



H3C网络学院系列教程

H3C

路由交换技术

第3卷

杭州华三通信技术有限公司 编著



清华大学出版社





H3C 网络学院系列教程

H3C

路由交换技术

第3卷

杭州华三通信技术有限公司 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,书中纳入了大量依托 H3C 路由器和交换机等网络设备精心设计的实验,有助于读者迅速、全面地掌握相关的知识和技能。

本书是为欲深入网络技术领域的学习者编写的。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.第3卷/杭州华三通信技术有限公司编著.一北京:清华大学出版社,2012.2

(H3C 网络学院系列教程)

ISBN 978-7-302-27629-6

I. ①路… II. ①杭… 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(2011)第 273893 号

责任编辑:刘 青

封面设计:傅瑞学

责任校对:袁 芳

责任印制:何 芊

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 刷 者:北京世知印务有限公司

装 订 者:三河市漂源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:29.75

字 数:774 千字

版 次:2012 年 2 月第 1 版

印 次:2012 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:80.00 元

产品编号:043774-01

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第 3 卷教程在 H3CSE-Routing & Switching 认证培训课程内容的基础上进行了丰富和加强,内容覆盖面广,讲解由浅入深,书中包括大量与实践相关的知识,学员学习后可具备通过 H3CSE-Routing & Switching 认证的相关能力。

本书适合以下几类读者。

- 大中专院校在校生:本教程既可作为 H3C 网络学院的教科书,也可作为计算机通信相关专业学生的参考书。
- 公司职员:本教材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:本教材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用书。

H3C 网络学院路由交换技术第 3 卷内容涵盖当前构建大规模网络所使用的主流路由技术,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。通过对本教程的学习,学员将能理解大规模网络对路由技术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复杂、可靠的大规模网络。本教程经过精心设计,具备了结构合理、重点突出、图文并茂的特点,有利于学员快速完成全部内容的学习。依托 H3C 强大的研发和生产能力,本教程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 掌握知识和技能。本教程技术内容全都遵循国际标准,从而保证了良好的开放性和兼容性。

H3C 网络学院路由交换技术第 3 卷教程包括 8 篇共 29 章,并附 19 个课程实验。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,然后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分担与备份的原理、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

本篇共3章,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

本篇共3章,讲解了IS-IS协议的发展历史、分层架构、与OSPF的异同。同时讲解了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,然后重点讲解了过滤工具,如Filter-policy、Route-policy的配置,并介绍了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

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,以及如何在多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,从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/IGMPv3,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基础

本篇共3章,讲解了ND协议的功能、特点、配置,然后讲解了IPv6中的路由协议如RIPng、OSPFv3的基本原理和相关配置,同时对IPv6过渡技术(如自动隧道、NAT-PT等)进行了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,本教程所附实验均为任务式实验。H3C 授权的网络学院教师可以从 H3C 网站上下载实验的教师参考资料,其中包含了所有实验内容的答案。

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。本教程选用 H3C MSR30-20/20-20(Comware V5.20-R1718P13-Standard)路由器和 S3610(Comware V5.20-R5309)交换机作为主要的教学和实验设备。若读者采用的设备型号、软件版本等与本教程不同,可参考所用设备和版本的相关手册。

H3C 培训中心

2011 年 8 月

第 1 篇 大规模网络路由概述

第 1 章 企业网模型	2
1.1 趋势和挑战	2
1.2 IToIP 面向服务的解决方案	4
1.2.1 基于 SOA 的网络架构	4
1.2.2 IToIP 解决方案	5
1.3 层级化网络模型	6
1.3.1 接入层	6
1.3.2 汇聚层	7
1.3.3 核心层	7
1.3.4 层级化网络模型的优点	8
1.4 H3C 企业网架构	8
1.4.1 H3C 模块化企业网架构	9
1.4.2 模块化网络架构的益处	10
本章小结	11
习题和解答	11
第 2 章 大规模网络路由技术概述	12
2.1 3 层网络模型与路由技术	12
2.2 路由器在各层中的功能	13
2.2.1 核心层路由器	13
2.2.2 汇聚层路由器	14
2.2.3 接入层路由器	14
2.3 大规模网络对路由技术的需求	15
2.3.1 可靠性需求	15
2.3.2 扩展性需求	16
2.3.3 可管理性需求	16
2.3.4 快速恢复需求	16

2.3.5 解决 IP 短缺的需求	17
本章小结	17
习题和解答	17

第2篇 路由基础

第3章 路由控制与转发	20
3.1 路由的控制平面与转发平面	20
3.2 路由表和 FIB 表	21
3.2.1 路由表转发	21
3.2.2 FIB 表的生成	24
3.3 快速转发表	26
本章小结	28
习题和解答	28
第4章 路由协议基础	29
4.1 路由分类	29
4.2 静态路由应用	30
4.3 动态路由协议	30
4.3.1 路由协议分类	30
4.3.2 路由协议的工作原理	31
4.4 路由选择原则	33
4.5 路由协议比较	34
本章小结	36
习题和解答	36
第5章 路由负载分担与备份	37
5.1 路由负载分担	37
5.2 路由备份	38
本章小结	40
习题和解答	41
第6章 路由聚合与 CIDR	42
6.1 路由聚合	42
6.2 RIP 中的聚合	43
6.3 路由聚合环路产生与避免	44
6.4 IP 地址与 CIDR	46
6.4.1 IP 地址的分类和表示	46
6.4.2 子网和掩码	47
6.4.3 CIDR	48
本章小结	49

习题和解答	49
-------------	----

第 3 篇 OSPF

第 7 章 OSPF 协议基本原理	52
7.1 OSPF 协议概述	52
7.1.1 OSPF 协议特点	52
7.1.2 OSPF 协议基本原理	53
7.2 分层结构	54
7.2.1 骨干区域与非骨干区域	54
7.2.2 OSPF 路由器类型	55
7.3 Router ID 与网络类型	56
7.3.1 Router ID	56
7.3.2 OSPF 网络类型	57
7.4 报文和封装	58
7.5 邻居建立和状态迁移	58
7.5.1 邻居发现与维护	58
7.5.2 DR/BDR 的选举	59
7.5.3 邻接关系建立过程	61
7.5.4 OSPF 邻居状态机	63
7.6 LSDB 更新	64
本章小结	65
习题和解答	65
第 8 章 配置和优化 OSPF 协议	67
8.1 OSPF 基本配置与显示	67
8.1.1 配置 OSPF 基本功能	67
8.1.2 配置 Router ID	68
8.1.3 OSPF 单区域配置示例	68
8.1.4 OSPF 多区域配置示例	69
8.1.5 OSPF 显示与调试	70
8.2 优化 OSPF 网络	73
8.2.1 配置 OSPF 网络类型	73
8.2.2 配置 OSPF 接口开销	75
8.2.3 配置 OSPF 报文定时器	76
8.2.4 配置 OSPF 引入默认路由	77
本章小结	79
习题和解答	79
第 9 章 配置 OSPF 协议高级特性	80
9.1 OSPF 虚连接	80

9.1.1	区域划分时存在的问题和解决方法	80
9.1.2	配置 OSPF 虚连接	81
9.1.3	OSPF 虚连接显示	82
9.2	OSPF 的 LSA 和路由选择	83
9.2.1	LSA 报文头格式	83
9.2.2	LSA 类型	83
9.2.3	Type1 LSA(Router LSA)	84
9.2.4	Type2 LSA(Network LSA)	85
9.2.5	Type3 LSA(Summary LSA)	86
9.2.6	Type4 LSA(ASBR Summary LSA)	87
9.2.7	Type5 LSA(AS External LSA)	88
9.2.8	OSPF 选路原则	89
9.2.9	OSPF 协议引入外部路由时导致的问题及解决方法	91
9.3	OSPF 特殊区域	91
9.3.1	概述	91
9.3.2	配置 Stub 区域	92
9.3.3	配置 Totally Stub 区域	93
9.3.4	配置 NSSA 区域	95
9.4	OSPF 路由聚合	96
9.4.1	概述	96
9.4.2	在 ABR 上配置路由聚合	97
9.4.3	在 ASBR 上配置路由聚合	99
9.5	OSPF 安全特性	102
9.5.1	概述	102
9.5.2	配置 OSPF 报文验证	102
9.5.3	配置禁止接口发送 OSPF 报文	104
9.5.4	配置过滤 OSPF 协议的路由和 LSA	104
	本章小结	107
	习题和解答	107

第 4 篇 IS-IS

第 10 章	IS-IS 基本概念	110
10.1	IS-IS 概述	110
10.1.1	OSI 和 TCP/IP	111
10.1.2	IS-IS 基本概念与术语	111
10.2	IS-IS 分层网络	112
10.3	IS-IS 与 OSPF 的比较	114
	本章小结	115
	习题和解答	115

第 11 章 IS-IS 协议原理	117
11.1 OSI 地址	117
11.2 IS-IS 协议报文	119
11.2.1 PDU 头格式	119
11.2.2 通用报头格式	119
11.2.3 IS-IS 协议报文类型及作用	120
11.3 IS-IS 网络类型	125
11.3.1 网络类型	125
11.3.2 邻居关系的建立	125
11.3.3 邻接关系的建立	126
11.4 LSDB 的同步	128
11.5 拓扑计算与 IP 路由的生成	129
本章小结	130
习题和解答	131
第 12 章 配置 IS-IS	132
12.1 IS-IS 基本配置	132
12.1.1 配置 IS-IS 基本功能	132
12.1.2 配置 IS-IS 路由器类型及接口邻接关系	132
12.1.3 配置 IS-IS 链路开销	133
12.2 IS-IS 单区域配置示例	134
12.3 IS-IS 多区域配置示例	135
12.4 IS-IS 高级配置	136
12.4.1 配置 IS-IS 验证	136
12.4.2 配置 IS-IS 路由聚合	137
12.5 IS-IS 路由聚合和验证配置示例	137
12.6 次优路由产生和解决方法	138
12.6.1 区域外次优路由的产生和解决方法	138
12.6.2 配置 IS-IS 路由渗透	139
12.7 IS-IS 显示和维护	139
本章小结	142
习题和解答	142

第 5 篇 控制 IGP 路由

第 13 章 路由过滤	144
13.1 路由过滤概述	144
13.1.1 路由过滤的作用	144
13.1.2 路由过滤方法	145
13.1.3 路由过滤工具	145

13.2	配置静默接口过滤路由	146
13.3	地址前缀列表	146
13.3.1	地址前缀列表匹配流程	147
13.3.2	配置地址前缀列表	147
13.4	Filter-policy	148
13.4.1	Filter-policy 概述	148
13.4.2	配置 Filter-policy 过滤 RIP 路由	149
13.4.3	配置 Filter-policy 过滤 RIP 路由示例	150
13.4.4	配置 Filter-policy 过滤 OSPF 和 IS-IS 路由	151
13.4.5	配置 Filter-policy 过滤 OSPF 路由示例	151
	本章小结	152
	习题和解答	152
第 14 章	路由策略	154
14.1	路由策略概述	154
14.2	Route-policy 组成和原理	154
14.2.1	Route-policy 组成	154
14.2.2	Route-policy 匹配流程	155
14.3	Route-policy 配置与查看	156
14.4	Route-policy 应用与示例	157
14.4.1	Route-policy 的常见应用	157
14.4.2	Route-policy 配置示例	158
	本章小结	159
	习题和解答	159
第 15 章	路由引入	161
15.1	多协议网络与路由引入	161
15.1.1	多协议网络	161
15.1.2	路由引入	162
15.2	路由引入规划	163
15.2.1	概述	163
15.2.2	路由单向引入	164
15.2.3	路由双向引入	164
15.2.4	路由引入产生环路及解决方法	165
15.2.5	路由引入产生次优路由及解决方法	166
15.3	路由引入配置	167
15.3.1	配置 RIP 协议引入外部路由	167
15.3.2	配置 OSPF 协议引入外部路由	168
15.3.3	配置 IS-IS 协议引入外部路由	169
15.3.4	路由引入示例	170
	本章小结	171

习题和解答	171
第 16 章 PBR	173
16.1 PBR 概述	173
16.2 PBR 配置与查看	174
16.3 PBR 的应用	176
本章小结	177
习题和解答	178
 第 6 篇 BGP-4	
第 17 章 BGP 基本原理	180
17.1 BGP 概述	180
17.1.1 BGP 起源	180
17.1.2 BGP 协议特性	181
17.2 BGP 基本术语	181
17.3 BGP 同步	183
17.4 BGP 消息及状态机	184
17.5 BGP 路由属性	187
17.6 BGP 的选路规则	192
本章小结	194
习题和解答	194
第 18 章 BGP 基本配置	195
18.1 配置 BGP 协议基本功能	195
18.1.1 配置 BGP 连接	195
18.1.2 配置 BGP 生成路由	196
18.2 配置 BGP 同步	196
18.3 调整和优化 BGP 网络	197
18.4 BGP 基本配置示例	198
18.5 BGP 协议的基本显示和维护	199
本章小结	200
习题和解答	200
第 19 章 控制 BGP 路由	202
19.1 控制 BGP 路由概述	202
19.2 配置 BGP 基本属性控制 BGP 路由	202
19.2.1 配置 preferred-value 控制 BGP 路由示例	203
19.2.2 配置 LOCAL_PREF 控制 BGP 路由示例	204

19.2.3	配置 MED 值控制 BGP 路由示例	205
19.2.4	配置 next-hop-local 控制 BGP 路由示例	205
19.3	使用过滤器控制 BGP 路由	206
19.3.1	配置 Filter-policy 控制 BGP 路由	207
19.3.2	配置 Filter-policy 控制 BGP 路由示例	207
19.3.3	配置 Route-policy 控制 BGP 路由	208
19.3.4	定义 Route-policy	209
19.3.5	配置 Route-policy 控制 BGP 路由示例	210
19.3.6	配置 AS 路径过滤列表	211
19.3.7	配置 AS 路径过滤列表控制 BGP 路由示例	213
本章小结		213
习题和解答		213
第 20 章 BGP 增强配置		215
20.1	大规模 BGP 网络概述	215
20.2	配置 BGP 对等体组	216
20.3	配置 BGP 团体属性	218
20.4	配置 BGP 聚合	219
20.5	配置 BGP 反射与联盟	221
20.5.1	BGP 反射	221
20.5.2	BGP 联盟	225
20.6	配置 BGP 路由衰减	227
20.7	部署多出口 BGP 网络	227
本章小结		230
习题和解答		230
第 21 章 BGP 综合配置		232
21.1	BGP 综合配置案例一	232
21.1.1	网络概况	232
21.1.2	网络基本配置	233
21.1.3	选路配置	238
21.2	BGP 综合配置案例二	243
21.2.1	网络概况	243
21.2.2	网络基本配置	243
21.2.3	路由引入配置	250
21.2.4	分部隔离配置	252
21.2.5	流量分流配置	253
21.2.6	BGP 邻居安全性配置	256
本章小结		256
习题和解答		257

第 7 篇 IP 组播

第 22 章 IP 组播概述	260
22.1 组播介绍	260
22.2 组播技术体系架构	263
22.2.1 组播地址	263
22.2.2 组播组管理协议	264
22.2.3 组播转发机制	265
22.2.4 组播路由协议	266
22.2.5 组播协议体系	266
22.3 组播模型	266
本章小结	268
习题和解答	268
第 23 章 组播组管理协议	269
23.1 组播组管理协议概述	269
23.2 IGMPv2	270
23.2.1 普遍查询和组成员报告	270
23.2.2 离开组和特定组查询	271
23.2.3 查询器选举	272
23.2.4 IGMPv2 报文格式	272
23.3 IGMPv3	273
23.3.1 IGMPv3 简介	273
23.3.2 IGMPv3 主机侧维护信息	274
23.3.3 IGMPv3 路由器侧维护信息	275
23.3.4 IGMPv3 普遍组查询	275
23.3.5 IGMPv3 特定源组查询	276
23.3.6 IGMPv3 特定组查询	277
23.3.7 IGMPv3 报文格式	277
23.4 IGMP 不同版本间的操作	279
23.5 IGMP Snooping	281
23.5.1 IGMP Snooping 概念	281
23.5.2 IGMP Snooping 工作机制	282
23.6 组播 VLAN	283
本章小结	284
习题和解答	285
第 24 章 组播转发机制	286
24.1 组播分发树模型	286
24.2 RPF 机制	287

本章小结·····	289
习题和解答·····	289
第 25 章 组播路由协议 ·····	291
25.1 组播路由协议概述·····	291
25.2 PIM-DM ·····	292
25.2.1 邻居发现机制·····	293
25.2.2 扩散过程·····	293
25.2.3 剪枝/加入过程 ·····	293
25.2.4 嫁接过程·····	295
25.2.5 断言机制·····	296
25.2.6 PIM-DM 的状态刷新机制 ·····	296
25.3 PIM-SM ·····	297
25.3.1 邻居发现和 DR 选举 ·····	297
25.3.2 加入过程·····	298
25.3.3 组播源注册·····	299
25.3.4 组播源注册停止·····	299
25.3.5 RPT 向 SPT 的切换 ·····	300
25.3.6 RP 的选择 ·····	301
25.4 PIM-SSM ·····	303
本章小结·····	304
习题和解答·····	304
第 26 章 组播配置和维护 ·····	306
26.1 组播配置命令·····	306
26.1.1 全局使能组播·····	306
26.1.2 IGMP 配置 ·····	306
26.1.3 IGMP Snooping 配置 ·····	307
26.1.4 组播 VLAN 配置 ·····	308
26.1.5 PIM 配置 ·····	308
26.2 组播维护命令·····	309
26.3 组播配置示例·····	309
26.3.1 三层组播配置示例·····	309
26.3.2 二层组播配置示例·····	311
本章小结·····	313
习题和解答·····	313

第 8 篇 IPv6 基础

第 27 章 IPv6 邻居发现 ·····	316
27.1 邻居发现协议·····	316

27.2 IPv6 地址解析	317
27.3 IPv6 无状态地址自动配置	319
27.4 ND 协议配置	320
本章小结	322
习题和解答	322
第 28 章 IPv6 路由协议	324
28.1 IPv6 路由协议概述	324
28.2 RIPng 协议	326
28.3 OSPFv3 协议	328
本章小结	332
习题和解答	333
第 29 章 IPv6 过渡技术	334
29.1 IPv6 过渡技术概述	334
29.1.1 IPv6 过渡技术分类	334
29.1.2 双协议栈技术	335
29.2 IPv6 隧道技术	335
29.3 NAT-PT	339
本章小结	342
习题和解答	343

附录 课程实验

实验 1 静态 ECMP 和浮动静态路由配置	346
实验 2 OSPF 基本配置	351
实验 3 OSPF 路由聚合	356
实验 4 OSPF Stub 区域和 NSSA 区域配置	361
实验 5 OSPF 虚连接和验证配置	367
实验 6 IS-IS 基本配置	372
实验 7 IS-IS 多区域配置	375
实验 8 使用 Filter-policy 过滤路由	380
实验 9 使用 Route-policy 控制路由	384
实验 10 使用 PBR 实现策略路由	391
实验 11 BGP 基本配置	396