



普通高等教育“十三五”规划教材

计算机网络技术与应用

© 刘江 宋晖 主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十三五”规划教材

计算机网络技术与应用

刘 江 宋 晖 主编

邹启明 蒋中云 朱君波 马剑锋 王志军 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是上海市教育委员会组编的“高等学校‘互联网+’应用能力培养规划教材”，主要介绍互联网的基本概念、体系结构及应用模式。全书分为7章，第1~6章内容包括计算机网络基础、互联网协议标准、网络系统构建、网络安全与管理、网络应用系统、Web应用开发技术，第7章提供了8个实验。本书重点阐述了网络技术与标准，涵盖了无线网络、移动通信网络、云平台、物联网等新知识和应用实例。

本书内容新颖，反映了网络技术的新发展，配备丰富的教学资源，可作为高等学校计算机及相关专业计算机网络课程教材，也可作为理工科计算机基础教育较高层次课程的教材，或者作为计算机工程技术人员的技术参考书。

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

计算机网络技术与应用/刘江, 宋晖主编. —北京: 电子工业出版社, 2019.2

ISBN 978-7-121-35494-6

I. ①计… II. ①刘… ②宋… 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(2018)第251344号

策划编辑: 冉 哲

责任编辑: 底 波

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: 11.75 字数: 300.8千字

版 次: 2019年2月第1版

印 次: 2019年2月第1次印刷

定 价: 35.00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 zltz@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: ran@phei.com.cn。

前 言

本书是上海市教育委员会组编的“高等学校‘互联网+’应用能力培养规划教材”。“互联网+”的普及使网络成为当前社会不可或缺的基础设施,以及日常工作、学习和生活的基本工具,有效地运用互联网为专业领域服务成为大学生应具备的基本素养。

本书面向互联网的前沿技术和应用,从网络基础概念、体系架构、组建技术和方法、网络系统和安全等方面介绍互联网的基本知识和实际应用模式。在教学内容安排上主要围绕网络综合应用的主题来进行组织,突出了学生在“互联网+”时代需要掌握的网络知识和实用技术。

本书分为7章,前6章分别介绍了计算机网络基础、互联网协议标准、网络系统构建、网络安全与管理、网络应用系统、Web应用开发技术,第7章提供了常用网络命令、网络数据包协议分析、交换机认识与配置、路由器认识与配置、家庭局域网组建、系统安全、Web应用开发、云服务器租用和配置8个实验。本书内容涵盖了无线网络、移动通信网络、云平台、物联网等新知识和应用实例。

本书总结编者多年来面向本科生的计算机网络知识的教学经验,凝练教材内容,采用通俗易懂的语言阐述网络的基本概念,简化了网络发展脉络的介绍,摒弃了过时的技术和设备,直接切入当前的新技术和标准。本书深入浅出地从应用视角介绍网络的原理、特性和组建方法,突出“互联网+”应用能力的培养。

为了辅助教师开展教学,配合读者学习,本书在每章后提供了习题。华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费提供电子教案、教学和实验案例、习题解答,注册后即可下载。

本书由刘江和宋晖教授主编,邹启明、蒋中云、朱君波、马剑锋和王志军教师参与了部分章节的编写工作。另外,戴云龙和张洪宽同学帮助整理了书稿的部分实验内容,在此表示感谢。限于水平,不足之处在所难免,敬请读者和同行批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 计算机网络基础	(1)
1.1 计算机网络概述	(1)
1.1.1 计算机网络的组成及功能	(1)
1.1.2 计算机网络分类	(2)
1.1.3 计算机网络拓扑结构	(3)
1.2 数据通信基础	(5)
1.2.1 数据通信基本概念	(5)
1.2.2 数据传输模式	(6)
1.2.3 数据交换技术	(9)
1.3 网络体系结构与协议	(10)
1.3.1 网络体系结构	(10)
1.3.2 ISO-OSI 参考模型	(11)
1.3.3 TCP/IP 体系结构及协议	(12)
1.3.4 移动通信协议	(13)
1.4 网络操作系统	(13)
1.4.1 服务器端操作系统	(14)
1.4.2 客户端操作系统	(15)
习题	(16)
第 2 章 互联网协议标准	(18)
2.1 TCP/IP 协议栈	(18)
2.1.1 TCP/IP 各层功能	(18)
2.1.2 网络数据传输过程	(20)
2.2 网络接口层	(22)
2.2.1 局域网标准	(22)
2.2.2 移动通信网协议	(26)
2.2.3 点对点协议	(26)
2.3 网络互连层	(27)
2.3.1 IP 协议与 IP 地址	(28)
2.3.2 IPv6	(32)
2.3.3 路由协议	(33)
2.3.4 网络层辅助协议	(37)
2.3.5 移动 IP 技术	(39)
2.4 传输层	(41)
2.4.1 端口	(41)

2.4.2	用户数据报协议	(42)
2.4.3	传输控制协议	(42)
2.5	应用层	(45)
2.5.1	域名系统	(46)
2.5.2	超文本传输协议	(47)
2.5.3	文件传输协议	(47)
2.5.4	Telnet 协议	(48)
2.5.5	邮件传输协议	(48)
	习题	(49)
第3章	网络系统构建	(50)
3.1	网络传输和收发设备	(50)
3.1.1	网络传输介质	(50)
3.1.2	网卡	(54)
3.1.3	移动通信模块	(55)
3.1.4	蓝牙模块	(56)
3.2	交换机	(56)
3.2.1	交换机的工作原理	(56)
3.2.2	交换机的分类	(58)
3.2.3	虚拟局域网	(59)
3.3	路由器	(61)
3.3.1	路由器的功能	(61)
3.3.2	路由器的工作原理	(61)
3.4	网关	(63)
3.4.1	网关的功能	(63)
3.4.2	网关的分类	(63)
3.5	互联网接入技术	(64)
3.5.1	广域网与互联网	(64)
3.5.2	互联网接入技术	(65)
3.5.3	互联网接入实例	(69)
3.6	局域网构建实例	(70)
3.6.1	家庭网络局域网构建实例	(70)
3.6.2	小型企业网络组建实例	(72)
3.6.3	校园网组建实例	(74)
	习题	(76)
第4章	网络安全与管理	(77)
4.1	网络安全概述	(77)
4.1.1	网络安全威胁	(77)
4.1.2	网络安全体系	(79)

4.1.3	网络安全标准法规	(80)
4.2	加密与认证技术	(81)
4.2.1	密码学	(81)
4.2.2	公钥基础设施	(83)
4.2.3	身份认证机制	(84)
4.2.4	消息认证技术	(85)
4.3	数据备份与恢复	(86)
4.3.1	备份系统	(86)
4.3.2	备份策略	(87)
4.3.3	个人数据备份	(88)
4.4	网络边界安全	(89)
4.4.1	防火墙技术	(89)
4.4.2	入侵检测技术	(91)
4.4.3	VPN 技术	(93)
4.4.4	SSL/TLS 技术	(94)
4.5	病毒与恶意代码	(96)
4.5.1	恶意代码的分类与特征	(96)
4.5.2	清除与防范技术	(97)
4.6	网络管理	(98)
4.6.1	简单网络管理协议	(99)
4.6.2	远程网络监视协议	(100)
4.6.3	网络管理软件与工具	(100)
	习题	(102)
第 5 章	网络应用系统	(104)
5.1	Web 应用	(104)
5.1.1	Web 应用概述	(104)
5.1.2	Web 应用架构	(105)
5.1.3	Web 服务器和应用服务器	(106)
5.2	移动应用系统	(106)
5.3	电子邮件系统	(107)
5.3.1	电子邮件系统概述	(107)
5.3.2	电子邮件服务	(109)
5.4	搜索引擎	(109)
5.4.1	搜索引擎概述	(109)
5.4.2	常用搜索引擎	(111)
5.5	云计算	(113)
5.5.1	云计算概念	(113)
5.5.2	云计算的关键技术	(114)

5.5.3 云计算服务模型·····	(115)
5.5.4 云计算应用实例·····	(117)
5.6 物联网·····	(118)
5.6.1 物联网体系结构·····	(118)
5.6.2 物联网的关键技术·····	(119)
5.6.3 物联网行业应用·····	(121)
习题·····	(122)
第6章 Web 应用开发技术·····	(123)
6.1 Web 应用开发基础知识·····	(123)
6.1.1 Web 应用开发概述·····	(123)
6.1.2 HTML·····	(125)
6.1.3 CSS 技术·····	(127)
6.2 Dreamweaver 网页开发·····	(129)
6.2.1 网页内容编辑·····	(129)
6.2.2 网页样式编辑·····	(130)
6.2.3 在网页中插入表单元素·····	(132)
6.3 JSP 服务器端开发·····	(134)
6.3.1 搭建 Web 开发环境·····	(134)
6.3.2 JSP 语言基础·····	(137)
6.3.3 JSP 隐式对象·····	(139)
6.3.4 JSP 表单处理·····	(140)
习题·····	(142)
第7章 实验·····	(143)
实验1 常用网络命令·····	(143)
实验2 网络数据包协议分析·····	(147)
实验3 交换机认识与配置·····	(152)
实验4 路由器认识与配置·····	(156)
实验5 家庭局域网组建·····	(158)
实验6 系统安全·····	(163)
实验7 Web 应用开发·····	(167)
实验8 云服务器租用和配置·····	(172)
参考文献·····	(179)

计算机网络基础

计算机网络的迅速普及和飞速发展给人类社会带来了深刻的变革，它颠覆了传统的学习、工作和生活方式，成为社会活动不可或缺的基础设施。通过计算机网络，人们获取信息、发布信息、相互交流，开展网上教学、网上医疗，实现电子理财、移动支付、网上购物。网络已无处不在，无时不用。

本章介绍计算机网络基础知识，包括网络组成及拓扑结构、网络体系结构与协议，相关通信技术和相应的操作系统。

1.1 计算机网络概述

当今时代是一个以网络为核心的信息时代，它的特征是数字化、网络化和信息化。计算机网络是计算机技术和通信技术发展相结合的产物，两种技术互相影响、互相促进，共同推动了计算机网络的发展。广义的网络包括电信、广播电视和计算机三种网络，狭义的网络则指其中发展最快并起核心作用的计算机网络。近年来，随着宽带通信网、数字电视网、下一代互联网的演化发展，三种网络技术逐渐趋于一致、业务范围趋于相同，三网互连互通、资源共享、相互融合，共同为用户提供语音、数据和广播电视等多种服务。本书以介绍核心的计算机网络技术为主，也兼顾其他网络，特别是广泛应用的移动通信网络。

1.1.1 计算机网络的组成及功能

计算机网络从逻辑功能上分为通信子网和资源子网，如图 1-1 所示。

通信子网由通信设备和通信线路组成，负责网络数据传输、转发等通信处理任务。通信设备连接资源子网，实现数据分组的接收、校验、存储、转发等功能，将源主机报文准确发送到目的主机，主要包括路由器、交换机等设备；通信线路主要采用光纤、微波与卫星通信等传输介质。在现代计算机网络中，通信子网通常由广域网、城域网组成。

资源子网负责数据处理并为用户提供网络服务和网络资源，实现硬件、软件和数据等网络资源的共享。资源子网由主机系统、网络外设、各种软件资源与信息资源组成。在现代计算机网络中，资源子网是由若干终端设备连接形成的局域网，连接到通信子网中形成互联网。

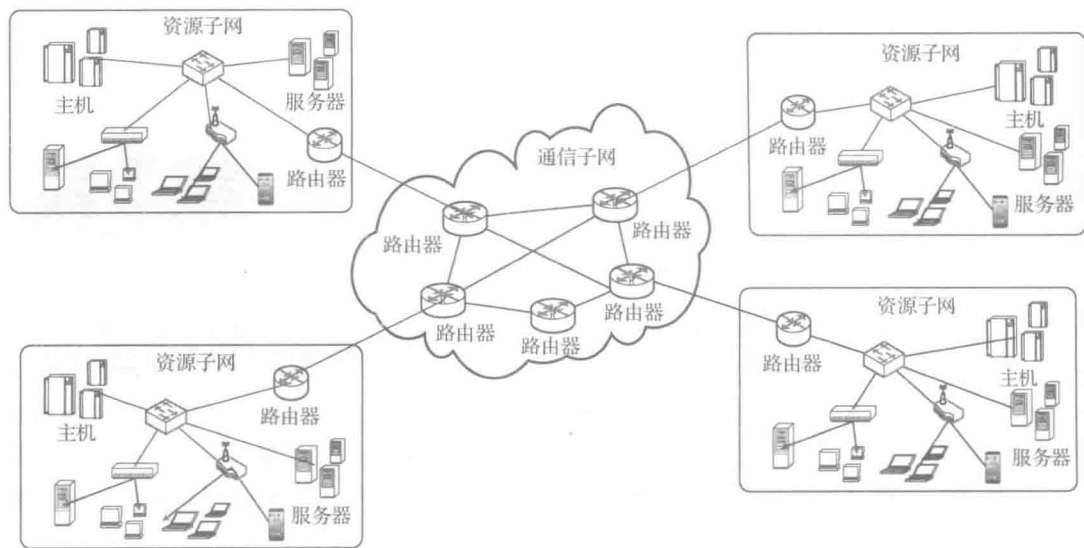


图 1-1 现代计算机网络组成

计算机网络的功能可概括为：数据通信、资源共享和协同工作。

1) 数据通信

数据通信是计算机网络的基本功能，实现计算机与计算机之间快速、可靠的信息传输。如收发电子邮件、文件服务、发布新闻消息等。

2) 资源共享

资源共享是计算机网络的主要功能，可以共享的网络资源包括硬件、软件和数据。硬件资源共享是指在网络范围内提供各种相关设备的共享，如存储设备、打印机、扫描仪等；软件资源共享则是指可以使用其他计算机上的软件；数据资源共享方便用户远程访问各类大型信息资源库。

3) 协同工作

协同工作是指网络中多台主机、终端设备相互协作共同完成一项或多项任务。火车票、飞机票全网发售就是协同工作的典型应用；密码破解、药物研究、寻找外星文明等大型计算项目，以前需要使用超级计算机，费用昂贵，现在可以将项目分解成若干个小的计算问题，分发给网络中空闲的计算机独立处理，再汇总得到最终结果。这种协同工作方式，不仅费用低廉而且计算潜能无限。

1.1.2 计算机网络分类

计算机网络可以从不同的角度进行分类。通常不同规模的网络采用不同的技术构建，最常见的方法是按网络组建和管理的地理范围来分类。按照网络的地理范围从小到大，可将网络分为局域网、城域网和广域网。各种网络根据需要相互连接，形成规模更大的互联网，如 Internet。

1. 局域网

局域网 (Local Area Network, LAN) 是指地理范围在几米到十几千米内的计算机网络, 常见于家庭、办公室、大楼、企业或机构内。局域网是最常见、应用最广的一种网络, 通常由某机构自行组建和维护。个人区域网 (Personal Area Network, PAN) 是随着短距离无线通信技术发展提出的概念, 指利用无线通信技术将属于个人的电子设备 (笔记本电脑、平板电脑、手机等) 连接起来形成局域网, 实现个人信息终端的智能化互连。

2. 城域网

城域网 (Metropolitan Area Network, MAN) 是在一个城市范围内建立的计算机通信网, 它以 IP 为基础, 通过融合计算机网络、电信网络和广播电视网络, 形成覆盖城市区域的网络通信平台, 提供数据、语音、图像和视频等各类数据传输, 为大规模的用户接入提供优质服务。

3. 广域网

广域网 (Wide Area Network, WAN) 也称远程网, 所覆盖的范围从几十千米到几千千米, 它将多个城市、国家或横跨几个洲的局域网和城域网互连, 提供远距离通信。广域网的通信设备和通信线路一般由通信运营商负责组建、运营与维护。

今天, 各种计算机终端设备通过局域网或其他技术接入城域网, 再由城域网接入广域网, 大量广域网互连形成遍布全球的大型互联网。

Internet (因特网) 是全球最大的互联网, 于 1969 年诞生于美国, 最初名为“阿帕网” (ARPANET), 是美国国防部的研究系统, 后成为连接美国多所大学及高等院校计算机的学术网络, 现已发展成为一个全球覆盖五大洲 150 多个国家的开放性计算机网络系统, 拥有许多服务商。但因特网并不是全球唯一的互联网, 世界各地都建有独立的大型网络, 例如, 我国有中国教育科研网 (CERNET), 欧洲跨国的互联网有“欧盟网” (EuroNet)、“欧洲学术与研究网” (EARN) 和“欧洲信息网” (EIN) 等, 美国还有“国际学术网” (BITNET)。

1.1.3 计算机网络拓扑结构

按照拓扑学的观点, 将计算机网络中的终端和通信设备抽象成点, 通信线路抽象成线, 形成的图形称为网络拓扑结构, 它描述了网络中设备的连接方式。局域网的拓扑结构通常有总线结构、环状结构、星状结构和树状结构。广域网由各种形状的局域网互连而成, 大多采用网状结构。

1. 总线结构

总线结构将所有计算机都接入同一条通信线路 (即传输总线), 如图 1-2 所示。在计算机之间按广播方式进行通信, 每台计算机都能收到在总线上传播的信息, 但每次只允许一台计算机发送信息。

总线结构的优点是成本较低、布线简单、计算机增删容易，在早期的以太网组建中得到广泛应用。其缺点是总线是共享的，容易引起冲突，造成传输失败；如果计算机数量过多，会降低网络的速度。

2. 星状结构

星状结构需要一台中心设备，各台计算机通过单独的通信线路直接连接中心设备，如图 1-3 所示。计算机之间不能直接进行通信，必须由中心设备进行转发。

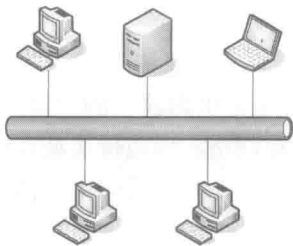


图 1-2 总线结构

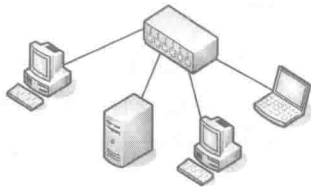


图 1-3 星状结构

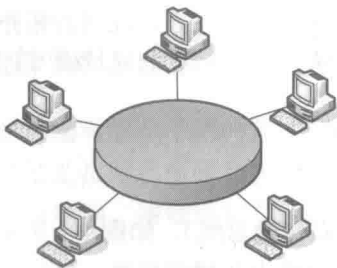
星状结构的主要优点是结构简单、组网容易、控制方便，计算机故障影响范围小且容易检测和排除。其主要缺点是通信线路数量多、利用率低；中心设备是全网可靠性的瓶颈，如果中心设备出现故障，整个网络的通信都会瘫痪。

3. 环状结构

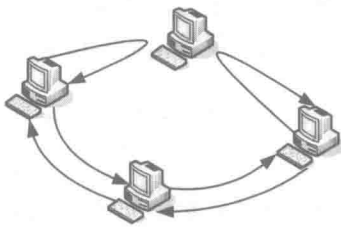
环状结构中每台计算机都与相邻的计算机直接相连，网络中所有计算机构成一个闭合的环，环中数据传输方向是单向的，如图 1-4 (a) 所示。

环状结构的主要优点是结构简单、实时性强；主要缺点是可靠性较差，环上任何一个节点发生故障都会影响到整个网络，而且难以进行故障诊断。当增加或删除节点时，操作步骤复杂且会干扰整个网络的正常运行。早期的令牌环网采用环状结构。

采用双环结构（即构建两个环路，但数据传输方向不同）可以提高可靠性。正常情况下只使用一个环路传输数据，当网络中某个节点或某段线路出现故障时，可以切换到另一个环路，重新形成一个环，不影响数据的传输，如图 1-4 (b) 所示。光纤分布式数据接口技术（Fiber Distributed Data Interface, FDDI）就采用双环结构。早期的城域网建设多基于 FDDI 技术构建。



(a) 环状结构



(b) 双环结构重新形成环路

图 1-4 环状结构和双环结构

4. 树状结构

树状结构是星状结构的一种变形，它采用分级结构将计算机按层次连接，如图 1-5 所示。树枝节点通常采用集线器（Hub）或交换机，叶子节点就是计算机。叶子节点之间的通信需要通过不同层的树枝节点转发实现。

树状结构继承了星状结构的优点，具有更好的可扩展性。当计算机数量较多或分布较分散时，采用树状结构比总线结构更方便管理，接入新的局域网也更方便，是目前最常见的局域网组网方式。

5. 网状结构

网状结构如图 1-6 所示，每台计算机或网络设备至少要有两条通信线路与其他设备相连，网络中无中心设备，因此也称之为无规则结构。

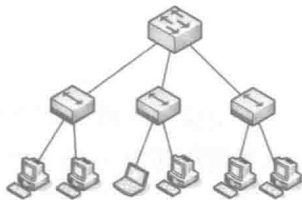


图 1-5 树状结构

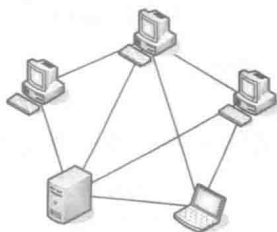


图 1-6 网状结构

网状结构的优点是可靠性高，设备之间存在多条连接路径，局部的故障不会影响整个网络的正常工作。其缺点是结构复杂、协议复杂、实现困难、不易扩充。广域网中一般将路由器、交换机等设备连接成网状结构，局域网的核心交换层也常将多台交换机连接成网状结构，为核心网络提供备份通信线路。

1.2 数据通信基础

数据通信技术是构成计算机网络的重要基础。计算机网络的发展依赖于数据通信技术的发展，两者互相影响，互相促进。

1.2.1 数据通信基本概念

数据通信系统是通过传输介质传输数据的电子系统。发出数据的设备称为信源，接收的设备称为信宿，传输介质是承载信息的媒体，如电话线、双绞线、光纤、无线电波等。

1. 信号

通信过程数据以信号（Signal）的形式进行传输，信号可以分为模拟信号和数字信号两种。

模拟信号 (Analog Signal) 是连续信号, 其参数在给定范围内随着时间连续变化, 可以用电流或电压的大小模拟, 如声音信号用电流的频率反映声音的频率, 电流的强弱反映声音的分贝值。

数字信号 (Digital Signal) 是离散信号, 一般指的是二进制数字信号。可以用两个不同的参量代表 0 和 1, 如正电压代表 1、负电压代表 0, 或者以电流的导通代表 1、断开代表 0 等。常见的文本、声音、图像、视频等信息都能通过数字化处理后转化为数字信号。

模拟信号和数字信号可以相互转换。模拟信号经过模数 (Analog/Digital, A/D) 转换变成数字信号, 同样数字信号可以经过数模 (Digital/Analog, D/A) 转换变成模拟信号。

2. 信道

信道 (Channel) 是指以传输介质为基础的逻辑信号通路, 一个物理的传输介质可以包括一个或多个逻辑信道。例如, 闭路电视线是一个物理传输介质, 它可以传输多个节目频道, 每个节目频道都通过一个逻辑信道传输。

3. 带宽

信道所提供的频率宽度就是带宽 (Bandwidth), 也就是可传输信号的最高频率和最低频率之差。如电话线的频带为 300~3400Hz, 带宽是 3100Hz。通常用带宽来描述传输介质的传输容量, 带宽越大, 容量越大, 通信能力越强。带宽是传输介质的固有属性, 一般不会发生变化。

4. 数据传输速率

数据传输速率简称传输速率, 是指每秒传输的二进制位数, 单位是比特率 (bit per second, bit/s 或 bps)。另一个单位是传输的字节数 (Byte per second, B/s 或 Bps)。

数据传输速率是描述通信系统重要的指标之一, 它不仅与传输介质的带宽有关, 还与传输技术有关。如电话线的带宽是 3100Hz, 采用传统的传输技术, 能达到的数据传输速率是 56kbps, 采用了新的调制技术后, 能达到的数据传输速率是 2Mbps。电话线的带宽没有发生变化, 新的传输技术提高了数据传输速率。

1.2.2 数据传输模式

数据传输模式可以按照信号类型、同时传输的数据位、数据传输方向和数据传输定时等方面分类说明。

1. 信号类型

按照数据通信的信号类型可以分为基带传输和频带传输。

基带信号 (Baseband Signal) 是信源发出的、没有经过调制的原始电信号。把这种未经过调制的原始数字信号, 直接在信道上进行传输就是基带传输 (Baseband Transmission)。基带传输是一种最简单的传输方式, 它不需要调制解调器, 设备费用少, 适用于短距离数

据传输。局域网常用的传输介质双绞线就是采用的这种方式，局域网术语“10Base-T”中的“Base”就是指基带传输。

频带信号（Frequencyband Signal）是用载波对基带信号进行调制后的信号。将基带信号调整成模拟信号后再进行传输就是频带传输，接收方需要对信号进行解调还原为数字信号。由于基带信号的频谱可以调制到不同的频段，因此可以将多个频带信号合并传输而不会相互干扰。频带传输可以解决码间干扰和衰减的问题，使信号传输更加可靠，网络的远距离通信通常采用的是频带传输。

2. 传输数据位

按照数据通信同时传输的数据位可分为串行传输和并行传输。

串行传输（Serial Transmission）：每个时钟节拍只传输一位数据，虽然单次传输的数据少，但其电路简单，传输频率可高可低，无论高速或低速通信均能胜任，因此适用于长距离通信，具有广泛的适应性，是现在主流的传输方式。各种终端外部设备连接接口均采用串行方式，如网络接口、Type-C、USB 和 SATA 等。

并行传输（Parallel Transmission）：每个时钟节拍能传输多位数据，每位数据使用单独的线路传输，因此线路较多，适用于短距离的数据传输。通常只在计算机内部需要高速传输数据时采用，如计算机主板上的地址总线、数据总线、控制总线。

3. 数据传输方向

数据传输中数据传输的方向可以是单向的也可以是双向的，类似于城市道路，有的是单行线，有的是双行线。根据方向，数据传输可分单工、半双工和全双工三种方式。

单工通信方式（Simplex Communication）：数据传输是单向的，只能一方发送另一方接收，反之则不可以，如图 1-7（a）所示。传统的电视节目，就是从电视台通过有线电视网络单向传输到用户电视机中的。

半双工通信方式（Half Duplex Communication）：数据传输可以双向进行，但只能交替进行，一个时刻只能有一个方向传输数据，如图 1-7（b）所示。例如，对讲机就是采用半双工通信方式工作。

全双工通信方式（Full Duplex Communication）：数据传输可以双向同时进行。全双工通信需要两个信道，一个用来发送，一个用来接收，如图 1-7（c）所示。例如，现在的高清电视节目中的互动点播就是基于全双工通信方式实现数据传输的。

4. 同步方式

数据传输中为了确保数据的准确性和完整性，发送方和接收方需要保持一致的节奏。根据发送方和接收方时钟的差别，有异步和同步两种传输方式。

异步传输（Asynchronous Transmission, AT）：发送方和接收方的时钟可以不完全一致。发送方每次发送的数据通常以一个字符为单位，以一个起始位开头，通知接收方数据开始到达，在数据的最后以一个停止位表示该次传输终止，如图 1-8 所示。以字符为单位进行异步传输，将产生 20% 的额外网络开销，此方式常用于低速传输。

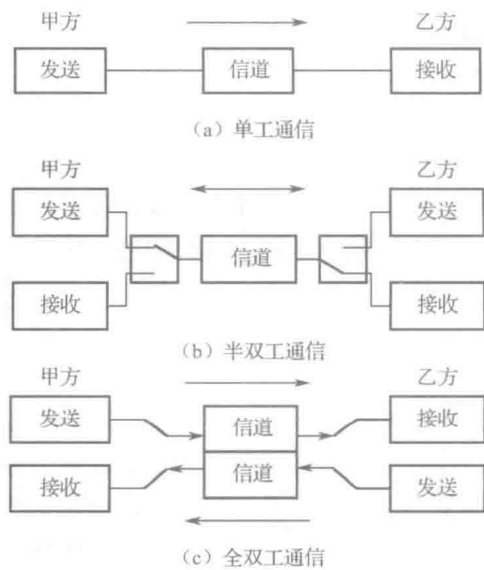


图 1-7 数据传输方式

例如，键盘与主机的通信采用异步方式。按照 ASCII 编码是“11010011”，但需要在前面加一个起始位“0”，后面加一个停止位“1”，因此，最后发送“0110100111”。

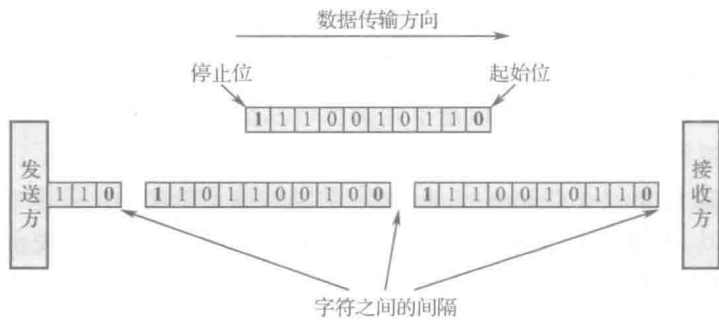


图 1-8 异步传输示意图

同步传输 (Synchronous Transmission, ST): 发送方和接收方的时钟差别较小，每次发送一批数据（如 512 字节），常用于高速传输。同步传输把一次要传输的数据封装为数据帧。数据帧的开始和结束部分为特殊字符，表示传输的开始和结束，如图 1-9 所示。



图 1-9 同步传输示意图

例如，在局域网中，两台主机网卡之间的通信采用同步方式。网卡将主机要发送的数据分割为多帧，每一帧前 8 字节是固定格式的同步字符，后面是数据，数据的长度可以从几十到几千字节。如果数据长度固定，或者已在帧中固定位置标识，则可省略结束字符。

串行传输中异步和同步通信方式都会被采用，并行传输中常采用同步通信方式。

1.2.3 数据交换技术

通信双方进行数据通信，最简单的方式是直接连接。在大型网络中，存在大量终端设备，很难将所有设备两两相连，需要通过若干中间节点间接连接。中间节点实现交换功能，将数据从一个节点转发到另一个节点，直至到达目的地，这就是数据交换。

常用的数据交换技术有3种：电路交换、报文交换和分组交换。

1. 电路交换 (Circuit Switching)

电路交换也称为线路交换，是指数据传输时，在源节点和目的节点之间建立一条由中间节点构成的专用物理链路，数据传输结束时，释放链路。

电路交换的数据传输过程分为链路建立、数据传输和链路释放3个阶段。数据传输时，用户始终独占链路。程控电话就是电路交换的典型例子。用户拨号建立链路；接通后，通话的双方独占链路；通话结束后，链路被释放。

电路交换的优点是传输延迟小，一旦链路建立便不会发生冲突。但由于源节点和目的节点之间的物理线路的带宽在建立链路时已分配，在用户释放链路前即使通信双方没有数据交换，链路带宽也不能为其他用户所使用，所以整个链路的利用率较低。

2. 报文交换 (Message Switching)

使用报文交换技术，发送方将数据加上接收方的目的地址和其他信息构成报文，发送给相邻的中间节点；中间节点收到报文后先存储下来，再根据报文中目的地址转发给下一节点。按照这样的方式报文被一站一站地转接，最后传递到接收方。

报文交换的优点是不需要为通信双方预先建立一条专用的通信线路；缺点是传输延迟较大，不适合实时通信。由于报文大小不定，导致中间节点存储管理上的困难。特别是大的报文在传输时链路占用的时间较长，也容易出错，出错后整个报文都需要重传。

3. 分组交换 (Packet Switching)

分组交换也称包交换。与报文交换类似，分组交换也基于存储—转发机制，但其限制了分组的最大长度，便于管理。较长的数据在传输时会被分割成若干个分组（也称数据包），每个分组中都包含数据、目的地址和分组编号。交换过程也和报文交换类似，每个分组独立路由。接收方按照分组编号重新组装成原始数据。

分组交换的优点：对分组的长度进行了限制，便于中间节点存储管理；分组是较小的传输单位，只有出错的分组会被重传，降低了重传比例，提高了交换效率；分组交换的路径是动态的，各个分组独立路由，极大地提高了通信线路的利用率。

分组交换是现代计算机网络的技术基础，ARPANET 是最早的分组交换网，标志着现代网络的开始。