

组播数据流动拓扑动态呈现系统研究

苟建国¹ 刘志伟¹ 李琳琳¹

GOU Jianguo LIU Zhiwei LI Linlin

摘要

受网络广域网方向链路带宽限制,部分业务(如视频)使用组播进行传输以减少带宽消耗。在使用中,经常出现组播数据接收不到或丢包的情况。因缺乏组播数据转发可视化工具,导致每次故障排查效率较低。为了解决上述问题,文章进行了组播数据流动拓扑动态呈现系统研究。通过远程方式获取交换机的组播信息,对组播信息进行分析,提取出组播分发树的结构以及组播接收成员的信息,最后,将这些信息拓扑动态呈现。通过检索组播信息,即可快速地知悉组播运行情况,提升网管人员组播故障处理能力和组播态势感知能力。

关键词

稀疏模式独立组播协议(PIM SM); Internet 组管理协议(IGMP); 组播; 拓扑可视化

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.10.038

0 引言

当前使用的网管系统只能呈现网络整体拓扑结构,且需管理人员手动描绘。网络中部署的网络性能监控系统,通过使用探针分析网络镜像流量,根据报文时间戳的大小来计算报文转发路径,然而这种方式需要较多的网络探针,且在计算数据转发路径时,因强依赖报文时间戳的大小,故对网

络设备的时间同步要求较高。

同时,网络性能监控系统没有详细分析组播数据,只是单一地按照单播进行转发,依据报文时间戳计算转发路径,无法正确呈现组播报文的转发路径。Makofske 等人^[1]研究了 MHealth 系统,能够实时地呈现组播的拓扑结构;徐可夫等人^[2]开发的 MUL-Monitor 系统实现了分布式结构的组播拓扑发现方法。其研究虽然都实现了组播拓扑的可视化,但缺少组播接收成员的展示以及组播流量大小、转发接口的详细呈现,在处理组播故障时无法提供有效的信息。

1. 中国人民解放军 63626 部队 甘肃酒泉 732750

参考文献:

- [1] 丛晔,彭涛,朱蓓蓓.基于语义特征提取的隐式情感分析算法[J].吉林大学学报(理学版),2025,63(1): 107-113.
- [2] 任楚岚,仇全涛,劣思敏.融合 TCN 和 BiLSTM 的文本情感分析[J].计算机工程与设计,2024,45(7): 2090-2096.
- [3] 刘佳,宋泓,陈大鹏,等.非语言信息增强和对比学习的多模态情感分析模型[J].电子与信息学报,2024,46(8): 3372-3381.
- [4] 高佳希,黄海燕.基于 TF-IDF 和多头注意力 Transformer 模型的文本情感分析[J].华东理工大学学报(自然科学版),2024,50(1): 129-136.
- [5] 郭续,买日旦·吾守尔,古兰拜尔·吐尔洪.基于多模态融合的情感分析算法研究综述[J].计算机工程与应用,2024,60(2): 1-18.
- [6] 张昱,张海军,刘雅情,等.基于双向掩码注意力机制的多模态情感分析[J].数据分析与知识发现,2023,7(4): 46-55.

- [7] 朱亚军,次曲,拥措.基于 SVM 算法的藏文微博情感分析研究[J].计算机仿真,2022,39(8): 226-229.
- [8] 彭佳玲,周茂林,杨青.公众对上门护理服务的态度和关注点:基于网络爬虫的文本挖掘[J].护理学杂志,2023,38(5): 110-113.
- [9] 李书星,胡慧君,刘茂福.基于语感一致性的社交媒体图文情感分析[J].中国科技论文,2023,18(3): 322-329.

【作者简介】

孟瑞娟(1985—),女,山西太原人,硕士研究生,高级工程师,研究方向:大数据管理与应用、教育技术。

武茂升(1989—),男,山西太原人,硕士研究生,讲师,研究方向:大数据管理与应用、软件工程。

杨海鹰(1982—),女,山西太原人,硕士研究生,中级工程师,研究方向:计算机科学与技术、软件工程。

(收稿日期:2025-04-08 修回日期:2025-09-23)

为解决上述问题,本文进行了组播数据流动拓扑呈现方法研究。根据在交换机上获取的组播转发表信息,在广域网方向建立以组播源为树根的拓扑图,输入不同的组播地址(S , G),生成相应的组播分发树拓扑图,方便排查组播转发异常、组播丢包等故障。在拓扑的叶节点上呈现组播的接收成员,及时掌握组播业务的用户终端,在出现非法请求广域网组播引起出口网络拥塞故障时及时定位非法组播接收者。

1 组播介绍

稀疏模式独立组播协议(protocol independent multicast sparse mode, PIM SM)^[3]是一种高效的组播路由协议,适用于“稀疏模式”的组播网络,即组播组成员数量相对较少且分散在网络的不同部分。通过构建共享树和源路径树来实现组播数据的高效传输。共享树(rendezvous point tree, RPT)用于将组播数据从源传输到网络中的RP(rendezvous point),而源树又称最短路径树(shortest path tree, SPT)直接从源向接收者转发数据。此外,PIM SM还利用注册和剪枝机制来控制不必要的组播数据传输,并通过Hello消息来发现和维持邻居关系。

Internet 组管理协议(internet group management protocol, IGMP)是一种用于管理IP组播组成员身份的协议。IGMP使得主机能够报告它们是否希望接收特定组播组的数据,从而帮助路由器决定是否应该转发组播数据包到特定的子网。IGMP主要有3个版本:IGMPv1、IGMPv2和IGMPv3。其中,IGMPv2提供基本的组成员查询和报告功能,IGMPv3^[4]在此基础上增加更精细的控制选项,允许主机指定只接收特定源的数据。IGMP通过定期发送查询来维持组播组成员的状态,并依靠主机响应报告来确认成员资格,从而确保组播数据只发送给感兴趣的接收者,本文仅讨论IGMPv3版本。

2 组播状态信息获取

网络中,交换机配置的远程管理方式通常支持Telnet或SSH。两者相比较而言,Telnet为明码传输,SSH为加密传输。Telnet通过TCP/IP协议访问远程计算机控制使用设备,其传输的数据和口令为明文形式。因此攻击者容易得到设备口令和数据。以“中间人”的身份冒充其设备截取数据,然后将假数据传输于远程设备,从而达到攻击目的。SSH是替代Telnet和其他远程控制台管理应用程序的行业标准。SSH命令加密且不易被“中间人”攻击。

在获取交换机信息时支持Telnet和SSH两种连接方式,如图1所示,首先根据设备支持的管理方式选择连接模式,使用不同的库函数建立相应的会话连接。使用交换机命令display multicast forwarding-table获得交换机的组播转发表

信息,主要记录组播分发树的上、下行接口信息。使用命令display igmp group verbose获得交换机的组播接收成员信息。

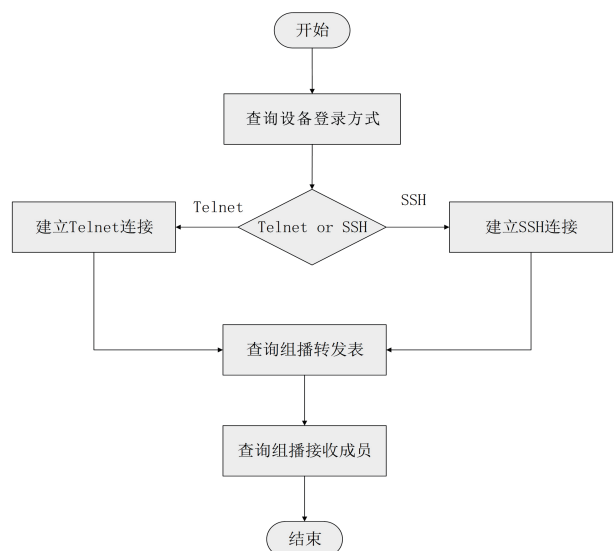


图1 交换机组播信息获取

在使用交换机相关命令获取配置时,如果输出的信息较长,无法在默认24输出行数下全部输出。为一次性完整读出交换机的响应内容,需在交换机上配置screen-length 0,即内容全部输出。

3 组播分发树获取

3.1 网络拓扑结构

构建网络结构由4台交换机组成,使用OSPF动态路由连通网络。组播路由协议使用PIM SM,在终端接收侧的交换机上启用IGMPv3协议。网络连接一个组播源和两台组播接收终端。当组播业务运行后,各交换机组播转发表的内容如图2所示。

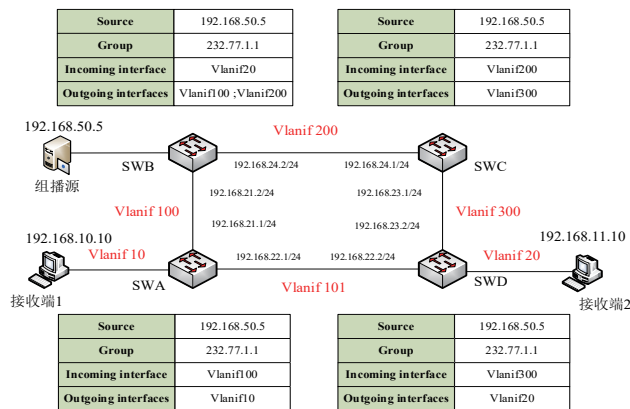


图2 网络拓扑结构

3.2 提取组播接口信息

以交换机SWB为例,阐述组播分发树接口获取流程。交换机SWB的组播转发表信息如图3所示,需要检索到标红的字符串。

```
00001. (192.168.50.5, 232.77.1.1)
MID: 0, Flags: -
Uptime: 04:40:16, Timeout in: 00:03:17
Incoming interface: Vlanif20
List of 2 outgoing interfaces:
1: Vlanif100
2: Vlanif200
Matched 188654 packets(255814824 bytes),
Wrong If 0 packets
Forwarded 188654 packets(255814824 bytes)
```

图 3 交换机 SWB 组播转发表信息

首先使用字符串 “Incoming interface:” 来分割图 3 中的字符串，得到一个字符串数组，记为 items。判断 items 的长度 ≥ 2 ，记分割的第一个子串为 items[0]，第二个子串为 items[1]。接着，使用 “List” 分割第二个子串 items[1]，获取第一个分割结果的字符串，即上行接口信息，即为图 3 中的 Vlanif20，获取的第二个分割子串记为 items2；然后，使用 “outgoing interfaces:” 字符串分割 items2，将分割后的第二个子串记为 items2[1]，使用 “Matched” 分割 items2[1]，得到下行接口信息。最后，使用正则表达式 \d: 分割下行接口信息，即为图 3 中的 Vlanif100 和 Vlanif200。

3.3 组播分发树拓扑生成

对于每个节点，首先通过调用 find_mul_forwarding_table (mul_source, mul_group) 函数来查找组播转发表中的信息，该函数根据组播源 mul_source 和组播组 mul_group 来获取组播转发表的具体信息。接着，通过调用 matched_interface("Incoming interface:") 函数来获取组播分发树的上行接口信息。随后，通过调用 matched_interface("Outcoming interface:") 函数来获取组播分发树的下行接口信息。再使用 get_edge_info_by_interface(up_interface) 函数根据上行接口信息来获取路径边的信息，即获得与上行接口相关的路径边详细信息。最后，将获取到的路径边信息添加到集合 edges 中。整个循环结束后，edges 集合包含了整个组播路由拓扑路径中的所有边信息，如表 1 所示。

表 1 组播分发树拓扑生成程序

输入: mul_source, mul_group	// 组播源和组播组	
输出: edges	// 组播分发树拓扑路径	
1. for (each node){		
2. mul_forwarding_table = find_mul_forwarding_table(mul_source, mul_group);		// 根据组播源和组播组获得组播转发表信息
3. up_interface=matched_interface("Incoming interface:")		// 获得组播分发树的上行接口
4. down_interface=matched_interface("Outcoming interface:")		// 获得组播分发树的下行接口

```
5. edge=get_edge_info_by_interface (up_interface); // 根据
上行接口获得路径边的信息
6. edges.add(edge) // 将所有的边汇集输出即为组播路由拓
扑路径
7. }
```

4 IGMP 组播成员获取

4.1 提取组播接收成员

以交换机 SWA 为例，阐述组播接收成员获取流程。交换机 SWA 的组播接收成员信息如图 4 所示，需要检索到标红的字符串。

将使用命令查询得到的组播接收成员字符串使用两个正则表达式来解析源地址和最后报告者地址。首先，使用正则表达式 Pattern.compile("Source: (\\d{1,3}\\.\\d{1,3}\\.\\d{1,3}\\.\\d{1,3})") 匹配源地址，并将匹配到的源地址存储到 source_list 中；接着，使用正则表达式 Pattern.compile("Last reporter: (\\d{1,3}\\.\\d{1,3}\\.\\d{1,3}\\.\\d{1,3})") 匹配最后报告者地址，并将匹配到的最后报告者地址存储到 group_list 中。然后，遍历 source_list，对于每一个源地址，如果与查询的组播源匹配，则将相应的最后报告者地址添加到 igmpgroup 中。最后，返回 igmpgroup 列表，其中包含了与指定组播源和组播组相关联的 IGMP 组成员的最后报告者地址。

```
Group: 232.77.1.1
Uptime: 06:21:31
Expires: off
Last reporter: 192.168.10.10
Last-member-query-counter: 0
Last-member-query-timer-expiry: off
Group mode: include
Version1-host-present-timer-expiry: off
Version2-host-present-timer-expiry: off
Source list:
Source: 192.168.50.5
Uptime: 06:21:31
Expires: 00:01:15
Last-member-query-counter: 0
Last-member-query-timer-expiry: off
```

图 4 交换机 SWA 中组播接收成员

4.2 组播接收成员获取

对于每个节点，首先通过调用 find_igmp_group(mul_group) 函数来查找 IGMP 组的信息，该函数根据组播组 mul_group 来获取 IGMP 组的具体信息。接着，通过调用 matched_ip(igmp_group) 函数来定义 IP 地址的正则表达式，

并从中获取组播组的接收成员信息。随后，通过调用 filter_member_by_source(igmp_group) 函数来根据组播源过滤得到组播的接收成员。最后，将获取到的接收成员信息添加到集合 members 中。整个循环结束后，members 集合包含了所有节点的组播接收成员信息，如表 2 所示。

表 2 获取组播接收成员程序

输入: mul_source, mul_group	// 组播源和组播组
输出: members	// 组播接收成员
<pre>1. for (each node){ 2. igmp_group=find_igmp_group(mul_group); // 根据组播源和组播组获得 igmp group 信息 3. all_member=matched_ip(igmp_group) // 定义 IP 地址的正则表达式，获得组播组接收成员信息 4. member=filter_member_by_source(igmp_group) // 根据组播源过滤得到组播的接收成员 5. members.add(member) // 将所有节点的组播接收成员信息汇集输出 6. }</pre>	

5 实现与评估

在处理器为 AMD Ryzen 7 7735HS with Radeon Graphics 3.20 GHz，操作系统为 Windows11 设备上搭建 Java 运行环境。前台使用 Vue+echart 实现，后台使用 SpringBoot 实现。

在组播查询中输入（192.168.50.5，232.77.1.1）进行查询，组播的拓扑显示如图 5 所示。从图中可以看出，形成了以 CS-002 为根的组播分发树，组播按照此树形拓扑转发数据。

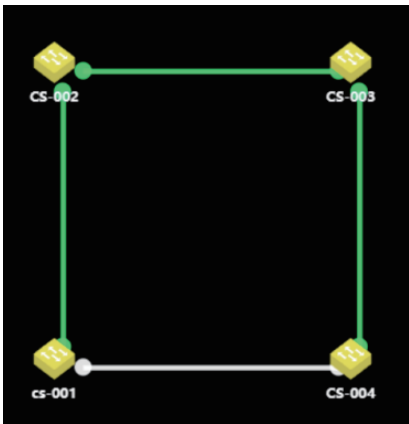


图 5 组播分发树可视化拓扑

点击交换机 CS-001 和 CS-004 可查的组播接收成员的 IP 地址，如图 6 所示，可以看出，网络中有两台设备在接收该组播数据，地址分别为 192.168.10.10 和 192.168.11.10。实验结果与图 5 的网络预期一致，验证了程序的有效性。

名称: cs-001 环回地址: 1.0.1.1	
序号	IP地址
0	192.168.10.10

名称: CS-004 环回地址: 1.0.1.4	
序号	IP地址
0	192.168.11.10

图 6 组播接收成员信息

6 总结

网络中多项业务使用组播方式传播数据，在出现网络故障后，需人工登录交换机查询组播状态。为直观呈现网络中组播分发树的结构以及组播接收成员的分布和详细信息，本文进行了组播数据流动拓扑呈现方法研究。实现了两种方式远程获取交换机的组播信息，并使用多线程并行获取多台交换机的组播信息。将组播信息通过字符串拆分、正则表达式匹配获得组播分发树的上下行接口和组播接收成员信息。通过上下行接口获得组播分发树的链路连接情况，将这些信息返回给前台可视化呈现。用户只需要输入组播源和组播组信息即可得到组播数据拓扑，便于网管人员掌握组播数据转发态势。

参考文献:

[1] MAKOSFSKE D B, ALMEROTH K C.Real-time multicast tree visualization and monitoring[J].Software: practice and experience,2000,30(9):1047-1065.

[2] 徐可夫,徐镜湖,朱培栋 .IP 组播网络监测系统 MUL-Monitor 的设计与实现 [J]. 计算机与现代化 , 2008(9):68-70.

[3] FENNER B .Protocol independent multicast-sparse mode (PIM-SM) : protocol specification (Revised)[EB/OL].[2025-02-19].https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7761.

[4] 林文, 蒋泽军 . 基于 IGMPv3 和 PIM-SSM 协议的源特定组播技术的研究 [J]. 科学技术与工程 , 2007(8):1608-1612.

【作者简介】

苟建国（1990—），男，甘肃会宁人，硕士，工程师，研究方向：网络管理，email: 792874862@qq.com。

（收稿日期：2025-02-17 修回日期：2025-07-19）