

# ATM 上应用 MPLS 技术网络中的环路控制机制

杜 荔, 刘治国, 王光兴

(东北大学网络与通信中心, 辽宁沈阳 110004)

**摘 要:** MPLS 网络不可避免地存在着形成标记交换路径(LSP)环路的可能, 而 ATM 技术特点又使 MPLS 网络环路控制机制的应用受到一些限制. 本文重点探讨 MPLS 应用于 ATM 环境下的环路控制机制, 包括 ATM TTL 域处理生存机制、环路检测机制, 以及为建立标记归并 LSP 而设计的两种环路防止算法等. 通过理论分析和部分仿真对多种控制方法进行全方位比较, 得出一些有意义的结论.

**关键词:** 多协议标记交换; ATM 标记交换路由器; 转发等效类; 类型-长度-值

**中图分类号:** TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 08-1172-03

## Loop Control Mechanisms of MPLS Networks Applied on ATM

DU Li, LIU Zhi guo, WANG Guang xing

(Center of Network & Communications, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110004, China)

**Abstract:** There is an inevitable possibility of an LSP forming loops in MPLS networks, and the application of MPLS' s loop control mechanisms is restricted by the ATM technological traits. The paper studied different kinds of loop control mechanisms of MPLS networks applied on ATM, including the ATM TTL field survival mechanism, loop detection mechanisms, and two kinds of loop prevention algorithms designed for establishing loop free state merging LSPs. These mechanisms were compared in various aspects by theoretical analysis and partial simulation, and obtained some significative conclusions.

**Key words:** MPLS; ATM-LSR; forwarding equivalence class(FEC); type length value(TLV)

### 1 引言

显式路由是 MPLS 在路由技术上的一个重大进步, 但考虑到 MPLS 需要与非 MPLS 网络保持兼容等因素, 目前还不能将显式路由作为 MPLS<sup>[1, 2]</sup> 唯一的 routing 选择机制, 而显式与逐跳两种路由机制的混用便可能产生环路. 事实上, 即便是纯逐跳路由的 MPLS 网络也避免不了有形成环路的可能. 因为标记分配协议(LDP)是标记交换路由器(LSR)将网络层信息映射到数据链路层交换路径, 从而建立标记交换路径(LSP)所使用的一系列消息和过程<sup>[3]</sup>, 而现有路由算法大多是基于分布式计算的, 每跳路由器中路由策略的差异会导致计算结果的不一致性, 因而在路由变化的瞬间就可能计算出含有环路的转发路径. 环路带来的最明显问题是无法将分组投递到正确的目的地, 它的另一后果是因环路分组长期占用路由资源所引起的对非环路分组的路由拥塞, 导致非环路分组的延时或丢弃. 特别是在以下三种情况下环路的影响对网络运行极为不利: 一是当 MPLS 应用在没有内部标记结构的链路层环境下时; 二是当环路引起的拥塞干扰了路由协议本身时; 三是当 MPLS 网络支持多播业务时, MPLS 环路控制针对的是 LSP, 只有具备了处理 LSP 环路的能力, MPLS 的技术优势才能得以真正体现.

### 2 ATM 环境下的环路生存及检测机制

#### 2.1 ATM TTL 域处理生存机制

由于 ATM 中没有 TTL 域可用<sup>[4]</sup>, 而要在 ATM 信元的标记封装中引入 TTL 域<sup>[5]</sup>, 又必须更改 ATM 信元的结构, 因此在 ATM 环境下使用 TTL 域生存机制可采用直接使用 IP 分组头中 TTL 域的方法. 为避免在“非 TTL LSP 段”上传送分组时导致 TTL 计算错误, 对单播和多播分组应采用不同的处理方案. 对于单播分组, 首先应在入口 ATM-LSR 处估算该“非 TTL LSP 段”上的总跳数, 或者由建立 LSP 的 LDP 将“非 TTL LSP 段”跳数的信息通知给入口 ATM-LSR. 在分组进入“非 TTL LSP 段”之前, 由入口 ATM-LSR 预先完成该段的 TTL 值减操作. 若减操作后发现 TTL 已小于零, 则入口 ATM-LSR 拒绝在该 LSP 上传递该分组; 对于组播分组, 由建立 LSP 的 LDP 将“非 TTL LSP 段”跳数的信息通知给出口 ATM-LSR, 在将分组转发出“非 TTL LSP 段”之前, 由出口 ATM-LSR 完成该段的 TTL 值减操作.

#### 2.2 发送环路检测控制分组(LDCCP)法

当路由发生变化时, 检测到这一变化的 ATM-LSR 便沿着变化的方向向下一跳 ATM-LSR 发送环路检测控制分组(LDCCP), LDCCP 中除包含特定的标识信息外还包含 TTL 域, 沿途的

每个 ATM-LSR 都记录这个 LDCP。若 LDCP 顺利到达目的地, 则表明该 LSP 不存在环路; 若 TTL 值递减为零, 或某个中间 ATM-LSR 再次收到该 LDCP, 则表明在发生路由变化后新的 LSP 中存有环路。

### 2.3 路径向量/跳数计数 TLV 法

它通过标记请求和标记映射消息中所携带的路径向量 TLV 和跳数 TLV 来完成环路的检测。路径向量 TLV 和跳数 TLV 的编码格式分别如图 1 和图 2 所示。当 ATM-LSR 从上游收到的标记请求消息中跳数 TLV 超过了允许的最大值, 或路径向量 TLV 中包含该 ATM-LSR 的 LSR ID, 或路径向量 TLV 超过了允许的最大长度时, 检测到环路的 ATM-LSR 向标记请求消息源发送“环路检测”通知消息, 并丢弃标记请求消息; 当 ATM-LSR 从下游收到的标记映射消息中跳数 TLV 值超过了允许的最大值, 或路径向量含有 ATM-LSR 本身的 LSR ID, 或路径向量长度超过了允许的最大长度时, 检测到环路的 ATM-LSR 停止使用标记进行数据转发、丢弃标记映射消息, 并向发送标记映射消息的下游 ATM-LSR 发送“环路检测”通知消息。

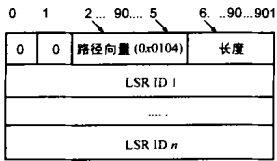


图1 路径向量 TLV 编码格式

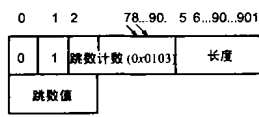


图2 跳数 TLV 编码格式

## 3 ATM 环境下的环路防止机制

### 3.1 路径向量/扩散 (PD) 算法

在 LSP 建立之前, 出口结点首先向上游 ATM-LSR 发送携有自身标识的路径向量分组, 途经每一结点时, ATM-LSR 都往路径向量分组中添加自身特殊的标识并继续向其上游 ATM-LSR 转发。利用图 3 说明 PD 算法应用在 ATM 环境下完成扩散计算的过程。设用  $R$  表示 ATM-LSR, 且, ① 所有  $R$  间的连接为同一 FEC<sup>[1]</sup> 的 LSP; ②  $R_2, R_3, R_4$  处存在归并; ③ 所有  $R$  中无保存路径向量的存储器。

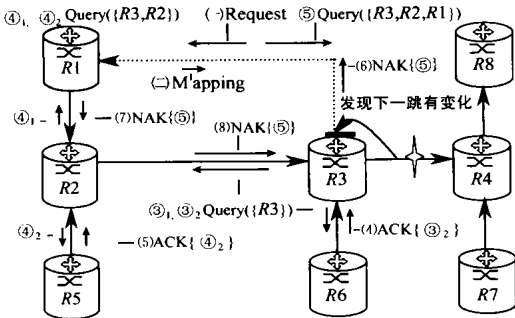


图3 PD 算法/扩散计算的一个例子

当  $R_3$  与  $R_4$  间的链路发生故障时, 许多路由算法很可能将  $R_3$  的下一跳改为  $R_1$ , 从而形成暂态环路。这时, 发现路由变化的  $R_3$  向其下游  $R_1$  发送一个标记请求 (Request) —— ①, 之后,  $R_1$  返回一个标记映射 (Mapping) —— ②。当  $R_3$  收到这个新下游结点的出口标记映射, 而它又有两个上游结点的入

口链路时, 便启动扩散计算。对于每一个上游结点都创建一个携有相应 ATM-LSR 地址标识的询问路径向量 (Query), 将它发送给相应的上游结点 —— ③④⑤ 并等待对每个询问的确认信息 —— (4)(5)(6)(7)(8)。当  $R_3$  收到 NAK 时, 扩散计算结束, 不能建立新的 LSP; 当环路上的  $R_3$  再次收到一个断开环路的路由改变事件时, 便又一次启动扩展计算, 自动建立起一条无环 LSP。

### 3.2 着色线程(CT)算法

CT 算法的核心是传播一个进程, 该进程给 LSP 下游方向上的每条链路“着色”一种颜色, 并将线程<sup>[6]</sup>的一系列属性向下游扩展。线程是用于建立 LSP 的一系列信息, 包括颜色、跳数和生存时间等三个属性, 这些属性被编码到一个线程对象之中。在 LSP 建立之前或当 FEC 的某个中间 ATM-LSR 发现路由的下一跳发生变化时, 由入口结点或发现变化的中间 ATM-LSR 创建一个以颜色做标识的线程, 并将线程一直向下游扩展, 直到确认 LSP 是否存有环路为止。图 4 给出了 CT 算法应用在 ATM 环境下的一个例子。设用  $R$  表示 ATM-LSR, 且, ① MPLS 采用有序按需分配方式; ② 所有的 LSP 都有相同的 FEC; ③ 所有结点都支持 VC 合并<sup>[7]</sup>。

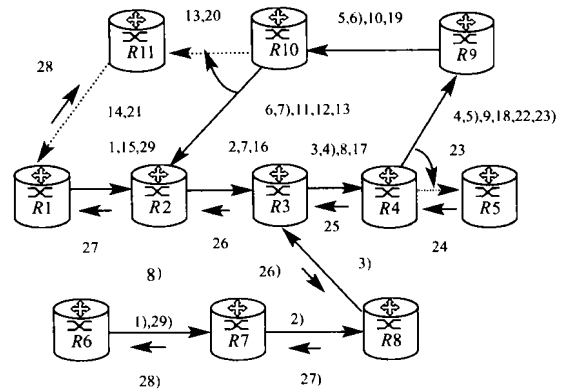


图4 着色线程算法的一个例子

1、1):  $R_1, R_6$  为入口结点, 初始创建 LSP, 同时发送标记请求 (红色,  $H=1$ ) 和 (蓝色,  $H=1$ )。2、2):  $R_2, R_7$  的入口和出口链路都是新创建的, 分别以 (红色,  $H=2$ ) 和 (蓝色,  $H=2$ ) 转发线程。3: 设  $R_3$  首先收到源自  $R_1$  的标记请求, 它以 (红色,  $H=3$ ) 转发线程。3)、4:  $R_8, R_4$  的入口和出口链路都是新创建的, 分别以 (蓝色,  $H=3$ ) 和 (红色,  $H=4$ ) 转发线程。4):  $R_3$  收到源自  $R_6$  的标记请求, 这时  $R_3$  出口链路已存在, 因此创建新颜色, 以 (棕色,  $H=4$ ) 扩展线程。5、5):  $R_9, R_4$  不改变颜色, 分别以 (红色,  $H=5$ ) 和 (棕色,  $H=5$ ) 转发线程。6、6):  $R_{10}, R_9$  不改变颜色, 分别以 (红色,  $H=6$ ) 和 (棕色,  $H=6$ ) 转发线程。7:  $R_2$  收到来自  $R_{10}$  的标记请求, 发现入口链路“着色”  $R_2$  创建的红色, 判定红色线程形成环路, 于是终止红色线程。由  $R_2$  创建一个新颜色且跳数为未知的新线程, 通过向  $R_3$  发送 (紫色,  $H=U$ ) 请求将线程扩展。7):  $R_{10}$  不改变颜色, 以 (棕色,  $H=7$ ) 转发线程。8- 11:  $R_3, R_4, R_9, R_{10}$  分别以 (紫色,  $H=U$ ) 转发线程, 最终  $R_2$  因发现线程环路而终止紫色线程。既然收到线程的跳数为未知, 因此  $R_2$  不再创建新线程。8):  $R_2$  收到

来自 R10 的另一标记请求,将棕色线程合并到紫色线程中,不再向 R3 发送请求。12-21:当 R10 改变其下一跳为 R11 时,R10 向 R2 发送断路信息以回收紫色线程,开始一个新的着色进程,执行一次路由重构。22-29:当 R4 将其下一跳改为 R5 时,R4 向 R9 发送断路信息以回收某色线程,又开始新的着色进程,执行路由重构,自动建立起一个无环 LSP。

之后,R2 以(透明色,  $H=2$ )向下游扩展线程。R6 以(透明色,  $H=1$ )向下游扩展线程。最后,R4 以(透明色,  $H=5$ )向下游转发线程到出口结点 R5。至此,合并的 LSP 创建完成,且各 ATM-LSR 获得正确的链路跳数。最终建成的 LSP 如图 5 所示。

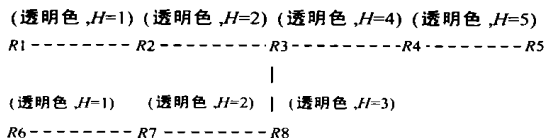


图 5 最终建立起的状态归并 LSP

#### 4 ATM 环境下环路控制机制甄别

TTL 递减法支持对流的合并功能,但其收敛性较差,特别是在 ATM 上应用 MPLS 时受到一定的限制,因而只能采用 ATM TTL 处理生存机制。

环路检测机制能够及时检测到环路的存在,但必须通过定期或不定期地向网络发送环路检测消息来了解检测到环路后环路是否已被消除。在环路检测机制中,路径向量/跳数计数 TLV 法与发送 LDCP 法相比,不再需要沿途的 ATM-LSR 记录大量的标识信息,因而易于在 LDP 中实现。所有 ATM-LSR 在其配置选项中都必须支持路径向量环路检测(LDPV)过程。若 ATM-LSR 不启动 LDPV 配置功能,则环路将通过已定义的跳数机制来检测;若 ATM-LSR 启动 LDPV 配置功能,则环路能够很快地被检测到,但开销较大。事实上,采用下游按需标记分配,在建立 LSP 时的标记请求消息传送过程中就可以避免环路 LSP 的出现;在标记映射消息从下游向上游传送时,如果使用的是有序标记分发方式,标记映射消息将从出口结点一直发送到入口结点,不仅可以方便地在标记映射消息中包含向量 TLV,而且可以有效减少标记映射更新消息的数量。

PD 算法和 CT 算法的共同之处在于:①本质上都是根据 LSP 上的结点地址及标识符做出是否发生环路的判断。②触发时机都是在 LSP 建立之前。③都是建立 LSP 显式路由。④收敛速度都较快。⑤都可支持流合并功能。经理论分析及在 ATM 环境下所进行的仿真实验得出 PD 和 CT 两种算法的不同之处在于:①PD 算法先是以上游方式发出询问,然后以下游方式传送应答信息;而 CT 算法的着色进程是以下游方式进行的,应答信息以上游方式传送。因此,对于初始路径的建立,PD 算法适用于下游自主(DU)模式;而 CT 算法适用于下游按需(DoD)模式。就初始路径的建立而言,ATM MPLS 网络适于采用 CT 算法。②由于 ATM 网络不支持 TTL 域,因而 CT 算法无法利用线程的 TTL 属性来避免着色进程的无限执行,这是 CT 算法应用于 ATM MPLS 网络的一个局限;而 PD 算法

不涉及 TTL 值问题,因此也就不存在这一限制。③如果通过上路一个结点关注重构路径的性能,则无论标记分发模式如何(DU 或 DoD),PD 算法都显示出比 CT 算法更好的性能。这是因为 CT 算法需要额外的信息来维护在每一链路的跳数,因此 CT 算法需要更多的控制信息。④如果通过下路一个结点来考察路径重构的性能,则在形成一个暂态环路时,PD 算法则倾向于需要更多的控制信息,而 CT 算法具有更好的性能。这是因为一旦出现一个环路,大量的结点将变成到另一个结点上游结点,在 PD 扩散计算期间,请求信息在上游方向上被分发,导致了控制信息数量的增加。⑤在 CT 算法中,中间 ATM-LSR 可以对颜色进行合并,CT 算法比 PD 算法更能有力地支持流合并机制。⑥PD 算法中传递的路径向量长度不固定,且受到网络规模的影响,经过的 ATM-LSR 越多,路径向量长度就越长,消耗的网络资源也越大;而 CT 算法在协议中携带的状态信息长度固定,且与网络大小无关,所以 CT 算法的扩展性比 PD 算法的要好。

#### 5 结束语

ATM TTL 处理生存机制采用被动控制策略,控制过程和手段相对简单,环路控制能力有限;PD、CT 算法采用主动控制策略,控制过程和结构相对复杂,控制能力较强,消耗网络资源较多;而两种环路检测机制在控制策略、控制过程和控制能力等方面介于前两者之间。因此根据 ATM 环境下的具体情况,可以独立使用三级机制或将它们结合使用,以全面增强 MPLS 网络的环路控制能力。

#### 参考文献:

- [1] A Viswanathan, et al. Evolution of multiprotocol label switching [J]. IEEE Communications Magazine, 1998, 5: 165-173.
- [2] E Rosen, A Viswanathan, R Callon. Multiprotocol Label Switching Architecture [S]. Internet Draft, 1999, 8.
- [3] L Andersson, et al. LDP Specification [S]. RFC 3036, 2001, 1.
- [4] B Davie, et al. Use of Label Switching With ATM [S]. IETF Drafts, 1998, 9.
- [5] D Grossman, J Heinanen. Multiprotocol encapsulation over ATM adaptation layer 5 [S]. RFC 2684, 1999, 9.
- [6] O Yoshihiro. Issues on loop prevention in MPLS networks [J]. IEEE Commun. Mag., 1999, 12: 64-68.
- [7] B Davie, et al. MPLS using LDP and ATM VC Switching [S]. Work in progress, Internet Draft, 1999, 4.

#### 作者简介:



杜荔女,1962年12月出生于辽宁沈阳,1997年于东北大学获硕士学位,现为东北大学信息学院在职博士研究生,当前主要研究方向为宽带网络 IP 交换技术。