

# 一种改进的以太网物理网络拓扑发现方法

童晓薇

(福建交通职业技术学院汽车运用与工程机械系, 福州 350007)

**摘要:** 当前物理网络拓扑发现方法存在诸多问题, 例如不能发现路由器或者三层交换机路由口物理拓扑乃至整个局域网的物理网络拓扑等。为此, 提出一种改进的以太网物理网络拓扑发现方法, 该方法利用简单网络管理协议信息进行分析, 可以发现路由器、三层交换机、二层交换机、网桥、集线器之间的物理链路。采用基于该方法编制的程序, 对一个典型的网络进行拓扑发现, 可以得到正确的结果, 由此验证该方法的可行性及有效性。

**关键词:** 物理网络拓扑发现; 链路层拓扑发现; 网络管理; 虚拟链路

## Improved Method of Ethernet Physical Network Topology Discovery

TONG Xiao-wei

(Dept. of Automotive Application and Engineering Mechanics, Fujian Communications Technology College, Fuzhou 350007, China)

**【Abstract】** An improved method of Ethernet physical network topology discovery of the network management scope is provided. It only uses the public Simple Network Management Protocol(SNMP) information for analyzing, and solves the main limitation of the popular physical network discovery, that the physical link of the route and the route port of the three layer switch in a network can not be discovery, and the entire network topology can not be discovery. Using this method, the link between route, multi-layer switch, switch, network bridge and hub can be discovered. With the program based on this method, a typical network is under discovered, and the result is correct, which proves the correction of this method.

**【Key words】** physical network topology discovery; link layer topology discovery; network management; virtual link

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.14.032

### 1 概述

随着计算机网络技术的快速发展和日益复杂化, 网络管理越来越依赖于专业的网管软件。其中, 基于拓扑图的网络可视化管理方式由于能直观地反映网络的拓扑结构, 为网络监控、故障管理等方面提供了可视化的展现方法且提供了方便的图形操作界面, 一直深受广大网络管理人员的喜爱, 代表了网管软件的发展方向。基于拓扑图的可视化管理, 指的是: 网管管理软件可以展示动态的网络拓扑图, 在该拓扑图上展示所管理的网络中真实存在的网络设备以及网络设备之间的连接。拓扑图上可以呈现网络设备的异常状况(告警)、链路上的流量信息和异常状况(例如链路中断)等信息。网络管理员通过一张网络拓扑图, 即可实时全面地掌握网络动态信息、发现并及时处理设备故障, 以及预见可能将要发生的网络异常状况。

要实现基于拓扑图的网络管理系统, 首先要解决的问题是如何自动发现网络中存在的网络设备以及这些网络设备之间存在的链路, 即自动发现所管理的网络的拓扑结构。自动发现网络中存在的网络设备技术比较简单, 也比较成熟, 发现网络拓扑结构的难点在于如何发现设备之间存在的物理链路, 这也是本文主要解决的问题。所谓“网络设备之间存在的物理链路”, 指的是网络设备真实的连接情况(相对于“逻辑连接”而言, 即网络层设备之间的路由关系)。

物理网络拓扑的自动发现通常通过简单网络管理协议(Simple Network Management Protocol, SNMP)读取设备 MIB 信息, 通过联合分析各个设备的管理信息库(Management Information Base, MIB), 得到网元之间物理连接关系。一般而言, 物理网络拓扑发现的方法主要有两类:

(1) 基于设备厂商私有 MIB 信息进行物理网络拓扑发现。

指的是: 网络设备厂商提出相关的私有协议以及私有的 MIB 信息, 保存和物理网络连接的相关数据, 上层网管软件只需要按照指定的方式分析该数据, 就可以得到物理网络拓扑, 比较著名的有 Cisco 的 CDP 协议。另外华为、Juniper 等厂商也都提出了自己的相关私有协议。该方法的主要问题是, 只有某一个厂商的网络设备支持了相关的私有协议, 到目前为止, 还没有哪一个厂商的私有协议被其他厂商接受, 发展为公共协议, 这也意味着如果一个网络中同时使用了多个厂商的网络通信设备(这是很常见的), 该方法将不能生效。

(2) 基于 RFC 制定的通用 MIB 信息进行物理网络拓扑发现。指的是: RFC 制定了一些通用 MIB, 用以保存设备运行时信息。这些协议是所有入网的设备都必须实现的, 所以, 基于通用 MIB 信息分析得到物理网络拓扑的方法, 不受设备提供厂商的限制, 具有通用性。但是, 由于目前并没有相关的通用 MIB 信息直接保存了设备之间的物理连接, 也没有办法通过某一个 MIB 的信息通过简单推导就可以得到物理链接关系, 因此该方法实现比较困难。本文提出一种通用的物理网络拓扑发现方法, 即上述第(2)种方法。

### 2 现有的通用物理网络拓扑发现技术

目前主要的物理网络拓扑发现方法是基于交换机(或网桥)的 MAC 地址转发表进行分析, 得到物理拓扑<sup>[1-2]</sup>。它基于交换机 MAC 地址转发表进行物理网络拓扑发现。由于交换机的 MAC 地址转发表中保存了交换机进行实际的链路层报

**基金项目:** 福建交通职业技术学院科技发展基金资助项目

**作者简介:** 童晓薇(1982—), 女, 助教、硕士, 主研方向: 楼宇智能化网络管理

**收稿日期:** 2011-03-01 **E-mail:** txw01@hotmail.com

文转发时留下的记录,在一个网络运行了一段时间以后,该记录能够反映出基于交换机的子网互联情况。采用这种方法,基本上解决了在一个子网内,基于通用的 MIB 信息,发现交换机 2 层接口、集线器、网桥之间互联的物理链路。多数网管实际使用的物理网络拓扑发现算法,都是在此方法的基础上进行进一步优化。

这种方法存在的问题是:(1)只能用于一个子网内部的物理网络拓扑发现。一个网络管理员管理的网络,通常是包含多个子网的局域网,如果物理网络拓扑的发现结果只是一个子网而不是整个局域网的设备互联情况,对管理员而言,生成的网络拓扑图是不够直观的,和实际的网络有差距。(2)只能发现链路层设备的拓扑互联情况,而不能发现没有链路层功能的设备在网络中的互联情况,例如路由器以及三层交换机的三层接口(也称为“路由口”)。而路由器和三层交换机的路由口在实际的组网方案中也大量使用。所以,该方法存在一定的缺陷。

文献[3-4]发展了上述工作,给出详细的可实现步骤,实现基于该思想的方法,可以实现对某一个子网(网段)的物理网络拓扑发现,得到正确的结果;并在此基础上对流程进行了一些改进,加入了物理网络拓扑发现中“哑元”设备的推测方法。所以,该方法基本上解决了基于通用的 MIB 信息发现交换机 2 层接口、集线器、网桥之间互联的物理链路的问题。但它仍然存在上述分析提到的 2 个缺陷:不能发现路由器和三层交换机的路由口的链路,以及不能发现整个局域网的物理网络拓扑,而只能发现一个子网的物理网络拓扑。

另外一类物理网络拓扑发现方法是基于交换机网桥 MIB 进行的,文献[5]描述了这种方法。它的主要缺点过于依赖于包含网桥 MIB 的网元,即该方法不能应用于使用三层网络接口连接的网络。由于其主要思路和本文的方法不同,此处不再展开描述。

### 3 改进的技术方案

本文描述的以太网物理网络拓扑发现方法主要也是基于文献[1-2]提出的通过分析 MAC 地址转发表的信息得到设备之间的物理链路的方法,所以继承了该方法的优点:基于网络设备通用的 MIB 信息就可以发现交换机设备之间的物理链路;同时,在此基础上,进一步发展了该方法,解决了目前已有的相关技术没能解决的问题:

(1)可以发现路由器和交换机 3 层接口连接的链路。主要原因是路由器是网络第三层(网络层)设备,没有链路层功能,也就没有 MAC 地址转发表。三层交换机的三层接口类似,在交换机的 MAC 地址转发表中没有该接口的信息。所以,传统的基于 MAC 地址转发表或者 STP 的算法是不能发现这些接口对应的链路的。在本技术方案中,必须结合路由器和 3 层交换机设备的 ARP 表和 MAC 地址转发表进行分析,才能发现这些链路。

(2)可以发现整个局域网中设备之间的物理连接。一个网络对于管理员来说就是一张网络拓扑图,而不是一个子网一张拓扑图。动态网络拓扑图可以展示整个网络拓扑图后,其可用性得到极大的提高。已有的物理网络拓扑发现方法都是以子网为单位进行的,不能最终得到全网(包含多个子网的局域网)物理网络拓扑图。在本技术方案中,通过一种比较简单的方式来实现得到全网物理网络拓扑图:首先通过对发现的所有子网的结果进行分析计算,利用上述发现路由器和 3 层交换机接口的方法,得到一个网段的物理拓扑图,其次通过分

析所有网段的物理网络拓扑图结果,得到了全网物理拓扑图。

基于本方案的物理网络拓扑发现基本上可以分为 2 个步骤,包括:以子网为单位,对网络中所有的子网进行物理网络拓扑自动发现;分析所有子网的物理网络拓扑发现结果,得到全网物理网络拓扑。

子网物理拓扑发现。本步骤对网络的所有子网都进行物理网络拓扑发现操作,得到每一个子网的物理网络拓扑图。在进行子网的自动发现之前,假设该子网内的网管设备均已经发现,并且该子网的网关已经确定(设备自动发现算法比较成熟,也比较简单,基本上是根据设备 MIB 中的 routeTable 以及 IpNetToMediaTable,对表项中的非本设备的 IP 地址进行轮询,即可找到所有设备,此处不再详细展开论述)。对每一个子网,该步骤又细化为以下 5 个步骤:

(1)需要对子网中的所有设备进行“交换信息完整化”操作,即让设备 MIB 信息中的 MAC 地址转发表(dot1dTpFdbTable)和 ARP 表(ipNetToMediaTable)正确且完整。在真实的物理网络中,由于设备的 MAC 地址转发表和 ARP 表不是实时更新的,而是在进行相应的报文转发时更新的,经常滞后于网络的变化,因此有可能是错的,例如可能表项不完整,或者一些表项已经过期,这会影响到后续物理网络拓扑的分析。由于本步骤采用的是文献[1]方法,此处不再展开。

(2)系统通过 SNMP 协议,从所有设备的 MIB 中获取其 MAC 地址转发表和 ARP 表。并且保存在内存中,供后续进一步分析。

(3)判断交换机和其他设备之间存在的间接链路。间接链路指的是:在一个网段内,如果一个设备通过一个接口发送网络报文,最终可以到达另外一个设备,那么这个设备通过这个接口和另外一个设备之间有一个间接链路。此处,把直接链路(实际存在的物理链路)视为间接链路的一种特殊情况。

下面给出 2 个判断交换机和路由器存在的间接链路的定义。

**定义 1** 如果交换机的 MAC 地址转发表(dot1dTpFdbTable)中包含非上行接口的记录,那么该交换机和记录中包含的 MAC 地址所代表的设备存在“间接链路”,并且链路是通过记录中包含的“接口号”连接的。

这是由于,MAC 地址转发表记录了交换机转发 MAC 地址的依据,例如如果交换机存在“接口号”为 1,MAC 为“f0:1b:22:34:12:12”的 MAC 地址转发表记录,代表交换机接收到目的地址为“f0:1b:22:34:12:12”数据帧,必须将其从“1 号接口”转发出。如果该记录是正确的,那么该 MAC 代表的设备一定从该接口可以到达,所以它们间存在间接链路。

**定义 2** 路由器的每一个接口必须在不同子网,所以,路由器在本子网的接口要么是上行接口(和网关直接或者间接相连),要么路由器本身是网关,即路由器绝无可能在一个网段内连接 2 个设备。

因为路由器不可能配置成多个接口属于同一个网段,所以其不能像交换机一样,在一个网段内连接 2 个设备。所以只能是:要么其本身是网络,此时该接口为下行接口;要么其接口和网关存在间接链路,此时该接口为上行接口,路由器和网关之间存在间接链路。

基于上述 2 个定义,对网段内所有交换机和路由器的 MAC 地址转发表和 ARP 表进行分析,可以得到所有设备之间存在的间接链路。

(4)对所有的间接链路进行分析。在上述步骤的分析过程中，得到的是所有的交换机、路由器和其他设备之间的间接链路。这些间接链路中，有一些是真正存在的直连链路，有一些是不存在的。把实际不存在的链路移除，剩下的就都是实际存在的物理链路。这里给出判断规则：对于一个网段内的任意有间接连接关系的3个设备，如果其中一个设备发起2次间接连接(设备A)，而另外有一个设备没有发起任何间接链路(设备C)，那么设备A和设备C之间的链路实际上是不存在的。

如图1所示，设备ABC之间有如下关系：A通过接口1与设备B有链路关系，A通过接口2与设备C有链路关系，B通过接口5与设备C有链路关系。那么，在此情况下，设备A和C之间的链路实际上是不存在的，如图1虚线所示。

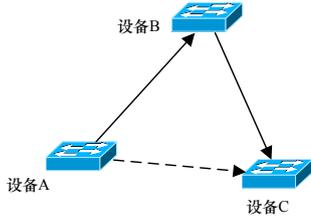


图1 虚拟链路判断说明

(5)推导出在网络中存在的集线器。此处主要参考文献[1]的方法，不再展开。完成集线器的发现后，结合上述的分析过程，从物理层到网络层的所有设备(包括三层交换机和路由器)之间的链路都将被发现。

分析所有子网的物理网络拓扑发现结果，得到全网物理网络拓扑。按照(1)遍历所有网络，得到每一个网段的拓扑图后，进入本步骤，将分析各网段的拓扑，联合成为一张完整的网络拓扑图。根据生成树协议，非网关设备只可能存在于本网段中。在一个网段中，只有网关设备可以连接多个网段，即在它所连接的多个网段中都存在该网关设备。所以，可以给出以下判断：从全网拓扑的角度看，在(1)中得到的网段的网络拓扑发现结果中，除了网关设备的链路存在缺失，其他设备的链路都是正确且完备的。可以通过以下2个步骤得到全网物理拓扑：

(1)遍历分析所有网段的网关，根据MAC地址是否相等判断，2个或者多个网段的网关是否是同一个设备。如图2中，路由器A连接2个网段：网段A和子网B；所以，分析网段A、B的拓扑发现结果，可以得到网段A的网关和网段B的网关都是设备“路由器A”。

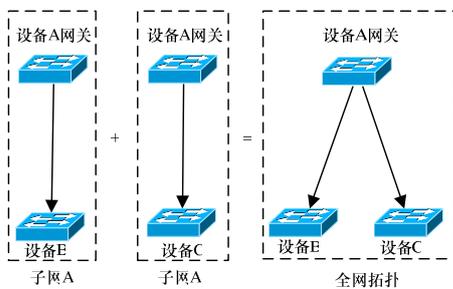


图2 生成全网物理网络拓扑图过程说明

(2)生成全网物理网络拓扑图：将相同的网关设备合成为一个设备，这些网关设备的所有链路也都转移到该设备，见图2所示的过程。

至此，保存上述结果，即得到全网物理网络拓扑图。笔者通过对搭建如图3所示的典型网络拓扑。以Java语言以及snmp4j库编写了程序进行测试，可以得到正确的网络拓扑数据。证明了本方案在技术上是可行的。

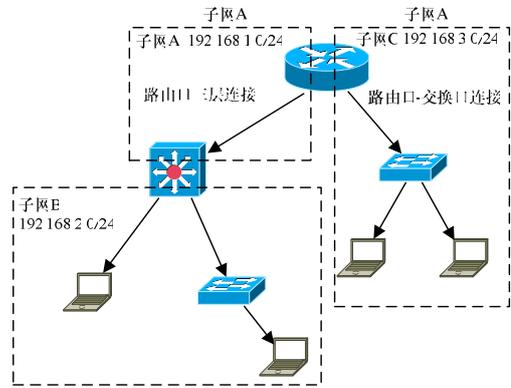


图3 测试网络拓扑图

#### 4 结束语

本文描述的物理网络拓扑发现方法，是一种通用的方法，即不依赖于任何厂商私有的协议和MIB实现，只要网络内的设备实现了公共的SNMP MIB，就可以用以发现该网络的物理网络拓扑。由于该方法不依赖于生成树协议，也就不依赖网络的组网方式，只要网络是正常运行的，就可以发现该网络的物理网络拓扑，并且可以发现路由器、三层交换机、二层交换机、网桥、集线器之间的物理链路，即以太网中几乎所有类型的链路。

另外，通过本文的方法，可以最终得出整个局域网的物理网络拓扑，而不是某一个子网的物理网络拓扑。所以，生成的全网物理拓扑图与实际网络的差别将进一步缩小，抽象程度更高，可以为基于动态网络拓扑图的网络管理方式提供一定基础。

#### 参考文献

- [1] Breitbart Y, Garofalakis M. Topology Discovery in Heterogeneous IP Network[C]//Proc. of IEEE INFOCOM'00. [S. l.]: IEEE Press, 2000.
- [2] Bruce L, David R. Topology Discovery for Large Ethernet Networks[C]//Proc. of ACM SIGCOMM'01. San Diego, USA: [s. n.], 2001.
- [3] 张国强, 张国清, 李仰耀. 物理网络拓扑发现算法的研究和系统实现[J]. 小型微型计算机系统, 2006, 27(1): 12-15.
- [4] 郑海, 张国清. 物理网络拓扑发现算法的研究[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(3): 264-268.
- [5] 李延冰, 马跃, 王炜. 基于生成树的链路层拓扑发现算法[J]. 计算机工程, 2006, 32(1): 115-116.

编辑 陈文