

数据通信技术

主 编 © 毛诗伟 郑毛祥

副主编 © 匡 红 吴振国

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容概述

全书共分为6个项目：项目1主要介绍数据传输方式、交换方式、差错控制技术；项目2介绍组建局域网使用的交换技术；项目3介绍实现网络互联的路由技术；项目4介绍网络扩展功能VRRP、DHCP、ACL、NAT的部署方式；项目5主要介绍铁路数据网架构、广域网技术、VPN技术；项目6主要介绍网络排障方法、铁路数据网维护标准以及网络安全基础知识。

本书可作为高职院校轨道交通通信信号技术、通信技术、计算机网络技术、移动通信技术等专业的教材，可作为铁路通信工和信息通信网络运行管理员培训教材，也可作为网络运维人员及网络专业相关考证的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

数据通信技术 / 毛诗伟, 郑毛祥主编. -- 成都 :
西南交通大学出版社, 2023.10
ISBN 978-7-5643-9476-9

I. ①数… II. ①毛… ②郑… III. ①数据通信 - 通信技术 IV. ①TN919

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 169903 号

Shuju Tongxin Jishu

数据通信技术

主 编 / 毛诗伟 郑毛祥

责任编辑 / 梁志敏

封面设计 / GT 工作室

西南交通大学出版社出版发行

(四川省成都市金牛区二环路北一段111号西南交通大学创新大厦21楼 610031)

发行部电话: 028-87600564 028-87600533

网址: <http://www.xnjdcbs.com>

印刷: 四川玖艺呈现印刷有限公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 16.75 字数 398 千

版次 2023年10月第1版 印次 2023年10月第1次

书号 ISBN 978-7-5643-9476-9

定价 49.00 元

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

党的二十大报告提出要建设现代化产业体系，推进新型工业化，加快建设制造强国、质量强国、航天强国、交通强国、网络强国、数字中国。数据通信网络作为“大数据”“云计算”“人工智能”等领域的底层信息通信基础设施，是网络强国建设的重要内容。在政务、金融、能源、交通等行业，大量的数据通信设备被部署落地，给数据通信网络的运维带来新的机遇和挑战。同时，数据通信产业的人才的需求量也在逐渐增加。为了培养从事数据通信设备维护、数据通信网络工程施工等高素质技能型人才，满足现代职业教育对职业技能型人才的培养要求，编写此书。

编写团队立足于培养学生职业素养和岗位技能，坚持教材编写与课程开发一体化、教材内容与数字化资源建设一体化，实现教材、教法的深度融合。本教材体例新颖、特色鲜明，具体如下：

1. 本书的编写依照《国务院关于印发国家职业教育改革实施方案的通知》精神，依托校企合作，将教材内容与职业标准对接，提炼典型岗位（群）职业能力要求，以铁路通信工、信息通信网络运行管理员岗位的实际工作过程及典型工作任务为知识载体整合教学内容，以工作手册的形式组织编写，以活页形式装订。

2. 本书遵循职业教育规律，采用“工学结合”的思路，以项目和任务构建课堂教学内容，将数据通信技术知识点按照项目模块进行重构，每个项目分解为若干任务，每个任务中又包含相关知识点及实操案例。书中案例配图全面、操作步骤详尽，配合 ENSP 虚拟实践环境，可以提高学习效率。

3. 本书理论知识以必需、够用为原则；实训内容突出应用性、实践性和可操作性。书中所有案例均来自真实生产环境，案例中的配置命令均能在真实设备中验证并用于生产实践。本书紧密联系生产实际，具有解决实际问题的“工作手册”功能。

4. 本书的编写适应相关专业群“宽口径、双线融合”人才培养模式的需求，按照专业群与产业链对接的要求，聚焦行业发展，吸收计算机、通信专业新技术、新工艺、新规范等产业先进元素。同时注重铁路特色，融入铁路数据网应用案例分析、铁路数据网维护标准等内容。

5. 本书配套建设有丰富的数字化资源，包括教学微课、教学课件、案例素材、配置代码，配置图例，能够优化学习者学习体验，方便教师教学。每个任务后均附有相关数字资源的二维码链接，通过手机扫码能够方便的获取任务对应的微课资源，方便学生开展自主学习。

6. 本书的编写依托武汉铁路职业技术学院“双高计划”建设项目，与《数据通信系统》课程资源库建设同步进行，以国家课程标准为指导，创设立体化的教学情境，打造精品在线开放课程，丰富数字化教学资源，利用“智慧职教”平台服务不同层次学习者及教师。

本书项目 1 由武汉铁路职业技术学院郑毛祥教授编写，项目 2、3 由武汉铁路职业技术学院毛诗伟老师编写，项目 4、5、6 由武汉铁路职业技术学院匡红、吴振国老师编写。全书由中国铁路集团公司电务处专家闫永利审定。感谢中国铁路集团公司对本书编写提出的宝贵意见，同时感谢西南交通大学出版社对本书出版提供的支持和帮助。

由于数据通信技术发展迅速，加之作者水平有限，书中难免存在一些不足与疏漏之处，恳请广大读者批评指正，提出宝贵意见。

编 者

2023 年 8 月

数字资源目录

序号	资源名称	资源类型	页码	资源位置
1	微课：数据通信网络性能测试	视频	005	项目 1
2	微课：并行和串行传输	视频	009	
3	微课：异步和同步传输	视频	011	
4	微课：单工、半双工和全双工	视频	012	
5	微课：数据交换技术	视频	017	
6	微课：认识基本数据通信接口	视频	027	
7	微课：搭建网络仿真环境 1	视频	036	
8	微课：搭建网络仿真环境 2	视频	046	
9	微课：CSMA/CD 的工作流程	视频	052	项目 2
10	微课：以太网的帧格式	视频	053	
11	微课：交换机转发原理	视频	064	
12	微课：局域网传输介质的制作与测试	视频	074	
13	微课：虚拟局域网技术	视频	080	
14	微课：VLAN 基本配置	视频	084	
15	微课：华为 Hybrid 接口配置	视频	089	
16	微课：生成树协议基本原理	视频	095	
17	微课：MSTP 基本配置	视频	098	
18	微课：链路聚合（手工模式）配置	视频	102	
19	微课：链路聚合（LACP 模式）配置	视频	105	

续表

序号	资源名称	资源类型	页码	资源位置
20	微课：路由与路由表	视频	133	项目 3
21	微课：路由来源	视频	134	
22	微课：单臂路由配置	视频	141	
23	微课：三层交换配置	视频	149	
24	微课：配置静态路由实现网络互联	视频	154	
25	微课：浮动静态路由配置	视频	159	
26	微课：静态黑洞路由基本配置	视频	163	
27	微课：RIP 协议基本原理	视频	167	
28	微课：RIPv2 基本配置	视频	170	
29	微课：OSPF 协议基本原理	视频	177	
30	微课：OSPF 多区域配置	视频	181	
31	微课：VRRP 协议基本原理	视频	188	项目 4
32	微课：VRRP 基本配置	视频	191	
33	微课：DHCP 协议基本原理	视频	195	
34	微课：DHCP 基本配置	视频	199	
35	微课：ACL 基本原理	视频	204	
36	微课：部署 ACL 实现访问控制	视频	207	
37	微课：NAT 技术基本原理	视频	211	
38	微课：NAT 基本配置	视频	215	
39	微课：铁路数据网简介	视频	232	项目 5
40	微课：故障分析与检测	视频	243	项目 6

目录

项目 1 数据通信基础认知	001
任务 1.1 数据通信基本概念	002
任务 1.2 数据传输方式	005
任务 1.3 数据交换技术	012
任务 1.4 差错控制技术	017
任务 1.5 认识基本数据通信接口	023
任务 1.6 实训：搭建网络仿真环境	027
项目 2 局域网交换技术与应用	047
任务 2.1 认识局域网	048
任务 2.2 认识局域网组网设备	057
任务 2.3 实训：局域网传输介质的制作与测试	068
任务 2.4 实训：虚拟局域网 VLAN 的基本配置	075
任务 2.5 实训：华为 Hybrid 接口配置	085
任务 2.6 实训：配置 MSTP	090
任务 2.7 实训：配置链路聚合	099
项目 3 企业网络互联与管理	107
任务 3.1 IP 地址规划与计算	108
任务 3.2 认识网络互联设备	127
任务 3.3 实训：配置单臂路由实现 VLAN 间互访	135
任务 3.4 实训：配置三层交换机实现 VLAN 间互访	142
任务 3.5 实训：配置静态路由实现网络互联	150
任务 3.6 实训：配置浮动静态路由实现路由备份	155
任务 3.7 实训：配置静态黑洞路由预防路由环路	160
任务 3.8 实训：部署 RIPv2 实现网络互联	164
任务 3.9 实训：部署 OSPF 实现网络互联	171

项目 4 部署网络扩展功能及应用	183
任务 4.1 实训：部署 VRRP 实现网关备份	184
任务 4.2 实训：配置 DHCP	192
任务 4.3 实训：部署 ACL 实现访问控制	200
任务 4.4 实训：NAT 的基本配置	208
项目 5 广域网及 VPN 技术	217
任务 5.1 认识广域网	218
任务 5.2 铁路数据网简介	229
任务 5.3 VPN 技术	233
项目 6 网络维护与网络安全	238
任务 6.1 故障分析与检测	239
任务 6.2 故障诊断与排除	244
任务 6.3 网络安全基础认知	254
参考文献	260



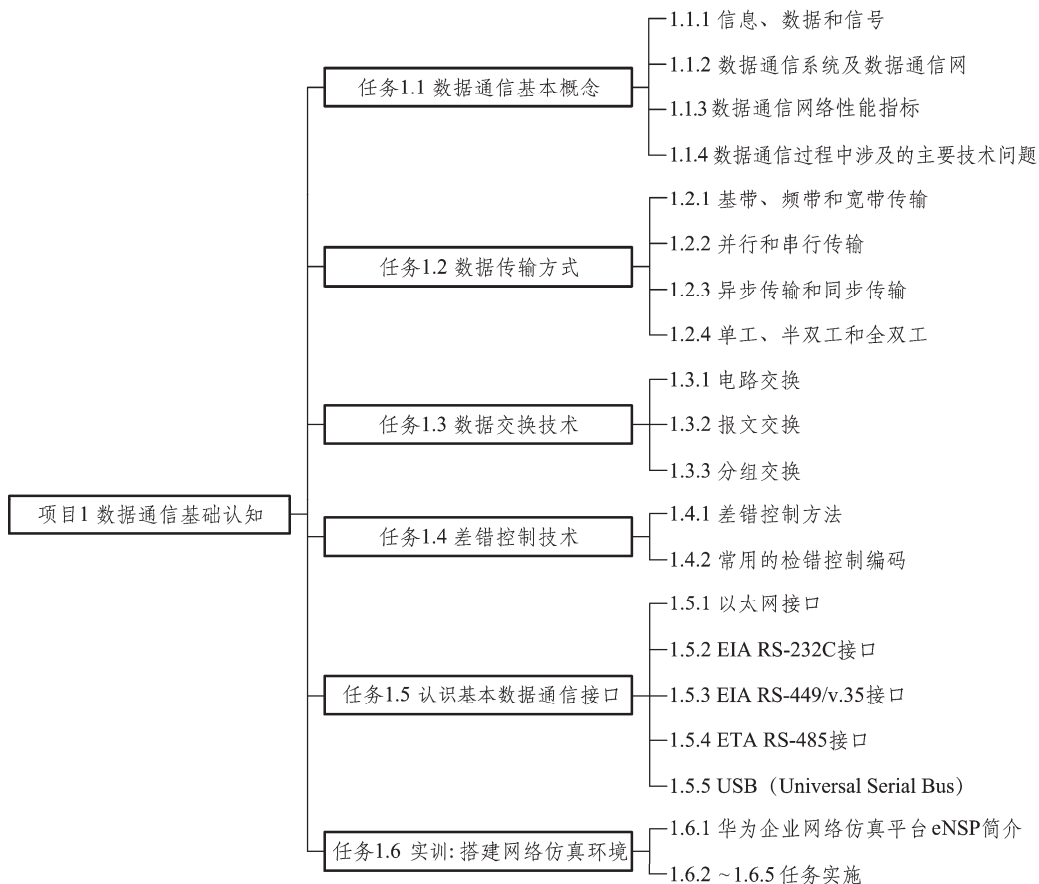
项目 1

数据通信基础认知

项目介绍

本项目主要介绍数据通信的基本概念，同时重点分析了数据通信过程中涉及的数据传输、数据交换、差错控制、通信接口等主要技术问题，最后通过项目案例详细介绍了网络仿真环境的搭建方法。通过项目学习，读者能够理清计算机通信、计算机网络、数据通信、数据通信网络四者的关系，为后续项目的学习提供支撑。

知识框架



任务 1.1 数据通信基本概念

任务简介

本任务从通信的载体出发，介绍了信息、信号、数据的概念，分析了数据通信、数据通信网、IP 信息网络三者的关系，简要介绍了数据通信过程中涉及的关键问题。本任务的学习能够使读者了解通信的载体是什么，了解通信过程中需要解决的三个关键问题，理解数据通信与数据通信网之间的关系。

任务目标

- (1) 描述信息、信号、数据的概念。
- (2) 描述数据通信与数据通信网之间的关系。
- (3) 描述数据通信过程中需要解决的关键问题。

1.1.1 信息、数据和信号

通信的目的是交换信息，信息一般指数据、消息中所包含的意义。信息的载体可以是语音、音乐、图形、图像、文字和数据等多种媒体。计算机的终端产生的信息一般是字母、数字和符号的组合。为了传送这些信息，首先要将每一个字母、数字或符号用二进制代码表示。目前常用的二进制代码有国际 5 号码、EBCDIC 码和 ASCII 码等。

ASCII 码是美国信息交换标准代码，ASCII 码用 7 位二进制数来表示一个字母、数字或符号。任何文字，比如一段新闻信息，都可以用一串二进制 ASCII 码来表示。对于数据通信过程，只需要保证被传输的二进制码在传输过程中不出现错误，而不需要理解传输的二进制代码所表示的信息内容。被传输的二进制代码称为数据 (Data)。

信号是数据在传输过程中的表示形式。在通信系统中，数据以模拟信号或数字信号的形式由一端传输到另一端。模拟信号和数字信号如图 1-1 所示。模拟信号是一种波形连续变化的电信号，它的取值可以是无限个，比如语音信号；而数字信号是一种离散信号，它的取值是有限的，在实际应用中通常以数字“1”和“0”表示两个离散的状态。计算机、数字电话和数字电视等处理的都是数字信号。

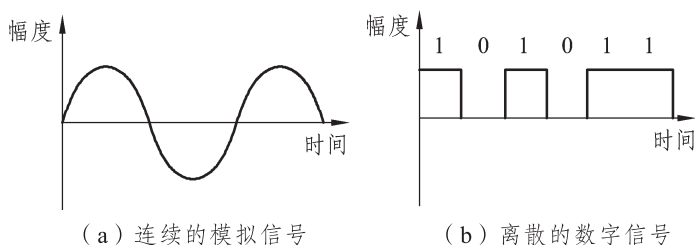


图 1-1 模拟信号和数字信号

1.1.2 数据通信系统及数据通信网

1. 数据通信系统

数据通信是计算机与计算机或计算机与终端之间的通信。它传送数据的目的不仅是为了交换数据，更主要是为了利用计算机来处理数据。可以说它是一种将快速传输数据的通信技术和处理、加工及存储数据的计算机技术相结合的技术，而实现这种通信技术的系统就是数据通信系统。自从有了数据通信系统，不仅解决了大量数据的传输、转接、处理等问题，而且显著扩大了计算机的应用范围，提高了计算机的利用率。

2. 数据通信网

传输交换数据的通信网络称为数据通信网络。数据通信网传输交换的信息用“0”“1”表示，传输交换的数据单元是数据包，在不同的数据通信网络中，数据包又被称为报文、分组、数据帧、信元等。

电报网络是最早的数据通信网络，在计算机网络出现之前，电报网络也用于传输计算机数据。电报使用 5 bit 的二进制编码代表一个英文字母或阿拉伯数字，而我国用 4 个阿拉伯数字代表一个汉字。初期的电报通信是点对点的通信，在发明电报交换机之后，建立了自动电报交换网络。电报网络传输交换的数据单元是数据块，这些数据块被称为“报文”，报文由报头和数据两部分组成。

ARPNET 采用了分组交换技术，分组交换网传输交换的数据单元是“分组”。分组是比报文更短的数据块。每个分组由头部和数据两部分组成。如我国早期采用的 X.25 分组交换网、FR 帧中继网等都属于分组交换网。

随着因特网的数据量剧增，分组交换网远不能满足要求，于是带宽更宽、时延更小的 ATM 交换网络投入运行。ATM 网络传输交换的数据单元叫“信元”，每个信元有 5 字节的头部，48 字节的数据。但 ATM 太复杂，而且传输效率低、造价高，如今已被淘汰。

现在的数据通信网直接运行 IP 协议，传输交换的数据单元是“IP 报文”，IP 报文由报文头部和数据组成。由于 IP 协议是因特网的支撑协议，因此使用 IP 协议的数据通信网络能与因特网无缝连接。

3. IP 信息网络

早期的数据通信网络的节点交换机采用存储转发方式，转发时延大，链路带宽小，因此只能用于非实时的数据传输。随着光纤链路以及高速路由器应用于数据通信网，我国现在的广域数据通信网的带宽已经达到单链路 40 Gb/s。广域网的交换节点采用线速路由器。现在广域数据通信网不但用于传输交换计算机数据，还用于传输交换 IP 电话数据和 IPTV 视频数据。电信公司已经不再分别建设电话网络和数据网络，而是只建设一个统一的 IP 信息网络，用于传输交换各种信息。现在局域网的带宽已经达到 10 Gb/s，一些企业、学校利用以太网技术建立私有的局域数据通信网络，并在该网络上传输计算机数据、IP 电话数据、IPTV 视频数据及其他信息，为自己服务。

现在的数据通信网（广域网、城域网）使用高速路由器作为交换设备，直接运行

IP 协议，传输交换 IP 数据报，用 IP 数据报承载各种信息。局域网虽不直接运行 IP 协议，但能很好的支持 IP 协议，IP 数据报被封装在局域网的数据帧中传输、交换。数据通信网络的各个数据终端，将计算机数据、语音数据、视频数据及其他数据封装为 IP 数据报交给网络处理。像这样运行 IP 协议、传输交换 IP 数据报的数据通信网称为 IP 信息网络，如图 1-2 所示。

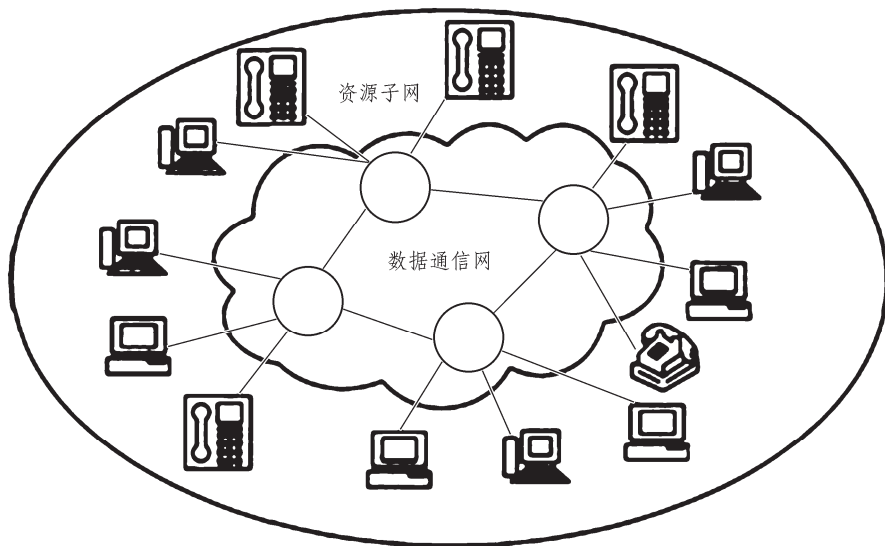


图 1-2 传输多种信息的 IP 信息网络

1.1.3 数据通信网络性能指标

数据通信网络性能指标主要是衡量网络性能优劣的参数,主要的性能指标有两种:

① 带宽; ② 时延。

1. 带 宽

带宽是指信号所具有的频率范围,单位为赫兹。一般用来描述模拟信号的频谱,比如人声的带宽大约为 300~3 400 Hz。

由奈奎斯特准则可知,数字数据的最大传输速率与信道的带宽成正关系。因此,带宽也能描述数字信号的传输速率,单位是比特每秒。家庭办理宽带的时候就是用速率来描述带宽的,例如在电信办理 500 M 的宽带,指的就是租用一条传输速率为 500 Mb/s 的上网线路。

过小的带宽会使传输效率变低,给用户带来下载慢、视频加载时间长等不好的体验。

2. 时 延

数据包在网络中传输,从源站点到达目标站点所耗费的时间就称为时延或者延迟。网络时延与电信号在导体中的传播速度有关,还与通信节点对数据的处理时间有关。前者叫作传播时延,后者叫节点时延,网络的总时延是由传播时延和节点时延共同组成,节点时延占主导地位。

网络时延越大网络反应就越慢,给用户带来网课卡顿、游戏掉线、抢红包慢半拍等不好的体验。

作为数据网维护人员，不仅要知道衡量网络性能的参数，还应掌握测试网络性能的方法和手段，具体可以参照以下微课，这里就不具体展开了。



微课：数据通信网络性能测试

1.1.4 数据通信过程中涉及的主要技术问题

在数据通信系统中，必须解决以下几个基本问题。

1. 数据传输方式

数据在计算机中是以二进制形式的数字信号表示的，但在数据通信过程中，是以数字信号表示还是以模拟信号表示？是采用串行传输方式还是并行传输方式？是采用单工传输方式还是采用半双工传输方式？是采用同步传输方式还是异步传输方式？

2. 数据交换技术

数据通过通信子网的交换方式，是数据通信的过程中要解决的另一个问题。当我们设计一个网络系统时，是采用电路交换方式还是选择存储转发技术？是采用报文交换还是分组交换？是采用数据报方式还是虚电路方式？

3. 差错控制技术

我们都知道，实际的通信信道是有噪声的，为了达到网络规定的可靠性要求，必须采用差错控制。差错控制的主要内容包括差错检测和差错纠正两个方面，通过这两方面的技术处理来达到数据准确、可靠传输的通信目的。

以上问题我们将在后面的任务中逐一介绍。

课后思考题

1. 数据通信过程中涉及的主要技术问题有哪些？
2. 简述计算机网络与数据通信网络的关系。
3. 简述数据的概念。

任务 1.2 数据传输方式

任务简介

本任务主要介绍数据传输方式。按被传输的数据信号特点可分为基带传输、频带传输和宽带传输；按数据代码传输的顺序可分为并行传输和串行传输；按数据传输的同步方式可分为同步传输和异步传输；按数据传输的方向和时间关系可分为单工、半双工和全双工传输。学习完本任务能使读者了解数据在信道上传送所采用的方式。

任务目标

- (1) 描述数据传输方式的分类。
- (2) 描述各双工方式的区别。
- (3) 描述串行传输与并行传输的区别。

1.2.1 基带、频带和宽带传输

1.2.1.1 基带传输和数字数据编码

在数据通信中，由计算机、终端等直接发出的信号是二进制数字信号。这些二进制信号是典型的矩形电脉冲信号，由“0”和“1”组成。其频谱包含直流、低频和高频等多种成分，我们把数字信号频谱中，从直流（零频）开始到能量集中的一段频率范围称为基本频带，简称为“基带”。因此，数字信号也被称为“数字基带信号”，简称为“基带信号”。如果在线路上直接传输基带信号，我们称为“数字信号基带传输”，简称为“基带传输”。

基带传输是一种最简单、最基本的传输方式。比如近距离的局域网中都采用基带传输。在基带传输中需要解决的基本问题是，基带信号的编码和收发双方的同步问题。

基带传输中数据信号的编码方式主要有几种，不归零码、曼彻斯特编码、差分曼彻斯特编码和 mB/nB 编码。图 1-3 显示了前 3 种编码的波形。

1. 不归零编码（Non-Return to Zero, NRZ）

NRZ 编码分别采用两种高低不同的电平来表示二进制的“0”和“1”。通常，用高电平表示“1”，低电平表示“0”，如图 1-3（a）所示。

NRZ 编码实现简单，但其抗干扰能力较差。另外，由于接收方不能准确地判断位的开始与结束，从而收发双方不能保持同步，需要采取另外的措施来保证发送时钟与接收时钟的同步。

2. 曼彻斯特编码（Manchester）

曼彻斯特编码是目前应用最广泛的编码方法之一，它将每比特的信号周期 T 分为前 $T/2$ 和后 $T/2$ 。用前 $T/2$ 传送比特的反（原）码，用后 $T/2$ 传送该比特的原（反）码。因此，在这种编码方式中，每一位波形信号的中点（即 $T/2$ 处）都存在一个电平跳变，如图 1-3（b）所示。

由于任何两次电平跳变的时间间隔是 $T/2$ 或 T ，因此提取电平跳变信号就可作为收发双方的同步信号，而不需要另外的同步信号，故曼彻斯特编码又被称为自含时钟编码。

3. 差分曼彻斯特编码（Difference Manchester）

差分曼彻斯特编码是对曼彻斯特编码的改进。其特点是每一位二进制信号的跳变依然提供收发端之间的同步，但每位二进制数据的取值要根据其开始边界是否发生跳变来决定。若一个比特开始处存在跳变则表示“0”，无跳变则表示“1”，如图 1-3（c）

所示。之所以采用位边界的跳变方式来决定二进制的取值是因为跳变更易于检测。

两种曼彻斯特编码都是将时钟和数据包含在数据流中，在传输代码信息的同时，也将时钟同步信号一起传输到对方，因此具有自同步能力和良好的抗干扰性能。但每一个码元都被调成两个电平，所以数据传输速率只有调制速率的 1/2。

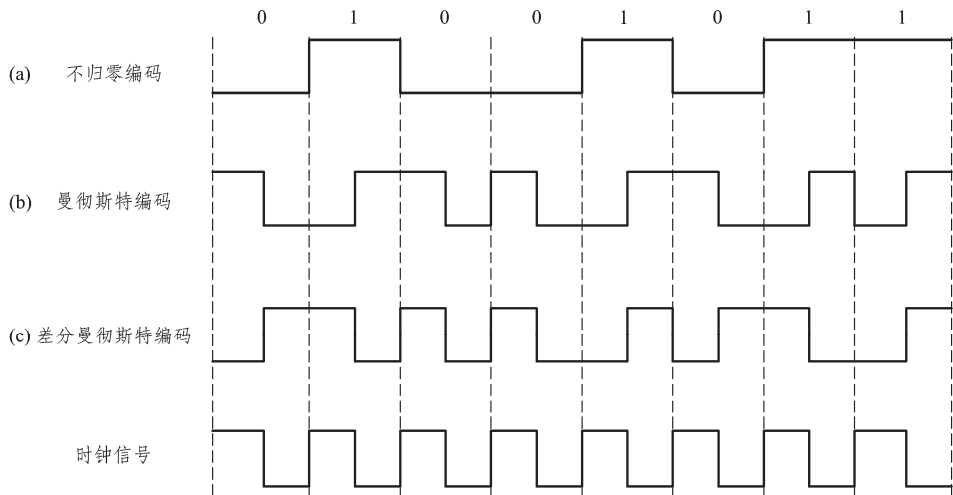


图 1-3 数字信号的三种编码方式

4. mB/nB 编码

为了提高编码效率，在高速局域网络中常采用 4B/5B、6B/8B、10B/8B 及 64B/66B 等编码方式。如 4B/5B 编码是将 4 位二进制代码组进行编码，转换成 5 位二进制代码组，在 5 位二进制代码组中有 32 种组合，其中 16 种组合用于数据，另外 16 种组合用于开销。这个冗余使差错检测更可靠，可以提供独立的数据和控制字，并且能够对抗较差的信道情况。

1.2.1.2 频带传输与模拟数据编码

在实现远距离通信时，经常要借助于电话线路，此时需利用频带传输方式。所谓频带传输是指将数字信号调制成音频信号后再进行发送和传输，到达接收端时再把音频信号解调成原来的数字信号。可见，在采用频带传输方式时，要求发送端和接收端都要安装调制器和解调器。利用频带传输，不仅实现了利用电话系统传输数字信号，而且可以实现多路复用，以提高传输信道的利用率。

模拟信号传输的基础是载波，载波具有三大要素：幅度、频率和相位，数字信号可以针对载波的不同要素或它们的组合进行调制。

将数字信号调制成电话线上可以传输的信号有三种基本方式：振幅键控 (Amplitude Shift Keying, ASK)、频移键控 (Frequency Shift Keying, FSK) 和相移键控 (Phase Shift Keying, PSK)。

1. 振幅键控 (ASK)

在 ASK 方式下，用载波的不同幅度来表示二进制的两种状态，如载波存在时，表示二进制“1”；载波不存在时，表示二进制“0”，如图 1-4 (a) 所示。采用

ASK 技术比较简单，但抗干扰能力差，容易受增益变化的影响，是一种低效的调制技术。

2. 频移键控 (FSK)

在 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，如载波频率为高频时，表示二进制“1”；载波频率为低频时，表示二进制“0”，如图 1-4 (b) 所示。FSK 技术的抗干扰能力优于 ASK 技术，但所占的频带较宽。

3. 相移键控 (PSK)

在 PSK 方式下，用载波信号的相位移动来表示数据，如载波不产生相移时，表示二进制“0”；载波有 180° 相移时，表示二进制“1”，如图 1-4 (c) 所示。对于只有 0° 或 180° 相位变化的方式称为二相调制，而在实际应用中还有四相调制、八相调制、十六相调制等。PSK 方式的抗干扰性能好，数据传输率高于 ASK 和 FSK。

另外，还可以将 PSK 和 ASK 技术相结合，成为相位幅度调制法 (Amplitude Phase Shift Keying, APSK)。采用这种调制方法可以大大提高数据的传输速率。

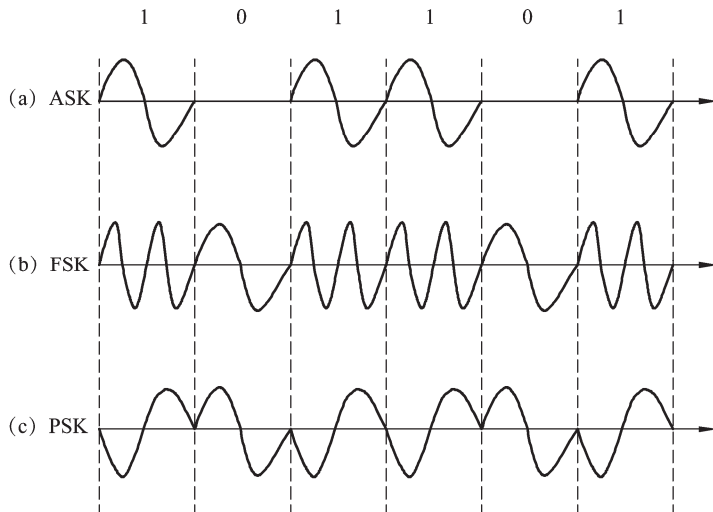


图 1-4 数字数据的三种调制方式

1.2.1.3 宽带传输

宽带传输指在传输时将整个带宽划分为若干个子频带，分别用这些子频带来传送音频信号、视频信号以及数字信号。宽带传输常采用 $75\ \Omega$ 的电视同轴电缆或光纤作为传输媒体，带宽为 300 MHz。宽带同轴电缆原是用来传输电视信号的，当用它来传输数字信号时，需要利用电缆调制解调器 (Cable Modem) 把数字信号变换成频率为几十兆赫到几百兆赫的模拟信号。

因此，可利用宽带传输系统来实现声音、文字和图像的一体化传输，这也就是通常所说的“三网融合”，即语音网、数据网和电视网合一。另外，使用 Cable Modem 上网就是基于宽带传输技术实现的。

宽带传输的优点是传输距离远，可达几十公里，且同时提供了多个信道。但它的技术较复杂，其传输系统的建设成本也相对较高。

1.2.2 并行和串行传输

1. 并行传输

并行传输可以一次同时传输若干比特的数据，从发送端到接收端的信道也就需要使用相应数目的传输线。常用的并行方式是将构成一个字符的代码的若干位分别通过同样多的并行信道同时传输。例如，计算机的并行口常用于连接打印机，一个字符分为 8 位，因此每次并行传输 8 bit 信号，如图 1-5 所示。在并行传输中，所有的数据位都需要在同一时间到达接收端。在长距离传输中，由于信号传播延迟等原因，很难保证所有的数据位都能精确同步到达。因此并行传输方式不适合长距离通信。

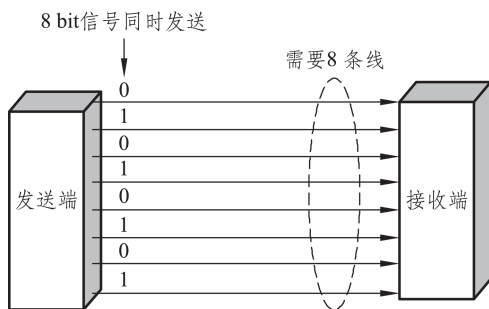


图 1-5 并行传输

2. 串行传输

串行传输是指构成字符的二进制代码序列在一条数据线上以位为单位，按时间顺序逐位传输的方式。该方式易于实现，同样需要解决收发双方同步的问题，否则接收端不能正确区分所传的字符。串行传输较并行传输效率低，但只需一条信道，可以节省传输通道，因而是当前计算机网络中普遍采用的传输方式，如图 1-6 所示。

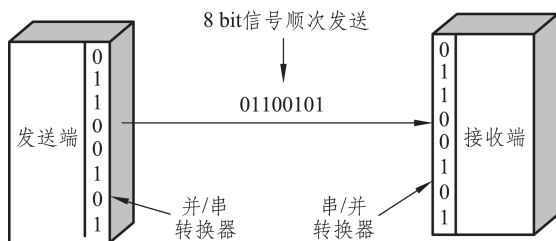


图 1-6 串行传输

应当指出，由于计算机内部操作多采用并行处理方式，因此，在实际中采用串行传输时，发送端需要使用并/串转换装置，将计算机输出的二进制并行数据流变为串行数据流，然后，送到信道上传输。在接收端，则需要通过串/并转换装置，还原成并行数据流。



微课：并行和串行传输

1.2.3 异步传输和同步传输

在数据通信中，为了保证传输数据的正确性，收发两端必须保持同步。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率和起止时间接收数据。数据传输的同步方式有两种：异步传输和同步传输。

1. 异步传输

异步传输又称为起止方式。每次只传输 1 个字符。每个字符用 1 位起始位引导、1 位或 2 位停止位结束，如图 1-7 所示。在没有数据发送时，发送端可发送连续的停止位。接收端根据“1”到“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。

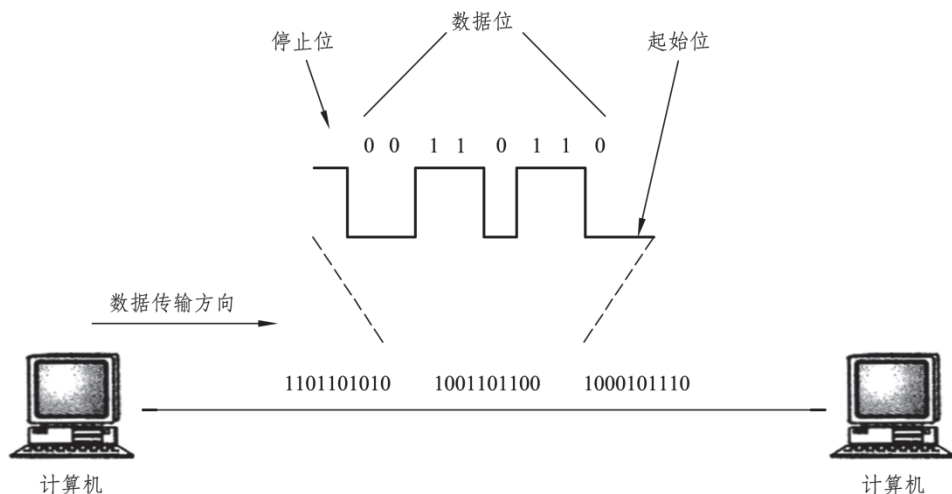


图 1-7 异步通信方式

在异步传输中，由于不需要发送端和接收端之间另外传输定时信号，因而实现起来比较简单。但是每个字符有 2 或 3 位额外开销，降低了传输效率，同时由于收发双方时钟的差异，传输速率不能太高。

2. 同步传输

通常，同步传输方式的信息格式是一组字符或一个二进制位组成的数据块（帧）。对这些数据不需要附加起始位和停止位，而是在发送一组字符或数据块之前先发送一个同步字节（01111110），用于接收方进行同步检测，从而使收发双方进入同步状态。在同步字符或字节之后，可以连续发送任意多个字符或数据块，发送数据完毕后，再使用同步字符或字节来标识整个发送过程的结束，如图 1-8 所示。

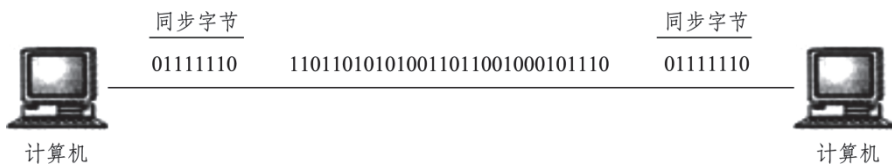


图 1-8 同步通信方式

在同步传送时，由于发送方和接收方将整个字符组作为一个单位传送，且附加位又非常少，从而提高了数据传输的效率。这种方法一般用在高速传输数据的系统中，比如，计算机之间的数据通信。

另外，在同步通信中，要求收发双方之间的时钟严格同步，而使用同步字符或同步字节只能同步接收数据帧，要保证接收端接收的每一个比特都与发送端保持一致，这就要使用位同步的方法。对于位同步，可以使用一个额外的专用信道发送同步时钟来保持双方同步，也可以使用编码技术将时钟编码到数据中，在接收端接收数据的同时就获取到同步时钟，两种方法相比，后者的效率更高，使用得更为广泛。



微课：异步和同步传输

1.2.4 单工、半双工和全双工

数据传输通常需要双向通信，能否实现双向传输是信道的一个重要特征。按照信号传送方向与时间的关系，数据传输可以分为三种：单工、半双工和全双工（见图 1-9）。

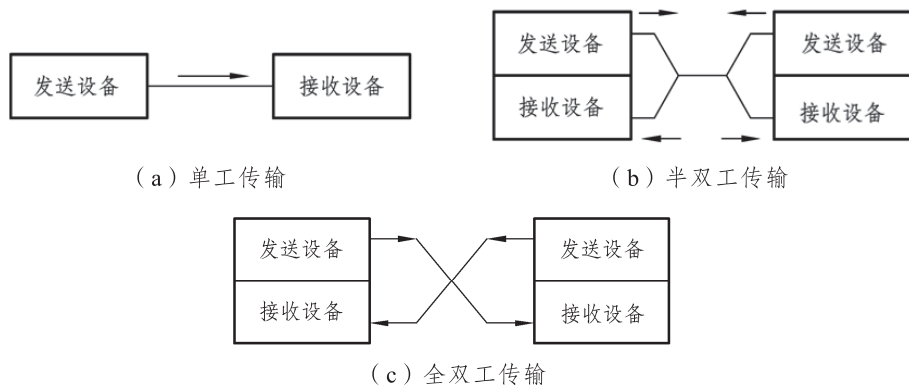


图 1-9 单工、半双工和全双工通信方式

1. 单工传输

单工传输是指通信信道是单向信道，数据信号仅沿一个方向传输，发送方只能发送不能接收，而接收方只能接收不能发送，任何时候都不能改变信号传送方向，如图 1-9 (a) 所示。例如，无线电广播和闭路电视都属于单工传输。

2. 半双工传输

半双工传输是指信号可以沿两个方向传送，但同一时刻一个信道只允许单方向传送，即两个方向的传输只能交替进行，而不能同时进行。当改变传输方向时，要通过开关装置进行切换，如图 1-9 (b) 所示。半双工信道适用于会话式通信。例如，公安系统使用的“对讲机”和军队使用的“步话机”。半双工方式在计算机网络系统中适用于终端与终端之间的会话式通信。

3. 全双工传输

全双工传输是指数据可以同时沿相反的两个方向进行双向传输，如图 1-9 (c) 所示。例如，电话通信就是全双工传输。



微课：单工、半双工和全双工

课后思考题

1. 什么是基带传输和频带传输？它们分别要解决什么样的关键问题？
2. 何谓单工、半双工和全双工传输？请举例说明它们的应用场景。
3. 在串行传输过程中需解决什么问题？采用什么方法解决？
4. 在基带传输中常用哪几种编码方法？试用这几种方法对数据“01001001”进行编码（画出编码图）。

任务 1.3 数据交换技术

任务简介

本任务主要介绍了实现数据寻址的交换技术，数据交换技术有三种：电路交换、报文交换和分组交换。根据采用的交换技术的不同，网络为用户提供的通信服务有面向连接的服务和无连接的服务。学习完本任务能使读者了解数据交换的三种技术和每种技术的特点及应用。

任务目标

- （1）描述实现数据交换的三种技术。
- （2）描述各交换技术的特点。
- （3）描述面向连接与无连接的区别。

1.3.1 电路交换

1.3.1.1 电路交换原理

电路交换（Circuit Switching）也称为线路交换，它是一种直接的交换方式，为一对需要进行通信的节点之间提供一条临时的专用通道，这条通道是由节点内部电路通过对传输路径进行适当选择、连接而完成的。电路交换在源和目的之间建立一条物理电路，为通信双方提供数据的传输信道。

最早的电路交换是电话交换系统，电话交换系统的主要设备是程控电话交换机。程控电话交换机能根据用户的拨号信令，在主、被叫用户间建立一条端到端的通信电路；双方利用已经建立的通信电路进行双向通话；当通话完毕单方或双方挂机，则会拆除建立的物理电路。电话交换系统如图 1-10 所示。

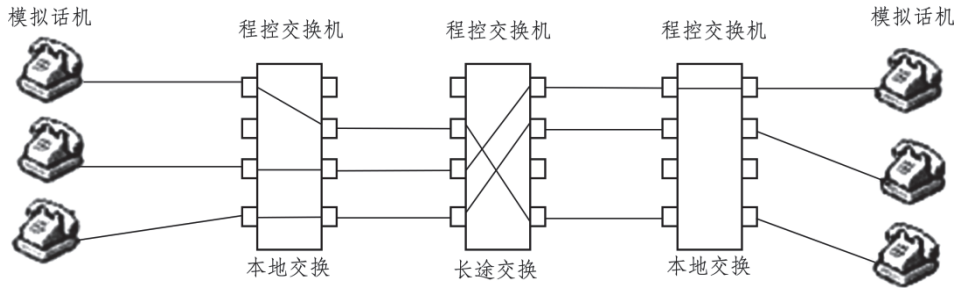


图 1-10 面向连接的电话交换网

1.3.1.2 电路交换的数据传输

1. 模拟电话网实现数据的电路交换

电话网络的用户线和用户电路是模拟的，想要利用电话交换网络传输、交换数字数据，就需要在数据终端与电话网络之间使用调制解调器，调制解调器支持的数据传输速率与所采用的接入技术有关。通过电话网实现数据交换，如图 1-11 所示。



图 1-11 通过电话网实现数据传输

2. 综合业务数字网 (ISDN) 实现数据的电路交换

综合业务数字网 (Integrated Service Digital Network, ISDN) 综合了电话业务和数据通信业务，能传输交换语音，也能传输交换数据。ISDN 网络提供模拟电话接口，也提供数字接口，如图 1-12 所示。数字接口有基本速率接口 $2B+D$ 和基群速率接口 $30B+D$ 。 $2B+D$ 数字接口中每个 B 信道带宽为 64 kb/s ，用户终端可用 1 个或 2 个 B 信道传输数据或电话，D 信道带宽为 16 kb/s ，用于传输信令和 control 信息， $2B+D$ 的带宽为 144 kb/s 。 $30B+D$ 接口的 B 信道速率为 64 kb/s ，D 信道速率为 64 kb/s ， $30B+D$ 的带宽为 2.048 Mb/s ，也就是我们常说的 E1 线。

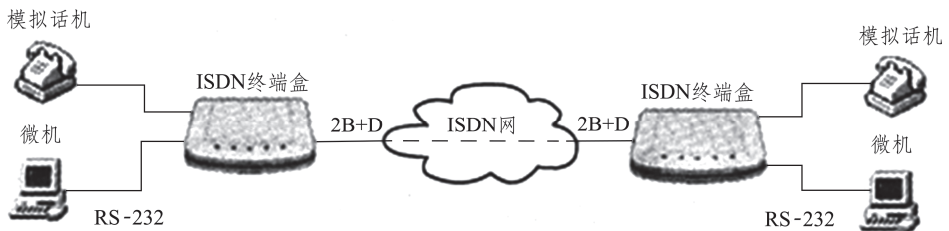


图 1-12 通过 ISDN 网络实现数据传输

1.3.1.3 电路交换的特点

(1) 电路交换技术提供面向连接的通信服务。以电路交换方式传输数据，必须有建立连接、维持连接、拆除连接三个阶段。

(2) 电路交换方式传输延迟小但建立连接的时间长，建立连接后，可连续传输数据。

(3) 电路交换方式独占信道。建立连接期间，通信双方独占信道，信道利用率低。

(4) 电路交换方式无纠错机制。电路交换网络为通信双方提供透明的传输通道，对数据传输过程中产生的差错不作处理。数据的差错控制、同步方式和传输控制都由终端自己协调完成。

(5) 电路传输带宽固定，不适用于突发的数据传输。

1.3.2 报文交换

1. 报文交换原理

报文交换又称为消息交换。在报文交换中，数据是以报文为单位传输，报文可以是一份电报、一个文件、一份电子邮件等。报文的长度不定，它可以有不同的格式，但每个报文除传输的数据外，还必须附加报头信息，报头中包含有源地址和目的地址。

报文交换采用存储转发技术。报文在传输过程中，每个节点都要对报文进行暂存，一旦线路空闲，接收方不忙，就向目的方向传送数据，直至到达目的站。节点根据报头中的目的地址为报文选择路径，并且对收发的报文进行相应的处理，例如差错控制、流量控制，甚至可以进行编码方式的转换等，所以，报文交换是在两个节点间的链路上逐段寻址的，不需要在两个主机间建立多个节点组成的电路通道。图 1-13 所示为报文交换网络结构。

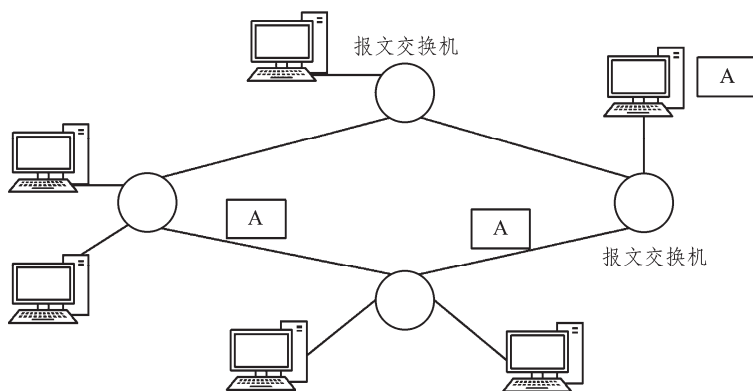


图 1-13 报文交换网络

早期的报文交换机由逻辑电路组成，在有了计算机之后，报文交换机采用了计算机技术。报文交换机实际上是一台专用的计算机，由 CPU、内存、总线，以及众多接口组成，如图 1-14 所示，内部存放有路由表，路由表是转发报文的依据。为了提供更大的存储空间，早期的报文交换机使用外存储器，以存储较大的报文。

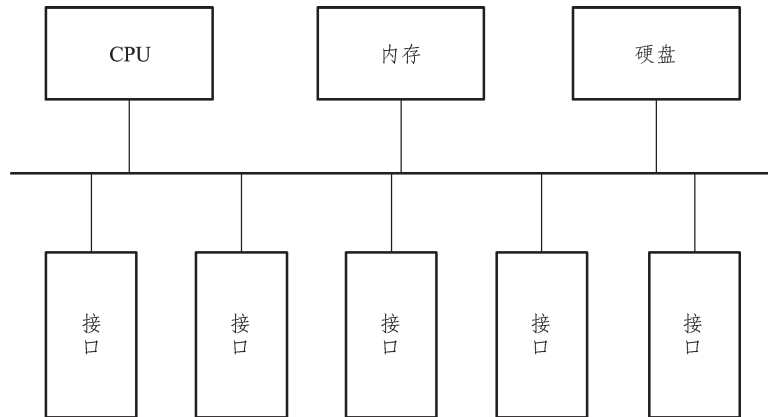


图 1-14 报文机的组成

2. 报文交换的特点

与电路交换方式相比，报文交换方式不要求交换网为通信双方预先建立一条专用的数据通路，因此就不存在建立电路和拆除电路的过程。同时由于报文交换系统能对报文进行缓存，可以使许多报文分时共享一条通信介质，也可以将一个报文同时发送至多个目的站，所以报文交换的线路利用率高。

但是由于采用了对完整报文的存储和转发，每个节点都要将报文完整地接收、存储、检错、纠错、转发，这就必然会产生节点延迟，而且报文交换对报文长度没有限制，报文可以很长，这样就有可能使报文长时间占用某两个节点之间的链路，因此报文交换不适用于对时延有要求的交互式通信场景，如电话通信。

1.3.3 分组交换

分组交换（Packet Switching）即所谓的包交换，是针对报文交换的缺点而提出的一种改进方式。分组交换也属于存储-转发交换方式，但它不像报文交换那样以报文为单位进行寻址，而是以更短的、标准的“报文分组”（Packet）为单位进行数据的交换和传输。分组是一组按照规定格式排列的二进制数，它包含载荷数据、呼叫控制信息和差错控制信息。源数据站把这些分组发送到第一个交换节点，分组交换机为分组选择路由，并转发分组至下一个节点，像这样一段一段传下去直到将分组转发到目的终端，完成整个通信过程。

分组交换有两种方式：数据报分组交换和虚电路分组交换。

1. 数据报分组交换

数据报分组交换类似于报文交换，交换网把进网的任一分组都当作单独的“小报文”来处理，每个分组单独选择路由，不同的分组可以走不同的路径。每个分组经过网络产生的时延不同，到达目的节点的顺序也可能与发送顺序不一致，目的交换节点必须对分组重新排序，恢复组装为与原来顺序相同的报文。IP 信息网络采用的就是数据报分组交换方式。

数据报的工作方式如图 1-15 所示，假如 A 站有一份比较长的报文要发送给 C 站，则它首先将报文按规定长度划分成若干分组，每个分组附加上地址、纠错码等其他信息，然后将这些分组通过分组交换网发送到目的节点 C。

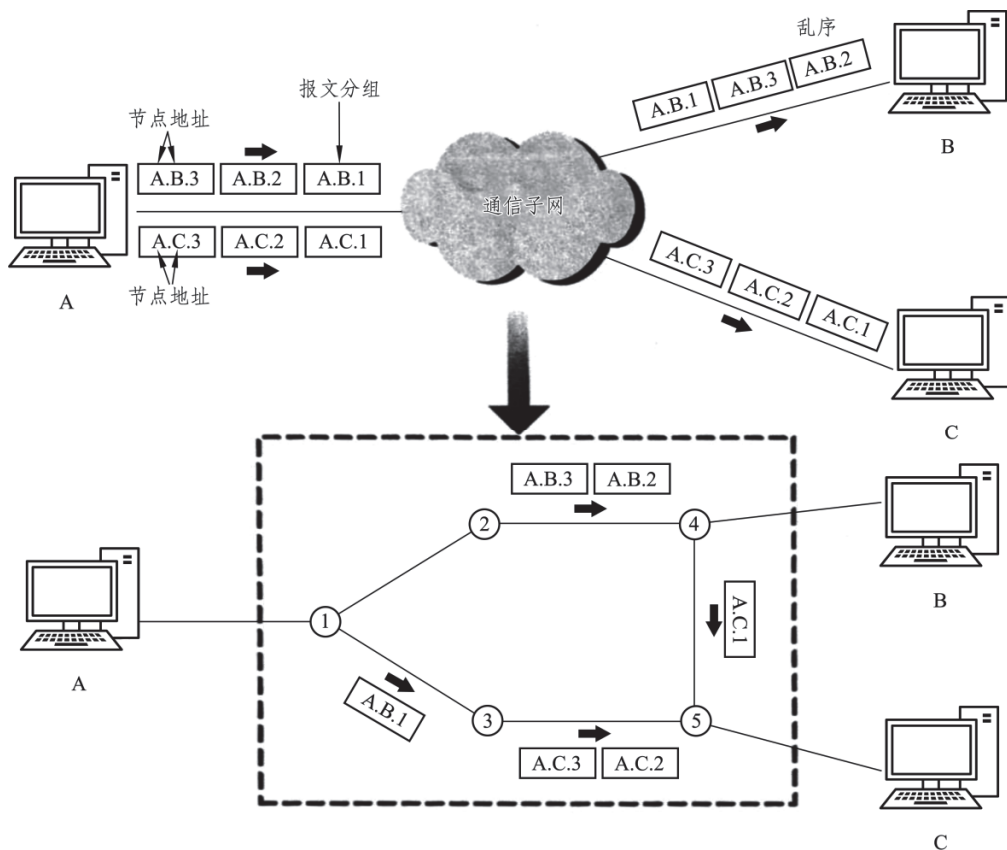


图 1-15 数据报的工作方式

数据报分组交换的特点如下：

- (1) 同一报文的不同分组可以由不同的传输路径通过通信子网传输。
- (2) 同一报文的不同分组到达目的节点时可能出现乱序、重复或丢失现象。
- (3) 每一个报文在传输过程中都必须带有源节点地址和目的节点地址。

由于数据报限制了报文长度，降低了传输时延，从而提高了通信的并发量。这种方式适用于突发性通信。

2. 虚电路分组交换

虚电路是面向连接的通信。X.25、FR、ATM 采用的就是虚电路分组交换方式。

虚电路就是两个用户终端设备在开始发送和接收数据之前通过分组网络建立逻辑上的连接。“虚”是因为这种逻辑连接通路不是专用的，每个节点到其他节点之间可以并发连接多条虚电路，实现资源共享。

所有分组都必须沿着事先建立的虚电路传输，每个分组不再需要目的地址，分组经过的中间节点不再进行路径选择，一系列分组到达目的节点不会出现乱序、重复，因此虚电路适用于大信息量的交互式通信。

随着网络应用技术的迅速发展，大量的高速数据、声音、图像、影像等多媒体数据需要在网络上传输。因此，对网络的带宽和传输的实时性的要求越来越高。传统的分组交换方式已经不能适应新型的宽带综合业务服务的需要。因此，一些新的分组交换技术应运而生，如 MPLS 技术、SR 技术、SDN 技术、NFV 技术等。



微课：数据交换技术

课后思考题

数据交换技术有哪几种？各有什么优缺点？

任务 1.4 差错控制技术

任务简介

数据在信道上传输的过程中，由于信号的衰减、相邻线路间的串扰和外界的干扰等，会造成发送的数据与接收的数据不一致，也就是产生差错。本任务主要介绍了检测和纠正数据通信中可能出现差错，并且保证数据正确传输的技术。学习完本任务能使读者了解差错控制的方法，理解 CRC 校验的基本工作原理。

任务目标

- (1) 描述差错控制的基本方法。
- (2) 描述常用的检错编码。
- (3) 计算 CRC 校验码的比特序列。

1.4.1 差错控制方法

差错控制分为两个方面：一个是检错，另一个是纠错。常用的差错控制方法是差错控制编码和差错控制纠正机制。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，以判断传输过程中是否有差错发生，这个过程称为校验过程。当发现传输错误时，通常采用差错控制纠正机制进行纠正。

1.4.1.1 差错控制编码

差错控制编码可分为检错码和纠错码。

1. 检错码

检错码是能自动发现差错的编码。接收端能够根据接收到的检错码对接收到的数据进行检查，进而判断传送的数据单元是否有错。检错码生成简单，容易实现，编码和解码的速度较快，目前被广泛应用于有线通信（如计算机网络）中。常用的检错码有：奇偶校验码和 CRC 循环冗余码等。

2. 纠错码

纠错码是不仅能发现差错而且能自动纠正差错的编码。在纠错码编码方式中，接收端不但能发现差错，而且能够确定二进制码元发生错误的位置，从而加以纠正。在使用纠错码纠错时，要在发送数据中设置大量的“附加位”（又称“非信息”位），因此，其传输效率较低，实现起来复杂，编码和解码的速度慢，成本高。纠错码一般应用于无线通信场合。例如，汉明码就是一种纠错码。

1.4.1.2 差错控制纠正机制

差错控制纠正机制是通过反馈重发的方式实现的，自动反馈重发（Automatic Repeat reQuest, ARQ）就是典型的纠正机制，该机制有两种工作方式：停止等待方式和连续方式。

1. 停止等待 ARQ 方式

在停止等待方式中，发送方在发送完一个数据帧后，要等待接收方的应答帧的到来。正确的应答帧表示上一帧数据已经被正确接收，发送方在接收到正确的应答帧（ACK）信号之后，就可以发送下一帧数据。如果收到的是表示出错的应答帧信号（NCK）则重发出错的数据帧。

为了保证按序交付，发送站对数据帧进行编号。由于每次只发送一帧，因此停止等待 ARQ 只使用一个比特进行编号，其编号只有两个值：0 和 1。第一次发送 0 号帧，第二次就发送 1 号帧，第三次再发送 0 号帧，依此类推。在发送确认帧时，要明确是确认接收到哪一个序号的数据帧。习惯记法用 ACK 表示确认。因此，ACK0 表示已正确收到了编号为 1 的帧，并期待收到编号为 0 的帧；同理，ACK1 表示已正确收到了编号为 0 的帧，并期待收到编号为 1 的帧。

如图 1-16 说明数据传输时，在各种情况下，停止等待 ARQ 的工作原理。

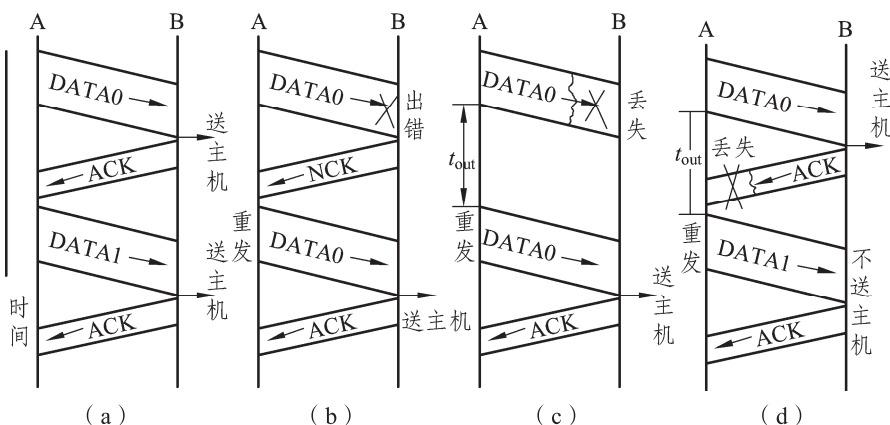


图 1-16 停止等待的 ARQ 工作原理

1) 数据在传输过程中不出差错的正常情况

如图 1-16 (a) 所示，节点 B 收到一个正确的数据帧后，立即交付给主机 B，并向主机 A 发送一个确认帧 ACK。当主机 A 收到确认帧 ACK 后，再发送下一个数据帧。由此实现了接收端对发送端的流量控制。

2) 数据在传输过程中出现差错的情况

如图 1-16 (b) 所示, 接收端检验出收到的数据帧出现差错时, 向主机 A 发送一个否认帧 NCK, 以表示主机 A 应重发出错的那个数据帧。主机 A 可多次重发, 直到收到主机 B 发来的确认帧 ACK 为止。

3) 数据帧丢失的情况

图 1-16 (c) 所示, A 站发送的 0 号数据帧在传输过程中丢失了, 发生帧丢失时, 节点 B 不向节点 A 发送任何应答帧。由于节点 A 收不到应答帧, 或是应答帧发生了丢失, 如图 1-16 (d) 所示。A 站就会一直等待下去, 这时就会出现死锁现象。

解决死锁的方法是使用定时器。发送站 A 每次发送完一个数据帧, 就启动一个超时时钟。若到了超时时钟所设置的重传时间, A 站仍收不到接收站 B 的确认帧, A 就重传前面所发送的数据帧。

4) 应答帧丢失的情况

如图 1-16 (d) 所示, 由于应答帧丢失, 超时重发使主机 A 重发数据帧, 而主机 B 则会收到两个相同的数据帧。由于主机 B 无法识别重发的数据帧, 致使在其收到的数据中出现重复帧的差错。

重复帧是一种不允许出现的差错。解决的方法是使每一个数据帧带上不同的发送序号。每发送一个新的数据帧, 则将其发送序号加 1。若接收端收到发送序号相同的数据帧, 就应将重复帧丢掉。同时必须向主机 A 发送一个确认帧 ACK。

2. 连续 ARQ 方式

连续 ARQ 方式有两种: 拉回方式与选择重发方式。

1) 拉回方式

在拉回方式中, 发送方可以连续向接收方发送数据帧, 接收方对接收的数据帧进行校验, 然后向发送方发回应答帧, 如果接收端检测到错误, 它将请求重发从错误数据帧开始的所有数据帧, 如图 1-17 所示。发送方连续发送了 0~5 号数据帧, 从应答帧中得知 2 号帧的数据传输错误。那么, 发送方将停止当前数据帧的发送, 重发 2、3、4、5 号数据帧。拉回状态结束后, 再接着发送 6 号数据帧。

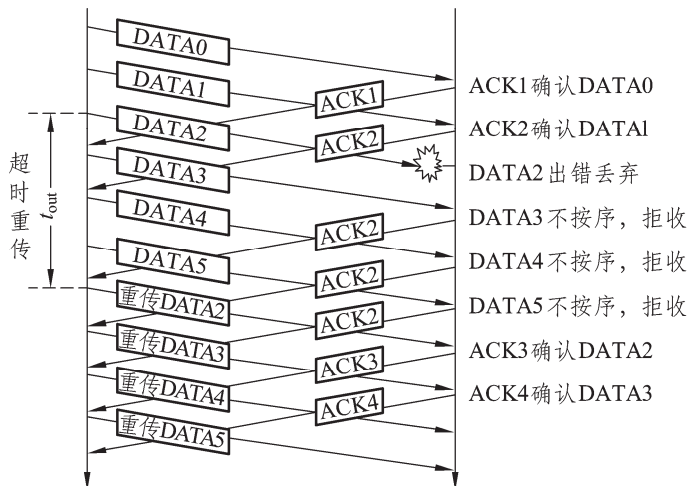


图 1-17 连续 ARQ 拉回方式

2) 选择重发方式

选择重发方式与拉回方式的不同之处在于：如果在发送 0~5 号数据帧时，接收端发现编号 2 的数据帧传输出错，那么，发送方在发完 5 号数据帧后，将只重发出错的 2 号数据帧。选择重发完成之后，再接着发送编号为 6 的数据帧。显然，选择重发方式的效率将高于拉回方式。

1.4.2 常用的检错控制编码

1.4.2.1 奇偶校验码

奇偶校验码是一种最简单的检错码，其编码规则是：首先将所要传送的信息分组，然后在码组内的信息元后面附加有关校验码元，使得该码组中码元“1”的个数为奇数或偶数，前者称为奇校验，后者称为偶校验。

这种码是最简单的检错码，实现起来容易，因而被广泛采用。

在实际的数据传输中，奇偶校验又分为垂直奇偶校验、水平奇偶校验和垂直水平奇偶校验。

1. 垂直奇偶校验

实际运用中，对数据信息的分组通常是按字符进行的，即一个字符构成一组，又称字符奇偶校验。以 7 位代码为例，其编码规则是在每个字符的 7 位信息码后附加一个校验位 0 或 1，使整个字符中二进制位 1 的个数为奇数。例如，设待传送字符的比特序列为 1100001，则采用奇校验码后的比特序列形式为 11000010。接收方在收到所传送的比特序列后，通过检查序列中的 1 的个数是否仍为奇数来判断传输是否发生了错误。若比特序列在传送过程中发生错误，就可能会出现 1 的个数不为奇数的情况。发送序列 1100001 采用垂直奇校验后可能会出现三种典型情况如图 1-18 (a) 所示。显然，垂直奇校验只能发现字符传输中的奇数位错，而不能发现偶数位错。

发送方	传输信道	接收方	
11000010	→	11000010	接收的编码无差错
11000010		11001010	接收的编码中1的个数为偶数，因此出现差错
11000010		11011010	接收的编码中1的个数为奇数，因此判断为无差错，但实际上出现了差错，因此不能检测出偶数个差错

(a) 垂直奇校验示例

字母	前7行为对应字母的ASCII码，最后一行是水平奇校验编码（粗体）
a	1100001
b	1100010
c	1100011
d	1100100
e	1100101
f	1100110
g	1100111
校验位	0011111

(b) 水平奇校验示例

字母	最后一行是水平奇校验编码，最后一列是垂直奇校验编码（均为粗体）
a	1100001 0
b	1100010 0
c	1100011 1
d	1100100 0
e	1100101 1
f	1100110 1
g	1100111 0
校验位	00111110

(c) 垂直水平奇校验示例

图 1-18 奇偶校验码示例

2. 水平奇偶校验

水平奇偶校验又称为组校验，是将所发送的若干个字符组成字符组或字符块，形式上看相当于一个矩阵，每行为一个字符，每列为所有字符对应的相同位，如图 1-18 (b) 所示。在这一组字符的末尾即最后一行附加上一个校验字符，该校验字符中的第 i 位分别是对应组中所有字符第 i 位的校验位。显然，采用水平奇偶校验，也只能检验出字符块中某一系列中的 1 位或奇数位出错。

3. 垂直水平奇偶校验

垂直水平奇偶校验又称为方块校验，既对每个字符做垂直校验，同时也对整个字符块做水平校验，使奇偶校验码的检错能力可以明显提高。图 1-18 (c) 所示为一个垂直水平奇校验的例子。采用这种校验方法，如果有两位传输出错，则不仅从每个字符中的垂直校验位中反映出来，同时，也在水平校验位中得到反映。因此，这种方法有较强的检错能力，基本能发现所有 1 位、2 位或 3 位的错误，从而使误码率降低 2~4 个数量级。因此被广泛地用在计算机通信和计算机外设的数据传输中。

但是从总体上讲，虽然奇偶校验实现起来较简单，但其检错能力有限。故这种校验一般只用于通信质量要求不高的场景。

1.4.2.2 循环冗余校验码

循环冗余校验码 (Cyclic Redundancy Check, CRC) 是一种被广泛采用的多项式检错编码。CRC 码由两部分组成，前一部分是 $k+1$ 个比特的待发送信息，后一部分是 r 个比特的冗余码。由于前一部分是实际要传送的内容，因此是固定不变的，CRC 码的产生关键在于后一部分冗余码的计算。冗余码的计算中要用到两个多项式： $f(x)$ 和 $G(x)$ 。其中， $f(x)$ 是一个 k 阶多项式，其系数是待发送的 $k+1$ 个比特序列； $G(x)$ 是一个 r 阶的生成多项式，由收发双方预先约定。

CRC 校验的基本工作原理如图 1-19 所示。例如，假设实际要发送的信息序列是 1010001101，收发双方预先约定了一个 5 阶 ($r=5$) 的生成多项式 $G(x)=x^5+x^4+x^2+1$ ，那么可参照下面的步骤来计算相应的 CRC 码。

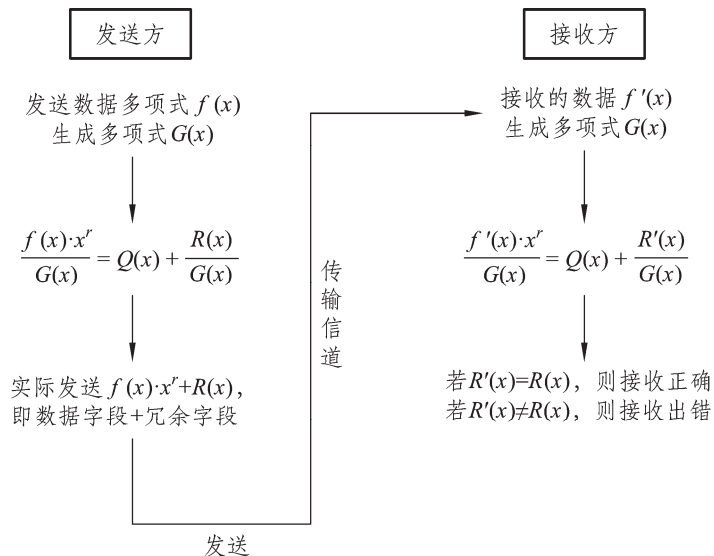


图 1-19 CRC 校验的基本原理

(1) 以发送的信息序列 1010001101 (10 个比特) 作为 $f(x)$ 的系数, 得到对应的 $f(x)$ 为 9 阶多项式:

$$f(x) = 1 \cdot x^9 + 0 \cdot x^8 + 1 \cdot x^7 + 0 \cdot x^6 + 0 \cdot x^5 + 0 \cdot x^4 + 1 \cdot x^3 + 1 \cdot x^2 + 0 \cdot x + 1$$

(2) 获得 $x^r f(x)$ 的表达式 $x^5 f(x) = x^{14} + x^{12} + x^8 + x^7 + x^5$, 该表达式对应的二进制序列为 101000110100000, 相当于信息序列向左移动 $r=5$ 位, 即在低位补 5 个 0。

(3) 计算 $x^5 f(x)/G(x)$, 得到 r 个比特的冗余序列:

$x^5 f(x)/G(x) = (101000110100000) / (110101)$, 得余数为 01110, 即冗余序列。该冗余序列对应的余式 $R(x) = 0 \cdot x^4 + x^3 + x^2 + x + 0 \cdot x^0$ [注意: 若 $G(x)$ 为 r 阶, 则 $R(x)$ 对应的比特序列长度为 r 位]。

另外, 由于模 2 除法在做减法时不借位, 故相当于在进行异或运算。上述多项式的除法过程如下:

$$\begin{array}{r}
 \overline{1101010110} \\
 110101 \int 101000110100000 \\
 \underline{110101} \\
 0111011 \\
 \underline{110101} \\
 00111010 \\
 \underline{110101} \\
 00111110 \\
 \underline{110101} \\
 00101100 \\
 \underline{110101} \\
 0110010 \\
 \underline{110101} \\
 0110 \\
 0000
 \end{array}$$

01110 余数, 即校验序列 ($r=5$, r 也是 $G(x)$ 的阶)。

(4) 得到带 CRC 校验的发送序列:

即将 $f(x) \cdot x^r + R(x)$ 作为带 CRC 校验的发送序列。此例中发送序列为 101000110101110。实际运算时, 也可用模 2 加法进行。从形式上看, 也就是简单地在原信息序列后面附加上冗余码。

(5) 在接收端, 对收到的序列进行校验:

对接收到的数据序列用同样的生成多项式进行求余运算, 若 $R'(x) = R(x)$, 则表示数据传输无误, 否则说明数据传输过程出现差错。

例如, 若收到的序列是 101000110101110, 用它除以同样的生成多项式 $G(x) = x^5 + x^4 + x^2 + 1$ (即 110101) 后, 所得余数为 0, 则表示收到的序列无差错。

CRC 校验方法是利用多个数学公式、定理和推论实现的。CRC 中的生成多项式对于 CRC 的检错能力和检错效果会产生很大的影响。生成多项式 $G(x)$ 的构造是在经过严格的数学分析和实验后才确定的, 有着相应的国际标准。常见的标准生成多项式如下:

$$\text{CRC-12: } G(x) = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + 1$$

CRC-16: $G(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$

CRC-32: $G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$

CRC 校验具有很强的检错能力, 理论证明, CRC 能够检验出下列差错:

- ① 全部的奇数个错。
- ② 全部的两位错。
- ③ 全部长度小于或等于 r 位的突发错。其中, r 是冗余码的长度。

可以看出, 只要选择足够长的冗余位, 漏检率将趋近于 0。由于 CRC 码的检错能力强, 且容易实现, 因此是目前应用最广泛的检错码编码之一。CRC 码的生成和校验过程可以用软件或硬件方法来实现, 如可以用移位寄存器和半加法器方便地实现。

课后思考题

1. ARQ 有哪几种方式? 分析其过程。
2. 试通过计算求出下面的正确答案。

(1) 条件:

- ① CRC 校验的生成多项式为: $G(x) = x^5 + x^4 + x^2 + 1$ 。
- ② 要发送的数据比特序列为: 100011010101 (12 bit)。

(2) 要求:

- ① 经计算求出 CRC 校验码的比特序列。
- ② 写出含有 CRC 校验码的, 实际发送的比特序列。

任务 1.5 认识基本数据通信接口

任务简介

本任务主要介绍了在实际的数据通信中, 通信设备之间如何使用相应的接口进行连接。为了实现正确的连接, 每个接口都要遵守相同的标准, 而被广泛使用的数据通信接口标准有以太网、EIA RS-232C、EIA RS-499 以及 ITU-T 建议的 V.24、V.35 等标准。学完本任务能使读者了解数据通信常用的接口标准。

任务目标

描述数据通信常用的接口标准。

1.5.1 以太网接口

以太网技术是目前局域网组网的主流技术, 同时在局域网组建中使用的以太网协议, 为网络体系中的软件和硬件提出了相应的规范和标准。其中硬件标准就规定了局域网中数据连接的接口即以太网接口。现在大量的通信设备都带有这样的 LAN 接口, 俗称网口, 该接口的特点是可灵活组网、多点通信、速率高等, 是目前数据通信设备上的主流接口。

该接口主要是用于数据通信设备之间的连接。然而，以太网类型是多种多样的，这也就决定了以太网口的接口类型也可能是多样的。不同的网络有不同的接口类型，常见的以太网接口主要有 AUI、BNC、RJ-45、FDDI、光纤以太网接口等。

1.5.2 EIA RS-232C 接口

在串行通信中，EIA RS-232C（又称为串口）是应用最为广泛的标准，最初由美国电子工业协会（EIA）于 1970 年制定。RS-232C 是 RS-232 系列中的一个版本，其中“C”代表第三次修订。

RS-232C 标准提供了一个利用公用电话网络作为传输媒体，并通过调制解调器将远程设备连接起来的技术规定。图 1-20 显示了使用 RS-232C 接口通过电话网实现数据通信的示意图，其中，用来发送和接收数据的计算机或终端系统称为数据终端设备（DTE），如计算机；用来实现信息的收集、处理和变换的设备称为数据通信设备（DCE），如调制解调器。

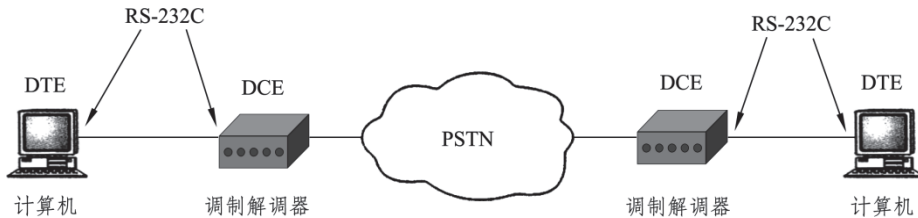


图 1-20 使用 RS-232C 接口的数据通信

1.5.2.1 RS-232C 接口特性

RS-232C 使用 9 针或 25 针的 D 形连接器 DB-9 或 DB-25，如图 1-21 所示。目前，绝大多数计算机使用的是 9 针的 D 形连接器。RS-232C 采用信号电平 $-5 \sim -15 \text{ V}$ 代表逻辑“1”， $+5 \sim +15 \text{ V}$ 代表逻辑“0”。在传输距离不大于 15 m 时，最大传输速率为 19.2 kb/s。

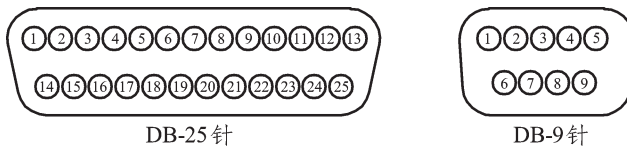


图 1-21 DB-25 和 DB-9 针的 RS-232C 接口

RS-232C 接口中几乎每个针脚都有明确的功能定义，但在实际应用中，并不是所有的针脚都会使用，表 1-1 显示了 DB-25 针脚功能定义。表 1-2 显示了 9 针和 25 针的对应关系。

表 1-1 DB-25 针脚功能定义

针脚号	信号名称	说明
1	保护地（SHG）	屏蔽地线
7	信号地（SIG）	公共地线
2	发送数据（TXD）	DTE 将数据传送给 DCE
3	接收数据（RXD）	DTE 从 DCE 接收数据

续表

引脚号	信号名称	说明
4	请求发送 (RTS)	DTE 到 DCE 表示发送数据准备就绪
5	允许发送 (CTS)	DCE 到 DTE 表示准备接收要发送的数据
6	数据传输设备就绪 (DSR)	通知 DTE, DCE 已连接到线路上准备发送
20	数据终端就绪 (DTR)	DTE 就绪, 通知 DCE 连接到传输线路
22	振铃指示 (RI)	DCE 收到呼叫信号向 DTE 发 RI 信号
8	接收线载波检测 (DCD)	DTE 向 DCE 表示收到远端来的载波信号
21	信号质量检测	DCE 向 DTE 报告误码率的高低
23	数据信号速率选择器	DTE 与 DCE 间选择数据速率
24	发送器码元信号定时 (TC)	DTE 提供给 DCE 的定时信号
15	发送器码元信号定时 (TC)	DCE 发出, 作为发送数据时钟
17	接收器码元信号定时 (RC)	DCE 提供的接收时钟

表 1-2 DB-9 和 DB-25 的对应关系

DB-9	信号名称	DB-25
1	载波检测 (DCD)	8
2	发送数据 (TXD)	2
3	接收数据 (RXD)	3
4	数据终端准备 (DTR)	20
5	信号地 (SIG)	7
6	数据传输设备准备 (DSR)	6
7	请求发送 (RTS)	4
8	允许发送 (CTS)	5
9	振铃指示 (RI)	22

1.5.2.2 RS-232C 接口的应用

1. 异步应用

当两个 DTE (计算机) 设备通过电话线进行异步通信并使用调制解调器作为数据通信设备时, 计算机与调制解调器之间的接口连接如图 1-22 所示, 图中使用的是 DB-9 针的 RS-232C 接口。

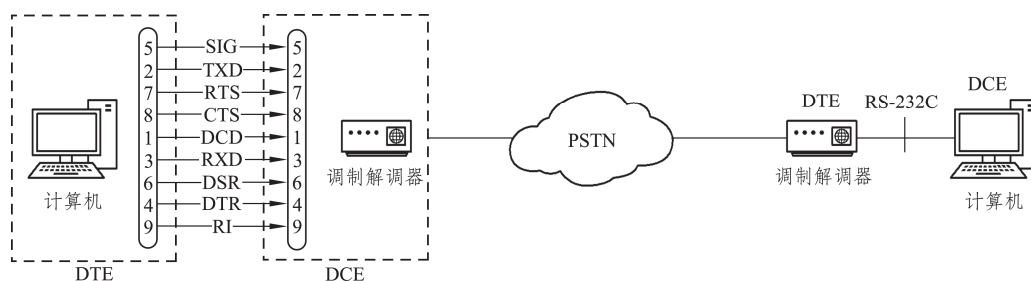


图 1-22 采用 RS-232C 接口的 DTE 与 DCE 之间的异步通信

2. 同步应用

两个 DTE 设备也可以通过 RS-232C 进行同步通信，但需要使用 DB-25 针接口的第 17 和第 24 针脚提供外同步的时钟信号，以实现数据收发的同步。由于 9 针的 RS-232C 接口不能提供时钟信号，因而不能进行同步通信。

1.5.3 EIA RS-449/v.35 接口

由于 RS-232C 标准采用的信号电平较高，使用非平衡的传输方式，而且其接口电路有公共地线，当信号线穿过电气干扰环境时，发送的信号将会受到影响，若干扰影响足够大，则会产生误码，所以存在数据传输速率低、传输距离短和串扰较大等缺点。为了改善 RS-232C 的性能、提高抗干扰能力以及增加传输距离，EIA 于 1977 年制定了与 RS-232C 完全兼容的 RS-449 接口标准。

RS-449 标准定义了 37 针和 9 针两种连接器类型，其中 37 针连接器包含了与 RS-449 相关的所有信号。RS-449 有两个子标准，即平衡式的 RS-422A 标准和非平衡式的 RS-423A 标准。如图 1-23 所示为 RS-449 的机械特性。

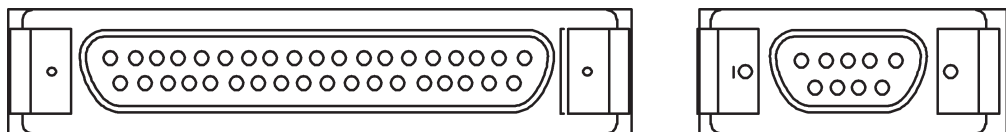


图 1-23 RS-449 的机械特性

1. RS-423-A

RS-423-A 规定了采用非平衡传输时（所有电路共用一个公共地）的电气特性，它采用单端输出差分输入。当连接电缆连接长度为 10 m 时，数据传输速率可达 300 kb/s。

2. RS-422-A

RS-422-A 规定了在采用平衡线路传输时的电气特性，它采用平衡输出差分输入。RS-422-A 有 4 根信号线：两根发送、两根接收，采用全双工通信方式。传输距离超过 60 m 时，数据传输速率可达 2 Mb/s。当传输距离较短时（如 10 m），传输速率可达 10 Mb/s。

1.5.4 EIA RS-485 接口

RS-485 是美国电子工业协会（EIA）在 1983 年批准的平衡传输标准，用来替代 RS-232 接口，弥补其通信速率低、距离短的问题，常用于自动化控制、通信等领域。RS-485 采用差分传输，提供二线制和四线制两种接线方式，二线制的接线方式下 1、2 引脚分别对应 A、B 线，5 引脚对应地线，其余不接，该接线方法只能使其工作在半双工方式上。四线制接线方式下 1~4 引脚分别对应 2 对 A、B 线，一对负责发送，另一对则负责接收，该接线方式只能用于全双工的点对点通信。

RS-485 接口的特性如下：

（1）RS-485 接口采用平衡发送器和差分接收器的组合，抗共模干扰性好，适应较远距离的传输。

(2) RS-485 可以在更长的距离和更高的速率下传输数据。在 9.6 kb/s 的速率下，最大传输距离可达 1200 m；在 10 Mb/s 的速率下，最大传输距离可达 75 m。

(3) RS-485 支持全双工和半双工通信，在半双工模式下可以进行多点通信。

(4) RS-485 接口采用双绞线作为传输介质，支持最多 32 台设备组建总线式网络。

(5) RS-485 的电平标准为逻辑“1”的两线间的电压差为 + (2~6) V，逻辑“0”的两线间的电压差为 - (2~6) V，与 TTL 电平兼容。

1.5.5 USB (Universal Serial Bus)

USB 是通用串行总线接口，早期的 USB 接口使用 4 针插头，其中 2、3 两根针脚传输数据，1、4 两根针脚为外设供电。USB 支持热插拔，最多可连接 127 台外设。自 1996 年 USB-IF (USB Implementers Forum) 组织发布 USB 1.0 标准以来，USB 标准经历了 USB 1.1、USB 2.0 到 USB 3.x 的发展。2019 年，USB-IF 组织发布了最新的 USB4 标准，为 USB 接口带来了全新的标准规范。表 1-3 展示了 USB 各个版本的接口特性。

表 1-3 USB 各版本接口特性

标准版本	发布日期	官方代号	最大传输速率	电压电流支持
USB1.0	1996.01	Low-Speed	1.5 Mb/s	5 V/500 mA
USB1.1	1998.09	Full-Speed	12 Mb/s	5 V/500 mA
USB2.0	2000.04	High-Speed	480 Mb/s	5 V/500 mA
USB3.2Gen1	2008.11	SuperSpeed	5 Gb/s	5 V/900 mA
USB3.2Gen2×1	2013.07	SuperSpeed+	10 Gb/s	20 V/5 A
USB3.2Gen2×2	2017.09	SuperSpeed 20Gbps	20 Gb/s	20 V/5 A
USB4	2019.09	-	40 Gb/s	20 V/5 A



微课：认识基本数据通信接口

课后思考题

1. DTE 和 DCE 是什么？它们分别对应网络中的哪些设备？
2. 常用的接口标准有哪些？

任务 1.6 实训：搭建网络仿真环境

任务简介

本任务主要介绍了华为企业网络仿真平台 eNSP 的安装流程及其基本使用方法。为了弥补实训设备数量不足、更新快、价格高等缺陷，在学习过程中引入仿真环境，