

HZ BOOKS
华章教育



21世纪高等院校电子信息
与电气学科系列规划教材

信号与系统

岳振军 主编

贾永兴 余远德 李宁 编著



机械工业出版社
China Machine Press



21世纪高等院校电子信息
与电气学科系列规划教材

信号与系统

岳振军 主编

贾永兴 余远德 李宁 编著

TN911.6
Y13



机械工业出版社
China Machine Press



本书主要阐述确定性信号的时域和频域分析基本方法,线性时不变系统的描述与特性,以及确定性信号通过线性时不变系统的时域与变换域分析方法。

本书的主要内容包括概论,信号分析理论基础,线性时不变系统分析方法,确定性信号通过线性时不变系统,工程应用实例。按照信号分析,信号通过系统响应求解,系统分析和应用实例的结构体系,以需求为牵引,以问题解决为导向,将传统教材以介绍方法为主线改进为以解决问题为主线,实现了与 MATLAB 工具的无缝对接。本书结构新颖,概念清晰,推理严谨,注重方法,例证丰富,行文流畅,简明易懂,兼顾了课堂教学和自学需要。

本书可作为工程性质较强的高等院校电子工程、通信工程、信息工程、自动控制工程、计算机科学与技术、信息与计算科学等专业的本科生教材,也可供相关科技工作者自学参考。

版权所有,侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

主编 李肃岳

参编 宁 李 蔚 武 余 兴 永 贾

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/岳振军主编. —北京:机械工业出版社,2008.6
(21世纪高等院校电子信息与电气学科系列规划教材)

ISBN 978-7-111-23952-9

I. 信… II. 岳… III. 信号系统 IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 053982 号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:曾 珊

北京牛山世兴印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2008年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.25印张

标准书号:ISBN 978-7-111-23952-9

定价:28.00元

凡购本书,如有倒页、脱页、缺页,由本社发行部调换
本社购书热线:(010)68326294

言 序 前

《信号与系统》课程历经数十年建设，无论体系或内容都已相当成熟，要想写出高质量、有创建性的新教材，难度很大。解放军理工大学岳振军等老师，在定位于应用型人才培养的基础上，编写了这本教材。他们在教学内容、体系结构、理论表述方式以及与数学课程的联系等方面进行了大胆探索，对个别概念的解释也有一些新尝试。这种探索和尝试对《信号与系统》课程的教学改革具有重要的参考价值。

该书以“数学—物理—工程”为主线，较好地显现了《信号与系统》课程的桥梁作用。将所用到的数学知识集中介绍，是否有利于教学还需要在实践中检验，将信号分析与系统分析独立进行讨论，可以体现该课程“三大变换、两大对象”之特征，也便于教师根据学生专业特点灵活选择授课内容，将 MATLAB 直接作为工具使用，体现了信息时代的教学观念，适合应用型院校使用。

该书思路清晰，举例丰富，文字通顺，特色突出，相信会受到广大读者的欢迎。

郑君里

2008年5月

前 言

随着我国高等教育事业的迅速发展,信号与系统课程的教材需求逐步呈现出多元化趋势,原先的教材体系已不能完全满足需要,尤其对于工程性质较强的院校和专业,更需要一本能更好地承担数学与工程之间桥梁作用的《信号与系统》教材,作者在教学实践中深切感受到了这种需求,因而萌生了写作这本教材的想法。

我们认为,应用型科技人才应该具有科学的思维品质、宏观把握科学技术前沿的能力和较强的分析和解决实际问题的能力。与之相适应,我们的教材应该具备能培养学员宏观把握整体思路、具备初步分析实际问题能力及承载先进文化的功能。在这种思想引导下,我们对信号与系统课程的内容进行了重新审视,在以下方面做了探索:

第一,在指导思想上,按照实事求是的原则,立足对应用型人才培养实际,面向应用型人才培养需要,强调“低起点、重思想、强应用”的指导思想,变课程以介绍方法为导向为以实际问题为导向,打破传统教材以学科知识为中心的封闭体系,以解决工程中和“信号与系统”有关的问题为主线,以课指委(即基础课程指导委员会)教学基本要求为准绳,正确处理数学、物理、工程三者之间的关系,着眼于学生的任职需要,注重培养学生分析问题和解决问题的能力。

第二,在内容结构上,本教材存在着知识的应用性和知识的系统性这两种特性。从系统性角度上说,本教材介绍了信号与系统的分析方法,可粗略地分为三个部分:必要的数学基础;信号、系统、信号通过系统的分析方法;初步的工程应用实例。本教材对传统课程内容组织方式进行了较大力度的变革,将数学方法、物理意义和工程应用相对分离,以信号分析、系统分析、信号通过系统为主线介绍相关分析方法;从应用角度上说,本教材通过大量的例题,引导读者完成从数学理论到工程应用的转换,更好地体现了信号与系统课程在数学和工程之间的桥梁作用。

第三,本书在频谱与频谱密度等概念的解释上、在傅里叶变换性质以及频谱性质的叙述上都有一些新尝试、新方法,使概念更清晰,理论更易懂,与工程联系更紧密。

第四,在 MATLAB 应用上,本书坚持将 MATLAB 作为一种工具来应用。在有需要的地方都给出了可供学生模仿的 MATLAB 程序,以使学生在实践中不断提高 MATLAB 应用能力,强化其对该软件的工具意识。

第五,本书强调对读者技术思维的培养。通过扩展阅读、引言等部分对与课程相关的科学思维方法进行了介绍,引导学生不仅知其然,而且知其所以然,满足了素质教育的需求。

总之,本教材打破了《信号与系统》传统教材的知识模式,以问题解决式取代方法呈现式,使课程指向更加明确,目的性更强,体现了“需求牵引”的工程类专业人才培养模式;重视渗透和揭示基本的思想方法,加强知识内部的联系以及它与相关学科的联系;注意教材内容的多元性与开放性,使学生经历理性思维和实验探索的过程,体验用数学

方法分析和解决信号与系统问题，培养学习和应用数学工具的能力，为学生搭建可持续发展的平台。

本书第1~3章由岳振军执笔，第4章由贾永兴执笔，第5章由余远德执笔，第6章由李宁执笔，全书由岳振军统稿，编写组集体讨论定稿。东南大学孟桥教授审阅了本书的编写提纲，对本书的结构进行了具体指导，并提出了其他许多重要的建议和意见，清华大学郑君里教授翻阅了本书样书，仔细听取了作者的介绍，提出了许多很好的意见和建议，并亲笔为本书作序，机械工业出版社华章分社的编辑为本书付出了大量的劳动和心血，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

2007年8月于南京

1	第1章 绪论	1	1.1 信号与系统
1	1.1.1 信号	1	1.1.2 系统
2	1.2 MATLAB的简介	2	1.2.1 MATLAB的简介
3	1.3 信号的基本概念	3	1.3.1 信号的分类
4	1.3.2 信号的分类	4	1.3.3 信号的分类
6	1.3.4 信号的基本概念	6	1.3.5 信号的基本概念
7	1.4 系统的分类	7	1.4.1 系统的分类
12	1.4.2 系统的分类	12	1.4.3 系统的分类
19	1.4.4 系统的分类	19	1.4.5 系统的分类
24	1.4.5 系统的分类	24	1.4.6 系统的分类
29	1.4.6 系统的分类	29	1.4.7 系统的分类
30	1.4.7 系统的分类	30	1.4.8 系统的分类
33	1.4.8 系统的分类	33	1.4.9 系统的分类
35	1.4.9 系统的分类	35	1.4.10 系统的分类
42	1.4.10 系统的分类	42	1.4.11 系统的分类
43	1.4.11 系统的分类	43	1.4.12 系统的分类
43	1.4.12 系统的分类	43	1.4.13 系统的分类
48	1.4.13 系统的分类	48	1.4.14 系统的分类
51	1.4.14 系统的分类	51	1.4.15 系统的分类
51	1.4.15 系统的分类	51	1.4.16 系统的分类
52	1.4.16 系统的分类	52	1.4.17 系统的分类
58	1.4.17 系统的分类	58	1.4.18 系统的分类
60	1.4.18 系统的分类	60	1.4.19 系统的分类
67	1.4.19 系统的分类	67	1.4.20 系统的分类
77	1.4.20 系统的分类	77	1.4.21 系统的分类
82	1.4.21 系统的分类	82	1.4.22 系统的分类
82	1.4.22 系统的分类	82	1.4.23 系统的分类
88	1.4.23 系统的分类	88	1.4.24 系统的分类
95	1.4.24 系统的分类	95	1.4.25 系统的分类
95	1.4.25 系统的分类	95	1.4.26 系统的分类
96	1.4.26 系统的分类	96	1.4.27 系统的分类
97	1.4.27 系统的分类	97	1.4.28 系统的分类
100	1.4.28 系统的分类	100	1.4.29 系统的分类
109	1.4.29 系统的分类	109	1.4.30 系统的分类
117	1.4.30 系统的分类	117	1.4.31 系统的分类
121	1.4.31 系统的分类	121	1.4.32 系统的分类
123	1.4.32 系统的分类	123	1.4.33 系统的分类
124	1.4.33 系统的分类	124	1.4.34 系统的分类
129	1.4.34 系统的分类	129	1.4.35 系统的分类
130	1.4.35 系统的分类	130	1.4.36 系统的分类
131	1.4.36 系统的分类	131	1.4.37 系统的分类
131	1.4.37 系统的分类	131	1.4.38 系统的分类
136	1.4.38 系统的分类	136	1.4.39 系统的分类
137	1.4.39 系统的分类	137	1.4.40 系统的分类

目 录

前言	1	2.4.1 拉普拉斯变换的概念	67
第1章 概论	1	2.4.2 典型信号的拉普拉斯变换	68
1.1 引言	2	2.4.3 拉普拉斯变换的性质	70
1.2 关于 MATLAB	2	2.4.4 拉普拉斯变换与傅里叶变换的关系	76
1.2.1 MATLAB 入门	2	2.4.5 拉普拉斯逆变换	77
1.2.2 MATLAB 的数值计算功能	3	2.5 Z 变换	82
1.2.3 MATLAB 的二维图形功能	4	2.5.1 Z 变换的定义与收敛域	82
1.3 信号的概念与基本运算	6	2.5.2 Z 逆变换	85
1.3.1 工程中的信号	6	2.5.3 Z 变换的性质	88
1.3.2 信号的分类	7	2.5.4 Z 变换与拉普拉斯变换之间的关系	92
1.3.3 典型信号	12	习题	92
1.3.4 连续信号的基本运算与时域变换	19	第3章 信号的频谱分析	95
1.3.5 连续信号的分解	24	3.1 引言	96
1.4 系统的概念	29	3.2 信号的频谱	97
1.4.1 系统描述	30	3.2.1 正弦信号的频域表示	97
1.4.2 系统的特性和分类	33	3.2.2 周期信号的频谱	100
1.4.3 LTI 系统及其对输入的响应	35	3.2.3 非周期信号的频谱	109
习题	37	3.2.4 信号频谱的常用性质	117
第2章 信号的卷积与变换	42	3.2.5 功率谱与能量谱	121
2.1 引言	43	3.3 抽样定理	123
2.2 卷积与相关	43	3.3.1 时域抽样及其频谱	123
2.2.1 卷积和	43	3.3.2 抽样定理	124
2.2.2 卷积积分	45	3.4 离散时间傅里叶变换与离散傅里叶变换	129
2.2.3 相关	48	3.4.1 离散时间傅里叶变换	129
2.3 傅里叶变换	51	3.4.2 离散傅里叶变换	130
2.3.1 周期函数的傅里叶展开	51	习题	133
2.3.2 周期函数的对称性与其谐波分量的关系	55	第4章 线性时不变系统对输入的响应	136
2.3.3 傅里叶变换	58	4.1 引言	137
2.3.4 傅里叶变换的性质	60		
2.4 拉普拉斯变换	67		

4.2 连续时间系统的时域表示	137	4.9.2 零输入响应	178
4.2.1 连续时间 LTI 系统的时域模型	137	4.9.3 零状态响应和系统函数	178
4.2.2 算子表示法	138	4.9.4 全响应	180
4.3 LTI 系统的响应分解	139	习题	181
4.3.1 齐次解和特解	139	第 5 章 系统分析及应用	185
4.3.2 零输入响应和零状态响应	140	5.1 引言	186
4.4 连续时间系统的时域分析法	141	5.2 连续时间系统的系统分析	186
4.4.1 常系数线性微分方程求解——经典法	141	5.2.1 系统零极点	186
4.4.2 零输入响应的求解	143	5.2.2 系统零极点与时域特性的关系	186
4.4.3 单位冲激响应和单位阶跃响应	143	5.2.3 系统零极点与系统频率特性的关系	188
4.4.4 零状态响应的求解	146	5.2.4 系统稳定性	191
4.4.5 各种响应之间的关系	148	5.3 离散时间系统分析	197
4.5 连续时间系统的频域分析法	150	5.3.1 系统零极点与时域特性的关系	197
4.5.1 连续时间系统的频域模型	150	5.3.2 系统零极点与系统频率特性的关系	198
4.5.2 频域系统函数	152	5.3.3 系统稳定性	200
4.5.3 零状态响应的求解	154	5.4 系统的因果性	202
4.6 连续时间系统的复频域分析法	155	5.4.1 因果系统的概念	202
4.6.1 连续时间系统的复频域模型	155	5.4.2 连续时间系统的因果性与判别	202
4.6.2 零输入响应的求解	158	5.4.3 离散时间系统的因果性与判别	203
4.6.3 复频域系统函数	159	5.5 信号通过线性时不变系统不失真的条件	204
4.6.4 零状态响应的求解	162	5.6 调制与解调	207
4.6.5 利用 S 域分析求解系统的全响应	163	5.6.1 调制与解调的概念	207
4.6.6 极点与响应的关系	164	5.6.2 双边带调制	208
4.7 离散时间系统的时域表示	166	5.6.3 单边带调制	210
4.7.1 离散时间系统的时域模型	166	5.6.4 振幅调制	212
4.7.2 移序算子	167	5.7 频分复用与时分复用	214
4.8 离散时间系统的时域分析法	168	5.7.1 频分复用	214
4.8.1 迭代法	168	5.7.2 时分复用	214
4.8.2 经典法	169	习题	216
4.8.3 零输入响应	170	第 6 章 滤波器	219
4.8.4 单位样值响应	171	6.1 引言	220
4.8.5 零状态响应	174		
4.8.6 用双零法求完全响应	176		
4.9 离散时间系统的 Z 域分析法	177		
4.9.1 离散时间系统的 Z 域模型	177		

87	6.2	理想模拟滤波器及其冲激响应	220
87	6.2.1	理想模拟滤波器	220
88	6.2.2	理想低通滤波器的冲激响应	221
181	6.3	模拟滤波器的实现	222
	6.3.1	模拟滤波器的一些典型逼近	
281		函数	223
281	6.3.2	模拟滤波器的频率变换	225
286	6.4	数字滤波器	227
281	6.4.1	数字滤波器的基本原理	227
		的冲激响应和频率响应	2.3.2
281		关系	2.3.2
		的冲激响应和频率响应	2.3.3
188		关系	2.3.4
191		冲激响应	2.3.4
197		冲激响应和频率响应	2.3.4
197		的冲激响应和频率响应	2.3.1
197		关系	2.3.1
		的冲激响应和频率响应	2.3.2
198		关系	2.3.2
200		冲激响应	2.3.3
205		因果系统的因果性	4.2
205		因果系统的因果性	4.1
205		因果系统的因果性	4.2
205		因果性	4.2
205		因果性	4.2
		因果性	2.2
204		因果性	2.2
205		因果性	2.2
207		因果性	2.1
208		因果性	2.2
210		因果性	2.2
212		因果性	2.2
214		因果性	2.2
214		因果性	2.1
214		因果性	2.2
216		因果性	2.2
219		因果性	2.2
220		因果性	2.2

131	6.4.2	FIR与IIR滤波器的频响特性	229
	6.5	数字滤波器的基本结构	232
131	6.5.1	IIR数字滤波器的结构	232
138	6.5.2	FIR数字滤波器的结构	235
139	习题		237
139			2.3.1
	部分习题答案		241
141			4.4
	参考文献		247
141			4.4
143			4.4
			4.4
143			4.4
144			4.4
148			4.4
150			4.4
150			4.2
152			4.2
154			4.2
157			4.2
157			4.2
158			4.2
159			4.2
162			4.2
162			4.2
162			4.2
162			4.2
164			4.2
166			4.2
166			4.2
167			4.2
168			4.2
168			4.2
169			4.2
170			4.2
171			4.2
171			4.2
174			4.2
176			4.2
177			4.2
177			4.2

第 1 章

概 论

- ◇ 1.1 引 言
- ◇ 1.2 关于 MATLAB
- ◇ 1.3 信号的概念与基本运算
- ◇ 1.4 系统的概念
- ◇ 习题

内 容 提 要

本章介绍信号与系统的定义、表示、分类方法和基本特性；着重介绍了后文将要用到的几个典型信号的函数表示与波形表示、信号的四则运算、微积分和时域变换；介绍了系统的模型、分类及系统模拟等。

本章要求掌握信号的基本描述方法、分类及其基本运算，掌握系统的基本概念和描述方法，掌握线性时不变系统的概念，能利用 MATLAB 画波形图。

本章课堂教学建议安排 10~12 学时。



1.1 引言

人类的任何社会活动都包含着信息的传递和处理。信息必须由信号携带通过系统传输。本书介绍信号与系统分析的基本方法,为读者进一步学习后继专业课程奠定必要的理论基础。

通过观察对象随某一自变量变化而变化的情况来研究对象,是科学研究的重要方法之一。如果自变量取为时间 t ,则相应的方法称为时域方法。时域方法与我们的客观感受完全一致,因而易于理解和接受,但在工程上,利用变量替换方法把自变量变为其他量,有时会更方便,这称为变换域方法。经典的意义上,信号与系统可以以时间为自变量进行分析,也可以通过傅里叶变换以频率为自变量进行分析,或通过拉普拉斯变换以复频率为自变量进行分析,对离散信号与系统,可以通过 Z 变换以 z 为自变量进行分析。

科学研究的另一个方法是化繁为简。现实世界里的对象往往都很复杂,为便于研究,人们提炼或抽象出一些简单的特例或理想情况,对其进行充分研究,再按某种规则推及复杂的对象。特别是当研究对象具备线性结构时,一般情况可以写成特殊情况的线性组合,这样对一般对象的研究就转化成了对特殊情况 and 线性运算性质的研究,问题得到大大简化。

以上两种方法构成了本书的方法论基础。

本书以通信和信号处理理论为背景,以某些特殊的信号与系统在时域、频域、复频域和 Z 域的分析为例,介绍信号与系统的分析方法,以及一些初步的应用。

1.2 关于 MATLAB

MATLAB 是 Matrix Laboratory 的缩写,是美国 MathWorks 公司开发的集数值计算、符号演算和图形可视化三大功能于一体的软件系统,使用方便,编程效率极高,被认为是一种标准的软件。它的出现大大推进了科学研究,也有力地促进了工程教育课程的改革。本书将 MATLAB 作为辅助工具,将在可能的地方给出有实用价值的程序,展示如何用这一工具来分析与研究信号和线性系统中的许多问题,有兴趣的读者可以自行验证结果的正确性。欲对有关内容进行深入了解的读者,请参阅专门介绍 MATLAB 的著作。跳过本节及后文中与 MATLAB 有关的内容不会影响课程的学习。

1.2.1 MATLAB 入门

在装有 MATLAB 系统的计算机上双击 MATLAB 图标启动该系统,将在屏幕上显示如图 1-1 所示的主界面。

图 1-1 中包括标题栏、菜单栏、工具栏和输入/输出区(Command Window)4 部分,其中右下部分的大片空白区就是输入/输出区,是用户的主要工作区,绝大多数工作都在这里完成。

MATLAB 的使用非常简单:对简单的计算或画图问题,在 Command Window 中光标闪动的地方直接输入表达式或画图指令,然后按[Enter]键, MATLAB 会立即执行该指令,并在 Command Window 中输出计算结果,在弹出的新窗口中输出图形。

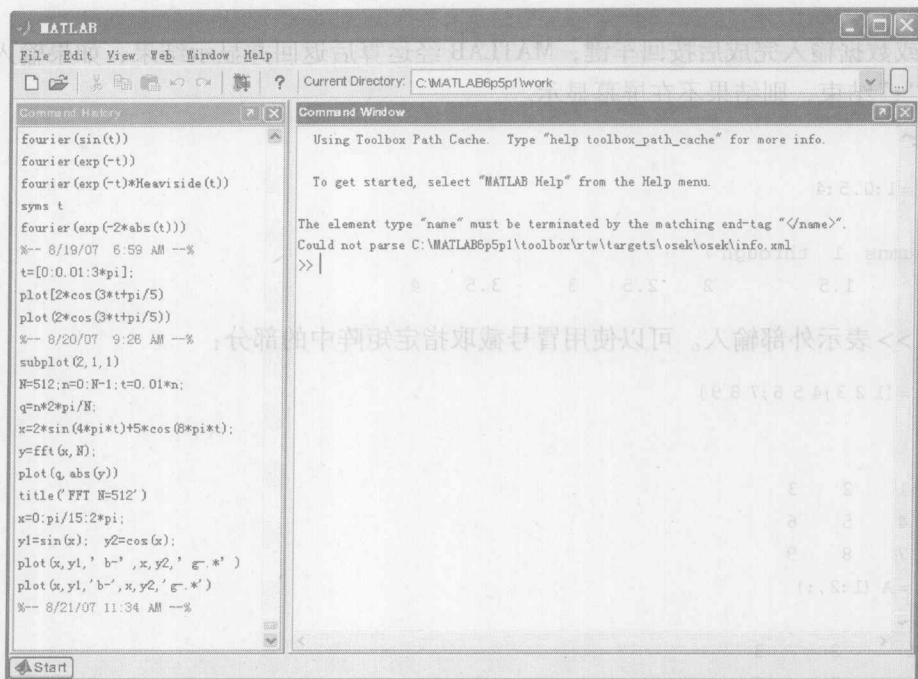


图 1-1 MATLAB 主界面

也可以通过编辑 M 文件的方法应用 MATLAB 解决比较复杂的问题。利用 M 文件编辑器创建新 M 文件可采用如下方法：

方法一：在命令窗口菜单栏 [File] 菜单下的 [New] 菜单选项中启动 [M-File] 命令，打开 MATLAB 的 M 文件编辑器。

方法二：单击命令窗口工具栏的“NewM-File”图标按钮，也可打开 M 文件编辑器。

在 M 文件编辑器中，可以用创建一般文本文件的方法对 M 文件进行输入和编辑。然后保存 M 文件。

执行 M 文件可使用下面的方法：

方法一：在命令窗口中输入已编辑并保存的 M 文件的文件名(含所在路径)并按下回车键。

方法二：编辑并保存所编辑的 M 文件，在 MATLAB 的 M 文件编辑器窗口中选择 Debug 菜单的 RUN，运行 M 文件。

1.2.2 MATLAB 的数值计算功能

矩阵是 MATLAB 数据存储的基本单元，而矩阵的运算是 MATLAB 语言的核心，在 MATLAB 语言系统中绝大多数运算是以对矩阵的操作为基础的。

从键盘上直接输入是最方便、最常用的创建数值矩阵的方法，尤其适合较小的矩阵。

输入矩阵时以“[]”为其标识符号，矩阵的所有元素必须都在括号内。矩阵同行元素之间由空格或逗号分隔，行与行之间用分号或回车键分隔。矩阵元素可以是数或运算表



达式。

命令或数据输入完成后按回车键，MATLAB 经运算后返回并显示结果，如果输入的命令或数据以“;”结束，则结果不在屏幕显示。

例如：

```
>> a=1:0.5:4
a =
Columns 1 through 7
1    1.5    2    2.5    3    3.5    4
```

其中 >> 表示外部输入。可以使用冒号截取指定矩阵中的部分：

```
>> A=[1 2 3;4 5 6;7 8 9]

A =
    1     2     3
    4     5     6
    7     8     9

>> B=A(1:2,:)
B =
    1     2     3
    4     5     6
```

B 是由矩阵 A 的 1 到 2 行和相应的所有列的元素构成的一个新的矩阵。

MATLAB 语言也允许用户调用在 MATLAB 环境之外定义的矩阵。可以利用任意的文本编辑器编辑所要使用的矩阵，矩阵元素之间以特定分隔符分开，并按行列布置。读入矩阵可以利用 load 函数，格式为：Load + 文件名[参数]

Load 函数将会从文件名所指定的文件中读取数据，并将输入的数据赋给以文件名命名的变量。

例如：事先在记事本中建立 d1.txt 并保存文件：

```
1 2 3
4 5 6
7 8 9
```

在 MATLAB 命令窗口中输入(当文件不在缺省目录时需指定路径)：

```
>> load d1.txt
>> d1
d1 =
    1     2     3
    4     5     6
    7     8     9
```

1.2.3 MATLAB 的二维图形功能

最常用的画二维图形的命令是 plot：

```
>> y=[0 1.58 1.70 2.95 1.83 0.25];
>> plot(y)
```

生成的图形是以序号 1, 2, ..., 6 为横坐标, y 的数值为纵坐标的折线, 如图 1-2 所示。

```
>> x=linspace(0,2*pi,20); % 生成一组线性等距的数值
>> y=sin(x);
>> plot(x,y)
```

生成的图形是 $[0, 2\pi]$ 上 20 个点连成的光滑正弦曲线, 如图 1-3 所示。

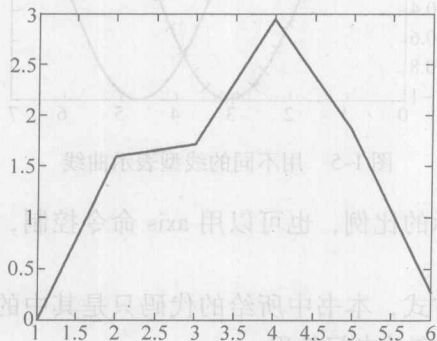


图 1-2 MATLAB 画出的折线图

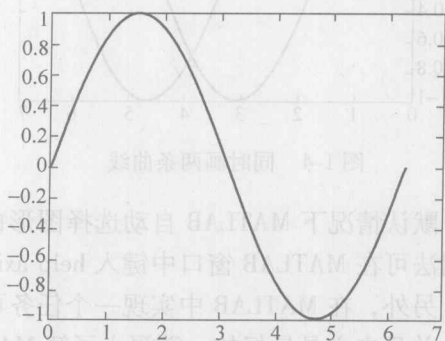


图 1-3 MATLAB 画出的曲线图

下面的命令同时画出两条曲线:

```
>> x=0:pi/15:2*pi;
>> y1=sin(x);
>> y2=cos(x);
>> plot(x,y1,x,y2)
```

曲线如图 1-4 所示。在已经画好的图形上, 若设置 `hold on`, MATLAB 将把新的 `plot` 命令产生的图形画在原来的图形上。而命令 `hold off` 将结束这个过程。例如:

```
>> x=linspace(0,2*pi,20);y=sin(x);plot(x,y)
```

先画好图 1-3, 然后用下述命令增加 $\cos(x)$ 的图形, 也可得到图 1-4。

```
>> hold on
>> z=cos(x);plot(x,z)
>> hold off
```

MATLAB 对曲线的线型和颜色有许多选择, 标注的方法是在每一对数组后加一个字符串参数:

线型 线方式: - 实线 ; 点线 - . 虚点线 -- 波折线。

线型 点方式: . 圆点 + 加号 ★ 星号 x x 形 o 小圆

颜色: y 黄; r 红; g 绿; b 蓝; w 白; k 黑; m 紫; c 青

用法如下例:

```
>> x=0:pi/15:2*pi;
>> y1=sin(x);y2=cos(x);
>> plot(x,y1,'b-',x,y2,'g-.*')
```

如图 1-5 所示。

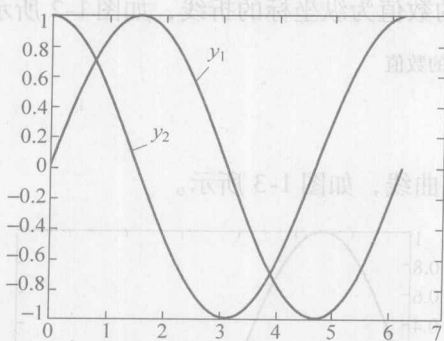


图 1-4 同时画两条曲线

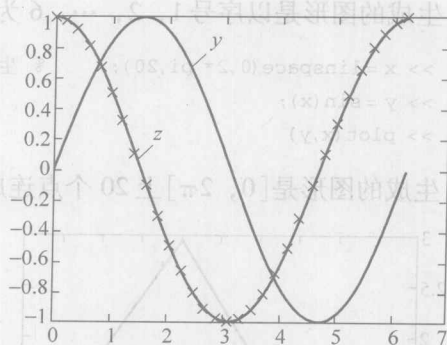


图 1-5 用不同的线型表示曲线

默认情况下 MATLAB 自动选择图形的横、纵坐标的比例,也可以用 `axis` 命令控制,具体用法可在 MATLAB 窗口中键入 `help axis` 查阅。

另外,在 MATLAB 中实现一个任务可能有多种方式,本书中所给的代码只是其中的一种,并且未必是最好的,欲深入了解 MATLAB 请参阅有关专门教程。

1.3 信号的概念与基本运算

1.3.1 工程中的信号

当教师向我们介绍《信号与系统》课程的基本内容时,他先在脑海里将想要表达的意思组成语言,然后利用自己的发声器官,强迫空气振动,产生连续的声波并向外扩散,我们的耳膜感受到了声波,大脑通过对声波的分析处理,从中获取教师所要表达的意思。

这里,“连续的声波”是所谓的“信号”,它携带了“教师所要表达的意思”,即“消息”。

一旦一个人失去了语言功能,他就只能通过打手势与别人交流,手在空间中的运动轨迹就构成了“信号”,接受信号者可以获得“消息”。

由此可知,信号是指消息的表现,而消息则是信号的内涵。消息一般都要借助于一定形式的信号才能进行传输和处理。

得到一个“消息”之后,可能得到一定的“信息”。概括地说,信息与消息在含义上的区别为:信息是消息中不确定性的消除(也就是该消息给予接受者的新知识)。

关于“信息”的定义,不同的学者和学科有所不同,本书不做过多讨论。

对任何一种变化着的物理量,给它附着一个特定的含义都可以形成本课程所称的信号。因此,本书研究的信号可以是任何一种变化着的物理量。电流和电压是实用中最常见的物理量,因而是本书研究的重点,并被称为电信号,但分析方法可以推广到其他形式的信号,比如光信号或磁信号。

为了便于分析,需要将信号用数学的方式表示出来。数学上,自变量连续的确定性变量用函数表示,自变量离散的确定性变量用数列(序列)表示,不确定变量用随机过程表示,因此,信号在数学上就被表示成函数或序列或随机过程,本书的主要研究对象是确定性变量,将不加区别地使用“信号”与“函数”、“信号”与“序列”这两对词语。

语音信号可以看成是声压随时间变化的一元函数,用 $f(t)$, $t \in [0, T]$ 表示。

在数字图像处理课程中,科学家把从白到黑划分为 256 个级别(称为灰度),0 表示最黑,

255 表示最白, 这样, 平面上点 (x, y) 处的灰度用 $f(x, y)$ 表示的话, $\{f(x, y), x, y \in D\}$ 就表示一幅灰度图像, 其中 D 表示某一平面区域。

黑白电视可以看成一系列连续的黑白图像, 因而可以表示为: $\{f(x, y, t), x, y \in D, t \in [0, T]\}$ 。

为直观起见, 有时也用函数的曲线图形, 即波形来表示信号, 尤其是在简单信号的场合。图 1-6 是男声说“信号与系统”的波形, 图 1-7 是放大的了细节部分。

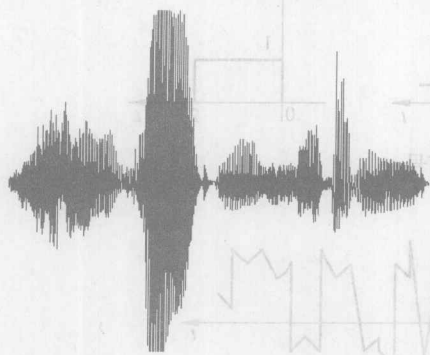


图 1-6 男声“信号与系统”波形图

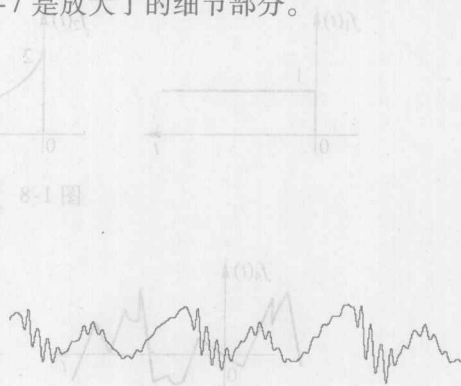


图 1-7 局部的放大波形

由图 1-6 可见, 实际中的信号都是十分复杂的, 为方便分析, 一种可行的方法是用一些简单信号的线性组合来逼近它(以后还会学到其他的方法)。这里的“简单信号”也称为“基本信号”, 或“基”, 本书中, 用作基的信号有冲激信号 $\delta(t)$ 、正弦信号和指数信号等。

冲激信号 $\delta(t)$ 不是实际中的信号, 而是实际信号的理想化模型。用它作为基本信号的原因主要是, 第一, 在系统分析时可以用系统对冲激信号的响应代表系统, 这样, 在某些情况下可以将对系统的研究转化为对信号的研究; 第二, 在变换域中 $\delta(t)$ 的表示特别简单(就是 1); 第三, 冲激信号可以精确地对抽样过程建模。抽样是从实际信号到计算机能处理的信号的必经转化过程, 因而特别重要。

正弦信号是物理上最简单的信号, 因而作为基几乎是天经地义的。用正弦信号作为基自然而然地引出了傅里叶变换, 形成了信号分析与处理的核心技术, 自然也是本课程的核心。

指数信号作为基的理由主要有两点, 第一, 因为它通过欧拉公式能表示出正弦信号, 第二, 用线性微分方程作为系统模型时, 一般情况下, 只有当输入信号为指数类(即原函数与导函数在同一类中, 包括指数函数、幂函数和正余弦函数)信号时, 才能得到系统响应的一般解。

本书基本上不研究实际信号的分析, 而只是结合对基本信号及其简单拓展的研究, 介绍信号分析的基本原理与方法, 因此, 读者可以发现, 以冲激信号和指数信号为中心的两类信号贯穿本书始终。

1.3.2 信号的分类

按照不同的性质和数学特征, 信号有不同的分类方法。信号分类之后, 同一类的信号具有相同的特性, 可以用类似的方法研究。

1. 确定性信号与随机信号

由确定的时间函数所表达的信号称为确定性信号或规则信号。对这种信号, 给定时刻就



能确定相应的信号值，因此，它不能带给我们新的知识。

不能用确定性函数表示的信号，称为随机信号。对这种信号，事先无法预知它的变化规律，因而可以带给我们新的知识。

随机信号与确定性信号的区别是，对确定性信号，总能写出它的表达式，而随机信号则无法写出表达式，图 1-8 和图 1-9 分别给出了确定性信号和随机信号的示意波形。

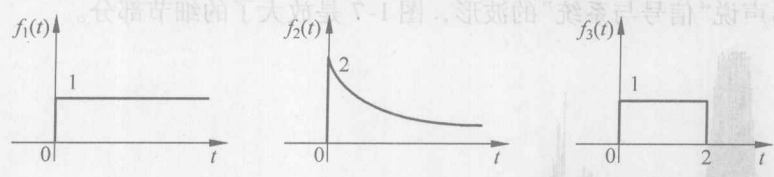


图 1-8 确定性信号

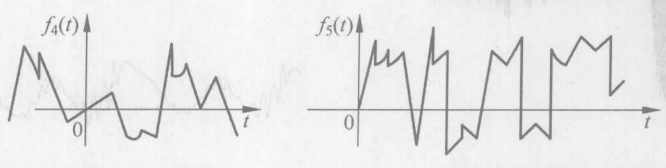


图 1-9 随机信号

实际中的信号几乎都是随机信号。例如通信系统中传输的信号，接收者在收到所传送的消息之前，对信息源所发出的消息是不能预知的，否则，接收者就不可能由它得知新的消息，也就失去了通信的意义。另外，信号在传输过程中也会因干扰和噪声的影响而表现出随机性。但确定性信号是实际系统分析设计的基础，同时，其基本理论与分析方法也是研究随机信号的基础，因此，本书只涉及确定性信号，对随机信号的研究将在后继课程中学习。

2. 连续时间信号与离散时间信号

如果信号 $f(t)$ 在自变量 t 的某个区间内，除有限个间断点外均有定义，就称 $f(t)$ 在此区间内为连续时间信号，简称连续信号。注意，这里“连续”的含义是指自变量（除有限个点外）是连续取值的，此时， $f(t)$ 的值可以是连续变化的，也可以是跳跃的， t 连续取值 $f(t)$ 连续变化的信号称为模拟信号。模拟信号就是高等数学中学习过的连续函数（除去有限个不连续点外），如图 1-10 所示。

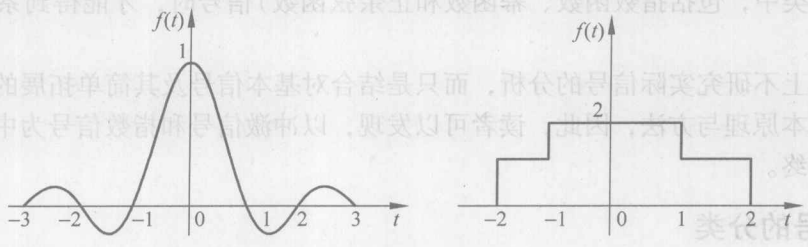


图 1-10 连续时间信号

自变量取离散值时的信号就是高等数学中的数列，其自变量用 n 表示，通常为整数，表示第 n 个时刻。它只在某些特定的瞬时给出确定的函数值，其他时间没有定义，称为离散时间信号，简称为离散信号，如图 1-11 所示。