

# MPLS 网络中 LSP 模型改进研究

倪晓军

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

**摘 要:**在 MPLS 网络标签交换路径(LSP)模型中,通常采用第二层直通式(L2-CTS)或第三层缺省路由交换技术。传统的 L2-CTS 是基于源节点到目的节点传输(P2P)的,没有考虑到建立的 LSP 是否是最佳。文中提出了一种改进的 L2-CTS 技术,根据标记交换路由器(LSR)和标记边界路由器(LER)建立的网络拓扑信息,LSR 利用 Dijkstra 算法来计算最短的 LSP,从而提高了网络传输效率。理论分析及仿真结果表明,在 MPLS 网络中,该改进方法可以有效减小网络传输时延,并提高传输流分发到不同标记交换路径的效率,提高了网络的服务质量。

**关键词:**标记交换路径;服务质量;多协议标记交换

**中图分类号:**TP393

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2010)12-0042-04

## An Improved Model of LSP for MPLS Network

NI Xiao-jun

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:**In the labeled switching path (LSP) model of MPLS network, Layer 2 Cut-Through Switching (L2-CTS) and Layer 3 default routing switching are usually used. The traditional solution for the L2-CTS uses the source and destination addresses to transmit packet without considering whether the LSP is the best. In this paper, proposed an enhanced L2-CTS technique, which uses the Dijkstra algorithm to find the shortest LSP according to the network topology built among LSRs and LERs, so as to improve the network efficiency. Theoretics analysis and simulating results show that the improved model of LSP can minimize the overall network transmission delay and improve the efficiency which distributes the traffic on each different LSPs in the MPLS network, and the quality of service (QoS) of network is also improved.

**Key words:**label switched path;quality of service;multi-protocol label switching

## 0 引 言

随着网络规模和网上实时应用的不断发展,IP 网络出现吞吐量下降、时延增大、数据包丢失等问题。传统网络正在面临巨大的挑战,尤其是传统 IP 协议没有考虑到服务质量的保证。在这种情况下,减少网络拥塞,使运营网络达到最优性能变得更加重要。

文中主要研究 LSP(标签交换路径)模型,假设两种不同的标记交换路径传输机制:Layer 2 cut-through switching(L2-CTS,第二层直通式交换)和 Layer 3 default routing(第三层缺省路由交换),且在该模型中不仅能实现源于连接转发特征的第二层交换技术,同时也能维持第三层路由的适应性和可测量

性<sup>[1,2]</sup>。在 LSP 模型中,LSR(标签交换路由器)之间或 LSR 与 LER(标签边缘路由器)之间需要运行标准的路由协议来获得拓扑信息<sup>[3]</sup>。通过这些拓扑信息,LSR 可以明确选取报文的下一跳并可建立 LSP。文中提出一种改进的 LSP 模型,也在 LSR 之间或 LSR 与 LER 之间运行标准的路由协议来获得拓扑信息,然后 LSR 通过已获得的拓扑信息,利用 Dijkstra 算法来计算并建立代价最小的 LSP。文中给出了理论分析以及仿真实验,结果表明:在 MPLS 网络中,改进的 LSP 模型能够减小网络传输时延,充分利用网络带宽,同时也提高了传输流分发到不同的标记交换路径的效率,从而增强了网络的服务质量。

## 1 L2-CTS LSP 模型分析

### 1.1 基本模型

在 MPLS 网络中,可以建立不同种类的标记交换路径的传输机制。文中主要研究 L2-CTS LSP 模型<sup>[4]</sup>,如图 1 所示。该模型可分为两种不同的传输机

收稿日期:2010-05-06;修回日期:2010-08-23

基金项目:国家 863 计划(2007AA701302,2008AA701202,2009AA701202)

作者简介:倪晓军(1969-),男,江苏南京人,讲师,主要从事单片机及嵌入式系统教学与研究工作。

制: Layer 2 cut-through switching 和 Layer 3 default routing。在该 L2-CTS LSP 模型中, 数据驱动采用标签映射方法, 而非 MAC 地址过滤表中的目的地址。假设在传输的一开始, 数据包就被传输到核心路由并可通过默认的 LSP 来传输(预先建立的跳到跳的传输)。L2-CTS LSP 一旦建立, 所有的数据包都会通过 L2-CTS LSP 来传输, 直到分配给第二层所有可用的网络资源被耗尽。因此, L2-CTS LSP 模型不仅能够维持第三层路由的适应性和可测量性, 而且也能完成源于转发特征的第二层的交换<sup>[5]</sup>。

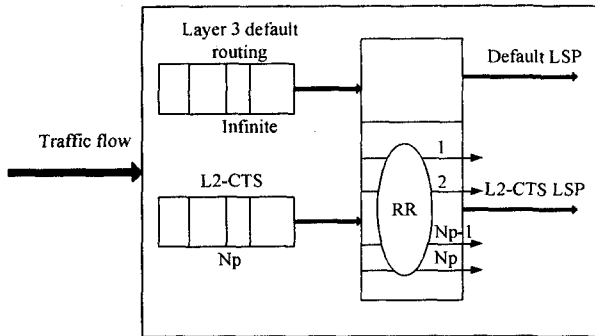


图 1 L2-CTS LSP 工作模型

## 1.2 工作原理

在 MPLS 网络中, 基于 L2-CTS 的 LSP 模型采用以下工作方式。

### 1.2.1 传输模型

网络中, 均匀分布、泊松分布和马尔科夫调制泊松分布模型是常用的几种业务数据模型。其中泊松数据流是根据以下几个统计假设得到的:

(1) 独立性: 各事件的发生互相独立, 即各帧的到达相互独立;

(2) 有限性: 任意有限时间内到达有限数据帧的概率为 1;

(3) 稀疏性: 在一个短时间间隔内数据包到达两次或两次以上的概率与到达一次的概率相比非常小, 可以忽略;

(4) 平稳性: 各时间间隔  $t$  内任一种数据帧到达的概率与这个时间宽度成正比, 与时间起始和结束点无关。

根据以上假设, 从理论上可以得出泊松数据流, 如果在时间间隔  $T$  内到达  $k$  个报文的概率为:

$$P[T \text{ 秒内 } k \text{ 个报文到达}] = \frac{(\lambda T)^k e^{-\lambda T}}{k!}, k = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

其中,  $\lambda$  为平均报文到达率, 称这种到达为泊松过程。

在实时传输流分析一元或多元资源时, 可以考虑多种传输模型。为了简化分析, 文中假设选择泊松数

据流到达<sup>[6]</sup>。

### 1.2.2 服务行为模型

队列系统理论中所用的术语和网络中的术语是相互对应的。如: 客户——报文; 服务员——信道; 服务时间——报文发送时间。为方便起见可以混用。队列系统理论又叫做随机服务系统理论, 旨在改进服务机构或组织被服务的对象, 使得某种指标能够达到最优。排队现象是一个随机现象, 目前多采用概率论及随机过程作为主要的分析工具。排队论把它所要研究的对象形象的描述为顾客来到服务台前要求接待。如果服务台已被其它顾客占用, 那么就要排队。另外, 服务台也时而空闲、时而忙碌。图 2 为网络节点队列模型。

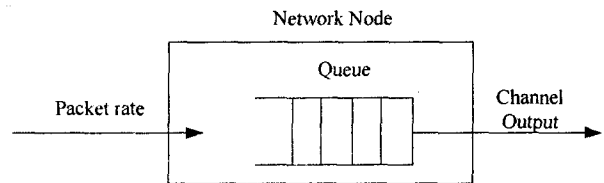


图 2 网络节点队列模型

在排队论模型中, 几个关键前提是: 1) 顾客的到来服从稳定的分布; 2) 服务台的服务时间服从稳定分布。对于一个队列系统来说, 稳定服务时间的性能比指数分配时间要好得多。因此, 文中假设对队列的服务时间是稳定的<sup>[7]</sup>。

### 1.2.3 时序模型

时序模型是按执行任务的先后顺序来分类的, 而分组调度算法是确定任务执行顺利的确定性因素。网络中常见的分组调度算法有: 传统轮询(Round Robin, RR), 加权轮询(Weighted Round Robin, WRR), 差额轮询(Deficit Round Robin, DRR)。其中, 轮询调度算法<sup>[8,9]</sup>(RR)对不同队列(业务流)进行无区分的循环调度服务。基本思想是保证用户按照某种确定的顺序循环(轮询的方式)占用相等时间的资源来进行通信。在此算法中, 每个处理器都被服务器按照事先给定的顺序值安排一个相应的任务, 如果哪个处理器的任务完成, 服务器就会收到相应的消息, 并安排新的任务给这个处理器, 重复该过程直到所有的任务都被安排完。在此时刻, 如果还有  $m$  个任务没有完成, 就使用环来管理这  $m$  个任务, 直到这  $m$  个结果都被收到。如果任务  $v$  的任务实例(task instance)在处理器  $q$  上先被完成, 那么服务器就会收到来自处理器  $q$  的结果, 取消所有运行在其他处理器上的任务  $v$  的任务实例。因为在此时处理器  $q$  已经运行完了, 于是使用轮询法在环中获得任务  $u$ , 并安排到处理器  $q$  上运行。

传输流选择轮询调度机制, 假设有  $N$  个连接, 每个都是独立的队列, 且在每个周期中, RR 能访问每个

队列并为等待服务的数据包提供服务<sup>[10,11]</sup>。RR 服务器在不同的队列中公平地分配连接带宽。

综上所述,在基于 L2-CTS 的 LSP 模型中,设虚拟队列系统的工作方式如表 1 所示<sup>[9,10]</sup>,即:

- (1) 数据连续到达的时间服从指数分布;
- (2) 服务时间是稳定的;
- (3) 队列缓冲大小对于 L2-CTS LSP 模型是  $N_p$ ,而对于第三层默认路由则不受限制;
- (4) 服务次序为先来先服务。

表 1 虚拟队列系统

	L2-CTS LSP	Layer 3 default routing LSP
队列模型	M/D/1/ $N_p$	M/D/1
到达率	$N\lambda$	$N\lambda_B$
服务率	$1/E[s]$	$1-1/E[s]$
缓冲大小	$N_p$	Infinite

### 1.3 参数分析

对于 M/D/1/B<sup>[12]</sup> 队列,响应时间(M.R.T, Mean Repair Time)可以用下式描述:

$$\text{M.R.T} = \frac{E[n]}{\lambda(1-P_B)} \quad (2)$$

这里, $\lambda$  是每个资源的平均到达率, $E[n]$  是在这个系统中要完成的工作量。在系统中, $P_B$  是表示同时有 B 也在工作的可能性。 $P_B$  可以有下面的方程:

$$P_B = \frac{1-\rho}{1-\rho^{B+1}} \rho^B \quad (3)$$

$\rho$  表示传输密度。

假如平均到达率估计为  $N\lambda$ ,通过 L2-CTS LSPs 的带宽  $B_{CT}$  可由下式表示:

$$B_{CT} = \frac{E[n]}{\text{M.R.T}} = N\lambda(1-P_B) \quad (4)$$

对于 L2-CTS LSPs 直通交换速率,可由下式表示:

$$R_{L2-CTS} = \frac{1-\rho^{N_p}}{1-\rho^{N_p+1}} \quad (5)$$

其中, $\rho = N\lambda E(s)$ 。

## 2 L2-CTS LSP 模型改进

### 2.1 改进方案

目前我们所使用的网络大部分是属于拓扑结构,在该 L2-CTS LSP 模型,L2-CTS 所考虑的是基于源节点到目的节点传输(P2P)的,没有考虑到建立的 LSP 是否是最佳。这就要求计算多条 LSP,从而选择一条最短的 L2-CTS LSP 来传输数据包,节省数据包在网络中的传输时间,减少网络的时延,充分利用网络带宽,从而提高网络的服务质量。

为了解决这个问题,提出了对 L2-CTS LSP 模型

的一点改进,如图 3 所示,在原 L2-CTS LSP 模型基础上,利用最短路径算法(Dijkstra 算法)来计算最短的 L2-CTS LSP,使数据包通过这条最短的 L2-CTS LSP 来传输,直到耗尽分配给第二层所有可用的网络资源。

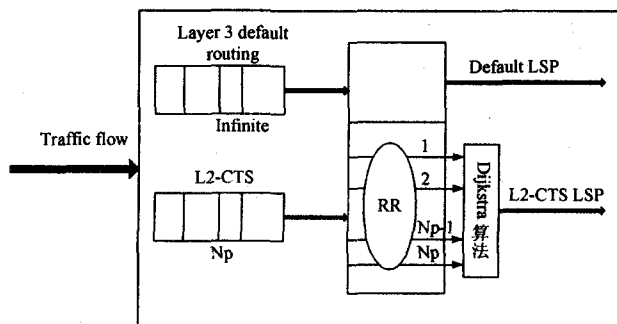


图 3 改进的 L2-CTS LSP 模型

### 2.2 性能分析

假设存在一个 MPLS 网络,而且在该网络中的各个节点都是互通的,如图 4 所示。设有 6 个节点(V1, V2, ..., V6)代表 MPLS 网络中的 LSR 和 LER,相互之间可以进行数据包的转发和传输,且彼此之间存在一个权重(可以看成是节点之间的路径长度、带宽等)。可以根据节点间的权重来计算代价最小的 LSP,使数据包通过这条最优的 LSP 来传输。

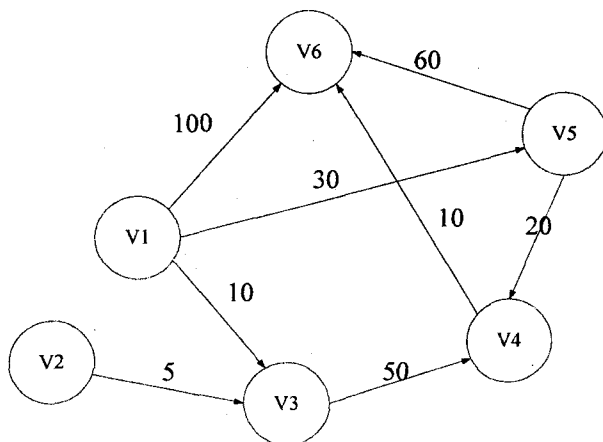


图 4 MPLS 网络节点

假设需要计算 V1-V6 代价最小的 LSP,从图 4 可以看出,有很多条可到达的路径,即 V1-V5-V6, V1-V3-V4-V6, V1-V5-V4-V6, V1-V6。现在要选择一条最优的 LSP 来传输数据包,可利用 Dijkstra 算法来计算代价最小的 LSP(所谓代价就是路径中各节点间权重相加之和,用 D 来表示)。V1-V5-V6 的权重和  $D_1=90$ ; V1-V3-V4-V6 的权重和  $D_2=70$ ; V1-V5-V4-V6 的权重和  $D_3=60$ ; V1-V6 的权重是直达的,就是 V1 和 V6 之间的权重  $D_4=100$ 。由此,可以得出结论:V1-V6 代价最小的 LSP

是 V1 - V5 - V4 - V6。用 Dijkstra 算法来计算最短的 LSP, 不仅节省了数据包在网络中的传输时间, 减少了网络的时延, 同时也充分利用了网络的带宽, 提高了网络的服务质量。

### 2.3 性能仿真

式(5)描述了  $R_{L2-CTS}$ 、 $N_p$ 、 $\rho$  三者的关系。对应于不同的  $\rho$  取值,  $R_{L2-CTS}$  与  $N_p$  之间的关系如图 5 所示。

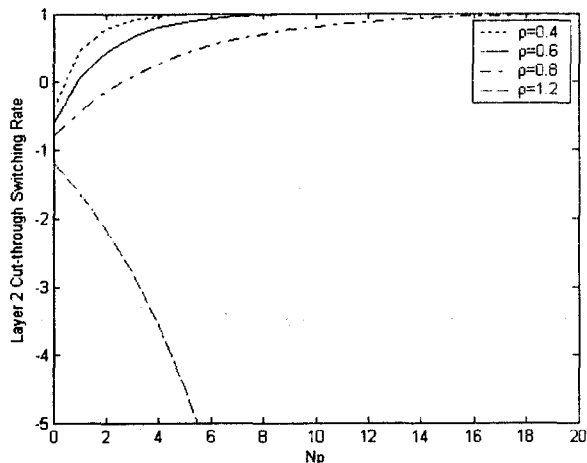


图 5  $R_{L2-CTS}$  与  $N_p$  之间关系

从图 5 可以看出, 当  $N_p < 6$  时,  $R_{L2-CTS}$  随着取值的变化很明显; 而当  $N_p \geq 6$  时,  $R_{L2-CTS}$  随着  $N_p$  取值的变化较细微。当 L2 - CTS LSPs 建立之后, 传输流将会通过第二层直通路径进行数据交换。此外, 如果传输密度  $\rho$  增大, 则通过第二层交换的传输流将会减少。当  $\rho < 1$  时,  $R_{L2-CTS}$  的变化呈缓慢下降趋势; 然而, 当  $\rho > 1$  时,  $R_{L2-CTS}$  的变化则呈陡降趋势。这说明传输的密度越大, L2 - CTS LSPs 所能分配到可用网络资源就越有限。 $R_{L2-CTS}$  与 L2 - CTS LSP(虚拟队列缓冲大小  $N_p$ ) 的数量和传输密度  $\rho$  之间的关系, 如图 6 所示。总之, 在 MPLS 网络中, 要尽可能地减小传输密度  $\rho$ , 充分利用网络带宽, 尽可能让 L2 - CTS LSP 在一定范围内能够分配到可用的网络资源, 使  $R_{L2-CTS}$  达到饱和。

### 3 结束语

对 L2 - CTS LSP 模型进行了详细分析, 并针对其不足提出了改进措施, 利用 Dijkstra 算法来计算最短的 L2 - CTS LSP。在改进模型中, 所有数据包都通过代价最小的 L2 - CTS LSP 来传输, 可以充分利用第二层的网络资源。理论分析及仿真结果表明, 改进模型可减小网络的传输时延, 充分利用网络带宽, 同时也能提高传输流分发到不同标记交换路径的效率。L2 - CTS LSP 模型不仅能够维持第三层路由的适应性和可测量性, 而且也能完成源于转发特征的第二层的交换, 更重要的是增强了网络的服务质量(QoS)。在

MPLS 网络中如何有效控制传输密度  $\rho$ , 如何减少计算最短 LSP 的复杂度, 以及在传输过程中如何解决网络的吞吐量问题, 从而调整好  $R_{L2-CTS}$ 、L2 - CTS LSP 的数量(虚拟队列缓冲大小  $N_p$ ) 和传输密度  $\rho$ , 还需进一步的探讨和研究。

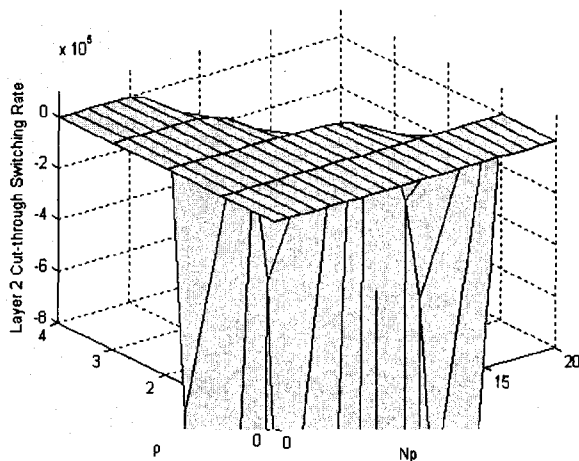


图 6  $R_{L2-CTS}$ 、 $N_p$ 、 $\rho$  三者关系

### 参考文献:

- [1] Rosen E, Viswanathan A, Callon R. Multiprotocol Label Switching Architecture[S]. RFC-3031, 2001.
- [2] Seery M. Packet transport trends: IP/MPLS Success challenged as deployment footprint expands[J]. IEEE Communications Magazine, 2008, 46(7):103-107.
- [3] 吕鲁宁, 程绍成, 吴海荣. MPLS-VPN 中基于多 LSP 的流量均衡技术研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2007, 22(1):166-168.
- [4] Osborne E, Simha A. 基于 MPLS 的流量工程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [5] Martini L, Rosen E, El-aawar N, et al. Pseudowire setup and maintenance using the label distribution protocol (LDP) [S]. IETF RFC 4447. 2006.
- [6] 刘伟科, 张晓庆. MPLS 网络中 QoS 路由算法研究[J]. 微计算机应用, 2008(8):1-6.
- [7] 黄敏, 姚正林, 刘金刚. 网络 QoS 调度策略的分析与研究[J]. 计算机工程与应用, 2006(29):118-120.
- [8] 许经彩, 王新华, 薛健, 等. 一种新的 MPLS 流量工程最小干扰算法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(10):77-80.
- [9] 田波. MPLS 负载均衡实现技术[J]. 信息安全与通信保密, 2007(5):155-157.
- [10] 赵志强, 张尧弼. 在 ATM 网络上 MPLS 的实现[J]. 计算机工程, 2003(9):117-120.
- [11] Giroux N, Ganti S. Quality of Service in ATM Networks [M]. [s.l.]: Prentice Hall PTR, 1999.
- [12] Jain R. The Art of Computer Systems Performance Analysis [M]. [s.l.]: Wiley, 1991.