



十二五

21世纪高等学校计算机公共课程“十二五”规划教材

计算机网络 技术及应用

jisuanji wangluo
jishu ji yingyong

李环 编 著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



21 世纪高等学校计算机公共课程“十二五”规划教材

计算机网络技术及应用

李 环 编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书较为系统地讲述了计算机网络的基本原理、技术与网络应用。全书共分7章,分别介绍了计算机网络概论、网络设备与传输介质、网络通信协议、局域网技术、Internet 技术与应用、搭建网络服务器及网络安全与管理。

本书内容丰富、结构严谨。在由浅入深、循序渐进地讲述网络的基本概念和原理的同时,注重计算机网络的实际应用,每个章节重要的知识点都配有精心设计的案例和实验指导。

本书适合作为高校本科计算机网络课程的教材,尤其适用于应用型人才培养,也可以作为计算机网络及其应用方面的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络技术及应用/李环编著. —北京:中国
铁道出版社,2012.9

21世纪高等学校计算机公共课程“十二五”规划教材
ISBN 978-7-113-14024-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 007554 号

书 名: 计算机网络技术及应用

作 者: 李 环 编著

策 划: 杨 勇

读者热线: 400-668-0820

责任编辑: 吴宏伟

编辑助理: 胡京平 姚文娟

封面设计: 付 巍

封面制作: 刘 颖

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.51eds.com>

印 刷: 河北新华第二印刷有限责任公司

版 次: 2012年9月第1版 2012年9月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 20.5 字数: 501千

印 数: 1~3 000册

书 号: ISBN 978-7-113-14024-3

定 价: 39.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010)63550836

打击盗版举报电话:(010)63549504

随着计算机网络技术的飞速发展,结合我国网络发展的需要,考虑高等学校网络课程教学的实际情况,我们将计算机网络按不同的层次进行教学,第一类为注重理论为主的研究型人才培养教学模式,第二类为以理论为基础的培养网络工程师为主教学模式,第三类是以了解网络基本理论为前提,以实际应用为主的非计算机专业的培养模式。本书就是以第二类为主和第三类为辅的模式编写的。

全书共分为7章,各章内容如下:

第1章 计算机网络概论,介绍计算机网络的发展、定义、分类、组成和计算机网络的体系结构等网络的基本知识。第2章 网络设备与传输介质,介绍了有线、无线传输介质、网卡、调制解调器、集线器、网桥、交换机、路由器等通信设备,以及设备的配置、接入和使用方法。第3章 网络通信协议,介绍了用于网络通信的协议,包括IP协议、ARP协议、ICMP协议、RIP协议、OSPF协议、TCP和UDP协议,还讲述了如何使用Wireshark软件捕获这些协议包进行分析。第4章 局域网技术,介绍了局域网的体系结构、常用的以太网、高速以太网、虚拟局域网、无线网络,通过实验方式讲解了VLAN的设置,网络打印机的设置,如何搭建小型无线局域网。第5章 Internet技术与应用,讲述了Internet的相关技术,介绍了Internet的接入技术、Web资源浏览、文件的上传和下载、电子邮件的接收与发送。通过实验讲解了FTP的工作过程和FTP使用方法,电子邮件的原理和邮件的仿真交互过程,最后通过QQ和飞信的安装与使用讲解了即时通信的过程和原理。第6章 搭建网络服务器,描述了Internet应用中各服务器的工作原理,介绍了DNS、WWW、FTP、E-mail、DHCP服务器的搭建。第7章 网络安全与管理,主要讨论了网络管理的功能、网络管理模型、SNMP体系结构、Internet标准的管理框架、管理系统结构SMI、管理信息库MIB、简单网络管理协议,讲述了网络安全的基本概念、密码技术、认证技术、网络访问控制技术、防火墙技术,通过实例介绍了基于CISCO路由器的网络安全配置方法,最后结合实验介绍Windows防火墙的配置和使用,虚拟专用网络的实现,IPSec服务器的安全配置,使用PGP加密邮件,使用Nessus进行网络漏洞扫描,安装和配置SNMP,使用MRTG进行网络流量监控。

本书的特色及创新点表现在:

① 案例丰富,易于学生理解和接受。本书的编写从简单的概念或者学生的兴趣点入手,逐步引深,力求将网络的知识点讲清、讲透,每个重要的知识点后增加一些实例辅助教学,达到理论联系实际的目的。

② 贴近实际,符合应用型人才培养目标。本书作者从事网络实践工作20多年,执教计算机网络课程已达15年,本书的编写融入了作者多年的工作和教学经验,不仅注重网络理论知

识教授，还注重培养学生应用水平的提高，并力图反映网络发展的新技术。

③ 最新的网络技术和网络工具的整合。各章节配备有实验指导，为培养学生的动手能力提供了方便。

④ 注重综合能力的培养。本书从网络原理、网络工程、网络管理、网络安全等诸多方面讲解网络技术与应用，意在培养卓越的网络工程师。

⑤ 每章均附有习题，包括选择题、填空题、简答题和实验题，这些题目和书中内容紧密相关。

本教材建议授课时数为 54 学时，教师可以根据具体情况调整，如果只有 36 学时的教学时数，可以考虑减少协议分析部分的教学用时。

编写本书正值建党 90 周年，有幸得到首都师范大学党委教师党支部书记培养资助项目资助，在编写过程中得到了杨勇、赵宇明、苏群、徐晓新、苏琳等教授的关心和帮助；本书的出版得到了中国铁道出版社的大力支持，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免有错误和疏漏之处，恳请广大读者不吝指正，在此表示衷心感谢。

编者

2012 年 5 月

第 1 章 计算机网络概论	1
1.1 计算机网络的形成与发展	1
1.1.1 计算机网络的产生	1
1.1.2 计算机网络的发展	2
1.2 计算机网络的定义与分类	2
1.2.1 计算机网络的定义	2
1.2.2 计算机网络的组成	3
1.2.3 计算机网络的分类	3
1.2.4 计算机网络的拓扑机构	4
1.3 计算机网络的功能与应用	5
1.3.1 网络的基本功能	5
1.3.2 网络的应用	6
1.4 计算机网络的性能指标	6
1.5 计算机网络的体系结构	9
1.5.1 网络体系结构的基本概念	9
1.5.2 OSI 参考模型	12
1.5.3 TCP/IP 参考模型	14
1.5.4 原理体系结构参考模型	15
习题	16
第 2 章 网络设备与传输介质	17
2.1 传输介质	17
2.1.1 双绞线	17
2.1.2 光纤	19
2.1.3 无线传输介质	21
2.2 物理层上的网络设备	23
2.2.1 集线器	23
2.2.2 调制解调器	24
2.3 数据链路层上的网络设备	27
2.3.1 网卡	27
2.3.2 网桥	30
2.3.3 二层交换机	31
2.4 网络层的网络设备	34
2.4.1 路由器	34
2.4.2 三层交换机	40
2.5 无线网络设备	41

第 1 章 计算机网络概论

随着计算机的普及和计算机技术的高速发展，计算机网络已经渗透到社会生产的各个领域，为了让读者对计算机网络有一个全面的认识，本章在讨论网络的形成与发展历史的基础上，对网络的定义、分类与拓扑结构等问题进行了探讨，介绍了计算机网络的性能指标，最后重点讨论计算机网络体系结构。

学习目标：

- 了解计算机网络的发展；
- 重点掌握计算机网络的定义和分类；
- 了解计算机网络的拓扑结构；
- 掌握计算机网络的组成；
- 了解网络的功能与网络的应用；
- 掌握 OSI/RM、TCP/IP 体系结构；
- 重点掌握五层原理体系结构。

1.1 计算机网络的形成与发展

计算机网络是计算机技术和通信技术结合的产物，随着网络技术的发展，计算机网络在人们日常生活中起着越来越重要的作用。

1.1.1 计算机网络的产生

随着计算机应用的发展，提出了多台计算机互连的问题，人们希望通过互连实现不同地域的软、硬件和数据资源的共享，20 世纪 60 年代美国国防部高级研究计划署研制的 ARPAnet 对计算机网络的发展起了里程碑的作用，ARPAnet 从 1969 年的 4 个结点发展到 1983 年的 100 多个结点，这之后计算机网络如雨后春笋般地迅速发展起来，至今已经无法准确统计其结点数，计算机网络通过有线、无线和卫星可以覆盖世界的大部分地域。

ARPAnet 对计算机网络的发展主要贡献表现在：

- ① 完成了对计算机网络的定义分类与研究内容的描述；
- ② 提出了资源子网和通信子网的两级网络结构的概念；
- ③ 研究了报文分组交换的数据交换方法；
- ④ 采用了层次结构的网络体系结构模型与协议体系；
- ⑤ 促进了 TCP/IP 协议的发展；
- ⑥ 为 Internet 的形成与发展奠定了基础。

ARPAnet 的研究成果对世界计算机网络的发展具有深远的影响，在此基础上出现了大量的

计算机网络,例如,美国加利福尼亚大学劳伦斯原子能研究所的 Octopus、法国信息与自动化研究所的 Cyclades、国际气象监测网 WWWN、欧洲情报网 EIN 等。

20 世纪 80 年代随着个人计算机的推广,基于 PC 的局域网纷纷出现,其特点是在共享介质(如同轴电缆、光纤)通信网平台上的共享文件服务器,形成了客户机/服务器模式。

为了实现计算机网络通信,采用了分层解决网络技术问题的方法,由于存在着不同的分层网络体系结构,20 世纪 80 年代国际标准化组织 ISO 颁布了“开放系统互连基本参考模型(OSI)”国际标准。

20 世纪 90 年代,自美国宣布建立国家信息基础设施(National Information Infrastructure, NII)后,各国相继制定和建立本国的 NII,从而极大地推动了计算机网络的发展。

20 世纪 90 年代末,IP 技术得到迅速发展,由于 IP 网络具有天然的开放性,IP 网络的新业务层出不穷。

21 世纪初基于计算机网络的云计算,将深刻地改变人们工作和企业运作方式,也将推动计算机网络技术的深入应用。

包含下一代传送网、下一代接入网、下一代交换网、下一代互联网以及下一代移动网的下一代网络(Next Generation Network, NGN)将提供语音、数据及多媒体业务,实现各网终端用户之间的业务互通及共享的融合网络。

1.1.2 计算机网络的发展

计算机网络发展大致分为 4 个阶段:

第一阶段是 20 世纪 50 年代,实现了计算机技术和通信技术结合,为计算机网络的产生奠定了理论基础。

第二阶段是 20 世纪 60 年代,以 ARPAnet 和分组交换技术为代表,是计算机网络发展的里程碑,为今天的 Internet 奠定了基础。

第三阶段是 20 世纪 70 年代,各种广域网、局域网和公用分组交换网的迅速发展,国际标准化组织提出了开放系统参考模型与网络协议,从理论上阐述了计算机网络发展的标准。

第四阶段是 20 世纪 90 年代,Internet、高速通信网络、无线网络的广泛应用,网络安全技术、宽带城域网、移动网络计算、多媒体网络、网络并行计算、信息高速公路、数据挖掘等将继续成为网络研究的热点。

1.2 计算机网络的定义与分类

1.2.1 计算机网络的定义

对于计算机网络的定义各种资料不尽相同,大体可以分为广义的观点、资源共享的观点和用户透明的观点,目前较为被大家认可的是资源共享的观点。

计算机网络定义为:将不同地域的具有独立功能的计算机系统和设备,通过通信设备和通信线路按照一定的形式连接起来,以功能完善的网络软件实现资源共享和信息传递的系统。

概括起来,计算机网络应该具备 3 个基本要素:

① 网络中的计算机是具有独立功能的计算机,即“自治计算机”,该要素点明了计算机网络不同于主机系统。

② 计算机之间进行通信必须遵循共同的标准和协议。

③ 计算机网络的目的是资源共享，资源包括计算机的软件资源、硬件资源以及用户数据资源，网络中的用户不仅可以使用本地资源，还可以通过网络部分或完全使用远程网络的计算机资源，或者通过网络共同完成某项任务。

1.2.2 计算机网络的组成

计算机网络从逻辑功能上可以分为资源子网和通信子网，如图 1-1 所示。

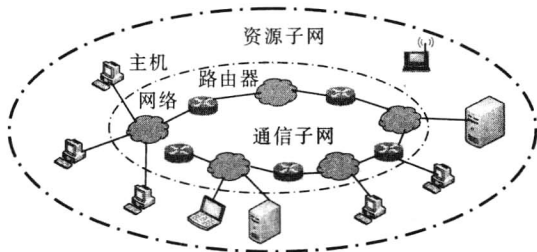


图 1-1 计算机网络的组成

资源子网由计算机系统、网络终端、外围设备、各种软件资源与数据资源组成，负责全网的数据处理，为全网用户提供网络资源和网络服务。通信子网由通信控制处理机、通信线路和其他通信设备组成，负责数据传输和转发等通信工作。

1.2.3 计算机网络的分类

计算机网络可以从不同的角度进行不同的分类。

1. 按作用范围分类

按作用范围的不同，计算机网络可分为局域网、城域网和广域网。

(1) 局域网

局域网 (Local Area Network, LAN) 是指地理覆盖范围在几十千米以内的计算机网络，一般由一个单位或者一个部门组建、维护和管理。

局域网特点如下：

- ① 覆盖范围小。
- ② 信道带宽大，数据传输率高，一般在 $10 \sim 1\,000$ Mbit/s，数据传输延时小，误码率低。
- ③ 易于安装，便于维护。
- ④ 局域网的拓扑结构简单，常用总线形、星形、环形结构。常用的传输媒体是双绞线、同轴电缆、光缆或无线传输媒体。

(2) 城域网

城域网 (Metropolitan Area Network, MAN) 的地理覆盖范围为一个城市或地区，一般为 $5 \sim 50$ km，数据传输速率一般为 30 Mbit/s \sim 1 Gbit/s，城域网由政府或者大型企业集团、公司组建，传输媒体主要是光纤。

城域网的实现标准是分布式队列双总线 (DQDB)，DQDB 现在已经成为国际标准，标准号为 IEEE 802.6。

(3) 广域网

广域网 (Wide Area Network, WAN) 的地理覆盖范围在 50 km 以上, 遍布一个国家或地区、甚至全世界。广域网的拓扑结构比较复杂, 常规情况下是借助传统的公共传输网来实现广域网的连接, 例如公共电话网 (PSTN)、中国分组交换网 (ChinaPAC)、中国数字数据网 (ChinaDDN)、中国帧中继 (ChinaFRN) 和综合业务数字网 (ISDN), ChinaNet 就是借助了 ChinaDDN 提供的高速中继线路, 使用高速路由器组成的覆盖中国各省市并连接 Internet 的计算机广域网。

2. 按传输媒体分类

按传输媒体的不同, 计算机网络又可分为有线网络和无线网络。

(1) 有线网络

采用双绞线、同轴电缆、光纤等物理媒体来连接的计算机网络称为有线网络。

双绞线网络是目前常用的局域网连网方式。其特点是价格便宜, 安装方便, 但抗干扰能力差。同轴电缆网络比较经济, 安装较为便利, 抗干扰能力一般。光纤网络传输距离长, 传输速率高, 抗干扰能力强, 价格较双绞线和同轴电缆都高。

(2) 无线网络

采用微波、红外线和无线电短波作为传输媒体的计算机网络称为无线网络。无线网络易于安装和使用, 但传输速率低, 误码率高, 站点之间容易存在干扰。

3. 按数据传输交换方式分类

计算机网络按数据传输交换方式可以分为电路交换网、存储-转发交换网, 如图 1-2 所示。

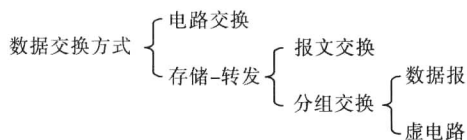


图 1-2 数据交换方式

4. 按网络组建、经营和管理方式分类

按网络组建、经营和管理方式划分, 计算机网络可以分为公用网和专用网, 公用网为全社会所有人提供服务, 专用网为一个或几个部门所拥有, 只为拥有者提供服务。

5. 按网络协议分类

根据采用网络协议的不同, 可以把计算机网络分为以太网、令牌 (令牌) 环网、FDDI 网、ATM 网、X.25 网、TCP/IP 网等。

1.2.4 计算机网络的拓扑机构

对计算机网络定义“通信设备和通信线路按照一定的形式连接起来”中所提到的“一定的形式”指的就是网络的拓扑结构, 即代表计算机、通信设备的结点和通信链路所组成的几何形状。

常见的网络拓扑结构有: 星形、总线形、环形、树形, 对应的网络类型有星形网、总线形网络、环形网络、树形网络, 图 1-3 给出了常用的计算机网络拓扑结构。

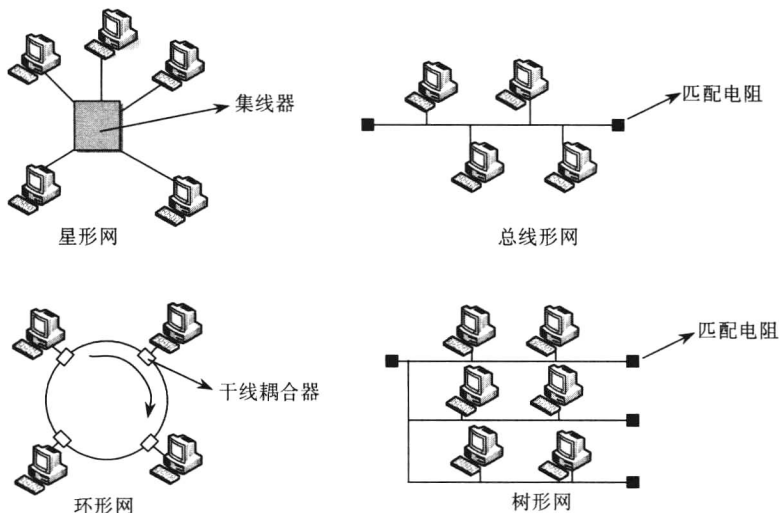


图 1-3 常用的计算机网络拓扑结构

1.3 计算机网络的功能与应用

以上从网络的形成、定义、组成、分类和网络的拓扑结构了解了什么是计算机网络，下面从网络的功能和常见的网络应用来继续了解计算机网络。

1.3.1 网络的基本功能

网络的基本功能包括：

(1) 资源共享

这里讲的资源包括各种软件资源、硬件资源和数据库资源。硬件资源不仅包括大容量存储器、绘图仪、激光打印机等设备，还包括计算机的处理能力以及网络信道带宽（速率、容量）；软件资源是指网络内用户可以共享网络内部的软件共享，避免在软件建设中的重复劳动和重复投资，共享的软件包括系统软件、应用软件和控制软件；数据库资源包含将分散的信息集中处理、分析，甚至调用共享网络内的共享数据库资源，为用户充分利用网络数据资源提供方便。

(2) 数据信息的快速传递

通过通信线路实现不同地域的主机与主机之间、主机与终端之间数据和程序的快速传递。

(3) 实现数据的集中和综合处理

通过网络将许多计算机系统有机地连接起来，实现实时的集中或者分级管理，使各部分协同工作，从而提高系统的处理能力。

(4) 负载均衡与分布式处理

在网络内有很多子处理系统，当某个子处理系统内的负载过重时，通过网络平台将任务分散到其他相对空闲的子系统完成分布式处理，从而达到充分发挥网内各处理系统的负载能力。

(5) 提高系统的可靠性和可用性

在计算机网络中，当某一部分发生故障时，可以使用其他的链路或者代理系统来完成传输或处理的工作，保证用户对网络的使用；网络还可以提供服务器（包括应用服务器、数据库服

务器等)备份实现系统或数据的可靠性和可用性。

除了以上常用功能外,网络还可以为用户提供更为全面的服务项目,并可以图像、声音、动画、视频等多媒体方式传输和处理信息,随着计算机技术的发展,网络也将为人类提供更多的功能。

1.3.2 网络的应用

随着网络技术的发展,在社会中的应用也就越来越广泛,如:

(1) 办公自动化

办公自动化是无纸化办公的一种重要手段,是通过网络实现公文处理、公文流转、会议管理、日程安排、信息发布、信息共享、实时交流、网络视频会议等多种功能于一体的系统。

(2) 电子数据交换

电子数据交换通过网络使企业和企业、企业与事业、事业与事业等单位实现贸易、保险、银行、海关、税务等多行业的电子数据交换。

(3) 证券、期货和现货交易

通过网络实时地向证券、期货、现货投资者提供交易行情、资金管理等方面的服务,投资者可以利用计算机或者手机等通信工具实现实时交易。

(4) 电子银行

通过网络实现银行账户信息查询、转账、付款的一种新型的金融服务系统。

(5) 现代化的交流平台

通过网络传递电子邮件、QQ聊天、传输文件、MSN网络视频等多媒体方式,构成了现代化的交流平台。

(6) 远程通信

远程教育和远程医疗构成了远程在线服务的一种新型服务方式被广泛应用。未来计算机网络和通信技术结合将更加紧密,人们可以在任何时候、任何地方通过网络联系起来。

Internet2已经成为下一代互联网建设的代名词,2004年我国第一个下一代互联网主干网——CERNET2(第二代中国教育和科研计算机网)试验网正式开通,相信通过下一代网络开辟新的应用服务指日可待,在远程教育、远程医疗、虚拟的实验室、分布式计算、分布式视频的传送、大气环境的检测、先进制造、军事、防灾减灾等领域发挥重要的作用。

1.4 计算机网络的性能指标

计算机网络的性能指标可以从不同角度衡量网络的性能,常用的性能指标有速率、带宽、吞吐量、时延、时延带宽积等。

(1) 速率

速率是指在计算机网络上的主机在数字信道上传送数据的效率,又称数据率(data rate)或比特率(bit rate),是计算机网络中的一个重要指标,速率的单位是比特每秒(bit/s)或者kbit/s、Mbit/s、Gbit/s、Tbit/s等,1 Tbit/s= 10^{12} bit/s,1 Gbit/s= 10^9 bit/s,1 Mbit/s= 10^6 bit/s,1 kbit/s= 10^3 bit/s,很多情况下也写为bps(bit per second),现在很多人用不太严格的说法来描述网络速率,如2 Gbit/s的主干线路,称之为2 G,只留词头省略了后面的单位符号bit/s。

(2) 带宽

带宽(bandwidth)有两种不同的含义:

在过去很长的一段时间内, 电信线路传送的信号是模拟信号(连续变化的信号), 表示通信线路允许通过的信号频带范围称为带宽, 所以带宽原意就是指信号具有的频带宽度, 是指信号所包含的各种不同频率成分所占用的频率范围。例如, 电话信号的标准带宽为 3.1 kHz (300 Hz~3.4kHz, 即语音的频率范围), 这种意义上的带宽单位是 Hz(或者是 kHz、MHz、GHz)。

在计算机网络中, 用带宽来表示网络通信线路所能传送数据的能力, 是指单位时间内从网络的某一结点到另一个结点所能通过的最高数据率, 单位是比特每秒 (bit/s) 或者千比特每秒 (kbit/s)、兆比特每秒 (Mbit/s)、吉比特每秒 (Gbit/s) 和太比特每秒 (Tbit/s)。

(3) 吞吐量

吞吐量 (throughput) 是指在单位时间内通过某个网络的数据量。网络的吞吐量和网络的带宽及速率相关, 吞吐量一般用于对实际网络性能评价指标的一种度量, 从而知道网络实际通过的数据量, 例如 100 Mbit/s 的快速以太网, 其额定速率为 100 Mbit/s, 但其实际吞吐量可能只有 70 Mbit/s, 吞吐量可以用每秒传送的字节数表示, 也可以用每秒传送的帧数 (帧为网络中数据传送的一个数据单位) 表示。

(4) 时延

时延 (delay) 是指一个数据单位从网络的一端传送到另一端所需要的时间, 是一个非常重要的网络性能指标。计算机网络的时延包括发送时延、传播时延、处理时延、排队时延, 总的时延是这些时延之和。

① 发送时延: 产生在发送数据端 (主机或者路由器), 数据帧从一个结点发送到传输媒体所需要的时间, 也就是发送一个数据帧的第一个比特开始到该帧的最后一个比特结束所需要的时间。

发送时延的大小和数据块长度成正比, 和带宽成反比。

$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据块长度 (bit)}}{\text{信道带宽 (bit/s)}}$$

② 传播时延: 电磁波在信道中传播需要一定的时间, 传播时延和信道长度及信号在信道上传播的传播速率相关。

$$\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度 (m)}}{\text{信号在信道上的传播速率 (m/s)}}$$

电磁波在大气空间传播的速率为 3.0×10^8 km/s, 在铜线电缆中的传播速率为 2.3×10^8 km/s, 在光纤中的传播速率为 2.0×10^8 km/s。例如在 1 km 的大气空间中, 产生的传播时延大约为 3 ms。

③ 处理时延: 数据在传输过程中经过了若干个中间路由器, 路由器和主机在收到分组或数据报时要花费一定的时间进行处理, 如分析数据报的首部信息, 从中提取目的 IP 地址, 查找适当的路由, 决定如何转发, 提取数据部分, 进行差错检验, 数据在传输过程中进行处理所花费的时间为处理时延。

④ 排队时延: 分组在网络传输过程中, 要经过多个路由器, 分组在进入路由器后, 先在输入队列中排队等待处理, 路由器确定转发端口后, 分组还要在输出队列中等待发送, 从而产生的时延为排队时延。排队时延的大小和路由器的处理能力以及网络当时的通信量有关, 当网络通信量很大时, 缓存中的空间有限, 会产生溢出现象, 造成分组丢失。

数据在网络中所经历的总时延是以上 4 种时延之和:

$$\text{总时延} = \text{发送时延} + \text{传播时延} + \text{处理时延} + \text{排队时延}$$

图 1-4 给出了 4 种时延产生的位置。

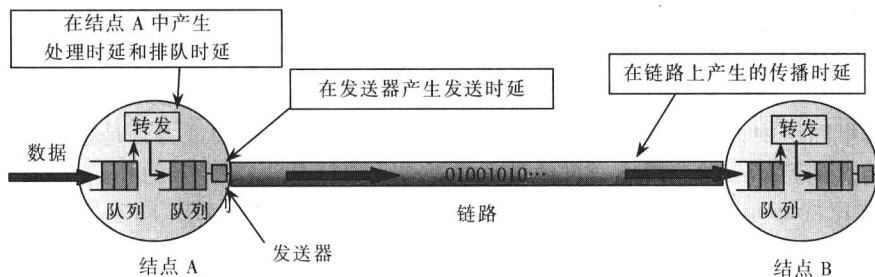


图 1-4 4 种时延产生的位置

传播速率和发送速率是两个不同的概念，刚开始学习网络知识的人容易产生一个错误的概念，“在高速链路上，比特流应该传输得更快”，就像在高速公路上汽车可以行驶得更快一样，其实不然，在高速链路上，提高的是数据的发送速率，跟传播速率无关，通常意义上讲“光纤的传输速率高”是指向光纤信道上发送数据的速率高，而光在光纤信道中的传播速率为 $20.5 \times 10^4 \text{ km/s}$ ，比电磁波在铜导线（5 类双绞线）中的传播速率（ $23.1 \times 10^4 \text{ km/s}$ ）还低。

(5) 时延带宽积

时延带宽积是指任意给定的时间内链路上传输的数据量。

$$\text{时延带宽积} = \text{传播时延} \times \text{带宽}$$

用图 1-5 来说明时延带宽积，在图中的圆柱形管道代表传输链路，管道的长度表示为链路的传播时延，截面积表示带宽，因此时延带宽积就是管道的体积，表明链路中可以容纳的比特数。例如某段链路的时延为 10 ms ，带宽为 100 Mbit/s ，则其时延带宽积为 $10 \times 10^{-3} \times 100 \times 10^6 = 10^6 \text{ bit}$ 。表明若发送端连续发送数据，在第一个比特即将到达终点时，发送端已经发送了 10^6 bit ，这 10^6 bit 正在链路上传输，所以时延带宽积又称以比特为单位的链路长度。

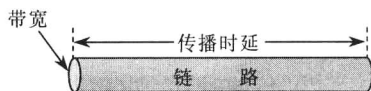


图 1-5 时延带宽积

(6) 往返时间

在计算机网络中还有一个重要的性能指标就是往返时间 RTT (Round-Trip Time)，往返时间是从发送方发送数据开始，到收到来自接收方的确认为止，总共经历的时间。往返时间不仅包含了链路中所有结点的发送时延、链路上的传播时延，还包括了中间结点的处理时延和等待时延。

往返时间不仅与发送数据单位的大小有关，而且和链路的繁忙状态等信息相关。

(7) 利用率

利用率可以分为信道利用率和网络利用率两种，信道利用率是指某信道有百分之几的时间被用来传输数据，完全空闲的信道的利用率为零；网络的利用率是全网中信道利用率的加权平均值。网络中不是信道的利用率越高越好，当利用率增高的时候，其时延也会加大，当网络的通信量继续增加时，中间结点的排队等待时间加大，容易造成分组丢失，发送端重发分组，使得时延急剧增大。如果用 D_0 表示空闲时的时延， D 表示当前的时延，那么网络的利用率 U 和时延 D 的关系用一个简单的公式表示如下：

$$D = \frac{D_0}{1-U}$$

当网络的利用率接近 1 的时候,网络的时延接近无穷大,所以信道或网络的利用率过高会产生非常大的时延,图 1-6 表示了利用率和时延的示意关系。

一般情况下,网络的利用率控制在 50%左右,如一些大的 ISP (Internet 服务提供商)控制其主干信道的利用率为 50%,超过这个数值就要考虑扩容问题,增加信道的带宽等策略。

(8) 其他非性能特征

除了以上常用的性能指标外,还有费用、质量、标准化、可靠性、可扩展性和可升级性、易于管理和维护性等其他非性能特征。

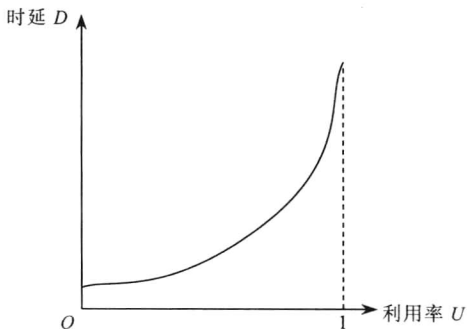


图 1-6 利用率和时延的关系

1.5 计算机网络的体系结构

计算机网络是非常复杂的系统,为了将庞大而复杂的问题转化为较小的局部问题,早在 ARPAnet 设计时就提出了分层的概念,不同的体系结构相继出现。

1.5.1 网络体系结构的基本概念

计算机网络体系结构是计算机网络层次、网络拓扑结构、各层次的功能划分以及每层协议与接口的总称。

网络中的通信是指不同系统中的实体之间的通信。实体是指发送和接收信息的对象,可以是终端、通信进程或者是应用软件。

1. 协议

协议是指在计算机网络中,为了保证两个实体之间能正常进行通信而制定的一整套约定和规则。网络协议有以下 3 个要素:

(1) 语义

语义是控制信息的内容。它规定了需要发出何种控制信息,以及完成的动作与做出的响应。

(2) 语法

语法是数据与控制信息的结构与格式,确定通信时采用的数据格式、编码及信号电平。

(3) 时序

时序是对事件实现顺序的详细说明。

2. 层次

计算机网络是一个非常复杂的系统,为了减少网络协议设计的复杂性,便于维护和管理,所以网络设计采用了层次结构,如图 1-7 所示。

层次结构的具体含义是:

① N 层的实体在实现自身定义的功能时,只使用 $N-1$ 层提供的服务。

② N 层在向 $N+1$ 层提供服务时,不仅包含 N 层本身的功能,还包含由 $N-1$ 层服务提供的功能总和。

③ 最低层只提供服务，是提供服务的基础。最高层是用户，是使用服务的最高层。中间各层既是下一层的用户，又是上一层服务的提供者。

④ 相邻层之间有接口，下层提供服务的具体细节对上层完全屏蔽。

在分层结构中，协议是水平的，而服务是垂直的。具体地说， N 层的功能主要包括 N 层协议和 N 层服务，对 $N+1$ 层透明的是 N 层服务，非透明的是 N 层协议。

同层实体又称对等实体，对等实体间通信必须遵守同层协议。

3. 接口

接口是同一结点内相邻层之间交换信息的界面，接口定义了原语操作以及下层向上层提供的服务。同一系统中相邻两层实体之间通过接口调用服务或提供服务的联系点通常称为服务访问点 (Service Access Point, SAP)，任何层间的服务都在接口的 SAP 上进行的，每个 SAP 都有一个标识它的地址，每个层间接口可以有多个 SAP。接口上下层之间的关系如图 1-8 所示。

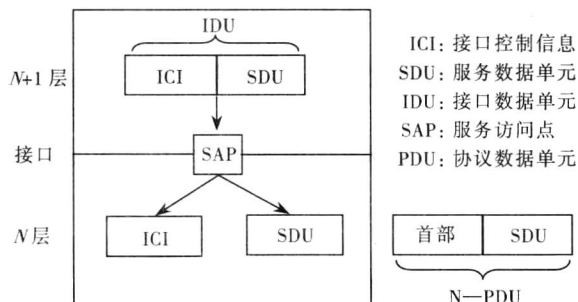


图 1-8 接口上下层之间的关系

4. 数据单元

PDU 是指在不同结点的对等层之间为实现该层协议所交换的数据单元；SDU 是指相邻层实体间传送的数据单元；IDU 由上层的服务数据单元 SDU 和接口控制信息 ICI 组成； $N+1$ 层实体通过 SAP 把 IDU 传给 N 层实体，接口控制信息 ICI 被 N 层实体用来指导其功能任务的执行，不发送给远端的对等实体。 N 层实体将 SDU 分成一段或者几段，每段加上协议的首部构成 PDU 作为传送给远端对等实体的数据单元。

5. 服务原语

服务的提供和请求是通过在服务点 SAP 上服务原语的发送和接收来实现的。服务原语是指相邻层在建立 N 层对 $N+1$ 层提供服务时二者交互所用的广义指令。一个完整的服务原语包括原语名、原语类型、原语参数 3 个部分。例如，一个网络连接建立的请求服务原语的写法如图 1-9 所示。

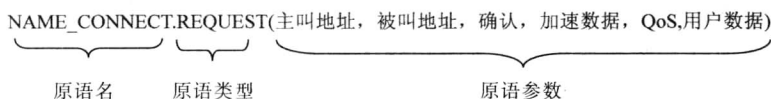


图 1-9 请求服务原语格式

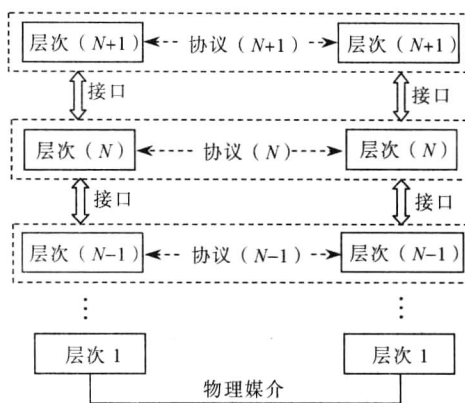


图 1-7 网络分层结构



原语名：表示服务类型。

CONNECT	网络连接
DISCONNECT	释放连接
DATA	数据传输
EXPEDITED -DATA	优先数据传输
REST	复位

原语类型：供用户和其他实体访问该服务时调用，它有请求原语 REQUEST、指示原语 INDICATION、响应原语 RESPONSE 和确认原语 CONFIRM 这 4 种类型。

原语参数：目的服务访问点地址、源服务访问点地址、数据、数据单元、优先级、断开连接的理由等。

图 1-10 示例说明通过服务原语完成对等层之间连接建立的过程。

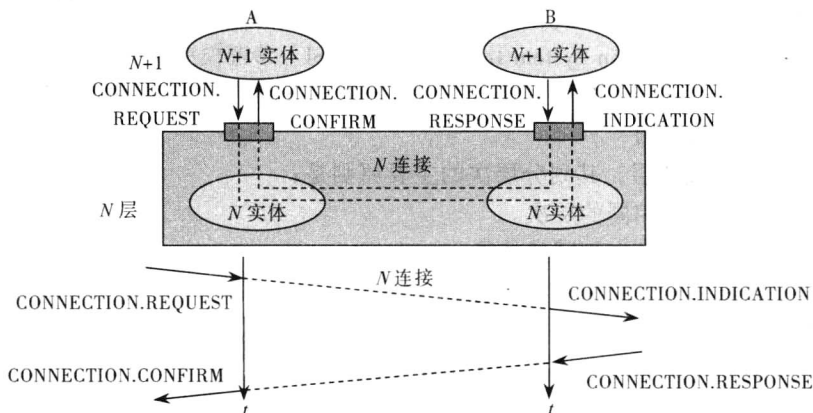


图 1-10 服务原语完成连接建立的过程

N 层连接是通过一组原语实现的。

CONNECTION.REQUEST 连接请求：发送方请求建立连接或发送数据。

CONNECTION.INDICATION 连接指示：通知接收方的用户实体。

CONNECTION.RESPONSE 连接响应：接收方实体通过响应原语表示是否愿意接收连接建立。

CONNECTION.CONFIRM 连接证实：发起连接建立的一方通过连接证实原语来证实连接建立。

连接建立后就可以传送数据了，常规数据传输是 $N+1$ 层实体调用 DATA.REQUEST 原语向 N 层实体请求发送数据， N 层实体接收发过来的数据 DATA PDU，产生响应的 N 层服务原语 DATA.INDICATION，送给 $N+1$ 层实体，完成数据传输。

完成所有数据的传输之后就可以释放连接，正常释放连接的原语有：

DISCONNECT.REQUEST
DISCONNECT.INDICATION

分层体系结构数据的传输是由发送方实体将数据逐层传递给它的下层，直到最下层通过物理媒体实现通信，到达接收方，接收方再逐层向上传递给对等实体，完成对等实体之间的通信。

6. 计算机网络体系结构

计算机网络体系结构 (network architecture) 是指网络层次结构模型与各层次协议的集合。具体地说体系结构定义了计算机网络应设置哪几层，每一层应提供哪些功能，不涉及每一层的硬件和软件的具体实现。由此可见网络体系结构是抽象的，对于同样的体系结构，可以采用不同的硬件和软件实现相应层次的不同功能和接口。