

MPLS 网络多路径动态流量分配的研究

倪 华, 唐宝民

(南京邮电学院通信工程系, 江苏南京 210003)

摘 要: 本文描述了 MPLS(多协议标记交换)流量工程性能最优化方面的一种分析途径,首先对多路径系统模型进行了描述,然后在引入流量分配颗粒度 g 的概念的基础上,提出一种改进的多路径上的动态流量分配算法,利用此算法,可以实现 LSPs(标记交换路径)上流量的动态调整,并降低运算量,本文通过数值分析验证了算法的性能和稳定性.

关键词: MPLS; 流量工程; LSP; 流量分配

中图分类号: TN915.04 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 04-0718-03

Dynamic Traffic Partitioning on MultiPath in MPLS Systems

NI Su-hua, TANG Bao-min

(Department of Communication Engineering, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Jiangsu, Nanjing 210003, China)

Abstract: This paper describes an analytical method about performance optimization in MPLS (Multiprotocol Label Switching) Traffic Engineering. At first multipath MPLS system model is described, Then we put forward an improved dynamic traffic partitioning algorithm on multipath based on the introducing of the conception of traffic splitting granularity g , which can realize the dynamical traffic regulation on LSPs (Label Switched Paths) and decrease computing quantity. This paper verifies the performance and stability of the algorithm by numerical analysis.

Key words: multiprotocol label system (MPLS); traffic engineering; label switching path (LSP); traffic partitioning

1 引言

MPLS 是 IP 通信领域中的一项新技术,它是将分层网络的第二层(数据链路层)交换和第三层(物理层)路由结合起来的一种 L2/L3 集成数据传输技术.由于它在流量工程方面所具有的强大优势^[1],使其成为 ISPs(因特网业务供应商)关注的焦点. MPLS 支持显示 LSPs,可以在多条平行 LSPs 上进行数据传输,从而提高网络的转发效率.目前已经提出了几种多路径选择算法^[2~5],用于网络的初始化配置之中.但是,实际网络中,网络状态处在不断的变化之中,因此有必要对平行 LSPs 上流量传输进行动态调整,以适应网络的动态变化.

对于 MPLS 网中的平行 LSPs,入口 LSR 对输入流量进行动态分配并映射到几条平行的标记交换路径,即将 FECs(转发等价类)映射到预置的 LSPs(使用多路径算法确定平行 LSPs)上,以增强面向流量的性能,充分利用网络资源.本文中映射性能以丢包率来表达,假设有 N 条平行 LSPs,在 MPLS 输入节点对流量进行最优化分配,然后将流量映射到 n 条预置的 LSPs 上.

本文首先对多路径系统模型进行了描述,然后分析了多路径上的动态流量分配算法,最后通过数值分析对算法进行

了验证.

2 MPLS 多路径系统模型

MPLS 入节点通过 n 条平行的 LSPs 连接到出节点上,用 $\{i : i = 1, \dots, n\}$ 来表示 LSPs 组.在模型中,一条 LSP 的每一跳都要通过一个队列,这样,每条 LSP 由一系列此种队列表示,用 $Q = \{Q_{ij} : i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, R_i\}$ 来表示网络中的队列. R_i 是 i 所穿越的跳数. $\lambda_i(t)$ 表示输入流量的到达率,假设穿越 LSP i 的每个节点队列是一个基于时间的函数,可以分成两个部分:(1)入流量速率 $\lambda_i(t) = P_i(t) \cdot \lambda(t)$,入流量映射到各条 LSPs 上的概率矢量表示为 $P(t) = \{P_i(t) : i = 1, \dots, n; \sum_{i=1}^n p_i(t) = 1\}$;(2)变量 $\mu_{ij}(t)$,表示穿过此节点的其他 LSPs($\neq i$)的流量, μ_{ij} 表示 LSP i 的队列 j 的服务速率.假设 $\lambda_i(t)$ 和 $\mu_{ij}(t)$ ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq R_i$) 的变化相对于时间而言比较慢,在分析时可以只考虑队列稳定状态的行为.假设在时间间隔 Δt 间,到达率的变化可以忽略不计.用参数 k 表示时间序列, $\lambda_{ij}(k)$ 和 $\mu_{ij}(k)$ 是在时间 $t = \sum_{i=0}^k \Delta t$ 测得的到达速率^[6].系统参考模型如图 1 所示^[6].

3 MPLS 多路径上的动态流量分配算法

系统参考模型如图 1 所示,以丢包率为其主要性能参数(适用于尽力而为型(BE)流量),每条链路近似地用 $M/M/1/K$ 队列表示(根据实际情况调整队列方式)^[7],定义矢量 $\lambda(k) = [\lambda_1(k), \lambda_2(k), \dots, \lambda_n(k)]^T$ 作为 LSP i 的输入流量速率, $\lambda_{ij}(k)$ 为 $\lambda_i(k)$ 流经队列 Q_{ij} 的流量,变量 $\lambda_{ij}(t)$ 表示穿过此节点的其他 LSPs (\in) 的流量, $\lambda_i(k) = [\lambda_{i1}(k), \lambda_{i2}(k), \dots, \lambda_{iR_i}(k)]^T$, 且 $\lambda_i(k) = [\lambda_{i1}(k), \lambda_{i2}(k), \dots, \lambda_{iR_i}(k)]^T = \lambda_i + \lambda_{i-1}$, $\lambda_{ij}(k) = \lambda_{ij}(k) + \lambda_{ij}(k)$ 是队列到达速率矢量,队列服务速率 $M_i = [\mu_{i1}, \mu_{i2}, \dots, \mu_{iR_i}]^T$. 系统性能用丢包数来表示,因此要计算出能使丢包率最低的流量映射矢量 $P(k) = [p_1(k), p_2(k), \dots, p_n(k)]^T$, 且有

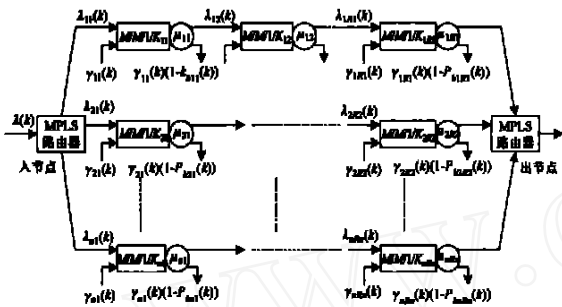


图 1 MPLS 多路径系统参考模型

$$[\lambda_1(k), \lambda_2(k), \dots, \lambda_n(k)]^T = [p_1(k), p_2(k), \dots, p_n(k)]^T \lambda(k) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n p_i(k) = 1 \quad (2)$$

考虑到降低运算量的要求,许多流量具有颗粒度 $g(0 < g < 1)$ 的需要^[4],颗粒度用 $g(0 < g < 1)$ 表示。例如,当 g 为 0.1 时,分配的流量可以是 0.1 的倍数(如果有三条路径,每条路径上的流量比率可以是 0.1、0.3 和 0.6);当 g 为 0.5 时,流量分配只能是由两条路径平均分摊(每条路径负载为 0.5)或者由一条路径传输所有流量。此时需要改变约束条件为 $\sum_{i=1}^n p_i(k) = 1$

$$p_i(k) = m_i(k) \cdot g, m_i(k) \in \mathbb{Z}, 0 < m_i(k) \leq \lfloor 1/g \rfloor \quad (3)$$

计算使丢包率最小化的矢量 $P(k)$, 定义 P_{bi} 是 LSP i 上的丢包率,总的丢包率表示为

$$\begin{aligned} L(k) &= \frac{1}{(k)} \cdot (P_{b1}(k) \lambda_1(k) + P_{b2}(k) \lambda_2(k) \\ &+ \dots + P_{bn}(k) \lambda_n(k)) = \frac{1}{(k)} \cdot \sum_{i=1}^n P_{bi}(k) \lambda_i(k) \\ &= \frac{1}{(k)} \cdot (P_b(k))^T \lambda(k) \end{aligned} \quad (4)$$

且 $P_b(k) = [P_{b1}(k), P_{b2}(k), \dots, P_{bn}(k)]^T$.

定义 P_{bij} 为到达速率为 $\lambda_{ij}(k)$ 的队列 Q_{ij} 的丢包率。这样, LSP i 的流量通过此队列的丢包状况为

$$P_{bij}(\lambda_{ij}(k), \mu_{ij}) \lambda_{ij}(k) = P_{bij}(\lambda_{ij}(k), \mu_{ij}) \lambda_{i(j-1)}(k) \cdot (1 - P_{bi(j-1)}(\lambda_{i(j-1)}, \mu_{i(j-1)})) \quad (5)$$

且有 $\lambda_{ij}(k) = \lambda_{i(j-1)}(k) (1 - P_{bi(j-1)}(\lambda_{i(j-1)}(k), \mu_{i(j-1)}))$, $\lambda_{i1}(k) = p_1(k) \lambda_i(k)$

考虑比较常规的情况,队列丢包率较小 ($P_{bij} \ll 1$),以泊松分布到达速率进入队列的包仍以近似于泊松分布的速率离开队列,此时,系统中的每个队列近似的等同于 $M/M/1/K$ 队列^[7](根据实际情况调整队列方式)。这样,总的丢包率 $L(k)$ 表示为

$$L(k) = \frac{1}{(k)} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^{R_i} P_{bij}(\lambda_{ij}(k), \mu_{ij}) \lambda_{ij}(k) \right] \quad (6)$$

对于时间 $t_0 = \frac{d}{v} + K_{ij} / \mu_{ij} + \lambda_{ij}(k_0) (1 - p_i)$, $1 \leq j \leq R_i$ 已知,在约束条件 $\lambda(k) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(k)$ 下求解 $L(k)$ 的最小值,计算出矢量 $P(k) = [p_1(k), p_2(k), \dots, p_n(k)]^T$,使 $\lambda(k) = P_i(k) \lambda_i(k) (1 - p_i)$, 且 $\lambda(k) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(k)$ 。当 $P(k)$ 取值趋向平稳时,可以逐步放宽对时间阶 d 的要求,以降低系统的运算量。

在一条 LSP 上,发生丢包状况比较严重的主要是链路瓶颈,其余链路的丢包数相比之下可以忽略不计,这时,可以把系统模型简化,每一条 LSP 用一个 $M/M/1/K$ 队列来模拟,代表路径上的瓶颈。

4 流量分配算法数值分析

(1) 假设有三条平行 LSPs, 每条 LSP 用一个 $M/M/1/K$ 队列来模拟,取 $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ Kpackets/s, $\lambda(k) = 2$ Kpackets/s, $K_1 = 20, K_2 = 24, K_3 = 16$, 数值运算结果如图 2 所示,并与传统的 ECMP(等价多路径)方式进行了对比:

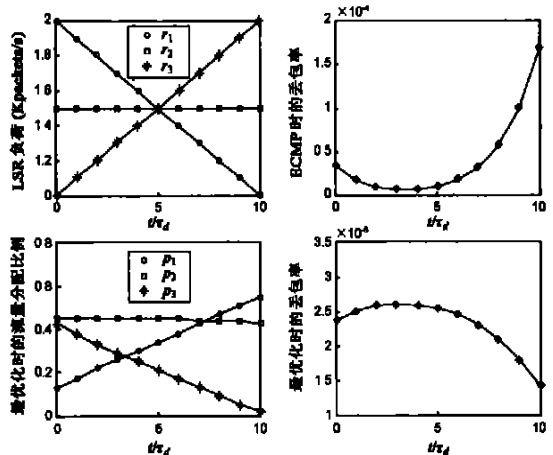


图 2 流量分配算法数值运算结果

(2) 引入颗粒度 g 的概念,分别取 $g = 0.05$ 和 $g = 0.1$, 计算结果如图 3:

(3) 稳定性分析,选用以下结构:

$\lambda_1 = 3$ Kpackets/s, $\lambda_2 = 2$ Kpackets/s, 在 λ_1 输入网络 t 时间后, λ_2 开始输入网络, 得出 $P_1^1, P_2^1, P_1^2, P_2^2$, 用图 4 表示如下:

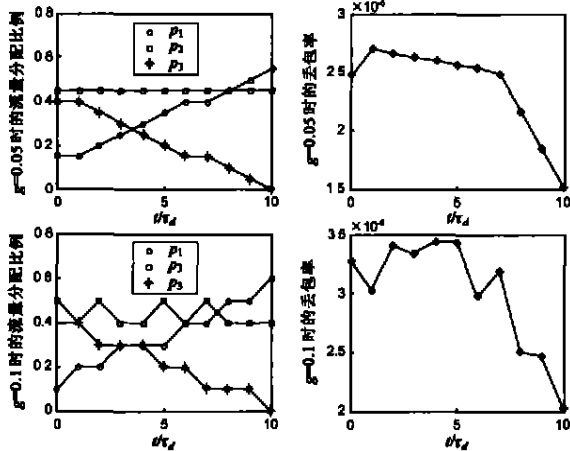


图3 不同 g 值下的流量分配比例和丢包率

对流量分配算法计算结果分析如下:

(1) 由图2可以看出,采用流量分配算法的网络性能要高于传统的 ECMP 方式,能够有效改善网络的丢包性能。

(2) 图3则是引入了颗粒度 g 的概念。从图中可以看出,适当选取 g 的取值,可以在保证网络性能的基础上放宽对计算精度的要求,这样,等于在一定程度上降低了运算量,从而提高运算速度,加速网络参数的配置。

(3) 图4则可以看出,流量分配算法不需要同步进行,可以进行动态调整,仍能保证系统稳定。当分配比例稳定时,可以逐渐放宽对 d 的要求,或者在检测到流量变化时再加以运算,以降低运算量。实际上,根据流量动态变化进行流量调整时,不同步运行能更有效地防止流量抖动的发生。

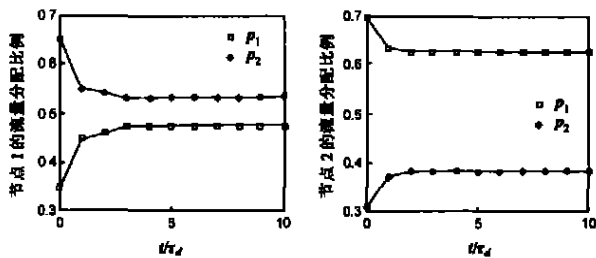


图4 节点1和节点2的流量分配比例

(4) 本文用 $M/M/1/K$ 模拟了排队系统,对算法进行了数值模拟,验证了算法的性能。但是,实际网络中的排队方式多

种多样,应该根据实际情况进行调整(如 $M/M/c$ 、 $M/M/c/k$ 、 $M/G/1$ 等),这时,最优算法也应当根据排队方式的不同作适当的调整。

5 结论

本文主要描述了 MPLS 网络中实现流量工程最优化的一种算法,根据网络状态的不断变化,对入节点的流量进行动态分配,从而改善系统的流量传输效率。算法的性能通过数值分析进行了验证,其结果表明了该算法的有效性。

参考文献:

- [1] D Awduche, J Malcolm, J Agogbua, M O Dell, J McManus. Requirements for Traffic Engineering Over MPLS. RFC 2702, Sept. 1999.
- [2] T Carpenter, K R Krishnan, D Shallcross. Enhancements to Traffic Engineering for Multi Protocol Label Switching[A]. Teletraffic Engineering in the Internet Era, Proceeding of the International Teletraffic Congress - ITC-17 [C]. Salvador da Bahia, Brazil, Vol. 4, 24-28 September 2001. 529 - 540.
- [3] Yufei Wang, Zheng Wang. Explicit Routing algorithms for Internet Traffic Engineering[A]. Proceedings of ICCCN '99 [C]. Sept. 1999. 582 - 588.
- [4] Yungseok Lee, Yongho Seok, Yanghee Choi, Changhoon Kim. A Constrained Multipath Traffic Engineering Scheme for MPLS Networks[A]. IEEE ICC 2002, New York, May 2002.
- [5] Yongho Seok, Yungseok Lee, Yanghee Choi, Changhoon Kim. Dynamic Constrained Multipath Routing for MPLS Networks[A]. IEEE ICCCN 2001[C]. Phoenix, Oct. 2001.
- [6] E Dinan, D O Awduche, B Jabbari. Optimal traffic partitioning In MPLS networks[A]. Proc. IFIP NET2000[C]. May 2000, Paris France.
- [7] 陈明. 通信与信息工程中的随机过程[M]. 江苏南京:东南大学出版社, 2001. 8.

作者简介:

倪 华 男,1997年毕业于南京邮电学院通信工程系,2003年南京邮电学院通信与信息专业硕士研究生毕业,目前在加拿大读博士,研究方向为宽带通信网。

唐宝民 男,1970年毕业于清华大学电子工程系,1981年获通信与信息专业硕士,1989-1990年美国迈阿密大学访问学者,现为南京邮电学院通信工程系教授,目前研究方向为宽带通信网和网络管理。E-mail: Tangbaom@163.com.