

普通高等教育国家级规划教材实验指导书

计算机网络

综合实验教程

协议分析与应用

（精编版）

李志远 编著



普通高等教育国家级规划教材实验指导书

计算机网络综合实验教程 协议分析与应用

(精编版)

李志远 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本实验教程是《计算机网络（第7版）》（谢希仁编著）教材的配套实验教程，主要内容是以一个基本的校园网络为实验基础，将教材中所阐述的常用的网络协议应用到校园网络中，并通过抓包分析的方式，对协议的概念及协议的工作流程进行较为详细的分析与阐述。

本实验教程在每个实验开始之前，对实验协议进行了必要的补充，以便读者能够更好地理解教材中的协议，在此基础上，一共设计了13个实验，这些实验涵盖了教材中所讲述的、常用的网络协议。

本实验教程采用“以协议分析为中心、以实践实验为辅助”的原则，从应用协议的角度出发，精心设计实验内容、实验手段和实验方法，具有实验设计新颖、思路清晰、连贯性强及重协议分析的特点。本书可供计算机类专业的学生使用，也可作为计算机网络工作者的参考用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

计算机网络综合实验教程：协议分析与应用：精编版 / 李志远编著. —北京：电子工业出版社，2019.6
ISBN 978-7-121-36576-8

I. ①计… II. ①李… III. ①计算机网络—实验—高等学校—教材 IV. ①TP393-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 096784 号

责任编辑：郝志恒

印 刷：三河市华成印务有限公司

装 订：三河市华成印务有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱

邮编：100036

开 本：787×1092 1/16 印张：13.25 字数：339 千字

版 次：2019 年 6 月第 1 版

印 次：2019 年 6 月第 1 次印刷

定 价：39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：QQ 9616328。

前言

“计算机网络”课程具有实践性强、学科交叉、协议复杂、不同层次间协议需要相互配合运行等特点，这些特点对于理解计算机网络原理带来了不少的挑战：需要理解较多的知识点、需要较强的实践能力。计算机网络实验课程的设计，应该有助于学习者更好地理解网络协议以及协议的运行过程，使学习者能够透过表象，理解协议原理的本质特征。基于这种思路，本实验教程在一个简单的网络设计与实现基础上，综合应用计算机网络协议，并对这些协议进行必要的分析，让难以理解的、烦琐的计算机网络协议“看得见、摸得着”。

区别于同类实验教程，本实验教程以真实网络环境实现为背景，以理解、分析网络协议的语法、语义、同步为主线来综合设计实验内容，内容涵盖数据链路层、网络层、运输层和应用层协议中的大多数知识点。这里所述的知识点，是指谢希仁教授编著的《计算机网络（第7版）》中所描述的部分五层协议内容，教材中第7章及以后的内容，本实验教程没有设计实验内容。虽然实验2和实验3的主要内容为主路由器和交换机的基本配置（在其他实验中，也涉及少量的配置任务），但这部分内容是本实验教程使用的基础，需要读者准确无误地完成配置任务。

本实验教程以理解并使用协议为主，其主要内容是在一个小型校园网络上使用协议和分析协议，主要通过 GNS3 仿真和 Wireshark 抓包实现。

由于网络的设计与实现，需要使用网络层相关协议，这部分内容又是后续协议分析实验的基础，因此，建议读者在学习完网络层之后开始系统使用本教程。有些实验内容可以在理论学习时同步使用，例如 VLAN 划分、部分网络命令等。受不同实验环境的影响，读者的实验结果与本实验教程中的结果可能不同，请读者按本实验教程的思路设计并分析实验结果。

一、教程特点

1. 以应用为基础

实验紧密联系实际，始终以协议在实际网络中的应用与分析为主线设计实验。

2. 以协议为中心

本实验教程以谢希仁教授编著的《计算机网络（第7版）》核心内容为基础，紧紧围绕学习协议、理解协议、使用协议这个中心设计实验。对部分协议的分析，给出了一些生活实例描述。

3. 以问题为导向

在实验分析和思考题中，从为什么出发倒推协议运行过程。

4. 虚实无缝结合

大多数实验在仿真环境下实现，无须昂贵的计算机网络设备，部分实验可在真实 PC 设备与虚拟实验设备无缝结合下实现，例如 TFTP 实验、DNS 实验等。

5. 内容由易及难

前 3 个实验为实践性实验，其他均为验证性实验（其中一些包含少量实践性实验），在实验内容安排上由浅入深、由易及难。

二、实验环境

1. 操作系统：Windows、MAC OS、Linux。

2. 仿真软件：GNS3 仿真软件（参考附录A）。

3. 网络设备。

（1）可管理的二层交换机：vIOS-L2.vmdk。

（2）不可管理的二层交换机：SW1-SW4 直接使用 GNS3 仿真软件中的二层交换机。

（3）三层交换机：IOS 版本为 c3660-a3jk9s-mz.124-25d.image。

（4）WWW、DNS、R1、R2：IOS 版本为 c3745-adventerprisek9-mz.124-25d.image。

4. 协议分析：npcap-0.99-r7、Wireshark（参考附录B）。

三、适用对象

本实验教程侧重于计算机网络实验环境与方法的创新，部分实验仅仅给出了大致的实验结果，更为详细的协议分析还需读者深入研究学习。本实验教程可用于计算机网络课程教学的实验、课程设计、综合实践参考用书，也可作为计算机网络理论教学的补充材料，适用于从事计算机网络教学的教师和学习计算机网络课程的学生使用，也可供计算机网络从业人员参考。

本实验教程是教学团队多年教学工作经验的总结，黄月华对实验教程提出了很多重要的参考意见，简宁对实验内容进行了全面的验证。在这里，还要感谢魏星、柯捷、杨鸣坤、杨华等计算机网络重点课程建设组成员的大力支持，特别要感谢电子工业出版社的郝志恒、牛晓丽两位编辑：在仅仅与他们交谈了一下计算机网络实验课程的想法之后，便得到了他们的大力支持和鼓励，促生了将多年计算机网络教学工作经验总结成书的想法，在同事们的帮助下，本实验教程终于如期出版。

由于水平有限，加之时间较为紧张，实践教程中一定存在诸多问题：实验设计不够合理、协议的理解不够准确、举例不够恰当、程序设计不够严谨、实验描述不够准确等，敬请读者批评指正。

由于每位读者的计算机平台存在各种差异，对在实验环境搭建过程中出现的各种问题，我们无法提供强有力的技术支持，请读者参考附录内容，建议读者在虚拟机中搭建实验环境。另外，受版权的限制，我们无法提供 Cisco 相关设备 IOS。

作者
2019年5月

导 读

本实验教程是谢希仁教授编著的《计算机网络（第 7 版）》教材（以下简称教材）的配套图书，内容设计主要围绕教材展开。为了方便大家阅读，在提到某些知识点时会与教材建立关联，用“P×××”的形式给出本部分内容在教材上的对应页码，如 P102 表示在教材的第 102 页有相关知识点的更详细介绍。举一个具体的例子，实验 7 中的“PPP 协议的工作状态（P80）”，表示在教材的第 80 页可以查阅有关“PPP 协议的工作状态”的相关内容。

另外，网络中常用到的命令一般用英文小写形式表示，如 ping 命令；而协议等多是英文字母的缩写，用大写形式表示，如 TCP、DNS 等，本实验教程中的英文一般按此原则确定大小写形式。另外，为了保持图文对应，一般正文中也采用和图（或代码）中一致的表示形式，即如果图或代码中是英文小写形式，那么正文中也采用英文小写形式。特别提醒读者注意。

实验 3 RIP 配置	11
3.1 实验目的	11
3.2 基本概念	11
3.3 接口配置	12
3.4 VLAN 连通性配置	14
3.5 网络设备接口配置	15
3.6 RIP 配置	17
3.7 故障排查	19
思考题	19
实验 4 ARP 协议与 Ethernet MAC 帧	20
4.1 实验目的	20
4.2 协议封装	20
4.3 ARP 协议	22
4.4 协议分析	23
4.5 ARP 的 MAC 封装	27
4.6 ARP 代理	29
思考题	33
实验 5 交换机地址学习	34
5.1 实验目的	34
5.2 地址学习	34

目 录

实验 1 网络分析与设计	1
1.1 实验目的	1
1.2 网络分析	1
思考题	4
实验 2 VLAN 配置	5
2.1 实验目的	5
2.2 Cisco 设备配置	5
2.3 VLAN 划分	7
思考题	10
实验 3 RIP 配置	11
3.1 实验目的	11
3.2 基本概念	11
3.3 接口配置	12
3.4 VLAN 连通性配置	14
3.5 网络设备接口配置	15
3.6 RIP 配置	17
3.7 故障排查	19
思考题	19
实验 4 ARP 协议与 Ethernet MAC 帧	20
4.1 实验目的	20
4.2 协议封装	20
4.3 ARP 协议	22
4.4 协议分析	25
4.5 ARP 的 MAC 封装	27
4.6 ARP 代理	29
思考题	33
实验 5 交换机地址学习	34
5.1 实验目的	34
5.2 地址学习	34

5.3 实验分析.....	36
思考题	38
实验 6 VLAN 中继协议	39
6.1 实验目的.....	39
6.2 VLAN 简介	39
6.3 VLAN 间中继	40
6.4 802.1q 协议.....	41
6.5 协议验证.....	42
6.6 抓包分析.....	44
思考题	44
实验 7 PPP 协议	46
7.1 实验目的.....	46
7.2 PPP 简介	46
7.3 协议分析.....	49
7.4 结果分析.....	50
思考题	57
实验 8 IP 与 ICMP 协议	58
8.1 实验目的.....	58
8.2 IP 协议简介	58
8.3 ICMP 协议简介	60
8.4 ICMP 询问报文.....	63
8.5 ICMP 差错报文.....	64
8.6 路由重定向.....	69
8.7 IP 分片	72
思考题	77
实验 9 RIP 与 UDP 协议.....	78
9.1 实验目的.....	78
9.2 RIP 协议简介	78
9.3 UDP 协议.....	80
9.4 协议分析.....	81
思考题	84
实验 10 OSPF 协议.....	85
10.1 实验目的.....	85
10.2 协议简介.....	85

10.3	网络配置.....	87
10.4	协议分析.....	90
10.5	扩展实验.....	97
	思考题	102
实验 11 TCP 协议与 TELNET 协议.....		103
11.1	实验目的.....	103
11.2	协议简介.....	103
11.3	TCP 连接建立	108
11.4	TCP 连接释放	109
11.5	TCP 协议几点解释	110
11.6	协议分析.....	111
11.7	TELNET 协议.....	120
11.8	TCP 序号分析	125
	思考题	127
实验 12 DNS 协议.....		128
12.1	实验目的.....	128
12.2	协议简介.....	128
12.3	协议分析.....	132
12.4	hosts 文件	135
12.5	常用的 DNS 服务器地址.....	136
12.6	虚拟环境实验.....	136
12.7	域名查询过程.....	139
	思考题	143
实验 13 常用网络命令		144
13.1	实验目的.....	144
13.2	ping 命令	144
13.3	ipconfig 命令	147
13.4	arp 命令	150
13.5	netstat 命令	152
13.6	route 命令	157
13.7	nslookup 命令	160
13.8	tracert 命令	166
	思考题	168

* 注：用 XXXX 形式给出本部分内容在《计算机网络（第7版）》上册中的页码。此页表示在《计算机网络（第7版）》第115页可以查到有关IP协议的相关内容。

附录 A GNS3 安装与使用 (Windows)	169
附录 B Wireshark 过滤方法	194
附录 C 参考文献与网址	202
6.2 VLAN 简介	39
6.3 VLAN 间通信	40
6.4 502 实验	41
6.5 协议验证	42
6.6 数据包分析	44
思考题	44
7 PPP 协议	46
7.1 实验目的	46
7.2 PPP 简介	46
7.3 协议分析	49
7.4 结果分析	50
思考题	57
8 IP 与 ICMP 协议	58
8.1 实验目的	58
8.2 IP 协议简介	58
8.3 ICMP 协议简介	60
8.4 ICMP 查询报文	63
8.5 ICMP 差错报文	64
8.6 路由重定向	69
8.7 IP 分片	72
思考题	77
9 RIP 与 UDP 协议	78
9.1 实验目的	78
9.2 RIP 协议简介	78
9.3 UDP 协议	80
9.4 协议分析	81
思考题	84
10 OSPF 协议	85
10.1 实验目的	85
10.2 协议简介	85

实验 1 网络分析与设计

建议学时：2 学时。

实验知识点：IP 协议（P115^①）、无分类编址 CIDR（P141）、CIDR 地址块划分举例（P144）。

1.1 实验目的

1. 了解组建网络的设备。
2. 掌握网络设备接口类型。
3. 掌握 IP 地址分配方法。

1.2 网络分析

1. 需求分析

简单起见，假设某单位共有 1 号楼、2 号楼两幢楼，该单位有 4 个部门，分别称为部门 10、部门 20、部门 30 和部门 80，其中部门 20、部门 30 和部门 80 的工作人员全部在 1 号楼，而部门 10 的工作人员分散在 1 号楼和 2 号楼。该单位未来 5 年内人员数及所需 IP 地址的情况如下：

- 部门 10 约 70 人（100 个 IP）。
- 部门 20 约 300 人（500 个 IP）。
- 部门 30 约 150 人（200 个 IP）。
- 部门 80 约 70 人（100 个 IP）。

该单位需建一个网络并与 Internet 相连。

2. 网络拓扑

根据单位需求，建立如图 1.1 所示的网络拓扑。

交换机 ESW1 安放在 1 号楼，交换机 ESW2 安放在 2 号楼。4 个部门对应的虚拟局域网分别是 vlan10、vlan20、vlan30 和 vlan80。

（1）绘制网络拓扑

按图 1.1 的要求，正确建立网络拓扑，特别注意网络设备二层接口与三层接口的区别。ESW1 与 R1 之间、R1 与 R2 之间的连接接口均为三层接口，可以配置 IP 地址。

TFTP 服务器为 Cloud 设备，连接真实计算机，连接方法参考附录 A。不同的实验内容，该设备功能有所不同。

^① 注：用 PXXX 形式给出本部分内容在《计算机网络（第 7 版）》上的对应页码。此处表示在《计算机网络（第 7 版）》第 115 页可以查阅有关 IP 协议的相关内容。

R1 与 R2 的 IOS 为 C3745, C3745 的三层模块为 GT96100-FE, 带有 2 个快速以太网口 (FastEthernet), 广域网模块为 WIC-1T (1 个 serial 口) 或 WIC-2T (2 个 serial 口), 如图 1.2 所示。

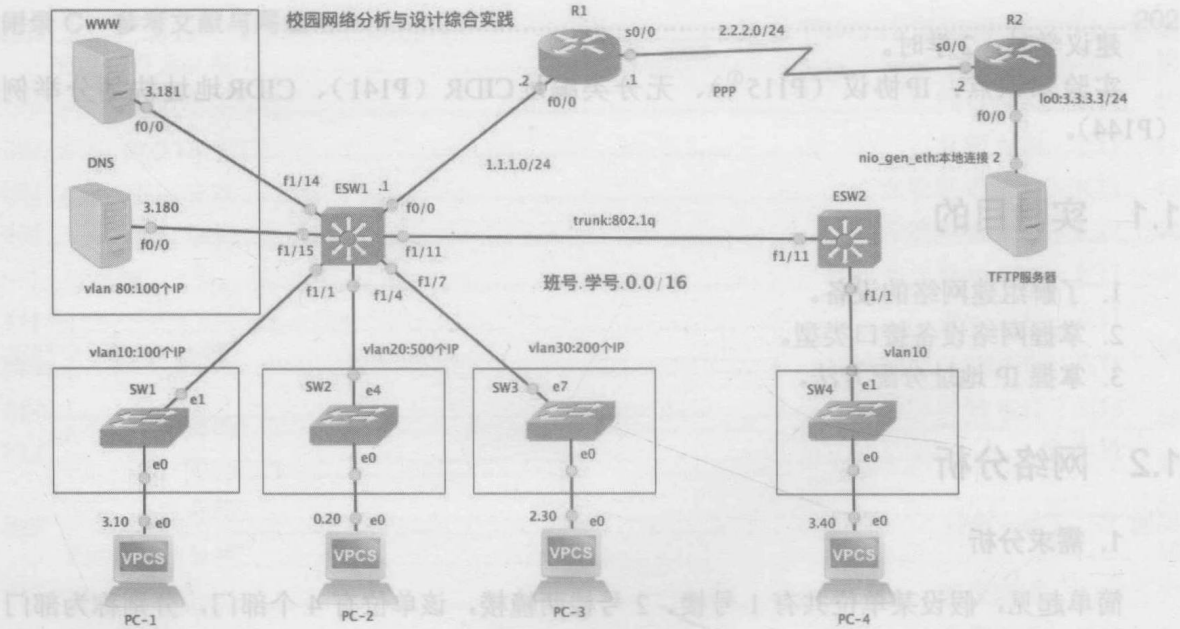


图 1.1 网络拓扑图

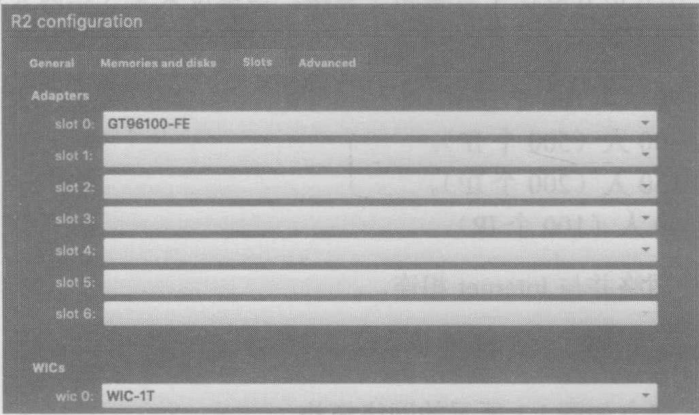


图 1.2 配置图

ESW1 和 ESW2 的 IOS 为 3660, 在添加 IOS 时, 需勾选 “This is an EtherSwitch router” 选项, 如图 1.3 所示, 这样添加的三层设备自动添加二层模块: NM-16ESW (16 个二层快速以太网口), 并带有一个三层模块 Leopard-2FE (2 个三层快速以太网口), 如图 1.4 所示。

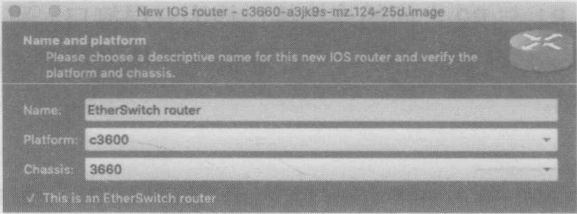


图 1.3 添加三层交换机

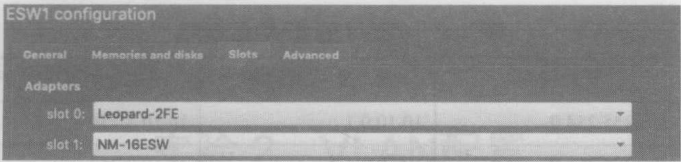


图 1.4 三层交换机模块

在实验过程中，由于选用的 IOS 版本不同，接口的名称等也可能不同，只要注意哪些用三层接口连接，哪些用二层接口连接，就不会影响实验教程的使用。

注意：在图 1.4 中，三层交换机的 slot 0 模块上的接口为三层接口（可以配置 IP 地址），例如 f0/0 和 f0/1，slot 1 模块上的接口为二层接口，例如 f1/1 等。

3. IP地址规划

实验教程以 10.10.0.0/16 网络进行 IP 地址规划，根据各部门人数，确定各部门所需 IP 地址数如下：

- 部门 10，对应 vlan10，共需要 1/2 个 C 的 IP 地址；
- 部门 20，对应 vlan20，共需要 2 个 C 的 IP 地址；
- 部门 30，对应 vlan30，共需要 1 个 C 的 IP 地址；
- 部门 80，对应 vlan80，共需要 1/2 个 C 的 IP 地址；
- 设备 ESW1 与 R1 之间的网络，需要 2 个 IP 地址（简单起见，直接使用 1 个 C）；
- 设备 R1 与 R2 之间的网络，需要 2 个 IP 地址（简单起见，直接使用 1 个 C）；
- 外部 Internet，需要 1 个 IP 地址。

教师在使用过程中，建议使用（班号+100）.学号.0.0/16 网络，以便区别学生实验作业。例如某同学班级为 2 班，学号为 23 号，则其使用的网络为 102.23.0.0/16（请注意，合成的 IP 地址必须合法）。

(1) 部门 IP 地址分配

采用变长子网掩码的方式进行分配，从需要最多 IP 地址的部门开始分配，分配方法如图 1.5 所示。

10.10.0.0/16	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.10.0.0/23																		
10.10.2.0/24																		
10.10.3.0/25																		
10.10.3.128/25																		

图 1.5 VLAN 网络分配方法

IP 数为 500 的网络，需要满足 $2^n - 2 \geq 500$ ，则 $n=9$ ，即主机位为 9 位，网络位为 23 位：10.10.0.0/23。

IP 数为 200 的网络，需要满足 $2^n - 2 \geq 200$ ，则 $n=8$ ，即主机位为 8 位，网络位为 24 位：10.10.2.0/24。

以此类推。

一般情况下，网络管理员使用 IP 网络中的最低地址或最高地址作为该网络的网关。各部门 IP 地址分配如表 1.1 所示。

表 1.1 VLAN 的 IP 地址规划

VLAN	网络号	子网掩码	第 1 个可用的 IP	最后一个可用的 IP	网关
20	10.10.0.0/23	255.255.254.0	10.10.0.1	10.10.1.254	10.10.0.1
30	10.10.2.0/24	255.255.255.0	10.10.2.1	10.10.2.254	10.10.2.1
10	10.10.3.0/25	255.255.255.128	10.10.3.1	10.10.3.126	10.10.3.1
80	10.10.3.128/25	255.255.255.128	10.10.3.129	10.10.3.254	10.10.3.129

(2) 终端设备地址分配 (如表 1.2 所示)

表 1.2 终端设备 IP 地址分配

设备名称	IP 地址	子网掩码	默认网关	所属 VLAN
DNS 服务器	10.10.3.180	255.255.255.128	10.10.3.129	vlan80
WWW 服务器	10.10.3.181			
PC-1	10.10.3.10	255.255.255.128	10.10.3.1	vlan10
PC-4	10.10.3.40			
PC-2	10.10.0.20	255.255.254.0	10.10.0.1	vlan20
PC-3	10.10.2.30	255.255.255.0	10.10.2.1	vlan30
Internet 服务器	3.3.3.3	255.255.255.0	-	-

(3) 网络设备三层接口 IP 规划 (如表 1.3 所示)

表 1.3 网络设备接口 IP 地址分配

设备	接口	IP 地址	子网掩码
vlan80	虚拟接口 SVI	10.10.3.129	255.255.255.128
vlan30	虚拟接口 SVI	10.10.2.1	255.255.255.0
vlan20	虚拟接口 SVI	10.10.0.1	255.255.254.0
vlan10	虚拟接口 SVI	10.10.3.1	255.255.255.128
R1	F0/0	1.1.1.2	255.255.255.0
	S0/0	2.2.2.1	255.255.255.0
R2	S0/0	2.2.2.2	255.255.255.0
	Loopback 0	3.3.3.3	255.255.255.0
ESW1	F0/0	1.1.1.1	255.255.255.0

注: vlan10~80 不应该被称为“设备”, 因为要配置 SVI 接口, 在表 1.3 中暂时称之为“设备”(请参考实验 3)。

思考题

如果 vlan10 需要 600 个 IP, vlan20 需要 600 个 IP, vlan30 需要 300 个 IP, vlan80 需要 200 个 IP, 请读者给出网络 10.10.0.0/16 的 IP 地址规划。

实验 2 VLAN配置

建议学时：2 学时。

实验知识点：Cisco 设备 CLI 配置命令、VLAN (P101)。

2.1 实验目的

1. 掌握 Cisco IOS 配置方法。
2. 掌握交换机基于端口划分 VLAN 的配置与管理。

2.2 Cisco设备配置

1. Cisco IOS命令

Cisco IOS 配置流程如图 2.1 所示，Cisco IOS 有三种接口进入网络设备的用户配置模式。需要注意的是，AUX 和 VTY 默认没有配置密码，不允许登录到 Cisco 网络设备。

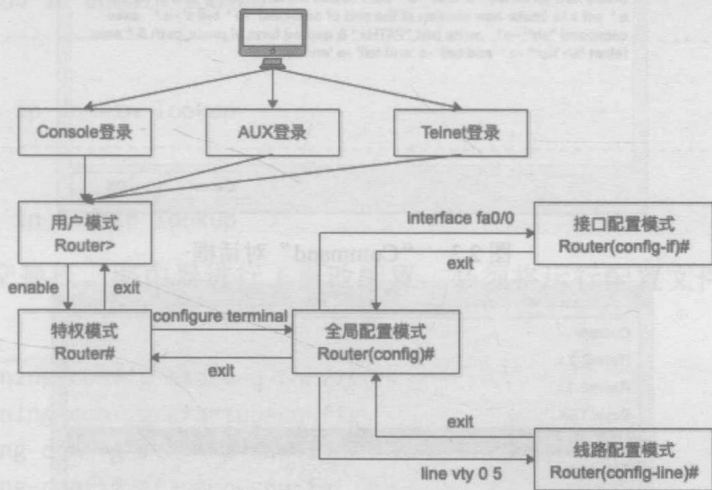


图 2.1 Cisco 设备配置方式

- exit: 退出到上级。
- end: 退出到特权模式。
- Ctrl+Z: 退出到特权模式。

更为详细的 IOS 配置命令，请读者参考相关资料。

2. GNS3 中配置工具的选择

在 GNS3 中，用鼠标双击网络设备便可进行该设备的 CLI 特权配置，默认登录客户端为 Putty。读者如果安装了 GNS3 支持的其他远程登录软件，例如 SecureCRT，则可用以

下方法进入 CLI 特权配置模式。

用鼠标右击 GNS3 中的网络设备，选择“Custom console”选项（如图 2.2 所示）之后会弹出“Command”对话框（如图 2.3 所示），在该对话框中的“Choose a predefined command”下拉列表中选择“SecureCRT”选项（如图 2.4 所示），单击“OK”按钮即可。

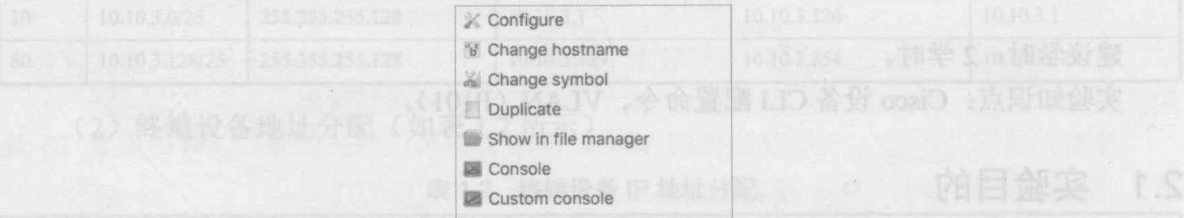


图 2.2 选择“Custom console”选项

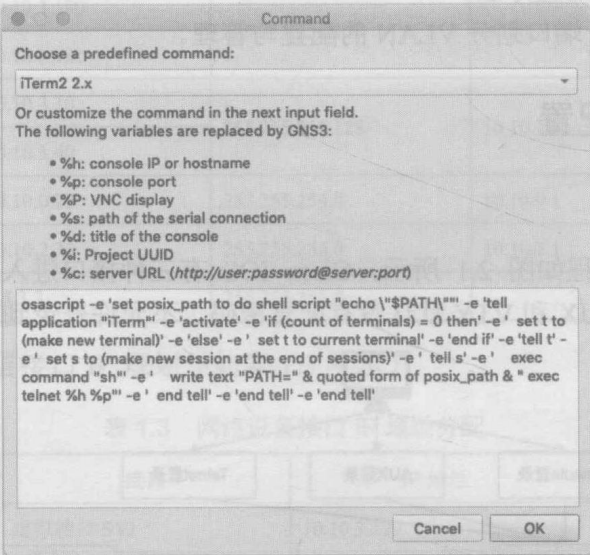


图 2.3 “Command”对话框

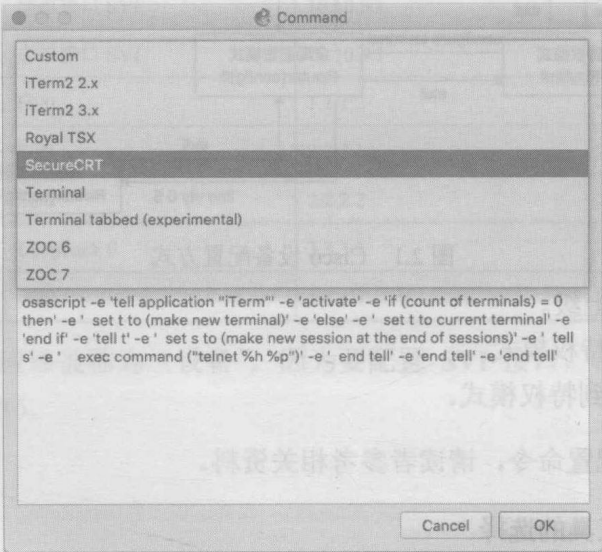


图 2.4 选择登录工具

需要注意的是，拓扑中不能开启过多的 VPCS，默认安装情况下，笔者使用时，最多可

同时打开 8 个 VPCS，第 9 个会出现 “Good-bye”。

解决办法：将所有运行的 VPCS 全部关闭，将需要配置的 VPCS 开启，即可实现对该 VPCS 的操作；另一种方法是用路由器仿真 PC 机（类似图 1.1 中的 WWW、DNS 服务器）。

注意：因后续实验需要本次实验结果，以下实验请在图 1.1 所示的网络拓扑中完成。

2.3 VLAN划分

1. 实验流程（如图 2.5 所示）



图 2.5 VLAN 实验流程

2. 基本配置

（1）为防止命令错误而出现域名查找，所有网络设备均关闭域名查找。在 GNS3 中，网络设备默认关闭该功能（可以不配置）。

```
ESW1#conf t
ESW1(config)#no ip domain lookup
-----
R1#conf t
R1(config)#no ip domain lookup
-----
R2#conf t
R2(config)#no ip domain lookup
```

（2）每次对交换机、路由器进行了更改配置，必须将运行配置文件保存至启动配置文件中。

```
ESW1#copy running-config startup-config
ESW2#copy running-config startup-config
R1#copy running-config startup-config
R2#copy running-config startup-config
```

或者：

```
ESW1#write
ESW2#write
R1#write
R2#write
```

（3）密码配置（可以不配置，为抓取 TCP 及 TELNET 报文，R1 必须配置）。
仅以 R1 配置为例，其他设备参考配置：

```
R1#conf t
R1(config)#enable password cisco      #配置使能密码（特权用户密码）
R1(config)#line vty 0 5                #选择虚拟终端
```