

高等学校电子类系列教材

信息信号 与系统

陈元亨 等编著

四川大学出版社



信息信号与系统

陈元亨 等编著

责任编辑:周树琴 周路路
责任校对:张春燕
封面设计:罗 光
组稿策划:周树琴
责任印制:李 平

内容简介

本书是电子信息、通信、信号处理、自动控制、计算机以及电子系统设计的基础。

全书包括绪论、信息与信息系统、信号的频谱、信号变换域分析、信号时域分析、随机信号分析、连续线性时不变系统分析和离散线性时不变系统分析,对信息、信号与系统的信息特性和物理特性作了较全面的讨论。全书对物理概念的阐述深刻明确,数学表述和推演论证严谨简明。

本书可作为信息与计算科学,电子信息科学与技术,计算机科学与技术,电子学与信息系统,信息工程,电子信息工程,通信工程,信息安全,工业自动化,电子商务,电子工程等专业的本科生的教材,以及非信号处理和非通信与信息系统的硕士生、电子信息类工程硕士生的教材或参考书。同时,作为电子信息产业的研发人员、工程技术人员、大专和职业技术专科及职中教师的参考书亦是十分合适的。

图书在版编目(CIP)数据

信息信号与系统 / 陈元亨等编著. —成都:四川大学出版社,2003.8
ISBN 7-5614-2649-6

I. 信... II. 陈... III. ①信息系统②信号系统
IV. ①G202②TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 068720 号

书 名 信息信号与系统

编 著 陈元亨 等
出 版 四川大学出版社
地 址 成都市一环路南一段 24 号 (610065)
印 刷 华西医科大学印刷厂
发 行 四川大学出版社
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 22.25
字 数 520 千字
版 次 2003 年 8 月第 1 版
印 次 2003 年 8 月第 1 次印刷
印 数 0 001~4 000 册
定 价 35.00 元

◆读者邮购本书,请与本社发行科
联系。电 话:85408408/85401670/
85408023 邮政编码:610065
◆本社图书如有印装质量问题,请
寄回印刷厂调换。

版权所有◆侵权必究

◆网址:www.scupress.com.cn

前 言

本书是作者在四川大学电子信息学院、四川师范大学电子信息工程学院数十年教学实践的基础上,以原有的《信息与信号理论基础》一书为底本,删除了不需在本课程中讲述的内容,增加了本学科的新内容,反复精练而成的。全书包括了教育部颁发的“信息与信号理论基础”、“信号与系统”、“无线电理论基础”等课程教学大纲的全部内容并稍有扩充,以适合作相关专业的硕士生教材。

书中绪论介绍本课程的研究对象、内容、发展历史和本课程的地位及目的等。第1章讲述信息理论基础。第2章至第5章,依次讲述信号的频谱分析、复频域分析、时域分析和随机信号分析。第6、第7章分别讲述连续线性时不变系统和离散线性时不变系统,包括系统的概念、数学模型、系统特性、信号通过系统的响应及系统模拟。全书对信息、信号、系统分析的基本问题、基本内容、基本方法和基本结果做了全面而系统的讲述;对信息系统的信息特性、物理特性、教学描述和分析,进行了较为深入的讨论。虽然在系统分析部分只着重于线性时不变情况,但书中也涉及到非线性系统和时变系统的典型情况的分析方法。

为顺利学习本书内容,读者应具有高等数学、线性代数、概率论、复变函数、物理、力学和电子线路等基础知识。

本书的主要特点:一是以信息及其传输的观点讲述信息、系统及信号,通过系统的基本理论,使整个课程的主线索更为清楚和明确。二是以本门课程的研究对象:信息、信号和系统作为讲述内容,在体现基础课自身特点的同时,也使信息、信号与系统的主线索清晰,避免了与数学中相关内容的重复,突出了物理概念和解决问题的逻辑思路,从而对培养学生独立分析问题、解决问题的能力有较大的益处。三是从信号分解成基本成分的观点出发,利用傅里叶(Fourier)级数和积分,拉普拉斯(Laplace)积分, z 变换等数学工具,讲解信号的离散频谱、连续频谱密度、复频域分析,复 z 域分析等。首先使研究的客观事物更加明确,以及学会怎样运用数学工具来解决问题,并在解决问题中熟练地运用数学知识和扩充数学知识。其次相对于在系统分析中引入的这些数学工具来说,本书克服了对这些数学工具的局限性。因为在系统分析中,所遇到的函数都是有因果关系的,它只涉及单边变换,而在信号分析中则不是这样。再次,选材既注意基础知识,又充分考虑到本学科的发展情况。为此,本书删除了一些较老且过于繁杂而又不便于计算机处理的知识内容,

如反变换的查表法、部分分式展开法,以及已经过时的相关函数测试法等,增加了极为有用的知识和新的研究成果,如短时谱、逗留相位原理、循环卷积、率失真函数、系统模拟等内容。

为了配合本书内容的学习,每章之后附有思考题和习题,以帮助读者正确理解书中的概念、方法和结果,以及解题技巧,此外在附录中列有习题参考答案,供解题时自我检查之用。

本书若作为本科生“信号与系统”或“信息信号与系统”课程的教材,可安排90学时讲课(含习题课),从绪论到第7章依次讲课的学时可分配为:4, 12, 16, 12, 10, 10, 12, 14。如安排72学时讲课,则可将第1章和第5章作为参考阅读材料,不予讲授。如作为专科生“信号与系统”课教材,主要讲绪论,第2、第3、第6、第7及第4章的4.1和4.2两节。作为非信号处理、非通信与信息系统专业的硕士生和工程硕士的参考教材时,则可将有*号的章节列入必学内容。

本书作为从事信息产业的科技研发人员、工程设计人员、研究生、大中专相关教师的参考书亦是十分合适的。

本书的习题及参考答案是由四川大学钟国法、鲜长久二位副教授完成的。鲜长久副教授完成了绪论并参与了第6章的工作,校正了第1、第5章;其余部分及全书统编是由四川大学教授、四川师范大学电子信息工程学院特聘教授陈元亨(为本书的主编)完成的。

本书在成书过程中,得到了教育部理科无线电教材编审委员会,四川大学教务处、四川大学出版社、电子信息学院,四川师范大学电子信息工程学院的支持、帮助和鼓励,作者在此致以诚恳的谢意。同时还要感谢在本书的成书过程中,给作者以鼓励并提出许多宝贵意见的同行们,他们是:辽宁大学刘成诚教授,内蒙古大学钟鹏飞教授,新疆大学鹿笃伟教授、尼买堤教授,浙江大学张礼和教授,安徽大学张良震、汪铭芳教授,南开大学张延昕教授,电子科技大学张宏基教授,武汉大学廖孟扬教授以及参加教育部委托四川大学举办的“信息理论”讲习班的老师们。

本书主编在几十年的教学实践和著书过程中,是其过世的妻子苏秀清老师的爱和无私的奉献支撑着完成的。

限于编者水平,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编著者

2003年5月

目 录

绪 论	(1)
0.1 信息、信号与系统的研究对象	(1)
0.1.1 信息、信号与系统的概念	(1)
0.1.2 信息、信号与系统理论	(2)
0.1.3 信息、信号与系统理论的发展	(4)
0.1.4 中华民族对信息、信号与系统理论的贡献	(5)
0.2 信号的描述与类型	(5)
0.2.1 信号的描述方法	(5)
0.2.2 信号的分类	(6)
0.3 系统的描述和类型	(9)
0.3.1 系统的基本概念	(9)
0.3.2 物理系统的分类	(11)
0.3.3 线性时不变系统的分析方法	(15)
第 1 章 信息与信息系统	(17)
1.1 信息及传输系统模型	(17)
1.2 信息的度量	(19)
1.2.1 信源的数学模型	(19)
1.2.2 信源的熵 $H()$	(22)
1.2.3 信息量	(26)
1.3 信道和信道容量	(27)
1.3.1 信道的数学模型	(28)
1.3.2 传输速率	(29)
1.3.3 信道容量	(31)
1.4 信息率失真函数 $R(D)$	(34)
1.4.1 失真的描述	(34)
1.4.2 信息率失真函数	(36)
1.5 编码	(38)
1.5.1 信源编码	(39)

1.5.2 信道编码	(42)
思考题	(44)
习 题	(45)
第2章 信号的频谱	(46)
2.1 离散频谱	(46)
2.1.1 周期信号的简谐波展开式	(46)
2.1.2 离散频谱的概念	(49)
2.1.3 某些典型信号的离散频谱	(51)
2.1.4 离散频谱的性质	(57)
2.2 连续频谱密度	(62)
2.2.1 能量型信号的傅里叶积分展式	(62)
2.2.2 连续频谱密度的概念	(64)
2.2.3 一些典型信号的频谱密度	(67)
2.2.4 频谱密度的性质	(73)
2.3 功率谱与能量谱	(91)
2.3.1 能量谱密度	(91)
2.3.2 功率谱密度	(92)
* 2.4 信号频谱的近似分析	(96)
2.4.1 吉布斯 (Gibbs) 现象	(96)
2.4.2 逗留相位原理	(97)
2.4.3 短时频谱的概念	(103)
2.5 离散信号的离散谱密度——离散傅里叶变换	(104)
2.5.1 离散傅里叶变换的概念	(104)
2.5.2 离散傅里叶变换的性质	(108)
2.5.3 离散信号的离散傅里叶变换与其频谱密度的关系	(113)
思考题	(115)
习 题	(115)
第3章 信号的变换域分析	(123)
3.1 信号的复频域分析——拉普拉斯 (Laplace) 变换	(123)
3.1.1 拉普拉斯变换的基本概念	(123)
3.1.2 拉普拉斯反变换的计算	(129)
3.1.3 拉普拉斯变换与谱密度的关系	(131)
3.2 离散信号在复 z 平面的分析—— z 变换	(134)
3.2.1 z 变换的基本概念	(134)
3.2.2 z 变换的性质	(143)
3.2.3 z 反变换的计算	(151)

3.3 信号在希尔伯特空间的分析——希尔伯特 (Hilbert) 变换	(155)
3.3.1 希尔伯特变换的基本概念	(156)
3.3.2 希尔伯特变换的性质	(158)
* 3.4 离散余弦变换	(161)
思考题	(164)
习 题	(164)
第 4 章 信号的时域分析	(169)
4.1 信号的抽样	(169)
4.1.1 抽样定理	(169)
4.1.2 抽样过程中的频谱变化及与 DFT 的关系	(174)
4.2 信号的振幅量化	(177)
4.2.1 信号振幅的量化方法	(177)
* 4.2.2 量化定理	(179)
* 4.2.3 量化噪声的统计性质	(180)
* 4.2.4 量化输出信噪比	(181)
4.3 实信号的复解析表示	(182)
4.3.1 实信号及其主要特征	(182)
4.3.2 实信号的复解析表示形式	(184)
4.3.3 简谐实信号的相量表示形式	(186)
4.4 信号的相关分析	(187)
4.4.1 信号的相关系数	(187)
4.4.2 相关函数的概念	(191)
4.4.3 相关函数的特性	(192)
思考题	(196)
习 题	(196)
* 第 5 章 随机信号分析	(198)
5.1 随机信号的概念	(198)
5.2 随机信号的统计分布描述	(199)
5.2.1 随机信号的一维分布	(199)
5.2.2 随机信号的多维分布	(201)
5.2.3 随机信号的特征函数	(202)
5.2.4 随机信号的联合概率分布	(203)
5.3 随机信号的平均表征	(204)
5.3.1 随机信号的集平均表征量	(204)
5.3.2 随机信号的时间平均表征量	(213)
5.3.3 各态历经性随机信号	(215)

5.3.4 随机信号的功率谱	(217)
5.4 某些典型的随机信号	(218)
5.4.1 高斯随机信号	(218)
5.4.2 白噪声	(221)
5.4.3 窄带高斯随机信号	(223)
5.4.4 均匀分布随机信号	(226)
思考题	(227)
习 题	(227)
第6章 连续线性时不变系统分析	(230)
6.1 连续线性时不变系统的微分方程分析	(230)
6.1.1 微分方程的建立步骤	(230)
6.1.2 微分方程的传输算子表示	(233)
6.1.3 系统响应——微分方程的解	(234)
6.1.4 系统性能分析	(243)
6.2 连续线性时不变系统的冲激响应分析	(245)
6.2.1 冲激响应的概念和特性	(245)
6.2.2 利用冲激响应 $h(t)$ 求系统响应	(246)
6.2.3 系统冲激响应 $h(t)$ 的确定方法	(247)
6.3 连续线性时不变系统的频域分析	(249)
6.3.1 系统频率响应的概念和特性	(249)
6.3.2 利用频率响应特性求系统的响应	(252)
6.3.3 几种特殊系统的频率响应特性	(254)
6.3.4 确定系统频率响应特性的方法	(257)
6.4 连续线性时不变系统的复频域分析	(258)
6.4.1 系统传输函数的概念和特性	(258)
6.4.2 系统的信号流图	(260)
6.4.3 传输函数的确定方法	(264)
6.5 连续线性时不变系统的模拟	(265)
思考题	(267)
习 题	(268)
第7章 离散线性时不变系统分析	(273)
7.1 引言	(273)
7.2 离散线性时不变系统的差分方程分析	(274)
7.2.1 差分方程的建立步骤	(274)
7.2.2 系统响应——差分方程的解	(280)
7.2.3 系统性能分析	(286)

7.3 离散线性时不变系统的冲激(单位样值)响应分析	(289)
7.3.1 冲激响应的概念和特性	(289)
7.3.2 冲激响应 $h(n)$ 的确定方法	(290)
7.3.3 离散线性卷积的计算法	(292)
7.4 离散线性时不变系统的复频域分析	(297)
7.4.1 脉冲传输函数的概念和特性	(297)
7.4.2 确定脉冲传输函数的方法	(299)
7.5 离散线性时不变系统的频域分析	(301)
7.5.1 频率响应的概念和特性	(301)
7.5.2 频率响应的确定方法	(303)
7.6 离散线性时不变系统的模拟	(305)
思考题	(308)
习 题	(308)

附录

附录 I: 常用周期信号的傅里叶级数及离散频谱	(313)
附录 II: 常见信号的频谱密度	(315)
附录 III: 连续信号的卷积(线性)表	(320)
附录 IV: 离散信号的卷积(和)表(线性)	(321)
附录 V: 常用离散信号的 z 变换表	(322)
附录 VI: 传输算子 $H(p)$ 与 $h(t)$ 的关系表	(323)
附录 VII: 传输算子 $H(E)$ 与 $h(n)$ 的关系表	(324)
附录 VIII: 级数求和表	(324)
附录 IX: 习题参考答案	(325)

参考文献	(343)
------------	-------

绪 论

0.1 信息、信号与系统的研究对象

0.1.1 信息、信号与系统的概念

一、信息

在人类社会和自然界中,除物质运动和能量做功外,还有一类管理控制物质运动和能量做功的活动。在这种称为管理或控制的活动中,首先就是得“知”,即获得客观事物运动规律的知识,在获得知识以后,则需经过分析、比较,推断出怎样的运动规律更为有利;之后又需进行传“知”,即传出使客观事物按有利规律运动的指令、命令等。在这些活动中得到或传出的“知”,更确切地说是“新的知识”。这些“新的知识”的抽象概括,称之为信息。

由于人们要获得信息,必然要依靠自己的感官去感觉物质世界,所以也可以说,信息是物质存在的一种表现形式,它是物质存在和运动时表现出的物理现象中所包含的关于物质及运动的特征,它能给人们以新的知识。

所谓“新的知识”,就是原来不知道的事物或者原来不能完全肯定的事物。这类事物,在统计学中称为随机事件,所以信息是和随机性紧密联系的。按照近代的观点,信息又是事物确定性程度的标志,即信息反映了事物所包含的物质和能量在空间和时间中的不均匀分布。

另一方面,得“知”和传“知”,即得到信息和传出信息,都含有一个传输的意思,传输就是流动,所以信息和流动又是紧密联系在一起的。

信息是人类社会和自然界中需要传送、交换、存储和提取的抽象内容。信息存在于一切事物之中,事物的一切变化和运动都伴随着信息的交换和传送。从远古的生物进化到当代形形色色的科学和社会活动,如人和动物对外界事物的感觉、大脑的思维、无线电波的传播、计算机的运算等等都是信息交换和传输的过程。信息是如此地普遍存在,又是如此的重要,它是人类认识世界和改造世界的知识源泉。

二、消息和信号

由于信息是抽象的内容,为了传送和交换它,必须用语言、文字、图像和数据将它表示出来。人们称表示信息的语言、文字、图像、数据等为消息。消息在许多情况下是不便传送和交换的,如人的自然声音就不宜远距离传送。为此,需要用光、声、电等物理量来运载消息,载有消息的光、声、电等物理量被称为信号。信号用数学式子写出来就是时间或空间的函数,也可能是时间、空间的多元函数,它们的几何图形称为信号波形。由此可见,信息、消息和信号是互相区别又互相联系的,消息是信息的具体表现形式,信号是含有信息的一个载体。

三、系统

信息的交换、传送、存储和提取是借助于信号来完成的,而信号是物理量,它的传输、存储和处理必须借助于物理设备才能实现,这些传输、存储和处理信号的设备总称为系统。详细地说,系统是由各个不同的部分按照一定的方式组成的一个整体并能完成某种任务的设备总称。这个任务从抽象的观点看,就是传输、存储和变换信号,使自然界、人类社会、生产设备按照人们所希望的方式运动和变化。所以系统的组成和特性应该由信息和信号决定,它的功用是产生、变换、传输信号和执行信号指令。

从这个定义可以看出,系统一词有如下一些含义:

(1) 组成系统的各个部分的性质或行为,必然影响到系统总的性质或行为。如在人体这个系统中,每一个器官的性质或行为必然影响人体这个整体系统的性质或行为。

(2) 系统中每一个部分的性质或行为,以及它影响整体系统性质或行为的方式、途径,依赖于其他部分的性质或行为。换句话说,系统中没有任何一个部分是独立影响整体系统的;同时,系统中任意一部分必然受到其他部分的影响。

(3) 系统不能分解成独立的子系统。例如人体系统中的神经系统、呼吸系统、消化系统等子系统,都不能与人体分割而成独立的系统。

由上所述可知,系统具有明显的整体性,系统的行为或性质,决不是组成它的任何一部分所具有的。如人走路这一行为,人体中任何一个部分都不能单独完成。此外,系统还具有明确的目的性、相关性和对环境的适应性。

0.1.2 信息、信号与系统理论

由上述可知,信息、信号、系统是有机联系的一个整体,所以信息、信号与系统理论就是研究信息、信号和系统的概念、特性及内在联系的一门课程,它是现代技术科学、现代管理科学的基础。

信息、信号与系统虽是不可分割的,但在研究它们的时候,仍然分别形成了各自的学科。本课程不可能全面讲授它们的全部内容,但是从信息的概念和观点来讨论信号的表示、信号的特性以及信号通过系统的加工处理与传输原则,则是必须的,也是可能的。下面我们介绍信息、信号和系统理论的概貌。

一、信息理论

若把信息的传送、交换、存储和提取的方式和方法称为信息技术,则可以说它是和生物同时出现的。但研究信息和信息传送、交换、存储和提取的理论,即信息论还是从20世纪20年代至40年代末才建立的一门新学科。它研究信息的度量问题,传输信道的容量和率失真函数以及编码问题。这一理论的基础是C·E·山农(C.E.Shannon)在1948年发表的“通信的数学理论”论文奠定的,所以常常称之为山农信息论。又由于它是基础理论,所以也称之为基础信息论,有时也称为狭义信息论。

自基础信息论建立以后,这一学科得到了很大的发展,它不仅研究通信系统的理论问题,还研究噪声、信号滤波、检测、估值、信号预测、调制与信息处理等方面的理论。通常把这种发展了的信息论称为工程信息论或一般信息论。

目前社会上所说的信息论,不仅包括基础信息论和工程信息论,而且还包含一切与信息

有关的领域,如心理学、语言学、神经生物学等。它所涉及的研究对象不仅包括物理的人工信息系统、自然信息系统,还包括社会组织、经济组织、生产管理组织等非物理信息系统,人们把这种信息论称为广义信息论。

信息论的发展除了扩大研究内容和研究对象的范围外,同时对信息的描述和度量也在发展。首先从信息的意义上,提出了语言信息、语义信息、语用信息等概念;另外 20 世纪 70 年代以来,有人不是像山农等人那样从随机性和统计理论研究信息,而是从非随机的模糊性和模糊理论来研究信息,提出了模糊信息理论,这些都还正在发展中。

本书以工程信息论的观点来讨论信息、信号和系统,首先介绍基础信息理论,然后讨论信号分析和系统分析。这些都是工程信息论和广义信息论的基础。

二、信号理论

前面已经指出,信息必须借助信号才能传送、交换、存储和提取,所以在信息系统中,信号是一个重要的客体。它一方面包含着信息,另一方面由于系统是传输、变换、处理信号的,其特性应由信号决定。因此,必须比较透彻地了解和研究信号的各种属性。

研究信号的理论涉及面很广,内容十分丰富,从大的方面来说大致可分为两部分。一部分是信号分析,它研究信号的解析表示、信号有用性质的数值特征、信号的变换和处理等;另一部分是信号的综合,它讨论根据一定的要求设计或选择信号的最佳形式。信号分析与信号综合两个方面虽有区别,但它们又是互相联系、互相制约的,信号分析是综合的基础,所以本书的重点是讨论信号分析。

研究信号应包括四个主要方面的特性,即频谱特性,它表明信号占有的频带;时间特性(变化率),它表明信号的分解程度;信息特性,它表明信号的信息含量,以及表明信号所具有的能量或功率的能量特性。它们分别从频域(及复频域)、时域、信息和能量四个不同的角度对信号进行了深刻的描述。而且它们各有其特殊意义,但同时又存在着密切的联系。在分析信号的频谱特性时,我们用到傅里叶级数和傅里叶积分;在研究信号的分解程度或变化率时,用到的则是微分方程、差分方程、拉普拉斯变换和 z 变换;至于涉及到信息含量时,就须借助于概率与统计理论以及模糊理论。本书的前 5 章便是从这几个方面对信号进行讨论的。

三、系统理论

目前对系统的研究产生了一个引人注目的哲学命题——系统论。系统论开始只是在自然科学和工程技术中描述复杂因果关系的最重要方法和最有效的手段,现在发展为研究国民经济、国家法制、国家行政管理等人文和社会科学的重要方法和有效手段。

研究系统理论的方法,不是把一个待研究的事物分成许多独立的部分来分别进行研究的传统研究法,而是把待研究的事物看成一个整体的系统,从系统的整体出发来研究系统内部各组成成分之间的有机联系及其与外界的相互关系,这种研究方法称为综合研究法,它避免了传统研究法容易把事物看成孤立的、静止的,以及研究结果的局限性。

本书只讨论实体(物理)系统,研究物理系统的还有电路、网络理论。电路、网络理论更侧重研究系统内部各成分的联系和对总体的影响,而系统理论则着重于从总体、从全局来考虑问题。但是目前电路、网络理论和系统理论在研究问题的科学思想上相互渗透、相互递进,在研究问题的方法上又趋于相互协调、相互统一。

对系统的研究有两个方面,一是系统分析,一是系统综合。本书没有专门讲述系统综合理

论,但是在一些章节的讨论中,也涉及了系统综合的原理。在讨论系统分析时,主要研究的是线性时不变系统。因为它是广泛存在的实体系统,而且它的理论结果是研究其他系统的基础,特别是有些非线性系统或时变系统在限定范围与指定条件下,遵从线性时不变系统的规律。另一方面线性时不变系统的分析方法,已经形成了完整的、严密的体系。

对系统进行分析,首先是建立系统的数学模型;然后根据输入作用及系统的历史进程,求解系统的状态或响应;最后是将求得的状态或响应与对系统的要求相比较,从而决定是否对系统进行校正。

0.1.3 信息、信号与系统理论的发展

在人类的发展与进化过程中,就出现了人与人之间的相互通信,就进行着信息、信号的传输、交换。早在五千年以前,我们的祖先就发明了文字,解决了信息的存储问题,开始并完成了人们常说的所谓第一次信息(或通信)革命。约在两千年前,我国又发明了造纸术以及后来的印刷术,开始并完成了所谓第二次信息革命,使信息的传输、交换、存储得到了很大的改进。18世纪30至70年代,美国人莫尔斯(Morse)和贝尔(Bell)分别在1832—1842年和1876年发明了电报、电话,进一步改善了信息的传输、交换、存储和提取,开始并完成了所谓第三次信息革命。20世纪50年代初电子计算机的出现和广泛使用,便开始了所谓第四次信息革命,推动了通信技术、控制技术和电子计算机技术(即所谓三C技术)的发展,使人们认识到了信息的重要性,明确了人类社会发展的速度,在一定程度上取决于人们对信息的利用水平。

人们有意识地利用信号来传输、交换、存储信息,则可追溯到公元前七百余年前,我们的祖先就以烽火台的火光来传送敌人入侵的警报,这是历史记载的最早信号。随后,人们又利用击鼓和鸣金传达战斗的命令。古希腊人还利用火炬的位置表示不同的字母。在那时,信号的形式和内容以及传送信号的方式都是简单的,随着人们实践活动的日益增多和科学技术的日益发展,要求传送的信息内容相继复杂,信号的形式也因而增多,波形也更为复杂。电报、电话的发明,使人们懂得预先编制电码,通过传输电信号,实现快速的长距离信息传输,从而使信息技术得到极大的发展。

在第一次世界大战以后关于电噪声的发现和噪声理论的建立,大大促进了信息与信号理论的产生。

虽然人们早已在利用信号和系统传送、变换、提取信息,但是信息、信号与系统作为理论进行研究,还是20世纪20年代以来的事。在第一次世界大战期间,致力于无限提高通信接收机的增益遭到失败,使人们发现了电子设备内部的噪声。当接收机增益足够高以后,它的内部噪声就淹没了携带信息的有益信号。这一发现导致噪声理论的建立,从而使人们认识了噪声是妨碍信息传输、交换及提取的。为了和噪声进行斗争,20世纪20年代末以奈奎斯特(Nyquist)和哈特莱(Hartley)为代表的一些科学家、工程师研究了通信系统的传输能力,开始了信息、信号理论的研究。在第二次世界大战前后,发明了雷达、调频通信并利用噪声制造人为干扰,这更促进了信息信号理论的发展,因而在1942年N·维纳(N. Wiener)建立了信号的预测与过滤理论,1943年诺斯(North)建立了匹配滤波理论。1948年山农(shannon)创立了信息理论,同一年维纳创立了控制论。这样就把信息、信号、系统这三个客观事物联系在一起,用信息的观点研究信号与系统以及利用信号的特性载荷信息和设计系统,这就正式形成了信息

与信号理论。

信息、信号理论一经建立,就得到了广泛的应用并使通信、雷达、声纳、地震勘探等系统的信息传输、变换、存储、提取的质量大大改善。目前在社会生活、国民经济和科学技术的所有领域里,不论是数理、天文、国防、工程和医学,还是生产、管理、社会科学和日常生活,无不包含信号的分析与处理和信息的传输、交换、存储及提取。

0.1.4 中华民族对信息、信号与系统理论的贡献

翻开信息信号与系统理论的发展史,我们可以发现,中华民族是做出了极其伟大的贡献的。今天人们所谓的四次信息或通信革命,以从语言到文学为特征的第一次信息革命,首先发源于中华民族,并最先在五千年以前就基本完成了这次革命。例如在计算机语言处理中,我们民族的单音字、合成词在现代科学中,仍是最优异的文字。以造纸和印刷术的发明,解决了信息的存储并便于处理。所谓第二次信息革命,仍是我们中华民族最早进行和完成的。

在利用信号传递信息方面,早在公元前 700 年,我们的祖先就以烽火台的火光来传送敌人入侵的情报,并发明了接力通信方式,今天的无线接力通信系统就是这种通信方式的发展。鸣金、击鼓、打锣传递信息,我国也是最早发明的。

由此可见,中华民族在历史上对信息、信号和系统理论做出了杰出的贡献。但是在近代,我们的国家落后了。尽管这样,我们中华民族对信息、信号与系统理论还是做出了很多贡献,例如 20 世纪 50 年代李郁荣博士在相关理论的实现中取得了很大的成就,推动了最佳信号处理的发展。钱学森先生的《工程控制论》,至今仍被引为经典。

0.2 信号的描述与类型

0.2.1 信号的描述方法

为了对信号进行分析、研究,必须用数学方法来表示、描述信号,即建立信号的数学模型。信号的数学模型有三种:① 函数表达式;② 波形图;③ 数据表。

函数描述法是将信号表示成一个或多个自变量的时间或空间的实函数或复函数。

例如我们所熟知的正弦函数

$$f(t) = A\sin(\omega t + \theta), \quad -\infty < t < \infty \quad (0-2-1)$$

代表一维连续时间信号,而正弦函数

$$f(n) = A\sin(\omega n + \theta), \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (0-2-2)$$

则代表一维离散时间信号。为了叙述方便,常常把信号和函数两个名词不加区别地互相通用。

波形描述法是按照函数随自变量的变化关系,画出信号的几何图形即波形图。式(0-2-1)、式(0-2-2)所表示的正弦信号的波形如图 0-2-1(A)、(B)所示。与信号的函数表达式相比,信号的波形图更形象、更直观,且更具一般性。有些信号,虽然难以写出其闭合的函数表达式,但却可以画出它的波形图。

随着分析、研究问题的深入,信号还可以表示成频率或其他自变量的函数。一般把这种方

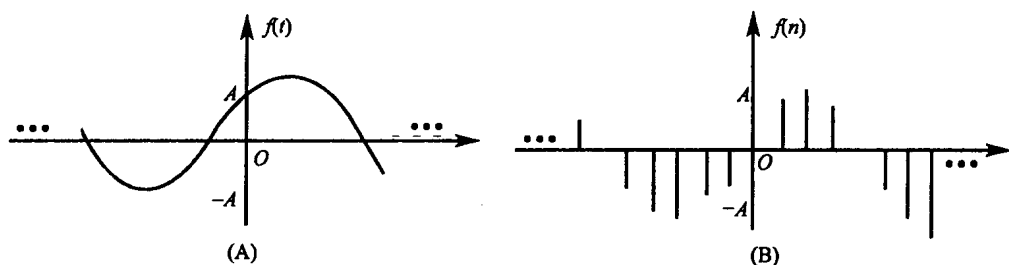


图 0-2-1 正弦信号的波形

法称为信号的变换域分析。

0.2.2 信号的分类

信号的形式是多种多样的,要分析、研究信号,必须将其进行分类。信号的分类方法很多,常用的是下述分类法。

一、确定信号与随机信号

按照信号幅度取值的确切性与不确切性,可将信号分成确定信号与随机信号两类。

所谓确定信号,是指能够表示成确定时间函数的信号。也就是说,当给定某一时间值时,信号有惟一确定的数值;再次观察时,肯定重复前次的值。随机信号是指在任一给定时刻,信号的值不是惟一确定的;再次观察时又肯定不重复。所谓随机是指不可确切预知和不肯定重复。对于随机信号,既不能写出其一个确切的函数表达式,又不能画出其一个惟一的波形图,通常用一个函数的集合 $\{n_i(t)\}$ 或随机矢量 $N(t)$ 来表示。

严格地讲,确定信号是不存在的,一切信号都是随机信号。但是如果我们把某些随机参量取值范围很小的随机信号当作确定信号来分析、处理,可使问题大为简化,也便于工程应用。

二、连续时间信号与离散时间信号

由于信号可以表示成时间自变量的函数,因此,按照信号自变量时间取值的连续性与离散性,可将信号分成连续时间信号与离散时间信号两类,分别简称为连续信号与离散信号。

连续信号在其定义域内,除个别间断点外,任意时刻都有确定的函数值,通常用 $f(t)$ 表示。连续信号 $f(t)$ 的特点是自变量时间 t 是连续取值的。图0-2-1(A)表示连续正弦信号的波形。

离散信号在其定义域内,只在一些规定的时刻点上有函数值,而在这些规定的时刻点之外函数无定义,它通常用 $f(n)$ 表示。离散信号 $f(n)$ 的特点是自变量时间 n 是离散取值的,其离散间隔 Δt 可以是均匀的,也可以是非均匀的。但均匀间隔是常见情形,这样可使研究的问题简化,也便于各种应用。图0-2-1(B)表示均匀间隔离散正弦信号的波形。

由于离散信号 $f(n)$ 的自变量时间用整数序号 $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 表示,其函数值是一组序列值的集合,因此,离散信号常简称为序列。

三、模拟信号与数字信号

按照信号幅度(函数值)取值的连续性与离散性,可将信号分成模拟信号与数字信号两类。

虽然连续信号的自变量时间是连续取值的,离散信号的自变量时间是离散取值的,但它

们的幅度则可以是连续取值的,也可以是离散取值的(只取有限个规定的整数值)。我们称幅度连续取值的信号为模拟信号,自变量时间和幅度都离散取值的信号为数字信号。显然,连续信号一定是模拟信号。在实际应用中,模拟信号与连续信号两名词往往不予区分。虽然,数字信号一定是离散信号,但离散信号则不一定是数字信号。对于幅度连续取值的离散信号则又可称为抽样信号。图 0-2-2(A)、(B) 分别表示抽样信号和数字信号的波形。

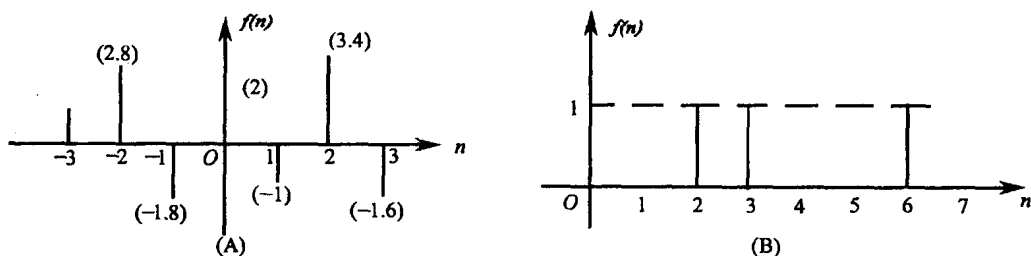


图 0-2-2 抽样信号与数字信号波形

四、周期信号与非周期信号

按照信号取值的重复特性可将信号分成周期信号与非周期信号两类。

周期信号的取值始终是每隔一固定的时间间隔重复出现的。连续与离散周期信号可分别表示为

$$f(t) = f(t + nT), n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, t \in (-\infty, \infty) \quad (0-2-3)$$

$$f(n) = f(n + mN), m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, n = 0, \pm 1, \dots \quad (0-2-4)$$

式中, T 和 N 是常数。

使式(0-2-3)和式(0-2-4)成立的最小 T 值和 N 值称为周期信号的周期,其中 N 必须取整数。对于周期信号,只要给出一个周期内的变化过程,便可知道信号在任意时刻的数值。周期信号的基本特征是周而复始,无始无终。

不满足式(0-2-3)和式(0-2-4)的信号,称为非周期信号。非周期信号不具有周而复始、无始无终的特性,它可以看成是周期 T 或 N 趋于无穷大时的周期信号。实际信号一般都是非周期信号。

在实际工作中广泛应用的伪随机信号,表面上看是无规则的随机信号,实质上是一个有规律变化的周期信号。这种伪随机信号的周期相当长,人们在工作中只使用到一个周期的一部分,因而难以觉察到其周期的重复性。

在工程应用中,常把较长一段时间内具有重复特性的信号,称为概周期信号或准周期信号。

五、能量信号与功率信号

按照信号的能量特性和功率特性,可将信号分成能量型信号和功率型信号两类。

设连续信号 $f(t)$ 是随时间变化的电压或电流,我们规定它在 1Ω 的电阻上所消耗的能量或功率为信号 $f(t)$ 的能量 E 或平均功率 P ,它们分别表示为

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt \quad (0-2-5)$$