



北京市高等教育精品教材立项项目

Signals
and
Systems

信号与系统

熊庆旭 刘锋 常青 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



北京市高等教育精品教材立项项目

Signals
and
Systems

信号与系统

熊庆旭 刘锋 常青 编著

X i n h a o y u X i t o n g

北京



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内 容 提 要

本书讨论确定性信号与系统分析的基本原理和方法。基于系统的线性时不变性,从函数正交分解的角度讨论信号与系统的特性,以及求解系统响应的问题。本书分别讨论信号基于时间及幅度两个变量的正交分解而引出的信号与系统的分析问题,包括连续时间信号与系统时域分析、连续时间信号与系统实频域分析、连续时间信号与系统复频域分析、离散时间序列与系统时域分析以及离散时间信号与系统变换域分析。

本书力图从学习者的角度出发,采用符合正常思维逻辑和规律的思路选材和行文,突出知识体系和结构关系的分析,加强在研究方法及思维规律方面的分析和阐述。本书适用于通信、电子、计算机及自动控制等专业的本科生,也可供相关专业的研究生及科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统 / 熊庆旭, 刘锋, 常青编著. —北京: 高等教育出版社, 2011. 1

ISBN 978-7-04-030904-1

I. ①信… II. ①熊… ②刘… ③常… III. ①信号系
统一高等学校—教材 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 221131 号

策划编辑 杜 炜 责任编辑 袁 坤 封面设计 赵 阳
责任绘图 尹 莉 版式设计 范晓红 责任校对 王效珍
责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 山东省高唐印刷有限责任公司

开 本 787×960 1/16
印 张 25.5
字 数 470 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2011 年 1 月第 1 版
印 次 2011 年 1 月第 1 次印刷
定 价 37.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30904-00

序 言

“信号与系统”课程经历数十年建设，从内容到体系都已相当成熟，要写出高质量、有创建性的新教材具有很大难度。北京航空航天大学熊庆旭教授长期主讲这门课程，积累了许多宝贵的教学经验。自2004年至今，我们多次相互讨论本课程的历史、现状与前景，比较国内、外教学工作之异、同。通过交流给予我许多启发和帮助，让我初步认识到北航在此课程教学中的先进理念和创新性。

本书是熊教授多年教学实践与研究成果之结晶，具有以下特色：

(1) 考虑到本教材以初学者为主要对象，在引入新概念时力求循序渐进、由浅入深，从读者身边的事务入手，从人们日常接触的生活现象入手。在选材方面，力求精简，适当控制篇幅。

(2) 关注基本知识的整体结构，分析各种问题相互之间的关系，突出知识内容体现的研究方法和内在规律，以期达到在方法论和思维认识层次上的深入与提高。

(3) 注重研究初学者容易产生混淆的问题。对例题分析适当采用一题多解的讨论方式，引导读者选择合理有效的分析方法，从而充分显示信号与系统课程具有较强综合性之特征。

我相信本书上列特色会受到老师和同学们的欢迎。我们期待着信号与系统教材出版领域更加繁荣昌盛。

郑君里

2010年8月

前 言

“信号与系统”研究确定性信号与线性时不变系统的基本概念和分析方法，是通信和电子类专业一门不可或缺的专业基础课；是学习通信、信号处理、控制和系统设计等课程的基础。该课程的前续课程有高等数学、线性代数、电路分析及模拟电路等，后续主要课程有通信原理、通信系统、数字信号处理等，是连接基础课与专业课的枢纽，起着承上启下的作用。

本书从信号时间及各时间点上信号幅度分解的角度来阐述本课程的基本知识及方法。本书从便于学生学习和理解角度出发，分为连续时间系统及离散时间系统分析两大部分，共分七章。首先介绍信号及系统的基本概念和运算关系；随后讨论连续时间系统分析，包括基于时间正交分解的时域分析、基于幅度正交分解的傅里叶变换、傅里叶变换的应用、基于幅度正交分解的拉普拉斯信号及系统的分析；最后讨论离散时间系统分析，包括基于时间正交分解的时域分析，以及基于幅度正交分解的 z 变换离散序列及系统的分析。

考虑到许多学校都专门开设数字信号处理和控制论等类似课程，本书不包含数字信号中的数字信号傅里叶变换以及系统状态变量法等内容。另一方面，我们认为信号与系统与这两门课程的内容及组织结构，分析及解决问题的思路具有较大的差别，这在众多高校多年的实际教学效果中得到了体现，因此本书不把这些内容组合在一起。

多年实际教学反映，信号与系统相对于其他课程是一门教师比较难教，学生比较难学的课程。国内许多高校多年的实际教学情况是学生成绩往往不呈正态分布，而是呈哑铃型分布，这其中的重要原因是本课程的内容结构具有其他课程所没有的特点。首先是内容具有较强的系统性和抽象性，分析问题从系统功能角度出发，而不拘泥于具体实现的细节。其次是对问题分析角度的多样性，对同一个问题采用多种方法进行分析，例如时域、频域及复频域。在具体解决过程中，多数场合并不采用直接性的方法，而是通过与基本信号的关系来求解，这里面就存在方法及基本信号的选择问题。另外，本课程包含较多的数学及物理问题，而多数学生在这之前缺乏足够的处理数学与物理关系的学习和训练。

我们认为，信号与系统更主要的不是问题具体的处理过程，而是对问题的观察、分析以及如何选择解决问题的方法和途径。美国麻省理工学院 A. V. Oppenheim 教授在其《Signals and Systems》第二版序言第一段就指出，“信

号与系统方面的课程不仅是工程教学中一门最基本的课程,而且也是能够成为工程类学生在大学教育阶段所修课程中最有得益而又引人入胜和最有用处的一门课程”。

因此在信号与系统的学习过程中,在学习和掌握基本知识的同时,应从知识结构与体系方面去把握课程的内容,分析知识内容及结构所体现的科学研究规律和方法,总结和提炼观察问题角度的选取等所体现的科学思维的方式和方法,并与相关领域研究成果结合,分析本课程知识、规律及方法在科学技术发展中的体现和应用,从系统性、全局性的角度将本课程与技术领域、甚至人文科学进行有机的联系和拓展。这是本书所追求的目标和特点。

作为一本教材,本书力图从学习者的角度出发,在行文方面尽量符合人们正常的思维逻辑和规律。同时尽量将这门经典课程的内容与相关领域技术发展有机结合,适当加强在研究方法及思维规律方面的延伸,另外在具体的选材和组织方面尽力体现本课程综合性强、问题分析灵活多变的特点。

本书由熊庆旭教授主编并执笔第1~3章,刘锋教授执笔第4、5章,常青教授执笔第6、7章,最后由熊庆旭教授统稿。本书承蒙清华大学郑君里教授审稿,郑教授从内容到行文等方面提出了许多具体的宝贵意见和建议,对本书的写作给予了多方面关心和指导,这些对本书质量的提高无疑起到了重要作用。作者在此表示衷心的感谢!

限于作者水平及时间关系,书中难免有不妥或错误之处,恳请读者批评指正。

作者

2010年8月

于北京航空航天大学

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010)82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第一章 信号与系统概论	1
§ 1.1 引言	1
§ 1.2 信号的描述与分类	3
§ 1.2.1 信号的描述	3
§ 1.2.2 信号的分类	4
§ 1.3 信号的运算	7
§ 1.3.1 信号的幅度运算	8
§ 1.3.2 信号的时间运算	10
§ 1.4 基本信号	15
§ 1.4.1 指数类信号	15
§ 1.4.2 奇异信号	17
§ 1.5 系统的描述	23
§ 1.6 系统的特性与分类	27
§ 1.7 本章小结	31
习题	32
第二章 连续时间系统时域分析	40
§ 2.1 引言	40
§ 2.2 常系数线性微分方程	41
§ 2.2.1 常系数线性微分方程的求解	41
§ 2.2.2 起始状态的跳变	43
§ 2.3 零输入响应与零状态响应	46
§ 2.4 单位冲激响应	51
§ 2.5 信号的时间轴分解	54
§ 2.6 卷积及其性质和计算	56
§ 2.6.1 卷积的定义	56
§ 2.6.2 卷积的性质	57
§ 2.6.3 卷积的计算	61
§ 2.7 基于单位冲激响应的系统特性分析	64
§ 2.7.1 LTI 系统的因果性	65
§ 2.7.2 LTI 系统的稳定性	65

§ 2.8 本章小结	66
习题	67
第三章 连续时间信号实频域分析	74
§ 3.1 引言	74
§ 3.2 信号的正交分解——变换	75
§ 3.2.1 相关系数及正交函数	75
§ 3.2.2 信号的正交分解	76
§ 3.2.3 完备正交函数集	78
§ 3.2.4 帕塞瓦尔定理	78
§ 3.2.5 基于信号自身的正交分解	78
§ 3.3 周期信号基于 $e^{j\omega t}$ 函数的正交分解——傅里叶级数	80
§ 3.3.1 三角函数形式的傅里叶级数	81
§ 3.3.2 指数函数形式的傅里叶级数	83
§ 3.3.3 指数函数形式与三角函数形式傅里叶级数的关系	85
§ 3.4 函数的对称性与傅里叶级数	89
§ 3.5 非周期信号基于 $e^{j\omega t}$ 函数的正交分解——傅里叶变换	94
§ 3.5.1 指数函数形式的傅里叶变换	94
§ 3.5.2 三角函数形式的傅里叶变换	97
§ 3.5.3 傅里叶变换存在的条件	98
§ 3.5.4 基本信号的傅里叶变换	98
§ 3.5.5 讨论	104
§ 3.6 傅里叶变换的性质	105
§ 3.6.1 基于傅里叶变换定义的性质	105
§ 3.6.2 基于信号时间变量运算的性质	108
§ 3.6.3 基于信号幅度变量运算的性质	112
§ 3.6.4 基于信号频域运算的性质	114
§ 3.6.5 基于卷积运算的性质	116
§ 3.6.6 傅里叶变换性质的应用	117
§ 3.7 周期信号的傅里叶变换	121
§ 3.7.1 傅里叶级数与傅里叶变换的一般性关系	122
§ 3.7.2 典型周期信号的傅里叶变换	123
§ 3.7.3 基于卷积关系的周期信号傅里叶变换	125
§ 3.8 时域抽样定理	126
§ 3.8.1 抽样信号及其频谱	127
§ 3.8.2 矩形脉冲抽样	128

§ 3.8.3 理想冲激抽样	129
§ 3.8.4 信号带宽	130
§ 3.8.5 抽样定理	132
§ 3.8.6 抽样信号的恢复	133
§ 3.9 本章小结	137
习题	140
第四章 连续时间系统实频域分析	149
§ 4.1 引言	149
§ 4.2 系统频率响应	149
§ 4.2.1 系统频率响应的定义	150
§ 4.2.2 利用频率响应计算系统响应	151
§ 4.3 无失真系统	155
§ 4.4 理想低通滤波器	158
§ 4.4.1 滤波器及其分类	158
§ 4.4.2 理想低通滤波器的频率响应	159
§ 4.4.3 理想低通滤波器的单位冲激响应	160
§ 4.4.4 理想低通滤波器的单位阶跃响应	162
§ 4.4.5 理想低通滤波器对矩形脉冲的响应	165
§ 4.4.6 其他理想滤波器	166
§ 4.5 系统的因果性	167
§ 4.5.1 佩利-维纳准则	167
§ 4.5.2 希尔伯特变换	169
§ 4.6 相关函数	171
§ 4.6.1 相关函数	172
§ 4.6.2 相关和卷积的关系	173
§ 4.6.3 相关定理	176
§ 4.7 激励与响应的谱关系	177
§ 4.7.1 能量谱与功率谱	177
§ 4.7.2 LTI 系统激励与响应的谱关系	180
§ 4.8 实用性抽样系统分析模型	181
§ 4.8.1 抽样系统分析模型	181
§ 4.8.2 零阶抽样保持	183
§ 4.8.3 一阶保持抽样	184
§ 4.9 幅度调制与解调	185
§ 4.9.1 幅度调制	186

§ 4.9.2 调幅解调	187
§ 4.9.3 频分复用	188
§ 4.10 本章小结	191
习题	192
第五章 连续时间信号与系统复频域分析	201
§ 5.1 引言	201
§ 5.2 信号的复指数函数正交分解——拉普拉斯变换	202
§ 5.2.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	203
§ 5.2.2 拉普拉斯变换的收敛域	204
§ 5.2.3 拉普拉斯变换的物理意义	206
§ 5.2.4 基本信号的拉普拉斯变换	207
§ 5.3 拉普拉斯变换的性质	210
§ 5.3.1 基于信号时间运算的性质	210
§ 5.3.2 基于信号幅度运算的性质	212
§ 5.3.3 基于信号 s 域运算的性质	214
§ 5.3.4 基于信号卷积运算的性质	216
§ 5.3.5 基于拉普拉斯变换定义的性质	217
§ 5.3.6 拉普拉斯变换性质的应用	219
§ 5.4 拉普拉斯逆变换	225
§ 5.4.1 部分分式分解法	226
§ 5.4.2 $F(s)$ 的两种特殊情况	230
§ 5.4.3 留数法(围线积分法)	231
§ 5.4.4 双边拉普拉斯变换及其逆变换	234
§ 5.5 拉普拉斯变换与傅里叶变换的关系	236
§ 5.6 利用拉普拉斯变换求解连续时间系统响应	242
§ 5.6.1 利用拉普拉斯变换求解常系数线性微分方程	242
§ 5.6.2 电路元件的 s 域模型	245
§ 5.6.3 利用电路元件的 s 域模型求解系统响应	246
§ 5.7 系统单位冲激响应的拉普拉斯变换——系统函数	249
§ 5.7.1 系统函数	250
§ 5.7.2 基于 $H(s)$ 的系统响应分析	251
§ 5.8 连续时间系统的结构框图	253
§ 5.8.1 基本系统关系框图	253
§ 5.8.2 最简系统框图	254
§ 5.9 s 域零极点分布与时域特性的关系	257

§ 5.10 s 域系统稳定性判断	261
§ 5.10.1 系统稳定性与零、极点阶数的关系	262
§ 5.10.2 由 $H(s)$ 分母多项式的系数判断系统的稳定性	263
§ 5.10.3 劳斯准则	264
§ 5.11 复频域与频域相结合的系统特性分析	267
§ 5.11.1 利用 $H(s)$ 零极点分布几何法确定 $H(\omega)$ 特性	267
§ 5.11.2 全通系统	271
§ 5.11.3 最小相移系统	272
§ 5.11.4 一般系统基于全通系统及最小相移系统的分解	272
§ 5.12 本章小结	273
习题	274
第六章 离散时间信号与系统时域分析	285
§ 6.1 引言	285
§ 6.2 离散时间序列	286
§ 6.2.1 离散序列的描述	286
§ 6.2.2 常用的基本序列	287
§ 6.2.3 离散信号的基本运算	291
§ 6.3 离散时间系统	293
§ 6.3.1 离散时间系统的描述方式	293
§ 6.3.2 一般差分方程	295
§ 6.3.3 离散时间系统的分类	296
§ 6.4 常系数线性差分方程的求解	298
§ 6.5 零输入响应与零状态响应	301
§ 6.5.1 零输入响应	301
§ 6.5.2 零状态响应	302
§ 6.6 系统单位样值响应	305
§ 6.6.1 单位样值响应	305
§ 6.6.2 单位样值响应的求解	306
§ 6.7 卷积和	308
§ 6.7.1 卷积和的定义	308
§ 6.7.2 卷积和的计算	309
§ 6.7.3 卷积和的性质	314
§ 6.8 本章小结	316
习题	317
第七章 离散时间信号与系统变换域分析	324

§ 7.1 引言	324
§ 7.2 z 变换	324
§ 7.2.1 z 变换的定义	324
§ 7.2.2 z 变换的收敛域	326
§ 7.2.3 z 平面与 s 平面的关系	329
§ 7.2.4 典型序列的 z 变换	330
§ 7.3 z 变换的性质	331
§ 7.3.1 基于序列时间运算的性质	331
§ 7.3.2 基于序列幅度运算的性质	334
§ 7.3.3 基于 z 域运算的性质	335
§ 7.3.4 基于卷积运算的性质	336
§ 7.3.5 基于 z 变换定义的性质	337
§ 7.3.6 z 变换性质的应用	339
§ 7.4 逆 z 变换	345
§ 7.4.1 幂级数系数	345
§ 7.4.2 部分分式分解法	347
§ 7.4.3 围线积分法	349
§ 7.5 利用 z 变换求解离散系统响应	352
§ 7.6 单位样值响应的 z 变换——离散系统函数	354
§ 7.6.1 离散时间系统函数	354
§ 7.6.2 通过系统函数零点极点分布确定单位样值响应	355
§ 7.6.3 最简离散系统框图	356
§ 7.7 离散系统的因果性及稳定性	360
§ 7.7.1 离散系统因果性的 z 域体现	360
§ 7.7.2 离散系统稳定性的 z 域体现	360
§ 7.8 序列的傅里叶变换	363
§ 7.8.1 序列傅里叶变换的定义	363
§ 7.8.2 序列傅里叶变换的性质	366
§ 7.9 离散系统的频率响应	369
§ 7.9.1 离散时间系统频率响应	370
§ 7.9.2 频率响应的几何作图法	374
§ 7.10 利用离散系统实现对模拟信号的滤波	375
§ 7.11 本章小结	379
习题	380
附录	388
参考文献	392

第一章 信号与系统概论

§ 1.1 引言

在日常生活中人们时时刻刻地接触和应用到各种各样的信号和系统，例如常见的通过手机与外界电话联系和通过电视机观看电视节目，人的耳朵和眼睛分别接收来自手机的语音信号以及电视屏幕的图像信号，而手机与电视机则分别接收相应的无线电波和有线电视同轴电缆中的电信号。再如通过温度计、湿度计来获取当前的温度和湿度，通过血压计测量人体的血压值等。这些例子中的信号包括声音、图像、电磁波、电压、温度、湿度和血压等，相应的系统则分别是人、手机、电视机、温度计、湿度计和血压计。这些貌似彼此不相关的对象均称为信号或系统，那么必然存在某些基本的共性特征，人们正是通过这些共性特征的提炼而建立所谓的概念，通过概念之间的关系演绎出一系列的规律，再应用于实际。

信号，从一般意义上来讲就是信息的载体。通常通过某种客观变量，包括物理变量、化学变量或者是生物变量等的变化得以体现。那么什么是信息呢？信息是和特定的对象、特定的应用密切相关的，上世纪 80 年代《中国青年报》曾经归纳了基于不同应用领域 1 000 多种信息的定义，例如“信息是物质属性的反映”，“信息是一种关系”，“信息是被反映的物质的属性”等。那么能否从这 1 000 多种定义中提炼出某种共性的特征呢？为更有效地说明信息的本质，我们先来讨论处理信息的系统的概念。

系统是具有某种特定功能的整体。通过功能来定义的系统，其本质是实现或完成特定的信息处理的功能。例如收音机是一个系统，其功能是接收无线电波放出声音。基于不同功能的要求，收音机又包含所谓的接收无线电波的无线接收系统、产生振荡信号的本振系统、放大中频信号的中放系统、放大声音的功放系统等一系列的子系统。

现在再来讨论信息的问题。作为信息的载体，不同类型的信号如物理信号、化学信号所包含的信息当然是不同的，因此从具体的内容或应用来看，信息的定义显然是不同的。信号总是和系统联系在一起的，若无相应的系统接收信号，则信号的讨论就失去了意义。因此，从系统（也就是信号的接收者）的

角度来看,信息的功能就是使得接收者消除对特定对象状态的不确定性。例如电话所传递的信息是了解通话对象对某一事情的想法或态度。因此,抽象意义上来说信息就是某种不确定性。对于信息问题的进一步讨论超出了本课程的内容,信息论课程将对此专门进行讨论。

本书主要讨论电信号以及电系统的问题,信号的具体表现形式为电压、电流、磁通量等,而构成电系统的基本元件为电阻、电容、电感等。不同于电路课程的是,本课程重点不在于具体电路元件的特定的信号值,而是关注整个电路的

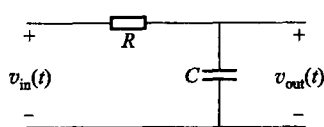


图 1.1.1 积分电路

功能。例如对于图 1.1.1 所示电路,从电路角度来看是电阻与电容串联分压,但本书关注的重点不是电容 C 两端的电压值,而是整个电路(或称之为系统)一般性的对输入电压的近似积分功能。

本书讨论的内容对于具有相同一般性功能特性的其他系统,例如机械系统等,具有广泛的适用性,所得结论可以推广应用,只是对应的物理意义不同罢了。

正如本书的名称,“信号与系统”研究的内容包括三个方面:

第一,“信号”:信号的描述方式、运算规则、相互关系以及信号的分解等;

第二,“系统”:系统的描述方式、组合规律以及系统特性等;

第三,“与”:信号输入或激励系统后,系统的输出或响应。

我们将按照“信号→系统→与”的思路来讨论本书的基础性知识。“信号”和“系统”是两个具有相互独立性的静态元素,而“与”则是一个动态过程,反映的是系统的功能,其效果是通过输入、输出信号这两个静态元素的差异来体现的。只有首先对“信号”和“系统”的基础知识进行必要的讨论,才能正确理解和把握“与”的过程。

本章首先讨论信号的基本问题,包括信号的表示方式、分类、运算,介绍若干基本信号及其相互关系。其次介绍系统的表示方式、分类、特性,以及系统特性的判断方法。最后介绍“与”,即求系统响应或者称为系统分析的两类方法——输入输出法和状态变量法的基本特点及应用场合。这些内容一方面给出了本书讨论的范围,同时为进一步的信号、系统以及系统响应分析奠定一般性的知识基础。

本章的重点和难点集中在信号的运算,冲激信号的概念以及系统特性的判断。信号运算包括幅度和时间变量两个方面,信号幅度变量的运算包括信号的四则运算、倍乘以及微分积分等;信号时间变量的运算包括信号的反褶、延时、压缩与扩展以及这些运算的组合等。信号与系统在讨论系统的响应时并不

是孤立地针对具体单个的信号，而是首先建立具体信号与基本信号之间的关系，这就必然涉及信号运算的过程，因此掌握信号运算对于理解和掌握本书的内容，尤其是对具体问题的分析具有重要作用。这是许多初学者对本课程学习不得法的关键所在。

冲激信号是一个理想化的信号，不能采用一般的函数来定义该信号，而是需要采用分配函数的概念，从广义函数的意义上来描述。这里面体现了函数的真正本意所在，即函数本质上不是运算而是关系，建立“象”与“原象”的对应关系，这要求从更广泛和深层的角度来理解函数。

系统特性的判断是本课程的基本要求，通过系统的输入信号和输出信号在幅度和时间两方面的关系来判断系统的特性，例如两个输入信号之和的输出是否等于两个信号输出之和；输入延时一段时间加入系统则输出是否延时相同的时间等。从运算的角度来看，输出是系统对输入进行了某种运算的结果。而描述一个信号包括幅度和时间两个变量，由于涉及时间变量的运算读者接触较少，在理解和掌握上有一定的难度，从而影响了信号与系统基本分析方法的掌握与应用，所以读者对涉及时间变量运算的系统特性分析应高度重视。

§ 1.2 信号的描述与分类

§ 1.2.1 信号的描述

就认识的一般规律而言，人们总是首先感受到某种现象的存在，然后对其进行细致地观察。通过对观察结果的不断总结提炼，得到一系列的规律，最后在此基础上进一步凝练出具有相对独立性的基本概念。所谓相对独立性就是一个基本概念不能被其他基本概念或基本概念的组合作所替代，最典型的例子就是物理学中的量纲。“米”是不能被“秒”所替代的，因为其对应的概念分别是距离和时间。可以说，基本概念是科学研究最高水平的结晶，是建立一门学科的基础，但通常也是最抽象、最难以理解和掌握的。

要在较短的时间里学习和掌握一门学科的知识与规律，并能够加以初步应用，不可能完全按照一般的认识过程来重复，而往往是从基本概念开始，从该学科观察和处理的基本对象的描述开始，因此我们首先讨论信号的定义及其描述方式。

所谓信号就是信息的载体。信号通常表现为某种物理量的变化，例如常见的电压、电流、电荷量以及磁通量等。人们最早对客观现象的描述方式是图形，其后才出现了文字，例如我国的《九章算术》。随着科学发展的需要，对客观对象描述的方式不仅应正确描述其特征，而且应当具有相应的逻辑推理功

能, 典型代表就是数学。数学至少是目前自然科学中最严谨最简洁的语言。

目前对信号的描述通常有三种方式, 分别为公式法、图形法、表格法。

所谓公式法也叫闭式(Closed Form)表达式, 是通过建立物理量的变化与时间(或/和空间)的数学关系来描述信息随时间(或/和空间)的变化过程, 例如式(1.2.1)表示余弦信号, 其中 A 表示幅度, ω 表示角频率, θ_0 表示初始相位。

$$f(t) = A\cos(\omega t + \theta_0) \quad (1.2.1)$$

实际上, 现实中绝大多数信号难以用一个完整的数学闭式来描述, 更多的是通过对其变化过程的图形化记录来描述的, 这就是所谓的图形法, 如图 1.2.1 所表示的信号。

信号的另一种描述方法是表格法, 主要用于描述在有限时间(或/和空间)点上出现的信号, 例如表 1.2.1。

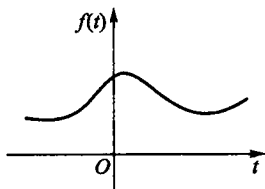


图 1.2.1 信号的图形表示法

表 1.2.1 信号的表格表示法

$f(t)$	0.4	1.5	1.8	2.5	2.8	3.1
t	-1	0	1.1	2	3.4	4

通过公式或表格来表示的信号可以用图形表示, 这几种表示是等效的, 但反之则不一定。图 1.2.1 所示的时间连续取值的信号无法用表格法来完整表示; 而用图形和表格来表示的信号不一定能找到有效的公式来表示。

本书对于用数学公式描述的信号, 也称为函数, 不严格区分信号与函数的差别, 两者互通互用。

§ 1.2.2 信号的分类

大千世界中的信息多种多样, 并且随着时间在不断变化, 显然作为其载体的物理量也是千变万化的。认识世界的目的在于改造世界, 人们对世界的认识不可能满足于某个特定的进程, 而是要对同一类事物加以分析总结得到相应的规律, 以推广应用。因此科学研究的一个基本方法就是通过大量观察, 对不同事物进行分类。

基于一般的逻辑学常识, 一个概念包含内涵和外延两个方面, 内涵越丰富则外延越小, 相应地所包含的个体数量越少。通过有意识地缩小概念的外延, 可以使对问题的研究具有更强的针对性, 使研究的程度更深, 这样有利于加深对事物的认识。举一个简单的例子, 当我们描述“人”和“年轻人”的行为规律时, 显然对于“年轻人”可以得到更多的结果。原因就是“年轻人”是