

# 通摇信摇原摇理

马海武摇刘摇毓摇达新宇摇编 著

北京邮电大学出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书全面讲述了现代通信系统和通信技术的基本原理及分析方法,是作者通过长期教学实践为通信及信息类专业编写的专业课教材。

本书主要内容包括:通信系统的基本概念、随机信号分析的基本知识、信道的基本特性、模拟调制、数字调制、最佳接收、数字基带传输、信源编码及多路复用、同步技术、差错控制编码等。各章后均附有习题。

本书可作为高等院校通信与电子信息类以及相关专业的本科或研究生的教材,高职、高专用作教材时可适当节选,也可作为广大工程技术人员学习通信基础理论及应用的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

通信原理 / 张海武, 刘毓, 达新宇编著. —北京: 北京邮电大学出版社, 2009

ISBN 978-7-5306-4755-5

I. ①通... II. ①马...②刘...③达... III. 通信理论 IV. 621.01

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第147410号

---

出版者:北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路10号)

邮编:100876 电话:010-62080088 传真:010-62080089

电子信箱:zhaohaiwu@bupt.edu.cn

经销:各地新华书店

印刷:北京忠信诚胶印厂印刷

印数:1-1000册

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:10.5 字数:260千字

版次:2009年1月第1版 2009年1月第1次印刷

---

ISBN 978-7-5306-4755-5 · 0000

定价:18.00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 摇 摇 言

根据当前我国高等学校发展的状况,为适应在新形势下对通信及信息类人才的培养需求,特别是充分考虑和重视 21 世纪信息科学发展的趋势,根据各高校教学的需要,编写本科信息类系列教材是十分必要的。本书根据 1998 年 9 月召开的高等学校信息类系列教材编审工作会议审定的编写大纲进行编写。

现代通信技术发展迅速,门类诸多,要对通信系统及每部分设备作深入研究,首先要掌握最基本的通信理论,理解通信系统的基本原理,弄清其内在的机理,从而理解、应用、设计各种类型的通信系统、通信设备和通信网络。因此,使读者获得足够的通信技术基础理论知识是本教材的宗旨。

本书共 15 章,重点讲述了通信系统的基本原理和典型应用,通信工程及电子信息专业本科教学参考学时数为 120 学时。本书前 3 章是通信的基础知识,其中第 1 章对随机信号分析的主要内容作了概括的介绍;第 2 章介绍模拟通信的基本原理,重点介绍了模拟调制系统;第 3 章介绍数字通信的基本原理,主要内容有基带传输系统、数字调制系统以及最佳接收理论;第 4 章介绍信源编码,主要介绍模拟信号的数字化和编码方法;第 5 章介绍同步技术;第 6 章介绍信道编码,主要介绍差错控制编码的基本方法。各章后都附有大量的习题。通过对本教材中各部分内容的学习,使读者对通信的基本理论有一个整体的了解。基于在编写方式上的特点,相信本书对通信及信息类学生和专业人员学习通信基础理论课程会有一些的帮助。本书渗透了编著者多年的教学心得,希望能为通信专业的教学和通信事业的发展起到一定的促进作用。

对本教材的内容,本科生和研究生可以根据不同的教学要求灵活选用。另外,还可根据各校的教学条件,结合实验和通信仿真技术,通过多媒体教学使学生对这些理论有更加深刻的理解和认识。

本书第 1 章至第 3 章由马海武编写,第 4 章至第 6 章由刘毓编写,第 7 章至第 15 章由达新宇编写。马海武统稿全书。

本书在编写过程中,得到了许多人士的大力协助和支持,在此表示诚挚的谢意。尤其感谢北京邮电大学出版社所给予的各方面的帮助。同时对本书所列参考文献的作者表示感谢。

限于编者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,敬请广大读者及同行批评指正。

作 摇 者

1998 年 9 月

# 高等院校电子信息类教材编审委员会

顾 问 : 周炯□

委 员 : (以姓氏笔画为序)

卫建华 马海武 孙伟玲 达新宇 刘联会

刘毓 刘高辉 娄莉 郭元术 夏清国

秘书长 : 马海武

# 序

随着通信技术的高速发展及广泛应用,全国很多高等院校都开办了通信工程和电子信息工程专业,尤其是1998年开始的扩大招生和压缩学时等举措,使得本专业原有的教材无法适应当前的发展形势。许多高校在修改教学计划的同时,修订了各门课程的教学大纲,但在具体实施的过程中却遇到了很大的困难,找不到合适的教材,只好用原有的教材,在授课时进行节选,给教与学都带来很大的麻烦。针对这种情况,1999年10月十数所高校通信工程专业的教师在西安召开了第一次新形势下的教学研讨会。与会者一致认为,编写一套与当前教学形势相适应的本专业的系列教材迫在眉睫。经过一年的准备,1999年10月在北京邮电大学出版社的大力协助和支持下,成立了由十数所高校参加的“高等院校电子信息类教材编审委员会”。在进一步深入讨论本专业培养计划的基础上,确定了系列教材的课目及各教材的编写大纲,并且组织各高校有一定教学经验的一线骨干教师参与编写工作,使得这套系列教材更贴近读者,更适应当前教学的需要。

在教材编写过程中,为了保证教材的质量,编委会对每部教材的大纲、内容及要求都作了详细的研讨。主编都是由具有多年教学经验的骨干教师担任。编者对教材的内容取舍、结构设计、章节安排和表达方式等方面进行了反复修改。为了教学实际的需要,每部教材都对内容做了结构化安排,便于教师根据实际情况部分选讲,而且都配有足够的习题或思考题和相当多的例题。本套系列教材不仅适用于课堂教学,也是课外读者非常合适的参考书。

在这里,感谢所有参加编写工作的教师们,另外特别感谢北京邮电大学出版社,他们在组织、统筹、出版和发行等方面做了大量的工作。每部教材都有他们的心血和努力。

编委会  
1999年10月

# 目 录

第 1 章 绪 论 .....	1
1.1 概 述 .....	1
1.2 通信系统的组成 .....	1
1.3 通信系统的分类 .....	2
1.4 通信方式 .....	2
1.5 信息论的基本概念 .....	2
1.6 通信系统的性能度量 .....	2
1.7 通信发展史简介 .....	2
习 题 .....	2
第 2 章 通信中的随机信号分析 .....	3
2.1 概 述 .....	3
2.2 概率、随机变量及其分布 .....	3
2.2.1 概率论的基本概念 .....	3
2.2.2 随机变量及其分布 .....	3
2.3 随机过程 .....	3
2.3.1 随机过程的概念 .....	3
2.3.2 随机过程的概率分布 .....	3
2.3.3 随机过程的数字特征 .....	3
2.4 平稳随机过程 .....	3
2.4.1 平稳随机过程的基本概念及统计特性 .....	3
2.4.2 平稳随机过程相关函数的性质 .....	3
2.4.3 平稳随机过程的相关函数与功率谱密度 .....	3
2.5 高斯随机过程 .....	3
2.5.1 高斯随机过程的一般概念 .....	3
2.5.2 高斯过程的重要性质 .....	3
2.5.3 高斯过程的一维统计特性 .....	3
2.6 窄带随机过程 .....	3
2.7 白噪声过程 .....	3
2.7.1 理想白噪声 .....	3
2.7.2 带限白噪声 .....	3
2.7.3 带通白噪声 .....	3
2.8 正弦波加窄带高斯过程 .....	3

摇摇圆摇摇平稳随机过程通过系统的分析	猿
摇摇圆摇摇平稳随机过程通过线性系统	源
摇摇圆摇摇平稳随机过程通过乘法器	源
摇摇习 题	源
第 猿章摇摇信 道	源
摇摇猿摇摇概 述	源
摇摇猿摇摇信道的定义和分类	源
摇摇猿摇摇信道的数学模型	源
摇摇猿摇摇恒参信道举例	源
摇摇猿摇摇恒参信道特性及其对信号传输的影响	源
摇摇猿摇摇随参信道举例	缘
摇摇猿摇摇随参信道特性及其对信号传输的影响	缘
摇摇猿摇摇分集接收	缘
摇摇猿摇摇信道的加性噪声	缘
摇摇猿摇摇信道容量	缘
摇摇习 题	缘
第 源章摇摇模拟调制系统	缘
摇摇源摇摇概 述	缘
摇摇源摇摇模拟调制的作用	缘
摇摇源摇摇模拟调制的分类	远
摇摇源摇摇本章研究的问题	远
摇摇源摇摇线性调制	远
摇摇源摇摇振幅调制	远
摇摇源摇摇双边带调制	远
摇摇源摇摇单边带调制	远
摇摇源摇摇残留边带调制	苑
摇摇源摇摇线性调制系统性能分析	苑
摇摇源摇摇相干解调系统性能分析	苑
摇摇源摇摇非相干解调系统性能分析	愿
摇摇源摇摇非线性调制	愿
摇摇源摇摇角度调制的基本概念	愿
摇摇源摇摇调频信号的产生	怨
摇摇源摇摇调频信号的解调	怨
摇摇源摇摇调频系统的性能分析	怨
摇摇源摇摇分析模型	怨
摇摇源摇摇非相干解调系统性能分析	员园
摇摇源摇摇调频信号解调的门限效应	员园
摇摇源摇摇加重技术	员园
摇摇源摇摇频分复用技术	员园
摇摇习 题	员园

第 1 章 数字信号的基带传输 .....	1
1.1 概 述 .....	1
1.2 数字基带信号的码型 .....	1
1.2.1 码型设计原则 .....	1
1.2.2 二元码 .....	1
1.2.3 三元码 .....	1
1.2.4 多元码 .....	1
1.3 数字基带信号的频谱特性 .....	1
1.4 无码间干扰的传输特性 .....	1
1.4.1 无码间干扰的传输条件 .....	1
1.4.2 无码间干扰的传输波形 .....	1
1.5 部分响应系统 .....	1
1.5.1 部分响应波形 .....	1
1.5.2 部分响应系统的一般形式 .....	1
1.6 基带传输系统的抗噪声性能 .....	1
1.6.1 二元码的误比特率 .....	1
1.6.2 多元码的差错率 .....	1
1.7 眼 图 .....	1
1.8 均 衡 .....	1
1.8.1 时域均衡的原理 .....	1
1.8.2 时域均衡器的结构 .....	1
1.9 扰码和解扰 .....	1
1.10 正交编码 .....	1
1.11 皂序列的产生和性质 .....	1
1.12 扰码和解扰的原理 .....	1
习 题 .....	1
第 2 章 数字信号的载波传输 .....	1
2.1 概 述 .....	1
2.2 二进制振幅键控 .....	1
2.2.1 二进制振幅键控的原理 .....	1
2.2.2 二进制振幅键控系统的性能 .....	1
2.3 二进制频移键控 .....	1
2.3.1 二进制频移键控的原理 .....	1
2.3.2 二进制频移键控系统的性能 .....	1
2.4 二进制相移键控 .....	1
2.4.1 二进制相移键控 .....	1
2.4.2 二进制差分相移键控 .....	1
2.4.3 二进制相移键控系统的性能 .....	1
2.5 二进制数字调制系统的性能比较 .....	1
2.6 多进制数字调制系统 .....	1

第 3 章 多进制数字振幅调制	3
第 4 章 多进制数字频率调制	10
第 5 章 多进制数字相位调制	16
第 6 章 多进制正交幅度调制	22
第 7 章 多进制数字调制系统的性能比较	28
第 8 章 其他数字调制方式	34
第 9 章 最小频移键控	40
第 10 章 高斯最小移频键控	46
第 11 章 时频调制	52
习 题	58
第 12 章 数字信号的最佳接收	64
第 1 节 概 述	64
第 2 节 最小差错概率准则的最佳接收	68
第 3 节 数字信号接收的统计模型	74
第 4 节 最小差错概率最佳接收机	80
第 5 节 随相信号的最佳接收	86
第 6 节 最大输出信噪比准则的最佳接收	92
第 7 节 匹配滤波器	98
第 8 节 二进制信号的匹配滤波器接收机	104
第 9 节 二进制最佳接收的接收性能	110
第 10 节 二进制最佳接收的接收性能	116
第 11 节 二进制确知信号的最佳波形	122
习 题	128
第 13 章 模拟信号的数字编码	134
第 1 节 概 述	134
第 2 节 抽样定理	140
第 3 节 幅度量化理论	146
第 4 节 量化及其量化特性	152
第 5 节 均匀量化的量化噪声功率和量化信噪比	158
第 6 节 非均匀量化	164
第 7 节 粤律 员折线压缩律	170
第 8 节 脉冲编码调制	176
第 9 节 其他信源编码的基本原理	182
第 10 节 差分脉冲编码调制	188
第 11 节 简单增量调制	194
第 12 节 数字电话通信系统	200
第 13 节 时分复用	206
第 14 节 数字复接系统简介	212
第 15 节 一次群系统	218
习 题	224

第 3 章 同步原理 .....	缘
3.1 同步的分类 .....	缘
3.2 同步按同步的功能分类 .....	缘
3.3 同步按同步的实现方式分类 .....	源
3.4 载波同步 .....	缘
3.5 直接法 .....	缘
3.6 插入导频法 .....	缘
3.7 位同步 .....	缘
3.8 位同步的作用与分类 .....	缘
3.9 插入导频法 .....	缘
3.10 直接法 .....	缘
3.11 位同步系统性能分析 .....	苑
3.12 帧同步 .....	缘
3.13 帧同步的方法 .....	园
3.14 帧同步的性能 .....	苑
3.15 帧同步的保护 .....	苑
习 题 .....	园
第 4 章 差错控制编码 .....	园
4.1 概 述 .....	园
4.2 差错控制编码的基本概念 .....	园
4.3 差错控制方式 .....	园
4.4 差错控制编码的分类 .....	缘
4.5 检错和纠错的基本原理 .....	源
4.6 常用的简单检错码 .....	苑
4.7 线性分组码 .....	愿
4.8 基本概念 .....	愿
4.9 监督矩阵和生成矩阵 .....	缘
4.10 伴随式 .....	缘
4.11 汉明码 .....	园
4.12 循环码 .....	源
4.13 循环码的特点 .....	源
4.14 生成多项式与生成矩阵 .....	缘
4.15 监督多项式与监督矩阵 .....	苑
4.16 系统循环码的编译码方法 .....	缘
4.17 卷积码 .....	猿
4.18 卷积码的编码 .....	猿
4.19 卷积码的描述 .....	猿
4.20 卷积码的译码 .....	猿
4.21 网格编码调制 .....	猿

习 题 .....	猿猿
附录 常用三角公式 .....	猿远
附录 希尔伯特变换 .....	猿苑
附录 希尔伯特(变换)的定义 .....	猿苑
附录 频域的变换 .....	猿苑
附录 贝塞尔函数和误差函数 .....	猿园
参考文献 .....	猿园

# 第 1 章 绪论

## 1.1 概述

通信始终伴随着人类社会的文明进程,是推动人类社会文明、进步与发展的动力。人们在生产实践和社会活动中总是需要进行消息的传递,这种消息传递的整个过程称为通信。反过来说,通信的任务就是克服人们在距离上的障碍,迅速准确地传递消息。消息是物质或精神状态的一种反映,在不同的时期,它通过动作、语言、文字、图像等不同的方式表述。

通信的发展按照人类交流方式的不同可分为三个阶段。第一阶段中人们通过语言、手势、金鼓、旌旗、烽火台等方法传递消息。第二阶段是随着文字、印刷术、邮政的出现而开始的。第三阶段是在人们认识和开始使用电能的同时,利用电信号进行消息的传递。到今天电信号把人们带进了信息时代。

电信就是借助“电”来传递消息的通信方式。这种通信方式具有迅速、准确、可靠的特点,几乎不受时间、地点、距离的限制,因此,近百年来获得了飞速的发展和广泛的应用。今天人们认为“通信”和“电信”几乎是同义词,而我们所要研究的通信就是指电信。

在电信系统中,消息的传递是通过电信号来实现的。

现代通信系统是信息时代的生命线。现代通信网已经是一个全球性的综合性的为多种信息服务的网络。通信学科的发展,一方面表现在新的电子器件和新的技术不断出现;另一方面反映在通信理论的深入发展和不断完善。比如说,19世纪末开始形成的调制理论为有线载波通信和无线电通信的基本理论奠定了基础,给实现频分制和时分制多路复用系统指明了方向。在电信的初期发展阶段,人们就发现了噪声的存在和它对通信的影响,但直到20世纪50年代,通过概率统计方法的分析提出了统计信号检测和估计理论,以及在此基础上发展起来的最佳接收理论,为噪声中提取信号找到了有效的途径。另外,后来形成的信息论,明确了通信中的一对主要矛盾,即通信的有效性和可靠性的问题,并为最好地解决这对矛盾提出了原则性的定理。在此基础上逐步发展起来的信源编码、纠错编码、扩频技术等理论,为提高通信质量、选择新的信号形式和创立新的通信体制奠定了基础。

由此可见,通信这门学科是逐步由低级到高级、由简单到复杂发展起来的。现代通信技术是研究传递各类信息的科学。从广义来说,通信应包括电报、电话、广播、电视、传真、数据和计算机通信等。将雷达、导航、遥测、射频天文学、生物工程学等与通信综合在一起构成了一门完整的信息科学,通信则是其中的一个主要组成部分。

## 1.2 通信系统的组成

消息的传递必然有发送者和接收者,发送者和接收者可以是人也可以是各种机器。换句话

说 通信可以在人与人之间,也可以在人与机器或机器与机器之间进行。如今大量的通信最终都是通过各种机器,并在机器间进行的。广播、电视、计算机等之间的通信都属于机器间的通信。

电信系统在传递消息时,首先要把消息变成电的信号,对方接收到信号后再按相同的逆规则将电信号再生为消息。在发送端利用发送设备中的各种元器件,将非电信息变换成初级电信号,或称为原始电信号,然后送到信道中去传输。信道是传输电信号的通道。信道可以是有线的也可以是无线的,可以是模拟的也可以是数字的。在接收端利用接收设备中的各种部件,将从信道中得到的电信号变换成非电信息,这是一个通信的整个过程。从这个过程中可以将通信系统概括为如图 1-1 所示的模型。

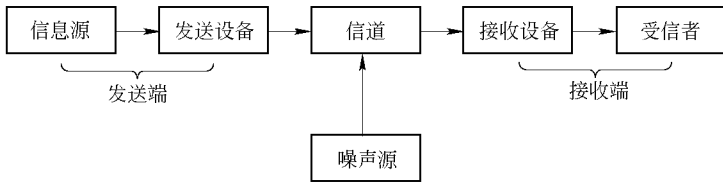


图 1-1 通信系统的一般模型

通信系统由信息源、受信者、发送设备、接收设备和传输媒介几部分组成。

### 1.1 信息源

信息源简称信源。不同的信息源输出信号的性质是不一样的,一般将其分为模拟信源和离散信源。

模拟信源输出的信号在时间和幅度上都是连续的,如语音、图像,以及模拟传感器输出的信号等。离散信源的输出是离散的或可数的,如符号、文字,以及脉冲序列等。离散信源又称为数字信源。

原始的消息经变换后成为电信号或本身就是电信号。模拟信号可以通过抽样和量化编码变为离散信号。换句话说,一切消息理论上都可以变换成离散的信号,这也是数字通信技术得到迅猛发展的一个主要原因。

信息源的另一个重要特点是不同的信源有不同的信息速率。比如,电报信道的信息速率一般为 50 字/秒,阅读的信息速率一般为 100 字/秒左右,彩色电视为 1000 字/秒等等。不同速率的信息源对整个传输系统的要求也各不相同。

### 1.2 受信者

受信者是在接收的一方将经过各种变换和传输的信息还原成所需要的消息形式。一般情况下受信者需要的消息应和发信者发出的消息类型一样。对于受信者和发信者来说,不管中间经过什么样的变换和传输,都不应该将二者所传递的消息改变。收到和发出的消息的相同程度越高越好。

### 1.3 发送设备

发送设备是发送端的重要部分,它的功能是将信息源和传输媒介连接起来,将信源输出的信号变为适合于传输的信号形式。变换的方式很多,采用什么样的变换则要根据信号类型、传输媒介和质量要求等决定。有时可以将电信号直接送于媒介传送,有时则要进行频谱的搬移。在需要搬移时,调制则是最常用的一种变换方式。

如果通信系统是数字的,对于模拟信号则需要进行抽样、量化和编码。此时发送设备又可以分为信道编码和信源编码两部分。信源编码是把连续的模拟信号变为数字信号;信道编码

则是把数字信号与传输媒介匹配起来,以提高传输的有效性或可靠性。

对于其他的一些特殊要求,发送设备应有为满足这些要求所需要的各种处理,最常见的如差错控制编码、多路复用等。

### 摇摇接收设备

对接收设备的基本要求就是能够将收到的信号变换成与发送端信源发出的消息完全一样的或基本一样的原始消息。从这一点出发,接收设备显然应该是发送设备的反变换,不仅如此,它还要克服在传输过程中干扰所带来的影响。

### 摇摇传输媒介

传输媒介是用来传递发送设备和接收设备之间信号的。传输媒介有很多种,概括起来可分为无线和有线两大类。每一类都有优点和缺点,一般根据通信的具体情况和要求以及信号的类型来决定采用哪一类。在传输的过程中,各种干扰(比如热噪声、衰减等)必然会随之进入系统,因此干扰也是选用媒介的重要因素之一。

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

模拟通信系统是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的频谱一般是从零频附近开始,这种信号具有频率很低的频谱分量,一般不宜直接传输,这就需要把它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。

消息从发送端到接收端的传递过程中,除有连续消息与原始电信号和原始电信号与已调信号之间的两种变换,实际通信系统中还可能有滤波、放大、天线辐射、控制等过程。由于调制与解调两种变换起主要作用,其他过程不会使信号发生质的变化,只是对信号进行放大或改善信号特性,一般被认为是理想的不参与讨论。

模拟通信系统模型如图 员-员-员 所示,图中的调制器和解调器代表图 员-员-员 中的发送设备和接收设备。

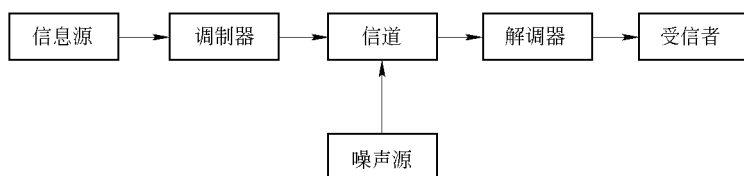


图 员-员-员 模拟通信系统模型

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 员-员-员 所示。数字通信研究的技术问题主要有信源编码、信道编码、数字调制、数字复接、同步以及加密等。

信源编码的作用大致有两个,其一是当信息源给出的是模拟语音信号时,信源编码器将其转换成数字信号,以实现模拟信号的数字化传输;其二是设法减少码元数目和降低码元速率,也就是数据压缩。码元速率决定传输所占的带宽,而传输带宽反映了通信的有效性。信源译码是信源编码的逆过程。

信道编码是为了克服数字信号在信道传输时,由噪声、衰落以及人为干扰等引起的差错。信道编码器对传输的信息码元按一定的规则加入监督码元,接收端的信道译码器按相应的逆规则进行解码,从中发现错误或纠正错误,提高通信系统抗干扰能力。

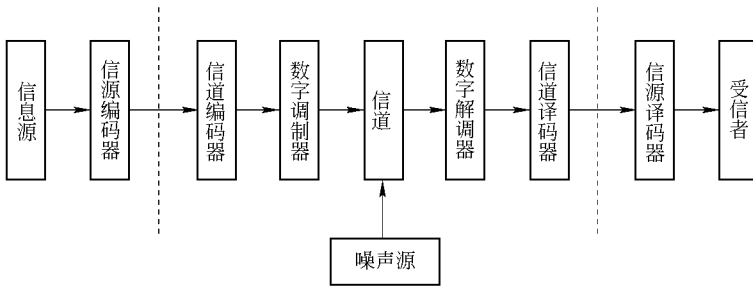


图 员圆 数字通信系统模型

为了保密通信,给被传输的数字序列加上密码,即扰乱,这个过程称为加密。在接收端利用相应的逆规则对收到的数字序列进行解密,恢复原来信息。

对于大多数通信系统来说,每一方不仅是收信者也是信源,也就是说,每一方都应具备发送和接收的功能。因此每一方也必须有发送设备和接收设备。

数字调制是把所传输的数字序列的频谱搬到适合在信道中传输的频带上。基本的数字调制方式有振幅键控、频移键控、绝对相移键控、相对(差分)相移键控。在接收端可以采用相干解调或非相干解调还原数字序列。对高斯噪声下的信号检测,一般用相关接收机或匹配滤波器来实现。

同步是保证数字通信系统有序、准确、可靠工作的基本条件。同步就是使收、发两端的信号在时间上保持步调一致。同步可分为载波同步、位同步、群同步和网同步等。数字复接则是依据时分复用的基本原理把若干个低速数字信号合并成一个高速数字信号,以扩大传输容量和提高传输效率。

数字通信系统的一般模型,而在实际应用中,数字通信系统不一定包括图中的所有环节,可以只有其中的某些部分。另外,模拟信号经过数字化后可以在数字通信系统中传输。当然,数字信号也可以在模拟通信系统中传输,如计算机数据可以通过模拟电话线路传输,但这时必须使用调制解调器(调制器)将数字序列进行正弦调制,以适应模拟信道的传输特性。

模拟通信和数字通信的应用都很广泛,数字通信的发展却非常迅速,已成为现代通信技术的主流。与模拟通信相比,数字通信有以下一些特点:

(员) 抗干扰能力强。比如二进制数字信号的取值只有两个,这样接收时只需判别两种状态。信号在传输过程中因噪声造成的波形畸变不会影响两个状态的辨别,只要噪声的大小不足以影响判决的正确,就能正确接收。而模拟通信需要高保真地重现信号波形,如果模拟信号叠加上噪声,则很难消除。对于中继通信,各中继站对数字信号波形进行整形再生从而消除噪声积累。

(圆) 差错可以控制。采用信道编码技术来降低误码率,提高传输的可靠性。

(猿) 可以进行大规模集成,容易使通信设备微型化。

(源) 能与各种数字终端直接相连。用计算机技术对信号进行处理、加工、变换、存储。

(缘) 容易实现保密通信。

(远) 传输和交换可以有机地结合起来,将各种不同的消息源都变换成同一类的数字信号,为实现综合业务通信网奠定了基础。

(苑) 容易实现多路复用。

数字通信的上述优点使其得到了广泛应用。但这些优点是用比模拟通信占据更宽的系统频带为代价而换取的。例如,一路源带宽的模拟信号,用接近同样质量的数字信号传输需

要 100% 的带宽,可见数字通信的频带利用率很低。另外,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,随着宽带传输技术的采用,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是可以克服的。尤其是微电子技术和计算机技术的迅猛发展和广泛应用,数字通信将逐步取代模拟通信而占主导地位。

以上所述是典型的点对点通信系统。在现代社会生活中,人们不可能只进行一点到一点的固定式通信,更多的则要求能够与所有在线的任何一方进行通信。这样就必须有一种设备去完成这种任何一方与任何另一方的选择通信功能,这个设备就是通信网络中的交换系统。显然,交换系统是通信网络中非常重要的部分。

## 1.1 通信系统的分类

通信系统从不同的角度可以有不同的分类方法,分类的方法是多种多样的。下面讨论几种常见的分类。

### 1.1.1 根据消息的物理特征分类

按照消息的物理特征,通信系统可以分为电话、电报、数据、图像等。它们相互之间可以是兼容的,也可以是并存的。电话通信应用最为广泛,因此发展得也最为迅速,目前的通信网大部分都是建立在电话通信系统基础之上的。尤其是电话通信有着最多的用户,其他的通信系统常常需要通过电话通信系统发展用户。

### 1.1.2 根据传输信号的特征分类

当消息变换成电信号以后,二者之间应该存在着——对应的关系,这是接收端能恢复出原始消息的最基本的条件。电信号可以是模拟信号也可以是数字信号,根据信道传输的电信号是模拟的还是数字的,可以把对应的通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

### 1.1.3 根据调制方式分类

首先根据是否采用调制可将通信系统分为基带传输和调制传输。

基带传输是直接传输由消息变换而来的电信号,如电话音频信号、数字基带信号等。它不需要调制。

调制传输则是将由消息变换而来的电信号,再经过调制变换后进行传输。调制传输有以下优点:

(1) 将消息变换为有利传输的形式。例如将低频信号设法携带在高频信号上,以便在自由空间中传输。将话音的连续信号变换为脉冲编码调制信号,使其能够在数字信道中传输。

(2) 能够提高抗干扰能力。

(3) 可以方便地在指定的频带内传输。

调制传输的方式很多,常见的调制方式又分为连续波调制和脉冲调制。

连续波调制就是载波为连续的模拟信号,最常用的连续信号一般为正弦波。脉冲调制的载波为脉冲序列。

连续波调制又分为线性调制、非线性调制和数字调制。

线性调制有常规双边带调幅(AM),主要用于广播;抑制载波双边带调幅(DSB),主要用于立体声广播;单边带调幅(SSB),主要用于载波通信、无线电台等;残留边带调幅(VSB),主要用于电视广播和传真等。

非线性调制有频率调制(FM),主要用于微波中继、卫星通信、广播;相位调制(PM),主要

用于中间调制方式。

数字调制有幅度键控(粤运) ,用于数据传输 ,频率键控(云运) ,主要用于数据传输 ,相位键控(孕运 阅孕运 匹孕运等) ,主要用于数据传输、数字微波通信、空间通信 ;其他高效数字调制(匹粤运 配孕运) ,主要用于数字微波通信、空间通信。

脉冲调制可分为脉冲模拟调制和脉冲数字调制。

脉冲模拟调制有脉冲幅度调制(孕粤运) ,主要用于中间调制方式和遥测系统中 ;脉宽调制(孕粤运或孕孕运) ,用于中间调制方式 ;脉位调制(孕粤运) ,用于遥测、光纤传输等。

脉冲数字调制有脉冲编码调制(孕粤运) ,主要用于市话通信、卫星通信、空间通信等 ;增量调制(阅粤运 悦孕运 阅孕运) ,用于军用和民用电话 ;差分脉码调制(阅孕运) ,主要用于电视电话、图像编码 ;其他语音编码方式 粤粤孕粤运 粤粤悦 蕴悦等 ,主要用于低速、中速数字电话。

在实际的使用当中并非只是某种单一的方式 ,往往采用复合调制方式 ,用不同的调制方式进行多级调制。

### 源郧根据复用方式分类

在同一信道上传送多路信号时要采用复用的方式。复用的方式一般有四种 ,即频分复用(云粤运)、时分复用(裁粤运)、码分复用(悦粤运)和空分复用(杂粤运)。前三种应用比较广泛 ,在后面的章节中将作详细的介绍。

模拟通信中都采用频分复用的方式 ,数字通信大多采用时分复用通信系统 ,码分复用主要用在扩频通信系统中。

### 缘郧根据传输媒介分类

通信系统按照传输媒介的不同可分为有线和无线两类 ,其中有线包括光纤传输。在各个频段上都可以使用有线传输和无线传输。

有线传输一般有线对、同轴电缆、波导和光纤等媒介。无线传输有长波、中波、短波、米波、分米波、厘米波、毫米波和激光空间传播等。

表 员缘列出了通信使用的频段、常用的传输媒质及主要用途。

表 员缘 通摇信摇波摇段摇与摇传摇输摇媒摇质

频率范围	波摇长	符摇号	传 输 媒 质	用 途
猿匀扎-猿园噪扎	员粤~员粤皂	甚低频 灾云	摇有线线对、长波无线电	摇音频、电话、数据终端长距离导航、时标
猿园噪扎-猿园噪扎	员粤~员粤皂	低频 蕴云	摇有线线对、长波无线电	摇导航、信标、电力线通信
猿园噪扎-猿园匀扎	员粤~员粤皂	中频 配云	摇同轴电缆、短波无线电	摇调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
猿园匀扎-猿园匀扎	员粤~员粤皂	高频 匀云	摇同轴电缆、短波无线电	摇移动无线电话、短波广播定点军用通信、业余无线电
猿园匀扎-猿园匀扎	员粤-员皂	甚高频 灾云	摇同轴电缆、米波无线电	摇电视、调频广播、空中管制、车辆、通信、导航
猿园匀扎-猿园匀扎	员粤-员粤	特高频 裁云	摇波导、分米波无线电	摇电视、空间遥测、雷达导航、点对点通信、移动通信
猿园匀扎-猿园匀扎	员粤-员粤	超高频 杂云	摇波导、厘米波无线电	摇微波接力、卫星和空间通信、雷达
猿园匀扎-猿园匀扎	员粤-员粤	极高频 耘云	摇波导、毫米波无线电	摇雷达、微波接力、射电天文学
员粤~员粤扎	猿粤~猿粤	摇紫外、可见光、红外	摇光纤、激光空间传播	摇光通信