

IP 网络服务质量体制与性能分析^{*})

朱清新¹ 赵 榕²

(电子科技大学宽带光纤通信国家重点实验室¹ 计算机科学与工程学院² 成都610054)

摘 要 本文对互连网的 QoS 的体系结构作了介绍,包括:综合服务,RSVP,区分服务,多协议路由标签交换和带约束的路由。具体介绍了什么是综合服务,区分服务,如何实现这些服务和存在的问题,以及为什么要在该体系结构中引入 MPLS 和带约束的路由选择,二者之间的联系和区别,在区分服务体系结构中的位置。

关键词 综合服务,RSVP,区分服务,随机早检测,业务量工程,带约束的路由选择,MPLS,LSR

一、引言

当前互连网仅提供尽力而为投递的服务方式,虽然该方式能尽可能快地对通信业务进行处理,但实际的转发质量及时间性并没有保证,而随着互连网的商业应用越来越普及,人们对服务质量(QoS)的要求越来越高。为了满足 QoS 的要求,IETF 提出了多种服务模型及机制,主要有综合服务/RSVP 模型,区分服务模型,多协议标签切换(MPLS),业务量工程以及带约束的路由选择。

互连网模型中 QoS 构架各部分的相对位置如下:

应用层	
传输层	综合服务/RSVP, 区分服务
网络层	带约束的路由选择
链路层	MPLS

综合服务模型以资源预留为特征。在实时应用程序中传输数据之前,应用程序必须先建立路径并预约资源。RSVP 是建立路径、预约资源的信令协议。区分服务模型中,对分组进行不同的标识以产生几个分组种类。MPLS 是一个转发机制:在支持 MPLS 的域的入口处为分组指定标签,然后根据标签对分组进行分类,转发和服务。业务量工程是关于安排业务量如何在网络间流动的过程。带约束的路由选择则是在一定的约束条件下(如对带宽或延迟的需求)寻找路径。

二、综合服务和 RSVP

除了尽力而为的服务方式外,综合服务模型提出了两种新的服务类型:

- 保证质量的服务:适用于对延迟大小有明确要求的应用程序。
- 对负载进行控制服务:适用于对可靠性要求较高的应用程序。

综合服务体系与当前的互连网体系结构有着根本的不同,互连网体系中与流相关的信息应存放端系统中,该模型要求:路由器必须能进行资源预约,因此路由器必须有确定的流状态信息。综合服务由 4 个部分组成:信令协议(例如:RSVP)、接入控制例程、分级程序、分组调度程序。如果应用

程序要求保证质量的服务或对负载进行控制的服务,则在传输数据之前应用程序应先建立路径,预约资源。接入控制例程决定是否为一个请求分配资源。分级程序在路由器收到分组时,对分组按多字段分级,并根据分级结果把分组放入一个特定的队列。相应地,分组调度程序调度分组以满足对 QoS 的要求。

RSVP 是为应用程序进行资源预约的信令协议。它的工作方式如下:发送者发一条 PATH 消息给接受者,以说明业务的特征。该路径上的每个中间路由器将 PATH 信息转发给路由由协议决定的下一跳。接受者收到 PATH 消息后立即用 RESV 消息应答来为流请求资源,该路径上的路由器可以接受或拒绝 RESV 消息。如果拒绝资源请求,则该路由器向接受者发送出错消息,终止信令进程。如果接受请求,则为流分配要求的带宽和缓冲空间,在路由器中安装相关流的状态信息。

综合服务体系结构存在的问题:

1) 状态信息量与流量成正比,随流量增加而增,路由器的存储和处理开销巨大,因此该体系结构不能很好地在互连网的核心扩展。

2) 对路由器要求高。所有路由器必须具有资源预约协议、接入控制、MF 分类和分组调度功能。

三、区分服务

由于综合服务/RSVP 较为困难,因而引入区分服务。IPv4 协议规定的的数据分组头部包含服务类型(TOS)字节。应用程序可设置 TOS 的高 3 位来指明低延迟,高吞吐率和低丢失率的要求,但能提供的服务比较有限。区分服务对分组的 DS 域进行不同的标识,并根据 DS 域对分组进行处理,故区分服务实质上是一个相对优先级方案。

用户对分组的 DS 域进行标记以表明需要的服务,服务提供商(ISP)对分组进行分级、监管,可能还要整形。通过分级、监控、整形以及调度机制提供多种服务。如:

- 最优服务:适用于要求低延迟、低抖动服务的应用程序。
- 确定服务:适用于可靠性要求比尽力而为方式高的应用程序。
- OLYMPIC 服务:按质量递减的顺序可把服务分为金、银、铜 3 级。

区分服务与综合服务相比有明显不同:

^{*}) 宽带光纤通信国家重点实验室访问基金资助项目。朱清新 教授,博士生导师,主要从事计算机网络技术,算法与仿真研究。赵 榕 硕士研究生,主要研究方向为网络安全技术。

首先,DS 域所能指示的服务类型是有限的。任何服务只能有一种类型,因而状态信息量与类型数量成正比,而与流的数量无关。

第二,复杂的分级、标记、监管和整形操作仅在网络边界处执行,故实现和使用容易。ISP 的网络通常由与用户相连的边界路由器和与之相连的核心路由器/交换机组组成。核心路由器要求快速转发分组,因此必须简单。边界路由器则因为用户链路速度较慢而不必快速转发分组,故边界路由器能有较多的时间处理分级、监管和整形操作。

区分服务体系 除了尽力而为的服务方式外,还有确定服务和最优服务两种工作方式。

确定服务

1. ISP 在网络的入口路由器处进行分级和监管。如果确定服务的业务量未超过用户与 ISP 的签定的服务级别协议(SLA)中规定的位速率,则认为分组在协议内(in),否则过量的分组是超出协议的(out);

2. 所有的分组不论是规定业务量内或超出部分均排列在确定服务队(AQ)中,以免发送失序;

3. AQ 队列采用随机早检测(RED-RIO)的管理方案。

因为 SLA 范围内的分组即使在拥塞时也很难丢失,所以只要用户使业务量保持一致就能从网络获得可预测的服务。在不阻塞的情况下,超出 SLA 的分组也将被转发,网络利用率高。

对确定服务中超出 SLA 的那部分业务量既可采用与尽力而为投递相同的处理方法,也可另行处理。当采用尽力而为投递的处理方法时,我们在 DS 域设置一个 A-位,协议业务量内的分组 A 位置为1,超出的分组和尽力而为投递的分组则置为0。

最优服务 可以为用户提供低延迟、低抖动的服务,并明确指定通信的最大位速率。每个用户与 ISP 签订 SLA。SLA 规定了每个特定流或流的集合最大位速率,用户保证发送速率不能超过该值,否则过量的业务量将会被丢弃,ISP 保证按合同规定的带宽传输用户数据。该服务适用于 Internet 电话、电视会议等业务,并且为 VPN 提供租用业务。

通过接入控制,最优服务的业务量被限制在整个输入链路带宽的较小的百分比范围内,如10%,过量的分组将被网络入口路由器丢弃,最优服务的分组最先被转发,它们可以百分之百地使用输出带宽。

但最优服务在业务分配不均匀的情况下将会出现问题。在 ISP 网络中,在核心路由器的业务聚合可能会使最优服务业务的到达速率低于服务速率的假设无效。区分服务不能解决该问题,因此必须运用业务量工程/带约束的路由选择以避免由于分配不均匀引发的阻塞。通过限制最优服务业务请求的带宽总量,或者在 PQ 和 AQ 队列之间采用加权平衡的方式(WFQ),网络管理员可以保证最优服务的同时不会引发确定服务及尽力而为服务的饥饿现象。

区分服务对路由器的要求

1. 用户域的叶路由器应有 MF 分类、标记和整形的功能。
2. ISP 入口路由器应有监控和再标记功能。
3. ISP 出口路由器可以有选择地再进行整形。
4. 每个路由器应能进行行为聚合分级并有具有严格优先级的两个队列。

5. 如支持动态 SLA,每个用户域则应有一个 BB 代表其请求服务,并在域内分配资源。用户域和 ISP 域都需要信令和接入控制机制。

6. 如果用 OLYMPIC 方式代替确定服务,则 AQ 队列应

由三个队列代替,分别是金,银,铜牌队列。加权公平队列(WFQ)机制可用来调度这些队列,队列的速度参数根据经验手工配置。

四、MPLS

MPLS 是一种使用固定长度的标签决定分组处理的转发方案,是业务量工程的有力工具。在 OSI 模型中位于第二和第三层之间。每个 MPLS 分组均有一首部,封装在链路层和网络层首部之间,总长为32位:其中20位标签,3位类型域(CoS),1位标签栈指示器和8位生存时间域。

具有 MPLS 功能的路由器称为标签切换路由器(LSR),它在转发分组时仅检查标签。网络协议可以是 IP 或其它协议。

MPLS 应用一个协议来分配标签,设置标签切换路径(LSP)。在具有 MPLS 功能域的入口处标签切换路由器(LSR)对分组成级和并选择路由,插入 MPLS 的首部。当 LSR 收到一个带标签的分组时,用该标签作为索引检索转发表,按转发表项的规定处理分组。输入标签换成输出标签,分组被转到下一个 LSR。在 MPLS 域内,按标签及 CoS 域决定分组的转发、分类以及 QoS 服务,这样简化了核心 LSR 的工作量。分组离开 MPLS 域之前移去 MPLS 标签。

基于 MPLS 的服务体系结构

MPLS 与区分服务一起使用以提供 QoS。该体系结构中路由器运行与基于 DS 域的体系结构的运行基本一样,仅在处理分组时有点不同:

1. 在 ISP 的入口处,除完成基于 DS 域体系结构中所要求的处理过程外,还要为分组插入 MPLS 首部。

2. 核心路由器根据分组标签和服务类型字段处理分组,而不是根据 DS 字段。

3. 在出口处,如果中介域没有设置 LSP,则删去 MPLS 首部。

注:此方案中,MPLS 的作用局限于使用 MPLS 的 ISP。ISP 体系结构是基于 DS 域的还是 MPLS 的,对其它 ISP 是透明的,因而两种体系结构很容易互操作。

五、业务量工程和带约束的路由选择

业务量工程是安排整个网络中的通信业务流动以避免网络负载不均而造成阻塞的处理过程,网络阻塞一般是由网络资源或业务量分配不均造成。前一种情形下,所有路由器和链路均过载,唯一的解决办法是对设备升级。第二种情形则是网络部分过载,另一部分则负载较小。业务量分配不无由目前动态路由协议总是选择最短路径转发分组造成,因此在两节点之间的最短路径上的所有路由器和链路则可能阻塞,但较长路径上的路由器空闲。OSPF 的 ECMP(等代价多路径)选项以及最新的 IS-IS 在几条最短路径上分配负载方面比较有效。但如仅有一条最短路径,则 ECMP 不起作用。对于简单网络,网络管理员可以配置链路代价以均衡业务,但对复杂网络则是不可行的。

避免阻塞与在阻塞时适当地降低网络性能是互为补充的,因此业务量工程是对分区服务的补充。

带约束的路由选择用于在多个约束条件下计算路径,是实现业务量工程有力工具。带约束的路由选择是从 QoS 路由选择演化而来,并对 QoS 路由选择进行了扩展,兼顾管理策略等其他网络约束条件。其目标是:

- 选择满足特定 QoS 要求的路径。
- 提高网络利用率。

当选择一条路径时,带约束的路由选择不仅需考虑网络拓扑结构,还要考虑流的要求,链路的可用资源,以及可能由网络管理员规定的其它策略,因而该协议将有可能找到一条稍长但负荷较轻的路径,网络业务量可以较为均匀地分配。

为了执行带约束的路由选择,路由器需要发布新的链路状态信息,并根据这些信息进行计算。

路由器要计算 QoS 路径需要知道网络拓扑结构及可用资源信息。发布带宽信息的方法之一就是扩展 OSPF, IS-IS 等协议的链路状态报文。由于链路剩余带宽不断变化,为了降低链路状态公告的频率,仅在网络拓扑或带宽有较大变化时发布公告,并使用抑制计时器限制公告的频率。

带约束的路由选择的路由表计算算法及其复杂度依赖于所选的度量。在带约束的路由选择中常用的度量是:代价、跳数、带宽、可靠性、延迟和抖动。其中,带宽和跳数是比延迟和抖动更重要的约束条件。

在带约束的路由选择中,可按需计算路径或预计算路径。在两种情况下,使用带约束的路由选择协议的路由器计算路由表的频率均大于动态路由时的频率,因为即使拓扑结构没有变化,较大带宽的变化也可能触发路由表计算。另外,带约束的路由选择算法复杂度至少与动态路由算法复杂度一样。因而,使用带约束的路由选择协议路由器的计算负荷可能非常高。

减少带约束的路由选择协议的计算开销的常用方法有:

- 为计时器设置较大的值,以减少计算频率。
- 用带宽和跳数为约束条件。
- 在计算路由表前,使用管理策略删除不合适的链路。以一个有延迟要求的流为例,传播延迟高的卫星链路在路由计算前就应删除。

资源预留与负荷平衡间的折中

带约束的路由选择机制可选择以下方案之一作为目标路径:

最宽最短路径:跳数最少的路径。当有多条这样路径时选择可用带宽最宽的路径。该方法着重选择最短路径来保留网络资源。该法与目前使用的动态路由协议算法相同。

最短最宽路径:具有最大可用带宽的路径,当有多条这样的路径时选择跳数最少的路径。该方法强调选择最宽路径实现负载均衡。

最短距离路径:路径 P 具有 k 跳,它的距离定义为:

$$\text{dist}(p) = \sum_{i=1}^k \frac{1}{r_i}, \text{ 此处 } r_i \text{ 表示链路 } i \text{ 的带宽}$$

该方法在两种选择方式之间做了一个折中。在网络负载重时,它支持最短路径,网络负载适中时,则支持最宽的路径。同时,不管网络的拓扑结构和通信模式如何,对尽力而为服务,第三种方法性能一直优于其它两种方法。

在带约束的路由选择协议下,网络的稳定性严重地依赖于路由粒度。如果使用业糙的路由粒度,两节点之间的源路径发生阻塞时,所有通向目标节点的业务从源路径切换到可选路径。在该路径上又能可能发生阻塞,业务可能再次被切换。

带约束的路由选择协议较高的计算开销也将损害网络的稳定性。当路由器忙于计算路由表时,对网络拓扑结构的变化反应较慢。为提高稳定性,应仔细选择重计算路由表周期的大小。在业务主干处的带约束的路由选择为稳定与计算开销之间提供了一个好的折中,减少路由器的计算复杂度也对提高稳定性有利。

总之,使用带约束的路由选择协议时须慎重。否则,性能

不稳定以及复杂度的增加将超过其好处。

带约束的路由选择与区分服务的关系:带约束的路由选择是为流选择最优路由,尽可能地满足流的 QoS 要求。它不是要替代区分服务,而是为了更好地协助区分服务进行转发。

带约束的路由选择与 RSVP 的关系:两者相互独立又互为补充。简言之,带约束的路由选择为 RSVP 决定路径但不保留资源。RSVP 为流预留资源但靠带约束的路由选择协议或动态路由协议决定路径。

带约束的路由选择与 MPLS 的关系:理论上二者相互独立。带约束的路由选择根据资源和拓扑信息决定两节点之间的路径,有无 MPLS 均可用。MPLS 使用它的标签分配协议设置 LSP,而不管该路径是由带约束的路由选择协议决定的还是动态路由协议决定。但当它们一起使用时,可以更有效地发挥各自的功能。在核心路由器不引入 MF 分级的情况下, MPLS 有可能在业务主干处执行带约束的路由选择。每一出入口对之间的每一 LSP 统计数据给带约束的路由选择提供了业务量的精确信息,有了这些信息,带约束的路由选择能更好地计算路径以建立 LSP。两者结合在一起,为业务量工程提供了有力的工具。

六、各种方式的优缺点及应用前景

综合服务体系采用 RSVP 在通信的节点间进行资源预留,该方法能保证 QoS,但路由器必须保存流的状态信息,状态信息量与流量成正比,随流量的增加而增加,路由器的存储和处理开销巨大,它不能很好地在互连网的核心扩展,因而综合服务通常只在企业网或私网上运行,不适于用在主干网上。

区分服务体系中状态信息量与服务类型数量成正比,而与流的数量无关,因而可扩展,是 QoS 目前研究的重点。

MPLS 提供了快速的分组分类和转发,以及有效的隧道机制,作为一种高效的 IP 骨干网技术平台, MPLS 技术为下一代的 IP 网络提供了一种灵活而有可扩展性的骨干网交换技术基础。使用 MPLS 技术,将可以大大提高网络的运行效率,可以实现对 IP 网上业务的 QoS 划分,并且可以通过流量工程对网络的资源进行合理的分配,实现约束路由。虽然 MPLS 拥有种种优点,但是在在大网上还没有广泛应用。原因在于协议不成熟,多厂商互通性存在问题, MPLS 跨 AS 甚至跨 Area 存在问题。然而在目前看来, MPLS 是实现基于网络 VPN 最理想的方案并且能够实现流量工程。未来 IP 网的研究必须探讨采用 MPLS 的可能性。路由器设备必须考虑实现 MPLS。

带约束的路由选择优点是较好地满足了流 QoS 需求,提高了网络利用率。缺点是通信和计算开销增大,路由表规模增大,可能会引起路由选择不稳定。为了提高稳定性,应仔细重计算路由表周期的大小。但其与 MPLS 结合在一起为业务量工程提供了有力的工具。

参 考 文 献

- 1 McDysan, David. QoS & Traffic Management in IP & ATM Networks, McGraw-Hill, 2000
- 2 石晶林. MPLS 宽带网络互连技术. 人民邮电出版社, 2001
- 3 RFC 2386. A Framework for QoS-based Routing in the Internet. <http://WWW.IETF.ORG>
- 4 RFC 2676. QoS Routing Mechanisms and OSPF Extensions. <http://WWW.FAQs.ORG>
- 5 Xipeng Xiao, Lionel M Ni. Internet QoS: a Big Picture. IEEE Network, March/April, 8, 1999