“互联网 + 教育”新形态一体化系列教材

计算机网络技术基础

主　编　付欣龙

北京工业大学出版社

图书在版编目（CIP）数据

计算机网络技术基础 / 付欣龙主编 . -- 北京：北京工业大学出版社，2025. 6. --（“互联网 + 教育”新形态一体化系列教材）. -- ISBN 978-7-5639-8822-8

Ⅰ .TP393

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025WD0316 号

计算机网络技术基础

JISUANJI WANGLUO JISHU JICHU

主　　编：付欣龙

责任编辑：周　占

封面设计：廖　源

出版发行：北京工业大学出版社　http://press.bjut.edu.cn

（北京市朝阳区平乐园 100 号　邮编：100124）

010-67391722　bgdcbs@bjut.edu.cn

经销单位：全国各地新华书店

承印单位：廊坊市广阳区九洲印刷厂

开　　本：787 毫米 ×1092 毫米　1/16

印　　张：12.25

字　　数：317 千字

版　　次：2025 年 6 月第 1 版

印　　次：2025 年 6 月第 1 次印刷

标准书号：ISBN 978-7-5639-8822-8

定　　价：49.80 元

版权所有　翻印必究

（如发现印装质量问题，请寄本社发行部调换 010-67391106）

编写委员会

主　编

付欣龙

副主编

李　卓　徐红伟　周俊霞
韩为民　王景璐

参　编

乔河宽　魏志英　娜日斯
薄晓晴　胡　菠　曹利萍
雷　烨

前言

党的二十大报告指出，要加快建设网络强国、数字中国，构建新一代信息技术、人工智能、生物技术、新能源、新材料、高端装备、绿色环保等一批新的增长引擎。本书的编写遵循中小企业网络管理员岗位相关专业人才职业素养养成和专业技能积累的规律，将职业能力、职业素养和工匠精神融入教材的设计思路，采用基于工作过程的职业教育理论，以工作任务分析为出发点，从工作过程中获得教材结构，根据工作任务的特点组织教材实施，凸显其职业性、技术性和应用性。本着理论知识适度、够用的原则，在着重培养操作能力的思想指导下，全书内容共划分为 7 章。教学中，在强调实现知识目标、能力目标和素质目标，以及突出职业能力培养的同时，希望通过理论教学和实践教学环节，培养学生科学严谨、团队合作、勇于探索、敢于创新、勤于思考的优良作风和工匠精神。

本书与其他计算机网络技术基础教材相比，具有以下 3 个方面的特色。

1. 以实践操作为主，注重职业能力的培养

本书摒弃枯燥、抽象的理论讲解，采用理论与实践相结合的编写方法。从网络管理员和网络工程师岗位的实际工作需求出发，构建出独立的工作项目，并以工作任务为驱动、工作过程为基础，把理论知识融入工作实践当中，让读者通过完成项目任务获得知识和提高能力。

2. 构建了基于工作过程的教学内容体系

本书按照实际工作过程及认知过程，将传统的章节知识体系打散并重组，建立了基于工作过程的教学内容体系。这种教材内容组织形式将计算机网络基础知识分解并融入工作任务当中，让读者零距离体验实际的工作情境。

3. 紧跟网络技术发展潮流

本书的内容和难度参照华为网络系统建设与运维（中级）“1+X”职业技能等级证书要求，基于Windows 10、Windows Server 2022 平台和华为eNSP网络仿真平台，以网络工程项目为依托，从行业需求出发组织全部内容；坚持集先进性、科学性和实用性于一体，尽可能覆盖最新和最实用的网络技术，为学生尽快适应未来的工作岗位奠定坚实的基础。本书理论知识讲解简单、精练，项目实践任务叙述清楚，操作过程描述详尽。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳请广大读者批评指正。本书提供了电子课件、实训任务书等教学资源。

目录

第 1 章　认识计算机网络 1

学习目标 2
项目描述 2
项目分析 2
知识准备 3
1.1　计算机网络概述 3
1.1.1　资源共享 3
1.1.2　通信 3
1.2　计算机网络的发展过程 4
1.2.1　第一阶段：计算机终端网络 4
1.2.2　第二阶段：主机互联网络 4
1.2.3　第三阶段：开放式标准化的计算机网络 4
1.2.4　第四阶段：因特网阶段 5
1.3　计算机网络的组成 5
1.3.1　计算机系统 5
1.3.2　数据通信系统 6
1.3.3　网络软件 6
1.4　计算机网络的分类 7
1.4.1　按网络覆盖的地理范围分类 7
1.4.2　按传输技术分类 8
1.4.3　按使用的传输介质分类 8
1.5　计算机网络的拓扑结构 8
1.5.1　总线型拓扑结构 9
1.5.2　星型拓扑结构 9
1.5.3　环型拓扑结构 10
1.5.4　树型拓扑结构 10
1.5.5　网状型拓扑结构 11
1.6　数据通信技术基础 11
1.6.1　数据通信基本概念 11
1.6.2　数据传输方式 12
1.6.3　多路复用技术 13
1.6.4　数据交换方式 14
1.7　计算机网络发展新技术 16
1.7.1　物联网 16
1.7.2　5G 技术 17
1.7.3　云计算 18
1.7.4　大数据 19
1.8　华为企业网络仿真平台 eNSP 简介 20
1.8.1　图形化操作 21
1.8.2　高仿真度 21
1.8.3　可与真实设备对接 21
1.8.4　分布式部署 21
项目实训 22
思政园地 28
项目小结 28
思考与练习 28

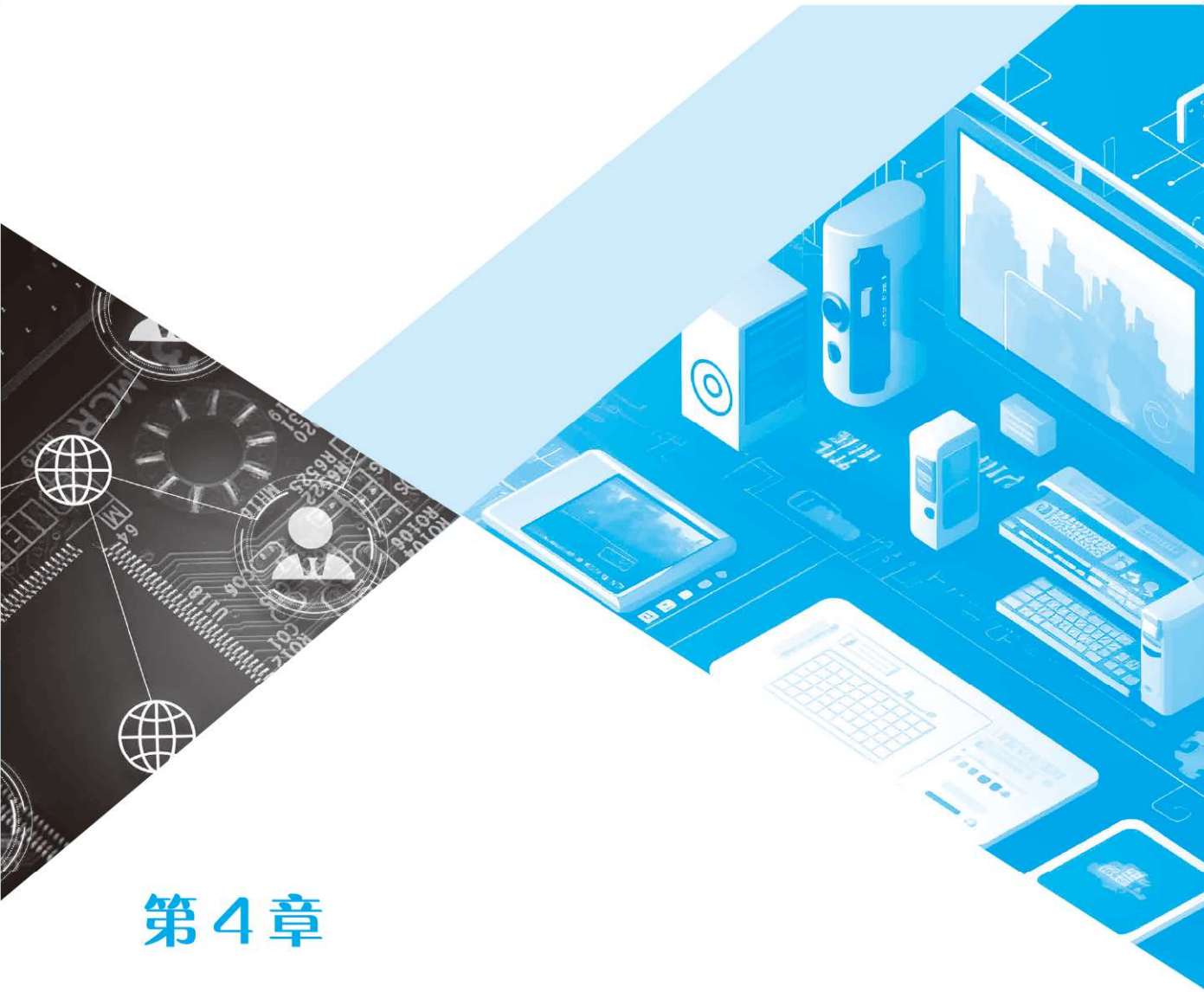
第 2 章　认识 IP 地址和网络协议 29

学习目标 30
项目描述 30
项目分析 30
知识准备 31
2.1　计算机网络协议与标准组织 31
2.1.1　协议的基本概念 31
2.1.2　网络分层次的体系结构 31
2.1.3　体系结构中分层的原则 31
2.1.4　层次结构方法的优点 32
2.1.5　计算机网络协议标准的制定机构 32
2.2　OSI 参考模型 32
2.2.1　物理层 33

2.2.2 数据链路层……33
2.2.3 网络层……34
2.2.4 传输层……34
2.2.5 会话层……34
2.2.6 表示层……34
2.2.7 应用层……34
2.3 TCP/IP参考模型……34
2.3.1 网络接口层……35
2.3.2 网络层……35
2.3.3 传输层……36
2.3.4 应用层……36
2.4 IP地址规划与划分……36
2.4.1 IP地址的组成及表示方法……36
2.4.2 IP地址的类别……37
2.4.3 特殊的IP地址……38
2.4.4 公有地址和私有地址……39
2.4.5 子网掩码……39
2.4.6 子网划分……40
2.5 IPv6简介……43
2.5.1 IPv6的优点……43
2.5.2 IPv6地址的表示方法……43
2.5.3 IPv6地址组成……44
2.6 Wireshark网络协议分析工具简介……44
2.6.1 Wireshark主要应用……45
2.6.2 Wireshark主要特性……45
2.6.3 Wireshark窗口……45
项目实训……46
思政园地……51
项目小结……51
思考与练习……52
第3章 组建小型办公网络……55
学习目标……56
项目描述……56
项目分析……56
知识准备……57
3.1 局域网的模型与标准……57
3.1.1 局域网的特点……57
3.1.2 局域网参考模型……57
3.1.3 局域网标准……58
3.2 以太网……59
3.2.1 以太网的标准……59
3.2.2 以太网拓扑结构……60
3.3 传输介质……61
3.3.1 有线传输介质……61
3.3.2 无线传输介质……64
3.4 认识交换机……64
3.4.1 MAC地址……64
3.4.2 交换机……65
3.5 VLAN技术……69
3.5.1 什么是VLAN……69
3.5.2 VLAN的优点……70
3.5.3 VLAN的划分方法……70
3.5.4 交换机端口的分类……71
3.6 无线局域网……71
3.6.1 无线局域网的基本特点……71
3.6.2 无线局域网标准……72
3.6.3 常见的无线网络设备……73
3.6.4 无线局域网的典型组网模式……75
3.7 光纤接入技术……75
3.7.1 光纤接入的定义及特点……75
3.7.2 光纤接入的分类……76
3.7.3 光纤接入的方式……76
3.7.4 光纤到户……76
项目实训……77
思政园地……91
项目小结……91
思考与练习……91
第4章 网络互联……93
学习目标……94
项目描述……94
项目分析……94
知识准备……95
4.1 认识路由器……95
4.1.1 网络互联的基本概念……95

4.1.2 网络互联的层次与设备 ····· 96
4.1.3 路由器的功能 ····· 97
4.1.4 路由器的类型 ····· 97
4.1.5 路由器的工作原理 ····· 98
4.2 静态路由和动态路由 ····· 99
4.2.1 直连路由 ····· 99
4.2.2 静态路由 ····· 100
4.2.3 动态路由 ····· 100
4.2.4 路由优先级 ····· 101
4.3 VLAN间路由 ····· 101
4.3.1 VLAN间二层通信的局限性 ····· 101
4.3.2 实现VLAN间路由的方法 ····· 102
项目实训 ····· 104
思政园地 ····· 109
项目小结 ····· 110
思考与练习 ····· 110
第 5 章 排除常见网络故障 ····· 111
学习目标 ····· 112
项目描述 ····· 112
项目分析 ····· 112
知识准备 ····· 113
5.1 网络故障的主要原因 ····· 113
5.1.1 网络连接故障 ····· 113
5.1.2 软件属性设置故障 ····· 113
5.1.3 网络协议故障 ····· 113
5.2 常见故障排查过程 ····· 113
5.2.1 识别故障的现象 ····· 114
5.2.2 故障现象的描述 ····· 114
5.2.3 列举可能出现故障的原因 ····· 114
5.2.4 缩小搜索范围 ····· 114
5.2.5 排除故障 ····· 114
5.2.6 故障分析 ····· 114
5.3 网络故障检测工具 ····· 115
5.3.1 网络故障检测的硬件工具 ····· 115
5.3.2 网络故障检测的软件工具 ····· 115
5.4 网络连通性故障原因及排除方法 ····· 121
5.4.1 连通性故障的表现形式 ····· 121
5.4.2 连通性故障产生的主要原因 ····· 121
5.4.3 连通性故障的基本排除方法 ····· 122
5.4.4 故障排除案例 ····· 122
5.5 网络协议及配置故障原因与排除方法 ····· 123
5.5.1 协议及配置故障的表现形式 ····· 123
5.5.2 协议及配置故障产生的主要原因 ····· 123
5.5.3 协议及配置故障的基本排除方法 ····· 123
5.5.4 故障排除案例 ····· 123
项目实训 ····· 124
思政园地 ····· 125
项目小结 ····· 125
思考与练习 ····· 125
第 6 章 搭建网络服务器 ····· 127
学习目标 ····· 128
项目描述 ····· 128
项目分析 ····· 128
知识准备 ····· 129
6.1 网络操作系统概述 ····· 129
6.1.1 常见的网络操作系统 ····· 129
6.1.2 Windows Server 2022 简介 ····· 130
6.2 WWW服务 ····· 130
6.2.1 WWW简介 ····· 130
6.2.2 WWW服务器 ····· 130
6.2.3 WWW客户机 ····· 130
6.2.4 URL ····· 131
6.2.5 服务端口号 ····· 131
6.2.6 Web的工作原理 ····· 131
6.3 FTP服务 ····· 132
6.3.1 FTP的基本概念 ····· 132

6.3.2 FTP服务器……132
6.3.3 FTP的工作原理……132
6.4 DNS服务……133
6.4.1 DNS的基本概念……133
6.4.2 DNS的工作原理……133
6.5 DHCP服务……134
6.5.1 DHCP的基本概念……134
6.5.2 DHCP的工作原理……134
项目实训……135
思政园地……155
项目小结……156
思考与练习……157
第7章 网络安全及管理……159
学习目标……160
项目描述……160
项目分析……160
知识准备……161
7.1 网络面临的安全威胁……161
7.1.1 网络安全的概念……161
7.1.2 网络安全威胁……161
7.2 计算机网络安全的内容……162
7.2.1 物理安全……163
7.2.2 逻辑安全……163
7.2.3 操作系统安全……163
7.2.4 网络传输安全……163
7.3 网络安全的关键技术……164
7.3.1 数据加密技术……164
7.3.2 信息认证技术……164
7.3.3 防火墙技术……164
7.3.4 网络安全扫描技术……165
7.3.5 网络入侵检测技术……165
7.3.6 黑客诱骗技术……165
7.4 防火墙技术……166
7.4.1 防火墙的定义……166
7.4.2 防火墙的分类……166
7.4.3 防火墙的特性……167
7.4.4 防火墙的局限性……167
7.4.5 常用的防火墙实现策略……168
7.5 网络防病毒技术……168
7.5.1 防毒技术的分类……168
7.5.2 网络防病毒的基本方法……168
7.5.3 杀毒软件介绍……170
项目实训……170
思政园地……181
项目小结……182
思考与练习……182
参考文献……185



第4章

网络互联

学习目标

知识目标

（1）了解网络互联的概念。

（2）熟悉网络互联设备和常用的路由选择协议。

（3）掌握交换机和路由器的配置方法与步骤。

能力目标

（1）能够正确配置直连路由和静态路由。

（2）能够正确配置三层交换机以实现VLAN间的路由。

素质目标

（1）培养动手能力、分析和解决问题的能力。

（2）培养高度的责任感和良好的团队合作精神。

（3）培养学生敬业、精益、专注等方面的工匠精神。

项目描述

小李在企业孵化基地开办的创业公司不断发展，业务规模不断扩大，为了适应公司发展需要，公司在开发区新建生产和办公园区，并在广州开设办事处。公司总部和广州办事处分别属于不同的局域网，其中公司总部包括财务部、销售部和生产部3个部门，各部门在同一地点办公。为了公司办公网络能稳定而高效地运行，需要把公司总部和广州办事处的局域网通过路由器连接起来，以组成一个更大的局域网，从而实现数据高速传输和资源共享。

假如你是该公司的网络管理员，请你使用二层交换机、三层交换机和路由器等各种网络设备以及网络互联技术实现以上业务需求。

项目分析

根据项目需求，设计出来的公司网络拓扑图如图4-1所示。公司总部的每个部门分别用一台二层交换机相连，且需要为各部门划分VLAN以增强网络的安全性，再用一台三层交换机作为核心交换机进行汇聚；广州办事处用一台二层交换机把各办公计算机相连组成局域网；最后用两台路由器将两个局域网连接起来。搭建好网络环境后，在各交换机上创建和划分VLAN，利用三层交换机来实现不同VLAN的通信，并利用静态路由技术来实现不同局域网间的互连互通。

为了顺利完成这项工作，除了需要具备前面所学的交换机相关知识以外，还要准备的相关知识包括网络互联的基本概念、常见的网络互联设备以及路由选择协议等。

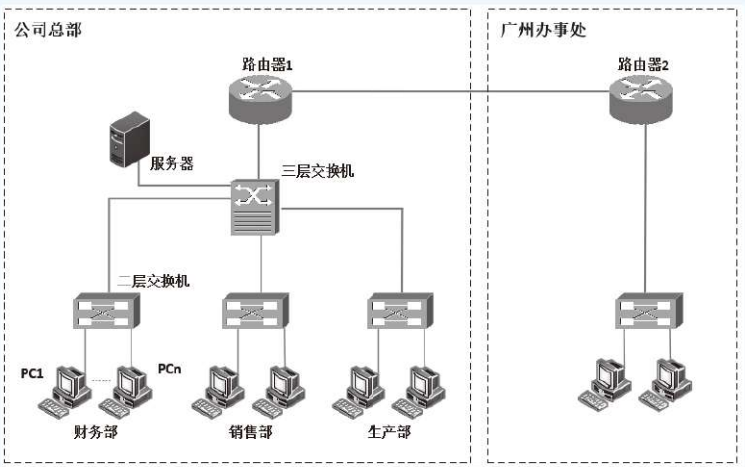


图 4-1　公司网络拓扑图

知识准备

4.1　认识路由器

4.1.1　网络互联的基本概念

随着计算机技术、计算机网络技术和计算机通信技术的飞速发展，以及计算机网络的广泛应用，单一网络环境已经不能满足社会对信息网络的需求，通常需要将 2 个或多个计算机网络互联在一起，以实现更广泛的资源共享和信息交流。

网络互联涉及的概念有很多。为了深刻理解网络互联的内涵和外延，下面对网络连接、网络互联、网络互通这 3 个概念进行解释。

1. 网络连接

网络连接是指网络在应用级的互相连接。它是指一对同构或异构的端系统，通过由多个网络或中间系统所提供的接续通路来进行连接，目的是实现系统之间的端到端的通信。因此，网络连接是对连接于不同网络的各种系统之间的互相连接，它强调协议的接续能力，以保证完成端到端系统间的数据传递。

2. 网络互联

网络互联是指不同子网之间的互相连接。目的是解决子网之间的数据流通问题，以实现更大范围的数据通信和资源共享，但这种流通尚未扩展到系统与系统之间。这里把一个子网看作一条“链路”，把子网之间的连接看作交换节点，从而形成一个“超级网络”。

3. 网络互通

网络互通是实现不同连接形式下系统间交互的能力，不仅涵盖端系统间的数据传输，更强

调业务层面的相互协作。该机制在确保网络连通的基础上，通过协议环境构建支持应用交互的基础架构。

通常说的网络互联应该包括网络连接、网络互联和网络互通这 3 个方面，也就是说，这些互相连接的计算机是可以进行相互通信的。

4.1.2 网络互联的层次与设备

在大型局域网中，需要连接很多个节点，需要利用网络设备将分布在不同地理位置的节点连接到统一的网络中。从通信协议的角度来看，网络互联可以分为 4 个层次，如图 4-2 所示。

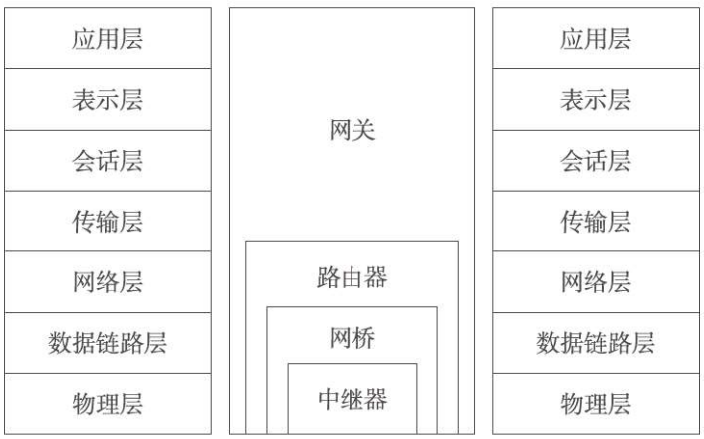


图 4-2 网络互联的层次

网络互联中常用的设备有中继器、网桥和路由器等，下面分别进行介绍。

1. 物理层互联设备

物理层互联通过信号再生技术实现电缆段间的位流传输，其核心设备是中继器。中继器工作在OSI参考模型的第一层，即物理层。

中继器作为网络物理层设备，主要承担节点间信号的双向传输处理，通过桥接多个网络区段实现信号再生增强，有效补偿传输过程中的能量损耗，从而延长有效通信距离。该设备通过物理层信号放大机制，确保数据在扩展范围内的可靠传输。中继器对所有送达的数据不加选择地予以传送，以太网中通常利用中继器扩展总线的电缆长度。一般情况下，中继器的两端连接的是相同的介质，但有的中继器也可以完成不同介质的转接工作。

2. 数据链路层互联设备

数据链路层互联的核心任务在于跨网络帧级数据传输，由网桥作为关键设备实现。该设备基于MAC地址执行智能过滤与转发，通过分析数据帧的源/目的地址确定传输路径，为连接的网络提供透明化通信支持。网桥工作在OSI参考模型的第二层，即数据链路层。

网桥作为基于MAC地址进行数据筛选与转接的网络互联装置，核心功能在于实现跨网段设备的无缝通信。该设备通过解析数据帧内包含的源MAC与目标MAC地址信息，智能决策数据帧的传输路径及端口指向，从而精准控制网络流量的定向传输。

3. 网络层互联设备

网络层互联聚焦于分组数据的跨网传输，通过路由器实现网络间分组的存储转发。路由器工作在OSI参考模型的第三层，即网络层。

路由器连接多个逻辑独立网络，每个逻辑网络对应独立网段或单一网络。子网间数据传输需经路由器处理，该设备具备网络地址识别与路径选择能力，支持异构网络互联，兼容不同数据格式与传输协议的子网连接。其运作仅依赖网络层协议软件适配，与底层硬件设备无关。

作为互联网核心组件，各类型路由器已渗透至各行业领域，承担着骨干网内部组网、跨骨干网互联及骨干网与公网对接的关键作用。

4. 高层互连设备

传输层及以上协议差异的网络互联需通过高层互联实现，核心设备网关承担协议转换功能。这种网络协议变换器较网桥与路由器具备更复杂的架构，能解决异构网络（含不同硬件架构、数据结构和通信协议）的互联难题，支持跨操作系统网络对接及局域网与广域网的整合。

4.1.3　路由器的功能

路由器具有以下 3 个基本功能。

1. 连接功能

路由器支持异构网络互联，兼容LAN/WAN等不同网络类型及速率差异的链路接口。该设备通过逻辑边界的划分将网络分割为独立广播域，有效实施流量隔离，限制广播通信范围，避免全网传播影响其他网络运行。

2. 网络地址判断、最佳路由选择和数据处理功能

路由器为各网络层协议构建并维护静态或动态路由表。通过解析数据包协议类型与目的地址，参照对应路由表执行转发决策。同时基于链路速率、传输成本及拥塞状况优化路径选择，结合加密处理与优先级控制提升带宽利用率。其数据过滤机制可限制特定类型传输，例如阻止转发不支持的协议数据包、未知目标网络数据及广播信息，兼具防火墙功能以防范广播风暴风险。

3. 设备管理功能

路由器基于网络层协议解析能力，可实施流量整形控制转发速率，有效缓解网络拥塞。该设备同时提供网络配置优化、容错机制及性能监控等管理功能。

4.1.4　路由器的类型

路由器按照不同的划分标准有多种类型。路由器的分类见表 4-1。

表 4-1　路由器的分类

从性能档次上分类	从结构上分类	从功能上分类
高档路由器：吞吐量大于 40 Gbit/s 的路由器	模块化路由器：模块化结构	接入级路由器：主要应用于连接家庭或ISP内的小型企业客户群体

续表

从性能档次上分类	从结构上分类	从功能上分类
中档路由器：吞吐量为 25~40 Gbit/s 的路由器	非模块化路由器：提供固定的端口	企业级路由器：连接多终端系统
低档路由器：吞吐量低于 25 Gbit/s 的路由器		骨干级路由器：实现企业级网络互联

1. 接入级路由器

接入级路由器主要是把小型局域网进行远程互连或接入Internet，主要应用于小型企业客户、网吧或家庭。接入级路由器不但提供SLIP或PPP连接，还支持PPTP和IPSec 等虚拟专用网络协议。

2. 企业级路由器

企业级路由器连接许多终端系统，连接对象较多，典型应用于大企业或园区（校园）网络。在系统架构相对精简、数据负载较低的应用场景中，需通过经济型方案实现多端口扩展，同时保障差异化服务质量支持。

3. 骨干级路由器

骨干级路由器主要部署于电信运营商及大型互联网服务提供商（ISP）网络核心，具备大容量数据吞吐特性，对传输速率与系统稳定性要求严苛。为确保高可用性，普遍采用热备冗余、双路供电及双通道传输等成熟技术方案，如图 4-3 所示，从而维持核心网络设备的持续可靠运行。



图 4-3　使用冗余技术的华为路由器

4.1.5　路由器的工作原理

在探讨路由器的工作原理之前，介绍 3 个相关的基本概念：路由、路由器及路由表。

在网络通信中，路由（route）是一个网络层的术语，作为名词时，指从某一网络设备出发去往某个目的地的路径；作为动词时，指跨越源主机和目的主机之间的网络来转发数据包。路由器（router）是执行路由动作的一种网络设备，它能够将数据包转发到正确的目的地，并在转发过程中选择最佳的路径。路由器工作在网络层。路由表（routing table）是若干条路由信息的集合。在路由表中，一条路由信息也被称为一个路由项或一个路由条目，路由设备根据路由表中的路由条目进行路径选择。

如图 4-4 所示，路由器的工作原理分析如下。

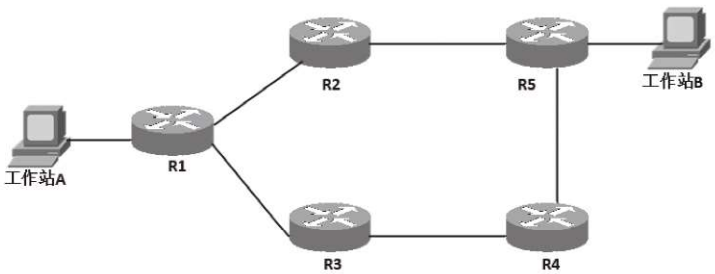


图 4-4　路由器的工作原理

①工作站 A 向路由器 R1 发送目标地址为 12.0.0.5 的数据包，内含传输至工作站 B 的信息内容。

②路由器 R1 接收数据包后解析目的地址，通过路由表运算确定传输路径为 R1 →R2 →R5 →工作站 B，随即转发至下一节点 R2。

③路由器 R2 依据相同机制进行路径计算与数据包处理，完成向路由器 R5 的转接操作。

④路由器 R5 识别目标地址 12.0.0.5 归属自身直连网段，遂将数据包直接交付工作站 B。

⑤工作站 B 成功接收源自主机 A 的数据信息，标志本次端到端通信流程完成。

4.2　静态路由和动态路由

路由器的路由表中可能有多条路由信息。这些路由信息主要通过 3 种方式生成：设备自动发现、手动配置或通过动态路由协议生成。人们把设备自动发现的路由信息称为直连路由（direct route），把手动配置的路由信息称为静态路由（static route），把网络设备通过运行动态路由协议而得到的路由信息称为动态路由（dynamic route）。

4.2.1　直连路由

网络设备启动之后，当在设备上配置了接口的 IP 地址，并且接口状态为 Up 的时候，设备的路由表中就会出现直连路由项。

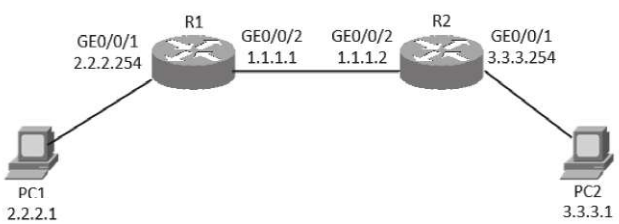


图 4-5　网络拓扑

如图 4-5 所示，路由器 R1 的 GE0/0/1 接口的状态为 Up 时，路由器 R1 可以根据 GE0/0/1 端口的 IP 地址 2.2.2.254/24 推断出 GE0/0/1 接口所在网络的网络地址为 2.2.2.0/24，故路由器 R1 会将 2.2.2.0/24 作为一个路由项填写到自己的路由表中，路由器 R1 的直连路由情况如图 4-6 所示

（只节选了部分条目）。

```
[Huawei]display ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib
------------------------------------------------------------------------------
Routing Tables: Public
         Destinations : 11        Routes : 11

Destination/Mask    Proto   Pre  Cost      Flags NextHop         Interface
1.1.1.0/24          Direct  0    0           D   1.1.1.1         GigabitEthernet0/0/2
2.2.2.0/24          Direct  0    0           D   2.2.2.254       GigabitEthernet0/0/1
3.3.3.0/24          Static  60   0           RD  1.1.1.2         GigabitEthernet0/0/2
[Huawei]
```

图 4-6　路由器R1 的路由表（部分条目）

图中的第二个路由条目是直连路由，所以其Proto列为Direct，Cost列为 0。类似地，路由器R1 还会自动发现右侧的一条直连路由 1.1.1.0/24。

4.2.2　静态路由

如图 4-5 和图 4-6 所示，路由器R1 可以自动发现 1.1.1.0/24 和 2.2.2.0/24 这 2 条直连路由。但在路由器R1 的路由表中，除了自动发现的两条直连路由外，还会出现一个属性为Static（静态）的路由信息。这条路由信息实际上就是静态路由信息，管理员可以在路由器R1 上手动配置这条路由。该路由的目的地/掩码为 3.3.3.0/24，出接口为路由器R1 的GE0/0/2，下一跳IP地址为路由器R2 的GE0/0/2 接口的IP地址 1.1.1.2，Cost的值设定为 0。在路由器R1 上配置的这条静态路由仅仅是通往路由器R2的路由信息；同理，针对路由器R2通往路由器R1的2.2.2.0/24网络的路由信息，管理员可以在路由器R2 上手动配置一条去往 2.2.2.0/24 的静态路由，这样即可实现全网互通。

4.2.3　动态路由

网络设备可以自动学习直连路由，同时，可以通过配置静态路由添加非直连网络的路由。但当非直连网络的数量众多时，配置与维护这些网络路由信息就显得不够高效了，特别是在网络发生故障或网络结构发生改变时，必须进行手动修改，这在现实中是不可取的。

网络设备通过运行动态路由协议实时更新路由信息，动态路由能根据网络拓扑变化自动调整路由表内容。

路由器可并行运行多种路由协议，如路由信息协议（routing information protocol，RIP）与开放最短通路优先协议（open shortest path first，OSPF），除维护主IP路由表外，还需独立维护各协议专属路由表。RIP路由表存储该协议发现的路由条目，OSPF路由表则专门记录OSPF协议获取的路由信息。通过一些优选法则的筛选后，某些IP路由表中的路由项及某些OSPF路由表中的路由项才能被加入IP路由表中，而路由器最终是根据IP路由表来进行IP报文的转发工作的。

RIP采用距离矢量算法计算最优路径，以跳数作为度量标准（最大允许 15 跳），通过累计跳数确定到达目标网络的路径成本。

OSPF作为主流的动态路由协议，属于链路状态类型。部署OSPF后，网络路由主要由OSPF自动计算生成，无须人工干预。当网络结构变动时，协议自主完成路由更新与修正，显著提升网络管理效率。

4.2.4　路由优先级

路由器可以通过自动发现直连路由、手动配置静态路由或动态路由协议等方式学习到路由信息。当通过不同的方式学习到同一个目的网络的多条路由信息时，路由器会根据路由的优先级进行路由选择，优先选择值最小的路由。

事实上，人们给不同来源的路由规定了不同的优先级，并规定优先级的值越小，路由的优先级就越高。这样，当存在多条相同的目标路由时（来源不同），具有最高优先级的路由便成了最优路由，并被加入IP路由表中，而其他路由处于未激活状态，不显示在IP路由表中。设备上的路由优先级一般具有默认值。不同厂家的设备对于优先级的默认值可能不同。路由的优先级见表 4-2。

表 4-2　路由的优先级

路由类型	优先级的默认值
直连路由	0
OSPF协议路由	10
静态路由	60
RIP路由	100
BGP路由	255

4.3　VLAN间路由

虽然VLAN可以减少网络中的广播，提高网络安全性能，但是无法实现网络内部所有主机间的互相通信。VLAN间路由可以通过路由器或三层交换机来实现不同VLAN间的计算机的三层通信。

4.3.1　VLAN间二层通信的局限性

如图 4-7 所示，VLAN隔离了二层广播域，即隔离了各个VLAN之间的二层流量，因此，不同VLAN的用户之间不能进行二层通信。

不同VLAN之间的主机是无法实现二层通信的，所以必须通过三层路由才能将报文从一 个VLAN转发到另外一个VLAN，实现跨VLAN通信。

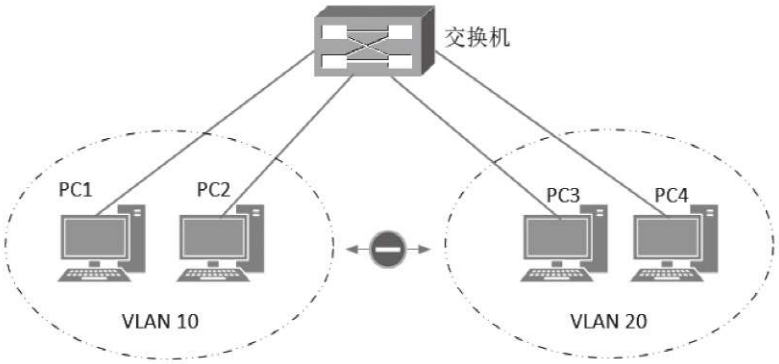


图 4-7　VLAN的局限性

4.3.2　实现VLAN间路由的方法

实现VLAN间通信的方法主要有 3 种：多臂路由、单臂路由和三层交换。

1. 多臂路由

如图 4-8 所示，采用多臂路由方案时，每个VLAN需占用路由器独立接口并通过物理链路连接二层交换机。跨VLAN通信需经路由器选路转发至目标VLAN主机。但随着交换机VLAN数量增加，将面临路由器接口资源不足的瓶颈。此外，低频通信的VLAN间若采用此方案，会导致接口利用率低下。因此在实际应用中，多臂路由并非解决VLAN间通信的优选方案。

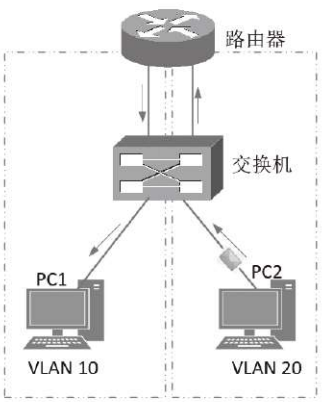


图 4-8　多臂路由

2. 单臂路由

如图 4-9 所示，交换机和路由器之间仅使用一条物理链路连接。在交换机端，将路由器连接端口配置为Trunk模式并授权相关VLAN流量传输。路由器端需创建子接口（Sub-Interface），通过逻辑划分将物理链路映射为多虚拟通道（每个子接口对应特定VLAN）。各子接口配置不同IP地址，其地址需设定为对应VLAN的默认网关。由于子接口属于逻辑划分单元，常被称为虚拟接口。配置过程中需遵循以下要点。

①每个子接口需分配唯一IP地址，且必须与所属VLAN网段保持一致。

②子接口需启用IEEE802.1q封装协议。

③通过执行“arp broadcast enable”命令，激活子接口的ARP广播功能。在图 4-9 示例中，PC1 发送数据给PC2 时，路由器会通过GE0/0/1.1 子接口收到此数据，并查找路由表，将数据从GE0/0/1.2 子接口发送给PC2，这样就实现了VLAN 10 和VLAN 20 之间的主机的通信。

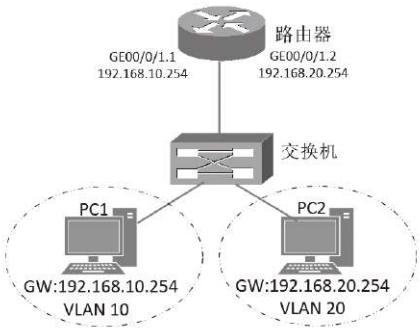


图 4-9　单臂路由

3. 三层交换

相对于多臂路由，单臂路由能节省路由器接口资源，但在VLAN数量较多或跨VLAN通信流量激增时，单臂链路的带宽可能无法满足需求。三层交换技术则通过整合接口容量与传输效率有效解决了此类问题。

第三层交换通过将路由功能嵌入交换机，替代传统“路由器+二层交换机”架构。具备三层数据包处理能力的设备称为三层交换机，其每个VLAN对应独立IP网段，虽保持VLAN间隔离特性，但跨网段访问需借助三层转发引擎的VLAN间路由能力实现。该引擎功能等同于传统路由设备，通信时需在三层引擎配置路由接口（逻辑接口VLANIF），作为对应VLAN的网关节点。

三层交换机本身提供了路由功能，因此不需要借助路由器来转发不同VLAN间的流量。三层交换机本身就拥有大量的高速端口，可以直接连接大量终端设备。因此，一台三层交换机就可以将终端隔离在不同的VLAN中，同时为这些终端提供VLAN间路由的功能。

如图 4-10 所示，在三层交换机上配置VLANIF接口来实现VLAN间路由。如果网络中有多个VLAN，则需要给每个VLAN配置一个VLANIF接口，并给每个VLANIF接口配置一个IP地址。用户设置的默认网关就是三层交换机中VLANIF接口的IP地址。

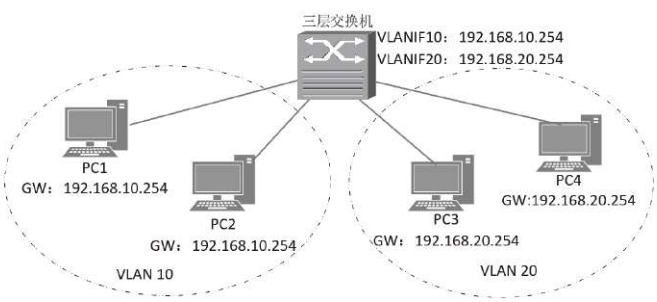


图 4-10　三层交换

项目实训

实训任务 4.1　静态路由的配置

【实训目标】

1. 理解路由器的工作原理和意义。
2. 掌握静态路由的基本配置方法。

【实训拓扑】

实训拓扑如图 4-11 所示。

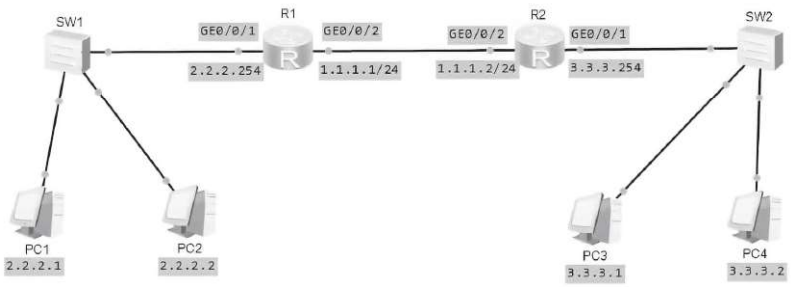


图 4-11　实训拓扑图

【实训环境】

1. 硬件环境：每人 1 台配置网卡的计算机。
2. 软件环境：华为 eNSP 仿真软件。

【实训内容】

图 4-11 为一个模拟公司总部和分公司通过两台路由器互连的网络拓扑，在路由器 R1 和 R2 上配置静态路由，实现网络的互联互通。配置思路是：在路由器 R1 上配置一条静态路由，目的地/掩码为 3.3.3.0/24，出接口为 GE0/0/2，下一跳 IP 地址为 1.1.1.2；在路由器 R2 上配置一条静态路由，目的地/掩码为 2.2.2.0/24，出接口为 GE0/0/2，下一跳 IP 地址为 1.1.1.1。

【操作步骤】

步骤 1　配置路由器 R1。

```
<Huawei>system-view                          //切换系统视图
[Huawei]sysname R1                           //将路由器命名为R1
[R1]interface GigabitEthernet 0/0/1          //切换到接口视图
[R1-GigabitEthernet0/0/1]ip address 2.2.2.254 255.255.255.0
                                             //配置端口IP地址
[R1-GigabitEthernet0/0/1]quit
[R1]interface GigabitEthernet 0/0/2
[R1-GigabitEthernet0/0/2]ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
[R1-GigabitEthernet0/0/2]quit
```

```
[R1]ip route-static 3.3.3.0 24 1.1.1.2
                                        //配置到达 3.3.3.0 网络的静态路由
[R1]
```

步骤 2　配置路由器R2。

```
<Huawei>system-view
[Huawei]sysname R2
[R2]interface GigabitEthernet 0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1]ip address 3.3.3.254 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/1]quit
[R2]interface GigabitEthernet 0/0/2
[R2-GigabitEthernet0/0/2]ip address 1.1.1.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/2]quit
[R2]ip route-static 2.2.2.0 24 1.1.1.1
[R2]
```

在路由器上配置静态路由时，需要进入系统视图，执行“ip route-static ip-address {mask|mask-length} {nexthop-address|interface-type interface-number [nexthop-address]} [preference preference]”命令，其中，“ip-address{mask|mask-length}”表示目的地/掩码，“nexthop-address”表示下一跳IP地址，“interface-type interface-number”表示出接口，“preference preference”表示路由的优先级的值。

步骤 3　结果验证。

（1）按图 4-11 配置PC1、PC2、PC3和PC4的IP地址、子网掩码及默认网关。使用Ping命令测试PC1、PC2、PC3和PC4相互之间的连通性。发现同一网络内的计算机之间能够通信，不同网络内的计算机也能通信了。

（2）完成以上配置后，在路由器R1系统视图中执行“display ip routing-table”命令，查看其路由表。如图 4-6，输出结果显示，路由器R1的路由表中已经有一条关于3.3.3.0/24的静态路由信息，其默认优先级的值为60。

实训任务 4.2　通过单臂路由实现VLAN间的三层通信

【实训目标】

1. 理解路由器的工作原理。
2. 掌握单臂路由技术及配置方法。

【实训拓扑】

实训拓扑如图 4-12 所示。

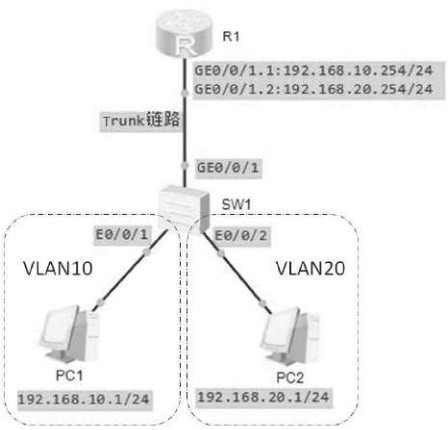


图 4-12　实训拓扑图

【实训环境】

1. 硬件环境：每人 1 台配置网卡的计算机。
2. 软件环境：华为eNSP仿真软件。

【实训内容】

图 4-12 是模拟一个划分VLAN的公司局域网

通过单臂路由实现VLAN间通信的网络拓扑，在路由器R1上配置单臂路由，实现VLAN之间的三层通信。配置思路是：在交换机SW1上创建VLAN，并将相应端口加入对应的VLAN中；配置交换机与路由器相连的接口为Trunk模式；在路由器R1上创建子接口，并配置子接口的IP地址，启用子接口的IEEE 802.1q封装，配置允许终结子接口转发广播报文。

【操作步骤】

步骤 1　配置交换机SW1，在交换机SW1上创建VLAN 10和VLAN 20，并配置Trunk端口。

```
<Huawei>system-view
[Huawei]sysname SW1
[SW1]vlan batch 10 20
[SW1]interface GigabitEthernet 0/0/1
[SW1-GigabitEthernet0/0/1]port link-type trunk
[SW1-GigabitEthernet0/0/1]port trunk allow-pass vlan 10 20
//配置交换机SW1的GE0/0/1端口允许VLAN 10和VLAN 20的数据通过
[SW1-GigabitEthernet0/0/1]quit
[SW1]interface Ethernet0/0/1
[SW1-Ethernet0/0/1]port link-type access
[SW1-Ethernet0/0/1]port default vlan 10
[SW1-Ethernet0/0/1]quit
[SW1]interface Ethernet0/0/2
[SW1-Ethernet0/0/2]port link-type access
[SW1-Ethernet0/0/2]port default vlan 20
[SW1-Ethernet0/0/2]quit
```

步骤 2　配置路由器R1，主要配置子接口IP地址及其IEEE 802.1q封装。

```
<Huawei>system-view
[Huawei]sysname R1
[R1]interface GigabitEthernet 0/0/1.1
[R1-GigabitEthernet0/0/1.1]dot1q termination vid 10
[R1-GigabitEthernet0/0/1.1]ip address 192.168.10.254 24
[R1-GigabitEthernet0/0/1.1]arp broadcast enable
[R1-GigabitEthernet0/0/1.1]quit
[R1]interface GigabitEthernet 0/0/1.2
[R1-GigabitEthernet0/0/1.2]dot1q termination vid 20
[R1-GigabitEthernet0/0/1.2]ip address 192.168.20.254 24
[R1-GigabitEthernet0/0/1.2]arp broadcast enable
[R1-GigabitEthernet0/0/1.2]quit
```

在上述命令中，“interface GigabitEthernet 0/0/1.1”命令用来创建子接口，GigabitEthernet 0/0/1.1代表物理接口内的逻辑接口通道。“dot1q termination vid”命令用来配置子接口IEEE

802.1q 封装的 VLAN ID。默认情况下，子接口没有配置 IEEE802.1q 封装的单层 VLAN ID。“arp enable”命令用来启用子接口的 ARP 广播功能。默认情况下，终结子接口没有启用 ARP 广播功能。子接口不能转发广播报文时，收到广播报文后会直接丢弃该报文。

步骤 3　结果验证。将 PC1 的 IP 地址配置为 192.168.10.1/24，并将其默认网关地址配置为路由器 R1 子接口 GE0/0/1.1 的 IP 地址 192.168.10.254/24。将 PC2 的 IP 地址配置为 192.168.20.1/24，并将其默认网关地址配置为路由器 R1 子接口 GE0/0/1.2 的 IP 地址 192.168.20.254/24。配置完成后，在 PC1 上执行“ping 192.168.20.1”命令，测试结果如图 4-13 所示。

```
PC>ping 192.168.20.1

Ping 192.168.20.1: 32 data bytes, Press Ctrl_C to break
From 192.168.20.1: bytes=32 seq=1 ttl=127 time=62 ms
From 192.168.20.1: bytes=32 seq=2 ttl=127 time=63 ms
From 192.168.20.1: bytes=32 seq=3 ttl=127 time=78 ms
From 192.168.20.1: bytes=32 seq=4 ttl=127 time=78 ms
From 192.168.20.1: bytes=32 seq=5 ttl=127 time=78 ms

--- 192.168.20.1 ping statistics ---
  5 packet(s) transmitted
  5 packet(s) received
  0.00% packet loss
  round-trip min/avg/max = 62/71/78 ms
```

图 4-13　测试结果

从回显信息中可以看到，PC1 收到了 PC2 的响应，这表示 PC1 可以连通 PC2，这说明通过单臂路由成功地实现了 VLAN 10 与 VLAN 20 之间的三层通信。

实训任务 4.3　利用三层交换机实现 VLAN 间路由

【实训目标】

1. 理解三层交换机的工作原理。
2. 掌握三层交换机实现 VLAN 之间通信的配置方法。

【实训拓扑】

实训拓扑如图 4-14 所示。

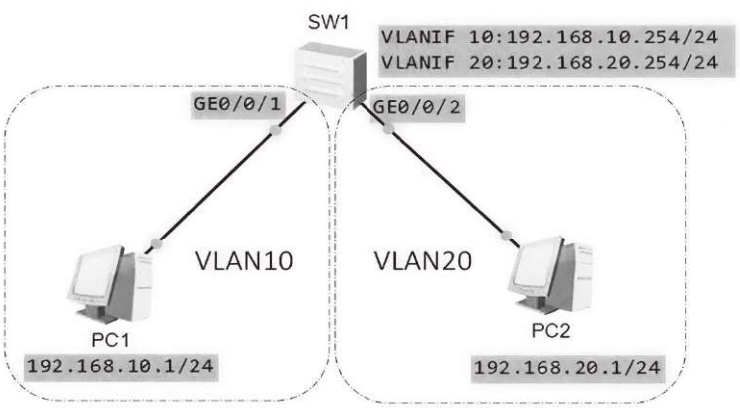


图 4-14　实训拓扑图

【实训环境】

1. 硬件环境：每人 1 台配置网卡的计算机。

2. 软件环境：华为 eNSP 仿真软件。

【实训内容】

图 4-14 是模拟一个划分 VLAN 的公司局域网通过三层交换机实现 VLAN 间通信的网络拓扑，在三层交换机上配置三层路由，实现 VLAN 10 和 VLAN 20 的互联互通。配置的重点是在交换机上配置三层接口 VLANIF 的 IP 地址。

【操作步骤】

步骤 1　在交换机 SW1 上创建 VLAN 10 和 VLAN 20。

```
<Huawei>system-view
[Huawei]sysname SW1
[SW1]vlan batch 10 20
```

步骤 2　在交换机 SW1 上进行端口配置。

```
[SW1]interface GigabitEthernet 0/0/1
[SW1-GigabitEthernet0/0/1]port link-type access
[SW1-GigabitEthernet0/0/1]port default vlan 10
[SW1-GigabitEthernet0/0/1]quit
[SW1]interface GigabitEthernet 0/0/2
[SW1-GigabitEthernet0/0/2]port link-type access
[SW1-GigabitEthernet0/0/2]port default vlan 20
[SW1-GigabitEthernet0/0/2]quit
```

步骤 3　在交换机 SW1 上配置 VLANIF 接口。执行“interface vlanif vlan-id”命令，进入 VLANIF 接口视图，执行“ip address ip-address {mask\mask-length}”命令，为 VLANIF 接口配置 IP 地址。

```
[SW1]interface vlanif 10
[SW1-Vlanif10]ip address 192.168.10.254 24
[SW1-Vlanif10]quit
[SW1]interface vlanif 20
[SW1-Vlanif20]ip address 192.168.20.254 24
[SW1-Vlanif20]quit
[SW1]
```

步骤 4　将 PC1 的 IP 地址配置为 192.168.10.1/24，网关地址配置为 192.168.10.254/24。将 PC2 的 IP 地址配置为 192.168.20.1/24，网关地址配置为 192.168.20.254/24。配置完成后，在 PC1 上执行“ping 192.168.20.1”命令，测试结果如图 4-15 所示。

```
PC>ping 192.168.20.1

Ping 192.168.20.1: 32 data bytes, Press Ctrl_C to break
From 192.168.20.1: bytes=32 seq=1 ttl=127 time=32 ms
From 192.168.20.1: bytes=32 seq=2 ttl=127 time=31 ms
From 192.168.20.1: bytes=32 seq=3 ttl=127 time=31 ms
From 192.168.20.1: bytes=32 seq=4 ttl=127 time=47 ms
From 192.168.20.1: bytes=32 seq=5 ttl=127 time=31 ms

--- 192.168.20.1 ping statistics ---
  5 packet(s) transmitted
  5 packet(s) received
  0.00% packet loss
  round-trip min/avg/max = 31/34/47 ms
```

图 4-15　测试结果

从回显信息中可以看到，PC1 收到了 PC2 的响应，表示 PC1 可以连通 PC2，这说明三层交换机 SW1 成功地实现了 VLAN 10 与 VLAN 20 之间的三层通信。

思政园地

第七十四集团军某旅搭建网络平台助力学员苗子备考

“梳理归纳零散的知识点，逐步在头脑中构建起相对完整的知识网络……”4 月 13 日夜，第 74 集团军某旅考学提干集训队教室里，学员苗子通过视频录像回顾温习了所学课程，辅导教员谭林在线进行了答疑解惑。

“战士考学不仅关系到个人成长进步，也影响着单位人才队伍建设，要在力所能及的情况下，为他们创造良好条件。”该旅领导说，在组织线下教学为大家提供系统知识传授的同时，他们统筹资源，搭建网络学习平台，以线上线下互补的方式提升学员苗子学习备考质量。

实践中，他们区分了学员苗子文化基础差异，为每个人制定了个性化备考方案，并邀请驻地优秀教师进行面对面授课；通过网络平台共享优质资源，引导战士根据自身学力在平台进行拓展学习；辅导教员借助平台数据分析，为大家完善学习方案，开展针对性补差学习。

笔者点开该旅网络学习平台看到，网友“强军尖兵”在留言板上提出线下备考时遇到的疑难问题，很多战友跟帖分享自己的学习体会。对于大家反馈较多的普遍性问题，辅导教员收集整理后在线进行“打包式”答疑。

“线下集中授课让我的学习更系统，线上互动辅导方便快捷、反馈及时。线上线下融合，有效提高了我的学习质量。”战士康宏艺说，看到自己的成绩稳步提升，学习备考的信心更足了。

（资料来源：唐鹏、刘杰，《第七十四集团军某旅搭建网络平台助力学员苗子备考》，中国军网，2023-04-18）

项目小结

在本项目中，我们主要学习了网络互联的基本概念、路由器的功能、路由器的类型、路由器的工作原理、静态路由和动态路由的工作原理和基本配置；还学习了VLAN间路由的概念、单臂路由和三层交换的工作原理及相关配置。

通过项目实训，我们应该对路由技术有一定的了解，能够充分理解静态路由和动态路由的基本原理，可以熟练地配置路由器静态路由实现网络互联，配置单臂路由或使用三层交换机技术实现不同VLAN间的路由。

思考与练习

一、选择题

1. 网桥作为局域网中的互联设备，主要作用于_____。

A. 物理层　　B. 数据链路层　　C. 网络层　　D. 高层

2. 在中继系统中，中继器处于_____。

A. 物理层　　B. 数据链路层　　C. 网络层　　D. 高层

3. 我们所说的高层互联是指_____及其以上各层协议不同的网络之间的互联。

A. 网络层　　B. 表示层　　C. 数据链路层　　D. 传输层

4. 如果有多个局域网需要互联，并且希望将局域网的广播信息很好地隔离开来，那么最简单的方法是采用_____。

A. 路由器　　B. 中继器　　C. 网桥　　D. 网关

5. 下列路由中，属于静态路由的是_____。

A. 路由器为本地接口生成的路由　　B. 路由器上静态配置的路由

C. 路由器通过路由协议学习而来的路由　　D. 路由器从多条路由中选出的最优路由

二、简答题

1. 网络互联的类型有哪几种？请举出一个你所了解的实际的网络互联的例子，并说明它属于哪种类型。

2. 路由器在哪个层次上实现了不同网络的互联？它具有什么功能？