

面向 Web 服务器集群系统的 Web QoS 机制研究^{*}

韩 蕾 蔡皖东 何得勇

(西北工业大学计算机系 西安710072)

摘 要 Web QoS 是当前 Web 计算中的重要研究内容,用于解决 Web 计算环境中端到端 QoS 保证问题。本文提出一种支持 QoS 的 Web 服务器集群系统方案以及实现技术,整个系统由支持 QoS 的集群交换机和 Web 服务器集群两级结构组成,通过集群交换机和 Web 服务器的协同工作,实现优先转发与优先服务相结合的分布式 QoS 保证体系,充分满足 Web 用户的服务质量需求。通过系统测试,原型系统的性能指标达到了设计要求。

关键词 Web QoS, 集群交换机, Web 服务器集群

Research on Web QoS Mechanism for Web Server Cluster System

HAN Lei CAI Wan-Dong HE De-Yong

(Department of Computer, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract Web QoS is a critical research of current Web computing, and it is a solution to end-to-end QoS assurance in Web computing environment. In this paper, a QoS-supporting Web server cluster system scheme and realization technique is presented. The whole system consists of two levels: the QoS-supporting cluster switch and Web server cluster. Here, through the cooperation of cluster switch and Web servers, the distributed QoS assurance system, which combines priority-switching and priority-serving, is built, and accordingly meets the users requirements for services quality. By system testing, the performance of the prototype system can reach the design requirements.

Keywords Web QoS, Cluster switch, Web server cluster

1 引言

随着计算机网络和多媒体技术的迅猛发展, Internet 上的 Web 应用一直呈现爆炸性增长趋势, 许多热门站点都经常面临着服务器超载和 HTTP 请求响应时间过长等问题。同时, 随着电子商务应用的发展, Internet 的服务模式正由传统的数据通信与信息浏览向电子交易与服务转变, 与传统的 TCP/IP 和 HTTP 服务的平均主义思想不同, 电子商务应用通常要求对用户或服务进行区分优先级别的处理。

近年来, 面向网络传输的服务质量(Quality of Service, QoS)技术研究已经十分活跃, 有关国际组织和机构制定了一系列有关 QoS 标准和协议, 如 IETF 的综合服务(IntServ)与资源保留协议(RSVP)、区分服务(DiffServ)、多协议标记交换(MPLS)和实时传输协议(RTP)等。然而, 这些 QoS 技术大都是针对网络传输机构的, 如果 Web 服务器不支持任何的 QoS 机制, 在 Web 服务器过载的情况下, 即使高优先级的数据流仍有可能遭受服务拒绝。因此, 在 Web 计算环境中, 实现端到端的 Web QoS 机制是必要的。

本文主要针对 Web 服务器集群环境下的 Web QoS 支持技术开展研究工作, 提出一种支持 QoS 的 Web 服务器集群系统解决方案, 最后给出系统测试结果。

2 面向集群的 Web QoS 技术

2.1 Web QoS 技术

实现端到端的 Web 服务质量保证包括两方面: 一是网络传输的 QoS 保证, 二是在 Web 服务器上的 Web QoS 保证。

QoS 通常是指网络在传输数据流时要求满足的一系列服务请求, 强调端到端或网络边界到边界的整体性, 具体可以量化为吞吐量、差错率、端到端延迟、延迟抖动等网络性能参数。但是仅靠网络 QoS 机制并不能完全解决端到端的 QoS 控

制问题, Web 服务器作为端到端网络中不可缺少的一个重要环节, 必须同样具备建立和支持 QoS 的机制与策略。Web QoS 属于应用层 QoS, 是指 HTTP 用户与 Web 网站交互要求满足的服务性能。它没有沿用传统 Web 服务器的“尽力服务”思路, 而是对不同用户和不同请求进行分类排队, 并提供不同质量的服务。Web QoS 有许多性能指标, 例如吞吐量、连接率、出错率等, 其中最重要的是平均响应时间, 即保证高级用户的平均响应时间要低于普通用户。

由于 Web 服务基础设施的复杂性, 影响 Web QoS 的因素有许多。实际上, Web QoS 技术涉及到构成 Web 服务系统的每一个元素, 包括网络传输系统、网络协议、操作系统、中间件和 Web 服务器(包括代理服务器)等相关的硬件和软件。概括地讲, Web QoS 技术所涉及研究内容主要有 Web 服务器应用软件的 Web QoS 支持技术、操作系统的 Web QoS 支持技术、中间件的 Web QoS 支持技术、Web 服务器集群系统的 Web QoS 支持技术以及 Web QoS 控制策略与算法的性能分析与评价技术等, 其中面向 Web 服务器集群系统的 Web QoS 支持技术是很重要的研究内容。

2.2 一种支持 Web QoS 的 Web 服务器集群系统

Web 服务器集群系统具有良好的性价比、可扩展性、可靠性和容错性, 并广泛应用于大型的 Web 计算环境中。同时, 集群系统的分布式特性增加了 Web QoS 机制的复杂性, 给系统设计和实现提出诸多的挑战。其中关键技术是 Web 服务集群系统中的 QoS 保证机制以及基于 QoS 的流量分配机制与算法。

为此, 本文提出一种支持 QoS 的 Web 服务器集群系统, 采用分布式 QoS 保证体系, 并在不同的网络层次上提供 QoS 机制, 整个系统由支持 QoS 的集群交换机和 Web 服务器集群两级结构组成, 参见图1。

^{*} 本文受到航空科学基金(项目号: 03F53031)和西安市工业攻关计划(项目号: GG 200312)的资助。韩 蕾 硕士研究生, 研究方向为网络多媒体技术。蔡皖东 教授, 博导, 研究方向为网络信息安全、多媒体通信技术等。何得勇 硕士研究生, 研究方向为网络集群计算技术。

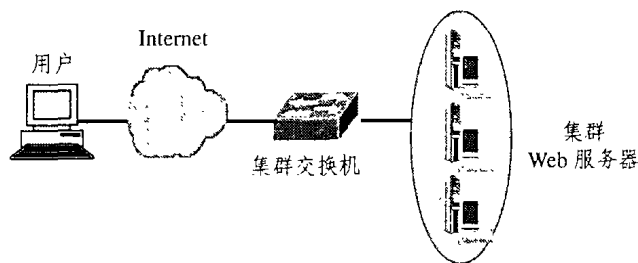


图1 支持 Web QoS 的 Web 服务器集群系统组成

① 集群交换机:提供网络层的 QoS 机制,通过基于 QoS 的流量分配算法实现 QoS 保证和负载均衡。集群交换机是连接外部网络与集群 Web 服务器网络的中间节点,在保证服务质量和系统负载均衡的基础上,把用户的 HTTP 请求转发给 Web 服务器,其流量分配原则是:优先转发高优先级数据流;均衡转发同优先级数据流。

② 支持 QoS 的 Web 服务器集群:提供应用层的 QoS 机制,基于流量标识对 HTTP 请求进行分类排队和优先服务,优先处理高优先级 HTTP 请求。

这样,通过支持 QoS 的集群交换机和 Web 服务器集群

的协同工作,实现优先转发与优先服务相结合的 QoS 保证体系,共同保证 Web 用户的 QoS 要求。

3 集群交换机的 QoS 机制

集群交换机是一种基于网络层的网络交换设备,其主要功能是根据一定的流量分配策略和负载均衡算法,将网络流量转发给 Web 服务器集群中的某一个可用的 Web 服务器,从而实现流量转发过程中 QoS 保证和负载均衡功能。

集群交换机的 QoS 保证机制是以流量分类为基础。在客户端,Web 用户利用适当的方法和工具将用户标识和优先级等信息附加在 HTTP 请求中发送给 Web 服务器。这一标记功能可以采用多种方法来实现。本文假设到达集群交换机的 HTTP 请求都已加入了用户标识。

集群交换机通过两个关键的组件来提供 QoS 保证:队列管理器和负载均衡器,其中队列管理器负责对输入的 HTTP 请求分类排队、优先级调度和流量控制等;负载均衡器负责集群服务器管理和 HTTP 流量分配,另外,监控器负责实时采集集群服务器的工作状态信息和连接请求信息,辅助负载均衡器进行流量调度,参见图2。

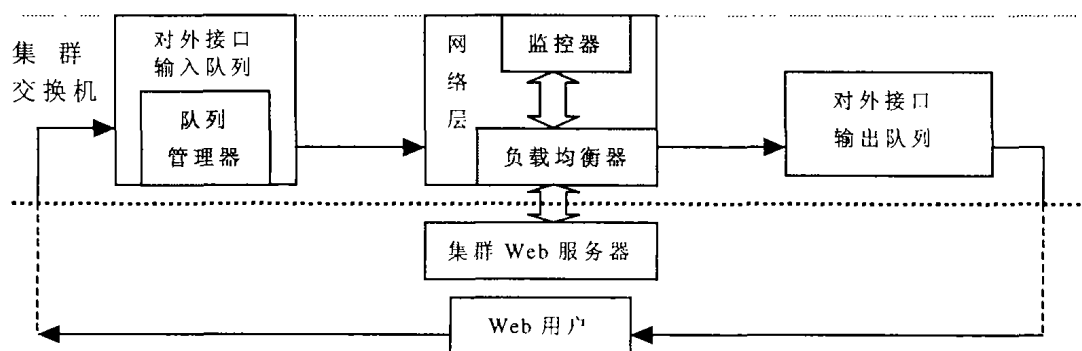


图2 集群交换机系统结构

3.1 队列管理器

在集群交换机上,每个网络接口都设有两个队列:输入队列和输出队列,分别用于控制数据包的输入和输出,它们位于

网络层与低层协议之间。为了实现对输入和输出数据流的分类排队和管理,我们设计了一个队列管理器,其体系结构如图3所示。

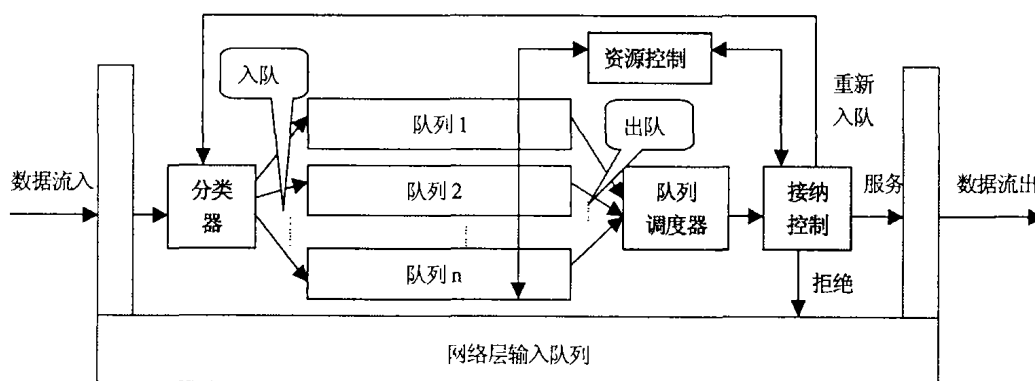


图3 队列管理器体系结构

队列管理器是实现第一级 QoS 保证的核心部件,它包括分类器、多队列结构、队列调度器、接纳控制和资源控制组件。传统的输入队列只提供一个的先进先出(FIFO)队列,所有数据包按照到达顺序入队等待调度。队列管理器采用了多队列结构,HTTP 请求经过分类器筛选后进入不同的队列。每个队列内部仍采用“FIFO”调度策略,队列之间则采用不同的调度算法,经过调度的 HTTP 请求提交给上层协议进行处理。

各个组件的功能定义如下:

(1) 分类器:对输入的 HTTP 请求进行分类,并排入不同的队列。分类原则是基于流量优先级、过滤规则以及其它相关策略等。首先从数据包中提取出相关信息,然后查找由系统管理员设置的分类规则表,如果查找到相应的条目,则排入该条目所指的队列中;否则排入缺省的队列。分类规则表是用户标识信息与队列号对应表,队列号指向某个队列,用户标识信息

是系统预置的,可以是用户 IP 地址、TCP 端口号和 HTTP 的 Cookie 内容,也可以是 IP 数据包的 DS 域标识符或者 RSVP 五元组等。

(2) 多队列结构:每个队列设置不同的优先级,每个队列内部仍采用“FIFO”调度策略,队列之间则采用不同的调度算法,可以容纳不同类型的数据包。

(3) 队列调度器:根据相关算法对多队列的输出操作进行调度,从多个队列中选择适当的 HTTP 请求输出。调度算法可以采用优先级算法(Priority)、加权轮询算法(Weighted Round Robin)、加权随机早期检测(Random Early Detection)和 CSZ 算法(Clark-Shenker-Zhang)等。

(4) 资源控制:资源控制组件为每个队列分配一定的带宽和其它系统资源,根据系统资源使用情况和系统设置,各个队列之间可以相互借用闲置的资源。

(5) 接纳控制:由接纳控制组件决定对 HTTP 请求的处理方法,在正常情况下,接纳控制组件把队列中输出的数据包提交给网络层进行处理。如果某个队列数据流量大于预留带宽,则根据一定的策略采取丢弃数据包或者重新排入其它队列(借用资源策略)。

队列管理器将多队列调度机制、预留资源机制和流量管理机制等有机地结合起来,从而实现基于 QoS 的流量分类和优先转发功能。

3.2 负载均衡器

在队列管理器提供的第一级 QoS 保证基础上,再由负载均衡器实现第二级 QoS 保证。

在一般的集群系统中,负载均衡器通过一定的负载均衡策略和流量分配算法将网络流量均衡地分配到 Web 服务器集群中,从而改善 Web 服务器的系统性能,加快 Web 服务器的响应速度。同时,还要维护 Web 服务器集群的可用性,提供 Web 服务器故障隔离和恢复功能。目前,负载均衡技术已比较成熟,可用于 Web 服务器集群系统的负载均衡算法主要有轮循法(Round Robin)、加权轮循法(Weighted Round Robin)、最少连接算法(Less Connections)、加权最少连接算法(Weighted Least Connections)以及哈希算法(Hash)等。

本系统不仅支持以上常用的负载均衡算法,而且对加权最小连接算法进行了改进,增加了用户标识和 QoS 支持功能,该算法的基本步骤如下:

(1) 接收队列管理器提交的 HTTP 请求,提取用户标识信息,确定请求类型。

(2) 根据请求类型和最小连接数策略,从集群中选择一台可用的 Web 服务器,在此服务器上该类型的 HTTP 请求连接数最小。

(3) 对 HTTP 请求包中的目的地址进行转换后转发给该 Web 服务器。

由于该算法将 HTTP 请求转发给最适合处理该流量类型的轻载 Web 服务器,使高优先级的 HTTP 请求能够得到快速的响应,从而保证了用户的 QoS。

集群交换机采用两级 QoS 保证策略,能够按流量所标识的 QoS 级进行优先转发,并通过负载均衡算法,进一步加快对 HTTP 请求的响应。

4 Web 服务器的 QoS 机制

通过集群交换机实现优先转发后,Web 服务器还必须采用适当的 QoS 机制实现优先响应和处理。只有通过集群交换机和 Web 服务器的协同工作,才能最终保证用户的 QoS。

目前,一般的 Web 服务器都不支持 QoS。因此,本文对 Apache Web 服务器软件进行了修改和扩充,增加了 QoS 支持机制,扩充后的 Apache Web 服务器如图 4 所示。

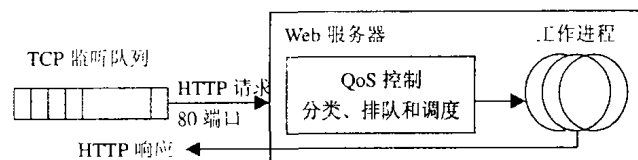


图4 支持 QoS 的 Web 服务器结构

该服务器系统实现了以下五种重要的 Web QoS 控制组件:

(1) 连接管理:通过修改 Apache 服务器软件生成的一个新的接收器进程,并且是唯一的。它负责截取所有到来的 HTTP 请求,并分为不同的 QoS 类别,然后将分类后的 HTTP 请求放入相应的 QoS 分级队列中等待服务。

(2) 请求分类:采用基于用户类别或基于目标类别的请求分类机制对 HTTP 请求进行识别与分类,这是支持 Web QoS 的一个关键点。

(3) 接纳控制:目的是保证低优先级请求在高速率下不会影响到高优先级请求的服务性能,即使在过载的情况下,服务器仍然能够维持现有用户会话的 Web QoS。

(4) 请求调度:请求经过分类和接纳控制后进入相应的请求队列,工作进程使用请求调度策略从中选择请求进行服务,即通过选择请求执行的顺序,为每类请求提供不同的服务级别。可用的调度策略包括:绝对优先级(Strict Priority)、加权优先级(Weighted Priority)、共享容量(Shared Capacity)、固定容量(Fixed Capacity)、最早截止优先(Earliest Deadline First)等。

(5) 资源调度:保证主机操作系统将高优先级的请求通过高优先级的进程来进行处理,即服务器为工作进程设置的优先级应与其处理的请求的优先级相匹配。

5 系统测试结果

本文采用了比较流行的 Web 服务器测试工具 WebStone 2.5 对原型系统进行了测试。首先将用户分为三个等级:高级用户、受控用户和普通用户,其数据流量比率为 1:2:3。然后把被测对象分为两种:单台服务器系统,仅一台普通的 Web 服务器,且无 QoS 支持功能;支持 QoS 的 Web 服务器集群系统,由集群交换机与三台改进后的 Web 服务器组成。

利用 WebStone 2.5 工具仿真三类用户分别对两种服务器系统进行海量访问测试。从所得到的性能参数来看,单台服务器系统的吞吐量只能有 30Mbit/s,而在 WebQoS 集群环境下的吞吐量可达到 80Mbit/s。从用户的服务器质量来看,在单台服务系统中,三类用户的 HTTP 请求的平均响应时间基本相同;在 Web 服务器集群系统中,高级用户的平均响应时间低于受控用户,受控用户低于普通用户。测试结果说明,Web 服务器集群系统不仅提高了系统性能,还可以为不同的用户提供不同的服务质量。

参考文献

- 1 单志广,林闯. Web QoS 成为热点技术. 计算机世界报,第 41 期,2002.11.1
- 2 单志广,林闯. HP WebQoS 软件. 计算机世界报,第 41 期,2002.11.1
- 3 蔡皖东. 多媒体通信技术. 西安:西安电子科技大学出版社,2000
- 4 Vasiliu N. Overview of Internet QoS and Web Server QoS. UWO Reading Course Paper. 2000.4
- 5 Shen K, Tang H, Yang T, Chu L. Integrated Resource Management for Cluster-based Internet Services. In: Proc. of the 5th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI'02), Boston MA. 2002. 225~238
- 6 Hubert B, et al. Linux Advanced Routing & Traffic Control HOWTO. <http://lartc.org/>. 2002
- 7 Cardellini V, Casalicchio E, Colajanni M. A performance study of distributed architectures for the quality of Web services. In: Proc. of Hawaii Int'l Conf. on System Sciences (HICSS-34), Software Technology Track, Maui, Hawaii, 2001. 3551~3560