



高等院校核心课程辅导丛书

通信原理

答疑解惑与典型题解

TONGXINYUANLI

DAYIJIEHUO YU DIANXINGTIJIE

吴婷 刘锁兰 史国川 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

通信原理答疑解惑与典型题解

吴婷 刘锁兰 史国川 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书深入浅出、系统全面地介绍了最新的各大高校通信原理练习题与考研题。全书共分 12 章,内容包括绪论、确定信号分析理论、随机过程分析理论、信道与噪声、模拟幅度调制、非线性调制、模拟信号的数字传输、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、同步原理、差错控制和信道编码、课程测试及考研真题。

本书以常见疑惑解答-实践解题编程-考研真题讲解为主线组织编写,每一章的题型归纳都进行了详细分析评注,以便于帮助读者掌握本章的重点及迅速回忆本章的内容。本书结构清晰、易教易学、实例丰富、学以致用、注重能力,对易混淆和历年考题中较为关注的内容进行了重点提示和讲解。

本书既可以作为复习考研的练习册,也可以作为通信原理学习的参考书,更可以用于各类培训班的培训教程。此外,本书也非常适于教师的通信原理教学以及自学人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理答疑解惑与典型题解 / 吴婷, 刘锁兰, 史国川编著. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2014. 8
ISBN 978-7-5635-4008-2

I. ①通… II. ①吴… ②刘… ③史… III. ①通信原理—高等学校—题解 IV. ①TN911-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 124900 号

书 名: 通信原理答疑解惑与典型题解

著作责任者: 吴 婷 刘锁兰 史国川 编著

责任编辑: 满志文

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: 北京鑫丰华彩印有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 17

字 数: 425 千字

版 次: 2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-4008-2

定 价: 38.00 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

为适应高等院校人才的考研需求,本书本着厚基础、重能力、求创新的总体思想,着眼于国家发展和培养造就综合能力人才的需要,着力提高大学生的学习能力、实践能力和创新能力。

1. 关于通信原理

“通信原理”是通信、电子、信息领域中最重要专业基础课之一,是电子信息系各专业必修的专业基础课。通信技术的发展,特别是近 30 年来形成了通信原理的主要理论体系,即信息论基础、编码理论、调制与解调理论、同步和信道复用等。本课程教学的重点是介绍通信系统中各种通信信号的产生、传输和解调的基本理论和方法,使学生掌握和熟悉通信系统的基本理论和分析方法,为后续课程打下良好的基础。

2. 本书阅读指南

本书针对通信原理知识点的常见的问题进行了讲解,同时分析了近几年的考研题目,并给出了翔实的参考答案,读者可以充分的了解各个学校考研题目的难度,查缺补漏,有针对性地提高自己的水平。本书共分 12 章。

第 1 章是“绪论”,主要讲解通信的相关概念。

第 2 章是“确定信号分析理论”,主要讲解周期信号的傅里叶级数、傅里叶变换,确定信号的相关函数、线性变换、希尔伯特变换等。

第 3 章是“随机过程分析理论”,主要讲解高斯随机过程、平稳随机过程、窄带随机过程、余弦波加窄带平稳高斯随机过程、匹配滤波器等。

第 4 章是“信道与噪声”,主要讲解通信信道的概念、模型噪声的相关概念,以及信道容量的计算等。

第 5 章是“模拟幅度调制”,主要讲解模拟幅度调制的基本概念、调制原理和解调原理、标准幅度调制、双边带幅度调制、单边带幅度调制、残留边带幅度调制等。

第 6 章是“非线性调制”,主要讲解非线性调制的概念,调频、调相的方法,各种模拟调制方式的性能比较,预加重与去加重的实现,以及频分复用技术等。

第 7 章是“模拟信号的数字传输”,主要讲解抽样定理、脉冲调制、模拟信号的量化、脉冲编码调制、增量调制、差分脉冲编码调制、时分复用技术等。

第 8 章是“数字信号的基带传输”,主要讲解数字基带信号、常用线路传输码、噪声性能分析、基于低通滤波器的接收的误码率分析、奈奎斯特准则等。

第 9 章是“数字信号的频带传输”,主要讲解数字信号的概念,数字信号的调制、解调及误码率分析,幅移键控、频移键控、相移键控、差分相移键控等。

第 10 章是“同步原理”,主要讲解同步的基本概念,载波同步、位同步、帧同步、网同步的概念及意义。

第 11 章是“差错控制和信道编码”,主要讲解差错控制、信道编码的概念,奇偶校验码、



线性分组码、汉明码、循环码、卷积码等编码方式。

第12章是“课程测试及考研真题”，提供了两套模拟题，为读者提供一个自我分析解决问题的过程。

3. 本书特色与优点

(1) 结构清晰，知识完整。内容翔实、系统性强，依据高校教学大纲组织内容，同时覆盖最新版本的所有知识点，并将实际经验融入基本理论之中。

(2) 内容翔实，解答完整。本书涵盖近几年各大高校的大量题目，示例众多，步骤明确，讲解细致，读者不但可以利用题海战术完善自己的弱项，更可以有针对性地了解某些重点院校的近年考研题目及解题思路。

(3) 学以致用，注重能力。一些例题后面有与其相联系的知识点详解，使读者在解答问题的同时，对基础理论得到更深刻的理解。

(4) 重点突出，实用性强。

4. 本书读者定位

本书既可以作为复习考研的练习册，也可以作为通信原理学习的参考书，更可以用于各类培训班的培训教程。此外，本书也非常适于教师的通信原理教学以及自学人员参考阅读。

本书由吴婷、刘锁兰、史国川等编著，全书框架结构由何光明、吴婷拟定。另外，感谢王珊珊、陈智、陈海燕、吴涛涛、李海、张凌云、陈芳、李勇智、许娟、史春联等同志的关心和帮助。

限于作者水平，书中难免存在不当之处，恳请广大读者批评指正。任何批评和建议请发至：bjbaba@263.net。

编者

目 录

第 1 章 绪论

1.1 答疑解惑	1
1.1.1 什么是通信、消息、信息、信号?	1
1.1.2 什么是模拟通信和数字通信?	1
1.1.3 通信系统的组成有哪些?	2
1.1.4 数字通信系统的特点有哪些?	3
1.1.5 通信系统的分类有哪些?	3
1.1.6 通信系统的性能指标有哪些?	4
1.1.7 什么是信息量?	5
1.1.8 信息源的信息度量有哪些?	5
1.1.9 什么是信息源的信息熵?	5
1.1.10 什么是联合熵、条件熵及互信息?	6
1.2 典型题解	7
题型 1 通信和通信系统	7
题型 2 信息论初步	10

第 2 章 确定信号分析理论

2.1 答疑解惑	14
2.1.1 什么是周期信号的傅里叶级数?	14
2.1.2 什么是傅里叶变换?	16
2.1.3 什么是单位冲击函数的傅里叶变换?	17
2.1.4 什么是功率信号的傅里叶变换?	18
2.1.5 什么是能量谱密度和功率谱密度?	19
2.1.6 什么是确定信号的相关函数?	20
2.1.7 什么是确定信号通过线性系统?	21
2.1.8 什么是希尔伯特变换?	23
2.1.9 什么是解析信号?	23
2.2 典型题解	24
题型 1 傅里叶级数和傅里叶变换	24
题型 2 确定信号分析	26

第 3 章 随机过程分析理论

3.1 答疑解惑	32
----------------	----



3.1.1	什么是随机过程?	32
3.1.2	什么是平稳随机过程?	33
3.1.3	什么是高斯随机过程(正态)?	35
3.1.4	什么是窄带随机过程?	36
3.1.5	什么是正弦波加窄带高斯过程?	37
3.1.6	$Y(t)$ 有哪些性质?	37
3.1.7	什么是平稳随机过程通过希尔伯特滤波器后的输出特性?	38
3.1.8	什么是匹配滤波器?	38
3.2	典型题解	38
题型 1	随机过程分析	38
题型 2	平稳随机过程通过线性系统	46
第 4 章 信道与噪声		
4.1	答疑解惑	53
4.1.1	什么是信道的定义以及分类有哪些?	53
4.1.2	什么是信道的数学模型分析?	55
4.1.3	什么是恒参信道的传输特性及其对信号传输的影响有哪些?	56
4.1.4	什么是随参信道的传输特性及其对信号传输的影响有哪些?	57
4.1.5	什么是噪声与干扰?	59
4.1.6	噪声的来源和分类有哪些?	59
4.1.7	通信系统中几种常见的噪声形式及其特征有哪些?	60
4.1.8	什么是等效噪声带宽?	61
4.1.9	什么是信道容量及香农公式?	61
4.2	典型题解	62
题型 1	信道	62
题型 2	通信系统中的噪声及信道容量	69
第 5 章 模拟幅度调制		
5.1	答疑解惑	75
5.1.1	什么是调制和解调?	75
5.1.2	什么是常规幅度调制(AM)?	76
5.1.3	什么是双边带幅度调制模型?	77
5.1.4	什么是双边带幅度调制的表达式?	78
5.1.5	什么是双边带幅度的调制和解调?	78
5.1.6	双边带幅度调制的特点有哪些?	78
5.1.7	什么是单边带幅度调制?	78
5.1.8	什么是单边带幅度调制表达式?	78
5.1.9	什么是单边带调制 SSB 的调制和解调?	79
5.1.10	什么是残留边带调幅(VSB)信号的调制?	79
5.1.11	什么是残留边带调幅(VSB)的相干解调?	79

5.1.12	什么是调幅接收机系统模型?	80
5.1.13	什么是相干解调的抗噪声性能?	80
5.2	典型题解	81
题型 1	标准幅度调制(AM)	81
题型 2	双边带幅度调制(DSB)	83
题型 3	单边带幅度调制(SSB)	85
题型 4	残留边带幅度调制(VSB)	90
题型 5	模拟线性幅度调制系统噪声性能分析	93

第 6 章 非线性调制

6.1	答疑解惑	100
6.1.1	什么是非线性调制?	100
6.1.2	什么是调相波?	100
6.1.3	什么是调频波?	100
6.1.4	什么是单音角度调制?	101
6.1.5	什么是直接调制与间接调制?	101
6.1.6	什么是窄带调频(NBFM)?	101
6.1.7	什么是窄带调相(NBPM)?	102
6.1.8	什么是单频宽带调频?	102
6.1.9	什么是单频宽带调相?	103
6.1.10	什么是卡森公式及推广?	103
6.1.11	调频信号的产生方法有哪些?	104
6.1.12	调频信号的解调有哪些?	105
6.1.13	什么是调频系统的噪声性能分析?	106
6.1.14	什么是各种模拟调制技术的抗噪性能比较?	107
6.1.15	各种模拟调制技术的特点有哪些?	108
6.1.16	什么是各种模拟调制技术参数性能比较?	108
6.1.17	什么是预加重/去加重的概念?	108
6.1.18	什么是预加重/去加重的实现?	109
6.1.19	什么是预加重/去加重的性能提高?	109
6.1.20	什么是频分复用技术的概念?	109
6.1.21	什么是频分复用的参数?	109
6.1.22	频分复用的特点有哪些?	110
6.1.23	频分复用技术的应用领域有哪些?	110
6.2	典型题解	110
题型 1	非线性调制的基本概念	110
题型 2	窄带和宽带角度调制系统	114
题型 3	调频信号的产生和解调及噪声性能分析	116
题型 4	预加重/去加重及频分复用技术	121



第 7 章 模拟信号的数字传输

7.1 答疑解惑	124
7.1.1 什么是模拟信号的数字传输原理?	124
7.1.2 什么是抽样?	124
7.1.3 什么是低通型抽样?	124
7.1.4 什么是带通型抽样?	125
7.1.5 什么是脉冲调制?	126
7.1.6 什么是脉冲振幅调制?	126
7.1.7 什么是自然抽样?	126
7.1.8 什么是瞬时抽样?	126
7.1.9 什么是量化的基本概念?	126
7.1.10 什么是均匀量化及性能参数?	127
7.1.11 什么是非均匀量化?	127
7.1.12 什么是脉冲编码调制?	128
7.1.13 什么是 A 律 13 折线 PCM 编译码?	128
7.1.14 什么是增量调制原理?	129
7.1.15 增量调制的量化噪声的分类有哪些?	129
7.1.16 什么是增量调制的参数性能?	130
7.1.17 什么是 PCM 和 ΔM 的性能比较?	130
7.1.18 什么是差分脉冲编码调制?	131
7.1.19 什么是时分多路复用的基本概念?	131
7.1.20 什么是两种 PCM 标准?	132
7.2 典型题解	132
题型 1 模拟信号的数字传输原理及抽样	132
题型 2 模拟信号的量化	138
题型 3 脉冲编码调制	141
题型 4 简单增量调制及差分脉冲编码调制	144
题型 5 时分多路复用	148

第 8 章 数字信号的基带传输

8.1 答疑解惑	151
8.1.1 什么是数字基带信号、基带信道?	151
8.1.2 什么是数字基带传输系统?	151
8.1.3 数字基带信号码型的设计原则有哪些?	152
8.1.4 数字基带信号常用码型及特点有哪些?	152
8.1.5 什么是数字基带信号的频谱分析?	154
8.1.6 传输码元设计的原则有哪些?	154
8.1.7 常用的传输码型及特点有哪些?	155
8.1.8 什么是数字基带传输系统的抗噪声性能分析?	157

8.1.9	什么是基于低通滤波器的接收?	157
8.1.10	什么是基于匹配滤波器的最佳接收?	157
8.1.11	什么是两种解调方案的比较?	158
8.1.12	什么是码间干扰?	158
8.1.13	什么是部分响应系统?	160
8.1.14	什么是眼图?	161
8.1.15	什么是信道均衡?	161
8.2	典型题解	162
题型 1	基带传输系统概念和数字基带信号波形	162
题型 2	数字基带传输系统的抗噪声性能分析	169
题型 3	码间干扰和部分响应系统	175
题型 4	眼图和信道均衡	181
第 9 章 数字信号的频带传输		
9.1	答疑解惑	184
9.1.1	什么是数字频带信号、频带传输?	184
9.1.2	什么是数字频带传输系统?	184
9.1.3	什么是二进制数字调制原理?	184
9.1.4	什么是二进制幅移键控?	185
9.1.5	什么是二进制频移键控?	185
9.1.6	什么是二进制相移键控?	186
9.1.7	什么是差分相移键控?	186
9.1.8	什么是 2ASK 的分析?	187
9.1.9	什么是 2FSK 的分析?	187
9.1.10	什么是 2PSK 的分析?	188
9.1.11	什么是 DPSK 的分析?	189
9.1.12	怎么比较各种调制系统?	189
9.1.13	什么是多进制数字调制的基本概念?	190
9.1.14	什么是恒包络连续相位调制?	190
9.1.15	什么是正交振幅调制(QAM)?	191
9.2	典型题解	191
题型 1	频带传输系统概念和二进制调制	191
题型 2	二进制数字调制的解调和抗噪性能	194
题型 3	多进制数字调制	205
第 10 章 同步原理		
10.1	答疑解惑	210
10.1.1	什么是同步的基本概念及分类有哪些?	210
10.1.2	什么是载波同步?	210
10.1.3	什么是位同步?	212



10.1.4	什么是帧同步?	214
10.1.5	什么是网同步?	215
10.2	典型题解	215
题型 1	同步原理	215
第 11 章 差错控制和信道编码		
11.1	答疑解惑	221
11.1.1	降低误码的技术有哪些?	221
11.1.2	什么是编码信道?	221
11.1.3	什么是信道编码?	221
11.1.4	差错控制方式有哪些?	223
11.1.5	什么是线性分组码?	223
11.1.6	线性分组码的性质有哪些? 其检错和纠错能力如何?	223
11.1.7	线性分组码如何分析?	224
11.1.8	什么是校正子(码组伴随式)?	225
11.1.9	什么是汉明码?	226
11.1.10	什么是循环码?	226
11.1.11	什么是循环码生成多项式?	226
11.1.12	什么是循环码生成矩阵 G 和监督矩阵 H ?	227
11.1.13	什么是循环检错码 CRC?	228
11.1.14	什么是卷积码?	228
11.1.15	其他信道编码有哪些?	232
11.2	典型题解	232
题型 1	差错控制及信道编码的基本概念	232
题型 2	线性分组码	234
题型 3	循环码	240
题型 4	卷积码及其他信道编码	245
第 12 章 课程测试及考研真题		
12.1	课程测试	249
12.2	课程测试参考答案	251
12.3	考研真题	255
12.4	考研真题参考答案	256

第 1 章

绪 论

【基本知识点】通信发展史及其技术未来的发展趋势和特征;通信的一般系统模型;模拟通信的系统模型;数字通信的系统模型;通信网系统模型;通信系统的一般分类方法和分类依据;通信系统的主要性能指标;数字通信系统的主要特点;信息源的统计特性描述及信息的度量方法;信息源的信源熵计算;条件熵、联合熵、互信息及其相互关系等。

【重点】通信的一般系统模型;模拟通信的系统模型;数字通信的系统模型;通信系统的主要性能指标;数字通信系统的主要特点;信息论基础知识;信息源的统计特性描述及信息的度量方法;信息源的信源熵计算;信道容量及香农公式等。

答疑解惑

绪论

1.1

答疑解惑

1.1.1 什么是通信、消息、信息、信号?

- (1) 通信:信息的传输和交换称为通信,其目的是传输消息。
- (2) 消息:通信中传输的语言、图片、文字、数据等。包括连续消息和离散消息。
- (3) 信息:包含在消息中的有意义的内容。
- (4) 信号:与消息一一对应的电量,是消息的物理载体,消息的变化引起信号的某一参量随同变化,信号可分为模拟信号和数字信号。

1.1.2 什么是模拟通信和数字通信?

1. 模拟通信与模拟通信系统

信道中传输的是模拟信号(特征为幅度连续,时间可连续也可以不连续)时则称为模拟通信。利用模拟信号传递消息的通信系统则称为模拟通信系统。

2. 数字通信与数字通信系统

信道中传输的是非连续的数字信号(特征为幅度离散,一般时间也离散)时则成为数字



通信。利用数字信号传递消息的通信系统则称为数字通信系统。

1.1.3 通信系统的组成有哪些?

通信系统是指通信中所需要的一切技术设备和传输媒质构成的总体一般指点到点通信所需要的全部设施,包括软、硬两个方面。根据信道中所传输的信号种类,可以分为模拟通信系统和数字通信系统。

1. 通信系统的一般模型

点到点通信系统的一般模型如图 1.1 所示。

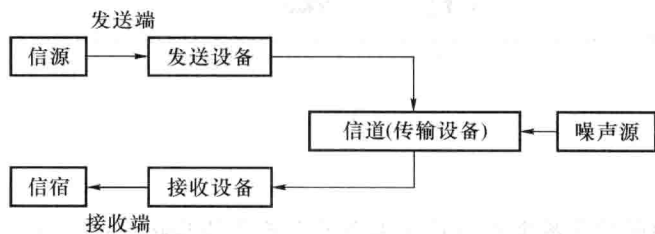


图 1.1 点到点通信系统模型

(1) 信源和信宿:信源是信息的来源,它把消息通过相应设备转换成原始的电信号。信宿是信息的接收者,它把传输后的电信号转换成相应的消息。

(2) 发送设备:将信源输出的原始电信号变换成适合信道传输的信号。变换可包括调制和编码。

(3) 信道:信号传输的通道(传输媒质)。可分为有线和无线两种。

(4) 接收设备:将接收的信号恢复成相应的原始电信号,完成发送设备的反变换。变换可包括解调和译码。

(5) 噪声源:信道中的噪声以及分散在通信系统其他各处的噪声的集中表示。

2. 模拟通信系统的模型

模拟通信系统的一般模型如图 1.2 所示。

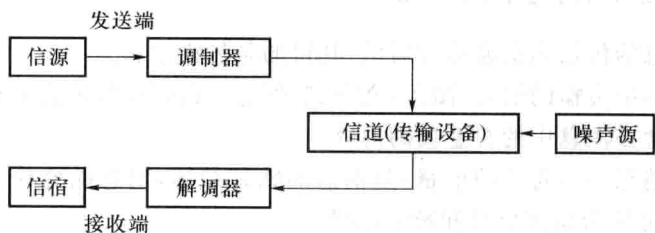


图 1.2 模拟通信系统模型

(1) 基带信号(调制信号):没有经过调制的原始信号。

(2) 频带信号(已调信号):经过调制后的信号。

(3) 基带传输:基带信号直接通过有线传输。

(4) 调制:将信号从低频端搬移到高频端的过程。

(5) 解调:将信号从高频端搬移到低频端的过程。

3. 数字通信系统的模型

数字通信系统的一般模型如图 1.3 所示。

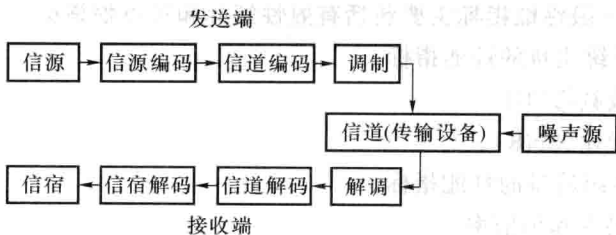


图 1.3 数字通信系统模型

(1) 信源编码和信源解码:信源编码的两个作用,一是对信源信号进行 A/D 转换,二是压缩数据。信源解码是信源编码的逆过程。

(2) 信道编码和信道解码:信道编码是使数字信号适应信道传输的变换,它能够提高通信系统的抗干扰能力。信道解码是信道编码的逆过程。

1.1.4 数字通信系统的特点有哪些?

与模拟通信系统比较,数字通信系统具有如下的优点:

- (1) 抗干扰能力强,数字信号可以再生而消除噪声积累;
- (2) 传输差错可以控制,改善了传输质量;
- (3) 便于加密处理,增强保密性;
- (4) 便于通信系统的集成化、微型化;
- (5) 便于利用现代计算技术对信息进行处理,等等。

同时,数字通信系统也具有系统设备较复杂、频带利用率不高、对同步要求高等缺点。

1.1.5 通信系统的分类有哪些?

- (1) 按消息物理特征分类:电报、电话、数据、图像等。
- (2) 按调制方式分类:连续波调制、脉冲波调制等。
- (3) 按传输信号的特征分类:模拟通信、数字通信。
- (4) 按通信工作波段分类:长波通信、中波通信、短波通信、远红外线通信、可见光通信等。
- (5) 按信号传输介质分类:有线、无线等。
- (6) 按传送信号的复用方式分类:频分复用(FDM/FDMA)、时分复用(TDM/TDMA)、码分复用(CDM/CDMA)、波分复用(WDM/WDMA)、空分复用(SDM)等。

按通信方式分类:根据消息传送的方向与时间关系,可分为单工通信、半双工通信和全双工通信;根据数字信号码元排列方法,可分为串行传输和并行传输;根据信道占用方式,可分为专线和通信网。

注意:调制的主要作用:将消息变换为便于传送的信号形式;可以实现频分多路复用;可以改善通信系统的性能。



1.1.6 通信系统的性能指标有哪些?

1. 通信系统的一般性能指标主要包括有效性指标和可靠性指标

(1) 模拟通信系统质量的性能指标。

有效性——有效频带(B)。

可靠性——信噪比(SNR)。

(2) 数字通信系统质量的性能指标。

有效性——传码率和传信率。

可靠性——误码率和误信率。

2. 传输速率

码元传输速率 R_B (简称传码率) 是指系统每秒传送的码元数目, 其单位为波特(Baud, 常用 B 表示), 又称波特率。码元速率与进制数无关, 只与传输的码元长度 T 有关:

$$R_B = \frac{1}{T} (\text{Baud})$$

信息传输速率 R_b (简称传信率) 是指系统每秒内传输的平均信息量。单位为比特/秒(bit/s), 简记为 b/s。

码元速率和信息速率之间的关系为:

$$R_b = R_B \cdot H (\text{bit/s})$$

式中, H 为信源中每个符号所含的平均信息量(熵)。若等概率传输时, 熵具有最大值 $\log_2 M$, 信息传输速率也达到最大值, 即

$$R_b = R_B \cdot \log_2 M (\text{bit/s})$$

M 为符号的进制数。

3. 频带利用率

频带利用率是指单位频带内的传输速率。

$$\eta = \frac{R_B}{B} (\text{Baud/Hz})$$

对二进制传输可表示为

$$\eta = \frac{R_b}{B} (\text{bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz}))$$

4. 差错率

误码率 P_e 是指错误接收的码元数在传送总码元数中所占的比例, 即码元在传输系统中被传错的概率。

$$P_e = \frac{\text{单位时间内错误接收的码元数}}{\text{单位时间内传输的总码元数}}$$

误信率 P_b 是指错误接收的信息量在传送总信息量中所占的比例, 即码元的信息量在传输系统中被丢失的概率。

$$P_b = \frac{\text{单位时间内错误接收的比特数}}{\text{单位时间内传输的总比特数}}$$

注意: 对于二进制系统, 误码率 P_e 与误信率 P_b 相等。

1.1.7 什么是信息量?

任何信源产生的输出都是随机的,信息量就是对消息中这种不确定性的度量,它是用统计方法来确定的。消息中包含的信息量与消息发生的概率密度相关。消息出现的概率越小,消息中包含的信息量越大。

信息量 I 与消息出现的概率 $P(x)$ 之间的关系应为

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

信息量的单位与对数底数 a 有关。 $a=2$ 时,信息量的单位为比特(bit); $a=e$ 时,信息量的单位为奈特(nit); $a=10$ 时,信息量的单位为哈特莱(Hartly)。目前广泛使用以 2 为底的比特单位。

1.1.8 信息源的信息度量有哪些?

1. 离散信息源的信息度量

单一符号的信息度量,满足叠加性、与概率变化相反。若 $u_1, u_2, u_3, \dots, u_N, u_i \in \{x_j\}$, $j=1, 2, \dots, k, x_j$ 出现的概率为 $P(x_j)$ 。

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

式中, k 是消息中符号的种类。

对于任意随机序列,若 x_j 出现的次数为 n_j ,则可以得到总的信息量为

$$I = - \sum_{j=1}^k n_j \cdot \log_a P(x_j)$$

对于多个离散信源的信息度量与互信息,例如任意两个信源 X 和 Y ,它们所对应的符号分别为 x_i 和 y_j 。

联合信息量: $I(x_i, y_j) = -\log_a P(x_i, y_j)$;

条件信息量: $I(x_i | y_j) = -\log_a P(x_i | y_j)$;

互信息量为: $I(x_i, y_j) = \log_a \frac{P(x_i | y_j)}{P(x_i)}$ 。

2. 连续信息源的信息度量

由于一个频带受限的连续信号,可以用每秒一定数目的抽样值代替。而每个抽样值又可以用若干个二进制脉冲序列来表示。因此,离散信号的信息量定义和计算同样适用于连续信号。

1.1.9 什么是信息源的信息熵?

消息很长的情况下,用符号出现的概率来计算消息的信息量是比较麻烦的,而改用平均信息量的概念来计算。

平均信息量是指每个符号所含信息量的统计平均值,因此当离散消息源的 N 个符号的出现概率不等时,则可用平均信息量来表示,离散信源的平均信息量(信息熵)定义为

$$H(x) = - \sum_{i=1}^N P(x_i) \log_2 P(x_i) \text{ (bit/symbol)}$$



信源熵的性质:

(1) 信源熵是非负的, 即 $H(x) \geq 0$;

(2) 信源熵具有上凸性, 即 $H(x)$ 是 $P(x)$ 的上凸函数。

离散信息源的最大熵为

$$H_{\max} = - \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \log_2 \frac{1}{N} = \log_2 N \text{ (bit/symbol)}$$

连续信息源的最大熵为

(1) 峰值受限情形下:(幅度受限)

$$P(x) = 1/2A, \quad H_{\max}(x) = \log_2(2A) \text{ (bit/symbol)}$$

(2) 均方受限情形下:(功率受限)

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad H_{\max}(x) = \log_2 \sigma \sqrt{2\pi e} \text{ (bit/symbol)}$$

1.1.10 什么是联合熵、条件熵及互信息?

1. 对于多个离散信源

联合熵:

$$H(XY) = - \sum_i \sum_j P(x_i, y_j) \log P(x_i, y_j)$$

条件熵:

$$H(X/Y) = - \sum_i \sum_j P(x_i, y_j) \log P(x_i/y_j)$$

$$H(Y/X) = - \sum_i \sum_j P(y_j, x_i) \log P(y_j/x_i)$$

平均互信息:

$$I(X, Y) = \sum_i \sum_j P(x_i, y_j) I(x_i, y_j) = \sum_i \sum_j P(x_i, y_j) \log \frac{P(x_i/y_j)}{P(x_i)}$$

2. 对于多个连续信源

联合熵:

$$H(XY) = - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, y) \log P(x, y) dx dy$$

条件熵:

$$H(X/Y) = - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, y) \log P(x/y) dx dy$$

$$H(Y/X) = - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, y) \log P(y/x) dx dy$$

平均互信息:

$$I(X, Y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, y) \log \frac{P(x, y)}{P(x)P(y)} dx dy$$

3. 联合熵、条件熵和互信息之间的关系

$$\textcircled{1} H(XY) = H(X) + H(Y/X), H(XY) = H(Y) + H(X/Y);$$