

高等院校计算机应用系列教材

计算机网络 基础与应用

梁 璐 刘 婧 殷 怡 主 编
李 向 廖 颖 舒丽红 副主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书详细阐述了网络通信的基础知识、核心概念及计算机网络体系结构。全书共 6 章, 分别介绍了计算机网络基础、物理层与数据通信技术、数据链路层与局域网技术、网络层与路由技术、传输层与数据传输技术、应用层与网络服务技术等内容。

本书结构严谨, 层次分明, 概念清晰, 叙述准确, 适合作为高等院校计算机、电子信息及通信等专业的教材。同时, 计算机网络设计人员、开发人员和网络管理人员也可将本书作为技术参考书使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。举报: 010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络基础与应用 / 梁璐, 刘婧, 殷怡主编.

北京: 清华大学出版社, 2026. 6. -- (高等院校计算机

应用系列教材). -- ISBN 978-7-302-71866-6

I. TP393

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 20260EJ532 号

责任编辑: 刘金喜

封面设计: 高娟妮

版式设计: 思创景点

责任校对: 成凤进

责任印制: 杨 艳

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <https://www.tup.com.cn>, <https://www.wqxuetang.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-83470000 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 大厂回族自治县彩虹印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 14 字 数: 324 千字

版 次: 2026 年 7 月第 1 版 印 次: 2026 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 68.00 元

产品编号: 111414-01

前言

在当今数字化时代，计算机网络已经成为人们生活、工作和学习中不可或缺的一部分。从互联网上获取信息、进行在线购物、与世界各地的人即时通信，到企业级的数据传输、云计算服务以及物联网设备的互联互通，计算机网络的身影无处不在。它深刻改变了我们的社会和经济形态，塑造了全新的社会生活和工作方式。

本书旨在为读者提供一个全面、深入且易于理解的计算机网络知识体系。无论是计算机科学专业的学生、网络工程师、信息技术从业者，还是对计算机网络技术感兴趣的爱好者，都能从本书中获得宝贵的知识和见解。

在内容编排上，本书遵循了从基础概念到高级应用的逻辑顺序，深入浅出地介绍了计算机网络的基础知识，物理层与数据通信技术，数据链路层与局域网技术，网络层与路由技术，传输层与数据传输技术以及应用层与网络服务技术。通过对这些核心内容的深入讲解，读者将能够清晰地理解计算机网络如何实现数据的可靠传输和资源共享。同时，每章结尾设置了针对性的习题，鼓励读者通过实践操作来加深对知识点的理解和掌握，培养解决实际问题的能力。

在编写本书的过程中，我们力求语言简洁明了、逻辑严谨清晰，同时注重内容的系统性和实用性。希望本书能够成为读者在计算机网络学习道路上的得力助手，帮助大家开启计算机网络技术的大门，领略这一领域的无限魅力，并为进一步深入研究和实践打下坚实的基础。

为便于教学，本书提供 PPT 课件、授课教案、教学大纲、习题答案，这些资源可通过扫描右侧二维码下载。



教学资源

本书融入了作者多年的教学和科研经验，在编写过程中得到了武汉工程科技学院的大力支持。本书在武汉工程科技学院计算机与人工智能学院院长蔡之华的领导下，由梁璐、刘婧、殷怡、李向、廖颖、舒丽红老师共同编写完成。本书在编写过程中，参考了计算机网络技术的相关书籍和文献，吸取了同行的宝贵经验，在此谨表谢意。由于计算机网络技术的复杂性和广泛性，尽管我们付出了最大的努力，但书中难免存在一些不足之处，恳请广大读者批评指正。我们相信，通过读者与作者之间的不断交流和反馈，本书的质量将不断提升，更好地服务于广大读者。

服务邮箱：476371891@qq.com。

编 者

2026 年 1 月于武汉

目 录

第 1 章 计算机网络基础	1
1.1 计算机网络的基本概念	1
1.1.1 计算机网络的形成与发展	1
1.1.2 计算机网络的定义与功能	5
1.1.3 网络体系结构	6
1.1.4 计算机网络的组成	6
1.2 通信协议与网络体系结构	8
1.2.1 通信协议与层次结构	8
1.2.2 OSI参考模型	9
1.2.3 TCP/IP模型	13
1.3 计算机网络的拓扑结构	14
1.4 计算机网络的分类	17
1.4.1 按照覆盖的地理范围分类	17
1.4.2 按照传输技术分类	20
1.4.3 按照网络的使用范围分类	21
1.4.4 按照在网络中所处的位置 分类	21
1.5 计算机网络的主要性能指标	22
1.5.1 计算机网络的定量评价 指标	22
1.5.2 计算机网络的定性评价 指标	24
本章小结	25
习题一	25
第 2 章 物理层与数据通信技术	28
2.1 物理层基本概念	28
2.1.1 物理层的功能	28
2.1.2 物理层接口的特性	28

2.2 数据通信基础	29
2.2.1 数据通信的基本概念	29
2.2.2 数据通信模型	30
2.3 数据编码与调制技术	31
2.3.1 数字数据编码	32
2.3.2 模拟数据编码	33
2.3.3 脉冲编码调制(PCM)	34
2.4 信道极限容量	35
2.4.1 奈氏准则	36
2.4.2 香农公式	37
2.5 数据传输介质	37
2.5.1 导引性传输介质	37
2.5.2 非导引性传输介质	40
2.6 数据传输技术	42
2.6.1 串行与并行传输	42
2.6.2 同步与异步传输	43
2.6.3 单向通信、双向交替通信和 双向同时通信	44
2.7 信道多路复用技术	45
2.7.1 频分多路复用	45
2.7.2 时分多路复用	46
2.7.3 波分多路复用	46
2.7.4 码分多路复用	47
本章小结	49
习题二	49
第 3 章 数据链路层与局域网技术	52
3.1 数据链路层概述	52
3.1.1 数据链路层的基本概念	52

3.1.2	数据链路层的主要功能	53
3.2	封装成帧	54
3.3	透明传输	55
3.3.1	字符填充	55
3.3.2	比特填充	56
3.4	差错控制	56
3.4.1	差错控制原理	57
3.4.2	奇偶校验码	57
3.4.3	循环冗余码	58
3.4.4	海明码	60
3.4.5	差错控制的分类	62
3.5	流量控制	62
3.5.1	停止等待协议	62
3.5.2	滑动窗口协议	63
3.5.3	后退N帧协议	64
3.5.4	选择重传协议	64
3.6	点对点协议	66
3.6.1	PPP的作用和特点	66
3.6.2	PPP帧结构	67
3.6.3	PPP工作原理	68
3.7	局域网技术	69
3.7.1	局域网概述	69
3.7.2	局域网体系结构	69
3.8	介质访问控制技术	70
3.8.1	CSMA/CD协议	70
3.8.2	令牌环网	72
3.9	以太网	73
3.9.1	以太网的产生与发展	73
3.9.2	以太网的帧格式	74
3.10	局域网设备	74
3.10.1	网卡和MAC地址	75
3.10.2	集线器	75
3.10.3	网桥	76
3.10.4	以太网交换机	76
3.11	虚拟局域网	78
3.11.1	虚拟局域网的产生	78
3.11.2	虚拟局域网的划分及实现	78

3.12	无线局域网	79
3.12.1	无线局域网的概念	79
3.12.2	无线局域网的组网	79
	本章小结	80
	习题三	81

第4章 网络层与路由技术 83

4.1	网络层概述	83
4.1.1	网络层的主要任务	83
4.1.2	虚电路和数据报服务	84
4.2	网际协议IP	86
4.2.1	异构网络互联	87
4.2.2	IPv4地址及编址方式	88
4.2.3	IPv4地址与MAC地址	95
4.2.4	地址解析协议	97
4.2.5	IPv4数据报的格式	99
4.2.6	IP数据报的发送和转发过程	103
4.3	静态路由配置	106
4.3.1	直连路由和非直连路由	107
4.3.2	默认路由	107
4.3.3	特定主机路由	108
4.4	互联网的路由选择协议	109
4.4.1	路由选择协议的几个基本概念	109
4.4.2	路由信息协议	111
4.4.3	开放最短路径优先协议	117
4.4.4	边界网关协议	121
4.4.5	路由器的基本工作原理	123
4.5	互联网控制报文协议	125
4.5.1	ICMP报文的种类	125
4.5.2	ICMP的应用举例	128
4.6	IP多播	129
4.6.1	IP多播的基本概念	129
4.6.2	互联网组管理协议	130
4.6.3	多播路由选择协议	131
4.7	虚拟专用网与网络地址转换	132

4.7.1 虚拟专用网	132	第 6 章 应用层与网络服务技术	184
4.7.2 网络地址转换	134	6.1 应用层	184
4.8 下一代的网际协议IPv6	134	6.1.1 应用层概述	184
4.8.1 IPv6的特点	134	6.1.2 应用层协议	184
4.8.2 IPv6的首部信息	135	6.2 域名系统	186
4.8.3 IPv6地址	136	6.2.1 DNS概述	186
4.8.4 从IPv4向IPv6过渡	137	6.2.2 互联网的域名结构	186
本章小结	138	6.2.3 DNS服务器	188
习题四	139	6.2.4 DNS解析过程	188
第 5 章 传输层与数据传输技术	141	6.3 文件传输服务	191
5.1 传输层服务	141	6.3.1 FTP概述	191
5.1.1 传输层功能与服务概述	141	6.3.2 FTP工作原理	191
5.1.2 传输层寻址	143	6.3.3 简单文件传输协议	193
5.1.3 传输层复用	144	6.4 远程登录服务	193
5.1.4 可靠传输	145	6.4.1 Telnet概述	193
5.1.5 传输层流量控制	147	6.4.2 Telnet工作原理	193
5.1.6 传输连接	150	6.5 动态主机配置服务	194
5.2 UDP协议	152	6.5.1 DHCP概述	194
5.2.1 UDP概述	152	6.5.2 DHCP工作原理	195
5.2.2 UDP报文的首部格式	153	6.6 万维网服务	197
5.2.3 UDP服务	155	6.6.1 WWW概述	197
5.2.4 UDP的应用	157	6.6.2 WWW工作原理	198
5.3 TCP协议	158	6.6.3 超文本传输协议	199
5.3.1 TCP概述	158	6.6.4 超文本标记语言	201
5.3.2 TCP报文段的格式	159	6.6.5 WWW搜索引擎	202
5.3.3 可靠性传输机制	161	6.7 电子邮件服务	203
5.3.4 TCP的流量控制	168	6.7.1 电子邮件系统概述和 组成	203
5.3.5 TCP建立连接与释放 连接	170	6.7.2 简单邮件传输协议	205
5.4 拥塞控制	174	6.7.3 邮件接收协议	206
5.4.1 拥塞的原因与危害	175	6.7.4 多用途互联网邮件扩展	207
5.4.2 拥塞控制的基本方法	176	6.7.5 基于WWW的电子邮件	208
5.4.3 TCP的拥塞控制	177	本章小结	210
本章小结	181	习题六	211
习题五	182	参考文献	214

计算机网络基础

计算机网络是计算机技术与通信技术相结合的产物。目前，计算机网络技术已广泛应用于办公自动化、企业管理、金融、信息服务等各个领域，成为社会生活中不可缺少的信息处理和通信的基础设施。借助计算机网络，人们能够便捷地实现信息的交流和共享。互联网更是全面融入经济社会的各个领域，深刻地改变着人们的工作方式和生活方式。

1.1 计算机网络的基本概念

1.1.1 计算机网络的形成与发展

计算机网络是计算机技术与通信技术相结合而形成的一种新型通信形式。其发展始于 20 世纪 50 年代。到 20 世纪 50 年代中期，美国的半自动地面防空系统(Semi-Automatic Ground Environment, SAGE)开始尝试将计算机技术和通信技术相结合。SAGE 系统把远距离的雷达和其他测控设备的信息经由线路汇集到一台 IBM 计算机上进行集中处理与控制。世界上被广泛认可的第一个远程计算机网络是 1969 年由美国国防部高级研究计划署(Advanced Research Projects Agency, ARPA)组织研制的 ARPANET(阿帕网)，它是现代 Internet(因特网)的前身。几十年来，计算机网络得到了飞速发展，大致经历了四代。

1. 第一代计算机网络

20 世纪 60 年代中期之前的计算机网络属于第一代计算机网络，主要是以单个计算机为中心的远程联机系统。典型的应用是由一台中央计算机(主机)和遍布全美国的 2000 多个终端组成的飞机订票系统。在这个系统中，终端是仅具备输入输出功能的设备，包括显示器和键盘，但没有 CPU 和内存。由于所有的终端共享主机资源，因此终端到主机都单独占用一条线路，导致线路利用率较低。由于主机既要负责通信，又要负责数据处理，因此主机的效率较低。这种网络的组织形式是集中控制，其可靠性较低。主机一旦出现问题，所有终端都会被迫停止工作。

随着远程终端的增多，在远程终端集聚的地方设置一个终端集中器，把所有的终端连接到终端集中器上。这样主机只负责数据处理，而不需要负责通信工作，从而大大提

高了主机的利用率。集中器主要负责从终端到主机的数据集中及从主机到终端的数据分发。当时，人们把计算机网络定义为“以传输信息为目的而连接起来的，实现远程信息处理或进一步达到资源共享的系统”。这样的通信系统已具备了网络的雏形，如图 1.1 所示。

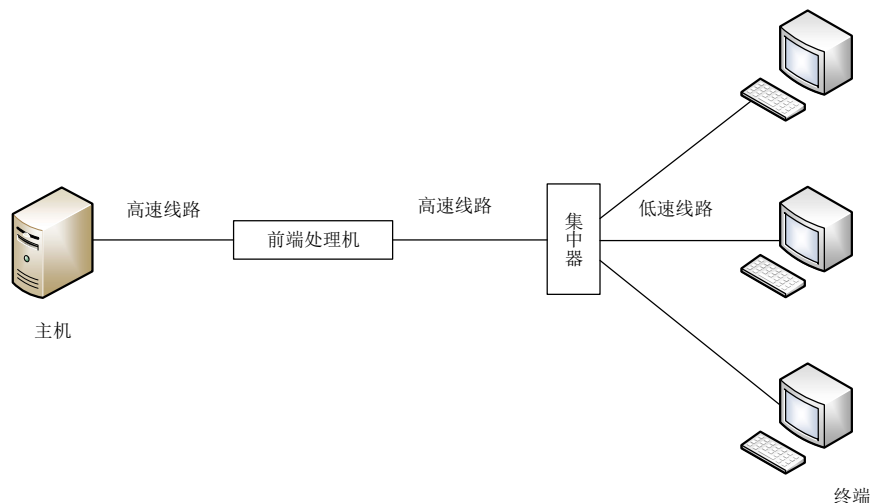


图 1.1 第一代计算机网络

2. 第二代计算机网络

从 20 世纪 60 年代中期到 70 年代中期，随着计算机技术和通信技术的发展，出现了将多个单处理机终端网络互联、以多处理机为核心的计算机网络。这一时期，通过通信线路将多台主机连接起来，为用户提供服务。

这个时期的网络连接主要有两种形式：第一种形式是通过通信线路将主机直接连接起来，主机既负责数据处理，也承担通信任务；第二种形式是把通信任务从主机中分离出来，设置通信控制处理机(Communication Control Processor, CCP)，主机间的通信通过 CCP 的中继功能间接完成，如图 1.2 所示。

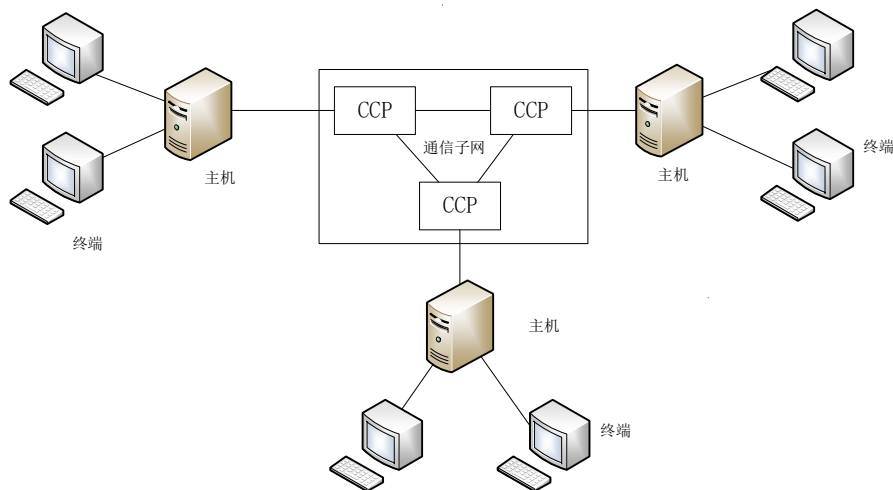


图 1.2 第二代计算机网络

CCP负责网上各主机间的通信控制和通信处理。由此形成了带有通信功能的内层网络，称为通信子网。主机负责数据处理，是计算机网络资源的拥有者，而网络中的所有主机构成了资源子网。通信子网为资源子网提供信息传输服务，而资源子网上的用户的通信则建立在通信子网的基础上。这两者共同组成了一个实现资源共享的网络。

这个阶段网络的典型代表是 ARPANET，是 20 世纪 60 年代后期，由美国国防部提供经费，许多大学和公司参与，共同研究的多主机互联的计算机网络。1969 年 ARPANET 投入运行，最初连接了 4 个节点。ARPANET 后来连接了数以百计的计算机，范围从美国扩展到欧洲。ARPANET 被公认为第一个真正意义上的计算机网络，是现代网络和互联网的雏形。这个阶段的网络存在着不少弊端，它们主要由科研单位、大学和计算机网络公司各自研制，缺乏统一标准，导致实现大范围连接变得非常困难。

这个时期，计算机网络被定义为“以相互共享资源为目的而互联的独立功能计算机的集合”，从而形成了计算机网络的基本概念。

3. 第三代计算机网络

ARPANET 兴起后，计算机网络迅猛发展，各计算机公司相继推出网络体系结构及实现这些结构的软硬件产品。由于没有统一的标准，不同厂商的产品间要实现互联是非常困难的。人们迫切需要一种开放性的标准化实用网络环境。1977 年，国际标准化组织(ISO)为适应网络开放性和标准化的趋势，在研究和分析已有网络结构的基础上，研发了“开放式系统互联”的网络标准结构。1984 年，ISO 发布了著名的 ISO/IEC 7498 标准，该标准定义了网络互联的 7 层框架，也就是开放系统互联参考模型(Open System Interconnection Reference Model, OSI/RM)。这一标准为此后研究、开发网络技术及产品提供了统一的规范，为网络技术的标准化及不同厂商间设备的互联奠定了重要基础。

20 世纪 80 年代，随着通信标准的确定及微型计算机的推出，局域网技术也开始被普遍应用。1980 年 2 月，局域网标准 IEEE 802 发布，这标志着局域网发展的初期标准已制定。各成熟计算机网络厂商按照标准制造设备，极大地促进了局域网的发展。在网络互联阶段，网络中的节点不再是具体的设备，而是一个网络。此时的计算机网络更像是一个由多个网络组成的网络，如图 1.3 所示。

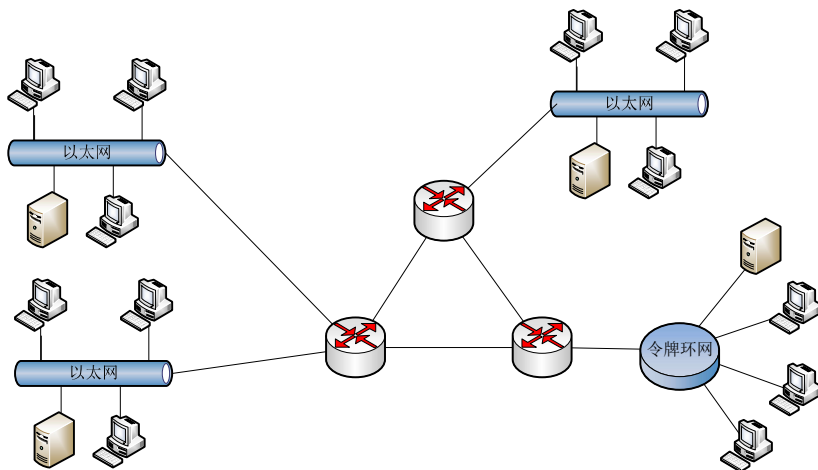


图 1.3 第三代计算机网络

4. 第四代计算机网络

自 20 世纪 90 年代末以来, 第四代计算机网络随着局域网技术的成熟而迅速发展。光纤和高速网络技术的出现, 使多媒体网络 and 智能网络得以实现, 整个网络就像一个对用户透明的大型计算机系统, 以 Internet 为代表, 推动了网络技术的进一步发展, 如图 1.4 所示。

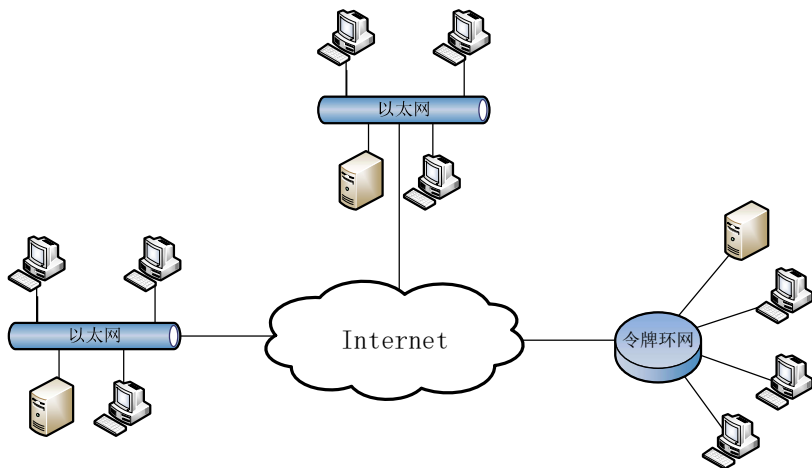


图 1.4 第四代计算机网络

互联网的普及和发展对通信领域产生了深远影响。许多不同行业应用的通信网络也逐步与互联网融合。例如, 目前广泛使用的网络主要包括电话网络、计算机网络和有线电视网络。随着技术的不断发展, 新的业务不断出现, 作为其载体的各类网络也不断融合。目前广泛使用的三类网络正逐渐向单一的 IP 网络发展, 也就是人们所说的“三网融合”。网际协议(IP)已成为各种网络的“共同语言”。通过互联网, 特别是移动互联网, 不仅可以实现计算机之间的通信, 还可以实现电话通信和电视播放, 并且已经扩展到了手机、家用电器、智能楼宇等多个领域, 如图 1.5 所示。

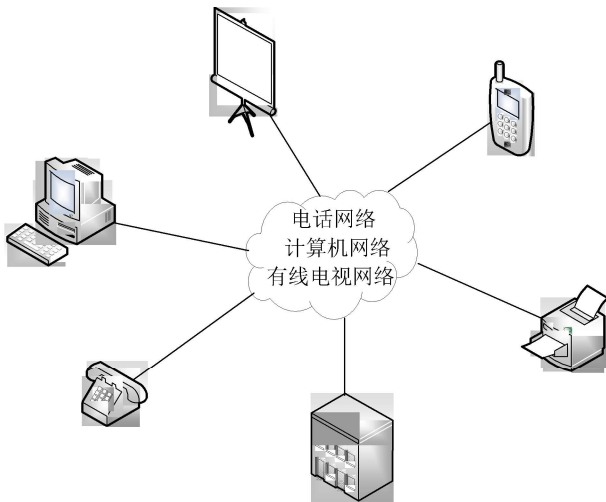


图 1.5 三网融合与移动互联网

1.1.2 计算机网络的定义与功能

1. 计算机网络的定义

计算机网络的定义没有一个统一标准。随着计算机网络的发展，人们提出了各种不同的观点。目前，被普遍接受的定义是：将分布在不同地理位置的具有独立功能的多套计算机及其外部设备，通过通信设备和通信线路连接起来，按照某种事先约定的规则进行信息交换，以实现资源共享的系统。

一个计算机网络必须具备以下 3 个基本要素。

- 至少有两台具备独立操作系统的计算机，且它们之间存在相互共享某种资源的需求。
- 两台独立的计算机之间必须通过某种通信手段进行连接。
- 网络中的各个独立计算机之间能够相互通信，必须制定共同遵守的规范标准或协议。

2. 计算机网络的功能

计算机网络的功能可以归纳为以下 5 个方面。

1) 资源共享

资源共享是计算机网络的核心功能，旨在实现网络资源的充分利用。“共享”指的是网络中的部分或全部用户可以享受网络中的部分或全部资源。计算机网络可共享的资源包括硬件资源、软件资源和数据资源。

- 硬件资源：包括各种类型的计算机、大容量存储设备、计算机外部设备(如打印机和绘图仪等)。
- 软件资源：包括各种应用软件、工具软件、系统开发使用的支撑软件、语言处理程序和数据库管理系统等。软件共享在保持数据完整性和统一性的前提下，允许多个用户同时调用服务器的各种软件资源。
- 数据资源：包括数据库文件、数据库、办公文档资料、企业生产报表等。

2) 网络通信

网络通信是计算机网络最基本的功能，主要用于快速传输计算机与终端、计算机与计算机之间的各种信息，包括文字信件、新闻消息、咨询信息和图片资料等。

3) 集中处理和综合信息服务

在网络中可以将已存在的许多联机系统有机地连接起来，进行实时集中管理，从而提高系统的处理能力，并实现在一套系统上提供集成的信息服务。

4) 提高系统的可靠性

单台计算机或系统难免会出现暂时的故障，致使系统瘫痪。通过计算机网络，可以提供一个多机系统的环境，实现两台或多台计算机间的互为备份，从而提供冗余备份功能。此外，当某线路或局部线路出现故障而不能传输信息时，用户还可以将信息通过其他线路迂回传输到目的地。

5) 负载均衡和分布处理

负载均衡是指将任务分摊到多个操作单元上进行执行，如 Web 服务器、FTP 服务器

和企业关键应用服务器等，从而共同完成工作任务。负载均衡需要建立在网络结构之上，它提供了一种廉价、有效、透明的方法来扩展网络设备和服务器的带宽，增加吞吐量，增强网络的数据处理能力，并提高网络的灵活性和可靠性。

分布处理是指将处理任务分散到各个计算机上运行，而不是集中在一台大型计算机上。这样，不仅可以降低软件设计的复杂性，还能显著提高工作效率并降低成本。

1.1.3 网络体系结构

层次结构模型与各层协议的集合称为网络体系结构(Network Architecture)。网络体系结构精确定义了网络实现的功能，而这些功能采用怎样的硬件与软件是具体的实现问题。网络体系结构是抽象的，网络实现则是具体的。

1.1.4 计算机网络的组成

1. 计算机网络的逻辑组成

计算机网络要完成数据处理与数据通信两大基本功能，因此从结构上可以分为两个部分：负责数据处理的计算机和终端，以及负责数据通信的通信控制处理机和通信线路。典型的计算机网络在逻辑功能上可以分为两个子网：通信子网和资源子网，如图 1.6 所示。

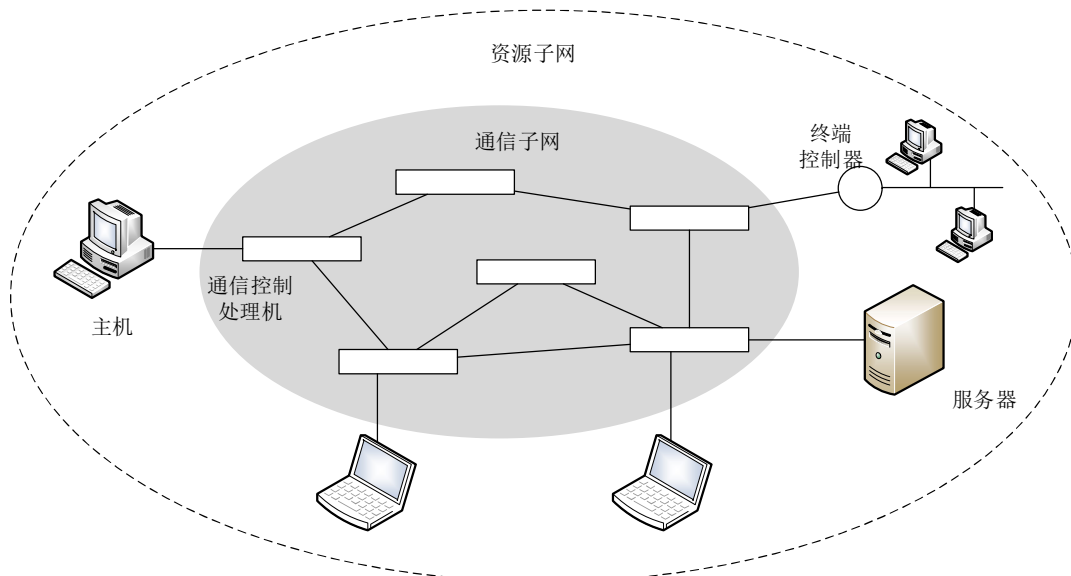


图 1.6 通信子网和资源子网

1) 通信子网

通信子网由通信控制处理机、通信线路和其他网络通信设备组成，负责完成网络数据传输、转发等通信处理任务。通信控制处理机负责将源主机报文准确地发送到目的主机，通常这类设备包括路由器和交换机等。通信线路可以包括电话线、双绞线、同轴电缆、光缆、无线通信、微波与卫星通信等。采用通信子网后，可使入网主机不用去处理数据通信，也不用具有远程数据通信的功能，而只需要负责信息的发送和接收，这样就

减少了主机的通信开销。此外，通信子网是按统一软硬件标准组建的，它可以面向各种类型的主机，方便不同机型之间的互联，从而减少了网络组建的工作量。

2) 资源子网

资源子网由主机系统、终端、终端控制器、各种软件资源与信息资源组成。它负责全网的数据业务处理，向网络用户提供各种网络资源与网络服务。主机、服务器、智能终端是资源子网的主要组成单元。通过资源子网，用户可以方便地使用本地计算机或远程计算机的资源。由于资源子网将通信子网的工作对用户进行了屏蔽，用户在使用远程计算机资源时就如同使用本地资源一样方便。

2. 计算机网络系统组成

计算机网络是一个复杂的系统，由许多计算机软件、硬件和通信设备组成。根据这些网络组成部分在网络中的功能、类型和角色的不同，通常可以将计算机网络分成不同的组成部分，如图 1.7 所示。

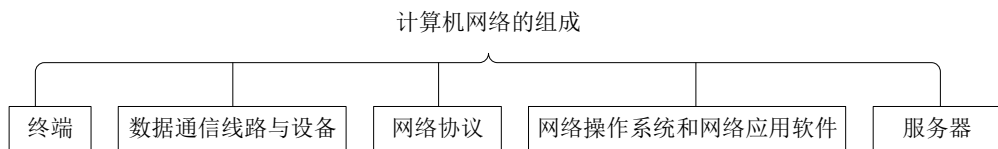


图 1.7 计算机网络系统组成

1) 终端

终端是网络的主体，包括计算机、手机、电视机顶盒等设备。

2) 数据通信线路与设备

用于数据传输的双绞线、同轴电缆、光缆，以及实现有效、准确和可靠数据传输所需的各种通信控制设备，例如网卡、交换机、调制解调器、路由器等。这些设备共同构成了计算机与通信设备、计算机与计算机之间的数据通信链路。

3) 网络协议

为了使网络中的计算机能够准确地进行数据通信和资源共享，计算机和通信设备必须共同遵循一组规则和约定，这些规则、约定或标准称为网络协议。

4) 网络操作系统和网络应用软件

连接到网络上的计算机的操作系统必须支持通信协议，以便能够接入网络。运行在服务器上的操作系统除了支持网络通信和资源共享外，还负责网络的管理工作。这种操作系统称为网络操作系统(Network Operating System, NOS)。此外，为了提供网络服务并支持各种网络应用，服务器和终端计算机还必须安装并运行网络应用程序，如电子邮件程序、浏览器程序、即时通信软件、网络游戏软件等，这些程序为用户提供了各种各样的网络应用。

5) 服务器

在网络中，核心是服务器。服务器是计算机网络向其他计算机或网络设备提供服务的计算机。根据所提供的服务类型，服务器被冠以不同的名称，如文件服务器、打印服务器、数据库服务器、邮件服务器和 Web 服务器等。

1.2 通信协议与网络体系结构

本节将介绍网络体系结构与网络协议的基本概念，其中 OSI/RM 和 TCP/IP 是两个重要的网络模型。

1.2.1 通信协议与层次结构

1. 网络通信协议(Protocol)

当研究开放系统中的信息交换时，往往使用实体(Entity)来表示任何可发送或接收信息的硬件或软件进程。在许多情况下，实体就是一个特定的软件模块。

协议是控制两个对等实体(或多个实体)进行通信的规则的组合。

协议主要包括以下 3 个要素。

- 语法：用户数据与控制信息的结构与格式。
- 语义：需要发送何种控制信息以及完成的动作与响应。
- 时序：对事件实现顺序的详细说明。

2. 网络层次、接口与服务

1) 层次(Layer)

层次结构体现出对复杂问题采取“分而治之”的模块化处理方法。它将一个复杂问题分解为多个可控的小问题，极大地降低了复杂问题的处理难度。

计算机网络采用层次结构有以下几个优点。

- 各层相互独立，高层无须了解底层如何实现，仅需知晓底层通过层间的接口所提供的服务。
- 当任何一层发生变化时，只要接口保持不变，该层以上或以下各层均不受影响。
- 各层都可采用最合适的技术来实现，实现技术的改变不影响其他层。
- 整个系统被分解为多个易于处理的部分，这种结构使得庞大而复杂的系统的实现与维护变得容易控制。
- 每层的功能与提供的服务都有明确说明，这有利于促进标准化过程。

2) 接口(Interface)

接口是不同实体相邻层之间交换信息的连接点。不同实体的相邻层之间存在明确的接口，底层通过接口向高层提供服务。只要接口条件与底层功能不变，底层功能的实现方法与技术无论怎样变化，都不会影响整个系统运行。因此，接口是网络实现中的一个重要概念。

在协议的控制下，两个对等实体之间的通信使得本层能够向上一层提供服务。同时，要实现本层协议，还需要下面一层提供的服务。图 1.8 概括了相邻两层之间的关系。

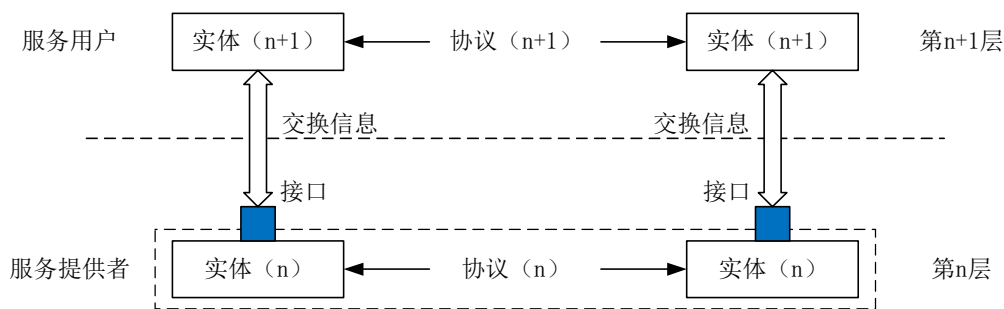


图 1.8 相邻两层之间的关系

需要注意的是，协议与服务在概念上是不一样的，具体如下。

首先，协议的实现保证了能够向上一层提供服务。使用本层服务的实体只能看到服务接口而无法看见底层的协议。因此，底层的协议对上层实体是透明的。“透明”是一个重要的术语，指的是某个实际存在的事物看起来好像不存在一样。例如，传输层使用了很复杂的协议实现了可靠传输，而上层的应用层只感受到传输层所提供的这种可靠传输服务，却看不见传输层是怎样借助复杂协议来实现可靠传输的。因此，传输层的协议对应用层来说是透明的。

其次，协议是“水平的”，即协议是控制对等实体之间通信的规则；而服务则是“垂直的”，服务是由下层向上层通过层间接口提供的。另外，并非在一个层内完成的全部功能都可以称为服务。只有那些能够被高一层实体“看见”的功能才能被称为“服务”。为了获取下层服务，上层实体需要通过层间接口与下层实体交换信息。例如，上层实体要发送数据交给下层实体去处理，下层实体将收到的分组数据提取出来交给上层实体。

1.2.2 OSI 参考模型

1. OSI 参考模型

根据“分而治之”的系统设计思想，国际标准化组织(ISO)于 1974 年发布了著名的 ISO/IEC 7498 标准，正式提出开放系统互联参考模型(Open System Interconnection/Reference Model, OSI/RM)，如图 1.9 所示。该模型层次的划分主要遵循以下原则。

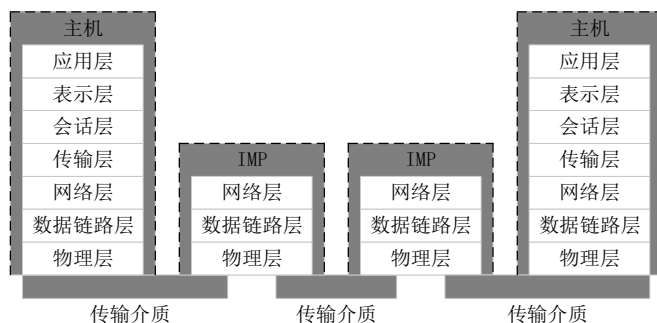


图 1.9 OSI/RM 模型

- 网络中的各个节点具有相同的层次。
- 不同节点的同等层具有相同的功能。

- 同一节点中相邻层之间通过接口来通信。
- 每层可使用下层提供的服务，并向上层提供服务。
- 不同节点的对等层之间通过协议实现逻辑通信。

在 OSI/RM 的整体框架下，详细规定了每层的功能，以实现开放环境中的互联、互操作与应用的可移植。OSI 参考模型的各层功能如下。

1) 物理层(Physical Layer)

物理层的主要功能是利用传输介质为数据链路层提供物理连接，负责处理数据传输并检测传输的误码率，以便实现数据流的透明传输。

2) 数据链路层(Data Link Layer)

数据链路层的主要功能是在物理层提供的服务基础上，在通信实体之间建立数据链路连接，传输以帧为单位的数据包，并采用差错控制与流量控制方法，将有差错的物理线路变成无差错的数据链路。

3) 网络层(Network Layer)

网络层的主要功能是为以分组为单位的数据包通过网络选择合适的路径，实现路由选择、分组转发与拥塞控制等功能。

4) 传输层(Transport Layer)

传输层的主要功能是为用户提供可靠的端到端(end-to-end)服务，处理数据包的错误和次序问题，并向高层屏蔽下层的数据通信细节。

5) 会话层(Session Layer)

会话层的主要功能是维护两台计算机之间的传输链接，确保点对点传输不中断，并提供对数据交换的管理功能。

6) 表示层(Presentation Layer)

表示层的主要功能是处理不同通信系统的信息表示方式，主要包括格式变换、加密与解密、压缩与恢复等功能。

7) 应用层(Application Layer)

应用层的主要功能是通过不同应用软件提供相应的服务，例如文件服务、数据库服务、电子邮件服务以及其他网络服务。

2. OSI 参考模型中的参数传递

OSI 参考模型的描述范围被称为 OSI 环境(OSI Environment, OSIE)。图 1.10 展示了 OSI 环境示意图。OSI 环境包括计算机中的物理层到应用层(共 7 层)，以及通信子网中的通信设备的相应层，即图中虚线圈出的范围。传输介质不包括在 OSI 环境中。当一台主机处于单机状态时，不需要从应用层到物理层的硬件与软件；如果该主机要接入计算机网络，则需要增加相应的硬件与软件。物理层、数据链路层与网络层的大部分功能可以通过硬件实现，而高层功能则主要通过软件实现。

如果位于不同主机的两个应用程序之间需要通信，发送方的应用程序将调用实现应用层的软件模块，应用层将数据传送给表示层，表示层将数据传送给会话层。这样逐层

向下传送，直至到达物理层。该主机通过传输介质将数据传给一个接口消息处理器(Interface Message Processor, IMP)。该IMP的物理层将数据传送给数据链路层，数据链路层将数据传送给网络层。IMP的网络层为数据执行路径选择，并将该数据传送给另外一个IMP。数据在此过程中逐层传送，直至到达接收方所在的IMP。该IMP通过传输介质将数据传送给接收方，接收方主机的物理层将数据传送给数据链路层，数据链路层将数据传送给网络层，这样逐层向上传送，直至到达应用层，接收方的应用程序便可以接收到数据。

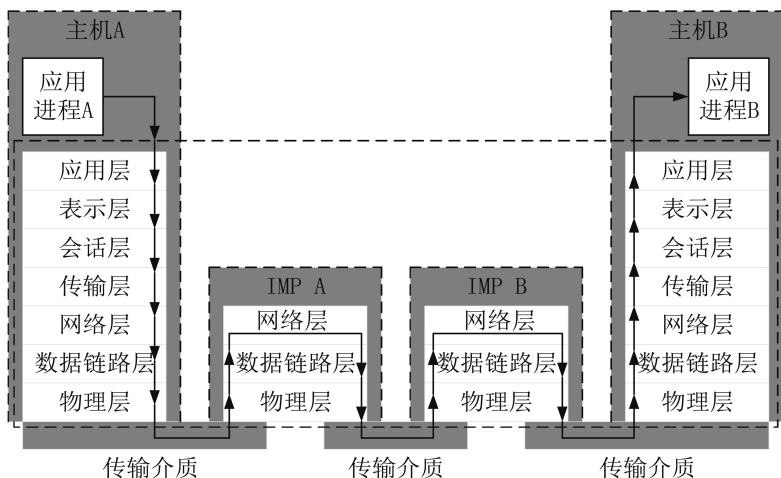


图 1.10 OSI 环境示意图

在 OSI 环境中，数据需要在主机的相邻层之间传输，并保证数据正确传输到不同主机的同等层。服务数据单元(Service Data Unit, SDU)是用于实现高层服务所需的数据单元，而协议数据单元(Protocol Data Unit, PDU)是不同主机的对等层为实现该层协议所交换的数据单元。主机通常将 SDU 分成若干段，每段加上报头，并作为单独的 PDU 传送给不同主机的对等层。图 1.11 展示了 OSI 环境中的数据流。

在 OSI 环境中，数据传输过程包括以下几个步骤。

- (1) 应用进程 A 的数据传送到主机 A 的应用层，应用层为数据添加应用层的控制报头，形成应用层的服务数据单元然后传送到表示层。
- (2) 表示层接收到该数据单元，添加表示层的控制报头，形成表示层的服务数据单元，然后传送到会话层。表示层按协议要求进行格式变换或加密处理。
- (3) 会话层接收到该数据单元后，会添加会话层的控制报头，形成会话层的服务数据单元，并将其传送到传输层。会话层的报头用于协调通信主机之间的进程通信。
- (4) 传输层接收到该数据单元，添加传输层的控制报头，形成传输层的服务数据单元，然后传送到网络层。传输层的服务数据单元称为报文(Message)。
- (5) 网络层接收到该数据单元后，由于网络层数据单元的长度有限制，传输层报文被分解为多个较短的数据单元，并添加网络层的控制报头，形成网络层的服务数据单元，然后传送到数据链路层。网络层的服务数据单元称为分组(Packet)。

(6) 数据链路层接收到该数据单元后,添加数据链路层的控制信息(包括报头和报尾),形成数据链路层的服务数据单元,并将其传送到物理层。数据链路层的服务数据单元称为帧(Frame)。

(7) 物理层接收到该数据单元后,形成物理层的服务数据单元,然后通过传输介质传送到下一个主机的物理层。物理层的服务数据单元称为比特序列(Bit sequence)。

(8) 主机 B 接收到该数据单元,从物理层开始逐层上传,每层拆除该层的控制报头,形成相应层的服务数据单元,直至应用层,最后由应用层将数据传送到应用进程 B。

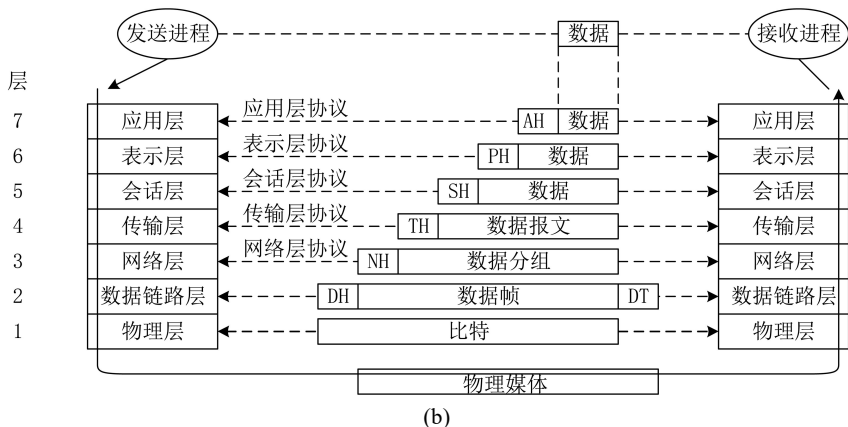
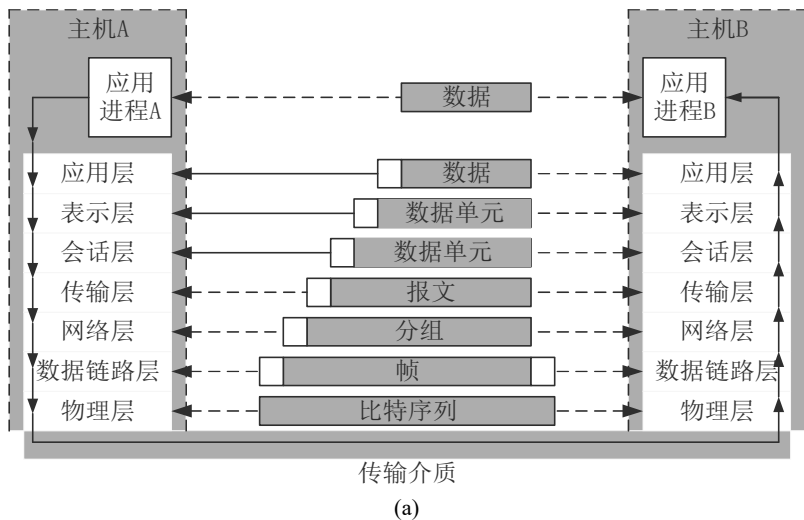


图 1.11 OSI 环境中的数据流

在 OSI 环境中,尽管应用进程 A 的数据需经过复杂的处理过程,才能被正确传送给另一台主机的应用进程 B,但对于每台主机的应用进程来说,OSI 环境中的数据流处理过程是透明的。应用进程 A 的数据就像直接传送给应用进程 B 一样,最终实现了分布式进程的通信功能。这就是开放系统在网络通信中的本质作用。

1.2.3 TCP/IP 模型

TCP/IP 最初是一个用于网络互联的协议族，随着其被 ARPANET 采用并逐渐发展壮大，目前它已成为 Internet 领域中的事实标准。TCP/IP 是 Internet 主机之间通信需要共同遵循的一种通信规则，它规定了计算机的信息表示格式及含义、计算机之间通信所需的控制信息，以及针对控制信息应做出的响应。目前，TCP/IP 已发展成一个庞大的协议集，并形成了分层结构的 TCP/IP 参考模型。

TCP/IP 参考模型可以分为 4 个层次：应用层(Application Layer)、传输层(Transport Layer)、网络层(Network Layer)与网络接口层(Network Interface Layer)。其中，TCP/IP 参考模型的应用层与 OSI 参考模型的应用层、表示层和会话层对应；TCP/IP 参考模型的传输层与 OSI 参考模型的传输层对应；TCP/IP 参考模型的网络层与 OSI 参考模型的网络层对应；TCP/IP 参考模型的网络接口层与 OSI 参考模型的数据链路层和物理层相对应。图 1.12 展示了这两种参考模型的对应关系。

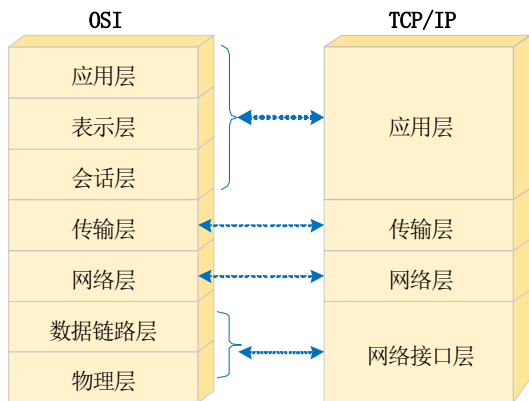


图 1.12 OSI 与 TCP/IP 参考模型对应关系

1) 网络接口层(Network Interface Layer)

网络接口层是 TCP/IP 参考模型的最底层，负责通过物理网络发送和接收数据。网络接口层并没有规定使用哪种协议，它采取了开放性的策略，允许使用广域网、城域网与局域网的各种协议。任何流行的底层网络协议都可为 TCP/IP 提供接口。这体现了 TCP/IP 体系的开放性与兼容性，也是 TCP/IP 能够成功的基础。

2) 网络层(Network Layer)

网络层是 TCP/IP 参考模型的第二层，通过使用网络接口层提供的服务，由 IP 提供尽力而为(Best Effort)的数据传输服务。网络层的核心协议是网际互联协议(Internet Protocol, IP)。目前，常用的 IP 的版本是 IPv4 和 IPv6，IPv6 在地址空间、路由寻址安全性与服务质量(Quality of Service, QoS)等方面有很大改进。

网络层的主要功能如下。

- 处理来自传输层的数据发送请求。
- 处理由其他节点转发来的分组。
- 处理网络层的流量控制与拥塞控制。

3) 传输层(Transport Layer)

传输层是 TCP/IP 参考模型的第 3 层, 主要实现对等实体的应用进程之间的端到端通信, 以支持分布式进程的通信。传输层主要定义了以下两种协议。

(1) 传输控制协议(Transmission Control Protocol, TCP): 这是一种可靠的面向连接协议, 能够确保将源主机的字节流无差错地传送到目的主机。TCP 需要完成流量控制功能, 以协调通信双方的发送与接收速率, 从而确保数据的正确传输。

(2) 用户数据报协议(User Datagram Protocol, UDP): 这是一种不可靠的无连接协议, 主要用于不要求分组按顺序到达的传输服务。分组顺序检查与排序可由应用层完成。

4) 应用层(Application Layer)

应用层是 TCP/IP 参考模型的最高层, 用于提供各种标准化的网络应用或服务。每种网络应用可由一种或多种应用层协议支持。随着各种新的网络应用不断出现, 应用层协议的数量也在持续增长。

1.3 计算机网络的拓扑结构

在计算机网络中, 为了应付复杂的网络结构设计问题, 人们引入了网络拓扑学的概念。按照拓扑学的观点, 将工作站、服务器、交换机等网络单元抽象为“点”, 网络中的传输介质抽象为“线”。由此, 计算机网络系统就变成了由点和线组成的几何图形, 这种图形表示了传输介质与各节点的物理连接结构, 称为网络拓扑结构。

网络拓扑结构影响整个网络的设计、功能、可靠性和通信费用等许多方面, 是决定网络性能的重要因素之一。网络拓扑可以根据通信子网中的通信信道类型分为两类。

(1) 点对点线路子网的拓扑。在采用点对点线路的通信子网中, 每条物理线路连接一对节点。采用点对点线路的通信子网的基本拓扑构型有 4 种: 星形、环形、树状和网状。

(2) 广播信道子网的拓扑。在采用广播信道的通信子网中, 一个公共的通信信道被多个网络节点共享。采用广播信道通信子网的基本拓扑构型主要有 4 种: 总线型、树状、环形和无线通信型。

常见的网络拓扑结构包括总线型、星形、环形、树状和网状。

1. 总线型拓扑结构

总线型拓扑结构中采用一条公共传输信道传输信息, 所有节点均通过专门的连接器连到公共信道上, 这个公共的信道称为总线, 如图 1.13 所示。为防止信号反射, 一般在总线两端安装终端匹配器。在总线型拓扑中, 数据传输以广播方式进行: 任何一个节点发送的数据都能通过总线进行传播, 同时能被总线上的所有其他节点接收。该结构一般用于局域网架设, 但现在用得较少。

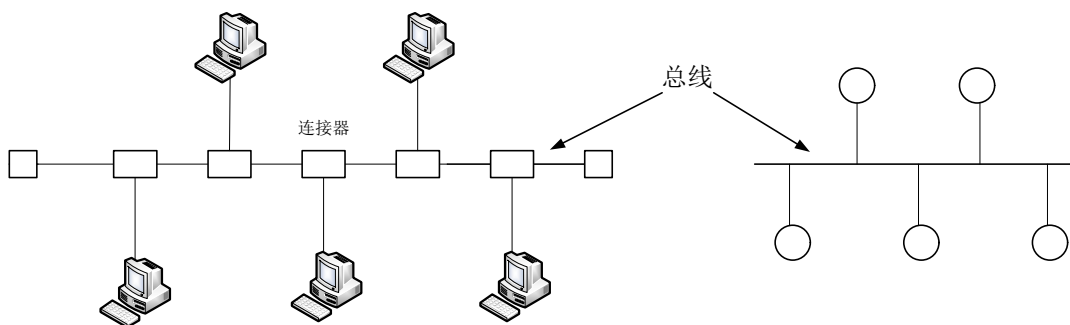


图 1.13 总线型拓扑结构

总线型拓扑结构的优点是形式简单，并且节点易于扩充。其缺点是同一时刻只能有两个网络节点进行通信，导致访问控制复杂。此外，总线型拓扑结构受限于总线的长度，网络的延伸范围较小，任何一处的故障都会影响整个网络的通信(尤其是当总线电缆出现故障时，整个网络将无法进行通信)。

2. 星形拓扑结构

星形拓扑结构中有一个中心节点，其他各节点通过点对点线路与中心节点相连，形成辐射型结构，在物理形状上类似于星星，因此称为星形拓扑结构。在星形拓扑结构中，各节点间不能直接通信，需要通过中心节点转发，因此中心节点必须有较强的功能和较高的可靠性。中心节点设备一般包括集线器、交换机等。星形拓扑结构是目前局域网主要的拓扑形式，如图 1.14 所示。

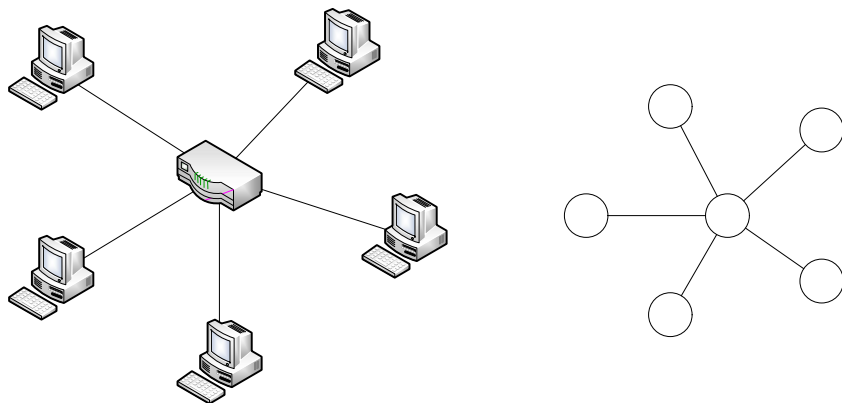


图 1.14 星形拓扑结构

星形拓扑结构的优点是组网容易，控制相对简单，并且维护起来较为方便。此外，星形拓扑结构受故障影响的设备较少，能够较好地处理通信介质故障(只需将故障设备从网络中移除即可处理故障)。其缺点是需要的连接线缆比总线型拓扑结构更多，且一旦中心节点发生故障，网络将不能工作。

3. 环形拓扑结构

在环形拓扑结构中，各节点和通信线路连接形成一个闭合的环，如图 1.15 所示。数据在环中按照一个方向沿环逐个节点传输(可以是顺时针方向或逆时针方向)。发送端发出

的数据,经环绕行一周后回到发送端,并由发送端(或接收端)将该数据从环上移除。任何一个节点发出的数据都可以被环上的其他节点所接收。FDDI(光纤分布式数据接口)网络就是环形拓扑结构。

环形拓扑的结构简单,系统中各工作站地位相等,且组网容易。在增加或减少节点时,仅需简单的连接操作。此外,环形拓扑能够实现数据传输的实时控制,可预知网络的性能。在单环拓扑结构中,任何一个节点发生故障都会导致环中的所有节点无法正常通信。因此,在实际应用中一般采用多环结构,这样在单节点发生故障时,其余节点可以形成新的环,继续正常工作。环形拓扑结构的一个缺点是,当一个节点要往另一个节点发送数据时,它们之间的所有节点都必须参与传输,这相较于总线型拓扑结构,更多的时间会被用在替别的节点转发数据上。

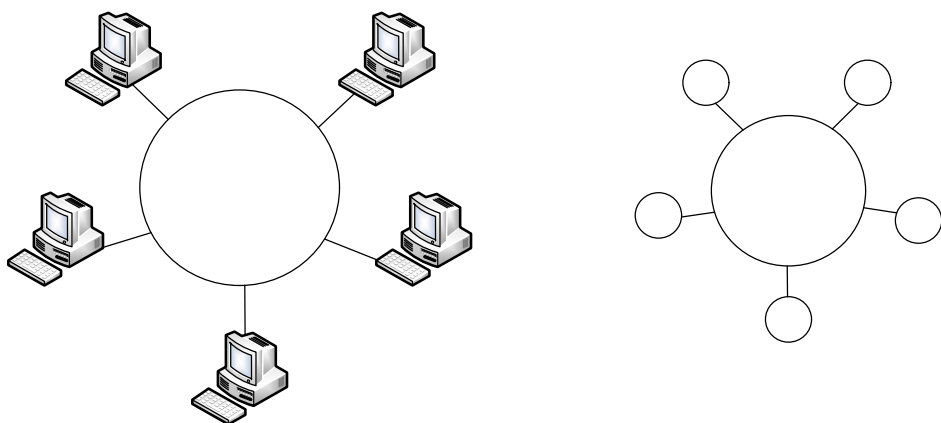


图 1.15 环形拓扑结构

4. 树状拓扑结构

树状拓扑结构是一种分层结构,可以将其看成是星形拓扑结构的一种扩展,适用于分级管理和控制的网络系统,如图 1.16 所示。它一般适用于局域网中包含节点比较多的情况,可以通过增加中心节点,实现中心节点的级联。与简单的星形拓扑结构相比,在节点规模相当的情况下,树状拓扑结构中通信线路的总长度较短,从而降低了成本并易于推广。因此,树状拓扑结构在局域网中被广泛应用。

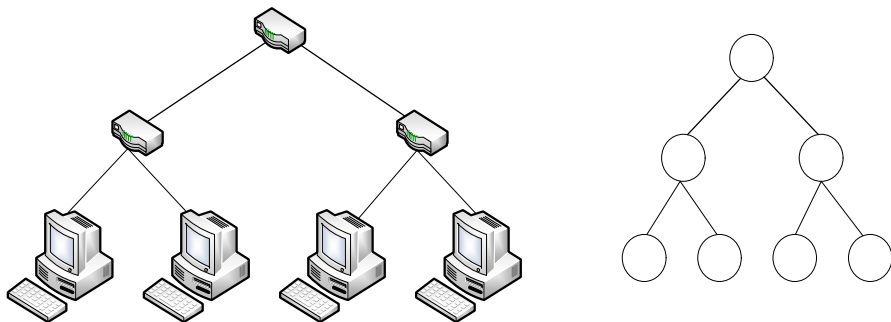


图 1.16 树状拓扑结构

5. 网状拓扑结构

网状拓扑结构又称为无规则拓扑结构，其节点之间的连接呈任意分布，无固定规律。网状拓扑结构由分布在不同地点的计算机系统相互连接而成，每个节点都至少与其他两个节点相连，并且可以通过多条线路与其他节点相连(这使得节点之间存在多条可选的路径)。因此，采用网状拓扑结构的网络具有较高的可靠性，但其实现起来费用高、结构复杂、不易管理和维护。如图 1.17 所示，中心节点之间就使用了网状拓扑结构，保证了网络各节点对服务器访问的可靠性。

网状拓扑结构可以充分、合理地使用网络资源，并且具有很高的可靠性。目前，实际存在和使用的广域网结构以及一些网络的核心层，基本上都采用了网状拓扑结构，以提高服务的可靠性和数据传输质量。

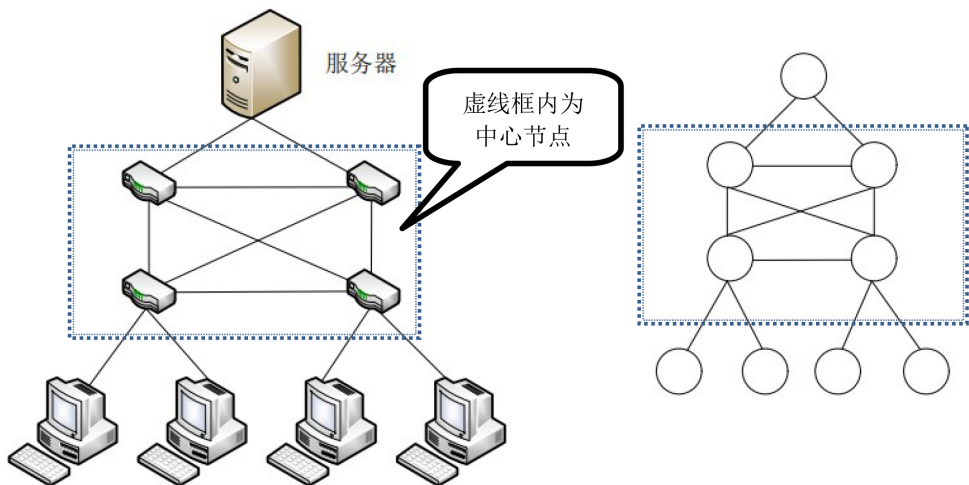


图 1.17 网状拓扑结构

在实际应用中，局域网的拓扑结构大多数采用总线型拓扑、星形拓扑、环形拓扑3种拓扑结构。城域网通常采用环形拓扑或层次化的树状拓扑结构，广域网则采用不规则的网状拓扑结构。

1.4 计算机网络的分类

为了更有针对性地研究和学习计算机网络，通常会对其进行分类。根据不同的角度和方法，计算机网络可以分成不同的类型。例如，可以按覆盖的地理范围、网络拓扑、传输方式和用途等进行分类。

1.4.1 按照覆盖的地理范围分类

按照网络覆盖的地理范围对网络进行分类，计算机网络可分成局域网、城域网、广域网。这是目前最为常用的一种计算机网络分类方法，因为地理覆盖范围直接影响网络

技术的实现与选择，并且在技术实现和选择方面存在明显差异。

1. 局域网

局域网(Local Area Network, LAN)的通信一般被限制在中等规模的地理范围，例如一座办公楼、一座工厂或一所学校。局域网使用具有中等或较高信息传输速率的物理信道，并且具有较低的误码率，通常由单一组织机构专用。

局域网结构简单，容易实现。自计算机网络诞生以来，局域网技术发展非常迅速，应用也日益广泛，逐渐成为计算机网络中最为活跃的领域之一。局域网的技术特点主要表现在以下几个方面：其一，局域网覆盖有限的地理范围，适用于政府机关、校园、工厂等有限范围内的计算机、终端和各类信息处理设备联网的需求；其二，局域网通常具有较好的性能，具体表现在局域网具有较高的数据传输速率(10Mbps~10Gbps)和较低的误码率；其三，局域网一般由一个单位所拥有，相对易于建立、管理和维护，如图 1.18 所示。由于光纤技术的出现，局域网实际的覆盖范围已经大大增加。

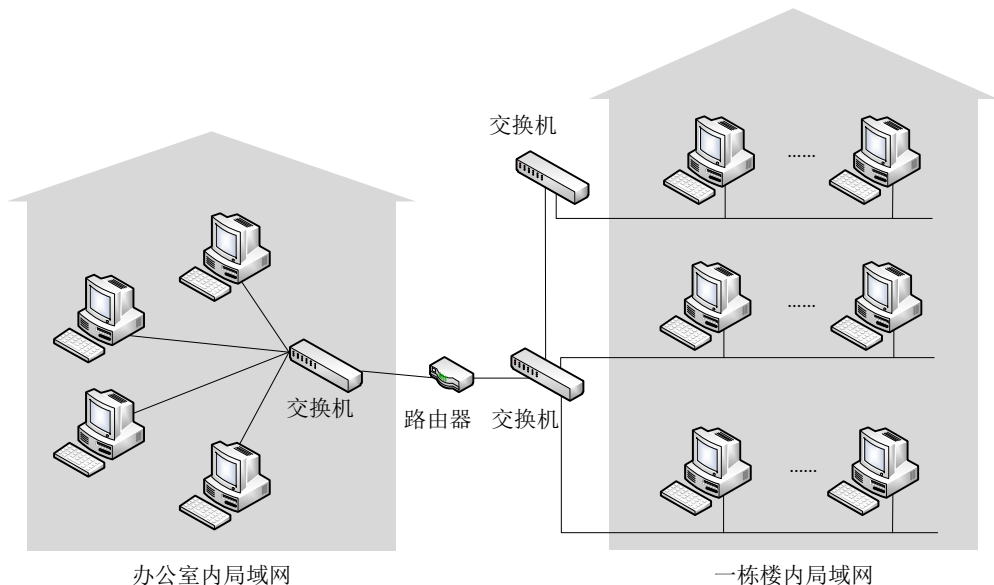


图 1.18 局域网

2. 城域网

城域网(Metropolitan Area Network, MAN)的覆盖范围通常在几千米到几十千米之间，是一种介于局域网和广域网之间的高速网络。城域网具有公共网络性质，旨在为多用户提供数据、语音、图像等多业务的传输服务。其设计目标常常要满足一个城市范围内大量的企业、公司、机关、学校和住宅区等多个局域网互联的需求。例如，将一个城市中所有大学的校园网互联起来的网络称为教育城域网，如图 1.19 所示。

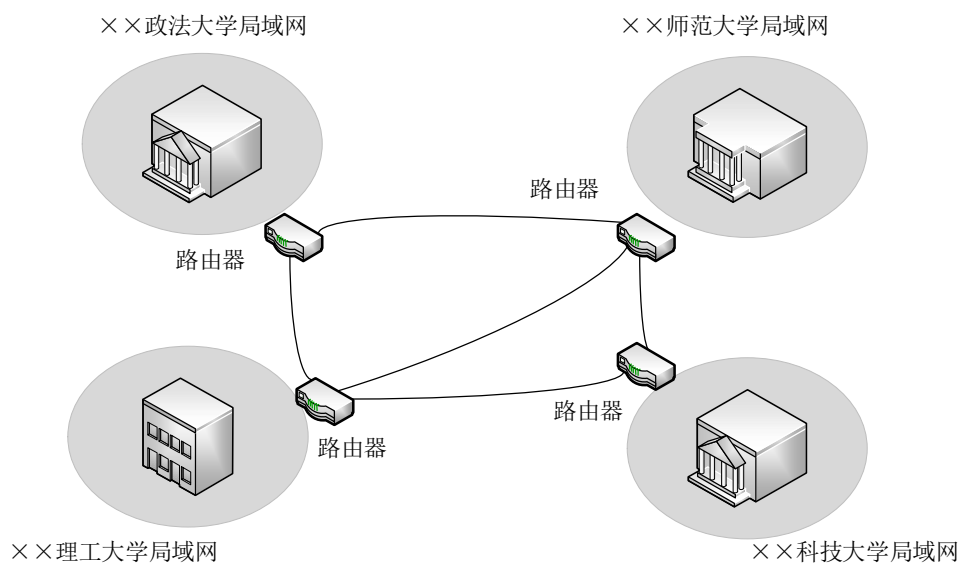


图 1.19 教育城域网

3. 广域网

广域网(Wide Area Network, WAN)，又称远程网，其最显著的特点是网络覆盖范围非常大。广域网的覆盖范围从几十千米到几千千米不等，可以覆盖一个国家或地区，甚至可以横跨几个洲，形成国际性的远程网，如图 1.20 所示。常用的广域网有公用电话网、公用分组交换网、公用数字数据网、宽带综合业务数字网以及众多专用网络。Internet 就是一个典型的广域网。

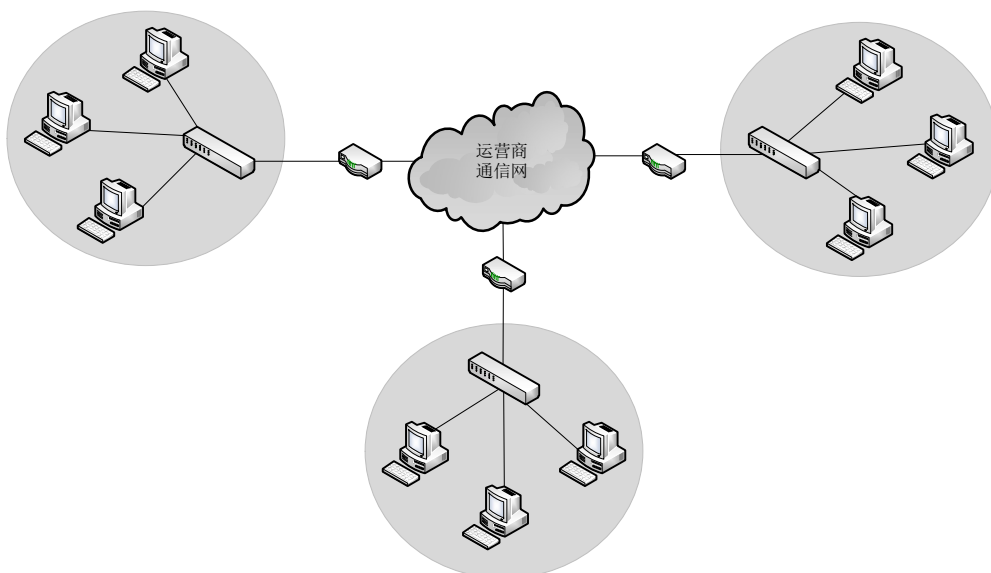


图 1.20 广域网

广域网采用的技术和标准与局域网及城域网有着很大的不同。广域网的数据传输速

率不同地区差异较大, 错误率相对较高, 并且没有统一的网络拓扑结构, 属于公用网络。若要使用广域网服务, 用户需要向广域网服务提供商提出申请。

4. 个域网

个域网(Personal Area Network, PAN)是指在便携式消费电器与通信设备之间进行短距离通信的网络, 其覆盖范围一般在 10 米半径以内。

1) 特点和应用

个域网的特点和应用如下。

- 短距离通信: 个域网主要用于短距离内的设备间通信, 覆盖范围通常在 10 米以内。
- 无线技术: 个域网通常使用无线技术, 如蓝牙和 ZigBee, 以实现设备间的无线连接。
- 多种设备: 个域网可以连接多种个人电子设备, 如笔记本电脑、打印机、耳机等。
- 应用广泛: 个域网广泛应用于个人工作和生活场景, 提供便捷的无线连接和数据共享。

2) 关键技术

个域网的关键技术如下。

- 蓝牙技术: 蓝牙是一种短距离无线通信技术, 支持点对点或多点通信, 适用于个域网中的设备连接和数据传输。
- ZigBee: ZigBee 是一种低功耗的无线通信技术, 适用于需要长时间运行的低功耗设备。
- 其他无线技术: 除了蓝牙和 ZigBee, 个域网还可以使用其他无线技术, 如 Wi-Fi 等, 用户可根据具体应用场景选择合适的技术。

1.4.2 按照传输技术分类

根据传输方式, 计算机网络可以分为广播式网络和点对点网络。

1. 广播式网络

广播式网络(Broadcast Network)是指网络中的计算机或设备共享一条通信信道, 如图 1.21 所示, 所有的计算机都接到集线器上, 共享信道。广播式网络的特点有两个: 其一, 任一计算机发出的信息, 其他计算机都能收到, 接收到信息的计算机根据信息报文中的目的地址来判断是接收还是丢弃该报文; 其二, 任何时间内只允许一个节点使用信道, 因此在广播式网络中需要为信道争用提供相应的解决机制。

2. 点对点网络

点对点网络(Point-to-Point Network)采用点对点连接的方式, 将各节点连接起来。节点间发送数据只有固定目的节点能够收到, 其他节点无法接收到数据, 如图 1.22 所示。这种传播方式主要用于广域网, 广域网中路由器之间的数据传输就是采用点对点的方式进行的。

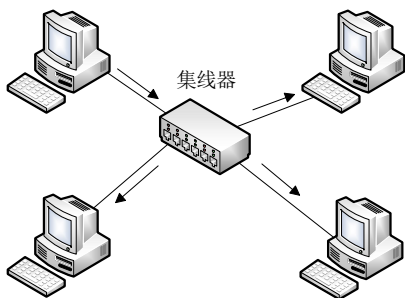


图 1.21 广播式网络

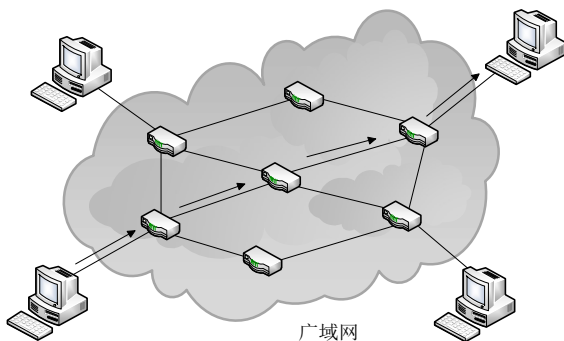


图 1.22 点对点网络

1.4.3 按照网络的使用范围分类

1. 公用网

公用网是由主管部门或经主管部门批准的电信运营机构为公众提供电信服务而建立并运行的网络，例如 CHINANET、CERNET 等。

2. 专用网

专用网又称私有网，一般由某个单位或特定系统组建。这类网络一般不允许系统外的用户使用，例如银行、公安和铁路等建立的网络，均为其各自专用。

1.4.4 按照在网络中所处的位置分类

主干网与接入网构成了一个典型的网络结构图，包含主干网、城域网和接入网等，如图 1.23 所示。

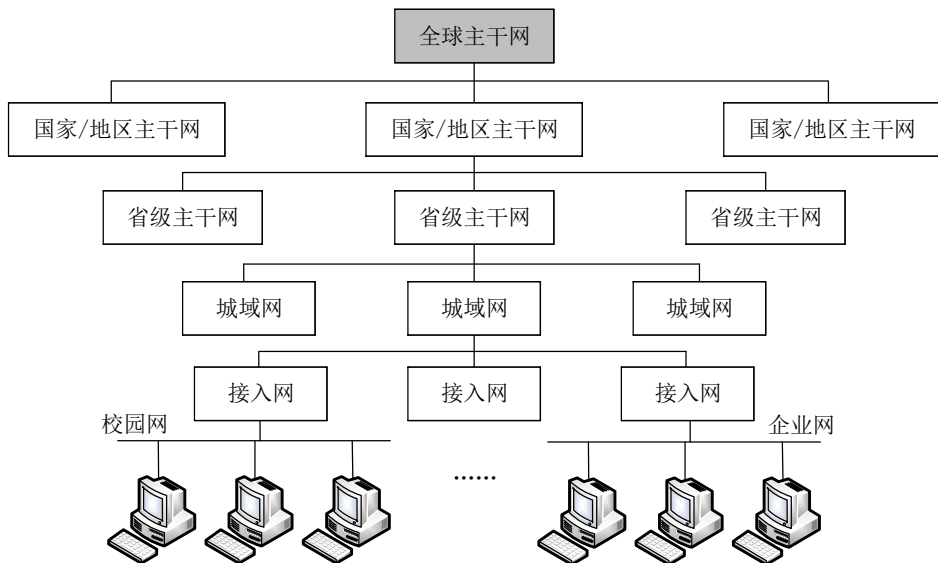


图 1.23 典型网络结构

1. 主干网

主干网(Backbone Network), 又称骨干网, 是用于连接多个区域或地区的高速网络。在每个主干网中, 至少有一个和其他主干网进行互联互通的连接点。不同的网络供应商都拥有自己的主干网, 以连接其位于不同区域的网络。主干网相当于城市间的高速公路, 负责快速传输大量数据。

目前我国拥有九大主干网, 分别是中国公用计算机互联网(CHINANET)、中国金桥信息网(CHINAGBN)、中国联通计算机互联网(UNINET)、中国网通公用互联网(CNCNET)、中国移动互联网(CMNET)、中国教育和科研计算机网(CERNET)、中国科技网(CSTNET)、中国长城互联网(CGWNET)以及中国国际经济贸易互联网(CIETNET)。

2. 接入网

接入网(Access Network, AN)是近年来由于用户对高速上网需求的增加而出现的一种网络技术, 它是局域网与城域网之间的桥接区域。接入网提供多种高速接入技术, 在一定程度上解决了用户接入 Internet(因特网)的瓶颈问题。

1.5 计算机网络的主要性能指标

计算机网络的性能指标用于从不同角度评估网络性能, 主要包括定量评价指标和定性评价指标。其中需要重点关注的指标包括带宽和时延。

1.5.1 计算机网络的定量评价指标

1. 速率(Data Rate)

比特(Bit)是计算机中数据量的单位, 也是信息论中使用的信息量的单位。比特来源于 Binary Digit, 意思是一个“二进制数字”。因此, 一个比特就是二进制数字中的一个“1”或“0”。速率指的是数据的传输速率, 即每秒传输多少个比特, 单位是比特/秒(bit/s), 这是计算机网络中最重要的一個性能指标。常用的速率单位有千比特/秒(Kb/s)、兆比特/秒(Mb/s)、吉比特/秒(Gb/s)等。速率往往是指额定速率或标称速率。例如, 网卡的传输速率为 100Mb/s, 表示每秒可以传输 100 兆比特的数据。

2. 带宽(Bandwidth)

带宽指的是网络通信线路传输数据的能力, 即在单位时间内从网络中的某一点到另一点所能达到的最高数据传输率。

带宽有两种不同的含义。

(1) 在通信领域中, 带宽是指信号具有的频带宽度, 单位是赫兹(Hz), 也常用千赫(kHz)、兆赫(MHz)、吉赫(GHz)等。

(2) 在计算机网络领域中, 带宽通常指数字信道所能传输的最高数据率, 单位为比特每秒(bit/s, 简写为 b/s)。

从定义可以看出, 带宽的单位与速率是相同的, 常用的带宽单位包括 b/s、Kb/s(10^3 b/s)、

Mb/s(10^6 b/s)、Gb/s(10^9 b/s)、Tb/s(10^{12} b/s)等。

实际上,带宽的这两种含义之间是有密切联系的。香农定理表明,一条通信链路的频带宽度越大,其传输的最高数据速率也就越大。例如,一个1Gb/s的带宽意味着每秒可以传输1吉比特的数据。

3. 吞吐量(Throughput)

吞吐量表示在单位时间内通过某个网络(或信道、接口)的数据量。

吞吐量经常用于测量现实世界中的网络性能,以了解实际能够传输多少数据。吞吐量受网络带宽或额定速率的限制,其中带宽是网络理论上的性能上限(理论最高速率),而吞吐量则反映了网络实际的性能表现(即实际速率)。

4. 时延(Delay 或 Latency)

时延指数据从网络的一端传送到另一端所需的时间或者延迟。时延主要包括发送时延、传播时延、处理时延和排队时延。其具体成因如图1.24和1.25所示。例如,如果传播时延为1毫秒,带宽为1Gb/s,则时延带宽积为1Gb/s $\times$ 1ms=1兆比特。

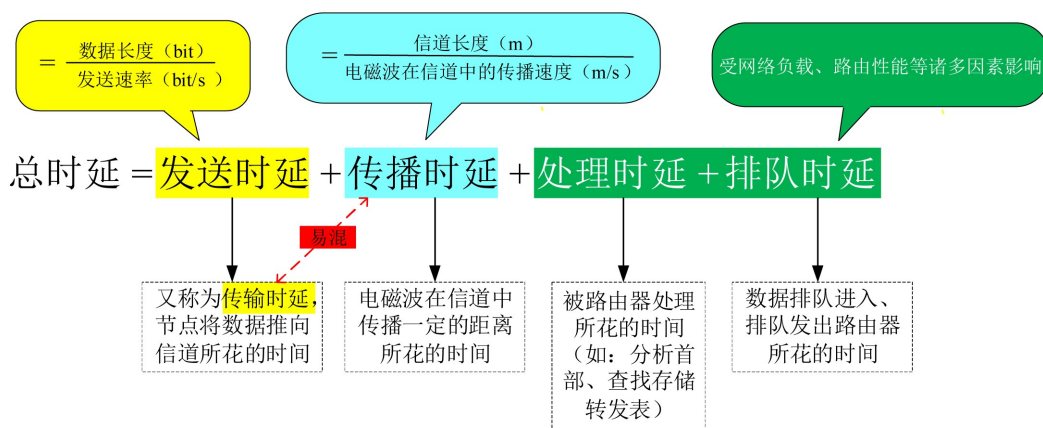


图 1.24 时延的产生

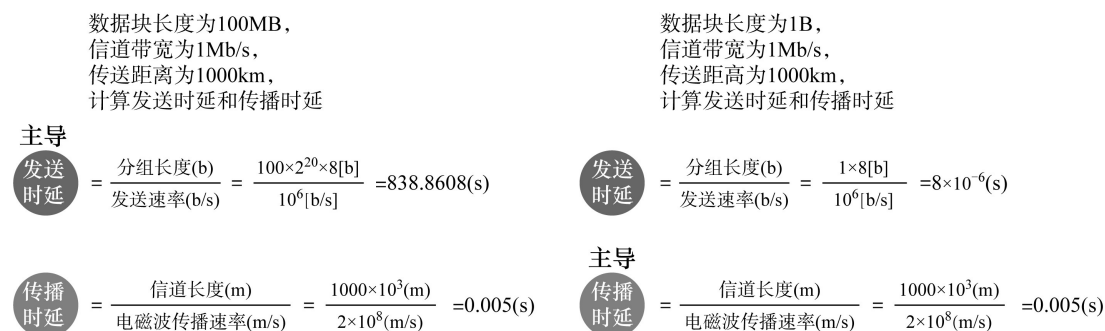


图 1.25 主导时延的因素

5. 时延带宽积(Bandwidth Delay Product, BDP)

时延带宽积是指数据在网络传输过程中,传播时延与链路带宽的乘积。时延带宽积

表示在给定的传播时延内，链路可以传输多少比特的数据，即网络在通信时有多少数据在链路上，如图 1.26 所示。

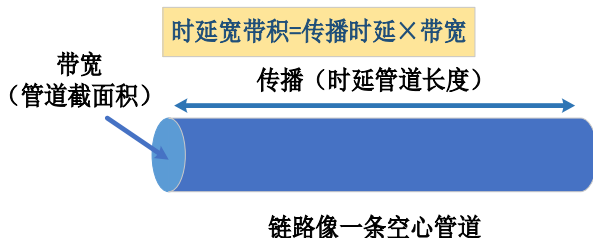


图 1.26 时延带宽积

6. 利用率(Utilization)

利用率主要有两种形式：信道利用率和网络利用率。信道利用率表示特定信道被利用的时间百分比，即有数据通过的时间比例。所谓网络利用率是指全网络的信道利用率加权平均。根据排队论，当某信道的利用率增大时，该信道的时延也会迅速增加。因此，信道利用率并非越高越好。信道利用率与时延的关系如图 1.27 所示。

可以用式 1.1 表示 D 与 D_0 之间的关系。

$$D = \frac{D_0}{1-U} \quad (\text{式 1.1})$$

其中， U 是网络的利用率。

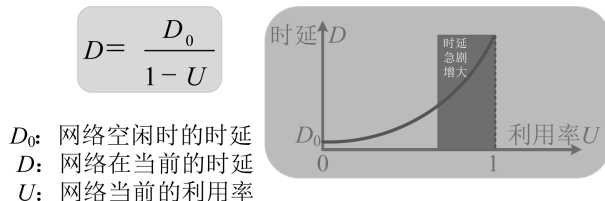


图 1.27 利用率示意图

1.5.2 计算机网络的定性评价指标

1. 费用

网络的成本是一个必须考虑的因素，因为网络的性能与其价格密切相关。一般来说，网络的数据传输速率越高，其价格也相应越高。

2. 质量

网络的质量影响到很多方面，如网络的可靠性、网络管理的简易性以及其他性能指标。然而，网络的性能与网络的质量并不是同一概念。

3. 标准化

网络硬件和软件的设计既可以遵循通用的国际标准，也可以依据特定的专用网络标准。采用国际标准设计是最理想的选择，这样可以得到更好的互操作性，便于升级和维护，并且更容易得到技术支持。

4. 可靠性

可靠性与网络的质量和性能密切相关。虽然速率更高的网络不一定意味着较低的可靠性,但速率更高的网络要可靠地运行,则往往更加困难,同时需要的费用也会较高。

5. 可扩展性和可升级性

在构造网络时就应当考虑到网络今后可能会需要扩展(即规模扩大)和升级(即性能和版本提升)。网络的性能越高,其扩展费用往往也越高,扩展难度也会相应增加。

6. 易于管理和维护

网络如果没有良好的管理和维护,就很难实现和保持预期的性能。例如,随着企业对电子邮件的需求日益增长,越来越多的企业重视建立公司品牌的企业邮箱或者自建邮件系统。在系统后续的长期使用过程中,有效的邮件管理和维护变得更为重要。尽管垃圾邮件让人深恶痛绝,但电子邮件还是成为企业必不可少的通信方式。低廉的通信成本、快速的信息传递以及提高企业通信效率,是企业选择电子邮件系统的主要原因。然而,不适合的企业邮箱系统可能会影响企业业务的发展。

IT 系统在部署的过程中,通常的观点是系统不应该给用户带来困扰,并且要尽可能减少业务损失、最大化 IT 投资回报。如今,简便的软件管理和维护已成为软件行业发展和立足的重要保障。

本章小结

本章简要介绍了计算机网络的定义、组成、功能、分类、拓扑结构和主要的性能指标,重点介绍了通信协议和计算机网络的体系结构。

习题一

一、单选题

1. 一所综合性大学的校园网属于()。
A. 局域网
B. 城域网
C. 广域网
D. 混合网络
2. Internet 最早起源于()。
A. ARPANET
B. 以太网
C. NSFNET
D. 环形网
3. 计算机网络中可共享资源包括()。
A. 硬件、软件、数据和通信信道
B. 主机、外设和通信信道
C. 硬件、软件和数据
D. 以上都是

4. 计算机网络的主要目标是()。
 - A. 数据处理
 - B. 文检检索
 - C. 协同工作
 - D. 资源共享
5. 计算机网络是()相结合而形成的一种新的通信形式。
 - A. 计算机技术与通信技术
 - B. 计算机技术与电子技术
 - C. 计算机技术与电磁技术
 - D. 电子技术与电磁技术
6. 下列关于星形拓扑结构的描述中, 错误的是()。
 - A. 结构简单, 组网容易
 - B. 控制相对简单, 便于维护
 - C. 集中控制, 中心节点负载较轻
 - D. 受故障影响的设备少, 能够较好地处理通信介质故障
7. 通信子网的组成主要包括()。
 - A. 源节点和宿节点
 - B. 主机和路由器
 - C. 网络节点和通信链路
 - D. 端节点和通信链路
8. 下列关于拓扑结构的正确描述是()。
 - A. 星形拓扑结构各节点分布处理能力较强
 - B. 总线型拓扑结构不能保证信息的及时传送且不具有实时功能
 - C. 树形拓扑结构不能扩展
 - D. 网状拓扑结构结构复杂且成本较低
9. 通信网络采用的主要传输方式为()。
 - A. 单播方式和广播方式
 - B. 广播方式和端到端方式
 - C. 端到端方式和点对点方式
 - D. 广播方式和点对点方式
10. 广域网 WAN 中所采用的传输方式为()。
 - A. 广播式
 - B. 存储转发式
 - C. 集中控制式
 - D. 分布控制式

二、填空题

1. 常见的计算机网络拓扑结构有_____、_____、_____、_____和_____。
2. 按传输方式, 计算机网络可分为_____和_____。
3. 在逻辑功能上, 计算机网络可以分为_____和_____两大部分。
4. 计算机网络按其交换方式, 可分为电路交换网、报文交换网和_____。
5. 通过电话双绞线上网的主流数据速率为 56 Kb/s, 其物理极限为_____。
6. 计算机网络是利用通信设备和线路将地理位置不同的、功能独立的多个计算机系统互联起来, 借助功能完善的网络软件(如网络通信协议、信息交换方式和网络操作系统等), 实现网络中_____和_____的系统。
7. 广域网一般采用_____传输方式, 局域网一般采用_____传播方式。
8. 网络拓扑结构可以根据通信子网中通信信道的类型分为两类: _____和_____。
9. 按交换方式来分类, 计算机网络可分为_____、报文交换网和_____3 种。

10. 信息在两端节点之间传输时，若要经过多个中间节点转发，则称这种传输方式为_____。

三、简答题

1. 简述计算机网络的定义。
2. 简述计算机网络的组成。
3. 简述计算机网络协议及要素。
4. 简述计算机网络的拓扑结构及优缺点。
5. 简述计算机网络的体系结构。