模块 1

认识计算机网络

诸如浏览网站、QQ 聊天、网上看视频、网上购物等计算机网络应用已经成为大家生活必不可少的一部分，另随着中小企业信息化建设的推进，企业网络的作用也逐渐凸显出来。本模块立足计算机网络架构让大家了解计算机网络概念与分类、数据通信基础、网络体系结构及 TCP/IP 基础等计算机网络基础知识，为组建和维护企业网络打下良好的基础。

任务 1　初识计算机网络

计算机网络技术是计算机技术和通信技术这两大技术相结合的产物。计算机网络是利用通信设备和通信线路，将地理位置不同、功能独立的多台计算机（自治计算机）及外部设备连接起来，在网络操作系统、网络管理软件及网络通信协议的管理和协调下，实现资源共享（包括硬件资源、软件资源和数据资源等）和信息传递的计算机复合系统。一个计算机网络必须具备以下 3 个基本要点。

（1）至少有两个具有独立操作系统的计算机（大到巨型机，小到便携式计算机），且它们之间有相互共享某种资源的需求。

（2）两个独立的计算机之间必须用某种通信手段将其连接，实现数据通信。

（3）网络中的各个独立的计算机之间要能相互通信，必须制定相互可确认的规范标准或协议。

子任务 1　了解计算机网络的发展历程

和其他事物发展一样，计算机网络的发展历程，也经历了从简单到复杂、从低级到高级的发展过程，其发展历程大致分为以下 5 个阶段。

1. 具有通信功能的单机系统——远程终端联网

最初的计算机网络是一台主机通过电话线路连接若干个远程的终端，这种网络称为面向终端的计算机通信网，如图 1-1 所示。它是以单个主机为中心的星型网，效率不高，功能有限，是 20 世纪 50 年代计算机网络的主要形式，这种网络是现代计算机网络的雏形。典型代表是美国的半自动地面防空系统（SAGE），它把远距离的雷达和其他测控设

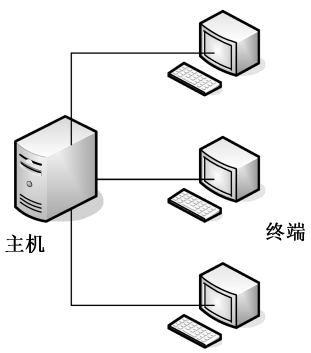


图 1-1　面向终端的计算机通信网

备的信号通过通信线路传送到一台旋风计算机进行处理和控制，首次实现了计算机技术与通信技术的结合。

2. 具有通信功能的多机系统——多处理机的联机终端系统

20 世纪 60 年代，为了减轻主计算机负担，出现了在主计算机和通信线路之间设置通信控制处理机（又称为前端处理机，简称前端机）的方案，前端机专门负责通信控制的功能。此外，在终端聚集处设置多路器（又称为集中器），组成终端群－低速通信线路－集中器－高速通信线路－前端机－主计算机结构，如图 1-2 所示称为多机系统。

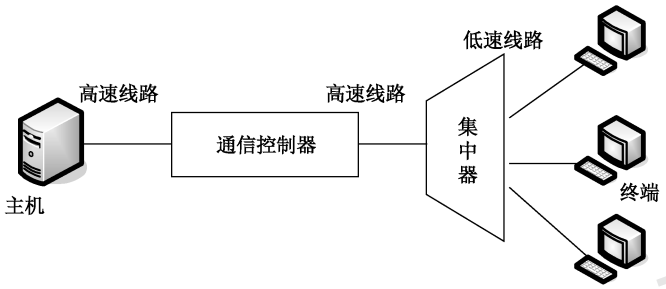


图 1-2　利用通信控制器实现通信

3. 以共享资源为主要目的计算机网络阶段——网络互联

20 世纪 60 年代中期，美国建成了以 ARPANet 为代表的计算机网络，它将计算机网络分为资源子网和通信子网，如图 1-3 所示。通信子网一般由通信设备、网络介质等物理设备构成，资源子网的主体为网络资源设备，如服务器、用户计算机（终端机或工作站）、网络存储系统、网络打印机、数据存储设备等。以通信子网为中心，许多主机和终端设备在通信子网的外围构成一个“用户资源网”，通信子网不再使用类似于电话通信的电路交换方式，而采用更适合于数据通信的分组交换方式，大大降低了计算机网络中通信的费用。

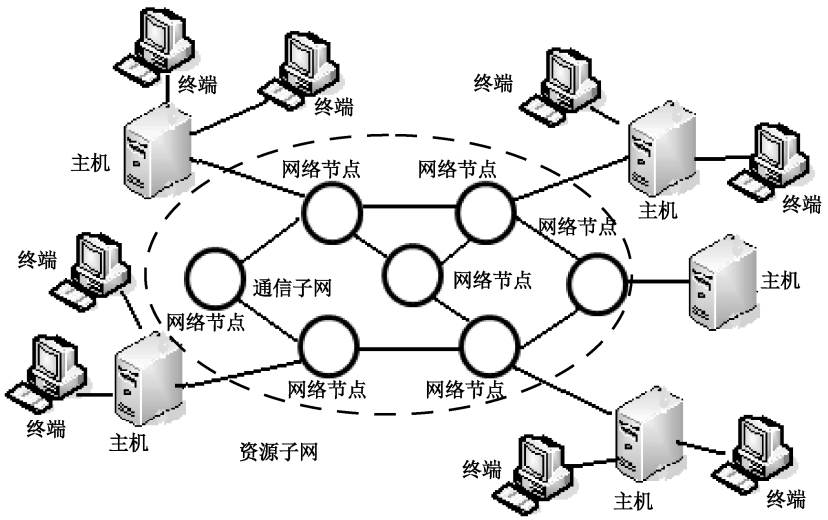


图 1-3　网络互联

4. 开放标准的计算机网络阶段

20 世纪 70 年代，为了霸占市场，各厂家采用自己独特的技术开发了自己的网络体系结构，如 IBM 发布的 SNA 和 DEC 公司发布的 DNA，不同的网络体系结构无法互联，因此无法实现不同厂家网络设备的互联功能，很大程度阻碍了网络的发展。为了实现网络大范围的发展和不同厂家设备的互联，1977 年国际标准化组织 ISO（International Organization for Standardization，ISO）提出一个标准框架——OSI（Open System Interconnection/ Reference Model，开放系统互联参考模型）共七层，1984 年正式发布了 OSI，使厂家设备、协议达到全网互联。目前存在着两种占主导地位的网络体系结构，一种是 ISO（国际标准化组织）的 OSI（开放式系统互联）体系结构，另一种是 TCP/IP（传输控制协议/网际协议）体系结构。

5. 高速智能的计算机网络阶段

进入 20 世纪 90 年代后，计算机网络的发展更加迅速。随着 Internet 的快速发展，世界上的许多公司纷纷接入到 Internet，使网络上的通信量急剧增大。由于数字通信的出现和光纤的接入，ISDN、ADSL、DDN、FDDI 和 ATM 网络等快速网络接入 Internet 的方式也不断地诞生，把网络发展推向新的高潮。开放式大规模推广，其速度发展之快，影响之大，是任何学科不能与之相匹致的。计算机网络的应用从科研、教育到工业，如今已渗透到社会的各个领域，它对于其他学科的发展具有使能和支撑作用。目前，关于下一代计算机网络（Next Generation Network，NGN）的研究已全面展开，计算机网络正面临着新一轮的理论研究和技术开发的热潮，计算机网络继续朝着开放、集成、高性能和智能化方向的发展将是不可逆转的大趋势。许多专家认为，未来的计算机网络发展方向将是 IP 技术+光网络，光网络将会演进为全光网络，从网络的服务层面上看将是一个 IP 的世界，从传送层面上看将是一个光的世界，从接入层面上看将是一个有线和无线的多元化世界。

6. 我国计算机网络的发展

目前，我国已建立了中国公用分组交换数据通信网（ChinaPAC）、中国公用数字数据网（ChinaDDN）、中国公用帧中继网（ChinaFRN）和中国公用计算机互联网（ChinaNet）四大公用数据通信网，有十家具有独立国际出入口线路的商用性互联网骨干单位，以及面向教育、科技、经贸等领域的非营利性互联网骨干单位。网络在中国的发展历程可以大略地划分为三个阶段。

第一阶段（1986—1993 年）研究试验阶段。在此期间中国一些科研部门和高等院校开始研究 Internet 联网技术，并开展了科研课题和科技合作工作。这个阶段的网络应用仅限于小范围内的电子邮件服务，而且仅为少数高等院校、研究机构提供电子邮件服务。

第二阶段（1993—1996 年）起步阶段。1994 年 4 月，中关村地区教育与科研示范网络工程进入互联网，实现和 Internet 的 TCP/IP 连接，从而开通了 Internet 全功能服务。从此中国被国际上正式承认为有互联网的国家。之后，ChinaNet、CERNet、CSTNet、ChinaGBNet 等多个互联网络项目在全国范围相继启动，互联网开始进入公众生活，并在中国得到了迅速的发展。

第三阶段（1997 年至今）快速增长阶段。国内互联网用户数自 1997 年以后基本保持每半年翻一番的增长速度，增长到今天，上网用户已超过 1.7 亿。

子任务 2　了解计算机网络的分类

计算机网络的分类方法很多，可从不同的角度不同标准对计算机网络进行分类。

1. 从网络的覆盖范围进行分类

根据计算机网络所覆盖的地理范围，计算机网络通常被分为广域网（WAN）、城域网（MAN）、局域网（LAN）3 类。

（1）广域网（Wide Area Network，WAN）

广域网管辖的范围较大，它的作用范围通常为几十到几千公里。广域网是实现计算机远距离连接的计算机网络，可以把众多的城域网、局域网连接起来，也可以把全球的区域网、局域网连接起来，实现大范围内的资源共享。

（2）城域网（Metropolitan Area Network，MAN）

城域网作用范围在广域网和局域网之间，为 5～100 km，又称为城市网、区域网、都市网。城域网是在一个城市或地区范围内连接起来的网络系统，通常采用光纤或无线网络把各个局域网连接起来。

（3）局域网（Local Area Network，LAN）

局域网作用范围较小，一般在十几公里以内（如 1 栋楼、1 个单位内部），是将计算机、外部设备和网络互联设备连接在一起的网络系统。常见的局域网有以太网（包括快速以太网、千兆位以太网、万兆位以太网）、FDDI、ATM 等。

2. 从网络的拓扑结构进行分类

根据网络中计算机之间互联的拓扑结构图，计算机网络分为星型网(一台主机为中央节点，其他计算机只与主机连接)、树型网(若干台计算机按层次连接)、总线型网(所有计算机都连接到一条干线上)、环型网(所有计算机形成环形连接)、网状网(网中任意两台计算机之间都可以根据需要进行连接）和混合网(前述数种拓扑结构的集成）等，子任务 3 将详细介绍。

3. 按通信传输方式分类

网络所采用的传输技术决定了网络的主要技术特点，根据通信传输方式，网络分点到点式网络和广播式网络两类。

（1）点到点式网络

点到点式网络是指网络中每两台主机、两台节点交换机之间或主机与节点交换机之间都存在一条物理信道，即每条物理线路连接一对计算机，节点沿某信道发送的数据确定无疑的只有信道另一端的唯一节点能收到。在这种点到点的拓扑结构中，没有信道竞争，几乎不存在访问控制问题。绝大多数广域网都采用点到点的拓扑结构，网状形网络是典型的点到点网络，此外，星型结构、树型结构、广域环网和某些环网也是点到点式网络。

（2）广播式网络

在广播式网络中，所有主机共享一条信道，某主机节点发出的数据，其他主机都能收到。在广播信道中，由于信道共享而引起信道访问冲突，因此信道访问控制是要解决的关键问题。局域网是广播式网络，总线网、局域环网、微波、卫星通信网也是广播式网络。

子任务 3　认识计算机网络的拓扑结构

网络拓扑是由网络节点设备和通信介质构成的网络结构图。在计算机网络中，以计算机作为节点、通信线路作为连线，可构成不同的几何图形，即网络的拓扑结构。网络拓扑结构对网络采用的技术、网络的可靠性、网络的可维护性和网络的实施费用都有重大的影响。常见的网络拓扑结构有总线型、星型、环型、树型和网状等。

1. 总线型拓扑结构（Bus Topology）

由一条高速公用总线连接若干个节点所形成的网络即总线型网络，如图 1-4 所示。为防止信号反射，一般在总线两端连有终结器匹配线路阻抗。

总线型网络的特点主要是结构简单灵活，便于扩充，是一种很容易架设的网络。由于多个节点共用一条传输信道，故信道利用率高，但容易产生访问冲突。传输速率高，可达 1～100Mbps。缺点是总线型网常因一个节点出现故障（如接头接触不良等）而导致整个网络不通，因此可靠性不高。

2. 星型拓扑结构（StarTopology）

星型拓扑是一个由中央节点为中心，各联网计算机均与该中心节点直接相连而组成的系统，如图 1-5 所示。各节点间不能直接通信，通信时需要通过该中心节点转发。

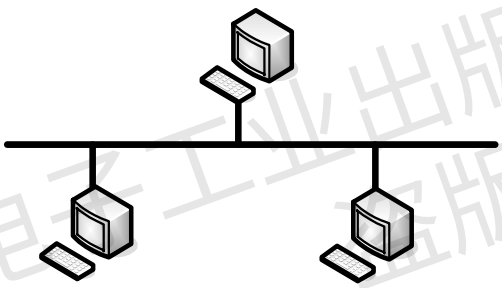


图 1-4　总线型拓扑结构

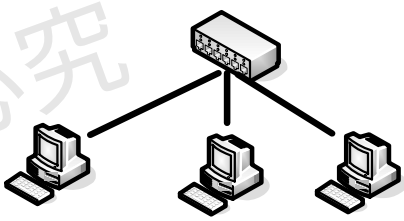


图 1-5　星型拓扑结构

星型拓扑特点：中央控制器是一个具有信号分离功能的“隔离”装置，它能放大和改善网络信号，外部有一定数量的端口，每个端口连接一个端节点。常见的中央节点有 HUB 集线器、交换机等。

星型拓扑的优点：结构简单，管理方便，可扩充性强，组网容易。利用中央节点可方便地提供网络连接和重新配置；且单个连接点的故障只影响一个设备，不会影响全网，容易检测和隔离故障，便于维护。

星型拓扑的缺点：属于集中控制，主节点负载过重，如果中央节点产生故障，则全网不能工作，所以对中央节点的可靠性和冗余度要求很高。

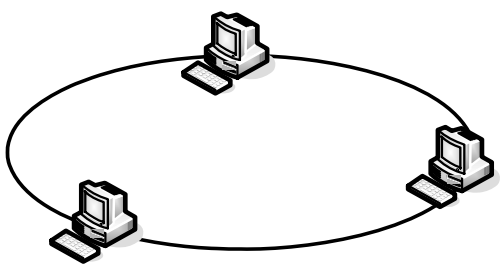


图 1-6　环型拓扑结构

3. 环型拓扑结构（Ring Topology）

环型拓扑是将各台联网的计算机用通信线路连接成一个闭合的环，如图 1-6 所示是一个

点到点的环路，每台设备都直接连接到环上，或通过一个分支电缆连到环上。

环型拓扑特点：在环型结构中，信息按固定方向流动，或按顺时针方向，或按逆时针方向。如 Token Ring 技术、FDDI 技术等。

环型拓扑结构的优点：一次通信信息在网中传输的最大传输延迟是固定的，每个网上节点只与其他两个节点由物理链路直接互联。因此，传输控制机制较为简单，实时性强。

环型拓扑结构的缺点：环中任何一个节点出现故障都可能会终止全网运行，因此可靠性较差。为了克服可靠性差的问题，有的网络采用具有自愈功能的双环结构，一旦一个节点不工作，可自动切换到另一环路上工作。此时，网络需对全网进行拓扑和访问控制机制进行调整，因此较为复杂。

4. 树型拓扑结构（Tree Topology）

树型拓扑是从总线拓扑演变而来，它把星型和总线型结合起来，形状像一棵倒置的树，顶端有一个带分支的根，每个分支还可以延伸出子分支，如图 1-7 所示。

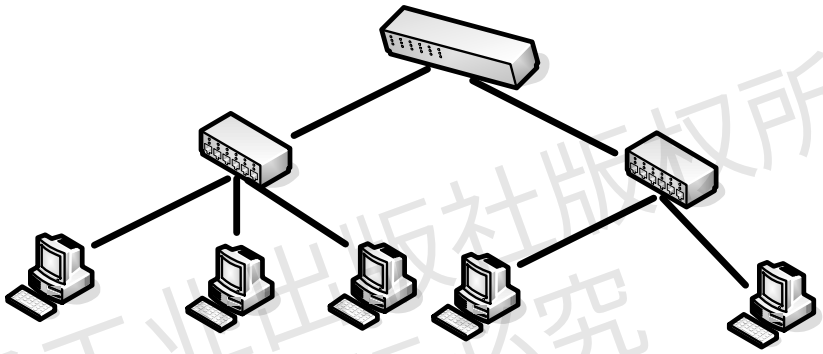


图 1-7　树型拓扑结构

在这种拓扑结构中，有根存在，当节点发送时，根接收该信号，然后再重新广播发送到全网。

树型拓扑的优点是易于扩展和故障隔离，树型拓扑的缺点是对根的依赖性太大，如果根发生故障，则全网不能正常工作，对根的可靠性要求很高。

5. 网状拓扑结构

网状结构分为全连接网状和不完全连接网状两种形式。在全连接网状结构中，每一个节点和网中其他节点均有链路连接，如图 1-8 所示。在不完全连接网状网中，两节点之间不一定有直接链路连接，它们之间的通信，依靠其他节点转接。

网状结构网络的优点是节点间路径多，碰撞和阻塞可能性大大减少，局部的故障不会影响整个网络的正常工作，可靠性高，网络扩充和主机入网比较灵活、简单。但这种网络关系复杂，建网和网络控制机制复杂。

以上介绍的是最基本的网络拓扑结构，在组建局域网时常采用星型、环型、总线型和树型拓扑结构，树型和网状拓扑结构在广域网中比较常见。但是在一个实际的网络中，可能是上述几种网络结构的混合。

在选择拓扑结构时，主要考虑的因素有：安装的相对难易程度、重新配置的难易程度、维护的相对难易程度、通信介质发生故障时受到影响设备的情况及费用等。

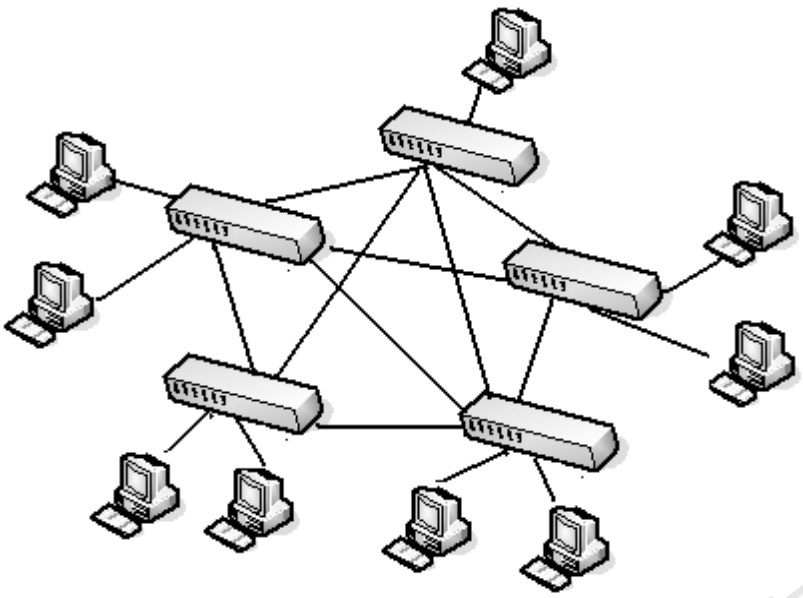


图 1-8　网状拓扑结构

子任务 4　了解计算机网络的主要功能

1. 数据通信

计算机网络使分散在不同部门、不同单位甚至不同省份、不同国家的计算机与计算机之间可以进行通信，互相传送数据，方便地进行信息交换。例如，使用电子邮件进行通信、在网上召开视频会议等。

2. 资源共享

这是计算机网络最主要的功能。在网络范围内，用户可以共享软件、硬件、数据等资源，而不必考虑用户及资源所在的地理位置。当然，资源共享必须经过授权才可进行。

3. 提高计算机系统的可靠性和可用性

网络中的计算机可以互为后备，一旦某台计算机出现故障，它的任务可由网中其他计算机取而代之。当网中某些计算机负荷过重时，网络可将新任务分配给较空闲的计算机去完成，从而提高了每一台计算机的可用性能。

4. 实现分布式的信息处理

由于有了计算机网络，许多大型信息处理问题可以借助于分散在网络中的多台计算机协同完成，解决单机无法完成的信息处理任务。特别是分布式数据库管理系统，它使分散存储在网络中不同系统中的数据在使用时就好像集中存储和集中管理那样方便。

任务 2　了解数据通信基础知识

数据通信的目的是交换信息，信息的载体可以是数字、文字、语音、图形或图像，数据通信是指在不同计算机之间传送二进制代码 0、1 比特序列的过程，利用数字通信系统来

实现多媒体信息的传输，是通信技术研究的重要内容之一。

子任务 1　了解数据通信基本概念

一、数据通信系统模型

数据通信是计算机与通信相结合而产生的一种通信方式和通信业务，其基本作用是完成两个实体间数据的交换，一个简单的通信系统模型如图 1-9 所示。

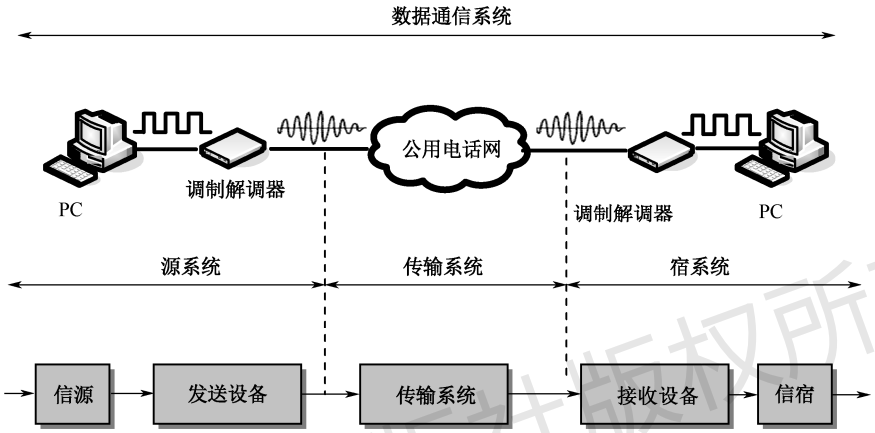


图 1-9　数据通信系统模型

二、数据通信基本术语

1. 数据、信息

对于数据通信来说，被传输的二进制代码称为“数据”，数据是信息的载体。数据涉及对事物的表示形式，信息涉及对数据所表示内容的解释。数据通信的任务就是要传输二进制代码比特序列，而不需要解释代码所表示的内容。数据分为数字数据和模拟数据。

数字数据是离散的值，如文字、整数等。模拟数据是在某区间内连续变化的值，如语音、温度等。

2. 信号

是数据的电子和电磁的表现，或数据的电子和电磁编码。信号分模拟信号和数字信号，模拟信号是随时间连续变化的电流、电压或电磁波。数字信号则是一系列离散的电脉冲。信号也可分基带信号和宽带信号，基带信号就是将数字信号 1 或 0 直接用两种不同的电压来表示，然后送到线路上去传输，宽带信号则是将基带信号进行调制后形成的频分复用模拟信号。

3. 码元

一个离散信号（电压）状态或信号事件。在数据通信中，人们习惯将被传输的二进制代码的 0、1 称为码元。

4. 信道

是信源和信宿之间的通信线路，是数据信号传输的必经之路，一般由传输线路和传输设备组成，有物理信道和逻辑信道、数字信道和模拟信道、有线信道和无线信道、专用信道和公共信道之分。物理信道是用来传输信号和数据的物理通道，逻辑信道是在物理信道

上建立多条逻辑上的链接；数字信道是指采用数字信号传输数据的信道，模拟信道是指采用模拟信号传输数据的信道；有线信道是使用如双绞线类线缆的有形传输介质，无线信道是使用如无线电类的无形传输介质；专用信道是一种连接用户设备的固定线路，公共信道是一种通过公共网络为大量用户提供服务的信道。

5. 数据单元

在传输数据时，通常将较大的数据块（如报文）分割成较小的数据单元（如分组），并在每一段数据上附加一些如序号、地址、校验码等信息，这些数据单元及其附加的信息一起被称为数据单元。

三、数据通信系统的主要技术指标

任何实际的信道都不是理想的，在传输信号时会产生各种失真及带来多种干扰，影响数据通信系统的性能指标。系统性能指标有如下几种。

1. 数据传输速率 S（比特率）

每秒传输的二进制代码的有效位数，单位为位/秒、比特/秒，即 b/s 或 bps，又称为比特率。计算公式为

$$S=(1/T)\times\log_2 N(\text{bps})$$

式中，T 为一个数字脉冲信号的宽度（全宽码）或重复周期（归零码），单位为秒（s）；N 为一个码元所取的离散值个数，通常 $N=2^K$，K 为二进制信息的位数，$K=\log_2 N$，$N=2$ 时，$S=1/T$，表示数据传输速率等于码元脉冲的重复频率。

2. 信号传输速率 B（波特率）

是一种信号速率或调制速率，即单位时间内通过信道传输的码元数，单位为波特，记作 Baud。计算公式为

$$\boldsymbol{B=1/T}\ (\text{Baud})$$

式中，T 为信号码元的宽度，单位为秒（s）。

数据传输速率（信息传输速率）S 与码元传输速率（信号传输速率）B 在数量上有一定的关系，即

$$S=B\times\log_2 V(\text{bps})$$

式中，V 是指一个码元所取得有效离散值个数。

3. 带宽

对于模拟信道来说，带宽是指物理信道的频带宽度，及信道允许传输信号的最高频率和最低频率之差，单位是赫兹（Hz）。对于数字信道来说，带宽是指物理信道上传输数字信号的速率，即数据的传输速率 S。

4. 信道容量

用来表示一个信道的最大数据传输速率，单位是位/秒（bps）。信道容量与数据传输速率的区别是，前者表示信道的最大数据传输速率，是信道传输数据能力的极限，而后者是实际的数据传输速率。

5. 误码率

二进制数据位传输时出错的概率，它是衡量数据通信系统在正常工作情况下的传输可靠性的指标。在计算机网络中，一般要求误码率低于 10^{-6}，若误码率达不到这个指标，可通过差错控制方法检错和纠错。

子任务 2　了解数据通信的主要技术

计算机网络中的两台计算机之间是以通信方式进行数据传递和数据交换的，其通信过程中涉及编码问题、信号类型问题、数据传输和通信问题、同步问题、交换问题、差错控制问题等。

一、数据的传输方式和技术

1. 并行传输和串行传输

并行传输是指有多个数据位同时在两个设备之间传输，发送端设备将这些数据位通过对应的数据线传送给接收端设备，如图 1-10 所示。接收端设备可同时接收到这些数据，不需要做任何变换就可直接使用。并行方式主要用于近距离通信，计算机内的总线结构采用的是并行传输，这种传输方式的优点是传输速度快，处理简单。

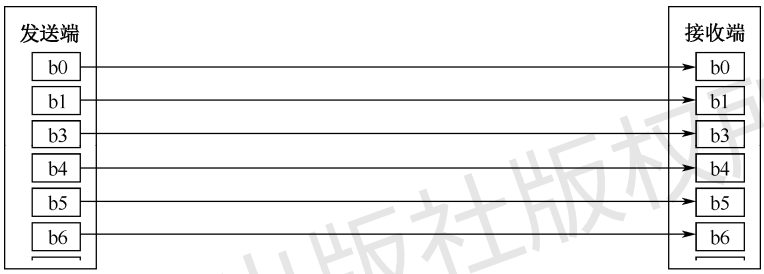


图 1-10　并行传输

串行传输是指发送端设备将数据一位一位地通过通信线传输到接收方设备，如图 1-11 所示。发送端由计算机内的发送设备将几位并行数据经并-串转换成串行方式，逐位经传输线到达接收端设备中，接收端将数据从串行方式重新转换成并行方式以供接收方使用。串行数据传输的速度要比并行传输慢得多，但对于覆盖面极其广阔的公用电话系统来说具有更大的现实意义。

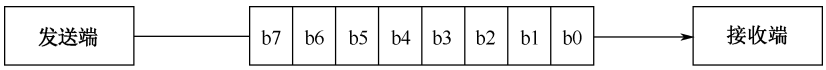


图 1-11　串行传输

2. 单工、全双工和半双工

串行传输具有方向性结构，按照信号传送方向与时间的关系，可以分为三种：单工通信、半双工通信、全双工通信。

单工传输：在一个单一不变的方向上进行信息传输的通信方式，只有一个方向不变的单向通道连接了两个设备，如图 1-12 所示。

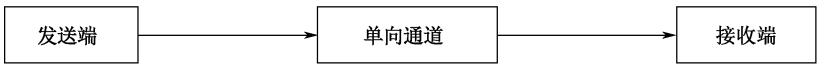


图 1-12　单工传输

半双工传输：通信的双方都可以发送信息，但不能双方同时发送(当然也就不能同时接收)，如图 1-13 所示。

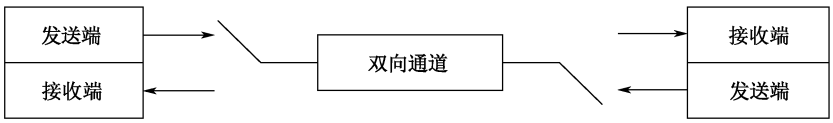


图 1-13　半双工传输

全双工传输：通信的双方可以同时发送和接收信息。两设备之间存在两条不同方向的信息传输通道，可以同时在两个方向上传输数据，如图 1-14 所示。

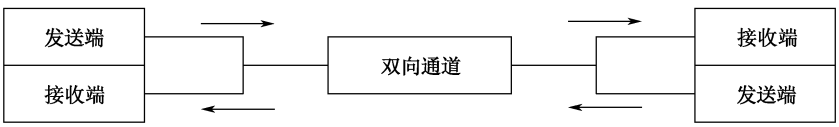


图 1-14　全双工传输

二、数据编码技术

模拟数据的模拟信号可以直接传输，但数字数据的模拟信号传输、数字数据和模拟数据的数字信号传输都需要进行数据的表示才可以进行传输，即数据的编码。

1. *数字数据的数字信号编码*

近距离通信的局域网都采用基带传输。基带传输就是在线路中直接传送数字信号的电脉冲，它是一种最简单的传输方式。基带传输时，需要解决的问题是数字数据的数字信号表示及收发两端之间的信号同步两个方面。基带传输必须将数字数据进行线路编码再进行传输，到了接收端再解码，还原原有的数据。常用的三种编码方式如图 1-15 所示：非归零编码方式（NRZ）、曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码。

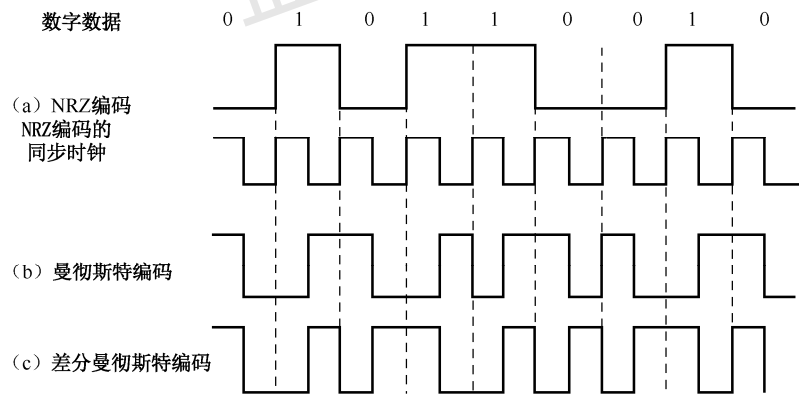


图 1-15　三种数字数据的数字信号编码方式

（1）非归零编码方式（NRZ）。用两种不同的电平分别表示二进制信息 0 和 1，低电平用 0 表示，高电平用 1 表示。缺点：难以分辨某一位的开始和结束，发送方和接收方必须有时钟同步，若信号中 0 和 1 连续出现，信号直流分量将累加，容易产生传播错误。

（2）曼彻斯特编码。在对 0 和 1 编码时，每一位中间都有跳变，从低跳到高表示 0，从高跳到低表示 1。曼彻斯特编码克服了 NRZ 码的不足，每位中间的跳变既可作为数据，

又可作为时钟，能够自同步，为以太网采用。

（3）差分曼彻斯特编码。编码时，每一位都有一个跳变，每位开始有跳变表示 0，无跳变表示 1，位的中间跳变表示时钟，位前跳变表示数据。这种编码将时钟和数据分离，便于提取数据，为令牌环网采用。

2. 模拟数据的数字信号编码

（1）脉码调制 PCM。脉码调制是以采样定理为基础，对连续变化的模拟信号进行周期性采样，利用大于有效信号最高频率或其带宽 2 倍的采样频率，通过低通滤波器从这些采样中重新构造出原始信号。

采样定理表达公式

$$F_s(=1/T_s)\geqslant 2F_{max} \text{ 或 } F_s\geqslant 2B_s$$

式中，T_s 为采样周期；F_s 为采样频率；F_{max} 为原始信号的最高频率；$B_s(=F_{max}-F_{min})$为原始信号的带宽。

（2）模拟信号数字化的三步骤。

① 采样：以采样频率 F_s 把模拟信号的值采出。

② 量化：使连续模拟信号变为时间轴上的离散值。

③ 编码：将离散值变成一定位数的二进制数码。

3. 数字数据的调制

信号在线路传输过程中存在三个问题：衰减、延迟畸变和噪声，其中前两个问题都和信号频率有关，而数字信号采用的是方波，频谱很宽，只适合低速和短距离传输。为了使用公共电话交换网实现计算机之间的远程通信，必须将发送端的数字信号变换成能够在公共电话网上传输的音频信号，经传输后再在接收端将音频信号逆变换成对应的数字信号。

调制解调技术是数字数据在模拟信道中传输的方法，实现数字信号与模拟信号互换的设备称为调制解调器（Modem）。调制即将数字数据转变成模拟数据，把要发送的数字信号转换为频率范围在 300～3400 Hz 之间的模拟信号，以便在电话交换网上传送。解调即将调制的信号还原为原来的数字数据。

模拟信号传输的基础是载波信号，可表示为 $u(t)=A(t)\sin(\omega t+\varphi)$，其中幅度 A、频率ω和相位φ是载波三大要素，它们的变化对正弦载波产生影响。数字数据针对载波的不同要素或它们的组合进行调制，基本的调制方法有移幅键控法 ASK、移频键控法 FSK、移相键控法 PSK 三种，如图 1-16 所示。

调幅（AM）：载波的振幅随基带数字信号变化而变化。

调频（FM）：载波的频率随基带数字信号变化而变化。

调相（PM）：载波的初始相位随基带数字信号变化而变化。

在移幅键控法 ASK 方式下，用载波的两种不同幅度来表示二进制的两种状态。ASK 方式容易受增益变化的影响，是一种低效的调制技术。在电话线路上，通常只能达到 1200bps 的速率。

在移频键控法 FSK 方式下，用载波频率附近的两种不同频率来表示二进制的两种状态。在电话线路上，使用 FSK 可以实现全双工操作，通常可达到 1200bps 的速率。

在移相键控法 PSK 方式下，用载波信号相位移动来表示数据。PSK 可以使用二相或多于二相的相移，利用这种技术，可以对传输速率起到加倍的作用。

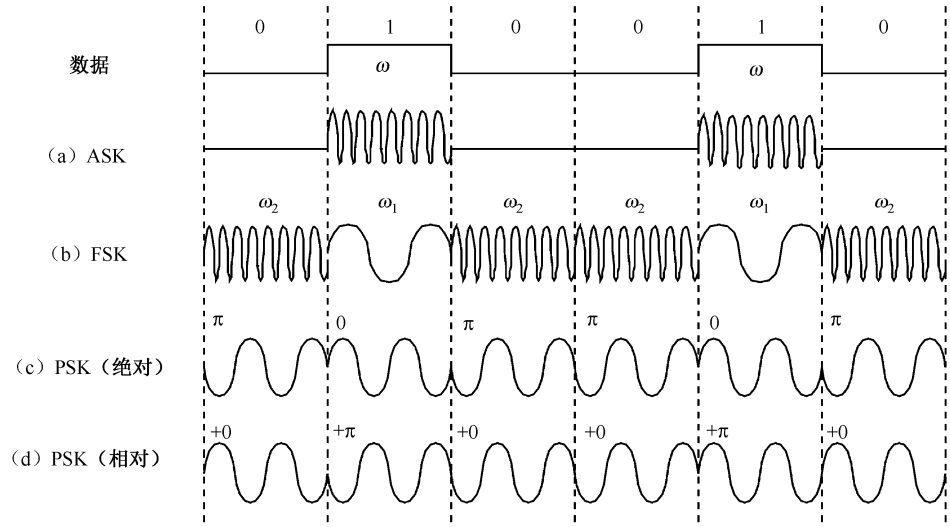


图 1-16　数字调制的三种基本方法

三、同步技术

数据传输的收发双方必须遵循同步技术才可以实施交换数据，实施同步必须考虑和解决的问题是：发送端何时开始传输数据？数据传输过程中双方如何保持数据传输一致？数据传输时间及间隔是多少？接收端何时开始接收数据？这些问题的解决就需要双方设备间的定时机制来解决，即接收端需要按照发送端所发送的每个数据的起止时间和重复频率来接收数据，收发双方在时间上必须一致。数据传输的同步技术有异步传输与同步传输两种。

1. 异步传输

异步传输是以字符为单位的数据传输，一次只传输一个字符。每个字符用一位起始位引导、一位停止位结束，如图 1-17 所示。在没有数据发送时，发送方可发送连续的停止位。接收方根据“1”至“0”的跳变来判断一个新字符的开始，然后接收字符中的所有位。异步传输通信方式简单便宜，但每个字符有 2～3 位额外开销，只适合低速通信场合。

图 1-17　异步传输方式

2. 同步传输

同步传输是高速数据传输过程中使用的一种定时方式，以数据块为单位的数据传输，如图 1-18 所示。为使收发双方能判别数据块的开始和结束，还需要在每个数据块的开始处和结束处各加一个帧头和一个帧尾，加有帧头、帧尾的数据称为一帧。帧头和帧尾的特性取决于数据块是面向字符还是面向位。同步传输通信方式传输的速率高、效率高，但实现复杂，需要精度较高的时钟装置，一般用于计算机和计算机间等高速数据通信的场合。

图 1-18　同步传输方式

四、多路复用技术

在计算机网络系统中，传输介质的带宽和容量一般都超过单一传输信号的传输，为了提高通信线路的利用率，往往在一个信道上传输多路信号，这就是多路复用技术，多路复用技术是指把许多单个信号在一个物理信道上同时传输的技术。常用的多路复用有频分多路复用（FDM）、时分多路复用（TDM）、码分多路复用（CDMA）、波分多路复用（WDM）等几种，频分多路复用 FDM 和时分多路复用 TDM 是两种最常用的多路复用技术。

1. 频分多路复用 FDM 技术

频分多路复用技术多用于多路模拟信号同时传输的场合。在物理信道的可用带宽超过单个原始信号所需带宽情况下，可将该物理信道的总带宽分割成若干个与传输单个信号带宽相同（或略宽）的子信道，每个子信道传输一路信号，即频分多路复用，如图 1-19 所示。

图 1-19　频分多路复用

多路原始信号在频分复用前，先要通过频谱搬移技术将各路信号的频谱搬移到物理信道频谱的不同段上，使各信号的带宽不相互重叠，然后用不同的频率调制每一个信号，每个信号都在以它的载波频率为中心，一定带宽的通道上进行传输。为了防止互相干扰，使用保护带来隔离每一个通道。

2. 时分多路复用 TDM 技术

若介质能达到的位传输速率超过传输数据所需的数据传输速率，可采用时分多路复用 TDM 技术，即将一条物理信道按时间分成若干个时间片轮流地分配给多个信号使用，如图 1-20 所示。每一时间片由复用的一个信号占用，这样，利用每个信号在时间上的交叉，就可以在一条物理信道上传输多个数字信号。

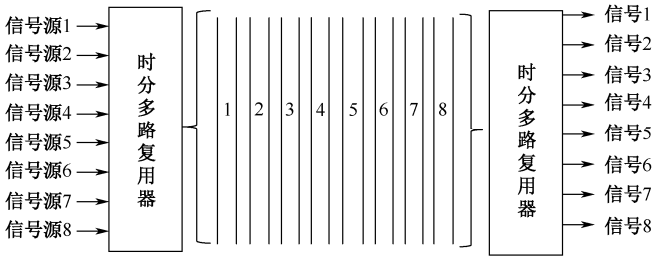


图 1-20　时分多路复用

时分多路复用 TDM 不仅传输数字信号，也可同时交叉传输模拟信号。

五、数据交换技术

数据经编码后在通信线路上进行传输，在实际通信中，数据通常要经过多个中间节点

方可传输到信宿，数据的传输过程称为数据交换。数据交换技术有电路交换和存储转发交换两种，存储转发交换又分为报文交换和分组交换。

1. 电路交换

电路交换和电话的工作相同，分建立连接、数据传输和释放连接三个阶段。建立连接是指数据通信前需要先经过呼叫过程建立一条端到端的物理通路。数据传输是指在线路连接状态下传输数据。释放连接指数据传输结束后，由某一方发出拆除请求，然后逐节拆除到对方节点。

电路交换数据传输可靠、迅速，数据不会丢失且保持原来的序列，它适用于系统间要求高质量的大量数据传输的情况。这种数据交换方式在数据传送开始前必须先设置一条专用的通路，在线路释放前该通路由一对用户完全占用，电路利用效率不高。

2. 报文交换

报文交换利用存储转发交换原理，数据传输单位是报文。报文是要发送的数据块，其长度不限且可变。当一个节点要发送报文时，它封装了目的地址、源地址和控制信息等，以便中间各节点逐个地转送到目的地。报文交换采用“存储-转发”方式，每个节点在收到整个报文并检查无误后，就暂存这个报文，然后利用路由信息找出下一个节点的地址，再把整个报文传送给下一个节点。

3. 分组交换

分组交换是报文交换的一种改进，它将报文分成若干个分组，用于交互式通信，如终端与主机通信。分组交换有虚电路分组交换和数据报分组交换两种，是计算机网络中使用最广泛的一种交换技术。

虚电路分组交换。在虚电路分组交换中，为了进行数据传输，网络的源节点和目的节点之间要先建一条逻辑通路。每个分组除了包含数据还包含一个虚电路标识符，在预先建好的路径上的每个节点都知道把这些分组引导到哪里去，不再需要路由选择判定。最后，由某一个站用清除请求分组来结束这次连接。虚电路分组交换在数据传送之前必须通过虚呼叫设置一条虚电路，但并不像电路交换那样有一条专用通路，分组在每个节点上仍然需要缓冲，并在线路上进行排队等待输出。

数据报分组交换。在数据报分组交换中，每个分组的传送是被单独处理的。一个分组称为一个数据报，每个数据报自身携带足够的地址信息。一个节点收到一个数据报后，根据数据报中的地址信息和节点所储存的路由信息，找出一个合适的出路，把数据报原样地发送到下一节点。由于各数据报所走的路径不一定相同，因此不能保证各个数据报按顺序到达目的地，有的数据报甚至会中途丢失。整个过程中，没有虚电路建立，但要为每个数据报做路由选择。

六、差错控制技术

信号在物理信道中传输时，由于线路本身电器特性会造成随机噪声、信号幅度衰减、频率和相位畸变、电器信号在线路上产生反射造成回音效应、相邻线路间的串扰，以及各种外界因素（如大气中的闪电、开关的跳火、外界强电流磁场的变化、电源的波动等），这些都会造成信号的失真，使接收端收到的二进制数位和发送端实际发送的二进制数位不一致，从而造成由“0”变成“1”或由“1”变成“0”的差错。差错控制技术主要分差错检

查的检错法和差错纠正的纠错法，最常用的方法是检错法。

数据信息位在向信道发送之前，先按照某种关系附加上一定的冗余位，构成一个码字后再发送，这个过程称为差错控制编码过程。接收端收到该码字后，检查信息位和附加的冗余位之间的关系，以检查传输过程中是否有差错发生，这个过程称为检验过程。差错控制编码可分为检错码和纠错码。

① 检错码——能自动发现差错的编码；

② 纠错码——不仅能发现差错而且能自动纠正差错的编码。

差错控制方法分为两类，一类是自动请求重发 ARQ，另一类是前向纠错 FEC。在 ARQ 方式中，当接收端发现差错时，就设法通知发送端重发，直到收到正确的码字为止。ARQ 方式只使用检错码。在 FEC 方式中，接收端不但能发现差错，而且能确定二进制码元发生错误的位置，从而加以纠正。FEC 方式必须使用纠错码。

1. 奇偶校验码

奇偶校验码是一种通过增加冗余位使得码字中“ 1 ”的个数为奇数或偶数的编码方法，它是一种检错码。根据采用的奇偶校验位是奇数还是偶数，推出一个字符包含“1”的数目，接收机重新计算收到字符的奇偶校验位，并确定该字符是否出现传输差错。奇偶校验码分垂直（纵向）奇偶校验、水平（横向）奇偶校验和水平垂直（横纵）奇偶校验三种方法。

若每个字符只采用一个奇偶校验位，只能发现单个比特差错，如果有两个或两个以上比特出错，奇偶校验位无效。异步传输和面向字符的同步传输均采用奇偶校验技术。

2. 循环冗余码（CRC）

在发送端产生一个循环冗余码，附加在信息位后面一起发送到接收端，接收端收到的信息按发送端形成循环冗余码同样的算法进行校验，若有错，需重发。循环冗余码 CRC 在发送端编码和接收端校验时，都可以利用事先约定的生成多项式 G(X)来得到，K 位要发送的信息位可对应于一个(k–1)次多项式 $K(X)$,r 位冗余位则对应于一个(r–1)次多项式 $R(X)$，由 r 位冗余位组成的 $n=k+r$ 位码字则对应于一个(n–1)次多项式 $T(X)=X^r\times K(X)+R(X)$。以下面的例子介绍循环冗余码检验方法。

已知，信息码：110011，信息多项式：$K(X)=X^5+X^4+X+1$。

生成码：11001，生成多项式：$G(X)=X^4+X^3+1$(r=4)。

第一步，计算循环冗余码和码字。

$(X^5+X^4+X+1)\times X^4$ 的积是 $X^9+X^8+X^5+X^4$，对应的码是 1100110000。

按模二算法计算，积 / $G(X)$，得到余数 R（X）。

1 0 0 0 0 1←$Q(X)$

$G(x)$→1 1 0 0 1)1 1 0 0 1 1 0 0 0 0←$F(X)\times X^r$

1 1 0 0 1

1 0 0 0 0

1 1 0 0 1

1 0 0 1←$R(X)$(冗余码)

由计算结果知冗余码是 1001，码字就是 1100111001。

第二步，检验码字的正确性。

接收码字：若接收码是 1100111001，则构成多项式 $T(X)=X^9+X^8+X^5+X^4+X^3+1$。

生成码：11001，生成多项式：$G(X)=X^4+X^3+1(r=4)$

用接收码除以生成码，若余数为 0，则码字正确。

$$\begin{array}{l}
\qquad\qquad 1\,0\,0\,0\,0\,1 \leftarrow Q(X) \\
G(x) \rightarrow 1\,1\,0\,0\,1\,)1\,1\,0\,0\,1\,1\,1\,0\,0\,1 \leftarrow F(X)\times X^r+R(x) \\
\underline{1\,1\,0\,0\,1} \\
\quad 1\,1\,0\,0\,1 \\
\quad \underline{1\,1\,0\,0\,1} \\
\quad 0 \leftarrow S(X)(\text{余码})
\end{array}$$

3. *海明码*

海明码是一种可以纠正一位差错的编码。它是利用在信息位为 k 位、增加 r 位冗余位，构成一个 $n=k+r$ 位的码字，然后用 r 个监督关系式产生的 r 个校正因子来区分无错和在码字中的 n 个不同位置的一位错。它必需满足以下关系式：$2^r \geqslant n+1$ 或 $2^r \geqslant k+r+1$

海明码的编码效率为

$$R=k/(k+r)$$

式中，k 为信息位位数；r 为增加冗余位位数。

任务 3　认识计算机网络体系结构

计算机网络是由各种计算机和各类终端通过通信线路连接起来的复合系统。在这个复杂的系统中，由于硬件、连接方式及软件不同，网络中各节点间的通信无法进行。由于各厂家使用的数据格式、交换方式不同，异种机通信的标准化非常困难。于是各厂家纷纷提出建议，由一个适当的组织实施一套公共的标准，各厂家都生产符合该标准的产品，简化通信手续，以便在不同的计算机上实现互相通信的目的。

子任务 1　认识网络体系结构

计算机网络体系结构是通信系统的整体设计，是计算机网络的核心，为网络硬件、软件、协议、存取控制和拓扑结构提供标准。网络体系结构是从体系结构的角度来研究和设计计算机网络体系，其核心是网络系统的逻辑结构和功能分配定义，即描述实现不同计算机系统之间互联和通信的方法及结构，是层和协议的集合。

一、计算机网络的分层模型

计算机网络系统非常复杂，为便于研究和实现，需要按具有可分层特性的体系结构方式进行建模。计算机网络体系结构就是为了简化复杂系统中的问题研究，抽象设计并实现一种层次结构模型。在层次模型中，将系统所要实现的复杂功能分化为若干个相对简单的细小功能，每一项分功能以相对独立的方式去实现。因此网络体系结构都分成层次结构，其分层原则如下：

- 各层相对独立，某一层的内部变化不影响另一层；

- 层次数适中，不应过多，也不宜太少；
- 每层完成特定的功能，类似功能尽量集中在同一层；
- 低层对高层提供的服务与低层如何完成无关；
- 相邻层之间的接口有利于标准化工作。

二、协议

在计算机网络的各节点间要进行无差错的数据交换，各节点必须遵守一些事先约定好的规则，这些规则即网络协议，它规定了数据交换的格式及同步问题。也可以说协议就是网络的语言，网络终端与网络设备只有遵循了这种语言的规范才能彼此通信。网络协议由语法、语义、时序三个要素组成。

（1）语法是指数据与控制信息的结构或格式，确定通信时采用的数据格式、编码及信号电平等。

（2）语义是各种命令及回答响应的含义，规定需要发出何种控制信息、完成何种动作，以及做出何种应答，对发布请求、执行动作以及返回应答予以解释，并确定用于协调和差错处理的控制信息。

（3）时序是指事件实现顺序的详细说明，指出事件的顺序及速度匹配。

三、服务与接口

在计算机网络协议的层次结构中，层与层之间具有服务与被服务的单向依赖关系，下层向上层提供服务，而上层调用下层的服务。因此可称任意相邻两层的下层为服务提供者，上层为服务调用者。服务通过服务访问点（SAP）提供，如图 1-21 所示。计算机网络的服务分为如下三类。

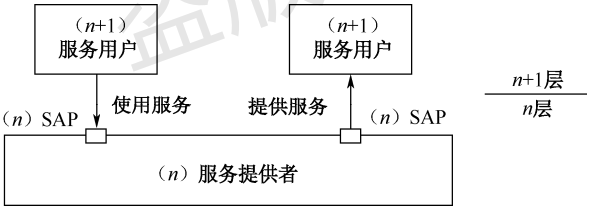


图 1-21　服务及服务访问点

（1）面向连接的服务与无连接的服务。

面向连接服务以电话系统为模式，它在数据交换之前，必须先建立连接。当数据交换结束后，则必须终止这个连接。在传送数据时是按序传送的。面向连接服务比较适合于在一定时期内要向同一目的地发送许多报文的情况。无连接服务以邮政系统为模式。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，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。

（2）有应答服务与无应答服务。

有应答服务是指接收方在收到数据后向发送方给出相应的应答，该应答由传输系统内部自动实现，而不是用户实现，如文件传输服务。无应答服务是指接收方收到数据后不自

动给出应答，若需应答，由高层实现。如 WWW 服务，客户端收到服务器发送的页面文件后不给出应答。

（3）可靠服务与不可靠服务。

可靠服务是指网络具有检错、纠错和应答机制，能保证数据正确、可靠地传送到目的地。而不可靠服务是指网络不能保证数据正确、可靠地传送到目的地，网络只是尽量正确、可靠，是一种尽力而为的服务。

下层向上层提供的服务通过下层和上层之间的接口来实现。接口定义下层向其相邻的上层提供的服务及原语操作，并使下层服务的实现细节对上层是透明的。

四、数据传送单位

服务数据单元 SDU：为完成用户所要求的功能而应传送的数据。第 N 层的服务数据单元记为 N-SDU。

协议控制信息 PCI：控制协议操作的信息。第 N 层的协议控制信息记为 N-PCI。

协议数据单元 PDU：协议交换的数据单位。第 N 层的协议数据单元记为 N-PDU。

子任务 2　认识 ISO/OSI 开放系统互联参考模型

世界上著名的网络体系结构有 IBM 公司的 SNA、美国国防部的 ARM、Digital 公司的 DNA，但这些网络体系结构都有局限性和封闭性，不能进行开放式的信息交换。1978 年，国际标准化组织（ISO）在提出了开放系统互联参考模型 OSI（Open System Interconnection Reference Mode），该模型定义了异种机联网标准的框架结构，建立了一整套能保证全部级别都能进行通信的标准，从而解决了异种计算机、异种操作系统、异种网络间的通信问题。

一、OSI 七层模型

OSI 参考模型在逻辑上将整个网络的通信功能划分为七个层次，从低到高为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层、应用层，每一层都定义了所实现的功能，完成某特定的通信任务，如图 1-22 所示，并只与相邻的上层和下层进行数据的交换。

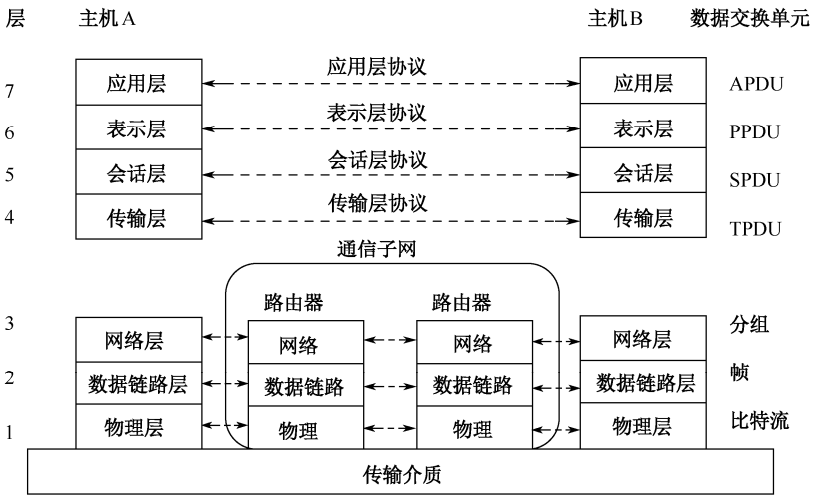


图 1-22　OSI 参考模型及协议

二、OSI 参考模型各层功能

OSI 参考模型的每一层都有其必须实现的一系列功能，以保证数据包能从源节点传输到目的节点。

1. *物理层*（Physical Layer）

物理层是 OSI 参考模型的最低层，是 OSI 体系结构中最重要的、最基础的一层。物理层对有关物理设备通过物理媒体进行互联的描述和规定。物理层协议定义了接口的机械特性、电气特性、功能特性、规程特性 4 个基本特性。

物理层以比特流的方式传送来自数据链路层的数据，而不去理会数据的含义或格式。同样，它接收数据后直接传给数据链路层。也就是说，物理层只能看见 0 和 1，它没有一种机制用于确定自己所处理的比特流的具体意义，而只与数据通信的机械或电气特性有关。

2. *数据链路层*（Data Link Layer）

数据链路层是 OSI 模型的第二层，负责相邻节点间的链路上无差错的传送数据帧，数据帧包含数据信息和控制信息。数据链路层只将无误码的帧送到网络层，将误码可能出现的差错对网络层屏蔽，这样在网络层往下看是一条理想的无差错链路。

数据链路层协议主要有面向字符型的数据链路协议和面向比特型的数据链路层协议。面向字符型的数据链路协议的代表是 IBM 公司的 BSC 协议，协议以字符为传输信息的基本单位，并规定了 10 个控制字符来实现数据的透明传输。此协议采用指定的编码，允许使用同步传输和异步传输方式，多采用半双工通信方式、方阵纠错码检验、等待发送的控制方式。数据传输时的报文格式以正文分组格式为主，在正文相当长时采用。面向比特型的链路层协议，弥合了面向字符型的链路层协议控制符的烦琐，具有统一的帧格式，统一的标志符 F(01111110)，控制简单，报文信息和控制信息独立，采用统一的循环冗余校验（CRC）码，在链路上传输信息时连续发送，使数据传输透明性好，可靠性强，并提高了传输效率。

面向比特型的链路层协议主要以 ISO 推荐的高级数据链路控制规程 HDLC(ISO3309) 为代表。HDLC 的帧格式如图 1-23 所示，每个帧包括链路的控制信息和数据信息。控制段 C 有三种类型，相应的 HDLC 也有三种类型的帧，分别为信息帧 I、监控帧 S 及无编号帧 U。ISO 的数据链路层协议有 ISO/8802.1～8802.6。

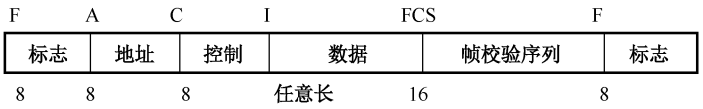


图 1-23　HDLC 的帧格式

3. *网络层*（Network Layer）

网络层是 OSI 模型的第三层，负责信息寻址和将逻辑地址与名字转换为物理地址。由于通信的两台计算机间可能涉及许多个节点，故信息可能经过多个通信子网，因此网络层的任务之一是要选择合适的路径将信息送到目的站，这就是所谓的路由选择。网络层的另一个任务是要进行流量控制，以防止网络拥塞引起的网络功能下降。

路由选择就是为信息选择并建立适当路径，引导信息沿着这条路径通过网络。数据传输时路径的最佳选择是由计算机自动识别的，计算机通过路由算法，确定分组报文传送的最短链路。

流量控制负责控制链路上的信息流动，是调整发送信息的速率，使接收节点能够及时处理信息的一个过程。流量控制防止因过载而引起的吞吐量下降、延时增加、死锁等情况发生，在相互竞争的各用户间公平地分配资源。网络层通过控制相邻节点、源节点到目的节点及源主机到目的主机间的流量来解决全局性的拥塞问题，实现总的流量控制。

网络层传输的信息以报文分组为单位。数据交换是报文分组交换方式，将整个报文分成若干个较短的报文分组，每个报文分组都含有控制信息，目的地址和分组编号，各报文分组可在不同的路径传输，最后再重新组成报文。此种数据交换方式交换延时小，可靠性高，速度快，但技术复杂。

网络层协议最著名的协议是国际电报电话咨询委员会 CCITT 的 X.25 协议，对应 OSI 的下三层，相当于 ISO8473/8348 标准，提供数据报和虚电路两种类型的接口。另外，网络层还需要考虑采用不同的网络层协议的网络之间的互联问题，如 TCP/IP 使用的 IP 协议和 NOVELL 使用的 IPX 协议之间的互联。

4. *传输层*（Transport Layer）

传输层是非常重要的一层，其功能是保证在不同子网的两台设备间数据包可靠、顺序、无错地传输。传输层负责处理端对端通信，所谓端对端是指从一个终端（主机）到另一个终端（主机），中间可以有一个或多个交换节点。

传输层向高层用户提供端到端的可靠的透明传输服务，为不同进程间的数据交换提供可靠的传送手段。在传输层一个很重要的工作是数据的分段和重组，即把一个上层数据分割成更小的逻辑片或物理片。换言之，也就是发送方在传输层把上层交给它的较大的数据进行分段后分别交给网络层进行独立传输，从而实现在传输层的流量控制，提高网络资源的利用率。在接收方将收到的分段的数据重组，还原成为原先完整的数据。另外，传输层的另一主要功能就是将收到的乱序数据包重新排序，并验证所有的分组是否都已被收到。传输层的基本传输单位是报文。

5. *会话层*（Session Layer）

会话层是利用传输层提供的端到端的服务，向表示层或会话用户提供会话服务。会话层是用户连接到网络的接口，为不同系统中的两个用户进程间建立会话连接，进行会话管理，并将分组按顺序正确组成报文完成数据交换，保证会话数据可靠传送。

在会话过程中，会话层需要决定使用全双工通信还是半双工通信。如果采用全双工通信，则会话层在对话管理中要做的工作就很少；如果采用半双工通信，会话层则通过一个数据令牌来协调会话，保证每次只有一个用户能够传输数据。

6. *表示层*（Presentation Layer）

表示层是处理 OSI 系统之间用户信息的表示（编码）问题，定义交换中使用的数据结构，如数组、浮点数、记录、图像、声音等，负责在不同的数据格式之间进行转换操作，以实现不同计算机系统间的信息交换；负责数据的加密，以在数据的传输过程对其进行保护，使数据在发送端被加密，在接收端解密；负责文件的压缩，通过算法来压缩文件的大小，降低传输费用。

7. *应用层*（Application Layer）

应用层是 OSI 的最高层，直接与用户和应用程序打交道，负责对软件提供接口以使程序能使用网络。与 OSI 参考模型的其他层不同的是，它不为任何其他 OSI 层提供服务，而只是

为 OSI 模型以外的应用程序提供服务，如电子表格程序和文字处理程序。包括为相互通信的应用程序或进程之间建立连接、进行同步，建立关于错误纠正和控制数据完整性过程的协商等。应用层还包含大量的应用协议，如虚拟终端协议（Telnet）、简单邮件传输协议（SMTP）、简单网络管理协议（SNMP）、域名服务系统（DNS）和超文本传输协议（HTTP）等。

三、OSI 的层次间的通信

在 OSI 参考模型中，同一台计算机的各层间与在同一层上不同计算机之间经常需要进行通信，即每一层向其协议规范中的上层提供服务，每层都与其他计算机中相同层的软件和硬件交换一些信息。

协议数据单元为了使数据分组从源主机传送到目的主机，源主机 OSI 模型的每一层要与目标主机的同层进行通信，每一层的协议交换的信息称为协议数据单元（Protocol Data Unit，PDU）。

数据封装（Encapsulation）是指网络节点将要传送的数据用特定的协议头打包来传送数据，有时候也可能在数据尾部加上报文。OSI 七层模型的每一层都对数据进行封装，以保证数据能够正确无误的到达目的地，并被终端主机理解及处理。

OSI 的通信涉及同一台计算机之间相邻层的通信和不同计算机上同等层之间的通信。如图 1-24 所示的数据传送过程中有两台主机（源主机 A 和目标主机 B）进行通信，任务从主机 A 的应用层开始，按规定的格式逐层封装数据，直至数据包到达物理层，然后通过网络传输线路到达主机 B。主机 B 的物理层获取数据，向上层发送数据，直到到达主机 B 的应用层。主机 A 和主机 B 间的通信中还存在同等层之间通信，如主机 A 的应用层与主机 B 的应用层通信，同样，主机 A 的传输层、会话层和表示层也分别与主机 B 的对等层进行通信，但对等层间的通信不是直接通信，是虚通信。

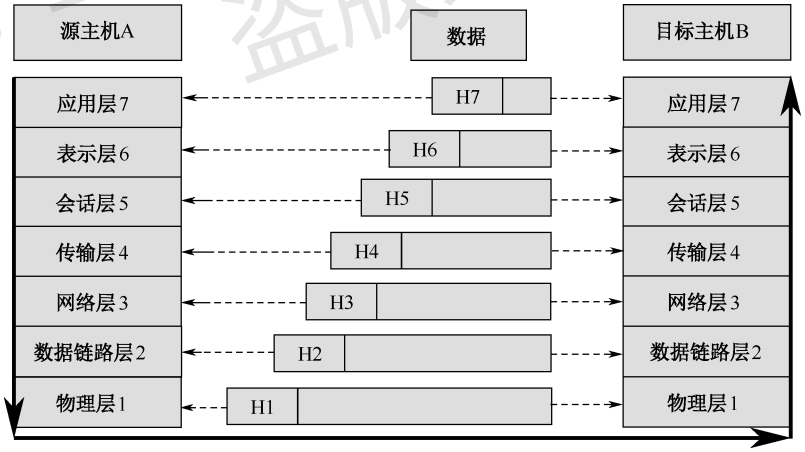


图 1-24　数据传送过程

任务 4　认识 TCP/IP

众所周知，不同厂家生产不同型号的计算机运行着完全不同的操作系统，因为有了

TCP/IP 互联网协议，它们可以互相进行通信。TCP/IP（Transmission Control Protocol/Internet Protocols，简称为 TCP/IP）定义了电子设备（如计算机）如何接入因特网，以及数据如何在它们之间传输的标准。TCP/IP 协议是由美国国防部高级研究计划局创建的，是发展至今最成功的通信协议，它被用于构筑目前最大的、开放的互联网络系统 Internet，为众多网络产品和厂家支持的协议，目前已成为一个事实上的工业标准。TCP/IP 是一组通信协议的代名词，这组协议使任何具有网络设备的用户能访问和共享 Internet 上的信息，其中最重要的协议是传输控制协议（TCP）和网际协议（IP）。TCP 和 IP 是两个独立且紧密结合的协议，负责管理和引导数据报文在 Internet 上的传输。二者使用专门的报文头定义每个报文的内容。TCP 负责和远程主机的连接，IP 负责寻址，使报文被送到其该去的地方。

子任务 1　了解 TCP/IP 参考模型

TCP/IP 和 OSI 参考模型有很多共同之处，两者都采用层次结构概念，各层功能大相径庭，另外，两者都以协议栈的概念为基础，协议栈中的协议彼此独立。

一、分层模型

TCP/IP 参考模型由下而上由网络接口层、网络层、传输层、应用层 4 层组成，如图 1-25 所示，下两层构成了子网访问层，主要起到为网络设备提供数据通路的作用。需要指出的是，TCP/IP 是 OSI 模型之前的产物，所以两者间不存在严格的层对应关系。在 TCP/IP 模型中并不存在与 OSI 中的物理层与数据链路层相对应的部分，相反，由于 TCP/IP 的主要目标是致力于异构网络的互联，所以在 OSI 中的物理层与数据链路层相对应的部分没有作任何限定。

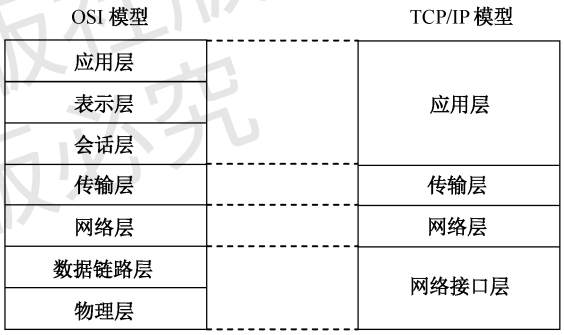


图 1-25　OSI 模型和 TCP/IP 模型

二、TCP/IP 模型各层的功能

1. 网络接口层

网络接口层是 TCP/IP 模型的最低层，负责接收从网络层交换来的 IP 数据报，并将 IP 数据报通过底层物理网络发送出去，或者从底层物理网络上接收物理帧，抽出 IP 数据报，交给网络层。网络接口层使采用不同技术的网络硬件之间能够互联，它包括属于操作系统的设备驱动器和计算机网络接口卡，以处理具体的硬件物理接口。

2. 网络层

网络层负责独立地将分组从源主机送往目标主机，涉及为分组提供最佳路径的选择和交换功能，并使这一过程与它们所经过的路径和网络无关。TCP/IP 模型的网络层在功能上与 OSI 参考模型中的网络层非常类似，即检查网络拓扑结构，以决定传输报文的最佳路由。

3. 传输层

传输层的作用是在源节点和目的节点的两个对等实体间提供可靠的端到端的数据通信。为保证数据传输的可靠性，传输层协议也提供了确认、差错控制和流量控制等机制。

传输层从应用层接收数据，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。

4. 应用层

应用层为用户提供网络应用，并为这些应用提供网络支撑服务，把用户的数据发送到低层，为应用程序提供网络接口。由于 TCP/IP 将所有与应用相关的内容都归为一层，所以在应用层要处理高层协议、数据表达和对话控制等任务。

子任务 2　认识 TCP/IP 各层主要协议

TCP/IP 事实上是一个协议系列或协议簇，目前包含了 100 多个协议，用来将各种计算机和数据通信设备组成实际的 TCP/IP 计算机网络。TCP/IP 模型各层的一些重要协议，如表 1-1 所示，它的特点是上下两头大而中间小：应用层和网络接口层都有许多协议，而中间的 IP 层很小，上层的各种协议都向下汇聚到一个 IP 协议中。这种很像沙漏计时器形状的 TCP/IP 协议族表明：TCP/IP 可以为各式各样的应用提供服务，同时也可以连接到各式各样的网络上，因此，因特网能发展到现在的这种全球规模。

表 1-1　TCP/IP 模型各层的一些重要协议

TCP/IP	各 层 协 议	功　　能
应用层	FTP、Telnet、SMTP、HTTP、DNS、SNMP、TFTP	负责把数据传输到传输层或接收从传输层返回的数据；向用户提供调用和访问网络中各种应用、服务和实用程序接口
传输层	TCP、UDP	主要为两台主机上的应用程序提供端到端的可靠或不可靠的传输服务，可以实现流量控制和负载均衡
网络层	IP、ARP、RARP、ICMP	主要为数据包选择路由，提供逻辑地址和数据的打包或分组
网络接口层	Ethernet、Token Ring、FDDI、ATM、X.25	负责底层数据传输，发送时将 IP 包作为帧发送，接收时把接收到的位组装成帧，利用 MAC 地址访问传输介质，提供链路管理和差错控制等

一、PPP 协议

PPP 协议是提供在点到点链路上传递、封装网络层数据包的一种数据链路层协议，PPP 定义了一整套的协议，包括链路控制协议（LCP）、网络层控制协议（NCP）和验证协议（PAP 和 CHAP）。PPP 由于能够提供验证，易扩充，支持同异步而获得较广泛的应用。

二、IP 协议

IP 协议作为通信子网的最高层，提供不可靠的、无连接的数据传输服务，协议是点到点的，核心问题是寻径。它向上层提供统一的 IP 数据报，使得各种物理帧的差异性对上层协议不复存在。IP 协议是 TCP/IP 协议簇中两个最重要的协议之一，与 IP 协议配套使用的三个协议如下。

ARP（Address Resolution Protocol）协议：地址解释协议，用来将逻辑地址解析成物理地址。

RARP（Reverse Address Resolution Protocol）协议：反向地址解释协议，通过 RARP 广播，将物理地址解析成逻辑地址。

ICMP（Internet Control Message Protocol）协议：因特网控制消息协议，提供网络控制和消息传递功能的。

IP 报头格式如图 1-26 所示。

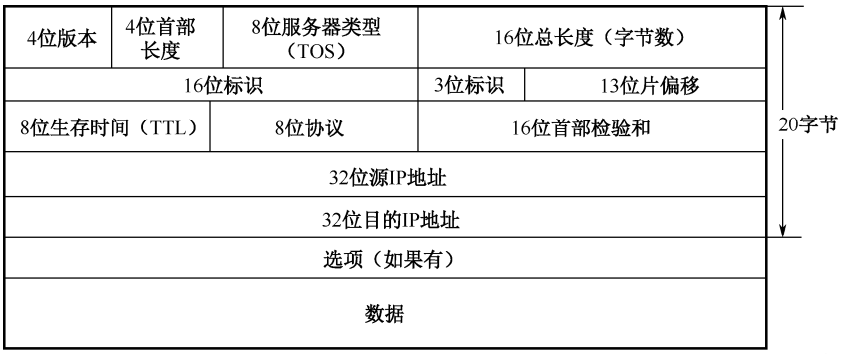


图 1-26　IP 报头

版本号：4 个 bit。用来标识 IP 版本号。

首部长度：4 个 bit。标识包括选项在内的 IP 头部字段的长度。

服务类型：8 个 bit。服务类型字段被划分成两个子字段，3bit 的优先级字段和 4bit TOS 字段，最后一位置为 0。4bit 的 TOS 分别代表：最小时延，最大吞吐量，最高可靠性和最小花费，4bit 中只能将其中一个 bit 位置 1，如果 4 个 bit 均为 0，则代表一般服务。

总长度字段：16 个 bit。接收者用 IP 数据报总长度减去 IP 报头长度就可以确定数据包数据有效负荷的大小。IP 数据包最长可达 65535 字节。

标识字段：16 个 bit。唯一的标识主机发送的每一份数据包。接收方根据分片中的标识字段是否相同来判断这些分片是否是同一个数据包的分片，从而进行分片的重组。通常每发送一份报文它的值就会加 1。

标识字段：3 个 bit。用于标识数据包是否分片。第 1 位没有使用，第 2 位是不分段（DF）位。当 DF 位被设置为 1 时，表示路由器不能对数据包进行分段处理。如果数据包由于不能分段而未能被转发，那么路由器将丢弃该数据包并向源发送 ICMP 不可达。第 3 位是分段（MF）位。当路由器对数据包进行分段时，除了最后一个分段的 MF 位被设置为 0 外，其他的分段的 MF 位均设置为 1，以便接收者直到收到 MF 位为 0 的分片为止。

片偏移：13 个 bit。在接收方进行数据报重组时用来标识分片的顺序。用于指明分段起始点相对于报头起始点的偏移量。由于分段到达时可能错序，所以位偏移字段可以使接收者按照正确的顺序重组数据包。当数据包的长度超过它所要去的那个数据链路的 MTU 时，路由器要将它分片。数据包中的数据将被分成小片，每一片被封装在独立的数据包中。接收端使用标识符，分段偏移及标记域的 MF 位来进行重组。

生存时间：8 个 bit。TTL 域防止丢失的数据包在无休止的传播。该域包含一个 8 位整数，此数由产生数据包的主机设定。TTL 值设置了数据包可以经过的最多的路由器数。TTL 的初始值由源主机设置（通常为 32 或 64），每经过一个处理它的路由器，TTL 值减 1。如

果一台路由器将 TTL 减至 0，它将丢弃该数据包并发送一个 ICMP 超时消息给数据包的源地址。注意：TTL 值经过 PIX 时不减 1。

协议字段：8 个 bit。用来标识是哪个协议向 IP 传送数据。ICMP 为 1，IGMP 为 2，TCP 为 6，UDP 为 17，GRE 为 47，ESP 为 50。

首部校验和：根据 IP 首部计算的校验和码。

Option 选项：是数据报中的一个可变长的可选信息。

三、TCP 协议

传输层的主要协议有 TCP 协议和 UDP 协议。TCP 传输控制协议（Transport Control Protocol）是一种面向连接的、可靠的、基于字节流的传输层协议，它利用无连接的 IP 服务向用户提供面向连接的服务，用三次握手和滑动窗口机制来保证传输的可靠性和进行流量控制。用户数据报协议（User Datagram Protocol，UDP）是面向无连接的不可靠传输层协议。

1. 报文格式

TCP 报文是 TCP 层传输的数据单元，又称为报文段，TCP 报文首部格式如图 1-27 所示。

图 1-27　TCP 报头

源端口：16 位的源端口字段包含初始化通信的端口号。

目的端口：16 位的目的端口字段定义传输的目的，这个端口指明接收方计算机上的应用程序接口。

序列号：序列号是一个 32 位的数，用来标识 TCP 源端设备向目的端设备发送的字节流，它表示在这个报文段中的第几个数据字节。

确认号：TCP 使用 32 位的确认号字段标识期望收到的下一个段的第一个字节，并声明此前的所有数据已经正确无误地收到，因此，确认号应该是上次已成功收到的数据字节序列号加 1。收到确认号的源计算机会知道特定的段已经被收到。确认号的字段只在 ACK 标志被设置时才有效。

数据偏移：这个 4 位字段包括 TCP 头大小。由于首部可能含有选项内容，因此 TCP 首部的长度是不确定的。首部长度的单位是 32 比特或 4 个八位组。首部长度实际上也指示了数据区在报文段中的起始偏移值。

保留：6 位置 0 的字段，为将来定义新的用途保留。

控制位：共 6 位，每一位标识可以打开一个控制功能。

URG（紧急指针字段标志）：表示 TCP 包的紧急指针字段有效，用来保证 TCP 连接不被中断，并且督促中间齐备尽快处理这些数据。

ACK（确认字段标志）：取 1 时表示应答字段有效，也即 TCP 应答号将包含在 TCP 段中，为 0 则反之。

PSH（推功能）：这个标志表示 Push 操作。Push 操作是指在数据包到达接收端以后，立即送给应用程序，而不是在缓冲区中排队。

RST（重置连接）：这个标志表示感谢连接复位请求，用来复位那些产生错误的连接，也被用来拒绝错误和非法的数据包。

SYN（同步序列号）：表示同步序号，用来建立连接。

FIN：表示发送端已经发送到数据末尾，数据传送完成。

2. TCP 端口号和套接字

TCP 端口是为 TCP 协议通信提供服务的端口，一台拥有 IP 地址的主机可以提供许多服务，如 WWW 服务、FTP 服务、SMTP 服务，那么主机是怎样区分不同的网络服务呢？显然不能只靠 IP 地址，实际上是通过“IP 地址+端口号”来区分不同的服务。端口号只能是长度为 16 位的二进制整数，值的范围是从 0 到 65535。端口号分三个范围，0～1023 间的端口为“已知端口”，1024～49151 间的端口为“注册端口”，49152～65535 间的端口为“动态和/或专用端口”。任何 TCP/IP 实现所提供的服务都用 1～1023 之间的端口号，是由 ICANN 来管理的，常见的端口号如表 1-2 所示。

表 1-2　常见端口号

服务进程	（保留的）标准端口号	服务说明
FTP	20	文件传输协议（数据连接）
FTP	21	文件传输协议（控制连接）
Telnet	23	远程登录或仿真终端协议
SMTP	25	简单邮件传输协议
DNS	53	域名服务
HTTP	80	超文本传输协议

套接字（Socket）如图 1-28 所示，应用层通过传输层进行数据通信时，TCP（和 UDP）会遇到同时为多个应用程序进程提供并发服务的问题，多个 TCP 连接或多个应用程序进程可能需要通过同一个 TCP 协议端口传输数据。为了区别不同的应用程序进程和连接，许多计算机操作系统为应用程序与 TCP/IP 协议交互提供了称为套接字的接口。Socket 原意是“插座”，主要有 3 个参数：通信的目的 IP 地址、使用的传输层协议（TCP 或 UDP）和使用的端口号，通过将这 3 个参数结合起来，与一个“插座”Socket 绑定，应用层就可以和传输层通过套接字接口，区分来自不同应用程序进程或网络连接的通信，实现数据传输的并发服务。

3. TCP 连接

TCP 协议提供的是可靠的、面向连接的传输控制协议，即在传输数据前要先建立逻辑

连接，然后再传输数据，最后释放连接 3 个过程。TCP 协议通过三次握手建立连接，终止连接要通过四次握手，过程如图 1-29 和图 1-30 所示。

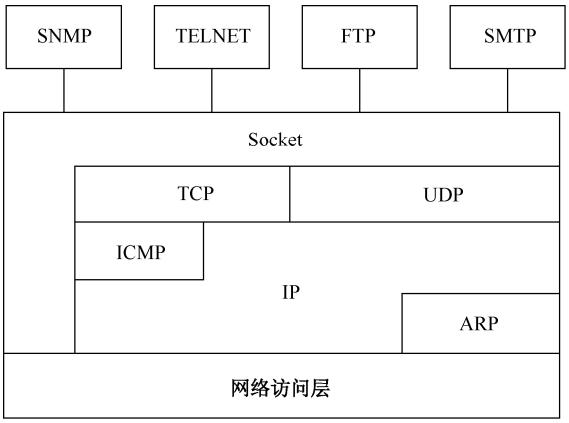
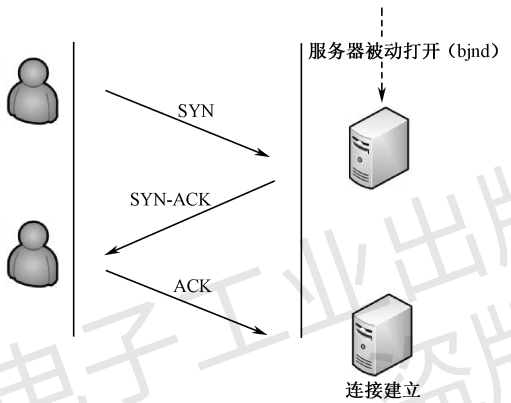
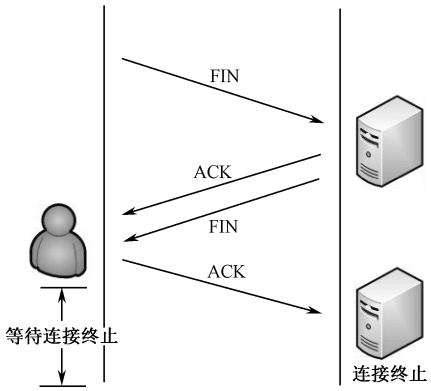


图 1-28　Socket 在 TCP/IP 模型中的位置



- 客户端发送一个带 SYN 标志的 TCP 报文到服务器。第一次握手。
- 服务器端回应客户端的报文，这个报文同时带 ACK 标志和 SYN 标志，表示对刚才客户端 SYN 报文的回应，同时又标志 SYN 给客户端，询问客户端是否准备好进行数据通信。第二次握手。
- 客户必须再次回应服务器一个 ACK 报文。第三次握手

图 1-29　TCP 建立连接



- TCP 客户端发送一个 FIN，用来关闭客户到服务器的数据传送。第一次握手。
- 服务器收到这个 FIN，它发回一个 ACK，确认序号为收到的序号加 1。第二次握手。
- 服务器关闭客户端的连接，发送一个 FIN 给客户端。第三次握手。
- 客户段发回 ACK 报文确认，并将确认序号设置为收到序号加 1。第四次握手。

图 1-30　TCP 终止连接

子任务 3　认识 IP 地址

Internet 是由众多主机和网络设备互相连接而成的，要确认网络上的某一主机，必须有

个能唯一标识该主机的网络地址，这个地址就是 IP（Internet Protocol）地址，IP 地址是为每一台连接到 Internet 上的主机分配一个唯一的 32 二进制位地址。

一、IP 地址的表示方法

为了便于记忆，将 IP 地址的 32 位分成 4 组，每组 8 位，由小数点分开，并用四个字节来表示，即点分十进制表示形式（a.b.c.d），其中 a、b、c、d 都是 0～255 之间的十进制整数。如 32 位二进制数 IP 地址 01100100.00000100.00000101.00000110，用点分十进制表示 IP 地址为 100.4.5.6。

二、IP 地址的结构

IP 地址的构成使主机可以在 Internet 上方便寻址，由网络号和主机号两部分组成，如图 1-31 所示，在寻址过程中先按 IP 地址中的网络号码找到对应网络，再按主机号码找到主机。

图 1-31　IP 地址结构

三、地址的划分

为了便于对 IP 地址进行管理，同时还考虑到网络的差异很大，有的网络拥有很多的主机，而有的网络上的主机则很少。因此 Internet 的 IP 地址就分成为五类，如图 1-32 所示，即 A 类到 E 类，分别适用不同规模的网络，常用的是 B 和 C 两类。

图 1-32　IP 地址划分

A 类地址：A 类 IP 地址由 1 字节的网络地址和 3 字节的主机地址组成，网络地址的最高位必须是“0”，A 类 IP 地址中网络的标识长度为 8 位，主机标识的长度为 24 位，A 类网络地址数量较少，可以用于主机数达 1600 多万台的大型网络。A 类地址的表示范围为 1.0.0.1～126.255.255.255，默认子网掩码为 255.0.0.0，如 10.10.10.10.10 是一个 A 类地址。

B 类地址：B 类 IP 地址由 2 字节的网络地址和 2 字节的主机地址组成，网络地址的最高位必须是“10”，B 类 IP 地址中网络的标识长度为 16 位，主机标识的长度为 16 位，B 类网络地址适用于中等规模的网络，每个网络所能容纳的计算机数为 6 万多台。B 类地址的表示范围为 128.0.0.1～191.255.255.255，默认子网掩码为 255.255.0.0，如 150.10.10.10.10

是一个 B 类地址。

C 类地址：C 类 IP 地址由 3 字节的网络地址和 1 字节的主机地址组成，网络地址的最高位必须是“110”，C 类 IP 地址中网络的标识长度为 24 位，主机标识的长度为 8 位，C 类网络地址数量较多，适用于小规模的局域网络，每个网络最多只能包含 254 台计算机。C 类地址的表示范围为 192.0.0.1～223.255.255.255，默认子网掩码为 255.255.255.0，如 222.10.10.10.10 是一个 C 类地址，表 1-3 所示为对 A、B、C 三类网络的最大网络数、IP 地址范围等数据进行比较。

表 1-3　A、B、C 三类 IP 地址取值范围

网络类别	最大网络数	IP 地址范围	最大主机数	私有 IP 地址范围
A	126	1.0.0.0～126.255.255.255	16777214	10.0.0.0～10.255.255.255.255
B	16384	128.0.0.0～191.255.255.255	65534	172.16.0.0～172.31.255.255
C	2097152	192.0.0.0～223.255.255.255	254	192.168.0.0～192.168.255.255

四、特殊的 IP 地址

对一台网络上的主机来说，它可以正常接收的合法目的网络地址有三种：本机的 IP 地址、广播地址及组播地址。IP 地址除了可以表示主机的一个物理连接外，它有几种特殊的表现形式。

1. 网络地址

TCP/IP 协议规定，32 位 IP 地址中主机地址均为“0”的地址，表示为网络地址。

2. 广播地址

专门用于同时向网络中所有工作站进行发送的一个地址，广播地址有受限广播地址和直接广播地址。受限广播地址是 255.255.255.255，在任何情况下，路由器都不转发目的地址为受限的广播地址的数据包，这样的数据包仅出现在本地网络中。直接广播地址是 32 位 IP 地址中主机地址均为“1”，表示向指定的网络直接广播。

3. 组播地址

组播协议的地址在 IP 协议中属于 D 类地址，D 类地址是 224.0.0.0～239.255.255.255 的 IP 地址，其中 224.0.0.0～224.0.0.255 是被保留的地址。组播协议的地址范围类似于一般的单播地址，被划分为两个大的地址范围，239.0.0.0～239.255.255.255 是私有地址，供各个内部网在内部使用，这个地址的组播不能上公网，类似于单播协议使用的 192.168.X.X 和 10.X.X.X。224.0.1.0～238.255.255.255 是公用的组播地址，可以用于 Internet 上。

4. 环回地址

IP 地址中不能以十进制“127”作为开头，该类地址中数字 127.0.0.1 到 127.255.255.255 用于回路测试，如 127.0.0.1 可以代表本机 IP 地址。

5. 0.0.0.0

0.0.0.0 已经不是一个真正意义上的 IP 地址了。它表示的是这样一个集合：所有不清楚的主机和目的网络。

6. 私有地址

私有地址属于非注册地址，专门为组织机构内部使用。10.x.x.x，172.16.x.x～172.31.x.x，192.168.x.x 被大量用于企业内部网络中。

A 类私有地址：10.0.0.0～10.255.255.255。B 类私有地址：172.16.0.0～172.31.255.255。C 类 192.168.0.0～192.168.255.255。

思考与习题

1．什么是计算机网络？计算机网络的主要功能是什么？

2．计算机网络是如何分类的？

3．计算机网络的拓扑结构有哪些？它们各有什么优缺点？

4．与计算机网络相关的标准化组织有哪些？

5．信道是如何分类的？

6．什么是基带传输、频带传输？

7. 数字基带传输中数据信号的编码方式主要有哪几种？各有什么特点？若使用它们分别对基带信号“10110110”进行编码，请画出编码后的波形图。

8．列举出几种信道复用技术，并说出它们各自的技术特点。

9．差错控制技术有几种？各有什么特点？

10．网络协议的三要素是什么?

11．OSI/RM 共分为哪几层？简要说明各层的功能。

12．TCP/IP 协议模型分为几层？各层的功能是什么？每层又包含什么协议？

13．简述 OSI 参考模型与 TCP/IP 参考模型的异同点。

14．局域网的拓扑结构分为几种？每种拓扑结构具有什么特点？