第32卷 第20期 计 算 机 工 程 2006年10月
Vol.32 № 20 Computer Engineering October 2006
·博士论文· 文章编号：1000—3428(2006)20—0035—03 文献标识码：A 中图分类号：TP391

支持网格服务 QoS 保障的按需资源分配

杨海兰，吴功宜，张健忠
（南开大学信息学院网络实验室，天津 300071）

摘 要：随着网格技术的发展，包括服务级别协商和服务级别保证的服务质量保障越来越重要。服务质量保障与资源分配有密切的关系，而服务所面临的访问流量的大量不可预知的变化使之更加复杂。该文定义和分析了服务质量保障、资源分配和访问流量的关系并建立了数学模型，将该模型应用到按需资源分配框架中，该框架能有效地保证服务质量，应对复杂多变的网格应用环境。仿真和实验结果证明了模型和框架的实用性和有效性。

关键词：服务质量；按需资源分配；网格服务

On-demand Resource Allocation for QoS Assurance

YANG Hailan, WU Gongyi, ZHANG Jianzhong
(NetLab, College of Information, Nankai University, Tianjin 300071)

【Abstract】 In grid environment, the quality of service assurance by SLA is becoming more and more important. Service level guarantee relies on the amount of resource allocated. And the large traffic variations of grid service complex the relationship. This paper formally defines and analyzes these relationships and presents a constrained mathematical model for resource allocation. It also presents the on-demand resource allocation framework which can guarantee the service level and adapts to environmental changes. The simulation results show that the model and framework are practical and efficient.

【Key words】 QoS; On-demand resource allocation; Grid Service

近期兴起的网格技术被广泛应用在科学计算和服务领域，它支持在因特网环境下共享和使用大量的分布式和异构的资源来为用户提供网格服务[1]。在网格环境下通过服务级别协商(SLA)[1]提供服务级别控制和服务质量保障是OGSA对网格服务提供者提出的要求。为了达到和保障可靠的服务质量，必须有合理的资源分配和资源管理机制。

资源预留[2]是支持服务质量的比较通用的方式。当使用资源预留时，应用服务通常给定需求，随后不再更改。但是网格服务的访问流量经常变化，有些可以预测，而有些不能预测，当访问高峰来到时，预留的资源便无法满足需要而导致服务质量无法得到保障。但与服务提供者签署了SLA的用户希望能在这些访问高峰时仍然保证SLA中所规定的服务质量。另一方面，资源预留在某些情况下也会造成资源浪费。因此，根据服务质量要求和访问流量变化进行动态的资源分配和管理是十分必要的。

本文提出了保障服务质量的按需资源分配。本文的主要贡献有以下几点：(1)定义了一个数学模型来分析服务质量要求、访问流量和资源需求的关系；(2)提出了一个按需控制机制，它允许服务提供者动态地分配资源以保障一定服务级别的服务质量；(3)描述了按需资源分配的系统框架，它结合了上述模型和机制来保障 SLA，仿真实验证实了它的实用和有效性。

1 相关工作

资源的动态分配机制在分布式系统和因特网数据中心等领域有很多研究工作。

Oc´eano[3]项目是为了大规模计算而设计的一个可扩展可管理的原型系统。但在Oc´eano 中，为了负载变化而准备另一个主机环境需要花费大量的时间，因为需要非常小心地判断负载变化。SODA[4]是另一类平台，它支持动态的服务配置。SODA的机制与本文类似，不同之处在于，SODA基于虚拟机，而本文是面向网格环境下的多种资源。Eole项目[5] 建立了一个在线优化的系统框架来支持电信应用，和该项目不同的是，我们考虑的不仅是网络服务提供者，也包括其他更多的网格服务提供者。

2 资源分配模型

为了得到服务质量需求、服务访问流量和资源分配之间的关系，我们提出一个数学模型来进行准确的定义和分析。为了建立这个数学模型，我们首先提出服务质量需求的两个度量参数和资源实体(Resource entity)的概念。

2.1 服务质量度量参数

在网络和网格领域，为了衡量服务质量，相关研究曾经提出多种度量参数[6]。本文关心的是和服务性能相关并且与资源分配最为密切的服务质量度量参数，本文使用以下两个度量参数：服务响应时间(Service Response Time, SRT)和服务保证率(Guarantee Service Rate,GSR)。

(1)SRT：这个和性能最为密切的度量参数表明的是从一个合法的服务请求到达的时刻，到该请求得到成功响应的最大时间，单位为秒。

(2)GSR：这个度量参数表明的是能够在 SRT 规定的时间内得到成功响应的请求比率。

作者简介：杨海兰(1976－)，女，博士生，主研方向：网络服务质量，网格技术；吴功宜，博导、教授；张健忠，副教授
收稿日期：2005-11-14 **E-mail：**yanghailan@mail.nankai.edu.cn

SRT 是一个网格服务有多快的直观衡量参数，可以作为不同网格服务的基本比较。参照网络领域对服务级别的研究，我们使用 Gsr 作为第 2 个度量参数，该参数与 SRT 配合使用来区分不同的服务级别。

除了这两个度量参数以外，对于其他的服务质量度量参数，本文的方法可以通过扩展模型来实现同样的支持。

2.2 资源实体

本节提出资源实体这个概念。这里的资源是指虚拟资源，即能运行网格服务实例的所有资源的统称[2]。虚拟资源可以是由一个或多个资源提供者提供的一种或者一组资源。资源代理(Resource broker)[2]可以发现并选择符合网格服务提供者要求的资源。资源代理给网格服务提供者返回统一的资源句柄以供对资源进行使用、调度和管理[1]。

资源实体(Resource entity) 是以资源能力来划分的资源最小单位，资源能力在本文中指服务实例在资源上的运行率。

2.3 资源分配数学模型

在这里建立数学模型是为了明确分析在资源分配中各个参数之间的关系。除了 2.1 节中定义的两个 QoS 度量参数外，其他的参数在表 1 中定义。本模型基于如下假设：

(1)适当的资源实体（即满足执行率的要求）可以通过资源代理找到，并且被负载均衡器以相同概率分配应用服务的任务。

(2)在每个资源实体上的真实执行率是独立同分布的随机变量，它们都服从均值为 μ 的负指数分布。

(3)服务请求的到达率服从参数为 λ 的泊松分布。

(4)同一服务级别的请求以先到先服务的顺序排队。

(5)队列长度无限，即请求不会被丢弃。

表 1 资源分配模型中的参数

λ	服务请求到达率均值
μ	资源实体的服务执行率均值
c	资源实体的数量
Pi	系统中有 i 个请求的概率
Ln	系统中的队列长度
Wq	请求的等待时间
Ws	请求的停留时间，包括等待和执行时间

对于一个稳定的队列系统，请求到达服从泊松分布时 (λ, μ 和 c 的值已知)，系统中有 i 个请求的概率为

$$p0=\left[\sum_{n=0}^{c-1}\frac{r^n}{n!}+\frac{c\cdot r^c}{c!(c-r)\_}\right]^{-1}$$

$$pi=\frac{r^i}{i!}p0,\ i<=c \text{ 或 } \quad pi=\frac{r^i}{c^{i-c}c!}p0,\ i>c \tag{1}$$

当一个请求到达时，如果系统中有 i 个请求，那么队列长度是：

$$Ln=0,\ i<=c \quad 或 \quad Ln=n-c,\ i>c$$

则这个请求的等待时间是：

$$Wq(i)=Ln/\lambda$$

因此停留时间，即实际服务时间是：

$Ws(i)=Wq+1/\mu$，即 $Ws(i)=\frac{1}{\mu},\ i<=c$，或

$$Ws(i)=\frac{i-c}{\lambda}+\frac{1}{\mu},\ i>c \tag{2}$$

可以看到，请求的服务时间决定于系统中的请求数，因此为了保证请求的最大服务时间，必须保证系统中的请求数小于某一值的概率。

对于指定的服务保证率（Gsr），可以得到一个值 N 来满足下面的公式：

$$P(Ws(i)<Ws(N))=P(i<N)=\sum_{i=0}^{N}pi>Gsr \tag{3}$$

从式(1)，式(2)和式(3)，得到最大服务时间：

$$SRT=Ws(N) \tag{4}$$

从以上公式，可以计算出 SLA 的 QoS 度量参数、请求到达率和资源分配数之间的关系。这个数学模型将帮助系统建立知识库 RASDB(Resource Allocation Statistic Database)。RASDB 存储了三者的关系数据，给定 QoS 度量参数和请求到达率可以查询到需要分配的资源。

3 按需资源分配框架

3.1 系统架构

按需资源分配的系统架构如图 1 所示。

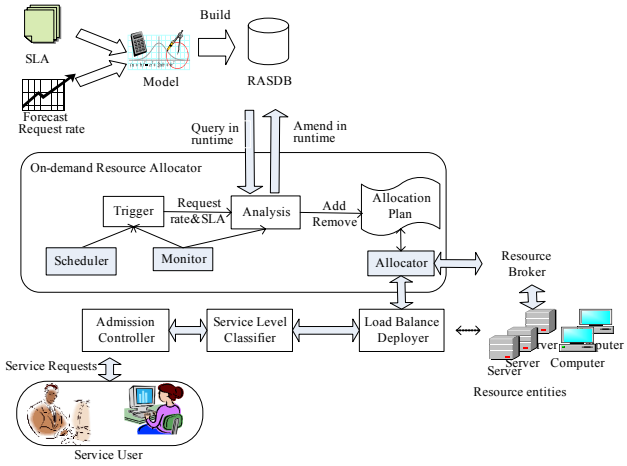


图 1 按需资源分配系统架构

整体流程分成两部分：(1)将 SLA 参数和预测所有可能的访问流量输入上述数学模型建立知识库 RASDB；(2)在服务开始接受请求后，用户请求通过准入控制（Admission Controller）和服务级别分类（Service Level Classifier）后由负载均衡配置器（Load Balance Deployer）来配置资源实体进行服务，资源实体句柄是由按需资源分配器（On-demand Resource Allocator）

3.2 资源分配机制

系统的主要模块就是按需资源分配器（On-demand Resource Allocator）。它的主要功能是作出决策：什么时候分配资源以及分配多少资源，并将决策应用。它的子模块包括计划器（Scheduler）、监视器（Monitor）、触发器（Trigger）、分析器（Analysis）和分配器（Allocator）。分配器产生分配计划（Allocation Plan）。

两种情况会触发资源分配过程：(1)预测到的请求到达率变化；(2)观察到的请求到达率变化。在实际运行过程中，对于理论值的可能误差必须进行观察和修订，监视器除了监测当前平均请求到达率 λc 以外，还监测当前服务保证率 Gsr_c 和资源利用率。当前服务保证率低于 SLA 所规定的服务保证率时，资源分配模块同样会被触发，在这种情况下，启发算法将调用以对 RASDB 做修正。资源利用率是用来决定是否触发资源释放过程。在服务请求到达率大幅减少时，资源的利用率会下降，这时应该释放资源以防止浪费，资源利用率将作为一个参考，并且释放资源所考察的周期也应长于增加资源所考察的周期。

以上这些机制和策略输入分析器来产生增加或减少资源的资源分配计划。

3.3 工作流程

按需资源分配的主流程如下：

(1)根据 SLA 规定的 SRT 和 GSR，查询 RASDB，为每一个服务

级别得到初始化的资源实体数 C0；

(2)根据 C0 从资源代理处获得资源实体句柄；

(3)将资源实体句柄传给负载均衡配置器使用；

(4)查询计划器；

(5)当请求到达率将增加时，触发 Add function；

(6)当请求到达率将减少时，根据观测到的资源利用率和资源递减策略触发 Remove function；

(7)观察监视器；

(8)当 λc 增加时，触发 Add function；

(9)当 λc 减少时，根据观测到的资源利用率和资源递减策略触发 Remove function；

(10)当 Gsr_c 低于 SLA 规定的服务保证率时，触发 Add function 和 Heuristic function;

(11)转到(4)。

Add function:

(1)根据 λc，SLA 中规定的 Gsr 和 SRT 查询 RASDB 得到应分配的资源实体数 Ct；

(2)Cp=max(1,Ct-C)，C 是当前的资源实体数，max 运算符是为第(10)步进行修正运算而设的，这种情况下要分配至少一个资源实体；

(3)根据 Cp 从资源代理处得到资源实体的句柄，传给负载均衡配置器并返回。

Remove function:

(1)根据 λc, SLA 中规定的 Gsr 和 SRT 查询 RASDB 得到应分配的资源实体数 Ct；

(2)如果当前资源实体数 C 大于 Ct，则 Cp＝C-Ct，否则 Cp＝0；

(3)释放 Cp 个资源实体。

Heuristic function:

(1)记录 λc 和 SLA 中规定的 SRT；

(2)观察触发了 Add function 过程后的 Gsr_c，直到 Gsr_c 满足 SLA 中规定的 Gsr；

(3)增加新的关系到 RASDB。

4 实验与评价

为了验证上文提出的模型和框架，我们做了仿真和实验来对模型的准确性和系统性能进行评价。

仿真实验中，SLA 的 QoS 参数为：Gsr = 95%，SRT = 0.2。以两种不同分布的请求到达率来进行仿真：一种是本文中假定的泊松分布，另一种是随机分布。每个实验包括 4 个阶段，请求在每个阶段以不同的平均到达率访问系统。

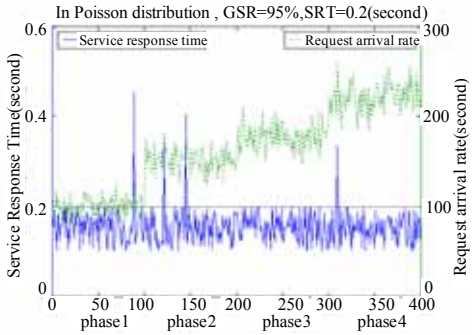
在实验过程中分配的资源实体数的变化见表 2。

表 2 资源分配实验结果

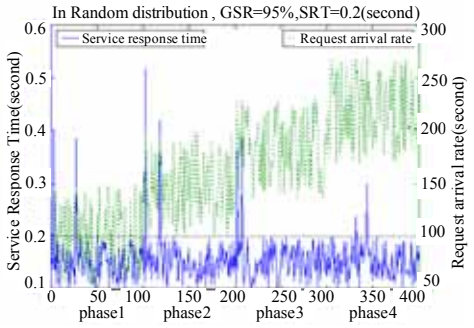
		阶段 1	阶段 2	阶段 3	阶段 4
泊松分布	λ	100	150	180	220
	资源实体分配数	11	16	19	23
随机分布	平均到达率	100	150	180	220
	资源实体分配数	[11,14]*	[16,19]*	[19,22]*	[23,26]*

*：表示分配数的变化范围，如[11,14]表示在阶段 1 分配数从 11 增加到 14。

从表 2 中可以看到，在泊松分布时，当到达率变化后，资源分配能立即变化到一定值并稳定下来，在随机分布时，分配的资源数要比泊松分布时多。图 2(a)和图 2(b)分别记录了实验中的服务响应时间（SRT）。从图 2(a)中可以看到，不管请求到达率如何变化，系统表现十分稳定，SLA 始终得到满足，Gsr_c 能达到 98%。从图 2(b)中可以看到，虽然请求到达率变化剧烈，系统仍能通过启发过程达到稳定，Gsr_c 能达到 95%，该结果也满足 SLA 的要求。



(a)请求到达率为泊松分布



(b)请求到达率为随机分布

图 2 实验结果

5 结论

本文为了解决网格环境下请求到达率不断变化而造成的资源和 SLA 不匹配带来的服务质量保障问题，提出按需资源分配模型。我们将模型有机地集成到按需资源分配框架中，该框架根据 SLA 的 QoS 要求和请求到达率的变化以及分配策略调整资源分配数，既能保障 SLA，又能防止资源浪费，启发算法和模型的可扩充性使该框架能有效地应用在各种网格环境下。

未来的工作包括在各种可能的环境下对模型进一步扩充，以及通过与其他模块（比如资源代理）的接口优化来提升系统性能。

参考文献

1 Foster I. Open Grid Services Architecture(Version 1.0)[EP/OL]. http://www. gridforum.org/documents/GWD-I-E/GFD-I.030.pdf, 2005-01.

2 Foster I. A Distributed Resource Management Architecture That Supports Advance Reservations and Co-allocation[C]. Proceedings of the 7th International Workshop on Quality of Service, London, UK, 1999.

3 Appleby K. Oc´eano–SLA Based Management of a Computing Utility[C]. Proceedings of the IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, 2001.

4 Jiang X. SODA: a Service-on-demand Architecture for Application Service Hosting Utility Platforms[C]. Proceedings of the IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing, 2003.

5 Givry S. Towards an On-line Optimisation Framework[C]. Proc. of CP'01 Workshop on On-line Combinatorial Problem Solving and Constraint Programming, Paphos, Cyprus, 2001: 45-61.

6 Gouscos D. An Approach to Modeling Web Service QoS and Provision Price[C]. Proc. of the IEEE WISEW'03, 2003.