



MPLS 网络设计 权威指南

Definitive MPLS Network Designs

Field-proven MPLS designs covering MPLS VPNs, pseudowire, QoS, traffic engineering, IPv6, network recovery, and multicast

Jim Guichard, CCIE #2069
François Le Faucheur
Jean-Philippe Vasseur

著

陈武

译

MPLS 网络设计权威指南

Jim Guichard, CCIE#2069

François Le Faucheur 著

Jean-Philippe Vasseur

陈 武 译

人 民 邮 电 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

MPLS 网络设计权威指南 / 盖查德 (Guichard, J.) 著; 陈武译.

—北京: 人民邮电出版社, 2007.1

ISBN 978-7-115-15390-6

I. M... II. ①盖...②陈... III. 宽带通信系统—综合业务通信网 IV. TN915.142

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 119841 号

版权声明

Jim Guichard, François Le Faucheur, Jean-Philippe Vasseur: Definitive MPLS Network Designs (ISBN: 1587051869)

Copyright © 2005 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 授权人民邮电出版社出版。未经出版者书面许可, 对本书任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有, 侵权必究。

MPLS 网络设计权威指南

-
- ◆ 著 Jim Guichard, CCIE#2069
François Le Faucheur
Jean-Philippe Vasseur
- 译 陈 武
- 责任编辑 李 际
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京顺义振华印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 23.25
字数: 578 千字 2007 年 1 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2007 年 1 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记号 图字: 01-2006-0300 号
ISBN 978-7-115-15390-6/TP · 5762
-

定价: 55.00 元

读者服务热线: (010)67132705 印装质量热线: (010)67129223

内 容 提 要

MPLS 已成为数据网络领域不可或缺的技术，它通过第 3 层网络提供面向连接的第 2 层传输模式。这种看似简单的机制功能非常强大，从根本上改变了数据网络行业。虽然网络专业人员可通过众多资源获得有关 MPLS 涉及的概念和协议的信息，但还缺乏关于如何根据具体的环境设计 MPLS 网络以充分利用 MPLS 优点的系统阐述，本书就是为此而编写的。

本书首先用两章的篇幅复习了将要涉及的各种技术，然后介绍了一系列的设计案例，包括长途通信公司、国家电信公司、国际服务提供商和大型企业的 MPLS 网络设计。每个案例都基于运行 MPLS 的服务提供商或企业网络，它们都是虚构的，但很有代表性。在每个设计案例中，首先描述了网络环境，包括要支持的服务、网络拓扑、POP 的结构、传输设施、基本的 IP 路由设计以及可能的约束；然后介绍设计目标，如优化带宽的利用率；接下来详细介绍了网络设计的各个方面，包括 VPN、QoS、TE、网络恢复，还可能包括多播、IPv6 和伪线路；最后总结了可从设计案例吸取的经验教训，让各种服务提供商和大型企业的 MPLS 架构师都能够对设计方案的某些方面进行修改，以满足其网络环境和目标的需求。

本书适合工作中涉及 MPLS 网络的架构师、设计人员、工程师、技术经理、电信专业的教授和教师、技术顾问以及学生阅读，为获得 Cisco 认证 CCIP 或 CCIE 而学习 MPLS 知识的考生阅读本书也将受益匪浅。

关于作者

Jim Guichard (CCIE#2069) 是 Cisco 公司的系统架构师, 工作的主要方向是 MPLS/IP 第 2 层和第 3 层 VPN 技术。在 Cisco 公司工作的 8 年以及以前在 IBM 公司工作时, 他主要从事大规模 WAN 和 LAN 网络的设计、规划和实现。利用这些从实际部署工作中获得的经验, 他继续为许多大型 Cisco 服务提供商客户提供很有价值的帮助。他以前的著作有《MPLS 和 VPN 体系结构》第 1 卷和第 2 卷 (已由人民邮电出版社翻译出版, 书号 09509、11808)。他还在 MPLS 领域申请了多项专利。

François Le Faucheur 是 Cisco 公司的系统架构师, 主要从事 IP QoS 和 MPLS 领域的产品开发。他曾经为法国和澳大利亚的好几家电信公司工作, 开发基于 ATM、帧中继、SMDs 和 IP 的增强服务。他拥有实时数据处理的工程学位, 编辑和合著了 MPLS 和 QoS 领域的多个 IETF 规范, 如区别服务的 MPLS 支持、支持区别服务的 MPLS TE 和基于 MPLS/BGP 的 IPv6 VPN。他也在 MPLS 和 QoS 领域申请了多项专利。

Jean-Philippe Vasseur 是 Cisco 公司的系统架构师, 从事 IP/MPLS 架构规范的工作, 重点是 IP、TE 和网络恢复。他拥有法国的工程学位和 SIT (美国新泽西州) 的硕士学位。在加入 Cisco 公司前, 他曾经在几家服务提供商从事多协议环境中的工作。他是 IETF 的活跃成员, 是 IETF PCE (Path Computation Element, 路径计算单元) 工作组的联合主席, 参与制定了多种 IETF 规范。他经常在各种国际会议上发言, 参与了 IP 和 MPLS 领域中的许多研究项目。他也在 IP 和 MPLS 领域申请了多项专利, 合著了 *Network Recovery*。

关于技术审核人

Bruce Davie, 博士, 1995 年加入 Cisco 公司, 之前一直在 IOS Technologies Division (ITD) 公司工作。1998 年被授予 “Cisco Fellow” 奖。他领导一个架构师小组, 从事 IP 网络的 MPLS 和 QoS 能力开发。另外, 他还领导一个跨国公司小组, 试图跨越 Cisco 产品线创建通用的 QoS 和 MPLS 架构。他有超过 15 年的网络和通信行业经验。他还是 IETF 和 Internet Research Task Force (因特网研究任务组) 的活跃参与者, 且是 IEEE 的高级成员。他在奥尔本大学获得工程学士学位, 在爱丁堡大学获得计算机科学博士学位。

Xavier Vinet, Equant 公司 IP Network Engineering 部门的网络架构师, 专注于工程和国际 Equant MPLS 网络的实现。在过去 8 年里, 他从事法国电信的因特网和 MPLS VPN 国内网络的设计。他拥有电信工程学位。

Raymond Zhang, INFONET 公司的高级网络架构师, 负责全球 IP 骨干基础设施和路由架构的规划和发展。他当前主要研究的领域是大规模骨干路由、流量工程、性能和流量统计分析、MPLS 相关技术、多服务 QoS、IPv6 和多播。他是 IETF 的活跃成员, 参与编写了 MPLS TE、Inter-AS 流量工程及其他领域的许多标准草案。他拥有纽约城市大学的工程硕士学位。

Javier Achirica, 在 Telefonica 公司的企业服务部门从事业务开发工作。有 10 多年参与 IP 网络的设计和部署的经验, 包括公司、国内运营商和国际运营商的 IP 网络, 在超过 12 个国家建立 IP 网络。他也是大多数相关标准组织的活跃成员。他在西班牙的 Valladolid 大学获得物理学学位, 在西班牙的 Instituto de Empresa 大学获得 MBA 学位。

Patrice Bellagamba, Cisco 公司的咨询工程师, 担任在欧洲、中东和非洲地区的大型企业中使用 MPLS 的技术专家。他有 22 年的网络从业经验, 13 年的 IP 网络经验和 6 年的

MPLS 和 QoS 经验，主要在服务提供商和大型企业中从事设计和服务工作。他拥有法国 Supelec 大学的工程学位。

William Copeland，有 15 年的网络行业经验，目前是 MCI 的 MPLS VPN 网络首席架构师之一。

序 言

MPLS 已成为数据网络领域的基础技术。在网络不断发展的过程中,人们逐渐认识到未来的数据网络将需要承载许多不同类型的服务,包括语音数据、视频数据以及可靠的高带宽数据交换。由于这种网络对企业至关重要,它们的可用性必须非常高,且发生故障时会聚时间非常短。它们还必须为不同类型的服务提供有差别的服务质量。幸运的是,MPLS 技术已经达到并能够满足所有这些需求。显而易见,任何希望参与到未来数据网络中的网络专家都必须精通这门技术。

MPLS 是一种通过第 3 层网络提供面向连接的第 2 层传输模式的技术。这种看似简单的机制功能非常强大,它从根本上改变了数据网络行业。为阐述 MPLS 的应用,先来看一下 MPLS IP 之前的时代以及 MPLS 的影响。

IP 是一种功能强大、无处不在的技术,但 IP 路由有一些根本性缺陷。在 IP 包从源地址传输到目标地址的过程中,涉及的每个节点都需要根据 IP 头中的信息做出路由决策。IP 路由协议确保所有路由器有一致的路由表,否则 IP 包将循环传输或永远不能到达目的地。尽管每跳分别做出 IP 路由决策提供了弹性,但它有两个重要缺陷:首先,由于数据流总是使用最短路径前往目的地,所以有些重要链路将超负载运行;其次,公共域 IP 节点不能路由私有 IP 包,因为目标地址的路由条目必须是唯一的,而私有 IP 空间不能满足这种需求。

为克服这些缺陷,在 MPLS 出现前,有两个设计原则被广泛应用。一方面,服务提供商在 IP 网络底层使用基于 ATM 或帧中继的第 2 层基础设施来完成长距离的 IP 数据流传输。这种方法提供了更佳的网络资源利用率。另一方面,需要使用公共网络进行传输的企业网络,需要建立端到端的隧道虚拟专网,然后由企业路由器处理 VPN 的全部复杂性。当然,也可以使用传统的第 2 层数据网络或纯粹的 TDM 网络来建立企业网络。

然而，MPLS 技术的出现使这些措施变得完全没有必要。MPLS 提供了面向连接的端到端第 2 层传输模式，它独立于最短 IP 路径，服务提供商很快认识到第 2 层（ATM 或帧中继）基础设施的功能可以由 IP 路由器来完成，IP 路由器可使用 MPLS 技术提供相同的服务。这种 MPLS 方法让服务提供商根本不需要使用第 2 层交换机，因而更具竞争力并能够提供更廉价的因特网服务。另外，由于 MPLS 控制面在很大程度上利用了现有的 IP 路由控制面，所以 MPLS 作为一种新技术的额外开销很小。MPLS 标签交换路径还具有故障恢复功能，能够承载在骨干网络中实施服务质量所需的信息。所以，对于因特网骨干服务提供商来说，MPLS 提供了巨大的帮助。

MPLS 通过 IP 基础设施提供第 2 层路径，因此可以使用这种技术作为传输机制来实现高效的虚拟专网。IP 包通过 MPLS 标签交换路径传输时，骨干 IP 路由器不需要查看其 IP 头信息。这种设计催生了 MPLS 第 3 层 VPN（L3VPN），将 VPN 的复杂性从企业转移到服务提供商。服务提供商提供的这种新服务提高了企业网络的效率。

第 3 层 VPN 的出现导致另一种认识：如果 MPLS 包的内容对 IP 骨干来说不可知，为什么不使用它来传输更低层的帧呢？这催生了第 2 层 VPN（L2VPN）、虚拟专用 LAN 服务（VPLS）和虚拟专用无线服务（VPWS）。这种有效负载的不透明性使得可以将 MPLS 标签交换路径用作多播传输机制。现在，服务提供商可以提供更多的新服务，企业网络可以更加高效地运行其基础设施。

对于那些要了解 MPLS 的强大功能并充分利用它的技术人员来说，本书是一种福音。对于任何协议，理解协议本身是一回事，理解这些协议的应用是另一回事。本书作者通过多个详细的设计案例来介绍 MPLS 技术的应用，这是一种明智的选择。在介绍各种设计案例前，本书用两章的篇幅详细介绍了协议本身的工作原理。MPLS 本身的应用相当广泛，很少有单个资源能够介绍在每种应用中优化网络设计的技巧，但本书确实是这样的资源。

我向所有从事基于 MPLS 的数据网络架构、设计或排错的网络专业人员推荐本书。本书将加深读者对 MPLS 的认识，为进一步的技术培训打下坚实的基础。

阅读愉快！

Parantap Lahiri

MCI 公司 IP 网络基础设施工程部经理

前言

最近几年,多协议标记交换(Multiprotocol Label Switching, MPLS)在全球范围内的部署正在加速。现在 MPLS 已经成为一种成熟的技术,已能够适应 21 世纪网络的挑战。各种各样的因素促进这种技术的应用。最初,它提供了一个扩展性良好的架构,利用这个架构可以提供第 3 层虚拟专网(VPN);最近,在 IP/MPLS 骨干上传输多媒体数据流(如电话和视频)带来的冲击,导致了对流量工程、快速恢复和分级服务质量(QoS)的需求。从已有的第 2 层服务向 IP/MPLS 基础设施的迁移,也在一定程度上加大了这种需求。一些新的 MPLS 应用的出现,如 ATM 和以太网伪线服务以及虚拟专用 LAN 服务(VPLS),带来了更多的 MPLS 相关服务和技术。

MPLS 技术已经被广泛接受,它被集成到许多不同的服务提供商环境中,包括国家电信、IXC、ILEC、CLEC、RBOC、全球服务提供商和 ISP。这些运营商提供了成功的第 3 层 VPN 服务,使它成为了企业评估和建立其内部网解决方案的基准。此外,现在一些大中型企业也正在建立和运营自己的专用 MPLS 基础设施。

MPLS 能够融合第 2 层和第 3 层 VPN、流量工程、快速恢复和严格 QoS,并从中获得性能提高,使得采用 MPLS 成为下一代多服务网络的基础。这些网络不仅承载因特网数据流,还承载关键任务数据、语音和视频。它们还提供 VPN、多播和 IPv6 服务,并传输 ATM、以太网和帧中继数据流。由于 MPLS 具有应用程序相关功能与传输功能无关的基本特征,这些功能可以容易地实现。这样就可以更灵活地构建多服务 MPLS 网络,使用灵活的客户相关、应用程序敏感的边缘设备,连接到应用程序和客户无关的高性能、高可用性核心基础设施。

本书介绍如何设计针对特定环境优化的网络,并提供关于最新技术、服务和设计的细节。实际生产网络环境和需求多种多样,很难提供一套通用的设计建议。不同网络运营商提供的服务种类通常随环境不同而差异巨大。例如,一个网络运营商

可能需要在第3层VPN服务中支持多播流量,而另一个网络运营商可能需要提供许多类型的服务,以满足所有应用的需求;有的运营商需要支持IPv6服务,另一个网络运营商可能需要通过包网络连接ATM交换机。另外,不同的网络运营商面临的财政压力也不相同,有的运营商可能拥有光纤传输线路,而另外一些网络运营商可能需要租用别人的线路,因而面临更大的带宽优化压力,需要在核心利用MPLS流量工程。

更复杂的是,不同网络的恢复需求也可能大不相同。一个网络可能定位于次秒级的恢复时间,而另一个中继公共电话交换网(PSTN)数据流的网络可能需要10毫秒级的快速会聚时间。

另一个需要考虑的因素是,虽然有些网络部署只涉及单个自主系统,但另外一些网络需要涉及多个网络运营商,或由于运营、规模或历史原因,必须将运营商的骨干网络分成多个自主系统。许多网络功能要求不同的设计,这取决于它们是跨越单个自主系统、跨越同一个服务提供商的多个自主系统还是跨越多个服务提供商的多个自主系统。

另外,由于各自不同的特点,不同的网络可能遇到不同的可扩展性限制,需要使用不同的功能或设计方法来克服。

最后,有些MPLS技术是紧密相关的,需要同时规划设计才能完美地协同运行。例如,区别服务、支持区别服务的MPLS流量工程和MPLS快速重路由就是这样的技术,需要对它们仔细地组合,因为它们相互之间是紧密相关的。

在进行网络设计时有这么多因素需要考虑,所以服务提供商或企业迁移到MPLS网络时,可供选择的方案非常多,甚至可以说数不胜数。

本书旨在解决这些问题。书中一系列详细的设计案例介绍了如何在IP/MPLS网络的核心组合使用关键技术和MPLS相关技术。这些设计案例介绍了虚构运营商的设计方案,而不是现有商业网络运营商或企业的实际设计蓝图。然而,每种设计都是在现实世界已经或将要部署的。

为方便说明,在各个设计案例中给出了一些示例配置。在这些配置中,引用了自主系统号和公共IP地址块,这些地址当前不属于任何网络运营商。如果将来这些自主系统号或公共IP地址分配给了运营商,这些设计案例并不是针对这些运营商的。

每个设计案例都基于一组特征和目标,它们是当今部署MPLS的网络运营商(如IXC、全球服务提供商、企业等)都具备的。每个设计案例还介绍了所有相关的设计方面,虽然这些设计方面是从解决特定运营商的特定需求的角度介绍的,但它们也适用于其他具有类似需求的环境。本书包含了各种设计理念的组合,从整体看,本书提供了一个可重用的设计工具箱。

本书的组织结构

不是每个网络架构师都深入地了解当今网络涉及的全部技术。因此,本书前两章概述了各个设计案例用到的所有技术。这两章着重介绍基本概念、协议和最新进展。第1章介绍了一些对网络边缘影响最大的技术:第3层VPN、多播VPN、IPv6和伪线路。第2章专门介绍QoS、MPLS流量工程和网络恢复技术,它们是现代核心网络的有机组成部分。

本书的其余章节介绍一系列设计案例。每个案例都基于一个虚构的网络,但分别代表了当今运行MPLS的服务提供商和企业的典型网络环境。

每个设计案例由 4 部分组成。首先描述网络环境,包括支持设备、网络拓扑、POP 结构、传输设备、基本 IP 路由设计和可能的约束。接下来指出影响网络设计的目标,包括优化带宽利用率、通过合作伙伴服务提供商支持无缝 VPN 服务、通过 MPLS 核心连接已有的 ATM 基础设施以及提供各种 QoS 保证。然后介绍网络设计的各个方面,包括 VPN、QoS、流量工程、网络恢复以及(可能需要的)多播、IPv6 和伪线路。最后总结从设计案例中可吸取的一系列经验教训。这样,各种类型的服务提供商和企业都可以修改设计方案的某些方面,以满足其网络环境和目标的需求。

第 3 章描述了美国的一个数据和长途语音服务提供商(IXC),它拥有全国性的光纤和传输设备。具体地说,这个设计案例介绍了第 3 层 VPN 设计、基于过度工程化核心的 QoS 设计以及非保护 DWDM 传输设备的快速恢复。

第 4 章描述了一个国家电信公司的设计,它部署一个多服务骨干,将多种服务(如 IPv6 因特网和 IP VPN 服务)迁移到该网络中。这个网络还用于中继美国国内的公共电话数据流以及引入新的服务(如 IPv6 因特网和运营商的运营商)。另外,本章还详细介绍了共享 PE 路由器的使用,即所有服务都由相同的设备提供:在入口处提供丰富的 CoS,在核心提供电话数据流的 QoS/快速重路由。

第 5 章描述了一个国际性服务提供商,它在全球有许多 POP。该服务提供商与地区性服务提供商相连,并与它们签订严格的协议,为客户提供无缝的服务。另外,它还部署虚拟 POP(VPOP),从而在特定国家建立出现点,而不需要将自己的核心网络扩展到相应的地方。这家公司利用提供商之间的 MPLS 流量工程 LSP,通过其他提供商的 IP/MPLS 网络提供有保障的带宽和快速恢复。本章介绍了跨 AS 第 3 层 VPN 的详细设计,包括单运营商、多运营商和多播的情形;还介绍了与带宽优化相关的流量工程,包括支持区别服务的流量工程以及多种 QoS 机制。本章还介绍了通过流量工程 LSP 传输 ATM 数据流和跨 AS 环境中的 VPOP 设计及相关流量工程、恢复和 QoS 操作。

最后,第 6 章介绍了一家大型企业(银行集团),它依赖第 3 层 VPN 服务来控制子公司内部和子公司之间的通信,这是在国外进行兼并、重组和扩张的公司中非常常见的情形。具体地说,该设计案例介绍了专用国际性 MPLS 核心的运行,它同支行的连接由其他第 3 层 MPLS VPN 和帧中继服务提供商提供;介绍了使用 IPSec 在有严格安全需求的用户之间通信,以及在同时具有快速链路和慢速链路的混合环境中实现 QoS;还介绍了如何在该企业的第 3 层 MPLS VPN 设计中使用受管理的语音服务,以及电话服务提供商如何在自己的网络内部使用第 3 层 MPLS VPN 技术来为多个客户提供受管理的电话服务。

本书使用的参考文献:本书的许多地方引用了其他资源。提供参考文献旨在帮助有兴趣的读者更深入地了解某个主题。这些参考文献将用方括号表示,如[L2VPN]。要了解关于该资源的更详细信息,可参阅附录“参考文献”。

本书针对的读者

本书的目标读者包括如下网络专业人员:

- 网络架构师;
- 网络设计人员;

- 网络工程师;
- 技术经理;
- 电信专业的教授和教师;
- 技术顾问;
- 学生。

为获得 Cisco 认证 CCIP 或 CCIE 而备考 MPLS 的考生也能从本书受益。

命令语法规范

本书表示命令句法的约定如下:

- 粗体表示需要逐字输入的命令和关键字;
- 斜体表示需要用实际值替换的参数;
- 竖线 (|) 用于分隔互斥元素;
- 方括号 ([]) 表示可选元素;
- 花括号 ({}) 表示必需选项;
- 方括号中的花括号 ([{}]) 表示可选元素中的必需选项。

目 录

第 1 章 技术基础：第 3 层 VPN、多播 VPN、IPv6 和伪线路	1
1.1 MPLS/IP 网络中的 MPLS VPN 服务	1
1.1.1 第 3 层 MPLS VPN 网络组件	2
1.1.2 在 PE 路由器上隔离路由状态	3
1.1.3 客户—服务提供商路由交换	4
1.1.4 PE 路由器上的标签分配	5
1.1.5 IP/MPLS 骨干上的 VPNv4 路由通告	5
1.1.6 将远程路由信息导入到 VRF 中	7
1.1.7 第 3 层 MPLS VPN 包的转发	8
1.2 远程访问第 3 层 MPLS VPN 服务	9
1.2.1 通过 L2TP VPDN 的拨号访问	9
1.2.2 借助于直接 ISDN 的拨号访问	10
1.2.3 使用 PPPoA 或 PPPoE 和 VPDN (L2TP) 的 DSL 访问	10
1.2.4 运营商的运营商架构	10
1.2.5 运营商的运营商架构中的包转发	12
1.3 跨越自主系统边界的第 3 层 MPLS VPN 服务	13
1.3.1 AS 间背靠背 VRF (方案 A)	13
1.3.2 AS 间 VPNv4 交换 (方案 B)	14
1.3.3 路由器反射器之间的 AS 间 VPNv4 交换 (方案 C)	14
1.4 多播 VPN	15
1.4.1 源分发多播树	15
1.4.2 IP 多播共享树	16
1.4.3 协议无关多播 (PIM)	17
1.4.4 源特定多播 (SSM)	18
1.4.5 第 3 层 MPLS VPN 中的多播支持	18
1.4.6 多播域	18
1.4.7 mVPN PIM 邻接关系	19
1.4.8 mVPN 的多播转发	19
1.5 MPLS 网络上的 IPv6	21
1.5.1 IPv6 概述	21

1.5.2 在 MPLS 网络上部署 IPv6	24
1.5.3 IPv6 提供商边缘 (6PE)	25
1.5.4 IPv6 VPN 提供商边缘 (6VPE)	27
1.6 第 2 层服务和伪线路	28
1.6.1 伪线路网络组件	28
1.6.2 伪线路的创建和信令	30
1.6.3 伪线路封装	31
1.6.4 伪线路包流	31
第 2 章 技术基础：服务质量、流量工程和网络恢复	33
2.1 MPLS 网络中的服务质量	33
2.1.1 数据流需求和服务等级协议	33
2.1.2 QoS 机制	36
2.1.3 基本 QoS 与利用率曲线	36
2.1.4 IETF 区别服务模型和机制	37
2.1.5 区别服务的 MPLS 支持	41
2.1.6 组合工具以支持 SLA	44
2.2 流量工程	46
2.2.1 MPLS 流量工程组件	47
2.2.2 属性层次 (有序路径选项集)	49
2.2.3 TE LSP 路径计算	50
2.2.4 MPLS TE IGP 路由扩展	50
2.2.5 流量工程 LSP 的信令	51
2.2.6 流量工程 LSP 上的路由	52
2.2.7 解决“鱼形问题”	52
2.2.8 TE LSP 部署方案	53
2.2.9 重新优化流量工程 LSP	54
2.2.10 MPLS 流量工程和负载均衡	55
2.2.11 MPLS 流量工程转发邻接关系	56
2.2.12 自动建立 TE LSP 网	58
2.3 支持区别服务的 MPLS 流量工程	58
2.3.1 带宽约束模型	59
2.3.2 流量工程 LSP 属性扩展	60
2.3.3 TE LSP 路径计算扩展	60
2.3.4 流量工程 IGP 路由扩展	60
2.3.5 TE LSP 信令扩展	60
2.3.6 路由到支持区别服务的 TE LSP	60
2.3.7 DS-TE 部署示例	61
2.4 多区域和多 AS 环境下的 MPLS 流量工程	62
2.5 核心网络可用性	65
2.5.1 保护与恢复	66
2.5.2 本地与全局恢复	66

2.5.3 采用 IP 路由的网络恢复	67
2.5.4 使用动态定时器执行 LSA 发出和 SPF 触发	70
2.5.5 MPLS 流量工程的网络恢复	72
第 3 章 长途通信公司设计案例	81
3.1 USCom 的网络环境	81
3.2 USCom 的网络设计目标	87
3.3 路由和骨干标签转发设计	87
3.3.1 因特网和第 3 层 MPLS VPN 服务的分离	88
3.3.2 因特网服务路由反射部署	89
3.4 第 3 层 MPLS VPN 服务设计概述	90
3.4.1 PE 路由器基本工程指导方针	91
3.4.2 PE 路由器控制平面需求	94
3.4.3 VPNv4 路由反射器部署细节	95
3.4.4 PE-CE 路由协议设计	98
3.4.5 PE-CE 链路的 IP 地址分配	102
3.4.6 用过滤控制路由分发	102
3.4.7 第 3 层 MPLS VPN 服务的安全设计	103
3.5 服务质量设计	104
3.5.1 因特网服务 SLA	104
3.5.2 第 3 层 MPLS VPN 服务 SLA	105
3.5.3 核心网络的 QoS 设计	108
3.5.4 网络边缘 QoS 设计	110
3.6 USCom 网络内部的流量工程	114
3.7 网络恢复设计	115
3.7.1 网络可用性目标	115
3.7.2 网络恢复设计的运营约束	115
3.7.3 网络恢复设计的开销约束	116
3.7.4 链路失效的网络恢复设计	116
3.7.5 USCom 网络内部的前缀优先排序	119
3.7.6 避免临时环路	120
3.7.7 重用恢复的链路	122
3.7.8 USCom 网络中的多点失效	123
3.7.9 USCom 网络中的链路失效检测	124
3.7.10 USCom 网络中的节点失效	124
3.7.11 IS-IS 会聚	125
3.7.12 USCom 网络中的 IS-IS 配置	126
3.8 USCom 网络的设计教训	127
第 4 章 国家电信公司设计案例	131
4.1 Telecom Kingland 网络环境	132
4.2 Telecom Kingland 设计目标	137
4.3 路由和骨干标签转发设计	138

4.3.1 共享边缘因特网和第3层 MPLS VPN 服务	140
4.3.2 因特网服务：路由反射部署	140
4.4 第3层 MPLS VPN 服务：设计概述	141
4.4.1 多服务 PE 路由器基本工程指导方针	142
4.4.2 客户 VRF 命名规则	142
4.4.3 RT/RD 分配方案	142
4.4.4 网络管理 VPN	143
4.4.5 负载均衡支持	143
4.4.6 mPE 路由器控制平面需求	145
4.4.7 PE-CE 路由协议设计	147
4.5 运营商的运营商服务	147
4.5.1 运营商的运营商负载均衡支持	148
4.5.2 大型运营商的运营商客户连接范例	149
4.6 远程接入第3层 MPLS VPN 服务	150
4.6.1 L2TP VPDN 拨号访问	151
4.6.2 直接 ISDN 拨号访问	152
4.6.3 使用 PPPoE 或 PPPoA 和 VPDN (L2TP) 的 DSL 访问	153
4.7 mVPN 服务的应用	153
4.7.1 多播地址分配	154
4.7.2 多播路由协议支持	154
4.7.3 PIM-SM 的会合点和 BSR 设计	155
4.7.4 在 mVPN 设计中使用数据 MDT	156
4.7.5 限制 mPE 路由器的多播路由状态	157
4.8 服务质量设计	157
4.8.1 第3层 MPLS VPN 和因特网 SLA	158
4.8.2 核心网络中的 QoS 设计	159
4.8.3 第3层 MPLS VPN 和因特网的网络边缘 QoS 设计	165
4.8.4 语音中继的网络边缘 QoS 设计	171
4.8.5 第3层 MPLS VPN CsC 的网络边缘 QoS 设计	171
4.8.6 SLA 监测和报表	173
4.9 MPLS 流量工程设计	174
4.9.1 设置每条 MPC 链路上的最大可保留带宽	175
4.9.2 TE LSP 带宽	175
4.9.3 路径计算	176
4.9.4 PE-PSTN1 路由器之间的 TE LSP	176
4.9.5 PE-PSTN1 与 PE-PSTN2 路由器之间或 PE-PSTN2 路由器之间的 TE LSP	179
4.9.6 TE LSP 的重优化	179
4.9.7 MPLS 流量工程模拟	180
4.9.8 TE 的可扩展性	181
4.9.9 使用刷新减少	181
4.9.10 提供 TE LSP 网	181
4.9.11 监测	181