

基于 eNSP IEEE 802.1q 协议仿真实现^{*}

唐灯平^{1**} 王辉¹ 张文哲¹ 张宏斌²

1. 苏州城市学院计算科学与人工智能学院, 苏州 215104
2. 苏州大学计算机科学与技术学院, 苏州 215006;

摘要 为深入解析 IEEE 802.1q 协议的工作机制, 本文基于 eNSP 仿真软件构建特定网络拓扑, 配置多虚拟局域网 (VLAN) 环境并分析各 VLAN 间通信情况, 实现该协议的仿真验证。作为 VLAN 的核心标准, IEEE 802.1q 协议的关键功能在于对以太网帧的标记与处理, 仿真过程清晰呈现这一核心流程。仿真过程通过搭建包含交换机与终端的拓扑结构, 在多 VLAN 配置下观察数据帧的标记规则及转发逻辑, 直观展示协议对 VLAN 隔离与通信的控制机制。实验结果不仅可视化呈现了协议在帧处理中的关键环节, 更为深入理解其工作原理提供了可靠的实验依据, 对掌握 VLAN 技术的底层逻辑具有实践意义。

关键字 eNSP; IEEE 802.1q 协议, VLAN, 网络仿真, Wireshark

Simulation Implementation Based on eNSP IEEE 802.1q Protocol

Tang deng-ping¹ Wang hui¹ Zhang wen-zhe¹ Zhang hong-bin²

1. Computing Science and Artificial Intelligence College, Suzhou City University, Suzhou 215104, China;
2. School of Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China

Abstract—To deeply analyze the working mechanism of the IEEE 802.1q protocol, this paper constructs a specific network topology based on eNSP simulation software, configures multiple virtual local area network (VLAN) environments, and analyzes the communication situation between each VLAN to achieve simulation verification of the protocol. As the core standard of VLAN, the key function of IEEE 802.1q protocol is to tag and process Ethernet frames, and the simulation process clearly presents this core process. The simulation process involves building a topology structure that includes switches and terminals, observing the tagging rules and forwarding logic of data frames in a multi VLAN configuration, and visually demonstrating the protocol's control mechanism for VLAN isolation and communication. The experimental results not only visualize the key steps of the protocol in frame processing, but also provide reliable experimental basis for a deeper understanding of its working principle, which has practical significance for mastering the underlying logic of VLAN technology.

Keywords—eNSP; IEEE 802.1q protocol; Virtual Local Area Network; network simulation; Wireshark;

1 引言

虚拟局域网 (VLAN) 技术通过将一个大的广播域划分为多个小的广播域, 从而减少网络中的广播流量, 提高网络性能。同时, 该技术通过隔离网络流量, 增

***基金资助:** 1、江苏省产教融合品牌专业苏州城市学院物联网工程专业建设成果, 苏教办高函〔2023〕16号; 2、苏州城市学院思政示范专业物联网工程专业建设成果, 苏城院教〔2023〕5号; 3、教育部就业育人项目《新工科背景下计算机网络安全方向应用型人才就业育人项目》建设成果, 项目编号: 20230105055; 4、苏州市第三批优秀教学团队计算机网络技术与工程教学团队建设成果, 苏教高〔2022〕5号; 5、苏州城市学院基层教学组织网络工程及安全建设成果, 苏城院教〔2022〕32号

****通讯作者:** 唐灯平 tangdp33333@126.com

强了网络安全性。IEEE 802.1q 协议是一种在以太网帧中添加 VLAN 标签的技术, 用于解决以太网交换机之间传输 VLAN 帧的问题。在没有 IEEE 802.1q 协议的情况下, VLAN 的隔离只在单个交换机内部有效。当数据跨交换机传输时, 由于无法识别 VLAN 信息, 导致 VLAN 隔离失效。IEEE 802.1q 通过在以太网帧头部插入一个 4 字节的 VLAN 标签, 来识别所属的 VLAN。根据 VLAN 信息, 交换机可以进行相应的转发, 从而实现跨交换机的 VLAN 隔离和通信^[1-4]。

为深入理解 IEEE 802.1q 协议工作原理, 在教学上可以通过仿真环境设置 IEEE 802.1q 网络并进行分析研究, 通过仿真让学生掌握 IEEE 802.1q 的 VLAN 原理、帧标记规则, 提升配置与故障排查能力。技术上, eNSP 需精准模拟 VLAN 划分、Trunk 链路协商, 支持标签封装验证。要点含 VLAN ID 范围、Trunk 模式配置及跨 VLAN

通信测试。常见的网络仿真软件有eNSP、Cisco Packet Tracer、GNS3、Mininet以及EVE-NG等。eNSP作为一款功能强大且使用便捷的网络仿真工具，能够仿真各种网络设备和协议。通过搭建网络拓扑、配置网络协议，可以研究IEEE 802.1q协议在VLAN中的应用，进一步深入理解IEEE 802.1q协议的工作原理^[5-7]。

2 IEEE 802.1q 协议介绍

VLAN技术将局域网划分为多个逻辑子网，提升网络灵活性和安全性。VLAN内部的通信通过二层交换机完成。为了实现跨交换机的VLAN通信，需要使用VLAN Trunk（干线）连接。VLAN Trunk通过干线端口，将发往任何VLAN的帧，经由干线链路转发到其他交换机上的对应VLAN。IEEE 802.1Q协议是IEEE标准化组织发

布的VLAN标准之一，它定义了在以太网中实现VLAN功能的协议和机制。该协议通过在以太网帧中添加VLAN标签，实现VLAN的标识和隔离，从而增强网络的灵活性和可扩展性，并提升管理效率，最终支持VLAN Trunk的数据传输，解决跨交换机VLAN通信^[8-10]。

3 IEEE 802.1q 帧格式分析

1988年，IEEE批准了802.3ac标准，该标准扩展了以太网帧格式，以支持虚拟局域网（VLAN）。VLAN协议允许在以太网帧格式中插入一个4字节的标识符，称为VLAN标记（tag）。VLAN标记用于指明发送帧所属的VLAN，插入VLAN标记的帧称为IEEE 802.1q帧。如图1所示。

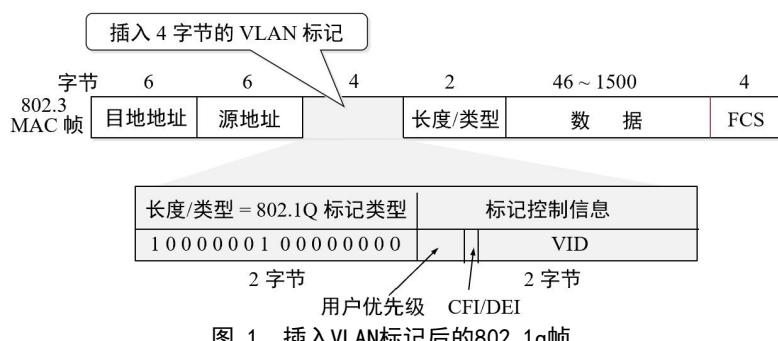


图 1 插入VLAN标记后的802.1q帧

VLAN标记字段使得二层交换机能够识别和处理所属VLAN的数据帧，该字段由两部分组成：2字节的标签标识符TPID（TAG Protocol Identifier，具有固定的十六进制值8100）和2字节的标签控制信息字段TCI（Tag Control Information）。TCI包含一个12比特

的VLAN标识字段VID（范围为0-4095），用于标识帧所属的VLAN；一个3比特的用户优先级字段（范围为0-7），表示帧的优先级；以及一个1比特的CFI（Canonical Format Indicator）又称为DEI（Drop Eligible Indicator）组成，用来标识报文的丢弃优先级。

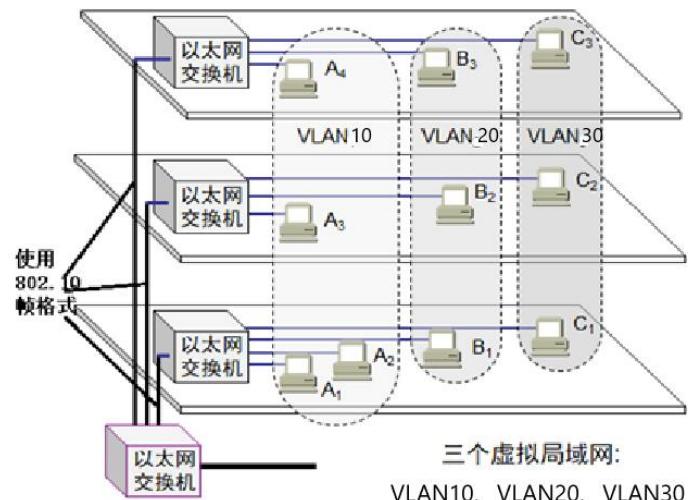


图 2 三个虚拟局域网VLAN10、VLAN20和VLAN30的构成

VLAN标记字段由VLAN干线发送侧的交换机加入帧中，而接收侧的交换机则会解析并删除这些标记字段。在图2中，粗线链路上传输的帧是IEEE 802.1q帧，而其他链路上传输的帧仍然是普通的以太网帧^[11-12]。

4 使用 eNSP 仿真实现 IEEE 802.1q 帧

eNSP（Enterprise Network Simulation Platform）是华为提供的一款免费、可扩展、图形化操作的网络

仿真工具平台。它能够高度仿真华为AR路由器、x7系列交换机以及防火墙等网络设备。它支持模拟接口的抓包功能，能够抓取任意链路中的数据包并直接展示协议交互过程，这对网络协议分析、故障诊断和性能分析非常有用。

4.1 仿真实现网络拓扑结构

图2所示的网络拓扑中，10台计算机分别位于3个楼层，物理上构成了3个相对独立的局域网。具体来说，

局域网1由主机A1、A2、B1和C1组成，局域网2由主机A3、B2和C2组成，局域网3由主机A4、B3和C3组成。最终，使用一台交换机将这3个局域网互联起来。接下来，根据实际网络需求，将互联起来的10台计算机划分到3个不同的VLAN中。具体划分如下：VLAN10包括主机A1、A2、A3和A4；VLAN20包括主机B1、B2和B3；VLAN30包括主机C1、C2和C3。将该网络拓扑在eNSP仿真软件中进行仿真实现，结果如图3所示^[13-15]。

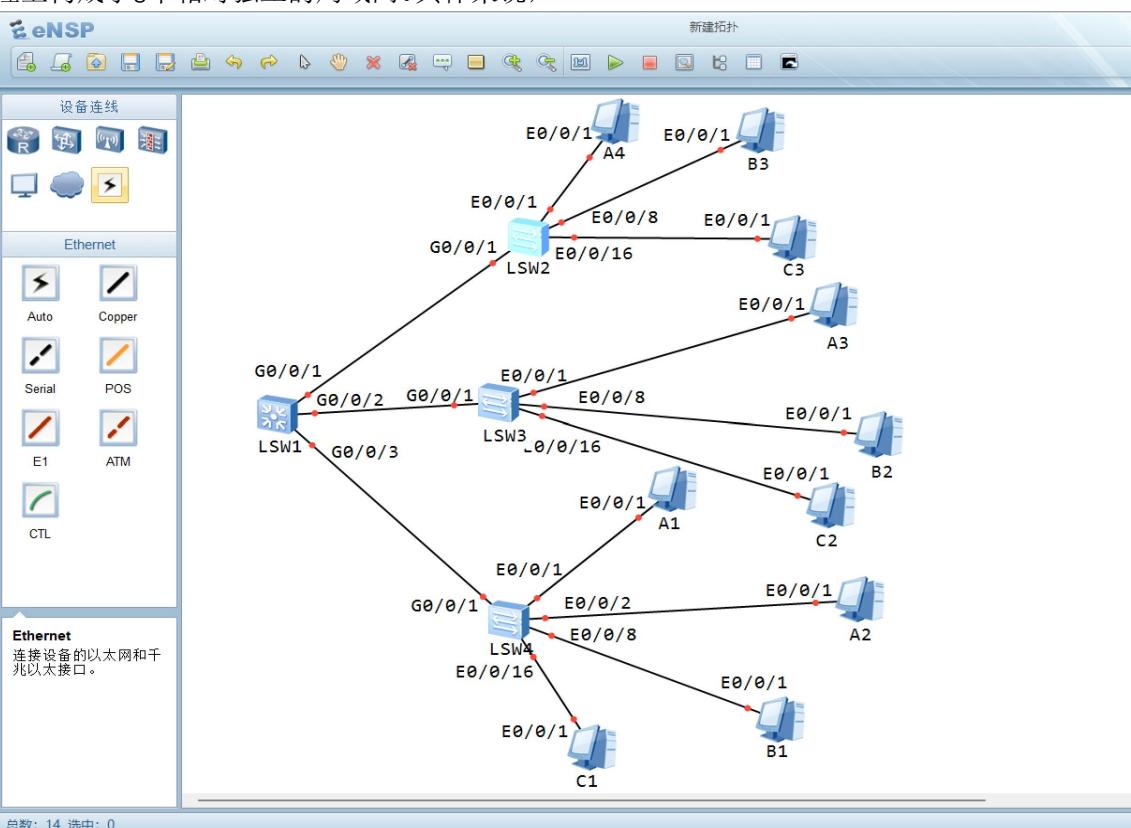


图 3 插入VLAN标记的802.1q帧网络拓扑图

4.2 网络环境配置

为4台交换机分别创建VLAN2、VLAN3、VLAN4，

将计算机A1、A2、A3以及A4划分到VLAN2，将计算机B1、B2以及B3划分到VLAN3，将计算机C1、C2以及C3划分到VLAN4，见表1所示。具体配置过程如下：

表1 交换机的VLAN划分

交换机	VLAN	端口	主机	IP地址分配
LSW2 LSW3 LSW4	VLAN2	E0/1-E0/7	A1、A2、A3、A4	A1IP地址: 10.1.1.1 子网掩码: 255.255.255.0
	VLAN3	E0/8-E0/14	B1、B2、B3	A4IP地址: 10.1.1.4 子网掩码: 255.255.255.0
	VLAN4	E0/15-E0/21	C1、C2、C3	B2IP地址: 10.1.1.20 子网掩码: 255.255.255.0

首先，配置交换机LSW2。

```
<Huawei>system-view //进入系统视图
[Huawei]sysname LSW2 //为交换机命名
[LSW2]vlan 2 //创建VLAN2
```

```
[LSW2-vlan2]vlan 3 //创建VLAN3
[LSW2-vlan3]vlan 4 //创建VLAN4
[LSW2-vlan4]quit //退出
[LSW2]port-group 1 //创建一个端口组1
```

```

[LSW2-port-group-1]group-member
Ethernet 0/0/1 to Ethernet 0/0/7 //将以太网
接口e0/0/1到e0/0/7加入到端口组1
[LSW2-port-group-1]port link-type
access //设置端口组1中端口为Access模式
[LSW2-port-group-1]port default vlan 2
//将端口组1中的所有端口默认VLAN为VLAN2
[LSW2-port-group-1]quit //退出端口组1的
配置模式
[LSW2]port-group 2 //创建端口组2
[LSW2-port-group-2]group-member
Ethernet 0/0/8 to Ethernet 0/0/14 //将以
太网接口e0/0/8到e0/0/14加入到端口组2
[LSW2-port-group-2]port link-type
access //设置端口组2中端口为Access模式

```

```

[LSW2-port-group-2]port default vlan 3
//将端口组2中的所有端口默认VLAN为VLAN3
[LSW2-port-group-2]quit //退出
[LSW2]port-group 3 //创建端口组3
[LSW2-port-group-3]group-member
Ethernet 0/0/15 to Ethernet 0/0/21
//将以太网接口e0/0/15到e0/0/21加入到端口组
3
[LSW2-port-group-3]port link-type
access //设置端口组3中端口为Access模式
[LSW2-port-group-3]port default vlan 4
//将端口组3中的所有端口默认VLAN为VLAN4
[LSW2-port-group-3]quit //退出
通过display VLAN命令查询VLAN配置结果
如图4所示。

```

VID	Type	Ports
1	common	UT:Eth0/0/22 (D) GE0/0/1 (D) GE0/0/2 (D)
2	common	UT:Eth0/0/1 (D) Eth0/0/2 (D) Eth0/0/5 (D) Eth0/0/6 (D) Eth0/0/7 (D) Eth0/0/4 (D)
3	common	UT:Eth0/0/8 (D) Eth0/0/9 (D) Eth0/0/10 (D) Eth0/0/11 (D) Eth0/0/12 (D) Eth0/0/13 (D) Eth0/0/14 (D)
4	common	UT:Eth0/0/15 (D) Eth0/0/16 (D) Eth0/0/17 (D) Eth0/0/18 (D) Eth0/0/19 (D) Eth0/0/20 (D) Eth0/0/21 (D)

VID	Status	Property	MAC-LRN	Statistics	Description
1	enable	default	enable	disable	VLAN 0001
2	enable	default	enable	disable	VLAN 0002
3	enable	default	enable	disable	VLAN 0003
4	enable	default	enable	disable	VLAN 0004

图 4 查看VLAN信息

同样配置交换机LSW3和交换机LSW4。
其次，配置交换机LSW1，将该交换机与其他3台交换机的连接端口设置成Trunk模式，具体配置如下。

```

<Huawei>system-view //进入系统视图
[Huawei]sysname LSW1 //为设备命名
[LSW1]vlan 2 //创建VLAN2
[LSW1-vlan2]vlan 3 //创建VLAN3
[LSW1-vlan3]vlan 4 //创建VLAN4
[LSW1-vlan4]quit //退出
[LSW1]port-group 1 //创建一个端口组1
[LSW1-port-group-1]group-member
GigabitEthernet 0/0/1 to GigabitEthernet
0/0/3 //将接口g0/0/1到g0/0/3加入到端口组1
[LSW1-port-group-1]port link-type
trunk //设置端口组1中端口为trunk模式

```

```

[LSW1-port-group-1]port trunk
allow-pass vlan all //允许所有VLAN通过
将3台交换机LSW2、LSW3以及LSW4与交换机LSW1
两两相连的接口配置成Trunk模式。
[LSW2]interface GigabitEthernet 0/0/1
//进入交换机端口g0/0/1
[LSW2-GigabitEthernet0/0/1]port
link-type trunk //设置为Trunk模式
[LSW2-GigabitEthernet0/0/1]port trunk
allow-pass vlan all //允许所有VLAN通过
[LSW3]interface GigabitEthernet 0/0/1
//进入交换机端口g0/0/1
[LSW3-GigabitEthernet0/0/1]port
link-type trunk //设置为Trunk模式
[LSW3-GigabitEthernet0/0/1]port trunk
allow-pass vlan all //允许所有VLAN通过

```

```
[LSW4] interface GigabitEthernet
0/0/1 //进入交换机端口g0/0/1
[LSW4-GigabitEthernet0/0/1] port
link-type trunk //设置为Trunk模式
[LSW4-GigabitEthernet0/0/1] port
trunk allow-pass vlan all //允许所有VLAN
通过
```

接下来按照表1所示配置主机A1、A4以及B2的网络参数。通过ping命令测试主机A1和A2以及A1和B2之间的连通性，结果表明：主机A1和主机A2能够正常通信，主机A1和主机B2之间不能正常通信，结果如图5所示。

```
PC>ping 10.1.1.4

Ping 10.1.1.4: 32 data bytes, Press Ctrl_C to break
From 10.1.1.4: bytes=32 seq=1 ttl=128 time=94 ms
From 10.1.1.4: bytes=32 seq=2 ttl=128 time=62 ms
From 10.1.1.4: bytes=32 seq=3 ttl=128 time=78 ms
From 10.1.1.4: bytes=32 seq=4 ttl=128 time=78 ms
From 10.1.1.4: bytes=32 seq=5 ttl=128 time=62 ms

--- 10.1.1.4 ping statistics ---
5 packet(s) transmitted
5 packet(s) received
0.00% packet loss
round-trip min/avg/max = 62/74/94 ms

PC>ping 10.1.1.20

Ping 10.1.1.20: 32 data bytes, Press Ctrl_C to break
From 10.1.1.1: Destination host unreachable

--- 10.1.1.20 ping statistics ---
5 packet(s) transmitted
0 packet(s) received
100.00% packet loss

PC>|
```

图 5 测试结果

4.3 仿真实现插入 VLAN 标记的 802.1q 帧

eNSP仿真软件中实现数据抓包功能，需要在主机中安装抓包软件WireShark。通过查看eNSP软件主菜单中“设置”选项，在弹出的窗口中选择“工具设置”，在“应用工具”中，可以浏览WireShark的安装路径。抓取交换机LSW1与交换机LSW2之间传输的IEEE 802.1q帧，需要进行抓包设置，具体在eNSP“工具栏”中单击“数据抓包”工具，在“采集数据报文”窗口中选择设备及接口，具体选择设备LSW1，接口为GEO/0/1，单击“开始抓包”按钮进行抓包。也可以直接将鼠标放置在需要抓包的设备端口上，单击鼠标右键，在弹出的菜单中选择“开始抓包”；或者将鼠标放置在需要抓包的设备上，单击鼠标右键，在弹出的菜单中选择“数据抓包”，接着选择需要抓包的接口即可。

为了能够抓取到802.1q数据包，需要从主机A1发

一个ping包给主机A4，传输VLAN2数据信息。在WireShark抓包软件中，可以抓取数据包信息，具体如图6所示。图中IEEE 802.1q标记类型值为“0x8100”，表示属于IEEE802.1q的数据帧，若不支持802.1q的设备收到这样的帧，会将其丢弃；接着2字节的标签控制信息字段TCI的二进制取值为00000000000010，其前3位二进制为“000”表示用户优先级字段，取值范围为0~7，值越大优先级越高，当网络阻塞时，交换机优先发送优先级高的数据帧；接着的一位二进制为“0”是规范格式指示符CFI/DEI，取值为0表示MAC地址以标准格式进行封装，为1表示以非标准格式封装，在以太网中，CFI的值为0；最后的12位二进制为“000000000010”，其十进制值为2，表示数据帧所属VLAN的编号为VLAN2^[16]。

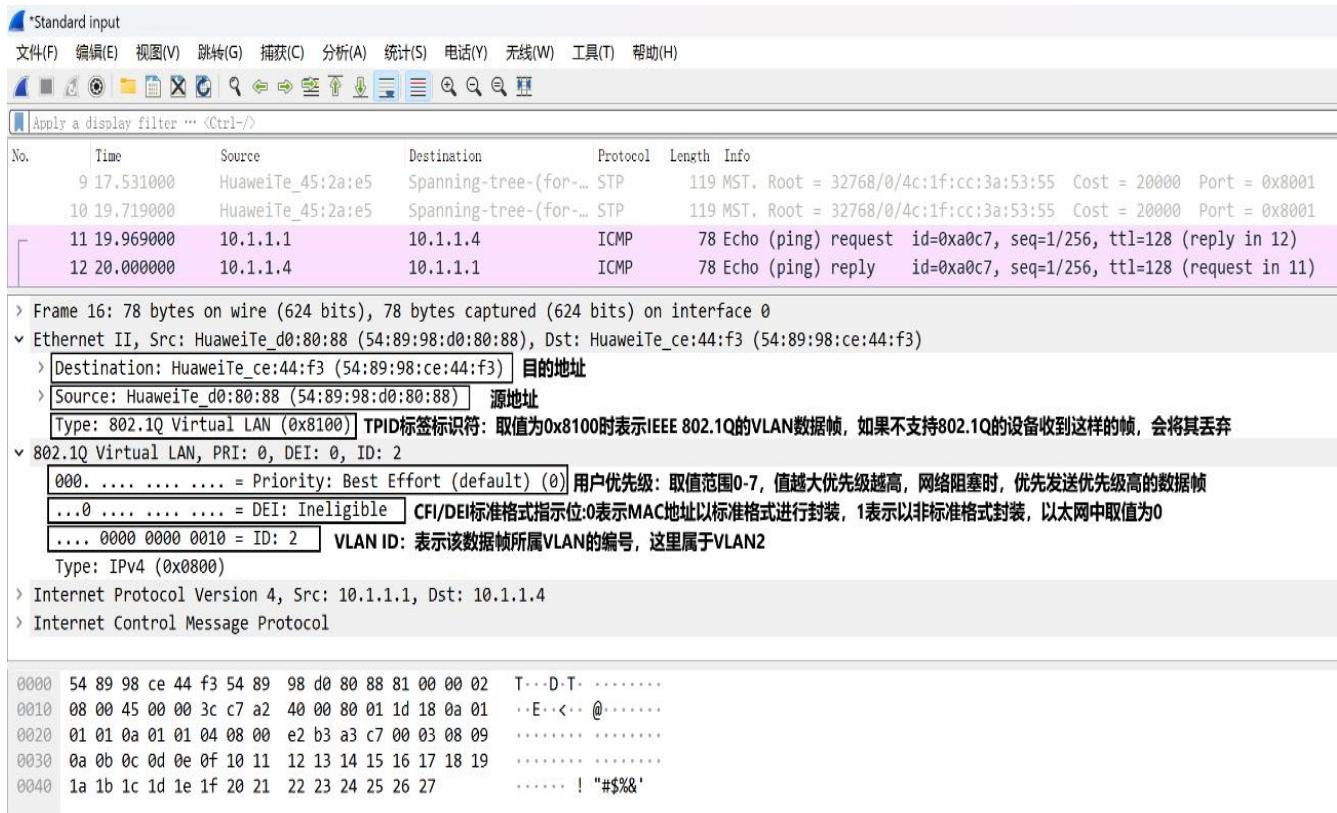


图 6 插入VLAN标记的802.1q帧结构仿真图

5 结束语

基于eNSP平台的IEEE 802.1q仿真实验验证了该协议在VLAN配置和以太网帧传输中的有效性，证实了其在现代网络设计中的重要应用价值。实验结果有助于深入理解IEEE 802.1q协议的工作原理，并提升网络教学效果。后续研究将扩展到SDN、云计算和边缘计算等新兴技术和应用场景，通过仿真评估该协议的适应性和性能。

参 考 文 献

- [1] 谢希仁. 计算机网络(第8版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2021
- [2] 唐灯平. 利用Packet Tracer模拟组建大型单核心网络的研究[J]. 实验室研究与探索 2011(1): 186-189+198
- [3] 李红岩;樊超. 基于Packet Tracer的现代交换原理虚拟仿真实验设计[J]. 实验技术与管理 2019(10): 167-170
- [4] 刘来玉;陈晨;董焱. 虚拟仿真实验教学助推双创教育的探索与实践[J]. 实验技术与管理 2017(12): 128-131
- [5] 唐灯平. 基于Packet Tracer数据链路层帧结构仿真实现[J]. 实验室研究与探索 2020(10): 126-130+140

- [6] 孙界平;琚生根;陈黎等. 计算机网络虚拟仿真实验平台的建设实践[J]. 实验技术与管理 2017(8): 115-117+128
- [7] 唐灯平;朱艳琴;杨哲, 等. 基于虚拟仿真的计算机网络管理课程教学模式探索[J]. 计算机教育 2016(2): 142-145
- [8] 刘向东;李志洁;焉德军, 等. IEEE 802.1Q VLAN 原理实验的设计与实现[J]. 实验室研究与探索 2011(4): 46-48+77
- [9] 孙界平;琚生根;陈黎, 等. 计算机网络虚拟仿真实验平台的建设实践[J]. 实验技术与管理 2017(8): 115-117+128
- [10] 唐灯平. 利用 packet tracer 模拟软件实现三层网络架构的研究[J]. 实验室科学 2010(3): 143-146
- [11] 唐灯平;赵志宏. 网络互联技术与实践(第2版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2022
- [12] 狄海廷;李耀翔;辛颖. 虚拟仿真实验室资源共享模式[J]. 实验室研究与探索 2015(12): 148-151
- [13] 唐灯平;朱艳琴;杨哲, 等. 计算机网络管理虚拟仿真实验平台设计[J]. 实验室科学 2016(2): 76-80
- [14] 唐灯平;张文哲;张宏斌. “网络信息安全”课程思政教学探索与实践[J]. 计算机技术与教育学报 2024(6): 79-82+90;
- [15] 华为技术有限公司. HCNA 网络技术实验指南[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014
- [16] 唐灯平;张文哲;张宏斌. “计算机通信与网络”课程思政教学探索[J]. 计算机技术与教育学报 2024(11): 184-192