

WANGLUO GONGCHENG JISHU

网络工程技术

付卫红 李 阳 主编



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

网络工程技术

付卫红 李 阳 主 编
李 刚 韩 毅 吴朝霞 副主编



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

随着数据通信技术以及企业内部通信业务的不断发展与增长,社会对于从事数据通信技术行业人员的技术技能要求变得更高。为了使即将从事企业通信行业或已经处于企业通信行业的技术人员更好地了解企业通信技术,特编写此书。

本书秉承“专业务实、学以致用”的理念以及“工学结合”的思想,以数据通信网络的实际工作过程及典型工作任务为依据,以培养数据通信网络建设与运行维护的核心职业能力为目标,围绕华为数据通信网络设备的配置、调试与统一通信网络开通过程,由浅入深,循序渐进,并配置了大量的图示说明,深入浅出,突出应用性、实践性,容易被学生接受。

本书内容完整、新颖、实用,适于作为网络工程、计算机网络、电子与信息工程、通信等相关专业的院校的教材,也可作为以上相关专业的工程技术人员和管理人员自学提高或工具用书。

图书在版编目(CIP)数据

网络工程技术 / 付卫红, 李阳主编. —北京: 北京邮电大学出版社, 2018. 1

ISBN 978-7-5635-5353-2

I. ①网… II. ①付… ②李… III. ①网络工程—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 313565 号

书 名: 网络工程技术

著作责任者: 付卫红 李 阳 主编

责任编辑: 满志文 穆菁菁

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号 (邮编: 100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷:

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 17

字 数: 438 千字

版 次: 2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-5353-2

定 价: 68.00 元

• 如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

数据通信技术的发展以及数据通信网络在人们日常生活中的应用越来越普遍,从最普通的办公局域网、家庭 ADSL 上网到较为复杂的带路由功能的跨区域公司局域网或国际互联网,数据通信网正无处不在地影响着人们的生活。

本书的内容主要就如何应用网络工程技术组建基本的数据通信网络以及如何对数据通信网络进行维护作了介绍。从组建最基本的计算机网络原理入手,由浅入深地介绍了多种数据通信网络技术,包括交换技术、路由技术及无线网络技术,并对各种数据通信网络进行了详细的介绍。本书力求以全新的视野,全面、深入地向读者介绍数据组网与维护技术。本书第一章对计算机网络基础知识进行了介绍;第二章对交换技术及交换设备进行了详细介绍;第三章介绍了路由技术及路由设备;第四章介绍了无线局域网技术。

本书内容完整、新颖、实用,适于作为网络工程、计算机网络、电子与信息工程、通信等相关专业及院校的教材,也可作为以上相关专业的工程技术人员和管理人员自学提高或工具用书。

本书在介绍数据组网时以华为产品为例,具有一定的代表性,读者可以举一反三。

本书的主编为河南安阳工学院的付卫红、李阳老师,主要负责整体教材的规划以及章节主体内容的把控,副主编为安阳工学院李刚、韩毅、吴朝霞老师,负责部分教材稿件的编写。

其中李阳老师完成字数为 17 万字,李刚老师完成 10.3 万字,韩毅老师完成 9.3 万字,吴朝霞老师完成 3.7 万字,付卫红老师完成 3.5 万字。

此外还得到北京金戈大通通信技术有限公司的大力协助,特此鸣谢。由于作者水平有限,书中难免存在错误和不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 数据通信技术概述	1
1.1 数据通信基础	1
1.1.1 数据通信基本概念	1
1.1.2 数据编码技术	9
1.1.3 数据传输技术	12
1.1.4 信道复用技术	15
1.1.5 数据交换技术	20
1.2 计算机网络概述	25
1.2.1 计算机网络发展史	26
1.2.2 计算机网络的组成和功能	30
1.2.3 计算机网络分类	32
1.2.4 计算机网络的拓扑结构	37
1.2.5 计算机网络体系结构	39
1.3 数据通信设备	56
1.3.1 网络互联设备	56
1.3.2 路由器	68
1.3.3 防火墙	76
1.3.4 服务器	80
1.3.5 UPS	87
1.3.6 网络存储设备	91
1.4 数据通信传输介质	94
1.4.1 双绞线	94
1.4.2 同轴电缆	97
1.4.3 光纤	99
1.4.4 无线介质	100
第 2 章 交换技术(交换机)	103
2.1 虚拟局域网	103
2.1.1 虚拟局域网简介	103
2.1.2 虚拟局域网内通信过程	108
2.1.3 虚拟局域网间通信原理	110
2.2 生成树协议	112
2.2.1 STP、RSTP 与 MSTP	112

2.2.2	MSTP 的基本概念	114
2.2.3	MSTP 报文格式	119
2.2.4	MSTP 的拓扑计算	122
2.2.5	MSTP 的快速收敛机制	125
2.3	VLAN 配置实验	126
2.4	配置 STP 实验	131
第 3 章	路由技术	141
3.1	IP 路由	141
3.1.1	路由概述	141
3.1.2	路由协议概述	145
3.1.3	静态路由	149
3.1.4	默认路由	151
3.2	RIP	151
3.2.1	RIP 概述	151
3.2.2	RIP 原理简介	152
3.2.3	RIP 的报文格式	153
3.2.4	RIPng 的报文格式	155
3.2.5	RIP 协议的工作过程	157
3.2.6	RIP 的高级特性	160
3.3	OSPF	163
3.3.1	OSPF 概述	163
3.3.2	OSPF 的基本概念	164
3.3.3	OSPF 的报文格式	165
3.3.4	OSPF 的 LSA 类型	169
3.3.5	OSPF 的区域	174
3.3.6	路由器的类型	177
3.3.7	OSPF 的网络类型	179
3.3.8	OSPF 的邻接关系	181
3.3.9	默认路由	184
3.3.10	OSPFv3	185
3.4	静态路由和默认路由配置实验	187
3.5	RIPv1 和 RIPv2 配置实验	197
3.6	OSPF 单区域配置实验	205
第 4 章	WLAN 网络技术(AC+AP)	216
4.1	WLAN 概述	216
4.1.1	WLAN 的基本概念与架构	216
4.1.2	WLAN 射频与信道	220
4.1.3	WLAN 标准	225

4.2 WLAN 产品认知(华为)	230
4.2.1 AC	230
4.2.2 AP	232
4.3 WLAN 基础原理	235
4.3.1 WLAN 常用概念	235
4.3.2 AP 的上线	238
4.3.3 STA 接入	244
4.3.4 直接转发与隧道转发	251
4.4 AC 初始化配置实验	256
4.4.1 实验介绍	256
4.4.2 实验任务配置	258

第 1 章 数据通信技术概述

1.1 数据通信基础

人类社会已经进入信息时代,信息和通信已成为现代社会的“命脉”。通信作为传输信息的手段和方式,已经成为推动人类社会文明进步与发展的巨大动力。数据通信是通信技术与计算机技术相结合而产生的一种新的通信方式。数据通信是网络实现资源共享的基础,数据通信网络的核心是数据通信设备,网络中的信息交换是指一个计算机系统内的信号通过网络传输到另一个计算机系统内去处理和使用。如何将计算机内的信号进行传输,这是数据通信需要解决的问题。由于计算机在数据通信领域中的不断渗透,现在大多数信息交换都是在计算机之间,或计算机与其终端、打印机等外围设备之间进行,所以人们把数据通信也称为计算机通信。要在两地间传输信息必须有传输信道,根据传输介质的不同,数据通信分为有线数据通信与无线数据通信。但它们都是通过传输信道将数据终端与计算机连接起来,而使不同地点的数据端实现软、硬件和信息资源的共享。

1.1.1 数据通信基本概念

数据通信主要是在网络的两点或多点之间传送数据信息的过程。因此,数据通信就是按照通信协议,通过传输信道,利用传输技术在功能单元之间传送数据信息,从而实现计算机与计算机之间、计算机与其他数据终端之间、其他数据终端之间的信息交互而产生的一种通信技术。

数据通信和数字通信有概念上的区别。数据通信是一种通信方式;而数字通信则是一种通信技术体制。电信系统中,电信号的传输与交换可以采用模拟技术体制,也可以采用数字技术体制。对于数据通信,既可以采用模拟通信技术体制,也可以采用数字通信技术体制,即在信源和信宿中,数据是以数字形式存在的,但在传输期间,数据可以是数字形式也可以是模拟形式。

在数据通信系统中,数据的传输要借助于一定形式的物理信号,如电信号、光信号或电磁波等。信号代表数据,但不完全等同于数据。两者存在一定的编码关系。简单地说,信号是数据的物理表现。

1. 信息、信号和数据

通信是为了交换信息(Information)。信息的载体可以是数字、文字、语音、图形和图像,常称它们为数据(Data)。数据是由数字、字符和符号等组成的,是一种承载信息的实体。它涉及事物的具体形式,数据是对客观事实进行描述与记载的物理符号。而信息是对数据的解释,是数据的集合、含义与解释。数据和信息是有区别的:数据是独立的,是尚未组织起来的事物

的集合;信息在不同的领域有不同的定义,一般认为信息是人对现实事物存在方式或运动状态的某种认识。例如对一个企业当前生产各类经营指标的数据进行分析,可以得出企业生产经营状况的若干信息。这说明表示信息的形式可以是数值、文字、图形、声音、图像及动画等,这些归根结底都是数据的一种形式,是数据的内容和解释,也就是说数据是信息的表现形式,信息是数据形式的内涵。数据可分为模拟数据和数字数据。

模拟数据是在某个区间内连续的值。如声音和视频就是频率和振幅随时间连续改变的值。模拟数据大多数用传感器收集,如温度和压力都是模拟数据。

数字数据(Digital Data)是离散而不连续的值。它用一系列符号代表信息,而每个符号只可以取有限的值,如文本信息和整数。

信号(Signal)是数据的具体物理表示形式,或称数据的电磁或电子编码,它使数据以适当的形式在介质上传输。信号按其编码机制可分为模拟信号和数字信号两种。

模拟信号(Analogous Signal)是随时间连续变化的电磁波信号,其特点是幅度连续。连续的含义是在某一取值范围内可以取无限多个数值。也就是说,连续变化的模拟信号的取值可以有无限多个,是某些物理量的测量结果,这种信号可以用不同的频率在各种介质上传输。例如,电话的语音信号和传真、电视的图像信号都是模拟信号。如图 1-1-1(a)所示的信号即为模拟信号。

如图 1-1-1(b)所示的信号是抽样信号,该信号在时间上是离散的,但其幅度仍是连续的,所以图 1-1-1(b)所示的仍是模拟信号。

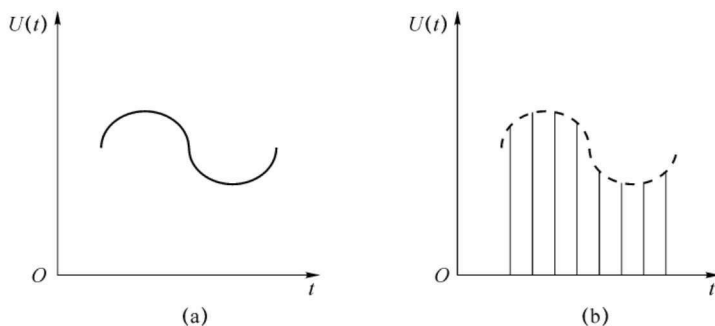


图 1-1-1 模拟信号的表示

数字信号(Digital Signal)是随时间离散变化的信号,其特点是幅度被限制在有限个数值之内,它不是连续的,而是离散的。如图 1-1-2 所示,数字信号是数字信号的波形,是一系列的电脉冲,图 1-1-2(a)是二进制数字信号,每个码元只能取“0”“1”两个状态之一,如计算机的计算结果、数字仪表的测量结果等。图 1-1-2(b)是四进制数字信号,其每个码元只能取“-3”“-1”“1”“3”四个状态中的一个。这种幅度离散的信号称为数字信号。

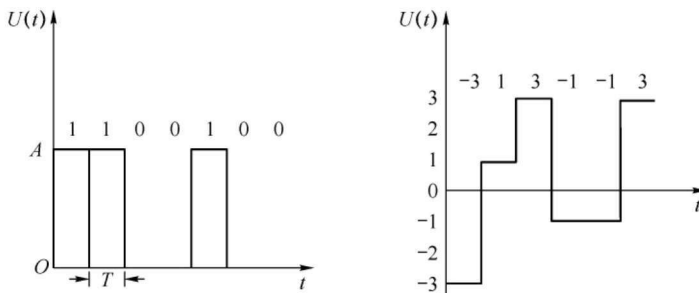


图 1-1-2 数字信号的表示

通信的根本目的是传输信息,而信息往往以具体的数据形式来表现。数据通过介质传输时,又必须转换为一定形式的信号。因此,通信归根结底是在一定的传输媒体上传输信号,以达到交换信息的目的。数据、信息、信号三者是紧密相关的,在数据通信系统中,人们关注更多的是数据和信号。

2. 数据通信模型

用于传递信息所需的全部技术设备和传输介质的总和称为通信系统。通信系统的功能是对原始信号进行转换、处理和传输。由于通信系统的种类繁多,因此它们的具体设备组成和业务功能可能不尽相同,经过抽象概括,可以得到通信系统的一般模型,如图 1-1-3 所示。

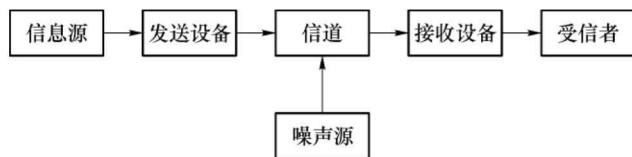


图 1-1-3 通信系统的一般模型

一般来说,点到点的通信系统均可用图 1-1-3 表示。

(1) 信息源

信息源(简称信源)是产生和发送信息的一端,是消息的产生来源,其作用是把各种消息转换成原始电信号。根据消息的种类不同,信源可分为模拟信源和数字信源。模拟信源输出的是模拟信号,如电话机和摄像机就是模拟信源;数字信源输出的是离散的数字信号,如计算机等各种数字终端设备。

(2) 发送设备

发送设备的作用是将原始电信号变换成适合信道中传输的信号,使发送信号的特征和信道特性相匹配。在实际的通信系统中有各种具体的设备名称。发送设备涵盖的内容较多,有放大、滤波、编码、调制等过程。例如,信源发出的是数字信号,若要采用模拟信号传输时,则要用所谓的调制器将数字信号变成模拟信号,而接收端要将模拟信号反变换为数字信号,这要用解调器来实现。在通信中常要进行双向通信,故将调制器与解调器做成一个设备,称为调制解调器。其具有将数字信号变换为模拟信号和将模拟信号恢复为数字信号两种功能。例如,信源发出的是模拟信号,若要以数字信号的形式传输时,则要将模拟信号变换为数字信号,这通常是通过编码器来实现,即到达接收端后再经过解码器将数字信号恢复为原来的模拟信号。实际上一般的通信均为双向通信,故将编码器与解码器做成一个设备,称为编码解码器。对于多路传输系统,发送设备中还包括多路复用器。

(3) 信道

信道即传输信号的通道。其是指信号的传输介质,用来将来自发送设备的信号传输到接收端,它是任何通信系统中最基本的组成部分。信道的定义通常有两种,即狭义信道和广义信道。所谓的狭义信道是指传输信号的物理传输介质。其概括起来可分为两种,即有线信道和无线信道。在有线信道中,可以是架空明线、电缆和光缆;在无线信道中,可以是自由空间、电离层等。信道在给信号提供通道的同时,也会引入噪声,对信号产生干扰。信道的噪声直接关系到系统的通信质量。如图 1-1-3 所示中的噪声源是信道中的噪声和分散在通信系统其他各处的噪声的集中表示。对狭义信道的这种定义虽然直观,但从研究消息传输的观点来看,其范围显得很狭窄,因而引入了新的、范围扩大了的信道定义,即第二种信道定义广义信道。所谓

的广义信道是指通信信号经过的整个途径,它包括各种类型的传输介质和中间相关的通信设备。

对通信系统进行分析时常用的一种广义信道是调制信道,如图 1-1-4 所示。调制信道是从研究调制与解调角度来定义的,其范围为调制器的输出端至解调器的输入端,由于在该信道中传输的是已被调制的信号,故称其为调制信道。

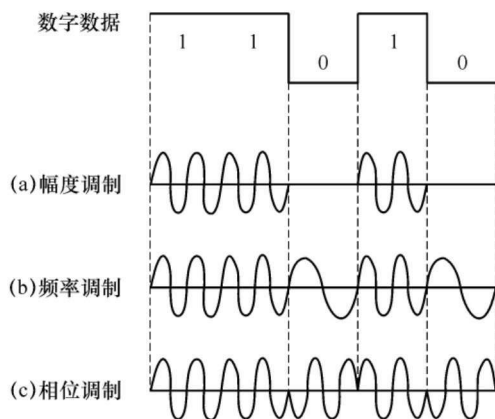


图 1-1-4 数字数据的 3 种调制方法

另一种常用到的广义信道是编码信道,如图 1-1-5 所示。编码信道通常指由编码器的输出到译码器的输入之间的部分,实际的通信系统中并非要包括其所有环节,如下节所要讲的基带传输系统中就不包括调制与解调环节,至于采用哪些环节,取决于具体的设计条件和要求。

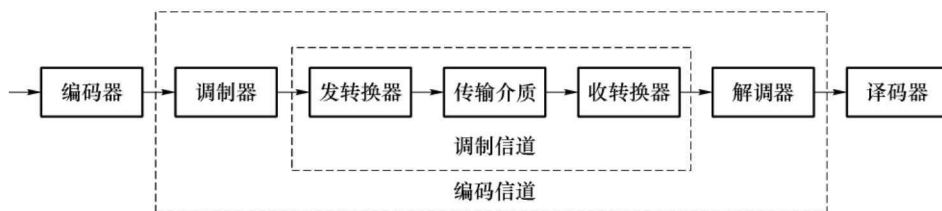


图 1-1-5 广义信道的划分示意图

(4) 接收设备

接收设备的作用是对接收的信号进行处理和反变换,如解调、译码等,其目的是从受到衰减的接收信号中正确恢复出原始电信号。对于多路复用信号,接收设备还应包括正确分路的功能。

(5) 受信者

受信者(简称信宿),它是传送消息的目的地,其作用与信源相反,即把原始电信号转换成相应的消息,如扬声器等。

此外,信息在信道中传输时,可能会受到外界的干扰,我们称之为噪声。噪声不是人为实现的实体,在实际的通信系统中客观存在。在图 1-1-3 所示的模型中将它集中表示,实际上,干扰噪声可能在信源处就混入了,也可能从构成变换器的电子设备中引入。传输信道中的电磁感应及接收端的各种设备中也都可能引入干扰噪声。如信号在无屏蔽双绞线中传输会受到电磁场的干扰。数据通信系统是指以计算机为中心,用通信线路连接分布各地的数据终端设备而执行数据传输功能的系统。

3. 数据通信与信道

数据通信(Data Communication)是依照一定的通信协议,利用数据传输技术在两个终端之间传递数据信息的一种通信方式和通信业务。它可实现计算机和计算机、计算机和终端以及终端与终端之间的数据信息传递,是继电报、电话业务之后的第三种最大的通信业务。

在许多情况下,我们要使用“信道(Channel)”这一名词。信道和电路并不等同。信道一般都是用来表示向某一个方向传输信息的介质。因此,一条通信电路往往包含一条发送信道和一条接收信道。一个信道可以看成是一条电路的逻辑部件。

信道可以分成传输模拟信号的模拟信道和传输数字信号的数字信道两大类。但应注意,数字信号在经过数模转换(D/A)后就可以在模拟信道上传输,而模拟信号在经过模数转换(A/D)后也可以在数字信道上传输。

信号在信道上传输的形式有基带传输和频带传输。简单来说,所谓基带传输就是将数字信号1或0直接用两种不同的电压来表示,然后直接送到线路上去传输。而频带传输则是将基带信号进行调制变换,变成为能在公用电话网中传输的模拟信号。在基带信号进行调制后,其频谱搬移到较高的频率处。由于每一路基带信号的频谱被搬移到不同的频段,因此合在一起后并不会互相干扰。这样做就可以在一条电缆中同时传输许多路的数字信号。因而提高了线路的利用率,这就是所谓的频分复用。

在通信网的发展初期,所有的通信信道都是模拟信道。但由于数字信道可提供更高的通信服务质量,因此过去建造的模拟信道正在被新的数字信道所代替。现在计算机通信所使用的通信信道,在主干线路上已基本是数字信道。但目前大量的用户线则基本上还是传统的模拟信道。

4. 数据通信性能指标

为了取得理想的通信效果,用户总是希望数据通信网络传输速度快、出错率低、可靠性高、传输信息量大,既经济又便于维护。这些要求可以用下列指标来描述。

(1) 模拟通信系统的有效性

模拟通信系统是利用模拟信号来传递信息的通信系统。其模型如图1-1-6所示。这里将发送设备简化为调制器,接收设备简化为解调器,主要是强调调制、解调在模拟通信系统中的重要作用。通常,我们将信源发出的原始电信号称为基带信号,基带的含义是指信号的频谱从零频附近开始,如语音信号为300~3400 Hz,图像信号为0~6 MHz。由于基带信号具有很低的频谱分量,通常不能直接在信道中传输,它必须通过调制才能变换成适合不同信道中传输的信号,并可在接收端进行反变换(解调)。经过调制后的信号称为已调信号,由于其频谱远离零频且具有带通形式,因而已调信号又称频带信号。

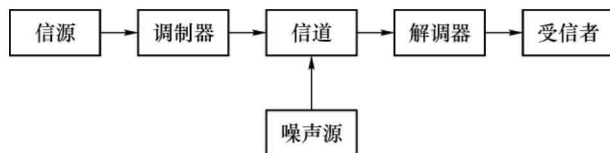


图 1-1-6 模拟通信系统模型

模拟通信系统的有效性通常用传输频带来度量。当信道的容许传输带宽一定时,信号的传输频带越窄,信道能容许同时传输的信号路数越多,其有效性就越好。另外,信号的传输频带与调制方式有关,例如语音信号,采用单边带调制(SSB)时,占用的带宽仅为4 kHz;而采用

调频(FM)时,占用的带宽则为 48 kHz(调频指数为 5 时)。显然调幅信号的有效性比调频的好。

(2) 数字通信系统的有效性

数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统,其模型如图 1-1-7 所示。在数字通信系统中,除了调制和解调外,还有信源编码与译码、信道编码与译码、加密与解密等。

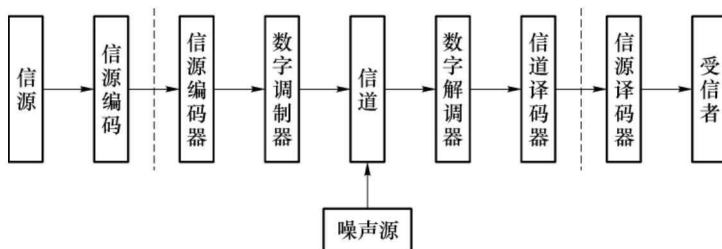


图 1-1-7 数字通信系统的模型

当信源发出的是模拟信号时,需要信源编码将其变换为数字信号,以实现模拟信号的数字化传输。信源编码的作用就是完成模数(A/D)转换,信源译码则是信源编码的逆过程,即完成数模(D/A)转换。对于信源已经是数字信号的情况,则可省去信源编码的环节。

信道编码的目的是提高数字信号的抗干扰能力。由于信道噪声的干扰,可能会使传输的数字信号产生差错,为了减小差错,需在信源编码后的信息码流中,按一定规律加入多余码元(称为冗余码),以使码元之间形成较强的规律性。接收端的信道译码器根据一定规律进行解码,以实现自动检错和纠错的功能,提高系统的可靠性。

数字调制的作用是把数字基带信号变换成适合在信道中传输的带通信号,在接收端采用数字解调还原数字基带信号。将数字基带信号直接送到信道上的传输方式称为数字信号的基带传输,而将数字基带信号经过调制后送到信道的传输方式称为数字信号频带传输。

在数字通信中,为了保证所传信息的安全,人为地将被传输的数字序列扰乱,即加上密码,这种处理过程称为加密。在接收端利用与发送端相同的密码对收到的数字序列进行解密,恢复原来的信息。

需要说明的是,图 1-1-7 所示的是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中的所有环节。例如,当信源是数字信息时,则信源编码和译码环节可以省略,对于数字基带传输系统,则无须调制与解调。

数字通信系统的有效性可用传输速率和频带利用率来衡量。

1) 信号传输速率

信号传输速率即是每秒发送的码元数(又称“信号速率”或“调制速率”“波形速率”“码元速率”“传码率”“波特率”),其定义为单位时间(每秒)传送码元的数目,单位为波特(Baud),简记为 R_B 。如果设 T 为数字脉冲信号的宽度或周期,单位为秒,则波特率 $R_B = 1/T(\text{Baud})$ 。例如,某系统在 2 s 内传送 2 400 个码元,则该系统的码元速率为 1 200 B。码元速率仅仅表示单位时间内传送码元的个数,而没有限定码元是何种进制,即码元可以是多进制的,也可以是二进制的。

根据码元速率的定义,设 T 为数字脉冲信号的宽度或周期,单位为秒。 N 为脉冲信号所有可能的状态数(如数字信号的状态数,只有“0”和“1”两个状态, $N=2$),则信号传输速率计算公式为:

$$R_B = 1/T \cdot \log_2 N \quad (1-1)$$

当 $N=2$ 时,

$$R_B = 1/T \quad (1-2)$$

最高可应用的波特率受到信道的最高码元传输速率的限制。这种最高速率由“奈奎斯特准则”决定:

$$\text{理想低通信道最高码元传输速率} = 2W \text{ 波特} \quad (1-3)$$

$$\text{理想带通信道最高码元传输速率} = W \text{ 波特} \quad (1-4)$$

式(1-3)中的 W 是理想低通信道的带宽(单位是 Hz)。其中“理想低通信道”就是信号的所有低频分量,只要频率不超过某个上限值,都能不失真地通过此信道。而频率超过该上限值的所有高频分量都不能通过该信道;而式(1-4)“理想带通信道”是指频率在从频带下限频率 f_1 到频带上限频率 f_2 之间的频率分量能够不失真地通过此信道,而低于 f_1 和高于 f_2 的所有频率分量都不能通过该信道。实际中如果信号传输速率超过了上式中给出的最高码元传输速率,在接收端将无法准确地判断出传输码元(0 或 1)的正确值。

需要强调的一点是:上面说的具有理想低通(或带通)信道是理想化的信道,它和实际上所使用的信道当然有相当大的差别。所以一个实际的信道所能传输的最高码元速率,要明显低于奈奎斯特准则给出的这个上限数值。

2) 数据传输速率

数据传输速率是指每秒钟能传输二进制代码的位数(比特数)。它反映出一个数据传输系统每秒内所传输的信息量的多少。数据传输速率又称信息传输速率,简称传信率,又称比特率,简记为 R_b 。其定义为单位时间内平均传送的信息量或比特数,单位为比特/秒,简记为 bit/s。更常用的比特率的单位是千比特每秒(kbit/s)、兆比特每秒[Mbit/s(10^6 bit/s)]、吉比特每秒[Gbit/s(10^9 bit/s)]和太比特每秒[Tbit/s(10^{12} bit/s)]。数据传输速率的高低,由每位数据所占的时间决定,一位数据所占的时间宽度越小,则其数据传输速率越高。

比特率受到信道的最大传输能力即极限信息传输速率限制。这种极限信息传输速率由著名的香农(Shannon)公式表示,则信道的极限信息传输速率 C 可表达为

$$C = W \log_2(1 + S/N) \text{ bit/s} \quad (1-5)$$

式(1-5)中, W 为信道的带宽(以 Hz 为单位); S 为信道内所传信号的平均功率; N 为信道内部的高斯噪声功率; S/N 是信号功率与噪声功率之比,简称信噪比,单位分贝(dB)。

香农公式表明,信道的带宽或信道中的信噪比越大,信道的极限信息传输速率就越高。但更重要的是,香农公式指出了只要信息传输速率低于信道的极限信息传输速率,就一定可以找到某种办法来实现无差错的传输。自从香农公式发表后,人们不断在探索和研究出各种各样的信号变换与处理(调制)技术。其目的都是为了尽可能地接近香农公式所给出的传输速率极限。一条信道上实际所运用的传输速率一般都远小于由公式所给出的值。

“比特率”和“波特”是在两种不同概念上定义的速度单位。一般地,如果某数字传输系统的码元状态数为 N ,则系统中比特率和波特的关系是 $R_b = R_B \log_2 N$ 。当 $N=2$ 时,波特与比特率两者在数值上是相等的,但它们所代表的意思却不同。要反映真实的信息传输速率大小,必须使用“比特率”(即信息速率)。例如,若某系统在 1 s 内传送 3 600 个二进制数字信号,则该系统的信息速率 $R_b = 3\,600 \text{ bit/s}$ 。

对于 M 进制传输,由于每个码元可用 $k(k = \log_2 M)$ 位二进制码元表示,因此,码元速率和信息速率可通过式(1-6)来换算,即

$$R_b = R_B \log_2 M \quad (1-6)$$

或

$$R_B = \frac{R_b}{\log_2 M} \quad (1-7)$$

例如在八进制($M=8$)中,若码元速率为 1 200 B,则信息速率为 3 600 bit/s。对于二进制数字信号,由于 $M=2$,故其码元速率和信息速率在数量上相等。

3) 频带利用率

在比较不同通信系统的有效性时,不能单看它们的传输速率,还应考虑所占用的频带宽度,因为两个传输速率相等的系统其传输效率并不一定相同。所以,真正衡量数字通信系统的有效性指标是频带利用率,其定义为单位带宽(1 Hz)内的传输速率,即

$$\eta = \frac{R_B}{B} \quad (1-8)$$

或

$$\eta_b = \frac{R_b}{B} \quad (1-9)$$

其中, B 为信道所需的传输带宽。

4) 可靠性指标

模拟通信系统的可靠性通常用整个通信系统的输出信噪比来衡量,由于信道内存在噪声,因此接收到的波形实际上是信号和噪声的叠加,它们经过解调后同时在通信系统的输出端出现。因此,噪声对模拟信号的影响可用输出信号功率与噪声功率之比来衡量。显然输出信噪比越高,通信系统的质量越好,或者说该系统的抗噪声能力就越强。同样,不同调制方式的输出信噪比是不同的,如调频信号的输出信噪比,即抗干扰能力比调幅信号的好。但是,调频系统的有效性不如调幅系统,这里又出现了可靠性与有效性之间的矛盾。

数字通信系统的可靠性常用误码率和误信率表示。

① 误码率。误码率是指错误接收的码元数与传输的总码元数之比,即

$$P_e = \frac{\text{错误接收的码元数}}{\text{传输的总码元数}} \quad (1-10)$$

② 误信率。误信率又称误比特率,是指错误接收的比特数与传输的总比特数之比,即

$$P_b = \frac{\text{错误接收的比特数}}{\text{传输的总比特数}} \quad (1-11)$$

在二进制数字通信中,误码率与误比特率相等,即

$$P_b = P_e \quad (1-12)$$

显然,从通信的有效性和可靠性出发,希望单位频带的传信率越大越好,误码率越小越好。

一般的电话通信线路,当传输率在 600~2 400 bit/s 时,其 P_e 为 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 时就可以满足通信质量的要求。但随着传输速率的增加, P_e 也会明显地增大。在计算机与计算机之间传输数据时,其 P_e 要求低于 10^{-9} 。

传输出错是指信号在物理信道传输的过程中,由于受到线路本身所产生的随机噪声(又称热噪声)的影响,使信号发生畸变。相邻线路间的干扰,以及各种外界因素(如大气中的闪电、开关的跳变、外界的强电流磁场的变化、电源电压的波动等)都会造成信号的失真。信号的任何一点变化或失真,都会造成接收端接收到的二进制数位(码元)和发送端实际发送的二进制数位不一致,如“1”变为“0”,或“0”变为“1”。

5) 信道容量

信道容量用来表征一个信道传输数字信号的能力,它以数据传输速率作为指标,它表示一个信道的最大数据传输速率,单位是“比特每秒”(bit/s)。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。

1.1.2 数据编码技术

一般来说,模拟数据采用模拟信号传输,可以不作任何变换,但这仅限于基带传输,即按原始信号的固有频率来传输。数据基带信号都是用携带信息的电脉冲来表示的。表示单个数据信息或码元的电脉冲形状称为波形,如矩形波、三角波、升余弦波等。表示数据信息序列或码元序列的电脉冲格式称为码型,如单极性归零码、双极性非归零码等。在有线信道中传输的基带信号又称为线路传输码型,即传输码。为了适应信道传输特性和恢复数据信号的需要,数据基带信号应具有下列主要特性。

- (1) 对于传输频带低端受限的信道,线路传输码型的频谱中应不含有直流分量。
- (2) 信号的抗噪声能力要强。产生误码时,在译码中产生误码扩散的影响越小越好。
- (3) 便于从信号中提取位定时信息。
- (4) 尽量减少基带信号频谱中的高频分量,以节省传输频带并减小串扰。
- (5) 对于采用分组形式传输的基带通信,收信端除了要提取位定时信息,还要恢复出分组同步信息,以便正确划分码组。
- (6) 码型应与信源的统计特性无关。信源的统计特性是指信源产生各种数字信息时的频率分布。
- (7) 编译码的设备应尽量简单,易于实现。

数据基带信号的常见码型有单极性非归零码、双极性非归零码、单极性归零码、双极性归零码、差分码等。下面分别介绍基本码型的编码规则、特点及应用等。

1. 单极性非归零码

单极性编码(图 1-1-8)只使用一个电压值代表二进制中的一个状态,而以零电压代表另一个状态。非归零码(Not Return Zero code, NRZ 码)指的是在整个码元期间电平保持不变。

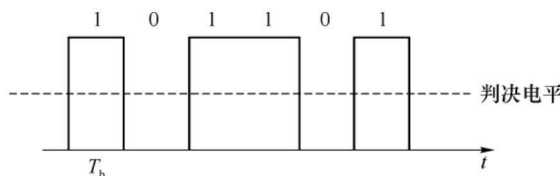


图 1-1-8 单极性编码

单极性非归零波形,如图 1-1-8 所示,这是一种最简单、最常用的基带信号形式。这种信号脉冲的零电平和正电平分别对应着二进制代码 0 和 1,或者说,它在一个码元时间内用脉冲的有或无来对应表示 0 或 1 码。它有如下特点:

- (1) 发送能量大,有利于提高接收端信噪比。
- (2) 在信道上占用频带较窄。
- (3) 有直流分量,将导致信号的失真与畸变;且由于直流分量的存在,无法使用一些交流耦合的线路和设备。
- (4) 不能直接提取位同步信息。
- (5) 接收单极性 NRZ 码的判决电平应取“1”码电平的一半。

由于单极性 NRZ 码特点中的一些缺点,数字基带信号传输中很少采用这种码型,它只适合用于导线连接的近距离传输。

2. 双极性非归零码

双极性的非归零编码描述信号的 0 和 1 均可以由正电平和负电平来表示。

非归零电平码指的是用正电平来描述信号 1,用负电平来描述信号 0。双极性非归零码电平的码型,如图 1-1-9 所示。

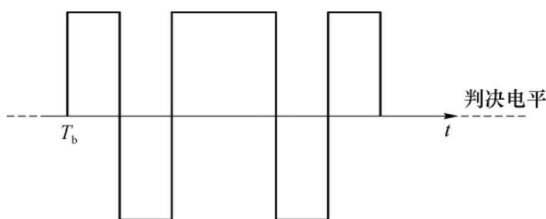


图 1-1-9 双极性非归零电平码

用正电平和负电平分别表示 1 和 0,在整个码元期间电平保持不变,双极性码在 1、0 等概率出现时无直流成分,可以在电缆等无接地的传输线上传输。其特点除与单极性 NRZ 码特点 (1)(2)(4) 相同外,还有以下特点。

- (1) 从统计平均角度来看,“1”和“0”数目各占一半时无直流分量,但当“1”和“0”出现概率不相等时,仍有直流成分。
- (2) 接收端判决门限为 0,容易设置并且稳定,因此抗干扰能力强。
- (3) 可以在电缆等无接地线上传输。

3. 单极性归零码

归零码(Return Zero code, RZ 码)指的是在整个码元期间高电平只维持一段时间,其余时间返回零电平,即归零码的有电脉冲宽度比码元宽度窄(即占空比 <1),每个脉冲在还没有到一个码元终止时刻就回到零值。

脉冲宽度 τ 与码元宽度 T_b 之比 τ/T_b 称为占空比。单极性 RZ 码(图 1-1-10)与单极性 NRZ 码比较,除仍具有单极性码的一般缺点外,主要优点是可以直接提取同步信号。此优点虽不意味着单极性归零码能广泛应用到信道上传输,但它却是其他码型提取同步信号需采用的一个过渡码型。即它是适合信道传输的,但不能直接提取同步信号的码型,可先变为单极性归零码,再提取同步信号。

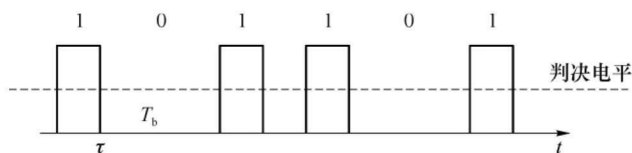


图 1-1-10 单极性归零码