



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电力系统通信 与网络技术

(第二版)

主 编 钟西炎
副主编 谢伟红 王 锦 黄 虹
编 写 成绥洲
主 审 张淑娥



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

前 言

本书是在 2005 年出版的《电力系统通信与网络技术》一书的基础上修订而成的,该书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。在近 5 年中,本书先后印刷了 5 次,深受读者欢迎。由于通信技术、计算机网络技术知识发展迅速,适当地调整本书的内容十分必要,以便及时地反映电力系统应用的最新的网络技术和通信技术。修订后的本书除保持第一版的风格和特点外,更加注重理论的系统性、新颖性和实用性,以便于教学和培训的选择。这些特点主要体现在以下几个方面:

(1) 增加了新的内容。网络通信技术近几年发展迅速,尤其是在电力系统自动化领域中,各种最新的网络通信技术得到了充分的应用,为适应现场需求,有必要将这些知识介绍给读者。

(2) 充实关键章节的内容。由于光纤通信技术在电力系统中的应用越来越广泛和深入,原教材中的内容已不适应通信技术发展的需要,经调整和充实后将更有益于教学和培训。

(3) 加强了对电力系统通信网络的典型应用实例分析。系统地论述和分析电力系统常用通信方式的特点、基本工作原理、系统主要构成,使学生对电力系统通信网络有一个全面清晰的认识,并了解电力系统通信的发展趋势。

(4) 为了便于学生学习和理解所学知识,各章节新增了必要的例题,并充实和增加了部分思考题。

修订后的内容比原书有所增加,难度略有提高,为便于教学,教师可根据实际需要合理取舍,章节顺序仍保持原书的风格。

全书共分六章,其中,第 2 章及附录由西安电力高等专科学校王锦修订,第 3 章的 3.5~3.7 节由西安电力高等专科学校成绥洲修订,第 5、6 章由西安电力高等专科学校黄虹修订,其余各章节及各章的复习思考题均由钟西炎修订并担任主编统编全书。

由于编者水平和实践经验有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评和指正。

编 者

2011 年 5 月

第一版前言

《电力系统通信与网络技术》是为了提高电力系统高职高专各专业在校学生综合理论素质,以便适应电力系统自动化发展对通信、计算机网络技术知识的迫切需要而编写的。

本书是按照最新的高职高专教学要求来编写的。教材内容结合现场应用需求,合理编排内容,针对性强。论述力求简明扼要、通俗易懂,尽量避免过深过繁的理论推导和过抽象的协议描述,而侧重概念的说明和整个系统的形成,做到理论够用,可读性强,并具有一定的先进性、系统性和实用性。充分体现现代职业教育的特点,开发学生思维能力、拓展其知识面、增强就业能力,按照学生的认知规律,合理编排教材章节,各章节既相对独立,又可贯穿起来,形成通信和网络的完整体系。

教材内容强调学科的系统性、实用性,围绕电力系统对网络通信知识的应用的需求,合理取舍内容。教材注意新知识、新技术的引入。在全面和系统地论述现代通信和网络的基本概念和基本理论的基础上,使学生建立一个完整系统的知识体系。

教材针对性强,结合电力系统通信网络的具体情况,系统地论述和分析电力系统常用通信方式的特点、基本工作原理、系统主要构成,使学生对电力系统通信网络有一个全面清晰的认识,并了解电力系统通信的发展趋势。

结合配电网综合自动化系统和变电站综合自动化系统中网络通信技术的应用实例,分析广泛使用的现场总线 LON WORKS 和 CAN 的特点及应用中存在的各种问题,并介绍电网自动化中常用的通信规约。

为了便于学生学习和理解所学知识,每章均附一定的思考题。

全书共分六章,其中,第 2 章及附录由西安电力高等专科学校王锦编写,第 3 章的 3.5~3.7 节由成绥洲编写,第 4、5 章由长沙电力职业技术学院谢伟红编写,其余各章节由钟西炎编写并担任主编统编全书。

本书既可作为电力系统高职高专各专业的教学使用也可作为电力系统职工网络通信技术培训使用。

由于编者水平和实践经验有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评和指正。

编者

2005 年 5 月

目 录

前言

第一版前言

第 1 章 电力系统通信概述	1
1.1 通信技术的发展	1
1.2 计算机通信与网络.....	11
1.3 我国电力系统通信的现状与发展战略.....	13
复习思考题	15
第 2 章 通信技术基础	17
2.1 通信的基本概念.....	17
2.2 数据的调制与编码.....	20
2.3 数据的检错与纠错.....	30
2.4 调制解调器.....	37
2.5 多路复用技术.....	40
2.6 数据链路层协议.....	44
2.7 信息交换技术.....	52
2.8 通信网.....	62
复习思考题	68
第 3 章 电力系统常用通信方式	70
3.1 音频电缆.....	70
3.2 电力线载波通信.....	71
3.3 光纤通信.....	85
3.4 移动通信	120
3.5 数字微波中继通信	136
3.6 卫星通信	151
3.7 扩频通信	163
复习思考题.....	178
第 4 章 计算机网络	181
4.1 计算机网络的基本概念	181
4.2 计算机网络的基本组成	183
4.3 局域网的组成	194

4.4	局域网的介质访问控制	199
4.5	常用的网络设备	206
4.6	Windows 2000 网络操作系统及其应用	209
4.7	计算机网络安全与管理	222
4.8	计算机网络系统的集成	226
	复习思考题	234
第 5 章	计算机通信接口	236
5.1	RS-232 接口技术	236
5.2	RS-449、RS-422 与 RS-485 串行接口标准	241
5.3	其他计算机通信接口	248
	复习思考题	251
第 6 章	电力系统中网络通信技术的应用	252
6.1	变电站综合自动化的数据通信系统	252
6.2	配电网综合自动化的通信系统	261
6.3	配电网安全监控与数据采集系统	268
6.4	远程自动抄表技术 AMR	271
6.5	现场总线及应用	274
6.6	电力通信的发展机遇	280
	复习思考题	283
附录	电力系统常用通信规约简介	285
	附录 A 循环式远动规约 (CDT)	285
	附录 B DNP3.0 规约简介	291
	附录 C 问答式通信规约	296
	参考文献	299

电力系统通信概述

引言：为保证电力系统安全、经济地发供电，合理分配电能，保证电力质量指标及防止和及时处理电力系统事故就要高度集中管理和统一调度，建立起与之相对应的专用通信系统。因此，电力通信系统是电力系统的重要组成部分，它是电网实现调度自动化和管理现代化的基础。

电力系统通信方式包括了几乎所有现有的通信手段和种类。此外，计算机网络技术也为调度自动化技术的发展提供了广阔的发展空间。要想学习电力系统通信与网络技术，就必须首先建立通信技术和网络的整体概念，通过学习通信和网络的基本技术和原理，对通信技术的体系框架有一个全面系统地认识，对各种通信技术的概念、原理、系统构成和技术发展有较全面的理解和掌握。

1.1 通信技术的发展

1.1.1 通信发展的历史

通信就是双方或多方信息的传递与交流。通信在人类社会的各种社会活动和经济活动中都起着重要的作用。随着科学技术的不断发展，通信的手段、方式、内容都在发生着巨大的变化，已经形成了一个独立的学科。特别是与计算机的密切结合，使通信技术日新月异，迅速发展。

通信所需传递的信息可以有不同的形式，如语言、文字、图像、数据等。现代传递信息的方式中，以电气或电子的方法传递信息最为广泛。这是因为电气通信，可以长距离、迅速、可靠地传递信息。

通信的发展经历了漫长的历史，从远古的烽火通信到今天的计算机通信网络。通信发展的历史也是人类社会文明发展的历史，通信的发展推动了人类的文明与进步。回顾通信发展的历史过程，通信手段的真正革命是从电信开始的。具有代表意义的事件有：1837年莫尔斯发明有线电报，标志着电信时代的开始；1895年马克尼发明无线电报，开创了无线电通信发展的道路；而载波通信的出现，则使在一个物理介质上传送多路音频电话信号成为可能；电视使传输和交流信息从单一的声音发展到实时图像；计算机被认为是20世纪最伟大的发明，它加快了各类科学技术的发展进程；集成电路使人类的信息传输能力和信息处理能力得到了极大提高；光导纤维的发明，为人们提供了一种全新的通信介质，将使通信容量达到前所未有的地步；卫星通信将人类引入了太空通信时代；蜂窝移动通信则为人们提供了一种灵活、便捷的通信方式；而计算机网络的出现意味着信息时代的到来。

伴随着通信手段的发展，通信的理论也在不断的发展完善。调制理论、信号和噪声理论、信号检测理论、信息论和纠错编码理论等构成了系统科学的通信理论。尤其是脉冲编码技术（PCM）的出现，开辟了数字通信的广阔领域。

1.1.2 通信系统的分类与构成

实现信息传递所需的一切技术设备和传输媒质的总和称为通信系统。任何通信系统都可以抽象概括为图 1-1 所示的一般通信系统模型。

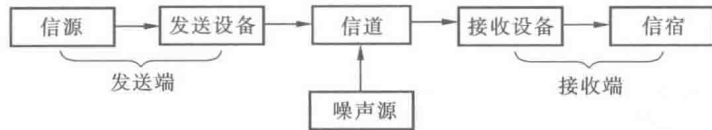


图 1-1 通信系统的模型

图 1-1 中，信源是指原始的信息源，其作用是把原始的消息转换成原始电信号，称之为消息信号或基带信号。常用的信源有电话机、电视摄像机和电传机以及计算机等各种数字终端设备。信源的信号通常不适于直接在信道上传输。它需要由发送设备将信源和信道匹配起来，即将信源产生的消息信号变换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的，在需要频谱搬移的场合，调制是最常见的变换方式。对数字通信系统来说，发送设备常常又可分为信源编码与信道编码。信道是指传输信息的通道。信道可以是明线、电缆、光纤、波导、无线电波等等。噪声源不是人为加入的设备，而是通信系统中各种设备以及信道中所固有的。噪声的来源是多样的，它可分为内部噪声和外部噪声，为了分析方便，把噪声源视为各处噪声的集中表现而抽象加入到信道。接收设备的作用与发送设备的作用相反，即进行解调、译码、解码等。对接收器的要求是能够从带有干扰的接收信号中最大限度地正确恢复出相应的原始基带信号来，即复现信源的输出。信宿是传输信息的归宿点，即接收消息的人或机器。

根据研究的对象以及所关注的问题不同，图 1-1 模型中的各小方框的内容和作用将有所不同，因而相应有不同形式的更具体的通信模型。今后的讨论就是围绕着通信系统进行。

现代通信种类繁多，有卫星通信、光纤通信、移动通信、微波通信和扩频跳频通信等方式。时分复用技术、码分多路复用技术、程序控制技术、智能控制等先进技术手段得到广泛的应用，从而实现了以网络为依托的全球通信。通信的分类方法有很多种：按通信业务分类，通信系统分为话音通信和非话音通信；按调制方式分类，根据采用调制与否，可将通信系统分为基带传输和频带（调制）传输，所谓基带传输是指信号没有经过调制而直接送到信道中去传输的一种方式，而频带传输是指信号经过调制后再送到信道中传输；而收端有相应解调措施的通信系统；按传输媒质分类，通信系统可分为有线通信系统和无线通信系统两大类；按工作波段分类，按通信设备的工作频率不同可分为长波通信、中波通信、短波通信、远红外线通信等；按信号复用方式分类，传输多路信号有三种复用方式，即频分复用（FDM）、时分复用（TDM）和码分复用（CDM）。频分复用是用频谱搬移的方法使不同信号占据不同的频率范围；时分复用是用脉冲调制的方法使不同信号占据不同的时间区间；码分复用是用正交的脉冲序列分别携带不同信号。

另外，通信还有其他一些分类方法，例如，按多地址方式可分为频分多址通信、时分多址通信、码分多址通信等。按用户类型可分为公用通信和专用通信等。而其中最常用的方法是按信号特征分类，按照信道中所传输的电信号是模拟信号还是数字信号，相应地把通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统两大类。

一、模拟通信系统

模拟通信系统是指利用模拟信号来传递信息的通信系统。信源发出的原始电信号是基带信号，基带信号具有频率很低的频谱分量，不便直接传输，需要把基带信号变换成其频带适合在信道中传输的信号，并可在接收端进行反变换。完成这种变换和反变换作用的通常是调制器和解调器。经过调制以后的信号称为已调信号。模拟通信系统模型如图 1-2 所示。



图 1-2 模拟通信系统的模型

二、数字通信系统模型

数字通信系统是指利用数字信号来传递信息的通信系统，如图 1-3 所示。这里的发送设备包括信源编码器、信道编码器和数字调制器三部分。信源编码的主要任务是将模拟信号转换成数字信号。模拟信号数字化主要有两种基本形式：一种是脉冲编码调制（PCM），另一种是增量调制（ ΔM ）。而信道编码则是对数字信号进行再次编码，使之具有自动纠错或检错的能力。编码器根据输入的信息码元产生相应的监督码元来实现对差错进行控制，译码器则主要是进行检错与纠错。数字调制就是把数字基带信号对载波进行调制形成适合在信道中传输的数字调制信号。基本的数字调制方式有振幅键控（ASK）、频移键控（FSK）、绝对相移键控（PSK）、相对（差分）相移键控（DPSK）。

此外，同步亦是数字通信系统的基本组成部分。同步系统性能的好坏，直接影响着通信系统性能的优劣。所谓同步就是要使数字通信系统的收发两端在时间上保持步调一致。同步的主要内容有载波同步、位同步、帧同步以及网同步。

数字复接则是依据时分复用基本原理把若干个低速数字信号合并成一个高速的数字信号，以扩大传输容量和提高传输效率。复用与复接概念将在以后的章节中介绍。

需要说明的是，图 1-3 所示为数字通信系统的一般化模型，实际的数字通信系统不一定包括图 1-3 中的所有环节。如在某些有线信道中，若传输距离不太远且通信容量不太大时，数字基带信号无需调制，可以直接传送，称之为数字信号的基带传输，其模型中就不包括调制与解调环节。应该指出的是，模拟信号经过数字编码后可以在数字通信系统中传输，数字电话系统就是以数字方式传输模拟语音信号的例子。

当然，数字信号也可以在模拟通信系统中传输，例如，计算机数据可以通过模拟电话线

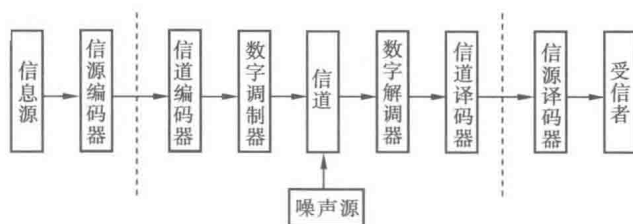


图 1-3 数字通信系统模型

路传输,但这时必须使用调制解调器(Modem)将数字基带信号进行正弦调制,以适应模拟信道的传输特性。可见,模拟通信与数字通信的区别仅在于信道中传输的信号种类。

目前,无论是模拟通信还是数字通信,在不同的通信业务中都得到了广泛的应用。但是,数字通信的发展速度已明显超过模拟通信,成为当代通信技术的主流。与模拟通信相比,数字通信更能适应现代社会对通信技术越来越高的要求。其特点是抗干扰能力强;差错可控,可以采用信道编码技术使误码率降低,提高传输的可靠性;易于与各种数字终端接口,用现代计算机技术对信号进行处理、加工、变换、存储,从而形成智能网;易于集成化,从而使通信设备微型化;易于加密处理,且保密性好。

但是,数字通信的许多优点都是用比模拟通信占据更宽的系统频带为代价而换取的。以电话为例,一路数字电话一般要占据约20~60kHz的带宽,而一路模拟电话仅占用约4kHz带宽。如果系统传输带宽一定的话,模拟电话的频带利用率要高出数字电话的5~15倍。此外,由于数字通信对同步要求很高,因而系统设备比较复杂。不过,随着新的宽带传输信道(如光导纤维)的采用、窄带调制技术和超大规模集成电路的发展,数字通信的这些缺点已经明显弱化。随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展和广泛应用,数字通信在今后的通信方式中必将逐步取代模拟通信而占据主导地位。

三、数据通信系统

数据通信是在计算机与计算机之间实现的通信,它是计算机技术与通信技术相结合的产物。现代数据通信系统,一般由数据传输系统和数据处理系统两部分组成。在通信过程中依据通信协议,利用数据传输技术(模拟传输或数字传输)在两个功能单元之间传递数据信息。

研究数据通信系统包括两方面内容:一方面研究信道的组成、连接、控制及其使用;另一方面研究信号如何在信道上传输和控制。

数据通信系统都是由数据终端设备(DTE)、数据电路和计算机系统三部分组成的。图1-4所示为数据通信系统模型。

其中,数据输入输出设备(DTE)通过数据电路与计算机系统相连接,数据电路由传输信道和数据电路终接设备(DCE)组成。如果传输信道是模拟信道,DCE的作用是将DTE送来的数据信号变换为模拟信号再送往信道,或者反过来,将信道送来的模拟信号变换成数据信号再送到DTE。如果传输信道是数字信道,DCE的作用是实现信号码型与电平的转换、信道特性的均衡、收发时钟的形成与供给,以及线路接续控制等。

数据通信是伴随着计算机技术和通信技术的发展以及两者之间的相互渗透与结合而发展起来的一种新的通信方式,数据通信有着广泛的应用领域,内容十分丰富,其相关理论也在

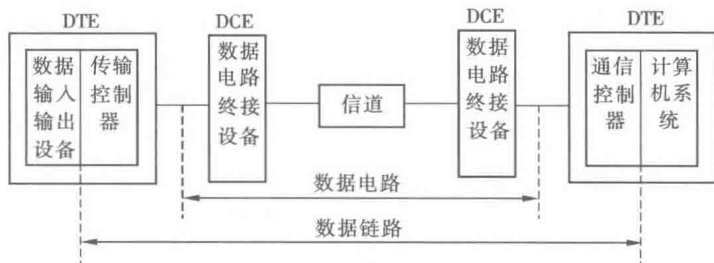


图 1-4 数据通信系统模型

不断发展和完善之中，作为一门新兴的学科，尚无严格的范围限制。简单地讲，数据通信就是数据处理与数据传输。

数据通信系统的信源、信宿处理的都是数字信号，而其传输信道既可以是数字信道也可以是模拟信道。这有别于模拟和数字通信系统，模拟通信系统是以模拟信道传输模拟信号的系统。数字通信系统则是以数字信号的形式传输模拟信号的系统。图 1-5 所示为这三种通信方式示意图。数字通信的产生是为了改善模拟通信的质量，与通信双方接触的仍然是模拟信号。只是它们的信号传输方式有所不同。而数据通信在信号传输上与数字通信大致相同（仅就数字信道传输而言），但它的信息源一般为数字信息（离散信息），所以数据通信在功能上可以认为是数字通信的延伸或分支。因此，从技术体制上看，通信方式仍然只分为模拟通信和数字通信两种。

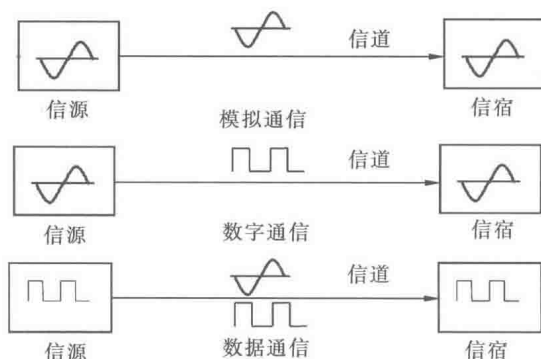
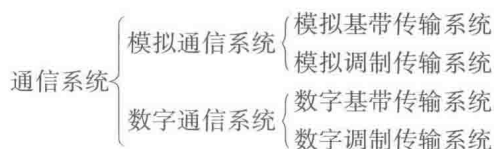


图 1-5 三种通信系统通信方式示意图

综上所述，通信系统的分类可表示为



1.1.3 通信信道与噪声

每一个通信系统都离不开通信信道，信道的特性直接影响到通信的质量。而噪声则以各种形式存在于通信系统之中，是一个不可回避的客观现实。为了保障通信系统的有效性和可靠性，就必须了解和掌握信道和噪声的基本特性。

一、信道的定义和分类

一般来说，信号的传输途径就称为信道。通常将信号的传输介质定义为狭义信道。在通信理论的研究中，信道的范围还可以扩大，各种信号处理电路和设备（发送机、接收机、调制器、解调器、放大器等），均可包含在信道的范围以内。因此，把传输介质和信号必须经过的各种通信设备统称为广义信道。广义信道按照它包括的功能，可以分为调制信道、编码信道等。

信道的一般组成如图 1-6 所示。所谓调制信道是指从调制器的输出端到解调器的输入端所包含的发转换器、传输介质和收转换器三部分。当研究调制与解调问题时，我们所关心的是调制器输出的信号形式、解调器输入端信号与噪声的最终特性，而并不关心信号的中间变换过程。调制信道输入输出的均是已调信号，既可以是数字已调信号也可以是模拟已调信号。在数字通信系统中，如果研究编码与译码问题时采用编码信道，会使问题的分析更容易。调制信道和编码信道是通信系统中常用的两种广义信道。

狭义信道按照传输介质的特性分为有线信道和无线信道两类。有线信道包括：双绞线、

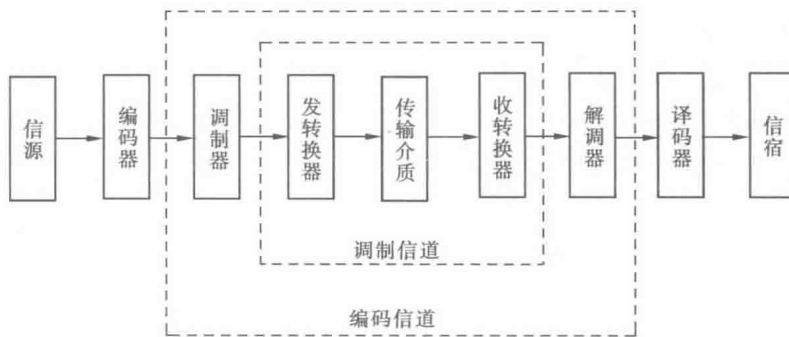


图 1-6 调制信道与编码信道的划分

同轴电缆、架空明线、多芯电缆和光纤等可以看得见的、有形的传输介质。无线信道由无线电波和光波作为传输载体。狭义信道是广义信道的重要组成部分。

下面介绍常用的传输介质。

(一) 有线介质

有线介质包括双绞线、同轴电缆、光纤，常用有线介质如图 1-7 所示。

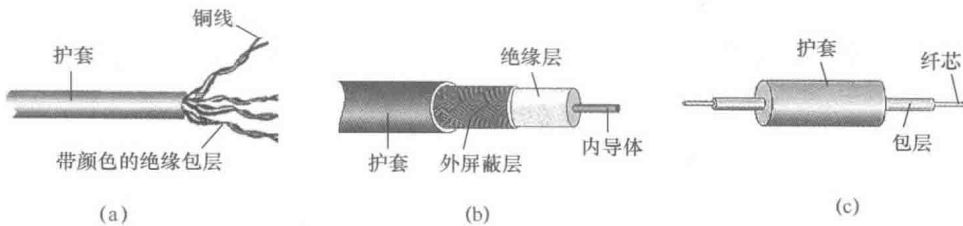


图 1-7 常用有线介质

(a) 双绞线；(b) 同轴电缆；(c) 光纤

1. 双绞线

双绞线分为屏蔽双绞线 (STP) 和非屏蔽双绞线 (UTP) 两类。双绞线既可用于模拟信号传输，也可用于数字信号传输，其通信距离一般为几到十几千米，使用十分广泛。

双绞线按照所使用线材不同而有不同的传输性能，美国电子工业联合会 (EIA) 规定了六种质量级别的 UTP：

- 1 类——用作电话线，不用于数据传输；
- 2 类——用于语音和数字数据传输，传输速率达 4Mbit/s，常用于令牌网；
- 3 类——用作大多数电话系统中使用的标准电缆，传输速率达 16Mbit/s，数据传输速率可达 10Mbit/s，主要用于 10BASE-T；
- 4 类——传输速率达 20Mbit/s，数据传输速率可达 16Mbit/s，主要用于令牌网、10BASE-T、100BASE-T；
- 5 类——传输速率达 100Mbit/s，主要用于 10BASE-T、100BASE-T、100VG-ANYLAN；
- 超 5 类——传输速率达 1000Mbit/s，可用于高速数据传输；
- 6 类——传输速率达 2.4Gbit/s，用于超高速数据传输。

非屏蔽双绞线（UTP）是常见的传输介质，但它易受干扰。屏蔽双绞线（STP）抗干扰能力强，有较高的传输速率，100m内可达155Mbit/s；但价格较贵，屏蔽层要接地，安装困难。

2. 同轴电缆

同轴电缆分为基带同轴电缆和宽带同轴电缆两种。

（1）基带同轴电缆：一条基带同轴电缆只支持一个信道，它能够以10Mbit/s的速率把基带数字信号传输1~1.2km。阻抗50Ω，适用于数字信号传输；

（2）宽带同轴电缆：宽带同轴电缆支持的带宽为300~450MHz，可用于宽带数据信号的传输，传输距离可达100km。

3. 光导纤维

光导纤维（简称光纤）是光纤通信系统的传输介质。由于可见光的频率非常高，约为 10^{14} Hz的量级，因此，一个光纤通信系统的传输带宽远远大于其他各种传输介质的带宽，是目前最有发展前途的有线传输介质。

光纤呈圆柱形，由纤芯、包层和护套三部分组成，如图1-7（c）所示。光纤与铜线相比较具有无可比拟的高带宽等很多优点。详见本书3.3节。

（二）无线介质

无线介质主要由无线电波和光波作为传输载体。在光波中，红外线、激光是常用的信号载体，前者广泛用于短距离通信，如电视、录像机、空调器等家用电器使用的遥控装置；后者可用于建筑物之间的局域网连接，因为它具有高带宽和定向性好的优势，但是，由于受天气、热气流或热辐射等影响，使得它的工作质量存在着不稳定性。

由于无线电波传播距离远，能够穿过建筑物，而且既可以全方向传播，也可以定向传播，因此绝大多数无线通信都采用无线电波作为信号传输的载体。不同频率（波长）电磁波的传播特性各异，所以其应用场合也有所不同。无线电波的传播方式主要有地面波传播、天波传播、地—电离层波导传播、视距传播、散射传播、外大气层及行星际空间电波传播等几种。

1. 地面波传播

地面波传播又称地表波传播或地波传播，即无线电波沿地球表面传播。地面波在传播过程中，其场强因大地吸收会衰减，频率愈高则衰减愈大；长波、中波由于频率低，加上绕射能力强，因此利用这种传播可以实现远距离通信。地面波传播受季节、昼夜变化影响小，信号传输比较稳定。

2. 天波传播

天波传播是利用电离层对电波的一次或多次反射进行的远距离传播，是短波的主要传播方式。中波只有在夜间才能以天波形式传播。天波传播存在着严重的信号衰落现象。所谓电离层是大气中具有离子和自由电子的导电层。

3. 地—电离层波导传播

这是指电波在从地球表面至低电离层下缘之间的球壳形空间（地—电离层波导）内的传播。长波、甚长波在该波段内能以较小的衰减传播数千千米，且受电离层扰动影响小，传播稳定，故可用于远距离通信。

4. 视距传播

由发射天线辐射的电波像光线一样按直线传播，直接传到接收点，这种传播方式称为直

射波传播。另外,还有由发射天线发射、经地面反射到达接收点的传播方式,称为大地反射波传播。视距传播是这两种传播方式的统称,在接收点所接收的电波一般是直射波与大地反射波的合成。视距传播的距离一般为 20~50km,主要用于超短波及微波通信。

5. 散射传播

这是利用对流层或电离层介质中的不均匀体或流星余迹对无线电波的散射作用而进行的传播。利用散射传播实现通信的方式目前主要是对流层散射通信,其常用频段为 0.2~5MHz,单跳距离可达 100~500km。电离层散射通信只能工作在较低频段 30~60MHz,单跳距离可达 1000~2000km,但因传输频带窄,其应用受到限制。流星余迹持续时间短,但出现频繁,可用于建立瞬间通信,常用通信频段为 30~70MHz,单跳通信可达 2000km。实际的流星余迹通信除了利用散射传播外,还可利用反射进行传播。

6. 外大气层及行星际空间电波传播

这是以宇宙飞船,人造地球卫星或星体为对象,在地一空、空一空之间进行的电波传播。卫星通信利用的就是这种传播方式。其中,自由空间传输损耗达 200dB 左右、此外还受对流层、电离层、地球磁场、宇宙空间各种辐射和粒子等的影响、大气吸收及降雨衰减对 10GHz 以上的频段影响严重。

上述无线电传播方式示意图如图 1-8 所示。

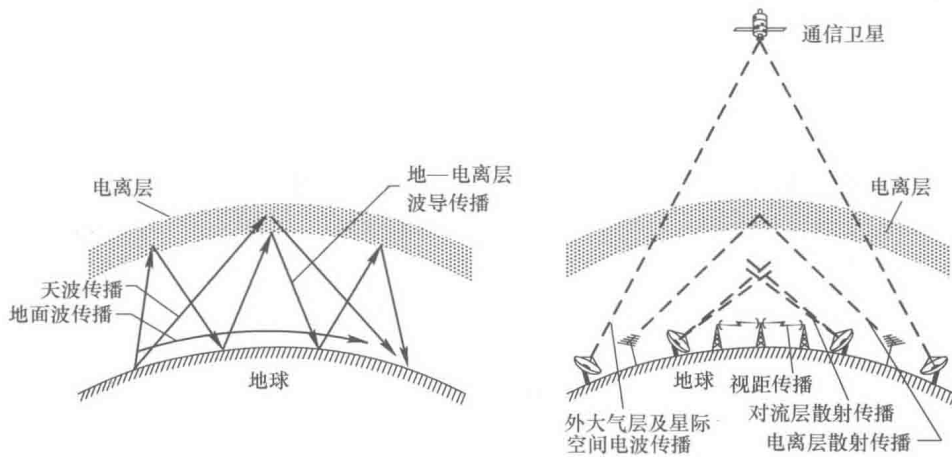


图 1-8 无线电传播方式示意图

二、噪声的定义与分类

从广义上来说,通信系统中不携带有用信息的信号就是噪声。很明显,噪声是相对于有用信号而言的,一种信号在某种场合是有用信号,而在另一种场合就有可能成为噪声。噪声的种类很多,也有很多种分类方法。

据其来源的不同,噪声可分为人为噪声、自然噪声和内部噪声三种。其中:人为噪声是指人类的各种活动产生的噪声,包括工业噪声和无线电噪声,如电焊产生的电火花、车辆或各种机械设备运行时产生的电磁波和电源的波动,尤其是为某种目的而专门设置的干扰源(如电子对抗)。自然噪声是指存在于自然界的各种电磁干扰,如雷电干扰、太阳黑子及其他宇宙噪声;内部噪声是指通信系统设备内部由元器件本身产生的热噪声、散弹噪声及电源噪声等。

根据噪声性质,可将噪声分为单频噪声、脉冲噪声和起伏噪声。

(1) 单频噪声是一种以某一固定频率出现的连续波噪声,主要来源于无线电干扰,如50Hz的交流电噪声。

(2) 脉冲噪声是一种随机出现的无规律噪声,如电火花、雷电等。

(3) 起伏噪声主要是内部噪声,而且是一种连续波随机噪声,如热噪声、散弹噪声和宇宙噪声等。其特点是具有很宽的频带并且始终存在,是影响通信质量的重要因素。对它的研究必须借助概率论和随机过程的有关知识。

元器件本身产生的热噪声、散弹噪声都可看成是无数独立的微小电流脉冲的叠加,它们是服从高斯分布的,即热噪声、散弹噪声都是高斯过程。为研究方便,我们称这类噪声为高斯噪声。

除了用概率分布描述噪声的特性外,还可用功率谱密度加以描述。若噪声的功率谱密度在整个频率范围内都是均匀分布的,则称其为白噪声。这是因为其谱密度类似于光学中包含所有可见光光谱的白色光。不是白色噪声的噪声称为带限噪声或有色噪声。而把统计特性服从高斯分布、功率谱密度均匀分布的噪声称为高斯白噪声。

三、信道的容量

信道的容量是指单位时间内信道上所能传送的最大信息量,即信道中信息无差错传输的最大速率。在信道模型中定义了两种广义信道:调制信道和编码信道。调制信道是一种连续信道,可以用连续信道的信道容量来表征;编码信道是一种离散信道,可以用离散信道的信道容量来表征。

(一) 香农信道容量公式

香农研究了用模拟信道传输数字信号时的信道容量问题,并得出了著名的香农公式

$$C = B \log_2(1 + S/N) \quad (\text{bit/s}) \quad (1-1)$$

式中: B 为带宽, Hz; S/N 为信噪功率比。

由香农公式可知,当信号与信道加性高斯白噪声的平均功率给定时,在具有一定频带宽度的信道上,理论上单位时间内可能传输的信息量的极限数值。只要传输速率小于等于信道容量,则总可以找到一种信道编码方式,实现无差错传输;若传输速率大于信道容量,则不可能实现无差错传输。实际通信系统的最大传输速率小于信道容量。

【例 1-1】 若信道带宽为 4kHz,信道上只有加性高斯白噪声,接收端的信噪比 S/N 是 40dB,求此信道的最大容量。

解

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{dB}} = 10 \lg \frac{S}{N} = 40 \text{dB}$$

$$\frac{S}{N} = 10^4$$

$$C = 4 \log_2(1 + 10^4) = 53.15 \text{ kbit/s}$$

(二) 奈奎斯特信道容量公式

数字信道是一种离散信道,只能传送离散取值的数字信号。奈奎斯特研究了理想数字信道(无噪声、无码间干扰)时带宽与速率的关系,并得到以下结论

$$C = 2B \log_2 M \quad (\text{bit/s}) \quad (1-2)$$

式中： B 为带宽，Hz； M 为传输时数据信号的取值状态，即采用 M 进制传输。

【例 1-2】 设数字信道的带宽为 3kHz，采用二进制传输，试计算无噪声时，该信道的通信容量。

解

$$C = 2B \log_2 M = 2 \times 3 \log_2 2 = 6 \text{ kbit/s}$$

1.1.4 通信系统的质量指标

通信的基本目的是及时、准确地传递信息。因此，衡量和评价一个通信系统性能优劣的主要指标是系统的有效性和可靠性。有效性是指在给定信道内所传输的信息内容的多少，或者说是传输的“速度”问题。显然，有效性值越高，系统性能越好；可靠性是指接收信息的准确程度，也就是传输的“质量”问题。有效性和可靠性这两项指标通常是相互矛盾的，在实际系统中，提高可靠性往往是以牺牲有效性作为代价来换取的，反之亦然。

模拟通信系统和数字通信系统对这两项指标要求的具体内容有较大区别。

一、模拟通信系统的质量指标

传输带宽是模拟通信系统衡量有效性的质量指标。传输带宽越宽，可传输信号速率就越高。模拟通信系统的可靠性用接收终端输出信噪比 (S/N) 来衡量（即信号平均功率与噪声平均功率之比）。信噪比越大，表示通信质量越高。采用不同调制方式在同样一条信道中得到的输出信噪比是不同的。例如，调频 (FM) 信号的抗干扰性能优于调幅 (AM) 信号，但 FM 信号需要的传输带宽却宽于 AM 信号。

二、数字通信系统的质量指标

数字通信系统的有效性用传输速率来衡量。可靠性用误码率来衡量。信道传输信号的能力称为传输指标，有两种码元传输速率和比特传输速率。

(一) 码元传输速率 R_B

单位时间传输的码元数定义为码元传输速率 R_B ，单位为 Baud (波特)，常用符号“B”表示。且

$$R_B = \frac{1}{T} \text{ (Bd)} \quad (1-3)$$

式中： T 为码元宽度，s。

(二) 信息传输速率 R_b

单位时间传输的信息量定义为比特传输速率 R_b ，单位为 bit/s。 R_B 与 R_b 关系为

$$R_b = R_B \times \log_2 N \text{ (bit/s)} \quad (1-4)$$

或

$$R_B = \frac{R_b}{\log_2 N} \text{ (Bd)} \quad (1-5)$$

式中， N 代表码元的状态数。从表达式中可以看出，当 N 等于 2 时， $R_b = R_B$ 。

【例 1-3】 已知信道码元传输速率为 2000Bd，分别求传输二状态码元、四状态码元和八状态码元时的信息传输速率。

解 二状态码元时的信息传输速率

$$R_b = 2000 \times \log_2 2 \text{ (bit/s)} = 2000 \text{ (bit/s)}$$

四状态码元时的信息传输速率

$$R_b = 2000 \times \log_2 4 \text{ (bit/s)} = 4000 \text{ (bit/s)}$$

八状态码元时的信息传输速率

$$R_b = 2000 \times \log_2 8 \text{ (bit/s)} = 6000 \text{ (bit/s)}$$

(三) 误码率 P_e 。

误码率定义为在一定时间内接收端指示的错误码元的数和这段时间内总的码元数之比

$$P_e = \frac{\text{单位时间内接收的错误码元数}}{\text{单位时间内系统传输的总码元数(正确码元数 + 错误码元数)}} \quad (1-6)$$

1.2 计算机通信与网络

随着通信的不断发展,尤其是数字化技术的迅速发展,使当今社会最活跃的两个领域C&C——计算机(Computer)与通信(Communication)的结合成为现实。计算机的发展促进了通信技术的发展,同时,通信技术的发展也极大地拓展了计算机应用的领域和范围,并对计算机提出了更高的要求。因此,计算机和通信的结合日益密切,两者相互促进,共同发展,取得了令世人瞩目的成就。

计算机与通信的结合主要有两个方面:一方面,通信网络为计算机之间的数据传递提供了必要的手段;另一方面,计算机技术的发展渗透到通信技术中,又提高了通信网络的性能。而计算机网络的发展和壮大,正是这两种技术结合的成果。计算机网络的演变与发展经历了四个阶段:第一阶段是面向终端的计算机网络;第二阶段是计算机—计算机的简单网络;第三阶段是开放式标准化的网络;第四阶段是计算机网络的高速化发展阶段。

1.2.1 计算机通信与网络的基本模型

一、定义

计算机通信是面向计算机和数据终端的一种通信方式,可以实现计算机与计算机之间数据信息的生成、存储、处理、传递和交换。用数据通信网将地理位置不同、功能独立的多个计算机互联在一起,以功能完善的网络软件实现网络中资源共享的计算机系统成为计算机通信网。

二、组成

计算机通信网由资源子网和通信子网组成。

负责数据信息处理以实现网络资源共享的计算机与终端属于资源子网;而负责数据通信的设备与通信线路属于通信子网。资源子网是由所有端节点(包括它们所拥有的设备)以及连接这些节点的链路组成。通信子网是由网络节点以及连接这些节点的通信链路组成。网络节点可分为端节点和转接节点。转接节点是指通信设备,如交换机、集中器、集线器(Hub)、路由器(Router)等,而端节点是指用户主机或终端。网络节点的作用是控制信息的传输和在端节点之间转发信息。网络逻辑上以通信子网为中心,说明资源共享是建立在通信基础之上的。转接节点位于通信子网内,负责传递信息。访问节点位于资源子网内,是资源的拥有者。

通信子网分为以下两种类型。

(1) 点对点通信子网:从信源端发出的信息经过多个交换节点转发到达指定的信宿端,一般用于广域网。

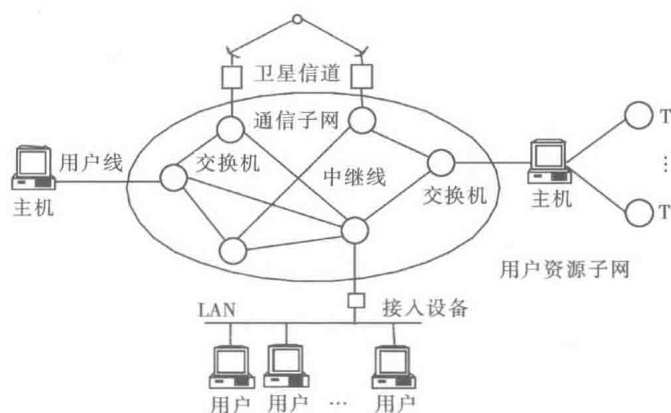


图 1-9 计算机网络的组成

(2) 广播式通信子网：所有计算机共享同一信道，必须有相应的信道访问控制技术分配信道使用权，一般用于局域网。

图 1-9 所示为实际的两级子网结构的计算机通信网的组成。图中，用户资源子网包括各种类型的计算机、终端以及数据采集系统，有的请求共享资源，有的可提供资源共享；而通信子网则可以采用电信部门提供的各种网络，支持用户资源子网的接入。

在计算机通信网中，除了物理上选择必要的互连之外，还需要执行网络通信控制的软件，包括网络操作系统、网络通信软件、网络协议和协议软件、网络管理及网络应用软件。

三、分类

计算机网络有多种分类方法。计算机网络从覆盖区域来分，有局域网 LAN (10~1000m)、城域网 MAN (几十千米)、广域网 WAN (几百千米)、Internet 网 (几千千米)；按网络所有权来分，有公用网、专用网、私用网。按拓扑结构分为总线形网、星形网、环形网、树形网、网状形网及混合形网等；按信息交换方式分为电路交换网、报文交换网、分组交换网；按组网技术分，有陆地网、卫星网、分组无线网、局域网等；按网络集成规模分为工作组网、部门级网、企业级网、超企业级网、全球网等；按网络控制方式分为集中式控制网络和分布式控制网络。这些分类概念上互有交叉，对于一个具体的网络，可能同时具有上面几种分类的特征。

四、计算机通信的特点

与传统的电话通信相比计算机通信具有如下特征：

- (1) 计算机通信以数据通信为主，因此传输的可靠性要求高 (误码率 $<10^{-10} \sim 10^{-9}$)；
- (2) 计算机设备出自不同的厂商，又用于不同的目的，故需要具备灵活的通信接口，以适应各类用户需要；
- (3) 数据信息传输效率高；
- (4) 呼叫平均持续时间短，效率高；
- (5) 业务参数随应用环境有较大差别。

1.2.2 计算机通信技术的应用

计算机通信技术的迅速发展，使计算机网络得到了飞速发展。在进入信息化时代的今天，计算机通信技术已经渗透到人们生活、工作、学习的各个角落，几乎无所不在。由于计算机网络在资源共享和信息交换等方面所具有的功能是其他系统所不能替代的。因此，得到了广泛的应用，如军事自动化指挥控制系统、铁路运输指挥控制系统、电力网控制系统、城市交通管制系统、气象预报及灾情控制及预报系统等。它满足了人们的交互需求，如电子银行、网上购物、在线新闻阅读、图书资料检索、电子邮件、虚拟会议等；此外，网络在线游戏亦是当今网络发展的一大热点。