

MPLS技术构架

MPLS Fundamentals

MPLS技术构架

MPLS Fundamentals

[美] Luc De Ghein, CCIE #1897 著
陈麒帆, CCIE #15116 译

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

MPLS技术构架 / (美) 格茵 (Ghein, L.) 著 ; 陈麒帆译. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2012. 5
ISBN 978-7-115-27829-6

I. ①M… II. ①格… ②陈… III. ①宽带综合业务数字网 IV. ①TN915.142

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第046909号

版 权 声 明

MPLS Fundamentals (ISBN: 1587051974)

Copyright © 2007 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 技术构架

-
- ◆ 著 [美] Luc De Ghein CCIE #1897
 - 译 陈麒帆 CCIE #15116
 - 责任编辑 傅道坤
 - ◆ 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 电子邮件 ciscobooks@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 800×1000 1/16
 - 印张: 34.75
 - 字数: 818 千字 2012 年 5 月第 1 版
 - 印数: 1—3 000 册 2012 年 5 月河北第 1 次印刷

著作权合同登记号图字: 01-2012-2888 号

ISBN 978-7-115-27829-6

定价: 79.00 元

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

反盗版热线: (010)67171154

内容提要

本书旨在帮助读者成长为合格的 MPLS 网络工程师，书中从 MPLS 的基础开始讲起，覆盖了关于 MPLS 的所有理论和实践。本书通过解释 MPLS 的应用来说明为什么 MPLS 如此流行，包括 MPLS VPN、MPLS 流量工程 (TE)、MPLS 中的任意流量传输 (AToM)，以及虚拟专用 LAN 服务 (VPLS)。书中相关理论都通过配置示例来说明，详细讲解 Cisco IOS 中 MPLS 的实施、故障排除及应用。学完本书，读者将会拥有全面而实用的 MPLS 技能知识。

本书适合网络工程师、网络管理员、网络分析员、网络主管和网络设计人员阅读，对正在准备 CCIE SP 方向认证考试的读者也有特别帮助，因为这些考试非常注重 MPLS 知识。

关于作者

Luc De Ghein, CCIE No.1897, 是 Cisco 公司 EMEA 地区的专家级工程师。Luc 在网络领域已经从业 13 年, 在 Cisco 已经超过 11 年。他对全球的 Cisco 工程师提供增值服务支持, 并且教授其他关于 IP 路由协议和 MPLS 技术的课程。Luc 已经多次在网络讨论会中发言。在过去的 7 年里, Luc 专注于 MPLS 技术领域。在他现任职位之前, Luc 做了两年半的技术支持中心 (TAC) 用户支持工程师, 专攻路由技术。他成为路由和 MPLS 技术方面的专家级工程师已经超过 8 个年头。Luc 于 1996 年获得 CCIE 证书。他同时拥有路由与交换 CCIE 和服务提供商 CCIE 两张证书。

关于技术审稿人

Mohammad Miri, 任职于 Alcatel 北美公司。他拥有超过 14 年的为电信和移动供应商设计和运行 IP 网络的经验, 工程涉及宽带、窄带、MPLS 和在 IP 之上的流量工程应用。他于 1989 获得了计算机科学硕士学位。

Ivan Pepelnjak, CCIE No.1354, 是一位拥有 25 年网络工程经验的老手。他拥有超过 10 年的设计、安装、故障诊断与排除、运行大型服务提供商和企业 WAN 与 LAN 网络的经验。他现在是 NIL 数据通信的主要技术顾问, 管理高级的基于 IP 的网络和网络技术。他在 Cisco Press 出版了 *EIGRP Network Design Solutions* 和《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)。

Hari Rakotoranto, 作为一个 GMPLS 产品的管理人员任职于思科公司的 ITD (Internet 技术部门)。在工作中, 他与服务提供商以及协作组织 (ISOCORE 和 EANTC) 在 MPLS 技术开发和未来发展的领域密切合作。Hari 曾经做过软件工程师和售前售后技术咨询, 涉及各种不同的技术, 例如: 2/3 层交换、路由协议、网络管理和 UNIX 内核设计。他是 ITU-T SG13 研究组的活跃分子, 主要关注 MPLS、MPLS OAM, 以及 MPLS 的管理。

献辞

谨以此书献给我的妻子 Ania 和我的儿子 Robbe、Lander。

致谢

我真心希望感谢所有帮助本书能够完成的人。首先，我要感谢思科公司为我提供这样一个值得骄傲的工作和学习的场所。其次，我要向 Mohammad Miri、Ivan Pepelnjak 和 Hari Rakotoranto 等技术审校人表达我的敬意，因为他们的反馈、指导、建议、时间和努力确保了整本书技术上的准确性。第三，我为 Cisco Press 团队每一位成员而骄傲，他们是 Jim Schachterle、Raina Han、Dayna Isley、Mary Beth Ray、Jill Batistick、Karen A. Gill、Seth Kerney 和 Allison Johnson。有了他们的支持和耐心，这本书才得以出版。最后，我很想感谢在我著作期间家人的支持和谅解。

前言

作为一名资深工程师，我希望第一时间把多协议标签交换（MPLS）网络介绍给大家，我经历了在服务提供商网络中的第一个测试用的 MPLS 版本，同时也经历了将 MPLS 扩展到企业网络的巨大成功。另外，我还见证了新的 MPLS 技术的不断涌现，并且很快就得到了网络界的应用。初期进行 MPLS 研发的技术虽然多少有些瑕疵，但也总是让人感到兴奋的。

MPLS 的成功无疑带来了这样一个结果，那就是它可以让网络承载各种各样的流量，从 IP 流量到 Voice over IP（VoIP）的流量，再到第二层流量。MPLS 提供了一种将多种网络集成于一体的方法。MPLS 可以集成 ATM、帧中继、语音和 IP 网络到同一个网络架构中，这样一来就大大地获得了成本上的优势。

MPLS 已经成熟了很多，并且已经是一种稳定的技术了，可以看到很多新的实施和新的特性。MPLS 是基于 IP 的，而因特网也是基于 IP 技术的，所以可以预测在不久的将来，MPLS 必定要走进平常人家里。

在 Cisco 的 IOS 中配置 MPLS 相对比较简单，但还是需要很多知识来掌握如何配置，以及当 MPLS 网络出现故障的时候如何排查错误。本书向你展示了这些知识技能，以及从我自己的经验中得出的需要提醒你注意的一些问题。

目的和方法

本书的目的是帮助读者成长为合格的 MPLS 网络工程师。为了实现这个目标，本书从 MPLS 的基础开始讲解。本书覆盖了关于 MPLS 的所有理论和实践。通过解释 MPLS 的应用来说明为什么 MPLS 如此流行，包括 MPLS VPN、MPLS 流量工程（TE）、MPLS 中的任意流量传输（AToM），以及虚拟私有 LAN 服务（VPLS）。理论都通过配置示例来说明，详细讲解在 Cisco 的 IOS 中 MPLS 的实施和故障排除和它的应用。当你读完本书之后，你将会拥有全面而又实用的 MPLS 技能知识。

本书是循序渐进编写的，所以如果存在疑问，请从头到尾阅读本书。这是本书的逻辑顺序，只有已经拥有一些 MPLS 背景的读者才可以跳到任意一章开始阅读。

目标读者

本书基于 MPLS 操作基础和它的具体实施，同时还介绍所有关于 MPLS 网络的专业知识。我还尝试让这本书能够覆盖足够多的 MPLS 应用，并且把我从坎坷的经历中学到的所有东西都记录了下来。本书的目标是既要为已经具备了一定的网络经验，但对 MPLS 还不够熟悉的人介绍 MPLS，又要为一部分已经对 MPLS 比较熟悉的人提供更多相对较难的课

题研究。同时，本书的目标读者可以是网络工程师、网络管理员、网络分析员、学生、教师、网络主管和网络设计人员。

我尝试在理论和实践示例之间找到一个平衡。本书是以 Cisco 的 IOS 为基线的，列举了大量关于 Cisco IOS 的示例。但是，就算是读者对 Cisco 的 IOS 并不熟悉，本书也能帮助读者全面地了解 MPLS。

读者需要对 IP 和 IP 路由比较熟悉，因为这是阅读本书所需要的基本知识。

最后，本书对正在准备 CCIE 服务提供商笔试和 CCIE 服务提供商实验考试的读者来说也是特别有帮助的，因为它们非常注重 MPLS 知识的考查。

本书是如何组织的

本书包括 15 章和一个附录，一共分成 3 个部分。

尽管每一个章节都有自己的主题，并且相互独立，但还是建议按照从头到尾的顺序阅读本书。如果你已经具备了一定的 MPLS 经验，当然可以跳到第二部分的任一章节开始阅读。就算是这样，你也可能要浏览一下第一部分的章节来唤起你的记忆，以便能进入第二部分的阅读，因为第一部分囊括了所有需要了解的 MPLS 基础知识。

第一部分，“MPLS 基础”讨论了 MPLS 的起因以及它的基本知识。

第 1 章，“MPLS 的发展和演变”——本章介绍了什么是防火墙，以及它出现的背景。本章同时还简要概括了一些比较重要的 MPLS 应用。

第 2 章到第 6 章主要覆盖了 MPLS 的基础知识，包括以下主题。

第 2 章，“MPLS 体系架构”——本章主要关注 MPLS 的基本组件。

第 3 章，“转发标记报文”——本章描述了标签转发和被保留标签的用途。

第 4 章，“标签分发协议”——本章主要描述了标签分发协议（LDP），以及路由器如何使用它来通告 MPLS 标签。

第 5 章，“MPLS 和 ATM 架构”——本章对支持 MPLS 的 ATM 网络的全部细节作了介绍。

第 6 章，“Cisco 快速转发”——本章介绍了 Cisco 快速转发（CEF）的体系架构，这是在 Cisco IOS 中用于 MPLS 的报文转发或者交换的方式。

第二部分，“高级 MPLS 主题”主要涉及 MPLS 应用、服务质量（QoS）和故障排查。

第 7 章，“MPLS VPN”——本章讨论了在所有 MPLS 应用中最流行的一种：MPLS VPN。完整解释了 MPLS VPN 的体系架构。

第 8 章，“MPLS 流量工程”——本章主要关注如何使用 MPLS 技术来实施流量工程（TE）。

第 9 章，“MPLS 中实施 IPv6”——本章解释了 IPv6 协议如何在 MPLS 骨干网络中进行传输。

第 10 章，“MPLS 中的任意流量传输”——本章讨论了 MPLS 网络如何传输第二层服务。

第 11 章，“虚拟私有 LAN 服务”——本章描述了如何在 MPLS 骨干网络中仿真一个以太网 LAN。

第 12 章，“MPLS 和服务质量”——本章讨论了 MPLS 网络如何提供 QoS，以及如何在 MPLS 网络中传播 QoS 信息。

第 13 章，“MPLS 网络故障排查”——本章描述了各种故障排查技术以及你可以在 MPLS 网络中使用的工具。

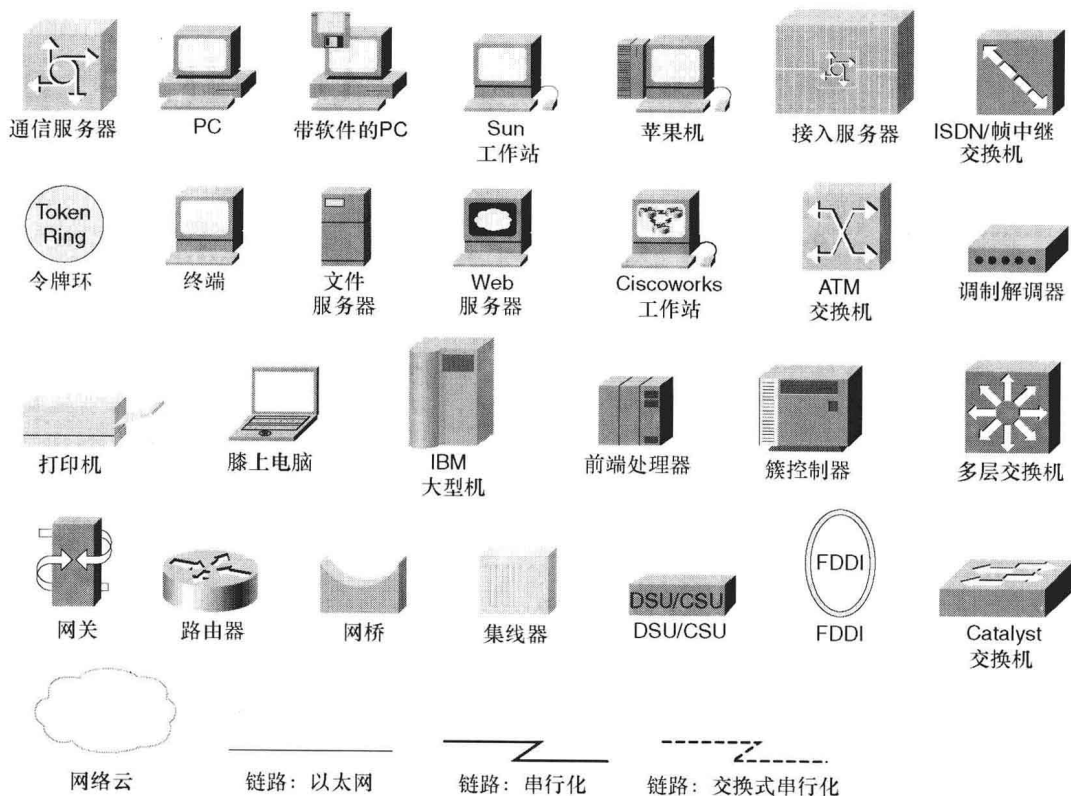
第 14 章，“MPLS 实施和维护”——本章研究 MPLS 实施与维护（OAM），以及它如何用于检测实施中的错误，统计和度量 MPLS 网络性能。

第 15 章，“MPLS 的未来”——本章对 MPLS 的未来和 MPLS 很可能会得到的增强或者发展进行了展望。

第三部分，附录。

附录 A，“各章复习题答案”——本附录对每一章最后所提出的问题提供了参考答案。

本书中使用的设备图标



命令语法约定

本书中用于表示命令的语法约定与 IOS 命令参考手册中使用的一样。命令参考手册描述的约定如下：

- 用**粗体字**表示按字面显示输入的命令和关键字。在实际的配置范例和输出中（不是通用命令语法中），粗体字表示用户手工输入的命令（比如 show 命令）；
- 用*斜体字*表示你必须提供的实际值或参数；
- 用竖线（|）隔开互斥的元素；
- 用方括号（[]）表示可选元素；
- 用大括号（{}）表示必不可少的选项；
- 用 {[]{} } 表示可选元素中必不可少的选项。

目录

第一部分	MPLS 基础	1
第 1 章	MPLS 的发展和演变	3
1.1	MPLS 的定义	3
1.2	MPLS 之前的协议	3
1.3	MPLS 的优势和好处	4
1.3.1	虚假的优势	4
1.3.2	使用统一标准的网络架构	4
1.3.3	更好地集成 IP over ATM	5
1.3.4	无须运行 BGP 的核心路由器	6
1.3.5	对等体到对等体的 VPN 模型相对于覆盖型的 VPN 模型	7
1.3.6	最优的数据传输	13
1.3.7	流量工程	13
1.4	Cisco IOS 中 MPLS 的历史	15
1.4.1	MPLS 的标记交换	15
1.4.2	MPLS 应用	16
1.5	总结	17
1.6	复习题	17
第 2 章	MPLS 体系架构	19
2.1	MPLS 标签介绍	19
2.1.1	标签栈	20
2.1.2	MPLS 编码	20
2.2	MPLS 和 OSI 参考模型	21
2.3	标签交换路由器	22
2.4	标签交换路径	23
2.5	转发等价类	24
2.6	标签分发	25
2.6.1	在已存在的 IP 路由协议中使用标签	26
2.6.2	使用独立的标签分发协议	26

2.7 通过 LDP 分发标签	27
2.8 标签分发实例库	28
2.9 MPLS 有效负载	28
2.10 MPLS 标签空间	29
2.11 不同的 MPLS 模式	30
2.11.1 标签分发模式	30
2.11.2 标签保留模式	31
2.11.3 LSP 控制模式	31
2.12 总结	32
2.13 复习题	32
第 3 章 转发带标签的报文	35
3.1 转发带标签的报文	35
3.1.1 标签操作	35
3.1.2 IP 查找和标签查找	35
3.1.3 带标签报文的负载均衡	40
3.1.4 未知的标签	41
3.2 保留的标签	41
3.2.1 隐式空标签	42
3.2.2 显式空标签	43
3.2.3 路由器报警标签	43
3.2.4 OAM 报警标签	44
3.3 未保留的标签	44
3.4 带标签报文的 TTL 行为	45
3.4.1 IP 到标签或标签到 IP 中的 TTL 行为	45
3.4.2 标签到标签中的 TTL 行为	45
3.4.3 TTL 到期	47
3.5 MPLS MTU	49
3.5.1 MPLS MTU 命令	49
3.5.2 巨型帧和小巨型帧	50
3.5.3 交换机中的巨型帧	50
3.5.4 MPLS 的最大接收单元	51
3.6 MPLS 报文分段	52
3.7 MTU 路径发现	53
3.8 总结	53
3.9 复习题	53

第 4 章 标签分发协议	55
4.1 LDP 简介	56
4.2 LDP 操作	57
4.2.1 运行 LDP 的 LSR 发现	57
4.2.2 LDP 会话的建立和维护	60
4.2.3 标签映射通告	64
4.2.4 使用通知来进行管理	70
4.3 基于目的的 LDP 会话	70
4.4 LDP 认证	73
4.5 通过 LDP 控制标签通告	73
4.6 MPLS LDP 入站标签捆绑过滤	76
4.7 LDP 自动配置	77
4.8 MPLS LDP-IGP 同步	79
4.8.1 MPLS LDP-IGP 同步如何工作	80
4.8.2 MPLS LDP-IGP 同步配置	81
4.9 MPLS LDP 会话保护	85
4.10 总结	88
4.11 复习题	88
第 5 章 MPLS 和 ATM 架构	91
5.1 ATM 简介	91
5.2 标签编码	95
5.3 标签通告	96
5.3.1 下游被动标签通告	101
5.3.2 ATM 中的 LDP 控制模式	106
5.4 LC-ATM 中的 LDP	108
5.4.1 标签空间	108
5.4.2 LDP 的环路检测	109
5.4.3 LDP 地址信息	113
5.4.4 阻止标签请求	114
5.5 标签汇聚	115
5.6 VC-合并	115
5.7 无 MPLS 的 ATM 交换机	118
5.8 标签交换控制器	121
5.9 多虚电路标记比特率	121

5.10	帧模式 ATM	125
5.11	降低 LVC 数量	126
5.12	总结	127
5.13	复习题	127
第 6 章	Cisco 快速转发	129
6.1	Cisco 的 IOS 交换方式简介	129
6.1.1	进程交换	129
6.1.2	快速交换	130
6.1.3	CEF 交换	131
6.2	为什么在 MPLS 网络中需要 CEF	131
6.3	CEF 有哪些组件	132
6.3.1	邻接表	132
6.3.2	CEF 表	133
6.4	CEF 的实施	134
6.5	分布式 CEF (DCEF)	135
6.6	硬件中的 CEF 报文交换	136
6.7	CEF 中的负载均衡	137
6.8	非等价负载均衡	139
6.9	通过 CEF 标记 IP 报文	141
6.10	带标签报文的负载均衡	142
6.11	CEF 故障排查	143
6.12	总结	147
6.13	复习题	147
第二部分	高级 MPLS 主题	149
第 7 章	MPLS VPN	151
7.1	MPLS VPN 介绍	151
7.1.1	VPN 的定义	151
7.1.2	VPN 模型	152
7.1.3	MPLS VPN 模型	152
7.2	MPLS VPN 中的体系架构	154
7.3	虚拟路由转发	154
7.3.1	RD	157

7.3.2	RT	158
7.3.3	在 MPLS VPN 中的 VPNv4 路由传播	162
7.3.4	在 MPLS VPN 网络中的报文转发	163
7.4	BGP	165
7.4.1	BGP 的多协议扩展及其性能	165
7.4.2	BGP 扩展团体属性: RT	168
7.4.3	VPNv4 路由	169
7.4.4	BGP 运载标签	170
7.4.5	RR	173
7.4.6	BGP 路由选择	175
7.5	报文转发	179
7.6	PE-CE 路由协议	181
7.6.1	直连路由	182
7.6.2	静态路由	182
7.6.3	RIP 版本 2	183
7.6.4	OSPF	184
7.6.5	EIGRP	193
7.6.6	IS-IS	199
7.6.7	eBGP	202
7.7	Hub-and-Spoke	205
7.8	SOO	206
7.9	VRF 接入	208
7.10	因特网接入	209
7.10.1	VPN 中的因特网	209
7.10.2	通过全局路由表的因特网接入	209
7.10.3	通过全局路由表和静态路由的因特网接入	210
7.10.4	通过中心 VRF 场点的因特网接入	211
7.11	Multi-VRF 的 CE	212
7.12	CE 管理	214
7.13	总结	216
7.14	复习题	216
第 8 章	MPLS 流量工程	219
8.1	MPLS TE 的需求	219
8.2	简介 MPLS TE 的实施	222
8.3	TE 信息分发	224

8.3.1	对 IGP 的要求	224
8.3.2	针对 TE 的 OSPF 扩展	225
8.3.3	针对 TE 的 IS-IS 扩展	230
8.3.4	IGP 泛洪	233
8.4	TE LSP 中的路由与成本	234
8.4.1	TE 链路属性	234
8.4.2	MPLS TE 隧道 (Trunk) 属性	236
8.4.3	TE 隧道路径计算	236
8.5	双重 TE 度量	242
8.6	PCALC	246
8.7	RSVP	246
8.7.1	RSVP 与标签	247
8.7.2	路由对象记录	249
8.7.3	RSVP 携带的其他信息	251
8.7.4	整合	252
8.7.5	共享显式类型	255
8.7.6	RSVP 消息	256
8.8	链路管理	256
8.9	FRR	257
8.9.1	FRR——链路保护	258
8.9.2	FRR——节点保护	263
8.9.3	备份隧道使用的 SRLG	266
8.9.4	多备份隧道	268
8.10	在 MPLS TE 隧道中转发流量	268
8.10.1	静态路由	268
8.10.2	基于策略的路由	269
8.10.3	自动路由通告	270
8.10.4	邻接关系转发	271
8.10.5	AToM 流量到 TE 隧道的直接映射	273
8.10.6	基于类的隧道选择	273
8.10.7	在 TE 隧道中的 IGP 路由成本计算	275
8.10.8	负载均衡	284
8.11	MPLS TE 与 MPLS VPN	284
8.11.1	在 PE 路由器之间的 TE 隧道	284
8.11.2	以 P 路由器为尾端路由器的 TE 隧道	285
8.11.3	VRF 到 TE 的隧道路由	287