



北京市高等教育精品教材立项项目

21世纪高等学校计算机规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

实用网络设计与配置

Designing and Configuring Network

孙建华 等 编著

- 奠定网络互连基础知识
- 强化网络逻辑规划与技术
- 提高网络设计与配置能力



高校系列

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



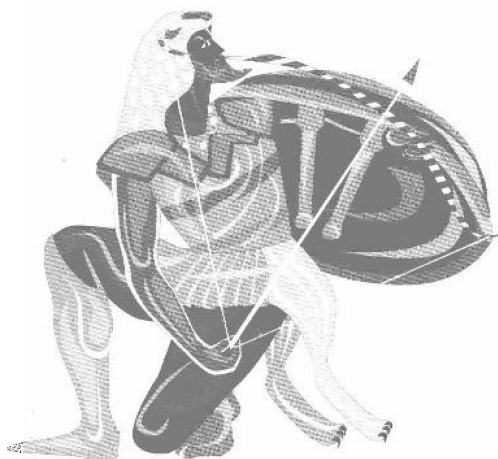
北京市高等教育精品教材立项项目

21世纪高等学校计算机规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

实用网络设计与配置

Designing and Configuring Network

孙建华 等 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

·实用网络设计与配置 / 孙建华等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 3
21世纪高等学校计算机规划教材
ISBN 978-7-115-19393-3

I. 实… II. 孙… III. ①计算机网络—设计—高等学校—教材②计算机网络—设备管理—高等学校—教材 IV.
TP393

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第001644号

内 容 提 要

本书力求通过典型网络拓扑结构的逻辑规划和配置的实践使读者掌握 Cisco 网络、锐捷交换机和路由器的配置方法, 掌握互连协议的实际应用技术、网络互连的逻辑规划、中继链路、VRRP 双核心负载均衡和链路备份的应用配置、DNS 动态更新和 NAT 的应用配置、VPN 在企业网络中的应用配置实现、ADSL 拨号和路由器单臂路由在中小企业的应用配置实现的方法等。

本书可作为高等院校计算机科学与技术、网络工程等相关专业“计算机网络设计”课程的教材, 也可供网络初学者自学参考。

21 世纪高等学校计算机规划教材

实用网络设计与配置

-
- ◆ 编 著 孙建华 等
责任编辑 滑 玉
执行编辑 张 鑫
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 20
字数: 522 千字 2009 年 3 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2009 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-19393-3/TP

定价: 34.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

出版者的话

现今社会对人才的基本要求之一就是应用计算机的能力。在高等学校，培养学生应用计算机的能力，主要是通过计算机课程的改革，即计算机教学分层、分类规划与实施；密切联系实际，恰当体现与各专业其他课程配合；教学必须以市场需求为导向，目的是培养高素质创新型人才。

人民邮电出版社经过对教学改革新形势充分的调查研究，依据目前比较成熟的教学大纲，组织国内优秀的有丰富教学经验的教师编写了一套体现教学改革最新形势的“21世纪高等学校计算机规划教材——高校系列”。在本套教材的出版过程中，我社多次召开教材研讨会，广泛听取了一线教师的意见，也邀请众多专家对大纲和书稿做了认真的审读与研讨。本套教材具有以下特点。

1. 覆盖面广，突出教改特色

本套教材主要面向普通高等学校（包括计算机专业和非计算机专业），是在经过大量充分调研的基础上开发的计算机系列教材，涉及计算机教育领域中的所有课程（包括专业核心骨干课程与选修课程），适应了目前经济、社会对计算机教育的新要求、新动向，尤其适合于各专业计算机教学改革的特点特色。

2. 注重整体性、系统性

针对各专业的特点，同一门课程规划了组织结构与内容不同的几本教材，以适应不同教学需求，即分别满足不同层次计算机专业与非计算机专业（如工、理、管、文等）的课程安排。同时本套教材注重整体性策划，在教材内容的选择上避免重叠与交叉，内容系统完整。学校可根据教学计划从中选择教材的各种组合，使其适合本校的教学特点。

3. 侧重培养应用能力

目前社会对人才的需要更侧重于其应用能力，包括须具备扎实的计算机基础理论、良好的综合素质和实践能力。本套教材注意通过实践教学与实例教学培养解决实际问题的能力和知识综合运用能力。

4. 教学经验丰富的作者队伍

高等学校在计算机教学和教材改革上已经做了大量的工作，很多教师在计算机教育与科研方面积累了相当多的宝贵经验。本套教材均由有丰富教学经验的教师编写，并将这些宝贵经验渗透到教材中，使教材独具特色。

5. 配套资源完善

所有教材均配有 PPT 电子教案，部分教材配有实践教程、题库、教师手册、学习指南、习题解答、程序源代码、演示软件和素材等，以方便教与学。

我社致力于优秀教材的出版，恳切希望老师们在使用的过程中，将发现的问题及时反馈给我们，以便再版时修改。

前言

随着计算机网络技术和网络建设的迅速发展，网络技术的应用日益广泛，各行各业对网络的依赖也与日俱增。社会对于网络技术人才的需求已从具备单一专业技术应用能力，转变为能够按照网络的实际需求解决问题的、具有较高综合素质的应用型人才；通常，网络建成后，网络的使用、运行和维护需要大量能够进行网络设备安全配置管理和对网络设备进行访问控制设置的技术人才。网络技术人员要能够针对网络使用的各种问题，如安全等问题进行分析，提出解决问题的方法，并对设备功能重新规划和配置。

本书为“北京市高等教育精品教材立项项目”。本书通过大量的实例和 6 个典型应用案例，以国内主流网络设备为平台进行配置实践。帮助读者在理解互连协议实际应用技术的前提下，掌握典型网络应用中交换机和路由器的配置，网络互连的逻辑规划与实现，中继链路，VRRP 双核心负载均衡和链路备份的应用配置，DNS 动态更新和 NAT 的应用配置，VPN 在企业网络中的应用配置实现，以及 ADSL 拨号和路由器单臂路由在中小企业的应用配置实现的方法等。

本书共 11 章，包括网络互连体系模型和各种网络体系结构，依照开放系统互连模型介绍局域网络和广域网的协议技术，当今网络普遍应用的第二层交换技术，三层路由和交换技术，TCP/IP 协议族，Cisco 交换机的配置和应用实例，Cisco 路由器的配置及应用实例和典型网络拓扑结构的应用案例等内容。第 11 章介绍网络工程项目在实施过程中，进行项目管理的意义、概念和方法，通过网络监控项目管理的实例指导学生使用现代项目管理软件 MSProject 实现项目的成本管理、进度管理和资源管理。书中实例主要针对 IPv4 网络，IPv6 技术及其相关概念在附录 1 中介绍。

本书的全部实例可在 Cisco 实验室或使用 Boson Netsim 软件完成。

本书由孙建华主编，林德强、刘总路参与编写。在此对提供网络实验环境的所有技术人员表示感谢。

本书可作为高等院校计算机科学与技术、网络工程等相关专业“计算机网络设计”课程的教材，也可供网络初学者自学参考。

由于编者水平有限，书中难免出现错误和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2008 年 10 月

目 录

第 1 章 网络互连的结构..... 1

1.1 网络互连的基本概念..... 1

1.2 网络体系结构..... 2

1.2.1 开放系统互连参考模型..... 2

1.2.2 TCP/IP 体系结构..... 3

1.2.3 NetWare 体系结构..... 4

1.2.4 SNA 体系结构..... 6

1.2.5 VINES 体系结构..... 7

1.2.6 DECnet 体系结构..... 9

1.3 网络互连的基本类型..... 11

1.3.1 LAN—LAN..... 11

1.3.2 LAN—WAN..... 12

1.4 网络互连的层次和相关设备..... 12

1.4.1 应用层的互连..... 12

1.4.2 网络层的互连..... 13

1.4.3 数据链路层的互连..... 14

1.4.4 物理层的互连..... 16

1.5 实践 1 考察实际网络系统..... 18

1.5.1 实践目的..... 18

1.5.2 实践内容..... 18

1.5.3 实践步骤..... 18

1.5.4 实践习题..... 19

1.5.5 实践报告要求..... 19

习题 1..... 19

第 2 章 局域网技术..... 20

2.1 IEEE LAN 参考模型..... 20

2.2 以太网技术..... 21

2.2.1 以太网的物理层实现..... 21

2.2.2 以太网的硬件地址与数据帧格式..... 22

2.3 令牌环局域网技术..... 25

2.3.1 令牌环网..... 25

2.3.2 令牌总线网..... 28

2.4 光纤分布式数据接口..... 30

2.4.1 FDDI 概述..... 30

2.4.2 FDDI 的组成..... 31

2.4.3 FDDI 的标准..... 32

2.5 项目 1 设计规划以太网组网的实用

解决方案..... 33

2.5.1 项目目的..... 33

2.5.2 项目内容..... 34

2.5.3 项目步骤..... 34

2.5.4 项目问题思考..... 34

2.5.5 项目报告要求..... 34

习题 2..... 35

第 3 章 广域网技术..... 36

3.1 WAN 基础..... 36

3.1.1 WAN 与 OSI/RM..... 36

3.1.2 WAN 的物理层实现..... 36

3.1.3 WAN 的数据传输与交换..... 37

3.2 公共交换电话网..... 38

3.2.1 PSTN..... 38

3.2.2 PSTN 的传输特性..... 39

3.3 ADSL..... 39

3.3.1 ADSL 概述..... 39

3.3.2 xDSL 的实现..... 40

3.3.3 ADSL 的应用..... 40

3.4 综合业务数字网..... 41

3.4.1 ISDN 的概念..... 41

3.4.2 ISDN 协议参考模型..... 41

3.4.3 ISDN 的 BRI 和 PRI..... 43

3.5 帧中继..... 44

3.5.1 帧中继概述..... 44

3.5.2 帧中继术语..... 45

3.6 PPP..... 48

3.6.1 PPP 的工作原理..... 48

3.6.2 标准 PPP 的帧格式..... 48

3.6.3 PPP 的协议族..... 49

3.6.4 PPP 应用..... 50

3.7 DDN.....	50	5.2.3 超网	80
3.7.1 DDN 概述	50	5.3 地址解析协议	81
3.7.2 DDN 用户接入	50	5.3.1 地址解析协议的工作机制	81
3.8 项目 2 实际广域网接入	51	5.3.2 ARP 和 RARP 的协议格式	83
3.8.1 项目目的	51	5.3.3 ARP 代理	84
3.8.2 项目内容	51	5.3.4 ARP 实例	85
3.8.3 项目步骤	51	5.4 Internet 控制报文协议	87
3.8.4 项目习题	52	5.4.1 ICMP 用途与机制	87
3.8.5 项目报告要求	52	5.4.2 ICMP 报文	87
习题 3	52	5.4.3 ICMP 差错报文	88
第 4 章 网络交换技术	53	5.4.4 ICMP 控制报文	89
4.1 第二层交换的基本概念	53	5.4.5 ICMP 请求/应答报文	90
4.2 第二层的交换技术	54	5.4.6 ICMP 重定向举例	90
4.2.1 地址学习	54	5.5 广播和组播的概念	91
4.2.2 转发/过滤决策	54	5.5.1 广播的类型	91
4.2.3 回环避免	54	5.5.2 组播的概念	92
4.2.4 生成树协议	56	5.5.3 群组管理协议	95
4.3 虚拟局域网	60	5.6 项目 4 规划、配置网络系统	96
4.3.1 VLAN 的标准	60	5.6.1 项目目的	96
4.3.2 冲突域与广播域	60	5.6.2 项目内容	96
4.3.3 VLAN 的基本概念	61	5.6.3 项目步骤	96
4.3.4 VLAN 的划分	62	5.6.4 项目习题	97
4.3.5 VLAN 的配置	62	5.6.5 项目报告要求	97
4.4 项目 3 网络互连	64	习题 5	97
4.4.1 项目目的	64	第 6 章 路由与交换	99
4.4.2 项目内容	64	6.1 第三层交换	99
4.4.3 项目步骤	64	6.1.1 第三层交换技术简介	99
4.4.4 项目习题	65	6.1.2 第三层交换技术	100
4.4.5 项目报告要求	65	6.2 多层交换技术	104
习题 4	65	6.2.1 第四层交换	104
第 5 章 网络层协议	66	6.2.2 第七层交换	105
5.1 IPv4	66	6.3 标记交换	106
5.1.1 IP 数据报	66	6.4 IP 路由技术	106
5.1.2 IP 的编址	71	6.5 静态路由和动态路由	109
5.1.3 特殊地址	73	6.5.1 静态路由	110
5.2 IP 子网技术	74	6.5.2 动态路由	112
5.2.1 子网划分	74	6.5.3 IP 网络中的收敛	115
5.2.2 可变长子网	78	6.5.4 计算 IP 网络中的路由	118
		6.6 网关协议	119

6.6.1 基本概念	119	8.1.3 Cisco 交换机基本构成	154
6.6.2 外部网关协议	119	8.2 Cisco 交换机配置	154
6.6.3 内部网关协议	120	8.2.1 交换机的连接	154
6.7 路由信息协议	120	8.2.2 IOS 和命令介绍	155
6.7.1 RIP 概述	120	8.3 交换机的配置实例	162
6.7.2 RIP 的报文格式	120	8.3.1 简单 VLAN 配置实例	162
6.7.3 RIP 路由的工作机制	121	8.3.2 中继链路的 VLAN 配置实例	169
6.7.4 RIP 的缺点	127	8.3.3 反身控制列表的配置实例	174
6.7.5 RIP2 分组格式	128	8.3.4 双核心备份连接配置实例	178
6.8 开放最短路径优先协议	128	8.4 实践 2 调研实际网络互连的设备, 并撰写调研报告	186
6.8.1 OSPF 概述	128	8.4.1 实践目的	186
6.8.2 OSPF 报文格式	129	8.4.2 实践内容	187
6.8.3 OSPF 的工作机制	132	8.4.3 实践步骤	187
6.9 无类域间路由与可变长子网掩码	133	8.4.4 实践习题	187
6.9.1 无类域间路由	133	8.4.5 实践报告要求	187
6.9.2 可变长子网掩码	134	习题 8	188
6.9.3 使用 VLSM 进行子网设计实例	134		
6.10 项目 5 IP 逻辑规划及路由配置	136	第 9 章 Cisco 路由器的配置	
6.10.1 项目目的	136	实例	189
6.10.2 项目内容	136	9.1 Cisco 路由器基础	189
6.10.3 项目步骤	136	9.2 路由器配置	190
6.10.4 项目思考	136	9.2.1 IOS 命令状态	191
6.10.5 项目报告要求	136	9.2.2 IOS 文件管理	191
习题 6	137	9.2.3 IOS 常用命令	192
第 7 章 传输层协议	138	9.2.4 路由器基本配置模板	193
7.1 传输层协议	138	9.3 路由协议设置	194
7.2 传输控制协议	139	9.4 访问控制	198
7.2.1 TCP 的报文格式	139	9.5 地址转换	200
7.2.2 TCP 的工作机制	141	9.5.1 NAT 的概念	201
7.3 用户数据报协议	145	9.5.2 访问控制和 NAT	201
7.3.1 UDP 的工作机制	145	9.5.3 NAT 和访问控制的应用	202
7.3.2 UDP 服务器	149	9.6 VPN 技术	206
习题 7	151	9.7 Cisco 路由器经典配置实例	208
第 8 章 Cisco 交换机及其典型		9.7.1 ISDN 的配置	208
拓扑结构的配置	152	9.7.2 虚拟专网 VPN 的配置实例	215
8.1 Cisco 交换机基础	152	9.7.3 网络地址转换 NAT 的配置	
8.1.1 交换机的类型	152	实例	217
8.1.2 交换机的工作原理	152	9.7.4 路由器的综合配置实例	219
		习题 9	227

第 10 章 几种典型网络拓扑的

综合配置案例.....228

10.1 案例 1 VLAN+NAT 在中小型企业的应用.....228

10.1.1 出口路由器 Ck 配置文档.....229

10.1.2 核心交换机锐捷 3512 配置文档.....230

10.1.3 接入交换机 jr1 配置文档.....231

10.2 案例 2 DDN+动态 NAT 在中小型企业的应用.....232

10.2.1 router1 配置文档.....233

10.2.2 router2 配置文档.....235

10.2.3 router3 配置文档.....235

10.2.4 SW1 配置文档.....236

10.2.5 SW8 配置文档.....238

10.2.6 SW2 配置文档.....238

10.2.7 SW6 配置文档.....240

10.2.8 SW9 配置文档.....241

10.2.9 SW10 配置文档.....242

10.3 案例 3 OSPF 在校园网中的应用.....242

10.3.1 RS-6810 配置文档.....244

10.3.2 RS-6806_1 配置文档.....246

10.3.3 RS-6806_2 配置文档.....248

10.3.4 教学楼 1RS-3750 配置文档.....250

10.4 案例 4 ADSL 拨号+路由器单臂路由在中小企业的应用.....251

10.4.1 SW1 配置文档.....252

10.4.2 Router1 配置文档.....253

10.5 案例 5 VPN+IPsec 验证在企业中的应用.....256

10.5.1 Rbj 配置文档.....256

10.5.2 Rsh 配置文档.....258

10.6 案例 6 VRRP 双核心负载均衡+链路备份的应用.....260

10.6.1 主核心交换 Master 配置文档.....261

10.6.2 备用交换 Second 配置文档.....262

第 11 章 项目与项目管理.....264

11.1 项目管理的重要性和意义.....264

11.2 项目的基本概念.....264

11.3 项目管理的内容.....265

11.4 网络项目管理.....266

11.4.1 网络项目管理的内容.....266

11.4.2 网络项目组织与管理.....267

11.4.3 网络项目需求分析.....268

11.4.4 网络项目的规划与实施.....270

11.4.5 网络项目的质量控制.....270

11.4.6 网络项目成本及效益分析.....271

11.5 网络项目监理.....272

11.6 项目管理软件的应用.....273

11.7 项目管理软件应用实例.....274

习题 11.....284

附录 1 IPv6.....285

附录 1.1 IPv6 概述.....285

附录 1.2 IPv6 的数据报文格式.....285

附录 1.3 IPv6 地址方案.....294

附录 2 RFC 指南.....308

附录 2.1 主机和网关需求文档的重要性.....308

附录 2.2 RFC 编号方法.....308

附录 2.3 从 Internet 得到 RFC.....309

附录 2.4 浏览 RFC.....309

参考文献.....310

第 1 章

网络互连的结构

1983 年国际标准化组织（ISO）发布了开放系统互连参考模型（OSI/RM）的国际标准，从而使得异构网络的互连技术迅猛发展。任何网络系统集成商，网络设备和系统的生产和研发厂商，无论其产品采用何种内部网络模型和协议，都可以在 OSI/RM 框架下实现互连。本章将介绍遵循 OSI 参考模型的 TCP/IP 体系结构、NetWare 体系结构、SNA 体系结构、DECnet 体系结构、VINES 体系结构，以及网络互连的基本模型。

1.1 网络互连的基本概念

随着科学技术的飞速发展，现代社会对网络技术发展提出了更高的要求，集中表现在对网络连接距离扩展的需求，对网内计算机数量扩展的需求，对网络功能扩展的需求，对异构网络通信扩展的需求和对无线网络应用的需求。

网络互连是扩展网络的重要方法，即在简单网络的基础上，将分布在不同地理位置，采用不同协议的网络相互连接起来，以构成更大规模的、复杂的网络，使不同的网络之间能够在更大范围进行通信，让用户方便透明地访问各种网络，达到更高层次信息交换和资源共享的目的。

根据科学严密的网络规则，可以将现实中各种结构的网络系统有效地连接起来。因此，需要明确网络互连的目的和基本需求，确定指导网络互连的理论基础，研究构建网络技术、方法、规范和标准，并在综合考虑技术、经济问题的基础上实现网络互连。

实现网络互连的基本条件如下。首先，在需要连接的网络之间建立物理链路，提供数据交换的连接通道，配备全面的控制规程；其次，在不同的网络之间建立适当的路由并在有差异的网络中进行数据交换；最后，还要能够进行有效的网络管理。

按 OSI/RM 所属的层次划分，网络互连可以分为 4 个层次，即物理层的互连、数据链路层的互连、网络层的互连和高层的互连。

按照网络互连的距离一般分为局域网的互连和广域网的互连两种类型，它们在原理、规范、技术和设备等方面均具有各自的特点，但随着计算机网络技术的飞速发展，各种技术相互融合，对网络技术和设备的分类越来越模糊。

网络互连技术有 3 个基本术语，即“互连”、“互通”和“互操作”。“互连”是网络互连的基础，指在两个物理网络之间至少有一条物理链路，为数据交换提供了物质基础和可能性，但不保证一定能进行数据交换。“互通”是网络互连的手段，指在两个网络间端到端的连接和数据交换。“互操作”是网络互连的目的，指两个网络在高层软件支持下，不同计算机系统之间具备互相访问对方资源的能力。

1.2 网络体系结构

计算机网络是复杂的大型系统,根据系统科学的思想,按照各部分在系统中的地位和功能,分解成若干彼此联系的子系统。由于不同子系统的用户程序、文件传送包、数据库管理系统和各种终端设备等构成的实体间通信相当复杂,最好的分析方法是采用层次式结构,即把一个复杂的问题分解成若干个容易处理的子问题,然后逐个加以研究和解决。这是一种结构化的工程设计方法,也是常用的系统分析手段。通常将计算机网络系统分成若干层次,并将各层及其协议的集合称为网络的体系结构。从完成具体工作的角度分析,计算机网络的体系结构就是该网络及其子系统所应完成的功能的精确描述。网络体系结构是一个抽象的概念,并不涉及实现这些功能的软件和硬件设备。

1.2.1 开放系统互连参考模型

开放系统互连参考模型 (Open System Interconnection Reference Model, OSI/RM),是由国际标准化组织 (International Standards Organization, ISO) 于 1977 年成立了专门的机构研究的专题,并于 1983 年提出了 OSI/RM 的国际标准,它是一个定义连接异种计算机网络标准的主体结构。开放是指相互识别和支持这些标准化的信息交换协议,能使任何两个遵守该模型和有关标准的系统进行连接。开放系统互连是指为了在终端设备、计算机、网络和处理机之间交换信息所需要的标准化协议,也就是说,凡遵循此标准化协议的设备就可在此模型下互连。

OSI/RM 体系结构分层的基本原则如下。

(1) 层数应适当,避免不同的功能混杂在同一层中,但又不宜过多,避免描述各层及将各层组合起来过于复杂。

(2) 各层边界的选择应尽量减少跨过接口的通信量。

(3) 每层应有明确的功能定义,对已被实践经验证明是成功的层次应予以保留。

(4) 各层功能的选择应该有助于制定网络协议的国际标准。

(5) 在保持与上下相邻层间接口服务定义不变的前提下,允许在本层内改变功能和协议。

(6) 根据通信功能的需要,在同一层内可以建立若干子层,可以根据情况跳过某些子层。

(7) 每一层仅和它的相邻层建立接口并规定相应的服务,这个原则也适用于子层的接口。

按照以上基本原则,OSI/RM 分成七个层次,其分层模型如图 1.1 所示。每层可以和相邻层通信,各层有不同的功能。由下至上,第一层到第三层属于通信子网的功能范畴,第五层到第七层属于资源子网的功能范畴,第四层则连接上下三层。

(1) 物理层 (Physical Layer)。物理层之下是具体的物理介质,如有线传输中的双绞线和同轴电缆等。物理层的任务就是要为上一层的数据链路层提供一个物理连接,透明地传送比特 (bit) 流。因此,要依靠物理层来激活、维持和释放物理连接。

(2) 数据链路层 (Data Link Layer)。数据链路层负责在两相邻节点间的链路上无差错的传送以帧 (Frame) 为单位的数据。每一帧包括一定数量的数据和一些规定的控制信息。与物理层相似,数据链路层要负责建立、维持和释放数据链路的连接。

(3) 网络层 (Network Layer)。在网络层,数据的传送单位是分组或包 (Packet),即具有地址标识和网络层协议信息的格式化信息组合。网络层的任务就是要选择合适的路由和交换节点,透明地向目的站传递发送站所发送的分组。“透明”表示网络的存在并不会使所传递的分组丢失、

重复或使分组的顺序出现错误，就如同收发两端是直接连通的。

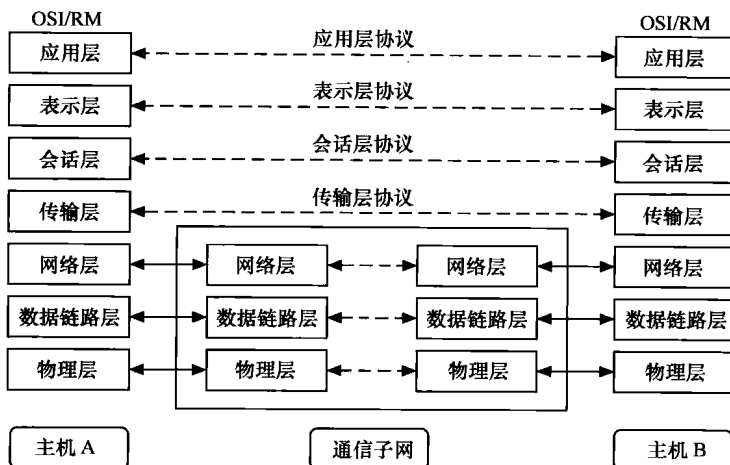


图 1.1 OSI/RM 示意图

（4）传输层（Transport Layer）。在网络两个实体之间建立端到端（end-to-end）的通信信道，用以传输信息或报文（Message），一个报文可分成若干个报文分组。本层提供两端点之间的可靠、透明的数据传输，其功能是执行端到端的差错控制、顺序控制和流量控制等，管理多路复用和解复用。传输层是计算机通信体系结构中关键的一层。

（5）会话层（Session Layer）。会话层提供面向通信的各层的逻辑用户接口。该层在两个互相通信的应用进程之间建立、组织和协调其交互。例如，确定是半双工工作还是全双工工作，以及确定在出现意外时，如何恢复对话。

（6）表示层（Presentation Layer）。该层主要解决用户信息的语法表示问题。表示层将数据从适合于某一用户的抽象语法，变换为适合于 OSI/RM 内部使用的传送语法。本层执行通用数据交换功能，提供标准应用接口，公共通信服务，如数值计算的通解、加密、解密、压缩和终端格式转换等。

（7）应用层（Application Layer）。应用层的功能主要由用户或应用程序决定，根据用户的需要确定进程间通信的性质，负责用户信息的语义表示，并在两个通信者之间进行语义匹配。本层为用户提供 OSI/RM 环境的各种服务，管理网络资源、建立应用程序包和事务管理服务、文件传输、数据库管理服务和网络管理服务。

1.2.2 TCP/IP 体系结构

传输控制协议/网间（际）协议（Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP），是当前网络互连协议中最著名的协议族。TCP/IP 于 20 世纪 70 年代由美国政府的国防部高级研究计划局（DARPA）提供资金开发，其目的是将各种军队机构、国防和研究合作机构以及部分大学中的不同计算机设备连成一个整体，形成全国范围内的广域计算机通信网络，即 ARPAnet，该广域网络的核心协议就是 TCP/IP。随着 ARPAnet 扩展为 Internet，TCP/IP 逐渐为众多的计算机厂商所支持。现在国际上几乎所有的软、硬件厂商和开发机构均在自己的网络产品中支持 TCP/IP，从而使 TCP/IP 适用于各种硬件平台和软件环境，被公认为是除 OSI/RM 之外的最重要的网络分层模型，成为互连网络事实上的标准。其协议族一般被认为是 OSI/RM 的替代型和简化型。

从体系结构角度看，TCP/IP 可分为 4 个概念层：网络接口层、网络层、传输层和应用层，其层次关系如图 1.2 所示。

各层次的基本含义及其功能服务如下。

(1) 网络接口层 (Network Interface Layer)。TCP/IP 模型将与物理网络相关的部分称为网络接口层, 与 OSI/RM 的物理层和数据链路层相对应。它包含有最低层的网络协议软件, 负责接受上层递交来的 IP 数据报, 并把该数据报发送到指定的网络上。一个网络接口可以由一个设备驱动器组成, 也可以是一个使用自己的链路协议的子系统。

(2) 网络层 (Internet Layer)。对应于 OSI/RM 的网络层, 它面向互连网络环境设计, 具有很强的互连网络通信能力, 用来解决网络中计算机到计算机的通信问题。当该层接受一个请求, 则把来自传输层的一个报文分组封装在一个 IP 数据报 (Datagram) 中, 将应当发送给哪个计算机的标识码填入数据报报头, 并将其他信息一同发送出去; 然后使用路由选择算法, 确定是将该数据报直接递交出去还是发送一个网关; 最后将数据报传递给相应的网络接口。相反, 网络层还要处理下层递交来的数据报, 校验数据报的有效性, 删除报头, 使用路由选择算法确定该数据报应由本地处理还是转发出去。对于对本机寻址的数据报, 网络层软件从多个传输协议中选出一一种处理该数据报中的报文分组。另外, 网络层还按照需要, 发送相应的网络控制信息协议 (ICMP) 数据报并处理所有到来的 ICMP 报文。

(3) 传输层 (Transport Layer)。对应于 OSI/RM 的传输层, 主要包括 TCP 和 UDP 两个协议。其任务是提供应用程序之间的通信, 即端到端 (end-to-end) 的通信。传输层对信息流有一定的调节作用, 并提供可靠的传输, 确保数据无差错且不错乱顺序地到达目的地。因此, 接收方传输层应具有发回确认信息或要求重发丢失的报文分组的功能。传输层软件将要发送的报文或数据流分成更小的段, 即报文分组 (Packet), 把每个报文分组连同同一个报文目的地址一起向下层递交, 以便发送。反过来它也接收来自下层的报文分组, 重组成完整的报文或数据流, 并确保其完整性、正确性, 并按顺序递交给应用程序。

尽管在图 1.2 中所示只有一个应用层, 但在一台通用计算机中每次可以有多个应用程序访问网络, 因此传输层往往同时从几个用户程序接收数据, 然后把数据发送给下个较低的层次。因此, 传输层要在每个报文分组上加上一些辅助信息, 包括标识是哪个应用程序发出的某分组的标识码, 哪个应用程序应该接收这个分组的标识码, 以及差错校验码等。

(4) 应用层 (Application Layer)。TCP/IP 将 OSI/RM 的传输层以上统称为应用层, 主要定义了远程登录、文件传送和电子邮件等项应用。在这个层次, 用户调用访问网络的应用程序, 应用程序与传输层协议相互配合, 用以发送和接收用户的最终数据。每个应用程序选用自己的数据形式, 可以是一系列报文 (Message), 也可以是一种字节流 (Stream), 均向下传送, 并将下层传送来的报文或数据流转变为相应的目的数据递交给各应用程序。



图 1.2 TCP/IP 体系结构

1.2.3 NetWare 体系结构

NetWare 由 Novell 公司在 20 世纪 80 年代初期推出网络体系结构。它是由 Xerox 网络系统 (XNS) 发展而来的, Xerox 网络系统是 XEROS 公司在 20 世纪 70 年代末开发的基于客户机/服务器结构的产品。NetWare 定义了 OSI/RM 的第三层至第七层协议, 它可以在任何一种相当于 OSI/RM 介质访问协议上运行, 也可以在任何一种计算机系统上运行。NetWare 体系结构与 OSI/RM 之间的关系如图 1.3 所示。

NetWare 也是一种网络操作系统, 它提供透明的远程文件访问和许多其他分布式网络服务,

包括共享打印机、数据库访问和电子邮件传输等多种应用。NetWare 的客户机/服务器结构支持对于用户完全透明远程访问，这个过程是通过远程调用（RPC）实现的。

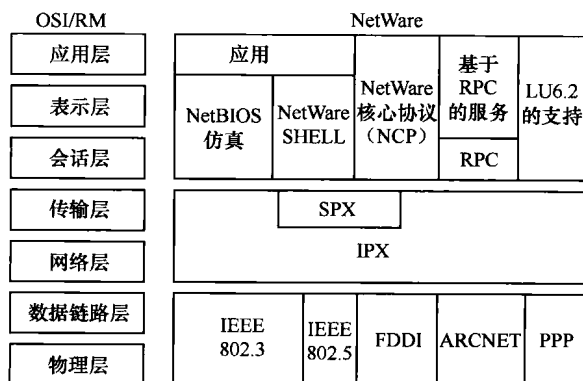


图 1.3 NetWare 体系结构

NetWare 协议族支持多种介质访问，相当于 OSI/RM 的第二层协议，包括以太网 IEEE 802.3、令牌环 IEEE 802.5、光纤分布式数据接口（FDDI）和点对点协议（PPP）。

其他各层次的基本内容如下。

（1）网间分组交换协议（Internetwork Packet Exchange, IPX）：与 TCP/IP 网络中的网络层协议相当，是 NetWare 在 OSI/RM 的第三层协议，用于在互联网中传输数据分组。IPX 是无连接的、基于数据报的网络协议。

IPX 使用动态距离矢量路由选择协议，即路由选择信息协议（RIP）提供的服务；也可以静态连接路由选择协议，即 NetWare 静态连接协议（NLSP）提供服务。IPX RIP 每 60s 发送一次路由选择更新报文。为了获得最佳的服务，IPX RIP 利用 tick 作为计量单位（1 tick 等于 1/18s），理论上它是一个期望延迟。在具有相同 tick 数的两条路径中，IPX RIP 使用跳数，即以数据分组通过的路由器数作为判断依据。但 IPX RIP 与其他网络环境中的 RIP 不兼容。

IPX 地址采用唯一的十六进制数表示，由网络号和节点两部分组成。IPX 网络号由网络管理员分配，长度为 32 位。节点号通常为系统网络适配器的介质访问控制（MAC）地址，长度为 48 位。

IPX 使用 MAC 地址作为节点号，系统的发送节点可以预测数据链路上将使用的 MAC 地址。由于 IP 网络地址中的主机部分与 MAC 地址没有关系，因此，IP 节点必须使用地址解析协议（ARP）来确定目的地的 MAC 地址。

服务公告协议（SAP）是一种 IPX 协议，网络上的文件服务器和打印服务器等资源通过它来发布自己的地址和提供的服务。路由器通过服务公告协议每 60s 发送一次通告，服务由一个十六进制数标识，该数值也称为服务公告协议标识，如 4 代表文件服务器，7 代表打印服务器等。当路由器监听到服务公告协议并建立起所有已知服务及自己的网络地址表时，一个服务公告协议操作即可开始。路由器每 60s 发送一次自己的服务公告协议表。客户机通过发送一个查询来请求一个特定的文件、打印机或网关服务。本地路由器用被请求服务的网络地址响应查询，然后，客户机就可以直接与服务建立连接。通过服务公告协议标识，可以在路由器的输入/输出端口或在一个指定的路由器过滤服务公告协议通告。服务公告协议过滤器可以保存网络带宽，在需要上百个服务公告协议服务存在的网络中，服务公告协议过滤器的效率非常高。

（2）顺序分组交换协议（Sequenced Packet Exchange, SPX）：是在 OSI/RM 第四层上最重要的 NetWare 传输协议。在 NetWare 协议族中，SPX 位于 IPX 之上。SPX 是可靠的、面向连接的协

议，它支持 IPX 提供的数据报服务。SPX 由 Xerox 网络系统（XNS）顺序数据分组协议（SPP）发展而来，也以用户数据报协议（UDP）的形式支持网际协议。IPX 数据报被封装在 UDP/IP 头中，在基于 IP 的互联网中传输。

（3）NetWare 高层协议和服务：NetWare 支持很广泛的高层协议，包括 NetWare 核心协议、NetWare SHELL、NetWare RPC 和 NetWare NetBIOS。

NetWare 核心协议（NCP）中具有一系列服务协议，用于满足来自 NetWare 外壳等应用程序的请求。NCP 提供的服务包括文件访问、打印机访问、名字管理、计费、安全和文件同步。

NetWare SHELL 侦听应用输入/输出调用，确定它们是否需要通过网络访问才能完成。如果应用程序请求需要访问网络，NetWare 外壳将请求打包，并发送到低层软件进行网络传输处理。如果应用程序请求不需要网络访问，请求就被传送给本地输入/输出资源。客户应用程序并不关心完成一个应用程序调用所需要的网络访问。

NetWare RPC 是远程过程调用，属于另一种常见的重定向机制，与 NetWare SHELL 在概念上类似。

NetWare 支持 IBM 和 Microsoft 定义的网络基本输入/输出系统（NetBIOS）会话层接口，NetWare 的 NetBIOS 仿真软件支持为工业标准 NetBIOS 接口编写的程序在 NetWare 系统中运行。

1.2.4 SNA 体系结构

IBM 的系统网络体系结构（IBM System Network Architecture, IBM SNA）是传统的网络协议之一。SNA 是针对 IBM 大型机使用的主机/终端通信模型设计的。随着 PC、工作站和客户机/服务器模式的兴起，IBM 将 SNA 扩展成支持对等网的体系结构，包括高级对等网络（Advanced Peer-to-Peer Networking, APPN）和高级程序间计算（Advanced Program-to-Program Computing, APPC）。

IBM SNA 是 20 世纪 70 年代发展起来的，具有与 OSI/RM 完全平行的结构。IBM SNA 体系结构与 OSI/RM 之间的关系如图 1.4 所示。

在 SNA 中，运行高级通信机制/虚远程通信访问方法（ACF/VTAM）的大型机作为 SNA 网络的集线器。ACF/VTAM 负责建立所有的会话和激活或释放资源。在这种情况下，资源被显式预定义，以减小广播通信请求和报头开销。

IBM SNA 模型与 OSI/RM 非常相似。各个部件的作用如下。

（1）物理层：SNA 不指定它的物理控制层的协议，物理控制层由其他标准提供。SNA 物理实体包括主机、通信控制器、建立控制器和终端 4 种形式。SNA 的主机控制网络的所有部分，并提供计算、程序执行、数据库访问、目录服务和网络管理等功能，S370 大型计算机是 SNA 环境下的主机设备的经典范例。通信控制器管理物理网络并控制通信链路，在 SNA 网络中，数据路由选择依靠负责通信控制的前端处理器（FEP）。建立控制器通常被称为族控制器，这些设备控制附属设备的输入/输出操作，如终端（工作站），它提供网络的用户接口。

（2）数据链路控制：定义了若干协议，包括用于层次间通信的同步数据链路控制协议（Synchronous Data Link Control, SDLC）和用于对等局域网之间通信的令牌环网络通信协议。SNA 数据链路控制层支持多种介质，每种介质都是为访问不同设备和用户设计。SNA 支持的媒体类型包括大型机信道、同步数据链路控制、X.25 和令牌环等。

标准 SNA 大型机信道附件提供使用直接内存访问（DMA）数据移动技术的并行数据信道。



图 1.4 IBM SNA 体系结构

大型计算机信道将 IBM 主机相互连接起来,并经由多线制电缆连接到通信控制器。每一股电缆的长度为百米数量级。一个标准的大型机信道的数据传输速率为 $3 \sim 4.5\text{Mbit/s}$ 。

IBM 的企业系统连接 (ESCON) 大型计算机附加环境支持更高的吞吐量,并可以覆盖更大的物理距离。通常,ESCON 以 18Mbit/s 的速度传输数据,并支持点对点的连接,传输距离可达千米数量级。ESCON 可使用光纤作为它的网络介质,以支持更高的数据速率和更长的传输距离。

SDLC 在 SNA 网络中广泛应用,它可提供交互连接通信和建立控制器,并通过电子通信链路移动数据。

广域网的 X.25 网络位于 SNA 节点之间,被看作一个单独的连接,SNA 以访问协议的形式实现 X.25,SNA 节点被认为是相邻的。要在一个基于 X.25 的广域网上实现 SNA 节点的交互连接,SNA 还需要 DLC 协议支持,可以使用物理服务报头、限制逻辑链路控制 (QLLC) 和增强逻辑链路控制 (ELLC) 等。

令牌环网络提供了到局域网设备的介质访问的最基本 SNA DLC 方法。IBM 支持的令牌环实际上与 IEEE 802.2 逻辑链路控制方式 2 (LLC2) 下运行的 IEEE802.5 链路媒体访问协议是一致的。

除了基本的介质类型外,IBM 增加了对其他几种广泛使用的介质的支持,包括 IEEE 802.3 以太网、光纤分布式数据接口 (FDDI) 和帧中继 (FR)。

(3) 路径控制: 执行许多 OSI/RM 网络层功能,其中包括路由选择和数据报分段与重组。

(4) 传输控制: 提供可靠的端到端连接服务,同时提供加密和解密服务。

(5) 数据流控制: 管理请求和响应进程、决定谁可以通信、将信息组织在一起以及在请求时中断数据流。

(6) 表示服务: 指定数据转换算法,将数据由一种格式转换成另一种格式,协调资源共享和同步事件处理操作。

(7) 事件处理服务: 以程序的形式提供应用服务,实现进程分配或管理服务。

在 SAN 网络模型中定义的一个关键结构是路径控制网络,它负责在 SNA 节点之间移动信息,并使不同网络节点之间通信更便利。路径控制网络环境使用由路径控制和数据链路控制提供的功能,它是 IBM 传输网络的一个子集。

1.2.5 VINES 体系结构

虚拟综合网络服务 (Virtual Integrated Network Service, VINES) 是在 Xerox 公司的 Xerox 网络系统 (XNS) 协议发展而来的专用协议的基础上,Banyan Systems 公司开发的分布式网络操作系统,VINES 使用客户机/服务器模式。VINES 体系结构与 OSI/RM 之间的对比如图 1.5 所示。

1. 介质访问

VINES 体系结构的最低两层提供了多种介质访问协议,其中包括高层数据链路控制 (HDLC)、X.25、以太网和令牌环。

2. 网络层

VINES 利用 VINES 网际协议 (VIP) 执行 OSI/RM 第三层的操作。VINES 也支持它自己的地址解析协议 (ARP)、路由选择信息协议 (RIP),亦称之为路由选择表协议 (RTP) 和互联网控制协议 (ICP),互联网控制协议提供异常处理和特殊路由选择的开销信息。ARP、ICP 和 RTP 数据分组都被封装在一个网际协议数据报头中。

VINES 网络层地址为 48 位,由网络号 (32 位) 和子网号 (16 位) 两部分组成。网络号可以理解成一个服务器的号,因为它直接由服务器的键值确定。VINES 地址的子网部分可以理解成一

个主机号，因为它标识 VINES 网络中一个主机。VINES 地址的格式如图 1.6 所示。

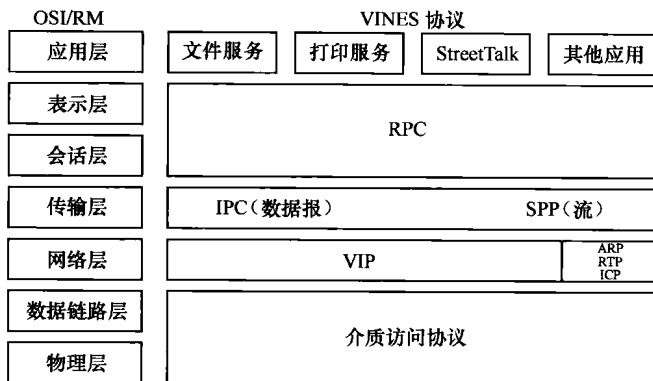


图 1.5 VINES 体系结构



图 1.6 VINES 地址格式

网络号标识一个 VINES 逻辑网络，它可以表示成一个以服务节点为根的两层树。服务节点通常就是服务器，它向客户机提供地址解析和路由选择服务。服务节点向客户机分配网际协议地址。启动一个客户机后，它广播一个对服务器的请求，所有听到该请求的服务器都将作出响应。客户机选择第一个响应，并从这个服务器请求一个子网（主机）地址。服务器以一个地址来响应，该地址从它的键值得到自己的网络地址和一个子网（主机）地址构成。

在 VINES 网络框架中，所有具有多接口的服务器都是基本的路由器。客户机总是选择它们自己的服务器作为第一跳路由器，即使同一线缆上有一个服务器可以提供到最终目的地的最佳路由，情况也一样。通过从它们自己的服务器接收重定向报文，客户机可以获得其他路由器。由于客户机将它们的服务器作为第一跳路由选择，所以 VINES 服务器要维护一个路由选择表，以帮助客户机查找远程节点。

路由选择表协议（RTP）分发网络拓扑信息。客户节点和服务节点都定期广播路由选择更新数据分组。这些数据分组通知各节点有关相邻节点的信息，并指明该节点是一个客户节点还是一个服务节点。每个路由选择更新数据分组都包含服务节点，而每个路由选择更新数据分组都是一个所有已知网络和到达这些网络开销的列表。

路由选择表协议维护两个路由选择表，一个是所有已知网络列表，一个是相邻节点列表。对于服务节点，除服务节点本身所在的网络以外，所有已知网络列表中，为每个已知网络准备一个记录。每个记录都包含网络号、路由计量和记录指针，该指针指向相邻节点列表中该网络的下一转发记录。相邻节点列表包含每一个相邻服务节点和相邻客户节点的记录，每个记录都包含网络号、子网号、到达该节点使用的介质访问协议、本地局域网地址和相邻计量。

地址解析协议（ARP）可分为客户地址解析和服务地址解析。客户地址解析通常在客户节点上实现，而服务地址解析一般由服务节点提供。

互联网控制协议（ICP）定义了异常通知和计量通知数据分组。异常通知数据分组提供有关网络层异常的信息，计量通知数据分组包含信息到达一个客户节点所使用的信息。

3. 传输层

VINES 提供非可靠数据报服务、可靠报文服务和数据流服务 3 种传输层服务。