

H3C

H3C 网络学院系列教程

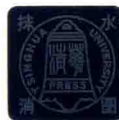
H3C 认证培训指定教材

H3C Comware **V7** 网络操作系统

路由交换技术

详解与实践 第3卷

新华三大学 / 编著



清华大学出版社

H3C 网络学院系列教程



路由交换技术

详解与实践 第3卷

新华三大学 / 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书详细讨论了建设大规模网络所需的路由技术,包括网络模型、IP 路由基础理论、OSPF/IS-IS 等 IGP 路由协议、BGP 路由协议、IPv6 路由技术、路由控制和过滤、IP 组播等。本书的最大特点是理论与实践紧密结合,依托 H3C 路由器和交换机等网络设备精心设计的大量实验,有助于读者迅速、全面地掌握相关的知识和技能。

本书是为网络技术领域的深入学习者编写的。对于大中专院校在校学生,本书是助其深入计算机网络技术领域的好教材;对于专业技术人员,本书是助其掌握计算机网络工程技术的好向导;对于普通网络技术爱好者,本书也不失为学习和了解网络技术的优秀参考书籍。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

路由交换技术详解与实践. 第3卷/新华三大学编著. —北京:清华大学出版社,2018
(H3C 网络学院系列教程)
ISBN 978-7-302-50516-7

I. ①路… II. ①新… III. ①计算机网络—路由选择—高等学校—教材 ②计算机网络—信息交换机—高等学校—教材 IV. ①TN915.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 138929 号

责任编辑:田在儒
封面设计:王跃宇
责任校对:袁芳
责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京泽宇印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:29.75

字 数:779 千字

版 次:2018 年 7 月第 1 版

印 次:2018 年 7 月第 1 次印刷

定 价:79.00 元

产品编号:078669-01

新华三大学培训开发委员会

顾问 于英涛 尤学军 黄智辉
主任 李 涛
副主任 李劲松 陈 喆 邹双根 解麟猛

认证培训编委会

陈 喆 曲文娟 张东亮 赵国卫 刘小嘉 陈永波
朱嗣子 酉海华 孙 玥

本书编审人员

主 编 张东亮
参编人员 纪合宝 王继尧 马文斌 王 涛

版权声明

© 2003 2018 新华三技术有限公司(简称新华三)版权所有

本书所有内容受版权法的保护,所有版权由新华三拥有,但注明引用其他方的内容除外。未经新华三事先书面许可,任何人不得将本书的任何内容以任何方式进行复制、经销、翻印、存储于信息检索系统或者其他任何商业目的的使用。

版权所有,侵权必究。

H3C 网络学院系列教程

路由交换技术详解与实践 第3卷

新华三大学 编著

2018年7月印刷

出版说明

伴随着时代的快速发展,IT 技术已经与人们的日常生活密不可分,在越来越多的人依托网络进行沟通的同时,IT 技术本身也演变成了服务、需求的创造和消费平台,这种新的平台逐渐创造了一种新的生产力和一股新的力量。

新华三是全球领先的新 IT 解决方案领导者,致力于新 IT 解决方案和产品的研发、生产、咨询、销售及服务,拥有 H3C® 品牌的全系列服务器、存储、网络、安全、超融合系统和 IT 管理系统等产品,能够提供大互联、大安全、云计算、大数据和 IT 咨询服务在内的一站式、全方位 IT 解决方案。同时,新华三也是 HPE® 品牌的服务器、存储和技术服务的中国独家提供商。

以技术创新为核心引擎,新华三 50% 的员工为研发人员,专利申请总量超过 7200 件,其中 90% 以上是发明专利。2016 年新华三申请专利超过 800 件,平均每个工作日超过 3 件。

2004 年 10 月,新华三的前身——杭州华三通信技术有限公司(简称华三)出版了自己的第一本网络学院教材,开创了业界相关培训教材正式出版的先河,极大地推动了 IT 技术在业界的普及;在后续的几年间,华三陆续出版了《路由交换技术 第 1 卷》《路由交换技术 第 2 卷》《路由交换技术 第 3 卷》《路由交换技术 第 4 卷》等 H3C 网络学院系列教程书籍,以及《H3C 以太网交换机典型配置指导》《H3C 路由器典型配置指导》《根叔的云图——网络故障大排查》等 H3C 网络学院参考书系列书籍。

作为 H3C 网络学院技术和认证的继承者,新华三会适时推出新的 H3C 网络学院系列教程,以继续回馈广大 IT 技术爱好者。《路由交换技术详解与实践 第 3 卷》是新华三所推出 H3C 网络学院系列教程的新版本之一。

相较于以前的 H3C 网络学院系列教程,本次新华三推出的教材进行了内容更新,更加贴近业界潮流和技术趋势;另外,本教材中的所有实验、案例都可以在新华三所开发的功能强大的图形化全真网络设备模拟软件(HCL)上配置和实践。

新华三希望通过这种形式探索出一条理论和实践相结合的教育方法,顺应国家提倡的“学以致用、工学结合”教育方向,培养更多实用型的 IT 技术人员。

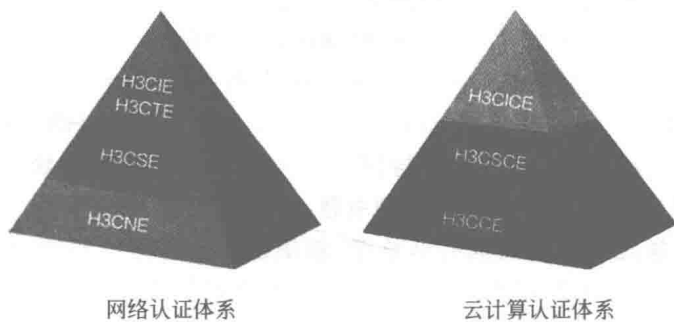
希望在 IT 技术领域这一系列教材能成为一股新的力量,回馈广大 IT 技术爱好者,为推进中国 IT 技术发展尽绵薄之力,同时也希望读者对我们提出宝贵的意见。

新华三大学
培训开发委员会认证培训编委会
2018 年 1 月

H3C认证简介

H3C 认证培训体系是中国第一家建立国际规范的完整的网络技术认证体系,H3C 认证是中国第一个走向国际市场的 IT 厂商认证。新华三致力于行业的长期增长,通过培训实现知识转移,着力培养高业绩的缔造者。目前在全球拥有 21 家授权培训中心和 450 余家网络学院。截至 2016 年年底,已有 40 多个国家和地区的 25 万人接受过培训,13 万人获得各类认证证书。H3C 认证将秉承“专业务实,学以致用”的理念,快速响应客户需求的变化,提供丰富的标准化培训认证方案及定制化培训解决方案,帮助你实现梦想、制胜未来。

按照技术应用场合的不同,同时充分考虑客户不同层次的需求,新华三为客户提供了从网络助理工程师到网络专家的四级网络认证体系和应运而生的云计算认证体系。



H3C 认证将与各行各业建立更紧密的合作关系,认真研究各类客户不同层次的需求,不断完善认证体系,提升认证的含金量,使 H3C 认证能有效证明你所具备的网络技术知识和实践技能,帮助你在竞争激烈的职业生涯中保持强有力的竞争实力!

前言

随着互联网技术的广泛普及和应用,通信及电子信息产业在全球迅猛发展起来,从而也带来了网络技术人才需求量的不断增加,网络技术教育和人才培养成为高等院校一项重要的战略任务。

H3C 网络学院(HNC)主要面向高校在校学生开展网络技术培训,培训使用 H3C 网络学院系列培训教程。H3C 网络学院培训教程根据技术方向和课时分为多卷,高度强调实用性和提高学生动手操作的能力。

H3C 网络学院《路由交换技术详解与实践》第 2~4 卷在 H3CSE-Routing & Switching 认证培训课程内容基础上进行了丰富和加强,内容覆盖面广,讲解由浅入深,包括大量与实践相关的内容,学员学习后可具备 H3CSE-Routing & Switching 的备考能力。

本书读者群大致分为以下几类。

- 大中专院校在校生:本书既可以作为 H3C 网络学院的教科书,也可以作为计算机通信相关专业学生的参考书。
- 公司职员:本书能够用于公司进行网络技术的培训,帮助员工理解和熟悉各类网络应用,提升工作效率。
- 网络技术爱好者:本书可以作为所有对网络技术感兴趣的爱好者学习网络技术的自学书籍。

H3C 网络学院《路由交换技术详解与实践 第 3 卷》内容涵盖当前构建高性能园区网络所使用的主流技术,不但重视理论讲解,而且精心设计了相关实验,充分凸显了 H3C 网络学院教程的特点——专业务实,学以致用。通过对本书的学习,学员将能理解高性能园区网络的主要需求和常用技术,掌握如何运用这些技术设计和构建高速、可靠、安全的园区网络。本书经过精心设计,结构合理、重点突出、图文并茂,有利于学员快速完成全部内容的学习。

依托新华三集团强大的研发和生产能力,本书涉及的技术都有其对应的产品支撑,能够帮助学员更好地理解 and 掌握知识与技能。本书技术内容都遵循国际标准,从而保证良好的开放性和兼容性。

H3C 网络学院《路由交换技术详解与实践 第 3 卷》分为 8 篇,共 29 章,并附 19 个实验。各章及附录内容简介如下。

第 1 篇 大规模网络路由概述

本篇共 2 章,主要讲解了企业网络的发展趋势、SOA 架构、IToIP 面向服务的解决方案理念,同时介绍了层级化网络模型、H3C 模块化企业网架构,最后介绍了路由协议在大规模网络中的应用,网络对路由可靠性、可扩展性、可管理性的需求及相应技术。

第2篇 路由基础

本篇共4章,首先介绍了路由控制平面和转发平面的概念、相应各表项的关系。其次介绍了路由协议的原理、分类、特点,路由选择的原则。同时,介绍了路由负载与分担以及备份的原理、配置等。最后介绍了路由聚合的概念、优缺点,RIP协议中路由聚合的配置,CIDR的优点等。

第3篇 OSPF协议

本篇共3章,首先讲解了OSPF协议的基本概念、协议原理、分层结构、协议报文,以及OSPF的基本配置。最后介绍了OSPF的LSA类型、特殊区域、聚合以及安全特性。

第4篇 IS-IS协议

本篇共3章,首先讲解了IS-IS协议的发展历史、分层架构、与OSPF的异同。其次讲解了IS-IS协议中的OSI地址、协议报文、网络类型、路由生成过程。最后介绍了如何对IS-IS进行相应的配置。

第5篇 控制IGP路由

本篇共4章,首先介绍了路由过滤的概念。其次重点讲解了过滤工具如Filter-policy、Route-policy的配置,并介绍如何在路由引入中使用过滤工具进行路由控制。最后讲解了PBR(Policy-Based Routing)的概念、配置和应用。

第6篇 BGP-4协议

本篇共5章,介绍了BGP-4(简称BGP)的起源、定义、特点、原理,BGP协议的属性应用及BGP的选路规则。同时,讲解了如何对BGP协议进行配置。最后,重点讲解了如何利用BGP的属性,结合路由策略进行路由过滤与控制,如何在多ISP情况下部署BGP,并给出了综合性的BGP选路案例分析。

第7篇 IP组播

本篇共5章,由IP组播地址、组播转发等基础理论入手,重点讲解了组播组管理协议IGMPv2/v3,以及PIM-DM、PIM-SM、PIM-SSM等常用组播路由协议,并对二层组播协议IGMP Snooping和组播VLAN进行了介绍。

第8篇 IPv6路由技术

本篇共3章,首先讲解了ND协议的功能、特点、配置。其次讲解了IPv6中的路由协议如RIPng、OSPFv3的基本原理和相关配置。同时对过渡技术如自动隧道、NAT-PT等进行原理介绍及配置简介。

附录 课程实验

- 实验1 静态ECMP和浮动静态路由配置
- 实验2 OSPF基本配置
- 实验3 OSPF路由聚合
- 实验4 OSPF Stub区域和NSSA区域配置
- 实验5 OSPF虚连接和验证配置
- 实验6 IS-IS基本配置
- 实验7 IS-IS多区域配置
- 实验8 使用Filter-policy过滤路由
- 实验9 使用Route-policy控制路由
- 实验10 使用PBR实现策略路由
- 实验11 BGP基本配置

- 实验 12 BGP 路由属性
- 实验 13 BGP 路由过滤
- 实验 14 BGP 路由聚合与反射
- 实验 15 三层组播
- 实验 16 二层组播
- 实验 17 ND 基本配置
- 实验 18 IPv6 路由协议
- 实验 19 IPv6 过渡技术

为启发读者思考,加强学习效果,本书所附实验为任务式实验。H3C 授权的网络学院教师可以从 H3C 网站上下载实验作为参考,其中包含了所有实验内容的具体答案。

各型设备和各版本软件的命令、操作、信息输出等均可能有所差别。若读者采用的设备型号、软件版本等与本书不同,可参考所用设备和版本的相关手册。

新华三大学
培训开发委员会认证培训编委会
2018 年 5 月

目 录

第 1 篇 大规模网络路由概述

第 1 篇 大规模网络路由概述

第 1 章 企业网模型	2
1.1 本章目标	2
1.2 趋势和挑战	2
1.3 IToIP 面向服务的解决方案	4
1.3.1 基于 SOA 的网络架构	4
1.3.2 IToIP 解决方案	5
1.4 层级化网络模型	6
1.4.1 接入层.....	6
1.4.2 汇聚层.....	7
1.4.3 核心层.....	7
1.4.4 层级化网络模型的优点.....	8
1.5 H3C 企业网架构	8
1.5.1 H3C 模块化企业网架构	9
1.5.2 模块化企业网架构的益处	11
1.6 本章总结.....	11
1.7 习题和解答.....	11
1.7.1 习题	11
1.7.2 习题答案	11
第 2 章 大规模网络路由技术概述	12
2.1 本章目标.....	12
2.2 三层网络模型与路由技术.....	12
2.3 路由器在各层中的功能.....	13
2.3.1 核心层路由器	13
2.3.2 汇聚层路由器	14
2.3.3 接入层路由器	14
2.4 大规模网络对路由技术的需求.....	15
2.4.1 可靠性需求	15

2.4.2	扩展性需求	16
2.4.3	可管理性需求	16
2.4.4	快速恢复需求	16
2.4.5	解决 IP 短缺的需求	17
2.5	本章总结	17
2.6	习题和解答	17
2.6.1	习题	17
2.6.2	习题答案	18
第 2 篇 路由基础		
第 3 章	路由控制与转发	20
3.1	本章目标	20
3.2	路由的控制平面与转发平面	20
3.3	路由表和 FIB 表	21
3.3.1	路由表转发	21
3.3.2	FIB 表的生成	25
3.4	快速转发表	26
3.5	本章总结	28
3.6	习题和解答	28
3.6.1	习题	28
3.6.2	习题答案	29
第 4 章	路由协议基础	30
4.1	本章目标	30
4.2	路由分类	30
4.3	静态路由应用	31
4.4	动态路由协议	31
4.4.1	路由协议分类	32
4.4.2	路由协议的工作原理	32
4.5	路由选择原则	34
4.6	路由协议比较	35
4.7	本章总结	37
4.8	习题和解答	37
4.8.1	习题	37
4.8.2	习题答案	37
第 5 章	路由负载分担与备份	38
5.1	本章目标	38
5.2	路由负载分担	38
5.3	路由备份	39

5.4	本章总结	41
5.5	习题和解答	42
5.5.1	习题	42
5.5.2	习题答案	42
第6章	路由聚合与 CIDR	43
6.1	本章目标	43
6.2	路由聚合	43
6.3	RIP 协议中的聚合	44
6.4	路由聚合环路的产生与避免	45
6.5	IP 地址与 CIDR	47
6.5.1	IP 地址的分类和表示	47
6.5.2	子网和掩码	48
6.5.3	CIDR	49
6.6	本章总结	50
6.7	习题和解答	50
6.7.1	习题	50
6.7.2	习题答案	51

第3篇 OSPF 协议

第7章	OSPF 协议基本原理	54
7.1	本章目标	54
7.2	OSPF 协议概述	54
7.2.1	OSPF 协议特点	54
7.2.2	OSPF 协议基本原理	55
7.3	分层结构	56
7.3.1	骨干区域与非骨干区域	56
7.3.2	OSPF 路由器类型	57
7.4	Router ID 与网络类型	58
7.4.1	Router ID	58
7.4.2	OSPF 网络类型	59
7.5	报文和封装	60
7.6	邻居建立和状态迁移	60
7.6.1	邻居发现与维护	60
7.6.2	DR/BDR 的选举	61
7.6.3	邻接关系建立过程	63
7.6.4	OSPF 邻居状态机	65
7.7	LSDB 更新	66
7.8	本章总结	67
7.9	习题和解答	67

7.9.1	习题	67
7.9.2	习题答案	68
第8章	配置和优化 OSPF 协议	69
8.1	本章目标	69
8.2	OSPF 基本配置与显示	69
8.2.1	配置 OSPF 基本功能	69
8.2.2	配置 Router ID	70
8.2.3	OSPF 单区域配置示例	70
8.2.4	OSPF 多区域配置示例	71
8.2.5	OSPF 显示与调试	72
8.3	优化 OSPF 网络	75
8.3.1	配置 OSPF 网络类型	75
8.3.2	配置 OSPF 接口开销	77
8.3.3	配置 OSPF 报文定时器	78
8.3.4	配置 OSPF 引入默认路由	79
8.4	本章总结	81
8.5	习题和解答	81
8.5.1	习题	81
8.5.2	习题答案	82
第9章	配置 OSPF 协议高级特性	83
9.1	本章目标	83
9.2	OSPF 虚连接	83
9.2.1	区域划分时存在的问题和解决方法	83
9.2.2	配置 OSPF 虚连接	84
9.2.3	OSPF 虚连接显示	85
9.3	OSPF 的 LSA 和路由选择	86
9.3.1	LSA 报文头格式	86
9.3.2	LSA 类型	87
9.3.3	Type1 LSA(Router LSA)	87
9.3.4	Type2 LSA(Network LSA)	88
9.3.5	Type3 LSA(Summary LSA)	89
9.3.6	Type4 LSA(ASBR Summary LSA)	90
9.3.7	Type5 LSA(AS External LSA)	91
9.3.8	OSPF 选路原则	93
9.3.9	OSPF 引入外部路由时导致的问题及解决方法	94
9.4	OSPF 特殊区域	95
9.4.1	概述	95
9.4.2	配置 Stub 区域	95
9.4.3	配置 Totally Stub 区域	97

9.4.4	配置 NSSA 区域	98
9.5	OSPF 路由聚合	100
9.5.1	概述	100
9.5.2	在 ABR 上配置路由聚合	101
9.5.3	在 ASBR 上配置路由聚合	103
9.6	OSPF 安全特性	105
9.6.1	概述	105
9.6.2	配置 OSPF 报文验证	106
9.6.3	配置禁止接口发送 OSPF 报文	107
9.6.4	配置过滤 OSPF 协议的路由和 LSA	108
9.7	本章总结	111
9.8	习题和解答	111
9.8.1	习题	111
9.8.2	习题答案	112

第 4 篇 IS-IS 协议

第 10 章	IS-IS 基本概念	114
10.1	本章目标	114
10.2	IS-IS 概述	114
10.2.1	OSI 和 TCP/IP	115
10.2.2	IS-IS 基本概念与术语	116
10.3	IS-IS 分层网络	117
10.4	IS-IS 协议与 OSPF 协议的比较	119
10.5	本章总结	119
10.6	习题和解答	120
10.6.1	习题	120
10.6.2	习题答案	120
第 11 章	IS-IS 协议原理	121
11.1	本章目标	121
11.2	OSI 地址	121
11.3	IS-IS 协议报文	123
11.3.1	PDU 头格式	123
11.3.2	通用报头格式	124
11.3.3	IS-IS 协议报文类型及作用	124
11.4	IS-IS 网络类型	129
11.4.1	网络类型	129
11.4.2	邻居关系的建立	130
11.4.3	邻接关系的建立	130
11.5	LSDB 的同步	132

11.6	拓扑计算与 IP 路由的生成	134
11.7	本章总结	135
11.8	习题和解答	135
11.8.1	习题	135
11.8.2	习题答案	135
第 12 章	配置 IS-IS	136
12.1	本章目标	136
12.2	IS-IS 基本配置	136
12.2.1	配置 IS-IS 基本功能	136
12.2.2	配置 IS-IS 路由器类型及接口邻接关系	137
12.2.3	配置 IS-IS 链路开销	137
12.3	IS-IS 单区域配置示例	138
12.4	IS-IS 多区域配置示例	139
12.5	IS-IS 高级配置	140
12.5.1	配置 IS-IS 验证	140
12.5.2	配置 IS-IS 路由聚合	141
12.6	IS-IS 路由聚合和验证配置示例	142
12.7	次优路由的产生和解决方法	142
12.7.1	区域外次优路由的产生和解决方法	142
12.7.2	配置 IS-IS 路由渗透	143
12.8	IS-IS 显示和维护	144
12.9	本章总结	146
12.10	习题和解答	146
12.10.1	习题	146
12.10.2	习题答案	146

第 5 篇 控制 IGP 路由

第 13 章	路由过滤	148
13.1	本章目标	148
13.2	路由过滤概述	148
13.2.1	路由过滤的作用	148
13.2.2	路由过滤的方法	149
13.2.3	路由过滤的工具	149
13.3	配置静默接口过滤路由	150
13.4	地址前缀列表	151
13.4.1	地址前缀列表匹配流程	151
13.4.2	配置地址前缀列表	151
13.5	Filter-policy	153
13.5.1	Filter-policy 概述	153

13.5.2	配置 Filter-policy 过滤 RIP 路由	153
13.5.3	配置 Filter-policy 过滤 RIP 路由示例	154
13.5.4	配置 Filter-policy 过滤 OSPF 和 IS-IS 路由	155
13.5.5	配置 Filter-policy 过滤 OSPF 路由示例	155
13.6	本章总结	156
13.7	习题和解答	157
13.7.1	习题	157
13.7.2	习题答案	157
第 14 章	路由策略	158
14.1	本章目标	158
14.2	路由策略概述	158
14.3	Route-policy 组成和原理	158
14.3.1	Route-policy 组成	158
14.3.2	Route-policy 匹配流程	159
14.4	Route-policy 配置与查看	160
14.5	Route-policy 应用与示例	161
14.5.1	Route-policy 的常见应用	161
14.5.2	Route-policy 配置示例	162
14.6	本章总结	163
14.7	习题和解答	164
14.7.1	习题	164
14.7.2	习题答案	164
第 15 章	路由引入	165
15.1	本章目标	165
15.2	多协议网络与路由引入	165
15.2.1	多协议网络	165
15.2.2	路由引入概述	166
15.3	路由引入规划	167
15.3.1	概述	167
15.3.2	单向路由引入	168
15.3.3	双向路由引入	168
15.3.4	路由引入产生环路及解决方法	169
15.3.5	路由引入产生次优路由及解决方法	171
15.4	路由引入配置	171
15.4.1	配置 RIP 协议引入外部路由	171
15.4.2	配置 OSPF 协议引入外部路由	172
15.4.3	配置 IS-IS 协议引入外部路由	173
15.4.4	路由引入示例	174
15.5	本章总结	175