

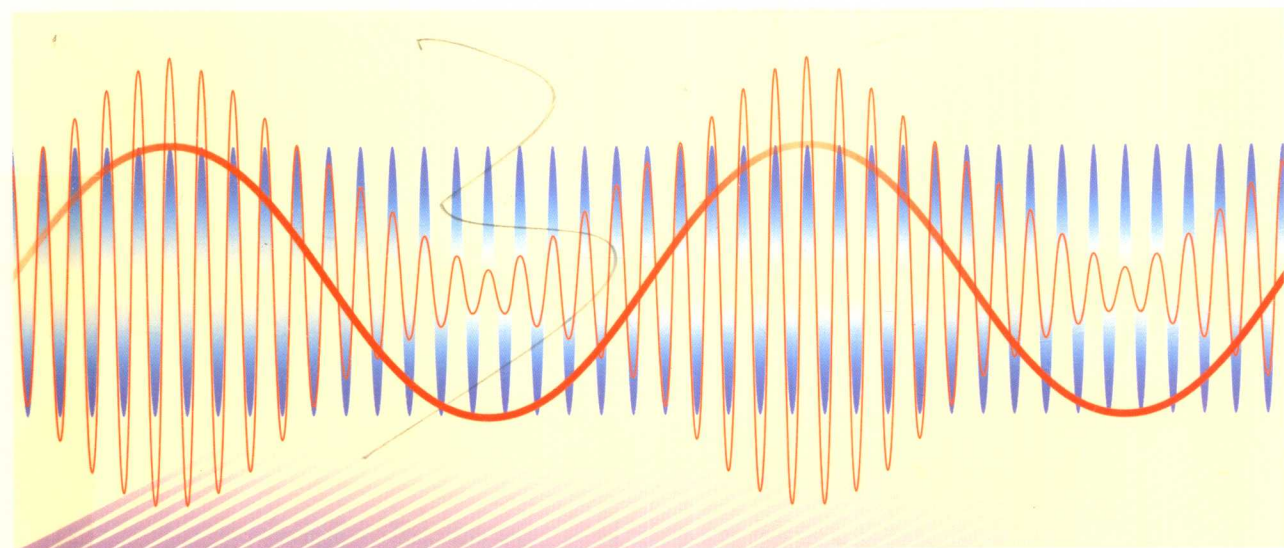


普通高等教育“十三五”规划教材·电子信息与电气工程类专业规划教材

# 信号与线性系统

白恩健 / 主编  
吴 贇 葛华勇 禹素萍 / 参编  
李德敏 许武军 / 审校

## Signals and Linear Systems



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>



普通高等教育“十三五”规划教材·电子信息与电气工程类专业规划教材

# 信号与线性系统

白恩健 / 主编

吴 贇 葛华勇 禹素萍 / 参编

李德敏 许武军 / 审校



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书系统介绍了信号与系统的基本概念、理论、方法及应用,全书共11章。本书采用“先时域,后变换域”的方法,完全平行地介绍连续时间和离散时间信号与系统,以及它们在通信、信号处理和反馈控制等领域的应用。第1章介绍了信号与系统的基本概念;第2章讨论了连续时间线性时不变系统的时域分析方法;第3章讨论了离散时间线性时不变系统的时域分析方法;第4章讨论了连续时间信号的傅里叶分析方法;第5章讨论了连续时间系统的频域分析方法;第6章讨论了离散时间信号的傅里叶分析方法;第7章简要讨论了离散时间系统的频域分析方法;第8章讨论了连续时间系统的复频域分析方法;第9章讨论了离散时间系统的 $z$ 域分析方法;第10章讨论了模拟滤波器和数字滤波器的设计方法;第11章讨论了系统状态变量分析方法。同时,本书还利用MATLAB对相关内容进行了仿真分析。

本书可作为自动化、电气、通信、电子、计算机等专业“信号与系统”课程的教材或参考书,也可供从事相关领域工作的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

信号与线性系统 / 白恩健主编. —北京: 电子工业出版社, 2019.9

普通高等教育“十三五”规划教材. 电子信息与电气工程类专业规划教材

ISBN 978-7-121-36915-5

I. ①信… II. ①白… III. ①信号理论—高等学校—教材②线性系统—高等学校—教材 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第122367号

策划编辑: 李 敏

责任编辑: 李 敏

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 24.25 字数: 660千字

版 次: 2019年9月第1版

印 次: 2019年9月第1次印刷

定 价: 79.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 [zlt@phei.com.cn](mailto:zlt@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式: (010) 88254753, [limin@phei.com.cn](mailto:limin@phei.com.cn)。

# 前 言

作为电子信息类专业的学生，需要具备路、场、信号、信息的知识。“路”包含电路分析、模拟电路和数字电路、通信电子电路、微波电路、集成电路等；“场”包含电磁场、电波传播与天线、微波技术等；“信号”包括信号与线性系统、数字信号处理、语音信号处理等；“信息”包含信息论与编码、数字图像处理、数据压缩、密码学等。其中，“信号与系统”是电子信息类学生的必修基础课程，是以信号特性和处理等工程问题为背景，经数学抽象而形成的。课程范围限定于确定性信号（非随机信号）经线性时不变系统传输与处理的基本理论。课程的基本任务是研究确定性信号经线性时不变系统进行传输和处理的基本理论与方法。课程的谱分析方法，如抽样，在几乎所有的电子信息工程领域都占据重要的位置。

本书以谱分析为主线，在体系结构上采用先时域再变换域、先信号分析再系统分析、先连续再离散的方式。主要内容包括基本概念、连续系统的时域分析、傅里叶变换、拉普拉斯变换、连续时间系统的  $s$  域分析、离散时间系统的时域分析、离散时间信号的傅里叶变换、离散时间系统的  $z$  域分析、滤波器设计等。本书注重与实际的物理系统相结合，注重理论知识的工程应用，提供了大量的工程领域的案例，从工程应用案例出发建立完整的信号与系统的概念。本书注重对基本概念、基本原理和基本方法的理解和应用，通过 MATLAB 仿真软件的使用，使学生更多地注重物理概念而无须过多关注计算技巧。另外，本书还将中国前沿科技方面的发展融入德育教育的元素，如将 5G 移动通信、蛟龙号载人潜水器等融入课程教学，介绍课程内容在其中的具体应用。

本书吸收了近年课程建设的优秀成果，本课程的探究性学习，对电子信息与电气工程类专业学生的多学科知识应用能力、复杂工程问题分析能力、现代工具运用能力等毕业要求形成有效支撑。通过设计相关软件仿真的课程项目，学生以分组的形式接受构思、设计、实施、运行等环节的全过程训练，全面提高学生的知识运用能力。课程项目针对通信系统、控制系统、语音信号处理和数字图像处理等工程实际，提出系统具体需求，学生自行构建系统模型，通过理论分析和仿真实验判断系统设计参数对性能的影响，并提出解决方案。其目的是通过仿真实验来理解课程中涉及的谱分析方法，让学生通过实践理解如何运用知识，培养学生运用知识的能力。课程设计的项目包括股票走势预测、移动通信系统调研及仿真、图像变换编码、潜水器下潜控制分析、语音信号的采集和处理等项目。

本书在使用时，可以按照有关章节的选取和组合，构成深度、学时不同的讲授课程。例如，第1~5章、第8章，适合后续开设“数字信号处理”或“自动控制原理”课程的专业；第1~6章、第8~11章，适合后续不再开设“数字信号处理”和“自动控制原理”课程的专业。

本书由白恩健主编并对全书进行了整理和统稿，团队的吴贇老师参与了第3章和第4章的编写，葛华勇老师和禹素萍老师参与了第10章的编写。全书由李德敏教授和许武军老师审校，并提出了许多宝贵的建议和意见。在此向为本书的出版提供帮助的老师和学生表示衷心感谢。

限于水平，书中错误及不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

2019年5月

# 符号表

表 达 式	意 义
$x(t)$	连续时间信号
$x[n]$	离散时间信号
$G(t)$	周期方波信号
$G_\tau(t)$	高度为 1、宽度为 $\tau$ 的方波脉冲 (门) 信号
$G[N]$	周期为 $N$ 、宽度为 $2M+1$ 、高度为 1 的离散时间周期方波信号
$G_{2M+1}[n]$	高度为 1、宽度为 $2M+1$ 的离散时间方波信号
$\text{Sa}(t)$	取样信号 $\frac{\sin t}{t}$
$\text{sinc}(t)$	$\frac{\sin(\pi t)}{\pi t}$
$x^{(n)}(t)$	信号 $x(t)$ 的 $n$ 阶微分
$u(t)$	单位阶跃信号
$u[n]$	离散时间单位阶跃信号
$r(t)$	连续时间斜坡信号
$r[n]$	离散时间斜坡信号
$\delta(t)$	单位冲激信号
$\delta[n]$	单位脉冲信号
$y_h(t)$	连续时间系统的齐次解
$y_p(t)$	连续时间系统的特解
$y_{zi}(t)$	连续时间系统的零输入响应
$y_{zs}(t)$	连续时间系统的零状态响应
$H(p)$	连续时间系统算子形式的系统函数
$h(t)$	LTI 连续时间系统的单位冲激响应
$y_{zi}[n]$	离散时间系统的零输入响应
$y_{zs}[n]$	离散时间系统的零状态响应
$H(S)$	离散时间系统算子形式的系统函数
$h[n]$	LTI 离散时间系统的单位脉冲响应
$X_k$	连续时间周期信号的傅里叶级数系数
	离散时间周期信号的傅里叶级数系数
	离散傅里叶变换系数
$X(j\omega)$	连续时间非周期信号的傅里叶变换
$H(j\omega)$	LTI 连续时间系统频率响应函数
$X(e^{j\Omega})$	离散时间非周期信号的傅里叶变换
$H(e^{j\Omega})$	LTI 离散时间系统的频率响应函数
$H(s)$	LTI 连续时间系统的系统传递函数
$G(s)$	反馈控制系统的系统函数

续表

表 达 式	意 义
$H(z)$	LTI 离散时间系统的系统传递函数
LTI	线性时不变
FT	傅里叶变换
FS	傅里叶级数
LT	拉普拉斯变换
DTFT	离散时间傅里叶变换
DTFS	离散时间傅里叶级数
DFT	离散傅里叶变换
FFT	快速傅里叶变换
ZT	$z$ 变换



# 目 录

第 1 章 基本概念	1
1.1 信号与系统	1
1.2 信号的分类	3
1.2.1 确定信号与随机信号	4
1.2.2 连续时间信号与离散时间信号	4
1.2.3 偶信号与奇信号	6
1.2.4 周期信号与非周期信号	6
1.2.5 能量信号与功率信号	8
1.3 信号运算	10
1.4 常见信号	12
1.4.1 指数信号	12
1.4.2 余弦信号	13
1.4.3 指数衰减的正弦信号	14
1.4.4 阶跃信号	15
1.4.5 斜坡信号	17
1.4.6 单位冲激信号	18
1.4.7 单位脉冲信号	20
1.4.8 单位冲激偶信号	21
1.5 系统的运算与互联	22
1.6 系统的特性	23
1.6.1 因果性	24
1.6.2 记忆性	24
1.6.3 线性	25
1.6.4 时不变性	25
1.6.5 稳定性	26
1.6.6 可逆性	27
1.7 系统举例	27
1.7.1 一阶低通与高通滤波器: RC 串联电路	27
1.7.2 二阶带通滤波器: RLC 电路	29
1.7.3 雷达测距系统	29
1.7.4 移动平均系统	30
1.7.5 多径传输系统	30
1.7.6 离散时间反馈系统	31



1.8 利用 Multisim 探究概念	31
1.8.1 利用 RC 电路产生指数衰减信号	31
1.8.2 利用 LC 电路产生余弦振荡信号	32
1.8.3 利用 RLC 电路产生指数衰减的正弦信号	32
1.8.4 利用 RC 电路产生单位阶跃信号	33
1.8.5 单位冲激信号	33
1.8.6 一阶低通滤波器: RC 电路电容输出	33
1.8.7 一阶高通滤波器: RC 电路电阻输出	35
1.8.8 二阶带通滤波器: RLC 串联电路	36
习题	36
备选习题	38
仿真实验题	38
<b>第 2 章 连续时间系统时域分析</b>	<b>39</b>
2.1 连续时间系统的微分方程表示	39
2.1.1 微分方程与转移算子	39
2.1.2 系统响应的经典时域解法	41
2.2 零输入响应	43
2.3 零状态响应	46
2.4 单位冲激响应	48
2.4.1 部分分式展开法求单位冲激响应	48
2.4.2 将单位冲激响应转化为零输入响应	49
2.4.3 单位阶跃响应	53
2.5 卷积积分	54
2.5.1 图解法计算卷积积分	54
2.5.2 卷积积分的性质	58
2.6 LTI 连续时间系统的互联	60
2.7 用单位冲激响应表征 LTI 连续时间系统特性	62
2.7.1 无记忆系统的单位冲激响应	62
2.7.2 因果系统的单位冲激响应	63
2.7.3 稳定系统的单位冲激响应	63
2.7.4 可逆系统的单位冲激响应	64
2.8 LTI 连续时间系统的框图表示	65
2.9 线性时不变系统响应的分解	67
2.10 零输入响应的 Multisim 仿真	70
习题	72
备选习题	75
仿真实验题	75

第 3 章 离散时间系统时域分析 .....	76
3.1 离散时间系统的差分方程表示 .....	76
3.1.1 差分方程与移序算子 .....	76
3.1.2 迭代法求解系统响应 .....	78
3.2 零输入响应 .....	79
3.3 零状态响应 .....	83
3.4 单位脉冲响应 .....	85
3.4.1 部分分式展开法求单位脉冲响应 .....	85
3.4.2 单位阶跃响应 .....	89
3.5 卷积和 .....	90
3.5.1 利用定义计算卷积和 .....	90
3.5.2 卷积和的性质 .....	91
3.5.3 不进位长乘法计算卷积和 .....	93
3.6 LTI 离散时间系统的互联 .....	94
3.7 用单位脉冲响应表征 LTI 离散时间系统特性 .....	96
3.7.1 无记忆系统的单位脉冲响应 .....	96
3.7.2 因果系统的单位脉冲响应 .....	96
3.7.3 稳定系统的单位脉冲响应 .....	97
3.7.4 可逆系统的单位脉冲响应 .....	98
3.8 LTI 离散时间系统的框图表示 .....	99
习题 .....	103
备选习题 .....	105
仿真实验题 .....	105
课程项目：股票走势预测 .....	105
第 4 章 连续时间傅里叶级数与傅里叶变换 .....	106
4.1 连续时间周期信号的傅里叶级数表示 .....	108
4.1.1 连续时间周期信号的频域分量表示 .....	108
4.1.2 指数傅里叶级数 .....	109
4.1.3 三角傅里叶级数 .....	113
4.1.4 吉布斯现象 .....	118
4.1.5 相位谱的作用 .....	119
4.2 连续时间周期信号傅里叶级数的性质 .....	120
4.3 连续时间周期信号的功率谱 .....	126
4.4 连续时间非周期信号的傅里叶变换表示 .....	127
4.5 连续时间非周期信号傅里叶变换的性质 .....	134
4.6 连续时间非周期信号的能量谱密度 .....	143

4.7	连续时间周期信号的傅里叶变换	144
4.8	利用部分分式展开法求傅里叶反变换	146
	习题	148
	备选习题	150
	仿真实验题	150
<b>第5章</b>	<b>连续时间系统频域分析</b>	<b>151</b>
5.1	连续时间系统的傅里叶分析	151
5.1.1	连续时间系统频域分析法与频率响应函数	151
5.1.2	连续时间周期信号的响应	154
5.1.3	电路系统的响应	158
5.2	无失真传输系统	162
5.3	连续时间滤波器	163
5.3.1	理想低通滤波器	163
5.3.2	因果滤波器	166
5.3.3	滤波器的应用	167
5.4	时域抽样定理	171
5.4.1	理想抽样	171
5.4.2	自然抽样	176
5.4.3	频域抽样	176
5.5	调制与解调	177
5.5.1	调制类型	177
5.5.2	全调幅	178
5.5.3	双边带抑制载波调制	181
5.5.4	脉冲幅度调制	183
5.6	多路复用	184
5.6.1	频分复用	184
5.6.2	时分复用	185
	习题	187
	备选习题	191
	仿真实验题	191
	课程项目: 移动通信系统调研及仿真	191
<b>第6章</b>	<b>离散时间傅里叶级数与傅里叶变换</b>	<b>192</b>
6.1	离散时间周期信号的傅里叶级数表示	192
6.2	离散时间周期信号傅里叶级数的性质	197
6.3	离散时间非周期信号的傅里叶变换表示	199
6.4	离散时间非周期信号傅里叶变换的性质	204

6.5	离散时间周期信号的傅里叶变换	206
6.6	利用部分分式展开法求离散时间傅里叶反变换	208
6.7	离散时间信号的傅里叶变换	209
6.8	离散傅里叶变换	211
6.9	快速傅里叶变换	214
6.9.1	时域抽取算法	214
6.9.2	频域抽取算法	216
6.9.3	FFT 在信号分析中的应用	217
	习题	222
	仿真实验题	224
	课程项目: 图像变换编码	224
<b>第 7 章</b>	<b>离散时间系统频域分析</b>	<b>225</b>
7.1	离散时间系统的傅里叶分析	225
7.1.1	离散时间系统频域分析法与频率响应函数	225
7.1.2	离散时间周期信号的响应	228
7.2	离散时间滤波器	230
7.2.1	离散时间理想滤波器	230
7.2.2	离散时间因果滤波器	231
	习题	234
<b>第 8 章</b>	<b>连续时间系统复频域分析</b>	<b>237</b>
8.1	连续时间信号复频域分解——拉普拉斯变换	237
8.1.1	从傅里叶变换到拉普拉斯变换	237
8.1.2	零—极点图与拉普拉斯变换的收敛域	238
8.1.3	常见信号的拉普拉斯变换	239
8.2	拉普拉斯变换的性质	243
8.3	拉普拉斯反变换	248
8.3.1	单边拉普拉斯反变换	248
8.3.2	双边拉普拉斯反变换	252
8.4	LTI 连续时间系统复频域分析方法	254
8.4.1	求解具有初始条件的微分方程	254
8.4.2	电路系统的复频域模型	257
8.5	系统传递函数	258
8.5.1	用系统函数表示连续时间系统	258
8.5.2	连续时间系统的互联	260
8.5.3	复频域模拟框图	261

8.6 系统函数与系统特性 .....	263
8.6.1 系统函数与系统的稳定性 .....	263
8.6.2 逆系统的系统函数 .....	265
8.7 通过零—极点确定频率响应 .....	266
8.7.1 系统频率响应的图解 .....	266
8.7.2 滤波器的系统函数设计 .....	269
8.8 反馈控制系统分析 .....	272
8.8.1 反馈系统的定义与应用 .....	272
8.8.2 反馈控制系统的稳定性 .....	276
习题 .....	279
备选习题 .....	283
课程项目：潜水器下潜控制分析 .....	283
<b>第 9 章 离散时间系统 <math>z</math> 域分析</b> .....	<b>284</b>
9.1 离散时间信号 $z$ 域分解—— $z$ 变换 .....	284
9.1.1 从离散时间傅里叶变换到 $z$ 变换 .....	284
9.1.2 零—极点图与 $z$ 变换的收敛域 .....	285
9.1.3 $z$ 变换与拉普拉斯变换的关系 .....	286
9.1.4 常见信号的 $z$ 变换 .....	287
9.2 $z$ 变换的性质 .....	290
9.3 $z$ 反变换 .....	295
9.4 LTI 离散时间系统 $z$ 域分析方法 .....	299
9.5 系统传递函数 .....	304
9.5.1 用系统函数表示离散时间系统 .....	304
9.5.2 离散时间系统的互联 .....	306
9.5.3 $z$ 域模拟框图 .....	307
9.6 系统函数与系统特性 .....	309
9.6.1 系统函数与系统的稳定性 .....	309
9.6.2 逆系统的系统函数 .....	310
9.7 通过零—极点确定频率响应 .....	311
习题 .....	314
备选习题 .....	317
<b>第 10 章 滤波器设计</b> .....	<b>318</b>
10.1 模拟滤波器的设计 .....	319
10.1.1 巴特沃斯滤波器 .....	319
10.1.2 切比雪夫滤波器 .....	323

10.2	模拟域频率变换	326
10.3	从模拟滤波器设计 IIR 滤波器	332
10.3.1	利用导数逼近设计 IIR 滤波器	332
10.3.2	利用冲激响应不变法设计 IIR 滤波器	334
10.3.3	利用双线性变换法设计 IIR 滤波器	335
10.4	有限冲激响应数字滤波器	338
10.4.1	有限冲激响应数字滤波器的线性相位特性	338
10.4.2	利用窗函数设计线性相位 FIR 滤波器	340
10.4.3	利用频率抽样法设计线性相位 FIR 滤波器	341
10.5	数字域频率变换	342
	习题	343
	课程项目: 语音信号的采集和处理	345
<b>第 11 章</b>	<b>系统状态变量分析</b>	<b>346</b>
11.1	LTI 连续时间系统的状态变量表示	346
11.1.1	连续时间系统状态方程的一般形式	346
11.1.2	由电路系统建立状态方程	348
11.1.3	由微分方程建立电路方程	349
11.1.4	由模拟框图建立状态方程	350
11.2	连续时间系统状态方程的求解	354
11.2.1	连续时间系统状态方程时域求解	354
11.2.2	状态方程复频域求解	356
11.3	LTI 离散时间系统的状态变量表示	357
11.3.1	离散时间系统状态方程的一般形式	357
11.3.2	由差分方程建立状态方程	358
11.3.3	由模拟框图建立状态方程	358
11.4	离散时间系统状态方程的求解	360
11.4.1	离散时间系统状态方程时域求解	360
11.4.2	状态方程 $z$ 域求解	361
11.5	状态矢量的线性变换	363
11.5.1	具有对角矩阵的状态方程	363
11.5.2	系统的可控制性和可观性	365
	习题	368
	备选习题	370
	参考文献	371

# 第 1 章 基本概念



## 学习目标

通过本章的学习，学生应具备以下能力：

- ◆ 会正确判断周期信号与非周期信号、能量信号与功率信号；
- ◆ 理解常用信号及其物理意义，特别是单位冲激信号与单位阶跃信号；
- ◆ 会正确判断系统的因果性、无记忆性、线性、时不变性、稳定性和可逆性等特性；
- ◆ 熟悉几个常见系统的模型；
- ◆ 熟悉 MATLAB 和 Multisim 仿真的方法。

信号传递消息，系统变换信号。本书讲述的是确定性信号经线性时不变系统传输与处理的基本理论。从概念上可以区分为信号分析与处理及系统分析与设计两个部分，描述的核心问题是：信号在系统中是如何变换的，系统特性对信号有什么影响，以及数字滤波器的分析与设计。将信号分解为不同的基本信号，则对应线性系统的分析方法分别为时域分析、频域分析和复频域（ $z$  域）分析。

## 1.1 信号与系统

什么是信号？什么是系统？为什么把这两个概念联系在一起？

首先区分消息、信息和信号这 3 个概念。消息是传输和处理的原始对象，如语言、文字、图像、数据中包含的内容等。信息是传递、交换、存储和提取的抽象内容，能消除某些知识的不确定性，即消息中有意义的内容。信号则是消息的载体，通过信号传递消息。换言之，消息是信息的形式，信息是消息的内容，而信号则是消息的表现形式。信号定义为表示消息的函数，是消息的载体。广义上信号是随时间或位置变换的某种物理量。如果该函数只依赖于单个变量，该信号称为一维信号。例如，语音信号是幅度随时间变化的一维信号，与讲话者及讲话内容有关。如果该函数依赖于两个以上的变量，则该信号称为多维信号。例如，图像信号是二维信号，它是水平和垂直两个方向坐标的函数。按物理属性信号分为光信号、声信号和电信号等。按照实际用途信号可分为电视信号、广播信号、雷达信号，通信信号等。信号以各种不同的形式存在于日常生活的方方面面，人们每天都会与各种各样载有信息的信号接触。例如，通过电话用语音信号进行交谈，通过视频信号和音频信号观看电视内容，通过 Internet 所使用的作为信息载体的信号收发邮件、收集资料等。



系统定义为对信号进行处理的物理装置。信号总与一个系统相联系，信号必定是由系统产生、发送、传输与接收的，离开系统没有孤立存在的信号。例如，在语音通信系统中，气流振动声带发出声音，声带就是一个系统。系统的功能是对信号进行加工、变换与处理，不同的系统具有不同的功能。例如，通信系统的功能是通过信道以可靠的方式将载有信息的信号从发送端传输到接收端；控制系统的功能是通过控制器使被控对象达到预定的状态。

**通信系统：**如图 1.1 所示，通信系统通常包含 3 个基本单元，即发射机、信道和接收机。这 3 个基本单元中的任何一个都可以看成一个与它们各自的信号相联系的子系统。发射机的作用是将信源产生的消息信号转换成适合在信道中传输的发射信号。消息信号可以是语音信号、视频信号或计算机数据。信道是联系发射机和接收机的物理媒介，可以是光纤、同轴电缆、卫星信道、移动电话信道等。受信道物理特性、信道噪声和来自其他信号源的干扰信号的影响，信号在信道中传输会产生失真，会使接收信号与发射信号相比出现畸变。接收机的作用是对接收信号进行处理，得到原始消息信号的估计。



图 1.1 通信系统

发射机和接收机的工作原理取决于具体类型的通信系统。如图 1.2 所示的移动通信系统的发射机部分包括模数/数模转换、数字信号处理（语音编码、信道编码、加密、数字调制）、高频调制发送共 3 个部分。接收机部分过程相反，包括高频解调接收、数字信号处理（解调均衡、解密、信道译码、语音解码）、模数/数模转换等。

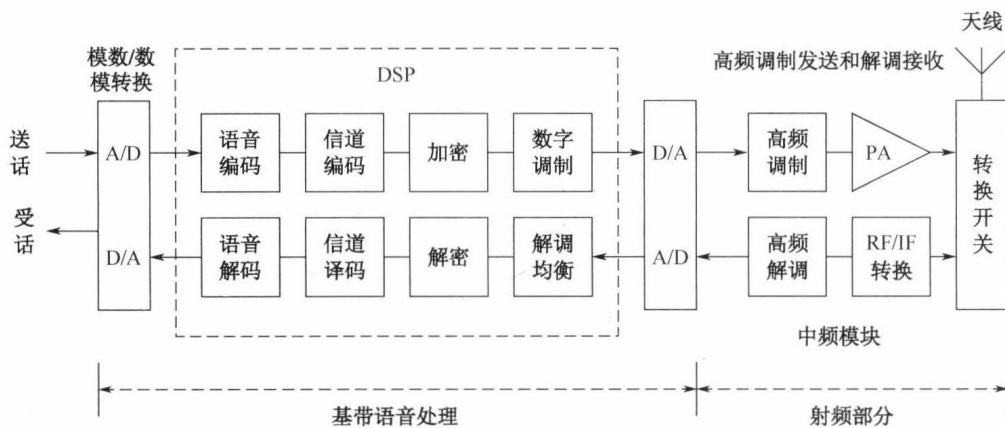


图 1.2 移动通信系统原理示意（手机）

物理世界的信号都是连续的模拟信号，而广泛采用的电子信号处理器如 CPU、DSP、存储器等都是数字的，因此需要将模拟信号转换成 CPU 等可以处理并保存的信号，这个过程称为模数转换（A/D），与之相反的过程称为数模转换（D/A）。模数转换和数模转换的工作原理、采样频率选择等因素将在本书中充分讨论和分析。调制和解调技术是移动通信系统必须采用的，本书将讲解其基本原理。

**控制系统：**以反馈系统理论为基础的自动控制技术在自动驾驶、地铁、机床、机器人等工业和军事领域都有广泛的应用。如图 1.3 所示，典型的反馈控制系统由控制器、受控装置和传感器构成。图中， $s(t)$  表示外部干扰， $y(t)$  表示控制或跟踪系统的输出信号，它与参考输入信号  $x(t)$  比较得到误差信号  $e(t)$ ，这个误差信号作用于控制器产生信号  $v(t)$ ，使受控装置完成控制动作。例如，在飞机着陆系统中，受控装置是飞机机体和驾驶执行装置，导向器利用传感器确定飞机的横向位置，控制器是机载计算机；在汽车的自适应巡航系统中，受控装置是汽车车体和油门控制装置，利用雷达传感器或激光扫描仪确定前方车辆的距离，控制器是车载计算机。本书将讨论线性反馈系统的基本特性及其对系统性能的改变。

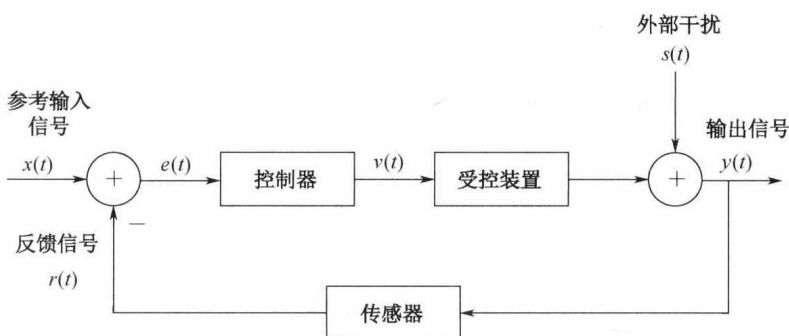


图 1.3 反馈控制系统

上述信号与系统的关系可以简化为如图 1.4 所示的系统输入与输出关系。输入信号称为**系统激励**，输出信号称为**系统响应**。它广泛地存在于各种工程和科学领域，因此信号与系统的概念、理论和方法成为许多科学和工程领域最基本的概念和方法之一。本书讲述的就是信号分析与处理及系统分析与设计两个部分的问题，从连续和离散两个方面介绍连续时间信号与系统及离散时间信号与系统的表示方法、系统分析和工程应用。

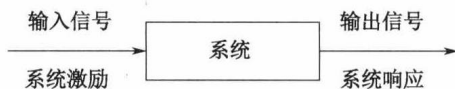


图 1.4 系统输入与输出关系

## 1.2 信号的分类

本书重点关注定义为时间的单值函数的一维信号。“单值”是指在任意时刻只有一个函数值，这个数值可以是实数也可以是复数，对应的信号称为实信号和复信号。

信号的分类方法视信号和自变量的特性而定，按不同的特点通常分为确定信号与随机信号、连续时间信号与离散时间信号、偶信号与奇信号、周期信号与非周期信号、能量信号与功率信号等。