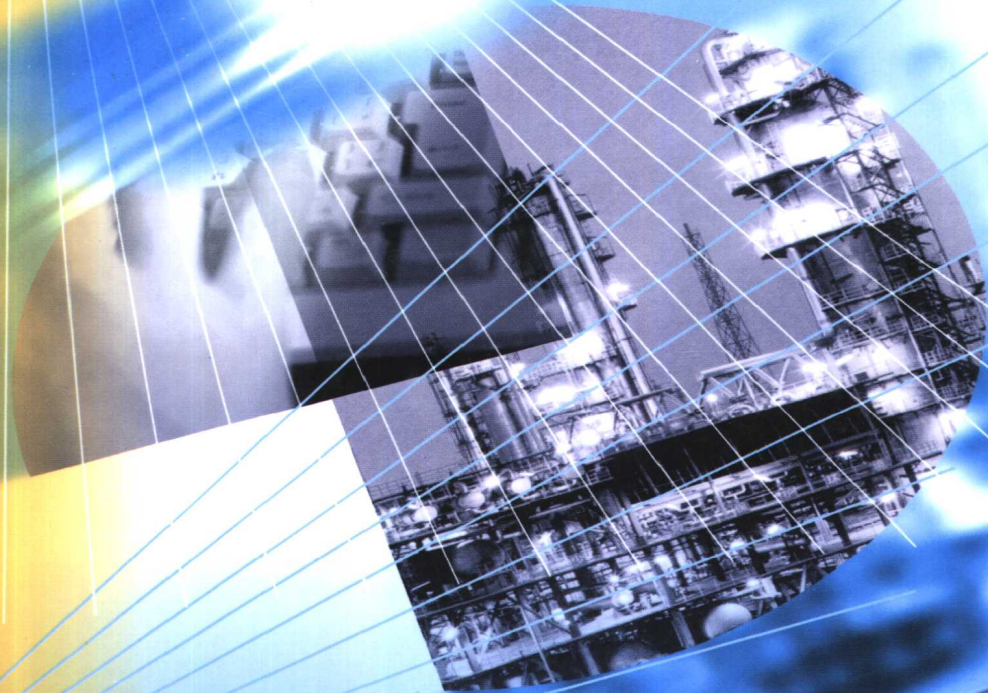
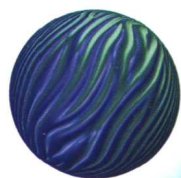


计算机工业应用技术丛书

JISUANJI GONGYE YINGYONG JISHU CONGSHU

计算机通信 与工业控制

● 张常年 郭书军 左岐 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

计算机工业应用技术丛书

计算机通信与工业控制

张常年 郭书军 左岐 编著

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

计算机通信与工业控制/张常年, 郭书军, 左岐编著.
北京: 化学工业出版社, 2001.11
(计算机工业应用技术丛书)
ISBN 7-5025-3469-5

I. 计… II. ①张…②郭…③左… III. ①计算机通
信②计算机控制 IV. ①TN91②TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 077065 号

计算机工业应用技术丛书

计算机通信与工业控制

张常年 郭书军 左岐 编著

责任编辑: 刘 哲

责任校对: 陈 静

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 13 ¼ 字数 315 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—4000

ISBN 7-5025-3469-5/TP·291

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

我国在“十五”期间和今后相当长的时期内将大力发展国民经济和推进社会信息化。这是覆盖现代化建设全局的战略举措。以信息化带动工业化，改造传统产业、发展以信息技术为代表的高新技术产业，从而推进国家现代化建设，已经成为全社会的共识。信息化给企业的经营、管理和发展带来了前所未有的冲击、挑战和机遇，信息化是必然趋势。

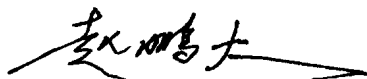
当前计算机应用朝着多领域发展，信息化技术涉及多方面的工作，主要包括计算机的广泛利用；企业内部网的建立并与外界实现网络互联；方便访问和利用的信息资源；生产过程控制方面的信息技术应用；计算机辅助设计用于设计新产品；企业生产、流通或服务信息系统有效运转并利用信息网络等手段与外界进行商务往来；建立企业综合管理信息系统等等。随着计算机新技术的不断出现，信息化的内容和工作也将不断扩展。凡是关心国家信息化建设、从事计算机应用开发工作的科技工作者和专业技术人员，都很有必要了解和掌握计算机技术的进步和计算机应用技术的发展。《计算机工业应用技术丛书》就是为以上目的编写的。

《计算机工业应用技术丛书》一套共八册，300多万字，涉及了当今计算机应用技术的主要领域。其中，《计算机辅助设计与工程分析》和《计算机辅助制造》论述了CAD/CAM的主要技术方法并辅以大量的设计制造实例和经验；《工业企业决策支持系统》、《管理信息系统解决方案》和《数据库与工程应用》从不同的角度论述了信息处理技术在企业管理和办公自动化等领域的应用方法、设计技术和如何开发一个以数据库为中心的信息管理系统技术，介绍了多种理论和实用技术；《计算机通信与工业控制》则从企业自动化生产的角度讨论了计算机通信与控制技术的结合并通过先进的背景技术和丰富实例给予说明；《数字信号处理及其MATLAB实现》和《图像处理实用技术》则从另外的角度讨论了计算机信息处理技术的发展和变化，用全新的理论和方法研究和处理信息，使信息的表现更丰富多彩、更实用。

《计算机工业应用技术丛书》参考了国际上相关领域的专著和资料，也融会了作者们长期以来的研究成果和心得。对于从事计算机应用工作和关心计算机技术发展的读者，从这套书中可以得到很多启迪和对一些重要问题的解答。它的出版，对推动企事业单位信息技术的发展和应用会产生积极的影响。

《计算机工业应用技术丛书》立足于应用。在内容组织和编排上从理论到实践、由浅入深、图文并茂、通俗易懂。本套书中阐述的解决方案和开发工具是目前先进的和流行的。对于计算机应用技术人员以及从事计算机应用工作的其他专业的科技人员，它都是一套很有益的参考书。

中国科学院院士



2001年6月于北京

前 言

近几年来，通信技术发展迅猛，光纤通信和卫星通信进入实用阶段，计算机深入发展到通信领域，开拓了更先进的通信手段和更完善的交换形式，计算机的高速度缩短了处理信息的时间，而通信加大了交换信息的跨度。计算机与通信互相交融、互相渗透，使电子信息系统经历了巨大的变革，这个变革的主要特征就是计算机技术与通信技术紧密结合在一起，两者的结合创造了一门在时间上和空间上融会贯通的新技术，即计算机通信技术。计算机通信网络就是这种新技术的具体体现。

计算机通信技术已深入到我们生活和工作的各个领域，也导致了自动化领域的深刻变革，逐渐形成了自动化领域开放系统互连通信网络，形成了全分布式网络集成化自控系统，信息交换沟通的领域正在迅速覆盖从工厂的现场设备层到控制、管理的各个层次，覆盖从工段、车间、工厂、企业乃至世界各地的市场。为适应形势发展的需要，企业工程技术人员必须掌握计算机通信技术。

为适应我国当前计算机通信技术在自动化领域应用的需要，我们编写了此书。本书旨在为自动化领域的工程技术人员提供必需的通信技术的知识，侧重于计算机通信技术在工业控制领域的应用，编写中力求结合实际，配备了一定的计算机通信技术和控制技术的实例，面向对象为计算机通信技术和控制技术领域的工程技术人员。本书的编写，参阅了大量国内外的有关论著，在此，我们向有关的单位和个人表示诚挚的感谢。

本书第1章、第2章、第3章由张常年编写，第4章、第5章、第8章由郭书军编写，第6章、第7章由左岐编写，全书统编由张常年负责。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中错漏和不当之处在所难免，希望读者批评指正，并顺致谢意。

编著者
2001年8月

内 容 提 要

本书是《计算机工业应用技术丛书》之一。

计算机通信技术现在已深入到我们生活和工作的各个领域，也导致了自动化领域的深刻变化。本书旨在为自动化领域的工程技术人员和管理人员提供必需的通信技术的知识，侧重计算机通信技术在工业控制领域的应用。本书内容包括微机通信技术、数据传输原理、串行通信原理、计算机通信网络技术、现场总线、计算机控制系统、通用串行总线技术、蓝牙技术等。

本书读者对象为计算机通信技术和控制技术领域的工程技术人员和管理人员。

目 录

第 1 章 通信系统简介	1
1.1 概述	1
1.2 通信系统模型的构成	1
1.3 模拟和数字通信系统模型	3
1.3.1 模拟通信系统模型	3
1.3.2 数字通信系统模型	4
1.4 信息的概念及其量度	4
1.5 通信系统主要性能指标	6
1.6 模拟信号调制解调原理	7
1.6.1 振幅调制	7
1.6.2 频率调制	8
1.7 数字信号调制解调原理	8
1.7.1 频移键控 (FSK)	9
1.7.2 相移键控 (PSK)	9
1.7.3 幅移键控 (ASK)	11
1.8 多路复用方式	13
1.8.1 频分多路复用 (FDM)	13
1.8.2 时分多路复用	14
1.8.3 码分多址	14
第 2 章 微机通信技术概述	15
2.1 微型计算机数据通信系统构成	15
2.2 通信规程与数据链路	18
2.3 数据信号的带宽	18
2.4 数据信号的调制	19
2.5 链路传输控制及协议	20
2.5.1 数据传输中的流量控制	21
2.5.2 利用校检位进行差错检测与差错控制	22
2.5.3 数据传输控制协议	22
2.6 微机通信硬件组成	23
2.6.1 终端设备	23
2.6.2 交换机	25
2.6.3 调制解调装置 MODEM	25
2.6.4 通信控制装置	27
2.7 脉冲编码调制 PCM	29
2.7.1 抽样定理	29
2.7.2 模拟脉冲的基本分类	30

第3章 数据传输原理	31
3.1 数据编码	31
3.1.1 博多码	31
3.1.2 ASCII 码 (七单位码)	31
3.1.3 汉字区位码	35
3.2 信道编码	35
3.3 常用的线路码型	36
3.4 纠错编码	37
3.5 差错控制	41
3.6 数据传输方式	43
3.7 同步	44
3.7.1 同步的概念	45
3.7.2 异步传输和同步传输	45
3.8 数据传输质量指标	46
3.8.1 有效性	46
3.8.2 可靠性	47
3.8.3 其他指标	47
第4章 串行通信原理及应用	50
4.1 DOS 串行通信	50
4.1.1 DOS 串行通信命令	50
4.1.2 BIOS 和硬件直接编程串行通信	51
4.1.3 Quick Basic 串行通信编程	54
4.2 Windows 串行通信	58
4.2.1 直接电缆连接	58
4.2.2 Windows 串行通信 API	61
4.2.3 ActiveX 通信控件及其应用	70
4.3 微机和单片机之间的串行通信	72
4.3.1 微机和单片机通信基本原理	73
4.3.2 微机核子秤管理系统	74
4.3.3 远程无线数据采集系统	76
第5章 计算机通信网络技术	78
5.1 计算机通信网络基本知识	78
5.1.1 计算机通信网络的发展	78
5.1.2 计算机通信网络的分类和拓扑结构	79
5.1.3 计算机通信网络的组成和功能	82
5.1.4 计算机通信网络的数据交换技术	84
5.2 网络体系结构及协议	86
5.2.1 开放系统互连 (OSI) 参考模型	86
5.2.2 局域网协议结构	88
5.2.3 TCP/IP 体系结构	90

5.3	Novell 网	93
5.3.1	NetWare 体系结构及协议	93
5.3.2	NetWare 安装与管理	94
5.4	Windows NT 网	101
5.4.1	Windows NT 网络模式和特性	101
5.4.2	Windows NT 安装与管理	103
5.5	互联网	111
5.5.1	互联网概述	111
5.5.2	IP 地址和域名	112
5.5.3	Internet 服务	113
5.5.4	IP 电话	114
第 6 章	现场总线系统	117
6.1	现场总线概述	117
6.1.1	现场总线的概念	117
6.1.2	自控系统的发展过程	119
6.1.3	现场总线的结构和技术特点	120
6.1.4	现场总线的未来趋势	122
6.1.5	TCP/IP —— 一网到底	123
6.1.6	全数字化 TCP / IP 现场网络构架	126
6.2	几种有影响的现场总线	127
6.2.1	基金会现场总线	127
6.2.2	LonWorks	128
6.2.3	Profibus	128
6.2.4	CAN	129
6.3	基金会现场总线	129
6.4	控制器局域网总线 CAN	131
6.4.1	性能特点	131
6.4.2	CAN 的技术规范	132
6.4.3	CAN 节点的分层结构	133
6.4.4	CAN 控制器	134
6.4.5	Philips 82C200 CAN 控制器	135
6.4.6	控制器局域网产品	138
6.5	LonWorks 在智能抄表系统中的应用	142
6.5.1	系统构架	142
6.5.2	前端硬件结构	143
6.5.3	路由器	143
6.5.4	时钟模块	143
6.5.5	网络管理	143
6.5.6	数据库管理	144
6.5.7	数据库管理应用软件实现的主要功能	144

6.6 LonWorks 在智能小区管理中的应用	145
6.6.1 智能小区总体目标	146
6.6.2 系统的构成	146
6.6.3 节点开发设备	147
6.6.4 家庭智能管理——控制系统设计	147
6.6.5 周界防越报警系统设计	148
6.6.6 门禁与闭路监控系统	148
第7章 计算机控制系统	151
7.1 计算机与控制	151
7.1.1 概述	151
7.1.2 过程控制与实时控制	152
7.1.3 实时系统的开发	153
7.1.4 实时系统的基本特点	153
7.2 应用系统设计	155
7.2.1 系统研制流程	155
7.2.2 应用软件设计	159
7.3 串-并转换与设备同步	162
7.3.1 串-并转换	162
7.3.2 设备同步	162
7.4 应用举例	166
7.4.1 设计举例之一——工业蒸汽锅炉控制系统设计	166
7.4.2 设计举例之二——组态化分散系统	168
7.5 企业管控一体化	172
7.5.1 企业的客户关系管理	172
7.5.2 CRM 的基本构成及企业优势	173
7.5.3 企业生产线上的控制	174
第8章 计算机通信控制新技术	176
8.1 通用串行总线 (USB) 技术	176
8.1.1 通用串行总线 (USB) 概述	176
8.1.2 通用串行总线 (USB) 体系结构	177
8.1.3 通用串行总线 (USB) 设备	180
8.1.4 通用串行总线 (USB) 应用举例	184
8.2 蓝牙 (Bluetooth) 技术	187
8.2.1 蓝牙技术概况	187
8.2.2 蓝牙协议体系结构	189
8.2.3 蓝牙应用模型及协议栈	192
8.2.4 蓝牙技术现状及发展趋势	193
8.2.5 蓝牙技术的应用	196
参考文献	198

第 1 章 通信系统简介

目前，科学技术发展迅速，尤其在通信和计算机这两个技术领域更为突出。通信技术和计算机技术结合所产生的计算机通信技术在各个领域得到了广泛的应用。

1.1 概 述

人类从很早期就产生了跑马传书信（驿站）、烽火台报敌情（原始光通信）、旗语和信号灯（原始光通信）等多种原始通信方式。但它们只简单地满足了传送“消息”的要求，还称不上通信技术。真正的通信技术始于 1840 年，在这一年 Samuel Morse 和 Alfred Vail 发明了电报（莫尔斯电报）。在 20 世纪中晚期通信技术发展迅猛，逐步形成了信息网络，它是一种现代通信网系统，是集信息服务和计算机技术为一体的现代通信网。信息网络可为今天的信息社会提供多方面的、丰富多彩的信息服务，给人们提供高层次的信息享受，它是一种复杂的通信系统。

可以预料，计算机通信技术将成为 21 世纪的基本通信方式。计算机通信技术将通信的分布性和计算机的交互性融为一体，将改变人们的工作和生活方式。

1.2 通信系统模型的构成

不管通信系统的构成如何，是简单的电话通信系统，或是复杂的其他信息网络系统，它们的目的均是为了传送信息。理论上，为了将通信系统带共性的问题进行一般化的讨论，可采用如图 1-1 所示的通信系统模型。

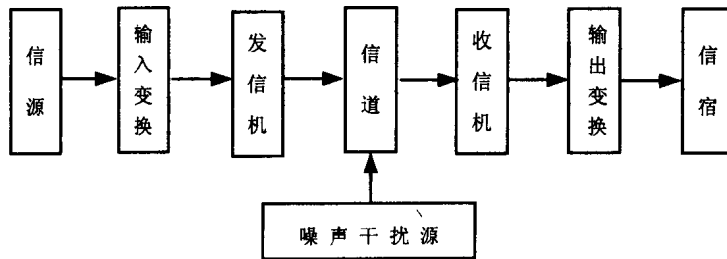


图 1-1 通信系统模型

事实上，通信的目的是设法使收信端获得一个与发信端相同的、尽可能不失真的“消息”，它携带有收信者所需接收的“信息”。任何一种通信系统，在其收信端不可能无失真地再现由发信端发出的消息，也没有必要作无失真传送消息的要求，只要能够识别其主要特征就可以接受。例如，通电话的双方，只要不丢失对方说话的内容，而且能够识别是谁的声音，就可以认为这个话音质量可以接受。要求适度，这就构成了合理的通信系统的性能指标。

收信端和发信端消息之间的差别，是通信信道中的噪声、干扰以及通信设备本身的工作特性引起的。

所谓信道，是指传输信息的通道，如电缆、光缆以及大气空间等。

在图 1-1 中, 发信机的功能是将消息转换为适合于在信道中传送的信号。信号是消息的载体, 信号可以是电信号, 也可以是光信号, 本质上都是一种载送消息, 并适合在信道中传输(或传播)载体, 不论有线通信(例如明线、电缆和光纤通信)或无线电通信均如此。

在模拟通信系统中, 要将“消息”转变为“信号”一般要经过转换和调制。在数字通信系统中要加上编码。

所谓转换是将表达消息的感觉媒体(通常是一些非电物理量)通过显示媒体转换为电物理量(电流、电压)。例如, 电话机的送话器(显示媒体)将发话人的声压转换为相应变化的电流; 电视摄像机将图像景物的光感转换为相应变化的电压等, 都是通信中的转换过程。

调制是通信系统工作的核心, 信号之所以载有消息, 是通过调制加工处理后而获得的。将与消息作相应变化的电压或电流, 对发信机中的“被调制部件(例如调制器)”电振荡或光振荡的参数进行控制, 就可以达到调制的目的。例如, 控制振荡波的振幅, 就是调幅、控制振荡波的频率, 就是调频、控制振荡波的相位, 就是调相。被调制的振荡波, 称为载波信号, 或称已调波信号。

调制的主要作用是将经转换获得的电信号(例如话音信号)的频谱在发信机中进行“搬移”, 将它搬移到某个载频(即载波的频率)附近的频带内。这样做, 至少可以达到以下两个目的。

① 利用高载频率电磁波对大气空间有“强”的辐射能力, 来满足无线电通信的需要。根据电磁场理论的观点, 低频(率)信号(例如话音信号和视频信号), 由于其波长很长, 虽然可视为电磁波, 但不具备强的辐射能力, 它们通常只能在传输线(例如电缆线、双线传输线)引导下传输。因此, 低频信号要以无线电方式和以大气空间为传输媒体进行通信, 必须对其进行调制处理, 将它的频谱搬移到某个高频附近的频率范围内。实际中, 这需要根据传输的“波(频)段”而定。例如, 给定传输波段是微波波段, 就需要将低频信号的频谱搬移到微波频段上去。但须指出, 这是对载波进行直接调制的发信机而言, 如果出于某种技术上的考虑(例如, 在微波通信系统中, 为了获得较好的设备兼容性)不容许直接在发射载波上进行调制, 可以选定在一个低的载频上进行调制, 然后再采用所谓“变频”的方法, 将它搬移到发射载频上去。例如, 在频率为 70MHz 的载频上进行调制, 然后采用变频的方法, 将 70MHz 的载频搬移到 5GHz 的载频发射。所谓变频也是通信系统中搬移信号频谱的加工处理方法。

② 可以实现频分复用 FDM (Frequency Division Multiplexing) 以满足多路通信的要求。通常, 送往通道传输的信号, 其频带宽度(简称带宽)远小于信道可能提供的带宽, 因此, 如果不采用多路复用的方法, 而仅将一个信号送往信道传输, 将对信道带宽造成极大的浪费。以电话通信为例, 每个用户的话音信号所占的带宽为 0.3~3.4kHz。如果将带宽不足 4kHz 的话音信号送往信道中传输, 将对信道的带宽能力造成极大的浪费。另外, 如果不采用调制的方法, 将多路同频段的信号在同一信道中传输, 将会互相串扰, 接收端无法将各路信号区分开来。因此, 为了充分利用传输信道的带宽能力和保证各路信号互不串扰, 必须采用多路复用。对于模拟信号通信而言, 是将每个用户的话音信号频谱利用调制方法, 将它们搬移到高低不同的载频附近, 令载频按高低秩序排队, 以组成多个用户的多路信号。这种复用方式, 称为频分复用(FDM)。

消息经转换处理后, 所得到的初始电信号是一种连续信号, 称它为模拟信号, 它是随时间能连续变化的函数 $S(t)$; 如果将模拟信号经过所谓抽样、量化和代码处理, 就可以得到数字信号。数字信号在时间上、取值上均是离散的, 是离散信号。由于它们都没有经过调制处理, 其频谱均从零频附近开始, 一直延伸到很远 (通常为数十 MHz 或更宽)。具有这些特点的信号, 通常称为基带信号, 分别被称为模拟基带信号和数字基带信号。

传输模拟信号的通信系统, 称为模拟通信系统; 传输数字信号的通信系统, 称为数字通信系统。模拟信号和数字信号均可采用基带传输和载波传输两种传输方式在信道中传输。所谓基带传输是将基带信号直接送往信道中传输的传输方式; 所谓载波传输是将基带信号对载波进行调制后, 以载波传输的传输方式。但光纤通信和无线电通信仅能采用载波传输方式, 此时的基带信号必须由光载波和无线电载波载送。

如果说调制是通信系统工作的核心, 而对信号的编码加工处理则是数字通信系统工作的又一核心。所谓编码, 简单说, 它是用一些符号 (例如正、负脉冲) 按一定规律组合来表示某种消息的含义。例如, 表示“是”的含义或表示“否”的含义等, 编码信号是数字信号。编码有两个目的: 第一, 是为了提高信号的传输效率, 以此为目的编码称为有效性编码, 或称为信源编码; 第二, 是为了提高信号传输时的可靠性 (或抗干扰能力), 以此为目的的编码, 称为可靠性编码, 或称为信道编码。

模拟信号经过抽样、量化和代码处理, 变换成数字信号的过程 (称为模数或 A/D 变换), 就是一种信源编码, 通常称为脉冲编码调制, 即 PCM (Pulse Code Modulation)。在某些情况, 例如, 当传输数字电视信号时, 需要将 PCM 数字电视信号的速率 (数码率) 进行压缩, 因此产生了以减少速率为目的的压缩编码, 这类编码属于信源编码; 对数字信号的加密处理, 也属于信源编码。信源编码的主要措施是尽可能删去信源信号的多余部分 (称为剩余度), 以提高传输效率。一般说, 信源信号经过信源编码后, 代表信源信号的“符号”之间的相关性减少了, 比原来更加独立, 这将导致信源编码信号的抗噪声干扰能力下降。因此, 对信源编码信号进行传输时, 还需进行抗干扰性编码, 即进行信道编码。

信道编码的主要措施是在经信源编码处理后的数字信号中, 人为地加入一些“码元”, 即加进剩余度, 以提高数字信号的抗噪声干扰的能力。

综上所述可见, 通信系统中的发信机, 要将信源发出的消息, 转换为适合于在信道中传输的信号, 需要经过复杂的加工处理, 或者说要经过许多变换; 而收信机只需经解调、解 (译) 码等相应的反变换处理, 就可获取发信端信源发出的消息。

发信者称为信源, 收信者称为信宿。在现代通信中, 信源和信宿可以是人, 也可以是计算机或其他机器设备。此时的计算机和其他机器设备, 称为终端设备 TE (Terminal Equipment), 简称终端 TE。信源称为发信终端, 信宿称为收信终端。

1.3 模拟和数字通信系统模型

1.3.1 模拟通信系统模型

图 1-2 所示的模拟通信系统模型是载波传输方式的模型。

实际模拟通信系统的组成要比该模型复杂得多, 例如还应有提供能量的电源系统等环节。仅对信号加工处理环节而言, 还应具有放大、变频、滤波等一系列环节。如果将这些内容都包括进来, 模拟通信系统将是一个庞杂的系统。该模型是“点”对“点”式的通信方式。

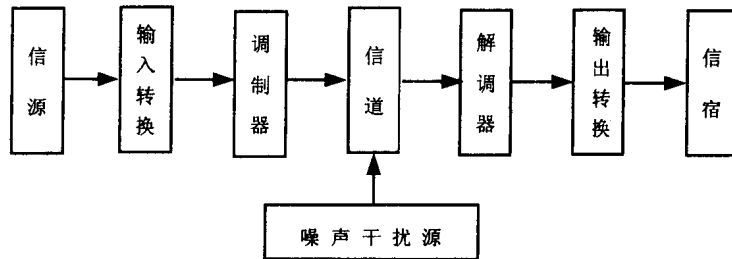


图 1-2 模拟通信系统模型

在该模型中，重点是调制和反调制（解调）功能，因为在信号变换过程中，它们的作用是实质性的。信号的调制变换由调制器完成，已调信号的反变换由解调器完成，它可以已从已调信号中取出发信端送来的基带信号。

引进信道中的噪声及干扰是多途径的。例如，系统中大量使用的有源器件（各类 PN 结器件）的内部噪声、无源器件（电阻、引线）的热噪声。传输媒体的噪声干扰（例如无线电通信的工业干扰、雷电干扰），甚至电源系统的噪声，都将进入信道中，依附在信道中传输的信号上。可见，通信系统模型中的噪声源必不可少，它是引入通信信道中各种噪声的一个“集中概括”，噪声将给收信端对信号的变换带来困难，严重影响通信质量，是需要解决的问题。

1.3.2 数字通信系统模型

数字通信系统模型如图 1-3 所示。

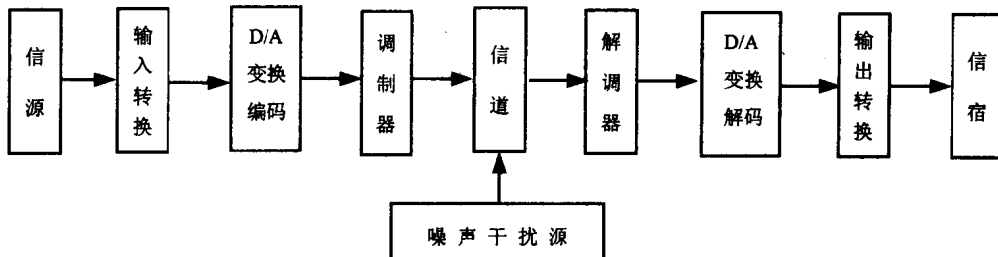


图 1-3 数字通信系统模型

在图 1-3 所示的数字通信系统模型中，除应具有调制和解调功能外，还应具备编码和解（译）码功能，在数字通信系统中，它们的作用是实质性的。信源编码和解码在一般情况下分别由模 / 数（A/D）和数 / 模（D/A）变换器完成；信道编码和解码分别由信道编码器和解（译）码器完成。同理，实际数字通信系统方案（组成、框图）十分庞杂，且必须具备同步系统。信道中噪声来源是多途径的，通信系统中的噪声源必不可少，噪声将给收信端对信号变换带来许多困难，须设法“对抗”。

注意，图 1-2 和图 1-3 所示的模拟和数字通信系统模型仅适用于载波传输，若用于基带传输，只需将调制器和解调器移去即可。

1.4 信息的概念及其量度

对收信者而言，其目的是通过通信系统获取信息，而通信系统仅负责传送消息。因此，研究通信系统时，理解信息的概念和消息的区别十分必要。

消息是感觉媒体，它携带有收信者所需接收的“信息”。也就是说，信息隐含在消息中，但消息不等于信息。例如，收信者收到的消息是早已为他所知的事件，此时收信者所收到的信息等于零，或者说收到的信息量等于零。通常，收信者在收到消息前，总是具有一种“不确定性”的感觉，这是日常生活中常见的事情。例如，当人们看电视时，电视传送的消息有一种“不确定性”感觉，如果得到的消息是：“某地爆发了战争”，此时人们不再具有不确定性感觉，而是感到震动，获得了非常大的信息量；如果被告知的信息是：“明天是‘五·一’国际劳动节，开始休假”，此时人们会感到很平静，同时也会感到没有获得信息量，只是提醒而已。可见，对收信者而言，消息中所隐含的“不确定性”，好像有一种“量”的感受。理论上，使用信息量（或信息）一词对消息的不确定性作定量的描述。量度信息的物理量，称为信息量。

概率论告诉我们，事件的不确定程度，可以用其出现的概率来描述。亦即事件出现的可能性愈小，则概率就愈小；反之，则概率就愈大。据这种认识，我们得到：消息中的信息量与消息发生的概率紧密相关，消息出现的概率愈小，则消息中包含的信息量就愈大。如果事件是必然的（概率为 1），则它传递的信息量应等于零；如果事件是不可能的（概率为 0），则它将有无穷的信息量。如果我们得到不是由一个事件构成而是由若干个独立事件构成的消息，那么这时我们得到的总的信息量，就是若干个独立事件的信息量的总和。

综上所述可以看出，为了计算信息量，消息中所含的信息量 I 与消息出现的概率 $P(x)$ 间的关系式应当反映如下规律：

- ① 消息中所含的信息量 I 是出现该消息的概率 $P(x)$ 的函数；
- ② 消息的出现概率愈小，它所含的信息量愈大，反之信息量愈小，且当 $P(x)=1$ 时， $I=0$ ；
- ③ 若干个互相独立事件构成的消息，所含信息量等于各独立事件信息量的和，即

$$I = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \quad (1-1)$$

信息量单位的确定取决于上式中对数底 a 的确定。如果取对数的底 $a=2$ ，则信息量的单位为比特 (bit)；如果取 e 为对数的底，则信息量的单位为奈特 (nit)；若取 10 为底，则信息量的单位称为十进制单位，或叫哈特莱。上述三种单位的使用场合，应根据计算及使用的方便来决定。通常广泛使用的单位为比特。

下面主要讨论数字通信中的信息量的度量。我们定义传送两个等概率的二进制波形之一的信息量为 1，单位为比特(bit)。该定义就意味着式 (1-1) 变为

$$I = \log_2 \frac{1}{\frac{1}{2}} = -\log_2 \frac{1}{2} = 1 \text{ bit} \quad (1-2)$$

这里选择的对数是以 2 为底，在数学运算上是方便的。

现在再来考察非等概率的情况。如果“1”出现的概率为 $P(x_1)$ ，“0”出现的概率为 $P(x_2)$ ，每个信号所含的信息量是不一样的，这时，用统计平均值来计算其信息量，用 $H(x)$ 来表示：

$$\begin{aligned} H(x) &= -[P(x_1) \log_2 P(x_1) + P(x_2) \log_2 P(x_2) + \dots + P(x_n) \log_2 P(x_n)] \\ &= -\sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (\text{bit/符号}) \end{aligned} \quad (1-3)$$

关于信息量的进一步讨论，限于篇幅这里就不再进行了。有兴趣的读者，可参考信息论有关专著。

1.5 通信系统主要性能指标

在设计或评述通信系统时，往往要涉及通信系统的主要性能指标，否则就无法衡量其质量的优劣。性能指标也称质量指标，它们是对整个系统综合提出或规定的。

通信系统的性能指标涉及其有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性及维护使用等等。如果考虑所有这些因素，那么通信系统的设计就要包括很多项目，系统性能的评述工作也就很难进行。不过，从辩证观点看，任何过程如果有多个矛盾，其中必定有一种是主要的，起着主导的、决定的作用，其他则处于次要和服从的地位。尽管对通信系统可有名目繁多的实际要求，但从研究消息的传输来说，通信的有效性与可靠性将是主要的矛盾所在。这里所说的有效性主要是指消息传输的速度问题，而可靠性主要是指消息传输的质量问题。显然，这是两个相互矛盾的问题，这对矛盾通常只能依据实际要求取得相对的统一。例如，在满足一定可靠性指标下，尽量提高消息的传输速度；或者，在维持一定有效性下，使消息传输质量尽可能地提高。

对于模拟通信系统来说，消息传输速度主要决定于消息所含的信息量和对连续消息（即信息源）的处理。处理的目的在于使单位时间内传输更多的消息。从信息论观点来说，消息传输速度可用单位时间内传送的信息量来衡量。模拟通信中还有一个重要性能指标，即均方差。它是衡量发送的模拟信号与接收端复制的模拟信号之间误差程度的质量指标，均方差越小，说明复制的信号越逼真。

在实际的模拟通信中，上述误差是由两方面原因造成的：第一，由于信号在传输时叠加上噪声，称之为由加性干扰产生的误差；第二，由于信道传输特性不理想产生的误差，一般称为乘性干扰产生的误差。第一种干扰是始终存在的，不管信号有无，而第二种干扰则随信号的消失而消失。对于由乘性干扰产生的误差，常常还用更具体的性能指标来表述。例如，用于电话系统还有保真度、可懂度、清晰度等质量指标。由加性干扰产生的误差，通常用信号噪声比这一指标衡量。在后面的讨论中，主要研究加性干扰的影响，故认为在模拟通信中均方差的大小最终将完全取决于接收端输出的信号平均功率与噪声平均功率之比（简称输出信噪比）。如果在相同的条件下，某个系统的输出信噪比最高，则称该系统通信质量最好，或称该系统抗信道噪声（或干扰）的能力最强。

在数字通信系统里，主要的性能指标有两个，即传输速率和差错率。为了说清楚这两个指标的确切概念，有必要先说明数字通信中信号是怎样表示的。

如前所述，由于数字通信传输的是离散信号，因此，这些离散值可以用数字表示。在计算机和数字通信中最适用的是二进制数字，即“0”和“1”。在数字通信中，若离散信号的状态只有两种，则可用一位二进制数字去表示；若离散信号的状态多于两种，则可用若干位二进制数字去表示。当然，除了采用二进制外，还可采用多进制，比如选用 N 进制，这里的 N 是大于 2 的一个正整数。自然， N 进制与二进制是可以相互表示的。比如，当 $N=4$ 时， N 进制的每一位数字可以用两位二进制数字去表示，反之亦然。原则上， N 进制的每一个数字可用 $\log_2 N$ 个二进制数字去表示，但要注意，当 $\log_2 N$ 不为整数时，则应取大于此值的一个整数。

在数字通信中常常用时间间隔相同的符号来表示一位二进制数字。这个间隔被称为码元长度，而这样的时间间隔内的信号称为二进制码元。同样， N 进制的信号也是等长的，并被称为 N 进制码元。

① 传输速率，它通常以码元传输速率来衡量。码元传输速率，又称码元速率或传码率。它被定义为每秒钟传送码元的数目，单位为“波特”，常用符号“B”表示。例如，若某系统每秒钟传送 4800 个码元，则该系统的传码率为 4800 波特或 4800B。但要注意，码元速率仅仅表征单位时间内传送码元的数目，而没有限定这时的码元是何种进制。考虑到同一系统的各点上可能采用不同的进制，故给出码元速率时必须说明码元的进制和该速率在系统中的位置。

传输速率还可用信息传输速率来表征。信息传输速率又称为信息速率或传信率。它被定义为每秒钟传递的信息量，单位是比特/秒，或记为 bit/s（或写成 bps）。例如，若某信息源每秒钟传送 1200 个符号，而每一符号的平均信息量为 1bit，则该信息源的信息速率为 1200bit/s 或 1200bps。今后，在无特别声明的情况下，每个二进制码元规定含有 1bit 信息量。于是，码元速率与信息速率在数值上存在一定的关系：在二进制下，码元速率与信息速率在数值上相等，只是单位不同，且含义不同。

② 数字通信的另一性能指标——差错率，是衡量系统正常工作时，传输消息可靠程度的重要性能指标。差错率有误码率及误信率两种表述方法。

所谓误码率，是指错误接收的码元数在传送总码元数中所占的比例，或者更确切地说，误码率即是码元在传输系统中被传错的概率。

所谓误信率，又称误比特率，是指错误接收的信息量在传送信息总量中所占的比例，或者说，它是码元的信息量在传输系统中被丢失的概率。

1.6 模拟信号调制解调原理

模拟调制的方式可分为连续波调制与脉冲波调制两大类。连续波调制是用调制信号控制高频振荡（载波）的振幅、频率或相位，分别称为调幅、调频或调相，调频和调相又统称为调角。脉冲波调制是先用调制信号控制脉冲波的振幅、宽度、位置以及脉冲编码组合等，然后再用该已调脉冲对高频振荡进行调制，因此，脉冲波调制包含有脉冲振幅、脉宽、脉位脉冲编码调制等多种形式。在这里主要讨论连续波的调制方式。

1.6.1 振幅调制

设载波信号电压为

$$u_c = V_{cm} \cos \omega_c t$$

调制信号电压为

$$u_{\Omega} = V_{\Omega m} \cos \Omega t$$

其中 Ω 为调制信号的角频率，调幅原理图如图 1-4 所示。经调幅后，可得到普通调幅波（AM 波）：

$$u(t) = V_{cm}(1+m_a \cos \Omega t) \cos \omega_c t$$

如果把载波滤掉，就可得到双边带调幅波（DSB-SC 波）：

$$u(t) = \frac{1}{2} V_{\Omega m} V_{cm} [\cos(\omega_c + \Omega)t + \cos(\omega_c - \Omega)t]$$

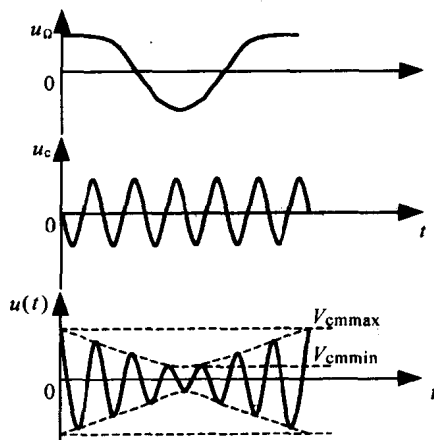


图 1-4 调幅原理图