

# 基于 ATM 的 MPLS 网络仿真模型设计与实现

段联国<sup>1</sup>, 叶酉荪<sup>1</sup>, 胡中豫<sup>2</sup>

(1. 通信指挥学院通信指挥系, 武汉 430010; 2. 重庆通信学院训练部, 重庆 400035)

**摘要** 利用计算机仿真分析 MPLS 网络的性能是深入研究 MPLS 技术的有效途径。该文通过分析基于 ATM 的 MPLS 技术, 在借鉴 OPNET 仿真软件中 MPLS 模型的基础上, 实现了基于 ATM 的标签交换路由器模型, 构建了基于 ATM 的 MPLS 网络仿真模型。利用该仿真模型建立的 MPLS 仿真试验网络, 数据传输性能明显优于非 MPLS 网络。该模型的开发对于 MPLS 网络的性能分析具有一定的意义。

**关键词**: ATM; 多协议标签交换; 仿真模型

## Design and Implementation of MPLS Simulation Model Based on ATM

DUAN Lianguo<sup>1</sup>, YE Yousun<sup>1</sup>, HU Zhongyu<sup>2</sup>

(1. Department of Commanding Communications, Commanding Communications Academy, Wuhan 430010;

2. Department of Training, Chongqing Communications Institute, Chongqing 400035)

**【Abstract】** Using simulation for analyzing the MPLS network is a valid approach. This paper studies the MPLS technology based on ATM, implements the simulation model of the label switch router based on ATM after referring to the MPLS model in the OPNET simulation tools, and constructs the MPLS simulation model. The performance of the data transmission in the experimental network that uses the MPLS model is superior to the network that does not use MPLS. The development of the model benefits the study of the performance of MPLS network.

**【Key words】** ATM; multi protocol label switch(MPLS); simulation model

为了深入分析 MPLS 网络的性能和规划宽带综合业务数字网, 需要开发功能比较完善的 MPLS 仿真模型。作为网络仿真软件的 OPNET Modeler 仅提供了一个基于 IP 的 MPLS(IP-MPLS)仿真模型, 并没有提供基于 ATM 的 MPLS(ATM-MPLS)仿真模型。

基于 ATM 的 MPLS 是基于 IP 的 MPLS 技术在 ATM 交换结构上的具体实现。开发 ATM-MPLS 仿真模型的重点在于如何将基于 IP 的 MPLS 模型与 ATM 交换结构模型有机地结合起来, 在 ATM 交换机上实现 MPLS 分组的直接转发。本文在分析 ATM-MPLS 交换技术的基础上, 借鉴 IP-MPLS 仿真模型的部分模块, 开发了专用的 ATM-MPLS 仿真模型。该模型已应用于某个通信仿真平台中, 并取得了良好的仿真效果。

### 1 在 ATM 上实现 MPLS 的基本原理

IP 技术以面向无连接的方式, 向用户提供了简单、高效而且灵活的通信手段, 但是基于 IP 技术的传统路由器转发速度慢, 时延大、抖动大及实时传输性能差的缺点, 严重影响宽带综合业务的持续发展。多协议标签交换(MPLS)技术以一种简便的“标签”互换算法来取代传统的“最长地址匹配”转发方式, 将第 2 层交换(ATM 等链路层)技术和第 3 层路由技术完美地结合起来, 在无连接的网路中引入面向连接模式的特性, 在异构网络互联环境下利用标签实现数据高速、高效传输。

#### 1.1 ATM-MPLS 网络结构

ATM-MPLS 网络的典型结构如图 1 所示, 其主要组成单元是 MPLS 标记交换路由器(LSR), 由 LSR 构成的网络区域

称为 MPLS 域, 位于 MPLS 域边缘与用户相连的 LSR 称为边缘 LSR(LER)。MPLS 网络的信令控制协议为标记分发协议(LDP)。MPLS 网络运行 LDP 协议, 建立标签交换路径(LSP)实现 IP 数据通信。

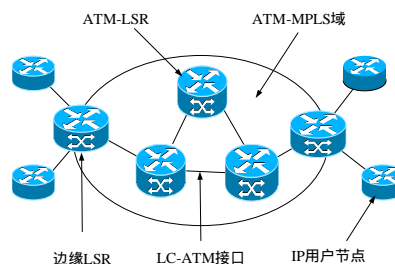


图 1 ATM-MPLS 网络结构

#### 1.2 标记交换路由器(ATM-LSR)

标记交换路由器是运行 MPLS 的网络节点, 运行 MPLS 控制协议(LDP 或 RSVP)和第 3 层路由协议(OSPF 或 RIP), 负责与其他路由器交换路由信息建立路由表, 完成转发等价类与 IP 地址的映射, 建立 FEC 和标记之间的绑定, 分配标签信息, 建立和保持标记转发表等工作。边缘标记交换路由器(LER)除了具备标记交换路由器(LSR)功能外, 还拥有连接 MPLS 域和非 MPLS 域, 进行 FEC 分类以及接入控制等。ATM-LSR 结构如图 2 所示。

**作者简介**: 段联国(1976-), 男, 博士研究生, 主研方向: 通信网络仿真; 叶酉荪, 教授、博士生导师; 胡中豫, 教授

**收稿日期**: 2006-08-03 **E-mail**: duanlianguodl@yahoo.com.cn

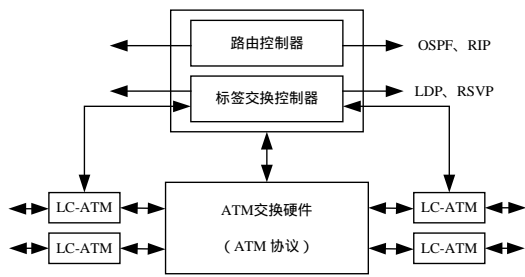


图 2 ATM-LSR 结构

ATM-LSR 是 MPLS 技术与 ATM 交换技术的有机融合，采用 ATM 信元所携带的 VPI 和 VCI 作为 MPLS 标签，利用标签分发协议(LDP 或扩展 RSVP)来建立 LSP，只有边缘 ATM-LSR 才处理 ATM 层以上协议，中间 ATM-LSR 直接转发 ATM 信元。

## 2 ATM-MPLS 仿真模型的构建

采用高级编程语言建立一个模拟 LSR 工作过程的仿真模型，开发难度较大。因此，在借鉴 OPNET 提供的 IP-MPLS 仿真模型的基础上，构建了 ATM-MPLS 仿真模型。

### 2.1 IP-MPLS 仿真模型的分析

OPNET 中具有基于 IP 的 MPLS 模型(IP-MPLS)，模型采用标签控制协议(LDP)分配标签，建立标签交换路径(LSP)，数据传输过程中改变传统基于 IP 的面向无连接的逐跳转发模式，实现面向连接的基于标签的快速转发。数据转发过程中仅标签有效，其他 IP 包的字段无效。

IP-MPLS 仿真模型主要由 LSR 节点模型(IP-LSR)构成，该模型支持多种功能，IP-LSR 仿真模型的结构如图 3 所示，主要由以下两个模块构成：

(1)IP 模块。IP 模块的功能是进行路由表建立、IP 数据转发以及 MPLS 分组的标记交换等。它是 IP-LSR 模型的核心部分，统一协调整个模型的运行，并定义 IP-LSR 模型有全局数据结构(IpT-rte-module-data)：接口表，路由转发表，标记空间，LSP 的标签转发信息表等。

(2)LDP 模块。LDP 模块实现 LSR 的信令控制功能。协同 IP 路由协议(OSPF 等)合理分配标签、建立标签交换路径。主要实现发布并维护网络中的 LSR(discovery)、建立和保持两个对等 LDP 间的会话(session)、执行标签的分配和传播(advertisement)、通告差错信息(notification)等功能。

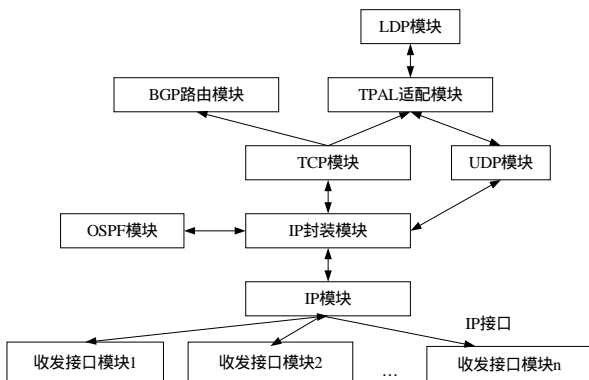


图 3 IP-MPLS 模型结构

### 2.2 ATM-MPLS 模型的总体设计

比较 IP-LSR 模型与 ATM 标签交换路由器结构可以看出，ATM-LSR 模型实质上是基于 IP 的 MPLS 分组数据在 ATM 链路层上直接进行 ATM 信元转发。因此，ATM-LSR 与 IP-LSR

模型使用相似的标签交换协议与 IP 路由协议。但另一方面，ATM-LSR 与 IP-LSR 具有不同的协议结构，ATM-LSR 不仅涉及网络层以上各层协议，还包括 ATM 交换的相关协议。

从本质上讲，ATM 信元交换类似于标签交换，ATM 网络中的 SVC 类似于 IP-MPLS 域中的 LSP，基于 ATM 的 MPLS 就是采用 IP 路由协议，实现 ATM 信元交换。从 ATM-LSR 协议结构看，与 IP-LSR 模型相比，适当修改网络层以上各协议模块，增加 ATM 链路层协议，能够使 MPLS 分组传输适应 ATM 交换结构。

构成 ATM-MPLS 仿真模型的主要元素是 ATM-LSR 节点模型。由以上分析可知：在 IP-LSR 模型基础上实现 ATM-LSR 模型时，可以充分利用 IP-LSR 模型中的 MPLS 处理功能和 LDP 标记分发功能。借鉴 IP-LSR 模型，设计了 ATM-LSR 仿真模型结构，如图 4 所示。在 ATM-LSR 仿真模型中重点实现以下功能：

(1)为了实现路由协议、标签分发协议等数据的传输，需要创建默认的 VPI/VCI(0/32)高级信令信道，构造 IP 路由表及标签信息转发表；

(2)在 ATM-LSR 中根据标签信息转发表，实现 MPLS 分组数据的直接转发；

(3)修改 LDP 进程模型，使得 LDP 的标签分配与 LSP 建立过程满足 ATM-LSR。

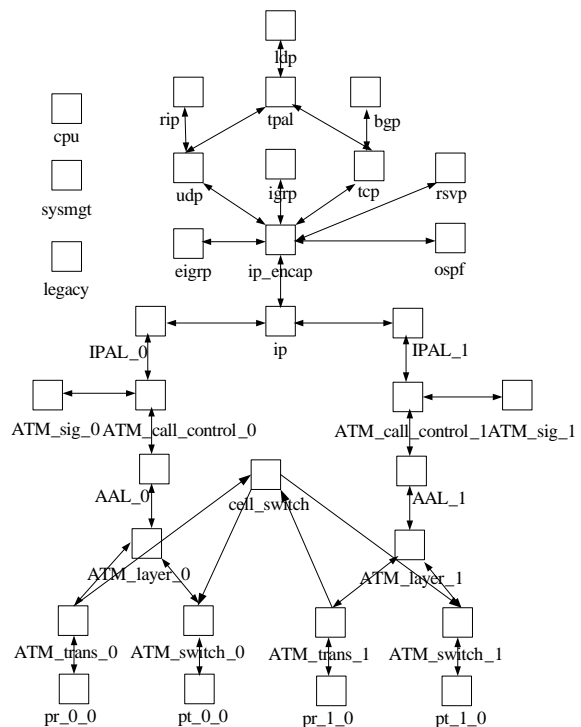


图 4 ATM-LSR 模型结构

### 2.3 ATM-LSR 仿真模型的实现

在构建 ATM-LSR 仿真模型时，分析了 IP-LSR 各模块及 ATM 交换模块的进程模型，主要修改和创建了以下模块：

#### 2.3.1 LDP 模块

该模块主要实现 MPLS 的控制信令，通过 LDP 会话数据包协商 MPLS 标记交换空间，分发转发标记，建立标记交换路径 LSP，通知 IP 模块中 mpls\_mgr 进程及 CELL-switch 模块更新相应数据。通过 LDP 初始化消息，确定 VPI/VCI 作为标签的使用方式和 VPI/VCI 的使用范围等，实时通知 ATM 模块建立 SVC 信道，实现标签交换路径(LSP)与 ATM 的交换

虚信道(SVC)的对应映射。

### 2.3.2 IPAL 模块

IPAL 模块完成网络层与 ATM 链路层间的适配, 以确保 IP 包能够转化成 ATM 信元。该模块根据 IP 包的数据格式进行处理, 若是路由信息或控制信令信息, 通过 ATM 信令信道 (VPI=0 和 VCI=32) 传输; 若为 MPLS 分组, 则选择已建好的信道进行传输。同时, 该模块还及时向 ATM-sig 模块发送建立 ATM 信道的消息。

### 2.3.3 ATM-sig 模块

该模块除了完成 ATM-sig 原有链路建立过程外, 还要根据 IPAL 模块的消息参数建立 ATM 信令与数据信道。模块启动时, 与低层信令信道 (VPI=0 和 VCI=5) 一起, 建立高层信令信道 (VPI=0 和 VCI=32), 用于传送 IP 路由信息及 MPLS 标签控制信息等。在仿真运行中, 根据 IPAL 模块的消息, 参照 IP 路由信息表及标签信息转发表, 建立 ATM 数据信道, 并将其建立的 ATM 信道存储在相应结构体中。

### 2.3.4 ATM-trans 模块

该模块对接收的 ATM 信元进行相应处理, 若为信令数据, 则直接转发至高层; 若为非信令数据, 则发送至 CELL-switch 模块, 根据标签信息转发表, 直接转发至相应 ATM-switch 模块。

### 2.3.5 CELL\_switch 模块

该模块参照 IP 路由表, 建立 ATM 信元转发表, 实现 ATM 信元快速转发的核心, 需要重新开发。模块结构如图 5 所示。主要完成以下功能: (1) 建立 IP 端口与 ATM 端口的映射关系。IP 路由表是以 IP 地址标识的, 要运用 IP 路由表转发 ATM 信元, 须将基于一个 IP 地址的 IPAL 模块、ATM-trans 模块与 ATM-switch 模块合为一组, 建立 IP 端口与 ATM 端口之间的映射关系。(2) 建立 ATM 信元转发路由表。根据 IP 路由协议 (如 OSPF) 已经建立的路由表, 运用 IP 端口与 ATM 端口映射关系, 建立 ATM 信元转发表。(3) 根据接收 ATM 信头的 VPI 与 VCI 之值, 参考 ATM 信元转发表, 更新 ATM 信头结构, 在相应的 ATM 端口实施转发。

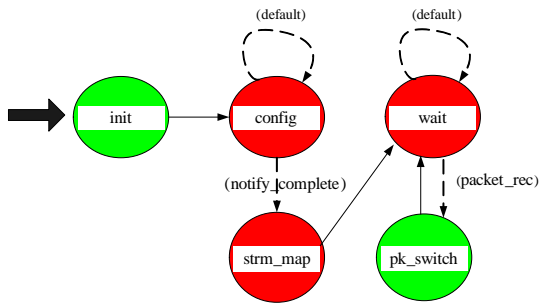


图 5 CELL\_switch 进程模型

## 3 ATM-MPLS 仿真模型的验证分析

### 3.1 ATM-MPLS 试验网络的构建

利用开发的 ATM-LSR 模型构建的试验网络结构如图 6 所示。配置一个数据终端和一个服务器, 2 个 ATM-LER 和 4 个 ATM-LSR 节点。在数据终端上加载 FTP 业务, 进行网络性能仿真。建立了两条动态 LSP, 分别表示  $ler_1 \rightarrow ler_2$  和  $ler_2 \rightarrow ler_1$ 。线条表示由标签控制协议所建立的 MPLS 分组数据流通道, 分别为  $ler_1 \rightarrow lsr_3 \rightarrow lsr_2 \rightarrow ler_2$  和  $ler_2 \rightarrow lsr_2 \rightarrow lsr_1 \rightarrow ler_1$ 。以  $lsr_2 \rightarrow ler_2$  间的链路为参考对象, 该链路通过的数据速率及队列延迟如图 7 所示。数据传输速率为均值在 1 000bits/s 左右, 峰值时大于

1 500bits/s, 基本没有队列延迟, 大约为 0.000 002 7s。

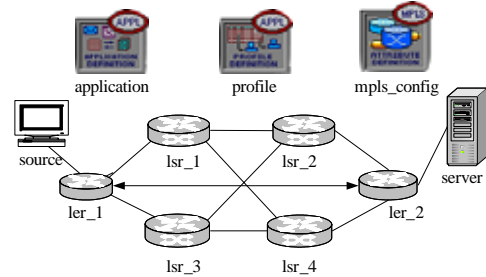


图 6 ATM-MPLS 试验网络结构

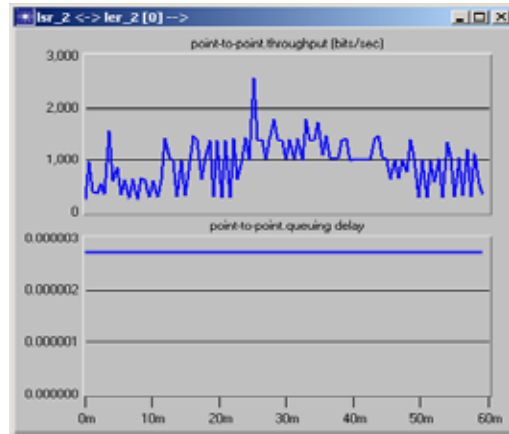


图 7 MPLS 网络数据传输特性

### 3.2 MPLS 与非 MPLS 网络的仿真结果比较

利用同样的网络结构, 采用带有路由功能的 ATM 交换机, 仍然使用 IP 路由协议, 但不采用 MPLS 标签协议, 实现 IP 数据包的逐跳转发。仍然以  $lsr_2 \rightarrow ler_2$  间的链路为统计对象, 该链路的数据速率及队列延迟如图 8 所示, 数据传输速率均值在 500bits/s 以下, 队列延迟为 0.000 21s。比较 MPLS 与非 MPLS 两种模式, 采用 MPLS 协议的网络明显能够提高数据传输性能: 传输速度快, 队列延迟小。

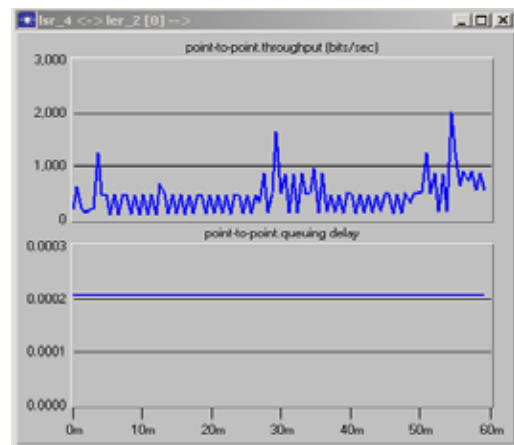


图 8 非 MPLS 网络数据传输特性

## 4 总结

本文根据 MPLS 在 ATM 上实现的技术要求, 基于 OPNET 提供的 IP\_MPLS 模型, 初步构建了 ATM\_MPLS 仿真模型。但该模块重点在于实现 IP 业务数据基于 ATM 的 MPLS 交换, 对于 MPLS 的虚拟专用网络技术 (VPN)、流量管理和服务质量 (QoS) 等方面考虑不够充分, 尚待进一步研究。

(下转第 120 页)