QinQ 技术在城域以太网精细化运营中的应用①

Application of QinQ in Precision Operation of Metro Ethernet

李馥娟 (江苏警官学院 公安科技系 江苏 南京 210012)

摘 要: 提出了利用 QinQ 技术解决传统以太网在电信运营级网络中存在的应用缺陷，为以太网应用从 LAN 扩展到 MAN 提供了一种可行的解决方法和思路，使以太网从一个单纯的业务网络发展成为一个运营级承载网络。QinQ 技术通过在 IEEE 802.1Q 基础上又添加了一层 VLAN 标签，扩展了 VLAN 的数量空间，提供了服务质量和用户业务的透传功能。在详细分析了 QinQ 实现原理的基础上，结合城域以太网精细化运营的要求，给出了符合运营商需求的解决方案。

关键词: VLAN QinQ 城域以太网 封装 服务质量 透传

1 引言

城域网，尤其是电信运营商和专网的城域网成为当前业界普遍关注的热点。近年来，随着 IPTV、VoD、VoIP 等基于 IP 网络的大容量数据传输系统的应用以及电信市场的进一步开放，以电信运营为主的城域网技术正面临着从传统网络向各种新业务过渡的压力。与此同时，以太网(Ethernet)技术因结构简单、组网灵活、价格低廉、使用广泛，已占据局域网 90%以上的份额，而且还在逐年上升。其中，2002 年推出的 IEEE 802.3ae 万兆以太网标准，其物理层分为“LAN PHY”(局域网物理层)和连接 SDH/SONET 的“WAN PHY”(广域网物理层)两个标准[1]，这也意味着以太网技术从 LAN 向着 MAN 和 WAN 的扩展已经有了标准保障。受技术和应用需求的双重驱动，城域以太网(Metro Ethernet，MEN)应运而生，且因具有可承载 IP 业务、在路由接口处无需任何映射、不涉及分片操作、与端系统具有相同的帧结构等特点，很快成为电信运营商的首选。城域以太网被确定为承载所有业务类型的运营级承载网络，而非单纯的业务网络。

城域以太网在沿袭了以太网优点的同时，其本身在用户管理、网络可靠性、服务质量(QoS)、VLAN 数量限制等方面存在的问题，成为阻碍城域以太网应用的主要因素，也成为 ITU-T、IEEE、MEF 和 IETF 等行业标准化组织需要研究解决的主要问题。本文讨论的 QinQ 技术，通过在 802.1Q VLAN 的基础上又增加了一层 VLAN 标签，来适应城域以太网的应用需求，为电信运营商业务的精细化运营提供了技术支撑。

2 QinQ技术原理

2.1 QinQ 数据帧的结构

QinQ 即 802.1Q in 802.1Q，其中文解释为 802.1Q 隧道协议，相关技术细节在 IEEE 802.1ad 文档中进行了描述[2]。QinQ 数据帧的格式如图 1 所示，是在标准的 IEEE 802.1Q 数据帧的外层又添加了一层 IEEE 802.1Q 标签，从而形成双层 IEEE 802.1Q 标签的帧结构。其中，内层的 IEEE 802.1Q 标签仍然标识局域网个人用户或应用，而外层的 IEEE 802.1Q 标签插入到 SA(Source Address)字段之后，由城域以太网运营商在 UNI(User-Network Interface)处添加，用于标识不同的服务或局域网用户。为便于区分，将内层 IEEE 802.1Q 标签称为 Customer VLAN tag (简称 C-VLAN tag)，而将外层 IEEE 802.1Q 标签称

① 基金项目:江苏省现代教育技术研究“十一·五”规划课题(2007-R-5319);江苏警官学院院级科研项目(08Z10)
收稿时间:2009-03-18

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

为 Service Provider VLAN tag(简称 SP-VLAN tag)[3]。

其中，TPID(Tag Protocol Identifier)是 IEEE 定义的一种新类型(type)，在 C-VLAN tag 中该值一般为固定值 0x8100，表明这是一个添加了 IEEE 802.1Q 标签的帧。而在 SP-VLAN tag 中，该值可以由用户指定，但一般为 0x9100，表示是一个 QinQ 封装的数据帧。

TCI(Tag Control Information)由以下 3 个子域组成：

① Priority(优先级)。该子域占用 3bits，可提供 0~7 共 8 个不同的优先级，使设备能够为不同的数据帧提供不同的服务质量。在 IEEE 802.1Q 数据帧中，该子域的功能目前尚未使用。但在 QinQ(包括 C-VLAN tag 和 SP-VALN tag)数据帧中，可通过该子域的功能实现局域以太网和城域以太网的优先级服务。

② CFI(Canonical Format Indicator)。该子域占用 1bit，用于标识 MAC 帧的格式，实现以太网与令牌环网之间的兼容[4]。在 C-VLAN tag 中，当帧是 IEEE 802.3 以太网帧时该位为 0，当是 IEEE 802.5 令牌环帧时该位为 1。但在 SP-VLAN tag 中，该子域设置为 0。

③ VID(VLAN ID)。该子域占用 12bits，是 VLAN 的核心部分，用于分配数据帧的 VLAN 值。

另外，以太网帧结构中的 LEN/TYPE 字段用于标识该数据帧的 Data 区域封装的数据类型，如果该字段中的 TYPE 值为 0x8100 说明内部封装的是 IP 分组，如果内部封装的是 ARP 报文则该值为 0x0806，等等。

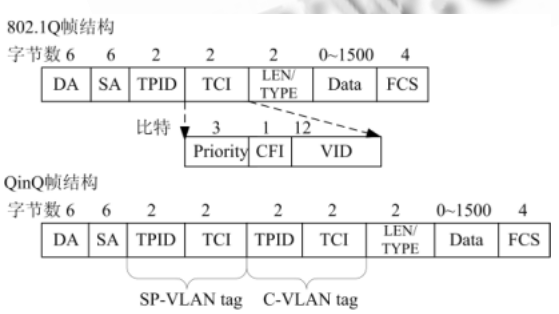

图 1　802.1Q 帧结构与 QinQ 帧结构

2.2 QinQ 数据帧的封装

QinQ 封装是指将单标签的 IEEE 802.1Q 数据帧转换为双标签的 QinQ 数据帧的过程。封装一般在 UNI 处的交换端口上进行，分为基于端口的 QinQ 封装和基于流的 QinQ 封装两种类型。QinQ 封装除主要在交换端口上进行外，也可以在路由子端口上进行封装[5]。

其中，基于端口的封装指凡是进入某一交换端口的流量都添加一个 SP-VLAN tag。而基于流的封装是指对进入某一交换端口的数量流首先进行分类，然后对不同的数据流添加不同的 SP-VLAN tag。两者相比，基于端口的封装实现容易、管理方便，但应用较为死板、单一。而基于流的封装虽然配置较为复杂，对设备性能的要求较高，但应用灵活，非常适合运营商精细化运营的需求。

当城域网的核心网络采用 L2 VPN 透传用户数据时，PE(Provider Edge)设备上的路由子端口可以根据不同的 C-VLAN tag 来添加不同的 SP-VLAN tag。该方法可以通过一个子端口来透传多个标识用户的 VLAN ID，该路由子端口也称为 QinQ Stacking 子端口。

2.3 QinQ 数据帧的终结

终结也称为解封装，是封装的逆过程，具体是指对 QinQ 的双层 tag 进行识别，并根据后续的转发策略决定取消 tag 或继续进行发送。QinQ 终结端口与普通的 IEEE 802.1Q 终结端口类似，普通的 IEEE 802.1Q 终结端口仅对单层的 VLAN tag 进行识别和终结，而 QinQ 终结端口则对双层 VLAN tag 进行识别和终结。QinQ 终结的具体端口、实现方法和功能，与具体应用环境有关。

2.4 QinQ 数据帧的转发过程

QinQ 数据帧在转发过程中，只有对 QinQ 进行封装和终结的两端设备才需要处理 QinQ 数据帧的双层 tag，而其他的中间设备只需要处理外层的 SP-VLAN tag。这样，对于城域以太网运营商来说，只需要使 UNI 处的 PE 设备支持 QinQ，而中间设备可以继续使用不支持 QinQ 的普通设备，降低了网络的建设和运营成本。由于 QinQ 操作对用户来说是透明的，所以用户端设备 CE(Customer Edge)的工作模式并未发生变化。为此，QinQ 封装和终结的端口集中在 UNI 处的 PE 设备上，可分为接入端口(Access Port)和上联端口(Uplink Port)，如图 2 所示。

由于 CE 不参与 QinQ 的操作，所以在 PE 的接入端口上数据帧的操作过程如下：

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

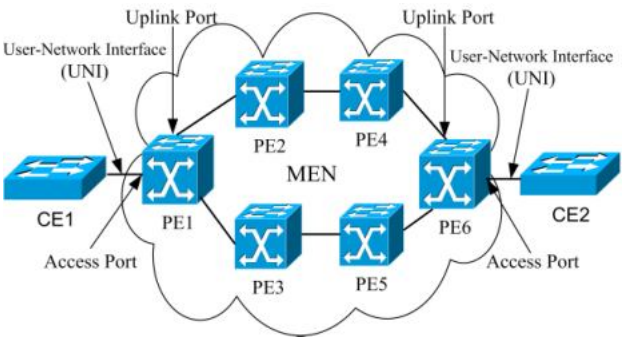

图 2 城域以太网中的设备及端口类型

(1) 处于 UNI 处的 PE 从 CE 处接收数据帧，并提取 DA 字段中的 MAC 值，然后在 PE 的 MAC 地址表中进行查询。如果有该 MAC 值对应的记录，则进入第(2)步的操作，否则进入第(3)步的操作；

(2) 从 PE 的 SP-VLAN 配置列表中提取出接收该数据帧端口或数据流对应的 SP-VLAN ID；

(3) 查看数据帧在离开 CE 设备时是否已添加了 C-VLAN tag 标签，如果有 C-VLAN tag 标签则继续保留，否则便添加一个缺省的 C-VLAN ID。该缺省 C-VLAN ID 可以是基于端口、协议、MAC 或子网的；

(4) 对于单播以太网帧(Unicast)则用 DA 和 SP-VLAN ID 作为索引查找二层转发表(L2 Forwarding Table)，将得到出端口的值。对于组播以太网帧(Multicast)、MAC 地址未知的帧、广播帧(broadcast)或在查找二层转发表时失败的数据帧(Destination Look-up Failure，DLF)，将通过端口位映射操作，从 VLAN Table 中查找该帧所对应的 VLAN 成员端口(不包括入端口)，将其作为出端口；

(5) 出端口是否要设置 QinQ(是否添加 SP-VLAN tag)？如果是，则添加 SP-VLAN tag，并根据相应的策略或 SP-VLAN tag 的等级服务(CoS)值，设置 SP-VLAN 的优先级，形成完整的 QinQ 数据帧，然后通过出端口转发出去；如果否，直接将仅包含有 C-VLAN tag 标签的数据帧从相应的端口转发出去(这种情况一般很少见)。

在 QinQ 数据帧的转发过程中，通过上联端口的数据帧已经拥有 SP-VLAN ID，所以处理方式要比接入端口简单，具体操作过程如下：

(1) 查看数据帧中 TPID 字段是否为 SP-VLAN ID(其值是否为 0x9100)？如果是，说明该数据帧支持 QinQ 操作模式，并进入第(2)步的操作；如果不是，说明该数据帧不支持 QinQ 操作模式，该数据帧将交给相应的软件分析模块进行处理；

(2) 对于单播以太网帧，则用 DA 和 SP-VLAN ID 作为索引查找二层转发表，得到出端口；对于组播以太网帧和 DLF 帧，则通过端口映射操作得到出端口；

(3) 构建帧的出端口的位映射；

(4) 根据相应的策略，利用 C-VLAN tag 中的 CoS 值来设置 SP-VLAN tag 中的 CoS 值。同时，对于一些具有特殊目的 MAC 地址的帧，可根据需要有选择性地交给相应的分析软件模块进行处理；

(5) 通过出端口转发 QinQ 数据帧。

3 QinQ技术的主要特点分析

3.1 扩展了 VLAN 数量空间

因为标准 IEEE 802.1Q 中定义的 VLAN ID 域只有 12bits，仅能标识 4k(2^{12}=4096)个不同的 VLAN，这虽然能够满足局域网的应用需要，但在城域以太网应用中就显得不足了。QinQ 扩展了 VLAN 的数量空间，通过在原有 IEEE 802.1Q 数据帧的基础上再添加一层 IEEE 802.1Q 标签，使 VLAN 的数量达到了 4k×4k，如此丰富的 VLAN 数量为运营商的精细化运作提供了资源保障。

在标准的 QinQ 数据帧中，VLAN 分为 C-VLAN ID 和 SP-VLAN ID 两部分，各占用 4k 的数量空间，是分开使用的。现在，一些设备制造商为了追求 VLAN 数量，开始提出 4k×4k 的整合方案，在应用中不再区分 C-VLAN ID 和 SP-VLAN ID。

3.2 提供优先级服务

IEEE 802.1Q 数据帧虽然提供了 3bits 的 Priority(优先级)字段，但并没有得到应用。而在 QinQ 数据帧中，可通过 SP-VLAN tag 中提供的 Priority 得到 8(23)个不同的优先级，用来支持和区分不同的服务。如图 3 所示，运营商在 UNI 处的 PE 上可以根据用户数据帧的 C-VLAN ID 实现不同的服务等级，例如可以将 C-VLAN10~19 的用户数据映射为 SP-VLAN 10，C-VLAN 20~29 的用户数据映射为 SP-VLAN 20，C-VLAN 30~39 的用户数据映射为 SP-VLAN 30，等等。然后，为 SP-VLAN 10、SP-VLAN 20 和 SP-VLAN 30 分别指定的不同的服务等级，不同的服务等级享有不同的服务质量，享有不同服务质

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

量的用户需要支付不同的网络使用费用。这一实现过程只需要在运营商的边界 PE 上进行，不同的 SP-VLAN ID 设置标识不同的服务，不同的 SP-VLAN CoS 设置标识不同的 CoS，运营商可以根据 SP-VLAN ID 和 SP-VLAN CoS 的组合细化服务类型。

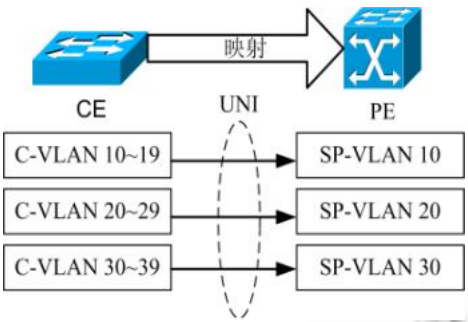

图 3　使用 SP-VLAN ID 映射不同的服务类型

除基于不同的 C-VLAN ID 指定不同的服务等级外，运营商还可以根据以下的方式设置不同的服务等级：

(1) 根据 UNI 处 PE 的端口来设置不同的 SP-VLAN ID；

(2) 根据用户数据帧中的 C-VLAN ID+Priority 来提供不同的服务等级。当同一用户的多种业务使用相同的 VLAN ID 时，可以根据不同业务的 Priority 来设置服务等级；

(3) 根据目的 IP 的不同设置不同的服务等级。当同一 LAN 或 PC 既包括普通 IP 应用，又包括 IPTV、VoIP 等实时性应用时，可以根据不同应用的目的 IP 地址设置不同的服务等级；

(4) 根据 LEN/TYPE 字段中的 TYPE 值设置不同的服务等级。当同一 LAN 或 PC 同时包括 PPPOE、IPOE 等业务时，可以根据 LEN/TYPE 字段中的 TYPE (PPPOE 为 0x8863/8864、IPOE 为 0x0800 等)值来设置不同的服务等级；

(5) 在 UNI 接口处，也可以直接将用户 C-VLAN 中的 Priority 字段内容直接映射到 SP-VLAN 中的 Priority 字段中，为同一 SP-VLAN ID 中的不同用户提供相同的服务质量[6]。

3.3 实现用户数据的透传

QinQ 技术实现了基于数据链路层的隧道功能，实现对用户数据的透明传输。运营商为每一个服务实例分配一个 SP-VLAN ID，然后将用户的一个或一组 C-VLAN ID 映射到该 SP-VLAN ID 上。该映射过程其实质是在代表用户应用实例的 C-VLAN tag 外添加一层代表运营商服务实例的 SP-VLAN tag，将用户的 C-VLAN tag 保护起来，经在 UNI 处聚集后，从运营商网络的一端透传到另一端。

使用 QinQ 技术的透传功能，可以将分布在不同地理位置的多个 LAN 以隧道方式连接起来，对 LAN 用户来说这种连接类似于使用专线方式。在数据帧的整个转发过程中，除 UNI 处之外的其他运营商设备只需要考虑 SP-VLAN tag，其内部的 C-VLAN tag 不被访问，从而提高了运营商设备的数据转发效率。

4　QinQ技术在细化用户业务中的应用

目前 xDSL 的应用非常普及，利用 QinQ 技术可优化 xDSL 的应用，细分城域以太网运营商的服务内容。如图 4 所示，同一用户使用 PC 上网、IPTV、VoIP 多种业务，为了细化对用户业务的管理，运营商首先对不同的用户业务分配不同的 C-VLAN ID 范围，例如 PC 上网为 C-VLAN 99~500，IPTV 为 C-VLAN 501~800，VoIP 为 C-VLAN 801~1200 等。在 UNI 处的 PE 上，运营商为不同的用户业务（对应不同的 C-VLAN 范围）分别设置不同的 SP-VLAN ID，如 PC 上网业务为 SP-VLAN 100，IPTV 为 SP-VLAN 500，VoIP 为 SP-VLAN 800 等。此时，内层 VLAN tag 代表了用户信息，而外层 VLAN tag 代表业务信息。

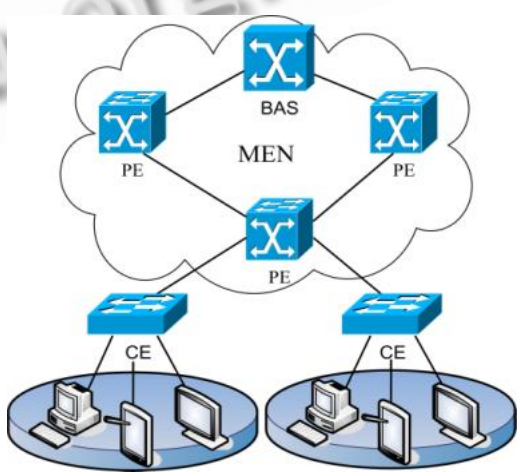

图 4　利用 QinQ 细化用户业务

用户数据的转发过程为：用户端设备接入信息化小区的 LAN 交换机(CE)，在 LAN 交换机上根据用户

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

信息的不同分配不同的 C-VLAN ID，形成标准的 IEEE 802.1Q 数据帧；IEEE 802.1Q 数据帧到达 UNI 处的 PE，在接入端口上根据 SP-VLAN 配置列表添加 SP-VLAN ID，形成 QinQ 数据帧；QinQ 数据帧依据 SP-VLAN ID 信息在运营商的城域以太网中传输，最终到达 QinQ 终结设备 BAS(宽带接入服务器)；BAS 进行 QinQ 终结，然后通过上联端口将数据交给核心网(在图中未画出)；根据核心网配置的不同，进入后续的 IP 转发或 VPN 传输。

需要说明的是：在该方案中 BAS 的作用是对用户二层数据进行终结，作为用户接入网关，同时提供路由服务。

5 结语

在当前的城域网应用领域，以太网已经成为最热门的解决方案，城域以太网已从单纯的业务网络逐渐发展为承载网络。然而，在以太网应用从 LAN 向 MAN 甚至是 WAN 的过渡中，需要同时解决 4096 个 VLAN 数据的限制、提供透明传输、提供服务质量保证等一系列问题。IEEE 802.1Q 定义了一个物理链路上承载多个逻辑子网(VLAN)的方法，而 QinQ 通过双层标签扩展了 IEEE 802.1Q 的应用。随着城域以太网的发展，QinQ 以其简单、灵活和多业务支持等特点，在城域以太网的应用中正在起着十分重要的作用，为运营商实现对城域以太网的精细化管理提供了可行性。当然，城域以太网目前还是一个新的研究领域，为了能够满足不断发展的应用需求，一些问题还需要在应用中不断发现，并得以解决。

参考文献

1 Draft A.10 gigabit ethernet techonlogy overview white paper revision 2.[2002-04]. http://www.10gea.org

2 Tony J. IEEE 802.1ad.[2007-06]. http://www.ieee802.org/1/pages /802.1ad.html

3 Metro Ethernet Forum. Ethernet Services Model, Phase1.[2003-10].http://metroethernet forum.org/PDFs/Standards/MEF1.pdf

4 Andrew S. Tanenbaum.Computer Networks(Fourth Edition).北京:清华大学出版社, 2008.333－336.

5 华为技术有限公司.QinQ 技术白皮书. [2007-06]. http://www. huawei.com/cn/products/datacomm

6 Haddock S. 802.1ad Architecture, Diagrams. [2003-07]. http://www.ieee802.org/1/files/public/docs2003/802-1ad-architecture-Haddock.pdf

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn