



1

第1章 计算机网络基础

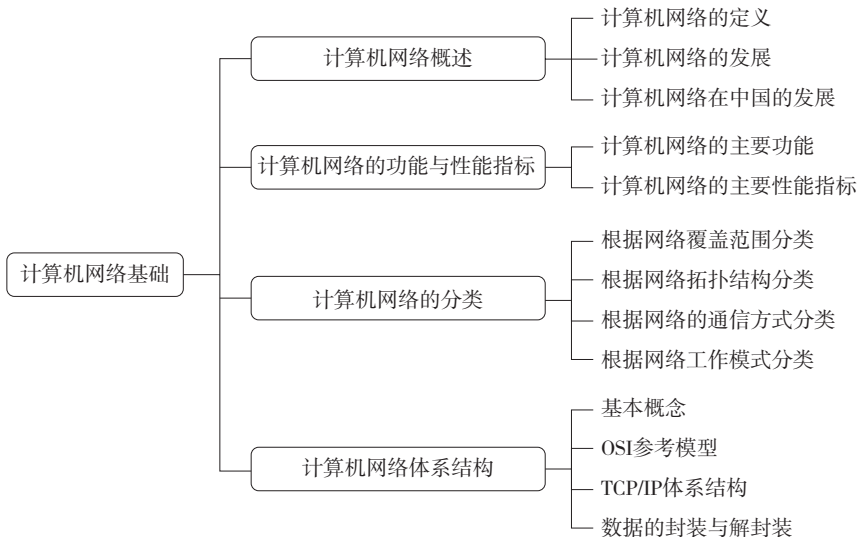


学习目标

1. 了解计算机网络的定义、发展、分类、组成及 OSI 参考模型。
2. 理解层次化的设计思想，以及数据封装与解封装的过程。
3. 掌握 TCP/IP 的结构及各层的特点。



思维导图



1.1 计算机网络概述

计算机网络是计算机技术与通信技术相结合的产物，随着相关技术的快速发展，计算机网络已成为社会经济发展的重要支撑，对人类生活方式、沟通方式及工作方式都产生了重要影响。



1.1.1 计算机网络的定义

目前，计算机网络的精确定义还未统一，通常定义为：将地理位置不同并且具有独立处理功能的多台计算机，通过通信设备和通信线路连接起来，在网络协议和网络应用软件的支持下实现彼此之间数据通信和资源共享的系统。计算机或网络设备也叫网络节点，简称节点。从逻辑功能上来看，计算机网络由通信子网和资源子网两部分组成，如图 1-1 所示。

通信子网负责计算机间的通信控制与处理，为资源子网提供信息传递服务，资源子网侧重于信息处理。两者相配合的作用体现在：①通信网络为计算机之间的数据传递和信息交换提供了必要的手段。②计算机技术的发展应用到通信技术中，又提高了通信网络的性能。

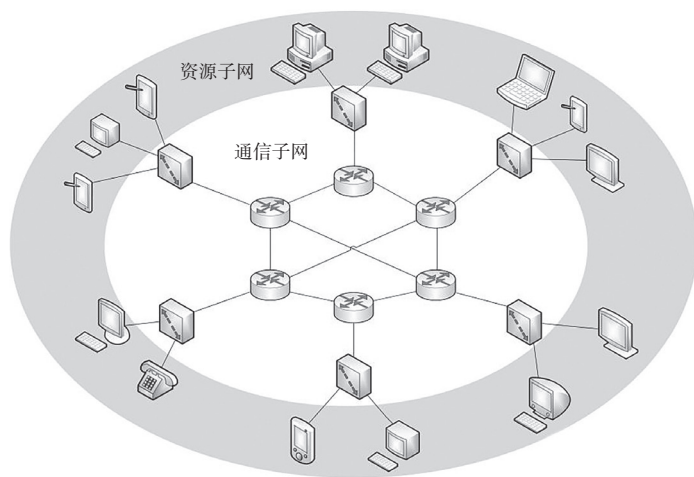


图 1-1 计算机网络的逻辑组成



计算机网络有别于分布式多终端系统，分布式多终端系统的工作依赖于分布式操作系统，在分布式操作系统的支持下，一个大型程序可以在分布式终端系统中的多台计算机上并行运行，各计算机间相互协作，共同完成任务。而在计算机网络中，实现资源共享和数据交换是其基本功能，各台计算机独立工作。

1.1.2 计算机网络的发展

计算机诞生于 20 世纪四五十年代，计算机网络诞生于 20 世纪六七十年代。计算机网络的发展经历了从单一网络到互联网，从非标准化到标准化，从 PC 端到移动端再到云端的发展历程，技术与社会需求相互驱动，最终网络的发展必定实现万物互联与智能融合。随着量子通信等颠覆性技术的突破，互联网或将迎来新一轮革命。

1. 诞生阶段（20 世纪六七十年代）

1969 年，美国国防部高级研究计划局（Advanced Research Projects Agency, ARPA）建立了第一个分组交换网 ARPANET（阿帕网）。该网络是互联网的前身，最初只由加州大学洛杉矶分校、斯坦福研究院、加州大学圣巴巴拉分校和犹他大学的四个网络节点组成，主要用于军事和科研机构之间的信息共享与通信。1969 年 10 月 29 日，加州大学洛杉矶分校的网络节点与斯坦福大学的网络节点尝试通信，仅传输了两个字符“L”和“O”，该系统就崩溃了，但是这两个字符的成功传输具有标志性意义，验证了分布式网络架构及分组交换技术的可行性，为后续互联网发展奠定了基础。

2. 分组交换技术与协议标准化阶段（20 世纪七八十年代）

1974 年，TCP/IP 协议的核心思想被提出，为不同网络之间的互联互通提供了统一的通信规则。1983 年 1 月 1 日，ARPANET 全面启用 TCP/IP 协议，标志着互联网的诞生，1983 年

被视为互联网的元年。1984年，国际标准化组织（International Organization for Standardization, ISO）发布了开放系统互联（open system interconnect, OSI）参考模型，试图统一全球网络通信标准。由于OSI模型设计复杂且产业化滞后，TCP/IP协议族凭借其简洁性和在ARPANET中的成功应用，逐渐成为互联网的事实标准。互联网的规范与发展，主要由互联网工程任务组（Internet Engineering Task Force, IETF）通过请求注解（request for comments, RFC）提案机制推动。1990年，ARPANET正式关闭，标志着互联网实验阶段的结束及新阶段的到来。

3. 局域网与广域网发展阶段（20世纪八九十年代）

1986年，美国国家科学基金会（National Science Foundation, NSF）建立NSFNET，成为互联网主干网。与此同时，局域网和广域网得到快速发展，1980年IEEE 802.3标准发布，标志着以太网技术的成熟。在此时期，令牌环网和光纤分布式数据接口（Fiber Distributed Data Interface, FDDI）等技术相继成熟，推动了企业内网的建设。1976年研究成功的广域网标准X.25协议和1990年研究成功的广域网标准帧中继都支持跨地域网络互联。

4. 互联网商业化与普及阶段（20世纪90年代—21世纪初）

1990年，万维网技术相继成熟，HTML、HTTP、URL标准相继确立，万维网应用快速发展。1993年Mosaic浏览器的推出及1994年Netscape Navigator浏览器的推出，使得访问图形化网页成为可能，进一步推动了万维网的应用。1998年，出现了搜索引擎，加速了互联网的商业化。1994年亚马逊的电商平台及1995年eBay电商平台的兴起，使得互联网技术服务于商业实现了落地。1999年Wi-Fi标准（IEEE 802.11b）的发布，为移动互联网的发展奠定了基础。

1991年，随着互联网应用需求的日益增长，互联网主干网的运营开始收费，互联网的发展也步入了“快车道”。互联网服务提供商（internet service provider, ISP）开始出现，根据ISP服务的覆盖范围及所拥有的IP地址的数量，ISP可分为主干ISP、地区ISP和本地ISP三个层次。本地ISP直接为本地终端用户提供服务，地区ISP提供本区域内的网络接入服务，主干ISP与多个地区ISP相连，以构成更大范围的网络。多ISP的网络架构如图1-2所示。

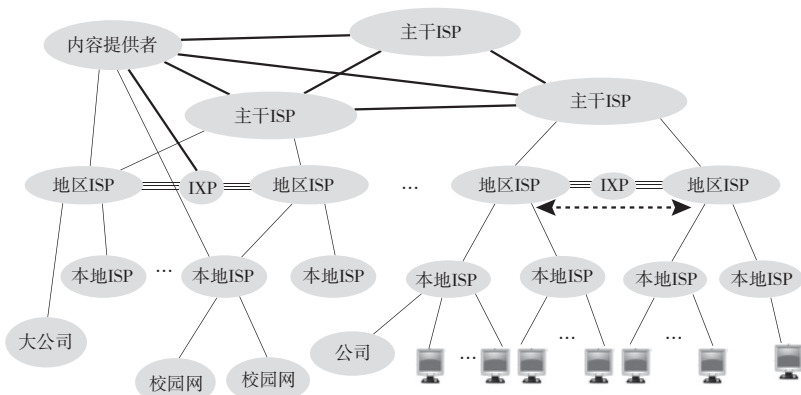


图 1-2 多 ISP 的网络架构

随着互联网数据流量的增长，互联网交换点（internet exchange point, IXP）随之产生。IXP 允许两个网络直接相连并交换分组，而不需要通过第三方网络转发，优化了数据流量分布，减少了转发延迟。

5. 移动互联网与云计算阶段（21 世纪初—2010 年）

2001 年 3G 技术的推出加速了智能手机的推广，2009 年 4G 技术的成熟及商业化运营，使得智能手机开始普及，用户行为向移动端迁移，App 经济崛起，互联网服务也从固定场景延伸至随时随地。此阶段，云计算技术成熟，SaaS（软件即服务）模式开始普及。

6. 物联网与人工智能融合阶段（2010 年至今）

5G 标准的推出及广泛应用，使得自动驾驶和远程医疗等服务成为可能。此阶段，AI 技术发展突飞猛进，2016 年，AlphaGo 击败李世石，引发全球对 AI 潜力的关注，生成式 AI 推动智能决策与内容生成，更推动 AI 技术应用的普及化。低功耗广域网及边缘计算的成熟，支持海量设备连接，使得物联网（internet of things, IoT）开始普及。2024 年全球 IoT 设备接近 650 亿台，智慧城市和工业 4.0 进入落地阶段。

互联网的发展及演进呈现出从技术突破到标准制定再到生态构建的螺旋式上升规律，这种发展及演进过程又体现了互联网既脆弱又坚韧的特征，其脆弱性源于技术方面，如 IPv4 地址耗尽等问题，其坚韧性则来自持续的技术创新及迭代能力。未来，随着量子通信及神经网络等颠覆性技术的突破，互联网或将迎来新一轮的发展。量子通信基于量子力学原理，具有绝对安全性和高速传输的特点。神经网络则是模仿人类大脑神经元结构和工作原理的一种计算方式，它有望让计算机具备更强大的学习和适应能力，从而推动人工智能等领域取得新的突破。



1.1.3 计算机网络在中国的发展

互联网在中国的发展起源于 1987 年，成熟于 1994 年，可大致分为起步探索、初步发展与全功能接入、快速发展与商业化及移动互联网与数字经济四个主要阶段。

1. 起步探索阶段（1987—1993 年）

这个阶段，我国开始接触因特网，最具标志性的事件发生于 1987 年 9 月 20 日 20 点 55 分，北京计算机技术应用研究所的钱天白先生成功发送了一封以英德双语书写的、主题为“跨越长城，走向世界”的电子邮件，从中国抵达德国。此外，中国首个 X.25 分组交换网的建成及中国国家顶级域名 CN 的注册登记，都是这一阶段里程碑性质的事件。

2. 初步发展与全功能接入阶段（1994—1999 年）

这个阶段，我国开始铺设骨干网并接入因特网。1994 年 4 月 20 日，中关村地区教育与科研示范网络工程通过美国的国际专线以 64kbps 的速率接入因特网，我国实现了与因特网的全功能连接，从此中国被国际上正式承认为有因特网的国家，成为接入国际互联



网的第七十七个国家。1994年10月CERNET（中国教育和科研计算机网）网络工程启动，此后，ChinaNet（中国公用计算机互联网）、CSTNET（中国科技网）和ChinaGBN（中国金桥信息网）等多个网络建设项目在全国范围内相继启动，因特网开始进入大众生活。

3. 快速发展与商业化阶段（2000—2013年）

这个阶段是因特网在我国发展的黄金时期，移动互联网迅猛崛起，电子商务得到了蓬勃发展，淘宝、京东等一系列电商平台应运而生。

4. 移动互联网与数字经济时代（2014年至今）

这个阶段网民规模呈现指数性增长，移动互联网进一步爆发。同时，国家加强了对互联网的建设和管理，设立了国家网络信息办公室，并发布了“互联网+”和“人工智能+”行动计划，推动了互联网与各行业的深度融合和创新发展。

1.2 计算机网络的功能与性能指标

在评估计算机网络的性能时，带宽、时延和抖动等是常用指标，这些指标从不同的角度反映网络的运行情况。综合考虑这些指标，可全面评估网络性能，制定优化策略，以进一步提升网络的整体性能。

1.2.1 计算机网络的主要功能

计算机网络以资源共享和数据通信为主要目标，主要功能体现在以下四个方面。

1. 数据通信

数据通信是计算机网络的基本功能，通过网络，计算机可以相互交换信息，实现数据共享、远程登录、文件传输及电子邮件等功能。

2. 资源共享

资源共享包括硬件资源共享（如打印机及存储设备等）、软件资源共享（如操作系统及数据库等）和数据资源共享（如共享数据库中的信息）。

3. 提高计算机系统的可靠性和可用性

在计算机网络中，每台计算机都可以作为其他计算机的后备机，一旦某台计算机出现故障，其他计算机可以立即接管其任务，从而提高系统的可靠性。

计算机系统可用性的提高是指当计算机网络中某一台计算机负载过重时，计算机网络能够进行智能判断，并将新任务交给计算机网络中较空闲的计算机去完成。

4. 提高计算机进行分布式处理的能力

在计算机网络中，可以将多台计算机连成具有高性能的计算机系统，以并行的方式共同处理一个复杂问题，实质是协同计算和分布式处理。



1.2.2 计算机网络的主要性能指标

1. 带宽

在通信领域，有模拟线路与数字线路两种类型，线路性质不同，对带宽的定义和衡量方式也不同。模拟线路的带宽是频率范围，而数字线路的带宽是数据传输速率。

(1) 模拟线路带宽：指信号最高频率与最低频率之差，即通信线路允许通过的频带范围，通常以 Hz（赫兹）为单位。例如，电话线带宽为 300~4000Hz，表示能传输此范围内的模拟信号。

(2) 数字线路带宽：指单位时间内传输的数据量，常用 bps（比特每秒）表示，也可写成 b/s。其他常见单位有 Kb/s、Mb/s 及 Gb/s 等。

注意：数字线路带宽单位中的“b”代表 bit（比特），而存储容量单位中的“B”则是 Byte（字节）的缩写。它们之间的换算关系是 1B（字节）等于 8b（比特）。

带宽是衡量通信线路性能的关键指标，高带宽意味着更强、更快的数据传输能力。在网络中，“带宽”与“宽带”容易被混淆，宽带指数据传输率较高的线路，是一个相对概念。

2. 吞吐量

吞吐量指单位时间内通过网络的实际数据量。吞吐量受网络带宽和网络拥塞等因素的限制，反映了网络的传输能力，高吞吐量表示网络能够快速处理大量的数据。

3. 时延

时延指数据从发送方传输到接收方所需的时间，包括发送时延、传播时延、处理时延和排队时延。时延越短，表示数据传输速度越快，响应时间越短。

4. 抖动

抖动指数据包到达时间的变化程度。由于网络中的各种延迟和丢包现象，数据包到达时间会有波动，抖动反映了这种波动情况。抖动过大可能导致数据流的不稳定，影响音频和视频通话等实时应用的性能。

5. 信道利用率

信道利用率指信道在一定时间内被利用的比例。信道利用率越高，表明网络资源得到越充分的利用，但过高的利用率也可能导致网络拥塞和性能下降。

网络管理员常会使用网络监控工具实时跟踪这些指标，以及及时发现网络运行中出现的问题。



1.3 计算机网络的分类

计算机网络可以依据覆盖范围、拓扑结构、通信方式和工作模式等进行分类。

1.3.1 根据网络覆盖范围分类

根据其覆盖范围，计算机网络常分为广域网、城域网、局域网和个域网四类。

1. 广域网

广域网（wide area network, WAN）覆盖范围较大，通常可以覆盖一个地区或国家，甚至全球。

2. 城域网

城域网（metropolitan area network, MAN）是一种介于广域网和局域网之间的类型，覆盖范围通常为一个城市。

3. 局域网

局域网（local area network, LAN）常部署于建筑、校园或公司内部，覆盖范围通常为周围10m~10km。其具有传输速率高、传输时延低及误码率低的特点，误码率通常低于 10^{-11} 。

4. 个域网

个域网（personal area network, PAN）作为一种面向个人或家庭场景的专用网络，其覆盖范围常局限于个人活动空间或家庭环境内部。主要用于连接智能手机、智能手表、平板电脑等各类智能设备，以实现家庭网络设备之间的通信与资源共享。



1.3.2 根据网络拓扑结构分类

拓扑结构是研究网络中计算机、通信设备及其连接方式的几何模型，拓扑结构中的点代表计算机或设备，线代表传输介质。计算机网络拓扑结构可分为逻辑拓扑和物理拓扑两类。物理拓扑主要描述网络中各节点的连接方式，逻辑拓扑则关注信号在网络中的实际传输路径。任何一个网络都既有逻辑拓扑，又有物理拓扑，有些网络的物理拓扑和逻辑拓扑一样，有些则不同。例如，以太网的逻辑拓扑是总线型，而其物理拓扑是树型（或称扩展星型）。如果没有特殊说明，本书介绍的拓扑结构是指逻辑拓扑，常见的有星型、总线型、环型、树型、网状型、混合型和蜂窝型等。

1. 星型拓扑

星型拓扑是以中央节点为中心，把若干个外围节点连接起来的辐射式互连结构。中央节点对各设备间的通信和信息交换进行集中控制和管理，如图 1-3 所示。只要中央节点不

出现故障，系统的可靠性及可扩展性都较好，如果中央节点出现故障，则整个网络瘫痪。

2. 总线型拓扑

若干个节点通过一根总线进行连接，各节点通过总线进行信息传输，如图 1-4 所示。总线型拓扑具有结构简单、可扩充性较好、建设成本低及安装使用方便等优点。

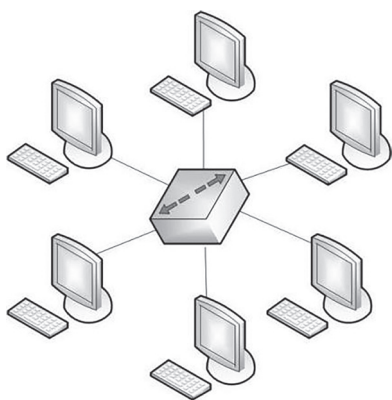


图 1-3 星型拓扑

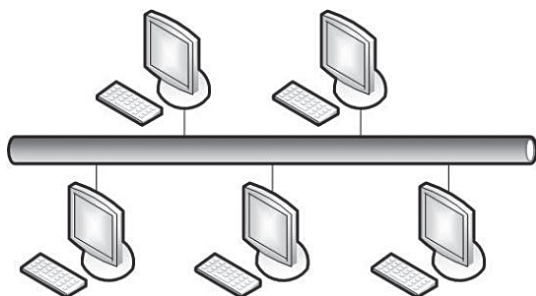


图 1-4 总线型拓扑

3. 环型拓扑

各节点通过一条首尾相连的通信线路连接起来形成一个封闭的环，如图 1-5 所示。环型拓扑具有结构简单、各计算机地位平等及建网容易等特点。该结构的网络可靠性较差，在使用时，为增加其可靠性，往往采用双环结构，如 FDDI 网就采用双环的拓扑结构。

4. 树型拓扑

从星型结构派生出来，各节点按一定层次连接起来，形状像一棵倒置的树，顶端只有一个节点，如图 1-6 所示。目前，应用最广泛的以太网即采用此拓扑结构。

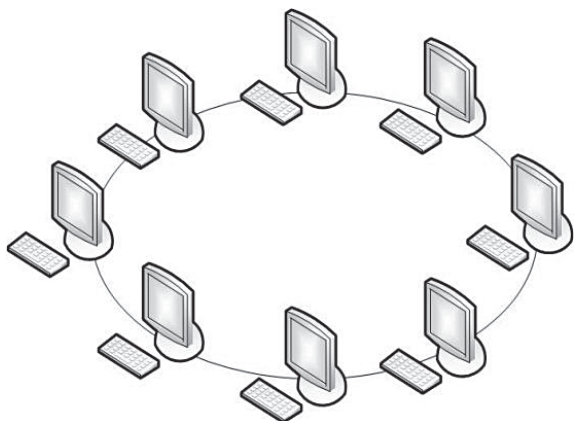


图 1-5 环型拓扑

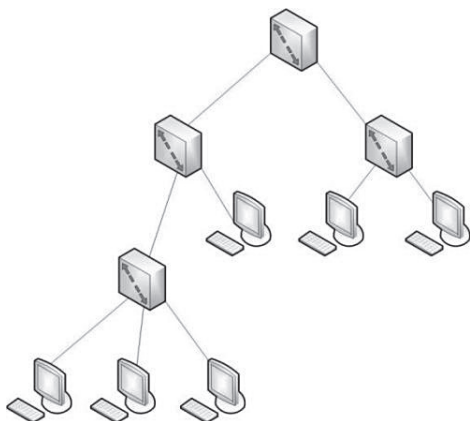


图 1-6 树型拓扑



5. 网状型拓扑

任何一个节点都至少与其他两个节点相连，具有较高的可靠性，常用于对网络可靠性要求特别高的场合，如集群服务器之间的互连。该结构的网络实现起来费用较高、结构较复杂、不易管理和维护，局域网组建中很少用这种结构，而广域网组建常采用此拓扑结构。

6. 混合型拓扑

混合型拓扑是星型拓扑和总线型拓扑相结合的网络结构，兼顾星型网络与总线型网络的优点。其主要用于较大型的局域网，能解决星型网络在传输距离上的局限，又能解决总线型网络在连接用户数量上的限制。

7. 蜂窝型拓扑

蜂窝型拓扑结构由圆形或六边形区域组成，每个区域中心都有一个独立的节点，即基站。它把微波覆盖区域分为大量相连的小区域，每个小区域都使用自己的、低功率的无线发送和接收基站（base station, BS）或无线接入点（access point, AP），在BS或AP周围会形成一个近似于圆形的无线电频率区，这个区域被称为蜂窝。蜂窝的大小与BS或AP的发射功率有关，并且蜂窝型拓扑结构使用频率复用的方法，同样的频率在分散的区域内可以被多次复用，以使有限的带宽容纳大量的用户。蜂窝型拓扑结构广泛应用于移动通信网络，如2G到5G网络。移动设备在移动过程中需要无缝切换基站，蜂窝布局支持这种动态连接，满足了移动通信的需求。此外，它也适用于城市网、校园网、企业网等需要无线覆盖的场景。



1.3.3 根据网络的通信方式分类

网络中信息的传输与现实生活中人与人的交流方式比较相似，如在课堂上让王丽站起来回答问题，可以高声喊王丽，其他的同学也都能听到，不过只有王丽站起来回答问题。也可以走到王丽面前悄悄地告诉她站起来回答问题，这时其他同学都听不到。但无论哪种方式都达到了让王丽站起来回答问题的目的。在通信技术中，通信信道有广播信道与点到点信道两种类型，广播信道中多个节点共享一个通信信道，点到点信道中一条通信线路只能连接一对节点。如果两个节点之间没有直接连接的线路，只能通过中间节点转接。网络采用的传输技术有广播方式和点到点方式两种类型，所以，计算机网络按信息传输的模式可分为广播式网络和点到点网络两种类型。

1. 广播式网络（共享式网络）

在广播式网络中，所有网络节点共享一个通信信道。当一个节点利用共享信道发送数据时，网内的其他节点都会接收到这个数据。由于发送的数据中带有目的地址与源地址，接收到该数据的节点将检查数据包目的地址是否与本节点配置的地址相同。如果相同，则接收该数据，否则就丢弃该数据。以太网和令牌环网都属于广播式网络，其传输方式有单

播、组播和广播三种类型。对应的数据包也有单播包、组播包和广播包三种类型。

(1) 单播包：数据包包含明确的目的地。在广播式网络中，所有节点都能接收到这个数据包，每个节点都会检查数据包的目的地址。如果相同，则接收该数据，否则就丢弃该数据。

(2) 组播包：数据包的目的地址是一个特定的组播地址，代表一个特定的接收者群体。在广播式网络中，所有节点都能接收这类数据包，并会检查数据包的目的地址。如果该数据包的目的地址是组播地址，并且与该节点所在组地址一致，则接收该数据，否则就丢弃该数据。

(3) 广播包：数据包的目的地址是广播地址。在广播式网络中，所有节点都能接收到这类数据包，并会检查数据包的目的地址。如果该数据包的目的地址是广播地址，网络中的所有节点都会对其进行处理，这种方式适用于需要将信息传达给网络上所有节点的场景。但是，路由器不转发广播包，路由器的各接口都是独立的广播域，否则容易造成广播风暴。

2. 点到点网络（交换式网络）

每条物理线路仅连接一对网络节点。当节点之间没有直接连接的线路时，它们之间的数据传输需通过中间节点进行中继，这些节点负责接收、存储和转发数据，直至数据到达最终目的地。由于节点之间的连接可能非常复杂，从源节点到目的节点之间可能会存在多条可行的传输路径。ATM 网和帧中继网都是支持点到点通信方式的广域网技术。

1.3.4 根据网络工作模式分类



根据计算机网络工作模式的不同，计算机网络可分为对等模式、客户机 / 服务器（client/server, C/S）模式和浏览器 / 服务器（browser/server, B/S）模式三种。

1. 对等模式

在对等模式中，所有计算机地位平等，没有从属关系，也没有专用的服务器和客户机。网络中的资源分散在每台计算机上，每台计算机都有可能成为服务器，也可能成为客户机，如图 1-7 所示。对等网组建简单，但难以管理，安全性也较差。

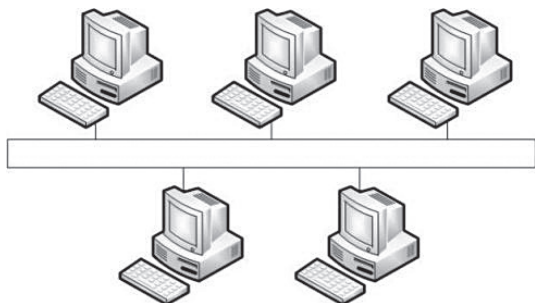


图 1-7 对等网



2. 客户机 / 服务器模式

网络中的计算机被分为服务器与客户机两种，服务器负责提供各种相关服务（如 WWW 服务、邮件服务及 FTP 服务等），客户机负责向服务器发送服务请求，并处理相关事务。

3. 浏览器 / 服务器模式

该模式其实是客户机 / 服务器模式的特例，在该模式下客户机只需安装浏览器这个通用客户端软件即可。用户通过浏览器向服务器发出请求，服务器接收并处理该请求，再将处理后的结果返回给浏览器。用户通过浏览器访问网站，也就是访问 WWW 服务器，是 B/S 模式的典型应用。

在 C/S 模式中，完成不同的任务要安装不同的客户端软件。近年来比较流行的 App 就是移动互联网下的客户机 / 服务器模式的软件。用户在使用之前需要先下载该 App 的客户端，然后再安装，不仅占用手机的存储空间，还要占用手机界面上的位置空间，这是该模式的最大的缺点。目前 App 百花齐放，大部分 App 最终也会被通用客户端所替代，微信小程序就是 App 客户端通用化的产物，未来可能会有更加成熟、更加通用的移动客户端软件。但是通用客户端也有其应用的局限性，不可能替代所有的 App 客户端。应用频次较高、功能差异较大的 App 还是有开发价值的，因为 App 客户端是一种定制软件，具有个性化和灵活性的优点。

1.4 计算机网络体系结构

计算机网络体系结构和计算机网络协议是计算机网络中两个最基本的概念，也是初学者较难理解的概念。计算机网络体系结构是计算机网络的基础框架，定义了网络的基本结构和组织方式，而协议则是实现网络通信的具体规则和约定。

1.4.1 基本概念



计算机网络采用结构化的设计思想和分层化的实现机制，结构化的设计思想是将复杂系统设计分解为易处理的子问题，并通过层次结构实现。每层有明确的任务和功能，层间相互独立，高层无须了解底层技术实现，仅需知道底层提供的服务即可，下层通过接口为其直接的上层提供服务。此设计具有灵活性好、易于实现和易于标准化的特点。灵活性好主要体现在当任何一层发生变化时，只要层间接口保持不变，则其他各层都不会受到影响。

1. 网络协议

网络中节点之间能够有条不紊地互相交换数据，每个节点都必须遵守一些事先约定

好的规则，这些规则明确规定了所交换数据的格式和时序。例如，在公路上行驶的各种交通工具，都需要遵守交通规则。因此，计算机之间进行通信也必须有共同的语言，这种语言就是网络协议，网络协议是指为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定的集合。网络协议主要由语法、语义和同步（也称时序）三个要素组成，语法确定了用户数据与控制信息的结构与格式，也就是解决“怎么说”的问题。语义规定了通信的双方需要发出何种控制信息，完成何种动作及作出何种应答，也就是解决“说什么”的问题。而同步解决“何时说”的问题。

2. 层次化模型

当我们遇到复杂问题时，一般会想到采用“大而化小”的思想。计算机网络是一个非常复杂的系统，在设计时也采用模块化和层次化的解决办法，将系统模块化，并按层次组织各模块，计算机网络的层次化模型如图 1-8 所示。

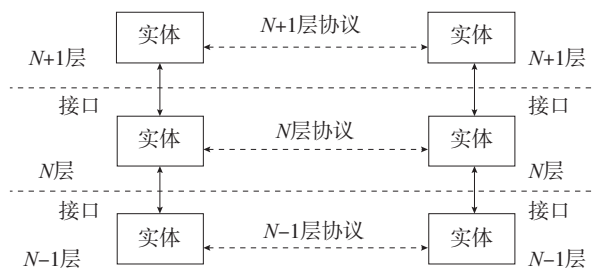


图 1-8 计算机网络的层次化模型

实体可以理解为网络节点，图 1-8 所表达的含义可以理解为：网络中的各节点需要安装相应协议对应的软件，网络通信的实现需要多层相互配合，每层实现其特定的具体功能，下层通过接口函数为其直接上层提供服务。

服务和协议是两个不同的概念。服务是下层通过接口为上层提供具体服务，是上下层之间的关系。协议是同层对等实体之间交换数据所应遵守规则的集合，即服务涉及层与层之间的接口，而协议涉及对等实体同层之间发送数据的格式、意义和规则等内容。

1.4.2 OSI 参考模型

在计算机网络发展的初期，网络设备大部分不兼容，相互间很难进行通信。为了解决网络之间的兼容性问题，实现网络设备间的互联互通，国际标准化组织于 1984 年提出了开放系统互连参考模型（open standard interconnection/reference model, OSI/RM）。该模型最大的特点是开放性，即不同厂家的网络产品，只要遵照这个参考模型，就可以实现互连。OSI 参考模型很重要的一个特性是其分层体系结构，分层设计方法可以将庞大而复杂

的问题转化为若干较小且易于处理的子问题。OSI 参考模型还清晰地分开了服务、接口和协议这三个容易混淆的概念，服务描述了每一层的功能，接口定义了某层提供的服务如何被高层访问，而协议则指每一层功能的具体实现方法。

1. OSI 参考模型的组成

OSI 参考模型将整个网络通信的功能划分为七个层次，自下而上分别是物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。各层的顺序不能颠倒，因为下层为其直接上层通过接口提供服务。即：物理层为数据链路层提供服务，数据链路层为网络层提供服务，网络层为传输层提供服务等。基于 OSI 参考模型，两台计算机之间的通信示意如图 1-9 所示。

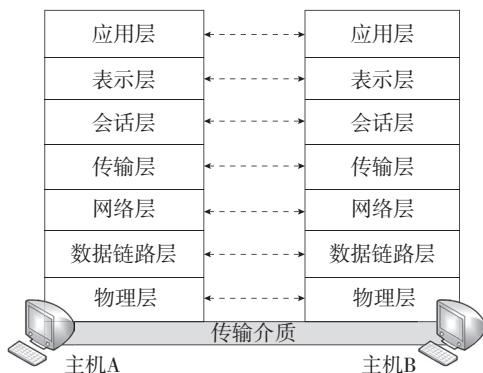


图 1-9 OSI 参考模型示意一

参与通信的各台计算机都必须安装一致的协议，如图 1-9 中参与通信的主机 A 和主机 B 都安装了该七层协议对应的软件，同等层之间是水平的关系，各自能够相互理解。此处的相互理解类似于两个正在商务谈判的公司，两个公司的总经理彼此对等交流，能够理解对方的意思，两个公司的秘书之间用的语言彼此能够理解，两个公司的具体办事员彼此能够相互理解其所用术语。同一台计算机的上下层之间是服务的关系，就像办事员要给秘书提供服务，秘书要给总经理提供服务一样。

OSI 参考模型试图达到一种理想境界，即全世界的计算机网络都遵循这一标准，从而使所有的计算机都能方便地互联和通信。由于 OSI 标准制定周期长、协议实现过于复杂及 OSI 的层次划分不太合理等原因，20 世纪 90 年代初期，虽然整套 OSI 标准都已制定出来，但当时的因特网在全世界范围内已形成规模，因特网上使用的是 TCP/IP 体系结构，因此事实上的国际标准是 TCP/IP 体系结构。

2. OSI 参考模型各层的主要功能

(1) 物理层（主要解决“如何利用物理媒体走每一步”的问题）：主要定义与传输媒体接口相关的特性。物理层与物理介质不同，物理介质是有形的硬件设备，如网线、网络

设备等，而物理层则是无形的，负责定义物理介质的相关特性。

(2) 数据链路层（主要解决“每步如何走”的问题）：主要功能是将物理层传来的信号进行帧格式化，并确保通过不可靠的传输媒体实现可靠的传输。

(3) 网络层（主要解决“走哪条路可到达目的地”的问题）：其主要功能是实现网络互联与数据包转发，确保数据包能够从发送方主机经过最优路径传输到目的主机。

(4) 传输层（主要解决“对方具体在何处”的问题）：主要负责提供端到端的数据传输服务。网络层定位数据传输到特定的计算机上，而传输层则进一步将数据定位到目标计算机上的特定应用程序上。

(5) 会话层（主要解决“轮到谁讲话和从何处讲”的问题）：主要负责建立、管理和终止两个节点应用程序之间的会话。在正式通信之前，双方需要协商通信协议、通信方式（全双工或半双工）、错误检测及如何结束通信等方面的内容。会话层还提供一种机制，允许在通信过程中出现中断后重新建立会话，也就是许多下载工具所具有的断点续传功能。

(6) 表示层（主要解决“对方看起来像什么”的问题）：主要功能是确保一个节点发送的信息能够被另一个节点正确识别，具有格式转换、压缩和解压缩、加密和解密的功能。

(7) 应用层（主要解决“做什么”的问题）：主要功能是为用户的应用程序提供服务，满足用户的实际需求。常见的应用层服务包括 Web 服务、文件服务及电子邮件服务等。

1.4.3 TCP/IP 体系结构



传输控制协议 / 网际协议（transmission control protocol/internet protocol, TCP/IP）是一个协议系列，包含 100 多个协议。其中，TCP 和 IP 是最基础和最重要的两个协议，因此常用这两个协议来代表整个协议系列。

1. TCP/IP 分层体系结构

TCP/IP 采用四层模型的体系结构，从下到上分别是网络接口层、网络层、传输层和应用层。但事实上该协议只定义了上三层的具体功能，对于网络接口层的具体内容并没有定义。TCP/IP 的网络接口层对应 OSI 的数据链路层和物理层，不同的局域网中，这两层的具体实现不同，即 TCP/IP 强调的是网络的互连，把低层的具体实现留给了各个局域网。所以基于 TCP/IP 结构的网络，要实现五层的功能，从下到上分别是物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层。无论使用何种计算机，无论该计算机通过何种方式联网，只要计算机上安装了 TCP/IP 协议就能上网，TCP/IP 是事实上的工业标准。TCP/IP 的上下层之间也是一种服务的关系，因此其顺序不能改变。TCP/IP 的体系结构及各层的主要协议如图 1-10 所示。

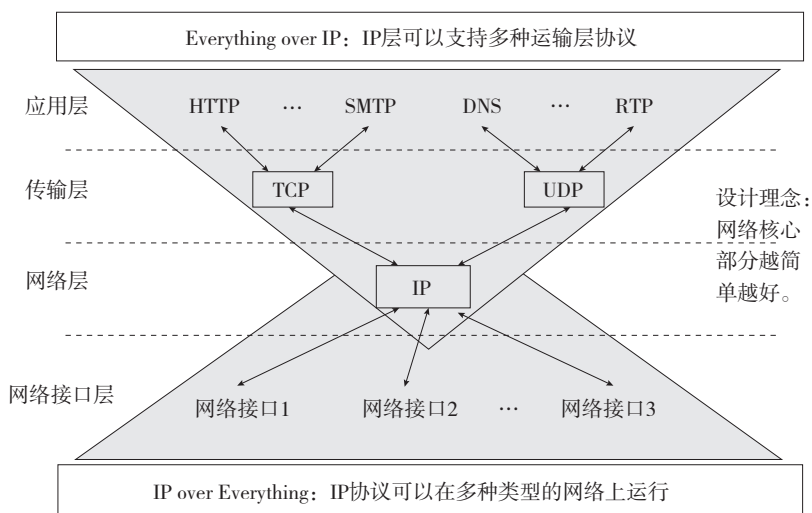


图 1-10 TCP/IP 的体系结构及各层的主要协议

TCP/IP 体系结构与 OSI 参考模型相比，简化了会话层和表示层的功能，将其融合到了应用层，使得通信的层数减少，提高了通信效率。

2. TCP/IP 各层的主要功能

(1) 网络接口层：该层功能交给具体的局域网进行实现，不同的局域网实现方式不同。

(2) 网络层：主要功能是对网络中的各个设备进行标识，并执行路由选择功能，以确保数据包能够正确地从一个设备传送到接收方。该层的主要协议是网际协议 (internet protocol, IP)、因特网控制报文协议 (internet control message protocol, ICMP)、地址解析协议 (address resolution protocol, ARP)、反向地址解析协议 (reverse address resolution protocol, RARP) 等。其中，IP 在 TCP/IP 协议簇中处于核心地位，主要用于标识网络中的设备，类似于现实生活中的身份证，具有唯一性。ARP 用于将 IP 地址转换成物理地址，RARP 用于将物理地址转换成 IP 地址，ICMP 协议用于报告差错和传送控制信息。

(3) 传输层：主要解决“端到端”的通信问题，即应用程序之间的通信。可以理解为网络层把数据传输定位到了计算机，传输层把数据传输定位到具体的应用程序。计算机具有多任务性，也就是一台计算机可以同时打开微信、微博及网站等，从网络上传过来的数据，究竟是哪个性质或哪个应用程序的内容等需要区分，以便交付不同的应用程序进行处理。该功能由传输层通过端口号来具体实现，不同的端口号代表不同的应用程序。

(4) 应用层：对应 OSI 参考模型的会话层、表示层和应用层，该层的主要任务是给用户提供一个应用程序，以满足用户日常的上网需求。此外，应用层还负责处理用户信息和数据交换的细节，如数据格式的转换、加密和解密等。

3. TCP/IP 存在的问题及解决办法

随着视频会议、网络电话、视频点播及虚拟现实等多媒体技术的广泛应用，采用 TCP/IP 的网络将面临网络拥塞及数据到达时间抖动等问题。如果数据到达接收方的时间抖动比较严重，在进行视频会议和在线游戏时，用户可能会感受到明显的延迟和不流畅。为了解决上述问题，在 TCP/IP 上开发了支持实时多媒体通信的实时传输协议 / 实时控制协议（real time transport protocol/ real time control protocol, RTP/RTCP）协议。RTP 为实时传输协议，主要负责多媒体数据（音频和视频等）的传输。RTCP 为实时控制协议，主要用于管理控制信息。

4. OSI 参考模型与 TCP/IP 体系结构的比较

OSI 参考模型与 TCP/IP 体系结构的对比如图 1-11 所示。

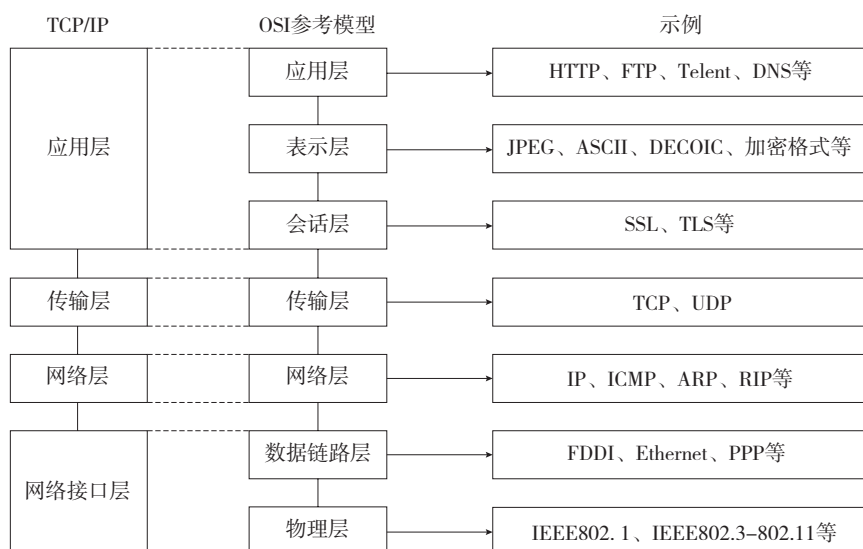


图 1-11 OSI 参考模型与 TCP/IP 体系结构的对比

TCP/IP 体系结构的主要问题是其网络接口层不是一个真正的独立层次，而现实网络又需要实现其功能。鉴于 OSI 与 TCP/IP 所存在的问题，在学习计算机网络课程的相关知识时往往采取折中的办法，采用五层协议的体系结构，如图 1-12 所示。

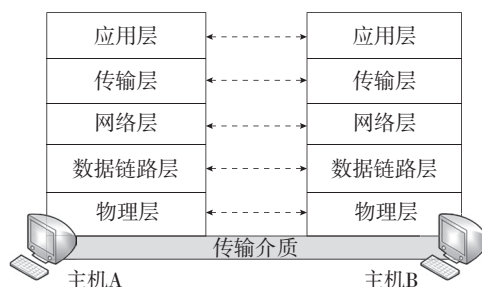


图 1-12 五层协议的体系结构



这种折中的方法既考虑了实际应用的需求，又保持了模型的结构清晰，本书主要以五层协议体系结构介绍相关知识。



1.4.4 数据的封装与解封装

数据在网络中必须按照某种固定的格式进行传输，就像人们日常生活中在发快递时必须写地址、打包等，而在收快递时，需执行相反过程。其实发快递的过程就是封装的过程，收快递的过程就是解封装的过程。

1. 数据的封装

数据的封装像发快递一样，发送数据的源主机需要对应用层的数据进行自上而下的层层封装后，再交给物理介质和设备进行传输，源主机的这个处理过程就是数据的封装。五层体系结构中数据封装的过程如图 1-13 所示。

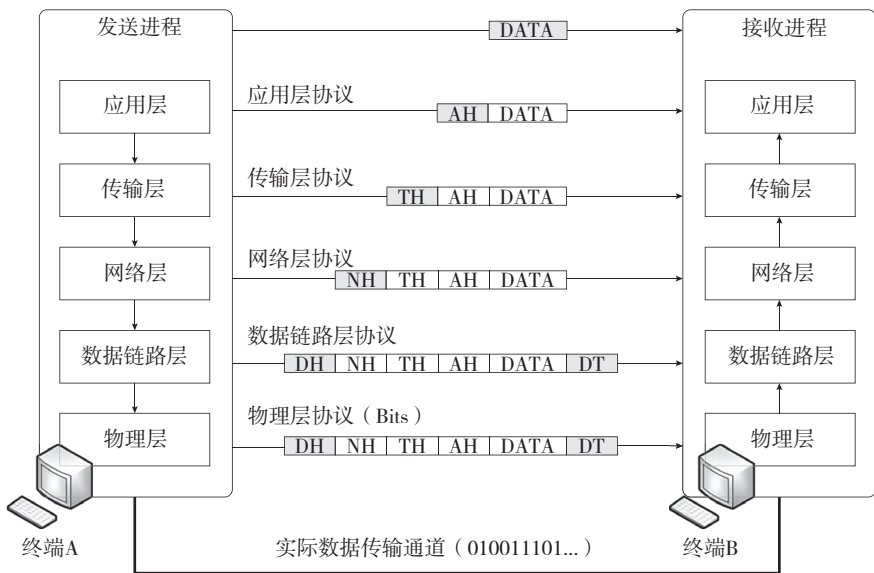


图 1-13 五层体系结构中数据封装的过程

数据的封装过程是逐层添加信息的过程，不同层添加的信息不同，以实现不同的功能。应用层、传输层和网络层只添加协议头信息，数据链路层既添加协议头信息，也添加协议尾信息，而物理层既不添加协议头信息，也不添加协议尾信息，直接负责比特流的传输。

2. 数据的解封装

在接收方，节点要想理解对方传输来的数据信息，需要自下而上地层层解除封装。解封装的过程与封装过程基本相反，是逐层去掉头部信息的过程，在数据链路层还要去掉数据帧尾部封装的信息。封装与解封装的比较如表 1-1 所示。

表 1-1 封装与解封装的比较

封装	解封装
数据越来越大	数据越来越小
由高层向底层进行	由底层向高层进行
逐渐加头或加尾	逐渐去头或去尾

广域网中的数据传输与局域网的数据传输相比，多了一个路由的过程。路由器根据数据包中的目的 IP 地址来决定其转发路径。因此，路由器需要将接收到的数据包拆封到网络层，读取其目的 IP 地址，根据数据包的目的 IP 地址确定转发路径，具体转发时又要把该数据包封装到物理层，然后才能在具体的传输介质上传输。五层协议体系结构控制下的广域网通信原理如图 1-14 所示。

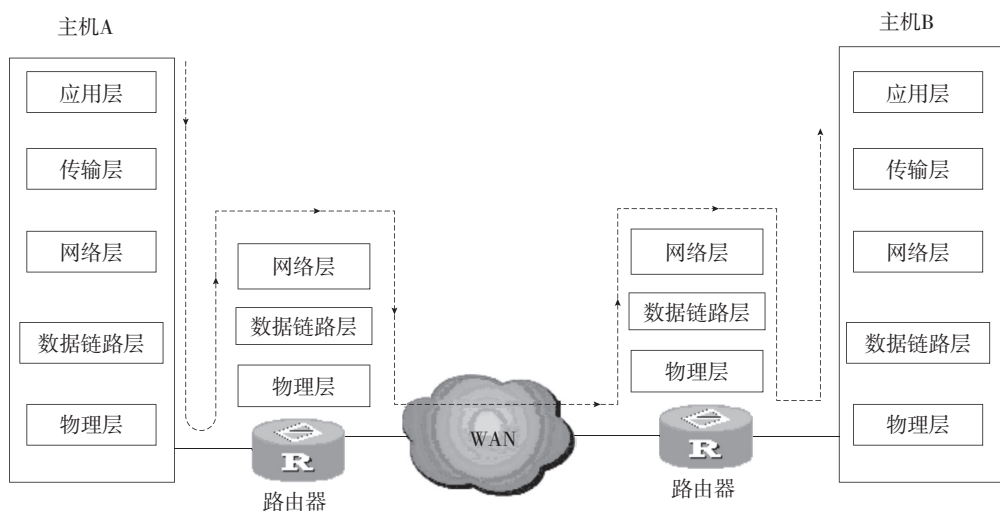


图 1-14 五层协议体系结构控制下的广域网通信原理

在计算机网络中，每一层协议所处理和交换的信息称为协议数据单元（protocol data unit, PDU）。为了区分不同层级的 PDU，通常会在该层 PDU 前添加一个单字母的前缀。例如，应用层数据称为应用层协议数据单元（application PDU, APDU）。传输层数据称为报文段（segment）或用户数据报（datagram），基于 TCP 传输的称为报文段，基于用户数据报协议（user datagram protocol, UDP）传输的称为用户数据报。网络层数据称为分组（packet）或数据包，数据链路层数据称为数据帧（frame），物理层数据称为比特流（bit），如图 1-15 所示。

应用层的 APDU 是应用程序直接生成的数据，传输层的报文段或用户数据报主要包含端口号信息以确定具体的应用程序，网络层的数据包主要包含路由和寻址信息，数据链路层的数据帧主要包含物理寻址信息及差错校验信息，物理层不再做封装处理，主要是数据的信号化过程，将数据帧转换成比特流后通过物理介质进行传输。

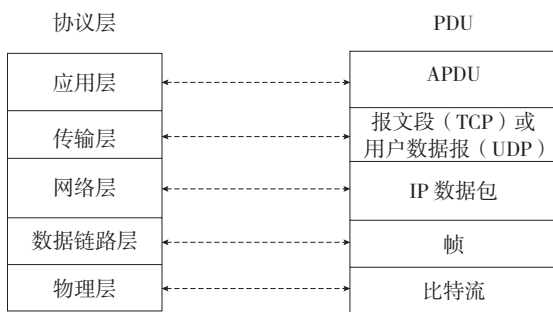


图 1-15 五层协议的体系结构每一层数据的名称

本章小结

本章主要介绍了计算机网络的定义、发展、功能、分类及体系结构。重点介绍了计算机网络体系结构及层次化设计思想和数据封装与解封装的过程。本章的主要内容要点如下。

1. 网络拓扑分为逻辑拓扑和物理拓扑两大类。
2. 计算机网络的分类方法主要有四类：根据网络的覆盖范围分类、根据网络的拓扑结构分类、根据网络的通信方式分类及根据网络的工作模式分类。
3. 计算机网络有两大体系结构：一个是由 ISO 提出的 OSI 参考模型，另一个是 TCP/IP 体系结构。
4. OSI 参考模型的七个层次从下到上是物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。
5. TCP/IP 体系结构从下到上包括网络接口层、网络层、传输层和应用层。
6. 在网络传输中，数据需经过封装后才能进行发送，在接收方需要通过解封装来还原原始数据。

习题

一、选择题

1. 划分局域网和广域网的依据是 ()。
A. 通信的传输介质
B. 网络跨越的距离
C. 网络的拓扑结构
D. 信号频带的占用方式
2. 在 OSI 七层模型中，连接应用层和会话层的是 ()。
A. 网络层
B. 传输层
C. 应用层
D. 表示层

3. 在 OSI 参考模型中，数据加密和压缩等功能应在（ ）实现。

- A. 应用层 B. 网络层 C. 物理层 D. 表示层

二、填空题

1. 计算机网络是_____与_____相结合的产物。
2. 计算机网络可看成由_____子网和_____子网两部分构成。
3. 一个网络协议主要由语法、_____及_____三要素组成。
4. TCP/IP 模型由低到高分别为_____、_____、_____、_____层。
5. 数据封装时是由应用层到物理层，而解封装时是由_____到_____。

三、简答题

1. 如何理解协议？
2. OSI/RM 和 TCP/IP 有何异同？
3. 简述数据封装和解封装的过程。
4. 简要说明 TCP/IP 的体系结构。
5. 什么是网络拓扑结构？常用的网络中，拓扑结构有哪些？各自的特点是什么？