

基于 IPv6 的标签交换体系结构的研究

易 侃, 王志坚

(河海大学 计算机及信息工程学院, 江苏 南京 210098)

摘 要: 随着网络流量的高速增长, 交换机面对众多业务表现出不足及路由器的处理速度低下等问题日益暴露出来。在此情况下, 标签交换技术被提出用于改进分组的转发过程。而在新一代的网络协议 IPv6 中包含流标签域, 它可直接支持标签交换。文中研究基于 IPv6 的标签交换体系结构(简称 6LSA), 分析了 6LSA 中的流与目前规范定义的流的区别, 并用一个聚集流的算法描述了标签交换路由器(6LSR)基于本地产生标签模型, 建立标签交换路径(6LSP)和标签交换的方法。

关键词: IPv6; 6LSA; QoS; 流标签; 标签交换

中图分类号: TP393.06

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2006)06-0227-03

Research on IPv6 Label Switching Architecture

YI Kan, WANG Zhi-jian

(College of Computer & Information Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: With the fast increase of load of network, many problems, such as deficiency of switches dealing with numerous functions, low rate of router's process, have been gradually exposed. In this circumstance, label switching technology has been put forward. At the same time, the next generation network protocol IPv6 which includes the flow label field can support the process of label switching directly. This paper researches an architectural framework, called IPv6 label switching architecture or 6LSA, analyses the difference between flow defined in 6LSA and flow defined in flow label specification, and describes the measure of establishing IPv6 label switching path or 6LSP and the measure of label switching process, using appropriate algorithms of merged flows. These methods are all based on locally generated label model.

Key words: IPv6; 6LSA; QoS; flow label; label switching

0 引 言

现行的网络体系结构提供“尽力而为”的服务, 无法保证端到端的网络服务质量。而多媒体通信、实时通信需要端到端的高带宽、低延迟、低抖动、高安全性等特性。IPv6 提供强有力的机制支持 QoS 传输。文中论述的 6LSA 可利用 IPv6 头部的流标签域, 在网络第三层建立标签交换路径, 提供端到端的虚电路, 满足端到端的 QoS 的需求。

该体系结构的核心思想是路由器对流的第一个分组的处理与对流的所有后续分组的处理相同, 后续分组无需重复第一个分组在路由器上对分组头的处理过程, 只需要根据第一个分组在路由器中留下的印记, 即流标签, 直接获得相同的处理过程。与在网络第二层实现虚电路相比, 在网络第三层实现的虚电路, 其技术复杂度更低, 管理更为简单, 扩展性也更好。

1 流和流标签

1.1 RFC3697 定义的流

IPv6 头包含 20 位的流标签域^[1]。IPv6 流规范(RFC3697)详细说明了这个域的定义和使用方式。一个流是从一个特定的源端到一个特定的单播、任播或多播目的端的一系列分组。源端要求分组在通过所有的中间节点时, 对分组做特殊的处理。这些特殊的处理可以通过一个控制协议, 如资源预留协议, 或者区分服务流量工程机制, 或者通过分组自身携带的信息传达到路由器上。IPv6 流规范定义的流具有如下特点^[2]:

- * 流由一个三元组惟一标识, 即源地址、目的地址和流标签。
- * 任何流都必须带有非零的流标签。
- * 流标签在流的源端产生, 并被赋予一个具有全局意义的值, 且该值必须是从十六进制数 1 到 FFFF 中选择一个伪随机值。
- * 流状态在每个节点只保持一段固定的时间, 若节点需要流状态保持更长的时间, 则在流状态生存期内, 刷新流状态, 更新流状态的生存期。
- * 源端必须给每个不相关的流分配一个惟一的流标签, 必须确保新流的流标签不会使用已经被分配且还没有

收稿日期: 2005-09-17

作者简介: 易侃(1981-), 男, 江苏南通人, 硕士研究生, 研究方向为计算机网络、软件工程; 王志坚, 教授, 研究方向为基于网络的计算机应用技术。

到期的流标签。

1.2 6LSA 中对流规范的扩展

6LSA 中的流的定义是对现有 IPv6 流规范的修改版本,特别增加了对流标签灵活、简便的应用,以便更好地实现带有 QoS 的传输。6LSA 中的流称为伪流^[3],与上述三元组标识的流有如下区别:

- * 一个伪流只是由一个流标签来标识。
- * 流标签不需要在源端和目的端间的传输路径上保持固定不变的值,即此值可以在途中被改变。
- * 伪流分组头包含的源地址可能不是伪流产生的地址,包含的目的地址也可能不是伪流中止的地址。
- * 伪流的引导分组的流标签的值可以是零。引导分组是指出现在任意节点上的流的第一个分组,它可以是流从源端传输出来的第一个分组,也可以不是,因为分组可能丢失。
- * 流标签值不再仅由源端节点产生。可以通过三种模型之一产生:1)根据流入的带有流标签的分组的信息;2)节点基于某个算法或策略产生;3)通过某个流标签发布协议发布。

2 IPv6 标签交换体系结构

2.1 基于本地产生标签模型建立 IPv6 标签交换路径

在本地产生标签的模型中,6LSA 允许每个节点使用一个伪随机值产生器,产生满足 6LSA 中流标签定义的、且具有本地意义的流标签^[3]。每个流标签对应一个转发等价类(Forwarding Equivalence Class, FEC),FEC 代表一组 IPv6 分组获得的转发处理。转发处理根据一个或多个与流相关的属性决定,这些属性可能包括流量类型、标签值、源地址、目的地址、TCP/UDP 端口号、一个或多个扩展包头等;也可能根据外部环境对流的约束,例如网络管理员选择的流分组转发的参数。属于同一个转发等价类的流,即便具有不同的源端、目的端,也将获得相同的转发处理。

当分组传输至某个 6LSR 时,如果该 6LSR 判断流入的分组是一个引导分组,即此时交换表中还没有匹配的交换表条目,或者该 6LSR 还没有产生用于交换的流出的标签,那么 6LSR 与一般路由器一样,处理该引导分组的 IPv6 头,包括路由、扩展头、TC 域的处理等;但 6LSR 同时记录处理过程到某个转发数据结构,该数据结构的实体是一个 FEC 的显式、定量的描述,其详细定义了对分组的处理过程、可能包含的信息,如数据链路层的封装方式、分组的优先级等;然后,6LSR 判断该 FEC 是否已经存在,如果不存在,可根据该新的 FEC 随机产生一个具有本地意义的流标签,并建立流标签与该 FEC 的对应关系,或称为绑定;最后 6LSR 更新交换表,增加一行交换表条目。引导分组在每个途径的 6LSR 上建立交换表条目,最终形成了端到端的一条链路。每个 6LSR 不需要再对流的后续分组头做与引导分组同样的处理,只需要根据交换表条目所

匹配的 FEC 直接处理分组,同时完成标签交换。

在 6LSR 的同一个接口流入具有相同流标签的分组可能并不是同一个流,这是因为伪流仅由流标签标识,而上一跳 6LSR 处理的多条流可能具有相同的 FEC,即不同的流用同一个流标签标识,而且这些流的分组可能从同一个端口转发出去。下一跳 6LSR 对于这种包含多条流的聚集流,通过分组的源地址、目的地址将它们区分开来,在其标签交换表中匹配唯一的交换表条目。

根据以上对分组处理的要求,交换表可能由如下信息组成:

- * 流入和流出的标签。
- * 源地址和目的地址。
- * 流入和流出的接口。
- * 分组标识符域(PID),有两个值:0 或者 1。当引导分组建立该表条目时,值为 0;当后续分组到来时,值为 1。
- * FEC 的值。该值标识作用在分组的转发操作,对应一个转发数据结构。

本地产生标签模型比较简单、有效,避免了标签发布(在标签发布模型中)在控制层面的流量。同时本地产生标签模型加强了安全性,因为标签只有本地意义,所以能够随机地或周期地在它们使用前刷新整体或局部 6LSA 域的标签。最终建立的 6LSP 类似于 ATM 中的虚电路,或是 MPLS 中的 LSP^[4]。事实上,分别位于 6LSA 域、ATM 域和 MPLS 域上的节点是可以互相通信的,因为它们都具有相似的转发策略,且协议头均包含标签域。

2.2 标签处理算法

6LSA 分组处理算法包括边界 6LSR 对分组的处理,和 6LSA 域内 6LSR 对分组的处理。最简单的 6LSA 域(见图 1)包含 3 个节点:入口 6LSR,出口 6LSR,以及在它们中间的一个 6LSR,称之为中间 6LSR^[3]。更为复杂的网络配置可能有 4 个或更多的节点,带有两个或多个的边界 6LSR。

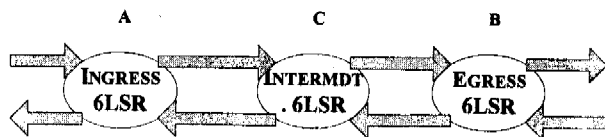


图 1 简单的 6LSA 域

根据上文建立 6LSP 的过程,交换路径中存在聚集流,下面通过对一个聚集流分组处理算法,描述 6LSA 中基于本地产生标签模型的标签交换的过程:

1) 入口 6LSR:当分组到达一个接口,在路由交换表中匹配源地址和目的地址。

a. 如果没有匹配,那么该分组就是引导分组;获得一个流出的标签,该标签对于流出的接口是惟一的,并且代表一个预选定的 FEC,为该分组建立一条交换表条目,包括标签值、值为 0 的 PID、FEC 值等,然后将分组转发出去;引导分组的处理中并没有流出和流入标签的交换。

b. 如果有一个匹配,并且在交换表中的 PID 的值为

0, 这是流中的一个 NTL 分组(引导分组的下一个分组)。用交换表中的流出标签与流入的标签交换, 并设置 PID 值为 1, 然后根据 FEC 值处理分组, 并将分组转发出去。

c. 如果有一个匹配, 而且在交换表中的 PID 的值为 1, 那么这是流中的一个后续分组。处理方法同 NTL 分组。

2) 中间路由器: 当一个分组到达一个接口, 在交换表中匹配流入的标签和流入的接口。

a. 如果没有匹配, 该分组是引导分组, 处理如同 1) 中的 a。

b. 如果只是匹配流入的标签, 那么可以认为对于该接口, 还没有流出的标签存在, 那么该分组仍是引导分组, 处理如同 1) 中的 a。

c. 如果标签和接口同时有一个匹配, 那么该分组可能是不同流的一个 NTL 分组或者是后续分组。必须找到一个源地址、目的地址的匹配。

① 如果有一个匹配, 该分组是 NTL 或者后续分组, 则操作与以上描述的 NTL 或者后续分组的操作相同。

② 如果没有一个匹配, 该分组是一个引导分组, 操作与以上描述的引导分组的操作相同。

3) 出口 6LSR: 当一个分组到达一个接口, 在交换表中匹配流入的标签和流入的接口。

a. 如果没有匹配, 该分组是引导分组, 查询下一跳路由, 为该分组建立一个交换表条目, 包括标签、0 值的 PID、FEC 值等, 然后将分组转发出去; 如果流入分组的标签是 0, 那么分组就没有标签的绑定和标签交换, 否则将该标签交换为 0, 满足网路的要求。

b. 如果只有流入的标签匹配, 而流入的接口不匹配, 那么还是一个引导分组, 则操作与 3) 中的 a. 相同。

c. 如果标签和接口都匹配, 那么该分组可能是不同流的一个 NTL 或者是一个后续分组, 操作与 2) 中的 c. 相同。

图 2 描述了分组利用以上算法, 在通过 6LSR 时, 分组和交换表条目的状态。虽然该图中并没有描述聚集流对于源地址、目的地址的匹配过程, 但已经足够清楚地描述不同流的不同分组在 6LSR 上的处理过程了。

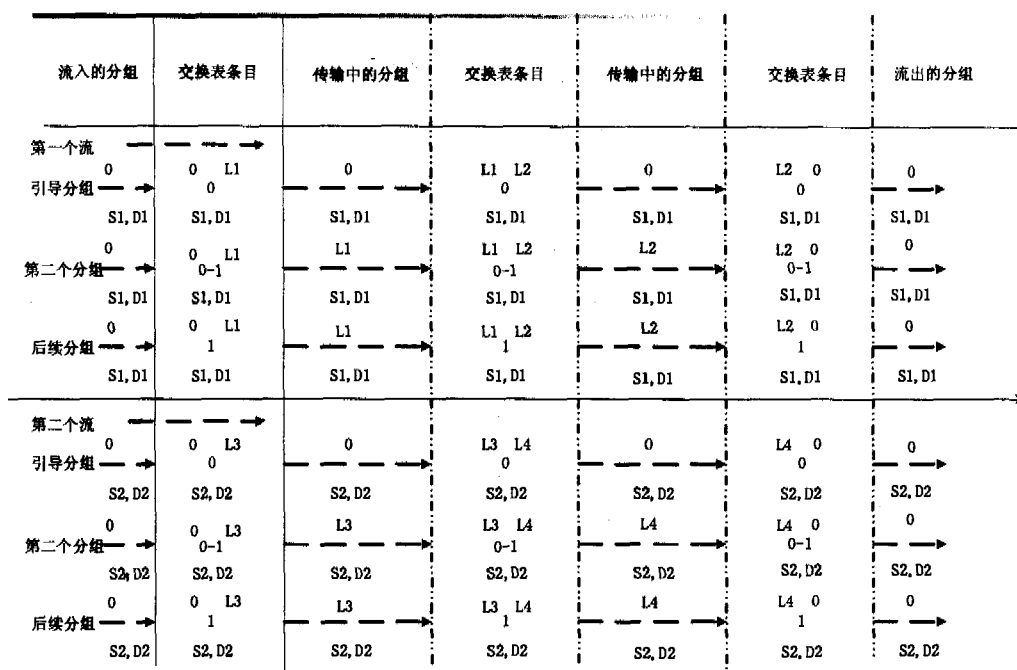


图 2 分组在 6LSR 上的传输过程

图 2 显示了两个不同流的 3 种不同类型的分组传输过程, 图中交换表条目的顶行显示的 0 和 Ln 分别是流入和流出的标签值, 底行显示的是 Sn 和 Dn 分别是源地址和目的地址, 中间行显示的是 PID 的值。图中显示了引导分组流经 6LSR 时, 6LSR 为流建立交换表条目, 从而建立一条标签交换路径的过程, 后续分组根据引导分组建立的标签表条目的项处理分组, 简化了分组的处理过程。

3 结论

6LSA 利用 IPv6 头部的流标签域, 建立具有本地意义的标签路径, 该路径为快速的分组传输提供了明确的路由, 提高了端到端的网络服务质量。快速的交换流标签的过程取代了原本 128 位的 IPv6 地址查询的过程, 节约了中间节点的内存, 同时简化了分组处理过程, 并且能够满足有 QoS 需求的流的传输^[5]。但是到目前为止, 相关的研究报道十分有限, 且不是很系统, 还有许多问题, 如 FEC 的映射、流状态的建立与维持、虚电路中中断后恢复等, 需要做进一步的研究工作。

参考文献:

- [1] RFC 2460, Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification [S], 1998.
- [2] RFC 3697, IPv6 Flow Label Specification[S], 2004.
- [3] Chakravorty S. IPv6 Label Switching Architecture[EB/OL]. <http://www.ietf.org/shadow.html>, 2005.
- [4] 徐 巍, 李腊元. IPv6 网络 QoS 机制的研究[J]. 计算机应用研究, 2005(1): 25-27.
- [5] 李 茹, 王春风, 黄晓露, 等. IPv6 标签提供的服务质量的支持[J]. 计算机科学, 2004, 31(4): 22-27.