



“十三五”

国家重点图书出版规划项目

ICT认证系列丛书

华为技术认证

# 华为MPLS技术 学习指南

王 达 主编



 中国工信出版集团

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

非外借



★ ★ ★ ★ ★  
“十三五”

国家重点图书出版规划项目

ICT认证系列丛书

华为技术认证

华为MPLS技术

学 习 指 南

王 达 主编



人 民 邮 电 出 版 社  
北 京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

华为MPLS技术学习指南 / 王达主编. — 北京 : 人民邮电出版社, 2017. 12  
(ICT认证系列丛书)  
ISBN 978-7-115-45648-9

I. ①华… II. ①王… III. ①宽带通信系统—综合业务通信网—指南 IV. ①TN915.142-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第267815号

## 内 容 提 要

本书由华为技术有限公司授权编写并出版,是一本系统、深入介绍华为设备 MPLS 隧道技术的工具图书。本书内容主要包括 MPLS 隧道基础知识、静态 LSP、动态 LDP LSP、MPLS TE 和 MPLS DS-TE 隧道建立,以及 MPLS QoS 等方面,同时本书也是华为技术有限公司指定的 ICT 认证培训教材。

全书共 9 章,第 1 章介绍了 MPLS 技术的基础知识和相关技术原理;第 2 章介绍了静态 LSP 建立的配置与管理方法;第 3~4 章介绍了动态 LDP LSP 建立的相关技术原理,以及 LDP LSP 基本功能和各种扩展功能的配置与管理方法;第 5~7 章介绍了 MPLS TE 隧道相关技术原理及各项功能配置与管理方法;第 8 章介绍了华为 S 系列交换机中的 MPLS QoS 功能技术原理及配置与管理方法;第 9 章介绍了华为 AR G3 系列中的 MPLS DS-TE 隧道相关技术原理及配置与管理方法。

为了帮助大家理解,书中拓展介绍了许多相关的计算机网络通信原理,并且各章均有大量的典型配置案例,并对一些典型故障排除方法进行了详细的介绍。另外,本书经过华为技术有限公司多位专家指导和审核,无论是在专业性方面,还是在经验性和实用性方面均有很好的保障,是相关人员自学或者教学华为设备 MPLS 配置与管理的必选教材。

- 
- ◆ 主 编 王 达  
责任编辑 李 静 王建军  
责任印制 彭志环
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 28.5 2017 年 12 月第 1 版  
字数: 668 千字 2017 年 12 月北京第 1 次印刷
- 

定价: 95.00 元

读者服务热线: (010) 81055488 印装质量热线: (010) 81055316  
反盗版热线: (010) 81055315

# 序

人类社会和人类文明发展的历史也是一部科学技术发展的历史。半个多世纪以来，精彩纷呈的 ICT 技术，汇聚成了波澜壮阔的互联网，突破了时间和空间的限制，把人类社会和人类文明带入到前所未有的高度。今天，人类社会已经步入网络和信息时代，我们已经处在无处不在的网络连接中。连接已经成为一种常态，信息浪潮迅速而深刻地改变着我们的工作和生活。人们与世界连接得如此紧密，实现了随时随地自由沟通，对信息与数据的获取和分享也无处不在。这意味着，这个连接的世界，正以超乎想象的速度与力量，对人类社会的政治、经济、商业文明和生产方式等进行全面的重塑。

ICT 正在蓬勃发展，移动化、物联网、云计算和大数据等新趋势正在引领行业开拓新的格局。世界正在发生影响深远的数字化变革，互联网正在促进传统产业的升级和重构。以业务、用户和体验为中心的敏捷网络架构将深刻影响未来数字社会的发展。我们深知每个人都拥有平等的数字发展机会，这对于构建一个更加公平的现实世界至关重要。

ICT 产业的发展离不开人才的支撑，产业的变革也将为 ICT 行业人才的知识体系和综合技能带来更高的挑战。华为作为全球领先的信息与通信解决方案供应商，其产品与解决方案已广泛应用于金融、能源、交通、政府、制造等各个行业。同时，其非常注重对 ICT 专业人才的培养。所以，华为与行业专家、高校老师合作编写了《华为 ICT 认证系列丛书》，旨在为广大用户、ICT 从业者，以及愿意投身到 ICT 行业中的人士提供更加便利的学习帮助。

继 2014 年华为与王达老师合作并出版《华为交换机学习指南》《华为路由器学习指南》《华为 VPN 学习指南》以来，得到了广大读者的高度肯定和大力支持。随着读者朋友的成长，大家渴望更加专业的技术学习，其中最受关注的是 MPLS 技术。为此，华为再度与王达老师合作并出版《华为 MPLS 技术学习指南》和《华为 MPLS VPN 学习指南》两本图书。这两本图书从学习和实用的角度，基于学习的逻辑对知识点进行了系统的组织编排，内容由浅入深，让读者逐步掌握各种 MPLS 技术原理，以及在 L2VPN、L3VPN、MPLS TE、MPLS DS-TE 和 QoS 应用方面的配置与管理方法。这两本图书还配备了大量不同场景下的各种 MPLS 应用方案的配置示例及典型故障排除方法，让读者能够真正学以致用。希望本书能够帮助读者快速地学习华为设备的 MPLS 技术，不断提升，在 ICT 行业大展身手！

# 自序

本书与配套的《华为 MPLS VPN 学习指南》同时创作并完成，建议先学习本书。本书全面、深入地介绍了各种 MPLS 隧道建立，以及 MPLS QoS 方面的技术原理及相关功能的配置与管理方法。

## 本书出版背景

本书出版的原始动力主要来自于读者的需求。笔者自 2014 年出版了《华为交换机学习指南》和《华为路由器学习指南》两本图书后，经常有读者问我是否打算出版其他方面的华为图书，其中最受关注的就是华为 VPN、MPLS、WLAN 等方面相对高端的 HCIE 技术图书。因为技术图书有一个特点，即越是高端的技术，相关图书越少，网上的专业资源也越少。但随着读者朋友的成长，他们越来越渴望学到更高级的技能，因此在 2017 年年初萌生了出版《华为 VPN 学习指南》《华为 MPLS 技术学习指南》和《华为 MPLS VPN 学习指南》这三本图书的想法。在得到华为技术有限公司和人民邮电出版社的认可和支后笔者就开始了新的创作征程。《华为 VPN 学习指南》一书已于 2017 年 9 月正式出版上市。

经过近四年的时间以及几十位国内通信领域专家学者和华为技术有限公司各级领导的共同努力，截至目前，华为 ICT 认证系列图书已出版了十余部，HCNA 和 HCNP 级别的培训图书基本上已成体系，目前主要缺少的是 HCIE 级别的培训图书。已出版的这十余部图书，经过几年的市场检验，得到了读者朋友们广泛的认可和赞赏。为了完善培训图书体系，帮助广大用户掌握各高级设备功能应用，也有必要继续编写 HCIE 级别的图书。十分荣幸，也非常感谢华为技术有限公司的信任，再次把 HCIE 培训图书的开篇创作任务交给了笔者。

本书与笔者前面出版的几本华为图书一样，也得到了华为技术有限公司许多产品专家的严格审核和技术把关，他们提供了许多宝贵的技术指导和修订意见。本书还得到了人民邮电出版社许多编辑老师的多次编辑、审核，所以，无论是专业性、实用性，还是图书编排、出版质量上，本书都有着非一般图书可比的全线保障，敬请读者放心选购。希望这两本书能继续得到大家的喜爱，更希望这两本书能给大家带来实在的帮助。同时也衷心地感谢华为技术有限公司和人民邮电出版社多位领导的大力支持，感谢参与本书编审的技术专家和编辑老师们的辛勤付出，您们辛苦了！

## 服务与支持

为了加强与读者朋友们的交流与沟通，同时也方便读者朋友们相互交流与学习，及时了解图书配套视频课程和在线培训资讯，笔者向大家提供了全方位的交流平台。

- 超级读者、学员交流 QQ 群

读者交流 QQ 群：516844263

视频课程学员 QQ 群：398772643

■ 两个专家博客

51CTO 博客：<http://winda.blog.51cto.com>

CSDN 博客：[http://blog.csdn.net/lycb\\_gz](http://blog.csdn.net/lycb_gz)

■ 两个认证微博

新浪微博：[weibo.com/winda](http://weibo.com/winda)

腾讯微博：[t.qq.com/winda2010](http://t.qq.com/winda2010)

■ 两个视频课程中心

CSDN 学院课程中心：<http://edu.csdn.net/lecturer/74>

51CTO 学院课程中心：[http://edu.51cto.com/lecturer/user\\_id-55153.html](http://edu.51cto.com/lecturer/user_id-55153.html)

■ 微信及公众号

微信：[windanet](http://windanet)（加入后可进入读者微信群）

微信公众号：[windanetclass](http://windanetclass)

## 鸣谢

本书由王达主编并统稿，经过数十位编委、技术专家数月夜以继日的工作，一次次严格的审校、修改和完善，本书终于完成，并顺利高质量地出版上市。在此感谢华为技术有限公司各位专家缜密的技术审校和大力支持，感谢人民邮电出版社各位编辑老师，以及各位编委的辛勤工作！以下是参与本书编写和技术审校人员名单（排名不分先后）。

编委人员：何艳辉、周健辉、何江林、卢翠环、王传寿、谭文凤、李峰、郑小建、余志坚、曾育文、刘云根、谢桂安、罗广平、朱碧霞、胡海侨、黄丽君、王爽、陈玉生、蔡学军、李想、夏强、刘胜华、罗巧芬

技术审校：蓝鹏、史晓健、管超、江永红

# 前 言

每部图书的创作都是一次艰难的历程，都是一次严峻的挑战。HCIE 级别图书的创作难度要远大于之前 HCNA 和 HCNP 图书的创作难度，因为 MPLS 历来是数据通信方面最复杂、最难懂的技术领域，其中涉及许许多多深奥且复杂的技术原理。

## 本书特色

### ■ 华为官方授权、审核

华为技术有限公司官方直接授权创作本书，并对整个图书创作、出版的各个阶段进行跟踪、审核，所以本书无论在图书质量和内容专业性方面均有很好的保障。这也是本书能作为华为 ICT 认证培训图书之一的前提与基础。

### ■ 系统、深入、不泛泛而谈

这是笔者一直坚持的著书特色，也长期得到了广大读者的认可。本书对华为设备 MPLS 隧道本身相关的主要技术原理和功能应用配置与管理方法都做了系统而又深入的介绍，真正可以做到“一册在手，别无所求”。

### ■ 细致、通俗且富有经验性

本书所涉及的技术原理比较复杂、难懂，所以笔者在编写本书时充分结合了近二十年专门研究计算机网络通信原理方面的经验，尽可能地从应用的角度把各项技术原理进行细化及通俗的剖析。

### ■ 细节入微、层次分明、重点突出

在细节方面，笔者尽可能坚持深度剖析，通过各种手段寻找答案，尽量解决读者的困惑。在层次方面，笔者严格遵循渐进式的学习规律，尽可能做到条理清晰、架构明确、没有知识点的跳跃。在重点描述方面，对于需要引起读者格外注意的地方，笔者都会在内容上以加粗方式显示，方便读者把握重点。

### ■ 典型配置示例和故障排除方法的结合

为了增强本书的实用性，在介绍完每一种相关功能配置后笔者都列举了大量不同场景下的配置示例，以加深大家对前面所学技术原理和具体配置与管理方法的理解。许多配置示例完全可以直接应用于不同的现实场景。另外，为了使大家能在部署 MPLS 方案时迅速地排除所遇到的故障，笔者在大部分章节的最后都介绍了针对经典故障现象的排除方法，使得本书具有非常高的专业性和实用性。

## 适用读者对象

本书具备极高的系统性、专业性和实用性，适合的读者对象如下：

- 参加华为 R&S HCIE 认证的朋友；
- 希望从零开始系统学习华为设备 MPLS 技术的朋友；

- 华为培训合作伙伴、华为网络学院的学员；
- 使用华为 S 系列交换机、AR 系列路由器产品的用户；
- 高等院校计算机网络专业的学生。

## 本书主要内容

本书内容非常丰富，共 9 章，对华为设备各种 MPLS 隧道建立和 MPLS QoS 方面的相关技术原理及功能配置与管理方法均进行了详细而又深入的介绍，并在每章给出了大量的典型配置示例。下面是各章的主要内容介绍。

### 第 1 章 MPLS 基础

本章介绍了 MPLS 技术的基础知识和基本的技术原理，包括 MPLS 的由来、MPLS 体系结构、MPLS 标签、MPLS 报文转发流程、LSP 的连通性检测等，这些都是其他 MPLS 技术原理和应用的基础。

### 第 2 章 静态 LSP 配置与管理

本章介绍了最简单的静态 LSP 的配置与管理方法，以及静态 LSP 建立的典型故障排除方法。

### 第 3 章 MPLS LDP 基本功能配置与管理

本章介绍了采用 LDP 作为信令协议而动态建立的 LDP LSP 的配置与管理方法和典型故障排除方法。其中重点介绍了 LDP 的各方面基础和技术原理，包括 LDP 会话消息、LDP 会话的建立、LDP 的标签发布和管理、动态 LDP LSP 的建立等。

### 第 4 章 MPLS LDP 扩展功能配置与管理

本章介绍了在 LDP LSP 建立中所涉及的可选扩展功能的配置与管理方法，包括 LDP LSP 的 BFD 检测、LDP 与路由联动、LDP FRR、LDP GR 和 LDP LSP 安全机制等功能的配置与管理方法。

### 第 5 章 MPLS TE 基本功能配置与管理

本章介绍了 MPLS TE（流量工程）隧道中 CR-LSP 建立相关的技术原理和静态、动态 MPLS TE 隧道的配置与管理方法，以及 MPLS TE 隧道维护方法。在基础知识和技术原理方面重点介绍了 RSVP-TE 的消息类型、对象类型、消息格式、TE 隧道属性/链路属性、OSPF TE/IS-IS TE 信息发布原理和 CR-LSP 建立流程等。

### 第 6 章 MPLS TE 参数调整配置与管理

本章介绍了 MPLS TE 隧道建立过程中的参数调整功能的配置与管理方法。这里所调整的参数是指用于建立 CR-LSP 的参数，主要包括 RSVP-TE 信令参数、CR-LSP 路径选择参数、MPLS TE 隧道建立参数 3 个方面。

### 第 7 章 MPLS TE 可靠性功能配置与管理

本章介绍了 MPLS TE 隧道的可靠性功能配置与管理方法，主要包括常用的 CR-LSP 备份及 BFD for CR-LSP 两个方面。

### 第 8 章 MPLS QoS 配置与管理

本章介绍了华为 S 系列交换机所支持的 MPLS QoS 技术原理和相关功能配置与管理方法。



## 第9章 MPLS DS-TE 配置与管理

本节介绍了华为 AR G3 系列路由器所支持的 MPLS QoS 功能——DS-TE 隧道的相关技术原理、静态/动态 DS-TE 隧道配置与管理方法。本章的技术原理比较复杂，涉及 MPLS QoS 中一系列复杂的技术，包括 Diffserv 服务模型、DSCP/802.1P/LP/EXP 优先级，及其与队列、PHB 之间的相互映射关系，以及 DS-TE 中的 LSP 抢占、TE-Class 映射、带宽约束模型、DS-TE 模式等。

### 阅读注意地方

在阅读本书时，请注意以下几点。

- 在学习华为 MPLS 时，建议先学习本书，然后学习配套的《华为 MPLS VPN 学习指南》一书。
- 书中以 V200R010 及以上版本华为 S 系列交换机、V200R008 及以上版本 AR G3 系列路由器为主线进行介绍的。
- 在配置命令代码介绍中，粗体字部分是命令本身或关键字选项部分，是不可变的；斜体字部分是命令或者关键字的参数部分，是可变的。
- 在介绍各种 VPN 技术及功能配置说明过程中，对于需要特别注意的地方均以粗体字格式加以强调，以便读者在阅读学习时特别注意。

# 目 录

第 1 章 MPLS 基础	0
1.1 MPLS 基础	2
1.1.1 MPLS 的起源	2
1.1.2 MPLS 网络结构	3
1.1.3 MPLS 标签	5
1.1.4 MPLS 体系结构	8
1.1.5 LSP 简介	11
1.1.6 MPLS 的主要应用	12
1.2 MPLS 基本工作原理	14
1.2.1 MPLS 标签动作	14
1.2.2 MPLS 报文转发涉及的基本概念	16
1.2.3 MPLS 报文转发流程	17
1.2.4 MPLS 对 TTL 的处理	18
1.3 LSP 连通性检测	21
1.3.1 MPLS Ping/MPLS Tracert 简介	21
1.3.2 MPLS Ping 工作原理	21
1.3.3 MPLS Tracert 工作原理	22
第 2 章 静态 LSP 配置与管理	24
2.1 静态 LSP 配置与管理	26
2.1.1 创建静态 LSP	26
2.1.2 配置静态 BFD 检测静态 LSP	28
2.1.3 检测静态 LSP 的连通性	33
2.1.4 静态 LSP 及 BFD 检测维护与管理	35
2.1.5 AR 路由器静态 LSP 配置示例	36
2.1.6 S 交换机静态 LSP 配置示例	40
2.1.7 静态 BFD 检测静态 LSP 配置示例	46
2.2 静态 LSP 建立不成功故障排除	61
第 3 章 MPLS LDP 基本功能配置与管理	64
3.1 LDP 基础及工作原理	66
3.1.1 LDP 基本概念	66
3.1.2 LDP 会话消息和两个阶段	68
3.1.3 LDP 会话的建立流程	69
3.1.4 LDP 的标签发布和管理	71
3.1.5 LDP LSP 的建立过程	74

3.2	LDP 必选基本功能配置与管理	78
3.2.1	配置 LDP 必选基本功能	79
3.2.2	LDP 维护和管理命令	82
3.2.3	LDP 本地会话配置示例	82
3.2.4	远端 LDP 会话配置示例	86
3.3	配置 LDP 可选基本功能	88
3.3.1	配置 LDP 传输地址和 PHP 特性	88
3.3.2	配置 LDP 会话的定时器	90
3.3.3	配置标签发布和分配控制方式	93
3.3.4	配置 LDP 自动触发 DoD 请求功能	94
3.3.5	LDP 自动触发 DoD 请求功能配置示例	95
3.3.6	配置 LDP 标签策略	101
3.3.7	LDP Inbound 策略配置示例	104
3.3.8	LDP Outbound 策略配置示例	108
3.3.9	配置 LDP LSP 建立的触发策略	109
3.3.10	LSP 建立的 lsp-trigger 触发策略配置示例	111
3.3.11	Transit LSP 建立的触发策略配置示例	116
3.3.12	其他 LDP 可选基本功能配置	120
3.3.13	禁止向远端对等体分配标签配置示例	123
3.4	LDP LSP 建立典型故障排除	130
第 4 章 MPLS LDP 扩展功能配置与管理		134
4.1	配置 LDP 跨域扩展	136
4.2	LDP LSP 的 BFD 检测	137
4.2.1	BFD for LDP LSP	137
4.2.2	配置静态 BFD 检测 LDP LSP	138
4.2.3	配置动态 BFD 检测 LDP LSP	143
4.2.4	BFD 检测 LDP LSP 维护和管理命令	146
4.2.5	静态 BFD 检测 LDP LSP 配置示例	146
4.2.6	动态 BFD 检测 LDP LSP 配置示例	151
4.3	LDP 与路由联动配置与管理	154
4.3.1	配置 LDP 与静态路由联动	154
4.3.2	LDP 和静态路由联动配置示例	156
4.3.3	配置 LDP 与 IGP 联动	161
4.3.4	LDP 与 IGP 联动管理命令	166
4.3.5	LDP 与 OSPF 联动配置示例	166
4.4	LDP FRR 配置与管理	171
4.4.1	LDP FRR 的两种实现方式	171
4.4.2	LDP FRR 的实现原理	172
4.4.3	配置 LDP FRR	173
4.4.4	Manual LDP FRR 配置示例	178
4.4.5	LDP Auto FRR 配置示例	182
4.5	LDP GR 配置与管理	189
4.5.1	LDP GR 工作原理	189
4.5.2	配置 LDP GR	191
4.5.3	LDP GR 配置示例	194

4.6 LDP 安全机制配置与管理 .....	198
4.6.1 LDP 安全机制简介 .....	198
4.6.2 配置 LDP MD5 认证 .....	200
4.6.3 配置 LDP Keychain 认证 .....	201
4.6.4 配置 LDP GTSM .....	206
4.6.5 LDP GTSM 配置示例 .....	206
第 5 章 MPLS TE 基本功能配置与管理 .....	210
5.1 MPLS TE 基础 .....	212
5.1.1 MPLS TE 简介 .....	212
5.1.2 RSVP-TE 简介 .....	214
5.1.3 RSVP-TE 消息类型 .....	215
5.1.4 RSVP-TE 的对象类型 .....	216
5.1.5 RSVP-TE 消息格式 .....	217
5.1.6 MPLS TE 隧道 .....	220
5.1.7 MPLS TE 链路属性 .....	221
5.1.8 MPLS TE 隧道属性 .....	222
5.1.9 MPLS TE 框架 .....	226
5.2 MPLS TE 信息发布原理 .....	228
5.2.1 MPLS TE 信息内容 .....	228
5.2.2 OSPF TE .....	228
5.2.3 IS-IS TE .....	231
5.2.4 MPLS TE 信息发布 .....	232
5.3 CR-LSP 路径计算 .....	234
5.4 CR-LSP 路径的建立与切换 .....	236
5.4.1 CR-LSP 的路径建立原理 .....	236
5.4.2 CR-LSP 路径切换的 Make-Before-Break 机制 .....	238
5.5 MPLS TE 流量转发 .....	239
5.6 静态 MPLS TE 隧道配置与管理 .....	241
5.6.1 使能 MPLS TE .....	242
5.6.2 配置 MPLS TE 隧道接口 .....	243
5.6.3 配置链路的带宽 .....	244
5.6.4 配置静态 CR-LSP .....	245
5.6.5 静态 CR-LSP 配置管理 .....	248
5.6.6 静态 MPLS TE 隧道配置示例 .....	248
5.7 动态 MPLS TE 隧道配置与管理 .....	252
5.7.1 使能 MPLS TE 和 RSVP-TE .....	252
5.7.2 配置 MPLS TE 隧道接口 .....	253
5.7.3 配置 TE 信息发布 .....	254
5.7.4 配置 MPLS TE 隧道的约束条件 .....	257
5.7.5 配置 MPLS TE 路径计算 .....	259
5.7.6 动态 MPLS TE 隧道配置管理 .....	260
5.7.7 动态 MPLS TE 隧道配置示例 .....	262
5.8 配置流量引入 MPLS TE 隧道 .....	266
5.8.1 自动路由配置与管理 .....	266
5.8.2 通过转发捷径将流量引入 TE 隧道的配置示例 .....	269

5.8.3 通过转发邻接将流量引入 TE 隧道的配置示例	274
5.9 MPLS TE 隧道维护	280
<b>第 6 章 MPLS TE 参数调整配置与管理</b>	<b>282</b>
6.1 调整 RSVP-TE 信令参数	284
6.1.1 配置 RSVP 资源预留风格	284
6.1.2 配置 RSVP-TE 预留确认	285
6.1.3 配置 RSVP 的状态定时器	285
6.1.4 使能 RSVP-TE 摘要刷新功能	286
6.1.5 配置 RSVP 的 Hello 扩展	288
6.1.6 配置 RSVP 消息格式	289
6.1.7 配置 RSVP 认证	291
6.1.8 RSVP-TE 参数调整管理	296
6.1.9 RSVP 认证配置示例	296
6.2 调整 CR-LSP 的路径选择	301
6.2.1 配置 CSPF 的仲裁方法	301
6.2.2 配置选路使用的度量	302
6.2.3 配置 CR-LSP 的跳数限制值	303
6.2.4 配置路由锁定	304
6.2.5 配置管理组与亲和属性	304
6.2.6 配置 CR-LSP 和 Overload 联动功能	306
6.2.7 配置失效链路定时器	307
6.2.8 配置带宽的泛洪阈值	308
6.2.9 调整 CR-LSP 路径选择的配置管理	309
6.2.10 MPLS TE 隧道属性配置示例	309
6.3 调整 MPLS TE 隧道的建立	318
6.3.1 配置环路检测	319
6.3.2 配置记录路由和标签	319
6.3.3 配置 CR-LSP 重优化	319
6.3.4 配置隧道重建	321
6.3.5 配置 RSVP 信令延迟触发功能和隧道优先级	321
<b>第 7 章 MPLS TE 可靠性功能配置与管理</b>	<b>322</b>
7.1 CR-LSP 备份配置与管理	324
7.1.1 CR-LSP 备份实现原理	324
7.1.2 CR-LSP 备份配置任务	326
7.1.3 创建备份 CR-LSP	327
7.1.4 配置流量强制切换	328
7.1.5 配置热备份 CR-LSP 动态带宽保护功能	329
7.1.6 配置逃生路径	329
7.1.7 CR-LSP 备份配置管理	330
7.1.8 CR-LSP 热备份配置示例	330
7.2 BFD for MPLS TE 配置与管理	338
7.2.1 BFD for MPLS TE 简介	338
7.2.2 静态 BFD for CR-LSP 配置与管理	340

7.2.3	配置动态 BFD for CR-LSP .....	345
7.2.4	调整入节点 BFD 检测参数 .....	346
7.2.5	BFD for CR-LSP 配置管理 .....	348
7.2.6	静态 BFD for CR-LSP 配置示例 .....	349
7.2.7	动态 BFD for CR-LSP 配置示例 .....	352
第 8 章 MPLS QoS 配置与管理 .....		356
8.1	MPLS QoS 基础 .....	358
8.1.1	MPLS DiffServ 简介 .....	358
8.1.2	Diffserv 域 .....	359
8.1.3	MPLS DiffServ 的工作模式 .....	360
8.1.4	MPLS QoS 在 VPN 业务中的应用 .....	363
8.2	MPLS QoS 配置与管理 .....	365
8.2.1	配置 MPLS 公网隧道标签优先级映射 .....	366
8.2.2	配置 MPLS 私网支持的 DiffServ 模式 .....	369
8.2.3	L3VPN MPLS QoS 配置示例 .....	372
第 9 章 MPLS DS-TE 配置与管理 .....		382
9.1	DS-TE 基础及工作原理 .....	384
9.1.1	MPLS DS-TE 的产生背景 .....	384
9.1.2	MPLS DS-TE 基本概念 .....	387
9.1.3	LSP 抢占和 TE-Class 映射 .....	387
9.1.4	DS-TE 中的带宽类型 .....	388
9.1.5	DS-TE 带宽约束模型 .....	389
9.1.6	DS-TE 差分服务方案 .....	391
9.1.7	DS-TE 模式及切换 .....	392
9.1.8	DS-TE CR-LSP 建立和业务调度 .....	394
9.2	静态 DS-TE 隧道配置与管理 .....	395
9.2.1	静态 DS-TE 的配置任务 .....	395
9.2.2	配置 DS-TE 模式和带宽约束模型 .....	397
9.2.3	配置 TE-Class 映射表和链路带宽 .....	398
9.2.4	配置静态 CR-LSP 并指定带宽 .....	400
9.2.5	配置接口信任的报文优先级 .....	403
9.2.6	配置 CT 与业务类型的映射关系以及调度方式 .....	403
9.2.7	DS-TE 隧道配置管理 .....	406
9.2.8	Non-IETF 模式的 MAM 模型静态 DS-TE 配置示例 .....	406
9.3	动态 DS-TE 隧道配置与管理 .....	420
9.3.1	配置动态 DS-TE 隧道的约束条件 .....	421
9.3.2	RDM 模型 IETF 模式的动态 DS-TE 配置示例 .....	423

# 第1章

# MPLS基础

- 1.1 MPLS基础
- 1.2 MPLS基本工作原理
- 1.3 LSP连通性检测

MPLS 其实可以理解为一种把三层路由信息映射成二层交换路径的交换方式。因为在 MPLS 交换中，首先是基于 IP 路由表在通信路径上建立用于指导 MPLS 报文转发的 LSP（标签转发路径，或称 MPLS 隧道），然后 MPLS 网络中各设备就可以直接利用在 LSP 中为各设备分配的 MPLS 标签进行 MPLS 报文转发。正因如此，MPLS 是一种标签交换技术。

MPLS 最初的设计思想来源于二层的 FR（帧中继）中的 DLCI（数据链路连接标识），以及 ATM（异步传输模式）网络中的 VPI/VCI（虚拟路径标识符/虚拟通道标识符），其都可以看作是一种标签，而且都属于数字类型。MPLS 的标签也是数字类型，在原理上也与 FR 的 DLCI、ATM 的 VPI/VCI 非常类似。

第 1 章作为本书的开篇，主要介绍 MPLS 技术的一些基础知识和基本工作原理，包括 MPLS 的起源、MPLS 基本架构、MPLS 标签、MPLS LSP 的建立、MPLS 报文转发流程等。

## 1.1 MPLS 基础

MPLS（Multiprotocol Label Switching，多协议标签交换）是一种应用于运营商 IP 骨干网的数据交换技术。其在无连接的 IP 网络上引入面向连接（即邻居设备间必须先建立某种连接）的标签交换概念，将第三层路由技术和第二层交换技术相结合，充分发挥了 IP 路由的灵活性和二层交换的简捷性。

MPLS 起源于 IPv4 网络，但目前其核心技术可通过扩展支持多种网络层协议，如 IPv6、IPX（Internet Packet Exchange，因特网包交换）和 CLNP（Connectionless Network Protocol，无连接网络协议）等，在数据链路层上支持以太网、PPP、HDLC 等多种协议，这也就是其名称中“多协议”的含义。

### 1.1.1 MPLS 的起源

20 世纪 90 年代中期，路由器技术的发展远远滞后于网络的发展速度与规模，主要表现在转发效率低下及无法提供 QoS 保证。其本质原因就是：当时路由查找算法使用最长匹配原则，必须使用软件查找最佳的路由表项。

IP 路由转发的依据就是 IP 路由表项，而 IP 报文的报头中仅含有“目的 IP 地址”字段，而没有对应的“子网掩码”字段，所以从 IP 报文不可直接确定所用的 IP 路由表项，IP 报文的转发需要从当前 IP 路由表中选择一条最佳的转发路径。这就是 IP 路由中的“最长匹配原则”，即根据 IP 报文中的“目的 IP 地址”选择一个可以匹配，且子网掩码最长（代表最精确）的路由表项来为该 IP 报文进行转发。选择了 IP 路由表项才能确定从本地设备转发的出接口和下一跳 IP 地址，这样的 IP 路由表项选择是每经过一跳设备都要进行的，所以 IP 路由转发方式比较消耗资源。加之当初并没有像 ASIC 这样的集成电路技术，IP 路由表项的选择纯粹依据软件系统计算完成，效率比较低。

正因为 IP 路由转发效率比较低，有人在想是不是可以采用另外一种标识来实现同样的目的，且不用每一跳都经过复杂的计算就可以确定正确的数据转发路径，以提高转发



效率。ATM (Asynchronous Transfer Mode, 异步传输模式) 技术就是其中的杰出代表。ATM 采用定长标签 (即信元), 并且只需要维护比路由表规模小得多的标签表, 就能够提供比 IP 路由方式高得多的转发性能。也正因如此, 当时还出现过 IP 与 ATM 竞争的场面。然而 ATM 过于复杂的设计导致没有多少厂商能够完全领会并成功生产所需的软、硬件产品, 而且其无法与 IP 网络很好地融合导致最终没有广泛应用。但 ATM 仍有可取之处: 它首先摒弃了繁琐的路由表查找过程, 改为简单快速的标签交换; 其次把具有全局意义的路由表改为只有本地意义的标签表。

传统的 IP 技术简单, 且部署成本低。如何结合 IP 与 ATM 的优点成为当时的热门话题。MPLS (多协议标签交换) 技术就是在这种背景下产生的。MPLS 最初的引入背景其实是为了解决当初仅能依靠软件系统 (受制于当时路由器设备的硬件技术落后) 进行路由转发而带来的数据转发效率低下的问题。因为, MPLS 与传统 IP 路由方式相比, 在数据转发时, MPLS 只需在网络边缘分析 IP 报头, 而不用在每一跳都分析 IP 报头, 节约了处理时间, 提高了转发效率。

随着 ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 技术的发展, 路由查找速度已经不是阻碍网络发展的瓶颈, 这使得 MPLS 在提高转发速度方面不再具备明显的优势。但 MPLS 的设计者在一开始就充分吸取了 IP 和 ATM 的技术精华, 将 MPLS 协议定位在网络体系结构中的第 2.5 层位置, 即位于 TCP/IP 协议栈中的链路层和网络层之间, 用于向 IP 层提供连接服务, 同时又从链路层得到服务。其 “multiprotocol” 的设计理念, 更使得 MPLS 协议可以承载多种网络层和链路层协议报文, 所以 MPLS 在 VPN、TE (流量工程) 和 QoS 等应用方面变得更加灵活。

### 1.1.2 MPLS 网络结构

MPLS 网络的典型结构如图 1-1 所示, 网络中各路由器 (也可以是三层交换机) 称作 LSR (Label Switching Router, 标签交换路由器)。由这些 LSR 构成的网络区域称为 MPLS 域 (MPLS Domain), 其中位于 MPLS 域边缘、连接其他网络 (如 IP 网络) 的 LSR 称为 LER (Label Edge Router, 边缘路由器), MPLS 域内的 LSR 称为核心 LSR (Core LSR)。MPLS 域通常也称 MPLS/IP 骨干网, 属于所有用户共享的底层公网, 不同用户在这个 MPLS 公网上可以建立自己的私网, 即 VPN 网络, 这就是在配套的《华为 MPLS VPN 学习指南》一书中所介绍的各种 MPLS VPN 解决方案, 可以是三层 VPN (L3VPN, 如 BGP/MPLS IP VPN), 也可以是二层 VPN (L2VPN, 如 VLL、PWE3、VPLS 等)。

IP 报文在 MPLS 网络转发过程中所经过的路径称为 LSP (Label Switched Path, 标签交换路径)。一条 LSP 可以看成是一条 MPLS 隧道, 专用于一类 IP 报文的传输。其中的入口 LER 称为入节点 (Ingress); 位于 LSP 中间的 LSR 称为中间节点 (Transit); LSP 的出口 LER 称为出节点 (Egress), 如图 1-1 所示。一条 LSP 可以有 0 个、1 个或多个中间节点, 但有且只有一个入节点和一个出节点。根据 LSP 的方向, MPLS 报文由 Ingress 发往 Egress, 则 Ingress 是 Transit 的上游节点, Transit 是 Ingress 的下游节点。同理, Transit 是 Egress 的上游节点, Egress 是 Transit 的下游节点。

**【经验提示】** 因为 LSP 是单向的, 要实现隧道两端所连网络的互通, 仅一个方向的 LSP 是不行的, 还需要建立相反方向、Ingress 节点和 Egress 节点角色互换的 LSP。一条