*net4 在资源抽象模型方面的研究成果,我们可以定义如下三种不同层次的 Lightpath 对象:

- (1) Lightpath Element: 连接两个光节点的光通路,这是最基本的原子资源元素,下面定义的 Per-Domain Lightpath 和 End-to-End Lightpath 都可以由 Lightpath Element 串接汇聚而成。
- (2) Per-Domain Lightpath: 单个管理域内,由多个 Lightpath Element 链接形成的光通路资源。
- (3) End-to-End Lightpath: 跨一个或多个管理域的端到端的光通路资源,由多个 Per-Domain Lightpath 链接形成。

这样的抽象层次使得光资源的提供灵活而且可控,本文第 3.3 节提出了在这样的资源抽象层次基础上实现的资源管理系统,既能够满足 overlay 模式控制方

式的需要,也能够进行 peer-to-peer 的控制。

3.1.2 光网络资源的 WS-Resource 封装

为了使光网络资源能够像其它类型的网络资源一样被网络系统所管理和调度,还需要以一种标准的方式来封装和描述光网络资源^[8]。很明显,WSRF 成为我们自然的选择,WSRF 扩展了 WSDL,提供了一套基于 XML 来描述有状态资源的框架。采用 WSRF 框架建模的资源称为 WS-Resource,包括资源的属性描述和操作接口描述。

Lightpath 资源属性主要包括端点地址、QoS 参数,光参数,AAA 参数,生命周期等。图 3-1 是一个 Lightpath 资源属性描述的模板,可以适用于上文提到的三种抽象层次。

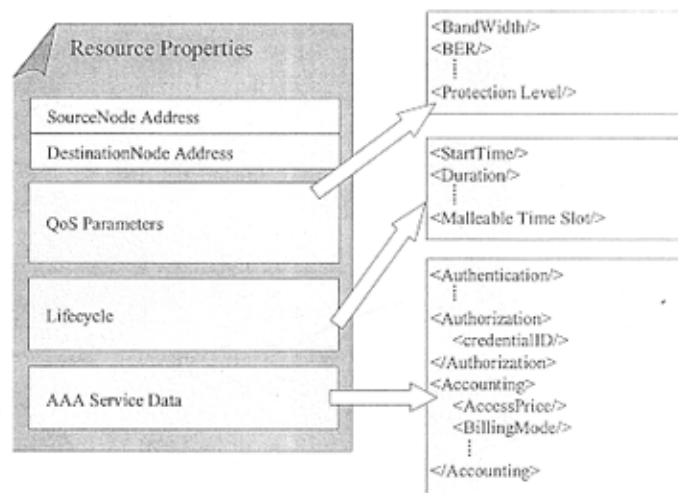


图 3-1 通用 Lightpath 资源属性描述模板示例

SourceNode Address 项和 DestinationNode Address 项描述了该 Lightpath 资源的起始和终结节点; QoS Parameters 描述了该 Lightpath 的 QoS 属性和光路参数,可能的选项有带宽、误码率、光路保护等级,信号功率等等; Lifecycle 定义了该 Lightpath 的生命周期,包括资源有效起始时间,持续时间等,值得注意的是 Malleable Time Slot 项,该项支持对 Lightpath 资源进行更灵活的生命周期管理,使得对资源的分配和调度更加平衡和有效。本文第 4.1 节详细探讨了该问题; AAA Service Data 保存了认证、授权、计费服务所需要的服务数据,利用基于 WS-Agreement 的动态协商机制,可以自动完成各个不同管理域间的服务协商,接入控制,计费等功能,有效地解决了跨多个管理域端到端光路管理和调度时所面临的动态服务协商和 AAA 问题。

WS-Resource 的 Web 服务操作接口定义了用户能够对资源执行的操作, 网络应用正是通过这些操作接口来配置资源的属性, 获得相关的服务。对 Lightpath 资源的操作主要包括创建光路、拆卸光路、重配置光路以及获取资源属性等。

- **CreateLightPath()** 根据 QoS, Lifecycle 等参数的约束和目的节点创建的一条光通路资源。这条光通路资源既可以是 Lightpath element, 也可以是聚合的 Per-Domain Lightpath 或者是 End-to-End Lightpath, 这依赖于网络服务提供商愿意给用户提供什么层次的控制方式。
- **ReconfigureLightPath()** 该接口允许用户或者是代理根据调度策略动态的(按需)配置和更改已有光通路的属性。
- **TeardownLightPath()** 提供了一种显式的方式来销毁资源和拆卸光路, 另外, 也可以根据 WS-ResourceLifetime 规范来对光通路的生命周期进行调度和管理。
- **GetResourceProperty()** 查询获取当前光通路资源的属性。
- **IsAvailable()** 查询当前光通路的状态是否可用。

通过将光网络资源的抽象和封装为 WS-Resource 形式的 Lightpath 资源, 网络应用获得了一个统一的光网络资源视图, 另外, 以 Web-Service 的方式所提供的服务接口, 隐藏了底层技术细节, 为网络应用提供了一种标准的, 与设备无关的资源管理和控制方式。然而, 这只完成了对光网络资源的建模, 下文我们讨论实现 Lightpath WS-Resource 的资源管理框架结构。

3.3 基于 WSRF 的光网络资源管理系统

对 Lightpath 的抽象和建模, 使得在网格环境下的光网络获得了和其它类型网格资源(例如存储和计算资源)一样的地位。因此, 可以通过对已有网格资源管理体系结构的扩展来实现对 Lightpath WS-Resource 的分配和管理。为了尽量做到和 OGSA 规范兼容, 我们选择在 Globus 项目中建议的 GARA(The General-purpose Architecture for Reservation and Allocation)通用框架^[27]上进行扩展。GARA 为不同类型的资源(包括 CPU, disk, networks)提供了一种提前预留和端到端的 Qos 管理机制, 并且提供了一个通用的资源协同分配管理框架, 其结构如图 3-2 所示。

GARA 分为四层, 最上层的 High-Level Layer 处理来自用户对资源的请求, 通过和 Information Service 交互获取所有资源的属性, 实现各种资源的协同分配。GARA Layer 在 Globus 安全体系框架(GSI)下, 实现对网格资源的安全预留。它提供的功能包括创建, 修改, 声明, 取消和监视资源。这些功能是通

过调用 LRAM Layer 的资源管理接口来实现的, LRAM Layer 实际上提供了对本地资源管理系统功能的封装, 负责将通过认证和授权的用户请求传递给底层的 Resource Manager Layer, 该层包括本地资源管理器, 负责具体执行各种资源分配和管理请求。

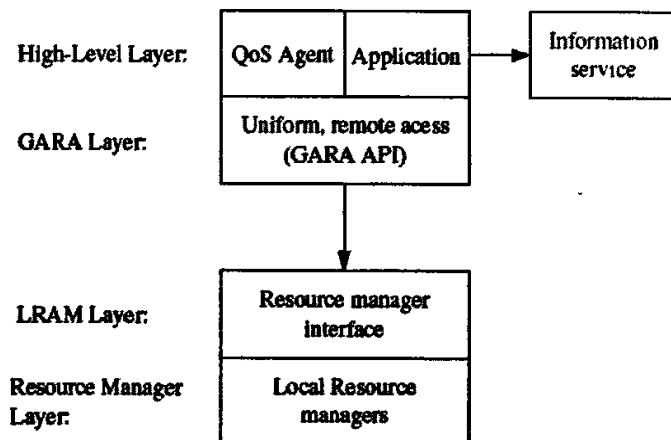


图 3-2 GARA 四层结构^[27]

GARA 为资源分配和管理提供了一个较为灵活的框架, 通过使用现有的区分服务 (DifferServ) 模型和带宽代理 (BB: Bandwidth Broker) 能够实现对现有 IP 网络资源的预留和 QoS 管理。然而, 目前的 GARA 并不支持对光网络资源的分配和管理, 并且, 由于缺少动态的服务协商机制, GARA 在协同分配多个管理域的资源时, 是不考虑多域间的不同管理策略或者是认为这些策略是静态的, 协商可以离线完成。这不符合现实世界复杂的情况, 也无法满足下一代网络业务中服务动态聚合的需要, 因此, 利用上文所提出的 Lightpath WS-Resource 模型, 我们扩展了 GARA 对光网络资源管理的能力, 并增加了 Agreement Agent, 采用 WS-Agreement 机制来处理多域间服务动态协商。在 GARA 基础上扩展后的光网络资源分配和管理体系结构如图 3-3 所示。

该扩展结构中, 第一层为 High-Level Layer, 并没有什么变动, Resource Broker 负责接收网络用户对资源的请求并要求 GARA Layer 层分配所需资源。

第二层为 GARA Layer, 该层实现了对 Lightpath WS-Resource 的分配、管理和调度, 并且还提供监控等其它类型的 Grid Network Service^[8]。最重要的是我们在该层引入了 Agreement Agent 组件, 实现基于 WS-Agreement 技术的动态服务协商, 以解决跨多个管理域创建光通路时的 AAA、调度策略和资源冲突问题, 保证上层的光资源调度策略能被所有参与的域所接受。

第三层为 LRAM Layer, 该层也称为网络服务层 (Network Service Layer),

是基于 WSRF 框架的 Lightpath WS-Resource 的具体实现。该层由多个 ONSE (Optical Network Service Element) 构成, 每个 ONSE 都对应着实际光网络控制平面中的一个或多个 CPE (Control Plane Element) [28]。ONSE 和控制平面间通过 O-UNI 信令进行交互, 实现对底层光网络的控制, 通过 Web Service 接口向上层组件提供抽象的 Lightpath 资源以及各种操作。值得注意的是, 作为可选的服务, 所有的 ONSE 也会向 Information Service 注册服务。因此, 第一层的 Resource Broker 也能够和本层的 ONSE 直接进行交互并以 peer-to-peer 的方式实现对 Lightpath 资源的控制和管理。

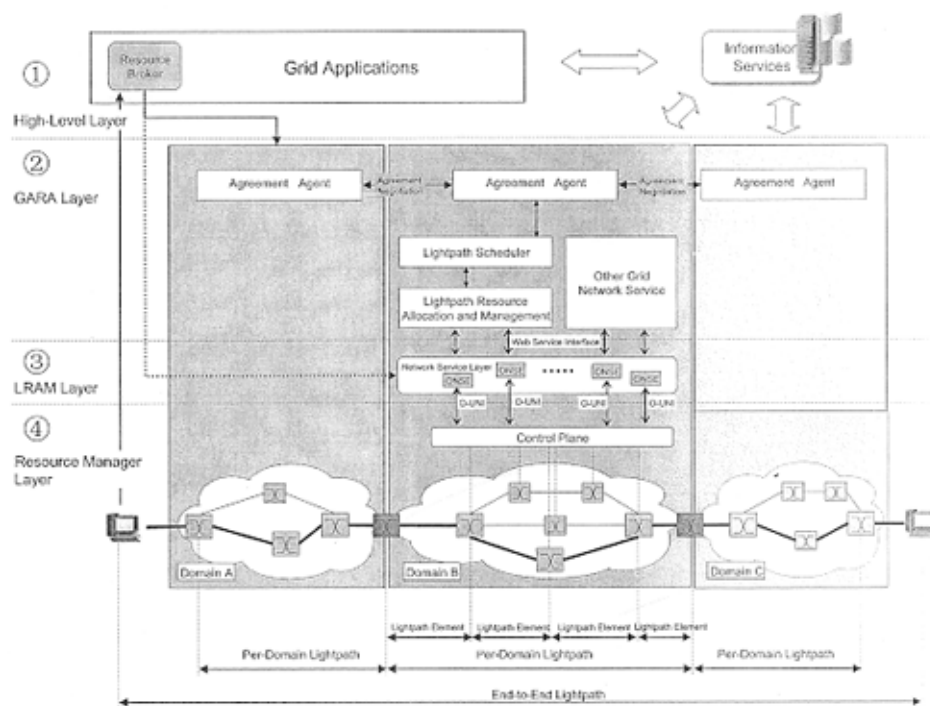


图 3-3 基于 WSRF 的光网络资源分配和管理的 GARA 扩展结构

第四层为 Resource Manager Layer, 为传统的光网络资源管理层。负责具体执行上层的光资源要求, 提供物理上的光通道。

另外, 图中还描述了 Lightpath Element, Per-Domain Lightpath 与 End-to-End Lightpath 三种资源之间的层次关系。显然, ONSE 的控制粒度只能达到 Per-Domain Lightpath, 因此 LRAM Layer 也只能提供 Lightpath Element 和 Per-Domain Lightpath 两种类型的资源, 要建立一条 End-to-End Lightpath, 需要在多个管理域之间进行协商, 由 GARA Layer 完成资源的汇聚, 向上层应用提供 End-to-End Lightpath 资源。

3.4 小结

本章讨论了网格环境下对光网络资源分配和管理的需求,通过对光网络资源的抽象和封装,使得用户获得了一个统一的逻辑光网络资源视图,赋予了网格用户管理和调度光网络资源的能力。另外,通过扩展 GARA 对光网络资源管理的能力,引入 Agreement Agent 和 WS-Agreement 机制解决跨域的资源调度和管理时面临的动态协商、调度策略和资源冲突问题,提出了基于 WSRF 的光网络资源分配和管理的 GARA 扩展结构,为下一代网络业务环境提供了一套更加灵活地管理光网络资源的机制,为实现将光网络资源和其它网格资源进行联合调度提供了技术基础。下一章,我们将在本章所提出的光网络资源管理框架基础上,研究网格环境下光网络资源的调度问题。

第四章 网格环境下光网络资源的调度

资源调度是资源管理的核心，它的重要性显而易见，调度方案的性能会直接影响网络资源的利用率，资源分配的均衡性和负载的平衡性，从而直接影响到光网络的阻塞概率和服务质量。

虽然 WDM 光网络的传输带宽一般很大，然而，光纤和波长都是有限的资源，网格环境下分布式服务和资源聚合的特点，以及数据密集性和计算密集性业务的增长，都要求资源管理系统能够合理地调度光资源，提高网络资源利用率和对资源请求的接受率。

将光网络资源抽象和封装为 Lightpath WS-Resource 后，可以将光网络视为普通的网格资源，并能与常规的计算、存储等服务资源一起进行联合调度，这不仅有利于提高传统网格应用的性能和服务质量，同时也给光网络资源调度问题的解决提供了一种新的思路。具体来说，网格资源的联合调度实际上赋予了光网络资源管理系统对业务请求进行调度的能力，使得对光资源的调度更加灵活有效。

本章讨论了网格环境下光网络资源调度的关键问题，提出了基于经济模型的 GRACIE (GRid Architecture for optiCal Internet Economy) 光网络资源调度网格框架和相关的调度策略。

4.1 网格环境下光网络资源调度的一些关键问题

既然我们以 Lightpath 作为为网格环境下可管理的光资源，很明显，资源调度的核心问题之一是合理地选择路由，以及调度和分配光波长。在传统的光网络资源管理领域，这个问题被称为 RWA (路由和波长分配: Routing and Wavelength Assignment) 问题，人们已经进行了深入的研究，提出了各种策略和算法^[29]来优化路由选择和波长分配。

然而，网格所提倡的是全球范围内的资源协作和共享，提倡面向用户的，无缝的资源提供和服务质量保证。因此，网格环境下的光网络资源调度既要突破传统的单系统(单运营商)的范围，从全局的视角来优化整个网格环境的资源配置，又必须屏蔽底层异构资源的技术细节，自动完成不同管理域间资源的协调和协商，向用户交付无缝服务并提供面向用户的服务质量保证。概括来说，网格环境下光网络资源调度面临的关键问题主要包括以下几个方面。

4.1.1 如何减少资源碎片

网格应用通常需要地理上分布的多个资源和服务联合完成,因此,资源必须被提前预留以保证服务质量。然而,提前预留会产生资源碎片问题^[30],通常会降低资源的利用率和请求接受率。所谓资源碎片,是指无法满足用户请求的时间范围或带宽(波长数目)范围,从而被浪费的光资源。图 4-1 形象化地说明了资源碎片的概念和产生的原因。图中,每一个矩形代表一个 Lightpath 请求 R,如图 4-1(b) 所示,请求 R 包括要求的带宽(波长数),占用资源时间(duration)等信息。图 4-1(a) 说明了资源碎片产生的原因,横轴代表时间,纵轴代表可用波长数(可用带宽)。从图中可以看出,当后续 Lightpath 请求到达后,在其所要求的占用时间范围内,如果网络剩余的波长数目无法满足需要,那么该请求就会被拒绝,同时,这段时间的资源得不到利用,就成为资源碎片,如 4-1(a) 中的斜线部分所示。

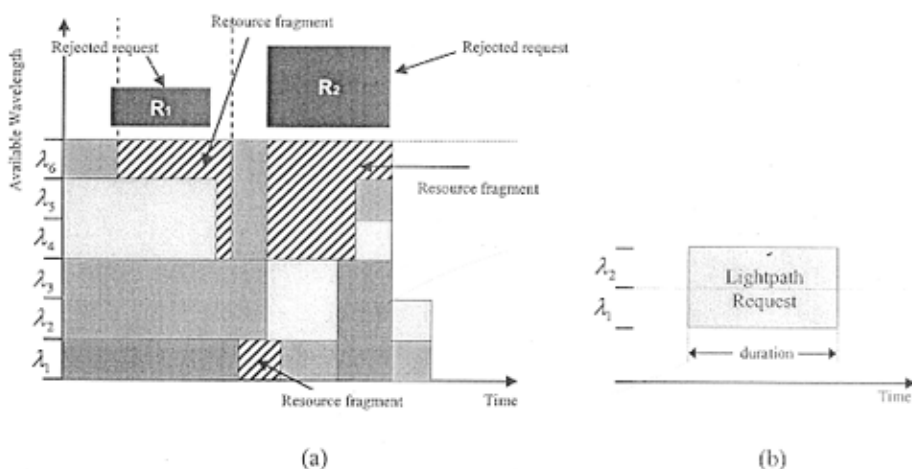


图 4-1 资源碎片及其产生原因

资源碎片越多,造成网络资源越浪费,从而可以接纳的 Lightpath 建立请求就越少,相应地全网的阻塞率就会提高。事实上,从图 4-1(a) 可以看出,在请求所要求的占用时间范围内,资源碎片(斜线部分)的总面积是大于被拒绝的请求(黑色矩形)的面积,这说明系统的容量实际上是能够满足请求的需要的,只是由于对资源占用时间分配不均匀,才造成了资源的浪费。例如,对于图中被拒绝的请求 R_1 ,假设其要求的预留开始时间能够稍微推迟一点,那么该请求就不会被阻塞;对于被拒绝的请求 R_2 ,假设我们压缩其占用时间(同时增加其请求的波长数,这样该请求要求传输的总数据量可以保持不变),或者拓展其占用时间(同时减少其要求的波长数),那么,该 Lightpath 请求就不会被拒

绝。已有的研究表明^[30~32],如果用户对资源占用时间范围或带宽范围允许有一定的伸缩性的话,通过改进调度算法,可以减少资源碎片,提高资源的利用率,从而降低全网的阻塞概率。

这种假设的实质就是要求能够对用户的请求进行调度。显然,网格环境下对资源进行联合调度的能力为这样的假设提供了技术基础。然而,我们还需要一种适当的机制来激励用户放宽一些低优先级任务对光资源请求的带宽或时间约束。

4.1.2 如何均衡地处理资源请求

在网格环境下,如何均衡地处理请求并合理分配光资源问题可以从 3 个不同的角度来考虑:

(1) 链路业务负载均衡:这是指将业务均匀分配到各个通信链路上,避免由于某个链路承载过多的业务量而导致网络阻塞。传统上,这是属于流量工程(Traffic Engineering)解决的问题。在动态 RWA 实现中,可以通过全局最大总和、相对容量损失、最小影响、相对最小影响等波长分配算法^[33],将 Lightpath 建立请求平均分配到各个链路中,避免形成链路瓶颈。

(2) 时间轴上的负载均衡:一般来说,业务请求到达时间服从一定的概率分布。从时间轴上看,网络负载有忙时和闲时的区别,由于网格环境下能够实现对服务和资源的联合调度,这就有可能通过一些调度措施(例如价格机制),促使用户在解决低优先级问题和业务时后退,调节到资源不那么繁忙的时候完成,实现拥塞控制以达到时间轴上的负载均衡。

(3) 整个网格环境的负载均衡:从狭义上来理解,在下一代网络中,网络提供商和网络服务提供商的分离,使得网格应用有机会在多个服务提供商之间选择 Lightpath 资源。很明显,如何调节用户和服务提供商之间的供需平衡,达到光资源在整个网格环境的合理配置,是一个值得研究的问题。更进一步来说,从广义上来理解,如何达到各种不同类型的网格资源在整个网格环境的合理配置,形成良好的产业价值链,是更具有挑战性的研究课题,Rajkumar Buyya 等提出的网格经济学^[34,35]对此做出了有益的探索。

4.1.3 如何全局协同和动态协商处理资源请求

这个问题有两个方面,一是服务提供者之间的协同调度和协商。跨多个管理域的 End-to-End Lightpath 的建立和管理通常需要多个域资源管理器共同完成,同时,由于各个域具有不同的管理策略,服务提供者之间通常需要对接入

价格, AAA, QoS 保证, 服务违例处理等问题进行协商。

二是用户和服务提供者之间的协商, 用户和服务提供者通常有着不同的效用函数, 从用户的角度来看, 总是希望选择尽可能便宜和性能好的资源来完成自己的任务, 从服务提供者来看, 总是希望自己的资源能够得到充分的利用并获取最大的利益。双方同样需要在服务价格、QoS 保证, 服务违例处理上达成一致。由于用户的需求和资源的属性总是在不断地变化, 甚至在业务执行期间, 这种变化也会频繁发生, 因此, 对资源和服务的动态调度成为网格环境下资源管理具有挑战性的问题。

4.1.4 如何实现面向用户的服务质量保证

由于缺少对上层业务请求的详细信息, 传统的光网络管理系统存在一个共同的缺点: 只能从底层面向系统的角度, 而不能从面向用户的角度来管理和调度光资源。系统只对不同类型的业务流划分等级并提供不同等级的服务质量保证, 无法针对具体的某个用户或者是应用提供精细化、个性化的服务质量管理。当出现服务质量不能让用户满意的情况时, 服务提供商往往没有办法诊断所出现的问题。为了留住用户, 供应商在他们的系统和基础设施上增加过量的资源, 以冗余换取可靠的服务保证来满足用户的需求, 而这种办法实现起来开销太大, 所以必须找到一种新的方式来解决这个问题。

同时, 网格用户对服务的要求日益朝着多样化、精细化、个性化的方向发展。例如, 网格用户对于一个 Lightpath 资源请求, 不仅仅包括带宽、预留时间窗口、持续时间等传统的 QoS 参数, 还可能包括保护机制、恢复时间、服务降级性能参数等违例处理参数, 甚至还可能包括用户的一些特殊的个性化要求, 例如要求路由必须经过某些节点等等。

将光网络资源抽象封装为网格资源后, 能够在 OGSA 这个统一的业务管理体系结构下控制和调度各种资源, 利用服务等级协商 (Service Level Agreement, SLA^[36]) 机制, 资源管理系统可以获得用户对资源的详细要求, 这使得提供面向用户的服务质量保证成为可能。关键的问题是需要制定一个普遍认可的统一规范来实现异构的, 不同管理域之间资源和服务的协商机制。

4.2 GRACIE: 基于经济模型的光网络资源调度网格框架

从以上分析来看, 将光网络资源抽象和封装为 Lightpath WS-Resource 后, 我们能够像调度其它类型网格资源一样来调度光网络资源, 这使得我们对光网络资源的分配和管理更加灵活, 同时网格环境下的光网络资源调度也面临着一

些新的问题。上文所提到的资源碎片,资源分配与负载均衡,协同调度与动态协商问题以及面向用户的服务质量保证问题,仅仅依靠传统的光网络资源调度方案是无法全部解决的。另外,经典的网格资源调度方案是针对计算和存储资源的,要么专门面向特定的应用,例如 Legion^[37],调度时只考虑局部最优,完全不考虑调度方案对整个系统的影响,难以实现对全局资源的优化配置;要么由于可扩展性的问题,虽然面向整个系统的性能优化,却只能用于小规模的网络系统,满足不了下一代网络业务应用的需要。

澳大利亚 Monash 大学的 Rajkumar Buyya 等研究人员,将网格环境同市场环境进行类比,提出了网格经济学^[34],利用经济学模型来管理和调度网格资源(主要是计算资源)。在这种方案中,用户作为买方,资源的拥有者作为卖方,而资源调度过程就是买卖双方的交易过程。Buyya 等研究人员还提出了计算经济学的网格框架—GRACE (GRid Architecture for Computational Economy),将宏观经济学和微观经济学中的各种经济模型应用到网格资源调度中,他们在 Nirmrod-G^[38]下实现了该框架,并且在 WWG 实验床 (World-Wide Grid Testbed) 上验证了其有效性,其仿真的结果表明 GRACE 能够有效地调节网格环境下计算资源的供需平衡,实现全局资源的合理分配。

GGF 接受了网格经济学的观点,并成立了专门的工作组来研究该方案,认为该方案有助于鼓励资源共享,有利于全局资源的合理配置并形成良好的网格生态环境和产业链。一般认为,在网格环境中采用经济模型来管理系统资源有以下优点:

- (1) 鼓励资源拥有者贡献他们的空闲资源并能从中获利,有助于建立大规模的网格系统。
- (2) 提供任何用户都可以公平地存取网格资源的基础。只要资源使用者通过一定规则,加入到网格环境中来,就可以与其它使用者公平地竞争资源。
- (3) 有利于调节网格资源的供需平衡。当供不应求的时候,通过提高资源价格,可以减少资源使用者,增加资源供给;当供过于求的时候,通过降低资源价格,可以增加资源使用者,减少资源供给,使资源供求在平衡点波动,实现全局环境的资源优化配置和负载均衡。
- (4) 提供了一种经济激励,促使用户解决低优先级的问题时后退,这样,有利于实现阻塞控制,达到时间轴上的资源负载均衡。
- (5) 允许资源使用者表达他们的需求和目标。
- (6) 资源使用者和资源提供者能够根据自己的实际情况做出抉择,最大化各自的效用和利益,符合现实世界的实际情况。

显然, 网格经济模型的这些优点, 正好有利于解决 4.1 节提到的网格环境下光网络资源调度所面临的关键问题。例如: 可以通过价格机制来激励用户放宽一些低优先级任务对光资源请求的带宽和时间约束, 结合优化的调度算法, 有效地减少资源碎片; 可以通过价格杠杆, 促使用户解决低优先级任务后退, 从而实现阻塞控制, 达到时间轴上的资源负载均衡; 通过应用恰当的经济模型来调度资源, 实现资源的供需平衡, 从而实现整个网格资源的均衡配置。基于这样的原因, 虽然 GRACE 框架是专门针对计算资源调度而提出的, 我们相信, 其基本思想和经济模型同样可以适用于光网络资源的调度。利用第三章提出的基于 WSRF 的光网络资源管理框架, 我们扩展了 GRACE 对于光网络资源管理的能力, 提出了基于经济模型的 GRACIE (GRid Architecture for optiCal Internet Economy) 光网络资源调度网格框架和相关的调度策略。

和 GARCE 相比, GRACIE 框架不但扩展了其对于光网络资源进行管理的能力, 还引入 WS-Agreement 机制来完成用户请求和资源管理系统之间的协商, WS-Agreement 作为一种实现服务间协商的规范, 其定义的基于 XML 文档的协商合同文件和操作更具有规范性; 它是基于 OGSA 框架的, 采用了第三方监测措施, 直接测量服务性能, 能够实行连续的协商, 在运行时也保证协商条件。因此, GRACIE 框架可以实现动态协商, 同时也具备了提供面向用户的服务质量保证的技术基础。

4.2.1 GRACIE 框架结构

GRACIE 对 GRACE 的扩展主要包括两个方面, 一是增加了对光网络资源管理和调度的能力, 二是采用更加完善和标准的 WS-Agreement 机制, 用 Agreement Agent (AA) 替代了 GRACE 中的 Trade Server 和 Trade Manager。GRACIE 框架结构如图 4-2 所示。

首先有必要介绍一个图 4-2 中没有表现, 但很重要的概念: 网格货币 (Grid Currency, GC)。它是网格环境中的一般等价物, 对所有网格资源的计量都可以按比例转化为对这种网格货币的计量。网格货币与现实生活中的货币有着一定的对应关系, 最终可以转化为现实生活中的货币。本文也以网格货币作为计量 Lightpath WS-Resource 价格的基本单位, 后文简称 GC, 不再赘述。

GRACIE 中两个最重要的角色是网格资源代理 GRB (Grid Resource Broker) 和光网络服务提供者 NSP (Network Service Provider—对应于 GRACE 中 Grid Service Provider)。请求的调度、价格协商以及 Lightpath 资源的调度和提供主要就是由这两个角色完成的。

在 OGSA 通用中间件服务 (例如网格信息服务 Grid Information Service, 网

格安全基础设施 Grid Security Infrastructure) 的基础上, 网格资源代理 GRB 扮演着用户和网格资源之间的中间人的角色^[34], 它负责资源发现、根据网格用户的需求和策略, 实现资源选择和调度等功能。在 GRACIE 中, GRB 通过 Lightpath 请求代理 LRB (Lightpath Request Broker) 向网络服务提供者请求各种 Lightpath 资源。特别地, 如果 NSP 开放了 Network Service Layer 的服务接口的话, 经过安全认证和协商, GRB 也可以直接调用 ONSE 的接口, 实现对光网络资源 peer-to-peer 模式的控制。

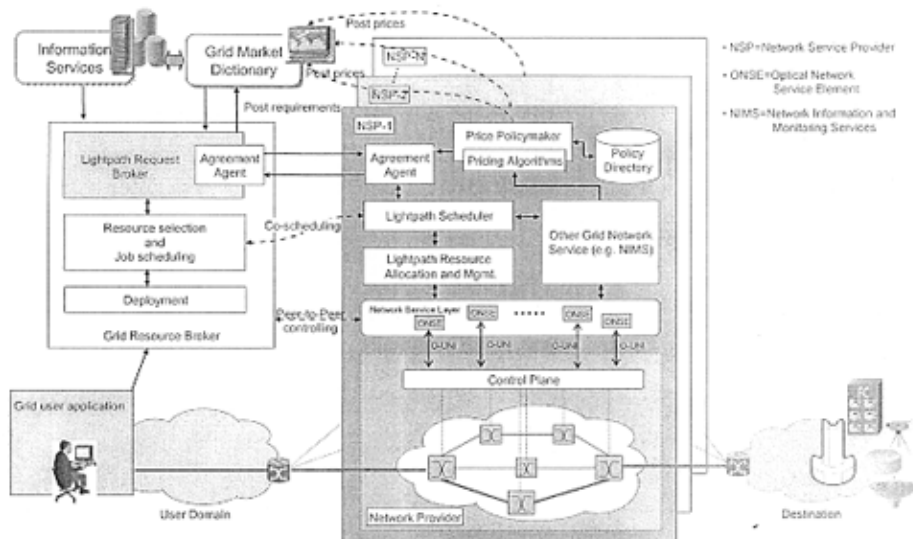


图 4-2 GRACIE: 基于经济模型的光网络资源调度网络框架

光网络资源提供者 NSP 是提供 Lightpath 资源和服务的实体, 其管理光网络的基本框架在第三章中已做了详细描述。在 GRACIE 中, 增加了定价组件和策略以通过价格杠杆来调节资源供给和需求。另外, 值得注意的是, 和传统的电信网络环境不同, GRACIE 中网络提供者 (Network Provider) 和网络服务提供者 (Network Service Provider) 是分开的。网络提供者是拥有、管理和维护物理光网络的实体, 而网络服务提供者在网络提供者之上, 利用后者的基础设施为用户提供更高层次的服务。二者之间的关系是多对多的关系, 网络服务提供者可以使用多个网络提供者的基础设施来为用户提供服务, 一个网络提供者也可能为多种不同类型的网络服务提供者提供基础传输设施。这种服务提供商和网络基础设施提供商分离的模式, 减轻了网络提供商的维护和管理负担, 有利于资源的节约和充分利用; 对用户而言, 这隐藏了底层传输网络复杂的技术细节和异构性。同时由于业务提供与传输平台分离, 谁都可以向网络提供者租用基础设施并提供不同的服务, 必将出现比基础网络提供商多得多的服务提供商, 用户也有机会在多个服务提供商之间比较选择 Lightpath 资源, 从而引入服务竞

争机制,建立良性的产业价值链。

网格市场目录 GMD (Grid Market Dictionary) 是网格经济模型中新引入的一种信息服务。它为网格资源代理提供各种有效资源的动态和静态价格信息,网格资源代理根据这些信息和网格用户的需求,进行代价分析,选择合适的 Lightpath 资源和任务执行调度策略。同时,用户也可以把自己对资源的特殊需求张贴到 GMD 上,邀请多个光网络服务提供商来竞标以选择符合自己要求的资源。另一方面,NSP 通过 Price PolicyMaker 组件,根据网格市场的供需情况、网络负载情况和市场策略,动态计算 Lightpath 资源的使用价格并发布到 GMD 上供用户选择。

根据经济学中的利己主义原理,在网格市场中,网格用户,服务提供商都有各自的需求和目标需要满足,有各自的效用函数需要最大化。双方需要进行协商以达到共识,这也就是 4.1.3 节所提到的协同调度与动态协商问题,在 GRACIE 框架中,这个功能是由协商代理 AA (Agreement Agent) 来完成的,AA 采用 WS-Agreement 来执行 GRB 和 NSP 之间的价格协商和交易。和 GRACE 中原有的交易协商机制相比较,WS-Agreement 是 GGF 建议的服务协商机制^[8],更加完善和标准化,不仅仅能实现价格的协商和交易,还能够支持更加复杂的动态协商模型(例如服务等级协商 SLA)。

4.2.2 GRACIE 中的经济模型

经济学中的许多理论和模型,包括宏观经济学和微观经济学原理,都可以应用在网格环境中进行服务价格协商和交易,实现资源分配。常用的经济学模型^[34,35,39]包括以下几种:

(1) 商品市场模型 在商品市场模型中,由服务提供者指定资源或服务的价格,并根据用户消费的资源数量进行计价收费。服务提供者有自己的定价策略,资源的价格可以是不变的,也可以随着资源的供需关系和资源的负载情况变化而变化。该模型也是本文所建议的对 Lightpath 资源进行调度的经济模型,4.3 节将详细分析该模型在 GRACIE 中的应用。

(2) 标价模型 标价模型与商品市场模型类似,不同的是在标价模型中,资源提供者可以通过作广告和降价等手段,吸引顾客^[40]。在 GRACIE 中,应用该模型,通过给予那些愿意放宽对 Lightpath 资源请求的时间约束的用户更多的价格折扣,以便于应用改进调度算法,减少资源碎片和提高资源利用率。

(3) 议价模型 在议价模型中,资源代理为了满足用户的调度策略要求,获得更低的价格和更长的使用时间,可以和服务提供商讨价还价。资源代理和服务提供商代理都有自己的目标函数,只要目标达成一致,就可以完成协商。也

许开始的时候, 双方提出的初始价格并不一致, 它们互相让步, 最终达到一个彼此都可以接受的价格或者某一方不愿意再让步了, 退出议价过程。在这种模型中, 由于服务提供商可能会为了不让自己的资源浪费, 而降低价格, 因此网格用户可能以更低的价格获得性能更好的资源。但是, 议价过程会消耗一些资源和时间, 而且, 如果双方不能取得一致的价格, 资源和时间就浪费了。

(4) 招标/合同网模型 该模型是在分布式环境中服务协商使用的最广泛的模型之一^[41]。在该模型中, 网格用户可以在 GMD 中张贴自己对资源的需求, 邀请多个服务提供商竞标, 从中选择最合适的资源。该模型比较适用于资源比较丰富, 供过于求的情况, 能够为用户的任务提供最好的资源和最优的性能。

(5) 拍卖模型 拍卖模型支持一个服务提供者 and 多个网格用户之间一对多的商议, 该模型需要一个中立的拍卖人起仲裁和公正的作用, 这个角色可以由 GMD 来担当。该模型适用与资源比较稀有, 供不应求的情况, 能够为资源提供者带来最大的利益。

(6) 基于投标的均衡资源共享模型^[42] 在这个模型中, 分配给用户 A 使用的资源数量与分配给用户 B 使用的资源数量的比例等于 A 用户出价与 B 用户出价的比。也就是说, 出价相对越高, 使用的资源数量相对就多, 例如, 考虑三个用户同时请求一种类型的资源, A 用户出价 1GC, B 用户出价 2GC, C 用户出价 3GC, 那么, 资源分配的结果是, A 用户得到 1/6 的资源, B 用户得到 1/3 的资源, C 用户得到 1/2 的资源。这种模型能够解决一个用户长期独占资源的问题, 有利于实现资源的公平共享。

GRACIE 的框架结构是通用的, 根据用户的需求和不同的应用场景, 以上提到的各种经济模型都可以应用到 GRAICE 中实现对 Lightpath 资源的管理和调度。其中, 商品市场模型是最基本的经济模型, 能够清晰地反映出资源的供应和需求在价格杠杆调节下的变化状况。因此, 下一节我们讨论基于该模型对 Lightpath 资源进行调度的策略和算法。

4.3 基于商品市场模型的 Lightpath 调度

4.3.1 商品市场模型

根据微观经济学理论^[43], 在商品市场模型中, 所有的商品都在一个中心地点公开交易。商品市场模型一个重要的特点就是所有在市场上交易的同类货物, 无论该货物是属于哪一个供应者的, 这些同类货物都是可互换的。在没有产生货币这种一般等价物以前, 不同的货物通过相互交换时数量的比例来衡量货物

的价值,货币产生后,价格就成为衡量各种货物价值的计量单位。

商品市场模型是一个开放的,自由竞争的市场模型,所有商品的价格是公开的,商品所有者决定商品的价格并且根据用户消耗的商品来计价。用户根据自己对商品的需求,自行决定是否购买。

价格与自由竞争原则在调节供需平衡和资源分配方面起着重要的作用。关于价格与供求关系,在西方经济学里,有三条著名的定律:

(1) 需求定律:当某一种商品价格上升时,在其它条件不变的情况下,它的需求量将减少。

(2) 供给定律:当其它条件不变的情况下,供给量随着价格的上升而增加,随价格下跌而减少。

(3) 供求定律:由于供求关系的变化,市场价格将在均衡价格上下波动。

市场价格的形成取决于需求与供给两方面的作用,需求价格与供给价格相一致时的价格,称为均衡价格 (equilibrium price),均衡价格是通过市场需求关系自发调节而形成的。与均衡价格相对应的商品交易量,即需求量与供给量相等的商品数量,称为均衡数量。图 4-3 描述了均衡价格的形成过程。

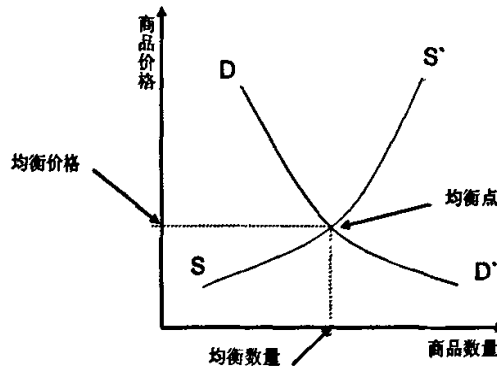


图 4-3 均衡价格的形成^[43]

图 4-3 中 SS' 为供应曲线, DD' 是需求曲线。两条曲线分别反映了需求定律和供给定律的作用,二者相交的地方就是均衡点,分别对应着横轴的均衡数量和纵轴的均衡价格。经济学中的均衡理论认为,市场上的资源在到达均衡点时,供需平衡,资源达到最合理的配置。

很明显,这些理论揭示了需求关系变化和竞争促使资源配置自动达到均衡状态的原理,将这些理论映射到 GRACIE 中对 Lightpath 的调度策略进行分析时,结合商品市场模型定价方式和自由竞争的原则,我们可以得出以下结论:

网络服务提供商根据用户对 Lightpath 资源的需求量和网络负载情况来定价,也就是说,当用户需求增加导致网络负载高,可供出售到市场上的 Lightpath 资源减少,供不应求,则提升价格获取最大的利益。当用户需求减少时,网络

负载降低, 可供出售到市场上的 Lightpath 资源增加, 供过于求, 则降低价格以吸引用户。

在用户这一方面, 如果某个网络服务商的 Lightpath 资源价格高, 那么网络用户要么选择其它提供商 (竞争者和可替代商品的出现是由供给定律推动的); 要么将自己的请求推迟到网络负载较低的时间段, 等待资源降价。

最终, 在供求关系的变化和自由竞争机制的推动下, 整个系统达到供需平衡的均衡点状态, 或者在均衡点上下波动, 实现资源在全局视图下的最佳配置和分配。

由以上的分析可见, 价格杠杆是资源调度时最重要的调节方式, 下面我们给出 Lightpath 资源的定价策略和算法。

4.3.2 定价策略及算法

定价策略可以分为静态策略和动态策略。在静态策略中, Lightpath 的价格固定不变, 或者很长时间才变动 (通常是手动调节), 价格收敛很慢, 显然不适合我们的需要。在 GRACIE 中, 我们采取了动态策略, Lightpath 的价格是随着供求关系动态调整的。一方面, 价格随着光网络的负载情况浮动, 另一方面, 由于价格机制对供求关系的影响, 价格浮动也影响着光网络负载的变化。因此, 定价的关键是决定价格调节的策略和算法。

价格调节的目标是形成均衡价格, 并通过价格的浮动来反应供需动态变化情况, 向网络用户传递资源忙闲程度的信号。在自由竞争机制和利己主义原则共同作用下, 促使资源的供需达到平衡, 实现资源在全局的均衡配置和分配。

首先我们来看均衡价格的形式化定义, 定义 n 维向量 $x = x_1, \dots, x_n$ 表示 n 类商品集, 其对应的价格向量为 $p = p_1, \dots, p_n$, 那么对于一个给定的价格向量 p , 定义此时的需求集为向量 $d = d_{x1}, \dots, d_{xn}$, 供应集为向量 $s = s_{x1}, \dots, s_{xn}$, 那么过剩需求向量 $z = d - s$, 表示在这个价格水平上商品供应和需求之差, 它应当是价格向量 p 的函数, 表示为 $z = z(p)$ 。按照经济学中的均衡理论, 当商品的供应等于需求时就达到均衡点, 即 $z(p_e) = 0$, 此时的价格 p_e 就代表均衡价格。

根据该定义, 给出 Lightpath 资源的价格调整策略如下:

- p_0 表示初始价格, p_e 表示调整后的价格, 每一次价格调整后, 将新的价格赋予 p_0 作为下一次调节的初始价格。
- $RL(t)$ 表示光网络当前的负载情况, 可以有多种含义来代表, 例如平均波长占用率、剩余可用波长数、剩余信道容量等。
- $RL_{avg}(t)$ 代表时间 t 之前光网络的平均负载情况, 可以统计得出。
- $RL_{threshold}(t)$ 代表价格调整时, 光网络负载的阈值。由资源提供者决定,

在某些情况下,资源提供者可能需要额外保留一些资源用于自己本身的业务或者是高优先级的请求,这时可以降低该阈值。

- $R_z(t) = RL(t) - \text{Max}(RL_{avg}(t), RL_{threshold}(t))$, 代表资源供应和需求之间的差值, 由于在现实中, Lightpath 资源的供应和需求很难得到精确的测量, 考虑到用户请求数量和网络负载的关系, $R_z(t)$ 间接表现了资源供应和需求之间的差值, 注意到只有当负载高于阈值 $RL_{threshold}(t)$ 时才会开始价格调整。
- ν 为价格调整的速率参数。
- ε 控制价格调整算法的灵敏度。

价格调整算法如下:

```

1   $R_z(t) = RL(t) - \text{Max}(RL_{avg}(t), RL_{threshold}(t));$ 
2  If  $|R_z(t)| > \varepsilon$ 
3  {   $p_e = p_0 + R_z(t) * \nu;$ 
4      While  $p_e < 0$ 
5          {   $\nu = \nu/2;$ 
6               $p_e = p_0 + R_z(t) * \nu;$ 
7          }
8       $p_0 = p_e;$ 
9  }
```

该价格算法的基本思想是非常直观的, 当光网络的负载超过门限值 (表示供不应求), 即 $R_z(t) > 0$ 时, 价格上升; 反之, 当负载低于门限值 (表示供大于求) 时, 价格下降。并且价格升降的速率和 $R_z(t)$ 的绝对值成正比。这种价格调节方法在经济学中称为 Tatonnement 过程^[44], 该过程收敛于均衡价格, 并且仿真分析表明其收敛的速度很快。

除此之外, 价格还受到其它多种因素的影响, 例如资源本身的属性和性能, 占用时间的长短, 资源提供商的市场策略等。因此, 实际发布的 Lightpath 资源价格为 $p = f \cdot p_e$, f 表示定价策略对价格的影响。

例如, f 可以是折扣因子, 表示为用户的 Lightpath 请求中, 对时间范围的约束性函数, 用户对时间范围约束性越宽, 则折扣就越高, 从而资源的实际价格就越低。设用户要求对资源的占用时间长度为 $T_d = t_{end} - t_{start}$, t_{start} 为预留开始时间, t_{end} 为预留结束时间, 设调节参数 $c > 0$, 表明用户允许资源预留开始时间和结束时间在时间窗口 $[t_{start}, t_{end} + cT_d]$ 之间变化, 那么定义 $f = k/c$, ($0 < k < c$), 其中 k 为调节因子, 调节折扣的变化幅度。可以看出, c 的值越大, 折扣越大, 表示用户对时间范围的约束性越宽, 所获得的资源价格就

越低,从而鼓励用户放宽对预留时间范围的约束,有利于减少资源碎片,提高资源利用率和降低请求阻塞率。

值得注意的是,仿真结果表明,当预留时间窗口拓宽到一定程度后, c 值对全网阻塞率的影响减小。因此,当 $c > 1$ 后,折扣调节因子 k 还用于调节折扣变化的速度, c 越大,折扣变化的速度应当越小。

4.3.3 Lightpath 请求调度与阻塞控制

在网络经济模型中,当只考虑传统的计算和存储资源来执行任务时,所采用的调度算法有时间最优算法、费用最优算法,有预算约束的时间最优算法和有时间约束的费用最优算法等^[34]。在考虑将光网络资源和其它网络资源进行联合调度后,Lightpath 资源的预留时间范围和费用也成为需要考虑的因素。不失一般性,我们考虑以下两种情况:

在执行时间最优调度算法时,Lightpath 的预留时间范围的约束性要求比较严格,用户宁愿多付出一些费用,而不愿意放宽对时间范围的约束,也不愿意将任务执行的时间后延。

在执行费用最优调度算法时,Lightpath 的预留时间范围的要求比较宽松,用户总是希望以较低的价格获得 Lightpath 资源,在总的时间范围内,用户愿意放宽时间范围的约束和将任务的执行时间后延。

无论是那种情况,根据利己主义原则,在保证所商定的服务质量的情况下,理性的消费者总是愿意尽可能地选择价格便宜的服务提供商。

另外,价格杠杆促使用户对 Lightpath 请求进行调度,这实际上使得光网络资源提供商能够间接地实现阻塞控制。这有些类似于 TCP 的拥塞控制原理,虽然我们可以采用多种优化措施来改进 RWA 算法,提高资源利用率来降低阻塞率,然而,网络阻塞的根本原因还是用户请求 Lightpath 的到达速率超过了网络的承载能力,针对阻塞的真正解决方案是降低请求速率。

根据以上分析,给出请求调度策略如下:

- $U(p, t_{window}, r)$ 为用户的效用函数,表示用户请求 Lightpath 资源时的要求,一般是价格 p 和对预留时间窗口 t_{window} 要求的函数,也包括对资源属性 r 的要求。资源请求代理 GRB 根据该函数选择 Lightpath 资源。
- $t_{window} = [t_{start}, t_{end} + cT_d]$ 为前文所提到的预留时间窗口。
- c 为调节参数,调节预留窗口的大小,初始值为 0,表示缺省状况下,用户不愿意放宽对时间范围的约束,必须通过价格机制进行调节。
- Δt 表示如果请求不成功的随机等待时间。

请求调度的算法如下:

- 1 从 GMD 获取所有可用 Lightpath 资源的属性和价格列表;
- 2 对每一个资源, 根据效用函数 $U(p, t_{\text{window}}, r)$, 按照价格最低的原则, 进行选择匹配;
 如果匹配成功, 则转移到第 3 步。
 如果匹配失败, 则执行以下操作
 - a) 如果是时间最优调度的策略, 等待 Δt 时间后, 转移到第 1 步。
 - b) 如果是费用最优调度的策略, 则增加参数 c 的值, 转移到第 2 步重新匹配。

3 算法结束, 向相应的 NSP 发送创建 Lightpath 请求。

以上的算法兼顾了时间最优和费用最优两种策略, 根据用户的效用函数来选择和匹配光资源, 在满足用户的需求的前提下, 尽可能选择价格低的 Lightpath 资源。另外, 该算法具有阻塞控制的功能, 当整个网格环境的资源都比较繁忙的时候, Lightpath 的价格较高, 用户无法匹配到自己需要的资源, 这时, 要么稍候再请求, 等待其它用户释放资源, 要么放宽自己对预留时间的要求, 从而有效地减轻网络的负载, 减少资源碎片, 降低阻塞概率。

4.3.4 Lightpath 资源创建控制

Lightpath 资源创建的核心问题是路由和波长分配, 即 RWA 问题。对于每一个到达的 Lightpath 资源请求, NSP 运行 RWA 算法, 在用户要求的预留时间窗口内选择路由和波长, 如果成功, 则创建光通路, 提供 Lightpath 资源给用户, 否则, 如果无法找到合适的资源, 那么用户的这次请求就被阻塞。

一般来说, Lightpath 创建的请求类型通常分为静态和动态请求。对于静态的业务, RWA 的目标是对于事先确定的一定的业务需求进行适当的波长分配, 使得网络的初期建设成本最低, 通常采用整数线性规划方法进行分析。动态业务是指连接请求可以随机到达, 并且各个连接在一定的保持时间之后需要被拆除, 动态 RWA 问题的目标是使网络运行过程中新到达的连接请求被阻塞的概率最小, 动态 RWA 问题被证明是 NP (非多项式时间内可解) 的问题, 通常采用启发式的算法来解决。

很明显, 动态 RWA 问题是我们要考虑的主要问题。通常, RWA 问题可以拆分为两个子问题来考虑, 即路由选择问题和波长分配问题:

(1) 路由选择的策略是指为新到达的业务在业务接入点间选择一条优化的物理路由, 通常是基于最短路由进行选取。常用的策略有固定路由选路策略 (Fixed Routing), 自适应的备用路由选路策略 (Adaptive Alternated Routing),

固定的备用路由选路策略 (Fixed Alternated Routing) 三种。其中固定路由选路策略的阻塞率最高, 自适应的备用路由选路策略的阻塞率最低但算法复杂度也最高, 固定的备用路由选路策略性能居于二者之间, 是一种折衷的解决办法。

(2) 关于动态业务的波长分配问题, 研究者们已经提出了一系列的启发式算法^[45-47]。包括随机分配 (Random-Assignment), 首次命中 (First-Fit), 最小使用 (Least-Used), 最大使用 (Most-Used), 最小乘积 (Min-Product), 最小负载 (Least-Loaded), 全局最大总和 (Max-SUM), 相对容量损失/分布式相对容量损失等 (RCL/DRCL) 等, 其中 RCL/DRCL 的性能最好。波长分配问题根据网络是否有波长变化能力, 还存在波长选择 (Wavelength Select) 和波长转换 (Wavelength Interchanger) 问题。由于目前支持波长转换的设备还不普及, 而且波长转换对网络阻塞率的影响较小^[33], 因此, 本文只考虑没有波长转换的光网络。

另外, 分层图 (Layered Graph, LG) 模型将路由选择与波长指派问题综合起来考虑, 具有更好的性能, 能够进一步降低全网的阻塞概率^[48]。RWA 问题对 Lightpath 资源的创建和提供来说非常关键, 但并不是本文要分析的重点, 因此, 这里不再赘述 RWA 算法的具体实现。

需要注意的是 GRACIE 框架给 Lightpath 的创建带来了什么不同, 显然, 最大的特点就是用户请求 Lightpath 时所要求的带宽和预留时间窗口更有弹性, 为动态 RWA 问题波长路由的选择带来了更大的灵活性, 从而能够有效地减少资源碎片, 降低全网的阻塞概率。下面给出 Lightpath 创建控制算法:

- $r = (s, d, T_d, t_{window}, bw)$ 表示一个 Lightpath 资源请求, 其中 s 代表源节点, d 代表目的节点, T_d 表示资源的占用时间, $t_{window} = [t_{start}, t_{end} + cT_d]$ 为前文所提到的预留时间窗口, bw 是带宽需求, 在光电路交换网络中, 可以看作是对波长数目的要求。
- $find_lightpath(s, d, t_{start}, t_{end}, bw)$ 在光网络拓扑图上执行任意一种 RWA 算法, 寻找 $[t_{start}, t_{end}]$ 区间是否能建立符合要求的 Lightpath, 找到则返回布尔值 True, 否则返回 False。

算法描述如下:

```

1  result ← false
2  foreach  $t \in [t_{start}, t_{end} + (c-1)T_d]$  do
3  {   if( $find\_lightpath(s, d, t, t + T_d, bw)$ ) then
4      result ← true;
5      break;
6  }
```

7 return result;

算法在预留时间窗口范围内, 运行 RWA 算法寻找合适的路由和波长来创建 Lightpath, 一旦找到就跳出循环, 并接受用户的该资源请求。如果遍历整个预留时间窗口范围都无法找到合适的资源, 则阻塞该请求。显然, 预留窗口 t_{window} 越大就有越多的机会找到合适的资源来创建 Lightpath。

在价格杠杆的作用下, 该算法与上节提出的请求调度算法一起, 实现了用户请求和资源分配的联合调度, 能够有效地减少资源碎片, 降低全网的阻塞概率。

4.4 小结

本章讨论了网格环境下光网络资源调度所面临的关键问题, 提出了 GRACIE: 基于经济模型的光网络资源调度网格框架来解决这些问题, 描述和介绍了 GRACIE 框架结构的组成和功能, 以及可用的经济模型。详细分析了基于商品市场模型的 Lightpath 调度的策略, 给出了定价策略和算法, 资源请求调度策略和算法以及 Lightpath 创建控制算法。我们相信, 利用价格杠杆, 在自由竞争机制的作用下, 会自发地调节网格资源到供需平衡的均衡状态, 从而实现资源的最佳配置。我们通过仿真分析验证了 GRACIE 的能力, 下一章介绍采用 GridSim 仿真工具对 GRACIE 进行仿真并对结果进行分析。

第五章 GRACIE 仿真及性能评估

为了验证 GRACIE 框架的有效性,本章模拟了 GRACIE 环境,并对 GRACIE 框架下各调度策略和算法的性能进行仿真研究。

5.1 仿真平台说明

GridSim^[49]是由澳大利亚 Monash 大学 Rajkumar Buyya 等人开发的网络仿真工具,其首要目标是仿真分析基于计算经济模型的资源分配方法。GridSim 具有以下关键的特征:

- 允许给异种资源建模;
- 资源可以是按时间共享,也可以是按空间共享的;
- 可以模拟处于不同时区的资源,可以定义周末和节假日等空闲时间;
- 支持对资源的提前预留;
- 用户实体,资源实体,任务等没有限制;
- 支持仿真静态和动态的调度程序;
- 支持统计功能;

GridSim 是在 SimJava^[50]的基础上开发的,SimJava 是一个基于离散事件模型的仿真工具开发包,其基本的元素是实体(entity),每个实体并行运行自己的线程,实体间通过发送消息来相互通信。用 GridSim 进行仿真的原理如图 5-1 所示:

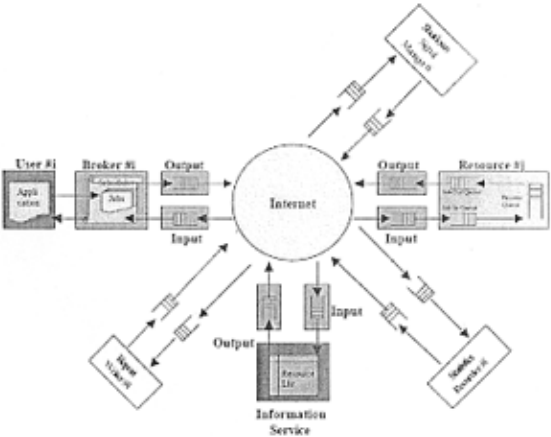


图 5-1 基于 GridSim 的网络仿真原理图^[49]

GridSim 提供丰富的函数库以支持模拟网络环境中的异构资源、用户、应用

程序、用户代理和调度器。网络资源和用户被视为不同的实体，它们通过消息事件（输入和输出）来进行通信。

GridSim 开发的目的是为了模拟和评估 Rajkumar Buyya 等提出的网络经济学模型，其架构开放，容易扩展，因此我们选择 GridSim 来仿真和分析 GRACIE。

5.2 仿真程序设计

GridSim 主要是针对计算经济学的，其中已经建模的资源只有计算和存储两种资源。首先必须实现新的光网络资源模型以配置 GRACIE 仿真环境，然后才能评估本文提出的各种调度策略和算法。

GridSim 中，所有的实体都是继承自 SimJava 的 Sim_entity 类，GridSim 类的继承层次如图 5-2 所示。

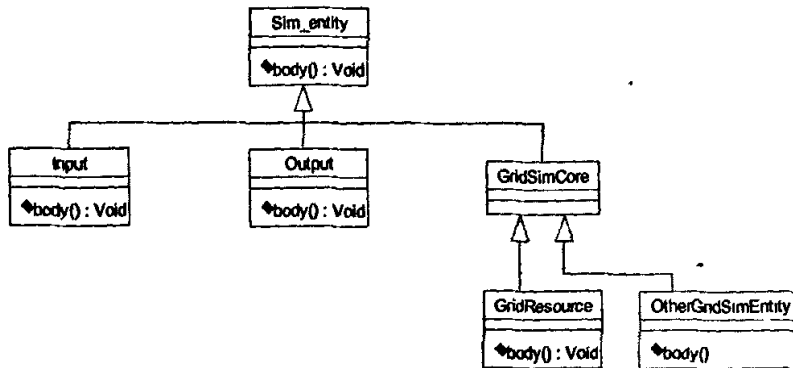


图 5-2 GridSim 类与 SimJava 类继承的层次关系

Sim_entity 类有一个 body() 方法，描述了该实体在仿真开始后的行为。除了抽象类，所有继承 Sim_entity 的类都必须实现该方法以响应发送给自己事件和消息；Input 类和 Output 类是 GridSim 中很重要的两个类，他们实现了 GridSim 实体之间的事件传输和通信。GridSimCore 类是 GridSim 的基类，它定义了 GridSim 各仿真实体基本的通信能力，其它仿真实体，例如 GridResource，GridInformationService 等都继承自该类，所有继承该类的类在实例化的时候，都会自动创建 Input 和 Output 对象并和创建的实例连接。Input 对象负责接受事件，Output 对象负责发送事件。注意到 GridSimCore 并没有实现 body() 方法，因为它本身是一个抽象类，并不需要实例化。

GridSim 虽然提供 GridResource 类，遗憾的是该 GridResource 类完全是按照计算资源建模的，虽然也提供了扩展的方式，却有很多限制，很不灵活。因此，参考上述的类层次结构，我们开发了光网络资源类 OpticalResource，以及其它

一些 GRACIE 仿真所需的角色实体类和工具类，都包装在一个新的 package: opticalgrid 中，其 UML 结构图如图 5-3 所示。

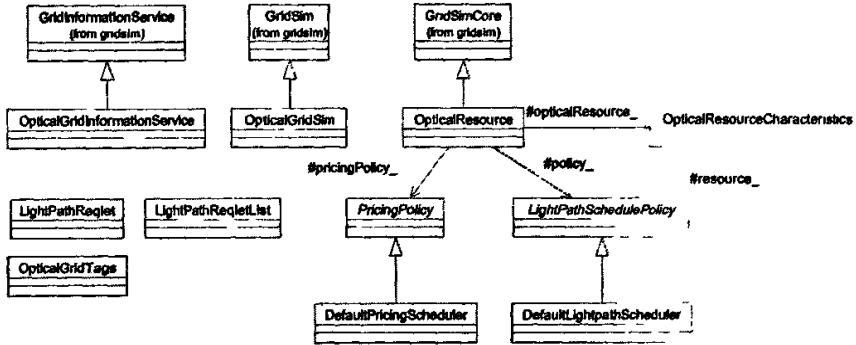


图 5-3 opticalgrid 仿真工具包 UML 类图

各个类的主要作用如下：

- **OpticalResource 类：**继承于 GridSimCore 类，和 GridResource 类在同一个层次，负责创建和初始化新的光网络实体，初始化 Lightpath 调度对象，初始化价格调度对象。在仿真过程中，该实体扮演着 NSP 的角色，通过调用 PricingPolicy 对象来调整资源价格，调用 LightpathSchedulePolicy 对象，接受用户对 Lightpath 的请求并创建 Lightpath 资源。
- **OpticalResourceCharacteristics 类：**保存光网络的拓扑信息，初始化各种属性参数。
- **PricingPolicy 类：**这是一个抽象类，必须被具体的价格调度策略类继承和实现。OpticalResource 对象通过多态的方式进行调用，可以很方便实现不同的价格调度策略。DefaultPricingScheduler 就是系统缺省的价格调度器。
- **LightpathSchedulePolicy 类：**这也是一个抽象类，必须被具体的 Lightpath 调度策略类继承和实现。OpticalResource 对象通过多态的方式进行调用，可以很方便实现不同 Lightpath 创建控制策略和 RWA 算法。DefaultLightpathScheduler 就是系统缺省的 Lightpath 调度策略类。
- **OpticalGridInformationService 类：**继承自 GridInformationService 类，扮演 GRACIE 中的 GMD 角色，提供各种资源列表和价格信息。
- **LightPathReqlet 类：**用于描述用户的 Lightpath 资源请求，一个 Lightpath 请求通常包括源节点，目的节点，资源占用时间，预留时间窗口，带宽等参数。
- **LightPathReqletList 类：**用于 LightPathReqlet 对象的集合。

- **OpticalGridTags 类:** 这个类专门用于保存各种标志常量, 描述各种实体对各类事件的反应。

这些类组成了构建 GRACIE 的基本框架, 在此基础上, 我们对 GRACIE 下各调度策略和算法进行了仿真分析。

5.3 GRACIE 仿真环境配置

按照图 4-2 所示的 GRACIE 的框架结构, 利用我们开发的 opticalgrid 包, 在 GridSim 仿真环境下模拟了 GRACIE, 仿真的环境配置如图 5-4 所示。

图 5-4(a) 为 GRACIE 仿真模型, 矩形和三角形分别代表运行时间最优和代价最优调度算法的网格用户; 中间是 3 个网络服务提供商 NSP-1, NSP-2, NSP-3; 右边的 R 代表计算、存储类型的资源。

每个 NSP 包含一个光网络, 它们具有不同的网络拓扑和波长资源, 其拓扑结构如图 5-4(b) 所示, 图中的 w 为链路权重。

仿真时假设 3 个光网络的每条链路都是各由 4 根相反方向的单向光纤组成, 其网络图是无向图; 每根光纤支持 6 个波长, 并且不考虑波长变换的情形。每一个光网络由一个 NSP 管理, 各自独立运行价格调节算法和 Lightpath 调度算法。

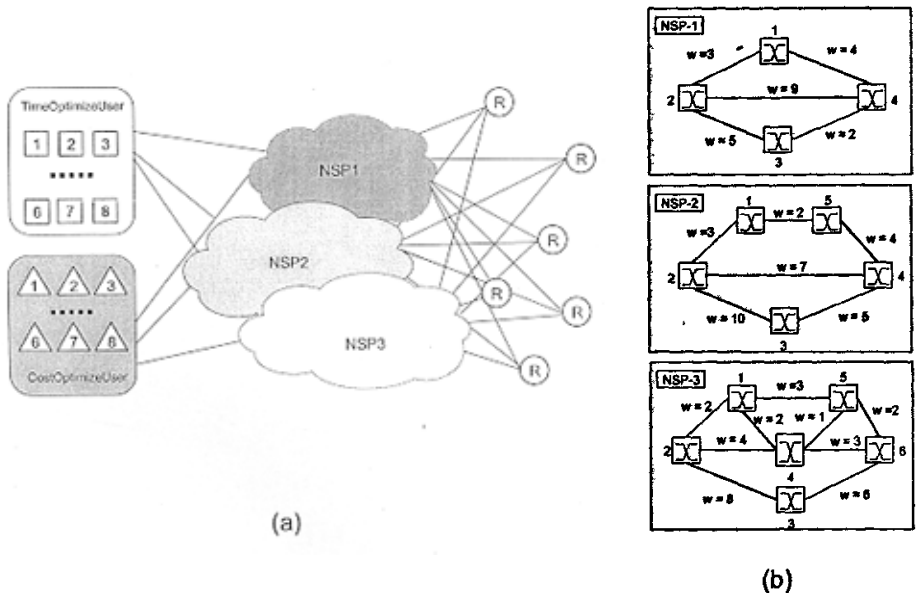


图 5-4 GRACIE 仿真环境和网络拓扑配置图

多个独立的网格用户和多个计算资源 R 分别连接到 3 个光网络的不同节点。在仿真程序里面, 用户和用户代理是同一个实体, 按照 4.3.3 节所提出的请求调度算法, 根据 3 个 NSP 所提供的当时的资源价格, 运行各自的效用函数进行资

源选择并向相应的 NSP 发送请求, 请求的源宿节点随机选定, 请求到达时间服从泊松分布, 对 Lightpath 的占用时间要求服从指数分布。网格用户一半运行时间最优的资源调度策略, 一半运行费用最优的调度策略。

5.4 结果分析与性能评估

5.4.1 均衡价格的形成与资源请求分配

首先我们分析均衡价格的形成过程以及价格杠杆对资源分配与负载均衡问题的影响。在图 5-4 所示的仿真环境下, 设 NSP1 的初始价格定为 1GC(Grid Currency, 下同), NSP2 的初始价格定为 5GC, NSP3 的初始价格定为 20GC。采用平均波长占用率来表示光网络忙闲状况, 其阈值设为 50%。采用本文 4.3.2 节所提出的定价算法, RWA 算法采用固定路由和随机分配波长的策略。

价格—时间曲线与平均波长占用率—时间曲线分别如图 5-5(a) 和图 5-5(b) 所示, 所得结果是在模拟 16 个网格用户, 各发送 10^5 个 Lightpath 请求所统计出来的。图中平均波长占用率的计算方式为: 已被占用的波长数/总波长数。

由图 5-5(a) 可以看出, 虽然三个资源的起始价格不相同, 在市场机制的作用下, 三个资源的价格都收敛于均衡价格, 约为 4.8GC, 并且收敛的速度很快 (约 50s)。然后就在均衡价格上下波动, 体现了价格规律的特点。

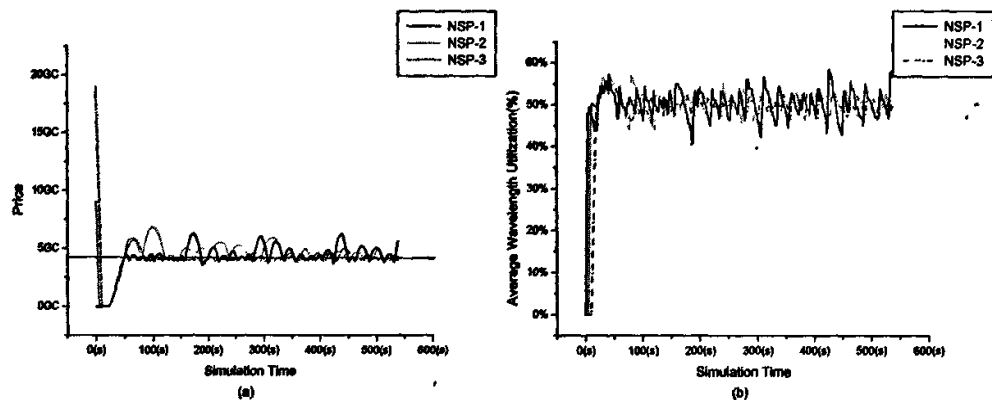


图 5-5 价格—时间曲线与平均波长占用率—时间曲线

另一方面, 从请求的分配过程来看, 在前 10s 内, NSP3 由于初始价格远远高于 NSP1 和 NSP2, 因此没有收到任何请求, 光网络波长占用率为 0。当其价格下降到均衡价格时, 开始收到用户请求, 负载开始上升。波长占用率在均衡价格形成的同时收敛于阈值, 并在阈值附近上下波动。我们以 NSP1 为例来比较一下价格和波长占用率变化的关系, 如图 5-6 所示。

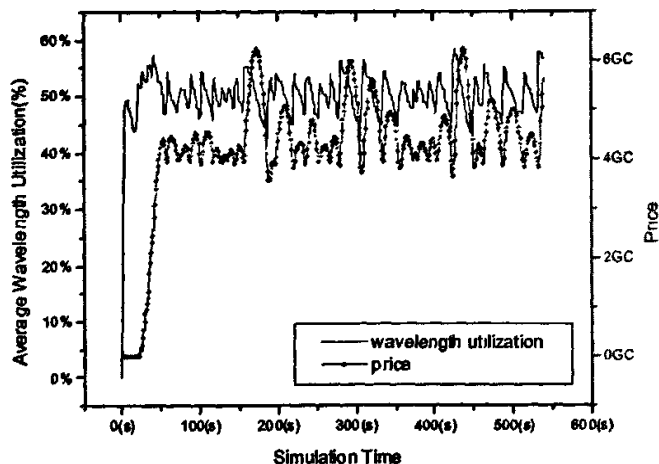


图 5-6 价格变化和波长占用率变化关系

从图 5-6 可以看出, 价格的变化稍微落后于光网络波长占用率的变化, 这是由于价格信号具有一定的滞后性所造成的, 但总体来看, 网络忙闲变化的趋势与价格变化的趋势基本上是同步的, 并且波长占用率也在阈值附近上下波动, 这说明价格杠杆确实起到了调节资源分配的作用, 使得全局的资源分配与负载达到均衡状态。

5.4.2 阻塞控制与资源请求调度

下面仿真分析 GRACIE 的阻塞控制方案。在 GRACIE 框架下, 价格杠杆将促使用户对 Lightpath 请求进行调度, 这实际上使得光网络资源提供商能够间接地实现阻塞控制。仿真选取 NSP-2 的网络拓扑, 仍旧设定其初始价格为 5GC, 采用平均波长占用率来表示光网络忙闲状况, 其阈值设为 50%。采用本文 4.3.2 节所提出的价格调节算法, 采用固定路由和随机分配波长的策略。

设定 5 个网路用户 B1~B5, 不采用任何调度策略, 在仿真时间 $t = [30s, 130s]$ 的时间窗口范围内, 向 NSP-2 发送 Lightpath 请求作为背景流量。请求的间隔时间服从均值为 T_i 的负指数分布, 资源占用时间服从均值为 T_o 的负指数分布。

设定 1 个网路用户 P, 在仿真时间 $t = 0s$ 开始向 NSP-2 发送 Lightpath 请求, 请求的间隔时间和 Lightpath 的持续时间同上。采用本文 4.3.3 节所提出的请求调度策略和算法, 其效用函数设定为: 如果资源当前的接入价格高于均衡价格 (4.8GC), 则有 80% 的几率匹配资源失败; 匹配失败后等待重试的延迟时间为 Δt , 服从均值为 T 的均匀分布, 延迟时间到达后如果匹配仍然不成功, 则 Δt 加倍后再重试。

图 5-7 对网络不同业务负载下, 取不同的 Δt 值时, NSP-2 对网络用户 P 的请求阻塞率进行了仿真研究, 仿真共进行了 100 次实验, 每种负载情况实验 10 次, 每次发送 10^5 个请求, 计算阻塞率并取均值。

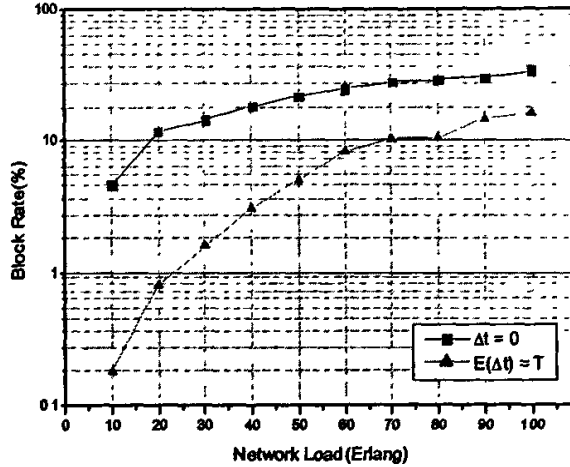


图 5-7 不同等待重试延迟时间阻塞性能比较

从图 5-7 可以看出, 采用请求调度策略业务 ($E(\Delta t) = T$) 的阻塞率要明显低于不采用请求调度策略的业务 ($\Delta t = 0$)。原因很简单, 当 B1~B5 用户开始向 NSP-2 请求 Lightpath 时, NSP-2 网络负载增加, Lightpath 价格上升, 这传递给用户 P 的信号就是此时网络业务繁忙, 于是在效用函数的作用下, P 将请求延迟发送以避免网络繁忙的时间段, 从而减少请求被阻塞的几率。图 5-8 的统计数据清晰地表明了这一点。

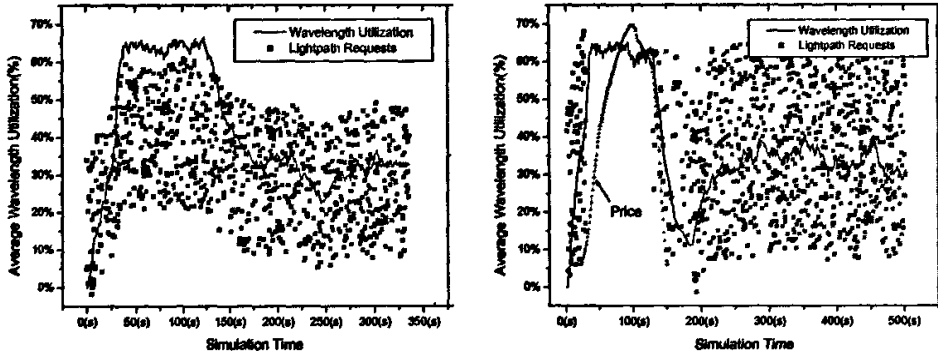


图 5-8 用户 P 的请求分布与波长占用率变化关系

从图 5-8 可以看出, 在 $t = [30s, 130s]$ 的时间窗口范围内, 波长占用率出现峰值, 这是因为此时用户 B1~B5 也开始请求资源, 业务负载增加。图 5-8(a) 为 $\Delta t = 0$ 时, 用户 P 所发出的 Lightpath 请求在时间轴上的分布情况与波长占用率曲线的关系, 可以看出, 由于没有采用请求调度策略, 这些业务请求是分布在

整个负载曲线上的,即使是在网络的负载峰值区间内也分布了许多请求,很明显,负载峰值区间内请求被拒绝的几率要大于负载峰值外的请求。图 5-8(b)为 $E(\Delta t) = T$ 时,用户 P 所发出的 Lightpath 请求在时间轴上的分布情况与波长占用率曲线的关系。图中红色点状曲线是价格变化曲线。很明显,在网络负载峰值区间内,由于价格上升,不满足用户效用函数,因此 Lightpath 请求被调度延后发送,在负载峰值区间内几乎没有请求分布,业务本身被阻塞的概率减小,同时也避免了在业务繁忙的时候再加重网络的负担,起到了阻塞控制的作用。

5.4.3 资源碎片问题

大多数的网格应用要求对资源进行提前预留以保证业务执行时的服务质量,提前预留会产生资源碎片,降低资源的利用率和请求接受率。本节仿真分析 GRACIE 减少资源碎片的策略和算法。仍然选取 NSP-2 的网络拓扑,采用本文 4.3.2 节的价格调节算法,折扣因子 $f = k/c$, c 为预留窗口调节参数, k 为折扣调节因子,在仿真中取固定值 0.5;采用 4.3.4 节的 Lightpath 创建控制算法, RWA 算法采用固定路由和随机波长分配策略。

仿真模拟了 4 种不同类型的网格用户,其预留窗口调节参数 c 分别等于 0, 1, 2, 3。预留开始时间 t_{start} 为泊松过程,预留资源占用时间 T_d 服从负指数分布,预留窗口 $t_{window} = [t_{start}, t_{end} + cT_d]$ 。可见,预留参数 c 越大,用户所获得的折扣就越高,资源的价格也就越低,同时,预留窗口也越宽。

我们对不同业务负载下,采用不同 c 值的用户,网络的阻塞率和平均资源利用率进行了仿真研究,结果如图 5-9,图 5-10 所示。所得结果是在每种负载情况各进行 10 次实验,每次发送 10^5 个请求,统计阻塞率和波长资源利用率并取均值得出的。

图 5-9 比较了 $c=0$ 和 $c=1$ 时,不同业务负载条件下的波长资源平均利用率。由图可以看出,在相同的负载条件下 $c=1$ 时的资源的利用状况要比 $c=0$ 时要好。这是因为拓宽预留时间窗口使得 GRACIE 可以更合理地调度分配波长资源,从而减少了资源碎片,提高了资源利用率。

从图 5-10 可以看出,在相同的负载条件下,通过对预留窗口进行调节,可以减小请求的阻塞率。并且预留窗口越宽,阻塞率越低。

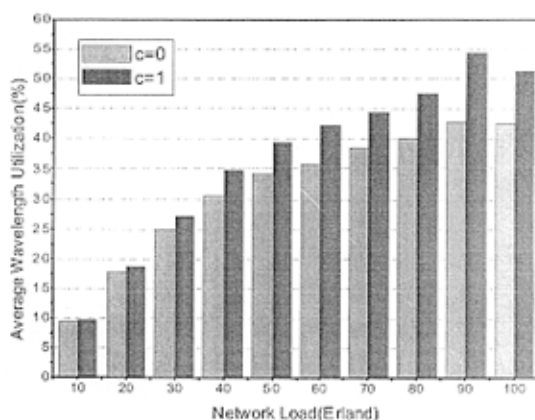


图 5-9 不同预留窗口的平均资源利用率比较

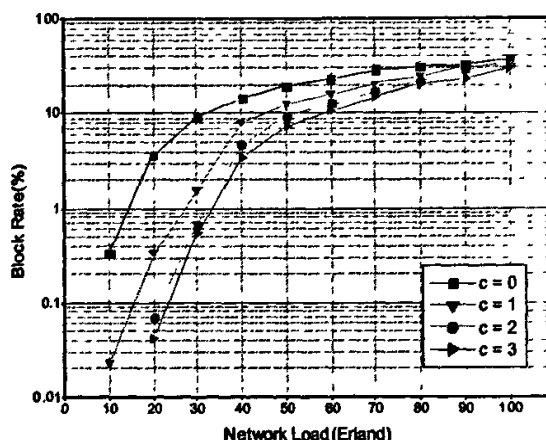


图 5-10 不同预留窗口的阻塞率性能比较

同时，从图中也看出，当 $c>1$ 后，预留窗口的宽度对全网阻塞率的影响变小。例如，在业务负载为 50Erl 的时候， c 从 0 增加到 1，阻塞率降低了 6.9%，但是 c 从 2 增加到 3，阻塞率只降低了 1.95%。这是因为，虽然从理论上来说，无限扩大的预留窗口使得某个请求总能找到合适的资源，然而，预留窗口扩大到一定程度后，请求被调度到空白的时间区域，对减少资源碎片将变得毫无用处，也就无助于全网阻塞率性能的改进。同时，为了避免用户将 c 值无限扩大而导致资源价格趋向于 0 的情况，我们必须利用折扣调节参数 k ，在 $c>1$ 的时候， k 随着 c 值的增长而增长，折扣增加的幅度将减少，从而控制预留时间窗口的范围。

5.5 小结

本节扩展了 GridSim 仿真工具，开发了 opticalgrid 仿真程序包以实现光网络资源的建模。在此基础上，本节模拟了 GRACIE 框架，对其均衡价格的形成过程、资源请求分配策略、阻塞控制与请求调度策略以及资源碎片控制策略进行了仿真分析。仿真结果验证了 GRACIE 框架的有效性，显示其能够有效地调度和均衡地分配资源请求，实施阻塞控制和减少资源碎片，在降低光网络阻塞概率，提高网络资源利用率等方面具有较好的性能。

第六章 总结

6.1 本文的主要工作

OGSA 概念以及 WSRF 的提出,将传统的网格计算扩展到了网格服务领域,为下一代网络的业务能力和应用集成提供了关键的基础设施。在面向网格的光网络业务支撑环境中,由于网格应用具有跨域分布式协作,动态聚合等特点,对光网络管理的灵活性和动态性提出了更高的要求,传统的网络管理控制方案难以满足其需要。本文提出了一种更加灵活的提供、分配和调度光网络资源的管理框架和调度机制。

本文的主要工作如下:

1. 本文系统地介绍了开放网格服务体系(OGSA)的概念和内容,着重讨论了其作为下一代网络主要的业务管理和控制体系时,对光网络资源管理的需求特点。

2. 对网格环境下光网络资源管理这一新研究课题在国内外的研究现状作了阐述和分析。

3. 通过对网格环境下的光网络资源进行抽象与建模,并结合 WSRF 框架,将 Lightpath 封装为 WS-Resource,使得上层网格应用获得了一个统一的光网络资源视图;在此基础上,通过对 GARA 框架的扩展,提出了基于 WSRF 的光网络资源管理框架,为实现将光网络资源和其它网格资源进行联合调度提供了技术基础。

4. 分析了网格环境下光网络资源调度所面临的一些关键问题:如何减少资源碎片,如何均衡地处理资源请求,如何全局协同和动态协商处理资源请求,如何实现面向用户的服务质量保证。并提出了 GRACIE—基于经济模型的光网络资源调度网格框架来解决这些问题。

5. 提出了基于商品市场模型的 Lightpath 调度策略,给出了定价策略和算法,资源调度策略和算法以及 Lightpath 创建控制算法。

6. 对网格仿真工具 GridSim 进行了扩展,开发了 opticalgrid 包以支持对光网络资源的建模,并以此为基础,对 GRACIE 进行了仿真和性能评估,仿真结果验证了 GRACIE 框架的有效性,显示其能够有效地调度和均衡地分配资源请求,实施阻塞控制和减少资源碎片,在降低光网络阻塞概率,提高网络资源利用率等方面具有较好的性能。

6.2 未来工作展望

本文的选题，在技术本身和应用价值方面都有积极的意义。网络计算和光网络技术的结合是当前网络和光网络研究领域的热点问题，正逐渐引起产业界的关注。本文所提出的框架结构和管理调度策略，具有实际的应用价值，因此，在已有的工作基础上，未来值得继续关注和研究的问题包括：

1. 基于 WSRF 的光网络资源管理框架和 GRACIE 调度框架的实现以及中间件软件的开发。本文用 GridSim 仿真工具对 GRACIE 的进行了建模和仿真验证，由于本文所提出的框架都是基于已有的 OGSA 规范和成熟的 Web Service 和中间件技术的，因此，该框架具有转化为实际应用系统的潜力。另外，本文所提出的基于经济模型的调度和管理策略也具有实用的意义。

2. 各种不同经济模型对光网络资源调度性能的影响。本文只考察了最基本的商品市场模型，经济学中还有诸如议价模型，招标/合同网模型，拍卖模型，基于投标的均衡资源共享模型等很多模型可以应用于光网络资源的分配和管理，这些不同模型对光网络资源调度性能的实际影响也是未来值得进一步深入研究的课题。

3. 对更细粒度光网络资源管理和调度的研究。本文将 Lightpath 封装为基本的网格资源，客观上来说，对资源的控制粒度还有些粗糙。虽然光分组交换技术尚不成熟，然而，光突发技术（OBS）综合了分组交换和电路交换的优点，并且具有相对成熟的技术实现能力。例如，光突发（Burst）也可以抽象为一种网格资源，因此对更细粒度光网络资源的抽象，以及管理和调度方面的策略、算法是未来需要进一步研究的方向。

致 谢

在攻读硕士学位的三年间，我得到了很多老师、同学和朋友的热心指导和支持。在此我诚挚地表示对他们的感谢，没有他们的帮助，我无法顺利地完成我的学业。

首先我要感谢我的导师隆克平教授，在硕士研究生学习的三年期间，隆教授为我提供了良好的学习和工作环境，在学习上和生活中都给予了我深切的关怀和帮助。隆教授渊博的学识，不断探索，求实创新的精神，严谨治学的态度，对科研事业执着的追求，将是我终生难忘的，也是未来工作学习过程中我永远努力的方向。

我还要特别感谢课题组指导老师阳小龙教授，阳教授敏锐的思维和广博的学识，严谨的治学态度和学生认真负责的态度都使我受益匪浅。在我的课题研究和论文写作过程中阳老师给予了我很多启发和具体指导。提出了很多宝贵的意见和建议，在此谨向尊敬的阳老师致以衷心的感谢。

感谢陈前斌教授，陈老师渊博的学识，严谨踏实的治学态度和无私奉献的敬业精神是我学习的榜样，在我三年的学习生活中给予我很多的指导和帮助，我在研究生阶段的成长和取得的成果与您的关怀和指导是分不开的。

还要感谢项目组里一起工作学习的同学：感谢和我同一个项目组的党劲锋和黄乐，遇到难题时和你们的讨论总是能够给予我灵感；感谢张映，朱道飞，郭凌云，李锋，乔钰，胡莲芳，韦宏博，杨新等，能和你们一起度过读研的三年是很幸运和愉快的事情，感谢你们平时对我的支持和帮助；感谢李佳，平时和你的讨论也给予我不少的启发；感谢郑环同学在仿真实验中的支持和协助。

此外，我要感谢重庆光互联网及无线信息网络研究中心的所有老师和工作人员，是你们创造了如此优秀的学习科研环境，在我读研期间给予了我无私的帮助，衷心的感谢你们！

最后，我要感谢我的亲人，感谢我的父母和妻子陈敏，你们多年来对我的无私的关爱和默默支持，是使我能够全心投入学习，顺利完成学业的动力和保障。

攻读硕士学位期间从事的科研工作及取得的研究成果

1. 从事的主要科研工作

- [1] 2005.10—至今 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目“动态灵活光网络体系结构与关键技术研究”(项目编号: 2005AA122310)。
- [2] 2005.7—2005.10 IBM 中国研究中心 项目 Ariadne (Artifact Reuse with IP Awareness in DevelopmeNt Environment)。
- [3] 2004.4—2004.12 大型管理信息系统项目“中国联通重庆分公司运维管理信息系统”(软件著作权登记号 2004SR12739)。
- [4] 2003.10—2004.3 重庆市电子信息产业发展基金资助项目“通信网络运维 workflow 管理系统”。
- [5] 2003.3—2003.10 重庆市电子信息产业发展基金资助项目“基于 WebGIS 的通信网络资源管理系统”。

2. 已发表和录用的论文

- [1] 程平, 陈前斌, 隆克平, 朱道飞. 基于 RoleNet 模型的工作流引擎设计及实现. 重庆邮电学院学报(自然科学版). 2006, 18(3).
- [2] Ping Cheng, Keping Long, Xiaolong Yang, Le Huang, Jinfeng Dang. The Lightpath Scheduling and Leveraging Scheme Based on Economic Models for Grid-enabled Optical Networks. Asia-Pacific Optical Communications(APOC 2006) (已录用)
- [3] Jinfeng Dang, Le Huang, Ping Cheng, Xiaolong Yang, Keping Long. The Architecture of Service Support Environment for Next Generation Optical Networks. the Joint International Conferences on Optical Internet and Next Generation Network (COIN-NGNCON 2006) (已录用)

参考文献

- [1] Ian Foster. Internet Computing and the Emerging Grid. Nature Web Matters [EB/OL].(2000-10-01).[2006-5-20].<http://www.nature.com/nature/webmatters/grid/grid.html>
- [2] 刘真, 屈春河, 杨景, 张国清. 基于 OGSA 和 Parlay 保证资源同步的 NGN 业务体系结构[J]. 计算机工程. 2005,31(5):131-133.
- [3] 饶少阳,杨放春. 基于 OGSA 的新一代业务架构 Parlay Grid Services[J]. 北京邮电大学学报. 2005, (4):95-98.
- [4] Moerdijk A J, Klostermann L. Opening the networks with parlay/OSA: standards and aspects behind the APIs [J]. IEEE Network. 2003, 17(3):58-64.
- [5] Parlay Group, Web Services Working Group, Parlay webservices overview [EB/OL].(2002-10-31).[2006-5-20].<http://www.parlay.org/specs/library/>,
- [6] N.Ghani, et al. On IP-over-WDM intergration[J]. IEEE commun. Mag., 2000, 38(3), 72-82.
- [7] K.Czajkowski, I. Foster, N.Karonis, et al. A Resource Management Architecture for Metacomputing System[C]. Porc.IPPS/SPDP'98 Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing. 1998:62~82.
- [8] Dimitra Simeonidou, et.al. Optical Network Infrastructure for Grid. [EB/OL]. (2003-09-10). [2005-05-20]. Informational Track. Grid High Performance Networking Research Group. <http://forge.gridforum.org/projects/ghpn-rg/>
- [9] Canadian Network for the Advancement of Research, 'Industry and Education. CA*net 4 Project [EB/OL]. (2002-10-1). [2006-5-20]. <http://www.canarie.ca/canet4/>.
- [10]Raouf Boutaba, Wojciech M. Golab, Youssef Iraqi, et al. Grid-Controlled Lightpaths for High Performance Grid Applications [J]. Journal of Grid Computing. 2003,1(4):387-394.
- [11]Xi Yang, Tom Lehman, Chris Tracy, et al. Policy-Based Resource Management and Service Provisioning in GMPLS Networks[C].Adaptive Policy-based Management in Network Management and Control Workshop. INFOCOMM 2006, Barcelona Spain, 2006.
- [12]T. DeFanti, M. Brown, J. Leigh, et al. Optical Switching Middleware for the OptIPuter[J]. IEICE Transactions on Communications, 2003, E86-B(8): 2263-2272.
- [13]S. Naiksatam, S. Figueira, S. A. Chiappari, et al. Analyzing the Advance Reservation of Lightpaths in Lambda-Grids[C]. IEEE CCGrid 2005, Cardiff, UK, 2005: 985- 992.
- [14]Eric He, Xi Wang, Venkatram Vishwanath,et al. AR-PIN/PDC:Flexible Advance Reservation of Intradomain and Interdomain Lightpaths[EB/OL].(2006-4-24).[2006-05-22].http://www.evl.uic.edu/cavern/rg/20060322_He/He_Globecom_06.pdf.
- [15]Gommans, L Dijkstra, F de Laat, et al. Applications Drive Secure Lightpath

- Creation across Heterogeneous Domains [J]. IEEE Commun. Mag.2006,44(3).100-106.
- [16] S.R.Thorpe, et.al. Using Just-in-Time to Enable Optical Networking for Grids[C]. ICST/IEEE Gridnets. 2004.
- [17] Dimitra Simeonidou, et al. Grid Optical Burst Switched Networks [EB/OL]. (2006-02-10).[2005-05-22].Grid High Performance Networking Research Group.http://www-unix.gridforum.org/mail_archive/ghpn-wg/2006/02/pdf00000.pdf.
- [18] C. Qiao, M. Yoo. Optical Burst Switching-A new Paradigm for an Optical Internet[J]. Journal of High Speed Networks, Spec. Iss. On Optical Networking.2000,8(1):36-44.
- [19] Foster I, Kesselman C, NickJ, et al. The physiology of the Grid: An open Grid services architecture for distributed systems integration, DRAFT document.[EB/OL].(2002-06-22).[2005-05-22].<http://www.globus.org/research/paper/ogsa.pdf>.
- [20] Ian Foster., Kesselman, C. and Tuecke, S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations[J]. International Journal of High Performance Computing Applications. 2001,15(3):200-222.
- [21] Jay Unger, Matt Haynos. A visual tour of Open Grid Services Architecture[EB/OL].(2005-06-29).[2006-05-22].<http://www-128.ibm.com/developerworks/library/gr-visual/index.html>.
- [22] F. Curbera, et al. Unraveling the Web Services Web: an Introduction to SOAP, WSDL, and UDDI[J]. IEEE Internet Computing, 2002, 6(2):86-93.
- [23] 刘会斌, 都志辉. 网格与 Web 服务的融合-WSRF 和 WS-Notification[J]. 计算机科学. 2005, 32(2):76-79.
- [24] 肖依. 网格计算技术 — 第三章 Web Service 资源框架 [EB/OL].(2004-04-19).[2006-05-22].<http://www.chinagrid.net/grid/paperppt/bigfile/paperppt/XiaoN/Arch1.ppt>
- [25] J.P. Lang, et al. Link Management Protocol[EB/OL].(2005-11-1).[2006-5-22]. IETF Internet Draft, <http://www.ietf.org/rfc/rfc4209.txt>.
- [26] Chiara Curti, Tiziana Ferrari, Leon Gommans, et al. On advance reservation of heterogeneous network paths[J]. Future Generation Computer Systems. 2005, 21(4):525-538.
- [27] Roy A, Sander V. GARA: A Uniform Quality of Service Architecture[C]. // Jarek Nabrzyski, Jennifer M. Schopf and Jan Weglarz. Resource Management: State of the Art and Future Trends: Kluwer Academic Publishers, 2003:135-144.
- [28] F Baroncelli, B Martini, L Valcarengi, et al. A Service Oriented Network Architecture suitable for Global Grid Computing[C]. 9th Conference on Optical Network Design and Modeling(ONDM). Milan, Italy. 2005.
- [29] 徐世中. WDM 光传送网路由和波长分配算法研究[D]. 成都: 电子科技大学. 2000.
- [30] Lars-Olof Burchard, Hans-Ulrich Heiss, Cesar A. F. De Rose. Performance Issues of Bandwidth Reservations for Grid Computing[C]. Proc. Of the 15th Sym. On Computer Architecture and High Performance Computing

- (SBAC-PAD'03), 2003.
- [31] H. Lee, Malathi Veeraraghavan, H. Li, Edwin KP Chong. Lambda scheduling algorithm for file transfers on high-speed optical circuits[C]. CCGRID 2004: 617-624.
- [32] L. Marchal, P. Vicat-Blanc Primet, Y. Robert, et al. Scheduling network requests with transmission window [EB/OL]. (2005-07-01). [2006-05-22]. <http://graal.ens-lyon.fr/~lmarchal/publications.html#rr2005-32>.
- [33] 顾晓仪, 张杰, 王健全等. 光传送网[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003. 176-204.
- [34] Buyya, R. Abramson, D. Venugopal, S. The grid economy[C]. Proceedings of the IEEE. 2005, 93(3): 698-714.
- [35] Buyya Rajkumar. Economic-based Distributed Resource Management and Scheduling for Grid Computing[D]. Melbourne: Monash University. 2002.
- [36] NMF. Performance Reporting Definitions Document NMF 701[EB/OL]. (1998-06-07). [2006-05-22]. <http://www.tmforum.org/newscentral/112001Issue2.html>.
- [37] Andrew Grimshaw, Bill Wulf, Jim French et al. Legion Project[EB/OL]. (2005-06-04). [2006-05-22]. <http://legion.virginia.edu/>.
- [38] R Buyya, D Abramson, J Giddy. Nimrod-G: An Architecture for a Resource Management and Scheduling System in a Global Computational Grid[C]. The 4th International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPC Asia 2000), May 2000, Beijing, China, IEEE Computer Society Press, USA.
- [39] 邹锐, 李之棠, 杨德志. 网格计算环境中的经济模型研究[J]. 计算机应用研究. 2005, 22(2): 82-84.
- [40] M Stonebraker, R Devine. An Economic Paradigm for Query Processing and Data Migration in Mariposa[R]. University of California, Berkeley, 1994. 63-67.
- [41] R G Smith. The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver[J]. IEEE Trans. Compute, 1980, 1104-1113(29): 22-24.
- [42] B Chun, D Culler. Market-based Proportional Resource Sharing for Clusters[R]. Technical Report CSD-1092, University of California, Berkeley, USA, 2000. 42-47.
- [43] 毛子澍. 微观经济学导论[M]. 成都: 西南交通大学出版社. 1990: 22-145.
- [44] Walras, L. Elements of Pure Economics[M]. London. Allen and Unwin. 1954:
- [45] E. Karason, E. Ayanoglu. Effects of Wavelength Routing and Selection Algorithms on Wavelength Conversion Gain in WDM Optical Networks [J]. IEEE/ACM Trans Network. 1998, 6(2): 186-196
- [46] X Zhang, C Qiao. Wavelength Assignment for Dynamic Traffic in Multi-Fibre WDM Networks[C]. Proc. 7th ICCCN, October 1998: 479-485
- [47] H Zang, Jason P. Juez and Biswanath Mukherjee. A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-routed Optical WDM Networks[J]. Optical Networks Magazine 2000, (1): 47-60.
- [48] 徐世中, 李乐民, 王晟. 多光纤波分复用网动态路由和波长分配[J]. 电子学报. 2000, 28(7): 23-27.

- [49]Rajkumar Buyya, Manzur Murshed. GridSim: A Toolkit for the Modeling and Simulation of Distributed Resource Management and Scheduling for Grid Computing[J]. The Journal of Concurrency and Computation: Practice and Experience,2002,(14):13-15.
- [50]Fred Howell,Ross McNab. SimJava: A Discrete Event Simulation Package For Java With Applications In Computer Systems Modelling[C]. First International Conference on Web-based Modelling and Simulation, Society for Computer Simulation, 1998.