

© 倪伟新 主编

国家防汛抗旱指挥系统技术丛书

通信与计算机网络系统

TONGXIN YU JISUANJI WANGLUO XITONG



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



国家防汛抗旱指挥系统技术丛书

通信与计算机网络系统

◎ 倪伟新 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是国家防汛抗旱指挥系统技术丛书之一,介绍了水利通信网络、计算机网络体系结构、路由与IP地址规划网络管理、网络安全、网络服务、语音和视频会议系统、水利信息系统运行保障平台等主要内容。本书内容全面、系统,实用性强。

本书可供从事防汛抗旱、水利信息化工作的技术人员、研究人员和管理人员使用,也可供有关院校的师生及其他相关读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信与计算机网络系统 / 倪伟新主编. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2012. 10
(国家防汛抗旱指挥系统技术丛书)
ISBN 978-7-5170-0268-0

I. ①通… II. ①倪… III. ①防洪—通信网②抗旱—
通信网③防洪—计算机网络④抗旱—计算机网络 IV.
①TV87②S423③TN915④TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第247204号

书 名	国家防汛抗旱指挥系统技术丛书 通信与计算机网络系统
作 者	倪伟新 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 15印张 337千字
版 次	2012年10月第1版 2012年10月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	60.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

本书编委会

主 任：邱瑞田

副 主 任：蔡 阳 束庆鹏 倪伟新

委 员：刘宝军 胡亚林 黄 静 刘汉宇
郭治清 郝春明 管怀民 金喜来

主 编：倪伟新

副 主 编：郝春明 周维续

编写人员：（按姓氏笔画排序）

付 静 刘 霞 陈 岚 奉亚辉
赵 琛 祝 明 姚 敏 詹全忠

■ 前言



水旱灾害是我国频发、面广、损失严重的自然灾害，治理和防御水旱灾害关系到我国社会、经济的可持续发展和生态与环境的改善。经过 60 余年大规模水利建设，我国主要江河基本形成了以水库、堤防、蓄滞洪区或分洪河道为主体的拦洪、排洪、滞洪和分洪相结合的防洪工程体系以及水文自动测报、洪水预报、防洪调度等防洪非工程体系，同时也兴建了大量的蓄水、引水和提水工程，形成了比较完善的抗旱供水保障体系，全面提高了我国的防洪抗旱减灾能力。

国家防汛抗旱指挥系统是我国防汛抗旱体系的重要组成部分，该系统立足于及时、准确掌握全国防汛抗旱信息，着眼于提高国家防汛抗旱指挥决策水平，实现防汛抗旱信息化与现代化，发挥防洪抗旱减灾工程体系综合效能的大型信息化工程。该系统规模庞大、结构复杂，由信息采集系统、通信与计算机网络系统、应用支撑与数据汇集平台、决策支持系统等部分构成，其一期工程覆盖水利部及其所属长委、黄委等 7 个流域机构，全国 31 个省（自治区、直辖市）和新疆生产建设兵团等 40 多个单位，涉及我国水利、气象、农业等相关部门。

国家防汛抗旱指挥系统一期工程在各级建设单位精心管理、数千名建设者共同努力下，于 2009 年底全面完工并投入使用，在近年来的防汛抗旱减灾工作中发挥了重要作用，产生了重大社会和经济效益。工程建设所形成的信息资源，建立的数据库，建成的水利信息网络，开发的应用软件，制订的规范和标准等都成为水利信息化的基础设施，也为水利行业其他业务系统建设提供了有力支撑。

为了系统地总结工程建设经验，宣传工程建设成果，更好地为我国防汛抗旱减灾和国民经济建设服务，水利部国家防汛抗旱指挥系统工程项目建设办公室组织了部分参加过一期工程建设的骨干编写了《国家防汛抗旱指挥系统技术丛书》，丛书共分《信息采集系统》、《通信与计算机网络系统》、

《应用支撑与数据汇集平台》、《决策支持系统》等4个分册，对各个系统涉及采用的技术和标准进行了相应总结和介绍，涵盖了国家防汛抗旱指挥系统所涉及的全部技术内容。

《通信与计算机网络系统》为《国家防汛抗旱指挥系统技术丛书》的分册之一，全书共分9章，旨在总结一期工程计算机网络系统、通信系统、异地会商视频会议系统的建设成果及经验，并对系统在近年来防汛抗旱工作中发挥的作用进行分析。

全书由倪伟新统稿并审定。第1章、第6章由詹全忠、祝明编写；第2章由祝明、奉亚辉编写；第3章、第9章由陈岚编写；第4章由郝春明、陈岚、赵琛编写；第5章由周维续编写；第7章由付静编写；第8章由刘霞、姚敏编写。在本书编写过程中还得到了许多领导、专家、学者的帮助和支持，在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2012年5月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 通信技术	1
1.2 计算机网络技术	31
第 2 章 水利通信网络	50
2.1 概述	50
2.2 水利通信的应用特点	51
2.3 水利通信解决方案	53
第 3 章 计算机网络体系结构	67
3.1 发展历程和现状	67
3.2 总体网络结构	70
3.3 骨干网	72
3.4 流域省区网	74
3.5 城域网	78
3.6 部门网	81
第 4 章 路由与 IP 地址规划	83
4.1 路由规划	83
4.2 IP 地址分配和域名设计	89
第 5 章 网络管理	95
5.1 网络管理概述	95
5.2 网络管理体系结构	98
5.3 水利网络管理系统建设与开发	104
5.4 网络管理制度	141
第 6 章 网络安全	143
6.1 网络安全风险分析	143
6.2 网络安全体系	152
6.3 安全管理体系	155
6.4 安全技术体系	158

第 7 章 网络服务	171
7.1 网络域名服务	171
7.2 网络文件传输服务	173
7.3 网络邮件服务	177
7.4 网络信息发布服务	181
7.5 网络服务器配置	185
第 8 章 语音和视频会议系统	188
8.1 语音系统	188
8.2 视频会议系统	195
第 9 章 水利信息系统运行保障平台	211
9.1 总体架构	211
9.2 主要功能	212
参考文献	231

第 1 章 概 述

通信与计算机网络系统负责信息的传输和共享，属于水利信息化的重要基础设施，是水利业务管理或决策支持信息系统运行的前提和保障。本章分别介绍通信及计算机网络的基础知识和技术要点。

1.1 通信技术

在 19 世纪以前的漫长历史时期内，人类传递信息主要依靠人力、畜力，也曾使用信鸽或借助烽火等方式来实现。这些通信方式效率极低，都受到地理距离和地理障碍的极大限制。1844 年，美国人莫尔斯（S. B. Morse）发明了莫尔斯电码，并在电报机上传递了第一条电报，通信技术有了质的飞跃。1876 年贝尔发明了电话，首次使相距数百米的两个人可以直接清晰地进行对话。进入 20 世纪 50 年代，由于计算机的出现和电子技术的快速发展，通信技术得到了迅猛的发展。时至今日，各种现代通信手段眼花缭乱，随时随地的通信成为现实，地球成为一个透明的村落。

现代通信技术是信息科学技术的一个重要组成部分，是信息化社会的重要支柱。随着信息社会的到来，人们对信息的需求将日益丰富与多样化。现代通信技术意义上所指的信息是将声音、文字、图像、数据等合为一体的多媒体信息。通信是指利用光学、电子等技术手段，借助光电信号实现从一地向另一地进行信息传递和交换的过程。本节将介绍通信技术的基础知识和技术要点。

1.1.1 通信的定义

1. 概念模型

通信的基本形式是在信源与信宿之间建立一个传输信息的通道（信道）。通信不仅可以无失真、高效率的传递信息，并可在传输过程中抑制无用信息，同时还具有存储、处理、采集及显示的功能。图 1.1 为通信系统的基本模型，从该模型可以看出，要实现信息从一端向另一端的传递，必须包括 6 个部分：信息源、发送设备、信道、接收设备、受信者、噪声源。

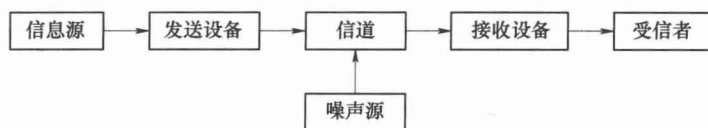


图 1.1 通信系统的基本模型

（1）信息源。信息源简称信源，其作用是把待传输的消息转换成原始电信号。例如，在电话系统中，电话机可看成是信源；信源输出的信号称基带信号（指未经频率搬移的



原始信号),其特点是频率较低。不同的信息源构成不同形式的通信系统,如人与人之间通信的电话通信系统、计算机之间通信的数据通信系统。

(2) 发送设备。发送设备(变换器)的作用是将信源发出的信息变换成适合在信道中传输的信号,即对基带信号进行某种变换或处理,使原始信号(基带信号)适应信道传输特性的要求。发送设备是个总体概念,其包括许多具体电路与系统,对应不同的信源和不同的通信系统,具有不同的组成和变换功能。例如,在数字电话通信系统中,变换器包括送话器和模/数变换器等,后者的作用是将送话器输出的模拟话音信号经过模/数变换、编码及时分复用等处理后,变成适合于在数字信道中传输的信号。

(3) 信道。信道主要是传递信息的通道,又是传递信号的设施。按传输介质(又称传输媒质)的不同,可分为有线(如明线,双绞线,同轴电缆、光纤等)和无线(如微波通信、卫星通信、无线接入等)两大类。

(4) 接收设备。在接收端,接收设备(反变换器)的功能与发送设备(变换器)相反,其从收到的信号中恢复出相应的原始信号,即把从信道上接收的信号变换成信息接收者可以接收的信息,起着还原的作用。

(5) 受信者。受信者(收终端)又称为信宿,是信息的接收者,其将复原的原始信号转换成相应的消息。信宿可以与信源相对应,构成人—人通信或机—机通信,如电话机将对方传来的电信号还原成了声音;也可与信源不一致,构成人—机通信或机—人通信。

(6) 噪声源。噪声源是指系统内各种干扰影响的等效结果。系统的噪声来自各个部分,从发出和接收信息的周围环境、各种设备的电子器件,到信道所受到的外部电磁场干扰,都会对信号形成噪声影响。为便于分析,一般将系统内所存在的干扰折合于信道中,用噪声源表示。

需要分辨清楚的几个术语:

- 1) 信源:消息的来源,是消息的产生者或接受者,提供消息的可以是人或机器。
- 2) 消息:信息系统要传送的对象,由信源传输,如语音、图像、文字或某些物理参数等。
- 3) 信号:在通信系统中为传送消息而对其变换后传输的某种物理量,如电信号、声信号、光信号等。信号是消息的载体。
- 4) 信令:通信系统进行控制操作或为用户服务的一类控制信号。
- 5) 信息:消息中的有效内容,消息内容的含量用信息量来衡量。

2. 功能模型

通信技术与计算机技术的结合,使得通信技术逐渐向网络化方向发展。从通信网络的系统组成角度,将其分为4个功能模块:接入功能模块、传输功能模块、控制功能模块和应用功能模块,如图1.2所示。

(1) 接入功能模块。接入功能模块(有线接入或无线接入)将消息数字化并变换为适于网络传输的信号,即进行新源编码。其发信者或接收者可为人或机器,所接入的消息形式可为语音、图像或数据。

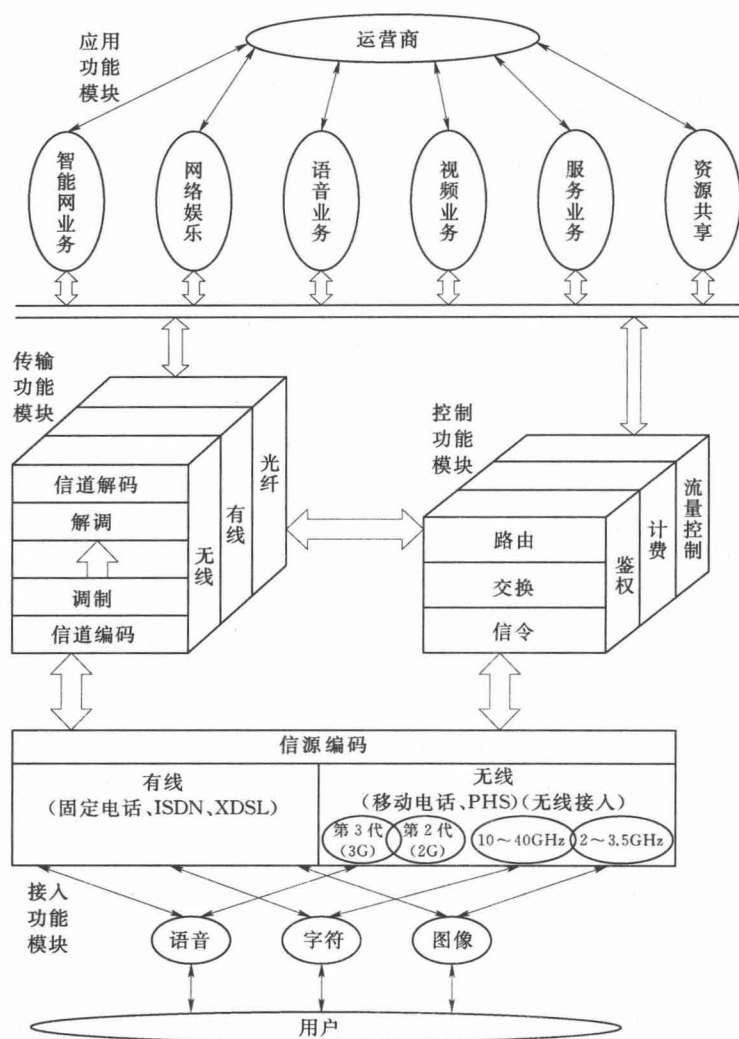


图 1.2 现代通信系统的功能模型

(2) 传输功能模块。传输功能模块(有线传输或无线传输)将接入的信号进行信道编码或调制,变为适于传输的信号形式,并满足信号传输要求的可靠性指标。

(3) 控制功能模块。控制功能模块由信令网、交换设备和路由器等组成,完成用户的鉴权、计费与保密,并满足用户对通信的质量指标要求。

(4) 应用功能模块。应用功能模块为网络运营商提供业务运营,包括智能网业务、语音、视频的各种服务以及娱乐、游戏、短信、移动计算、定位信息和资源共享等。

3. 设备组成

通信的基础设施是终端设备、传输设备和交换设备,它们共同构成一个完整的通信系统。

终端设备包括电话机、传真机、电报机、数据终端和图像终端等。有线通信的传输设备有电缆、海底电缆、光缆和海底光缆等。无线通信的传输设备有微波收信机、微波发信



机、通信卫星等。交换设备处在通信网络的中心,是实现用户终端设备中信号交换、接续的装置,如电话交换机、电报交换机、网络交换机、路由器等。

(1) 终端。终端设备是通信网中的源点和终点。除对应于信源和信宿之外,终端设备还包括一部分变换和反变换设备。终端设备的主要功能是将输入的信号转换为易于在信道中传送的信号;用于发送和接收用户信息,与网络交换控制信息,通过网络实现呼叫和接入服务。终端还能产生和识别网内所需的信令、信号或规则,以便相互联系和应答。不同的通信业务有不同的终端,如电话终端、数字终端、数据通信终端、图像通信终端和多媒体终端等。

(2) 传输。传输系统是指完成信号传输的介质和设备的总称。其在终端设备和交换设备之间以及交换系统相互之间链接起来形成网络。按传输介质不同,传输系统分为有线传输系统和无线传输系统。传输系统还涉及传输信号、电路、用户环路、链路、干线和节点等概念。

(3) 交换。在通信网中,交换功能是由交换节点(即交换设备)完成的。不同的通信网络由于所支持的业务特性不同,其交换设备所采用的交换方式也不同。交换设备以节点的形式与邻接的传输链路一起构成各种拓扑结构的通信网,是现代通信网的核心。

1.1.2 信号的定义

信号,有时也称为讯号,是运载消息的工具,是消息的载体。通信系统传送的是消息,而消息只有附着在某种物理形式的载体(如表现为电压或电流的电信号和表现为光强的光信号)上才能得以传送。深入理解了信号的性质和特征,就能理解通讯的消息传送过程。对信号的理解是系统了解掌握通讯技术的入门。从数学的角度,信号可以描述为瞬时幅度(电压、电流、光强)随时间变化的函数,称为幅度的时间特性,也可以描述为能量幅度随频率变化的函数,称为幅度频率特性。从物理的角度,通信的过程可以理解为携带消息的信号通过变化的消息对信号施加影响,并让接收端感知到这个影响,从而检测并获得消息,达到携带的目的。

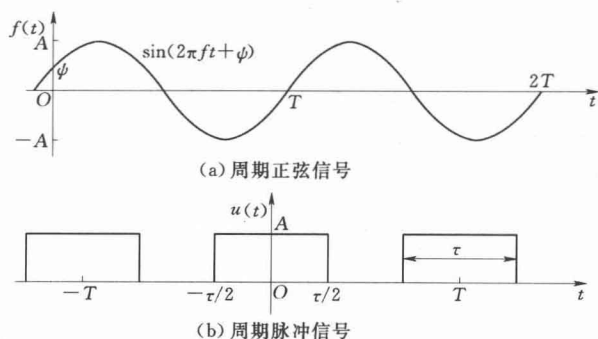


图 1.3 周期正弦信号和周期脉冲信号

相位 ψ 是 3 个重要的表征参数。若把消息作用到这 3 个参数中的任意一个之上,使其随着消息的变化而变化,就会导致波形发生变化,从而在接受端分辨出载波所需要传送的消息。

1. 正弦波和脉冲波

对信号的理解从我们高中物理就接触过的正弦波和脉冲波开始,如图 1.3 所示,是我们经常碰到的两种波形:正弦波和脉冲波,这两种波在通信系统中常被用作携带消息的信号,称之为载波。如图 1.3 (a) 所示, $u(t) = A \sin(2\pi f t + \psi)$ 为正弦波载波,其中幅度 A 、频率 $f = 1/T$ 和相



如图 1.3 (b) 所示, 是一种脉冲波, 描述它有 3 个指标: 幅度 A 、周期 T 、宽度 t 。脉冲是一种电压 (或电流) 幅度在上升和下降过程中瞬间变化比较剧烈的信号。图 1.3 (b) 中展示的是一种理想状态的脉冲, 每一位码元的上升或下降都呈现 90° 。实际中不存在这样的脉冲, 因为信号电压的高低跳变总是需要一定时间的。但若电压跳变时间相对于其维持在高或低位的持续时间很短, 可以近似认为是理想脉冲而不会影响对问题性质的判断。

对两种波的理解是我们步入通信技术殿堂的入口。有 3 个指标最为重要: 振幅、频率和相位。信号的振幅是指信号在各个瞬间时刻强弱变化的轨迹, 单位可以取电压 (V) 或电流 (mA)。在图 1.3 (a) 中, 信号振幅范围从 $+A \sim -A$ 连续变化, 而图 1.3 (b) 中周期脉冲数字信号的振幅是离散变化的, 只能取 A 或 0 。信号的频率可以理解为单位时间内相同波形重复出现的次数。正弦信号的频率 f 是其周期的倒数, 单位是 Hz。但是对于周期脉冲信号来说, 不能简单地把脉冲波形重复出现的次数认为就是构成该信号的全部频率。事实上, 周期脉冲

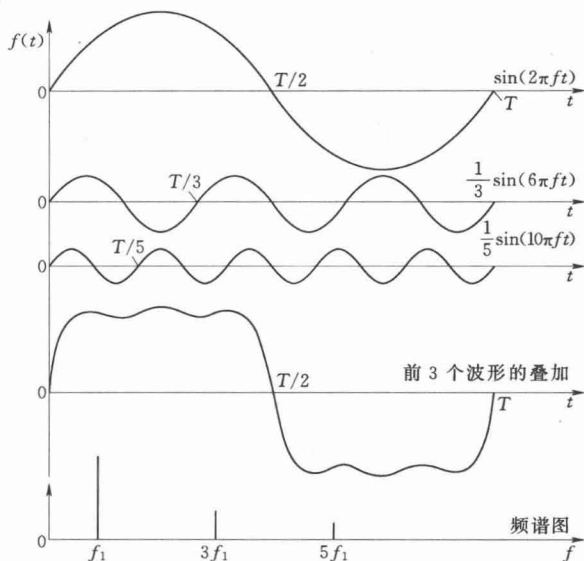


图 1.4 正弦信号谐波叠加逼近矩形波信号

信号的频率分析是以傅里叶级数理论为基础的。根据傅里叶级数分析, 周期脉冲信号是由许多类似正弦信号的不同幅度的频率分量叠加组成的。图 1.4 表现了由信号 $\sin(2\pi ft)$ 及其 3 次和 5 次谐波叠加获得的近似周期矩形波的图形, 谐波次数越多, 叠加后的波形就越能够逼近矩形波。

信号的相位指的是信号在一个周期内起始点的位置, 用弧度表示。以正弦波形为例, 若把时间轴 t 做一个横向剖面来观察不同时刻该信号的振荡变化, 可以发现其幅度随时间起伏变化的规律。把该剖面按照角度坐标系分割成 360° , 则信号振幅的大小和方向无时不在发生变化, 在起始点 0° 时, 振幅为 0, 45° 时振幅为 $A/2$, 90° 时振幅达到 A , 而 270° 时振幅为 $-A$ 。相位的改变意味着在一个振荡周期起始点那一瞬间让信号的振幅值发生改变。

2. 模拟信号与数字信号

模拟信号与数字信号是通信系统中最常见的两类信号。信号幅度在某一范围内可以连续的信号取值的信号, 称为模拟信号, 如图 1.3 (a) 正弦波信号; 而信号仅能够取有限个离散值的信号称为数字信号, 如图 1.3 (b) 为我们常见的表示 0 或 1 的二进制脉冲信号。



3. 时域特性与频域特性

信号的时域特性表达的是信号幅度随时间变化的规律。例如,图 1.3 是正弦波和周期脉冲信号的时域波形,简称为幅时特性。信号的幅时特性也可以用数学表达式来描述。例如,图 1.3 (a)、(b) 可以分别表达为

$$f(t) = \sin(2\pi ft + \phi), t \in [-\infty, +\infty] \quad (1-1)$$

$$u(t) = \begin{cases} A & \left(-\frac{\tau}{2} + nT \leq t < nT + \frac{\tau}{2}, n \in N\right) \\ 0 & \text{其他时间} \end{cases} \quad (1-2)$$

信号的频域特性表达的是信号幅度和相位随频率变化的规律,根据傅里叶级数理论,周期为 T 的任意周期函数 $u(t)$, 均可以表示为直流分量和无限多个正弦及余弦函数之和,即

$$u(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n2\pi ft) + b_n \sin(n2\pi ft)] \quad (1-3)$$

图 1.3 (b) 所示的周期脉冲信号由傅里叶级数分解展开后,其傅里叶级数中只包含直流分量和余弦项,不存在正弦项,即

$$u(t) = \frac{A\tau}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2A\tau}{T} \frac{\sin(n\pi\tau/T)}{n\pi\tau/T} \cos(n2\pi ft) \quad (1-4)$$

式中: $T=1/f$ 为脉冲周期; $A\tau/T$ 为直流项; n 为谐波次数。

令 $x=n\pi T/T=n\pi Tf$, 则式 (1-4) 或表达为

$$u(t) = \frac{A\tau}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2A\tau}{T} \frac{\sin(x)}{x} \cos\left(\frac{2t}{\tau}x\right) \quad (1-5)$$

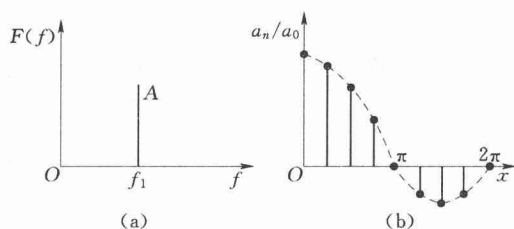


图 1.5 正弦信号和周期脉冲信号频谱图

频谱图。频谱图常用于描述信号的频域特性。图 1.5 (a)、(b) 分别示出了周期正弦信号和周期脉冲信号的频谱图。

4. 信号的带宽

由信号频谱图可以观察到一个信号所包含的频率成分。把一个信号所包含谐波的最高频率 f_h 与最低频率 f_l 之差,即该信号所拥有的频率范围,定义为该信号的带宽。因此可以说,信号的频率变化范围越大,信号的带宽就越宽。在信号的典型应用中,周期矩形脉冲信号具有重要的代表意义,下面重点分析此类信号的频谱特点。

从图 1.5 (b) 所示周期矩形脉冲信号的频谱可得出如下结论:

(1) 周期矩形脉冲信号的频谱是离散的,频谱中有直流分量 $A\tau/T$ 和、基频 $\Omega=2\pi/T$



和 n 次谐波分量 $n\Omega$, 谱线间隔为 Ω 。

(2) 直流分量、基频及各次谐波分量的大小正比于 A 和 τ , 反比于周期 T , 其变化受包络线 $\sin(x)/x$ 的限制, 有较长的拖尾见式 (1-5)。

(3) 当 $x \rightarrow \infty$, 即 $f \rightarrow \infty$ 时, 谱线摆动于正负值之间并趋向于零。

(4) 随着谐波次数的增高, 幅度越来越小, 理论上谐波次数可到无穷大, 即该信号的带宽是无限的, 但可以近似认为信号的绝大部分能量都集中在第一个过零点 $f=1/T$ ($x=\pi$) 一个过零点左侧的频率范围内。这个频率范围外的信号频谱所占有的信号能量可以忽略不计。通常把第一个过零点左侧这段频率范围称为有效频谱宽度或信号的有效带宽, 即

$$B=1/T \quad (1-6)$$

式 (1-6) 表明, 信号带宽与脉冲宽度成反比。即脉冲越窄, 所占用的带宽越宽。带宽的概念对于理解通信系统的传输是非常重要的。需要指出的是, 信号带宽与信道带宽相联系。信道带宽用于描述通信信道的特性, 是表示通信传输容量的一个指标, 信道带宽越大, 其通过信号的能力越强, 越能传输高质量的信号。

5. 信号的衰耗与增益

信号在传输过程中会受到各种外界因素的影响, 导致接收端信号与发送端信号相比发生变化。若输出端功率小于输入端功率, 则称信号受到了衰耗。产生衰耗的主要原因是传输过程在存在阻抗, 吸收了部分传输能量。若输出端功率大于输入端功率, 则称信号受到了增益。信号经过信号放大器放大后就会产生增益。

衡量衰耗和增益大小的单位是分贝 (dB), 定义为

$$d=10\lg\left(\frac{P_{\text{in}}}{P_{\text{out}}}\right) \quad (1-7)$$

式中: P_{in} 和 P_{out} 分别是信号在输入、输出端两点的功率, W。

例如, 把 10mW 功率的信号加到输入端并在输出端测得功率 5mW, 衰减 d 约为 3dB。

式 (1-7) 也可用电压或电流量表示。由功率 $P=V^2/R$ 或 $P=I^2R$, 得

$$d=10\lg\left(\frac{P_{\text{in}}}{P_{\text{out}}}\right)=20\lg\left(\frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{out}}}\right)=20\lg\left(\frac{I_{\text{in}}}{I_{\text{out}}}\right) \quad (1-8)$$

在通信系统中, 若讲到某点信号的强弱, 经常使用电平的概念。正如我们把海平面作为衡量同高的参考点一样, 电平是一个相对的概念。系统中某点的功率电平定义为该点信号的功率与一个称为其准参考点 (阻抗是 600Ω , 基准功率值 1mW, 基准电压值 0.775V, 基准电流值 1.29mA) 的功率之比。具体来说, 设 P_x 是点 x 处的信号功率, 该点的电平定义为 (用 dB 作单位)

$$D_x=10\lg\left(\frac{P_x}{1\text{mW}}\right)=20\lg\left(\frac{V_x}{0.775\text{V}}\right)=20\lg\left(\frac{I_x}{1.29\text{mA}}\right) \quad (1-9)$$

使用电平最大的好处是计算上的方便, 可以简化通信测量中对信号和噪声大小的计算。另外需要指出的是, 当式 (1-9) 表示系统中某点的电平时, 习惯上使用 dBm 这个单位, 1mW 的功率电平为 0dBm, 称为绝对功率电平。



6. 噪声与失真

叠加在有用信号之上并对信号的正常处理和传输产生有害影响的成分称为噪声。噪声的来源可能有两个：一个是外部干扰，如雷暴、天电、高压火花产生的电磁辐射等；另一个是系统内部固有的，如热噪声或自激噪声等。

信噪比常用于衡量一个通信系统的优劣，系统中某点的信噪比定义为该点的信号功率 P_s 与噪声功率 P_N 之比并取对数。一般来说，信噪比分贝越大通信质量越高。具体定义为

$$SNR = 10 \lg \left(\frac{P_s}{P_N} \right) \quad (1-10)$$

在模拟通信系统中，噪声对有用信号的影响会随着传输距离的增加而产生累积效应，难以把有用信号从中提取出来，因而要求系统有较高的信噪比。但在数字通信系统中，以适当距离中继再生后就可以完全恢复出原始信号，这也是数字通信能够完全取代模拟通信的最根本的原因。图 1.6 显示了噪声叠加干扰导致信号幅度发生改变的情况。

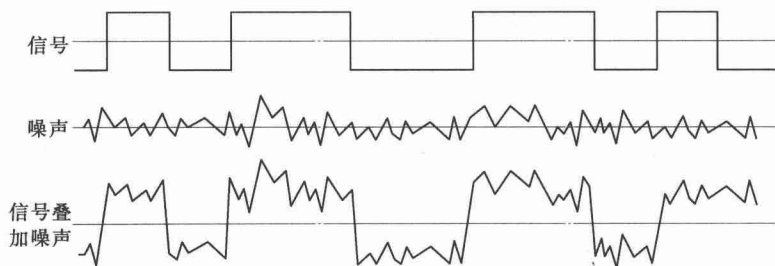


图 1.6 噪声叠加干扰导致信号幅度的变化

经过传输后的信号，由于受到通信系统本身条件限制可能会产生畸变，称为信号失真。所谓无失真传输，必须满足两个条件：一是系统对信号不同频率的幅度值产生等值的衰减或放大；二是系统对信号不同频率具有常数群时延特性，即相位延迟与频率成正比。不满足第一条件而导致的失真称为幅频失真。如果一个系统对不同频率分量产生不同的衰减或放大，那么当信号通过该系统之后，各频率分量的幅度比例就会发生改变，叠加后将不能真实反应产生不同的相移（表现在时域就是产生不同的延迟），则系统输出的各频率分量叠加之后也不能真实反应原信号，这样产生的失真即为相频失真。这两种失真，仅仅是各次谐波的幅度、相位产生了变化，系统并未产生新的谐波频率，所以称为线性失真。可以通过改善系统的传输特性，降低线性失真，使其在工作频率内近似满足无失真传输条件。某些情况下，由于传输系统的非线性特性，会导致接收到的信号产生新的频率分量，称之为非线性失真。

1.1.3 信道的定义

信源发出的信号经过信道传输后被信宿接收，所以信道是信号传输的通路。信道的传输特性即信道的频率响应特性，描述了不同频率的信号通过信道传输后能量幅度和相位变化的情况。由此可以确定信道能够通过什么频率的信号而不会产生畸变。信道带宽是描述通信系统的一个重要指标，也是理解通信系统的一个最基本的概念。信道带宽用于衡量一



个信道的传输能力，带宽越大表明传输能力越强。信道带宽主要受传输媒介带宽的影响，不同的传输媒介带宽不同，所以信道带宽又称为线路带宽或媒介带宽。例如，光纤媒介的带宽就远远大于电缆的带宽。信道容量则是用来衡量信道所能达到的最大传输能力的一个重要指标。

1. 传输特性与带宽

信道的传输特性又称为信道的频率响应特性，它描述了包含不同频率分量的信号经过信道传输后其幅度和相位的变化情况。一个理想信道具有无限的带宽，即当信号通过理想信道传输时，发送端和接收端的波形完全一样，只是在幅度上有所衰减，时间上有所滞后。如图 1.7 (a)、(b) 所示，理想信道对任何频率的信号都具有同样的频率响应，其幅频特性具有从 $-\infty \sim +\infty$ 的理想频宽，其相频特性具有从 $-\infty \sim +\infty$ 的线性相移。

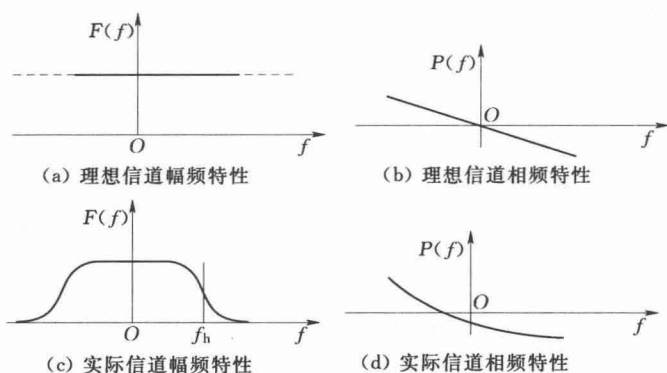


图 1.7 理想信道与实际信道频率特性的比较

但是，受物理传输媒介和传输设备性质的限制，实际信道都是非理想的，其频率响应特性限定了通过其传输的上、下限频率，也就是有一个限定通频带。图 1.7 (c)、(d) 示出了实际信道的频率响应特性，其中，小于 f_h 频率的信号基本上能够正常通过信道，即使有部分失真也可以容许，而大于 f_h 频率的信号被部分抑制掉。非理想信道的相频特性也呈现出非线性特点，表现在实际问题中就是不同频率分量信号在信道中传输速度不一样，导致不同频率分量产生不同时间的延迟。

信号带宽与信道带宽的匹配是通信系统正常工作的重要保证之一，两者匹配最主要考虑的是频带匹配。如果被传输信号的频率范围与信道频带相适应，对信号的传输不会有什么影响；如果信号的有效带宽大于信道带宽，就会导致信号的部分频率成分被过滤掉而产生信号失真。例如前面讲到的周期矩形脉冲信号，其实际带宽是无限的，而信道带宽总是有限的。所以如果信号基频和第一个过零点左侧部分的谐波（即有效带宽部分）能通过信道，一般说来，接收到的数字信号是可以被识别出来的。但如果信道与信号带宽不匹配，导致基频甚至部分谐波被滤除，由于基频包含了信号的大部分能量（在频谱图上反映出的是幅值最大的波形），因此接收到的信号就会产生严重失真而难以识别。传输周期脉冲信号的信道要求至少其下限频率要低于信号的基频。