

文章编号:1000-582X(2003)06-0049-04

基于 MPLS 的 IP 骨干网流量工程及流量矩阵*

汪纪锋¹,王灵矫¹,赵国锋^{1,2}

(1. 重庆邮电学院,重庆 400065; 2. 重庆大学 计算机学院,重庆 400041)

摘要:针对当前的网络现状和发展趋势,对以 IP/MPLS 为基础的 IP 骨干网中,实施业务流量工程是必需的,业务流量矩阵的测量是实现业务流量工程的最基本的要求。笔者对当前一些主要测量方法的不足进行了分析,提出了基于 MPLS 的 IP 骨干网的业务流量工程模型和 LSP 级的业务流量矩阵的测量模型,以及相应的路由算法。业务流量矩阵的测量方法的优点在于:测量仅仅限于网络的边缘节点而不涉及核心节点,因而对网络资源的耗费少,为解决当前一些主要测量方法的缺陷提供了新的思路,为进一步实现业务流量工程提供了条件。

关键词:多协议标记交换; 标记交换路径; 业务流量工程; 业务流量矩阵

中图分类号:TP393

文献标识码:A

随着 IP (Internet Protocol) 网络的进一步发展,使得电信网正演变成成为基于 IP 技术的综合了语音、数据、图像、视频的多媒体业务网络,并且要求对不同用户所需的业务提供相应的 QoS (Quality of Service) 服务。业务的需求是动态变化的,而传统的 IP 网络路由体系只能提供数据传输的可达性服务,不具有全网资源利用的能力,这在很大程度上会导致网络中传输的数据流可能会汇聚到同一条链路上或同一节点的同—接口上,从而导致网络的阻塞。阻塞的发生,并非是网络资源不足,而是一部分资源被过度利用,而另一部分被闲置^[1]。并且该阻塞主要是发生在流量较大的骨干网中,而在边缘网络中一般不会发生这种情况。

对于这一问题,可以通过流量工程 (TE: Traffic Engineering) 来解决,阻塞主要是发生在骨干网,因此可以利用 MPLS (Multiprotocol Label Switching) 技术来实现 IP 骨干网的业务流量工程。业务流量工程的目的是提高和优化网络性能,合理地将网络业务流量分配到网络资源上,避免出现网络中的一部分资源被过度利用同时另一部分资源被闲置的情况,从而减少网络的阻塞现象,为 ISP (Internet Service Provider) 提供较高的资源性价比。它包含技术应用和科学的原则去测量、模型化、特性化控制因特网的业务。

在大型的骨干网中,业务流量工程是不可或缺的

功能,它能够较好地满足网络运营商所需的特性:在网络高效、可靠运行的同时对网络资源的利用与流量的性能加以优化。S. Srivastava et al. 指出,在相同的网络资源条件下,运用 TE 可以增加网络传送的业务流量约 20% ~ 50%^[2]。

目前,业务流量工程主要是在一个 AS (自治系统) 中实施,其应用的两个关键点是负荷均衡与网络恢复,以此避免拥塞以及由此带来的 QoS 服务等级下降的问题,并进一步实现网络工程自动化。

1 业务流量工程

传统的 IP 网络路由协议和路由算法所提供的控制能力不能胜任流量工程的要求^[3]。这是因为这些拓扑驱动协议在进行路由时未考虑资源约束状况以及业务流量的特性。基于度的流量控制在网络规模和用户的迅猛增长下,难以应付网路中巨大的数据流传输的要求。业务流量工程就是将业务流映射到实际的物理链路上,又可以自适应地优化网络资源,实现特定服务性能要求的、具有宏观调节和微观控制能力的网络工程技术。它由网络拓扑结构、资源属性及可用性数据库、业务流量测量模块、Online 业务流量分布数据库、算法模块、调度控制模块组成,它们间的相互关系如图 1 所示。其工作原理是:根据网络拓扑可得到该

* 收稿日期:2003-01-18

基金项目:重庆市教委科技攻关项目“通信网管理决策与控制技术开发研究”(编号:2000-001702)

作者简介:汪纪锋(1948-),男,湖北汉口人,重庆邮电学院教授,博士生导师。研究方向:智能控制理论在通信网中的应用。

网络的各条链路上可用资源数据库,通过业务流量测量模块对网络拓扑各条链路进行 Online 测量得到 Online 业务流量分布数据库,算法模块在特定的时刻调用两个数据库的数据进行计算得出网络的运行情况,如果阻塞就激活调度控制模块根据一定规则对网络拓扑中的业务流量进行调度来排除网络阻塞。

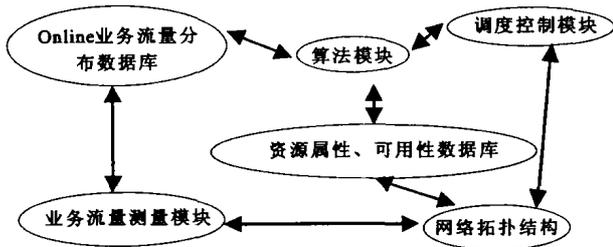


图1 业务流量工程结构图

因此,两个数据库(或称流量矩阵)的获取是进行流量工程的首要条件。前一个数据库通过建立的网络拓扑得到,而动态的获取 Online 业务流量分布状况的流量矩阵(Traffic Matrices)则是目前研究 TE 的一个难点、热点问题。

目前,一些 TE 采取业务流量预测法来生成 Long-term Traffic Matrix,再利用某些测量技术对其进行一定的修正^[4]。Panos Trimintzios et al 和 A. Elwalid et al 的基于预测的 Traffic Matrix 通常不能准确地表征网络中实际的业务流量分布状况,以此为基础的修正也就难以保证其结果的准确性,在实施业务控制和负载平衡时将造成不可预见的误差。还有一些系统采用基于流的测量方式,如 A. Feldmann et al 在 IP 网络的接入边界进行业务流级的测量,然后根据测量结果,估算出网络的业务流量矩阵^[5]。但是实时测量可能存在几十万的流是困难的,所消耗的资源也是相当惊人的,并且不能保证提取的路由信息是实时的、准确的。N. G. Duffield et al 提出了一种不需要了解网络的拓扑结构和路由信息,而是选用 hash 采样函数,生成测量数据包,进行 Traffic Matrix 的测量^[6]。但是要准确地选取一个能够代表所有网络中传送的业务流的数据包子集和一个合理的 hash 采样函数,这在实际应用中几乎是不可能的。当采样函数选择不恰当时,测量结果将丢失大量信息,影响结果的准确性。

以上这些研究无法实现对 IP 网络进行实时的、动态业务流量矩阵的测量,而基于 MPLS 技术对 IP 骨干网络的 TE 测量则能避免以上的问题,能够实时地、准确地获取网络的流量矩阵。

2 基于 MPLS 的流量工程

目前,MPLS 是解决业务流量工程的最好方案,是

一种性价比最好的集成模型方式的宽带网络技术。MPLS 集成链路层的标签交换技术与网络层的路由技术为差分服务提供强有力的支持;它提供的完整的流量管理方法可以优化 IP 业务的选路方式;在路由选路时,它可以基于业务流所需的资源和网络中的可用资源进行路由;在节点和链路发生故障时,它能够适应一系列新的资源约束情况,有效地对发生问题的节点和链路进行恢复;所以 MPLS 为自适应业务流量工程的实现提供了可能。

在 IETF RFC 2702 及其它一系列建议草案中,确定了把 MPLS 技术应用到 IP 网络的业务流量工程中。在 MPLS-TE 的应用中,其主要方法是运用约束路由(Constrained Routing)和显式路由(Explicit Routing)技术。并在路由协议方面,对 OSPF(Open Shortest Path First)或 IS-IS 进行扩展;在信令协议方面,对 RSVP(Resource ReReservation Protocol)及 LDP(Label Distribution Protocol)进行扩展^[7]。

作为 IP 骨干网络的核心技术,它将路由控制与数据转发分开,在数据包转发之前进行路径的计算及建立,从而便于数据包快速转发的实现。基于 MPLS 的显示路径和约束路由技术,可以灵活地进行业务流量工程。ISP 通过显示路由技术可以为业务流预先确定一条转发路径,在数据转发中比传统的路由技术减少了很大的开销;同时,使用约束路由算法对业务流进行路由计算时仅考虑链路权值和网络中的各种约束条件来得到最佳的路径和实现区分业务和 QoS。

3 基于 MPLS 的流量矩阵的测量

3.1 MPLS 网络模型的公式化

MPLS 网络模型可以用公式来描述:

$$G = (V, E, c) \quad (1)$$

$$H = (U, F, d) \quad (2)$$

式(1)中, V 是网络中一系列节点(路由器或交换机)的集合, E 是边(节点间链路)的集合。如果, v, w (v, w 是网络中的节点)在 G 中直接相连,则 $E = (v, w)$ 。参数 c 则是 E 和 V 的容量和其他一些约束条件。

式(2)中, $U \subseteq V$, U 至少是一条 LSP 上的所有节点的集合, F 是 G 中的 LSP 集合。若 $(x, y) \subseteq U$, 并且 (x, y) 是一条 LSP 的两个端点,则 $F = (x, y)$ 。参数 d 是与 F 相关的一些约束条件。 H 是直通图,并且依赖于 G 的特性。

3.2 MPLS 网络的数学测量模型

根据网络模型的公式,可知 G 中所有的 LSP 集合以及每一条 LSP 通过的节点集合。假设网络的节点

(V) 数为 n , 其中边界节点数为 q , 边(E) 的数目为 m , 测量周期为 T , 约束条件为带宽 $C(e)$, 则表征网络中的业务流量分布状况的 Traffic Matrix 可以用一个 $n \times n$ 的加权邻接矩阵 D 来表示, 其中 d_{ij} 表示从节点 i 到 j 之间的业务流量, 如果节点 i 和 j 之间不直接相连, 则 $d_{ij} = 0$ 。另外, 只考虑每个边界节点需要转发到其他边界节点的业务流量, 而不考虑本地的业务流量, 因此 $d_{ii} = 0$ 。

从网络中实际测量所得的业务流量矩阵, 当测量周期 T 足够短时, 如 5 min (网络链路上的聚合流在 5 min 的时间间隔内的变化很小), 则测量所得的业务流量矩阵 Traffic Matrix 就可以用来表征当前网络中实际的负载分布状况。

设边界节点数为 q , 则可以用 $q \times q$ 阶矩阵 X 来表征各个边界节点间的业务流量需求。 T 表示边界节点间的 LSP, 同一对边界节点之间可能存在多条不同的 LSP 路径。在网络中, 同一邻接节点间也可能存在多条不同的 LSP 通过。用 T_{ij}^l 表示边界节点 i 到 j 之间的第 l 条 LSP 路径, Φ_l 表示测量所得的该 LSP 上的业务流量, 则有数学测量模型:

$$\text{Traffic Matrix, } d_{ij} = f(T_{ij}^l, \Phi_l) \quad (3)$$

$$\text{和 Traffic Demand, } x_{ij} = \sum_l \Phi_l \quad (4)$$

测量模型是在网络边界进行业务流量测量, 而不是在网络核心处实施测量行为, 测量的对象是每个边界点的每一条 LSP 路径上的业务流量。根据边界测量结果, 用数学测量模型可计算出网络在该测量周期内的 Traffic Matrix 和 Traffic Demand。

3.3 Traffic Matrix 的算法

设网络的节点数为 n , 其中边界节点数为 q , 测量周期为 T , 则在时间 $[t, t + T]$ 内可以根据每一条 LSP 上测量的结果计算全网的 Traffic matrix, 结果用 D 表示, 且 $d_{ij} \in D(i, j = 1, 2, \dots, n)$ 。具体算法描述如下:

步骤 1: 令 $D = 0$;

步骤 2: 对任一边界节点 b , 假设其周期 T 内存在 L_b 个激活的 LSP, 其中第 l 条路径 LSP $_l$ 的长度为 h_l , Φ_l 表示该路径上测量所得的业务流量。则:

$$\text{对所有 } e_{ik} \subseteq \text{LSP}_l, d_{ik} = d_{ik} + \Phi_l \quad (5)$$

步骤 3: 对边界节点 b 在 T 时间周期内存在的 L_b 个 LSP 路径测量结果, 重复进行步骤 2 的计算;

步骤 4: 对所有 q 个网络边界节点, 重复进行步骤 2 和步骤 3 的计算, 就可以得到全网的 Traffic matrix。

算法需要计算的是

$$\sum_b L_b \cdot h_{b,i} \quad (6)$$

算法的复杂度与 T 时间周期内的活动 LSP 路径数和每

一条 LSP 路径的长度相关, $h_{b,i}$ 与路由算法相关。如在 min-hop 路由算法下, 任意两个边界节点之间的路径长度是一定的, 而 $\max_b \sum_b L_b = C \cdot q^2$, C 表示在 T 时间周期内一对边界节点之间的 LSP 路径数。当合理选择 T 后, C 有界, 因此其算法的复杂度是 $Q(q^2)$ 。

4 基于 LSP 的路径信息

在 MPLS 网络中, LSP 可以分为显示 LSP 路由 ER-LSP 和逐跳 LSP 路径 hop-by-hop LSP 两种^[8]。根据 LSP 的建立方法, 对于 ER-LSP, 在网络边界可以明确的知道业务流将沿着怎样的路径转发; 而对于 hop-by-hop LSP, 由于路径计算是在每个转发路由器中根据相应的路由协议进行, 所以不能在边界路由器中事先获知业务流所要经过的转发路径。为了在路径建立完成的同时获知 hop-by-hop LSP 的路径信息, 可对标签分发协议 LDP 进行扩展, 使 LSP 从出口节点到入口节点反向进行标签分发时, 标签映射信息能够附加所有经过的转发节点并将这些转发节点的信息提交给入口的边界路由器。这样当路径建立好后, 在网络边界就可以知道该 LSP 的整个路径信息。

5 路由算法

基于约束的路由选择是根据某些约束条件(如: 带宽、管理策略、网络拓扑结构)来计算路由^[9]。在流量工程中, QoS 是考虑的主要问题, 而 QoS 主要是同带宽相关。因此在路由的选择中可以通过一种启发式算法来解决路由问题: 1) 根据测得的 Traffic Matrix 和其他相关属性(如资源属性, 或拓扑状态信息等), 首先删除不满足流量主干属性需求的资源; 2) 在剩下的图中运行 OSPF 算法进行路由算法; 3) 将选择的路由映射成新的 LSP, 然后在该 LSP 上进行业务流转发。这同单纯考虑网络拓扑结构所得的路由相比, 有可能不是最短的, 但负载却是较轻的, 能够避免负载过大而引起阻塞。

6 结束语

随着电信网络业务的多样化, 对更优业务的 QoS 要求, 用户数量的急剧增长, 传统的电路交换模式向以 IP 技术为基础的包交换方向发展, 使得 ISP 不得不充分利用资源, 为更多的用户提供更优的业务, 因而对 IP 骨干网实施业务流量工程是十分必要的。而在传统的 IP 网络中实现业务流量工程是非常困难的, 而基于 MPLS 的 IP 网络则是可行的, 也是当前进行业务流

量工程研究的一个热点问题。进行业务流量工程,业务流量矩阵的测量是非常关键的和重要的。作者提出的基于 MPLS 的 IP 骨干网络的 LSP 级业务流量矩阵测量模型具有一定的优势,并提出了路由算法以实现流量工程。当然要完全地实现流量工程还需要进一步的研究。

参考文献:

- [1] DANIEL O. Awduche. RFC2702; Requirements for Traffic Engineering over MPLS [R]. Network Working Group. 1999.
- [2] SRIVASTAVA S. Benefits of Traffic Engineering using QoS Routing Schemes and Network Controls [R]. Kansa City. School of Interdisciplinary Computing and Engineering. 1998.
- [3] ELWALID A. MATE; MPLS Adaptive Traffic Engineering [R]. Proceedings of INFOCOM2001, 2001.
- [4] PANOS TRIMINTZIOS. A Management and Control Architecture for Providing IP Differentiated Services in MPLS - Based Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2001, (5): 80 - 88.
- [5] FELDMANN. Deriving Traffic Demands for Operational IP Networks; Methodology and Experience [R]. Proceedings of ACM SIGCOMM2000, Stockholm, Sweden. 2000.
- [6] DUFFIELD G. Trajectory Sampling for Direct Traffic Observation [R]. ACM Computer Communication Review, 2000.
- [7] AYAN BANERJEE. Generalized Multi - protocol Label Switching: An Overview of Routing and Management Enhancements [J]. IEEE Communications Magazine, 2001, (1). 145 - 150.
- [8] 冯径. 多协议标记交换技术 [M]. 北京:人民邮电出版社, 2002. 52 - 64.
- [9] 吴江,赵慧玲. 下一代的 IP 骨干网络技术 [M]. 北京:人民邮电出版社, 2001. 115 - 13.

Traffic Engineering and Traffic Matrix in IP Backbone Network Based on MPLS

WANG Ji-feng¹, WANG Lin-jiao¹, ZHAO Guo-feng²

(1.

2. College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: On current network actuality and development trend, it is necessary to put traffic engineering in practice in IP backbone network on IP/MPLS. The essential demand in actualizing traffic engineering is traffic matrix measurement. After analyzing the defect of current measurement method, traffic engineering model and traffic matrix on LSP in IP backbone network based on MPLS, or relevant routing algorithm are researched. The merit of the traffic matrix's measurement method is that implement of measurement is only located in the edge node; therefore, network resource's cost is lower and it offers a new train of thoughts for resolving the flaw of current main measurement methods, moreover, and condition for actualizing traffic engineering.

Key words: MPLS; LSP; Traffic Engineering; Traffic Matrix

(编辑 吕赛英)