

文章编号:1001-9081(2005)02-0248-04

一种新型远程网络拓扑发现及分析算法

南 煜,寇晓蕤,王清贤

(信息工程大学 信息工程学院,河南 郑州 450002)

(nnanyu007911@hotmail.com)

摘 要:分析了利用 SNMP 协议、ICMP 协议进行网络拓扑发现的原理和子网掩码分析的方法,并针对现有方法的不足提出参考建议。提出一种基于多种网络探测技术的 RT 远程网络拓扑发现分析算法,该算法不仅注重网络实体信息的收集,更突出对获得实体信息的分析。最后,通过比较不同方法对仿真网络环境拓扑发现的结果,证实了 RT 算法得到网络拓扑结果的完整性和准确性。

关键词: RT 远程网络拓扑发现算法;ICMP;子网分析;SNMP;

中图分类号: TP393.01 **文献标识码:** A

New remote network topology discovery and analysis algorithm

NAN Yu, KOU Xiao-rui, WANG Qing-xian

(College of Information Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou Henan 450002, China)

Abstract: This paper analyzed the principle of collecting information of network topology with SNMP and ICMP. the faults of these means and some advice were discussed. Then, a new RT algorithm of remote network topology by synthetizing many probing techniques was presented. The algorithm not only put emphasis on the collection of network devices infomation, but also gave prominence to the analysis of these infomation. Finally, the integrality and veracity of the result of this new network topology discovery algorithm were proved by compared the results of different way, all based on an emulating network environment.

Key words: RT remote network topology algorithm; ICMP; subnets analyze; SNMP

0 引言

网络拓扑发现是当今各研究机构关注的热点问题,是网络故障定位、网络仿真、网络管理、被动或主动性的资源管理、通信瓶颈分析的前提和基础。目前,有关网络拓扑发现技术的研究主要有:

1) 利用 SNMP 协议。主要的网络拓扑发现工具(产品)有 HP 的 Overview 和 IBM 的 Tivoli^[1]。

2) 基于 Traceroute 技术^[2]。主要的网络拓扑发现工具有 CAIDA^[3]研发的 skitter。

本文将网络中的路由器或者子网看作图中的结点,它们之间的连接看作图中的边,则由结点和边组成的网络拓扑图就可看作无向连通图。利用 SNMP 进行远程网络拓扑发现时,可能遇到不能获取信息的路由器结点。利用 Traceroute 获取 IP 层,或者 AS 层的宏观拓扑^[4](IP 实体和 AS 实体之间的连接关系)时,得到的信息粒度过粗,无法获得子网层拓扑,即路由器接口之间以及路由器接口与子网之间的直连关系。因此,在远程探测某个目标网络的详细拓扑结构时,上述两类技术均无法完全准确地实现目标。

本文提出一种新的 RT 远程网络拓扑发现算法。该算法利用多种探测方法收集网络实体信息并加以分析,可以较为准确地获得路由器与路由器、路由器与子网的网络拓扑结构。

1 网络拓扑相关技术分析

1.1 利用 SNMP 收集网络信息^[1]

SNMP 协议是一种网络设备间交换管理信息的应用层协议,建立在 UDP 之上。SNMP 主要有三部分组成:管理信息结构 SMI,网络管理协议 SNMP 及管理信息库 MIB。各个路由器代理所维护的 MIB 中包含有丰富的网络实体信息,与网络拓扑相关的关键信息如下:

- 1) ipRouteType:路由类型。
- 2) ipForwarding:设备转发类型(1 表示转发,2 表示不转发)。
- 3) ipRouteTable:路由器中的路由表。
- 4) ipRouteMask:路由器的子网掩码。
- 5) ipAddrTable:路由器接口地址信息。
- 6) ipRouteNextHop:与端口相连的下一跳路由器 IP 地址。

单个路由器对网络拓扑的描述是局部的,但将整个网络中路由器的路由表信息结合起来并进行整理,就可以分析出某个特定网络的拓扑结构。通过设置待搜索的路由器队列及子网队列,以目标网络某一个路由器为起点,按广度优先搜索展开对网段内各路由器的探测,就可以分析出目标网络非常详尽的网络拓扑结构。

目前,利用 SNMP 的网络拓扑发现技术主要针对

收稿日期:2004-07-19;修订日期:2004-10-18 基金项目:国家 863 计划项目(2003AA146010)

作者简介:南煜(1978-),女,江西南昌人,硕士研究生,主要研究方向:网络安全;寇晓蕤(1978-),女,河北晋州人,博士研究生,主要研究方向:网络安全;王清贤(1960-),男,河南新乡人,博士生导师,主要研究方向:计算机软件与理论、信息安全。

ipForwarding 值为 1 的转发实体信息进行收集,忽略了 ipForwarding 值为 2 的非转发实体信息。通过大量的网络探测分析,我们发现非转发设备的 MIB 中的 ipRouteNextHop 项中也包含了对网络拓扑发现很有价值的实体或连接关系信息。

对于使用 SNMP 获取不到实体信息的路由器在下文中称为阻塞路由器。

1.2 利用 ICMP 协议^[5]

ICMP 协议作为 IP 协议的一部分,提供了包含网络情况的多种信息,通过利用 ICMP 差错报文、ICMP 请求应答报文可以收集到与网络拓扑相关的重要实体信息。本文以下讨论的两种方法都基于 ICMP 协议。

1.2.1 Traceroute

Traceroute 用于实现探测源与探测目标主机之间的路由器序列探测。TCP/IP 协议中规定当路由器发现一个 TTL 值被减为零的 IP 报文时,它丢弃该报文并从此近端端口向发送源返回一个 ICMP 超时报文。Traceroute 利用此原理,通过依次发送增加 TTL 值的 IP 报文得到探测源到达目标主机所经过的路由器序列。利用 Traceroute 技术可以对目标网络内所有活动主机进行路径探测,如果目标网络是利用路由器来划分子网的,则位于不同子网内的活动主机其 Traceroute 路径中的最后一跳路由器地址就会不同,根据最后一跳路由器地址可以分析子网划分情况。

由于 Traceroute 对路径上的每个路由器进行两次探测,因此会产生较大的网络开销。对于这种探测方法有两个问题无法回避:

- 1) 无法准确发现路由器交叉连接问题,即可能无法发现不处于探测源到目标主机的路径中的路由器;
- 2) 由 Traceroute 发现路由器的 IP 地址很可能是同一路由器设备的多个接口地址。

1.2.2 别名

别名技术是针对上述 Traceroute 第二个问题的解决途径。利用别名技术可以获得一个路由器的多个接口地址,其原理如下:从探测源向路由器的远端接口(相对于该探测源)发送 UDP 报文,端口号设为一个很大的值(目的是该端口使用概率很小),我们称这种报文为别名探子。路由器收到这种探子后,将会由其近端接口向探测源返回一个 ICMP 端口不可达报文,在此报文中包含了路由器近端接口的 IP 地址。通过这种方法,即可确认不同 IP 地址是否同属于一台路由器,其工作原理如图 1 所示。

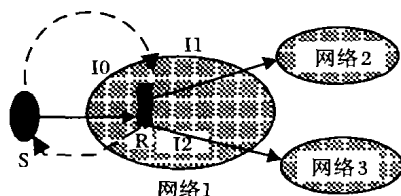


图1 别名探测示意图

由于不是每个路由器都会由近端接口向探测源返回一个端口不可达报文,并且由于发包量的增加路由器很可能会丢弃相同类型数据包不予处理与回应。因此,在实现别名算法对远程网络探测时,需要仔细考虑 IP 地址范围的划分,这样才能既保证运行效率,又保证结果的准确。

1.3 子网掩码分析

几乎所有的网络都划分成不同规模的子网,因此一个网络的拓扑结构在很大程度上取决于其子网的拓扑。对子网的分析包括子网的划分、子网规模及子网拓扑。目前,主要是利用 SNMP 直接获取子网的相关信息,包括子网掩码与子网号,除此之外对子网拓扑的研究寥寥无几。Siamualla R 在研究中提出一种根据已知多个 IP 地址分析子网掩码的算法^[2]。其原理是:如果知道某个子网内的多个主机 IP 地址以及与该子网对应的路由器的接口 IP 地址,那么根据这些 IP 地址按位“异或”的结果可以推断出子网掩码,即找出 IP 地址最大的跨度范围来分析子网掩码。如果这些地址分布得足够均匀那么分析出的子网掩码是很准确的,而且速度快、通用性强,也不会带来流量负担。

该算法的准确性依赖于已知地址的分布情况,此条件却是我们无法保证的,该算法在实际的网络拓扑发现应用中的分析结果并不理想。但这种分析方法给本文一种启示,通过对获得实体信息分析来推断出子网的子网掩码与子网号。

子网划分的意义在于解决 IP 地址的不足,在 RFC950 及 RFC1123 中规定了子网划分的技术标准。标准中规定同一路由器的不同端口地址 IP 必须不同 IP 网段上。依此原则可以通过分析别名接口 IP 地址同在一个子网内的最小子网掩码来分析子网掩码与子网号。之后,再根据相连路由器的相连端口 IP 地址必须在同一 IP 网段(即处在同一子网中)的原则,可以分析出两连路由器的连接端口号。同时可以利用直连路由器接口的 IP 地址的子网掩码进行相互验证,提高分析出的子网掩码的准确度。

2 RT 远程网络拓扑发现算法

2.1 RT 算法思想

本文介绍的 RT 远程网络拓扑发现算法目的在于更准确地发现远程网络中实体节点的连接关系,包括获得路由器接口之间,以及路由器接口同子网之间的连接关系。本算法一方面利用 SNMP、Traceroute 技术对远程网络中的实体进行信息收集,另一方面通过别名探测及子网掩码分析技术对阻塞路由器进行重点探测分析,从而得到一个比较完整、准确的网络拓扑图。下文以 C 类地址来描述算法流程,子网掩码值最小为 255.255.255.0。

2.2 RT 算法描述

1) 利用 SNMP 对远程目标网络内的路由器进行广度优先搜索,可以获得实体信息并记录信息;将不能利用 SNMP 获得的转发实体(阻塞路由器)IP 地址汇总执行下一步。

2) 确定活动主机,记录 IP 地址:向目标网段内所有可能主机发送 Ping 包,记录活动主机 IP 地址(下文中用 S_1 表示)。设 S 为给定地址空间内所有 IP 地址的集合,可表示为:

$$S = \{x | x = "y_1 \cdot y_2 \cdot y_3 \cdot y_4", 0 \leq y_1, y_2, y_3, y_4 \leq 255\}$$

显然 $S_1 \subseteq S$ 。

3) 利用别名探子获得阻塞路由器各接口 IP 地址对:向所有活动 IP 地址的某一个高端口号发送一份 UDP 数据报,并保存“ICMP 端口不可达回应报文”中的 IP 地址与发送报文的目的 IP 地址,将该地址与组成的地址对 ($< p_1, p_2 >$),所有的地址对的集合为 S_2 ,则:

$$S_2 = \{< p_1, r_1 >, < p_2, r_2 >, \dots, < p_i, r_i > | \text{其中 } p_i,$$

$r_i \in S_0$.

4) 从3)的结果分析出同属于阻塞路由器的各个接口 IP 地址:设阻塞路由器已知 IP 地址的集合为 S_r (最初 S_r 中只有一个 IP 地址),其中:

$S_r = \{q_1, \dots, q_i\}$, 其中 $q_i \in S_0$.

设 $i = 1$, 则有:

$S'_i = \{x | x \in S, (q_i = p_j) \text{ 并且 } (x = r_i), < p_j, r_j > \in S_2, 1 \leq j \leq m\}$

$S''_i = \{x | x \in S, (q_i = r_j) \text{ 并且 } (x = p_i), < p_j, r_j > \in S_2, 1 \leq j \leq m\}$

找出包含阻塞路由器的任一接口 IP 地址的 IP 地址对。将 S'_i 与 S''_i 中的元素添加到 S_r 中,即:

$S_r = S_r \cup S'_i \cup S''_i$

值得注意的是, S_r 的元素个数会增加,但因为 S_2 为有限集,故最终 S_r 元素的个数不会大于 $l + 2m$ 。不妨设最终 S_r 中有 n 个元素,则最终 S_r 为:

$S_r = S_r \cup \bigcup_{i=1}^n S'_i \cup S''_i$

这样,阻塞路由器的所有 IP 地址接口就确定下来了。

5) 将同一个路由器的不同别名构成一个链表,将此链表作为节点存为一个路由器链表。

6) 若链表为空,从链表中提取包含一个路由器各个别名的节点转到 10), 否则转到 7)。

7) 若没有进行子网分析的别名 IP 转 10), 否则轮寻路由器别名节点 A_x 中的未经子网分析的别名 IP。 $a_i \in A_x$, $I = 1, 2, \dots, m_x$ ($m_x = |A_x|$)。依照等价关系 $R: a_i, a_j$ 前三个字节相同,将 A_x 划分成 n 个等价类 $[a_i]_R, I = 1, 2, \dots, n$, 即等价类中的元素相互满足关系 R 。然后对 $[a_i]_R$ 进行如下操作:

a) 当 $|[a_i]_R| > 1$ 时, $D = [a_i]_R$, 转 8);

b) 当 $|[a_i]_R| = 1$ 时, $E = [a_i]_R$, 转 9)。

8) 令 F 为 D 的升序排列, 即 $F = \{f_1, f_2, \dots, f_s\}$, 其中 $f_i < f_{i+1}$ 。 f_i 与 f_{i+1} 做 1.3 中提到的利用别名分析子网掩码得到子网号 W_i 及子网掩码 M_i , $i = 1, \dots, s-1$ 。

$\text{Subnet}((f_i, f_{i+1})) = (W_i, W_{i+1}) \rightarrow P_i, 1 \leq i \leq s-1$;

$\text{Subnet}((f_i, f_{i+1})) = (M_i, M_{i+1}) \rightarrow S_i, 1 \leq i \leq s-1$; (其中 P_i, S_i 为序偶的集合)

$$N_i = \begin{cases} P_1(1), i = 1 \\ P_{i-1}(2), 2 \leq i \leq s-1 \\ P_{s-1}(2), i = s \end{cases}$$

$$M_i = \begin{cases} S_1(1), i = 1 \\ \max(S_{i-1}(2), S_i(1)), 2 \leq i \leq s-1 \\ S_{s-1}(2), i = s \end{cases}$$

(N_i 是最终保存的子网号, M_i 是最终保存的子网掩码)

9) 根据已知多个 IP 地址分析子网掩码分析出包含路由器别名 IP 地址的子网掩码与子网号,保存结果;转 10)。

10) 在节点中查找没有进行子网掩码分析的路由器别名 IP 地址;找到则转 7); 否则转 6)。

11) 判断阻塞路由器与其他路由器的连接关系,验证阻塞路由器的别名对应子网掩码;从其他路由器每个别名接口中查找并提取处于阻塞路由器别名 IP 地址所在子网内的路由器 IP 地址,即为与阻塞路由器直连的路由器接口 IP 地址。如果所连路由器 IP 是支持 SNMP 的路由器 IP 地址,将此接

口的子网掩码值与分析的阻塞路由器的值进行比较,如果不同就将子网掩码替换。

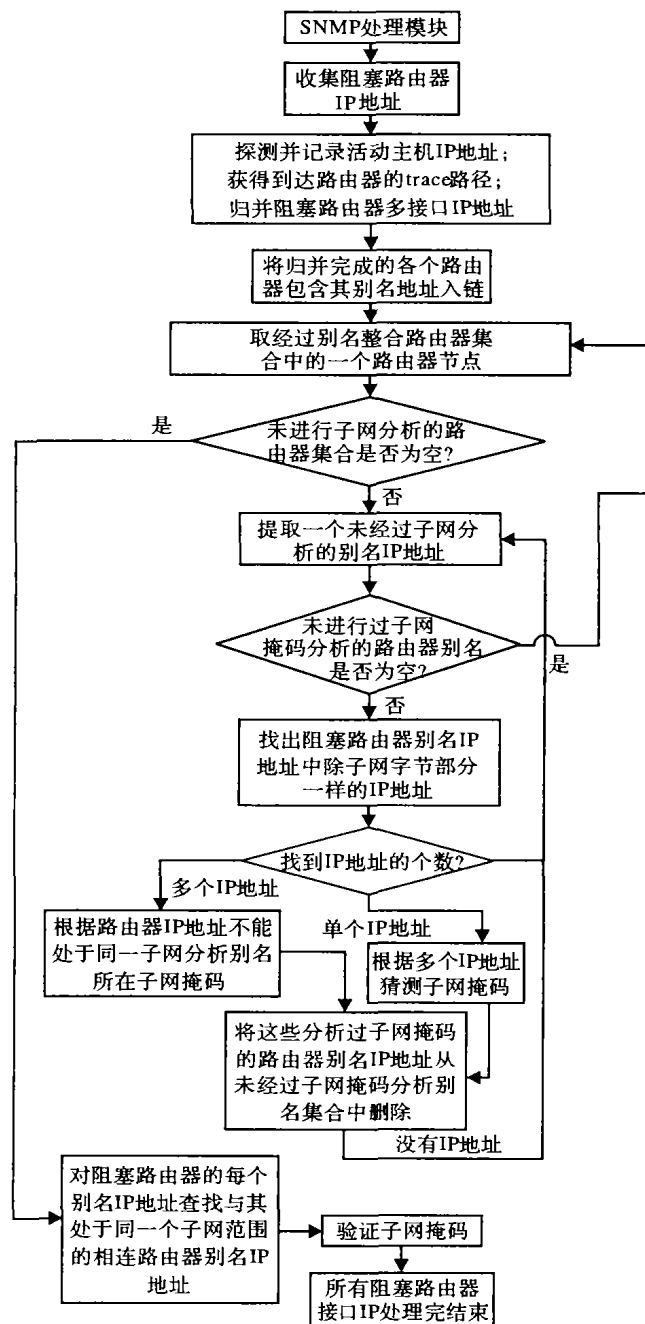


图 2 RT 算法流程

2.3 利用 RT 算法的实际探测示例

我们一般无法获得一个远程网络准确的网络拓扑图,从而不能通过本文提出的算法结果与实际的网络拓扑结构的对比来验证本算法的正确性与完整性。为此利用实验模拟仿真一个在实际网络中具有代表性的网络拓扑结构,从而验证本文提出算法的结果的完整性与准确性,其结构如图 3 所示。

在网络配置过程中,路由器 C、路由器 F 是 SNMP 探测时遇到的阻塞路由器。通过单纯利用 SNMP 及本算法获得的结果分别如下:

路由器接口 IP 信息:

$A = \{192.168.0.1, 192.168.0.129, 192.168.6.98, 192.168.0.97\}$

$B = \{192.168.0.130, 192.168.6.66\}$

$D = \{192.168.0.98, 192.168.6.34, 192.168.3.65\}$

$E = \{192.168.5.2, 192.168.7.65\}$

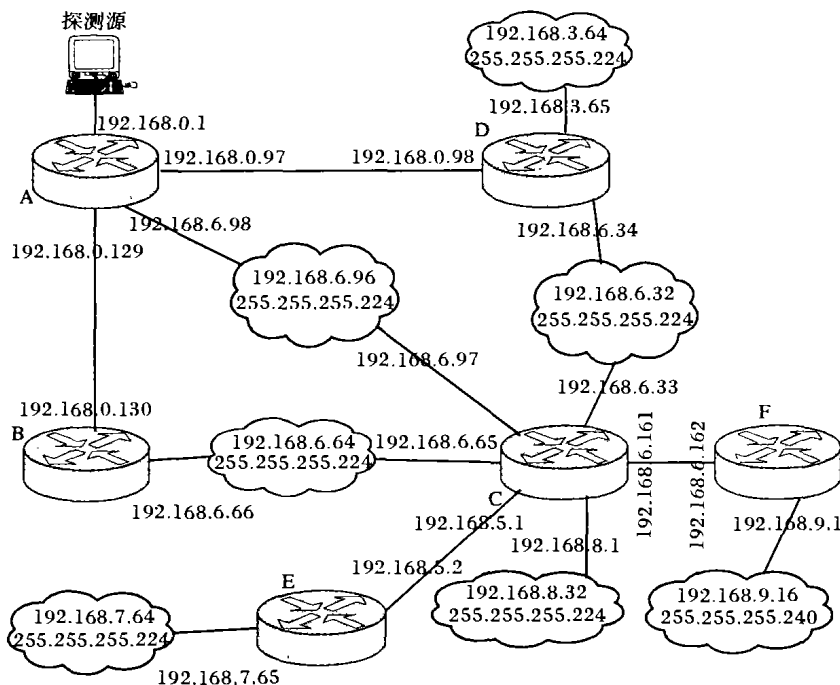


图3 探测实例拓扑图

各个路由器接口所在子网掩码及子网号(所在子网号, 所在子网掩码):

A: 192.168.6.98 -> (192.168.6.96, 255.255.255.224), 192.168.6.0.129 -> (192.168.0.128, 255.255.255.252), 192.168.0.1 -> (192.168.0.0, 255.255.255.0)

B: 192.168.0.130 -> (192.168.0.128, 255.255.255.252), 192.168.6.66 -> (192.168.6.64, 255.255.255.224)

D: 192.168.3.65 -> (192.168.3.64, 255.255.255.224), 192.168.6.34 -> (192.168.6.32, 255.255.255.224), 192.168.0.98 -> (192.168.0.97, 255.255.255.224)

E: 192.168.5.2 -> (192.168.5.0, 255.255.255.252), 192.168.7.65 -> (192.168.7.64, 255.255.255.224)

路由器连接关系: 用IP地址对来表示直接相连的路由器接口地址 <IP1, IP2>

与路由器A各个接口直接相连的路由器IP地址为:

<192.168.0.65, 192.168.0.66>, <192.168.0.97, 192.168.0.98>, <192.168.0.129, 192.168.0.130>;

与路由器B各个接口直接相连的路由器IP地址为:

<192.168.0.130, 192.168.0.129>, <192.168.6.6, 192.168.6.5>;

与路由器D各个接口直接相连的路由器IP地址为:

<192.168.0.98, 192.168.0.97>, <192.168.6.34, 192.168.6.33>

与路由器E各个接口直接相连的路由器IP地址为:

<192.168.5.2, 192.168.5.1>

由于SNMP无法获得关于路由器C的实体信息,只是通过路由器A、路由器B、路由器D、路由器E的ipRouteNextHop获得192.168.6.97、192.168.6.65、192.168.6.65及192.168.6.5.1这几个孤立的IP地址无法将其分析合并成一个路

由器。同时也不能获得路由器F的任何信息。最终以拓扑图呈现的发现结果如图4所示。

由上面的结果可以看出,由于路由器C、路由器F不能用SNMP获得其信息,所以不能完整的获得与实际相一致的拓扑结构,而且致使分析出的拓扑图不连通。利用本文提出算法的后续步骤在以上结果的基础上对路由器C、路由器F进行探测。RT算法也可以获得SNMP相同的结果以外,对路由器C、路由器F的具体分析:

通过别名分析可以获得路由器C的各个别名IP地址集合: {192.168.6.97, 192.168.6.65, 192.168.6.191, 192.168.5.1, 192.168.6.33, 192.168.8.1}

获得路由器F的各个别名IP地址集合: {192.168.6.162, 192.168.9.1}

图5给出了详细的子网掩码变化情况数据变化。图中所有IP地址都缩减了前两字节,路由器接口IP地址省略了“192.168.”,子网掩码都省略了“255.255.”。

最终,获得的拓扑结构与图3所示相同。由此看出通过本算法对阻塞路由器的探测分析完整地分析出了网络拓扑结构。

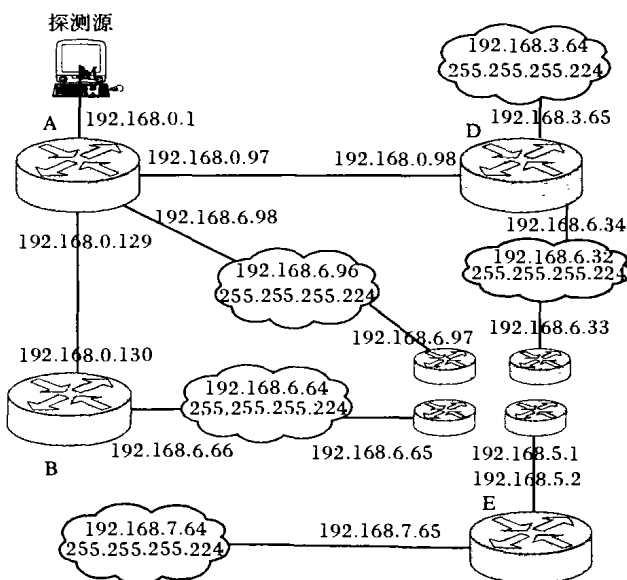


图4 用SNMP的网络拓扑图

在利用仿真网络进行本文所提算法验证的同时,我们利用该算法对实际网段的各种网络进行了大量的探测与分析。虽然无法得到各个远程网络拓扑的实际拓扑图来验证该算法的分析结果,但是通过不同网络拓扑探测分析方法分析结果的对比,发现本算法可以得到比其他方法更多的网络拓扑信息,从而分析出更完整的拓扑图。例如在对211.-.*.0到211.-.*.255网段(该网段包括大约24225个IP地址)的探测分析中,该网段不能直接利用SNMP进行常规的网络信息获取,但是通过本算法可以将探测到的33个独立的路由器接口IP地址利用别名技术合并为6个路由器,通过路由器的

(下转第264页)

以确定发送速率的界限和发送速率应具有的变化趋势,传递给速率控制模块。

差错控制模块根据客户端反馈的出错信息确定在传输中出错数据的数量和类型。然后在当前已确定的发送速率和网络状态的约束下,同质量自适应模块协商以确定可用于进行差错控制如数据重传的带宽,并根据媒体数据本身的重要程度确定需要重传的数据。

质量自适应模块在已经确定的发送速率限制下,首先同差错控制模块协商以确定可用于传输新的媒体数据的带宽,然后根据一定的策略对视频质量进行调节以将视频流的码率降低到同此可用带宽相匹配的水平上。进行视频调节的过程中,一方面要将视频流的码率降低到可用网络带宽容许的范围内,另一方面要将因此引起的视频质量波动降低到最小,保证客户端享受到较稳定的视频播放效果。

可见,速率控制模块和缓冲区控制模块共同决定需要发送的媒体数据量,而差错控制模块和质量自适应模块则协商确定需要发送的媒体数据的具体内容。

这个框架是一种一般性的直播服务器系统框架,针对不同的直播应用环境和需求可以选择各个模块不同的实现形式以及各模块间的作用形式,以使得整个直播服务器系统满足特定的应用需求。如在无线网络环境中的直播服务器中,差错控制模块比较重要,一般都需要实现;而在局域网中或其他网络性能较好的环境应用直播服务器时,差错控制模块就可以省略,以简化服务器的体系结构。

总之,应根据应用环境适当选择框架体系中各个模块的具体实现形式,并为各个功能模块确定合理的交互关系。

4 结语

直播服务器系统为实现媒体数据传输过程对波动的网络环境的适应,提供较为稳定的视频传输服务,需要采用相应的控制算法应对在波动的网络环境中传输媒体数据可能遇到的问题。

本文提出的直播服务器系统体系框架结构具有一般性和通用性,可以根据具体的应用环境和需求进行灵活配置,因此对开发直播服务器具有很好的参考价值。

参考文献:

- [1] REJAIE R, HANDLEY M, ESTRIN D. Architectural Considerations for Playback of Quality Adaptive Video over the Internet (ICON 2000) [A]. Proceedings, IEEE International Conference on Networks [C], 2000. 204 - 209.
- [2] CAI J, ZHANG Q, ZHE W, *et al.* An FEC-based error control scheme for wireless MPEG-4 video transmission, Wireless Communications and Networking Conference, 2000. WCNC. 2000 IEEE [J]. 2000, 3(3): 23 - 28.
- [3] YAMAGUCHI M, ITO K, TAKASAKI Y. Packet loss detection scheme for retransmission-based real-time data transfer, Parallel and Distributed Systems: Workshops [A]. Seventh International Conference on [C], 2000. 49 - 54.
- [4] REJAIE R, HANDLEY M, ESTRIN D. Layered quality adaptation for Internet video streaming [J]. IEEE journal on Selected Areas In Communications, 2000, 18: 2530 - 2543.
- [5] YE D, WU QF, ZHANG Z. A Control-Theoretical Approach to Adaptive Internet Video Streaming [J]. IEICE Transactions on Communications, 2003, E86 - B(2): 585 - 594.

(上接第 251 页)

各个接口及所连主机 IP 地址范围分析出所连子网的规模大小,根据 Traceroute 得到的路由器的直连关系可以获得 6 个路由器的连通图以及直接相连的路由器的接口 IP 地址。

路由器	路由器 C 各个接口 IP 地址						路由器 C 各个接口 IP 地址	
各接口 IP	6.33	6.65	6.97	6.161	5.1	8.1	9.1	6.162
多别名分析	255.192	255.192						
IP 分析子网		255.224	255.224					
掩码过程			255.224	255.224				
多个 IP 地址								
分析子网掩码					255.0	255.224	255.240	255.0
连接验证					255.252			255.224
最终子网掩码结果	255.192	255.224	255.224	255.224	255.252	255.224	255.240	255.224

图 5 路由器 C、D 各别名子网掩码分析过程

3 结语

对远程网络拓扑发现来说,随着网络安全意识的日益加强,以及网络结构本身的复杂性与异构性,任何单一的网络拓扑发现方法都不能具备很好的通用性。只有将多种方法有机

结合,并对所收集信息最大限度的加以分析、挖掘,才能提高拓扑结果的准确程度,给基于网络拓扑发现的各种研究提供一个可靠的分析基础。笔者认为对目前方法获得的实体信息的有效分析,根据网络配置原则与特点分析出网络拓扑是应该值得关注与研究的问题。

参考文献:

- [1] MELENDEZ EA, QASEM A. Methods of Internet Topology Discovery: A Comparative Survey [DB/OL], 2004.
- [2] SIAMUALLA R, SHARMA R, KESHAY S. Discovering Internet Topology [DB/OL], 2004.
- [3] HUFFAKER B, PLUMMER D, MOORE D, *et al.* Topology discovery by active probing [DB/OL], 2004.
- [4] ANDERSEN DG, FEAMSTER N, BAUER S, *et al.* Topology Inference from BGP Routing Dynamics [A]. in Proc of ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop 2002 [C]. Marseille, France, 2002.
- [5] COMER DE, STEVENS DL. 用 TCP/IP 进行网际互连(卷一) [M]. 赵刚, 林瑶, 蒋慧, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [6] GOVINDAM R, TANGMUNARUNKIT H. Heuristics for Internet Map Discovery [A]. In Proceedings of the 2000 IEEE INFOCOM Conference IEEE INFOCOM 2000 [C], 2000.