

IPv6 接入网拓扑结构自动发现方法研究

沈曾伟, 周 刚

(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: 针对 IPv6 网络的特点, 进行网络拓扑结构自动发现, 是对 IPv6 网络实施有效管理的基础。目前, 国内外相关的研究工作主要集中在 IPv6 骨干网络拓扑发现方法领域, 对 IPv6 接入网的拓扑结构自动发现方法的研究工作相对较少。该文提出了一种 IPv6 接入网拓扑结构自动发现方法, 在此基础上给出一个在 IPv6 接入网中实施拓扑发现的解决方案, 通过实际测试, 对这种方法的正确性和有效性进行了分析。

关键词: IPv6 网络; 接入网; 网络拓扑结构自动发现; 无状态地址自动配置

Research of Topology Auto-discovery Method in IPv6 Access Network

SHEN Zengwei, ZHOU Gang

(National Lab of Software Development Environment, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

【Abstract】 To carry out network topology discovery based on the characteristics IPv6 network is fundamental to process effective IPv6 network management. Most recent research mainly focuses on the method of IPv6 backbone network's topology discovery, but there's hardly any exploration to the IPv6 access network's topology discovery at present. A strategy of topology discovery in the IPv6 access network is presented. The correctness and effectiveness of the approach is analyzed through some practical tests.

【Key words】 IPv6 network; Access network; Network topology auto-discovery; IPv6 stateless address auto configuration

IP 协议是网络层的基本协议, 承担着主机寻址和路由的职责。目前普遍使用的 IPv4 协议, 由于地址空间有限等缺陷, 已经难以适应 Internet 的发展要求。为此, IETF 于 1993 年开始进行 IPv4 后继协议的研究; 1994 年底, RFC1752 将新的 IP 协议命名为 IPv6 协议; 1998 年 8 月, IPv6 的核心协议正式成为 IETF 的官方标准, 并将最终取代 IPv4 协议。

网络拓扑结构自动发现技术是对网络行为进行深入研究的手段之一, 也是网络管理的基础。由于 IPv6 网络存在一些不同于 IPv4 网络的特点, 例如地址空间大大增加、路由下一跳地址均以本地链路地址指明等, 传统的 IPv4 网络拓扑结构发现方法已经难以适用于 IPv6 网络, 因此需要研究适用于 IPv6 网络的拓扑发现新方法。本文将阐述一种在 IPv6 接入网中进行网络拓扑结构自动发现的策略, 以适应未来对 IPv6 网络实施有效管理的需要。

1 IPv6 地址和接入网

1.1 全局可聚集单播地址

Internet 上的两台 IPv6 主机要进行通信, 需要分别具有全局可聚集的单播地址。IPv6 提供了可聚集单播地址的无状态自动配置机制, 即 IPv6 节点只要收到同一链路上路由器发出的包含 64 位子网前缀信息的路由器广播报文, 结合 64 位接口 ID, 就能构成 128 位的全局可聚集单播地址^[1]。

1.2 IPv6 的接入网

IPv6 的接入网的基本单位是“站点”, 站点是不具有下游客户的 IPv6 网络实体, 网络管理员可以自行组织站点内的路由结构。一个站点至多可容纳 65 536 个本地链路; 那些共享同一物理链路的 IPv6 节点, 位于一个本地链路内。

配置有 IPv6 协议栈的设备都具有本地链路地址 (Local Link Address), 这种地址以 FE80::/64 为前缀, 仅用于同链路

设备间的通信, 路由器不会转发目标地址是本地链路地址的报文。

2 IPv6 网络拓扑结构自动发现

网络拓扑结构自动发现是指从网络中若干已知节点出发, 通过基于网络协议的通信技术, 了解网络节点的配置信息和互联关系, 进而掌握给定网络范围内的节点分布和连接信息的技术。

对骨干网和接入网, 拓扑结构自动发现的目的和手段是不同的。骨干网拓扑发现探测范围广, 但对精度要求较低, 通常借助通用协议 (UDP、ICMP 等) 来获取拓扑信息; 接入网拓扑发现探测范围小, 但精度要求高, 需要借助专门网络管理协议来获得网络设备的关键配置信息 (例如接口数量、设备名、路由信息等)。在研究 IPv6 网络拓扑发现方法时, 需要区别对待。

国外对 IPv6 网络拓扑自动发现技术的研究, 大多集中于 TLA (顶级聚合体) 之间骨干拓扑结构的发现。英国 IPv6 资源中心和雅典国立技术大学, 分别绘制了反映全球 IPv6 网络 TLA 互联状况的拓扑图。2005 年 3 月 4 日, Internet 数据分析合作组织 (CAIDA) 首次公布了 Internet IPv6 自治域 (AS) 间的骨干拓扑图, 这比 TLA 级的拓扑图更精确。

相比之下, 国内对 IPv6 接入网拓扑发现技术的研究进展有限, 可能的原因包括: IPv6 网络距离商用尚有一定距离, 有效管理 IPv6 网络的需求尚不迫切, IPv6 相关的管理信息库 (MIB), 尚未被广大网络设备制造商所支持等。

基金项目: 国家“973”计划基金资助项目 (2005CB321901)

作者简介: 沈曾伟 (1980-), 男, 硕士生, 主研方向: 网络管理, 路由与交换; 周 刚, 博士生

收稿日期: 2005-11-01 **E-mail:** buaashenzw@126.com

洛林(ORIA-INRIA)实验室的I. Astic和O. Festor于2002年提出了IPv6网络的层次化拓扑发现方法,如图1所示。该系统在每条本地链路上设置本地代理(Local Agent, LA),本地代理搜集本地链路上各节点配置信息和节点间连接信息;系统还设置了一个管理中心(Central Manager, CM),本地代理将拓扑信息发送给管理中心,管理中心集中处理由多个本地代理送来的拓扑信息,综合分析出全局域网的拓扑结构^[2]。

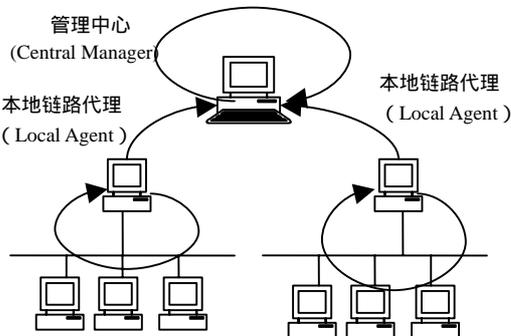


图1 IPv6网络的层次化拓扑发现示意图

3 IPv6 接入网拓扑发现关键技术

IPv6 接入网拓扑发现系统的关键技术包括本地节点发现、双栈信息获取和路径信息获取3部分。

3.1 本地节点发现

在IPv4网络环境下,拓扑发现程序往往通过遍历子网空间内所有地址的方法,来发现接入网络的设备。但IPv6网络的地址空间极为庞大,以上述方法来发现网络中存在的IPv6节点显然是不可行的;此外,由于缺乏相关MIB的支持,识别同一个节点所拥有的多IPv6地址也很困难。

RFC2373中规定了一些IPv6保留的多播地址,其中包括“本地链路所有节点的多播地址(FF02::1)”和“本地链路内所有路由器的多播地址(FF02::2)”。对于目标地址为FF02::1的报文,本地链路内所有节点(包括路由器、主机)都会接收和处理;对于地址为FF02::2的报文,本地链路内的路由器才会接收和处理^[3]。如果分别向FF02::1、FF02::2发送ICMPv6 Echo Request报文,根据收到的ICMPv6 Echo Reply应答,可以发现本地链路内的所有IPv6节点和所有IPv6路由器。

本地发现过程中收到的ICMPv6 Echo Reply的源地址都是以本地链路地址表示的,该地址的后64位是以EUI-64表示的接口ID。如果再向FF02::2发送路由器请求消息,本地链路路由器回应的通告消息中将包含IPv6地址前缀,以此前缀,叠加已获得的64位接口ID,就可以得到本地链路上所有IPv6节点的全局可聚集单播地址。

3.2 双栈信息获取

在IPv4向IPv6过渡的阶段,存在大量同时拥有IPv4和IPv6协议栈的双栈设备,接入网拓扑发现应当可以识别双栈设备上的IPv6和IPv4地址。系统应当包含部分IPv4拓扑发现功能。

系统在得到本地链路上所有节点的本地链路地址后,如果向这些地址发送ICMPv6邻居请求消息,收到的邻居宣告中将包含对应于这些IPv6地址的MAC地址;再遍历IPv4子网空间,拓扑发现服务器的ARP缓存中将保存IPv4地址和MAC地址的对应关系。由于每个网络接口只有唯一的MAC地址,因此可认为对应同一MAC地址的IPv4和IPv6地址位于同一台双栈主机上。

3.3 路径信息获取

接入网拓扑发现的内容还应当包括获取本子网与骨干网之间的连接关系信息。借助traceroute6的方法,即向管理中心发送Hop Limit字段值逐渐增大的UDP报文,根据沿途IPv6路由器发来的ICMPv6 Time Exceed报文的源地址,就可得到本地代理和管理中心之间的路径,进而分析出该子网在骨干网上的接入点。

4 系统实现

北航软件开发环境国家重点实验室借鉴“管理中心—本地代理”模式,设计并实现了一套IPv6层次化拓扑发现系统。系统在管理中心上布置骨干网的拓扑发现程序,负责发现骨干路由器间的连接关系;在接入网的每条本地链路上放置一个本地代理,负责收集本链路内的拓扑信息;管理中心最终汇总本地链路传来的各接入网拓扑信息。本文仅讨论系统中本地代理的设计与实现,代理包含本地发现、双栈信息获取、路径获取3个模块,如图2所示。

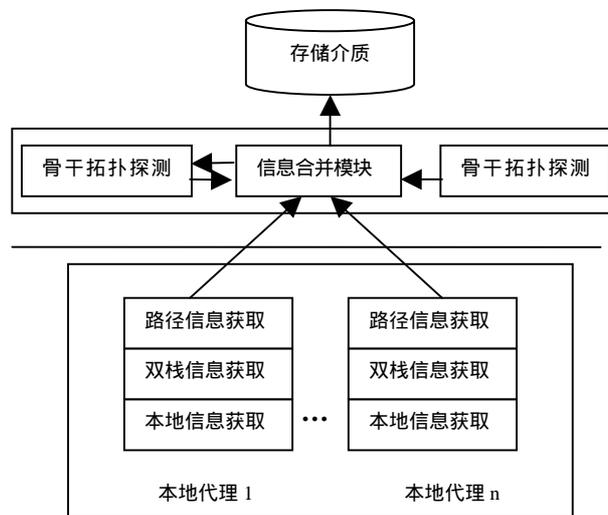


图2 IPv6拓扑发现模块结构

“本地信息获取”模块首先利用上文描述的FF02::1、FF02::2这两个保留多播地址,发现本地链路上存在的IPv6主机和路由器,进而获得这些节点的无状态自动配置地址,最后通过DNS解析获得各个节点的设备名。

“本地信息获取”模块获得的节点信息将传递给“双栈信息获取”模块。该模块将探测IPv4子网空间所有地址,获得同一链路内IPv4设备的<IPv4地址,MAC地址>映射关系;再根据保存的各IPv6节点的本地链路地址,获得<IPv6地址,MAC地址>信息;最后匹配出<IPv4地址,IPv6地址>对。

以上两个模块获得的拓扑信息将被传递到“路径信息获取”模块,该模块得到本地代理和管理中心间的路径信息后,将把本地节点信息、双栈信息和路径信息以TCP报文的形式,发送到管理中心。

5 系统实施

5.1 运行环境

拓扑发现系统如图3所示:本地代理部署在A、B、C、D4个子网中。其中子网A、B通过静态路由与中日合作IPv6实验网相连,子网C经6to4隧道直接连入全球IPv6骨干网,子网D经BGP路由与Cernet骨干网连接。选择这4个子网作为本地代理的运行环境是因为它们分别通过隧道、静态路由和动态路由等3种不同的方式接入骨干网,且与管理中心在路由上的距离不等,具有一定的代表性。

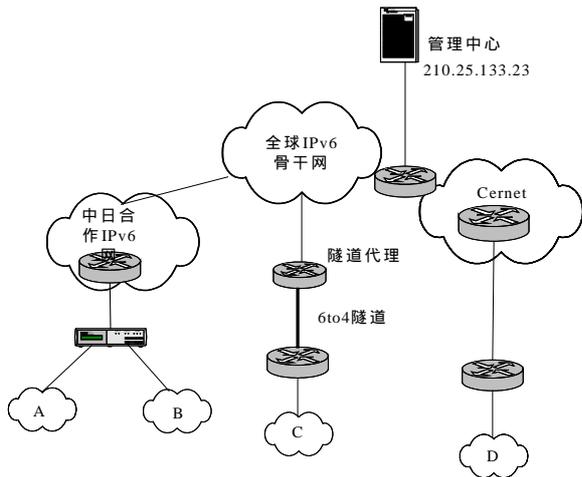


图3 测试环境示意图

管理中心是一台双栈主机，与 Cernet 的自治域边界路由器直接连接，它与实验环境中 4 个子网的本地代理都是可以通信的。

5.2 系统测试

表 1 列出的是 4 个子网的网络前缀和实际节点数量，由于链路所在 IPv4 地址空间的大小与本地代理拓扑发现耗时有直接关系，因此将 IPv4 地址空间大小也同时列出。

表 1 IPv6 子网信息

代号	子网前缀	IPv4 地址空间	节点数
A	2002:D219:8538:4::/64	512	25
B	3FFE:3240:8006::0/64	256	9
C	2001:251:1E01:14:3::/80	256	15
D	2001:251:1E01:14:2::/80	256	4

由于本地代理是部署在本地链路的某一节点上的，要求代理不能对节点和网络的正常工作产生明显的负面影响，因此必须对代理的资源消耗进行测量，指标包括内存使用率、CPU 使用率、本地代理引发的平均输入、输出流量。其中，内存使用率和 CPU 使用率显示其对主机性能的影响，而端口平均输入输出流量显示其对网络性能的影响。

本地代理部署在配置为 CPU PII 333，内存 128MB，操作系统为 Radhat Linux9 的主机上，链路介质是百兆以太网，测量步骤包括：

(1)启动本地代理；

(2)使用 shell 命令“ps -eo pid, tt, user, fname, %mem, %cpu”，测量代理的 CPU 和内存利用率；

(3)使用 tcpdump 统计代理运行期间流入和流出设备的 ICMP、ICMPv6、UDP 报文总量，除以代理运行总时间，从而得到设备端口的平均出入流量。结果如表 2。

表 2 代理资源消耗

子网	内存使用率	CPU 使用率	探测耗时 (s)	平均流入流量 (kB/s)	平均流出流量 (kB/s)
A	0.2%	0.2%	20	0.1	1
B	0.1%	0.1%	12	0.01	0.5
C	0.1%	0.1%	12	0.03	0.5
D	0.1%	0.1%	12	0.01	0.5

代理运行时，系统的 CPU 和内存利用率接近 0，而平均端口流入、流出流量在 1kB/s 以下，相对于百兆带宽几乎可以忽略不计，测试结果说明本地代理运行对代理主机和网络性能影响极小。

为了检查本地代理及时反映接入网拓扑变化的能力，还需对系统进行拓扑发现延迟时间测试。可以通过人为减少或增加本地链路上 IPv6 设备的方式来实现实际拓扑的变化，本地代理以 5min 为周期，探测本地的拓扑状况。测试结果如表 3。

表 3 本地代理更新延迟测试结果

子网	节点增加			节点减少		
	网络节点增加	实测节点增加	平均更新延迟(s)	网络节点减少	实测节点减少	平均更新延迟(s)
A	3	3	160	5	5	60
B	2	2	240	3	3	104
C	1	1	420	2	2	150
D	1	1	420	3	3	100

$$\text{平均更新延迟} = \frac{\text{系统生成实际网络拓扑时刻} - \text{网络拓扑实际发生变化时刻}}{\text{网络节点实际增加(减少)的数量}}$$

由于目前还缺乏 IPv6 网络管理的商业软件，因此借用 HP 公司的 IPv4 网管软件 OpenView 的性能指标作对比。通常情况下，认为符合该指标的网管软件是可以满足监控网络拓扑变化需要的^[4]，如表 4。

表 4 Openview 数据更新延迟

	设备下线平均更新延迟(s)	设备上电平均更新延迟(s)
OpenView	310	520

可见本地代理反映设备下线和上电的平均更新延迟指标优于 OpenView，可以认为本地代理基本实时反映了接入网实际的拓扑变化状况。

6 结论

随着 IPv6 网络在全球范围内的迅猛发展，如何对 IPv6 网络实施有效管理成为潜在的需求。本文根据 IPv6 网络结构，提出了在 IPv6 接入网络中进行拓扑发现的解决方案。在此基础上完成了系统的结构设计和主要组成部分的设计实现工作，并对系统运行进行了分析测试，证明该系统一定程度上能够满足对 IPv6 接入网进行拓扑管理的需要。

参考文献

- 1 Thomson S, Bellcore, Narten T. IPv6 Stateless Address Autoconfiguration (Track of RFC1971)[S]. IETF, RFC2462, 1998.
- 2 Astic I, Festor O. A Hierarchical Topology Discovery Service for IPv6 Networks[C]. IEEE Symposium Record on Network Operations and Management Symposium, 2002: 497-510.
- 3 Hinden R, Deering S. IP Version 6 Addressing Architecture[S]. IETF, RFC2373, 1998.
- 4 都玉水, 周刚, 马世龙. 拓扑自动发现中数据更新策略的研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2004, 30(1).