

★ ★ ★ ★ ★
“十三五”

国家重点图书出版规划项目

ICT认证系列丛书



华为信息与网络技术学院指定教材

路由与交换技术

刘丹宁 田果 韩士良 / 著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

路由与交换技术 / 刘丹宁, 田果, 韩士良著. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2017.9 (2018.1重印)
(ICT认证系列丛书)
ISBN 978-7-115-45650-2

I. ①路… II. ①刘… ②田… ③韩… III. ①计算机网络—路由选择②计算机网络—信息交换机 IV. ①TN915.05

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第199301号

内 容 提 要

本书是华为 ICT 学院路由与交换技术官方教材, 旨在帮助初级阶段的学生进一步学习网络技术的常用协议和对应的配置方法。

本书的写作顺序为先交换后路由。首先对交换网络进行了概述, 以便读者学习本书后文的内容; 接下来, 用两章介绍了 VLAN 和 STP 这两项交换网络中常用的技术; 后面的 6 章内容均与路由技术有关, 路由技术是互连网络中必不可少的核心技术。

除华为 ICT 学院的学生之外, 本书同样适合正在备考 HCNA 认证或者正在参加 HCNA 技术培训的人士进行阅读和参考。其他有志从事 ICT 行业的初级人员和网络技术爱好者也可以通过阅读本书, 加深对网络技术的理解。

◆ 著 刘丹宁 田 果 韩士良
责任编辑 李 静
执行编辑 王国霞
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>
北京市艺辉印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 26.5 2017年9月第1版
字数: 628千字 2018年1月北京第4次印刷

定价: 59.00 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

物联网、云计算、大数据、人工智能等新技术的兴起，推动着社会的数字化演进。全球正在从“人人互联”发展至“万物互联”。未来二三十年，人类社会将演变成以“万物感知、万物互联、万物智能”为特征的智能社会。

新兴技术快速渗透并推动企业加速向数字化转型，企业业务应用系统趋于横向贯通，数据趋于融合互联，ICT正在成为企业新一代公共基础设施和创新引擎，成为企业的核心生产力。华为GIV（全球ICT产业愿景）预测，到2025年，全球的联接数将达到1000亿，85%的企业应用云计算技术，100%的企业会联接云服务，工业智能的普及率将超过20%。数字化发展为各行业带来的纵深影响远超出想象。

ICT人才作为企业数字化转型中的关键赋能者，将站在更新的高度，以更为全局的视角审视整个行业，并依靠新思想、新技术驱动行业发展。因此，企业对于融合型ICT人才需求也更为迫切。未来5年，华为领导的全球ICT产业生态系统对人才的需求将超过80万。华为积累了20余年的ICT人才培养经验，对ICT行业发展现状及趋势有着深刻的理解。面对数字化转型背景下企业ICT人才短缺的情况，华为致力于构建良性ICT人才生态链。2013年，华为开始与高校合作，共同制订ICT人才培养计划，设立华为信息与网络技术学院（简称华为ICT学院），依据企业对ICT人才的新需求，将物联网、云计算、大数据等新技术和最佳实践经验融入到课程与教学中。华为希望通过校企合作，让大学生在校园内就能掌握新技术，并积累实践经验，促使他们快速成长为有应用能力、会复合创新、能动态成长的融合型人才。

教材是知识传递、人才培养的重要载体，华为聚合技术专家、高校教师倾心打造ICT学院系列精品教材，希望能帮助大学生快速完成知识积累，奠定坚实的理论基础，助力同学们更好地开启ICT职业道路，奔向更美好的未来。

亲爱的同学们，面对新时代对ICT人才的呼唤，请抓住历史机遇，拥抱精彩的ICT时代，书写未来职业的光荣与梦想吧！华为，将始终与你同行！

前 言

华为 ICT 学院路由与交换技术官方教材分为 3 册，是华为技术有限公司、YESLAB 培训中心和高校专家，针对华为 ICT 学院的学生推出的诚意之作。教材的大纲结构到文字描述由业内专家执笔，而且内容经多方顶级专家反复论证推敲。

本书定位的人群为学习《网络基础》或者已经参加过计算机网络(Computer Network)类专业课程的学习，对于网络技术具有一定了解的读者。

本书按照先交换后路由的顺序展开。本书首先会以交换机的基本工作原理为起点，对交换技术进行介绍；接下来，会用两章内容介绍交换网络中的常用技术，即 VLAN 技术和生成树(STP)协议。

在路由技术部分，首先对静态路由进行详细的讲解；接下来，会对 VLAN 间路由技术进行介绍。这个阶段介绍的 VLAN 间路由技术，也可以帮助读者回顾前面几章介绍过的交换技术和路由技术，建立知识点间的联系。本书的最后 4 章均与动态路由协议有关，这 4 章将介绍 RIP 和 OSPF 两种常见动态路由协议的原理及部署方法。在这两种动态路由协议中，OSPF 是重点，针对这个常用且复杂的协议，本书将使用 3 章的篇幅对其进行讲解。

本书主要内容

本书共分为 9 章，其中第 1~3 章为交换技术；第 4、6、7、8、9 章为路由技术；第 5 章的知识以路由技术为主，同时涉及交换网络。各自的内容分别包括如下。

第 1 章：交换网络

本章首先介绍了以太网的概念，包括共享型以太网、交换型以太网、冲突域和广播域等，同时会解释交换机在以太网中的工作方式。接下来，本章会对交换机的一些基本设置方法进行演示，包括如何设置交换机端口的速率、双工模式，如何修改交换机的 MAC 地址表等。

第 2 章：虚拟局域网(VLAN)技术

本章完全围绕着 VLAN 技术展开。首先，从需求出发，引出 VLAN 的作用和原理，解释在实际网络中如何设计和划分 VLAN；接下来，介绍在一个包含多台交换机的交换网络中，如何设计和同步 VLAN；最后，通过大量案例，演示如何在华为交换机上添加和删除 VLAN、修改端口的工作模式、配置 GVRP 等。

第 3 章：生成树协议

本章会对各个版本的生成树协议进行介绍。首先，从网络对冗余链路的需求和潜在风险之间的矛盾引出生成树协议，并且介绍了与生成树协议有关的概念；接下来，对 STP 的工作原理，特别是不同端口角色的选举过程进行详细的介绍；最后，用两节分别介绍两种比传统 STP 协议更新、目前也更常用的 STP 版本，即快速生成树（RSTP）和多生成树（MSTP）。

第 4 章：静态路由

从本章开始，本书的重点从交换技术切换到路由技术。在本章中，首先回顾了《网络基础》中已经介绍的概念，包括路由、路由表、路由优先级、路由度量等；接下来，会介绍如何在华为路由设备上添加各类静态路由条目（包括普通静态路由、默认路由、汇总静态路由、浮动静态路由）的方法，以及如何找出与静态路由有关的网络故障。

第 5 章：VLAN 间路由

本章重点介绍了如何在多个 VLAN 之间实现设备通信。在本章中，首先提出物理拓扑与逻辑拓扑的对应关系，继而介绍三种 VLAN 间路由的实现方法；接着，介绍三层交换技术的概念与配置；最后，提出了网络排错的整体思路，并通过三个不同的路由环境对排错思路进行举例。

第 6 章：动态路由

在本章中，本书对动态路由和动态路由协议进行了概述，并从两个角度介绍了路由协议的分类。接下来，本章详细介绍了距离矢量型路由协议 RIP，其中包括 RIP 两个版本（RIPv1 和 RIPv2）的对比、RIP 的基本工作原理，以及 RIP 的环路避免机制；此外，本章还以案例的形式具体展示了在华为设备上配置 RIPv2 的方法，包括 RIPv2 的基本配置、路由汇总配置、认证，以及公共特性的调试；最后，本章对链路状态型路由协议的信息交互进行介绍，为本书后续内容打下理论基础。

第 7 章：单区域 OSPF

本章主要介绍 OSPF 的基础知识，其中包括 OSPF 使用的三个表（邻居表、链路状态数据库和路由表）、OSPF 消息的封装格式、OSPF 的报文类型以及 OSPF 中的网络类型、路由器 ID、路由器角色（DR 和 BDR）。本章的后半部分则重点介绍了 OSPF 的整体工作原理，即路由设备之间发现 OSPF 邻居、形成 OSPF 邻居关系、建立完全邻接关系的过程。最后，提供了一个单区域 OSPF 的配置案例。

第 8 章：单区域 OSPF 的特性设置

本章延续了第 7 章的单区域 OSPF 配置，在相同的环境中展示 OSPF 一些高级特性的配置方法，其中包括 OSPF 邻居认证、调整网络类型与 DR 优先级、调整 OSPF 计时器、设置 OSPF 静默接口和路由度量值。最后还介绍了在部署 OSPF 的工作时，一些经常使用的排错命令。

第9章：多区域 OSPF

本章重点介绍了多区域 OSPF 的工作原理和配置。首先对 OSPF 的分层结构进行概述，继而介绍 OSPF 路由器的类型；在多区域 OSPF 工作原理中，介绍了 OSPF LSA 类型；最后，演示了多区域 OSPF 的配置和排错方法。

本书配套资源

从理论到实战为高校提供贴合实际应用的定制化教学学习资源。

- 实验手册：教材配套实验材料，助力读者动手能力的提升，以实验促进读者对理论知识的理解。
- 视频讲解：教材配套重点知识讲解小视频，帮助读者更好地理解书中的重点、难点，相关视频可到华为 ICT 学院官方网站进行观看。
- 授课 PPT：教材配套授课材料，方便高校授课，提升教师备课效率。
- 综合实验：教材配套综合练习课程，注重知识间的关联性，提升读者综合运用知识的能力。
- 综合实训：教材配套实训课程，还原真实项目，提升读者应对实际项目的能力。

关于本书读者

本书的定位是华为 ICT 学院路由与交换技术官方教材，本书适合以下几类读者。

- 华为 ICT 学院的学生。
- 各大高校学生。
- 正在学习 HCNA 课程的学员和正在备考 HCNA 认证的考生。
- 有志于从事 ICT 行业的初学者。
- 网络技术爱好者。

本书阅读说明

读者在阅读本书的过程中，尤其是教师在使用本书作为教材的过程中，需要注意以下事项。

1. 本书多处把路由器或计算机上的网络适配器连接口称为“接口”，把交换机上的网口称为“端口”，这种差异仅仅是称谓习惯上的差异。在平时的交流中，“接口”一词与“端口”一词完全可以混用。

2. 在华为公司的作品中，串行链路常用虚线表示，以太链路而以实线表示。本书中所有链路一概用实线表示，虚线在各图中作特殊表意使用，如数据包前进路线、区域范围等。

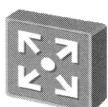
3. 本书学习目标中要求读者了解的内容，读者只需了解对应的概念及其表意；本书学习目标中要求读者理解的内容，读者应把握其工作原理，做到既知其然，也知其所以然；本书学习目标中要求读者掌握的内容，读者还应在理解的基础上有能力对其灵活运用。

4. 本书章节名称前带星号的内容为选学模块，华为 ICT 学院授课教师可根据授课情况进行选择。

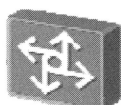
本书常用图标



路由器



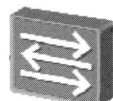
集线器



核心层交换机



汇聚层交换机



接入层交换机



接入点 (AP)



IP 网络云



PC 终端



笔记本电脑



调制解调器



服务器



FTP 服务器

本书作者

著：刘丹宁、田果、韩士良

编委人员：刘丹宁、田果、韩士良、余建威、江永红、刘军、刘洋、闫建刚、刘耀林、谢金伟、苏函

技术审校：江永红、刘军、谢金伟、余建威

目 录

第 1 章 交换网络	0
1.1 交换网络	3
1.1.1 共享型以太网与冲突域	3
1.1.2 交换机简介	6
1.1.3 交换型以太网与广播域	8
1.1.4 交换机的数据帧转发方式	11
1.1.5 企业园区网设计示例	15
1.2 交换机的基本设置	17
1.2.1 速率与双工	17
1.2.2 MAC 地址表	20
*1.2.3 MAC 地址泛洪攻击概述	24
1.3 本章总结	26
1.4 练习题	27
第 2 章 虚拟局域网 (VLAN) 技术	30
2.1 VLAN 基本理论	33
2.1.1 VLAN 的用途	33
2.1.2 VLAN 的原理	37
2.1.3 VLAN 在实际网络中的应用	40
2.1.4 划分 VLAN 的方法	42
2.2 多交换机环境中的 VLAN	43
2.2.1 跨交换机 VLAN 原理	43
2.2.2 GVRP 协议	46

2.3	VLAN 实施	50
2.3.1	VLAN 的添加与删除	50
2.3.2	Access 接口与 Trunk 接口的配置	53
2.3.3	Hybrid 接口的原理与配置	56
2.3.4	Hybrid 接口的复杂应用实例	57
2.3.5	检查 VLAN 信息	59
2.3.6	GVRP 的配置	62
2.4	本章总结	66
2.5	练习题	66
第 3 章	生成树协议	68
3.1	冗余性与 STP	71
3.1.1	冗余链路	71
3.1.2	STP 的由来	75
3.1.3	STP 的术语	76
*3.1.4	树的基本理论	78
3.2	STP 原理	80
3.2.1	STP 的工作流程	81
3.2.2	根网桥的选举	81
3.2.3	根端口的角色	83
3.2.4	指定端口的角色	86
3.2.5	阻塞剩余端口	87
3.2.6	STP 端口状态机	88
3.2.7	STP 的配置	91
3.2.8	调节 STP 计时器参数	95
3.3	RSTP	97
3.3.1	RSTP 的特点	98
3.3.2	RSTP 的快速收敛	99

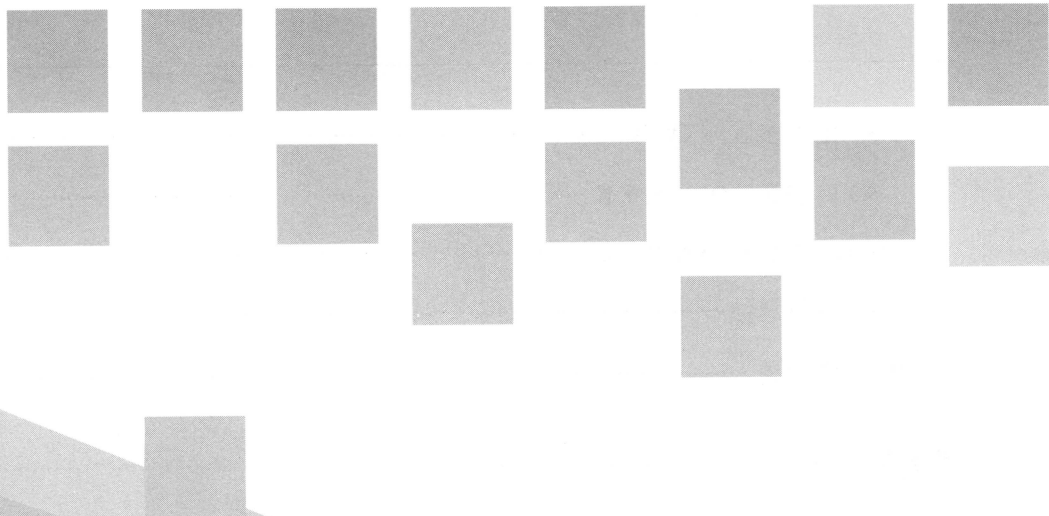
3.3.3 RSTP 端口状态	105
3.3.4 RSTP 的基本配置与验证	105
3.4 MSTP	113
3.4.1 MSTP 的基本原理	114
3.4.2 MSTP 的基本配置与验证	116
3.5 本章总结	120
3.6 练习题	121
第 4 章 静态路由	124
4.1 路由基础	127
4.1.1 路由的基本概念回顾	127
4.1.2 路由表与路由条目	129
4.1.3 路由信息的 3 种来源	131
4.1.4 路由优先级	132
4.1.5 路由度量值	134
4.1.6 直连路由	135
4.2 静态路由	138
4.2.1 静态路由概述	138
4.2.2 静态路由的优缺点	139
4.2.3 静态路由的配置	140
4.3 默认路由	147
4.3.1 默认路由概述	148
4.3.2 默认路由的应用环境与配置	148
4.4 汇总静态路由	150
4.4.1 VLSM 与 CIDR 的复习	150
4.4.2 子网与汇总	151
4.4.3 静态路由汇总的配置	152
4.4.4 汇总静态路由的计算与设计	154

4.5	浮动静态路由	160
4.5.1	浮动静态路由概述	161
4.5.2	浮动静态路由的配置	162
4.6	静态路由的排错	169
4.7	本章总结	173
4.8	练习题	174
第 5 章	VLAN 间路由	176
5.1	VLAN 间路由相关理论	179
5.1.1	物理拓扑与逻辑拓扑	179
5.1.2	传统 VLAN 间路由环境	182
5.1.3	单臂路由与路由器子接口环境	185
5.2	VLAN 间路由配置	187
5.2.1	传统 VLAN 间路由的配置	187
5.2.2	单臂路由与路由器子接口环境的配置	190
5.3	三层交换技术	194
5.3.1	三层交换概述	194
5.3.2	三层交换机与 VLANIF 接口环境	196
5.3.3	三层交换机 VLAN 间路由的配置	197
5.4	VLAN 间路由的排错	200
5.5	本章总结	208
5.6	练习题	209
第 6 章	动态路由	210
6.1	路由概述	213
6.1.1	静态路由与动态路由协议的对比	213
6.1.2	路由协议的分类（算法角度）	216
6.1.3	路由协议的分类（掩码角度）	219


6.2 距离矢量型路由协议	222
6.2.1 路由学习	222
6.2.2 环路隐患	224
6.3 RIP 原理	226
6.3.1 RIP 协议简史与 RIPv1 简介	226
6.3.2 RIPv2 的基本原理	228
6.3.3 RIP 的环路避免机制	233
6.4 RIP 配置	236
6.4.1 RIPv2 的基本配置	239
6.4.2 配置 RIPv2 路由自动汇总	246
6.4.3 配置 RIPv2 路由手动汇总	252
6.4.4 配置 RIPv2 下发默认路由	257
6.4.5 配置 RIPv2 认证	259
6.4.6 RIP 公共特性的调试	263
6.5 链路状态型路由协议	281
6.5.1 信息交互	282
6.5.2 链路状态协议算法	284
6.6 本章总结	285
6.7 练习题	286
第 7 章 单区域 OSPF	288
7.1 OSPF 的特征	291
7.1.1 OSPF 简介	291
7.1.2 OSPF 的邻居表、LSDB 与路由表	292
7.1.3 OSPF 消息的封装格式	295
7.1.4 OSPF 报文类型	297
7.1.5 网络类型	302
7.1.6 路由器 ID	303

7.1.7	DR 与 BDR	304
7.2	单区域 OSPF 的原理与基本配置	308
7.2.1	OSPF 的邻居状态机	309
7.2.2	链路状态消息的交互	311
7.2.3	路由计算	313
7.2.4	单区域 OSPF 的基本配置	316
7.3	本章总结	323
7.4	练习题	324
第 8 章	单区域 OSPF 的特性设置	326
8.1	高级单区域 OSPF 配置	328
8.1.1	配置 OSPF 认证	329
8.1.2	调整 OSPF 网络类型与 DR 优先级	334
8.1.3	调整 OSPF 计时器	346
8.1.4	配置 OSPF 静默接口	348
8.1.5	配置 OSPF 路由度量值	351
8.2	单区域 OSPF 的排错	355
8.3	本章总结	359
8.4	练习题	360
第 9 章	多区域 OSPF	362
9.1	多区域 OSPF	365
9.1.1	OSPF 分层结构概述	365
9.1.2	OSPF 路由器的类型	365
*9.1.3	OSPF 虚链路	367
9.2	多区域 OSPF 的工作原理	369
9.2.1	LSA 的类型	369
*9.2.2	OSPF 的特殊区域	371

9.3 配置多区域 OSPF	375
9.3.1 多区域 OSPF 的配置	375
*9.3.2 多区域 OSPF 的排错	382
9.4 本章总结	394
9.5 练习题	394
术语表	396
推荐延伸阅读与其他参考文献	404



第1章 交换网络

- 
- 1.1 交换网络
 - 1.2 交换机的基本设置
 - 1.3 本章总结
 - 1.4 练习题