维普资讯 http://www.cqvip.com

IPv6 骨干网络的拓扑发现*)

宫 晨 郎昕培 陈 英 沈曾伟

(北京航空航天大学软件开发环境国家重点实验室 北京 100083)

摘 要 随着IPv6网络的不断发展,并进入大规模部署阶段,获取IPv6互联网络的拓扑结构成为一项具有挑战性的研究内容。尽管对于IPv4骨干网络拓扑发现存在一些方法,但由于IPv6在协议上的变化,使得这些方法并不完全适用,而IPv6的新特性也使得某些未曾使用的方法成为可能。本文阐述了IPv6网络环境下一系列拓扑发现方法和技术实现,包括骨干网络拓扑发现算法、IPv6地理拓扑信息的获取方法,并提出了根据IPv6网络隧道技术的分布式拓扑发现新方法,并在此基础上对使用该方法获取的IPv6骨干网络拓扑数据进行了分析和总结。

关键词 IPv6,拓扑发现,traceroute,多隧道

Topology Discovery for Backbone of IPv6 Networks

GONG Chen LANG Xin-Pei CHNE Ying SHEN Zeng-Wei

(National Lab. of Software Development Environment of Beihang University, Beijing 100083)

Abstract With the development of IPv6 networks, proceeding to the stage of large-scale deployment, it is challenging to measure its topology. Although there are some existed methods in the field of IPv4 backbone topology discovery, many of them cannot be applied to IPv6 because of the changes in the protocols. And some of new features of IPv6 make some new methods of topology discovery possible. This paper describes a series of topology discovery algorithms and their implement including topology discovery algorithm of Internet backbone, the method of obtaining the geography information relating to the IPv6 addresses and a new method of distributed topology discovery based on IPv6 tunnel techniques. At last, this paper explains and analyzes the IPv6 backbone topology data obtained using these methods.

Keywords IPv6, Topology discovery , Traceroute, Multiple tunnel

自1995年IETF制定了IPv6核心协议以来,众多组织和标准化机构开始致力于对IPv6协议的研究、实现和测试。1998年后,在全世界范围内掀起了对IPv6领域研究和讨论的热潮。如今IPv6的各项技术已经基本成熟,并进入到全球范围大规模部署阶段。尽管IPv6的网络规模目前与IPv4网络还无法相比,但却处在迅速增长的过程中。获取IPv6骨干网络的拓扑信息不仅有助于对IPv6网络发展的理解与研究,从而更好地部署IPv6网络,同时有助于展开对IPv6骨干网络的现状分析和拓扑路由相关的研究实验。

本文将针对IPv6网络当前的特性,设计一套可行的骨干网络拓扑发现的方法,该方法借鉴了IPv4骨干网络拓扑发现中的基本原理,并针对IPv6网络的特性做了创造性的补充和修改。本文最后还将对根据此方法获得的拓扑信息做初步的分析。

1 IPv6骨干网络拓扑发现方法

骨干网络是由若干网络供应商(ISP)提供的连接多个局域和地区的高速网络。每个提供商的骨干网络通过接口点路由器连接在一起。通过对骨干网络中的路由器设备和其间的连接进行拓扑发现,便可以了解全世界范围内网络的发展状况及其特点,从而达到更好地维护骨干网络连通性的目的。

网络拓扑结构发现中最理想的方法是使用SNMP等网管协议,实现对网络、设备的全面控制。但对于骨干网络的拓扑发现,其目的是了解世界范围内的网络结构及其连接状况,不需要对设备进行管理级别的信息获取。并且在骨干网络中,出于安全考虑,绝大多数的路由器等设备并不开放SNMP的外部访问权限。因此,使用ICMPv6协议进行骨干网络的拓扑发现比SNMP协议更具有实用和通用性。使用traceroute,ping等工具,并设计一定的拓扑发现算法和探测策略,可以很好地完成大规模复杂骨干网络拓扑的测量[1]。

1.1 traceroute探测

traceroute是一种用来测量网络的工具,它可以将从本地到一个目的地址所经过的所有路由器地址返回给本地。对于骨干网络拓扑发现的算法,原理如下:

1) 获取一张在IP空间内分布广泛的IP地址列表(以后本文称探测列表);

2) 对于列表中的每一地址,

a. 向该地址进行traceroute操作,获取每一跳接口节点;

b. 将traceroute返回的所有连接和结点信息进行保存;

3) 分析整理结果,形成整体拓扑。

这一算法的问题是:

1) 如果探测的地址路由存在问题或者网络忙,发现过程会增加耗时。

2) 如果探测地址覆盖范围不合理,则只能发现部分骨干

*)本项目受国家"973"计划基金项目支持,项目编号:G1999032709。宫 晨 硕士研究生,主要从事IPv6网络技术方面研究;郎昕培 博士研究生,主要从事网络管理、网络技术方面研究;陈 英 博士研究生,主要从事计算机软件、人工智能、网络管理等方面的研究;沈曾伟 硕士研究生,主要从事网络管理方面研究。

维普资讯 http://www.cqvip.com

网络拓扑，影响网络覆盖范围。

问题1可以通过聚合相同地址前缀的地址、分布多点探测、并发 traceroute 探测等方法解决。

解决问题2需要提高探测地址的覆盖率。可以通过多种渠道，如路由表的采集、DNS 搜索以及 Web 搜索等方法来增加地址列表中的数据，从而提高地址列表中对骨干网络的覆盖率。

traceroute 探测返回的数据中包含大量的地址和路径信息(本文称其为原始数据)。这些信息带有时间特性，只能代表一段时间内的拓扑状况。所以，为了使拓扑发现的结果与不断变化的 IPv6 骨干网络形成实时的对应，需要周期性地进行拓扑探测。不同时间段的拓扑探测数据，需要按照时间序列进行拓扑数据更新，保证网络拓扑在时间轴上和实际网络保持一致。

为了保持拓扑发现和网络增长变化保持一致，需要周期性地维护地址列表，这一点非常重要。特别是针对高速拓展的 IPv6 网络，需要尽可能地保持高频率的地址更新。

1.2 IP 探测地址的来源

获取一个广泛分布的大规模骨干网络的拓扑信息，拓扑探测列表中的地址应该丰富，而且地址分布要均匀、广泛，拓扑探测才能覆盖网络中大部分的网络，而且不能让探测过程有过多的重复。因此探测列表的数据获取和选择就显得尤其重要。

BGP Routing Table 中包含了绝大多数与骨干网络相连自治域的地址前缀信息[2]。通过某个自治域中任一个地址进行探测，一定可以发现骨干网络路由器和该自治域的路由链接关系。IPv4 骨干网络拓扑发现中，一般都使用 BGP Routing Table 中的地址前缀作为探测列表中的数据来源。本文将继续在 IPv6 拓扑发现中沿用这一方法。

除了使用 BGP Routing Table 中的地址前缀，本文还将使用其他的数据作为地址列表的来源。其中，在 6bone[3] 上注册的 IPv6 的站点地址列表是一个比较理想的选择。由于在 6bone 上申请地址的时候，大多数机构都留下用于连通性测试或是发布信息的 IPv6 地址，而且这些地址广泛分布于世界各地的 IPv6 实验网络内，并大多接近于骨干路由器，这些地址列表的补充使得拓扑探测可以达到更多 IPv6 实验网络。

1.3 拓扑数据分析和路由多址问题

将原始数据转化成拓扑数据，需要经过数据分析和处理。在这里，最主要的工作是将 traceroute 的路径信息转化为拓扑网状信息。在 traceroute 结果中将记录从探测点到目的地址所经过所有路由器的地址和域名。在探测不同的目的地址时，可能经过同一路由器，这就使原始数据产生了关联。分析的过程中，就是要将这些路径信息中所经过的同一点合并起来。图1是其示意图。第一个图中的3条路由途径是 traceroute 返回的结果。经过分析，将所有具有相同 IPv6 地址的结点归并为一个结点，便形成了第二图中的拓扑结构。

这个问题看似简单，但实际网络中，路由器经常有多个地址。这可能使得分析过程中将一个路由器的不同地址当作是不同设备的地址，以致最终的拓扑信息出现偏差。这一问题被称为路由器多址问题。虽然路由器一般有域名进行标识，但是在实际网络中一个路由器的不同端口可能被赋予不同的域名。对于这一问题可通过如下方法解决[4,5]：当向一台路由器设备发送一个端口不可用的 UDP 包时，该设备将返回 ICMPv6 端口不可达错误包。可以判断 ICMPv6 返回包的源地址与发送的 UDP 包的目的地址是否相同。如果不同，则说明两个地址属于同一路由器设备的不同端口。

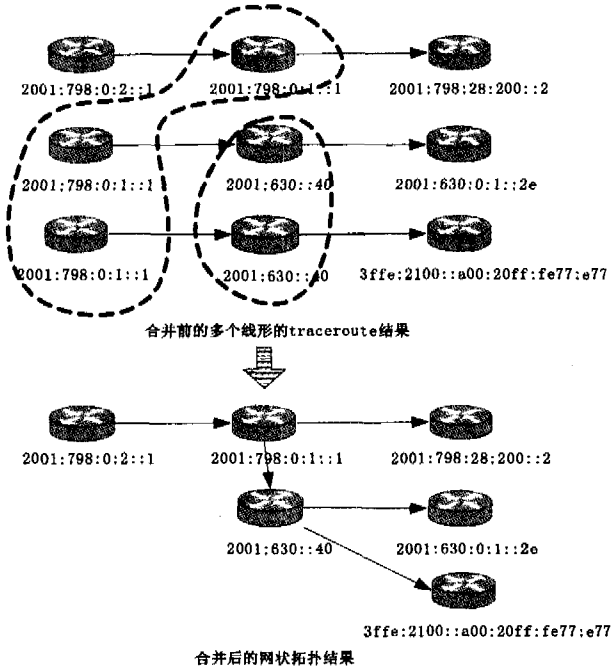

图1 拓扑数据分析过程

1.4 网络拓扑的地理信息定位

除了获取骨干网络路由器的连接情况外，获取 AS 域的连接情况也将极大地有助于对 IPv6 网络部署情况的了解。为此，就需要根据 IPv6 地址获取包括地址前缀、该地址所处 AS 域等信息。这样，就可以将设备之间的链接转化为 AS 域之间的链接。另外，本文还力图根据 IP 地址获取地理信息。虽然与电信网络不同，IP 地址与地理信息没有直接的关系(在电话网络中电话号码与地理位置有直接关系)，但是信息服务提供商(ISP)在分配地址的时候也提供了一些地理信息方面的服务，这也使得我们可以根据 IP 地址获取其地理信息。

Ripe 的 RIS(Routing Information Service)项目中，专门有用于查询 AS 号码的服务 RISwhois[6]。它通过收集最新的 routing tables 数据，可以根据 IP 地址报告 IPv4 或 IPv6 下与该地址匹配的地址前缀和 AS 号码。RISwhois 在 whois 端口(port 43)监听客户请求，并将结果返回给用户。

CAIDA 的 NetGeo[7] 工具提供了根据 AS 域名或 IPv4 地址获取地理信息的服务。NetGeo 是一个数据库与 Perl 脚本的组合。用来将 IP 地址和 AS 号码与地理位置进行匹配。数据库在服务器端，用户可以通过 WEB 或 PERL 脚本对它进行访问。它可以提供 IP/AS 所在国家、城市、所属机构、经纬度等的信息。

NetGeo 不支持根据 IPv6 地址获取地理信息的查询方式，因此需要先通过 RISwhois 查询到 IPv6 地址对应的 AS 域码，再根据该域码通过 NetGeo 获取其地理信息。

2 隧道接入的分布式拓扑探测

在上节所提出的算法中，拓扑发现程序部署在一台机器上，所有的数据探测都从这台机器出发。这台机器被称为探测点。数据分析也在这台机器上进行。这种体系结构被称为集中式探测。

但是由于只有一个探测点，探测的结果将是以该点为根

维普资讯 http://www.cqvip.com

的树状结构，因此可能造成“cross-link”问题。

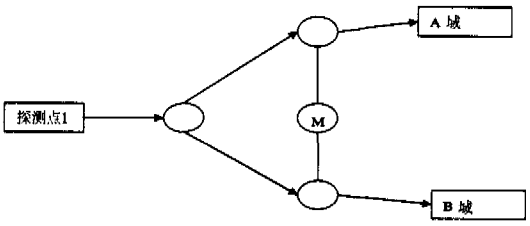

图2 corss-link问题

如图2，从探测点1向A域和B域进行探测。如果各路由器均使用最短路径算法，那么在A，B域之间的M点将无法被发现。但如果在B域还有一个探测点，那么它在向A域的探测过程中则可能发现M点。因此，使用多探测点进行拓扑发现可以增加发现骨干网络路由设备的几率，这也是缓解“cross-link”问题的一个有效方法。虽然不能保证使用多探测点就可以发现骨干网络中的所有设备和链接，但如果探测点分布得比较广泛、均匀，就可以使发现的拓扑信息与真实的网络情况足够地接近。

虽然多探测点结构可以极大丰富发现的数据，但它实现起来代价比较大，尤其要在网络的不同域中部署系统并不是一件容易的事情。

然而，在IPv6的网络中由于隧道的存在，分布式拓扑的部署有了新的解决方法。这意味着可以让在同一自治域内的不同机器使用不同的隧道链接到骨干网中，不同隧道的出口点可以设置在不同的自治域内。再在这些机器上进出拓扑探测来实现分布式的拓扑发现。虽然在物理上，这些机器都处于同一自治域，但IPv6-in-IPv4的隧道使它们的探测起始点跨越了IPv4的自治域，而从其他的自治域开始，这在逻辑上相当于从IPv6的不同自治域进行拓扑的探测发现，从而实现了分布的多点探测。

本文在拓扑发现方法的实现中使用了这种多隧道接入的分布式的多点探测结构。配置了多个隧道，并使用多个探测点进行探测，而综合机同时也是探测点中的一个。探测点将探测的原始数据通过网络传递给综合机，由它来进行数据分析，最终形成完整拓扑信息。

3 试验和发现结果

3.1 拓扑发现方法的实现

本文实现了上述所有拓扑发现方法，目前使用4个隧道（见表1）进行分布式发现。

表1 使用隧道一览

隧道	隧道出口地址	AS域码	国家
1	202.38.99.4	AS4538	中国
2	192.88.99.1[8]		
3	202.255.45.5	AS7667	日本
4	139.18.25.33	AS680	德国

其中192.88.99.1是6to4隧道的任播地址，本身就有多隧道的作用。

在每台拓扑探测机器上，使用30个线程对于探测列表中2137个地址进行traceroute探测。

3.2 拓扑发现结果

使用上述隧道经过一次发现的独立拓扑数据如表2。

表2 独立隧道拓扑发现结果

隧道	IPv6地址	路由设备	链路	AS域
1	1837	1586	2164	318
2	1798	1553	1924	294
3	1758	1511	1855	301
4	1773	1529	1877	305

其中路由设备是对IPv6地址进行路由器多地址分析后的结果。数据表明，本文的路由器多地址分析方法合并了14%～16%的地址，有效地减少了拓扑的误差。

将多个隧道的发现数据分析合并，结果如表3。

表3 多隧道拓扑发现结果

隧道	IPv6地址	路由设备	链路	AS域
2个	2140	1844	2936	330
3个	2424	2098	3793	338
4个	2498	2158	4061	339

使用2个、3个和4个隧道进行分布式发现，对于发现的IPv6地址数的数据增幅依次为16.4%，13.2%，3.1%。试验结果表明，使用多隧道分布式方法可以有效地增加拓扑发现的数据。同时也可以看到，随着隧道数目的增加，发现拓扑数据的增幅会不断减小。通过试验可以看到，如果隧道使用3个以上，发现的数据增加幅度就不明显了。

经过长期累计的周期发现，截至2005年2月已经发现了源于497个IPv6地址前缀中的3052个地址和5975条链路。发现的AS域388个。

世界著名的CAIDA组织也进行了与本文相似的IPv6骨干网络拓扑发现工作。目前(2005/3/16)公布的数据为：发现了333个AS域中的2913个地址和7905条链路[9]。与之相比，本文取得的成果还是相当可观的。

总结 随着IPv6的网络的快速发展，它将逐步替代IPv4，成为Internet的主流网络成协议。本文引入了新的方法和策略适应IPv6网络的变化，对IPv6骨干网络的拓扑发现方法进行了研究和实现，取得了阶段性成果。今后仍将继续深入IPv6网络拓扑探测技术和网络拓扑结构的研究。

参考文献

1 Siamwalla R, Sharma R, Keshav S. Discovering Internet topology. Cornell University, 1998

2 Broido A, claffy Kc. Analysis of route views bgp data: policy atoms. Network-Related Data Management Workshop, May2001

3 www.6bone.net

4 Pansiot J-J, Grad D. On routes and multicast trees in the Internet. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1998, 28(1):41～50

5 Govindam R, Tangmunarunkit H. Heuristics for Internet Map Discovery. 2000 IEEE INFOCOM Conference, March 2000

6 RIPE. Project-RIS. http://www.ripe.net/ris/riswhois.html

7 CAIDA. NetGeo. http://www.caida.org/tools/utilities/netgeo/

8 Huitema C. An Anycast Prefix for 6to4 Relay Routers. RFC 3068, June 2001

9 CAIDA. Visualizing IPv6 AS-level Internet Topology. http://www.caida.org/analysis/topology/as_core_network/ipv6.xml