

部分标记交换协议中的参数分析

陈 剑^{1,2}, 王 海², 王智学¹, 江光杰¹

(1. 解放军理工大学指挥自动化学院, 江苏南京 210007; 2. 解放军理工大学通信工程学院, 江苏南京 210007)

摘 要: PLS(Partial Label Switching) 协议融合了拓扑驱动和流驱动两种标记分配方式的优点, 在标记空间有限时, 能很大程度提高路由器的转发性能. PLS 协议涉及到扫描窗口、上下门限以及阻尼因子等参数, 本文通过理论以及仿真分析说明使路由器达到最佳的转发性能, 扫描窗口的取值应为 60 秒, 而上下门限与阻尼因子之间存在线性关系, 并受标记空间大小与网络环境的影响.

关键词: MPLS; 标记空间; 转发性能

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2005)11-2090-04

The Analysis on the Parameters of Partial Label Switching

CHEN Jian^{1,2}, WANG Hai², WANG Zhi-xue¹, JIANG Guang-jie¹

(1. Institute of Command Automation, PLA University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210007, China;

2. Institute of Communications Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210007, China)

Abstract: PLS inherits the merits of both topology driven and flow driven label distribution scheme. It can greatly improve the performance of router when label space is constrained. Some parameters, including scan window, damp factor, upper threshold and low threshold, are used in PLS. To achieve the best performance for router, the value of scan window should be sixty seconds. And the values of upper threshold and lower threshold should adapt to the size of label space and network traffic, which also are linear with the value of damp factor.

Key words: Multi-protocol label switching(MPLS); label space; forwarding performance

1 引言

MPLS(Multi Protocol Label Switching)^[1]可以灵活方便的实现流量工程、服务质量保障 QoS(Quality of Service)和构建虚拟专网等, 甚至可以作为统一的管理控制平台应用于光网络, 因此包括 Cisco、Juniper、Lucent 和 Nortel 等公司都已经开发一些支持 MPLS 协议的路由器^[2,3].

由于性能以及扩展性方面的约束, MPLS 的标记空间已经成为一种日益紧张的资源, 提高标记空间的使用效率成为一个非常重要和迫切的课题^[4,8]. 实际上基于拓扑驱动的标记分配方式是导致 MPLS 标记利用率低下的主要原因, 我们注意到因特网流量具有非常明显的非平衡特性^[6,7], 导致路由器中各路由表项的使用次数同样存在着非平衡特性, 即只有一少部分路由表项被经常使用, 绝大部分路由表项很少被使用. 据此我们提出了部分标记交换协议 PLS(Partial Label Switching)^[4,7], 该协议仍然以路由表项为标记分配基本单元, 但是只对经常使用的路由表项分配标记, 不为不常用的路由表项分配标记, 以此来提高标记的使用效率, 文献[8]通过仿真证明在标记空间紧张情况下, PLS 协议能极大的提高路由

器的转发性能.

PLS 协议中涉及到包括扫描窗口等参数, 这些参数的取值对路由器性能有什么影响以及这些参数之间存在什么关系将是本文主要解决的问题. 第二节将介绍 PLS 协议的参数, 第三节将这些参数进行分析, 第四节将进行相关的仿真, 最后给出结论.

2 PLS 中的参数定义

定义 1 流(flow), 在 PLS 中流定义为具备相同路由转发行为的分组. 在传统的因特网中所有通过查询同一路由表项的分组都属于同一个流.

定义 2 LSF(Label Switching Flow)与 PFF(Packet Forwarded Flow), 如果 MPLS 的标记转发表为流分配了标记, 则属于该流的分组转发到下一跳只需要通过标记交换, 该流为 LSF; 否则一旦没有为流分配标记, 只能通过查找路由表来确定下一跳的流称为 PFF.

定义 3 扫描窗口 Δ , PLS 协议需要每隔 Δ 秒对各流的活跃状况进行扫描.

定义 4 活跃因子 α_n^k , 它表示在第 n 个扫描窗口后流 k

的活跃因子,用来决定流在下一个扫描窗口内的转发方式.为了防止该值受到流量抖动影响,这里采用一阶低通过滤操作来计算活跃因子,即 α_n^k 定义为:

$$\alpha_n^k = \alpha_{n-1}^k * (1 - q_c) + \eta_n^k * q_c, \quad 0.5 \leq q_c < 1 \quad (1)$$

其中 η_n^k 为第 n 个扫描窗口内流 k 到达的分组数; q_c 为阻尼因子,用来抵消网络流量的频繁抖动.

定义 5 上门限 h_u : 当一个扫描窗口过去后,系统需要扫描所有 PFF 的活跃因子,对于活跃因子大于 h_u 的 PFF 将通过分配标记使其变迁为 LSF.

定义 6 下门限 h_d : 当一个扫描窗口过去后,系统需要扫描所有 LSF 的活跃因子,对于活跃因子小于 h_d 的 LSF 将剥夺为其分配的标记,使其转变为 PFF.

文献[8]对 PLS 运行过程做了比较详细的描述.

3 PLS 各参数的讨论

PLS 协议主要涉及到了阻尼因子 q_c 、扫描窗口 Δ 以及上下门限 h_u 和 h_d 这些参数.文献[8]中指出通过对 PLS 协议的这些参数进行一定的配置,可以使得 PLS 协议的机制与传统 MPLS 协议的机制完全相同,同时文献[8]也通过仿真证明在配置好相关参数后,PLS 协议相对于传统 MPLS 协议而言,可以很大程度上提高路由器的转发性能.这两个结果说明了这些参数的取值对最终 PLS 的性能有非常大的影响.

3.1 扫描窗口 Δ 分析

PLS 协议是希望能够挑选出那些相对其他流量而言给路由器带来更大负荷的流.而扫描窗口 Δ 是用来在有效挑选出长流的同时,尽可能小的给路由器增加负担.这两个目标存在着冲突,因为每次扫描所有流的活跃因子时都将给路由器添加额外的处理负荷,记为 R .在时间段 T 内,PLS 协议额外给路由器添加的负荷记为 P ,则:

$$P = \lfloor T/\Delta \rfloor \times R \quad (2)$$

Δ 的值如果太小将降低配置了 PLS 协议的路由器的性能.因为根据公式 2, Δ 越小,单位时间内给路由器造成的处理负担将越大,而且从流量特性出发,小的窗口值也会降低 PLS 协议的性能,因为流在单位时间内的分组数变化主要由三种原因所造成的:

- 第一种为由于上班时间与休息时间的转换将导致大的流量变化,这种情况的流量变化一般会持续 4~8 个小时左右;
- 第二种为应用程序的起始和终止也会带来流量变化,而这些长流(如视频点播 VOD 系统)一般都要持续一到两个小时左右;
- 第三种为由于应用程序等所导致的流量变化,比如应用程序所提供的服务为 VBR(variable bit rate)服务,这些 VBR 服务流量变化的时间粒度一般为秒一级.

在标记空间受限情况下,标记的分发策略要能反应出第一种流量变化,在一定条件下适应第二种流量变化,但绝不能受第三种流量变化的影响.而如果 Δ 太小,标记分发将会被第三种流量变化严重干扰,从而导致标记频繁的分配与释放,这样会有大量 LDP 报文的发送到网络中,这样导致网络性能

的下降.

如果 Δ 的值取的过大(如 1 小时),这样会使得协议对所有的流量变化反应都非常迟钝,使得标记分发策略无法有效反映出前两种流量变化.

因此 Δ 取值为 60 秒比较合理.因为取值为 60 秒时,扫描窗口的值要比第一和第二流量变化低一到二个数量级,这样能够反应出第一和第二流量变化;同时要比第三流量变化高一个数量级,可以保证不受第三种流量变化的影响.

3.2 上下门限分析

上下门限是触发流的转发模式发生转换的门限.要获得最好的转发性能,PLS 协议必须要充分利用好所有可利用的标记空间.假定标记空间的大小为 L ,则 PLS 协议应该为 L 个“最活跃”的流分配标记,即为活跃因子中是最大的前 L 条流分配标记.假定流的总数为 K ,最合理的上门限应该满足下面的条件:

$$\left| P_a - \frac{L}{K} \right| < \varepsilon, \text{ for } \forall \varepsilon > 0, \text{ 其中 } P_a = \text{Possibility of } \alpha_n^k | (\alpha_n^k \geq h_u) \quad (3)$$

从(3)可以看出,上下门限的取值与可利用标记空间的大小有关,因为如果可利用标记空间 L 越大,那么 P_a 也将越大,则 h_u 的值应该要小,对应的 h_d 也将越小.同样如果可利用标记空间 L 越小,将会导致上下门限的值要越大.

同时上下门限的取值也依赖于流过路由器的流量特性.尽管要预测一个单一的流的特性是非常困难的,但这里所讨论的流是与路由表项相对应,它与单一的应用程序所产生的流量特性完全不同,它实质上是由很多应用程序所产生的流量组合而成,因此可以根据流的统计特性来研究 PLS 协议,而我们知道在一个稳定的环境下,这些流的统计特性不会发生变化,这实际上意味着对历史流量的离线(offline)分析可以很好的预测未来流量的特性.因此可以根据对历史流量的离线分析来完成对上下门限取值的确定.

由上面的分析可以知道,如果要确定一个最优的上下门限对,需要根据路由器当前的标记空间大小与流量特性,由于各个路由器的网络环境与可利用标记空间都不相同,因此要想确定各种环境中最优的上下门限对的值几乎是不可能的.

3.3 阻尼因子与上下门限的关系分析

公式 1 使用了一阶低通过滤操作来计算活跃因子,以此来消除网络流量抖动, q_c 表示在计算流的活跃因子时,当前扫描窗口内到达分组数所占的比例,而 $1 - q_c$ 则为历史活跃因子在计算当前活跃因子时的比重.一般情况下在计算流的活跃因子时,当前扫描窗口内分组到达数所占的比例都应该要大于历史活跃因子所占比例,因此 q_c 要大于 0.5.

如果网络不存在抖动的现象,则 q_c 可以取值为 1,因此这里先不考虑进历史活跃因子的影响来讨论 q_c 和上下门限之间的关系,此时活跃因子的值实际上为流在一个扫描窗口内到达分组数的 q_c 倍.假设当前路由器中有 n 个流,而标记空间大小为 m ,那么问题实际上转换为在 n 个流中选出在前一个扫描窗口中分组到达最多的前 m 个流.如果流在前一个扫描窗口内到达的分组数按从大到小的顺序排列为 a_1, a_2, \dots ,

a_m, \dots, a_n , 那么这些流的活跃因子大小分别为: $q_c a_1, q_c a_2, \dots, q_c a_m, \dots, q_c a_n$. 而只有在 $h_d = h_u = q_c a_m$ 时, PLS 才只会为前 m 个流分配标记. 因此可以看出, q_c 和上下门限之间存在着线性关系, 也就是当 q_c 增大 a 倍时, 要想获得相同的转发性能则上下门限也应该增大相应的倍数.

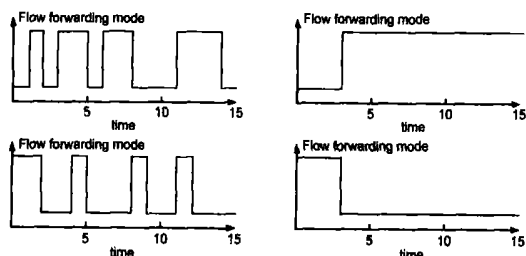
因此 q_c 值的取值给活跃因子带来的影响完全可以通过设置相应的上下门限来抵消, 因此从某种意义上说明完全可以将 q_c 的值固定, 而只需要改变上下门限.

4 参数仿真分析

本节将通过仿真来验证上一节的结果. 仿真中采用的方法是向我们自己建立的单节点仿真平台中^[8]输入因特网中的实际流量进行仿真. 这里输入的流量为 NLNR 网站^[5]上下载的 NZIX-II20020706-120000 流量, 以下为方便起见, 将输入流量简称为 NZIX-II.

4.1 扫描窗口 Δ 的仿真分析

首先通过仿真来分析扫描窗口的值过小时对路由器产生的影响. 这里随机的从 NZIX II 流量中抽取两条流, 仿真在 PLS 转发分组的过程这两条流在扫描窗口为 1 秒和扫描窗口为 60 秒时转发方式的变化情况, 图 1 为仿真结果, 如果流为 LSF, 则纵坐标的值为 0, 否则纵坐标的值为 1, 横坐标表示时间, 以扫描窗口为单位. 当扫描窗口为 1 秒(图 1(a))时, 在 15 秒内两条流的转换次数都超过了 7 次, 而且至多不超过 3 秒



(a) 扫描窗口为 1 秒时仿真结果 (b) 扫描窗口为 60 秒时仿真结果

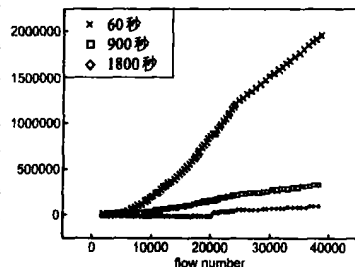
图 1 在不同的窗口值的情况下的流的转发模式转换

其转发方式就发生一次变换. 而当扫描窗口为 60 秒(图 1(b))时, 在 15 分钟内这两条流的转发模式的变换只有一次, 这一次转换所产生的额外负荷是非常小的, 对网络基本上没有影响. 因此大的扫描窗口值将使协议不会受到应用程序流量的抖动的干扰, 而扫描窗口过小时, 将导致 PLS 频繁发生标记分配与释放, 为网络带来很大的负荷, 降低了网络的性能.

下面仿真路由器在扫描窗口为 60 秒、900 秒以及 1800 秒时的转发性能来说明扫描窗口值过大时给路由器所带来的影响, 其中转发性能的主要指标为二层交换的分组数. 仿真实验中, q_c 取值为 0.8, 可利用标记空间的大小为 4000. 由于流在扫描窗口内聚集的分组数与扫描窗口的大小呈正比, 根据式(1)流的活跃因子随

着扫描窗口的增大而变大, 这里三组(Δ, h_u, h_d)分别为(60, 18, 7)、(900, 270, 100)和(1800, 540, 200). 图 2 为仿真结果, 纵坐标表示 PLS 协议相对于传统 MPLS 而言能多通过二层交换的分组数, 可以发现在 Δ 为 1800 时, PLS 相对于 MPLS 而言能多通过标记交换的分组数几乎为 0, 即其性能与 MPLS 的转发性能大体相同; 在 Δ 为 900 秒时, 路由器的转发性能有非常小的提高, 而 Δ 为 60 秒时, PLS 的转发性能将得到显著提高, 其相对于 MPLS 而言能多通过二层交换的分组数近似于指数曲线. 因此可以得出结论: Δ 过大 PLS 技术的转发性能与 MPLS 大体相同. 因此 Δ 不能取太大. 以上两个仿真结果也验证了 Δ 为 60 秒的合理性.

图 2 不同扫描窗口值时, PLS 的转发性能

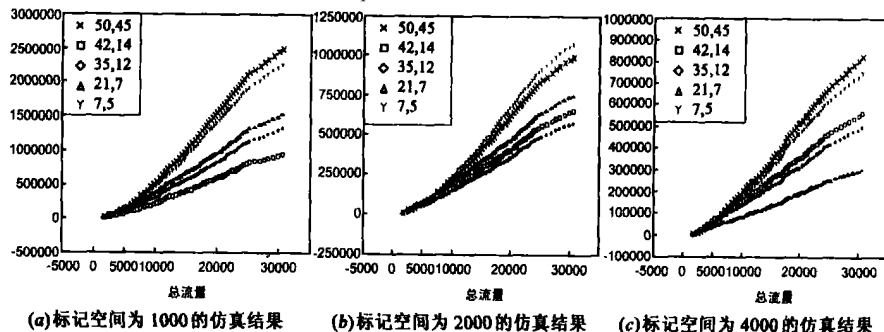


4.2 上下门限的仿真分析

这里仿真在可利用标记空间分别为 4000, 2000 以及 1000 情况下, (h_u, h_d)的取值分别(50, 45)、(42, 14)、(35, 12)、(21, 7)和(7, 5)时路由器的转发性能, 其中 Δ 的取值为 60 秒, 同时 q_c 为 0.8. 图 3 为仿真结果, (a)、(b)和(c)分别为可利用标记空间为 4000、2000 和 1000 时的仿真结果, 纵坐标为不能通过标记交换的分组数, 横坐标为输入总流量. 从图中可以看出, 在可利用标记空间为 1000 时, 上下门限取值为(42, 14)时路由器的转发性能最好; 当可利用标记空间为 2000 时, 上下门限取值为(35, 12)时路由器的转发性能最好; 而当可利用标记空间为 4000 时, 上下门限取值为(21, 7)时路由器的转发性能最好. 仿真结果说明, 可利用标记空间不同时, 最优的上下门限取值(使得路由器转发性能最优的取值)也将不同. 同时可利用标记空间越大时, 最优的上下门限取值对应的要越小, 这是因为由于可利用标记空间越大, 将允许更多的流成为 LSF, 因此最优的上下门限取值将越小.

4.3 阻尼因子与上下门限的线性关系的仿真分析

这里仿真可利用标记空间的大小为 4000 时, 三组(q_c, h_u, h_d)取值情况下路由器的转发性能, 这三组取值分别为: (0.6, 12, 3)、(0.8, 16, 4)、(0.9, 18, 4.5). 这三组取值中 h_u/q_c 和 h_d/q_c 的值都相等. 图 4 为仿真结果, 横坐标为流的数目,



(a) 标记空间为 1000 的仿真结果 (b) 标记空间为 2000 的仿真结果 (c) 标记空间为 4000 的仿真结果

图 3 上下门限不同时 PLS 的性能

纵坐标为不能通过标记交换的分组数,可以看出在这三组取值情况下,路由器的转发性能相差不多,该验证了 q_c 和上下门限之间存在着线性关系,也就是当 q_c 增大 a 倍时,要想获得相同的转发性能则上下门限也应该增大相应的倍数。

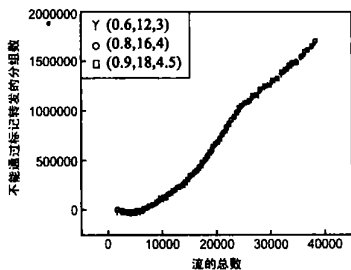


图 4 三组取值下,路由器的转发性能大体相同

5 结束语

在标记空间受限情况下,PLS 协议的转发性能相比传统 MPLS 协议而言有了很大的提高,能够有效解决目前标记空间所面临的困境。PLS 协议中所涉及的参数对于最终的转发性能有着非常大的影响,通过分析发现扫描窗口取值为 60 秒最合适;由于可以通过设置上下门限来抵消 q_c 取值不同给性能造成的影响,因此 q_c 的取值可以固定下来;上下门限的取值则需要根据可利用标记空间以及网络环境来确定,由于这两个方面都存在着不确定性,因此如何根据这两个指标来自适应调整上下门限是我们下一步要解决的重要问题。

参考文献:

- [1] Bruce Davie, Yakov Rekhter. MPLS: Technology and Applications[M]. Morgan Kaufmann Publishers, 2000.
- [2] CISCO MPLS web page[EB/OL]. <http://www.cisco.com/warp/public/732/Tech/mpls>, 2003-08-17.

- [3] Nortel MPLS web page[EB/OL]. <http://www.nortelnetworks.com/corporate/technology/mpls/index.html>, 2004-06-19.
- [4] Hai Wang, Chang Tian. A novel method of label switching [A]. International Conference on Communication Technology [C]. Beijing: Academic Press, 2000. 257-261.
- [5] NLNR NZIX-II trace archive[DB/OL]. <http://pma.nlanr.net/Traces/long/nzix2.html>, 2002-12-07.
- [6] KC Claffy, HW Braun, GC Polyzos. A parameterizable methodology for internet traffic flow profiling[J]. IEEE Journal On Selected Areas In Communications, 1995, 8(13): 1481-1494.
- [7] 王海. IP/ATM 网络互联体系结构研究[D]. 南京: 通信工程学院程控交换教研室, 1999.
- [8] 陈剑, 王海, 王智学. 标记受限下部分标记交换协议的仿真分析. 系统仿真学报, 2005, 17(8): 1882-1884.

作者简介:



陈 剑 男, 1978 年 1 月出生于湖北省天门市. 现为解放军理工大学指挥自动化学院讲师, 研究方向为网络工程、软件工程.
E-mail: chenjian121@163.com.

王 海 男, 1973 年 3 月出生于湖北省襄樊市, 现为解放军理工大学副教授、硕士生导师, 从事网络工程技术方面的研究工作.
E-mail: haiwang@etang.com.