

电信级以太网业务及技术

Carrier Ethernet Services and Technologies

中图分类号: TN915; TP393.4 文献标识码: A 文章编号: 1009-6868 (2008) 06-0001-06

摘要: 电信级以太网(CE)泛指运营商基于以太网技术向用户提供标准化的具有良好可扩展性、可靠性、可管理性和服务质量(QoS)保证的电信级传送业务,其重要特征是实现技术的多样性。增强以太网技术以提高可扩展性为其首要目标,扩展传统以太网桥技术的最新的PBB-话务工程(PBT)代表了CE的技术发展方向。多协议标记交换(MPLS)技术基于标记交换路径为CE提供可靠的伪线连接,它和运营商骨干网桥(PBB)技术的结合是CE演进的重要方向之一。光环网技术充分利用已有的光传输网络基础设施,是CE最为经济有效的实现方法。未来发展方向是在保持简单性和经济性的基础上着力加强操作、管理、维护(OAM)功能和控制平面功能。

关键词: 电信级以太网(CE);业务模型;运营商网桥网络;多协议标记交换网络;光环网

Abstract: Carrier Ethernet (CE) is an inclusive term standing for any operator provided and Ethernet technology based standardized carrier grade transport services with good scalability, reliability, manageability and Quality of Service (QoS) guarantee. One of its important characteristics is the diversity of its implementation techniques. Targeting to the improvement of scalability, the enhanced Ethernet technology extends the traditional Ethernet bridging technology with PBB-Traffic Engineering (PBT) as the representative development direction of CE. Multi Protocol Label Switching (MPLS) provides CE with reliable pseudo wire connection based on label switched path. In particular, the combination of MPLS in conjunction with Provider Backbone Bridge (PBB) is one of the important directions in the CE evolution. Taking full advantage of the existing infrastructure of optical transmission networks, the optical ring networking technology exhibits itself as the most economic implementation scheme of CE. The future development will focus on the enhancement of Operation Administration Maintenance (OAM) and control plane functions with the premise that CE keeps to be simple and inexpensive.

Key words: Carrier Ethernet (CE); service model; provider bridged network; MPLS network; optical ring networking

糜正琨/Mi Zheng-kun

(南京邮电大学,江苏南京 210003)

(Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China)

扩容升级等成本将更加昂贵。为此,运营商迫切需要一种适于多业务IP网络环境的灵活高效的宽带传送技术,要求具有良好的技术经济性,能在大规模网络上部署运行,而且对于用户来说能够即插即用。正是在这一背景下,业界提出了电信级以太网的概念。

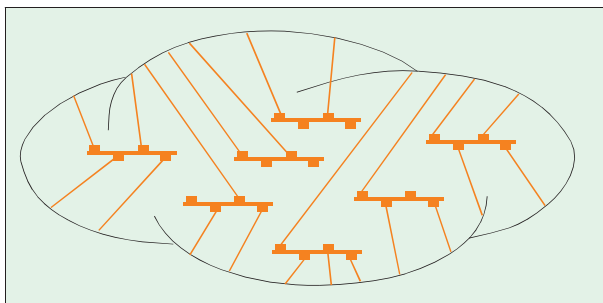
众所周知,以太网是计算机网络中应用最为广泛的一种局域网技术,以太网帧可以封装任何协议数据,实际上大量携带的都是IP数据包。自从Internet问世以来,以太网就是IP网络的第一级汇聚网络,互联网工程任务组(IETF)定义了大量的技术规范使得用户主机可以方便地经由以太网接入Internet,以太网的广播特性极大地简化了用户自动发现、地址聚合、可靠接入的实现。

以太网技术的突出优点是易于使用、成本低、灵活性好。以太网通过全球标准化的网络接口提供服务,几乎所有IP网络设备和主机都装备有以太网网卡。采用以太网技术联网,对于用户来说可以即插即用,对于运营商来说可以简化网络的运行、管理和配备。由于网卡价格低廉,设备、服务和运行成本低,用户可以按需请求带宽(如以1 Mb/s为单位增加带宽),而且带宽调整在几分钟内就可以完成,无需增添设备或求助运营商维护人员,因此采用以太网可以有效地降低运营商和用户的建设成本(CAPEX)和

1 电信级以太网提出背景

随着Internet和基于IP的下一代网络的迅速发展,IP网络已经成为多业务宽带信息通信网络基础设施,包括语音、视频在内的各种通信应用都以IP数据包的方式在网络中传递,通信网已经从以话音业务为主转为以数据业务为主,用户对于接入带宽的需求正日益快速地增加。长期

以来,面对宽带数据业务的需求,运营商通常采用数字数据网(DDN)、帧中继、异步传输模式(ATM)等技术部署其数据网络,这些技术服务质量高、安全性好,可以很好地为企业用户提供专线服务。但是,在以IP为核心的下一代网络环境中,这些技术显得灵活性不够、成本较高,尤其是难以延伸到用户端,随着厂商在这些技术上的投入日益减少,其运行维护和



▲图2 电信级以太网连接示意图

决定了CE业务的类型。

2.2 CE业务分类

MEF定义了3类CE业务：E-LINE、E-LAN和E-TREE。E-LINE是最简单的基本业务类型，对应于EVC的点到点连接形态，常称为专线业务，可以传送任何Ethertype定义的分组类型。E-LAN提供局域网的单播、多播、学习和IP分组传递能力，对应于EVC的多点到多点连接形态，其多播的实现充分利用了以太网固有的技术特点。E-TREE是E-LAN的简约形式，数据帧由一个特定的源点多播至所有的目的地，对应于EVC的多点到多点连接形态，其典型应用是至家庭用户的视频广播以及接入网络中提供各用户之间的2层隔离。上述每一种连接可以是针对整个UNI端口的，也可以是针对UNI中的某个虚拟局域网（VLAN）的，据此可将每一类业务再划分为“专用”和“虚拟专用”两个子类，例如以太网-专线和以太网-虚拟专线业务。

MEF按照“类型-属性-参数”的方式来描述每个特定业务的特性，共定义了以下9个属性，每个属性可包含多个参数：以太网物理接口，物理媒体、速率、传送模式和MAC层类型；带宽参数，UNI/EVC/服务类别的承诺速率和超量速率；性能参数，可用性、帧时延、帧抖动、帧丢失率；服务类别（CoS），按照不同标准划分的服务类别；业务帧传递，允许传递的帧类型及其允许接入的UNI；VLAN标签支持，VLAN标签支持能力及标签处理

方式；业务复用，UNI是否支持多个EVC；绑定，用户VLAN标记至EVC的多对一映射；安全过滤器，接入筛选控制。

通过类别-属性-参数的组合，可以定义众多不同的业务实例，每个业务实例的数据帧由一个EVC传递。

3 电信级以太网技术

可扩展性是电信级以太网技术首先需要解决的重要问题，即如何使运营商网络能够支持大量并存的CE业务实例。对于企业应用来说，大型城域网应能支持数万个EVC，跨越广域网应能支持数十万个EVC；对于家庭应用来说，大型城域网通常需支持数十万至数百万个EVC；对于E-LAN业务来说，大型城域网应能支持数万至数十万个MAC层地址，跨越广域网的全球应用应能支持数十万至数百万个MAC层地址。另一个重要的问题是必须使CE具有局域网所没有的可靠性和OAM能力。

根据上述要求，IEEE、IETF和ITU-T分别以以太网技术、MPLS技术和光传输技术为基础，提出了多种电信级以太网技术，大体上可分为增强以太网技术、MPLS技术和光环网技术3大类。同时，还提出了针对电信级

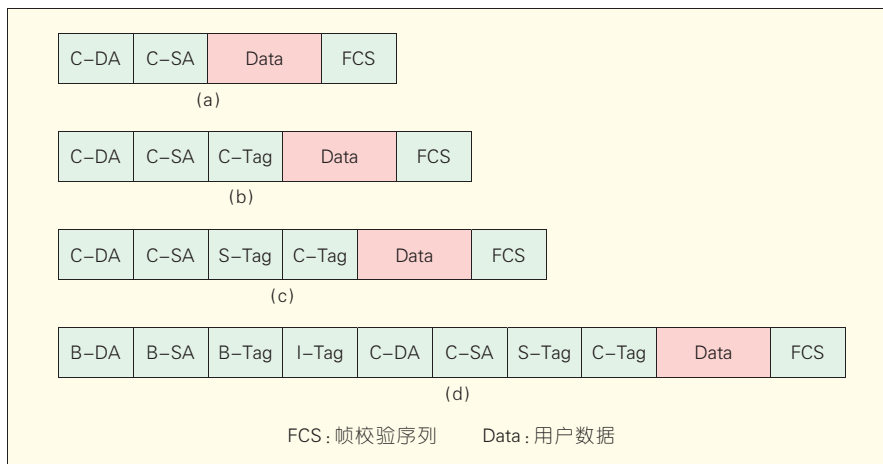
以太网的OAM技术。

3.1 增强以太网技术

这是IEEE的技术思路，主要基于VLAN技术，并通过层次化结构、简化桥接处理等方法增强以太网的可扩展性，使其可应用于运营商网络。其技术演进路线是：802.1（Ethernet，普通以太网）→802.1Q（VLAN，虚拟局域网）→802.1ad（PB，Q in Q）→802.1ah（PBB，MAC in MAC）→802.1Qay（PBB-TE），图3示出各种标准对应的帧格式。

应用于局域网的普通以太网是一个共享媒体，网桥是其实现互联和数据转发的主要技术。通过运行生成树协议（STP）建立连通所有网桥的无环路的最小生成树，网桥通过MAC地址学习过程建立至各节点的转发表，沿着该生成树将单播或多播数据帧送达目的地节点，获得零配置的即插即用能力，这样的网桥常称为透明网桥。普通以太网的帧格式如图3(a)所示，数据根据用户目的MAC地址（C-DA）转发，所有端设备通过LAN互相连通，构成一个单一的广播域。

为了隔离不同的用户群，提供通信安全，802.1Q引入了VLAN^[3]。如图3(b)所示，其帧格式中增加了C-Tag标签，该标签由源端网桥添加，其中包含用户VLAN标识（C-VID），所有网桥只允许数据帧转发至VLAN配置和



▲图3 各种以太网帧格式

标签相同的端口。这样,一个物理网络可被划分为互相隔离的多个广播域,只有属于同一VLAN的端设备才能互发数据;而且网桥学习时数据帧只需要在一个VLAN范围内洪泛,可有效地减少网络带宽消耗。该协议设计目标是用于中型规模的LAN,因此C-VID的长度定为12 bits,即最多只能定义4 096个VLAN。

引入VLAN后,运营商只要为每个CE用户分配一个不同的C-VID,就可以利用网桥网络为不同的用户提供电信级以太网服务了,例如为多个企业提供LAN互联业务。但是,由于C-VID是用户自行决定的,为了避免冲突,运营商必须对用户VLAN-ID的分配进行协调,这将增加系统运行的复杂性。为此,802.1ad引入了VLAN堆栈的概念^[4],在帧格式的C-Tag之前再增添一个S-Tag标签,其中包含供运营商网络使用的业务VLAN标识(S-VID),如图3(c)所示。由于有两个标签,因此又称为Q in Q标准,相应的运营商网络称为运营商网桥网络(PBN)。在PBN中,网桥根据S-Tag转发数据帧,S-Tag对应于CE业务实例,C-Tag不起作用,不同业务实例的C-Tag可以相同。当数据帧进入PBN时,由入口边缘网桥添加S-Tag,离开PBN时,由出口边缘网桥删除S-Tag。

上述VLAN堆栈技术使用户域的C-VID和运营商域的S-VID互相独立,但是仍然没有解决CE的可扩展性问题,因为S-VID的长度仍然是12 bits,即最多只能支持4 096个业务用户,限制了运营商网络的服务规模,影响其收入。另外,尽管S-Tag是业务实例的唯一标识,PBN网桥转发时仍然必须学习C-DA,由于端用户数量极大,这也限制了运营商网络的可扩展性。为此,802.1ah引入了运营商网络的分级结构^[5],在PBN之上再加一级运营商骨干网桥网络(PBBN),相应地在帧格式中再添加一个I-Tag标签,如图3(d)所示,对应于PBBN中的业务实例,该标签中包含的业务标识(I-SID)的长

度为24 bits,即PBBN可以提供多达约1 600万(224)个CE业务实例,解决了业务实例的可扩展性问题。进一步,在I-Tag之外又添加了B-DA、B-SA和B-Tag这3个字段。其中,B-DA和B-SA分别是PBBN出口和入口边缘网桥的骨干MAC层地址,需要注意的是,骨干MAC层地址是由运营商分配的,独立于用户MAC层地址。当数据帧进入PBBN时,由入口边缘网桥确定并添加这两个字段,于是在PBBN中转发数据时只需学习骨干MAC层地址即可,不需要学习用户MAC层地址。由于边缘网桥的数量有限,因此它解决了MAC层地址学习的可扩展性问题。B-Tag是PBBN内有效的VLAN-ID,长度为12 bits,其作用是将PBBN进一步划分为多个广播域,以提高带宽利用率,并可藉此实现PBBN的网络负荷分担。PBBN入口边缘网桥首先学习数据帧的C-DA和C-SA,确定B-DA和B-SA,再根据C-Tag/S-Tag映射得到I-Tag,最后将I-Tag绑定至B-Tag中,PBBN中的网桥将根据B-DA和B-Tag进行数据转发。由于帧格式中有两层MAC地址,因此802.1ah又可以被称为MAC in MAC标准,实际上PBBN本身还可以分级,即可以有更多层MAC层地址,因此它有效地解决了CE的可扩展性问题。

上述运营商骨干网桥(PBB)技术解决了可扩展性的问题,但是数据转发还是无连接模式。为了提高QoS性能,IEEE又在其基础上作少量改动,提出了PBB-话务工程(PBB-TE)技术,简称PBT,即802.1Qay标准^[6]。它保留MAC in MAC帧格式,但是关掉了以太网的生成树和MAC地址学习功能,通过建立面向连接的隧道进行数据转发,并增强一些电信级OAM功能,从而提供具有类似同步数字体系(SDH)可靠性和管理能力的硬QoS和电信级性能的专用以太网链路,将无连接的以太网改造为面向连接的网络,实现以太网上端到端的业务提供和管理功能。

由于PBT数据转发功能不再依靠传统的泛洪和学习过程,而是由网管或控制平面直接提供,一方面消除了未知地址泛洪的广播功能,进一步提高了网络的扩展性,另一方面,将大量IEEE和ITU定义的物理层或网络层网管功能移植到数据链路层,使链路无需超额指配容量就能提供硬QoS,可实现带宽预留和50 ms的保护倒换时间,基本达到了类似SDH的电信级网管功能。另外,作为二层隧道技术,PBT可以与现有WAN技术互通,不仅能支持各种以太网业务,而且还能支持各种基于MPLS的业务,包括二层的VPLS和伪线业务以及三层的VPN业务,具有相当的业务灵活性。在具体部署时,可以通过B-Tag的划分,使PBBN内部的一部分VLAN采用PBB,另一部分采用PBT,实现两种技术的组合。

目前的PBT技术主要是基于静态预配置方式实现面向连接的数据转发,随着网络规模的增加可能会产生N平方问题,因此,IETF正在考虑在其上引入G-MPLS作为控制平面。

3.2 MPLS技术

MPLS的重要技术特点是支持无连接和面向连接技术的有机结合,既可以利用灵活的三层路由协议建立和维护IP数据包传送路径,又可以重用帧中继、ATM、以太网等各种二层交换技术快速转发数据包。十多年来,各国通信界投入大量的资金开发和完善该项技术,使其不但可提供电信级QoS,而且具有良好的可扩展性,已成为公认的核心网络的主流传送技术。MPLS支持大规模网络路由、资源预留、VPN、话务工程(TE)等传送功能,支持跨地区、跨运营域组网,许多功能是以以太网没有的,要重新开发并达到同样的技术成熟度至少要花费数年的时间。因此,上述PBB等以太网网桥技术不可能替代MPLS技术,两者是互补的关系,以太网网桥技术作为有效的接入和城域网传送技术,

MPLS作为更大范围的核心网传送技术,两者互相配合完成数据帧在广域范围的端到端传递。

就电信级以太网技术而言,所用到的MPLS技术主要是虚拟专用LAN业务(VPLS)、层次化VPLS(H-VPLS)和传送MPLS(T-MPLS)技术。

VPLS是IETF提出的技术标准^[7],它利用MPLS的二层VPN技术构建虚拟以太网,连接位于网络边缘的多个站点,是点到点二层VPN虚拟专线业务(VPWS)的扩展。VPLS可以视为由一组互联的虚拟交换实体(VSI)组成的一个逻辑桥接广播域,每个VSI类似于802.1Q定义的桥接功能,根据目的MAC地址和二层VPN成员标识转发数据帧,未知地址帧、广播帧和多播帧则洪泛至VSI的所有端口。

H-VPLS是对于VPLS的扩展,旨在改进其可扩展性。它将MPLS网络分解成一个核心网和若干个通过核心网互联的接入域,核心网的边缘设备称为网络提供商边缘设备(nPE),接入域和用户接口的边缘设备称为用户边缘设备(uPE)。uPE只需要学习本地的nPE设备,通过伪线建立与后者的连接,全网状的VPLS互联仅发生在核心网的nPE之间。进一步,还可以将核心MPLS网络分解成若干个VPLS子网,各子网内部网状互联,子网之间通过伪线连接,这样可有效地降低网络的复杂度,减少多播的开销。

将以太网桥接技术和H-VPLS技术结合起来,可以提供经济技术性能良好的电信级以太网解决方案。此时,在接入域可采用802.1Q、802.1ad或802.1ah技术。

T-MPLS是ITU-T针对电信网络需求制定的面向连接的MPLS分组传送网络标准,其功能是为各种业务网络提供可管理的点到点二层连接^[8]。和一般的MPLS相比,两者具有相同的标记结构以及标记交换和转发机制,但是T-MPLS对传送功能作了简化:不考虑无连接传送模式,去除无连接的基于IP的转发,省略了所有的三层

功能,尽可能地简化控制平面的功能,以降低网络建设成本和维护成本。另一方面,增加了端到端的OAM和性能监测功能,其标记交换路径(LSP)设定为双向对称通道,和通信网络保持一致,具有类似于SDH通路的较长的时间稳定性,可以实施类似SDH中的保护倒换和OAM机制,并已定义线型和环型保护标准,使网络具有良好的操作维护性和保护恢复能力。和PBB-TE相同,目前T-MPLS采用基于预配置的业务管理方式,未来会引入G-MPLS作为控制平面。

T-MPLS标准的制定在很大程度上参考了现行电路交换网络的架构,采用同样的结构、管理和运行模型,有利于运营商实现其城域网和接入网由电路交换向分组交换的平滑演进。在技术上通过面向连接模式提高传送性能,通过简化协议和功能降低成本,通过增强OAM实现可管理性和可靠性。在业务上,支持各种业务网络的数据分组化传送,包括以太网数据帧的可靠传送。因此,T-MPLS也是电信级以太网的一种重要技术。

3.3 光环网技术

以PBB/PBB-TE为代表的增强以太网二层技术是电信级以太网的重要技术基础,它与MPLS传送技术的结合是电信级以太网的技术发展方向,而以太网数据帧的物理传输主要采用各种合适的光传输技术。根据目前传输网络的部署,从运营成本和可靠性考虑,基于SDH的各种光环网技术仍然是电信级以太网的重要传输手段。

最基本的光环网技术就是直接在已有的SDH系统上传送以太网帧,主要包括两项接入和封装技术。中国提出的SDH链路接入协议(LAPS)技术^[9],采用简化的高级数据链路控制(HDLC)封装直接将以太网帧装入SDH封包传送。具体应用方式可以是:在SDH上配备以太网接口;在以太网交换机上配备STM-N接口;在

SDH与以太网交换机之间配备EOS(SDH以太网传送)转接设备。另一种是由欧美厂商提出的GFP技术^[10],可以封装多种类型的数据帧,在多种光传输技术上传送。主要应用方式是以多业务传送协议(MSTP)形式提供以太网业务。

弹性分组环(RPR)是一种高效的光传输技术^[11]。其技术特点是:通过新增的MAC层可将业务数据直接送入物理层数据帧或裸光纤上,对于非落地的数据包可直接前转,可有效提高交换处理能力,最佳适合分组数据业务,也能支持TDM业务;具有自动拓扑发现能力,50 ms的保护倒换时间,能确保电路交换业务和专线业务的服务质量;支持两纤双向环拓扑结构,可以在环的两个方向上动态地统计复用各种业务,从而最大限度地利用光纤的带宽,简化网络配置和运行。其成本介于SDH和千兆以太网技术之间,非常适于以太网业务带宽需求占绝对优势的城域网接入层应用。RPR的局限是只能支持环形组网,且没有跨环标准,本质上也只有一层MAC地址转发,缺乏层次化的地址结构和用户地址隔离,其网络和业务扩展性受限。

中国提出的多业务环(MSR)也是一个双向对称二纤环^[12],在继承RPR技术优势的基础上,定义了可视作RPR MAC层优化版本的新的二层冗余协议,每个节点可以上下支路信号,并加入多种电信运营级的特征。其设计目标是以较低的成本改造或新建运营商网络,构建电信级以太网多业务平台(CESP),既可支持以太网、千兆以太网、数字视频广播(DVB)、ATM/SDH分组传送(POS)等业务支路,也可以像路由器一样支持数据包的转发,在保证QoS的前提下,以较低的成本解决包括数据、语音、视频等多种业务的融合传送,相当于一个多业务分插复用设备组成的环。它不仅能应用于环形拓扑结构,也支持链形、星形等拓扑,并且具有热插拔、

热倒换和在线升级等功能。

MSR集传输和数据交换于一体,支持多业务的点到点、组播和广播应用,解决了电信级以太网业务和TDM支路的传送问题,实现了多个以太网和TDM在RPR上的传送、保护、多播和性能监视,是电信级以太网的一项重要技术。

近年来业界开始研究采用以太网组环,与RPR相比,以太网环成本较低,兼容性更好,其中以太网自动保护交换(EAPS)技术是一种新的低成本电信级以太网解决方案^[13]。EAPS针对环形以太网拓扑结构,提出简单可行的线路故障保护方法,实现以太网环的自动保护。其帧结构采用Q in Q封装,以适应电信级以太网的需要,节点仍然采用标准以太网硬件,只需进行软件升级即可。它有两种故障检测模式:告警模式(快速模式)和环轮询模式(检测包模式),环保护倒换时间小于1 s,通常可小于50 ms,其可靠性与SDH环相当。

EAPS技术成本低,与传统以太网的兼容性好,适合于大客户VPN和软交换等承载流量较小、方向固定的业务。其局限性在于只能环形组网,灵活性受限;至远端节点的转接次数多,丢帧概率较大,扩展性受限。

3.4 OAM技术

以太网可以在多种不同的传输层上传送,而且它的客户层也是多种多样的,非以太网的底层(如SDH)或高层(如IP)的OAM功能都不能替代以太网OAM的功能。为了在以太网层能确定EVC的连通性,有效地检测并定位源于以太网层网络内部的故障,度量网络资源利用率及网络性能,以根据与用户签订的SLA提供业务,以太网层必需具有一个完全不依赖于任何客户层或服务层的OAM机制,这点对于电信级以太网至关重要。

IEEE、ITU-T和MEF密切合作制订以太网OAM标准,已经成熟的标准就是IEEE的802.1ag^[14]和ITU-T的Y.1731

建议^[15]。它们在以太网中引入分级维护域的概念,最多可有8级维护域,分别由客户、网络运营商、业务运营商等独立负责维护,但采用的OAM机制完全相同。

以太网OAM包括两方面的功能:故障管理和性能监视,前者指的是各种故障条件的检测、验证、定位和通告,后者指的是丢帧、时延、抖动等不同性能的测量。IEEE标准的主要内容是故障管理,包括连通性校验、环回测试、链路跟踪和远端故障指示;ITU-T标准除了上述功能外,还定义了多种其他的OAM功能,包括告警指示信号、锁定信号、测试信号、自动保护交换、维护通信信道、丢帧测量、帧时延测量和吞吐量测试。

4 电信级以太网发展方向

电信级以太网研究的进一步工作可包括:

- 可扩展性:包括MPLS技术的扩展性改进、802.1ah改进、VPLS/802.1ah互通以及系统软硬件扩展性改进。

- 确保电信级质量的标准和技术:包括QoS、OAM、高可用性、话务工程、快速重路由等。

- 网管系统和控制平面:目前IETF和IEEE正在研究新的统一的控制平面技术,取代传统以太网的STP机制,一种可能的选择就是将GMPLS作为控制平面信令的基础。

- CAPEX和OPEX分析:力图使CE在增加新功能的同时,依然保持其简单性和经济性。

- 更多的CE业务:除了已有的E-Line、E-LAN和E-Tree外,根据用户需求提出更多的能快速配备、具有良好灵活性和可靠性的业务。

对于运营商来说,至关重要的是面对众多的CE技术,必须综合考虑成本(CAPEX和OPEX)、应用场景(新建网络还是网络扩容)、网络已有技术、维护人员经验、所需的业务、技术成熟度和易操作性、偏好的管理模式等多种因素,作出技术取舍的决策,确定

符合其自身条件的差异化的最优技术方案。

5 参考文献

- [1] Metro Ethernet Forum. MEF 4—Metro Ethernet Network Architecture Framework, Part 1: Generic Framework [S]. 2004.
- [2] Metro Ethernet Forum. MEF 6—Ethernet Services Definition: Phase 1[S]. 2004.
- [3] IEEE 802.1Q. Virtual Bridged Local Area Networks[S]. 2005.
- [4] IEEE 802.1ad. Virtual Bridged Local Area Networks—Revision, Amendment 4: Provider Bridges[S]. 2006.
- [5] IEEE P802.1ah/D.36. Virtual Bridged Local Area Networks, Amendment 6: Provider Backbone Bridges[S]. 2007.
- [6] IEEE 802.1Qay Draft 1.1. Provider Backbone Bridge Traffic Engineering [S]. 2007.
- [7] LASSERRE M, KOMPELLA V. Virtual private LAN services (VPLS) using label distribution protocol (LDP) signaling [R]. RFC 4762. 2007.
- [8] ITU-T Rec. G8110.1. Architecture of Transport MPLS (T-MPLS) Layer Network [S]. 2006.
- [9] ITU-T Rec. X.86. Ethernet over LAPS [S]. 2001.
- [10] ITU-T Rec. G.7041. Generic Framing Procedure (GFP) [S]. 2005.
- [11] IEEE 802.17. Resilient Packet Ring (RPR) Access Method and Physical Layer Specifications [S]. 2004.
- [12] ITU-T Rec. X.87. Multiple Services Ring Based on RPR [S]. 2003.
- [13] IETF RFC 3619. Extreme Networks' Ethernet Automatic Protection Switching (EAPS) Version 1 [S]. 2003.
- [14] IEEE 802.1ag. Virtual Bridged Local Area Networks, Amendment 5: Connectivity Fault Management [S]. 2007.
- [15] ITU-T Rec. Y.1731. OAM Functions and Mechanisms for Ethernet Based Networks [S]. 2006.

收稿日期:2008-09-16

作者简介



糜正琨,南京邮电大学通信与信息工程学院教授、博士生导师,中国通信学会会士。目前主要研究方向是下一代网络技术和异构网络融合技术。曾获江苏省科技进步二等奖一项,信息产业部科技进步二等奖和三等奖各一项,已发表SCI、EI收录论文30余篇,出版专著和国家级教材8部,申请国家发明专利4项。