



工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

穆维新
编著

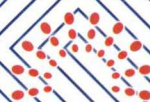
数据通信 —— 路由与交换技术

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Data Communications:
Routing and Switching



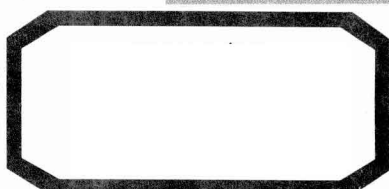
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



高校系列



工业和信息化部
“十二五”规划教材

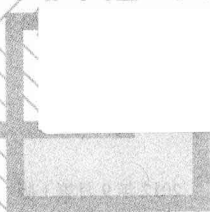
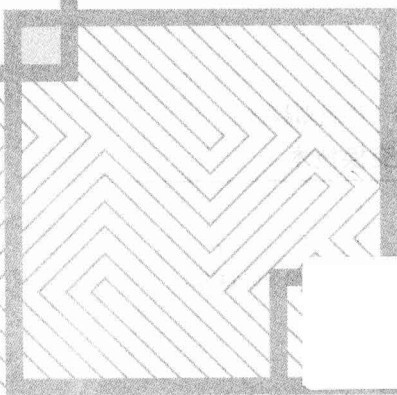


著

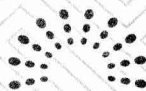
数据通信 —— 路由与交换技术

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Data Communications:
Routing and Switching



人民邮电出版社
北京



高校系列

图书在版编目 (C I P) 数据

数据通信：路由与交换技术 / 穆维新编著. — 北京：人民邮电出版社，2012.9
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-28449-5

I. ①数… II. ①穆… III. ①数据通信—高等学校—教材 IV. ①TN919

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第161401号

内 容 提 要

本书对数据通信主要包括的传输、交换和网络以及相关的通信协议等进行了较为全面的阐述。全书共分16章，内容包括：传输方面的主干光传输网、接入网和以太网端口等技术；交换方面的路由器、交换机和VLAN等原理与配置；网络方面的DDN、X.25、FR、ATM和局域网等原理与配置；相关数据通信协议RIP、OSPF、BGP、HDLC、PPP和802.3等原理与配置。

本书侧重于路由、交换及配置，可作为高等院校电子信息类和计算机类等专业的教材或学习参考用书，也可作为相关专业的培训教材或专业技术人员的自学参考用书。

本书各章均附有习题，并提供电子版实验指导书和电子课件。

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材

数据通信——路由与交换技术

-
- ◆ 编 著 穆维新
责任编辑 刘 博
 - ◆ 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 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本：787×1092 1/16
印张：19.25 2012年9月第1版
字数：471千字 2012年9月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-28449-5

定价：39.00元

读者服务热线：(010)67170985 印装质量热线：(010)67129223

反盗版热线：(010)67171154

广告经营许可证：京崇工商广字第0021号

本书以现代数据通信为主线,分别对数据传输网与接口、数据交换原理和数据通信网以及相关的通信协议与配置做了较为全面的阐述。本书从实际出发,跟踪数据通信技术的发展动态,尽可能地将与数据通信有关的路由、交换、配置等知识综合在一起,形成一个较为完整的数据通信体系。

本书的宗旨是,读者通过学习,能够理解数据通信的交换原理及路由技术,能够清楚数据通信的各种网络构成和有关协议,能够实现数据通信的有关组网与配置。

在学习本书的过程中,建议读者尽量去思考一些数据通信方面的问题。比如,一个数据终端产生的数据信息是需要经过什么样的网络来传送的,数据信息在网络中是如何完成交换的,网络是如何确定路由将数据信息送到目的地的,组成数据网络的有关设备与 OSI 七层参考模型是什么关系,各网络之间是如何联系的,网络需要运行什么样的协议,不同的协议有哪些不同的用途,协议地址在网络中起的作用是什么,协议地址与物理地址有何区别,协议在网络设备上是如何进行配置的,不同配置模式下的命令功能都有哪些等。诸多的问题,既是读者想要了解的,也正是本书想要介绍的。

全书共分 16 章:第 1 章主要介绍 OSI 参考模型与 TCP/IP 协议栈,是数据通信的基础,也是对以前所学知识的巩固和总结;第 2 章至第 4 章主要对数据通信传输有关的网络技术与接口、互联网接入技术、数字数据网及应用等进行了阐述,以使读者了解数据传输平台和通信接口;第 5 章、第 6 章主要介绍针对网络层设备的路由器、包括二层在内的交换机原理及配置等;第 7 章、第 8 章主要介绍针对链路层的协议原理、以太网端口技术及有关协议的配置;第 9 章到第 11 章侧重于广域网的介绍,X.25、Frame Relay 的协议原理与配置以及 ATM 交换原理及应用;第 12 章、第 13 章介绍常用的动态路由协议,RIP、OSPF 原理与配置;第 14 章介绍自治域外部协议,BGP 路由原理与配置;第 15 章、第 16 章介绍局域网、VLAN 的路由与配置,以及有关网络的规划与设计。

本书每个章节相对有一定的独立性。如果要选择本书作为教材,可结合本专业的特点和课时数,并结合以前开设课程的相关内容,选择有关章节系统地学习,其他章节选择性学习。建议电子信息类和计算机类等专业的学生,学时数设置为 51~72,高年级本科生必修第 1 章至第 8 章、第 12 章、第 13 章,其他章节选学;研究生必修第 5 章至第 16 章,其他章节选学。其他专业的学生可结合本专业特点,参考以上建议确定所学内容。参加工作的读者可以根据自己的实际情况和兴趣有重点地学习。

书中关于路由器、交换机等相关设备的配置，考虑到各学校实验环境的不同，主要是基于 Cisco H3C 和华为的产品，目的是尽可能使读者多了解一些不同设备的配置。

在本书的编写过程中，参考了有关作者的文献和网络咨询信息，采用了有关网络设备制造商的技术资料。其中，刘润杰、邵霞分别完成了第 2、4 章和第 9、11 章的编写，郑州大学等院校的师生给予了热情的支持，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，书中难免有许多不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 OSI参考模型与TCP/IP协议栈1	3.2 EPON60
1.1 OSI参考模型与数据通信.....1	3.2.1 EPON的网络结构.....60
1.1.1 OSI-RM七层及功能.....1	3.2.2 EPON帧结构与传输.....62
1.1.2 各层的关系及数据通信过程.....3	3.2.3 多点控制协议与EPON 测距.....64
1.1.3 网络互连及设备.....7	3.2.4 EPON上行接入的轮询算法.....66
1.2 网络层.....9	3.3 互联网及接入方式67
1.2.1 网络层协议概述.....9	3.3.1 CHINANET.....67
1.2.2 IP.....11	3.3.2 域名服务器.....68
1.2.3 其他网络层协议.....15	3.3.3 CHINANET提供的Internet 接入.....70
1.3 传输层.....18	习题.....73
1.3.1 传输层协议功能与端口.....18	第4章 数字数据网及应用74
1.3.2 TCP.....19	4.1 DDN的组成结构.....74
1.3.3 UDP与SCTP.....20	4.1.1 DDN组成.....74
1.4 其他层.....21	4.1.2 DDN结构.....76
1.4.1 物理层.....21	4.2 DDN业务与应用.....78
1.4.2 数据链路层.....23	4.2.1 DDN提供的业务.....78
1.4.3 应用层.....27	4.2.2 DDN用户接入方式及应用.....81
习题.....28	4.2.3 DDN常见故障排除.....85
第2章 数据传输网技术与接口29	习题.....87
2.1 传输技术.....29	第5章 路由器原理及配置88
2.1.1 PCM技术与传输分类.....29	5.1 路由器原理.....88
2.1.2 光纤通信技术.....33	5.1.1 路由器基础.....88
2.2 光传输网.....35	5.1.2 路由器结构及工作原理.....90
2.2.1 SDH.....35	5.2 路由器配置.....94
2.2.2 WDM.....40	5.2.1 路由器启用.....94
2.2.3 其他光传输网.....43	5.2.2 路由器IOS基本配置.....97
2.3 传输接口与线缆.....46	5.2.3 静态路由的配置和命令 模式.....102
2.3.1 广域网接口与线缆.....46	5.3 NAT路由配置.....105
2.3.2 以太网接口与线缆.....51	5.3.1 配置NAT寻址.....105
习题.....54	5.3.2 NAT路由配置.....108
第3章 互联网接入技术55	习题.....114
3.1 数据接入业务与技术.....55	
3.1.1 综合业务接入.....55	
3.1.2 接入网技术.....56	

第6章 交换机原理及配置	115	10.1.1 FR 交换原理.....	177
6.1 二层交换机原理.....	115	10.1.2 FR 网络.....	183
6.1.1 二层交换技术.....	115	10.2 FR 配置	187
6.1.2 交换机数据帧转发与 网段划分.....	118	10.2.1 FR 基本配置.....	187
6.2 三层交换机原理	120	10.2.2 FR 典型配置.....	190
6.2.1 三层交换技术.....	120	10.2.3 FR 的操作维护.....	191
6.2.2 三层交换原理.....	121	习题.....	193
6.3 交换机配置及 VLAN 应用	125	第11章 ATM 交换原理及应用	194
6.3.1 交换机的设置.....	125	11.1 ATM 交换原理.....	194
6.3.2 VLAN 路由选择及配置.....	127	11.1.1 ATM 交换.....	194
习题.....	131	11.1.2 ATM 交换与信令.....	199
第7章 链路层协议原理及配置	132	11.1.3 ATM 网络.....	201
7.1 链路层协议原理.....	132	11.2 基于 ATM 的 IP 交换	203
7.1.1 HDLC 原理.....	132	11.2.1 交换结构与原理.....	204
7.1.2 PPP 原理.....	134	11.2.2 交换协议与连接过程.....	206
7.2 链路层协议配置	139	11.3 ATM 支持 IP 的方案	208
7.2.1 HDLC 配置.....	139	11.3.1 IP Over ATM.....	208
7.2.2 PPP 及相关协议配置.....	140	11.3.2 多协议交换.....	211
习题.....	146	习题.....	214
第8章 以太网端口技术及配置	147	第12章 RIP 原理与配置	215
8.1 以太网端口技术.....	147	12.1 RIP 原理.....	215
8.1.1 以太网概述.....	147	12.1.1 RIP 的报文结构.....	215
8.1.2 以太网接口技术.....	150	12.1.2 RIP 的工作原理.....	216
8.2 以太网端口配置	155	12.1.3 RIP 工作流程.....	218
8.2.1 以太网端口基本配置.....	155	12.2 RIP 配置及应用	218
8.2.2 以太网端口详细配置.....	157	12.2.1 RIP 配置命令.....	218
习题.....	165	12.2.2 RIP 配置应用.....	220
第9章 X.25 协议原理与配置	166	习题.....	244
9.1 X.25 协议原理.....	166	第13章 OSPF 路由协议原理与配置	225
9.1.1 X.25 分组交换原理.....	166	13.1 OSPF 路由协议原理.....	225
9.1.2 分组网构成及接入方式.....	169	13.1.1 OSPF 概述.....	225
9.2 X.25 配置	171	13.1.2 OSPF 过程及路由计算.....	231
9.2.1 X.25 的配置.....	171	13.1.3 OSPF 区域连接及外部 通信.....	235
9.2.2 X.25 操作维护.....	175	13.2 OSPF 动态路由协议配置	237
习题.....	176	13.2.1 单区域 OSPF 配置.....	237
第10章 Frame Relay 协议原理与 配置	177	13.2.2 多区域 OSPF 配置.....	238
10.1 FR 协议原理.....	177	13.2.3 分区域 OSPF 配置.....	240
		习题.....	244

第 14 章 BGP 路由协议与配置	245	15.2.4 Hybrid 端口	272
14.1 BGP 原理	245	15.2.5 vlan disable	274
14.1.1 BGP 路由	245	15.3 VLAN 间路由的配置及互连	275
14.1.2 BGP 报文和状态机	247	15.3.1 VLAN 间路由的配置	275
14.2 BGP 配置	249	15.3.2 用 RIP 互连不同 VLAN	277
14.2.1 BGP 的基本配置	249	15.3.3 用 OSPF 互连不同 VLAN	277
14.2.2 BGP 配置主要过程	252	习题	280
习题	255	第 16 章 网络设计与配置	281
第 15 章 VLAN 间路由与配置	256	16.1 网络地址规划	281
15.1 VLAN 间路由	256	16.1.1 无子网编址与子网编址	281
15.1.1 VLAN 协议帧格式及链路	256	16.1.2 变长子网掩码	283
15.1.2 VLAN 划分	260	16.1.3 无类域间路由	285
15.1.3 VLAN 路由	262	16.2 局域网设计	285
15.2 VLAN 配置	264	16.2.1 局域网设计基础	285
15.2.1 VLAN 的基本配置	264	16.2.2 局域网规划设计	288
15.2.2 GVRP 命令及有关配置	266	16.2.3 局域网配置	291
15.2.3 PVLAN	270	习题	300

在数据通信逐步占据通信领域主导地位的过程中,各厂商纷纷推出自己的协议,如 IBM 的 Novell IPX/SPX、Apple 的 AppleTalk、DEC 的 DECnet 以及广泛流行的 TCP/IP 等。由于多种协议的并存,使得网络兼容已成为主要问题。因此,使得 ISO 早在 1984 年就提出的 OSI RM 成为数据通信的基础模型。本章将在对 OSI RM 进行分析的基础上,重点介绍 TCP/IP 协议栈以及数据通信对应于各层的有关协议。

1.1 OSI 参考模型与数据通信

ISO (International Organization for Standardization, 国际标准化组织) 负责制定大型网络的标准,包括与 Internet 相关的标准,它提出的 OSI RM (Open System Interconnection Reference Model, 开放系统互连参考模型),描述了网络的工作机理,为数据通信网络构建了一个易于理解的模型。在数据通信中常用的 TCP/IP 协议栈与 OSI 七层参考模型关系是密不可分的。

1.1.1 OSI-RM 七层及功能

OSI 七层参考模型及功能如图 1.1 所示,它保证了不同网络设备之间的兼容性和互操作性。OSI 参考模型的第五层到第七层称为高层 (upper layer),又叫主机层 (host layer),目前在计算机网络的 TCP/IP 协议栈中只体现为一层,统一称为应用层,有时也称为用户层 (user layer) 或业务层 (business layer); OSI 参考模型第一层到第四层称为低层 (lower layer),又叫介质层 (media layer),主要负责数据在网络中的传送,网络互连设备往往位于下三层。低层通常以硬件和软件相结合的方式来实现。高层用于保障数据的正确传输,通常以软件方式来实现。各层的主要功能和协议介绍如下。

(1) 应用层。第七层是应用层 (application layer),它是 OSI 参考模型最靠近用户的一层,它为用户的应用进程访问 OSI 环境提供服务。应用层识别并验证目的通信方的可用性,使协同工作的应用程序之间同步。

应用层的代表协议有: Telnet、FTP、HTTP、SNMP 等。

(2) 表示层。第六层是表示层 (presentation layer),它提供数据格式转换服务,数据加密、数据表示标准服务等。表示层为应用层提供服务,该服务层处理的是通信双方之间的数据表示问题,如所传输信息的语法和意义,它把来自应用层与计算机有关的数据格式处理成

与计算机无关的格式，以保障对端设备能够准确无误地理解发送端数据。表示层的主要功能为：语法转换、传送语法的选择、常规功能等。

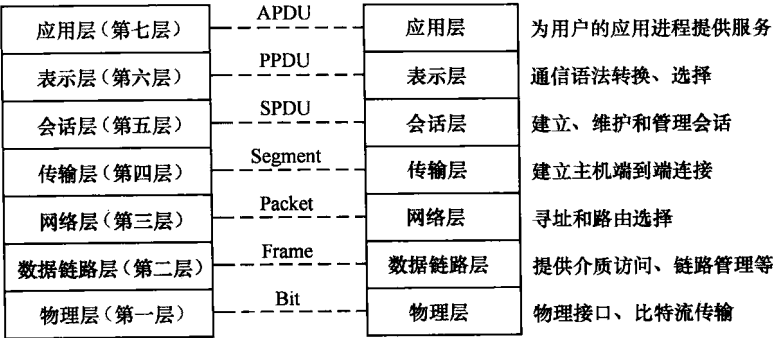


图 1.1 OSI 七层参考模型及功能

常见的表示层协议有：数据结构标准的 EBCDIC（extended binary coded decimal interchange code）、ASCII（Americia Standard Code for Information Interchange）；图像标准的 JPEG（Joint Photographic Experts Group）、TIFF（Tagged Image File Format）、GIF；视频标准的 MIDI（Musical Instrument Digital Interface）、MPEG（Motion Picture Experts Group）、QuickTime 等。

（3）会话层。第五层是会话层（session layer），它通过执行多种机制在应用程序间建立、维持和终止会话。会话层机制包括计费、话路控制、会话参数协商等。会话层在协调不同应用程序之间的通信时要涉及会话层，该层使每个应用程序知道其他应用程序的状态。所谓会话，是指在两个用户之间为交换信息而按照某种规则建立的一次暂时连系。同时，会话层也提供双工（duplex）协商、会话同步等；会话层提供远程会话地址、会话建立后的管理，提供把报文分组重新组成报文的功能。

常见的会话层协议有：结构化查询语言（SQL，Structed Query Language）、网络文件系统（NFS，Network File System）、远程过程调用（RPC，Remote Procedure Call）、网络基本输入/输出系统（NetBIOS，Network Basic Input/Output System）、Windows 系统等。

（4）传输层。第四层是传输层（transport layer），它的主要设置目的就是在源主机和目的主机进程之间提供可靠的端到端通信。基本功能是从会话层接收数据，并且在必要的时候把它分成较小的单元，传递给网络层，并确保到达对方的各段信息正确无误。传输层是用户资源子网与通信子网的桥梁，主要功能为：连接管理；负责传输连接的建立、维护与释放，传输连接的建立过程称为“握手”；流量控制；传输层在发送本层数据分组时，还要确保数据的完整性；差错检测与恢复；提供用户要求的 service 质量和端到端的可靠通信。

常见的传输层协议有：TCP、UDP、SPX 等。

（5）网络层。第三层是网络层（network layer），它可以通过路由选择协议来确定数据包从源端到目的端路由。网络层的主要功能是建立、维护和拆除网络连接，组包/拆包，路由选择，拥塞控制等。数据链路层协议是两个直接连接节点间的通信协议，它不能解决数据经过通信子网中多个转接节点的通信问题，而网络层的主要目的就是要为报文分组以最佳路径通过通信子网到达目的主机提供服务，网络层不关心网络的拓扑结构与所使用的通信介质。

网络层有代表性的协议有：IP、IPX、ICMP（Internet Control Message Protocol，互联网

控制报文协议)、IGMP (Internet Group Management Protocol, 互联网组管理协议)、ARP (Address Resolution Protocol, 地址解析协议) 和 RARP (Reverse Address Resolution Protocol, 反向地址解析协议) 等。

(6) 数据链路层。第二层是数据链路层 (data link layer), 它的主要功能是负责数据链路信息从源点传输到目的点的数据传输与控制, 保证将源端主机网络层的数据包准确无误地传送到目的主机的网络层。数据链路层的帧使用物理层提供的比特流传输服务来到达目的主机数据链路层。为了保证数据传输的准确无误, 数据链路层还负责网络拓扑、差错校验、流量控制等。流量调控可以在数据链路层实现, 也可以由传输层实现。数据链路层传输的基本单位是帧。数据链路层与物理地址、网络拓扑、线缆规划、错误校验和流量控制等有关。

数据链路层的代表协议有: SDLC、HDLC、PPP、STP、帧中继等。

(7) 物理层。第一层是物理层 (physical layer), 它涉及在通信信道 (channel) 上传输的原始比特流, 实现传输数据所需要的机械、电气、功能特性及过程等手段。物理层涉及电压、电缆线、数据传输速率、接口等的定义。

物理层的典型规范有: EIA/TIA RS-232、EIA/TIA RS-499、V.35、RJ-45 等。

1.1.2 各层的关系及数据通信过程

1. OSI 参考模型数据通信过程

我们可以将终端或网络设备之间平行相对应的层称为对等层或对应层。将终端或网络设备中上、下相接的层称为相邻层对等层之间联系通过相同的协议, 相邻层之间联系通过原语。因此, 对等层传输的信息就称为数据协议数据单元 (PDU, Protocol Data Unit)。相应地, 应用层数据称为应用层协议数据单元 (APDU, Application Protocol Data Unit), 表示层数据称为表示层协议数据单元 (PPDU, Presentation Protocol Data Unit), 会话层数据称为会话层协议数据单元 (SPDU, Session Protocol Data Unit)。而习惯上又将传输层数据称为段 (segment), 网络层数据称为数据包 (packet), 数据链路层数据称为帧 (frame), 物理层数据称为比特流 (bit stream)。

例如, 两个终端设备的对等传输层利用数据段进行通信, 传输层的段成为网络层数据包的一部分, 网络层数据包又成为数据链路层帧的一部分, 最后转换成比特流传送到对端物理层, 又依次到达对端数据链路层、网络层、传输层, 实现了对等层之间的通信。

如果我们形象地理解 OSI RM 的话, 就是在高层形成一个裸体信息, 在发端的每层下行过程, 裸体信息是在穿衣服, 每层都因各种原因要加一件衣服, 到收端以后就是脱衣服的一个上行过程, 发端对等层穿上什么衣服, 收端对等层就要脱掉什么衣服。对于为什么要穿这么多的衣服, 就相当于人们要经过千山万水, 必须要穿上不同的衣服才能最终到达目的地。数据信息也是一样, 要经过错综复杂的网络及设备, 就必须执行不同的协议才能最终到达目的地。我们将穿衣服的过程称为封装, 将脱衣服的过程称为解封装, 这一点在以后的学习中会得到更加深入的理解, 也就是说每一层都有它存在的必要性。

关于上、下层的相邻层关系, 我们还可以将它理解为用户和服务的关系, 即上层是下层的用户, 下层是为上层提供服务。每一层利用下一层提供的服务, 使用自己的协议与对等层通信。也就是说, 终端或网络设备的每一层并不能直接与对端相对应层直接通信, 而是通过

下一层为其提供的服务来间接与对端对等层相互传递数据，每一层使用各自的协议，但对等层的协议必须相同，以保证对等层之间能够准确无误地传递数据。例如，应用层协议 E-mail 应用程序不会和对端应用层 Telnet 应用程序通信，但可以对端 E-mail 应用程序通信。下一层通过服务访问点（SAP，Service Access Point）为上一层提供服务。

封装（encapsulation）是指网络节点（node）将要传送的数据用特定的协议头打包来传送数据，有时候，我们也可能在数据尾部加上报文，这些就是封装过程。封装就是以保证数据能够准确无误地到达目的地，被对端设备理解、执行。

例题 用 OSI 七层模型的概念，概述数据从主机到服务器的传送过程。

首先，主机的应用层信息转化为能够在网络中传播的数据，能被对端应用程序识别；其次，数据在表示层加上表示层报头，协商数据格式，是否加密，转化成对端能够理解的数据格式；然后，数据在会话层又加上会话层报头；依次类推，传输层加上传输层报头，形成段；网络层加上网络层报头，形成数据包；数据链路层加上数据链路层报头形成帧；在物理层将数据转换为比特流，传送到网络交换机物理层，在数据链路层组装为帧。交换机查询数据链路层报文，发现下一步数据帧应该发向的路由器，于是交换机在物理层以比特流形式转发帧报文，将数据发向路由器；同理，路由器也逐层解封装：剥去数据链路层帧头部，依据网络层数据包头信息查找到服务器的路由，然后封装数据发向服务器。服务器从物理层到应用层，依次解封装，剥去各层封装报头，提取出发送主机发来的数据，从而完成数据的接收过程。

2. 面向连接服务与无连接服务

OSI 参考模型以及其他协议栈提供的服务可以分为两种方式，即面向连接的服务和无连接的服务，而这两种服务的具体实现就是虚电路（或虚链路）服务和数据报服务。

虚电路服务：在虚电路服务方式中，为了进行数据的传输，网络的源主机和目的主机之间先要建立一条逻辑通道。虚电路服务方式是网络层向传输层提供的一种使所有分组能按顺序到达目的主机的可靠的数据传送方式。也可以理解为在进行数据交换的两端主机之间存在着一条为它们提供服务的虚电路。

数据报服务：数据报服务类似于邮政系统的信件投递。每个分组都携带完整的源、目的节点的地址信息，独立地进行传输，每当经过一个中间节点时，都要根据目标地址和网络当前的状态，按一定的路由选择算法选择一条最佳的输出线，直至传输到目的节点。

（1）面向连接服务（Connect-oriented Service）。面向连接服务含义指在使用该服务之前用户首先要建立连接，而在使用完服务之后，用户应该释放连接，当被叫用户拒绝连接时，连接宣告失败。它适用于延迟敏感性应用。

在建立连接阶段，在有关的服务原语以及协议数据单元中，必须给出源主机和目的主机的地址，建立虚电路连接；在数据传输阶段，可以使用一个连接标识符来表示上述这种连接关系。

通常面向连接服务是可靠的报文序列服务，从来不丢失数据（可靠的服务是由接收方确认收到的每一份报文，使发送方确信它发送的报文已经到达目的地这一方法来实现的，确认过程增加了额外的开销和延迟。通常这也是值得的，但有时也不尽然）。在建立连接之后，每个用户可以发送可变长度（在某一限度之内）的报文，这些报文按顺序发送给远端的用户，

用户对这些报文的接收也是有顺序的。面向连接的服务比较适用于在一定期间内向同一个目的地发送很多报文的情况，对于发送很短的零星报文，面向连接的服务显得开销过大。

(2) 无连接服务 (Connectionless Service)。无连接服务是指两个实体之间的通信不需要先建立好一个连接，因此其下层的有关资源不需要事先进行预定保留，这些资源是在数据传输时动态地进行分配的，它适用于延迟不敏感的应用。

无连接服务就好比邮政系统，每个报文（信件）带有完整的目的地址，并且每一个报文都独立于其他报文，经由系统选定的路线传递。在正常情况下，当两个报文发往同一目的地时，先发的先收到。但是，也有可能先发的报文在途中延误了，后发的报文反而先收到。无连接服务的特征是它不需要通信的两个实体同时处于激活状态，而只需要正在工作的实体处于激活状态。它的优点是灵活方便和比较迅速，但无连接服务不能防止报文的丢失、重复或失序。因此它比较适合传送少量的零星的报文。

并不是所有的应用程序都需要连接。例如，电子邮件越来越普及，电子邮件发送者可能不希望仅为了发一条消息而去经历建立和拆除连接的麻烦。百分之百的可靠性也没有必要；特别是如果要多花钱时更没必要。这里所需要的仅是发送一个报文，只要到达的可能性很大就行了，不需要保证一定收到。对于一些允许延迟的应用程序，如文字处理等，往往也使用无连接的服务。

目前，网络层协议通常只提供无连接的服务，不保证数据包的有序、可靠地传输，而数据可靠传输功能通常放在传输层或数据链路层实现。

3. 端到端连接过程

在 OSI 参考模型中，多个应用程序可以共享同一个传输连接，称为多路复用 (multiplex)。多路复用是指多个应用程序共享同一个传输层建立的连接进行数据的传送。传输层把上层发来的不同应用程序数据分成段，按照先到先发 (FIFO) 的原则（或者其他原则）发送数据段。这些数据段可以去往同一目的地，也可以去往不同目的地。

接着要说明的是终端和服务器的传输层的端到端通信过程，如终端开始调用服务器的 WWW 应用程序时，服务器软件为每一个应用程序设置一个端口号 (port number，注意，此端口号和网络设备端口不同，是一个应用程序与传输层协议的虚拟接口)，生成数据段。端口号包括一些信息类型、起始程序、所用协议等附加信息编码位。接下来，服务器的传输层必须和终端主机建立一条端到端的会话虚连接。为了能够开始数据传输，服务器和终端主机的两个应用程序通知各自的操作系统开始初始化连接。两个操作系统上的协议模块在网络上互相发送报文通信，以保证双方虚连接建立。当双方所有同步工作完成之后，端到端虚连接便已建立，数据传输开始。在传输过程中，服务器和终端主机继续以它们的协议软件进行通信，以验证数据是否正确接收。当终端设备收到数据流时，它对这些数据流进行分离和排序，以使传输层能够正确地将数据流送到终端主机。当数据传输结束后，双方协商断开虚连接。

4. 流量控制

在数据传输过程中，由于带宽、各种各样网络设备速率不匹配导致的延迟等，网络也有可能在一节点产生拥塞导致数据包丢失等，所以要实施流量控制。目前有 3 种常用的流量控制技术：缓存 (buffering)、源抑制报文 (source quench messages) 和窗口机制 (windowing)。

网络设备使用缓存技术把内存中暂时不能处理的突发性数据存放在缓冲区内，待网络设备空闲时再发送。缓存技术可以初步解决数据拥塞问题。然而，当网络中数据流量持续增多时，缓冲区有可能也会过载，从而使得缓冲区数据溢出，导致数据丢失。这时，可以使用源抑制技术来降低网络流量。数据接收端设备通过向源端发送源抑制报文，请求源端降低数据发送速率，防止网络过载。源端设备发送一定数量数据包后，要求目的端返回确认信息，这就是所谓的窗口机制，网络可以通过这种窗口机制方式来实现流量控制。窗口机制因为使用了肯定确认（positive acknowledgement）技术，通常被认为是非常可靠的。

肯定确认技术的工作原理为：当目的设备接收到源设备发送的数据包时，向源端发送确认报文，源设备收到确认报文后，继续发送数据包，如此重复；当源设备发送数据包后没有收到确认报文，在一定时间后（源设备在发送数据包时启动计时器，即计时器计时结束的时间），源设备降低数据传输速率，重发数据包。

5. TCP/IP 协议栈数据通信过程

协议栈是指在 OSI 参考模型的所有层里，相互协作或作为一个组来通信的相关通信协议的集合，如 TCP/IP 协议栈、IPX/SPX 协议栈等。TCP/IP 协议栈如图 1.2 所示，同 OSI 参考模型数据封装过程一样，TCP/IP 协议在报文转发过程中，封装和去封装也发生在各对等层之间。可以将 OSI 参考模型合并为 5 层：应用层、传输层、网络层、数据链路层和物理层，而 TCP/IP 协议栈则体现在 3 个层：应用层、传输层和网络层，TCP/IP 协议栈能支持所有标准的物理层和数据链路层协议。

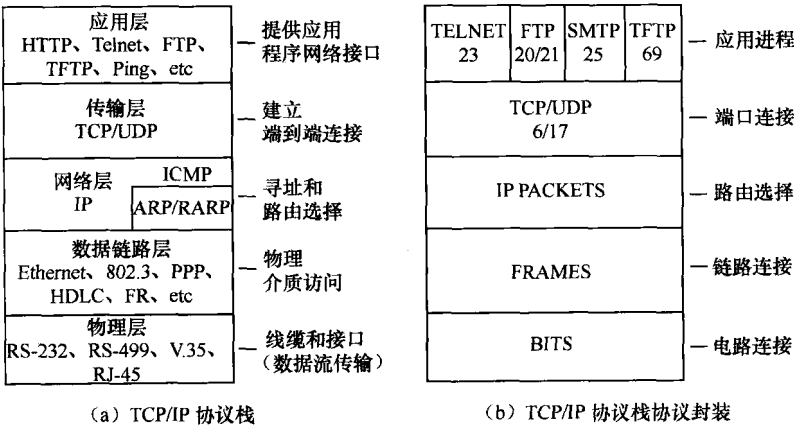


图 1.2 TCP/IP 协议栈

在发送方，加封装的操作是逐层进行的。应用层将各个应用程序将要发送的数据送给传输层；传输层（TCP/UDP）对数据分段为大小一定的数据段，加上本层的报文头发送给网络层。在传输层报文头中，包含接收它所携带的数据的上层协议或应用程序的端口号，例如，Telnet 的端口号是 23。传输层协议利用端口号来调用和区别应用层各种应用程序；网络层对来自传输层的数据段进行一定的处理，利用协议号区分传输层协议，加上本层的 IP 报文头后，转换为数据包，再发送给链路层（以太网、帧中继、PPP、HDLC 等）；链路层依据不同的数据链路层协议加上本层的帧头，交给物理层以比特流的形式将报文发送出去。

在接收方，这种去封装的操作也是逐层进行的。从物理层到数据链路层，逐层去掉各层

的报文头部，将数据传递给应用程序执行。

常用应用层协议对应传输层协议的端口号为：Telnet（TCP23 端口）、SMTP（TCP25 端口）、POP3（TCP110 端口）、FTP（TCP21 端口）、FTP-DATA（TCP20 端口）、SNMP（UDP161 端口）、WWW（TCP80 端口）、DNS（UDP/TCP53 端口）。

1.1.3 网络互连及设备

各种不同的网络互连设备都可以实现网络设备或网络互相连接起来的功能。但是，不同的网络互连设备可能工作在 OSI 模型的不同层，并根据不同层的特点完成各自不同的任务。网络设备与 OSI 七层模型协议的对应关系如图 1.3 所示。以下对各设备做简单的介绍。

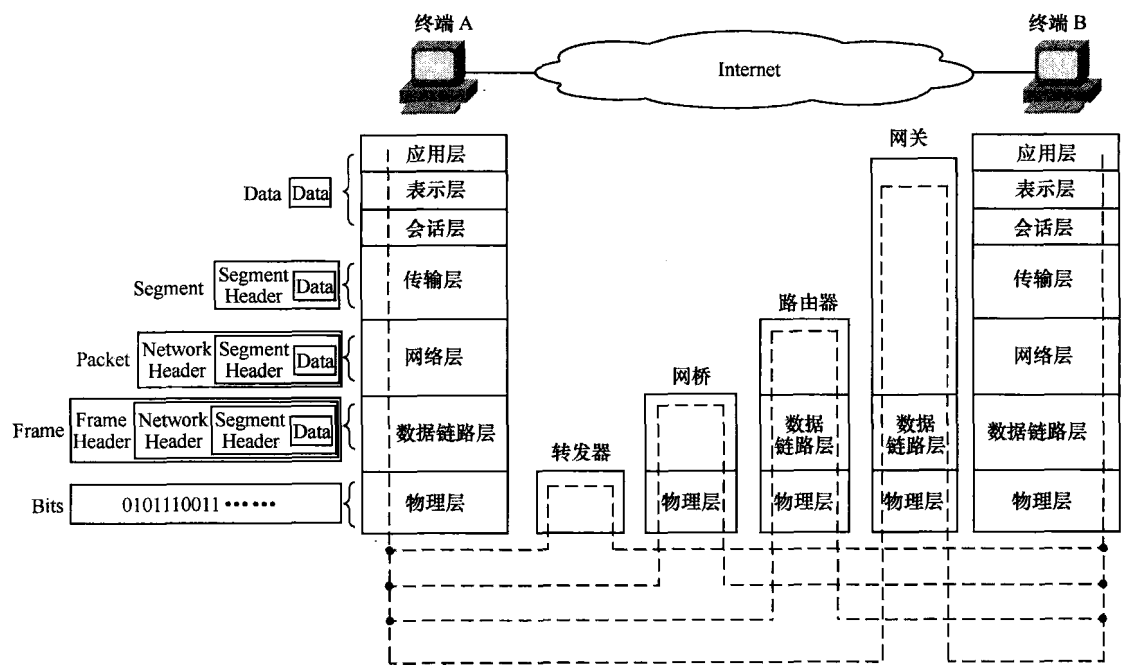


图 1.3 网络设备与 OSI 七层模型协议的对应关系

(1) 转发器 (repeater)：也称中继器，指物理层互连设备。物理层的连接，只是信息的复制，以增加两端的长度。因此，用中继器连接的两个网段仍共同处于一个冲突域。

在实际组网时，每种传输介质其传输距离都是有限的，例如，粗同轴电缆每一网段的最大距离为 500m，细同轴电缆为 180m，双绞线为 100m，超过这些距离，就需要利用转发器来扩展距离。转发器的功能就是将经过衰减而变得不健全的信号，经过整理、放大后，再继续传送。

集线器 (hub) 也属于中继器，可以看成是一种多端口的中继器，是共享带宽式的，其带宽由它的端口平均分配，如总带宽为 100Mbit/s 的集线器，连接 5 台工作站同时上网时，每台工作站平均带宽仅为 100/5=20Mbit/s。

交换式集线器 (也称局域网交换机) 属于二层设备，每一端口都有其专用的带宽，如 100Mbit/s 的交换式集线器，指每个端口都有 100Mbit/s 的带宽。

交换式集线器和集线器普遍采用自适应技术，自动适应 100Mbit/s 和 10Mbit/s 速率。这

类交换式集线器和集线器按照以下顺序适应工作速率：100Mbit/s 全双工、100Mbit/s 半双工、10Mbit/s 全双工、10Mbit/s 半双工。在不需用户参与设定的情况下，自动以最高速率连接。

(2) 网桥 (bridge)：也称桥接器，指数据链路层互连设备，链路层的帧中继。用于连接两个网段，但两个网段仍共同处于一个广播域。

网桥具有信号过滤的功能，对每个帧进行分析，根据信宿介质访问地址来决定数据的去向。

网桥具有传输高层协议的透明性，在数据链路层上操作，无需检查高层的信息。

传统的网桥只有两个端口，而多端口的网桥则称为二层交换机，也是用得比较多的，都属于二层设备。

(3) 交换机 (Switch)：数据链路层或网络层以上的互连设备。目前有 ATM、以太网交换机或二层交换机、三层交换机，四层交换机、多层交换机等。也可以将路由器和二层交换机的功能集成到一起，称做路由交换机或交换路由器。多种交换机可提供路由转换、多协议转换、包交换等功能。

二层交换机也称为交换式集线器，它的出现是为了解决连接在集线器上的所有主机共享可用带宽的缺陷，它通过为需要通信的两台主机直接建立专用的通信信道来增加可用带宽。二层交换机没有过滤广播通信的功能，所有接口所连接的主机共同构成一个广播域。

(4) 路由器 (Router)：指网络层互连设备。网络层上实现网络的互连，是一种智能型节点设备，具有连接、地址判断、路由选择、数据处理和网络管理功能，并对数据报进行检测，决定发送方向。因为它处于网络层，一方面能够跨越不同的物理网络类型，如 DDN、FDDI、ATM 等，另一方面将整个互连网络分割成逻辑上相对独立的网络单位，使网络具有一定的逻辑结构。路由器有能力过滤广播消息。实际上，除非用做特殊配置，否则路由器从不转发广播类型的数据包。因此，路由器的每个端口所连接的网络都独自构成一个广播域。

路由器是网络中进行网间连接的关键设备，它的基本功能是把数据报传送到正确的网络中去，具体包括：数据报的转发、子网隔离、维护路由表、差错处理及简单的拥塞控制、对数据报的过滤和记忆，并与其他路由器交换路由信息等功能。

(5) 网关 (Gateway)：指网络层以上互连设备。可连接不同工作协议的主机设备，通过对不同协议的转换，实现网络间的互连，通常用于异型网的连接，要求顶层协议相同。

(6) 四层交换机或会话交换机：是基于“数据流”的概念来进行数据报文的寻径转发的，可以实现“一次路由，多次交换”。

四层交换的特点为：可通过检查端口号，识别不同报文的应用类型，从而根据应用对数据流进行分类；可根据数据流应用类型，提供 QoS 和流量统计；网络中传输的数据可以认为是在特定的时间内，由特定的目的和源之间的数据流组成的；可依据设备数据流的信息对数据报文实现交换；可方便网络管理者根据数据流的应用类型，定义不同的优先级和 QoS。例如，可以为视频用户分配高优先权、带宽等。

每台四层交换机都保存一个与被选择的服务器相匹配的源 IP 地址，以及与源 TCP 端口相关连的连接表，然后四层交换机向这台服务器转发连接请求。所有后续包在客户机与服务器之间重新映射和转发，直到交换机发现会话为止。四层交换中数据包的传输不仅依据 MAC 地址或源/目标 IP 地址，还要依据 TCP/UDP 的端口地址。端口地址代表了不同的业务协议，所以第四层交换不仅进行了物理上的交换，还包括了业务上的交换；第四层交换的交换域是

由源端和终端 IP 地址、TCP 和 UDP 端口共同决定的，因此，四层交换机也称“会话交换机”。

(7) 服务器 (Server): 大多数服务器是网络的核心 (当然对等网也可以没有服务器)。作为普通的办公、教学等应用，服务器可以采用一般配置较高的普通计算机；应用要求高的地方，如证券所等；则采用专用的服务器。专用服务器比普通计算机具有更好的安全性和可靠性，更加注重系统的 I/O 吞吐能力，一般采用双电源、热拔插、SCSI RAID 硬盘等技术。

(8) 网络适配器 (Network Adapter): 指网卡等，它的主要作用是将计算机数据转换为能够通过介质传输的信号。当网络适配器传输数据时，它首先接收来自计算机的数据，为数据附加自己的包含校验及网卡地址的报头，然后将数据转换为可通过传输介质发送的信号。

(9) 防火墙 (Fire Wall): 在互联网的子网 (或专用网) 与互连网之间设置的安全隔离设施，可提供接入控制，干预两网之间各种消息的传递等，达到网络和信息安全的效果。

(10) IP 交换 (IP Switching): 即 IP 交换机。IP 交换机可以由 ATM 交换机和 IP 交换控制器组成。

(11) IP 电话 (IP Phone): 在 IP 网上提供的具有一定服务质量的语音业务的终端设备。

(12) (IP 电话) 网守 [(IP Phone) Gatekeeper]: 也称关守，是在 IP 电话网上提供地址解析和接入认证的设备。

(13) 网络终端 (PC、支持数据通信的移动台等): 通常都具有由高层到低层的完备功能。

(14) 七层交换机或高层智能交换: 第七层交换技术可以定义为数据包的传送不仅仅依据 MAC 地址、IP 地址以及 TCP/UDP 端口，而且可以根据内容进行传送。七层交换是以进程和内容级别为主的交换。高层由于和应用相关，这时候的交换就有了智能性，交换机具有了区别各种高层应用和识别内容的能力。这时的交换机不仅能根据数据包的 IP 地址、端口地址来传送数据，而且还能打开数据包，进入数据包内部，根据包中的信息做出负载均衡、内容识别等判断。目前关于第七层交换功能还没有具体的标准。

(15) Web 交换机: 高层交换技术的一个典型应用就是 Web 交换机。在目前 Internet 网站上的信息量和访问急剧增长的前提下，怎样使每个用户都可以得到 QoS 的保证是一个越来越重要的问题。所以必须提供一种处于中心地位的交换机，即 Web 交换机，来组织数据中心交换。Web 交换机的基本功能是：组织数据中心，提供对外一致服务界面，管理数据的流向与路由，负载均衡，提供 QoS 和 CoS (服务等级) 以及请求会话定向。为了实现上述功能，基于内容 Web 交换机必须检查 4~7 层的协议字段来获取信息，以处理数据流的管理和定向。目前，Web 交换机主要设计方案有 3 种：集中式 CPU 模式、分布式处理系统和二级混合模式。

1.2 网络层

网络层利用数据链路层和物理层提供的服务来实现传输层的通信，将数据包从源网络发送到目的网络。通常网络层设备的每一个接口都有存在于 OSI 参考模型的第三层的网络层地址，又称协议地址或逻辑地址。在 Internet 中，网络设备的网络层地址必须是全球唯一的。不同的网络层协议具有不同的地址格式，目前 TCP/IP 协议栈也有两种地址格式：IPv4 和 IPv6。

1.2.1 网络层协议概述

网络层设备通过运行路由协议来计算到目的地的最佳路由，找到数据包应该转发的下一