

Selected Foreign Text Books

外国教材精选

通信系统

——电子通信中信号
与噪声引论

[美] A. B. 卡尔逊 著

卞正中 朱世华 译

白居易 闻懋生 审校

西安交通大学出版社

TN911.7
K03

368835

外国教材精选

通信系统

——电子通信中信号与噪声引论

西安交通大学出版社

内 容 简 介

本书是国外“通信与信号处理”系列精选教材之一,内容包括信号与系统理论基础,模拟通信中的各种调幅、调频和数字调制系统,数字通信中的基带传输、频带传输、PCM 编码和数字传输的差错控制技术,最后从信息论的观点对各种实际系统进行了全面的比较。本书内容系统、全面、深入,反映了80年代最新技术。论述逻辑严谨,简明易懂。

本书要求读者具有大学一、二年级数学知识及基本的电路知识,适合于无线电技术、通信及其它相关专业作为教材或教学参考书。本书也可用作相关专业工程技术人员的工作参考书,或作为初次接触通信技术的其它专业人员的自学参考书。

DV46/10
(陕)新登字007号

Communication Systems
— An Introduction to Signals and noise
in Electrical Communication

A. B. Carlson

McGraw-Hill, 1986

通信系统

— 电子通信中信号与噪声引论

[美] A. B. 卡尔逊 著

卞正中 朱世华 译

白居易 闻懋生 审校

责任编辑 白水辰

*

西安交通大学出版社出版

邮政编码 710049

西安交通大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 30.875 字数:750千字

1992年11月第1版 1992年11月第1次印刷

印数:1—3000

ISBN7-5605-0491-4/TN·34 定价:18元

《外国教材精选》总序

近十年来,我国高等学校教材建设在经历了从无到有、巩固提高的过程之后,目前正进入向高质量、高层次、多品种发展的欣欣向荣,百花争艳时期。现在,教材建设仍是高等学校教学改革的重要方面,这里也存在一个改革开放的问题。在这种形势下,精选国外一些有影响、有特色、特别是世界上著名大学现用的优秀教材翻译出版,无疑将对我国当前教材建设起到借鉴、促进和填补某些学科空白的积极作用。为此,西安交通大学出版社决定组织翻译出版一套《外国教材精选》系列书。

外国教材专业面广、类型繁多、层次各异,我们这套系列书在选题时以专业面较广,内容新颖或具有明显特色的教材为目标。具体原则如下:

1. 列选的教材不限国别及语种,以便博采众长。
2. 国外著名经典性教材,多次修订重版经久不衰者。
3. 最新出版,为国外著名大学所采用,有独特风格、体系,能反映国外教育动向,可供借鉴者。
4. 反映最新科技成果,能填补国内某学科教材空缺者。

根据我校具体情况,《外国教材精选》系列书将以电类教材(含电力、电子、计算机与信息科学)为主。今后随着形势的发展和需要,再进一步组织其他学科的国外先进教材翻译出版。

我们期望这套系列书,不仅是高等学校的学生和教师的良师益友;而且对已在生产科研第一线的广大科技工作者的知识更新,吸取国外科技新成果方面也大有裨益。

这套《外国教材精选》虽然从搜求原著、遴选、翻译、审校等方面都做了较细致的工作,但从浩如烟海的外国教材中精选少数形成一套系列书,对我们毕竟还是一种尝试。书源还不够充分,经验也感不足,缺点在所难免,诚挚地希望读者予以指正。

西安交通大学《外国教材精选》编委会

1988年6月

译 序

本书是美国精选的“通信与信号处理”系列教材之一,自出版以来深受广大读者的欢迎,被许多国家的大学选作教科书或主要教学参考书,目前已是第三版。

本书主要讨论现代通信系统中的信号传输及与之相关的信号处理问题。全书共分三部分。第一部分是全书的基础,介绍了信号和传输系统的本质及数学模型,给出了信号通过系统过程的分析方法及必要的处理手段;第二部分介绍模拟通信系统,它包括了绝大多数现存的调幅、调频和数字调制体制,介绍了它们的基本原理,数学描述方法,性能分析及实现技术等;第三部分涉及数字通信,讨论了数字信号的特性及基带传输原理,模拟信号的数字化技术——PCM和DM,数字信号的时分多路复用及频带传输,以及数字传输中的差错控制技术。最后,书中简要介绍了信息论的基本思想和主要结论,并以此对书中各种调制体制或处理方法进行了全面比较,给出了对现代通信系统更一般、更普遍的观念或认识。

本书包括的内容十分全面,从传统的AM、FM系统到最新的四声道立体声广播、卫星通信和计算机通信等,可以说,现在通信系统中所采用的主要调制、滤波及其它处理技术在本书中都已提到。本书深入浅出,从信号和系统的基本模型出发,经过逻辑严密的分析和论证,达到全面、定量的理论结论。这些结论多数是简明而又透彻的,完全可以满足实际工程技术的需要。尽管本书的目的是介绍通信系统的信号处理方法,但仍尽量插入了一些有关应用系统的简要介绍,这有助于读者理解书中的内容,了解知识的应用范围,提高读者联系实际的能力。此外,书中还给出了大量的例题和习题,仔细阅读和演算这些题目对于读者迅速深入地掌握正文的内容是十分有益的。

本书的内容安排合理,结构严谨,讨论问题循序渐进,因此尽管内容相当深入,但仍便于读者阅读和接受,是一本优秀的专业参考书。作为教材,本书篇幅略嫌过长。考虑到这一点,作者将一些虽有特色,但目前仍仅用于少数专用系统的技术定为选学内容。略去这些内容不会影响全书的系统性和连贯性。

本书要求读者具有大学一、二年级的数学知识及基本的电路知识。少量的计算机知识对于阅读本书也是有帮助的。本书的基本内容可作为通信、无线电技术及其它信息处理类专业高年级本科生或低年级研究生的教材或主要教学参考书,也可供从事通信或信息处理技术工作的工程技术人员了解全面技术或较新技术时参考。本书还可用作具有相当知识水平的广大读者的自学参考书。

本书第一到第三章和第六到第十章由卞正中翻译,第四、五章和第十一到十五章及附录由朱世华翻译。白居易高级工程师和闻懋生教授仔细校阅了全部译稿,并提出了许多宝贵的建议和修改意见,译者对此深表感谢。由于译者的水平和学识所限,书中谬误之处在所难免,殷切地希望广大读者批评指正。

译 者

1992年1月

前 言

本书和前两版一样,是为电气工程系高年级学生和一年级研究生撰写的一本关于通信系统导论教材。通过学习信号传输和实际系统的限制,建立统一的通信概念。在内容上,本书对模拟和数字通信系统的分析和设计给予同等的重视。

数学知识和模型在全书中必然占有重要地位,不过,它们都是在工程学范围内作为一种工具来运用的。本书编入了大量的应用实例,这些例子具有很好的实用价值,并可通过例子来阐述概念和设计方法。同时,为了引起读者的兴趣和揭示本学科与电气工程其它学科间的联系,本书也介绍了硬件的内容。

必备知识

学习本书所应具备的知识相当于电气工程系一、二、三年级学生所学的课程,如微分方法、稳态、暂态电路分析和电子学的基本课程等都是必不可少的。对运算放大器,数字逻辑和矩阵符号法,读者也应有所了解。如果预先学一些线性系统分析,傅里叶变换和概率论的知识,对学习本书是有帮助的,但这不是必须的。

内容结构

本书这一版的明显特点是将全书的内容分为三个主要部分,每一部分包括几个简短的章节。第一部分介绍信号和系统的分析方法。这些分析方法在学习第二部分的模拟通信和第三部分的数字通信中都要用到。具体的专题已列在内容目录表中,并在 1.4 节中加以讨论。书中标有“*”号的章节都是供选择讲解用的。书末的三个附录编入了必要的补充材料。

与第二版相比,本版大大增加了有关数字通信的内容,特别是频谱分析,差错编码和载波调制的有关内容。增加篇幅的有:滤波,随机信号,多路复用,同步,编码脉冲调制,最佳检测和信总论。新增内容包括:频率调制失真,锁相环,频谱扩展,预测编码,离散傅里叶变换和数字电路实现的硬件。

以上三部分内容可作为具有很少预备知识的大学生一年内学完的课程,如果读者在先修课程中已学过线性系统和概率论,那么,第五章和第二、第三部分的大部可做为大学高年级或研究生一学期的课程来安排。作为选题的指导,在目录表中提出了每节所需起码的必备知识。

本书的章节结构也可灵活变通,如一学期讲解信号传输和模拟调制引论,可包括第二、第三、第六、第七、第八和第十章(省略 10.4 节),后续课着重讲解随机信号和数字通信,可包括第四、第五、第十一、第十二、第十三以及第九、第十四章或第十五章。

教学辅助材料

每一章都附有例题和练习。这些例题都是经过精心选择,以阐明书中学生难于理解的一些概念和技术。

每一章后面所附的习题都标有课文章节号,这些习题由简到难,从基本的变换和计算,一直到比较深入的分析 and 设计,属于后者的习题都以符号“†”标出,教师可以从出版社买到习题和练习的题解。

为查阅方便,书末附表中列有变换对,概率函数和数学关系式。书末还列入了一些补充读物作为参考书目。

致 谢

我要感谢许多朋友给我写作这本书的建议和帮助,Rensselear 综合技术学院的 John B. Anderson 教授,David G. Gisser 教授,James W. Modestino 教授,William A. Pearlman 教授和 Rensselear 综合技术学院的 Henry Stark 教授,他们不吝赐教和充分提供了他们的图书资料。普渡大学 John C. Lindenlaub 教授对本书前版所做的工作也在本版中得到了发展。通过与 Rensselenr 综合技术学院学生及教学人员,特别是 Gordon 和 Kathy Bechtel 的讨论,促进了本版在教育学上的改进。在 McGraw-Hill 出版公司书评家的帮助下完成了本书的终稿。

我还要特别感谢电气、计算机和系统工程系系主任 Lester A. Gerhardt 教授,课程指导 Charles M. Close 教授和 Rensselear 综合技术学院的行政当局,感谢他们对本书的鼓励和支持,也要感谢我的夫人和家庭对我的耐心和理解。

A. Bruce Carlson

目 录

前 言

第一章 引 论

- 1.1 通信系统的基本原理和限制 (1)
信息、消息和信号 通信系统的基本原理 主要限制
- 1.2 调制和编码 (3)
调制方法 调制的优点和应用 编码的方法和优点
- 1.3 发展概况 (7)
- 1.4 内容简介 (9)

第一部分 信号和系统分析

第二章 信号和频谱

- 2.1 线状频谱和傅里叶级数..... (10)
相量和线状频谱 周期信号和平均功率 傅里叶级数 收敛条件和吉布斯现象
帕斯瓦尔功率定理
- 2.2 傅里叶变换和连续频谱(2.1) (19)
傅里叶变换 对称和因果信号 瑞利能量定理 对偶定理 变换计算
- 2.3 时间和频率的关系(2.2) (26)
叠加原理 延迟和尺度变换 频率转换和调制 微分和积分 卷积和倍乘
- 2.4 冲激和变换极限..... (34)
单位冲激性质 频域冲激 阶跃和正负号函数 时域脉冲法
- 2.5 习题..... (41)

第三章 信号传输和滤波

- 3.1 线性时不变(LTI)系统的响应(2.4)..... (45)
冲激响应和叠加积分 传输函数和频率响应 框图分析
- 3.2 传输中的信号失真(3.1) (52)
无失真传输 线性失真 均衡 非线性失真和压扩
- 3.3 传输损耗和分贝(dB)(3.2) (58)
功率增益 传输损耗和中继器 无线电传输 *
- 3.4 滤波器和滤波(3.3) (62)
理想滤波器 实际滤波器 脉冲响应和上升时间 正交滤波器和希尔伯特变换

每一节标题后括号内的数字表明该数字所表示的章节内已讲解了必备的内容。符号 * 表示可选择讲解的内容

3.5	相关和谱密度(3.4)	(70)
	功率信号的相关 能量信号的相关 输入-输出相关 谱密度函数	
3.6	习题	(76)
第四章 概率与随机变量		
4.1	概率与事件	(80)
	概率的发生频度 样本空间与公理概率 条件概率与统计独立	
4.2	随机变量与概率函数(4.1)	(84)
	离散随机变量与积累分布函数(CDF) 连续随机变量与概率密度函数(PDF)	
	随机变量的变换 联合和条件概率密度函数	
4.3	统计平均(4.2)	(91)
	均值、矩和期望 标准偏差和切比雪夫(Chebyshev)不等式 多变量的期望	
	特征函数 *	
4.4	概率模型(4.3)	(95)
	二项式分布 泊松(Poisson)分布 高斯(Gaussian)分布 瑞利(Rayleigh)分布	
	二元(Bivariate)高斯分布 *	
4.5	习题	(100)
第五章 随机信号与噪声		
5.1	随机过程(3.5, 4.4)	(105)
	随机过程的描述 集合平均与相关函数 平稳和各态历经过程 高斯过程	
5.2	随机信号(5.1)	(110)
	信号功率和时间平均 功率谱 叠加与调制 过滤的随机信号	
5.3	噪声(5.2)	(117)
	热噪声与可用功率 白噪声与带限噪声 噪声等效带宽 系统的白噪声测量法 *	
5.4	有噪信号传输	(123)
	加性噪声与信噪比 模拟基带传输 脉冲检测与匹配滤波器	
5.5	习题	(128)

第二部分 模拟通信

第六章 线性连续波(CW)调制		
6.1	带通系统和信号(3.4)	(132)
	带通系统 带通信号 带通传输	
6.2	双边带调幅(6.1)	(138)
	模拟消息的常规表示 调幅信号(AM)和频谱 双边带信号(DSB)和频谱	
	单音调制和相量分析	
6.3	调制器和发射器	(142)
	乘积调制器 平方律和平衡调制器 开关调制器	

6.4	抑制边带调幅(6.3).....	(145)
	单边带信号和频谱 单边带信号的产生 残留单边带信号和频谱 *	
6.5	频率变换和解调(6.4).....	(150)
	频率变换 同步检波 包络检波	
6.6	习题	(154)
第七章 指数连续波调制		
7.1	调相和调频(6.2).....	(158)
	调相和调频信号 窄带调相和调频 单音调制 多音和周期信号调制 *	
7.2	传输带宽和失真(7.1).....	(167)
	传输带宽估计 宽带调频 线性失真 非线性失真和限幅器	
7.3	调频和调相的产生与检波	(173)
	直接调频和压控振荡器(VCO) 调相器和间接调频 三角波调频 * 频率检波	
7.4	干扰	(179)
	干扰正弦波 去加重和预加重滤波 调频信号的捕获效应 *	
7.5	习题	(188)
第八章 连续波调制系统		
8.1	连续波调制接收器	(188)
	超外差接收器 专用接收器 * 扫频分析仪 *	
8.2	频分多路复用(FDM)(7.3)	(192)
	FDM系统 调频立体声多路复用 * 正交载波多路复用	
8.3	锁相环(PLL)(8.1)	(197)
	锁相环工作原理和锁定 同步检测和频率合成器 线性化锁相环模型和调频波检测	
8.4	电视(8.1).....	(203)
	视频信号、清晰度和频带宽度 黑白电视发射器和接收器 彩色电视	
8.5	习题	(211)
第九章 连续波调制中的噪声		
9.1	系统模型和参数(5.4,7.3).....	(215)
	系统模型 检波前的信噪比	
9.2	带通噪声(9.1).....	(217)
	正交分量 包络和相位 相关函数 *	
9.3	有噪线性调制(9.2).....	(220)
	同步检波 包络检波和门限效应 同步检波扩谱技术 *	
9.4	有噪指数调制	(227)
	检波后噪声 终点信噪比 FM门限效应 FM反馈门限扩展效应 *	
9.5	连续波调制系统的比较	(233)

9.6 习题	(235)
--------------	-------

第十章 抽样和脉冲调制

10.1 抽样定理和应用(3.4)	(239)
斩波抽样 理想抽样和再现 实际抽样和频率混淆	
10.2 模拟脉冲调制(10.1).....	(246)
平顶抽样和脉幅调制 脉宽调制和脉位调制 脉位调制频谱分析 *	
10.3 时分多路复用(TDM)(10.2)	(251)
TDM 系统 串话和防护时间 TDM 和 FDM 的比较	
10.4 脉冲调制中的噪声(5.4,10.2).....	(255)
噪声中的脉冲测量 有噪声脉冲调制 假脉冲门限效应	
10.5 习题.....	(258)

第三部分 数字通信

第十一章 基带数字传输

11.1 数字信号与系统(5.4)	(263)
数字 PAM 信号 传输限制 数字 PAM 的功率谱 频谱成形的预编码技术 *	
11.2 噪声与误码(11.1).....	(270)
二进制误码概率 再生中继器 匹配滤波器 M 进制误码概率	
11.3 带限数字 PAM 系统(11.2)	(278)
奈奎斯特脉冲整形 最佳终端滤波器 均衡 相关编码 *	
11.4 同步技术(11.2).....	(288)
位同步 扰码器和伪噪声序列发生器 帧同步	
11.5 习题.....	(293)

第十二章 编码脉冲调制

12.1 脉冲编码调制(10.1,11.1)	(298)
PCM 的产生与恢复 量化噪声 非均匀量化与压扩 *	
12.2 有噪 PCM(11.2,12.1)	(301)
解码噪声 误差门限 PCM 与模拟调制	
12.3 增量(Δ)调制和预测编码(12.2)	(307)
Δ 调制 自适应 Δ 调制 差分 PCM 线性预测编码(LPC)语音合成技术	
12.4 数字多路复用(12.1).....	(313)
多路调制器和群次 准同步多路调制 数据多路调制器与计算机网络	
12.5 习题.....	(321)

第十三章 差错控制编码

13.1 检错与纠错(11.2).....	(325)
-----------------------	-------

	重复码和奇偶校验码 码向量与汉明(Hamming)距离 前向纠错(FEC)系统 自动反馈重传(ARQ)系统	
13.2	线性分组码(13.1).....	(332)
	分组码的矩阵表示 校正式解码 循环码 *	
13.3	卷积码(13.2).....	(340)
	卷积编码 自由距离和编码增益 解码技术	
13.4	习题.....	(352)
第十四章 频带数字传输		
14.1	数字 CW 调制(7.1,11.1).....	(357)
	频带数字信号的频谱分析 幅度调制技术 相位调制技术 频率调制技术 最小频移键控 *	
14.2	相干二进制系统(11.2,14.1)	(366)
	最佳二进制检波 相干 OOK,PRK 和 FSK 定时与同步	
14.3	非相干二进制系统(14.2).....	(371)
	叠加带限噪声的正弦信号包络 非相干 OOK 非相干 FSK 差分相干 PSK	
14.4	正交载波和 M 进制系统(14.2)	(378)
	正交载波系统 M 进制 PSK 系统 M 进制幅度相位键控(APK)系统 数字调制系统的比较	
14.5	习题.....	(387)
第十五章 信息论		
15.1	信息的度量与信源编码(13.1).....	(392)
	信息的度量 信息熵与信息速率 离散无记忆信源编码 记忆信源的预测编码 *	
15.2	离散信道的信息传输(15.1).....	(401)
	互信息 离散信道容量 二元对称信道的编码 *	
15.3	连续信道与系统比较(15.2).....	(407)
	连续信息 连续信道容量 理想通信系统 系统比较	
15.4	习题.....	(415)
附录		
A.	电路与系统噪声(5.4)	(418)
	电路与器件的噪声 放大器噪声 系统噪声的计算 电缆中继系统 习题	
B.	离散傅里叶变换和快速傅里叶变换(10.1)	(430)
	离散傅里叶变换(DFT) 离散傅里叶频谱分析 离散傅里叶变换的卷积 快速傅里叶变换(FFT) 习题	
C.	最佳数字检测(11.2)	(443)
	信号的向量表示法 最佳检测和最大后验概率(MAP)接收器 误码概率 信号选择与正交信号 * 习题	

图表..... (457)

- | | | | |
|------------|-------------|-----------|--------------|
| T. 1 傅里叶变换 | T. 2 傅里叶级数 | T. 3 数学公式 | T. 4 sinc 函数 |
| T. 5 概率函数 | T. 6 高斯概率函数 | T. 7 符号表 | |

习题答案..... (470)

补充读物..... (474)

参考文献..... (476)

第一章 引 论

人类历史上第一个电报由 F. B. 莫尔斯在 1838 年送到了 16km 以外的地方,从而开创了一个崭新的电子通信时代。

在随后的一个半世纪中,通信工程已有了很大的进步,使得地球上的电视观众能看到宇航员在太空工作的情况。电话、无线电、电视已成为现代生活中必不可少的组成部分。长途线路运载着报文、数据、声音和图像跨越全球。通过洲际网络,计算机之间进行着对话。自莫尔斯时代以来,通信工程已经取得了长足的进展。可以预计在未来的几十年中,通信工程也定将取得更大的成就。

本书介绍了电气通信系统,包括分析方法,设计原理和硬件的考虑。我们先从一般性的概述开始,以便对后面的内容有一总的了解。

1.1 通信系统的基本原理和限制

一个通信系统将信息从信源传送到一定距离以外的目的地。通信系统的应用如此广泛,以致我们既不能对这些应用一一讲解,也不能详细讨论组成一个专门系统的各个单元。一个典型的系统涉及到电气工程整个领域的许多内容,其中一些相关领域有电路、电子学、电磁场和计算机等,此外,如果我们一一介绍各个部分将会淹没通信系统是一个综合整体这一根本点。实际上,整体的综合决不只是各部分的相加。

因此,我们将从抽象的观点来讨论问题。在认识到所有的通信系统都有信息传输这一基本功能后,我们将寻求并专门研究以电的形式进行信息传输的原理和问题。对这些问题我们进行深入的探讨,以期得到适合于广泛应用的分析和设计方法。简言之,本书将从系统的角度来讨论通信系统。

信息、消息和信号

显然,信息的概念是通信的中心。但是信息是一个含义广泛的单词,它具有语义上和哲学上的解释,但不能被精确地定义。为了避开这一难题,我们改而研究消息。消息是信源产生的信息的物理表现。无论消息是何种形式,通信系统的目的是在目的地合理地再现原来的消息。

信息源有多种多样,从机器到人类都是信息源,消息又以各种形式出现。然而,我们可以识别两种不同类型的消息:模拟的和数字的。因此,这种分类进一步确定了成功地通信的准则。

模拟消息通常是以平滑和连续方式随时间变化的物理量。如讲话时产生的声压,飞机陀螺的角度位置,电视图像中某一点的光强度都是模拟消息的例子。既然信息是时变的波形,模拟通信系统就应以一定程度的保真度来传递这些波形。

数字信息是从一组有限的离散元素集合中选择的有序符号序列。如本页上的字符,以每小时时间隔读出的温度清单,你在计算机终端按下的按键都是数字信息的例子。既然信息是离散的符号,数字通信系统就应在一定的时间内以一定的准确度传送这些符号。

无论是模拟的或数字的,没有几种消息源是电形式的。所以,绝大多数通信系统都有如图 1.1-1 所示的输入和输出转换器。输入转换器将消息转换成电信号,如电压或电流,终端的转换器将输出信号转换成需要的消息形式。例如,在语言通信系统中,麦克风是输入转换器,扬声器是输出转换器。后面我们将假定在系统中已经具备适当的转换器,把讨论的重点放在信号传输上。因为信号和消息都是信息的具体物理形式,所以,在本书中这两个术语通用。

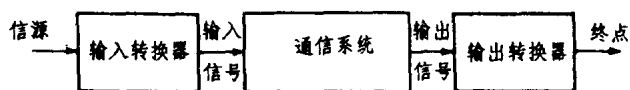


图 1.1-1 带有输入输出转换器的通信系统

通信系统的基本原理

图 1.1-2 表示了通信系统的基本原理框图。图中省略了转换器,但是包括了不想要的杂波。发射器、传输信道、接收器是任何通信系统中三个最基本的部分,每一部分在信号传输中都是起着如下特殊的作用。

发射器是将输入信号处理成为一种适合于传输信道特性的发射信号,发射时的信号处理几乎总是涉及到调制,也常涉及到编码。

传输信道是连接信源和目的地的电气媒介,它可以是一对电线、同轴电缆、无线电波或激光束。任何信道都会引入某种传输损失或衰减,所以信号功率随距离增加而下降。

接收器接收来自信道的输出信号,处理后传递给目的地的转换器。接收器的功能包括放大,以补偿信道传输的损失,解调和译码,进行和在发射端执行的刚好相反的处理。滤波是接收端另一个重要功能,原因讨论如下:

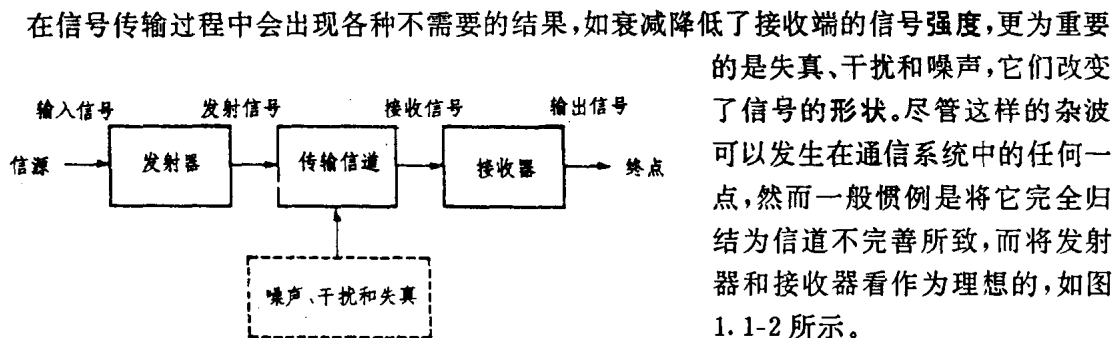


图 1.1-2 通信系统的基本原理框图

在信号传输过程中会出现各种不需要的结果,如衰减降低了接收端的信号强度,更为重要的是失真、干扰和噪声,它们改变了信号的形状。尽管这样的杂波可以发生在通信系统中的任何一点,然而一般惯例是将它完全归结为信道不完善所致,而将发射器和接收器看作为理想的,如图 1.1-2 所示。

失真是系统对有用信号不完全响应所引起的波形畸变。与噪声和干扰不同,当信号不存在时,失真也消失,如果信道虽有失真但具有线性失真响应,这种失真可借助称为均衡器的专门滤波器来校正,至少可减少失真。

干扰是由人为因素、其它发射器、电源线、机械、开关电路等外界信号所引起的。干扰最常发生在接收天线同时接收几路信号的无线电系统中。如果传输线和接收电路接收到附近信源所辐射的信号;射频干扰(RFI)也会出现在电缆系统中。当干扰与有用信号占据不同频带时,可用适当的滤波方法去除干扰。

噪声是指一个系统由其内部或外部固有过程所产生的随机和不可预测的电信号。当这样的随机变化叠加在载有信息的信号上时,消息可能部分地或完全地被破坏。滤波减少了噪声干

扰,但不可避免地仍有某些噪声不能被滤除,该噪声构成了系统基本限制之一。

最后应该指出,图 1.1-2 所表示的是一个单向或称单工(SX)的传输系统。双向传输则要求在每一端都有一个发射器和一个接收器。全双工(FDX)系统有一个允许同时进行双向传输的信道。半双工(HDX)系统可进行双向传输,但不能同时进行。

主要限制

在设计一个通信系统时,工程师受到两种限制。技术问题是一个方面,包括诸如硬件的可用性,经济因素,国家政策规定等许多考虑。尽管完满地解决这类可行性问题可能不现实,但在理论上总是可以解决的。另一方面是基本的物理限制,即一些与上述问题有关的自然规律。这些限制最终决定了在不考虑技术问题时,什么能够实现,什么不能实现。带宽和噪声是电信传输的基本限制。

带宽的概念可应用于信号与系统,作为它们速度的度量。当一个信号快速随时间变化时,它的频率成份或频谱就扩展到很宽的范围,我们说这个信号具有大的带宽。类似地,一个系统跟踪信号变化的能力,可用它的有用频率响应或传输带宽来反映。现在所有的电气系统都包含有储能元件,而储能不能突变,因此,每个通信系统具有一个有限的带宽 B ,它限制了信号变化的速率。

在实时条件下,通信要求足够的传输带宽,以适应信号的频谱,否则,将导致严重的失真。例如,电视视频信号要求几兆赫兹的带宽,而慢速变化的语音信号只要求带宽 $B \approx 3\text{kHz}$ 。对于每秒 r 个符号的数字信号,带宽 B 必须大于或等于 $r/2$ 。对于没有实时限制的信息传输,可用带宽决定了最大的信号速度。传送一定量的信息所要求的时间与带宽 B 成反比。

在信息传输中,噪声是第二个限制。为什么噪声不可避免呢?人们惊奇地发现可从分子运动理论得到答案。在绝对零度以上的任何温度下,热能引起微观粒子产生随机运动。带电粒子如电子的随机运动产生的随机电流或电压称为热噪声。当然也有其它的噪声,但热噪声存在于任何通信系统中。

我们用信噪功率比 S/N 来表示噪声与有用信号的相对大小。热噪声功率在一般情况下是相当小的,而信噪比可能非常大,以致噪声可以忽略不计。然而在低信噪比时,噪声将降低模拟通信中的保真度,而在数字通信中产生误码。当长距离传输时,传输损失会把接收信号功率减少到噪声电平,使接收端的放大失效,因为噪声随信号一起被放大,此时,噪声就成为通信中最严重的问题。

考虑到上述两种限制,山侬(Shannon)[1]指出:信息传输速率不可能超过信道容量

$$C = B \log(1 + S/N)$$

这个关系式被称为哈特莱-山侬定理。在给定了—个通信系统的带宽和信噪比时,它就给出了该系统性能的上限。

1.2 调制和编码

调制和编码是为了获得有效和可靠的信息传输,而在发射端进行的处理。这一处理很重要,有必要作更深入地分析,因此我们将用几章的篇幅来讨论它。

调制方法

调制涉及到两个波形：一个是代表消息的调制信号，一个是适合于特定应用的载波。调制器根据调制信号的变化，有规则地改变载波，这样，已调波形就携带着消息信息。通常，希望调制能作逆处理，即通过解调恢复原来的消息。

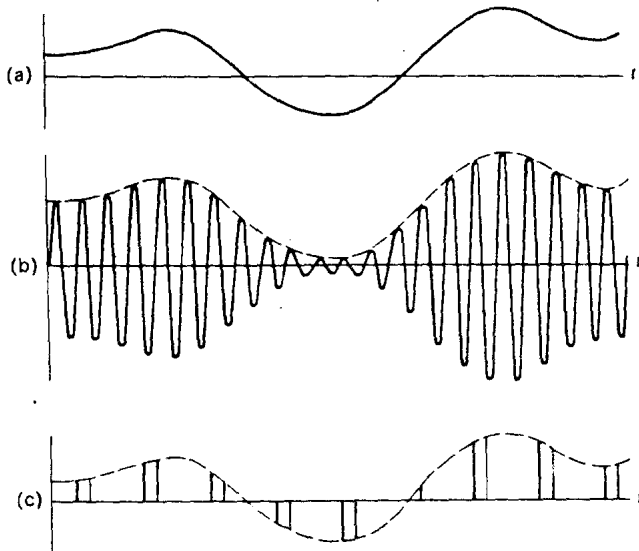


图 1.2-1 (a)调制信号；(b)已调幅的正弦载波；(c)脉冲调幅的载波

图 1.2-1 描绘了一段模拟调制信号(a)和相应的对正弦载波进行调幅后得到的已调信号(b)，这是大家熟悉的用于无线电广播和其它应用的调幅方式。消息也可通过调频(FM)或调相(PM)携带在正弦载波上，上述所有的正弦调制方法均属于连续波(CW)调制。

顺便指出，当你在说话时，你就是一个连续波调制器。在空气中传播的语音是由于声带的载波信号被口腔肌肉活动调制所产生的，这样，听到的语音是一个类似于调幅信号的声波。

绝大多数远距离传输系统采用连续波调制方式，其载波频率远高于调制信号的最高频率。已调信号的频谱是以载波为中心频率的频率分量带所组成，在此条件下，就说连续波调制方式产生了频率变换。如在调幅广播中，消息的典型频谱是 100Hz 到 5kHz 之间，如果载波频率是 600kHz，则已调信号频谱将复盖 595—605kHz 的范围。

另一种调制方法，称为脉冲调制，它以一个周期性窄脉冲串作为载波。图 1.2-1(c)表明了一个脉冲调幅(PAM)的波形。应该注意到，该 PAM 波形是对图 1.2-1(c)中的模拟信号抽样所构成的。抽样是一种重要的信号处理技术，在满足一定的条件下，能从周期抽样样本中重建原来的波形。

但是，脉冲调制本身并不产生有效信号传输所要求的频率转换，因而，某些发射器将脉冲调制和连续波调制结合起来。下面即将讨论的其它调制技术则将脉冲调制和编码结合起来。

调制的优点和应用

在通信系统中，调制的根本目的是产生一个适合于传输信道特性的调制信号。实际上，调制有几个实际的意义和应用，简述如下：

调制有利于有效传输 当信号在远距离传输时，不论是否存在导向介质，总涉及到一个电磁行波的问题。每种传输方法的效率均取决于发射信号的频率。利用连续波调制的频率转换特性，信息可携带在载波上，其载波频率由所采用的传输方法来选择。

例如，有效的视距无线电传播，要求天线几何尺寸至少是信号波长的十分之一。一个未调制的音频信号包括低到 100Hz 的频率成份，需要天线的尺寸约为 300km，而 100MHz 的调制传输，如调频广播，要求实际天线尺寸约为 1m。在 100MHz 以下的频率，其它传播模式利用适当