计算机网络技术

类目：计算机类
书名：计算机网络技术
主编：邬欢欢 李孔泽 徐新宁
出版社： 湖南大学出版社
开本：大 16 开
书号：978-7-5677-3467-9
使用层次：通用
出版时间：2024/5/1
定价：46.80
印刷方式：双色
是否有资源：是

责任编辑：张以绪
封面设计：旗语书装

计算机网络技术

ISBN 978-7-5667-3467-9
定价：46.80元

计算机类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革新理念教材

计算机网络技术

主编◎邹欢欢　李孔泽　徐新宁

湖南大学出版社

计算机类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革新理念教材

计算机网络技术

主编◎邹欢欢　李孔泽　徐新宁

湖南大学出版社

计算机网络技术

主编◎邹欢欢　李孔泽　徐新宁

湖南大学出版社

计算机类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革新理念教材

计算机网络技术

主　编◎ 邬欢欢　李孔泽　徐新宁
副主编◎ 高洪云　谭　凌　马承俊
廖富荣　成庆芬　祝朋涛

湖南大学出版社
·长沙·

图书在版编目（CIP）数据

计算机网络技术 / 邬欢欢，李孔泽，徐新宁主编．-- 长沙：湖南大学出版社，2024.6
ISBN 978-7-5667-3467-9

Ⅰ．①计… Ⅱ．①邬… ②李… ③徐… Ⅲ．①计算机网络 Ⅳ．① TP393

中国国家版本馆 CIP 数据核字（2024）第 044715 号

计算机网络技术

JISUANJI WANGLUO JISHU

主　　编：邬欢欢　李孔泽　徐新宁
责任编辑：张以绪
印　　装：涿州汇美亿浓印刷有限公司
开　　本：889 mm×1194 mm　1/16　　印　　张：12　　字　　数：302 千字
版　　次：2024 年 6 月第 1 版　　印　　次：2024 年 6 月第 1 次印刷
书　　号：ISBN 978-7-5667-3467-9
定　　价：46.80 元

出 版 人：李文邦
出版发行：湖南大学出版社
社　　址：湖南・长沙・岳麓山　　邮　　编：410082
电　　话：0731-88822559（营销部）　88821174（编辑室）　88821006（出版部）
传　　真：0731-88822264（总编室）
网　　址：http://press.hnu.edu.cn
电子邮箱：xiaoshulianwenhua@163.com

前　言

PREFACE

党的二十大报告指出，要坚持教育优先发展、科技自立自强、人才引领驱动，加快建设教育强国、科技强国、人才强国，坚持为党育人、为国育才，全面提高人才自主培养质量，着力造就拔尖创新人才，聚天下英才而用之。在这一战略背景下，我们着手编写了本教材，旨在响应国家对于造就拔尖创新人才的号召，为培养更多优秀的计算机网络技术人才贡献力量。

计算机网络技术是现代信息技术的核心，计算机网络技术专业教育致力于培养适应现代化生产、建设、管理和服务一线需求的高素质人才。这些人才不仅应具备德、智、体、美全面发展的综合素养，还需掌握计算机网络技术的基础知识，具备扎实的计算机网络基本理论和开发技术，能够胜任程序设计、Web 软件开发、计算机网络组建、网络设备配置、网络管理和安全维护等任务。

本教材共分为八个项目，内容涵盖计算机网络技术简介、数据通信基础、计算机网络体系结构、局域网技术、网络互联技术、网络操作系统、常见网络故障的排除以及网络安全等方面。本教材力求内容翔实、图文并茂，讲解清晰易懂，每个项目均设有实训环节，以便读者能够更好地学习和巩固知识。

然而，由于编者水平有限，加之编写时间仓促，教材难免存在不足之处。我们恳请广大读者提出宝贵的意见和建议，帮助我们不断完善和改进。

编　者

目　录

CONTENTS

项目一
计算机网络技术简介

项目概述

目前，计算机网络已成为全球信息产业的基石，它在信息的采集、存储、处理、传输和分发中扮演了极其重要的角色。计算机网络突破了单台计算机系统应用的局限，使多台计算机之间交换信息、资源共享和协同工作成为可能。计算机网络的广泛使用，改变了传统意义上的时间和空间的概念，对社会的各个领域，包括人们的生活方式产生了革命性的影响，促进了社会信息化的发展进程。

学习目标

知识目标

◆了解计算机网络的发展历程、计算机网络的特点和功能。

◆了解计算机网络的 IP 地址、计算机网络的系统组成。

◆掌握计算机网络的定义、计算机网络的分类。

◆掌握计算机网络的文件资源共享设置方法和 IP 地址配置方法。

能力目标

◆能够熟悉计算机网络的种类和系统组成。

◆能够解决生活中的实际局域网组建与维护的问题。

素质目标

◆培养动手能力、分析和解决问题的能力。

◆具备独立思考的能力。

思政目标

在飞速发展的社会当中，学好计算机网络技术非常重要，要利用好学习时间，尽可能地学习更多的知识和能力，学会创新求变，以适应社会发展的需要。

任务一　初识计算机网络

一、计算机网络的概念

1. 计算机网络的定义

计算机网络（图 1–1）是现代计算机技术与通信技术密切结合的产物，是随着社会对信息共享和信息传递的日益增强的需求而发展起来的。所谓计算机网络，就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，以功能完善的网络软件（即网络通信协议信息交换方式和网络操作系统等）实现网络中资源共享和信息传递的系统。

图 1–1　计算机网络

2. 计算机网络的功能

（1）资源共享

资源共享是人们建立计算机网络的主要目的之一。计算机资源包括硬件资源、软件资源和数据资源。硬件资源的共享可以提高设备的利用率，避免设备的重复投资。例如，利用计算机网络建立网络打印机。软件资源和数据资源的共享可以充分利用已有的信息资源，减少软件开发过程中的劳动，避免大型数据库的重复设置，如图 1–2 所示。

图 1–2　资源共享

（2）数据通信

数据通信是指利用计算机网络实现不同地理位置的计算机之间的数据传送。例如，人们通过电子邮件（E–mail）发送和接收信息，使用 IP 电话进行相互交谈，使用 QQ 应用程序进行网上交流等。

3. 计算机网络的特点

社会及科学技术的发展为计算机网络的发展提出了更加有利的条件。计算机网络与通信网的结合，不仅可以使众多的个人计算机能够同时处理文字、数据、图像、声音等信息，而且还可以使这些信息四通八达，及时地与全国乃至全世界的信息进行交换。

计算机网络

当前计算机网络具有如下几个特点：

①开放式的网络体系结构。使不同软 / 硬件环境、不同网络协议的网络可以互连，真正达到资源共享、数据通信和分布处理的目标。

②向高性能发展。追求高速、高可靠和高安全性，采用多媒体技术，提供文本、声音图像等综合性服务。

③计算机网络的智能化。多方面提高网络的性能，提供综合的多功能服务，并更加合理地进行网络各种业务的管理，真正以分布和开放的形式向用户提供服务。

二、计算机网络的分类

（一）按覆盖范围划分

虽然网络类型的划分有不同的标准，但是按地理范围划分是一种大家都认可的通用网络划分标准。按这种标准可以把各种网络类型划分为局域网、城域网、广域网和互联网 4 种。下面简要介绍这几种计算机网络。

1. 局域网（local area network，LAN）

局域网是最常见、应用最广的一种网络。现在局域网随着整个计算机网络技术的发展和提高得到充分的应用和普及，几乎每个单位都有自己的局域网，甚至有的家庭中都有自己的小型局域网。很明显，所谓局域网，就是在局部地区范围内的网络，它所覆盖的地区范围较小。

局域网在计算机数量配置上没有太多的限制，少的可以只有两台，多的可达几百台。一般来说在企业局域网中，工作站的数量在几十到几百台次。在网络所涉及的地理距离上一般来说可以是几米至 10 千米。局域网一般位于一个建筑物或一个单位内，不存在寻径问题，不包括网络层的应用。

局域网的特点是：连接范围窄、用户数少、配置容易、连接速率高。目前局域网最快的速率要算 10 Gbps 以太网。IEEE802 标准委员会定义了多种主要的 LAN 网：以太网（Ethernet）、令牌环网（token ring）、光纤分布式接口网络（FDDI）、异步传输模式网（ATM），以及最新的无线局域网（WLAN）。这些都将在后面详细介绍。

2. 城域网（metropolitan area network，MAN）

城域网一般来说是在一个城市，但不在同一地理小区范围内的计算机互联。这种网络的连接距离可以为 10 100 千米，它采用的是 IEEE802.6 标准。MAN 与 LAN 相比扩展的距离更长，连接的计算机数量更多，在地理范围上可以说是 LAN 网络的延伸。在一个大型城市或都市，一个 MAN 网络通常连接着多个 LAN 网。如连接政府机构的 LAN、医院的 LAN、电信的 LAN、公司企业的 LAN 等。由于光纤连接的引入，使 MAN 中高速的 LAN 互连成为可能，如图 1–3 所示。

城域网多采用 ATM 技术做骨干网。ATM 是一个用于数据、语音、视频及多媒体应用程序的高速网络传输方法。ATM 包括一个接口和一个协议，该协议能够在一个常规的传输信道上，在比特率不变及变化的通信量之间进行切换。ATM 也包括硬件、软件，以及与 ATM 协议标准一致的介质。ATM 提供一个可伸缩的主干基础设施，以便能够适应不同规模、速度及寻址技术的网络。ATM 的最大缺点就是成本太

高，所以一般在政府城域网中应用，如邮政、银行、医院等。

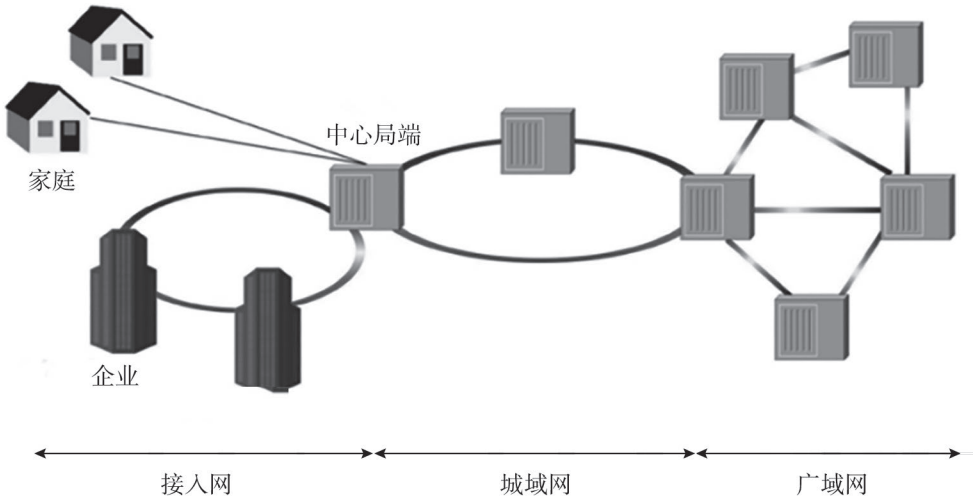

图 1–3　城域网

3. 广域网（wide area network，WAN）

广域网也称为远程网，其所覆盖的范围比城域网（MAN）更广，它一般在不同城市之间的 LAN 或者 MAN 网络进行互联，地理范围可从几百千米到几千千米。因为距离较远，信息衰减比较严重，所以这种网络一般要租用专线，通过 IMP（接口信息处理）协议和线路连接起来，构成网状结构，解决寻径问题。这种广域网因为所连接的用户多，总出口带宽有限，所以用户的终端连接速率一般较低，通常为 9.6 kbps ～ 45 Mbps，如邮电部的 ChinaNET、ChinaPAC 和 ChinaDDN 网等，如图 1–4 所示。

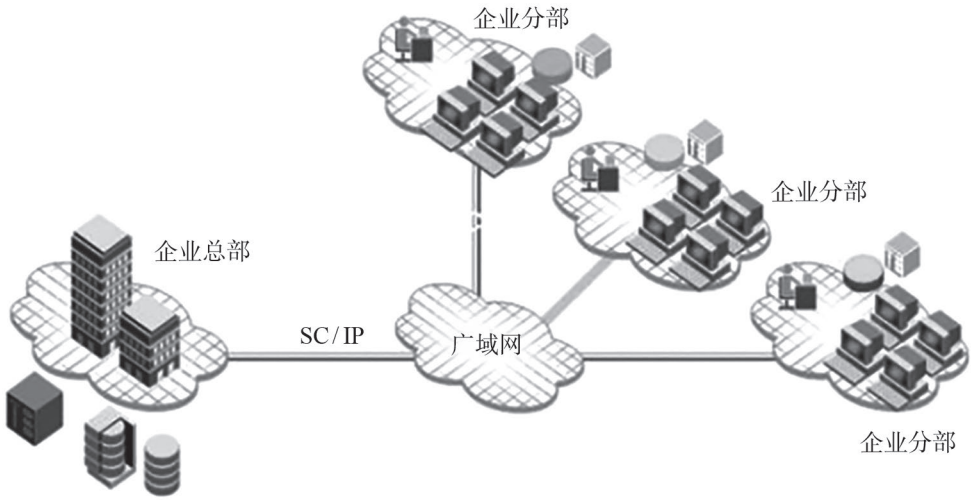

图 1–4　广域网

4. 互联网（Internet）

互联网因其英文单词“Internet”的谐音，又称为“因特网”。在互联网应用如此广泛的今天，它已是人们每天都要与其打交道的一种网络，无论从地理范围，还是从网络规模来讲它都是最大的一种网络，即常说的“Web”“WWW”和“万维网”等。从地理范围来说，它可以是全球计算机的互联，这种网络

的最大的特点就是不定性，整个网络的计算机数量每时每刻随着人们网络的接入在不断地变化。当用户在互联网上时，用户的计算机可以算作互联网的一部分，但一旦当用户断开互联网的连接时，用户的计算机就不属于互联网了。

它的优点非常明显，就是信息量大，传播广，无论用户身处何地，只要联入互联网就可以对任何可以联网的用户发出信函和广告。因为互联网的复杂性，所以其实现的技术也非常复杂，这一点读者可以通过后面要讲的几种互联网接入设备详细地了解到。

（二）按传输介质分类

按传输介质可以将计算机网络分为有线网和无线网。有线网是指使用铜缆或光缆，构成有线网络。有线网络在某些场合要受到布线的限制：布线、改线工程量大，线路容易损坏，网中的各节点不可移动。特别是当要把距离较远的节点联结起来时，敷设专用通信线路布线施工难度、费用、耗时非常大。这些问题都对正在迅速扩大的联网需求形成了严重的瓶颈阻塞，限制了用户联网。

无线网指的是采用无线传输媒介的计算机网络，结合了最新的计算机网络技术和无线通信技术。首先，无线局域网是有线局域网的延伸。使用无线技术来发送和接收数据，减少了用户的连线需求。

与有线局域网相比较，无线局域网具有开发运营成本低，时间短，投资回报快，易扩展，受自然环境、地形及灾害影响小，组网灵活快捷等优点。可实现“任何人在任何时间、任何地点以任何方式与任何人通信”，弥补了传统有线局域网的不足。随着 IEEE802.11 标准的制定和推行，无线局域网的产品将更加丰富，不同产品的兼容性将得到加强。现在无线网络的传输率已超过了 10 Mbps，并且还在不断变快。目前无线局域网除能传输语音信息外，还能顺利地进行图形、图像及数字影像等多种媒体的传输。

有线网络通过网线将各个网络设备连接到一起，不管是路由器、交换机还是计算机，网络通信都需要网线和网卡。而无线网络则大大不同，目前广泛应用的 IEEE802.11 标准无线网络是通过 2.4 GHz 无线信号进行通信的，由于采用无线信号通信，在网络接入方面就更加灵活了，只要有信号就可以通过无线网卡达到网络接入的目的，同时网络管理者也不用再担心交换机或路由器端口数量不足而无法完成扩容工作。总的来说，中小企业无线网络相比传统有线网络，其特点主要体现在以下两个方面：

（1）无线网络组网更加灵活。无线网络使用无线信号通信，网络接入更加灵活，只要有信号的地方就可以随时随地将网络设备接入到企业内网。因此在企业内网应用需要移动办公或即时演示时无线网络优势更加明显。

（2）无线网络规模升级更加方便。无线网络终端设备接入数量限制更少，相比有线网络一个接口对应一个设备，无线路由器容许多个无线终端设备同时接入到无线网络，因此在企业网络规模升级时无线网络优势更加明显。

（三）按拓扑结构划分

网络拓扑结构是指用传输媒体互联各种设备的物理布局。计算机网络的拓扑结构是把网络中的计算机和通信设备抽象为一个点，把传输介质抽象为一条线，由点和线组成的几何图形就是计算机网络的拓扑结构。计算机网络的最主要的拓扑结构有总线型拓扑、星型拓扑、环型拓扑及它们的混合型。

1. 总线型拓扑结构

总线型拓扑结构是将网络中的所有设备通过相应的硬件接口直接连接到公共总线上，节点之间按广播方式通信，一个节点发出的信息，总线上的其他节点均可“收听”到。总线型拓扑结构的优点：结构简单、布线容易、可靠性较高，易于扩充，节点的故障不会殃及系统，是局域网常采用的拓扑结构。缺点：所有的数据都需经过总线传送，总线成为整个网络的瓶颈；出现故障诊断较为困难。另外，由于信道共享，连接的节点不宜过多，总线自身的故障可以导致系统的崩溃。最著名的总线型拓扑结构网络是以太网（Ethernet）。

2. 星型拓扑结构

星型拓扑结构是一种以中央节点为中心，把若干外围节点连接起来的辐射式互联结构。这种结构适用于局域网，特别是近年来局域网大都采用这种连接方式。这种连接方式以双绞线或同轴电缆作连接线路。该拓扑结构的优点：结构简单、容易实现、便于管理，通常以交换机作为中央节点，便于维护和管理。缺点：中心节点是全网络的可靠瓶颈，中心节点出现故障会导致网络的瘫痪。

3. 环型拓扑结构

环型拓扑结构是各节点通过通信线路组成闭合回路，环中数据只能单向传输，信息在每台设备上的延时时间是固定的。特别适合实时控制的局域网系统。该拓扑结构的优点：结构简单，适合使用光纤，传输距离远，传输延迟确定。缺点：环网中的每个节点均成为网络可靠性的瓶颈，任意节点出现故障都会造成网络瘫痪，另外，故障诊断也较困难。最著名的环型拓扑结构网络是令牌环网（token ring）。

4. 树型拓扑结构

树型拓扑结构是一种层次结构，节点按层次连接，信息交换主要在上下节点之间进行，相邻节点或同层节点之间一般不进行数据交换。该拓扑结构的优点：连接简单，维护方便，适用于汇集信息的应用要求。缺点：资源共享能力较低，可靠性不高，任何一个工作站或链路的故障都会影响整个网络的运行。

5. 网状拓扑结构

网状拓扑结构又称作无规则结构，节点之间的连接是任意的，没有规律。该拓扑结构的优点：系统可靠性高，比较容易扩展，但是结构复杂，每一节点都与多点进行连接，因此必须采用路由算法和流量控制方法。目前广域网基本上采用网状拓扑结构。

6. 混合型拓扑结构

混合型拓扑结构就是两种或两种以上的拓扑结构同时使用。该拓扑结构的优点：可以使网络的基本拓扑结构取长补短。缺点：网络配置难度大。

7. 蜂窝拓扑结构

蜂窝拓扑结构是无线局域网中常用的结构。它以无线传输介质（微波、卫星、红外线、无线发射台等）点到点和点到多点传输为特征，是一种无线网，适用于城市网、校园网、企业网。更适合于移动通信。在计算机网络中还有其他类型的拓扑结构，如总线型与星型混合、总线型与环型混合连接的网络。

三、计算机网络的发展历程

在 1946 年世界上第一台电子计算机问世后的十多年时间内，由于其价格昂贵，计算机数量极少。早

期所谓的计算机网络主要是为了解决这一矛盾而产生的，其形式是将一台计算机通过通信线路与若干台终端直接连接，也可以把这种方式看作最简单的局域网雏形，如图 1–5 所示。

最早的 Internet 是由美国国防部高级研究计划局（ARPA）建立的，现代计算机网络的许多概念和方法，如分组交换技术都来自 Arpanet。Arpanet 不仅进行了租用线互联的分组交换技术研究，而且进行了无线、卫星网的分组交换技术研究，其结果导致了 TCP/IP 问世。

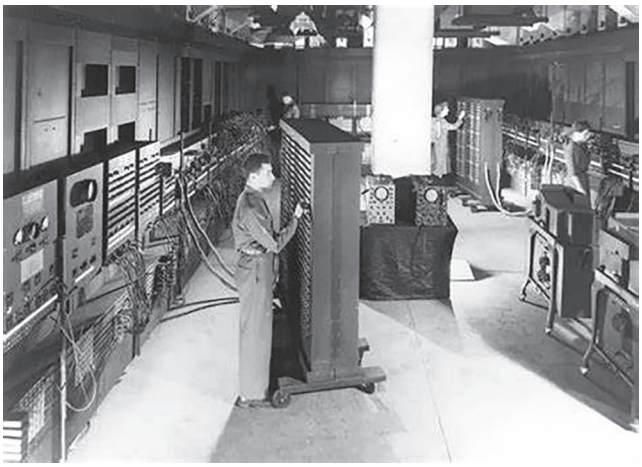

图 1–5　第一台电子计算机问世

1977—1979 年，Arpanet 推出了 TCP/IP 体系结构和协议。1980 年前后，Arpanet 上的所有计算机开始了 TCP/IP 协议的转换工作，并以 Arpanet 为主干网建立了初期的 Internet。1983 年，Arpanet 的全部计算机完成了向 TCP/IP 的转换，并在 UNIX（BSD4.1）上实现了 TCP/IP。Arpanet 在技术上最大的贡献就是 TCP/IP 协议的开发和应用。两个著名的科学教育网 CSNET 和 BITNET 先后建立。1984 年，美国国家科学基金会 NSF 规划建立了 13 个国家超级计算中心及国家教育科技网。随后替代了 Arpanet 的骨干地位。1988 年，Internet 开始对外开放。1991 年 6 月，在连通 Internet 的计算机中，商业用户首次超过了学术界用户，这是 Internet 发展史上的一个里程碑，从此 Internet 以惊人的速度发展。

1. 第一代计算机网络——面向终端的计算机网络

第一代计算机网络也称面向终端的计算机网络，是以单机为中心的通信系统。该系统中除了一台中心计算机（主机），其余终端均不具备自主处理功能。面向终端的计算机网络在结构上有 3 种形式，如图 1–6 所示。

（1）第一种结构是计算机与终端直接相连，如图 1–6（a）所示。在这种结构中，主机负载较重，且一条通信线路只能与一个终端相连，通信线路的利用率较低。

（2）第二种结构是终端共享通信线路，如图 1–6（b）所示。这种结构提高了通信线路的利用率，但当多个终端同时要求与主机通信时，主机无法确定与哪一个终端进行通信。为解决这一问题，主机需增加相应的设备和软件完成相应的通信协议转换，但是这样会使得主机工作负荷加重。

（3）为了减轻主机负荷，在主机前增加通信处理机（CCP）或前端机（FEP），在终端云集的地方增加集中器或多路器，这就是第三种结构，如图 1–6（c）所示。CCP 或 FEP 专门负责通信控制，而主机专门进行数据处理。集中器或多路器实际上是设在远程终端的通信处理机，其作用是实现多个终端共享同一条通信线路。

20 世纪 60 年代初，美国航空公司与 IBM 公司联合研制的预订飞机票系统由 1 个主机和 2 000 多个终端组成，是一个典型的面向终端的计算机网络。这种网络系统存在着一些缺点，如主机的负荷较重，会导致系统响应时间过长，而且单机系统的可靠性一般较低，一旦主机发生故障，将导致整个网络系统的瘫痪。

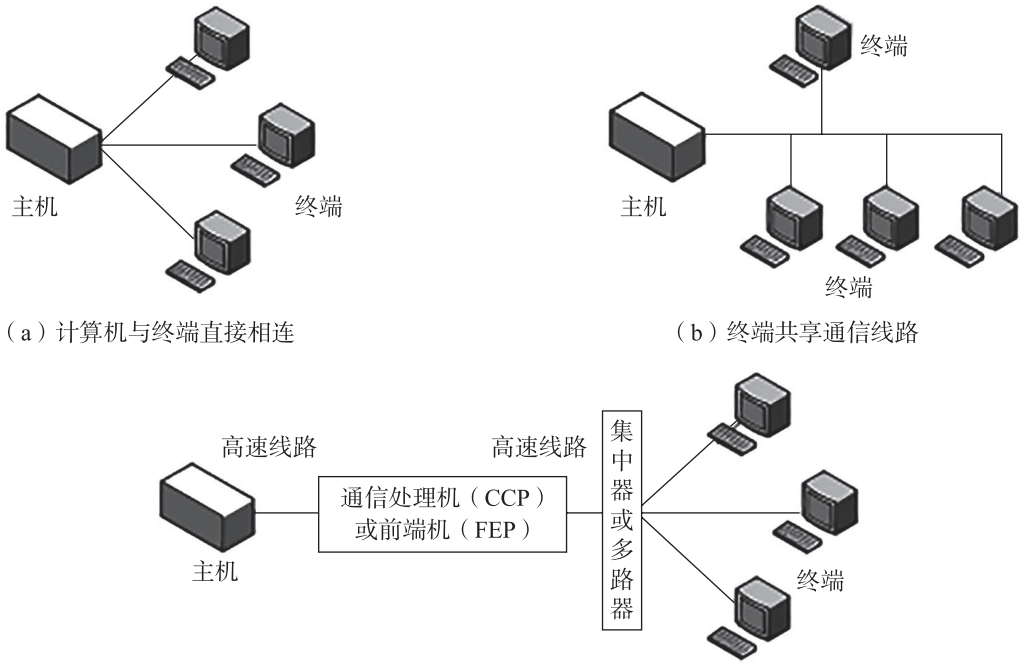

图 1-6　面向终端的计算机网络

2. 第二代计算机网络——以通信子网为中心的网络

为了解决第一代计算机网络存在的问题，提高网络的可靠性和可用性，人们开始研究将多台计算机相互连接的方法。

1969 年 12 月，美国国防部高级研究计划局的计算机分组交换网 Arpanet 投入运行，它成功地连接了分布于美国 4 所大学的 4 个节点的计算机。Arpanet 的诞生，标志着计算机网络的发展进入了一个新纪元，也使计算机网络的概念发生了根本性的变化。

早期的面向终端的计算机网络是以单个主机为中心的星形网，各终端通过电话网共享主机的硬件和软件资源。分组交换网则以由接口信息处理机（interface message processor，IMP）构成的通信子网为中心，主机和终端都处在网络的边缘，构成了用户资源子网。用户不仅可以共享通信子网的资源，还可共享用户资源子网中丰富的硬件和软件资源。这种以通信子网为中心的计算机网络通常被称为第二代计算机网络。

3. 第三代计算机网络——标准化网络

在计算机网络中，相互通信的计算机必须高度协调工作，而这种“协调”是相当复杂的。为了降低网络设计的复杂性，早在当初设计 Arpanet 时就有专家提出了层次模型。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。

国际标准化组织（International Organization for Standard，ISO）于 1977 年设立了专门的机构研究解决不同公司之间的网络不能互联互通的问题，并于不久后提出了一个使各种计算机能够互联的标准框架——开放式系统互联参考模型（open system interconnection reference model），简称 OSI 参考模型。OSI 参考模型是一个开放体系结构，它将网络分为 7 层，并规定每层的功能。OSI 参考模型的出现，意味着计算机网

络发展到第三代，即标准化网络，如图 1–7 所示。

图 1–7　OSI 参考模型

在 OSI 参考模型推出后，计算机网络就走上了标准化道路。在开放式环境下，所有计算机设备和通信设备只要遵循共同制定的国际标准，就可以实现不同产品在同一网络中的顺利通信。目前主要有两种网络体系结构，即开放式系统互联体系结构和用于 Internet 的 TCP/IP 体系结构。

4. 第四代计算机网络——以下一代 Internet 为中心的新一代网络

第四代计算机网络是从 20 世纪 80 年代末开始出现的。当时局域网技术已经逐步发展成熟，光纤、高速网络技术及多媒体、智能网络等技术相继出现，整个网络就像一个对用户透明的大的计算机系统，发展为以 Internet 为代表的互联网。20 世纪 90 年代，微电子技术、大规模集成电路技术、光通信技术和计算机技术的不断发展，为网络的发展提供了有力的支持。

第四代计算机网络的特点是互联、高速、智能与更为广泛的应用。现在的计算机网络将多个具有独立工作能力的计算机系统通过通信设备和线路相连，并由功能完善的网络软件实现资源共享和数据通信。计算机网络正迅速朝着高速化、实时化、智能化、集成化和多媒体化的方向不断深入，它的快速发展和广泛应用对全球的经济、教育、科技及文化的发展产生了重要影响。

5. 下一代计算机网络

下一代计算机网络（NGN），被普遍认为是因特网、移动通信网络、固定电话通信网络的融合，IP 网络和光网络的融合；是可以提供包括语音、数据和多媒体等各种业务的综合开放的网络架构；是业务驱动、业务与呼叫控制分离、呼叫与承载分离的网络；是基于统一协议的、基于分组的网络。

在功能上 NGN 分为 4 层，即接入和传输层、媒体层、控制层、网络服务层，涉及软交换、MPLS、E-NUM 等技术。

四、计算机网络的系统组成

计算机网络系统由通信子网和资源子网组成，而网络软件系统和网络硬件系统是网络系统赖以存在的基础。在网络系统中，硬件对网络的选择起着决定性作用，而网络软件则是挖掘网络潜力的工具。

1. 网络软件

在网络系统中，网络上的每个用户都可享有系统中的各种资源，系统必须对用户进行控制。否则，就

会造成系统混乱、信息数据的破坏和丢失。为了协调系统资源，系统需要通过软件工具对网络资源进行全面的管理、调度和分配，并采取一系列的安全保密措施，防止用户对数据和信息不合理地访问，以防数据和信息的破坏与丢失。网络软件是实现网络功能不可缺少的软件环境。

通常网络软件包括如下内容。

（1）网络协议和协议软件：通过协议程序实现网络协议功能。

（2）网络通信软件：通过网络通信软件实现网络工作站之间的通信。

（3）网络操作系统：网络操作系统是用以实现系统资源共享、管理用户对不同资源访问的应用程序，它是最主要的网络软件。

（4）网络管理及网络应用软件：网络管理软件是用来对网络资源进行管理和对网络进行维护的软件。网络应用软件是为网络用户提供服务并为网络用户解决实际问题的软件。

（5）网络软件最重要的特征：网络管理软件所研究的重点不是网络中互连的各个独立的计算机本身的功能，而是如何实现网络特有的功能。

2. 网络硬件

网络硬件是计算机网络系统的物质基础。要构成一个计算机网络系统，首先要将计算机及其附属硬件设备与网络中的其他计算机系统连接起来。不同的计算机网络系统，在硬件方面是有差别的。随着计算机技术和网络技术的发展，网络硬件日趋多样化，功能更加强大，设计更加复杂。

（1）线路控制器（line controller，LC）：LC 是主计算机或终端设备与线路上调制解调器的接口设备。

（2）通信控制器（communication controller，CC）：CC 是用以对数据信息各个阶段进行控制的设备。

（3）通信处理机（communication processor，CP）：CP 是数据交换的开关，负责通信处理工作。

（4）前端处理器（front end processor，FEP）：FEP 也是负责通信处理工作的设备。

（5）集中器 C（concentrator）、多路选择器 MUX（multiplexor）：是通过通信线路分别和多个远程终端相连接的设备。

（6）主机 HOST（host computer）。

（7）终端 T（terminal）。

随着计算机网络技术的发展和网络应用的普及，网络节点设备会越来越多，功能也更加强大，设计也更加复杂。

五、计算机网络的发展趋势

未来计算机通信网络的主要趋势有 4 个：一是移动用户数量不断增加；二是具备网络功能的设备急剧增加；三是服务范围不断扩大；四是网络行业的就业机会大大增加。

1. 移动用户数量不断增加

随着移动工作人员数量和手持设备使用量的增加，必然会带来更多移动设备的使用，同时增大了对计算机数据网络应用的需求。该需求催生了对灵活性、覆盖范围和安全性要求更高的无线服务市场。

2. 具备网络功能的设备急剧增加

计算机只是当今信息网络众多设备中的一种，现在有越来越多的新技术产品可以利用商家提供的各种网络服务。

原来由手机、个人数字助理（PDA）、管理器和寻呼机提供的多种功能，现在都可以融合到一台手持设备中，通过它就可以不间断地连通服务提供商和内容提供商。在过去，这些设备被认为是“玩具”或奢侈品，如今，它们已成为人们不可或缺的一种通信方式。除移动设备外，还有 IP 语音（VoIP）设备、游戏系统和各式各样的家用和商用装置，它们都可以连接和使用网络服务。

3. 服务范围不断扩大

技术得到广泛认可和网络服务快速创新这两个因素相互促进，形成了一个螺旋式上升的局面。为满足用户需求，人们不断引入新服务，增强旧服务。当用户开始信任这些扩展服务后，又会期望更多功能。网络又会随之发展来支持不断增加的需求。人们依赖网络提供的服务，由此而依赖底层网络体系结构的可用性和可靠性。

4. 网络行业的就业机会大大增加

随着底层技术的快速发展，信息技术和网络行业的就业机会也与日俱增。随着网络复杂程度的增加，对具备网络技能的人才的需求仍将持续升温。

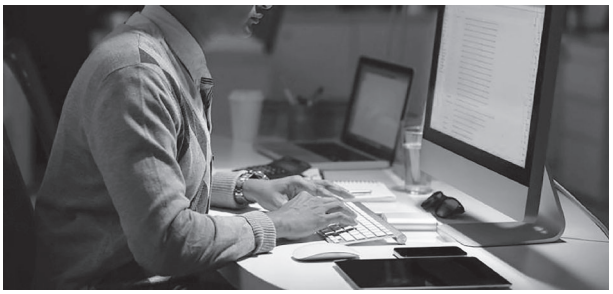

图 1–8　软件工程师

现在，传统的 IT 职位除了程序员、软件工程师（图 1–8）、数据库管理员和网络技术人员外，又增加了新成员，如网络架构师、电子商务网站设计师、信息安全官以及家用集成专员。具备前瞻性视野的企业家的机会是无限的。

现在，即使是非 IT 行业的工作（如制造管理或医疗设备设计），要想取得成功，也必须掌握大量的网络运行知识。

许多大型组织的首席技术官员都将优质人才匮乏列为延滞创新服务实施的主要因素。时刻紧跟不断扩张的用户和服务网络的步伐是网络和 IT 专业人员义不容辞的责任。

知识链接

计算机网络带来的社会问题

计算机网络的广泛应用对经济、文化、教育、科学等领域有着重要影响，同时不可避免地带来一些新的社会、道德、政治与法律问题。

Internet 技术的发展促进了电子商务技术的成熟，大量的商业信息与资金通过计算机网络在世界各地流通，已对世界经济发展产生重要的影响。政府上网工程的实施使各级政府、部门之间利用网络进行信息交互。远程教育使得数以千万计的学生可以在不同的地方，通过网络进行课堂学习、查阅资料、请教问题与提交作业。网络正在改变着人们的工作、生活与思维方式，对提高人们的生活质量产生了重要的影响。发展网络技术已成为国民经济现代化建设的重要基础。

随着计算机网络的应用与社会信息化的发展，很多政府部门、企业甚至个人都越来越依赖计算机网络，其中最典型的例子要属银行。发达国家的银行正经历着结构与职能的转变，正在向金融服务的综合化、网络化方向发展。大型银行的服务网络遍布全世界，向客户提供的金融服务种类已达数百种，直接面向客户的网络银行已投入营业。大量商业信息与大笔资金在网上的传输面临着严峻的安全挑战。

计算机犯罪正在引起社会的普遍关注，而计算机网络是犯罪分子攻击的重点。计算机犯罪是一种高技术型犯罪，由于其犯罪的隐蔽性而对网络安全构成巨大威胁。根据有关资料统计，计算机犯罪案件正以每年超过 100% 的速率增长，Internet 上的攻击事件以每年 10 倍的速度增长。从 1986 年发现计算机首例病毒以来，30 多年间计算机病毒数量以几何级数增长，目前已经发现的计算机病毒超过 10 万种，它们给计算机网络带来很大的威胁。同时，国防与金融网络成为计算机犯罪的主攻目标。

Internet 可以为企业员工、科研人员与学生等提供宝贵的信息，使得人们可以不受地理位置与时间的限制，相互交换信息、合作研究、学习新知识等。同时，人们对 Internet 上一些不健康的、违背道德规范的信息表示极大的担忧。有些 Internet 用户利用网络发表不负责任或损坏他人利益的消息，窃取商业、科研机密或危及个人隐私，等等。人类社会是靠道德与法律来维系的，计算机网络与 Internet 的安全也需要保证，因此必须加强网络使用方法、网络安全与道德教育。研究与开发各种网络安全技术与产品对于人类来说是一个新的研究课题。

任务二　计算机网络 IP 地址的设置

一、IP 地址的定义和格式

每个人都有一些个人信息用来方便地与他人交流。计算机也一样，网络中的计算机必须有一个唯一的标识以被识别，这个标识即为 IP 地址（internet protocol address）。

IP 地址是一组 32 位长的二进制数字，即 IP 地址占 4 字节，采用 x．x．x．x 的点分格式来表示，每个 x 为 8 位。

二、IP 地址的组成和划分

（一）IP 地址的组成

在因特网中，IP 地址也分为两个部分，即“网络号”和“主机号”。

网络号：用来标识一个物理网络。

主机号：用来标识这个网络中的一台主机。

（二）IP 地址的划分

IP 地址就是给每个连在 Internet 网的主机分配一个在全世界范围内唯一的标识符，Internet 管理委员

会定义了 A、B、C、D、E 5 类地址。A、B、C 类最常用，D 类为组播地址，E 类为保留地址。

1. A 类地址

A 类地址的网络标识由第一组 8 位二进制数表示，A 类地址的特点是网络标识的第一位二进制数取值必须为“0”。不难算出，A 类地址第一个地址为 00000001，最后一个地址是 01111111，换算成十进制就是 127，其中 127 留作保留地址，A 类地址的第一段范围是 1 ～ 126，A 类地址允许有 $2^7-2=126$ 个网段（第一个可用网段号 1，最后一个可用网段号 126；减 2 是因为 0 不用，127 留作他用），网络中的主机标识占 3 组 8 位二进制数，每个网络允许有 $2^{24}-2=16777214$ 台主机（减 2 是因为全 0 地址为网络地址，全 1 为广播地址，这两个地址一般不分配给主机）。通常分配给拥有大量主机的网络。其中，保留 IP 为 127.X.X.X，私用 IP 为 10.0.0.010.255.255.255。

2. B 类地址

B 类地址的网络标识由前两组 8 位二进制数表示，网络中的主机标识占两组 8 位二进制数，B 类地址的特点是网络标识的前两位二进制数取值必须为“10”。B 类地址第一个地址为 10000000，最后一个地址是 10111111，换算成十进制，B 类地址第一段范围就是 128 ～ 191，B 类地址允许有 $2^{14}=16384$ 个网段（第一个可用网段号 128.0，最后一个可用网段号 191.255），网络中的主机标识占 2 组 8 位二进制数，每个网络允许有 $2^{16}-2=65534$ 台主机，适用于节点比较多的网络。其中，保留 IP 为 169.254.X.X，私用 IP 为 172.16.0.0172.31.255.255。

3. C 类地址

C 类地址的网络标识由前 3 组 8 位二进制数表示，网络中主机标识占 1 组 8 位二进制数，C 类地址的特点是网络标识的前 3 位二进制数取值必须为“110”。C 类地址第一个地址为 11000000，最后一个地址是 11011111，换算成十进制，C 类地址第一段范围就是 192 ～ 223，C 类地址允许有 $2^{21}=2097152$ 个网段（第一个可用网段号 192.0.0，最后一个可用网段号 223.255.255），网络中的主机标识占 1 组 8 位二进制数，每个网络允许有 $2^8-2=254$ 台主机，适用于节点比较少的网络。其中，私用 IP 为 192.168.0.0192.168.255.255。

表 1–1 为 A 类、B 类、C 类地址的比较。

表 1–1　A 类、B 类、C 类地址的比较

网络类别	最高 4 位	第一个十进制数	网络号长度	主机号长度	适用的网络规模
A 类	0XXX	1 ～ 126	8	24	大型网络
B 类	10XX	128 ～ 191	16	16	中型网络
C 类	110X	192 ～ 223	24	8	小型网络

4. 几个特殊的 IP 地址

（1）私有地址

前面提到 IP 地址在全世界范围内唯一，对此读者可能有这样的疑问，像 192.168.0.1 这样的地址在许多地方都能看到，并不唯一，这是为何呢？ Internet 管理委员会规定如下地址段为私有地址。私有地址可以自己组网使用，但不能在 Internet 网上用，Internet 网没有这些地址的路由，有这些地址的计算机要上网

必须转换成合法的 IP 地址，即公网地址。下面是 A、B、C 类网络中的私有地址段，读者自己组网时就可以用这些地址。

10.0.0.010.255.255.255

172.16.0.0172.131.255.255

192.168.0.0192.168.255.255

（2）回送地址

A 类网络地址 127 是一个保留地址，用于网络软件测试及本地机进程间通信，叫作回送地址（loopback address）。无论什么程序，一旦使用回送地址发送数据，协议软件立即返回，不进行任何网络传输。网络号 127 的分组不能出现在任何网络上。

（3）广播地址

TCP/IP 规定，主机号全为“1”的网络地址用于广播之用，叫作广播地址。所谓广播，指同时向同一子网所有主机发送报文。

（4）网络地址

TCP/IP 协议规定，各位全为“0”的网络号被解释成“本”网络。

由以上可以看出：

①含网络号 127 的分组不能出现在任何网络上；主机和网关不能为该地址广播任何寻径信息。

②主机号全“0”、全“1”的地址在 TCP/IP 协议中有特殊含义，一般不能用作一台主机的有效地址。

（5）子网掩码

子网掩码的作用就是和 IP 地址与运算后得出网络地址，子网掩码也是 32，并且由一串 1 后跟随一串 0 组成，其中 1 表示在 IP 地址中的网络号对应的位数，而 0 表示在 IP 地址中主机对应的位数。

（三）域名

1. 域名结构

由于数字形式的 IP 地址难以记忆和理解，为此人们采用英文符号来表示 IP 地址，这就产生了域名。

域名采用层次结构，每一层构成一个子域名，子域名之间用“. ”隔开，自右至左分别为顶级域名、二级域名、三级域名等。典型的域名结构为：

主机名 . 单位名 . 机构名 . 顶级域名

说明：

（1）域名是一个逻辑的概念，它不反映主机的物理地点。

（2）域名长度不超过 255 个字符。

（3）每一层域名长度不超过 63 个字符，由字母、数字或下划线组成，以字母开头，以字母或数字结尾。

（4）域名中的英文字母不区分大小写。

例如：jsjjc.tongji.edu.cn 表示中国（cn）、教育机构（edu）、同济大学（tongji）校园网上的一台主机（jsjjc）。

2. 顶级域名

顶级域名分为两类：一是国际顶级域名，如表 1–2 所示；二是国家顶级域名，用两个字母表示世界各个国家，如表 1–3 所示。

表 1–2　常用国际顶级域名

域名代码	意义	域名代码	意义
com	商业类	net	网络机构
edu	教育类	org	非营利组织
gov	政府部门	int	国际机构
mil	军事类	firm	公司企业
store	销售单位	info	信息服务
arts	文化娱乐	web	与 www 有关单位
nom	个人		

表 1–3　常用国家顶级域名

国家代码	国家	国家代码	国家	国家代码	国家
ar	阿根廷	de	德国	pt	葡萄牙
au	澳大利亚	id	印度尼西亚	ru	俄罗斯
at	奥地利	ie	爱尔兰	sg	新加坡
be	比利时	il	以色列	za	南非
ca	加拿大	in	印度	es	西班牙
cn	中国	it	意大利	ch	瑞士
cu	古巴	jp	日本	th	泰国
dk	丹麦	kr	韩国	uk	英国
eg	埃及	mx	墨西哥	us	美国
fi	芬兰	nz	新西兰		
fr	法国	no	挪威		

3. 中国互联网络的域名体系

根据已发布的《中国互联网络域名注册暂行管理办法》，中国国家顶级域名即是 cn。二级域名包括 6 个类别域名和 34 个行政区域名。其中，6 个类别域名分别为：ac 科研机构、edu 教育机构、net 网络机构、com 工商金融、gov 政府部门、org 非营利组织。行政区域名对应我国的各省、自治区和直辖市，采用两个字符的汉语拼音表示，例如，hb 表示湖北省、cq 表示重庆市等。

二级域名中，除了 edu 的管理和运行由中国教育和科研计算机网络中心负责外，其余全部由中国互联网信息中心（CNNIC）负责。

（四）IP 地址的获取

一台计算机获得 IP 地址后才能上网，手动设置时，除了设置本机的 IP 地址外，还需要设置子网掩码、网关和 DNS 服务器。

1. 子网掩码

子网掩码是判断任意两台计算机的 IP 地址是否属于同一子网的根据。将两台计算机各自的 IP 地址与子网掩码进行与（AND）运算后，如果得出的结果是相同的，则说明这两台计算机处于同一个子网，可以进行直接通信。

默认情况下子网掩码的地址为：网络位全为“1”，主机位全为“0”，因此有表 1–4。

表 1–4　标准 IP 地址类的子网掩码

地址类型	子网掩码位（二进制）	子网掩码位（二进制）
A 类	11111111 00000000 00000000 00000000	255.0.0.0
B 类	11111111 11111111 00000000 00000000	255.255.0.0
C 类	11111111 11111111 11111111 00000000	255.255.255.0

知识链接

A 类 IP 地址用后 24 位标识主机地址，因此在标准 A 类 IP 地址中，格式为：xxxxxxxx. 00000000. 00000000. 00000000（十进制数表示为 X.0.0.0）或 xxxxxxxx.11111111. 11111111.11111111（十进制数表示为 X.255.255.255）的 IP 地址是特殊 IP 地址，不能分配给主机。例如标准 A 类 IP 地址 121.0.0.0 和 67.255.255.255，不能分配给主机。

B 类 IP 地址用后 16 位标识主机地址，因此在标准 B 类 IP 地址中，格式为：xxxxxxxx. xxxxxxxx. 00000000. 00000000（十进制数表示为 X.X.0.0）或 xxxxxxxx. xxxxxxxx.11111111. 11111111（十进制数表示为 X.X.255.255）的 IP 地址是特殊 IP 地址，不能分配给主机。例如标准 B 类 IP 地址 153.12.0.0 和 191.166.255.255，不能分配给主机。

C 类 IP 地址用后 8 位标识主机地址，因此在标准 C 类 IP 地址中，格式为：xxxxxxxx. xxxxxxxx. xxxxxxxx.00000000（十进制数表示为 X.X.X.0）或 xxxxxxxx.xxxxxxxx. xxxxxxxx.11111111（十进制数表示为 X.X.X.255）的 IP 地址是特殊 IP 地址，不能分配给主机。例如标准 C 类 IP 地址 192. 168.1.0 和 202.122.34.255，不能分配给主机。

2. 网关

网关是一种网络互连设备，用于连接两个协议不同的网络。通俗地说，网关是一台计算机通向 Internet 的具有 IP 地址的一个网络设备。一台计算机可以有多个网关。

默认网关是指一台主机如果找不到可用的网关，就把数据发给默认指定的网关，由这个网关来处理数据。一台计算机的默认网关必须正确地指定，否则该计算机无法上网。

3. DNS 服务器

DNS 服务器即域名服务器，是将域名转换成 IP 地址的服务器。手动设置时，若没有指定正确的 DNS

服务器 IP 地址，则计算机不能通过输入域名上网，只能输入相应的 IP 地址。

知识链接

特殊的 IP 地址

一些特殊的 IP 地址用于专门的用途，一般在给网络中的主机分配 IP 地址时作为保留地址，不进行分配。

1. 32 位全 0 的地址

32 位全 0 的 IP 地址被还没有分配到 IP 地址的主机在发送 IP 报文时用于源 IP 地址。例如，对于通过 DHCP（动态主机配置协议）配置 IP 地址的主机，为了获得 IP 地址，就要给 DHCP 服务器发送 IP 报文，这时该主机的源地址就是全 0 地址，而目的地址就是 32 位全 1 的受限广播地址。

2. 网络号全 0 的地址

网络号全 0 的 IP 地址表示这个网络上的特定主机。当某个主机向同一个网络上的其他主机发送 IP 报文时就会用到它。因为使用这种地址作为目的地址的 IP 报文会被本地路由器过滤掉，所以这样的 IP 报文被限制在本地网络内。

3. 32 位全 1 的地址

32 位全 1 的 IP 地址称为受限广播地址（limited broadcast address）。若某台主机想给本网络上的所有主机发送报文，就可以将受限广播地址作为目的地址。但路由器会把这种报文过滤掉，使这种广播只局限在本地网络。需要注意的是，这种地址属于 E 类地址。

4. 主机号全 0 的地址

主机号全 0 的 IP 地址用来标识一个网络（网络地址）。例如，地址 200.123.10.0 表示分配了一个 C 类网络号为 200.123.10 的网络。网络地址既不能用于源地址，也不能用于目的地址，而是供路由器查找路由表使用。

5. 主机号全 1 的地址

在 A 类、B 类和 C 类地址中，若主机号为全 1，则这种地址称为直接广播地址（direct broadcast address）。路由器使用这种地址将 IP 报文发送到特定网络上的所有主机。需要注意的是，这种地址只能作为目的地址。另外，这种特殊地址也减少了 A 类、B 类和 C 类地址中的可用地址数。

6. 第一个十进制数为 127 的 IP 地址

第一个十进制数为 127 的 IP 地址称为环回地址（loopback address），它用于主机或路由器的环回接口（loopback interface）。大多数主机系统都把 IP 地址 127.0.0.1 分配给回路接口，并命名为 localhost。当使用环回地址作为 IP 报文的目的地址时，这个报文不会离开主机。环回地址主要是用于测试 IP 软件。例如，像“ping”这样的应用程序可以将环回地址作为 IP 报文的目的地址，以便测试 IP 软件能否正确地接收和处理 IP 报文。需要注意的是，环回地址只能作为目的地址。另外，环回地址也是一个 A 类地址，它的使用使得 A 类地址中的网络地址数减少了 1 个。

项目实训

参观学习网络中心或网络实训室

【实训目标】

1．了解并熟悉局域网的组成情况及运行状况。

2．初步认识二层交换机、三层交换机、路由器和防火墙等网络设备。

【实训步骤】

在老师或网络管理人员的带领下，实地参观和考察学校网络中心或网络实训室，了解并熟悉公司网络的组成情况、使用状态、建设和维护成本，以及网络管理员的主要工作职责等。通过实地考察和技术人员的介绍，了解学校网络中心或网络实训室的网络结构及设备运行状况，认识主要设备及其功能。

将实地参观和考察过程中了解到的上述内容记录下来，供后续学习使用。

思考与练习

一、选择题

1. 目前，局域网的传输介质主要是（　　）同轴电缆和光纤。

A. 电话线　　B. 双绞线　　C. 公共数据网　　D. 通信卫星

2. 计算机中网卡的正式名称是（　　）。

A. 集线器　　B. T 型接头连接器　　C. 终端匹配器　　D. 网络适配器

3. 局域网常用的基本拓扑结构有（　　）、环型和星型。

A. 层次型　　B. 总线型　　C. 交换型　　D. 分组型

二、填空题

1. 按网络拓扑结构划分有：_____、_____、_____和_____等。

2. 按网络覆盖范围和计算机间的连接距离划分有：_____、_____、_____。

3. 局域网的特点是：_____、_____、_____、_____。

项目二
数据通信基础

项目概述

数据通信是以“数据”为业务的通信系统，数据是预先约定好的具有某种含义的数字、字母或符号以及它们的组合。数据通信是20世纪50年代随着计算机技术和通信技术的迅速发展，以及两者之间的相互渗透与结合而兴起的一种新的通信方式，它是计算机和通信相结合的产物。随着计算机技术的广泛普及与计算机远程信息处理应用的发展，数据通信应运而生，它实现了计算机与计算机之间，计算机与终端之间的传递。

学习目标

知识目标

◆理解数据通信的基本概念。

◆理解数据编码技术、多路复用。

◆掌握数据交换技术。

◆理解差错控制原理。

能力目标

◆能够运用数据编码技术。

素质目标

◆按照组建的学习团队学习、实验、交流，分配角色，培养团队合作能力。

思政目标

要了解世界信息技术产业的发展水平和计算机类专业的前沿技术，深刻认识中国与西方国家相比存在的优势与差距，同时要理解信息化在未来国家发展战略中的重要地位，培养学生的民族自豪感和文化自信。通过深入剖析关键技术应用，培养学生的国家网络主权意识，激发青年学生的爱国情、强国志和报国行。

任务一　数据通信

数据通信技术是网络技术发展的基础，数据通信是通过数据通信系统将数据以某种信号方式从一处安全、可靠地传送到另一处。它包括数据传输和数据在传输前后的处理。通信是把信息从一个地方传送到另一个地方的过程，用来实现通信过程的系统称为通信系统。如果一个通信系统传输的信息是数据，称这种通信为数据通信。或者说，数据通信是指在不同计算机之间传送表示字母、数字、符号的二进制代码 0、1 比特序列的过程。

实现这种通信的系统就是数据通信系统，以计算机系统为主体构成的网络通信系统就是数据通信系统。

一、数据通信的基本概念

1. 数据和信息

数据被定义为有意义的实体，数据涉及事物的表示形式，是信息的载体。而信息涉及的则是数据的内容和解释。数据可分为模拟数据与数字数据两种。模拟数据是指在某个区间产生的连续的值，其电平随时间连续变化。例如，语音是典型的模拟信号，其他由模拟传感器接收到的信号如温度、压力、流量等都是连续变化的值。是模拟信号。

数字数据在时间上是离散的，在幅值上是经过量化的，即数字数据是指离散的值，它一般是由 0、1 的二进制代码组成的数字序列。如：文本信息和整数。模拟数据和数字数据是可以互相转换的。

信息是对数据的解释，数据只有经过处理并经过解释才有意义，才能成为信息。信息的载体可以是数字、文字、语音、图形或图像。计算机产生的信息一般是字母、数字、符号的组合。

2. 信号

信号是数据在传输过程中的电信号的表示形式，或称数据的电磁或电子编码。它分为模拟信号和数字信号两种。

数据通信

在通信系统中，模拟数据表示的信号称作模拟信号，模拟信号是在一定的数值范围内可以连续取值的信号，是一种连续变化的电信号（如：电话线上传送的按照声音的强弱幅度连续变化的电信号）。这种电信号可以按照不同频率在各种介质上传输。

由数字数据表示的信号称作数字信号，数字信号是一种离散的脉冲序列（如：数字仪表的测量结果，数字计算机的输出）。它用恒定的正电压和负电压来表示二进制的 1 和 0 值，这种脉冲序列可以按照不同的位速率在介质上传输。

3. 信道

信道是传送信号的一条通路，在通信系统中，各种信号都要通过信道才能从一个端点传至另一个端点，因此，也可以将信道理解为电信号的传输媒介。信道由传输介质及相应的中间通信设备组成。传输介质可以是有线的，如同轴电缆、光纤、双绞线等；也可以是无线的，如微波、无线电、红外线等。传输信道给数据信号提供了通路，又会使信号畸变和带来噪声与干扰，其结果是使数据在传输后造成差错，增大了数据传输的差错率。由于传输信道的传输介质特性不同，还会使信息传输速率受到限制。

4. 数据传输

数据传输是指用电信号把数据从发送端传送到接收端的过程。传输信道为数据信号从发送端传送到接收端提供了电通路。

模拟数据和数字数据都可以用模拟信号和数字信号来表示，以模拟信号的形式在信道上传输数据称作模拟传输；以数字信号的形式在信道上传输数据称作数字传输。

在数据通信中，若采用模拟传输方式，则数据进入信道之前要使用调制解调器（modem）进行调制，将其变换为模拟的调制信号，使数字数据能与模拟信道的特性相匹配。modem 的作用是通过一载波频率把二进制电压脉冲序列调制转换成模拟信号，使这些数据能够适合于在音频电话线路上传输。在线路的另一端，再由 modem 把模拟信号解调还原成原来的数据。

模拟传输是一种不考虑信号内容的信号传输方法。信号可以表示为模拟数据或表示为数字数据。但无论何种情况，模拟信号在传输过程中都会衰减，还会受到噪声的干扰。克服衰减的办法是模拟传输系统使用放大器将信号放大，但干扰信号也随之放大，当远距离传输时，经多次放大后存在累积误差，严重时会造成传输错误。

在数字传输方式中，数字数据可直接表示成数字信号进行传输。但为使之适宜于在信道上传输，通常需要对二进制数据进行编码，即使用编码解码器将二进制数据编码成适合于传输的数字信号形式。在接收端的编码解码器再把信号解码成原来的数据。由于数字信号只取有限个离散值，在传输过程中即使受到噪声的干扰，只要不影响“0”和“1”的判断，就可以用信号再生的方法进行恢复，当传输距离远时，用中继器把信号再生后再传输，不会产生累积误差，对某些数码的差错也可以用差错控制技术加以恢复，所以传输质量较高。另外，数字传输能将声音、数字、图像混合在一个信道传输，有效地利用设备和已有线路可获得更高的数据传输率，并且数字设备可以大规模的集成，比复杂的模拟设备便宜得多。在局域网中，主要采用数字传输技术。在广域网中，以模拟传输为主。随着光纤通信技术的发展，广域网中越来越多地采用数字传输技术，它在价格和传输质量上都优于模拟传输。

5. 基带传输、频带传输和宽带传输

基带传输：将数字信号“1”或“0”直接用两种不同的电压表示，这种高电压和低电压不断交替的信号（方波信号）称为基带信号，而基带就是这种原始信号所占的基本频带。将基带信号直接送到线路上传输称为基带传输。

基带传输要求信道有较宽的频带。但频带越宽，传输线路的电容电感等对传输信号波形衰减的影响越大，传输距离一般不超过 2 千米，超过时则需加中继器放大信号，以便延长传输距离。

频带传输：所谓频带传输是指把数字信号调制成能在公共电话线上传输的音频模拟信号后再发送和传输，到达接收端后，再把音频信号解调成原来的数字信号。因此在采用频带传输时，要求在发送端安装调制器，在接收端安装解调器。这不仅解决了数字信号可用电话线路传输，而且可以实现多路复用，提高信道的利用率。

在实现全双工通信时，则要求收发两端都安装调制解调器。计算机网络系统的远程通信通常都为频带传输。

宽带传输：若将多路基带信号、音频信号和视频信号的频谱分别移到一条电缆的不同频段传输，这种传输方式称为宽带传输。

宽带传输所传输的信号都是经过调制后的模拟信号，宽带传输常用于 LAN 中，它是利用频带宽度至少为 0 ～ 300 MHz 的宽带同轴电缆作为传输介质。使用时通常将这样的频带划分为若干个子频带，分别用这些子频带来传送文字、声音图像和数据等多种信息，使系统具有多种用途。

数据传输速率：指通信线路上传输信息的速度。数据传输速率有两种表示方法，即调制速率和数据速率。

（1）调制速率

数据以代码形式传输，代码由码元组成。码元不仅可以用矩形脉冲表示，也可以用波形来表示，即用一个波形来表示一个码元或几个码元的组合。波形的持续时间与它所代表的码元组合的时间长度一一对应，波形持续时间越短，单位时间内传输的波形数就越多，或者说传输的数据越多，数据传输率就越高。

调制速率又称为波特率或波形速率，指数据通信系统中，在线路上每秒传送的波形个数，是脉冲信号经过调制后的传输速率，其单位是“波特”（baud）。1 波特表示每秒传送 1 个码元。调制速率的计算公式如下：

$$B = 1/T$$

式中，T 为波形的持续时间。

（2）数据速率

数据速率也称比特率，指单位时间内所传送的二进制位代码的有效位数，反映了一个数据传输系统中每秒内所传送的信息量的多少。其单位是“比特 / 秒”，可用 b/s（位 / 秒）或 bps 来表示。数据速率的计算公式如下：

$$S = B\log_2 N$$

式中，B 为波特率，N 是一个波形代表的有效状态数。

其中 N 为一个脉冲信号所表示的有效状态。在二进制中脉冲只有两种状态 0 或 1，即 $n = 2$，这时数据速率 S 与调制速率 B 是一致的数据传输率反映了终端设备之间的信息处理能力，它是一段时间平均值。它的计算与数据传输过程中的同步方式、差错编码及控制方式、多冗余字符的填充、通信控制规范等多种因素有关，它是数据通信的一项主要指标。

对单位脉冲仅表示 0 或 1 两种状态时，传输速率就等于每秒发送的单位脉冲数，也就是说传输速率等于每秒发送的码元数，而当一码元构成代码的位数为 2，即 N 等于 4 时，传输速率就等于每秒发送的单

位脉冲个数的两倍。

这里特别需要说明的是码元的传输速率和数据的传输速率的概念是不同的。如 500 baud 和 500 bps 表示的意义不同。只有当码元的离散值个数 $N=2$，即码元取 0 和 1 两个离散值（即一个码元携带 1 bit 信息）时，二者在数值上才相等。

再如，每秒传送 100 个码元，是否就是每秒传送 100 个比特呢？答案是否定的。因为传送 100 个码元就是说信道的码元传输速率是 100 波特，但是波特和比特是两个不同的概念，波特是码元传输的速率单位，而比特是信息量的单位，在数量上也不一定相等，仅当 1 个码元只携带 1 bit 的信息量时，这句话才是正确的。

二、线路通信方式

一个通信系统一般至少由三个部分组成：发送器、传输介质和接收器。

发送器产生信号，经传输介质传送给接收器，由接收器接收这个信号便完成了信号从一端向另一端的传送。信号在通信线路上传输是有方向的，根据数据在某一时间信息传输的方向和特点，线路通信方式可分为单工通信、半双工通信和全双工通信。

1. 单工通信

在单工通信方式中，信号只能向一个方向传输，任何时候都不能改变信号的传送方向。发送器和接收器之间只有一条通道。如无线广播、计算机与打印机等就是单工通信的例子。

在单工通信中，为了保证传送信息的正确性，需要进行差错控制，即接收端要对接收的数据进行检验，查出错误要求发送方重发原信息，对于正确接收的数据也要返回确认信息。

传送的确认信号、请求重发信号等称为监视信号，因此，单工通信的线路一般是两线制。也就是说，单工通信需要附有一条控制信道，用于传输监测信息。

2. 半双工通信

在半双工通信方式中，通信双方都可以发送和接收信息，即信息可以双向传送。但在同一时刻，信息只能向一个方向传送。当由一方发送变为另一方发送时，就必须改变信道方向。

半双工通信方式一般用在设备本身无足够的带宽去支持同时双向通信，或者通信双方的通信顺序是交替进行的场合。同时由于频繁调换信道方向，故效率较低，但可节省传输线路。

3. 全双工通信

在全双工通信方式中，通信双方可以同时发送和接收信息，两个设备之间要求有两条性能对称的传输信道。这种通信方式的信息通过量大，但要求传输通道以足够的带宽给予充分的支持。和半双工通信相比，全双工通信效率高，但结构复杂，成本较高。

由此可见，只能向一个方向传输的通信信道，只能用于单工通信方式中。可以双向传输信号，但必须交替进行的通信信道，才能实现全双工通信。

三、异步传输与同步传输

在数字数据通信中，为了保证发送端发送的信号能被接收端准确无误地接收，接收端必须与发送端

同步。

所谓同步就是接收端要按发送端所发送的每个码元的重复频率以及起止时间来接收数据，也就是要求通信的双方在时间基准上必须保持一致。发送端必须知道它所接收的数据流每一位的开始时间和结束时间，以确保数据接收的正确性。因此，通信双方必须遵循同一通信规程，使用相同的同步方式进行数据传输。

根据通信规程所定义的同步方式，可分为异步传输和同步传输两种方式。

1. 异步传输

采用异步方式进行数据传输就叫异步传输。异步传输是以字符为单位进行传送，字符之间的时间间隔可以是任意的。

为了实现字符同步，在传送的每一个字符前后分别设置 1 位起始位和 1 位（或 1.5 位、2 位）停止位，表示一个字符的开始和结束。起始位为“0”，结束位为“1”，如图 2–1 所示。但发送一个字符时，发送每一位占用的时间长度都是双方约定好的，且保持各位都恒定不变。当没有数据发送时，发送器就发送连续的停止码。这时，传输线一直处于停止状态，即高电平。

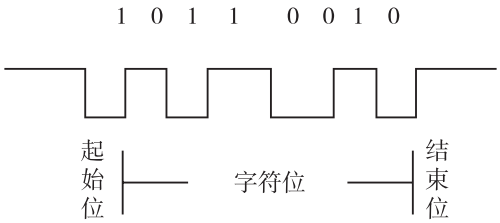

图 2–1　异步传输

接收器根据从 1 至 0 的跳变来识别一个新字符的开始。当传输线上有 1 跳变到 0 时，说明发送端开始发送字符，接收端立即应用这个电平的变化启动定时机构，按发送的顺序接收字符。待发送字符结束，发送端又使传输线处于高电平，直至下一个字符。

发送端与接收端除了采用相同的数据格式（字符位数、停止位的位数等）外，还必须采用相同的传输速率。从而实现位同步，通过起始位和结束位而实现字符同步。

在异步设备中，由于不需要发送和接收设备之间另外传输定时信号，因而实现起来比较简单。但由于每个字符都要加上起始位和结束位，传输速率较低。另外，由于收发双方时钟的差异，传输速率不宜太高。因此，异步传输方式常用于面向字符传输的，低速的异步通信场合。如主计算机与终端之间的交互式通信通常采用这种方式。

2. 同步传输

同步传输是以数据组为单位的数据传输。以固定的时钟节拍来发送数据信号，字符间顺序相连，既无间隙也无插入位。收发双方的时钟信号与传输的每一位严格对应，以达到位同步。

在开始发送一组数据前，须先发送固定长度的用于同步控制的帧同步字符，随后发送数据字符，发送完数据字符后再发送帧终止字符，这样就实现了字符和帧的同步，之后连续发送空白字符，直到发送

下一帧时重复上述过程，以实现同步传输的功能。同步传输处理如图 2–2 所示。

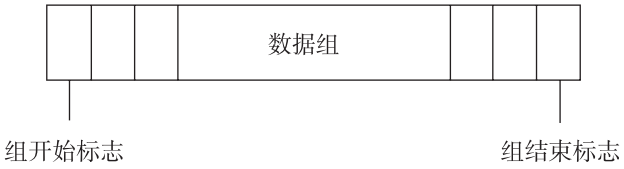

图 2–2　同步传输

在实际问题中，人们也将同步传输叫作同步通信，将异步传输叫作异步通信。同步传输因为以组为单位，额外开销小，故传输效率比异步通信的传输效率高，因此同步通信方式更适应于高速数据传输。

任务二　数据编码技术

数据编码是将数据表示成适当的信号形式，以便于数据的传输和处理。计算机数据在传输过程中的数据编码类型，主要取决于它采用的通信信道所支持的数据通信类型。

根据数据通信类型，网络中常用的通信信道分为两类：模拟通信信道与数字通信信道。相应的用于数据通信的数据编码方式也分为两类：模拟数据编码与数字数据编码。在数据传输系统中，主要采用如下 3 种数据编码技术。

（1）数字数据的模拟信号编码；

（2）数字数据的数字信号编码；

（3）模拟数据的数字信号编码。

一、数字数据的模拟信号编码

计算机网络的远程通信采用频带传输，频带传输的基础是载波，它是频率恒定的连续模拟信号。因此在数据通信系统中，要采用频带技术传输数据就必须利用调制技术，把由计算机或由计算机外部设备发出的基带脉冲信号调制成适合远距离线路传输的模拟信号。也就是将数字数据调制模拟信号进行传输。

所谓调制就是进行波形变换。或者说是进行频谱变换。将基带数字信号的频谱变换成适合于在模拟信道中传输的频谱。通常调制数字数据用 3 种载波特性（振幅、频率和相位）之一来表示，并由此产生 3 种基本调制方式。

1. 幅移键控法（amplitude shift keying，ASK）

幅移键控法，也称为调幅，它是通过改变载波信号振幅来表示数字信号 1、0，即载波的振幅随基带数字信号而变化。如：1 对应于有载波输出，而 0 对应于无载波输出。

ASK 方式易受增益变化的影响，是一种效率较低的调制技术。在音频电话线上，通常只能达到 1 200 b/s 的传输速率。

2. 频移键控法（frequency shift keying，FSK）

频移键控法也称调频，这种方法是通过改变载波信号频率来表示数字信号 1、0，即载波的频率随基带数字信号而变化。如：1 对应于频率 f1，0 对应于频率 f2。

这种调制方式实现容易，技术简单，抗干扰能力较强。比 ASK 方式的编码效率高，是目前较常用的调制方法之一。

3. 相移键控法（phase shift keying，PSK）

相移键控法也称调相，是把振幅和频率定义为常数，通过改变载波信号的相位值表示数字信号 1、0，即载波的初始相位随基带数字信号而变化。如：0 对应于相位 0 度，而 1 对应于相位 180 度。或者说，信号相位与前面信号串通相位的信号表示 0，信号相位与前面信号串反相位的信号表示 1。

PSK 方式也可用于多相的调制。PSK 方式具有较强的抗干扰能力，而且比 FSK 方式编码效率更高。

二、数字数据的数字信号编码

在数据通信技术中，人们将利用模拟通信信道，使用调制解调器传输模拟数据信号的方法称作频带传输，将利用数字通信信道直接传输数字数据信号的方法称作基带传输。对于传输数字信号来说，最普通而且最容易的方法是用两个不同的电压值来表示两个二进制值。如：用无电压表示 0，用恒定的正电压表示 1，或用正电压表示 1，而用负电压表示 0。

在传输基带数字信号时，可以有多种不同的编码方法。常用的数字信号编码有非归零码、曼彻斯特编码及差分曼彻斯特编码。

1. 非归零码（non-return to zero，NRZ）

在 NRZ 编码中，二进制基带数字信号就是高电压和低电压不断交替的信号。可以规定用正电压表示 1，用负电压表示 0，也可以用负电压表示 1，而用正电压表示 0。

NRZ 的特点是一种全宽码，即一位码元占一个单位脉冲的宽度。其优点：一是每个脉冲宽度越大，发送信号的能量就越大，因此对于提高接收端的信噪比有利；二是脉冲时间宽度与传输带宽成反比关系，即全宽码在信道上占用较窄的频带，并且在频谱中包含了码位的速度。

NRZ 编码的最大问题是，当出现连续 0 或连续 1 时，在接收端首先无法从收到的比特流中提取位同步信号，使收发双方不能保持同步。另外，如果信号中“1”与“0”的个数不相等时，会产生直流分量的积累。这将导致信号的失真和畸变，使传输的可靠性降低。

近年来，随着 100 Mb/s 高速网络技术的发展，NRZ 编码成为主流编码技术，在 FDDI、100 BASE-T 等高速网络中都采用了 NRZ 编码。其原因是在高速网络中要求尽量降低信号的传输带宽，以利于提高传输的可靠性和降低对传输介质带宽的要求。而 NRZ 编码中的码元速率与编码时钟速率相一致，具有很高的编码效率，符合高速网络对信号编码的要求。

2. 曼彻斯特编码

为了解决 NRZ 编码中存在的问题，可采用曼彻斯特编码，该编码的方法是将每一个码元再分成两个

相等的间隔，码元 1 是前一个间隔为高电平而后一个间隔为低电平。码元 0 则正好相反，是从低电平变到高电平。由于跳变都发生在每一个码元的中间，接收端可以方便地利用它作为同步时钟。故这种编码也称为自同步编码。

以太网（Ethernet）采用的是曼彻斯特编码。这种编码不含直流分量，但效率较低。

3. 差分曼彻斯特编码

差分曼彻斯特编码是曼彻斯特编码的一种变种。不同之处在于每位的中间跳变只用于作同步时钟信号；而 0 和 1 的取值判断是用位的起始处有无跳变来表示（若有跳变则为 0，无跳变则为 1）。其编码规则是：若码元为 1，则其前半个码元的电平与上一个码元的后半个码元的电平一样；若码元为 0，则其前半个码元的电平与上一个码元的后半个码元的电平相反。

这种编码的特点是每一位均用不同电平的两个半位来表示，因而始终能保持直流的平衡，这种编码也是一种自同步编码。

令牌环（token ring）采用的是这种差分曼彻斯特编码。

三、模拟数据的数字信号编码

在数字化的电话交换和传输系统中，通常需要将模拟的话音数据编码成数字信号后再进行传输。最常用的方法是脉冲编码调制（pulse code modulation，PCM）。

脉冲编码调制是以抽样定理为基础的，该定理从数学上证明：一个频带限制在（0，f）内的时间连续信号 $f(t)$，如果以 $1/2f$ 的时间间隔对它进行抽样，那么根据这些抽样值就能准确地确定原信号。或者说，如果一个连续信号 $f(t)$ 的频谱中最高频率不超过 f，当抽样频率 $fs \geqslant 2f$ 时，抽样后的信号就包含原连续的全部信息。抽样后的信号只要通过一个截止频率为 $fs/2$ 的低通滤波器就能恢复原始信号。当然，抽样前应该对原模拟信号进行滤波，把高于二分之一抽样频率的频率滤掉。这是抽样中必不可少的步骤。

模拟数据数字化需要三个步骤：抽样、量化、编码。

（1）抽样：把时间、幅度连续的模拟信号转变为时间离散、幅度连续的信号，即时间离散化。也就是用抽样频率 fs 把模拟信号的值采出。

（2）量化：把幅度连续信号转换为幅度离散信号，即幅度离散化。也就是分级的过程，把采样的值按照量级“取整”得到的是一个不连续的值。

（3）编码：按照一定的规律，把时间、幅度离散信号用一一对应的二进制或多进制代码表示。如果有 N 个量化级，那么每次采样将需要 $\log_2 N$ 位二进制数码。目前在语音数字化脉冲编码调制系统中，通常分为 128 或 256 个量级，即用 7 位或 8 位二进制数码来表示，这样的二进制码组称为一个码字，其位数称为字长。

在发送端经过这样的变换过程，就把模拟信号转换成二进制数码脉冲序列，然后发送到信道上进行传输。在接收端首先经过 D/A 转换器译码，将二进制数码转换成代表原模拟信号的幅度不等的量化脉冲，然后经过低通滤波器就可以使幅度不同的量化脉冲恢复成原来的模拟信号。

根据原始信号的频宽，可以估算出脉冲编码调制的数码脉冲速率。话音数据的频率范围是 0 ～

3 400 Hz，为了方便，通常将最高频率设为 4 000 Hz，那么，如果以 8 000 Hz 的抽样频率对话音信号进行抽样的话，则理论上在抽样值中包含了话音信号的完整特征。由此而还原出来的话音是可识别的。使用 8 位二进制表示采样的话，就允许有 256 个量化级，这就意味着，仅仅是语音信号就需要有每秒 8 000 次采样 × 每次采样 7 位＝ 56 kbps 的数据传输速率。

任务三　多路复用

无论是在广域网还是在局域网中，传输媒体的带宽或容量往往超过传输单一信号的需求，为了有效地利用通信线路，希望一个信道同时传输多路信号，这就是所谓的多路复用技术。采用多路复用技术能把多个信号组合起来在一条物理信道上进行传输，在远距离传输时可大大节省电缆的安装和维护费用。

多路复用技术主要有以下几种：频分多路复用（FDM）、时分多路复用（TDM）、空分多路复用（SDM）和波分多路复用（WDM）等。

一、频分多路复用（FDM）

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，这就是频分多路复用。FDM 信道的划分如图 2–3 所示。

二、时分多路复用（TDM）

如果媒体能达到的位传输速率超过传输数据所需的数据传输速率，则可采用时分多路复用 TDM 技术，也就是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。每一时间片由复用的一个信号占用，而不像 FDM 那样，同一时间同时发送多路信号。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。TDM 信道的划分如图 2–4 所示。

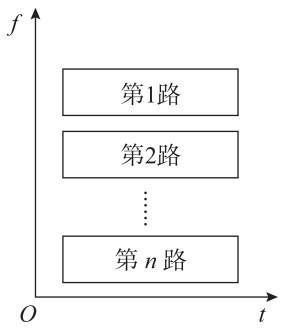

图 2–3　FDM 信道的划分

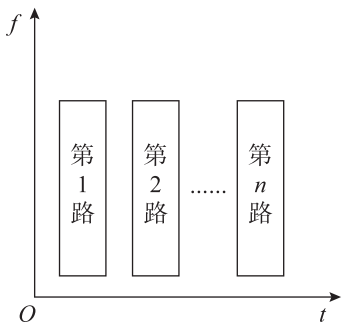

图 2–4　TDM 信道的划分

TDM 又分为同步时分多路复用和异步时分多路复用。所谓同步时分多路复用是固定分配信道，在通信信道上形成一种时间上的逻辑子信道的通信媒体共享方式。其特点是，对信道进行固定的时隙分配，也

就是将一帧中的各时隙以固定的方式分配给各路数字信号，所以时隙利用率低。而异步时分多路复用则克服了这个问题，能够动态地按需分配时隙，避免了浪费。它不是固定地分配时隙，而是在只有当某一路用户有数据要发送时才分配给时隙，当用户暂时停止发送数据时，则不给它分配。这样，其他用户传输更多的数据时就可以使用尽可能多的时隙了。

三、空分多路复用（SDM）

空分多路复用是利用光缆中不同纤芯同时传输多个频道信号的一种方式。由于光纤很细，即使把许多根光纤组合在一起，其外径也不会很粗，所以，光缆一般都是多芯的。SDM 是一种最简便的复用方式，它是用各路基带信号分别进行光强度调制，然后把每路信号分别用一根光纤传输。这种方式简单、实用，但必须按信号复用的路数配置所需要的光纤传输芯数，投资效益较差。但是，随着技术的发展，SDM 已不是原来简单的基带信号的调制，而是 WDM、FDM 和 TDM 方式下的宽带综合信息的调制，它不再是单向传输，而成为双向的互联互通。

四、波分多路复用（WDM）

随着光通信技术的发展，科学家们开始研究采用光的波分多路复用技术，来充分利用带宽和补充时分复用的速率趋进理论极限的不足。

所谓波分多路复用，就是利用光辐射的高频特性及光纤宽频带、低损耗的特点，用一根光纤同时传输几个不同波长的光，每个波长的光载有不同的电信号，在前端（发射端）每个信道的电信号对相应的光发射机进行光强调制（E/O），形成不同波长的光载波信号，然后用光合波器将这些信号合成一路输出，用光缆传输到终端用户。在终端，用光分波器把输入的多路光载波信号分成单一波长的光载波信号，然后馈送给相应波长的光接收机。经光接收机解调（O/E）后，输出相应频道的电信号。由此可见，波分复用实际上是在光频上进行频分复用。

其突出优点为：能在一根光纤中同时传输不同波长的几个甚至成百上千个光载波信号，不仅能充分利用光纤的带宽资源，增加系统的传输容量，而且还能提高系统的经济效益。

WDM 从提出到今天，短短数年，一直保持强劲的增长势头。经过数年的发展和应用，波分多路复用技术已趋于成熟。而且越来越成为现代通信系统中不可替代的传输技术。

目前，WDM 系统的传输容量正以极快的速度向前发展，而且直接基于 WDM 传输的业务也越来越多。WDM 作为现代超大容量传输技术的优越性越来越明显。

任务四　数据交换技术

交换是网络实现数据传输的一种手段，在数据进行通信实现交换的过程中，数据从信源节点到信宿节点所经过的中间节点并不关心数据的内容，只是提供一种交换功能，使数据从一个节点传到另一个节点，

直至到达目的地为止。

通常使用的数据交换技术有 3 种：电路（线路）交换、报文交换和分组交换。

一、电路交换

在数据传输前，两个结点之间必须先建立一条专用（双方独占）的物理通信路径（由通信双方之间的交换设备和链路逐段连接而成）（图 2–5）。该路径在整个数据传输期间一直被独占，直到通信结束才被释放。因此，电路交换技术分为连接建立、数据传输和连接释放三个阶段。

电路交换的关键点为，在数据传输过程中，双方用户始终独占资源。链路建立后，除源结点和目的结点外，电路上的任何结点为“直通方式”，不存在存储转发。

图 2–5　电路交换的示意图

电路交换的优缺点：

1. 电路交换的优点

（1）通信时延小：通信线路为双方用户专用，数据直达。

（2）有序传输：双方按顺序发送数据，不存在失序问题。

（3）没有冲突：不同通信双方拥有不同信道。

（4）适用范围广：模拟信号和数字信号传输均适用。

（5）实时性强：物理链路一旦建立，双方就可以随时通信。

（6）控制简单：电路交换的交换设备及控制均较简单。

2. 电路交换的缺点

（1）建立连接时间长：平均连接建立时间对计算机通信来说太长。

（2）线路独占，使用率低：连接建立后，双方独占物理线路。即便通信线路空闲，也不能供其他用户使用。

（3）灵活性差：双方建立的线路中任何一点出现了故障，就必须重新拨号建立连接。

（4）难以规格化：电路交换数据直达，不同类型、不同规格、不同速率的终端很难相互通信，也很难进行差错控制。

二、报文交换

在很多情况下，数据的交换具有很强的随机性和突发性，采用电路交换的话，会导致信道容量和有效时间的浪费。为了解决这个问题，人们采用了报文交换方式。

在这种交换方式中，报文是交换的单位，其长度不限且可变。报文交换不需要在两个站点之间建立一

条专用通路，如果站点 1 想要向站点 2 发送一个报文，它会把站点 2 的地址附加在要发送的报文上。然后把报文通过网络从节点到节点进行发送，一直传送到目的节点为止。

由于报文一般都比较长，所以，该方式要求网络上每个节点都要有较大的存储容量，以备暂存整个报文。

图 2–6 为报文交换的示意图，从图中我们可以看出，双方通信的链路并不唯一，报文可以随机选择转发路径，但在刚刚讲到的电路交换中双方的通信路径是固定不变的。

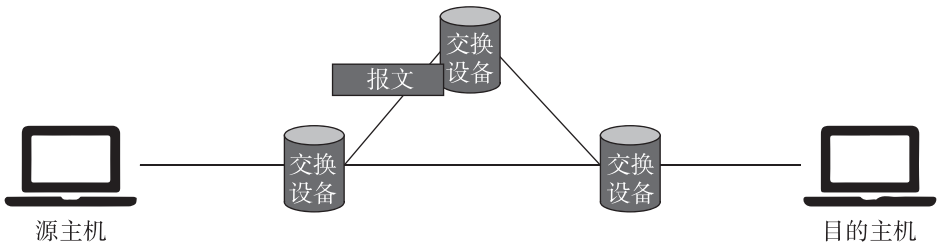

图 2–6　报文交换的示意图

报文交换的优缺点：

1. 报文交换的优点

（1）无须建立连接。

（2）存储转发，动态分配线路：交换设备接收到报文后，先存储整个报文段，然后选择一条合适的空闲线路，将报文发送出去。

（3）提高线路的利用率：双方并不是固定占有一条线路，而是在不同时间段部分占用这条物理线路。

（4）提高线路的可靠性：如果一条线路出现故障，可以选择另一条线路。

（5）提供多目标服务：一个报文可以同时发送给多个目标地址。

2. 报文交换的缺点

（1）有存储转发时延（包括接收报文、检验正确性、排队、发送时间等）。

（2）报文大小不定，需要网络节点有较大缓存空间。

三、分组交换

同报文交换一样，分组交换也不需要建立连接，采用存储转发方式，但是解决了报文交换中大报文传输（报文过大需要分段）的问题。分组交换限制了每次传输的数据块大小，将大的数据块划分为若干小数据块，再在每个小数据块中加上必要的控制信息（源地址、目的地址、分组编号等），构成分组。网络结点根据控制信息将分组转发到下一个结点，下一个结点接收到分组后，暂时保存并排队等待，然后根据分组信息选择它的下一个结点，直到到达目的结点。

图 2–7 为分组交换的示意图，从图中可以看出，一个报文被分成了若干的分组，并且每个分组在中间结点的传输过程可以是并行的，但在刚才讲到的报文交换中，数据的传输是串行的。

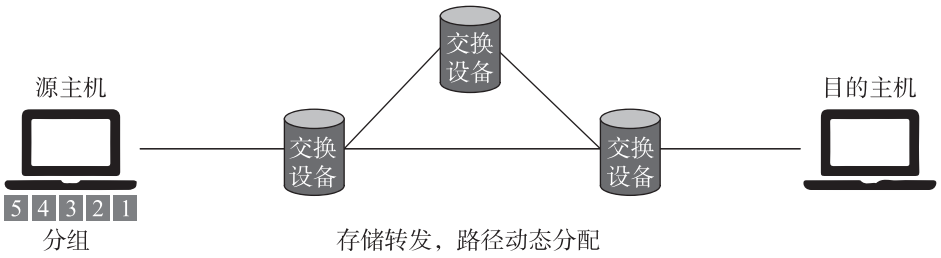

图 2–7　分组交换的示意图

分组交换的优缺点：

1. 分组交换的优点

（1）无建立时延、线路利用率高（和报文交换一样）。

（2）简化了存储管理（相对于报文交换）：因为分组长度固定，相对应的缓冲区大小也固定。

（3）加速传输：分组是逐个传输的，可以使后一个分组的存储操作和前一个分组转发操作并行，这种流水线的传输方式减少了报文的传输时间。此外，传输一个分组需要的缓冲区比传输一个报文的缓冲区小得多，这样因为缓冲区不足而等待发生的概率和时间也小得多。

（4）减少了出错概率和重大数据量：分组较短，出错概率较小。

2. 分组交换的缺点

（1）存在存储转发时延。

（2）需要传输额外的信息量：每个分组上都需要加上控制信息，一定程度上增加了处理时间。

（3）乱序到目的主机时，需要对分组重组。

四、交换技术的比较

不同的交换技术适用于不同的场合：对于交互式通信来说，报文交换肯定不适合；对于较重和持续的负载来说，使用租用的线路以电路交换方式进行通信是最适合的；对于必须交换大量数据的情况，可使用分组交换方式。

任务五　差错控制

一、差错控制基本概念

差错控制是指通过差错编码技术，实现对信息传输差错的检测，并基于某种机制进行差错纠正和处理，是计算机网络中实现可靠传输的重要技术手段，并在许多数据链路层协议中应用。

二、差错控制典型机制

典型的差错控制方式包括检错重发、前向纠错、反馈校验和检错丢弃 4 种基本方式。

1. 检错重发

检错重发是一种典型的差错控制方式，在计算机网络中应用广泛。在检错重发方式中，发送端对待发送数据进行差错编码，编码后的数据通过信道传输，接收端利用差错编码检测数据是否出错，对于出错的数据，接收端请求发送端重发数据加以纠正，直到接收端接收到正确数据为止。

2. 前向纠错

前向纠错（FEC）是接收端进行差错纠正的一种差错控制方法。前向纠错机制需要利用纠错编码。在前向纠错机制中，发送端首先对数据进行纠错编码，然后发送包含纠错编码信息的帧，接收端收到帧后利用纠错编码进行差错检测，对于发生错误的帧直接进行纠错。前向纠错机制比较适用于单工链路或者对实时性要求比较高的应用。

3. 反馈校验

反馈校验方式的接收端将收到的数据原封不动发回发送端，发送端通过比对接收端反馈的数据与发送的数据可以确认接收端是否正确无误接收了已发送的数据。反馈校验方式的优点是原理简单，易于实现，无须差错编码；缺点是需要相同传输能力的反向信道，传输效率低，实时性差。

4. 检错丢弃

某些应用采用一种简单的差错控制策略，不正出错的数据，而是直接丢弃错误数据，这种差错控制方式就是检错丢弃。网络检错丢弃通常适用于容许一定比例的差错存在，只适用于实时性要求较高的系统。

除了上述基本的差错控制机制外，还可以设计其他差错控制方式，比如检错重发与前向纠错相结合的混合差错控制方式等。

三、差错编码的基本原理

差错编码的基本原理就是在待传输（或待保护）数据信息的基础上，附加一定的冗余信息，该冗余信息建立起数据信息的某种关联关系，将数据信息以及附加的冗余信息一同发送到接收端，接收端可以检测冗余信息表征的数据信息的关联关系是否存在，如果存在则没有错误，否则就有错误。

四、差错编码的检错与纠错能力

差错编码的检错或纠错能力与该差错编码的编码集的汉明距离有关。两个等长码字之间，对应位不同的位数，称为两个码字的汉明距离。

（1）对于检错编码，如果编码集的汉明距离 $d=r+1$，则该差错编码可以检测 r 位的差错。

（2）对于纠错编码，如果编码集的汉明距离 $d=2r+1$，则该差错编码可以纠正 r 位的差错。

项目实训

常用网络命令的使用

【实训目的】

1．了解常用网络命令的工作原理。

2．掌握常用网络命令的基本功能、命令格式、参数和使用技巧等。

【实训环境】

1．能够接入 Internet 的局域网。

2．安装有 Windows 操作系统的计算机。

【实训步骤】

本实训中所有常用网络命令均可在“命令提示符”窗口中进行测试，选择“开始”→“所有程序”→“附件”→“命令提示符”命令，或在“运行”提示框中输入“cmd”后回车，即可打开“命令提示符”窗口。

步骤 1：ping 命令的使用。

（1）ping 127.0.0.1。127 打头的 IP 地址叫作回路测试 IP，使用“ping 回路测试 IP”命令时（图 2-8），如果没有收到应答，表示 TCP/IP 协议的安装或运行存在某些最基本的问题。

（2）ping 本机 IP。正常情况下，计算机应对该 ping 命令作出应答；如果没有，就表示本地配置或安装存在问题。

（3）ping 局域网内其他 IP。如果收到回送应答，表明本地网络中的网卡和载体运行正确。如果收到 0 个回送应答，那么表示子网掩码不正确或网卡配置错误或电缆系统有问题，如图 2-9 所示。

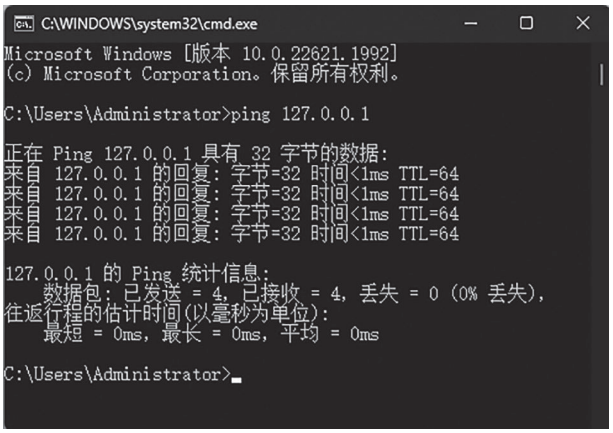

图 2-8　ping 127.0.0.1 命令

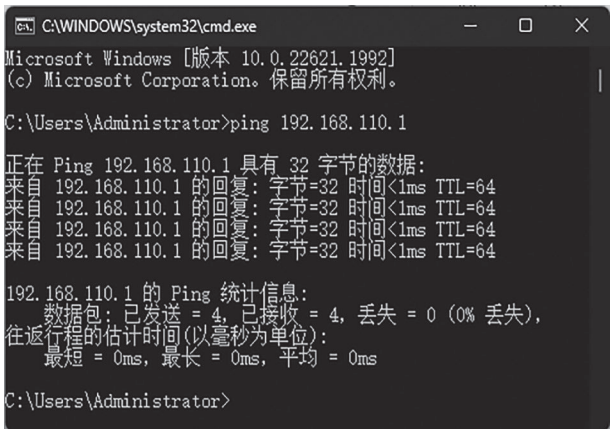

图 2-9　ping 局域网内其他 IP

（4）ping 网关 IP。如果应答正确，表示局域网中的网关路由器正常运行。

（5）ping 远程 IP。如果收到 4 个应答，表示成功地配置了默认网关。对于拨号上网用户，则表示能够成功访问 Internet（但不排除 ISP 的 DNS 会有问题）。

（6）ping 某个域名。这个命令通常是通过 DNS 服务器解析 IP 地址并返回应答。如果没有收到应答，表示 DNS 服务器配置不正确或 DNS 服务器有故障。例如，ping www.baidu.com，如图 2-10 所示。