

信息传输基础

欧阳长月、主编 张捷 许宗泽 等编

北京航空航天大学出版社

451703

信息传输基础

欧阳长月 主编
张捷 许宗泽 等编



00451703

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书主要阐述和分析信息传输(包括模拟信息传输与数字信息传输,并以后者为主)的基本原理和性能指标。全书共分12章,包括信息传输的基本概念,信号和噪声的分析与特性,各种信息传输系统的组成,调制解调原理及性能指标,多路和多址信息传输,同步,纠错编码和最佳接收等原理,以及有关信息论的基本知识。内容全面,叙述清楚,便于自学。

本书可作为高等院校的信息工程、通信工程、电子工程等专业类的本科生教材,亦可供从事相关专业的科研和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信息传输基础/欧阳长月等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,1995.10
ISBN 7-81012-585-0

I. 信… II. 欧… III. 信息传输系统-基础理论 IV. TN919.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 09699 号

- 书名: 信息传输基础
XINXI CHUJIANSHU JICHU
- 作者: 欧阳长月 张捷 许宗泽
- 责编: 赵延水
- 出版: 北京航空航天大学出版社(邮编:100083 电话:2015720)
- 印装: 蓟县新潮印刷厂印装
- 发行: 新华书店总店科技发行所
- 经售: 各地新华书店
- 开本: 850×1168 1/32
- 印张: 18.5
- 字数: 496 千字
- 印数: 2500 册
- 版次: 1995 年 12 月第 1 版
- 印次: 1995 年 12 月第 1 次印刷
- 书号: ISBN 7-81012-585-0/TP·170
- 定价: 14.40 元

前 言

本书是根据原航空航天部教材编审委员会制定的编写大纲以及在三校原有教材多年教学实践的基础上编写的,作为信息工程、通信工程、电子工程、微波与天线工程等专业类的专业技术基础课程教材。

本书的宗旨是从系统的角度出发,阐述各种信息传输系统(即通信系统)的基本工作原理及其主要性能指标,一般不涉及具体电路,故定名为“信息传输基础”。根据传统的教学计划和教学大纲的要求,该课程主要涉及两方面的内容,一是信号调制和解调原理的阐述,二是系统性能(有效性与可靠性)的分析。前者确定了信息传输系统的体制,后者决定了信息传输的数量与质量,两者密切相关。

信息传输分为模拟传输与数字传输两大类。后者具有明显的优点,且是发展的主要方向;但考虑到前者是信息传输的基础,目前仍在大量使用;因此,在取材上既兼顾到了这两方面的内容,又加强了数字传输的份量。

由于本书是一本教材,加上出版字数所限,故只能阐述其基本原理。但考虑到信息传输技术的发展日新月异,为使学生学到一些新知识,以便更好地适应今后工作的需要,还是尽量注意到对新术的介绍。

与本课程直接有关的主要课程有“信号与系统”、“模拟电路”、“数字电路”、“通信电路”、“概率与随机过程”、“微波与天线”等。本书是基于学生已经学过这些课程的基础上进行编写的。

我们就是根据上述原则来组织基本内容和章节结构的,共分12章。

第一章为绪论,主要是说明信息与信息传输的基本概念,信息传输系统的组成及其主要性能指标,信息传输技术的发展概况等。

第二章是关于信号和噪声的分析和传输,虽然它的基本内容在先修课程中已详细讨论过了,但为了后述各章节的需要,这里还是有必要重复一下,以便给出有关的公式和结论供引用。

第三、四章分别讨论以正弦波作载波的两种模拟信息传输体制,即幅度调制和角度调制。内容主要包括各种已调信号的时域和频域分析方法、调制解调原理及其系统的抗噪声性能分析等。

第五章讨论以脉冲作载波的信息传输体制,包括脉冲模拟调制和脉冲数字调制两大类。其主要内容与第三、四章类同。

第六、七章讨论数字信号传输问题。第六章讨论的是数字信号的基带传输,内容包括数字基带信号的类型、传输及码间干扰,数字基带传输系统的传输函数、误码率、眼图等。第七章讨论的是数字信号的频带传输(即载波传输),内容包括现在常用的二进制和多进制的各种键控(即调制)体制以及最近若干年发展起来的一些新的数字调制技术。

第八章就目前广泛使用的多路信息传输和多址信息传输作了扼要的阐述,包括信号的分割原理,系统的组成、特点和性能及其应用情况等。

第九、十章分别讨论了数字信息传输系统中的两个关键技术即同步和纠错编码问题。第九章,在扼要地叙述了一般锁相环原理的基础上,讨论了载波同步、位同步和帧同步的各种方法和性能。第十章对纠错编码的基本概念和各种常用纠错码的工作原理、数学描述、电路构成及纠错能力等作了较详细的说明或推算。

第十一章扼要地阐述了信息传输系统的最佳接收原理,包括最佳接收准则和最佳接收方法、最佳接收机的构成和性能等。

第十二章介绍信息传输引论,目的是从信息理论的角度上来

讨论信息传输系统的性能及其制约条件与改进途径,并作为本书所讨论的基本内容的总结。

为了对各章的内容有一个概括性的了解,每章的开头都有一节引导性的说明。同时为了帮助读者对所学内容的理解 and 应用程度进行检验,各章后面均附有习题。

本书是由北京航空航天大学、西北工业大学、南京航空航天大学在原有教材的基础上,取长补短,合作编写而成的。欧阳长月为主编,并编写了第一、五章;张捷编写了第二、三、四、七章;仰书跃编写了第六章;程吉宽编写了第八章;陈星编写了第九章;许宗泽编写了第十章;陈吉忠编写了第十一章;王金秀编写了第十二章。最后由主编修改定稿。

清华大学曹志刚教授仔细审阅了书稿,提出了许多宝贵的意见,在此表示诚挚的感谢。

本书在编写过程中得到了有关单位的领导和同志们的大力支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,殷切希望读者批评指正。

编 者

1995.9

目 录

第一章 绪 论

1.0 引言	(1)
1.1 信息与信息传输	(1)
1.2 信息传输系统的组成及其各部分的功用	(3)
1.2.1 模拟信息传输系统	(3)
1.2.2 数字信息传输系统	(4)
1.3 信息传输系统中的调制与信道	(6)
1.3.1 调制与解调的作用	(6)
1.3.2 信道简述	(7)
1.4 信息传输系统的主要性能指标	(12)
1.5 信息传输技术发展概况	(14)

第二章 信号和噪声的分析与传输

2.0 引言	(18)
2.1 信号的频谱分析	(18)
2.1.1 傅里叶级数与傅里叶变换	(18)
2.1.2 能量密度谱与功率密度谱	(21)
2.2 卷积与相关	(25)
2.2.1 卷积的定义与性质	(25)
2.2.2 相关的定义与性质	(26)
2.3 解析信号与希尔伯特(Hilbert)变换	(32)
2.3.1 解析信号及其性质	(32)
2.3.2 希尔伯特变换	(34)
2.4 确定信号通过线性系统的传输	(38)
2.4.1 线性时不变系统的传输特性	(38)
2.4.2 无失真传输系统和理想低通滤波器	(39)

2.4.3	线性传输系统响应的能量密度谱与功率密度谱	(42)
2.4.4	带通传输系统的响应	(43)
2.5	随机过程及其通过系统的传输	(46)
2.5.1	随机过程的概念	(46)
2.5.2	概率分布函数和概率密度函数	(46)
2.5.3	随机过程的数字特征	(47)
2.5.4	平稳随机过程	(49)
2.5.5	高斯(正态)随机过程	(53)
2.5.6	平稳随机过程的功率密度谱	(55)
2.5.7	平稳随机过程通过系统的传输	(57)
2.6	噪声及其特性	(59)
2.6.1	白噪声与有色噪声	(59)
2.6.2	窄带噪声及其特性	(61)
2.6.3	余弦信号加窄带噪声及其特性	(66)
	习题	(69)
	参考文献	(72)

第三章 幅度调制

3.0	引言	(73)
3.1	标准调幅(AM)	(75)
3.1.1	调幅信号的产生及时域表示式	(75)
3.1.2	调幅信号的频谱	(77)
3.1.3	调幅信号的功率分配与调制效率	(78)
3.2	双边带调制(DSB)	(79)
3.2.1	双边带信号的时域表示式及频谱	(79)
3.2.2	双边带信号的产生	(81)
3.3	单边带调制(SSB)	(81)
3.3.1	单边带信号的频域表示及滤波法形成	(81)
3.3.2	单边带信号的时域表示及相位法形成	(83)
3.3.3	单边带信号的混合法形成	(85)
3.4	残留边带调制(VSB)	(87)
3.4.1	残留边带信号的频域表示及滤波法形成	(88)
3.4.2	残留边带信号的时域表示及相移法形成	(89)

3.5 线性调制的一般模型	(92)
3.6 幅度调制信号的相干解调	(96)
3.6.1 相干解调的基本原理	(96)
3.6.2 相干解调中频率和相位误差的影响	(98)
3.7 幅度调制信号的非相干解调	(102)
3.7.1 标准调幅信号的包络检波	(102)
3.7.2 插入载波法解调	(104)
3.8 幅度调制系统的抗噪声性能	(107)
3.8.1 信息传输系统抗噪声性能分析的模型	(107)
3.8.2 相干解调的抗噪声性能	(108)
3.8.3 非相干解调的抗噪声性能	(112)
3.8.4 插入载波法解调的抗噪声性能	(115)
3.9 幅度调制系统的性能比较	(116)
3.9.1 基带传输系统(BB)的抗噪声性能	(116)
3.9.2 幅度调制系统的性能比较	(117)
习题	(119)
参考文献	(122)

第四章 角度调制

4.0 引言	(123)
4.1 角度调制的基本概念	(123)
4.1.1 相位调制(PM)与频率调制(FM)	(123)
4.1.2 单音调相与单音调频	(126)
4.2 窄带角度调制	(128)
4.2.1 窄带调频(NBFM)	(129)
4.2.2 窄带调相(NBPM)	(132)
4.3 宽带角度调制	(134)
4.3.1 宽带调频(WBFM, FM)	(134)
4.3.2 宽带调相(WBPM, PM)	(142)
4.4 角度调制信号的产生与解调	(144)
4.4.1 角度调制信号的产生	(144)
4.4.2 角度调制信号的解调	(145)
4.5 角度调制系统的抗噪声性能	(149)

1.5.1 相干解调的抗噪声性能	(149)
1.5.2 非相干解调的抗噪声性能	(153)
1.5.3 角度调制与幅度调制系统的性能比较	(158)
4.6 门限效应与扩展门限的解调方法	(160)
4.6.1 调角信号解调时发生的门限效应	(160)
4.6.2 扩展门限的解调方法	(162)
4.7 预加重和去加重技术的应用	(166)
习题	(171)
参考文献	(173)

第五章 脉冲调制

5.0 引言	(174)
5.1 采样定理	(176)
5.1.1 低通信号采样定理	(176)
5.1.2 带通信号采样定理	(179)
5.2 脉冲幅度调制(PAM)	(180)
5.2.1 PAM 信号的产生与频谱分析	(180)
5.2.2 PAM 信号的解调	(186)
5.2.3 传输信道的带宽	(188)
5.2.4 PAM 系统的抗噪声性能	(189)
5.3 脉冲宽度调制(PDM)与脉冲位置调制(PPM)	(193)
5.3.1 PDM 与 PPM 信号的产生与频谱分析	(193)
5.3.2 PDM 与 PPM 信号的解调	(200)
5.3.3 传输信道的带宽	(202)
5.3.4 PDM 与 PPM 系统的抗噪声性能	(204)
5.4 脉冲编码调制(PCM)	(209)
5.4.1 PCM 的基本概念	(209)
5.4.2 信号的量化与量化误差	(212)
5.4.3 信号的编码与译码	(220)
5.4.4 传输信道的带宽	(227)
5.4.5 PCM 系统的抗噪声性能	(228)
5.4.6 多进制脉冲编码调制(MPCM)	(239)
5.5 增量调制(DM, ΔM)	(242)

5.5.1 简单增量调制	(243)
5.5.2 其他类型的增量调制	(253)
5.6 不同调制的传输系统的抗噪声性能比较	(261)
习题	(265)
参考文献	(268)

第六章 数字信号的基带传输

6.0 引言	(270)
6.1 数字基带信号的形式及表示式	(273)
6.1.1 数字基带信号的形式	(273)
6.1.2 数字基带信号的时域和频域表示式	(276)
6.2 数字基带信号的传输与码间干扰	(286)
6.3 数字基带传输系统的理想传输函数	(290)
6.3.1 无码间干扰的条件与奈奎斯特(Nyquist)准则	(290)
6.3.2 低通矩形传输函数与极限传码率	(294)
6.3.3 升余弦传输特性	(296)
6.4 数字基带传输系统的误码率与眼图	(297)
6.4.1 基带传输系统的误码率	(297)
6.4.2 眼图的概念	(298)
6.5 均衡原理	(300)
6.5.1 时域均衡的基本原理	(300)
6.5.2 时域均衡的实现	(304)
6.6 部分响应原理	(306)
习题	(312)
参考文献	(316)

第七章 数字信号的频带传输

7.0 引言	(317)
7.1 二进制幅移键控(2ASK)	(318)
7.1.1 2ASK 信号的产生	(318)
7.1.2 2ASK 信号的解调	(319)
7.1.3 2ASK 系统的抗噪声性能	(320)
7.2 二进制频移键控(2FSK)	(326)
7.2.1 2FSK 信号的产生	(326)

7.2.2	2FSK 信号的解调	(329)
7.2.3	2FSK 系统的抗噪声性能	(331)
7.3	二进制相移键控(2PSK)与二进制差分相移键控(2DPSK)	(331)
7.3.1	2PSK 与 2DPSK 信号的产生	(334)
7.3.2	2PSK 与 2DPSK 信号的解调	(337)
7.3.3	2PSK 与 2DPSK 系统的抗噪声性能	(338)
7.3.4	二进制数字调制系统的性能比较	(343)
7.4	多进制数字调制简述	(341)
7.4.1	多进制幅移键控(MASK)	(345)
7.4.2	多进制频移键控(MFSK)	(346)
7.4.3	多进制相移键控(MPSK)	(346)
7.5	数字调制技术的发展	(350)
7.5.1	最小频移键控(MSK)	(351)
7.5.2	平滑调频(TFM)	(356)
7.5.3	调制前高斯滤波的最小频移键控(GMSK)	(360)
习题		(361)
参考文献		(366)

第八章 多路传输与多址传输

8.0	引言	(367)
8.1	信号分割的一般原理	(368)
8.2	频分多路传输(FDM)	(372)
8.2.1	频分多路传输原理及系统模型	(372)
8.2.2	频分多路信号的特性	(378)
8.2.3	频分多路信号对主载波的调制	(382)
8.2.4	频分多路传输系统中的交叉干扰与抗噪声性能	(382)
8.3	时分多路传输(TDM)	(387)
8.3.1	时分多路传输原理及系统模型	(387)
8.3.2	时分多路信号的帧格式	(391)
8.3.3	时分多路传输系统的信道带宽与路际串扰	(394)
8.3.4	时分多路信号对主载波的调制与系统的抗噪声性能	(396)
8.4	多址传输简述	(401)
8.4.1	频分多址传输(FDMA)	(402)

8.4.2 时分多址传输(TDMA).....	(406)
8.4.3 码分多址传输(CDMA).....	(408)
8.4.4 各种多址传输系统的性能比较.....	(416)
习题	(418)
参考文献	(419)

第九章 同步原理

9.0 引言	(420)
9.1 锁相环的基本概念	(421)
9.1.1 锁相环的组成及各环节的功能	(421)
9.1.2 锁相环的相位模型与传输函数	(425)
9.1.3 锁相环的性能	(427)
9.1.4 噪声对锁相环的作用与影响	(431)
9.2 载波同步	(432)
9.2.1 载波同步的方法	(432)
9.2.2 载波同步的性能及其对传输系统误码率的影响	(440)
9.3 位同步	(442)
9.3.1 位同步的方法	(442)
9.3.2 位同步的性能	(448)
9.3.3 相位误差对传输系统误码率的影响	(451)
9.4 帧同步	(452)
9.4.1 帧同步的方法	(452)
9.4.2 几种常用的帧同步码	(453)
9.4.3 帧同步的保护	(464)
习题	(466)
参考文献	(469)

第十章 纠错编码

10.0 引言	(470)
10.1 纠错编码的基本概念	(470)
10.1.1 信道模型与错误图样	(471)
10.1.2 信道编码的一般概念	(472)
10.1.3 信道编码原理	(474)
10.2 线性分组码	(475)

10.2.1	线性分组码的基本概念	(475)
10.2.2	线性分组码的生成矩阵与监督矩阵	(478)
10.2.3	线性分组码的译码、标准阵列和伴随式	(483)
10.2.4	线性分码的纠错能力	(486)
10.3	循环码	(487)
10.3.1	循环码的定义与特性	(487)
10.3.2	循环码的多项式表示	(488)
10.3.3	循环码的生成多项式 $g(x)$ 和监督多项式 $h(x)$	(489)
10.3.4	循环码的编码	(493)
10.3.5	循环码的译码	(495)
10.4	卷积码	(499)
10.4.1	卷积码的基本概念	(500)
10.4.2	卷积码的矩阵描述	(502)
10.4.3	卷积码的编码	(508)
10.4.4	卷积码的译码	(509)
	习题	(512)
	参考文献	(514)

第十一章 最佳接收原理

11.0	引言	(515)
11.1	最佳接收准则	(515)
11.1.1	最小错误概率准则	(516)
11.1.2	最大似然准则	(518)
11.1.3	最大输出信噪比准则	(519)
11.2	匹配滤波式的最佳接收	(520)
11.2.1	匹配滤波器的导出	(520)
11.2.2	匹配滤波器的性质	(525)
11.2.3	用匹配滤波器组成的最佳接收机	(528)
11.3	相关检测式的最佳接收	(530)
11.4	最佳接收机的抗噪声性能	(535)
11.4.1	最佳接收机的错误概率	(535)
11.4.2	几种常用数字调制系统的误码率	(539)
	习题	(542)

参考文献	(514)
------------	-------

第十二章 信息传输引论

12.0 引言	(515)
12.1 信息的定义与量度	(515)
12.1.1 消息、信号、信息和信息量	(515)
12.1.2 信息的量度	(517)
12.1.3 信息速率	(519)
12.2 离散信道与连续信道	(549)
12.2.1 离散信道与连续信道	(549)
12.2.2 熵函数	(552)
12.2.3 互信息	(556)
12.2.4 信道容量	(557)
12.3 信噪比与带宽的互换	(561)
12.4 信源编码简介	(566)
12.4.1 信源编码的基本概念	(566)
12.4.2 最佳非定长编码的平均码字长度	(567)
12.4.3 信源编码的方法	(567)
习题	(569)
参考文献	(572)

第一章 绪 论

1.0 引 言

本章主要对信息传输(即通信)的基本概念,信息传输系统的组成、功用和性能指标,以及信息传输技术的发展概况作一简要说明,从而使读者有一个初步的了解,为后述各章的学习提供一个思路。

1.1 信息与信息传输

现在人们常将社会称为信息社会。这说明人类的社会活动,除了物质材料和能源的利用外,还与信息的交换和传输密切相关。其传输方式,在古代用烽火台、金鼓、旌旗等;在现代用书信、电话、电报、传真、广播、电视以及正在建设的信息高速公路等。将信息从一地传输至另一地的过程称为信息传输或通信。

信息可以理解为一种知识,指人们所获得的事件情况与原来已经掌握的事件情况的不同内容。如果某人获得了他以前不能确定的事件情况,就说他获得了信息。因此,信息可被认为是包含着不确定因素的事件。

消息是信息的载荷者,是人们易于解释的一种具体概念,如语言、音乐、文字、数字、图象等。同一信息可用不同的消息来载荷,如某一事件,既可用语言来表达,也可用文字来描述。

根据信息和消息的这种含义可知,信息传输或通信的根本目的在于传输含有信息的消息,否则就失去了消息传输的意义。不过

在实际使用中,人们常常将信息和消息理解为一个同义语,并不严格区分它们的含义。

信号是表示消息的物理量。由于消息载荷着信息,因此也可将信号看成是直接表示信息的物理量。在信息传输中,目前使用的信号主要是电信号,因为它能迅速有效和准确可靠地传输,且不受时间、地点和距离的限制。此外,近 20 年来,随着光纤通信技术的发展,借助于光信号来传输信息也是一种十分重要的方式,但就其传输原理,它与电信号是类同的。本书所指的信号,如无特别说明,都是指电信号。

由于信号种类繁多,为了与其他信号相区别,我们将直接表示信息的信号(电压或电流波形)称为信息信号。从频域的观点来看,大多数信息信号都是基带信号,即低通型信号,因而通常将一个由直流(零赫兹或接近零赫兹)到小于兆赫兹级的有限频谱分量构成的信号称为基带信号或低通型信号。例如,电话信号和电视信号的频谱被分别限制在 $300\sim 3400\text{Hz}$ 和 $0\sim 6\text{MHz}$ 范围内。

从时域的观点来看,信息信号分为连续(或模拟)信息信号与离散(或数字)信息信号,例如,普通电话机输出的信息信号属于前者,电传机输出的信息信号属于后者。模拟信号是指幅度和(或)时间为连续变化的信号,数字信号是指幅度和时间均为离散变化的信号。本书一般用 $f(t)$ 表示模拟信息信号,用 $g(t)$ 或 $s_{\text{DIG}}(t)$ 表示数字信息信号。

对于模拟信息信号,通常总是存在这样一个角频率 ω_f (弧度/秒或 rad/s),大于它的频谱分量可以忽略不计。因此,它也是一个限带信号。在此说明,本书为简化起见,有时把角频率(rad/s)和频率(Hz)都说成频率,并且所使用的符号基本上都是 ω (或 ω),至于它的实际含义是频率还是角频率,则应根据上下文来确定。

基于上述关于信息、消息、信息信号等概念的理解,如果单从传输的角度来讨论问题,那么“信息传输”、“消息传输”、“信息信号传输”或“通信”的概念是等价的,都是指的同一事实。在本书以后