

陈戈珩 付虹 于德海 编著

信号与系统实用教程



清华大学出版社

TN911.6

111

2007

陈戈珩 付虹 于德海 编著

信号与系统实用教程

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书阐述了信号与系统的基本概念及特性,介绍了信号与系统的基本分析方法。全书共分7章:第1章,信号与系统概述;第2章,连续信号与系统的时域分析;第3章,连续信号与系统的频域分析;第4章,连续信号与系统的复频域分析;第5章,离散信号与系统的时域分析;第6章,离散信号与系统的 z 域分析;第7章,线性系统的状态变量分析法。

全书简明易懂,风格独特,图文并茂,例题丰富,突出基本概念、分析方法的理解和应用。各章均有学习目标和学习小结,并附有层次分明的基础练习、综合练习、自测题及部分参考答案,可读性、实用性强。

本书适于作为普通地方高校通信、电子信息、测控技术与仪器、自动化、计算机网络等专业的教材和教学参考书,也可供成人教育学院、本科院校举办的二级职业技术学院、民办高校、高等职业学校、高等专科学校相关专业的教师和学生以及从事相关专业的工程技术人员使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统实用教程/陈戈珩,付虹,于德海编著. —北京:清华大学出版社,2007.2

ISBN 978-7-302-14192-1

I. 信… II. ①陈… ②付… ③于… III. 信号系统—高等学校—教材 IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 147495 号

责任编辑:王敏稚 李 晔

责任校对:白 蕾

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京市昌平环球印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:20.25 字 数:486 千字

版 次:2007 年 2 月第 1 版 印 次:2007 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:020989-01

前言

目前,“信号与系统”课程是国内通信、电子、信息、测控、计算机网络等专业的重要的专业基础核心课程之一,也是众多热门学科硕士研究生、博士研究生入学考试的必考科目,因此,实用的“信号与系统”教材是每个从事这门课程教学的教师和学习这门课的学生所关注的焦点。国内有关“信号与系统”的教材很多,从分类上看,有本科、高职高专、自学考试等方面的教材,但内容有的太高深,有的太过薄浅,实用性不强,而且大多还深受经典教材的影响,过于注重理论体系完整性,对数学理论的物理概念、工程意义没有很好地联系、总结,使绝大部分学生误认为这门课就是数学,同时对简洁实用的具体应用方法更是没有系统介绍,真正适合普通地方院校教学的教材很少,对于如何突出信号与系统的通俗性、逻辑性和实用性等环节,并没有给出行之有效的方法。

本书作者以 20 年的一线教学实践经验和体会为基础,面向 21 世纪人才培养需求,结合高校教学改革形势和要求,针对普通地方高校学生的基本情况、特点和认识规律,对普通地方高校的“信号与系统”课程的教学提出了一种新的教学理念和教学方式,即:

教学内容结构化、逻辑化——注重知识的完整性、逻辑性和连贯性;在严谨说明基础理论的前程下,强调实用性,大胆丢弃已详细完成的公式理论推导和纯数学运算过程,强调数学理论的物理概念和工程意义的理解,注重结果的分析和实际有效应用,本着方便学生掌握和理解信号与系统的基本方法,并能很好地应用所学知识解决实际问题的原则,对传统的内容结构进行了适当调整、分配和整合,使课程知识结构紧凑、合理,更具逻辑性。

教学方法通俗化、案例化——公式理解形象化,应用内容案例化,具体方法口诀化;针对课程中理论公式多而且难于理解的特点,采用形象对应法,帮助学生正确记忆公式,灵活掌握公式,深刻理解公式,真正达到会用的目的。用一个或几个实际的案例将书中各章节的重要知识点贯穿起来,并归纳总结成具体的步骤口诀,使学生能够掌握理论知识和物理概念的综合应用。在教材的可读性、实用性编排上,更是突出了普通地方院校需求这一层次。

各知识点多样化的实例及习题练习有助于培养和开发学生的创新和发散思维以及从各种角度分析和求解问题的能力。

本教材的主要特色:

- **内容精致化**——本书定位于服务普通地方高校信号与系统课程的教学。在内容方面,严格按照本科教学大纲要求,依据普通高校电信、电气类专业培养方案和目标,根据课程内容特点和学生接受知识的规律,精减了数学理论方面的已详细完成的公式理论推导部分;对物理概念不清晰、不实用的经典数学方法只作为知识点案例介绍,并说明其局限性,重点放在对工程实用方法全面具体的介绍上。
- **结构逻辑化**——本书在教学内容的结构安排上,本着方便学生掌握和理解,并能很好地应用所学知识解决问题的原则,对传统的内容结构进行了适当的调整、分配、整合,使得课程知识结构紧凑、合理,更具逻辑性。以信号与系统概述为切入,以信号与系统综述为收尾。将输入-输出法的连续信号与系统的三大域分析,离散信号与系统时域和变换域分析,以及连续和离散系统状态变量分析安排成7章内容。另一方面为了增强本书的可读性和实用性,在每章开始处加入了本章学习目标,在每章结束处加入了本章学习小结。
- **公式图表化**——本书将把常用信号、性质、常用信号的变换和变换性质等数学结论均以对应图表形式表示,使学生直接利用图表完成对信号与系统的分析,有利于培养学生的工程意识。
- **应用案例化**——用一个或几个实际的案例将书中各章节的重要知识点贯穿起来,完成一个或多个的综合案例的分析,注重数学理论的物理概念、工程意义的理解和总结,在应用介绍时注重对问题求解过程的说明以及思路和分析过程的讲解,对于典型应用都给出了逻辑步骤,力图培养学生的创新意识和开放性思维。通过一个或几个案例的分析来展示利用各种分析方法对问题求解的过程,这在目前国内信号与系统教材应用实例中实属少见。
- **方法实用化**——依据作者多年实践教学经验,将典型的分析方法归纳总结成具体的步骤口诀,针对具体问题给出了许多简捷、实用方法,使学习者轻松掌握理论知识和物理概念的综合应用,合理运用知识点和重要公式。
- **练习分层化**——打破传统的习题模式,分为基础练习和综合练习层次,并附有各层次的自测题。
- **手段网络化**——提供了学生用和教师用两类课件。学生课件有电子笔记、实例解答等;教师课件有电子教案、教学演示文稿、教学纪要等。

同时为了配合双语教学的有效进行,对正文首次出现的重点名词和术语给出了英文词汇及缩写,使读者在阅读时能够直接接触和熟悉相应的英文词汇,为今后阅读相关的英文文献打下基础。在索引中,关键名词以汉字的拼音字母顺序排列,以方便读者查找。

本书由陈戈珩、付虹、于德海编著,王宏志、阎智义、姜长泓、宋宇、宁立全、吕洪武、金星、尤传富、应红霞、朱洪秀、赵凤全等参编并审核。同时在本书编写和出版过程中得到了学院、课程组以及各相关单位的许多同志的大力支持和帮助,特在此向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在内容、结构和文字表述等一些问题和不妥之处,敬请读者批评指正,请使用如下电子邮箱地址联系,谢谢!

E-mail: chengeheng@mail.ccut.edu.cn

编 者
长春工业大学
2007年1月

目录

第 1 章 信号与系统概述	1
本章学习目标	1
1.1 信号与系统	1
1.1.1 广义信号与系统.....	1
1.1.2 信号的传输与处理.....	2
1.1.3 信号与系统的分析.....	3
1.2 信号的概念及分类	4
1.2.1 消息、信息和信号的概念及其相互关系	4
1.2.2 信号的分类.....	4
1.2.3 信号的描述及特性.....	8
1.3 系统的概念及分类	8
1.3.1 系统的定义及表示.....	8
1.3.2 系统的分类及特性.....	9
1.3.3 系统的数学模型描述	14
1.4 线性时不变系统分析方法概述.....	14
1.4.1 输入-输出法(input-output method)(外部法)	15
1.4.2 状态变量法(state variable method)(内部法)	16
本章学习小结	17
习题练习 1	17
基础练习.....	17
综合练习.....	18
自测题.....	19
 第 2 章 连续信号与系统的时域分析	21
本章学习目标	21
2.1 引言.....	21
2.2 典型的基本信号.....	22
2.2.1 奇异信号	22
2.2.2 指数信号	26

2.2.3	正弦信号	26
2.2.4	复指数信号	27
2.2.5	抽样信号	27
2.2.6	斜坡信号	27
2.2.7	门信号	28
2.2.8	符号函数	28
2.3	信号的基本运算	28
2.3.1	信号的代数运算	28
2.3.2	信号的微分与积分运算	29
2.3.3	信号的反褶或反转	30
2.3.4	信号的平移	30
2.3.5	信号的尺度变换	30
2.3.6	信号的综合变换	31
2.3.7	周期信号的对称性	31
2.3.8	信号的分解与合成	33
2.4	线性时不变(LTI)连续系统的描述	36
2.4.1	LTI 连续系统的数学模型	36
2.4.2	LTI 连续系统的时域模型(模拟)图	37
2.5	LTI 连续系统的响应	39
2.5.1	LTI 连续系统响应的经典法	39
2.5.2	LTI 连续系统响应的分类及其意义	40
2.5.3	LTI 连续系统零输入响应和零状态响应	41
2.6	冲激响应和阶跃响应	42
2.6.1	冲激响应	43
2.6.2	阶跃响应	45
2.6.3	单位冲激响应和单位阶跃响应的关系	45
2.7	叠加积分法求零状态响应	45
2.7.1	卷积积分和杜阿美尔积分求零状态响应	45
2.7.2	卷积、卷积图解法	47
2.7.3	卷积的性质与应用	51
2.8	LTI 连续系统时域分析实例	53
	本章学习小结	54
	习题练习 2	56
	基础练习	56
	综合练习	57
	自测题	59

第 3 章	连续信号与系统的频域分析	63
-------	--------------------	----

本章学习目标	63
--------------	----

3.1	引言	63
3.2	周期信号的分解与合成——傅里叶级数	64
3.2.1	傅里叶级数的三角函数形式	64
3.2.2	傅里叶级数的指数形式	65
3.2.3	周期信号的谐波分析及吉伯斯现象	65
3.2.4	周期信号的对称性与谐波分量的关系	67
3.3	周期信号的频谱及特点	69
3.3.1	周期信号频谱的概念	69
3.3.2	周期信号的频谱特点	71
3.3.3	周期 T 、脉宽 τ 与频谱的关系	71
3.4	非周期信号的频谱——傅里叶变换	73
3.4.1	非周期信号的傅里叶变换	74
3.4.2	单个矩形脉冲信号 $g_{\tau}(t)$ 的频谱	75
3.4.3	常用信号的傅里叶变换	76
3.5	傅里叶变换的性质及应用——信号的时域特性与频域特性的关系	78
3.6	周期信号的傅里叶变换	82
3.7	信号的功率谱和能量谱	83
3.7.1	周期信号的功率谱	83
3.7.2	非周期信号的能量谱	84
3.8	调幅波及其频谱	85
3.8.1	调制的概念	85
3.8.2	调制的目的	85
3.8.3	调制定理	85
3.8.4	解调原理	86
3.8.5	调幅波的频谱	87
3.8.6	调制与解调的实际应用	89
3.9	LTI 连续系统的频域分析	91
3.9.1	频域系统函数的定义及物理意义	92
3.9.2	系统函数的求法	93
3.9.3	周期信号通过线性系统的稳态响应(分析)	94
3.9.4	非周期信号通过线性系统的暂态响应(分析)	95
3.9.5	系统不失真传输信号的条件	96
3.9.6	理想滤波器与实际滤波器及其响应	97
	本章学习小结	101
	习题练习 3	102
	基础练习	102
	综合练习	105
	自测题	107

第4章 连续信号与系统的复频域分析	111
本章学习目标	111
4.1 引言	111
4.2 拉普拉斯变换	112
4.2.1 由傅里叶变换到拉普拉斯变换及物理意义	112
4.2.2 拉普拉斯变换的收敛域	114
4.2.3 常用信号的拉普拉斯变换	115
4.3 拉普拉斯变换的性质及应用	116
4.4 拉普拉斯反变换及其应用	118
4.4.1 查表法	118
4.4.2 部分分式展开法	118
4.4.3 留数法	120
4.5 LTI连续系统的复频域分析——复频域法求系统响应	122
4.5.1 由系统(微积分)方程求系统响应	123
4.5.2 系统的 s 域模型	124
4.5.3 由系统 s 域模型求系统响应	125
4.5.4 LTI连续系统的复频域分析实例	126
4.6 LTI线性系统的各种模拟图	130
4.6.1 系统微分方程的直接模拟图	130
4.6.2 系统的并联模拟图	131
4.6.3 系统的级联模拟图	131
4.7 信号流图	133
4.7.1 信号流图的基本概念和常用术语	133
4.7.2 信号流图的构筑	134
4.7.3 信号流图化简规则	137
4.8 系统函数	139
4.8.1 系统函数的定义及物理意义	139
4.8.2 系统函数的零、极点与 s 平面及零极点图	141
4.8.3 系统函数的零、极点在 s 平面的分布决定系统的时域特性	142
4.8.4 系统函数的零、极点在 s 平面的分布与系统的频域响应特性	143
4.8.5 两种典型的系统函数	144
4.8.6 系统函数的求取方法	145
4.9 系统稳定性	147
4.9.1 系统稳定的定义	148
4.9.2 稳定系统和不稳定系统	148
4.9.3 系统稳定性的判定	149
4.9.4 反馈系统的稳定性判定	152
4.10 LTI连续系统复频域分析应用实例	153
本章学习小结	155

习题练习 4	156
基础练习	156
综合练习	159
自测题	164
第 5 章 离散信号与系统的时域分析	169
本章学习目标	169
5.1 引言	169
5.2 采样信号和采样定理	170
5.2.1 离散信号的获取	170
5.2.2 采样信号与采样定理	171
5.2.3 从采样信号恢复连续时间信号	175
5.3 离散时间信号的基本概念	176
5.3.1 离散时间信号的定义和描述	176
5.3.2 基本离散信号	177
5.3.3 基本离散信号的特性	179
5.4 离散信号的运算与变换	180
5.4.1 加和减	180
5.4.2 相乘	181
5.4.3 差分	181
5.4.4 求和	181
5.4.5 平移	182
5.4.6 反褶	183
5.4.7 压缩和扩展	183
5.5 离散系统的基本概念	184
5.5.1 离散系统的分类和特性	184
5.5.2 离散系统的数学模型	186
5.5.3 离散系统的模拟	187
5.5.4 离散系统数学模型与连续系统数学模型比较	189
5.6 LTI 离散系统的响应	190
5.6.1 LTI 离散系统的响应经典法求取	190
5.6.2 零输入响应与零状态响应及全响应	192
5.7 离散系统的单位函数响应和单位阶跃响应	195
5.7.1 单位函数响应	195
5.7.2 单位阶跃响应	197
5.8 卷积和法求零状态响应	197
5.8.1 离散卷积和公式法	197
5.8.2 离散卷积和图解法	199
5.8.3 离散卷积和列表法	201

5.8.4 离散卷积和直乘法	201
5.8.5 离散卷积和性质	202
5.9 LTI 连续系统与 LTI 离散系统的平行相似性	203
5.10 LTI 离散系统时域分析实例	203
本章学习小结	205
习题练习 5	205
基础练习	205
综合练习	208
自测题	210
第 6 章 离散信号与系统的 z 域分析	213
本章学习目标	213
6.1 引言	213
6.2 离散信号的 z 变换	214
6.2.1 z 变换的定义	214
6.2.2 z 变换的收敛域	214
6.2.3 常用序列的 z 变换	216
6.3 z 变换的性质与应用	216
6.4 反 z 变换	218
6.4.1 幂级数展开法(长除法)	218
6.4.2 部分分式展开法	220
6.4.3 留数法或围线积分法	221
6.5 z 变换与拉普拉斯变换的关系	223
6.5.1 拉普拉斯变换到 z 变换	223
6.5.2 z 平面与 s 平面的对应关系	224
6.6 LTI 离散系统的 z 域分析	225
6.6.1 零输入响应的 z 域求取	225
6.6.2 零状态响应的 z 域求取	227
6.6.3 全响应的 z 域求取	229
6.7 系统函数及其系统特性分析	231
6.7.1 系统函数的定义及物理意义	231
6.7.2 系统函数的零、极点与 z 平面和零极图	232
6.7.3 系统函数的零极点在 z 平面的分布与系统的时域响应特性	232
6.7.4 系统函数的零极点在 z 平面的分布与系统的频域响应特性	233
6.7.5 离散系统的频率特性及特殊激励的零状态响应求取	234
6.7.6 系统函数的求解方法	235
6.7.7 离散时间系统的并、级联结构	237
6.8 LTI 离散系统的稳定性	237
6.9 LTI 离散系统与 LTI 连续系统的比较	238

6.10 LTI 离散系统的 z 域分析实例	238
本章学习小结	240
习题练习 6	241
基础练习	241
综合练习	243
自测题	246
第 7 章 线性系统的状态变量分析法	248
本章学习目标	248
7.1 引言	248
7.2 状态和状态变量的概念及意义	250
7.2.1 状态	250
7.2.2 状态变量	250
7.3 连续和离散系统状态方程和输出方程的标准矩阵形式	250
7.3.1 状态方程的标准矩阵形式	250
7.3.2 输出方程的标准矩阵形式	251
7.4 连续系统的状态方程及输出方程的建立	251
7.4.1 由电系统建立状态方程和输出方程	251
7.4.2 由输入-输出方程或模拟图建立状态方程和输出方程	254
7.5 LTI 连续系统的状态方程复频域求解	256
7.5.1 拉普拉斯变换求解状态方程	257
7.5.2 输出方程形式	257
7.5.3 状态过渡矩阵复频域形式	258
7.5.4 多输入-多输出系统的系统函数	258
7.6 LTI 连续系统的状态方程时域求解	261
7.6.1 一阶标量微分方程到一阶矩阵微分方程的时域求解	262
7.6.2 输出方程形式	263
7.6.3 状态过渡矩阵时域形式	263
7.6.4 冲激响应矩阵	263
7.7 LTI 离散系统的状态方程及输出方程的建立	265
7.7.1 由系统模拟图建立状态方程和输出方程	265
7.7.2 由输入-输出方程建立状态方程和输出方程	267
7.8 LTI 离散系统的状态方程 z 域求解	267
7.8.1 z 变换求解状态方程	267
7.8.2 输出方程形式	268
7.8.3 状态过渡矩阵 z 域形式	268
7.8.4 系统函数矩阵	269
7.9 LTI 离散系统的状态方程时域求解	269
7.9.1 一阶标量差分方程到一阶矩阵差分方程的时域求解	269

7.9.2 输出方程形式·····	270
7.9.3 状态过渡矩阵时域形式·····	270
7.9.4 单位函数响应矩阵·····	270
7.10 LTI 连续和 LTI 离散系统的状态变量分析实例 ·····	270
本章学习小结·····	274
习题练习 7 ·····	275
基础练习·····	275
综合练习·····	278
 附录 A 信号与线性系统分析方法综述·····	 282
附录 B 中英文关键名词索引(按中文拼音为序)·····	284
附录 C 常用数学用表·····	289
附录 D 部分习题练习参考答案·····	291
参考书目·····	307

信号与系统概述

本章学习目标

- 掌握信号的基本概念、分类及描述。
- 掌握系统的基本概念、分类及特性。
- 了解信号与系统的分析方法。

1.1 信号与系统

1.1.1 广义信号与系统

宇宙中的一切事物都处在不停地运动中,物质的一切运动或状态的变化,从广义上说都是一种信号(signal),即信号是物质运动或变化的表示形式,信号中含有物质运动或变化的信息(information),信息一般可以定义为物质运动或变化的状态和方式。例如,机械振动产生力信号、位移信号以及噪声信号,雷电过程产生声、光信号,人和动物的大脑、心脏运动分别产生脑电、心电信号,电气系统随参数变化产生电磁信号等。信号的传输和处理要由许多不同功能的单元组织起来的一个复杂系统来完成。从广义上说,系统(system)是一个由若干个相互关联的单元组合而成的具有某种功能以达到某些特定目的的有机整体,它能对给定的激励(excitation)信号产生响应(response)信号。例如,宇宙、太阳系、地球、生态组织、动物的神经组织、人体等自然系统,社会、国家、民族、政治机构、经济结构、企事业管理机构等非物理系统,人为建立的通信系统、控制系统、计算机网络等物理系统。

如今信号与系统(signal and system)的概念出现在范围极广泛的各种领域中,与这些概念有关的理论和方法在很多科学领域中起着重要的作用。例如:天文、地理、生物、政治、经济、通信、航空、宇航、化学、声学、光学、医学、地质学、过程控制、能源产生与分配、语音图像处理等方面。

虽然在各个不同领域中所出现的信号与系统的物理性质很不相同,但是可以将信号与系统概念广义地概括为:

- 信号是可以表示为一个或几个独立变量函数的物理量,该函数一般都包含了关于某些现象性质的信息。
- 系统是能对给定激励做出响应,而产生出另外的信号来达到特定目的的若干单元的组合整体。

例如,汽车系统:司机脚踏油门的压力信号是汽车系统的激励,汽车加速行驶的速度信号是汽车系统的响应。所以汽车是在油门压力信号激励下,产生加速响应的整体。再如电系统:电路是在电源信号激励(电压、电流信号)下,在电路各支路中或元件上产生所需要的另一些电压和电流信号响应的整体。这里随时间变化的电压、电流称为电信号,电路可以称为电系统。

1.1.2 信号的传输与处理

为保证人类社会群体活动的协调和有序性,人们之间就必须相互交流并传递信息,信息是需要用某种物理形式表达的,用来表达信息的语言、文字、图像、数据和编码等物理形式称为消息(message)。例如电话中传送的声音是消息,电报中传送的电文是消息,电视中看到的图像是消息,雷达中测出的目标距离、方位、速度等数据也是消息。人类通过传递各种消息,使受信者获取各种不同的信息。由于消息一般是不便于直接传输的,因此需要将消息转换成随时间变化的电压、电流、电磁波等,即电信号(electronic signal)。电信号不仅有利于远距离传输,还便于获取、加工处理、存储和提取等。借助于以电信号作为信息的传输载体,可以实现消息的远距离传送,即信息的远距离传递。从广义上说,一切信息的传输过程都可以看成是通信,一切完成信息传输任务的系统都是通信系统。

由此可见,信号是由消息转换而来的,与消息一一对应,即信号代表着消息,是消息的传递形式,是通信传输的客观对象。消息中所含有实质性的内容是信息,因此,通信系统中信号传输的目的在于信息的传递。

1. 信号的传输

对无线电电子学技术发展和应用来讲,远距离不失真传送消息是无线电通信的主要任务,通信也就是信号的传输。即把待发消息也就是实际的物理量,如声、光、位移、速度等非电信号转换成一定规律的电信号(电压、电流、电磁波等),然后将其传送出去,最后在接收端将此信号还原成原始待发消息。以一个电视传输系统为例。在这个系统中,所要传输的信息包含在一些配有声音的画面之中。在传输这些画面(待发消息)时,首先要利用电视摄像机把画面的光线色彩转变成图像信号,并利用话筒把声音信号转变成伴音信号,这些就是电视传输系统要传输的全电视信号,它是带有信息的原始信号。然后把这些信号送入电视发射机,发射机能够产生一种反映上述信号变化的、便于信道传输的高频电信号。最后天线将这些高频电信号转换为电磁波发射出去,并在空间传播。电视接收者用接收天线截获该电磁波的一小部分能量,把它转变成为高频电信号送入电视接收机。接收机的作用刚好与发射机作用相反,它能从接收的高频电信号中恢复出原来的全电视信号,即图像信号和伴音信号,并把这两种信号分别送入显像管和喇叭,使接收者能收听并看到配着伴音的画面(还原消息)。这个过程可以用如图 1-1 所示一个简明的方框图表示,这个图也可以表示一般通信系统的组成,其中转换器(transducer)是指把消息转换成电信号或者反过来把电信号还原成消息的装置,如摄像机和显像管、话筒和喇叭之类。信道(channel)是指信号传输的通道,在

有线电话中它是一对导线；在利用电磁波传播的无线电通信中，它可以是电磁波传播的空间、卫星通信中的人造卫星，也可以是波导或同轴电缆；在光通信中则可以是光纤。其实也可以将发射机和接收机看成是信道的一部分。因此通信系统的主要工作是消息到信号的转换、信号的处理和信号的传输。

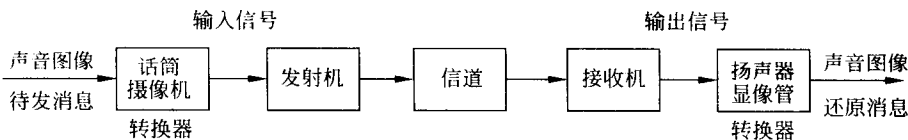


图 1-1 通信系统的组成

现代信号传输理论与技术的不断发展对信号的要求也日益提高，随之形成了信号处理这门学科。

2. 信号的处理

在信号传输的过程中，不可避免地会混入噪声和干扰。当传输距离较远、信号微弱时，有用信号会淹没在噪声和干扰中，这就需要对接收到的信号进行处理，滤除混杂的噪声和干扰。有时又需要将信号变换成易于分析与识别的形式，以便于估计和提取它的特征参量。信号的处理是对信号进行某种加工、变换，目的是为了更好传输、分析信号。近年来高速电子计算机的发展和运用，更加促进了信号处理技术的研究与发展。而信号处理的应用已经遍及航天、气象、测地、地球资源考察等许多科学技术领域中。例如：在航空、航天通信中抑制背景噪声，使领航员和宇航员的声音和图像清晰；从月球或火星探测器发来的电视信号被淹没在噪声中，可以应用信号处理技术对其进行恢复、提纯、识别；另外，恢复已经污损的信号使旧唱片、影片翻新，星球探测、矿藏勘探、地震测量、识别和测量农作物的种类和长势以及核试验监测中所获得数据的分析，医学的心电、脑电的分析，语音、虹膜、指纹等识别处理以及各种类型的数据通信等都需要信号处理技术。

信号传输和信号处理有着密切的联系，但由于其特点不同，所以形成了相对独立的学科体系。信号与系统分析是它们的共同理论基础。

1.1.3 信号与系统的分析

由图 1-1 所示的信号传输过程可见，为保证信号不失真传输，对传输信号的信道就要有一定的要求。这里要求了解信道的特性对信号的影响，也就是信号通过系统传输后将产生什么样的响应，即系统分析(system analysis)；要求了解信号的时间、频率特性，即信号分析(signal analysis)。这就是信号与系统分析总体研究的内容。

信号与系统分析理论的研究服务于解决信号传输与信号处理方面的实际问题。这一系列的概念、分析技术和方法论已经应用到了广泛的科学技术领域，甚至已经超出了通常隶属于常规科学的工程技术领域。信号与系统的分析是研究信号特性和信号传输或处理的一般规律的方法论。

总之，研究信号的时间、频率特性称为信号分析；研究系统特性和在已知激励下求解响应问题称为系统分析；而给定系统特性和功能要求去设计实现系统称为系统综合(synthesis)。系统分析是系统综合的基础。



1.2 信号的概念及分类

1.2.1 消息、信息和信号的概念及其相互关系

为了强调信号的概念,将前面的消息、信息和信号的定义及其关系概括如下:

- 信息(information)——指受信者预先不知道的新内容。
- 消息(message)——用来表示信息的物理形式,例如,声音、文字、图像、编码、数据等,真正要传送的是包含在消息中的信息。
- 信号(signal)——是消息的表现形式,可将之看作是运载消息的工具。它是带有消息的随时间变化的物理量。例如,电、光、声、电磁波等。

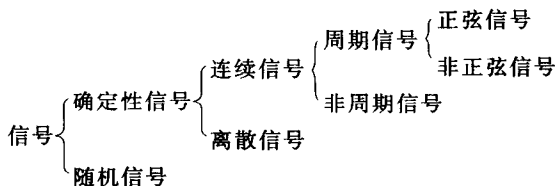
若用电来传送消息,则发信者应把消息转换成随时间变化的电压或电流,这种带有消息的随时间变化的电压或电流就是电信号。在各种信号中,电信号是一种最便于传输、处理与控制的信号,正是由于这一特点,许多非电信号(如温度、压力、位移、转矩、流量等)都要通过传感器变换成电信号,用于分析、传输、处理和控制等。因此研究电信号具有十分重要的意义。在本书中,若无特殊说明,“信号”一词均指电信号。

消息、信息和信号三者的关系就是借助于某种信号形式,传送各种消息,使受信者获取消息中的信息。例如,巴塞罗那奥运会远在西班牙国土上进行,现场的记者用摄像机、话筒记录下现场实况的大量图像和声音——消息,这其中包括比赛进程、运动员活动、地域风光等——信息,发信者把图像、声音(消息)转换成电磁波等——电信号,通过卫星电视、广播等传送到世界各地。

1.2.2 信号的分类

由于文字、图像、语言、数据等消息的复杂性,所以传送的信号也是多种多样的,但无论信号多么复杂,终归可以表示成时间的函数。因此“信号”与“函数”常常相互通用。

信号随时间变化规律是多种多样的,可以大致分类如下:



1. 确定性信号和随机信号

按信号是否可以预知划分,可以将信号分为确定性信号和随机信号。

- **确定性信号**(determinate signal)是可以表示成确定的时间函数的信号,即对于给定的一个时刻,信号都有一个确定的函数值与之对应,如 $f(t)=3e^{-t}$ 、 $f(t)=2\cos 2\pi t$ 等。
- **随机信号**(random signal)是只能知道在某时刻取某一数值的概率,不能表示成确定的时间函数的信号。在任意时刻,由于信号的取值不确定,所以只能估计取某一数值的概率大小和了解其统计特性。随机信号带有“不确定性”和“不可预知性”,要应用概率统计的方法进行研究。电子系统中的起伏热噪声、雷电干扰信号就是两种典