



城域以太网

Metro Ethernet

The definitive guide to enterprise and carrier
metro Ethernet applications

[美] Sam Halabi 著
邢京武 陈晓筹 译

城 域 以 太 网

[美] Sam Halabi 著

邢京武 陈晓筹 译

人 民 邮 电 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

城域以太网 / (美) 哈尔比 (Halabi, S.) 著; 邢京武等译.

—北京: 人民邮电出版社, 2005.2

ISBN 7-115-13111-2

I. 城... II. ①哈...②邢... III. 以太网络—技术 IV. TP393.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 010748 号

版 权 声 明

Sam Halabi Metro Ethernet (ISBN: 1-58705-096-X)

Copyright © 2003 by Cisco Systems, Inc.

Authorized translation from the English language edition published by Cisco Press.

All rights reserved.

本书中文简体字版由美国 **Cisco Press** 公司授权人民邮电出版社出版。未经出版者书面许可, 对本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有, 侵权必究。

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了城域以太网的各方面的知识，内容包括：城域网中的数据、城域网技术、城域以太网业务、混合 L2 和 L3 IP/MPLS 网络、MPLS 流量工程、RSVP 用于流量工程和快速路由、MPLS 控制光交换机、GMPLS 体系结构、SONET/SDH 成帧和级连等。

通过阅读本书，读者将熟悉城域网部署方面的知识。本书的受众面很广泛，从非技术人员、商人到技术人员，完全适合网络运营商、工程师、顾问、管理人员、CEO 和风险投资家阅读。

关于作者

Halabi 先生是一位经验丰富的经理和行业资深人士，在向世界范围的企业和运营商网络市场进行市场营销和销售方面拥有超过 18 年的经验。在 Cisco 公司时，Halabi 先生撰写了第一本 Cisco Internet 路由选择的书籍 *Internet Routing Architectures*，该书在美国和国际市场中成为了畅销书。他在市场营销、销售和业务开发领域内占据着多个高级管理职位，并且负责企业和运营商以太网市场方面迅速增长的业务的发展。

关于技术审稿人

Mike Bernico 是 Illinois Century Network 公司的一名高级网络工程师。其职责主要是网络设计，并将一些高级网络服务（如 QoS、IP 多播、IPv6 和 MPLS）集成到网络中。他还编写了开放源代码软件，这些软件与他感兴趣的新的网络互连技术有关。他喜欢阅读和在实验室中消磨时间，以增加其在网络互连行业方面的知识。他与妻子 Jayme 居住在 Illinois，可通过 mike@bemico.net 与他联系。

Mark Gallo 是 America Online 的一名技术部门经理，他所通过的网络认证包括 Cisco CCNP 和 Cisco CCDP。他领导多个工程团队设计并实施企业 LAN 和国际 IP 网络。他拥有 Pittsburgh 大学电子工程的学士学位，与妻子 Betsy 和儿子 Paul 居住在 Virginia 北部。

Giles Heron 是 PacketExchange 公司的首席网络架构师，该公司是在全球范围内提供以太网服务的下一代运营商。他设计了 PacketExchange 公司的 MPLS 网络，并参与了该网络服务组合的开发。他是马蒂尼草案（用于通过 IP 和 MPLS 网络传输第 2 层协议）规范、lasserre-vkompella 草案（在 MPLS 上模拟多点以太网 LAN 网段）规范和各种其他 Internet 草案的合著者。

Irwin Lazar 是 Burton Group 的 Networks and Telecom 的资深经理，管理一个为大型最终用户组织提供咨询服务的咨询团队，涉及的内容包括网络架构以及

新兴的网络技术。他管理着 MPLS 资源中心 (<http://www.mplsrc.com>), 并且是 MPLScon Conference and Exhibition 的会议主管。他已经发表了大量有关数据网络和 Internet 的文章, 并且经常在许多业界会议上发表与网络相关的主题演讲。他拥有 Radford 大学的管理信息系统学士学位和 George Mason 大学的 MBA 学位。他还是一位通过认证的信息系统安全专家 (Certified Information Systems Security Professional, CISSP)。

致 谢

我要感谢使该书得以出版的很多人。万分感谢 PacketExchange 的 Giles Heron, 感谢他对材料彻底检查以及对城域以太网空间的许多贡献。我要感谢 Irwin Lazar、Mike Bernico、Mark Gallo 和 Saaed Sardar, 感谢他们的贡献和使我保持诚实。感谢 Andrew Malis 对该项目所作的最初工作。我还要感谢 IETF RPC 和 IETF 草案的各位作者, 这些文档的信息已经应用于本书中的某些概念和定义上, 这包括以下这些人士: Luca Martini、Nasser El-Aawar、Eric Rosen 和 Giles Heron(在 IP/MPLS 网络上封装以太网帧); V. Kompella、Mark Lasserre、Nick Tingle、Sunil Khandekar、Ali Sajassi、Tom Soon、Yetik Serbest、Eric Puetz、Vasile Radaoca、Rob Nath、Andrew Smith、Juha Heinanen、Nick Slabakov、J. Achirica、L. Andersson、Giles Heron、S. Khandekar、P. Lin、P. Menezes、A. Moranganti、H. Ould-Brahim 和 S. Yeong-il (VPLS 草案规范); K. Kompella (DTLS 草案规范上的最初工作)。特别感谢 Daniel O. Awduche 对流量工程需求所作的贡献, 以及他在推动多协议光波长交换和 GMPLS 方面的卓越工作。感谢 J. Malcolm、J. Agobua、M. O'Dell 和 J. McManus 对 TE 需求的贡献。万分感谢 CCAMP 组及其众多的 GMPLS 贡献者, 包括 Peter Ashwood Smith、Eric Mannie、Thomas D. Nadeau、Ayan Banerjee、Lyndon Ong、Debashis Basak、Dimitri Papadimitriou、Lou Berger、Dimitrios Pendarakis、Greg Bernstein、Bala Rajagopalan、

Sudheer Dharanikota、Yakov Rekhter、John Drake、Debanjan Saha、Yanhe Fan、Hal Sandick、Don Fedyk、Vishal Sharma、Gert Grammel、George Swallow、Dan Guo、Kireeti Kompella、Jennifer Yates、Alan Kullberg、George R. Young、Jonathan P. Lang、John Yu、Fong Liaw 和 Alex Zinin。我还要感谢城域以太网论坛和 MPLS 论坛内众多关于 MPLS 和 VPLS 的参考文献。我可以肯定我遗漏了很多才学出众的人，他们对本书中的各种概念也作出了直接的贡献，非常感谢你们的工作。

最后，也是最重要的，感谢 Cisco Systems 公司和 Cisco Press 团队、John Kane、Dayna Isley 和其他支持该项目的人士。

献 辞

谨将此书献给我伟大的家人，他们独自度过了无数个夜晚和周末，帮助我完成本书的手稿。献给我亲爱的妻子 Roula，我曾承诺在完成 IRA 一书后不再写其他的书，很抱歉我食言了，感谢你对我的支持。献给我的儿子 Joe 和 Jason，感谢你们在我完成该书的最后一年期间所做出的牺牲。

前 言

城域以太网 (Metro Ethernet) ——分庭抗礼。以太网是一种在 LAN 中取得重大成功的技术,取代了其他一度很有前途的技术,如令牌环、FDDI 和 ATM。以太网的简易性及其价格/性能优势使其成为最终的赢家,其应用领域从企业工作组机柜一直到企业骨干网和数据中心。城域网是用户或企业与 Internet 上可用的海量信息之间的网络前沿。城域网是在遗留的时分多路复用 (time-division multiplexing, TDM) 和 SONET/SDH 技术上建立起来的,这些技术是为旧式语音和租用线路业务而设计的。对于满足新兴数据应用的需求,这些遗留技术已不适用。

城域网中的以太网可部署为接入接口,替代旧式的 T1/E1 TDM 接口。人们正在城域网中部署多种数据业务,包括点到点以太网线路业务和多点到多点以太网 LAN 业务,以及用于跨越分散的骨干网,对企业园区网进行扩展的虚拟专用 LAN 业务 (Virtual Private LAN services, VPLS)。以太网可以基于多种城域网传输技术运行,包括 SONET/SDH、下一代 SONET/SDH、弹性分组环 (Resilient Packet Ring, RPR) 和波分多路复用 (wavelength-division multiplexing, WDM), 以及纯以太网传输技术。

然而,以太网并不是为城域网应用而设计的,而且缺乏进行大规模部署的可伸缩性和可靠性。在城域网中

部署以太网需要可伸缩性和健壮性特性，这都是 IP 和多协议标签交换（Multiprotocol Label Switching, MPLS）控制面才具有的特性。同样，混合第二层（L2）和第三层（L3）的 IP 和 MPLS 网络已经出现，它作为一种结合了以太网的简易性和经济性、以及 IP 和 MPLS 网络伸缩性的解决方案。由于在城域网中可部署多种传输技术，所以就必须在数据交换机和光交换机上供应和监控以太网业务。确立可跨越数据网络和光网络的控制面就变得很有必要。通过使用通用 MPLS（Generalized MPLS, GMPLS）控制面对 MPLS 进行扩展已达到此目的，此种经过扩展的 MPLS 可以控制数据交换机和光交换机。理解这些主题和更多知识有助于掌握城域网技术及其多种复杂性。

目标与方法

本书的目标是让读者熟悉有关城域以太网的主题——其概念及产生和发展情况。有一件事情是肯定的：读完本书之后，读者将不再畏惧与城域以太网有关的话题。读者将熟悉城域网部署方面的各种技术，如以太网交换、RPR、下一代 SONET/SDH、MPLS 等。

目前，此行业被划分成不同的专业知识领域——LAN 交换技术、IP 路由选择技术和传输技术。这是 3 个不同的领域，都需要其特殊的知识内容。LAN 交换技术专业知识是特定于企业方面技术人员的，IP 路由选择技术专业知识更倾向于涉及公共和私有 IP 可路由骨干网的人员，而传输技术专业知识特定于涉及 TDM 和光网络的人员。城域网结合了所有上述领域的专业知识。城域网可以结合各种传输技术来连接企业网络和 IP 可路由骨干网，本书试图以同样的方式将企业 LAN 技术、IP/MPLS 技术和传输技术知识联系起来。

本书采用叙述性风格。每章的叙述都是由浅入深，各章之间也是如此。各章总是从大局入手，以使读者对本章所描述的内容有更清晰的了解，然后进行深入的讨论。跳过本书更为详细的部分仍可对书中的主题有整体的认识。作者将每一章内和各章之间不同的层次称为“纽带”。各种读者都能在不同的纽带中找到适于自己的。这样设计的主要目的是在每个新纽带内学到新的、有挑战性的知识。

本书的读者

本书的读者面很广泛，从非技术性的商务人员到技术高手。从本书中可以受益的各种人员包括网络运营商、工程师、顾问、管理人员、CEO 和风险资本家。企业技术主管和 CIO 将通过阅读本书了解如何创建可扩展的虚拟企业网络。电信运营商将在本书中找到转而提供下一代数据服务的方法。工程师将根据自己所属的领域（以太网交换技术、IP/MPLS 技术和光网络技术）扩大其知识面。销售人员将获得有关在迅速增长的城域以太网市场中进行销售的专业知识。最后同样重要的是，商人将从中了解到足以使其在城域以太网领域作出明智投资的知识。

本书的组织方式

本书分为两部分：

- **第一部分——以太网：从 LAN 到 MAN**

本书的这一部分（第 1 章到第 4 章）始于描述推动以太网业务采用进程的各种推动者，以及该业务其在美国和其他国家的发展过程。读者将了解到以太网如何从 LAN 迁移到 MAN，及其对现有和新兴城域网技术（如 SONET/SDH、下一代 SONET、RPR 和 WDM）的补充作用。然后读者将了解到各种以太网业务，如以虚拟专用 LAN 业务（Virtual Private LAN Service, VPLS）为代表的点到点以太网线路业务和多点到多点以太网 LAN 业务。本书这一部分将阐释部署以太网网络的难题，以及对于部署 L2 以太网 VPN 业务，混合以太网和 IP MPLS 网络是如何成为新兴的可伸缩解决方案的。

- **第二部分——控制光城域网中的流量**

MPLS 是用于调整城域网部署的重要技术。本书的第一部分是在建立 L2 城域以太网 VPN 的环境中讨论 MPLS 的，而第二部分（第 5 章到第 8 章）将探讨利用 MPLS 在光城域网中控制流量轨迹的方法。城域网是由数据交换系统、SONET/SDH 系统和光交换系统建立起来的。供应各种系统，以及在数据包和光系统中控制流量是很难的，其经营开支也很大。GMPLS 是对 MPLS 应用的扩展，可作为数据包/信元和光系统的通用控制面。GMPLS 是“第 7 组

带”中的主题之一。读者从第二部分可以首先熟悉流量工程、如何利用 RSVP-TE 信令传送协议控制流量轨迹,以及在出故障的情况下对流量进行重路由方面的知识。由于已经说明了数据包/信元网络中的许多基本流量工程技术,这就使向 GMPLS 主题的过渡变得很平稳。

第 1 章到第 8 章及附录中涵盖下列主题:

- **第 1 章,“城域网中数据的简介”**——对于提供数据服务,城域网一直是个艰难的环境,因为城域网是为满足语音通信的迫切可靠性和可用性需求而建立的。在世界各地,城域网的发展各不相同,这取决于许多因素。例如,由于遗留 TDM 部署方案和严格的规章制度,城域以太网在美国的发展很缓慢,但在世界其他地区却发展迅速,尤其是在亚洲和日本,这些地区内并没有那么多的遗留 TDM 部署,而且也未受到那么严格的限制。
- **第 2 章,“城域网技术”**——提供城域以太网服务无须建立全以太网 L2 网络;相反,可通过各种技术(如下一代 SONET/SDH 和 IP/MPLS 网络)部署城域以太网。本章将进一步讨论用于城域网的各种技术。
- **第 3 章,“城域以太网业务”**——基于 SONET 的以太网、弹性分组环和以太网传输都是部署城域以太网业务的可行方法。然而,需要通过城域网设备提供各种功能,以便提供有利可图的服务,如 Internet 连接或 VPN 服务。第 3 章始于讨论第二层以太网交换技术的基础知识,以使读者熟悉以太网交换的概念。然后读者将了解到由城域以太网论坛(Metro Ethernet Forum, MEF)所定义的各种城域以太网业务的概念。指定正确的流量和性能参数、服务等级和服务帧传输,这确保了服务的买主和用户能够理解得到了什么样的服务,还有助于服务提供商们显示自己的能力。
- **第 4 章,“混合 L2 和 L3 IP/MPLS 网络”**——本章首先重点讨论纯 L3VPN 实施方案及其对于城域以太网的适用性。这将使读者了解足够的信息,以便比较 L3VPN 和 L2VPN 对城域以太网的适用性。然后本章将深入讨论有关在混合 L2 和 L3 IP/MPLS 网络上部署 L2

以太网业务的主题。要研究的某些基本可伸缩性问题包括由于 VLAN-ID 的局限性对客户数量带来的限制、利用生成树对 L2 骨干网进行调整、服务供应和监控,以及在网络内承载 VLAN 信息。

- **第 5 章,“MPLS 流量工程”**——前面的章节讨论的是如何在 MPLS 网络上部署城域以太网第 2 层业务。这些章节也讨论了伪线和 LSP 隧道的概念。在第 5 章中,读者将了解到用于流量工程的各种参数。流量工程是一种重要的 MPLS 功能,网络运营商用其能够对流量在自己网络上的传输方式进行更多的控制。本章将对流量工程的概念及其应用进行详细的讨论。
- **第 6 章,“RSVP 用于流量工程和快速重路由”**——MPLS 在实现和调整城域网中的业务方面有很大作用,所以,读者要理解如何用它实现流量工程,以及通过资源预留协议流量控制 (Resource Reservation Protocol traffic engineering, RSVP-TE) 所实现的保护作用。在本章中,读者将了解到如何通过使用 RSVP-TE 将 MPLS 在失效的情况下建立备用路径。本章将讨论 RSVP-TE 的基础知识,以及如何利用其建立 LSP、进行带宽分配和用于快速重路由技术。读者将了解到 RSVP-TE 消息和对象的细节,以便更深入地理解这种复杂的协议。
- **第 7 章,“MPLS 控制光交换机”**——开发 MPLS 技术的基本原则是其通用并适用于传输网络的多个层。同样,对于其他网络层 (如 TDM 和光网络层) 的基于 MPLS 的控制也可以实现。第 7 章将讨论动态光网络供应为何需要通用 MPLS (Generalized MPLS, GMPLS) 技术。读者将了解到静态集中式供应模型和动态非集中式供应模型的优缺点。第 7 章还会向读者介绍各种信令模型 (叠加模型、对等模型和扩张模型),以及 GMPLS 利用标签对 TDM 电路和 WDM 网络进行交叉连接的方式。
- **第 8 章,“GMPLS 体系结构”**——开发通用 MPLS (GMPLS) 技术的目的在于通过由 MPLS 建立光网络,以及扩展 MPLS 的控制参数来处理光网络可伸缩性和可管理性方面的问题,从而解决光网络中的存在的某些难题。本章将阐述 GMPLS 体系结构的特点,

如对路由选择技术和信令技术的扩展，以及为了能够控制光网络而在 GMPLS 中对 MPLS 所添加的技术参数。

- 附录，“SONET/SDH 成帧和级连”——此附录介绍 SONET/SDH 成帧技术的基础知识，以及如何通过使用标准级连和虚级连技术来应用 SONET/SDH 技术，以便满足在城域网中通过 SONET/SDH 传送新兴数据的需求。L2 城域网业务的出现将对遗留 SONET/SDH 网络的部署形成挑战，而且将促成多业务供应平台的出现，以便基于 SONET/SDH 技术高效地传输以太网、帧中继、ATM 和其他数据服务的数据。

本书所使用的图标

在本书中使用下列图标：



目 录

第一部分 以太网：从 LAN 到 MAN

第 1 章 城域网简介	3
1.1 城域网网络	4
1.2 城域网内的以太网	8
1.3 城域以太网的早期推动者	9
1.3.1 BLEC	9
1.3.2 城域以太网运营商	9
1.3.3 新运营商的价值所在	11
1.4 美国现役运营商概况	14
1.4.1 现有的遗留 TDM 基础设施	14
1.4.2 构建全以太网的数据网络	14
1.4.3 服务定价	15
1.4.4 现役运营商的规章制度	15
1.5 国际概况	16
1.5.1 欧洲概况	16
1.5.2 亚洲概况	17
1.6 从数据角度看城域网	17
1.7 城域网业务	18
1.7.1 通过 LAN 使用网络资源	19
1.7.2 以太网 L2VPN 业务	20