

M

ATLAB

基于**MATLAB** 的数字信号处理 与实践开发

王嘉梅 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

TN911.72/200

2007

基于 MATLAB 的数字 信号处理与实践开发

王嘉梅 主编

西安电子科技大学出版社

2007

内 容 简 介

本书系统地讲述了利用 MATLAB 进行数字信号处理等基本知识的应用及综合设计开发实例。本书分两篇,共 12 章。第一篇为 MATLAB 实践篇,由第 1 章和第 2 章组成。第 1 章讲述了信号、连续时间周期信号的傅里叶级数及频谱分析;第 2 章系统地讲述了数字信号处理的 MATLAB 实现。第二篇为 MATLAB 综合开发篇,由第 3 章至第 12 章组成,主要以 MATLAB 软件为基础进行数字信号处理综合实践和开发应用,包括小波消噪、系统辨识、股市预测、图像压缩、车牌识别、高阶谱分析、数字水印技术等,这些章节中的实例使用了许多 MATLAB 语句及界面,可使读者迅速掌握 MATLAB 编程及综合开发的技巧,提高数字信号处理实践开发的效率。

本书构思新颖,实践性强,内容丰富,深入浅出,所有程序及应用实例均可通过 MATLAB 上机调试。无论是对数字信号处理的学习,还是利用 MATLAB 开发实践性课题,或是培养创新精神和解决实际问题,本书都具有十分重要的意义。

图书在版编目(CIP)数据

基于 MATLAB 的数字信号处理与实践开发/王嘉梅主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2007.12

ISBN 978-7-5606-1919-4

I. 基… II. 王… III. 数字信号-信号处理-计算机辅助计算-软件包, MATLAB
IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 141160 号

策 划 臧延新

责任编辑 杨丕勇 臧延新

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 16.75

字 数 391 千字

印 数 1~4000 册

定 价 26.00 元

ISBN 978-7-5606-1919-4/TP·0994

XDUP 2211001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

目前,数字信号处理理论与应用已成为一门极其重要的高新技术学科。本书紧紧围绕近年来电子信息学科专业及其实践性环节的建设与发展,并利用功能强大、交互性好的可视化工具 MATLAB 在信号处理方面得天独厚的优势,以多年来我们在数字信号处理方面的实践教学、毕业设计及综合设计开发实践成果为依托,将数字信号处理的 MATLAB 实现及综合设计实践融合在一起。通过大量的应用实例,全面系统地讲述应用 MATLAB 对数字信号与系统进行处理分析与实现的具体方法和实践开发过程。这样做的目的在于让读者在学习数字信号处理理论知识的同时,掌握 MATLAB 的使用,将大量繁杂的数学运算用 MATLAB 进行形象、直观的计算机模拟与仿真实现,从而加深对数字信号处理方法及应用的理

解。本书分两篇,共 12 章。第一篇为 MATLAB 实践篇,由第 1 章和第 2 章组成。第 1 章讲述了信号、连续时间周期信号的傅里叶级数及频谱分析,适合于信号处理仿真实验;第 2 章系统地讲述了数字信号处理的 MATLAB 实现,适合于系统学习数字信号处理基本知识的 MATLAB 仿真练习。第二篇为 MATLAB 综合开发篇,由第 3 章至第 12 章组成,主要讲述基于 MATLAB 的数字信号处理综合实践和开发应用。第 3 章讲述了基于 MATLAB 的小波信号消噪;第 4 章讲述了离散信号与系统及其 MATLAB 实现;第 5 章讲述了基于 MATLAB 的 FIR 滤波器设计;第 6 章讲述了基于 MATLAB 的离散时间全通系统和系统辨识的实现;第 7 章讲述了股票市场的线性预测;第 8 章讲述了基于小波变换的数字图像处理及其运用;第 9 章讲述了基于 MATLAB 的高速公路车牌识别系统;第 10 章讲述了基于 MATLAB 的小波信号压缩;第 11 章讲述了基于 MATLAB 的高阶谱分析;第 12 章讲述了基于 MATLAB 的 DCT 数字水印技术。

本书的主要服务对象是:理工科高等院校电子、通信、电气与计算机类专业的教师、本科生及研究生,从事数字信号处理与分析的相关科研人员,以及对利用 MATLAB 进行数字信号处理研究感兴趣的读者。

本书由王嘉梅主编并编写了第1章、第2章的2.1~2.6节、第3章和第5~11章的内容；吴庆畅编写了第2章的2.7、2.8节和第4章的内容；尹世堂和吴庆畅编写了第12章的内容；王嘉祥参与了第1章内容的编写。

在本书的编写过程中，参考了电子信息工程专业、电气工程及其自动化专业毕业生朱华、陆高、赵树江、龙碧喜、薛维、田维马、虎雁华、郭建华、施秀萍、和泉月、赵家锐、张艳芬、杨国材、罗东会、苏红、陆高、杨跃武、张世仓、桂龙祥、李子成、陈丽媛、赵恒、何顺龙等同学的毕业设计程序及仿真等内容。在本书第2章的编写过程中，编者参阅了丁玉美等编写的《数字信号处理》(西安电子科技大学出版社出版)和陈怀琛教授等翻译的《数字信号处理及其MATLAB实现》等书。西安电子科技大学出版社为本书的出版给予了很大的帮助，在此，一并表示衷心的感谢。

全书由王嘉梅统稿，吴庆畅、文永华、王嘉祥等同志参与了书稿的审阅。

书中不妥和疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

王嘉梅

2007年7月

目 录

第一篇 MATLAB 实践篇

第 1 章 信号、连续时间周期信号的傅里叶级数和频谱分析	3
1.1 信号的时域分析——波形的产生和信号的基本运算及 MATLAB 实践	3
1.1.1 信号的表示及可视化	3
1.1.2 实践目的	4
1.1.3 实践内容	4
1.1.4 MATLAB 实践	5
1.1.5 参考实例	6
1.2 连续时间周期信号的傅里叶级数及 MATLAB 实践	9
1.2.1 连续时间周期信号的傅里叶级数 CTFS	9
1.2.2 实践目的	10
1.2.3 实践内容	10
1.2.4 MATLAB 实践	11
1.2.5 参考实例	11
1.3 连续时间周期信号的频谱分析及 MATLAB 实践	15
1.3.1 连续时间周期信号的频谱分析	15
1.3.2 实践目的	16
1.3.3 实践内容	16
1.3.4 MATLAB 实践	17
1.3.5 参考实例	18
第 2 章 数字信号处理的 MATLAB 实现	21
2.1 序列的傅里叶变换的 MATLAB 实现	21
2.1.1 序列 $x(n)$ 的傅里叶变换公式	21
2.1.2 序列的傅里叶变换的 MATLAB 实现	21
2.2 周期序列离散傅里叶级数及傅里叶变换的 MATLAB 实现	23
2.2.1 周期序列离散傅里叶级数及傅里叶变换表示	23
2.2.2 周期序列离散傅里叶级数及傅里叶变换的 MATLAB 实现	23
2.3 利用 Z 变换分析信号和系统频域特性的 MATLAB 实现	25
2.3.1 利用 Z 变换分析信号和系统的频域特性	25
2.3.2 利用 Z 变换分析信号和系统频域特性的 MATLAB 实现	26
2.4 离散傅里叶变换(DFT)的 MATLAB 实现	28
2.4.1 DFT 的定义	28
2.4.2 DFT 的 MATLAB 实现	29

2.4.3	离散傅里叶变换的基本性质的 MATLAB 实现	30
2.4.4	频率域采样	35
2.5	用 FFT 实现周期信号的频谱分析及其 MATLAB 实现	38
2.5.1	用 FFT 计算离散时间 Fourier 级数(DTFS)	38
2.5.2	用 FFT 计算连续时间 Fourier 级数(CTFS)	39
2.5.3	用 FFT 实现周期信号的频谱分析	39
2.6	时域离散系统的基本网络结构与状态变量分析法的 MATLAB 实现	42
2.6.1	级联型滤波器网络结构的 MATLAB 实现	42
2.6.2	并联型滤波器网络结构的 MATLAB 练习	43
2.7	无限脉冲响应数字滤波器的 MATLAB 实现	46
2.7.1	用脉冲响应不变法设计 IIR 数字低通滤波器的 MATLAB 实现	46
2.7.2	用双线性变换法设计 IIR 数字低通滤波器的 MATLAB 实现	52
2.8	有限脉冲响应数字滤波器的 MATLAB 实现	57
2.8.1	线性相位 FIR 数字滤波器的条件和特点	57
2.8.2	利用窗函数法设计 FIR 滤波器的 MATLAB 实现	62
2.8.3	利用频率采样法设计 FIR 滤波器的 MATLAB 实现	64
2.8.4	利用切比雪夫逼近法设计 FIR 滤波器的 MATLAB 实现	68

第二篇 MATLAB 综合开发篇

第 3 章	基于 MATLAB 的小波信号消噪	77
3.1	小波变换在信号消噪中的原理与算法	77
3.2	常用小波介绍	79
3.3	基于 MATLAB 的小波信号消噪	81
3.3.1	基于 MATLAB 的小波信号消噪	81
3.3.2	小波阈值对信号消噪结果的影响	86
3.3.3	基于 MATLAB 的小波包信号消噪	88
3.3.4	不同小波对消噪结果的影响	91
3.3.5	小波变换在消噪过程中的作用和关键因素	99
第 4 章	离散信号与系统及其 MATLAB 实现	102
4.1	线性离散信号及系统的模块图	102
4.2	离散时间序列卷积和的 MATLAB 实现	104
4.3	离散系统单位响应的 MATLAB 实现	106
4.4	LTI 离散系统响应的 MATLAB 实现	108
4.5	信号的 MATLAB 实现	109
4.6	离散序列的运算及 MATLAB 实现	113
4.7	图形用户界面的实现	115
第 5 章	基于 MATLAB 的 FIR 滤波器设计	116
5.1	MATLAB 简介	116
5.2	窗函数设计法和等波纹滤波器设计	118
5.2.1	窗函数设计法	118
5.2.2	等波纹滤波器设计	124

5.3 窗函数法和等波纹法设计 FIR 滤波器的 MATLAB 实现	125
第 6 章 基于 MATLAB 的离散时间全通系统和系统辨识的实现	132
6.1 离散时间 Fourier 变换	132
6.1.1 基本概念	132
6.1.2 离散时间 Fourier 变换	132
6.2 离散时间全通系统	133
6.3 基于 DTFT 的数字滤波器设计	134
6.3.1 基本概念	134
6.3.2 有限长冲激响应(FIR)数字滤波器设计	134
6.3.3 滤波器的技术要求	134
6.4 系统辨识	134
6.4.1 基本概念	135
6.4.2 数据处理	135
6.4.3 系统参数模型估计	135
6.5 DTFT 系统的 MATLAB 实现	135
6.5.1 离散时间全通系统	136
6.5.2 程序运行结果	138
6.6 基于 DTFT 的滤波器设计的 MATLAB 实现	144
6.6.1 滤波器设计	144
6.6.2 滤波器验证	144
6.6.3 程序运行结果	144
6.7 系统辨识的 MATLAB 实现	150
6.7.1 输入信号的产生	150
6.7.2 系统参数模型估计及模型验证	151
6.7.3 程序运行结果	152
第 7 章 股票市场的线性预测	157
7.1 股市线性预测的原理	157
7.2 利用 MATLAB 实现股市线性预测的编程思想	158
7.3 计算机仿真股市线性预测模型	159
7.4 MATLAB 程序设计	160
7.4.1 主界面程序	160
7.4.2 预测器主程序	160
7.4.3 预测模型程序	162
7.4.4 求解系数子程序	163
7.4.5 数据载入子程序	164
7.4.6 信源子程序	164
第 8 章 基于小波变换的数字图像处理及其运用	166
8.1 小波变换	167
8.2 二维小波三级变换的 MATLAB 实现	169
8.3 基于小波变换的图像压缩	174
8.4 基于小波变换的图像去噪	176
8.5 基于小波变换的图像增强	178

8.6 基于小波变换的图像融合	179
第9章 基于 MATLAB 的高速公路车牌识别系统	181
9.1 绪论	181
9.1.1 ITS 的起源	181
9.1.2 ITS 的发展	181
9.2 系统概述	182
9.2.1 系统构成	182
9.2.2 系统工作原理	182
9.3 车牌图像预处理	183
9.3.1 图像的灰度变换	183
9.3.2 灰度变换的 MATLAB 仿真结果	185
9.3.3 二值化及其边缘检测	186
9.3.4 二值化的 MATLAB 仿真结果	189
9.4 牌照图像的提取	190
9.4.1 车牌区域提取	191
9.4.2 车牌区域提取的 MATLAB 实现	191
9.4.3 车牌字符的分割	192
9.5 字符识别	193
9.5.1 字符识别的基础知识	193
9.5.2 识别内容	193
9.5.3 字符图像的细化和归一化	194
9.5.4 字符识别	194
9.6 车牌识别仿真实例	195
第10章 基于 MATLAB 的小波信号压缩	197
10.1 信号的离散小波变换	197
10.1.1 分辨率分析和 Mallat 算法	197
10.1.2 基于 MATLAB 的小波信号压缩算法实现	198
10.2 计算机信号压缩及仿真结果	199
10.2.1 应用小波变换对鸟叫声信号进行压缩和重构	199
10.2.2 应用小波变换对火车鸣笛声信号进行压缩和重构	206
10.2.3 应用小波变换对锣声信号进行压缩和重构	213
10.2.4 对信号压缩重构中的仿真结果分析	220
第11章 基于 MATLAB 的高阶谱分析	222
11.1 高阶累积量和高阶谱	222
11.1.1 高阶累积量	222
11.1.2 高阶谱	223
11.2 高阶累积量的估计	223
11.3 参数模型高阶谱估计	224
11.3.1 ARMA 模型及其模拟产生	224
11.3.2 MA 模型的参数估计	225
11.3.3 AR 模型的参数估计	226
11.3.4 ARMA 模型的参数估计	226

11.3.5 基于 ARMA 模型的高阶统计量估计	227
11.4 自适应线性预测	227
11.4.1 误差准则	227
11.4.2 自适应算法	227
11.5 基于倒谱的冲激响应和信号恢复	228
11.6 程序及其结果分析	229
11.6.1 自适应线性预测	229
11.6.2 基于倒谱的冲激响应辨识和信号恢复	230
11.6.3 参数模型高阶谱估计——ARMA	233
第 12 章 基于 MATLAB 的 DCT 数字水印技术	237
12.1 信息隐藏与数字水印技术	237
12.1.1 信息隐藏的主要分支	237
12.1.2 信息隐藏技术	238
12.1.3 水印技术	239
12.2 数字水印技术的应用	240
12.2.1 研究数字水印的意义	241
12.2.2 数字水印技术的应用领域	241
12.2.3 数字水印的分类	242
12.2.4 数字水印的嵌入和恢复	243
12.2.5 数字水印的典型算法	244
12.2.6 数字水印性能度量指标	244
12.3 基于 MATLAB 的 DCT 数字水印技术	246
12.3.1 引言	246
12.3.2 DCT 变换	247
12.3.3 水印嵌入和提取算法	247
12.3.4 MATLAB 在数字水印中的应用	249
说明	255
参考文献	256

第一篇

MATLAB 实践篇

第1章 信号、连续时间周期信号的傅里叶级数和频谱分析

数字信号处理的实践性很强,如果没有通过计算机进行练习与操作,有些概念会难以理解,还将直接影响到学习的效果。用户可选用 C/C++ 编程语言或 MathWorks 公司的 MATLAB 软件实现数字信号处理。但使用 C/C++ 语言在构思和实现一些编程设想时不仅耗时耗力,而且还有一定的难度。MATLAB 是一种功能很强的技术工具,其应用已广泛渗透到各个领域,尤其是自动控制和信号处理等领域。它最大的特点是容易使用,几乎不用编程就可完成一个计算练习。使用 MATLAB 可以给读者留出足够的时间和精力去主动积极地进行学习和开展创造性思维。这一点正是编写本书及第 1、第 2 两章实践内容的初衷。

本章我们以信号的时域分析和连续时间周期信号的傅里叶级数及频谱分析为例,来说明利用 MATLAB 来实现信号的时域分析和连续时间周期信号的傅里叶级数及频谱分析的过程。为了便于读者掌握与数字信号处理有关的实践练习内容,本章部分内容以实践练习的形式进行训练,将数字信号处理的基础理论与 MATLAB 实践设计结合在一起,这对于学习和掌握数字信号处理的理论和实践技术具有重要意义。

本章主要内容包括:

- (1) 信号的时域分析——波形的产生和信号的基本运算及 MATLAB 实践;
- (2) 连续时间周期信号的傅里叶级数及 MATLAB 实践;
- (3) 连续时间周期信号的频谱分析及 MATLAB 实践。

1.1 信号的时域分析——波形的产生和信号的基本运算及 MATLAB 实践

1.1.1 信号的表示及可视化

信号是消息的载体,是消息的一种表现形式。信号可以是多种多样的,通常表现为随时间变化的某些物理量,一般用 $f(t)$ 或 $f(k)$ 来表示。信号按照自变量的取值是否连续,可分为连续时间信号和离散时间信号。

对信号进行时域分析,首先就需要将信号随时间变化的规律用二维曲线表示出来。对于简单的信号,我们可以手工绘制其波形。但对于复杂的信号,手工绘制信号波形则显得十分困难,且难以绘制精确的曲线。

MATLAB 强大的图形处理功能及符号运算功能,为我们实现信号的可视化及时域分析提供了强有力的工具。本节将介绍如何用 MATLAB 来实现信号的可视化及时域分析。

在 MATLAB 中通常用两种方法来表示信号，一种是用向量来表示信号，另一种则是用符号运算的方法来表示信号。用适当的 MATLAB 语句表示出信号后，我们就可以利用 MATLAB 的绘图命令绘制出直观的信号波形并进行信号的基本运算了。

1.1.2 实践目的

- (1) 熟悉单位脉冲序列、单位阶跃序列、矩形序列和指数序列的产生。
- (2) 掌握利用 MATLAB 画图函数显示信号波形的方法。
- (3) 熟悉离散时间信号的反折、时间移位和尺度变换等运算。

1.1.3 实践内容

- (1) 利用 MATLAB 分别产生并显示下列序列。

- 单位脉冲序列，如图 1-1-1 所示。

$$\delta[n] = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & n \neq 0 \end{cases}$$

- 单位阶跃序列，如图 1-1-2 所示。

$$\mu[n] = \begin{cases} 1, & n \geq 0 \\ 0, & n < 0 \end{cases}$$

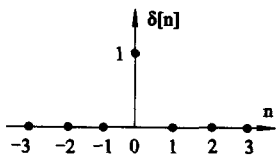


图 1-1-1 单位脉冲序列

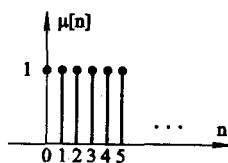


图 1-1-2 单位阶跃序列

- 矩形序列，如图 1-1-3 所示。

$$R_N[n] = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & n < 0 \text{ 或 } n > N-1 \end{cases}$$

- 指数序列 $a^n \mu[n]$ ，如图 1-1-4 所示。

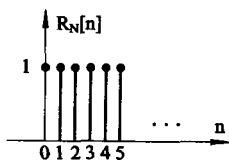


图 1-1-3 矩形序列

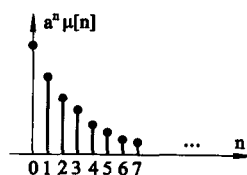


图 1-1-4 指数序列

- (2) 利用 MATLAB 分别产生并显示下列周期波形。

幅度为 1，脉冲宽度占空比 $\text{duty}=30$ ，周期 $T=6$ 的周期方波脉冲信号；

幅度为 1，脉冲宽度为 $\tau=1$ ，周期 $T=10\tau$ 的周期矩形脉冲信号；

幅度为 ± 1 ，周期 $T=8$ 的周期三角波脉冲；

幅度为 ± 1 ，周期 $T=8$ 的周期锯齿波脉冲。

- (3) 利用 MATLAB 分别产生并显示下列脉冲信号。

幅度为 1, 脉冲宽度为 $\tau=2$ 的非周期矩形脉冲信号;
幅度为 ± 1 的非周期三角波脉冲(参看 MATLAB 函数);
产生并用图形显示 sinc 函数。

(4) 利用 MATLAB 任意产生一个序列, 如 $a=[7\ 6\ 5\ 4\ 3\ 2\ 1]$, 对其分别进行反折 ($b=-a$)、时间移位和尺度变换等运算, 作图比较运算前后的波形。

读者可以在参考实例的基础上完成实验, 过程是先运行参考实例, 然后在此基础上, 按要求修改程序、存盘、运行、再修改、再运行, 直到获得满意的结果为止。

1.1.4 MATLAB 实践

(1) 本实验所用的 MATLAB 函数如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 MATLAB 函数

函 数	功 能
zeros(1,N)	产生一个由 N 个 0 组成的行向量
ones(1,N)	产生一个由 N 个 1 组成的行向量
sign(x)	符号函数
sawtooth(x,width)	三角波函数; width 为该位置的横坐标和周期的比值(0~1 的标量)。width=1 时产生锯齿波, width=0.5 时产生标准对称三角波
square(x,duty)	duty: 占空比, 即信号为正的区域在一个周期内所占的百分比
sinc(x)	sinc 函数
rectpuls(x,w)	产生连续、非周期、单位高度的矩形脉冲, 宽度为 w
tripuls	非周期三角脉冲
diric	周期 sinc 函数
fliplr	数组操作函数(以数组“垂直中线”为对称轴, 交换左右对称位置上的数组元素)
exp(x)	指数函数
sin(x)	正弦函数
cos(x)	余弦函数

(2) 在后面的章节中所用到的部分 MATLAB 函数。

int	符号积分函数
fliplr	数组操作函数(以数组“垂直中线”为对称轴, 交换左右对称位置上的数组元素)
fft	快速傅里叶变换
afd_butt(Wp,Ws,Rp,As)	巴特沃斯型模拟低通滤波器设计
freqs_m	显示模拟滤波器的频域图
afd_chb1(Wp,Ws,Rp,As)	切比雪夫-1 型模拟低通滤波器设计
afd_elip(Wp,Ws,Rp,As)	椭圆型模拟低通滤波器设计

1.1.5 参考实例

参考实例 ex1.1.1[squ_timefun.m]产生单位周期方波；参考实例 ex1.1.2[sjb_timefun.m]产生周期 $T=4$ 的三角波脉冲；参考实例 ex1.1.3[chj_timefun.m]产生阶跃序列。

上机实践时，用 Windows 操作系统的记事本或用 MATLAB 提供的编辑器，逐行输入下列语句，然后以 ex1.m 存盘，其中 m 为后缀名。所有 MATLAB 的程序都必须以 m 作为后缀名保存。在 MATLAB 命令窗口，改变当前路径至存有 ex1.m 的目录，可用 dir 命令检验。最后，在 MATLAB 命令窗口敲入 ex1.1.1 并回车，则可得到运行结果。

【例 1】 参考实例 ex1.1.1[squ_timefun.m]。产生占空比 $duty=1/2$ 的单位周期方波，由 square 方波函数组成，其中 t 是时间数组， T 是周期。

```
function x=squ_timefun(t,T)
% 占空比 duty=1/2 的单位周期方波，由 square 方波函数组成
% t 是时间数组
% T 是周期
T=5;t=-2*T;0.01:2*T;duty=50;
x=square(t,duty);
subplot(2,2,1)
plot(t,x)
title('连续时间函数-周期方波脉冲')
axis([-10,10,-1.2,1.2])
line([-10,10],[0,0])
```

程序运行结果如图 1-1-5 所示。

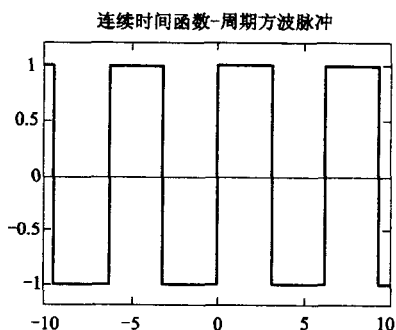


图 1-1-5 ex1.1.1 程序运行结果

【例 2】 参考实例 ex1.1.2[sjb_timefun.m]。[sjb_timefun.m]产生周期 $T=4$ 的三角波脉冲，其中 t 是时间数组， T 是周期。

```
function x=sjb_timefun(t,T)
% t 是时间数组
% T 是周期
T=4;t=-2.5*T;0.01:2.5*T;
x=sawtooth(t-2*T/3,0.5);
subplot(3,3,1)
plot(t,x)
title('周期三角波脉冲,T=4')
axis([-10,10,-1.2,1.2])
line([-10,10],[0,0])
```

程序运行结果如图 1-1-6 所示。

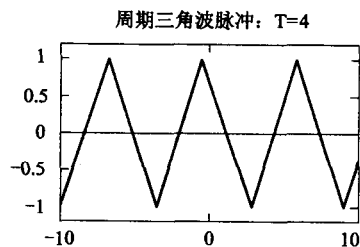


图 1-1-6 ex1.1.2 程序运行结果

【例 3】 参考实例 ex1.1.3[chj_timefun.m]。该程序产生阶跃序列。

```
function x=chj_timefun(t,T)
% 该函数产生阶跃序列
T=5;t=-2*T;3*T;
x=1/2+1/2.*sign(t);
```



```
subplot(2,2,1)
stem(t,x)
title('单位阶跃序列')
axis([-10,15,-0.2,1.2])
line([-10,15],[0,0])
line([0,0],[-0.2,1.5])
```

程序运行结果如图 1-1-7 所示。

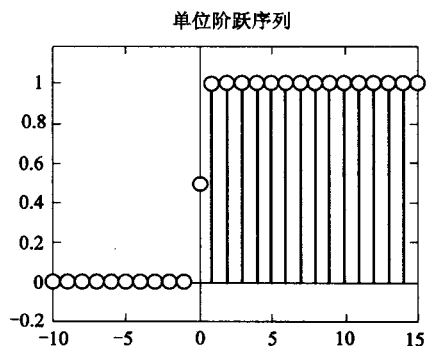


图 1-1-7 ex1.1.3 程序运行结果

【例 4】 参考实例 ex1.1.4[squ_timefun.m]。ex1.1.4[squ_timefun.m]由非周期矩形脉冲函数 `rectpuls` 和 `hold on` 组成，产生周期 $T=5$ ，脉冲宽度(以下简称脉宽) $\tau=1$ 的矩形脉冲，其中 t 是时间数组， T 是周期。

```
function x=squ_timefun(t,T)
% 由非周期矩形脉冲函数 rectpuls 和 hold on 组成
% 产生周期 T=5，脉宽 tao=1 的矩形脉冲
% t 是时间数组
% T 是周期，duty=tao/T=0.2
T=5;t=-2*T:0.01:2*T;tao=1;
yrect=rectpuls(t);
subplot(2,2,1)
plot(t,yrect)
hold on
axis([-10,10,0,1.2])
line([0,0],[-0.2,1.2])
yrect=rectpuls(t-5);
plot(t,yrect)
hold on
yrect=rectpuls(t+5);
plot(t,yrect)
title('周期 T=5，脉宽 tao=1 的矩形脉冲')
```

程序运行结果如图 1-1-8 所示。

【例 5】 参考实例 ex1.1.5[squ_timefun.m]。ex1.1.5[squ_timefun.m]利用 `zeros`、`ones` 函数产生周期 $T=5$ ，脉宽 $\tau=1$ 的矩形脉冲，其中 t 是时间数组， T 是周期。

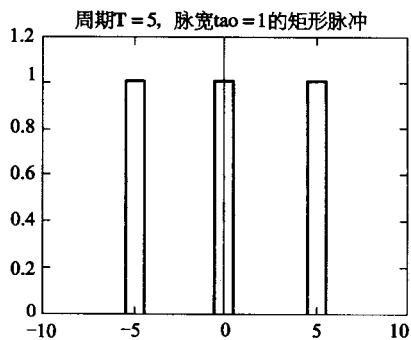


图 1-1-8 ex1.1.4 程序运行结果