

MPLS VPN 端到端 QoS 解决方案的应用研究

陈家益

(广东医学院计算机教研室 湛江 524023)

摘要 MPLS VPN是当今主流的虚拟专用网技术。在MPLS VPN中传输融合语音、视频和关键数据,其关键是要实现有效的QoS保证。在对DiffServ和MPLS TE进行研究的基础上,引入MPLS DS-TE。DS-TE结合DiffServ的区分服务和MPLS TE的端到端有效路由策略,运用带宽约束模型,在MPLS VPN中实现端到端区分服务的QoS保证。

关键词 MPLS 虚拟专用网,服务质量,区分服务,MPLS 流量工程,DS-TE

中图分类号 TP393.01 文献标识码 A

Applied Study on End-to-End QoS Solutions for MPLS VPN

CHEN Jia-yi

(Department of Computer, Guangdong Medical College, Zhanjiang 524023, China)

Abstract MPLS VPN is the mainstream of present virtual private network technology. In order to transmit the integration of voice, video and critical data in MPLS VPN, the key is to achieve effective QoS guarantee. Based on the study on DiffServ and MPLS TE, it introduced the MPLS DS-TE. By combining the differentiated Services of DiffServ with the effective end-to-end routing strategy of MPLS TE, and employing the bandwidth constraints model, DS-TE achieves QoS guarantee of end-to-end and differentiated Services in MPLS VPN.

Keywords MPLS VPN, QoS, DiffServ, MPLS TE, DS-TE

网络服务质量(QoS)是由网络提供的网络支撑服务,体现在数据分组在网络中传输过程所表现出来的各种性能,包括延迟、抖动、丢包率和带宽。多协议标签交换虚拟专用网(MPLS VPN)是构建于服务提供商公共网络的专用通信网络。融合网络技术的发展,使语音、视频以及关键业务数据融合于MPLS VPN。这些多媒体应用及数据有实时性、连续性、集成性和数据量大等特点,且对延迟、抖动和分组丢失非常敏感。因此实现有保证的QoS是组建和维护MPLS VPN的最重要的任务。

1 MPLS VPN

MPLS VPN是无连接的、基于MPLS技术的VPN,是提供任何点到任何点链接的主流网络解决方案。在MPLS VPN中,用户边缘路由器直接和服务提供商网络的边缘路由器交换路由信息,服务提供商网络中的所有路由器通过附加在IP分组中的标签来识别是否属于同一专用闭合的用户组。标签中包含下一跳信息、服务属性和VPN标识符,VPN标识符保证了在一个VPN中通信的专用性和私密性。

MPLS VPN由核心路由器(P)、边缘路由器(PE)和用户边缘路由器(CE)组成。CE使用传统的路由选择实现网络的连接,提供用户网络与服务提供商网络之间的网关。PE用虚拟路由转发(VRF)机制将用户的路由进行划分,为VPN成员保持着VPN路由。VRF是物理路由器中的一种虚拟路由实例。将属于一个既定VPN的用户端点对应的PE接口,与这个VPN相应的VRF联系在一起,决定VPN用户可以通过

过哪个接口与PE链接。P维护到PE的路由信息,根据分组的外层标签对VPN数据进行转发^[1]。

2 区分服务模型

区分服务(DiffServ)模型在保持网络的高可扩展性的同时,实现区分服务策略。它定义服务类型(CoS)和基于节点的QoS资源管理功能。DiffServ模型在网络边缘根据到达的数据分组的属性和要求,将数据分组分类,通过对数据分组的分类和控制来实现对网络资源的有效配置,实现不同业务流所要求的QoS保证。DiffServ的实现分为两个部分:一是利用IPv4报头中的ToS字段给数据分组标记区分服务代码指针(DSCP)值;另一个就是实现单跳行为(PHB)。

DiffServ模型重定义IP分组头的ToS字段,相应最重要的6位定义为区分服务域,剩下的2位定义为显式拥塞通知。区分服务域在网络边缘被用于流量分类和调节,以编码DSCP值。DSCP是区分服务标记域中的值,标识分组所属的流聚集,每一跳的DiffServ路由器,根据DSCP选择传输分组所需的PHB。

PHB是DiffServ节点调度转发流聚集时实现的QoS机制。PHB表征DiffServ路由器外部可观察的分组转发行为,可以规定资源的共享调配,比如链路带宽的分配以及链路带宽使用的优先级,也可以表现为分组的延迟、抖动及丢失。IETF已经标准化的PHB有加速转发EF、确保转发AF、类别选择CS以及尽力而为BE四种^[2]。

DiffServ网络由边缘节点和内部节点构成,遵循统一的

服务策略和实现一致的 PHB。边缘节点的主要功能为:实现数据流的分类和传输调节机制,保存数据流的状态信息,根据预定的流规格对进入或离开区域的数据流进行调节,给分组标记 DSCP 值。内部节点主要是实现一组或多组 PHB,根据数据分组的 DSCP 值选择相应的 PHB。

3 MPLS 流量工程

MPLS 流量工程(MPLS TE)结合了 MPLS 技术和流量工程,通过建立标签交换路径(LSP)隧道进行资源预留,控制流量在网络中传输,利用率不高的链路可以被强制传输数据,从而优化资源利用和网络性能。MPLS TE 的实现分为四个过程:一是发布含 TE 属性的信息;二是路径计算;三是建立 LSP 隧道;四是转发分组。

MPLS 的显式路由使得初始化 LSP 时执行路径计算,建立沿路径的 MPLS 转发状态以及将分组映射到 LSP。一旦分组被映射到 LSP,路由器不再根据 IP 目的地址作出独立的转发决定,而仅仅根据标签转发分组。

计算路径以确定路径是否满足约束条件。路径计算要求获悉路径的每一节链路的约束信息,并且约束信息被发布到执行路径计算的所有网络节点。TE 扩展的 IGP 不仅发布链路的状态信息,而且发布链路的管理属性和可用带宽,这样每一网络节点可以获悉网络中所有链路的当前属性。当所有的网络节点都获悉网络中所有链路的属性,网络边缘节点利用基于约束的 SPF(CSPF)算法计算符合约束条件的路径。

最后,当一条路径被成功计算后,扩展的标签分发协议 RSVP-TE 沿着 LSP 建立 MPLS 转发状态。根据 LSP 入口端点给流量分组所加的标签,LSP 中所有的节点都能够识别 LSP 传输的流量,所以 LSP 可以看作是流量隧道^[3]。

4 MPLS VPN 的 QoS 解决方案

4.1 DiffServ Over MPLS

DiffServ 与 MPLS 相结合,由 MPLS 传输网实现 Diff-Serv。MPLS 标签边缘路由器(LER)完成 IP 分组分类,并将 IP 分组封装成 MPLS 分组在域内转发,LER 同时扮演 Diff-Serv 边缘路由器的角色,将转发服务要求相同的一类流量聚合,以 DSCP 标识,并映射到 MPLS LSP 上转发,同时对流量监测、调度。MPLS 标签交换路由器(LSR)完成分组的标记,对承载 DiffServ 流聚合的 MPLS 分组调度、整形/管制和转发。

MPLS 通过利用标签中的 EXP 字段,在 MPLS 中承载 DiffServ 信息,将 DiffServ 的多个 BA 映射到 MPLS 的一条 LSP 上。将六位字段表示的 DSCP 值(最多 64 个)映射到三位 EXP 字段(最多承载 8 个值)中,有两种方案:由 EXP 导出 PSC 的 LSP(E-LSP)和由标签导出 PSC 的 LSP(L-LSP)^[4]。

E-LSP 方案从 EXP 位推导出 PHB 的 LSP,适用于不多于 8 个 PHB 的网络,特定的 DSCP 等于特定的 EXP 组合,映射到特定的 PHB。标签值决定分组的转发路径,EXP 决定 PHB。LSP 建立后,EXP 位可根据承载在 LSP 中的分组的 DSCP 来设置,或由服务提供商设置。L-LSP 方案适合于 8 个以上 PHB 的网络,使用标签来传输 PHB 信息。一条 L-LSP 只传输一个 DiffServ 分类的分组,PHB 由标签值和 EXP 位决定,标签值决定分组转发路径并为其分配调度行为,EXP 位则传输分组的丢弃优先级信息。

4.2 区分服务感知的流量工程

MPLS TE 基于流量集合进行操作,不具备区分服务的能力。DiffServ 支持区分服务,但缺乏端到端的有效路由策略。区分服务感知的流量工程(DS-TE)结合了 DiffServ 的区分服务和 MPLS TE 的端到端有效路由策略,由带宽约束模型(BCM)为不同流量类别指定不同的带宽约束,从而将网络细分为具有端到端区分服务的虚拟网络。

DS-TE 的一个重要部分就是 BCM,BCM 确定带宽在不同的流量类别之间怎样分配。DS-TE 在 DiffServ 域中,将具有相同 PHB 的分组归为一个流量聚合,流量的带宽约束条件决定其等级类型(CT)。CT 是穿越链路的一组流量中继组,它们由特定的一组带宽约束条件进行管理,在链路带宽分配、约束路由和接纳控制过程中,需要用到 CT 信息。DS-TE 最多支持 8 个 CT,从 CT₀ 到 CT₇,CT₀ 代表尽力而为类流量,CT₇ 代表 QoS 要求最高的流量。

在 DS-TE 中基于建立优先级和保持优先级引进抢占机制,每个 CT 及其抢占优先级 $p(0 \leq p \leq 7)$ 定义一个流量工程等级(TE-Class)。DS-TE 将从一台边缘路由器到另一台边缘路由器之间的所有流量按照服务类别划分为不同的 TE-Class,用多条 LSP 传输,以 TE-Class 为服务粒度进行网络资源优化。

4.2.1 带宽约束模型

流量类别能够预留的链路带宽叫做带宽约束,而定义流量类别与带宽约束之间的关系叫做 BCM。BCM 根据 TE-Class 对链路资源进行划分,为不同 TE-Class 的流量预留单独的带宽,每个 CT 都会分配到一个带宽约束。将带宽约束记为 $BC_b(0 \leq b \leq \text{MaxBC}-1)$,CT 与 BC 的关系通过 BCM 表示,常见的 BCM 有:最大分配模型(MAM)^[5] 和俄罗斯套娃模型(RDM)^[6]。

(1) 最大分配模型

如图 1 所示,MAM 为每一个 CT 分配一个 BC,定义为: $\text{MaxBC} = \text{MaxCT}$, MaxCT 为 CT 的最大个数,且预留带宽 $\text{Reserved}(CT_b) \leq BC_b(0 \leq b \leq \text{MaxBC}-1)$ 。MAM 的优点是全面隔离不同的 CT,无需配置 LSP 间抢占优先级;缺点是 CT 间不能共享未使用的带宽。

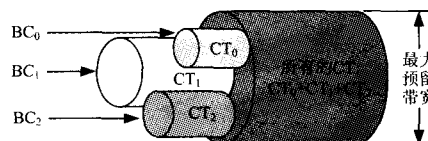


图 1 最大分配模型

如图 2 所示,RDM 在 CT₂ 到 CT₀ 之间共享带宽,定义为: $\text{MaxBC} = \text{MaxCT}$, MaxCT 为 CT 的最大个数,且 $\text{SUM}(\text{Reserved}(CT_c)) \leq BC_b(b \leq c \leq \text{MaxCT}-1)$,其中 $\text{SUM}(\text{Reserved}(CT_c))$ 表示所有 CT_c 的预留总带宽,BC₂ 和 BC₀ 之间存在不同的共享级别,BC₂ 容纳 CT₂ 的流量,BC₁ 容纳 CT₁ 和 CT₂ 的流量,依此类推。RDM 的优点是通过带宽共享提供高效的带宽使用;缺点是不能隔离不同的 CT,必须采用抢占机制才能保证每个 CT 的带宽。

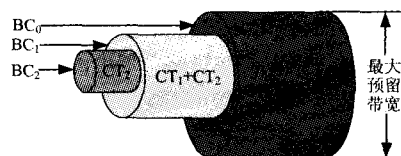


图 2 俄罗斯套娃模型

4.2.2 DS-TE 网络模型

DS-TE 将 MPLS TE 技术和 DiffServ 技术结合,运用 BCM 为网络服务提供以 TE-Class 为粒度、可扩展的端到端的 QoS 保证,其是对 DiffServ over MPLS 网络的改进,DS-TE 核心网络的 LSR 具有流量工程能力。

如图 3 所示,用 DS-TE 网络模型构建骨干网络,为邻近的网络提供端到端的 QoS 保证,邻近的网络可以是采用任何 QoS 机制的网络,如 DiffServ,或者是没有任何 QoS 机制的网络。目前网络流量的 CT 基本在 8 种以内,在 MPLS TE 中承载 DiffServ 信息,将 BA 映射到 MPLS 的 LSP 上,采用 E-LSP 方案。根据 TE-Class 实施流量工程,并利用 DS-TE 扩展后的 RSVP 为每个 FEC 建立 E-LSP,将预定义的映射关系配置在 MPLS 网络中运行 DiffServ。

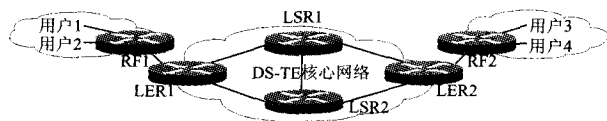


图 3 DS-TE 网络模型

在 DS-TE 网络的边缘是 MPLS LER, LER 与用户网络连接,将用户网络的服务映射到核心网络的服务,需要与核心网络建立静态或动态的服务等级协定(SLA)。在建立 SLA 的过程中,用户网络和 DS-TE 核心网络之间用信令协议 RSVP-TE 进行通信,建立 PHB 到 FEC 的映射关系。DS-TE 网络的核心是 MPLS LSR, LSR 执行标签交换、流量工程等职能,同时还行使 DiffServ 核心路由器的职能,以 TE-Class 为服务粒度提供 QoS 处理机制。

扩展的 IGP 将基于 TE-Class 的链路资源信息广播到整个网络;LSR 接收并解释 TE-Class 的链路资源信息,以此形成基于 TE-Class 的流量工程链路数据库;根据流量分组的 QoS 要求在流量工程链路数据库中计算约束路由,向信令协议提交具有约束路由的 LSP 建立请求;信令协议接收并识别基于 TE-Class 的 LSP 建立请求,执行标签分配和分发,建立符合约束条件的 LSP。根据 TE-Class,DS-TE 将一个 Diff-Serv 服务等级的业务映射到一条满足 SLA 的带宽约束 LSP,此业务可使用最短路径和非最短路径上的可用资源。

4.3 MPLS VPN 的 QoS 应用实例

MPLS VPN 的 QoS 应用实例如图 4 所示。设有两个企业 A 和 B,分别在不同的地理区域设有分公司,计划在服务提供商网络中通过 MPLS VPN 建立有效的专有通信链路,以保证数据的安全性和完整性,同时要求网络服务达到一定的 QoS 保证。两个企业传输的数据包括语音、呼叫信令、视频、路由选择、关键业务数据和尽力而为类。其中语音和呼叫信令对延迟、抖动和丢失率的要求较高;视频、路由选择和关键业务数据业务量较大,对延迟和抖动不敏感,对带宽和分组丢失率要求较高;其他的流量无需任何的 QoS 保证。

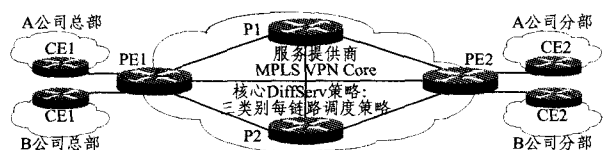


图 4 MPLS DS-TE 应用实例

MPLS VPN 中采用三类策略模型^[7],提供三种类别的

服务:实时类、关键数据类和尽力服务类。流量在到达企业园区边缘时被园区网边缘路由器 CE 正确标记。语音标记为 EF,呼叫信令标记为 AF31/CS3,视频标记为 AF21,路由选择标记为 CS6,关键业务数据标记为 DSCP 25,尽力服务类标记为 0。CE 根据 DSCP 标记对流量进行分析和分类映射,创建企业到服务提供商 MPLS VPN 的映射。

MPLS VPN 边缘路由器 PE,链接企业边缘 CE,提供 CE 功能的互补。PE 利用分类映射将所有的流量进行归类。语音和呼叫信令是典型的 EF 类业务,归为实时类;视频、路由选择和关键业务数据是典型的确保转发类业务,归为关键数据类,其他流量归为尽力服务类。利用策略映射,PE 将流量分组的 DSCP 标记映射为 MPLS 报头的 EXP 字段标记。针对每类别流量实施 QoS 策略,为实时流量创建 LLQ,并为 LLQ 分配 25% 的优先级带宽,为关键数据创建 CBWFQ,分配 45% 的带宽,为尽力服务类创建 FQ。在 PE 中全局启用 DS-TE 模式为 IETF,带宽约束模型采用 RDM,通过 RSVP 定义链路的预留带宽全局池和子池。MPLS VPN 核心路由器 P,对流量执行分类映射,为保证整个 MPLS VPN 的端到端 QoS 保证的一致性,在 P 中启用的 QoS 机制与 PE 保持一致。

结束语 在 MPLS VPN 中实现 QoS 保证,DiffServ 具有可扩展的区分服务,但缺乏端到端的路由策略,MPLS TE 具有端到端的路由策略,但以流量集合为服务粒度,不具备区分服务的能力。MPLS DS-TE 以 MPLS、DiffServ 和约束路由为基础,以 MPLS 为基本传输机制,在 MPLS TE 的基础上增加了区分服务,充分运用了 DiffServ 的可扩展性以及 MPLS 的显式路由能力,综合运用约束路由方法实现了对 QoS 的控制和网络负载均衡,是解决 MPLS VPN 端到端 QoS 保证的有效技术。

参考文献

- [1] Yamada H. End-to-End Performance Design Framework of MPLS Virtual Private Network Service across Autonomous System Boundaries[C] // Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, 2006; 1-6
- [2] Barakovic S, Barakovic J. Traffic Performances Improvement using DiffServ and MPLS Networks[C] // International Symposium on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT 2009), 2009; 1-8
- [3] Zhang Dong-li, Dan I. QoS Performance Analysis in Deployment of DiffServ-aware MPLS Traffic Engineering[C] // Eighth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, 2007; 963-967
- [4] Faucheur L. MPLS Support of Differentiated Services[S]. IETF RFC 3270, May 2002
- [5] Faucheur F L, Lai W. Maximum Allocation Bandwidth Constraints Model for Diffserv-aware MPLS Traffic Engineering [S]. IETF RFC 4125, June 2005
- [6] Faucheur F L. Russian Dolls Bandwidth Constraints Model for Diffserv-aware MPLS Traffic Engineering [S]. IETF RFC 4127, June 2005
- [7] Szigeti T, Hattingh C. End-to-End QoS Network Design [M]. Cisco Press, 2004