



普通高等教育“十三五”规划教材

高等学校电子信息类教材

通信原理

(第2版)

Principles of Communications
Second Edition

◎ 王 琪 等编著 ◎ 吴乐南 主审



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十三五”规划教材

高等



通信原理

(第2版)

Principles of Communications Second Edition

王琪 李小平 洪梅
杨小伟 杨洁 童
吴乐南 主审



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书讲述通信系统的基本概念、工作原理、性能指标和分析方法等。各章突出物理概念, 精简数学过程, 理论联系实际, 反映新的技术成果, 分析问题力求深入浅出。主要内容包括: 通信基础知识、随机过程与噪声、信道与信道容量、模拟信号的调制与解调、模拟信号的数字化、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、现代数字调制与解调、差错控制编码、同步原理、数字通信系统的 MATLAB 仿真等。

本书可作为通信工程、信息工程、电子信息工程、微电子科学与工程、计算机科学与技术等专业以及信息类其他相近专业的本科生教材, 也可供相关领域的工程技术人员学习参考。

本书的电子教学课件(PPT 文档)可从华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)注册后免费下载, 或者通过与本书责任编辑(zhangls@phei.com.cn)联系获取。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理 / 王琪等编著. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2017. 7

高等学校电子信息类教材

ISBN 978-7-121-31984-6

I. ①通… II. ①王… III. ①通信理论—高等学校—教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 139783 号

责任编辑: 张来盛 (zhangls@phei.com.cn)

印 刷: 三河市兴达印务有限公司

装 订: 三河市兴达印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 22.5 字数: 576 千字

版 次: 2011 年 9 月第 1 版

2017 年 7 月第 2 版

印 次: 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254467。

前 言

“通信原理”是通信工程、信息工程、电子信息工程、微电子科学与工程、计算机科学与技术等专业的一门重要的专业基础课。本书作为一本应用型本科的通信原理教材，其宗旨是帮助读者掌握通信的基本概念、基本理论、基本方法和基本应用，理解通信系统的组成和设计方法。

本书注重凝练课程内容、精简数学过程、突出实践环节、加强工程应用、体现技术发展，突出应用型人才培养目标，避免出现理论性太强、数学要求过高、教学内容偏多、覆盖面太宽等。应广大读者的建议和要求，我们在第1版基础上对各章内容进行了修订和调整，尤其是对第11章内容进行了全面更新，以突出数字通信系统的仿真应用。

全书共分为11章。其中，第1章是通信基础知识，介绍通信系统的基本组成、性能指标、信息的量度等；第2章是随机过程与噪声，介绍随机信号的统计描述；第3章是信道与信道容量，包括信道的划分、信道中的噪声和信道容量；第4章是模拟信号的调制与解调，包括线性调制与非线性调制的原理和抗噪声性能分析；第5章是模拟信号的数字化，包括抽样、量化、编码过程以及时分复用与复接等概念；第6章是数字信号的基带传输，包括数字基带信号的描述、理想传输特性、抗噪声性能分析、眼图、消除码间串扰技术以及最佳基带传输系统等；第7章是数字信号的频带传输，包括二进制和多进制的振幅键控、频移键控、相移键控、差分相移键控的基本原理和抗噪声性能分析；第8章是现代数字调制与解调，包括正交幅度调制、交错正交相移键控、最小频移键控、高斯最小频移键控和正交频分复用；第9章是差错控制编码，包括差错控制编码基础、线性分组码、循环码、卷积码和Turbo码；第10章是同步原理，包括载波同步、位同步、群同步和网同步；第11章是数字通信系统的MATLAB仿真，介绍一些数字通信系统的建模和仿真方法，以加强对通信原理的理解。书末附有各章习题（部分）参考答案、通信常用名词中英对照以及MATLAB常用命令与函数，以方便读者学习查找。

本书的建议学时数为64学时，其中有关MATLAB程序设计和仿真的内容可引导学生自学，也可作为实验教学的部分内容。本书的电子教学课件（PPT文档）可从华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）注册后免费下载，或者通过与本书责任编辑（zhangls@phei.com.cn）联系获取。此外，为帮助读者熟悉各种题型，掌握解题技巧，我们同时编写和出版了本书的配套教材《通信原理学习指导》（杨洁主编）。

本书由王琪、李小平、洪梅、杨小伟、杨洁和童莹编著，具体分工如下：第1章和第8章由王琪编写，第2章和第3章由李小平编写，第4章和第5章由洪梅编写，第6章和第11章由杨洁编写，第7章和第9章由童莹编写，第10章由杨小伟编写。全书由王琪统稿。

本书由东南大学信息科学与工程学院教授吴乐南主审，吴教授仔细审阅了全书，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。本书在编写中引用了一些国内外文献，这些文献已在书后列出，在此对相关作者表示诚挚的谢意。

本书的编写得到“江苏高校品牌专业建设工程资助项目（PPZY2015A033）”资助。

由于编著者水平有限，书中难免存在错误和不当之处，恳请广大读者批评指正。

编著者

2017年3月

目 录

第1章 通信基础知识	1
1.1 通信的概念	1
1.2 通信系统的组成	1
1.2.1 通信系统一般模型	1
1.2.2 模拟通信系统	2
1.2.3 数字通信系统	3
1.3 通信系统的分类	4
1.4 通信技术发展概况	7
1.5 信息的量度	9
1.5.1 信息量的定义	9
1.5.2 平均信息量	11
1.6 通信系统的性能指标	12
1.6.1 模拟通信系统有效性与可靠性	12
1.6.2 数字通信系统有效性与可靠性	12
1.7 MATLAB 与通信仿真	13
1.7.1 MATLAB 简介	13
1.7.2 通信仿真技术	14
1.8 本章小结	14
思考题	15
习题	15
第2章 随机过程与噪声	17
2.1 随机过程描述	17
2.1.1 随机过程概念	17
2.1.2 随机过程的统计特性	18
2.1.3 随机过程的数字特征	18
2.2 平稳随机过程	19
2.2.1 严平稳过程与广义平稳过程	20
2.2.2 平稳过程的各态历经性	20
2.2.3 平稳过程自相关函数与功率谱密度	21
2.3 平稳随机过程通过线性时不变系统	24
2.4 高斯过程	25
2.4.1 高斯过程的定义	26
2.4.2 高斯过程的主要特性	26
2.4.3 高斯过程的一维分布	26

2.4.4 高斯白噪声	28
2.5 窄带高斯噪声	30
2.5.1 窄带高斯噪声的统计特性	31
2.5.2 正弦波加窄带高斯噪声	32
2.6 MATLAB 仿真举例	34
2.7 本章小结	35
思考题	36
习题	37
第3章 信道与信道容量	38
3.1 有线信道与无线信道	38
3.1.1 有线信道	38
3.1.2 无线信道	39
3.2 调制信道与编码信道	42
3.2.1 调制信道	42
3.2.2 编码信道	43
3.3 恒参信道与随参信道	45
3.3.1 恒参信道	45
3.3.2 随参信道	46
3.4 信道中的噪声	50
3.4.1 噪声源分类	50
3.4.2 噪声等效带宽	52
3.5 信道容量	53
3.5.1 离散信道容量	53
3.5.2 连续信道容量	55
3.6 MATLAB 仿真举例	58
3.7 本章小结	59
思考题	60
习题	60
第4章 模拟信号的调制与解调	61
4.1 幅度调制与解调	62
4.1.1 幅度调制原理	62
4.1.2 幅度调制的解调原理	68
4.1.3 幅度调制抗噪声性能分析	69
4.2 角度调制与解调	74
4.2.1 角度调制原理	74
4.2.2 调频信号的频谱分析	76
4.2.3 调频信号的产生与解调原理	79
4.2.4 调频系统的抗噪声性能分析	81

4.3	频分复用	85
4.4	模拟通信的典型应用	86
4.4.1	载波电话	86
4.4.2	调频立体声广播	86
4.5	MATLAB 仿真举例	87
4.5.1	双边带调制与解调仿真	87
4.5.2	FM 调制与解调的仿真	89
4.6	本章小结	91
	思考题	91
	习题	92
第5章	模拟信号的数字化	94
5.1	抽样	94
5.1.1	低通信号抽样定理	94
5.1.2	带通信号抽样定理	96
5.1.3	抽样保持电路	96
5.2	量化	98
5.2.1	均匀量化	98
5.2.2	非均匀量化	99
5.3	编码	102
5.3.1	常用的二进制码型	102
5.3.2	逐次比较法编码与译码	103
5.3.3	PCM 系统的抗噪声性能	105
5.4	语音压缩编码	107
5.4.1	差分脉冲编码调制 (DPCM)	107
5.4.2	增量调制	108
5.5	时分复用与复接	110
5.5.1	时分复用基本原理	110
5.5.2	数字复接基本原理	112
5.6	MATLAB 仿真举例	113
5.7	本章小结	116
	思考题	116
	习题	117
第6章	数字信号的基带传输	119
6.1	数字基带传输系统的基本组成	119
6.2	数字基带信号的描述	120
6.2.1	数字基带信号的波形	121
6.2.2	数字基带信号的功率谱	122
6.2.3	数字基带信号的传输码	128

6.3	数字基带信号的传输特性	131
6.3.1	码间串扰	131
6.3.2	奈奎斯特第一准则	133
6.3.3	无码间串扰的传输函数特性	136
6.4	基带传输系统抗噪性能分析	138
6.4.1	二进制双极性系统	139
6.4.2	二进制单极性系统	140
6.5	眼图	141
6.6	信道均衡	142
6.6.1	均衡技术	142
6.6.2	时域均衡原理	143
6.6.3	均衡准则与实现	145
6.7	部分响应系统	149
6.8	最佳基带传输系统	152
6.8.1	匹配滤波器	152
6.8.2	基于匹配滤波器的最佳基带传输系统	158
6.9	MATLAB 仿真举例	161
6.9.1	二进制数字基带信号波形与功率谱密度仿真	161
6.9.2	二进制数字基带信号传输码与眼图仿真	164
6.10	本章小结	169
	思考题	170
	习题	171
第7章	数字信号的频带传输	175
7.1	二进制振幅键控	175
7.1.1	2ASK 调制与解调基本原理	175
7.1.2	2ASK 信号的功率谱密度	178
7.1.3	2ASK 系统的抗噪声性能	179
7.2	二进制频移键控	184
7.2.1	2FSK 调制与解调基本原理	184
7.2.2	2FSK 信号的功率谱密度	189
7.2.3	2FSK 系统的抗噪声性能	190
7.3	二进制相移键控	194
7.3.1	2PSK 调制与解调基本原理	195
7.3.2	2PSK 信号的功率谱密度	197
7.3.3	2PSK 系统的抗噪声性能	198
7.4	二进制差分相移键控	199
7.4.1	2DPSK 调制与解调基本原理	200
7.4.2	2DPSK 信号的功率谱密度	205
7.4.3	2DPSK 系统的抗噪声性能	206

7.5 二进制数字调制系统的性能比较	208
7.6 多进制数字调制	209
7.6.1 多进制振幅键控	210
7.6.2 多进制频移键控	210
7.6.3 多进制相移键控	211
7.6.4 多进制差分相移键控	214
7.7 MATLAB 仿真举例	215
7.8 本章小结	220
思考题	221
习题	221
第8章 现代数字调制与解调	223
8.1 正交幅度调制	223
8.1.1 MQAM 原理	223
8.1.2 MQAM 的调制与解调	225
8.1.3 MQAM 的频带利用率与抗噪声性能	226
8.2 交错正交相移键控	227
8.2.1 OQPSK 原理	227
8.2.2 OQPSK 调制与解调	229
8.3 最小频移键控	229
8.3.1 MSK 信号的主要特点	230
8.3.2 MSK 信号的调制与解调	232
8.3.3 MSK 信号的功率谱与误码率	234
8.4 高斯最小频移键控	235
8.5 正交频分复用	236
8.5.1 OFDM 原理	236
8.5.2 OFDM 的频带利用率	237
8.5.3 OFDM 的调制与解调	238
8.5.4 OFDM 的主要优缺点	239
8.6 MATLAB 仿真举例	240
8.7 本章小结	243
思考题	243
习题	244
第9章 差错控制编码	245
9.1 差错控制技术简介	245
9.2 差错控制编码基础	246
9.2.1 差错控制编码的分类	246
9.2.2 差错控制编码的基本原理	246
9.2.3 几种简单差错控制编码方法	248

9.3 线性分组码	250
9.3.1 线性分组码基本原理	250
9.3.2 汉明码	254
9.4 循环码	254
9.4.1 循环码基本原理	254
9.4.2 BCH 码和 RS 码	259
9.5 卷积码	261
9.5.1 卷积码的编码原理	261
9.5.2 卷积码的译码原理	265
9.6 Turbo 码	269
9.7 MATLAB 仿真举例	271
9.8 本章小结	276
思考题	276
习题	276
第10章 同步原理	278
10.1 载波同步	278
10.1.1 插入导频法	278
10.1.2 直接提取法	281
10.1.3 载波同步系统的性能及载波相位差的影响	286
10.2 位同步	288
10.2.1 外同步法	289
10.2.2 自同步法	290
10.2.3 位同步的性能指标及误差对性能的影响	295
10.3 帧同步	298
10.3.1 对帧同步系统的要求	298
10.3.2 实现帧同步的方法	298
10.3.3 帧同步的保护	302
10.3.4 帧同步系统的性能	303
10.4 网同步	304
10.4.1 网同步的基本概念	304
10.4.2 网同步方法	305
10.5 本章小结	307
思考题	308
习题	308
第11章 数字通信系统的 MATLAB 仿真	309
11.1 PCM 编码和译码仿真	309
11.1.1 PCM 编码仿真	309
11.1.2 PCM 译码仿真	310

11.2 密勒码编码和译码仿真	311
11.2.1 密勒码编码仿真	312
11.2.2 密勒码译码仿真	313
11.3 数字基带传输系统仿真	314
11.3.1 信源的建模与仿真	314
11.3.2 发送滤波器、信道、接收匹配滤波器的建模	316
11.3.3 抽样判决器的建模	316
11.3.4 基带传输系统仿真	317
11.4 正交幅度调制仿真	317
11.4.1 MQAM 的调制原理与仿真	318
11.4.2 MQAM 的解调原理与仿真	322
11.4.3 MQAM 的调制与解调仿真	326
11.5 本章小结	327
思考题	327
附录 A 常用通信名词中英对照	328
附录 B MATLAB 常用命令与函数	331
附录 C 部分习题参考答案	335
主要参考文献	345

第1章 通信基础知识

1.1 通信的概念

通信在形式上就是发消息 (message), 但本质上则是传信息 (information), 即要求通信的双方能将信息从某一方准确而安全地传送到另一方。通信应用的例子很多, 古代有烽火传军情、鸿雁传书、击鼓进军、鸣金收兵等, 近代有海军旗语、信号灯等, 而现代有电话、电视、移动通信、网络等。这里消息中包含信息, 是信息的载体, 通过收到消息从而获得信息; 而信息则是消息的不确定性, 因为对于通信双方都确定 (或已知) 的消息, 就没必要传递了。

虽然消息中可能承载有信息, 却与能量无关, 实际上可在通信系统中传输。能被人们生理器官所感知的消息, 只是消息的某种物理体现, 称之为信号 (signal)。作为消息的载体, 信号可以是模拟的, 也可以是数字的, 例如文字、数据、语言、图片、视频等多种形式。举例来讲, 烽火台上突然升起狼烟, 就是以光信号的形式向外发出消息, 这消息具有不确定性, 因而传递了信息; 但如果烽火台上一直烟火不断、习以为常, 那就是确定消息, 没有传递信息。由此可见: 信号 (可见光) 是消息 (发烟火) 的载体, 而消息又是信息 (可能有紧急军情) 的载体。

同一则信息也可以由不同形式的消息和信号来载荷。仍如上例信息, 也可通过喊叫以声音信号的形式发出消息。当然, 声音信号没有光信号传得快和远, 但可以通过沿途的军民击鼓传花帮着喊, 仍然可以把信息传到远方。这也正是接力通信甚至网络通信的基本概念。

从通信的观点, 能够承载消息的各种信号形式必须具有两个条件: 一是能够被通信双方所理解, 二是可以传递。由于电信号和光信号可以光速来传递信息, 准确可靠, 且很少受到时间、地点、空间距离等方面的限制, 因而发展迅速, 应用广泛。其所要研究的内容就是如何把信息大量、快速、准确、广泛、方便、经济和安全地从发送端通过传输介质传送到接收端。

通信原理是介绍支撑各种通信技术基本概念和数学理论基础的课程, 主要内容包括常用的电信号及噪声分析方法, 信道特性, 不同通信系统的组成、工作原理和性能等, 其侧重点是信息的传输。

1.2 通信系统的组成

通信系统用以完成信息的传输过程, 包含完成通信过程的全部设备和传输媒质。当通信系统是利用电磁波在自由空间传输时, 称之为无线通信系统; 而利用导引媒质中的传输机理来实现传输时, 称之为有线通信系统; 当电磁波的频率达到光波范围时的通信系统又称为光通信系统。

1.2.1 通信系统一般模型

通信系统可用图 1-1 所示的一般模型来描述, 该模型概括地说明了通信系统的共性特点, 图中各部分模块的功能如下:

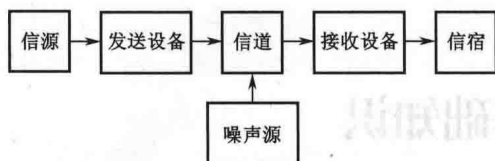


图 1-1 通信系统模型

(1) 信源：是指信息的源，通常就是承载了信息的信息。消息有多种形式，包括文字、数据、图像和视频等。信源又可以分为模拟信源和数字信源。模拟信源的输出幅度是连续变化的模拟信号，但在时间上，则既可以是连续的（如电话机将声音转换成音频信号、摄像机将图像转换成视

频信号等），也可以是离散的（如脉冲雷达信号、莫尔斯电报信号等）；如果时间离散信源（如语音采样值）或空间离散信源（如图像采样值）在幅度上也是离散的，即为数字信源或数据（data），如计算机磁盘文件、手机所拍摄的照片或视频。

(2) 发送设备：由于表征消息的数据或信号在大多情况下不适合在信道中直接传输，因此需要通过调制过程，将信源变换成适合于在信道中传输的电信号。发送设备完成信号的调制并将信号送入信道传输。

(3) 信道：信道是传输信号的物理通道，即信号的传输媒质。信道可分为有线信道和无线信道两类，有线信道包括对称电缆、同轴电缆和光缆等，电磁波在介质中传输；无线信道包括地波传播、短波电离层反射、微波视距中继、人造卫星中继以及各种散射信道等，无线信道是发送端和接收端之间通路的一种形象比喻，实际上没有一个有形的连接，传播路径也可能有多条。

(4) 噪声：信道对有用信号提供了通路，也对噪声信号提供了通路。噪声一般是人们所不需要的，但又是不可避免客观存在的干扰。噪声的来源很多，可分为内部噪声和外部噪声。内部噪声包括设备内部电路引起的噪声，半导体材料本身形成的噪声，电器机械运动产生的噪声等；外部噪声包括雷电、电气设备等引起的噪声等。噪声干扰会使信号传输失真，严重的会使通信无法正常进行。

(5) 接收设备：接收设备完成发送设备的反过程，即进行解调、译码、解码等。由于进入接收设备的调制信号中包含有噪声，因此接收设备需要从带有干扰的信号中正确地恢复出原始的电信号。

(6) 信宿：信宿是传输信息的归宿，其作用是将复原的信息转换成相应的消息。电话接收机是将有线信道传来的电信号转换为声音，因此它是电话传输的信宿。

1.2.2 模拟通信系统

对于连续信源，如语音，其声波振动的幅度是随时间连续变化的，若将它转换为随时间连续变化的电信号，则信号幅度是时间的连续函数，这样的信号称为模拟信号。因此，模拟信号是指参量取值连续变化的电信号。

模拟通信系统就是利用模拟信号来传递信息的通信系统，其模型如图 1-2 所示。

在图 1-2 中，信源将连续的非电信号转换成模拟基带电信号；信宿则完成相反的过程，将模拟基带电信号还原为输入端的连续非电信号。所谓基带信号，其特点是信号中可能含有直流分量或低频成分，即其频谱从零附近开始。调制器的作用是将基带电信号变换成适合于在信道中传输的频带信号，而解调器的作用相反，是将信道中传输的频带信号还原成基带电信号。

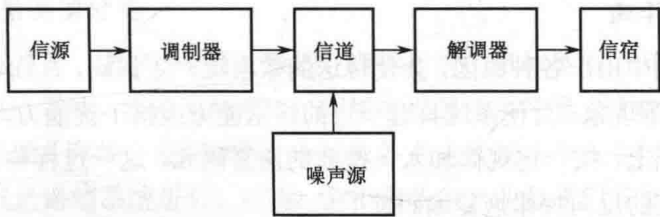


图 1-2 模拟通信系统模型

模拟通信的优点是：信号在信道中传输所占用的频谱比较窄，因此可通过多路频分复用使信道的利用率得到提高。

模拟通信的缺点是：所传输的信号是连续的，不容易消除叠加在其上的噪声，抗干扰能力较差；不容易实现保密通信；设备不容易大规模集成；不能适应快速发展的计算机通信的要求。

模拟通信在历史上占有主导地位，但近年来随着超大规模集成电路工艺的成熟，以及计算机和数字信号处理技术的发展，大多数的模拟通信系统已被数字通信系统所取代。

常用的模拟通信系统包括中波、短波无线电广播，模拟电视广播，调频立体声广播等。

1.2.3 数字通信系统

1. 数字通信系统模型

数字通信系统是利用数字信号传递消息的通信系统，其模型如图 1-3 所示。

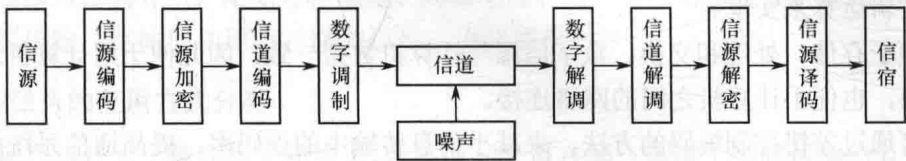


图 1-3 数字通信系统模型

数字通信系统比模拟通信系统的组成要复杂一些，其中包括了信源编码、信源（或数据）加密、信道编码、数字调制、信道解调、信源解密、信源译码等一些区别于模拟通信系统的问题。

1) 信源编码与译码

信源编码的作用包含两个方面：一是将模拟消息数字化，即模/数（A/D）转换；二是进行数据压缩，即通过减少数字消息中的冗余，从而降低信源传输的码元速率和带宽，提高传输和处理效率。信源译码是信源编码的逆过程。

2) 信源加密与解密

加密技术是以某种特殊的算法改变原有的信息数据，使得未授权用户即使获得了信息，也无法获知信息的内容。解密技术则是将接收到的加密信源再用相同方法或不同方法进行还原的过程。数字信源易于实现加密和解密。

3) 信道编码与译码

数字信号在传输中由于各种原因,会使传送的数据流产生误码,从而在接收端产生图像跳跃、不连续、马赛克等现象。为使系统具有一定的纠错能力或抗干扰能力,提高通信的可靠性,可在信源编码的基础上,按一定规律加入一些新的监督码元,这一过程称为信道编码。信道译码则是按编码相对应的反向规律恢复编码前的信号。

4) 数字调制与解调

与模拟基带信号类似,数字基带信号在很多情况下也不适于在信道中直接传输,需要进行转换,将信号的频谱搬移到高频处,从而形成适于在信道传输的调制信号。数字调制是以数字信号作为控制信号来改变载波参数的技术;数字解调与数字调制正好相反,是将已调数字信号还原为数字基带信号。

2. 数字通信的主要特点

数字通信的主要优点表现在:

(1) 抗干扰能力强,无噪声积累。这是数字通信最突出的优点。由于信号在传输过程中不可避免地会叠加噪声,这些噪声会随着传输距离的增加而积累,从而使传输质量下降。对于数字信号,由于信号的波形为有限个离散值,比如对二进制信号只有两个取值,在传输过程中受到噪声干扰并恶化到一定程度时,可通过判决再生的方法,恢复出原有数字信号的状态,从而达到噪声不积累的效果。

(2) 便于加密处理。数字信号的加密处理比模拟信号要容易得多,一些加密过程甚至可通过简单的逻辑运算来实现。

(3) 便于存储、处理和交换。数字信源与计算机数据一致,因此便于用计算机进行存储、处理和交换,也便于计算机之间的网络连接。

(4) 可通过差错控制编码的方法,来减小信息传输中的误码率,提高通信系统的可靠性。

数字通信的主要缺点表现在:

(1) 需要较大的传输带宽。一路模拟电话的带宽大约是 4 kHz,而一路数字电话的带宽大约为 20~60 kHz。

(2) 需要严格的同步系统。同步是数字通信系统有序、准确、可靠工作的前提,为了实现信号的同步,需要相对复杂的设备支持。

需要指出的是,随着通信技术朝着小型化、智能化、高速和大容量的方向迅速发展,数字通信的缺点将会逐步淡化,最终会完全取代模拟通信。

1.3 通信系统的分类

通信系统有多种不同的分类方法,主要有以下几种情况。

1. 按照传输信号的特征分类

当信道中传输的是模拟信源时所对应的通信系统称之为模拟通信系统;当信道中传输的是数字信源所对应的通信系统称之为数字通信系统。

2. 按照通信业务类型分类

通信业务有包括符号、文字、语言、数据、视频在内的多种类型,因此通信系统可分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统、广播电视通信系统等。这些通信系统可以是专用的,但通常是兼容的或并存的。长期以来,电话业务在电信领域中占主导地位,因而其他通信常常借助于公共的电话通信系统进行。然而,近年来非电话业务通信发展迅速,包括计算机通信、电子邮件、可视图文、会议视频等数据通信正在成为通信的主流。

3. 按调制方式分类

根据是否将信源信号进行调制,可将通信系统分为基带传输系统和频带传输系统。基带传输是将未经调制的信号直接在信道中传送,这既可以是模拟基带信号也可以是数字基带信号;频带传输则是对各种基带信号进行调制后再进行传输。

按载波是连续波还是数字脉冲,调制方式可以分为连续波调制和脉冲调制。连续波调制用正弦波或余弦波作为载波,而脉冲调制用数字脉冲作为载波。

连续波调制又可分为模拟调制与数字调制。如果将模拟基带信号对载波波形的某些参量,如幅度、频率、相位进行控制,使载波的这些参量随基带信号的变化而变化,则是模拟调制。如果将数字信号寄生在载波的幅度、频率、相位上,即用数据信号来进行幅度、频率和相位调制,则是数字调制。

4. 按传输介质分类

按传输介质的不同,可将通信系统分为有线通信系统和无线通信系统。有线通信系统需要以传输缆线作为传输介质,比如对称电缆、同轴电缆、光纤等。无线通信系统则是无线电波在自由空间的传输,比如移动通信、微波通信、卫星通信等。

5. 按信号的复用方式分类

复用是指将若干个彼此独立的信号,合并成一个可在同一信道上同时传输的复合信号的方法,目的是为了更好地共享信道资源。按信号的复用方式可分为频分复用(FDM)、时分复用(TDM)、码分复用(CDM)和波分复用(WDM)等。

频分复用将传输信道的总带宽划分成若干个子信道,每个子信道传输1路信号,为了保证各子信道中所传输的信号互不干扰,在各子信道之间设立隔离带,以保证各路信号互不干扰;时分复用是用脉冲调制的方法使不同的信号占据不同的时间区间,即利用不同时段来传输不同的信号;码分复用是利用互相正交的码型来区分各路原始信号,各路信号可在通信时间内使用同样的频带,每路信号分配一个地址码,互不重叠;波分复用与频分复用相类似,是将两种或多种不同波长的光载波信号在发送端经复用器汇合在一起,并耦合到光线路的同一根光纤中进行传输的技术。

6. 按工作频段分类

由于不同电磁波频率具有不同的传输特点和业务容纳能力,为了更好地管理和利用无线电频谱资源,同时体现技术及应用发展的历程和现状,需要对频率范围进行合理的分类。表1-1列出了频率在3 000 GHz以下的主要无线电频谱划分与典型应用,3 000 GHz以上的电磁波已属于光通信系统的范畴。

表 1-1 无线电频谱划分与典型应用

频带名称	频率范围	波段名称	波长范围	典型应用
超低频 (SLF)	30~300 Hz	超长波	10~1 Mm	对潜通信、输电
特低频 (ULF)	0.3~3 kHz	特长波	1000~100 km	对潜通信
甚低频 (VLF)	3~30 kHz	甚长波	100~10 km	远程通信、水下通信、声呐
低频 (LF)	30~300 kHz	长波	10~1 km	导航、水下通信、无线电信标
中频 (MF)	300~3 000 kHz	中波	1 000~100 m	广播、海事通信、测向、遇险求救
高频 (HF)	3~30 MHz	短波	100~10 m	广播、电报、军用通信、业余无线电、超视距雷达
甚高频 (VHF)	30~300 MHz	米波	10~1 m	电视、调频广播、空中管制、导航、车辆通信
特高频 (UHF)	300~3 000 MHz	分米波	10~1 dm	微波接力、卫星通信、电视、雷达
超高频 (SHF)	3~30 GHz	厘米波	10~1 cm	微波接力、卫星通信、雷达、移动通信
极高频 (EHF)	30~300 GHz	毫米波	10~1 mm	雷达、卫星通信、铁路业务、射电天文学
至高频 (THF)	300~3 000 GHz	丝米波或亚毫米波	1~0.1 mm	射电天文学，波谱学

7. 按照通信方式分类

通信方式是指通信双方之间的工作方式或信号传输方式。

对于点对点之间的通信，按消息传送的方向与时间关系，通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种，如图 1-4 所示。



图 1-4 按通信方式分类

(1) 单工通信，是指消息只能单方向传输的工作方式，例如遥控、遥测、广播。单工通信信道是单向信道，发送端和接收端的身份是固定的，发送端只能发送信息，不能接收信息；接收端只能接收信息，不能发送信息，数据信号仅从一端传送到另一端，即信息流是单方向的。

(2) 半双工通信，是指可以实现双向的通信，但不能在两个方向上同时进行，必须轮流交替地进行。也就是说，通信信道的每一端都可以是发送端，也可以是接收端，但同一时刻，信息只能有一个传输方向。典型的半双工通信有无线对讲机等。

(3) 全双工通信，是指通信的双方可以同时发送和接收数据，即在通信的任意时刻，线路上存在双向信号传输。全双工通信要求通信系统的每一端都设置有发送器和接收器，因此，能