



城市轨道交通 网络通信基础

● 主编 李晓林 方振龙

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

面向“十三五”高等职业教育精品规划教材·轨道交通类

城市轨道交通网络通信基础

主 编 李晓林 方振龙
副主编 李 巍 李金明
参 编 孙晓梅 王 刚

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书全面地介绍了城市轨道交通网络与通信的基础知识和基本技术,全书共分8章,内容包括数据通信和网络技术基础与应用、通信传输介质和组网方式、局域网、无线网、TCP/IP 与因特网、网络管理与网络安全等最新技术和实例,强调了局域网、TCP/IP、城轨通信组网等网络技术,同时兼顾了计算机网络技术的新发展。书中附有部分插图和实例,使读者能够在掌握网络与通信基本知识的前提下,学习当今计算机网络的组网、使用和维护方法。每章都有不同类型的习题,供读者练习巩固。

本书注重体现知识的实用性、前沿性、技能性、系统性以及计算机网络和通信技术的融合性。本书特别适用于高等职业教育城市轨道交通通信与信号专业的学生,也可供从事计算机网络与通信的学生、教师、网络工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

城市轨道交通网络通信基础/李晓林,方振龙主编. —北京:北京理工大学出版社,2018.12
(2019.1 重印)

ISBN 978 - 7 - 5682 - 6550 - 8

I. ①城… II. ①李… ②方… III. ①城市铁路 - 轨道交通 - 网络通信 - 基本知识 IV.
①U239.5②TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 290718 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京九州迅驰传媒文化有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 12.25

字 数 / 273 千字

版 次 / 2018 年 12 月第 1 版 2019 年 1 月第 2 次印刷

定 价 / 32.00 元

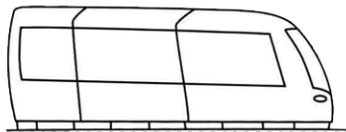
责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 封 雪

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李 洋

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换



前 言

P R E F A C E

随着电子技术、计算机技术和通信技术的迅速发展与相互融合，网络通信技术成为当今最重要的技术之一。21 世纪，计算机网络通信对各行各业乃至整个社会都产生了巨大的影响。因此，国内外几乎所有的高等院校都将计算机网络与通信技术列为通信类专业本科生、专科生的必修课程。

在轨道交通行业，伴随着中国经济的腾飞，中国城市轨道交通产业也步入高速发展时期，通信系统作为城市轨道交通系统中的重要环节，用以保障运营的安全和高效。为此，我们针对城市轨道交通通信系统所需技能人才的岗位能力需求，以培养基础知识牢固、技能水平强的通信岗位技能型人才为目标，编写了本教材。

本书注重结合高职高专院校的特点，做到基础理论适当，相应拓宽知识范围，突出技能培养，引导学生自主学习和创新，让学生喜欢这门课程，使这门课程对学生今后的就业和创业有较大帮助。本书可作为高等职业教育通信专业教材，也可供从事计算机网络通信的工程技术人員参考使用。

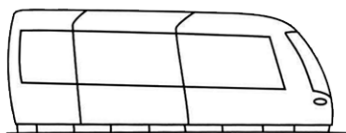
全书内容安排如下：第 1 章介绍通信技术和数据通信系统等内容；第 2 章介绍信号编码和同步方式、复用技术、数据交换技术以及差错控制技术等内容；第 3 章介绍计算机网络发展、分类及拓扑结构等内容；第 4 章介绍计算机网络体系结构及网络操作系统；第 5 章介绍通信传输介质和网络组网常用的设备及网络互连相关知识；第 6 章介绍以太网和交换式以太网、虚拟局域网和无线局域网；第 7 章介绍 TCP/IP 和 Internet 的基本概念与 Internet 提供的服务及应用等内容；第 8 章介绍有关网络管理基本知识和网络安全方面的内容。

本书由李晓林、方振龙任主编；李巍、李金明任副主编；孙晓梅、王刚参编。其中，李晓林编写了第 6~8 章，方振龙编写了第 1、2 章，李巍编写了第 3 章，李金明编写了第 4 章，孙晓梅、王刚编写了第 5 章和全书习题。全书由李晓林、方振龙统稿。

本书在编写过程中参阅了近年来多位专家学者的专著、文献、论文等资料，在此我们向提供帮助的专家学者及学校在轨道交通通信段工作的毕业生表示衷心的感谢。鉴于计算机网络和通信技术发展迅速，编者的水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者及时批评指正，我们将十分感谢。

编 者

2018 年 7 月



目 录

C O N T E N T S

第 1 章 数据通信概述	(001)
1.1 通信技术概述	(001)
1.1.1 通信基本概念	(001)
1.1.2 通信技术发展	(001)
1.1.3 现代通信技术的特征	(002)
1.2 数据通信系统	(003)
1.2.1 数据通信的基本概念	(003)
1.2.2 通信方式	(005)
1.2.3 数据通信系统的主要技术指标	(006)
1.3 现代数据通信网概述	(008)
1.3.1 现代通信网的分层结构	(008)
1.3.2 信息应用概述	(009)
1.3.3 业务网概述	(012)
小结	(013)
习题	(013)
第 2 章 数据通信技术	(015)
2.1 数据传输和编码技术	(015)
2.1.1 数字数据的数字传输	(015)
2.1.2 模拟数据的数字传输	(017)
2.2 数据同步方式	(019)
2.3 多路复用技术	(021)
2.4 数据交换技术	(024)
2.4.1 电路交换	(024)
2.4.2 报文交换	(025)
2.4.3 报文分组交换	(026)
2.4.4 三种数据交换技术的比较	(027)
2.5 差错产生原因及其控制方法	(027)
小结	(028)



习题	(029)
第3章 计算机网络技术基础	(031)
3.1 计算机网络概述	(031)
3.1.1 计算机网络的定义	(031)
3.1.2 计算机网络的产生及发展	(031)
3.1.3 计算机网络功能	(035)
3.2 计算机网络的组成和分类	(036)
3.2.1 逻辑组成	(036)
3.2.2 硬件组成	(037)
3.2.3 计算机网络的分类	(038)
3.3 计算机网络的拓扑结构	(039)
3.4 计算机网络的主要性能指标	(042)
3.4.1 带宽	(042)
3.4.2 时延	(042)
小结	(043)
习题	(043)
第4章 网络体系结构与操作系统	(046)
4.1 网络体系结构	(046)
4.1.1 网络体系结构的概念及层次化	(046)
4.1.2 开放系统互连参考模型	(049)
4.1.3 TCP/IP 体系结构	(052)
4.2 网络操作系统	(054)
4.2.1 网络操作系统概述	(054)
4.2.2 网络操作系统分类	(055)
4.2.3 典型的网络操作系统	(060)
小结	(065)
习题	(065)
第5章 传输介质与组网设备	(068)
5.1 通信传输介质	(068)
5.1.1 有线传输介质	(068)
5.1.2 无线传输介质	(071)
5.2 组网与通信设备	(072)
5.2.1 网络接口	(072)
5.2.2 网络通信设备	(076)
5.2.3 网络数据存储和处理设备	(078)
5.3 网络互连	(079)
5.3.1 网络互连概念	(079)
5.3.2 网络互连的目的和要求	(080)



5.3.3 网络互连类型	(081)
小结	(082)
习题	(082)
第6章 局域网	(085)
6.1 局域网概述	(085)
6.1.1 局域网的主要特点	(085)
6.1.2 局域网的关键技术	(086)
6.2 局域网协议	(087)
6.2.1 IEEE 802 标准	(087)
6.2.2 介质访问控制方法	(088)
6.3 以太网与交换以太网	(091)
6.3.1 以太网	(091)
6.3.2 以太网组网	(094)
6.3.3 交换式以太网	(097)
6.4 虚拟局域网	(098)
6.4.1 虚拟局域网的概念和作用	(099)
6.4.2 虚拟局域网的划分方法	(100)
6.4.3 虚拟局域网的优点	(101)
6.5 无线局域网	(102)
6.6 城轨通信网络组网	(106)
6.6.1 城轨通信网络方案设计内容	(106)
6.6.2 城轨通信网络的详细设计	(107)
6.6.3 网络工程实施	(110)
小结	(113)
习题	(114)
第7章 TCP/IP 与因特网	(117)
7.1 TCP/IP 概述	(117)
7.2 网络访问层	(118)
7.3 网际互联层	(118)
7.3.1 IP 协议	(119)
7.3.2 IP 地址	(121)
7.3.3 子网划分技术	(124)
7.3.4 网际控制报文协议	(131)
7.3.5 地址解析协议和反向地址解析协议	(132)
7.3.6 主机组管理协议	(132)
7.4 传输层	(133)
7.4.1 传输控制协议	(133)
7.4.2 用户数据报协议	(136)
7.5 应用层	(137)

7.5.1	WWW 与 HTTP	(137)
7.5.2	DNS	(139)
7.5.3	DHCP	(140)
7.5.4	FTP	(141)
7.6	因特网的基本概述	(142)
7.6.1	因特网的定义	(142)
7.6.2	因特网的发展历史	(142)
7.6.3	因特网的结构特点	(143)
7.6.4	因特网的关键技术	(143)
7.6.5	因特网的体系结构	(144)
7.7	物联网	(146)
7.7.1	物联网概述	(146)
7.7.2	物联网的定义与内涵	(150)
7.8	云计算概述	(153)
7.8.1	云计算的定义	(153)
7.8.2	云计算与物联网的关系	(155)
小结	.....	(155)
习题	.....	(156)
第 8 章	网络管理与安全	(160)
8.1	计算机网络管理技术	(160)
8.1.1	网络管理概述	(160)
8.1.2	网络管理功能	(161)
8.1.3	网络管理结构	(162)
8.1.4	简单网络管理协议	(163)
8.2	网络安全	(164)
8.2.1	网络安全基本概念	(165)
8.2.2	网络安全存在的威胁	(165)
8.3	防火墙技术	(167)
8.3.1	防火墙的作用与局限性	(167)
8.3.2	防火墙的类型及体系结构	(169)
8.3.3	防火墙产品及选购	(172)
8.4	防病毒技术	(173)
8.4.1	计算机病毒的定义	(173)
8.4.2	计算机病毒的分类	(174)
8.4.3	计算机病毒原理	(176)
小结	.....	(183)
习题	.....	(183)
参考文献	.....	(186)



第 1 章

数据通信概述



数据通信技术是计算机网络技术发展的基础。本章主要介绍通信基本概念、通信技术的发展和特征，并从数据通信系统的模型入手，介绍数据通信的基本概念、通信方式、通信技术指标等。简单介绍了现代数据通信网的结构、服务和支撑信息服务的业务网。

1.1 通信技术概述

1.1.1 通信基本概念

通信技术由来已久，自古以来人们都在用自己的智慧来解决远距离通信、快速通信等问题，而衡量人类历史进步的尺度之一就是人与人之间传递信息的能力，尤其是远距离传递信息的能力。随着社会生产力的发展和现代科学技术的进步，人们对通信的要求也越来越高，电子通信、数字通信、光通信等通信方式迅速发展，并获得广泛应用。

一般来说，通信是由一地向另一地进行消息的有效传递。在各种各样的通信方式中，利用“电”来传递消息的通信方法称为电信，这种通信方式具有迅速、准确、可靠等特点，而且几乎不受时间、地点、空间、距离的限制，因而得到了飞速发展和广泛应用。如今在自然科学中，“通信”和“电信”几乎是同义词了，通信从本质上讲就是实现信息传递功能的一门科学技术，它要将大量有用的信息无失真、高效率地进行传输，同时还要在传输过程中将无用信息和有害信息过滤掉。

1.1.2 通信技术发展

电子技术、计算机技术、通信技术和计算机网络等技术是交叉融合、互相支持、相互促进的。自 1837 年莫尔斯发明了电报、1876 年贝尔发明了电话以来，通信技术经历了一个多世纪的发展，已经走进千家万户，成为人们交流信息不可缺少的重要工具。通信技术的发展非常迅猛，如传输媒体从有线电缆、无线短波、微波、卫星到光纤。通信网络由单一的业务网向综合方向发展。纵观通信技术发展的过程，可分为三次技术革命。

第一次通信技术革命是电话的问世。现代通信的起源可以说是从电话开始的，最早的电话通信形式只是两部电话中间用导线连接起来进行通话，现已发展为数字程控交换电话网。

第二次通信技术革命是电视和有线电视网的出现。电视的出现改变了电话网只能传输语

音的缺点，特别是有线电视网的出现，使视频信号的传输质量和带宽得到了很大的改善，也使基于广播电视的通信技术进入快速发展阶段。

第三次通信技术革命是因特网的迅速崛起所引发的 IP（网际协议）通信技术。IP 通信技术现已成为通信舞台上的主角，并与语音通信、视频通信形成新的产业汇聚。从技术上看，新的变革实际上就是从基于电路交换技术转变为分组交换技术；从模式上看，IP 通信是一种全新模式，数据正迅速取代语音成为主要的网络流量类型；从业务上看，传统的电信业务就是电话业务，但现在一批因特网服务商迅速崛起，其服务范围越来越广，这其中包括多媒体数据业务的实现，如 IP 语音、IP 图像、IP 电视会议等。

1.1.3 现代通信技术的特征

现代通信技术的基本特征为数字化。通信技术的数字化是融入计算机技术和数字信号处理技术的基础，它的优越性较明显，如抗干扰性能强、失真和噪声不累积、兼容多种信息类型、易于集成存储、便于交换、处理和加密等。由于大量采用计算机技术和信号处理技术，并有大规模集成电路等技术的支撑，通信技术的数字化在通信领域取得了很多突破性的进展，为信息化社会提供了物理技术基础。

1960 年第一台脉冲编码调制（PCM）数字电话在市话网中应用，标志着数字制进入应用领域。通信技术融入计算机技术和数字信号处理技术后发生了革命性的变化，它和计算机技术、数字信号处理技术相结合是现代通信技术的标志。

现代通信中传递的信息基本上都是数字化的，如数字程控交换机、数字传输设备、数字光纤通信、数字卫星通信、综合业务数字网、数字电视系统、数字光盘以及获得广泛应用的通信技术与设备等，信息技术与信息产品无不在前面加上“数字”二字。现代通信技术的基本特征即为数字化，即在通信中采用了数字技术。简单地讲，数字技术就是数字信号的采集、加工、处理、运算、传递、交换、存储等所采用的技术的总称。数字通信技术具有以下几个特点。

1. 抗干扰性强，抗噪声性能好

由于信号在通信中传输一段距离后，信号能量会有损失，噪声的干扰会使波形失真，因此需要及时对“变形”的信号进行处理。在数字通信系统中，信号的取值只有两个（“1”和“0”），这样发送端传输与接收端需要接收和判决的电平也只有两个值。在接收端恢复信号时，首先对其进行抽样判决，才能确定是“1”码还是“0”码，并再生“1”“0”码的波形，因此，只要不影响判决的正确性，即使波形有失真也不会影响再生后的信号波形。而模拟信号叠加上噪声后，即使噪声很小，也很难消除。

2. 数字信号便于存储、处理、交换和传输

数字通信传输质量高、时延小，通信速率还可以根据用户需要任意选择，还可利用数据压缩技术，大大减少传输流量，节省存储空间。计算机与电话交换技术结合，出现了数字程控交换技术；光电器件的采用使数字信号较容易转变为脉冲信号，便于传输。

3. 数字通信设备便于集成化和微型化

由于数字通信设备中大部分电路都采用数字逻辑电路，因此可用大规模和超大规模集成电路实现。现在芯片的集成度可包含几十亿甚至上百亿个元器件，这使通信设备和产品便于

集成化和微型化，功耗也较低。

4. 差错可控

数字信号在传输过程中出现的差错，可通过纠错编码技术来控制。

5. 便于组成数字网

采用数字传输方式可以实现传输和交换的综合，电话业务和非电话业务都可以实现数字化，以便组成综合业务数字网（ISDN）、计算机网络及因特网等，还可支持数据、图像、语音等多媒体业务，用户可根据需要选择不同的业务。

6. 占用信道频带宽

例如，一路数字语音数码率是 64 kbit/s，而一个模拟话路所占频带宽度是它的 1/16。虽然占用信道频带宽度是数字通信的一个缺点，但采用编码技术和频带压缩技术，可以减少数字信号带宽；另外，随着大容量卫星和光缆信号的利用，数字信道占用频带较宽的矛盾会逐步缩小。

1.2 数据通信系统

1.2.1 数据通信的基本概念

1. 数据通信的一般概念

通信的目的是在信源与信宿之间传递信息。如果信息的自然形态是模拟的，如语音、图像，经数字化处理后，用数字信号的形式进行传送，称为“数字通信”，如果信息的自然形态是数字的（离散的），如计算机数据，则不管用哪种形式的信号进行传送，都叫“数据通信”。如今所谓的“数据通信”更多的是指计算机数据的通信。图 1.1 所示为数据通信的最基本模型。

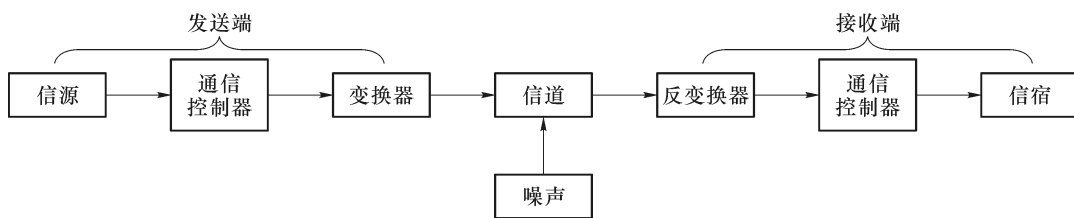


图 1.1 数据通信的最基本模型

该系统包括四类部件：计算机（或终端）、通信控制器、信号变换器和通信线路，其中，计算机（或终端）为信源或信宿；通信控制器负责数据传输控制，以减轻主机负担，在计算机侧它的功能一般由计算机承担；信号变换器完成数据与电信号之间的变换，以匹配通信线路的信道特性，依据通信线路的不同，信号变换器又称“波形变换器”或“调制解调器”；通信线路泛指各种实用的传输介质，是传输信号的通路。

2. 几个术语的解释

(1) 信息：对客观事实进行描述与记载的表现形式，如数字、文字、声音、图像等，

是数据的内容和解释。

(2) 数据：计算机网络中传送的东西都是数据，如二进制数、字符等。数据可分为模拟数据和数字数据。模拟数据是在某区间内连续变化的值，数字数据是离散的值。

(3) 信号：是数据的电子或电磁编码，是具体的物理体现。信号可分为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，可选择适当的参量来表示要传输的数据。

(4) 信源：是通信过程中产生和发送信息的设备或计算机。

(5) 信宿：是通信过程中接收和处理信息的设备或计算机。

(6) 信道：是信源和信宿之间的通信路径。

3. 模拟信号和数字信号的表示

模拟信号和数字信号可通过参量（幅度）来表示，如图 1.2 所示。

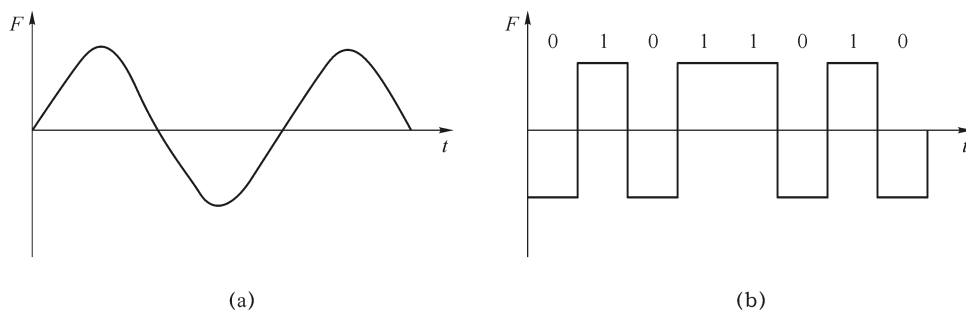


图 1.2 模拟信号和数字信号

(a) 模拟信号；(b) 数字信号

4. 模拟数据和数字数据的表示

模拟数据和数字数据都可以用模拟信号或数字信号来表示，因而无论信源产生的是模拟数据还是数字数据，在传输过程中都可以用适合于信道传输的某种信号形式来传输，如图 1.3 所示。

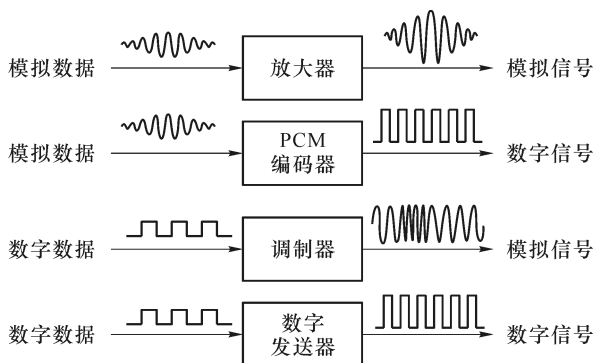


图 1.3 模拟数据、数字数据的信号表示

(1) 模拟数据可以用模拟信号来表示。模拟数据是时间的函数，并占有一定的频率范围，即频带。这种数据可以直接用占有相同频带的电信号，即对应的模拟信号来表示。模拟

电话通信是它的一个应用实例。

(2) 数字数据可以用模拟信号来表示。如 Modem (调制解调器) 可以把数字数据调制成模拟信号, 也可以把模拟信号解调成数字数据。用 Modem (调制解调器) 拨号上网是它的一个应用实例。

(3) 模拟数据也可以用数字信号来表示。对于声音数据来说, 完成模拟数据和数字信号转换功能的设备是编码解码器 (CODEC)。它直接将表示声音数据的模拟信号编码转换成用二进制码流近似表示的数字信号。而在线路另一端的 CODEC, 则将二进制码流恢复成原来的模拟数据。数字电话通信是它的一个应用实例。

(4) 数字数据也可以用数字信号来表示。数字数据可直接用二进制数字脉冲信号来表示, 但为了改善其传输特性, 一般先要对二进制数据进行编码, 称为信道编码。数字数据专线网 (DDN 网络) 通信是它的一个应用实例。

5. 数据通信的长距离传输及信号衰减的克服

(1) 模拟信号和数字信号都可以在适宜的传输媒体上进行传输。

(2) 模拟信号无论表示模拟数据还是数字数据, 在传输一定距离后都会衰减。克服的办法是用放大器来增强信号的能量, 但噪声分量也会增强, 以致引起信号畸变。

(3) 数字信号长距离传输也会衰减, 克服的办法是使用中继器, 把数字信号恢复为“0、1”的标准电平后继续传输。

1.2.2 通信方式

1. 并行通信方式

并行通信传输中有多个数据位, 这些数据在两个设备之间同时进行传输, 如图 1.4 所示。发送设备将这些数据位通过对应的数据线传送给接收设备, 同时还可附加一位数据校验位。接收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。并行通信方式主要用于近距离通信。计算机内的总线结构就是并行通信的例子。这种通信方式的优点是传输速度快, 处理简单。

2. 串行通信方式

串行数据传输时, 数据是一位一位地在通信线路上传输的, 先由具有几位总线的计算机内的发送设备将几位并行数据经并—串转换硬件转换成串行方式, 再逐位经传输线到达接收端的设备中, 并在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, 如图 1.5 所示。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。

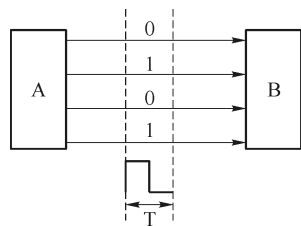


图 1.4 并行通信

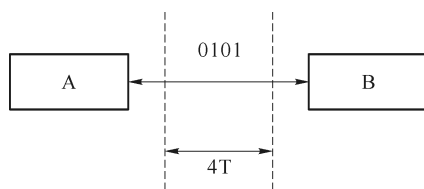


图 1.5 串行通信

3. 串行通信的方向性结构

串行数据通信的方向性结构有三种，即单工通信、半双工通信和全双工通信，如图 1.6 所示。

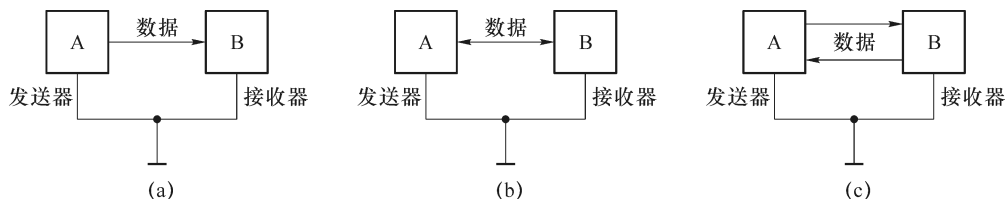


图 1.6 串行通信的方向性结构

(a) 单工通信；(b) 半双工通信；(c) 全双工通信

(1) 单工通信：只有一个方向的通信而没有反方向的交互。像无线电广播或者计算机与打印机、键盘之间的数据传输均属单工通信。单工通信只需要一条单向信道。

(2) 半双工通信：通信双方都可以发送（接收）信息，但不能同时双向发送（接收）。这种方式得到广泛应用，因为它具有控制简单、可靠、通信成本低等优点。显然，半双工通信需要一条双向信道。

(3) 全双工通信：通信双方可以同时发送和接收信息。这要求通信双方具有同时运作的发送和接收机构，且要求有两条性能对称的传输信道。全双工通信的效率最高，但控制相对复杂一些，系统造价也较高。随着通信技术及大规模集成电路的发展，这种方式正越来越广泛地应用于计算机通信。

1.2.3 数据通信系统的主要技术指标

1. 信道与误码率

1) 信道

信道是通信双方之间以传输介质为基础传递信号的通路，由传输介质及其两端的信道设备共同组成。任何信道都具有有限带宽，所以从抽象的角度看，信道实质上是指定的一段频段，它允许信号通过，但又给信号限制和损害。

模拟信道的质量特性用信号在传输过程中的失真及输出信噪比来衡量，数字信道的质量特性则是用误码率及差错序列的统计特性来描述。

2) 误码率

误码率是指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。

计算误码率的公式为：

$$p = N_e / N \quad (1-1)$$

式中， N_e 为其中出错的位数； N 为传输的数据总位数； p 为误码率。

2. 数据传输速率

数据传输速率有两种度量单位：比特率和波特率。

(1) 比特率。比特率是指数字信号的传输速率，也叫信息速率，反映一个数据通信系

统每秒传输二进制信息的位数。单位为位/秒，记作 bps 或 b/s。计算公式为：

$$S = 1/T \times \log_2 N \quad (1-2)$$

式中， T 为一个数字脉冲信号的宽度或重复周期，s； N 为一个波形代表的有效状态数，是 2 的整数倍。例如，二进制的波形可以表示 0、1 两种状态，故 $N = 2^k$ 。 k 通常为一个波形能表示的二进制信息位数， $k = \log_2 N$ 。当 $N = 2$ 时， $S = 1/T$ ，表示数据传输速率等于码元脉冲的重复频率。

(2) 波特率。波特率是一种调制速率，又称码元速率或波形速率，指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：

$$B = 1/T \quad (1-3)$$

式中， T 为信号码元的宽度，s。由式 (1-1) 和式 (1-2) 得： $S = B \times \log_2 N$ 或 $B = S/\log_2 N$ 。

波特率和比特率是两个容易混淆的概念，尤其采用二进制波形时 $S = B$ ，但意义不同。比特率能反映真实的信息传输速度，但波特率不能。

【例 1.1】采用八相调制方式，即 $N = 8$ ，且 $T = 8.33 \times 10^{-4}$ s，则

$$S = 1/T \times \log_2 N = 1/(8.33 \times 10^{-4}) \times \log_2 8 \approx 3\,600 \text{ (bps)}$$

$$B = 1/T = 1/(8.33 \times 10^{-4}) \approx 1\,200 \text{ (Baud)}$$

3. 信道容量

在实际的数据通信中，没有任何信道能毫无损耗地通过信号的所有频率分量，这是由于支持信道的物理实体（传输介质）都存在固有的传输特性，即对信号的不同频率分量存在着不同程度的衰减。也就是说，信道也具有一定的振幅频率特性，因而导致传输的信号发生畸变。

(1) 信道截止频率与带宽。

通常把信号在信道传输过程中某个分量的振幅衰减到原来的 0.707（即输出信号的功率降低了一半）时所对应的那个频率称为信道的截止频率，如图 1-7 (a) 所示。频率在 $0 \sim f_c$ 范围内的谐波在信道传输过程中不发生衰减，而频率大于 f_c 的所有谐波在传输过程中衰减都很大。

截止频率反映了信道固有的物理特性。在数据传输中，人们还经常提到信道的带宽。所谓“信道带宽”，是指信道中能够传送信号的最大频率范围，如图 1-7 (b) 所示。

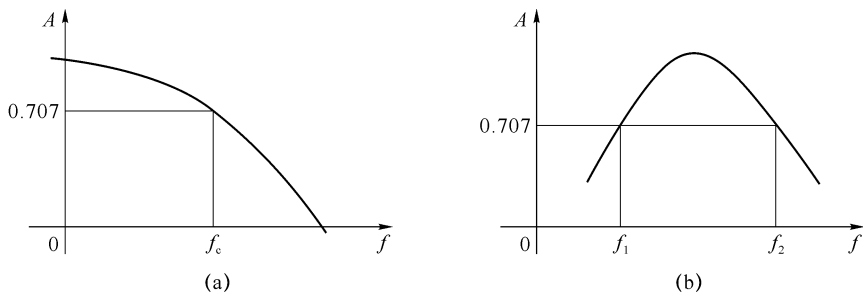


图 1.7 截止频率与带宽

(a) 截止频率；(b) 带宽

如果信号的带宽小于信道的带宽，则输入信号的全部频率分量都能通过信道，由此得到的输出信号将不会失真。如果信号的带宽大于信道的带宽，则输入信号的部分频率分

量将不能通过信道，从而造成输出的信号发生畸变或失真。为了保证数据传输的正确性，在确定的信道带宽下，必须限制信号的带宽。由此可见，信道的带宽不仅影响着信号传输的质量，而且也限制了信号的传输速率。即使对于理想信道，有限的带宽也限制了数据的传输速率。

(2) 信道容量。信道容量表示一个信道的最大数据传输速率，单位为位/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，就像公路上的最大限速与汽车实际速度的关系一样。

(3) 离散信道的容量。奈奎斯特 (Nyquist) 无噪声下的码元速率极限值 B 与信道带宽 H 的关系如下：

$$B = 2 \times H \quad (1-4)$$

离散无噪信道的容量计算公式 (奈奎斯特公式) 为：

$$C = 2 \times H \times \log_2 N \quad (1-5)$$

式中， H 为信道的带宽，即信道传输上、下限频率的差值， H_z ； N 为一个码元所取的离散值个数； C 为信道容量。

1.3 现代数据通信网概述

传统通信网络由传输、交换、终端三部分组成。其中传输与交换部分组成通信网络，传输部分为网络的链路，交换部分为网络的节点。随着通信技术的发展与用户需求的日益多样化，现代通信网正处在变革与发展之中，网络类型及所提供的业务种类不断增加和更新，形成了复杂的通信网络体系。

1.3.1 现代通信网的分层结构

从不同的角度看，对通信网有不同的理解和描述。

水平描述基于用户接入网络实际的物理连接来划分，可分为用户驻地网、接入网和核心网，如图 1.8 所示。

垂直描述是从功能上将网络分为信息应用、业务网和接入与传送网，如图 1.9 所示。

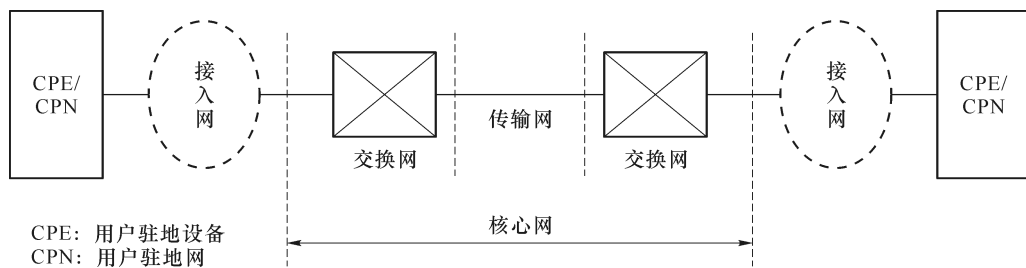


图 1.8 水平描述的网络结构

在垂直分层网结构中，信息应用表示各种信息应用与服务总类，业务网表示支持各种信息服务的业务提供手段与装备，接入与传送网表示支持业务网的各种接入与传送的手段和基

基础设施。这使得各种通信技术与通信网络有机融合，并能清晰地显现各种通信技术在网络中的位置和作用。支撑网用以支撑全部三个层面的工作，提供保证通信网正常运行的各种控制与管理能力，传统的支撑网包括信令网、同步网与管理网。

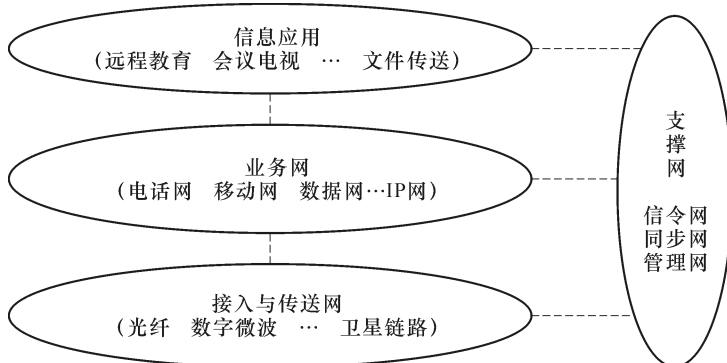


图 1.9 垂直描述的网络结构

1.3.2 信息应用概述

在现代通信系统中，不管采用什么样的传送网结构以及什么样的业务网承载，最后真正的目的都是为用户提供他们所需的各类通信业务，满足他们对不同业务服务质量的需求。因此信息应用中的各种业务是直接面向用户的。

根据通信网络的分层结构，可以从信息应用的角度理解应用层面所涉及的各种通信业务。通信业务主要包括模拟与数字视音频业务（包括普通电话、IP 电话、移动电话、数字电话、广播电视、数字视频广播、点播电视、智能网等各种视音频业务）、数据业务（如文件传输、电子邮件、电子商务等）、多媒体通信业务（如远程教学、可视电话、会议电视）等。

1. 视音频业务及终端

1) 视音频业务

音频信息主要指由自然界中各种音源发出的可闻声和由计算机通过专用设备合成的语音或音乐。音频信号是随时间变化的连续媒体，对音频信号的处理要求有比较强的时序性，即较小的延时和时延抖动。

视频信息即活动或运动的图像信息，它由一系列周期呈现的画面所组成，每幅画面称为一帧，帧是构成视频信息的最基本单元。视频信息具有直观、准确、具体、生动、高效、应用广泛、信息容量大等特点。

2) 视音频终端

音频通信终端是通信系统中应用最广泛的一类终端，它可以是公共电话交换网络（PSTN）的普通模拟电话机、IC（集成电路）卡电话机，也可以是 ISDN 网络的数字话机，以及移动通信网的移动手机。

视频通信终端，如各种电视摄像头、多媒体计算机用摄像头、视频监视器以及计算机显示器、电视接收机等，如图 1.10 ~ 图 1.15 所示。

