

现代数据通信

原理与技术探析

主 编 张 鑫 袁 敏 李艳丽
副主编 汪 源 金 香 白玉峰 李 艳 谢鑫刚

XIANDAI SHUJU TONGXIN
YUANLI YU JISHU TANXI



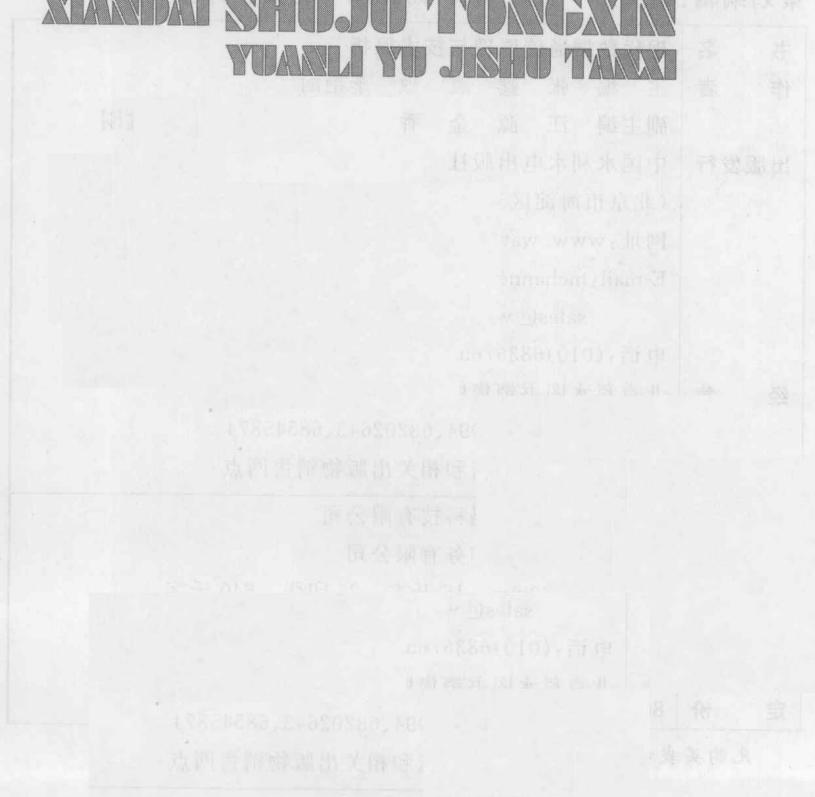
中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

现代数据通信

原理与技术探析

主编 张鑫 袁敏 李艳丽
副主编 汪源 金香 白玉峰 李艳 谢鑫刚

XIANDAI SHUJU TONGXIN
YUANLI YU JISHU TANXI



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统全面地介绍了数据通信原理及其技术。全书共分为 13 章,主要内容包括绪论、现代通信基础、确定信号与随机信号、模拟调制、数据信号的传输、模拟信号的数字化传输、最佳接收机、数据通信技术、数据通信网基础、典型数据通信网、光纤通信系统、卫星通信系统、数据通信技术应用等。

本书可用做通信、电子、计算机、自动化、仪器仪表、机电一体化等专业学生的指导用书,也可做相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代数据通信原理与技术探析 / 张鑫, 袁敏, 李艳丽主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2014. 8
ISBN 978-7-5170-2415-6

I. ①现… II. ①张… ②袁… ③李… III. ①数据通信—研究 IV. ①TN919

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第194721号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:杨元泓 封面设计:马静静

书 名	现代数据通信原理与技术探析
作 者	主 编 张 鑫 袁 敏 李 艳 丽 副主编 汪 源 金 香 白 玉 峰 李 艳 谢 鑫 刚
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:mchannel@263.net(万水) sales@waterpub.com.cn 电话:(010)68367658(发行部)、82562819(万水)
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	北京鑫海胜蓝数码科技有限公司
印 刷	三河市天润建兴印务有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 25 印张 640 千字
版 次	2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	86.00 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

前 言

通信就是信息的传输。从 1837 年莫尔斯发明电报、1876 年贝尔发明电话以来,经百余年发展,通信由传统的电报、电话等单一品种扩展出传真、数据通信、电视广播、多媒体通信、图像通信等新业务;交换设备由机电制布线逻辑方式向计算机程序控制方式发展;传输介质由明线、无线短波、电缆,发展到微波、卫星、海缆和光缆;传输设备由模拟载波向数字脉码调制方式发展;终端设备由机电方式向微处理器控制的多功能终端发展;通信方式由人工、半自动向全自动方向发展;通信地点由固定方式转向移动方式,并逐步实现个人化。其中,数据通信是以“数据”为业务的通信,依照一定的通信协议,利用数据传输技术实现“计算机—计算机”、“计算机—终端”、“终端—终端”间的信息传输。它是自 20 世纪 50 年代,随着计算机技术和通信技术的迅速发展,特别是两者间的相互渗透与结合而发展起来的一种新兴通信方式,是继电报、电话业务之后第 3 种最大的通信业务。数据通信的基本知识和技术,已不仅仅局限在相关专业技术人员中,而越来越多地成为广大科技人员和技术管理人员学习和掌握的必备知识。

本书作为现代通信的导论,将讨论信息的处理、传输及通信系统的基本原理,侧重信息传输原理,注重新型通信网的介绍。本书以现代通信技术和现代通信系统为背景,全面、系统地论述了通信的基本理论,包括信道模型、模拟调制解调技术、信号类型、信源编码、数字信号基本特征、数据信号传输、数据编码、数据压缩、数据复用、最佳接收理论等。本书在内容安排上,既全面论述了数据通信的基本理论,又深入分析了现代数据通信新技术,并介绍了现代广泛采用的通信系统及其发展趋势。

鉴于数据通信技术内容多、涉及面广,本书在编写的过程中力求简明扼要、深入浅出,强调基本概念与基本原理的理解,尽量避免抽象的理论表述和复杂的公式推导,争取做到组织合理、联系实际、新颖实用。

全书共分为 13 章:第 1、2 章介绍了通信发展史、发展趋势和经典通信知识;第 3~5 章为数字通信的基础,主要内容包括确定信号与随机信号的分析、模拟调制、数据信号的基带和频带传输等;第 6 章对模拟信号的数字化传输进行了讨论;第 7 章探讨了几种不同类型的最佳接收机;第 8 章分别对数据通信中的数据编码技术、数据压缩技术、复用技术、交换技术、同步技术、复接技术、差错控制技术等进行讨论;第 9、10 章较为详细地探讨了数据通信网的基本理论知识;第 11、12 章介绍了两种通信系统,分别为光纤通信系统和卫星通信系统;第 13 章主要探讨了数据通信技术的前沿应用,包括物联网、多媒体通信、三网融合、下一代网络(NGN)等。

由于受理论水平、实践经验及资料所限,虽然多次修改,书中疏漏与缺点一定存在,热忱欢迎同行和广大读者朋友批评指正。

编 者

2014 年 9 月

目 录

前言	1
第 1 章 绪论	1
1.1 数据通信概述	1
1.2 通信系统技术基础	3
1.3 数据通信的发展趋势	9
第 2 章 现代通信基础	11
2.1 数据通信传输信道	11
2.2 数据通信传输技术	18
2.3 通信频段划分	20
2.4 信息及其度量	22
2.5 数据通信系统	26
第 3 章 确定信号与随机信号	33
3.1 信号概述	33
3.2 确定信号的分析	39
3.3 随机信号的分析	50
3.4 信道与噪声	55
第 4 章 模拟调制	59
4.1 调制与解调制	59
4.2 线性调制	60
4.3 非线性调制	70
4.4 模拟调制系统的抗噪声性能	78
4.5 复合调制与多级调制	82
第 5 章 数据信号的传输	84
5.1 概述	84
5.2 数据信号的基带传输	89
5.3 数据信号的频带传输	100

第 6 章 模拟信号的数字化传输	111
6.1 模拟信号的数字传输系统	111
6.2 抽样定理	111
6.3 脉冲编码	118
第 7 章 最佳接收机	130
7.1 最佳接收机概述	130
7.2 确知信号最佳接收机	139
7.3 随机信号最佳接收机	145
7.4 起伏信号最佳接收机	151
第 8 章 数据通信技术	152
8.1 数据编码技术	152
8.2 数据压缩技术	157
8.3 数据通信复用技术	162
8.4 数据通信交换技术	171
8.5 数据通信同步技术	180
8.6 数据通信复接技术	187
8.7 数据通信差错控制技术	191
第 9 章 数据通信网基础	202
9.1 数据通信网概述	202
9.2 通信网拓扑结构	207
9.3 数据通信网协议	210
第 10 章 典型数据通信网	244
10.1 分组交换网.....	244
10.2 数字数据网络(DDN)	248
10.3 帧中继网(FRN)	253
10.4 综合业务数据网(ISDN)	258
10.5 异步传输模式(ATM)	265
10.6 非对称数字用户环路(ADSL)	270
第 11 章 光纤通信系统	274
11.1 光纤通信概述.....	274
11.2 光纤、光缆与光端机	277

11.3	光纤通信系统·····	289
11.4	SDH 光同步传送网·····	294
11.5	光纤通信新技术·····	298
第 12 章	卫星通信系统 ·····	303
12.1	卫星通信概述·····	303
12.2	卫星通信的技术体制·····	306
12.3	卫星通信系统组成·····	317
12.4	移动卫星通信·····	318
12.5	VSAT 卫星通信网·····	319
第 13 章	数据通信技术的应用 ·····	328
13.1	物联网·····	328
13.2	多媒体通信·····	337
13.3	三网融合·····	351
13.4	下一代网络(NGN)·····	358
附 录	·····	373
参考文献	·····	391

第 1 章 绪论

1.1 数据通信概述

1.1.1 数据通信的发展史

数据通信是从 20 世纪 50 年代开始随着计算机网络的发展而发展起来的一种新的通信方式。数据通信的最初形式是一些面向终端的网络,以一台或多台主机为中心,通过通信线路与多个远程终端相连,构成一种集中式网络。20 世纪 60 年代末,以美国著名的 ARPANET 的诞生为起点,出现了计算机与计算机之间的通信方式,以实现资源共享,开辟了计算机技术的一个新领域——网络化与分布处理技术。自 20 世纪 70 年代开始,由于计算机网络与分布处理技术的飞速发展,推动了数据通信技术的快速发展。到 20 世纪 70 年代后期,基于 X.25 的分组交换数据通信得到广泛应用,并进入商用化阶段。此后数据通信就日益蓬勃发展起来,采用的技术越来越先进,提供的业务越来越多,传输速率也越来越高。

数据通信具有许多不同于传统的电报、电话通信的特点,数据通信主要是“人与机”(计算机)之间的通信或“机与机”之间的通信,如图 1-1 所示。因而,对数据通信提出了一系列新的要求。数据通信应向用户提供及时、准确的数据,因此通信控制过程应自动实现,在传输中发生差错时应自动校正。另外,这种通信方式总是与数据传输、数据加工和存储相结合,对通信的要求会有很大的区别。例如,通信中的终端类型、传输代码、响应时间、传输速率、传输方式、系统结构和差错率等方面都与系统的应用及数据处理方式有关。因此,在实现数据通信时需要考虑的因素比较复杂。

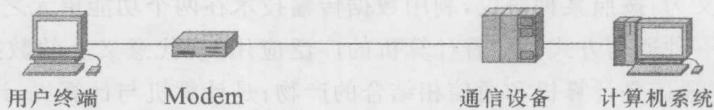


图 1-1 数据通信实例

需要指出的是,数据通信的发展离不开原有的通信网络基础。从许多国家发展数据通信的过程看,数据通信网主要是利用原有的电话交换网和用户电报网来开展数据通信业务;或者是向用户提供租用电路,由用户自己组成专用数据通信网。为适应数据通信业务的大量增长,还出现了面向公众的公用数据网。

如今,数据通信已遍及各行各业,金融、保险、商业、教育、科研乃至军事部门都在使用数据通信。数据通信的发展可以分为以下 5 个阶段。

① 第一阶段是数据通信网络发展的初期阶段。该阶段的特点是用户租用专线构成集中式专用系统,应用范围主要是进行数据收集和处理。

② 第二阶段主要利用原有的电话交换网和用户电报网进行数据通信。为了解决利用用户电报网和电话交换网进行数据通信的技术问题,研制出了关键设备——调制解调器(Modem)和线

路均衡器。

③第三阶段的主要任务是研究和建设专门用于数据通信的数据通信网。这是因为随着工业化程度与计算机技术的迅速发展,对信息的传输、交换和处理提出了更高的要求。从技术上讲,就是要求接续时间短、传输质量好、传输速率高。因此建设数据通信网的目标主要是放在研究交换技术上,即采用什么样的交换技术进行数据通信。随着计算机技术的不断发展,数据通信网的交换技术经历了电路交换、报文交换和分组交换三个过程。

④第四阶段的特点是发展局域网和综合业务数字网(ISDN)。综合业务数字网强调用户业务接入的综合化。局域网和综合业务数字网出现在 20 世纪 70 年代,在 20 世纪 80 年代得到迅速发展。

⑤第五阶段的数据通信网发展方向和目标是使业务综合化、网络宽带化。期间提出并实现了宽带综合业务数字网(B-ISDN),其核心技术是 ATM 交换技术。

进入 20 世纪 90 年代中后期,特别是 1995 年以后,因特网(Internet)的迅猛发展,深刻地冲击着地球的每个角落。Internet 中的通信就是计算机网络的集合。

Internet 始于 1969 年,最初被称为 ARPANET,是美国为推行空间计划而建立的。随着计算机网络的不断发展,各种网络应运而生,在 Internet 形成气候后,它们都相继并入其中,成为 Internet 的一个组成部分。由此逐渐形成了世界各种网络的大集合,也就是今天的 Internet。

1.1.2 数据通信的定义及研究内容

1. 数据通信的定义

数据通信是以传输数据信息为主的通信。数据通信一词是在远程联机系统出现后才开始使用的,即计算机上设置一个通信装置使其增加通信功能,将远程用户的输入/输出装置通过通信线路直接与计算机的通信装置相连,最后的处理结果也经过通信线路直接送回到远程的用户端设备。这是较早的计算机与通信相结合的例子。从这个意义讲,数据通信是计算机终端与计算机主机之间进行数据交互的通信。

数据通信可定义为:按照某种协议,利用数据传输技术在两个功能单元之间完成数据信息的有效传递与交换的一种通信方式。随着计算机的广泛应用,现代意义上的数据通信与计算机密不可分。因此,数据通信是计算机和通信相结合的产物;是计算机与计算机,计算机与终端,以及终端与终端之间的通信;是按照某种协议连接信息处理装置和数据传输装置,并进行数据的传输及处理的过程。

从数据通信的定义可以理解,数据通信包含两方面内容:数据传输前后的处理,例如数据的集中、交换、控制等;数据的传输。

由于数据通信是指两个终端之间的通信,而计算机属于高度智能化的数据终端设备,因此计算机通信属于数据通信的范畴,即数据通信包含计算机通信。由于计算机是目前应用最广泛的数据终端,因此数据通信与计算机通信几乎被很多人等同为一体。但是从功能上看,数据通信实现 OSI 通信协议中低三层功能,即通信子网功能,主要为数据终端之间提供通信传输能力,而计算机通信则侧重于数据信息的交互,即实现计算机内部进程之间通信。因此,数据通信面向通信,而计算机通信面向应用。计算机通信与数据通信之间是客户/业务提供者关系,即计算机通信必须以数据通信提供的通信传输能力为基础,才能得以实现各种应用。

2. 数据通信的研究内容

数据通信的主要任务是完成计算机或数据终端间数据的传输、交换、存储和处理等。从信号形式看,传输和处理的是离散数字信号,不是连续模拟信号;从通信内容看,不限于单一的语音,还包括视频、图像、文件等;从通信信道看,数据通信不限于某种具体的传输介质;从任务要求看,是计算机或其他数据终端间的通信,要求速度快、可靠性高。总之,数据通信涉及范围广,应用技术多,研究内容丰富。通常从数据通信系统各组成部分功能的角度,把数据通信研究的内容划分为以下3个基本方面:

(1) 数据传输

数据传输研究适合传输的电信号形式,以及构成传输媒体和用来控制电信号的各种传输设备,解决如何为信息提供合适的传输通路。

(2) 通信接口

通信接口研究如何把发送端的信号变换为适合于传输的电信号,或者把传输到接收端的电信号变换为终端设备可接收的形式。

(3) 通信处理

通信处理作为数据通信系统最复杂的部分,主要涉及:数据处理,包括数据编码/解码、数据压缩/解压缩、差错控制等;转换处理,包括速率转换和代码转换,前者是为了适配发送端与接收端间速率的差异,后者将发送端采用的代码转换为接收端采用的代码,起代码“翻译”的作用;控制处理,包括网络控制、路由选择控制、流量控制等,这类功能涉及如何在发送端与接收端之间选择一条有效的、经济的路径,控制报文有序且安全地由发送端传输到接收端。

1.2 通信系统技术基础

1.2.1 通信系统的一般模式

通信系统的作用就是将信息从信源传送到一个或多个目的地。实现信息传递所需的一切技术设备(包括信道)的总和称为通信系统。通信系统的一般模型如图1-2所示。

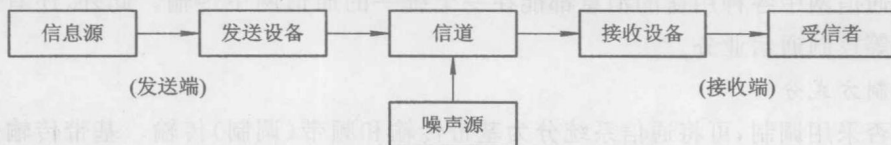


图 1-2 通信系统的一般模型

图1-2中各部分的功能简述如下。

1. 信息源

信息源(简称信源)是消息的发源地,其作用是把各种消息转换成原始电信号(称为消息信号或基带信号)。根据消息种类的不同,信源可分为模拟信源和数字信源。数字信源输出离散的数字信号,如电传机(键盘字符—数字信号)、计算机等各种数字终端;模拟信源送出的是模拟信号,如麦克风(声音—音频信号)、摄像机(图像—视频信号)。并且,模拟信源送出的信号经数字化处理后也可送出数字信号。

2. 发送设备

发送设备的功能是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。因此,发送设备涵盖的内容很多,可以是不同的电路和变换器,如放大、滤波、编码等。在需要频谱搬移的场合,调制是最常见的变换方式。

3. 信道

信道是指传输信号的物理媒质。在有线信道中,信道可以是明线、电缆、光纤;在无线信道中,信道可以是大气(自由空间)。有线和无线信道均有多种物理媒质。信道在给信号提供通路的同时,也会对信号产生各种干扰和噪声。信道的固有特性及引入的干扰与噪声直接关系到通信的质量。

4. 接收设备

接收设备的功能是放大和反变换(如滤波、译码、解调等),其目的是从受到干扰和减损的接收信号中正确恢复出原始电信号。

5. 噪声源

噪声源不是人为加入的设备,而是信道中的噪声以及通信系统其他各处噪声的集中表示。噪声通常是随机的,其形式是多种多样的,它的存在干扰了正常信号的传输。

6. 受信者

受信者(信宿)是传送消息的目的地。其功能与信源相反,即将复原的原始电信号还原成相应的消息,如扬声器等。

1.2.2 通信系统的分类

1. 按通信业务分

按通信业务分,通信系统有话务通信和非话务通信。电话业务在电信领域中一直占主导地位,它属于人与人之间的通信,近年来,非话务通信发展迅速。非话务通信主要是分组数据业务、计算机通信、电子信箱、电子数据交换、数据库检索、传真存储转发、可视图文及会议电视、图像通信等。由于电话通信最为发达,因而其他通信常常借助于公共的电话通信系统进行。未来的综合业务数字通信网中各种用途的消息都能在一个统一的通信网中传输。此外,还有遥测、遥控、遥信和遥调等控制通信业务。

2. 按调制方式分

根据是否采用调制,可将通信系统分为基带传输和频带(调制)传输。基带传输是将未经调制的信号直接传送,如音频市内电话。频带传输是对各种信号调制后传输的总称。

3. 按传输媒质分

按传输媒质分,通信系统可分为有线通信系统和无线通信系统两大类。有线通信是用导线(如架空明线、同轴电缆、光导纤维、波导等)作为传输媒质完成通信的,如市内电话、有线电视、海底电缆通信等。无线通信是依靠电磁波在空间传播达到传递消息的目的,如短波电离层传播、微波视距传播、卫星中继等。

4. 按信号特征分

按信道中所传输的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。

5. 按工作波段分

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。

6. 按信号复用方式分

传输多路信号有三种复用方式,即频分复用、时分复用和码分复用。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。传统的模拟通信中都采用频分复用,随着数字通信的发展,时分复用通信系统的应用愈来愈广泛,码分复用主要用于空间通信的扩频通信中。

1.2.3 模拟通信系统

1. 调制的目的

调制是对信源信号进行处理,使其变为适合于信道传输的过程;相反称为解调。模拟信号的调制、解调过程如图 1-3 所示。

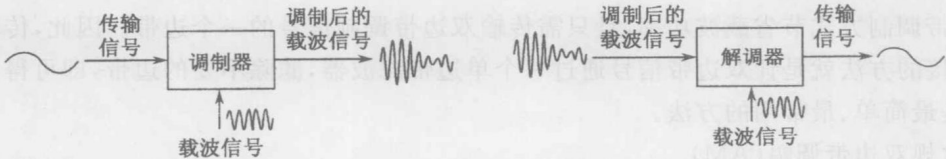


图 1-3 模拟信号的调制解调过程

对不同信道,根据经济技术等因素采用相应的调制方式。调制的主要目的如下:

(1) 频谱变换

为有效、可靠地传输信息,需将低频信号的基带频谱搬移到适当的或指定的频段。例如,人类语音信号频率为 100~9000Hz(男性)、150~10000Hz(女性),这种信号从工程角度看,不可能通过天线进行无线传输。因为天线辐射效率取决于天线几何尺寸与工作波长之比,一般要求天线长度应在发射信号波长的 1/10 以上,因此语音信号需通过调制,也就是将该信号搬移到 $m(t)$ 在工程上能实现传播的信道频谱范围内才能传输。

(2) 实现信道多路复用

信道频率资源十分宝贵,一个物理信道如果仅传输一路信号 $m(t)$ 显然浪费了远比 $m(t)$ 频率范围宽的信道资源。FDMA 能将多个信号的频谱按一定规则排列在信道带宽相应频段,实现同一信道中多个信号互不干扰,同时传输。当然,复用方式、复用路数与调制方式、信道特性有关。

(3) 提高抗干扰能力

调制能改善系统的抗噪声性能,通过调制增强了信号抗干扰的能力,例如,提高通信可靠性必须以降低有效性为代价,反之也一样。即通常所说的信噪比和带宽的互换,而这种互换是通过不同调制方式实现的。当信道噪声较严重时,为确保通信可靠性,可以选择某种合适的调制方式来增加信号频带宽度。这样,传输速率相同但所需频带增加,降低了传输的有效性,但抗干扰能力增强了。

2. 常用调制方式

大部分调制系统将待发送的信号和某种载波信号进行有机结合,产生适合传输的已调信号,

调制器可视为一个 6 端网络,其中一端对输入待传输的调制信号 $m(t)$,另一端对输入载波 $c(t)$,输出端对已调波 $s(t)$,使载波的 1~2 个参量成比例地受控于调制信号的变化规律。根据 $m(t)$ 和 $c(t)$ 的不同类型和完成调制功能的调制器传输函数不同,调制主要有 AM、FM、PM 等,如图 1-4 所示。

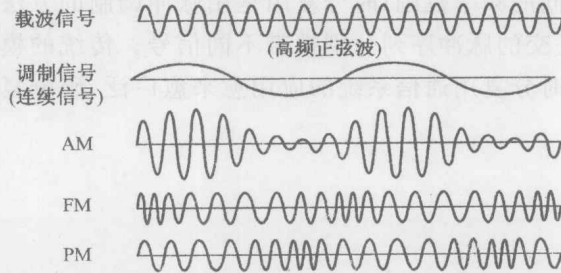


图 1-4 模拟信号的 3 种调制方式

(1)单边带调制(SSB)

单边带调制方式节省载波功率,且只需传输双边带调制信号的一个边带。因此,传输单边带信号最直接的方法就是让双边带信号通过一个单边带滤波器,滤除不要的边带,即可得到单边带信号,这是最简单、最常用的方法。

(2)常规双边带调幅(AM)

调幅是使高频载波信号的振幅随调制信号的瞬时变化而变化。也就是说,通过用调制信号来改变高频信号幅度的大小,使得调制信号的信息包含入高频信号中,通过天线把高频信号发射出去,这样调制信号也传播出去了;在接收端,把调制信号解调出来,也就是把高频信号的幅度解读出来,得到调制信号。如载波信号是单频正弦波,调制器输出的已调信号的包络与输入调制信号为线性关系,称这种调制为常规调幅(简称 AM)。该调制方式在无线电广播系统占主要地位。AM 中,输出已调信号的包络与输入调制信号成正比,其时域表达式为

$$S_{AM}(t) = [m_0 + m(t)] \cos(\omega_c t + \Phi)$$

式中, m_0 为外加的直流分量; $m(t)$ 为基带调制信号(通常认为平均值是 0); ω_c 为载波的角频率; Φ 为载波的初始相位。典型的双边带调幅波形如图 1-5 所示。

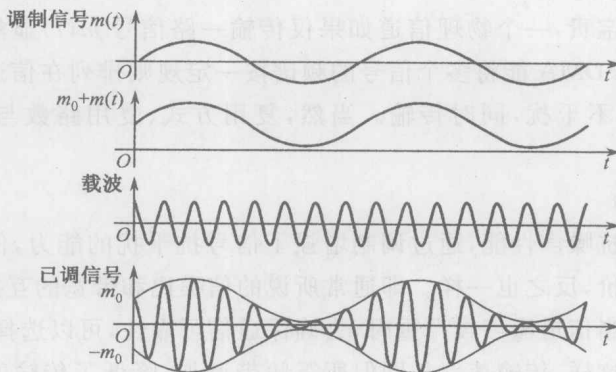


图 1-5 典型的双边带调幅波形

可以看出,用包络检波方法能恢复原始调制信号。但为了包络检波时不失真,必须满足 $m_0 + m(t) \geq 0$,否则会因过调幅产生失真。

(3) 抑制载波双边带调制(DSB-SC)

常规双边带调幅中,载波功率是无用的,因为载波不携带任何信息,信息完全由边带传输。如果要抑制载波,只需不附加直流分量 m_0 。即可得到抑制载波的双边带调幅。如果输入的基带信号没有直流分量,输出信号就是无载波分量的双边带调制信号,或称双边带抑制载波(DSB-SC)调制信号,简称 DSB 信号。此时的 DSB 信号实质上就是 $m(t)$ 和 $\cos\omega_c t$ 的相乘,其时域表达式为

$$S_{\text{DSB}}(t) = m(t) \cos\omega_c t$$

(4) 残留边带调制(VSB)

用滤波法产生单边带信号的主要缺点是需要陡峭截止特性的滤波器,而制作这样的滤波器较为困难。为解决产生单边带信号和实际滤波器之间的矛盾,提出了残留边带调制。

1.2.4 数字通信系统

1. 数字通信系统的构成

数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统,如图 1-6 所示。数字通信涉及的技术问题很多,其中主要有信源编码与译码、信道编码与译码、数字调制与解调、同步以及加密等。下面对这些技术作简要介绍。



图 1-6 数据通信系统模型

(1) 信源编码与译码

信源编码的作用之一是提高信息传输的有效性,即通过某种数据压缩技术来减少信息的冗余度(减少信息码元数目)和降低数字信号的码元速率。因为码元速率将决定传输带宽,而传输带宽反映了通信的有效性。作用之二是完成模/数(A/D)转换,即把来自模拟信源的模拟信号转换成数字信号,以实现模拟信号的数字化传输。信源译码是信源编码的逆过程。

(2) 信道编码与译码

数字信号在信道传输时,由于噪声、衰落以及人为干扰等,将会引起差错。为了减小差错,信道编码器对传输的信息码元按一定的规则加入保护成分(监督元),组成所谓“抗干扰编码”。接收端的信道译码器按一定规则进行解码,从解码过程中发现错误或纠正错误,从而提高通信系统抗干扰能力,实现可靠通信。

(3) 加密与解密

在需要实现保密通信的场合,为了保证所传信息的安全,人为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复制品对收到的数字序列进行解密,恢复原来信息。

(4) 数字调制与解调

数字调制就是把数字基带信号的频谱搬移到高频处,形成适合在信道中传输的频带信号。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。对这些信号可以采用相干解调或非相干解调还原为数字基带信号。对高斯噪声下的信号检测,一般用相关器接收机或匹配滤波器。

(5)同步

同步是保证数字通信系统有序、准确、可靠工作的前提条件。按照同步的功用不同,可分为载波同步、位同步、群同步和网同步。

2. 模拟信号数字化

模拟信号数字化是现代网络支持业务的基础。常用方法有差值编码(DPM)、自适应差值编码(ADPM)、脉冲编码调制(PCM)、增量调制(DM)等。其中,最典型、最基础的数字化方式是英国人 A. H. Reeves 提出的 PCM,其通信系统组成如图 1-7 所示。输入的模拟信号(语音信号)经抽样、量化、编码后变换成数字信号,经信道再生中继传输到接收端,由解码器还原出抽样值,再经低通滤波还原为模拟信号(语音信号)。通常称量化与编码组合为模/数(A/D)变换,解码与低通滤波组合为数/模(D/A)变换。可以看出,模拟信号数字化需经过采样、量化和编码 3 个步骤。

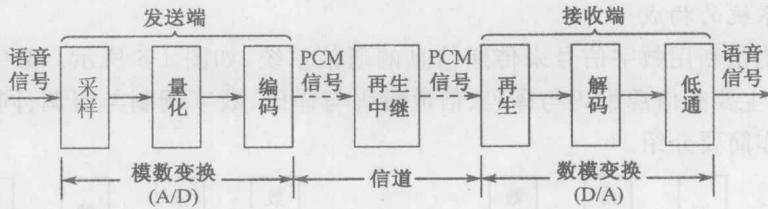


图 1-7 PCM 通信系统组成

(1)采样

采样是把模拟信号以其信号带宽 2 倍以上的频率提取样值,变为时间轴离散的采样信号的过程。采样过程所应遵循的规律称为采样定理,它说明了采样频率与信号频谱间的关系,是连续信号离散化的基本依据。该定理在 1928 年由美国人 H. 奈奎斯特(Harry Nyquist)提出,1933 年苏联人科捷利尼科夫首次用公式严格地表述这一定理。1948 年,信息论创始人 C. E. 香农(Shannon)正式作为定理引用。其基本表述为:当信号 $f(t)$ 最高频率分量为 f_m 时, $f(t)$ 值可由一系列采样间隔不超过 $1/2f_m$ 的采样值来确定,即采样点重复频率 $f \geq 2f_m$ 则采样后的样值序列可不失真地还原成初始信号。例如,一路电话信号频带为 $300 \sim 3400\text{Hz}$, $f_m = 3400\text{Hz}$, 则采样频率 $2 \times 3400\text{Hz} = 6800\text{Hz}$ 。如按 6800Hz 的采样频率对 $300 \sim 3400\text{Hz}$ 的电话信号采样,则采样后的样值序列可不失真地还原成初始的语音信号。实际应用时,语音信号采样频率通常取 8000Hz 。采样所得到的时间上离散的样值序列,既可进行 TDMA,也可将各个采样值经过量化、编码变换成二进制数字信号。

(2)量化

量化是用有限个幅度值近似原来连续变化的幅度值,把连续幅度的模拟信号变为有限数量的离散值。采样信号(样值序列)虽然时间上离散,但仍为模拟信号,其样值在一定取值范围内可有无限多个值。为实现以数字码表示样值,采用“四舍五入”法把样值分级“取整”,使一定取值范围内的样值由无限多个变为有限个。量化后的采样信号与量化前的采样信号相比较有失真,分的级数越多,量化级差或间隔越小,失真也就越小。

(3)编码

采样、量化后的信号还不是数字信号,需转换成数字脉冲,该过程称为编码。最简单的是二

进制编码,就是用比特二进制码来表示已量化样值,每个二进制数对应一个量化值,然后把它们排列,得到由二值脉冲组成的数字信息流。接收端按所收到的信息重新组成原来的样值,再经过低通滤波器恢复原信号。用这种方式组成的脉冲串的频率等于采样频率与量化比特数的积,称为所传输数字信号的数码率。显然,采样频率越高,量化比特数越大,码率就越高,所需传输带宽也越宽。例如,语音 PCM 的采样频率为 8kHz,每个量化样值对应一个 8b 二进制码,则语音数字编码信号速率为 $8\text{b} \times 8\text{kHz} = 64\text{kbps}$ 。

图 1-8 为模拟信号 $m(t)$ 的数字化过程。其中,图 1-8(b)根据抽样定理, $m_s(t)$ 经过采样后变成时间离散、幅度连续的信号 $m_s(t)$ 。图 1-8(c)将 $m_s(t)$ 输入量化器,得到量化输出信号 $m_q(t)$,采用“四舍五入”法将每个连续抽样值归结为某一临近的整数值,即量化电平。这里采用了 8 个量化级,将图 1-8(b)中 7 个准确样值 4.2、6.3、6.1、4.2、2.5、1.8、1.9 分别变换成 4、6、6、4、3、2、2。量化后的离散样值可以用一定位数的代码表示,即编码。因为只有 8 个量化电平,所以可用 3b 二进制码表示($2^3 = 8$)。图 1-8(d)是用自然二进制码对量化样值进行编码的结果。

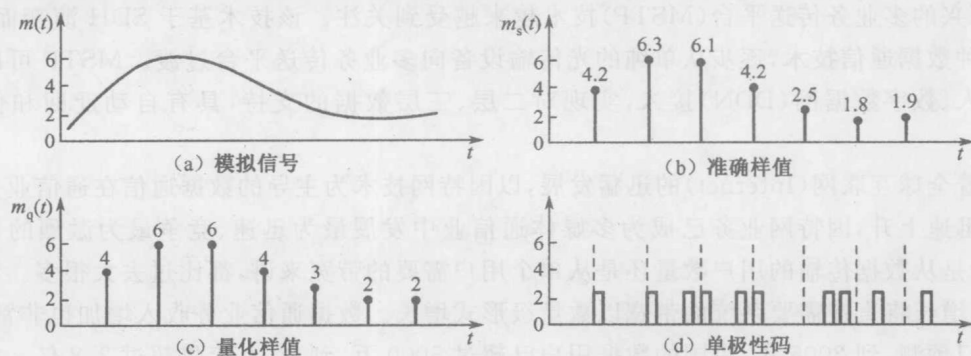


图 1-8 模拟信号的数字化过程

1.3 数据通信的发展趋势

数据通信的发展趋势主要体现为以下几点。

1. 多协议标记交换(MPLS)技术发展

MPLS 是一种利用数据标记引导数据包在通信网高速、高效传输的新技术,主要贡献是在无连接网络环境中引入连接的概念,能够规划、预测数据的流量和流向,有效提高网络利用率,保证用户服务质量(QoS)。MPLS 流量工程和 MPLS VPN 是该技术在网络应用的主要方面。前者将流量合理地链路、节点上进行分配,减少和抑制网络拥塞,如网络出现故障,能快速重组路由,提升网络服务质量;后者在公用网络上向用户提供虚拟专用网(VPN)服务,不仅能满足用户对信息传输安全性、实时性、灵活性和带宽保证方面的需要,还能节约组网费用,具有广阔的发展前景。

2. 向大容量通信发展

随着因特网业务的飞速增长,以 IP 为主的数据业务对路由器、交换机处理能力及容量提出了更高要求。据预测,每 6~9 个月,因特网骨干链路的带宽就增长一倍,能否有效支持、处理这种高速增长的业务需求是网络发展的关键。为满足数据、语音和图像综合承载的业务需求,IP 网络应具有高速的包转发和处理能力、强大的组网能力、完善的质量保证机制等,这些都使得网

络设备向超大容量方向发展,由目前 G 比特路由器向 T 比特路由器过渡。

3. IPv4 向 IPv6 过渡

IPv4 是 20 世纪 70 年代制定的协议标准,采用 32b 表示地址,目前网络均采用该标准。随着 IP 网络规模和用户数量迅速增长,IPv4 地址空间小的问题日益突出,特别是大量移动终端和无线设备的应用,必然促进 IPv4 向 IPv6 过渡。IPv6 于 20 世纪 90 年代初提出,除采用 12.8b 表示地址空间外,还增强了对 IP 安全性和 IP 移动性的支持,能适应未来网络发展和业务发展的需要。

4. 光传输技术的融合

传统的光传输系统在承载数据业务上,一般作为数据网络和 IP 网络的底层传送平台,带宽采用固定连接方式,具有很强的 QoS 保证。但随着数据业务、特别是 IP 业务的快速发展,以固定带宽传输方式承载具有突发特性的数据业务时,存在网络资源利用率低、网络组织调度不灵活等局限性。为适应下一代网络(NGN)发展之需,数据通信技术与光传输技术的融合已成必然。目前,新兴的多业务传送平台(MSTP)技术越来越受到关注。该技术基于 SDH 演变而来,已融合了多种数据通信技术,逐步从单纯的光传输设备向多业务传送平台过渡。MSTP 可以提供以太网接入、数字数据网(DDN)接入,实现对二层、三层数据的支持,具有自动迂回和低时延等特点。

随着全球互联网(Internet)的迅猛发展,以因特网技术为主导的数据通信在通信业务总量中的比例迅速上升,因特网业务已成为多媒体通信业中发展最为迅速、竞争最为激烈的领域。同时,无论是从数据传输的用户数量还是从单个用户需要的带宽来讲,都比过去大很多。特别是后者,它的增长将直接需要系统的带宽以数量级形式增长。数据通信业务收入增加也非常快,根据权威部门预测,到 2005 年,中国的数据用户已超过 5000 万,到 2010 年将超过 2.8 亿。数据通信作为未来数年内电信投资的重点,其在整个电信市场投资中所占比重将会越来越大。到 2005 年我国数据通信市场投资达到 1000 亿元以上。未来我国数据通信市场是异常巨大的,中国数据通信市场将是世界上最具诱惑力的数据通信市场。数据通信技术在未来的通信网络中将成为十分重要的骨干技术。