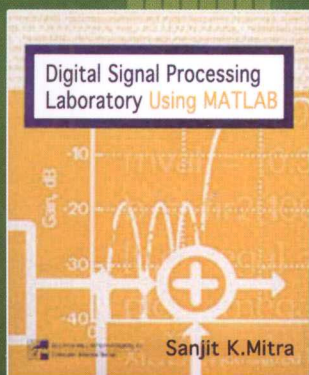


国外电子与通信教材系列

Mc
Graw
Hill
Education

数字信号处理实验指导书 (MATLAB版)

Digital Signal Processing Laboratory Using MATLAB



[美] Sanjit K. Mitra 著

孙洪 余翔宇 等译



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

013064045

TN911.72-33
01-2

国外电子与通信教材系列

数字信号处理实验指导书

(MATLAB 版)

Digital Signal Processing Laboratory

Using MATLAB

[美] Sanjit K. Mitra 著



孙洪 余翔宇 等译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING



北航

C1671865

TN911.72-33

01-2

013084042

内 容 简 介

本书是《数字信号处理——基于计算机的方法》一书的配套实验手册,内容涵盖了信号与信号处理、时域中的离散时间信号与系统、变换域中的离散时间信号、变换域中的 LTI 离散时间系统、连续时间信号的数字处理、数字滤波器的结构与设计与 DSP 算法实现、有限字长效应分析、多抽样率数字信号处理、数字信号处理应用等方面。

本书可以作为高等院校电子信息类专业本科生或低年级研究生的教材,也可供有关技术、科研管理人员使用,或作为继续教育的参考书。

Sanjit K. Mitra

Digital Signal Processing Laboratory Using MATLAB

9780072328769

Copyright © 1999 by McGraw-Hill Education.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education(Asia) Co. and Publishing House of Electronics Industry. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2013 by McGraw-Hill Education(Singapore) PTE. LTD and Publishing House of Electronics Industry.

版权所有。未经出版人事先书面许可,对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播,包括但不限于复印、录制、录音,或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司和电子工业出版社合作出版。此版本经授权仅限在中国大陆销售。

版权 © 2013 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与电子工业出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2004-4146

图书在版编目(CIP)数据

数字信号处理实验指导书(MATLAB 版)/(美)米特拉(Mitra, S.K.)著;孙洪,余翔宇等译.

北京:电子工业出版社,2013.7

书名原文:Digital signal processing laboratory using MATLAB

国外电子与通信教材系列

ISBN 978-7-121-21067-9

I. ①数… II. ①米… ②孙… ③余… III. ① Matlab 软件-应用-数字信号处理-高等学校-教材
IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 169622 号

策划编辑:陈磊

责任编辑:马岚 文字编辑:陈磊

印刷:北京京科印刷有限公司

装订:北京京科印刷有限公司

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:12 字数:307 千字

印次:2013 年 7 月第 1 次印刷

定价:29.00 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。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

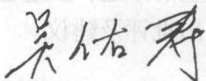
我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授

“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

- | | | |
|-----|-----|--|
| 主任 | 吴佑寿 | 中国工程院院士、清华大学教授 |
| 副主任 | 林金桐 | 北京邮电大学校长、教授、博士生导师 |
| | 杨千里 | 总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长
中国通信学会常务理事 |
| 委员 | 林孝康 | 清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员 |
| | 徐安士 | 北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 樊昌信 | 西安电子科技大学教授、博士生导师
中国通信学会理事、IEEE 会士 |
| | 程时昕 | 东南大学教授、博士生导师、移动通信国家重点实验室主任 |
| | 郁道银 | 天津大学副校长、教授、博士生导师
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员 |
| | 阮秋琦 | 北京交通大学教授、博士生导师
计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长 |
| | 张晓林 | 北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员 |
| | 郑宝玉 | 南京邮电学院副院长、教授、博士生导师
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 朱世华 | 西安交通大学副校长、教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员 |
| | 彭启琮 | 电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员 |
| | 毛军发 | 上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 赵尔沅 | 北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任 |
| | 钟允若 | 原邮电科学研究院副院长、总工程师 |
| | 刘彩 | 中国通信学会副理事长、秘书长 |
| | 杜振民 | 电子工业出版社原副社长 |
| | 王志功 | 东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会主任委员 |
| | 张中兆 | 哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院长 |
| | 范平志 | 西南交通大学教授、博士生导师、计算机与通信工程学院院长 |

序 言

数字信号处理(DSP)研究数字序列信号的表示方法,并对信号进行运算,以提取包含在其中的特殊信息。近30年以来,由于在研究及应用两方面均取得了进展,数字信号处理领域已经日趋成熟,如今,几乎所有大学在本科高年级及研究生一年级都开设了本主题至少一门或更多的课程。由于计算机的价格更加合理,这促使了高性能个人电脑及工作站的普及,从而很容易向学生提供实际环境,以验证所学的概念和算法。

本书适用于基于计算机的DSP实验课程,以补充该主题的讲授课程。它包括11个实验练习,而每一个练习又包含许多在计算机上实现的例子。若每周有三小时实验,则完成全部例子所需要的课程可能会超过一个季度或一个学期。这里建议教师挑选与其所授课程相关的例子。若有充裕的时间用于计算机实验课,则应鼓励学生在实验室待更长的时间,以便能够完成全部例子。

本书所用的编程语言是MATLAB^①,它广泛用于高性能数值计算和可视化。本书假定读者不具备MATLAB的基础知识,而是通过本书前半部分所测试过的程序,使他们理解这种在信号处理方面能解决重要问题的实用语言。本书的后半部要求学生编写必要的MATLAB程序来完成例子。我相信学生通过利用测试过的、完整的程序,编写解决特定问题的简易程序,能很快地学会利用MATLAB来解决复杂问题的方法。附录A简要回顾了MATLAB的一些重要概念和特性。

本书中的全部75个MATLAB程序,已在MATLAB 5.2版及信号处理工具箱4.2版中测试过了。本书列出的程序在执行速度上不一定是最快的,也不一定是最简洁的。在未详细解释的情况下,我们将尽量清晰地将它们写出。本书包括有一张磁盘^②,磁盘的内容是本书中所有的MATLAB程序,它适用于运行Windows 95/98的个人电脑、运行Mac OS 7或更高版本的Macintosh PowerPC以及UNIX工作站。所有程序也通过匿名FTP存储于互联网站点 iplserv.ece.ucsb.edu 的目录/pub/mitra/Labs中。

每个实验练习包含许多适于学生在电脑上实现的例子。每个例子后面都附有在进行随后例子之前学生必须回答的一系列习题。这些习题用于让学生理解MATLAB的基本原理以及数字信号处理的重要概念。对于后面的部分,每个练习都有一节简单回顾,用于总结所需要的DSP材料,以便学生实现含在该练习中的例子。为了了解详情和说明,在每个练习的结尾还包含有数字信号处理课本的清单,列出了明确的章节数。每个练习还包含有用来总结所用到的MATLAB命令的小节,以使学生在需要时通过help命令就能够更好地掌握这些命令。附录B给出了在本书中用到的所有MATLAB函数的简要解释。

① MATLAB是Mathworks公司的注册商标,该公司的地址为24 Prime Park Way, Natick, MA 01760-1500,电话为508-647-7000,网址为<http://www.mathworks.com>。

② 由于磁盘附带不方便,我们已将该磁盘的内容放在电子工业出版社的网站上,网址为<http://www.phei.com.cn/download/download.asp>,请读者自行下载。后面的内容在涉及本书附带的磁盘时,不再注明。——编者注

本书的特色是,在所提供的磁盘中包含了用于前 10 个实验练习的报告文档。这些报告用微软的 Word 文档写出。学生在处理例子时,要在空格处填写所提问题的答案。该特点可使学生在指定的时间内完成更多的工作。学生的答案将以不同的字体出现,以便使实验室教师较容易地评估学生的工作。全部报告也可作为其他实验课程报告的编写指南。

本书源自最近 10 年来在加利福尼亚大学圣巴巴拉分校对本科高年级学生的数字信号处理课程的实验教学。这里要感谢 Stefan Thurnhofer 和林应松博士,他们协助完成了实验课程材料的最初版本。还要感谢修习高年级课程的学生,他们为改进某些内容和风格提供了很有价值的意见。此书的全部原稿已由克罗地亚萨格勒布大学的 Hrvoje Babic 教授、美国科罗拉多大学的 Tamal Bose 教授、德国基尔大学的 Ulrich Heute 教授、瑞士弗里堡工程学院的 Ottar Johnsen 教授、美国克拉克森大学的 Abul N. Khondker 教授、美国犹他州立大学的 V. John Mathews 教授以及纽约布鲁克林理工大学的王瑶教授等的审阅。感谢他们提出的那些很有价值的意见。我的学生 Rajeev Gandhi, Michael S. Noore 和 Debargha Mukherjee 对原稿进行了校对,并核对了本书中的所有程序,在此也表示感谢。我还要衷心地感谢加利福尼亚大学圣巴巴拉分校教育发展办公室为我开展实验课所提供的两份教育改进津贴。最后,我要感谢我的儿子 Goutam,他为本书设计了封面。

为保证本书中所有材料和 MATLAB 程序的准确性,我们做了很大的努力。当然,我还要感谢那些提出本书印刷错误的读者,这些错误可能超出了我和出版者的控制能力。对于此类错误和其他任何意见,请读者通过电子邮件 mitra@ecc.ucsb.edu 和我联系。

圣巴巴拉

Sanjit K. Mitra

目 录

第 1 章 离散时间信号的时域分析	1
1.1 导言	1
1.2 入门	1
1.3 基础知识回顾	3
1.4 用到的 MATLAB 命令	4
1.5 序列的产生	5
1.6 序列的简单运算	9
1.7 工作区信息	11
1.8 其他类型的信号(可选)	11
1.9 基础知识阅读	12
第 2 章 离散时间系统的时域分析	13
2.1 导言	13
2.2 基础知识回顾	13
2.3 用到的 MATLAB 命令	15
2.4 离散时间系统的仿真	16
2.5 线性时不变离散时间系统	20
2.6 基础知识阅读	25
第 3 章 离散时间信号的频域分析	26
3.1 导言	26
3.2 基础知识回顾	26
3.3 用到的 MATLAB 命令	30
3.4 离散时间傅里叶变换	31
3.5 离散傅里叶变换	35
3.6 z 变换	39
3.7 基础知识阅读	41
第 4 章 线性时不变离散时间系统的频域分析	42
4.1 导言	42
4.2 基础知识回顾	42
4.3 用到的 MATLAB 命令	47
4.4 传输函数和频率响应	48
4.5 传输函数的类型	49
4.6 稳定性测试	53

4.7	基础知识阅读	54
第 5 章	连续时间信号的数字处理	56
5.1	导言	56
5.2	基础知识回顾	56
5.3	用到的 MATLAB 命令	61
5.4	时域中的抽样过程	62
5.5	频域中抽样的效果	64
5.6	模拟低通滤波器	65
5.7	模数转换和数模转换	66
5.8	基础知识阅读	68
第 6 章	数字滤波器结构	70
6.1	导言	70
6.2	基础知识回顾	70
6.3	用到的 MATLAB 命令	79
6.4	有限冲激响应传输函数的实现	79
6.5	无限冲激响应传输函数的实现	80
6.6	基础知识阅读	83
第 7 章	数字滤波器设计	85
7.1	导言	85
7.2	基础知识回顾	85
7.3	用到的 MATLAB 命令	90
7.4	无限冲激响应滤波器设计	91
7.5	有限冲激响应滤波器设计	94
7.6	基础知识阅读	99
第 8 章	数字滤波器实现	101
8.1	导言	101
8.2	基础知识回顾	101
8.3	用到的 MATLAB 命令	105
8.4	无限冲激响应滤波器的仿真	106
8.5	有限冲激响应数字滤波器的仿真	111
8.6	可调数字滤波器的设计	111
8.7	离散傅里叶变换计算	113
8.8	函数逼近	113
8.9	基础知识阅读	114
第 9 章	有限字长效应分析	115
9.1	导言	115

9.2	基础知识回顾	115
9.3	用到的 MATLAB 命令	120
9.4	二进制数的产生和量化	121
9.5	系数量化效应	123
9.6	模数转换噪声分析	125
9.7	运算舍入误差分析	126
9.8	低灵敏度数字滤波器	129
9.9	极限环	130
9.10	基础知识阅读	131
第 10 章	多抽样率数字信号处理	132
10.1	导言	132
10.2	基础知识回顾	132
10.3	用到的 MATLAB 命令	137
10.4	基本抽样率改变器件	138
10.5	抽取器和内插器的设计与实现	141
10.6	滤波器组的设计	143
10.7	奈奎斯特滤波器的设计	144
10.8	基础知识阅读	145
第 11 章	高级主题	146
11.1	导言	146
11.2	离散变换	146
11.3	有限冲激响应滤波器的设计和实现	150
11.4	滤波器组的应用	153
11.5	调制和解调	155
11.6	数字数据传输	157
附录 A	MATLAB 简介	159
附录 B	用到的 MATLAB 命令总结	170
参考文献	173
索引	175

第 1 章 离散时间信号的时域分析

1.1 引言

数字信号处理是处理一种称为输入信号的离散时间信号,以产生另一种称为输出信号的离散时间信号,这种输出信号具有更多人们所需要的特性。在某些应用中,需要使用特定的数字信号处理算法来提取原信号中的一些重要特性。通过观察系统对给定输入信号的输出信号,还可以研究离散时间系统的特性。因此,首先学会用 MATLAB 在时域中产生一些基本的离散时间信号,并对这些信号进行一些基本的运算,是很重要的,这也正是第 1 章练习的主要目的。第二个目的是学会使用基本的 MATLAB 命令,并将它们应用到简单的数字信号处理问题中。

1.2 入门

随本书一起赠送的磁盘提供了本书中的所有 MATLAB 程序,还提供了在 PC 和 Macintosh PowerPC 下都适用的未完成的报告。磁盘中按照章节顺序,还特别提供了前 10 个练习中 PC 和 Macintosh 版本的 MATLAB M 文件和 Word 版本的报告,这些文件按照章节存放在不同的子目录下。完成每一个实验练习例子后,读者可以在指定的位置完成有关该练习的一些问题。

PC 下的练习安装向导

按照下面的步骤,可将包含程序和报告的文件夹复制到装有 Windows 95/98 系统的计算机硬盘中:

1. 插入软盘。
2. 双击桌面上的我的电脑图标,打开我的电脑窗口。
3. 双击相关图标,打开软驱窗口。
4. 双击相关图标,打开将安装该文件夹的目的硬盘驱动器窗口。
5. 在软驱窗口中,将标记为 PC 的文件夹拖到目的硬盘驱动器的目录中。

Macintosh PowerPC 下的练习安装指导

按照下面的步骤,可将包含程序和报告的文件夹复制到装有 Mac OS 或更高版本的 PowerPC 的硬盘中:

1. 插入软盘。
2. 双击桌面上显示的图标,打开硬盘驱动器窗口。
3. 双击相关图标,打开软驱的窗口。
4. 在软驱窗口中,将标记为 MAC 的文件夹拖到目的硬盘驱动器的目录中。

通过 FTP 和互联网下载

下载这些文件的 FTP 地址是 iplserv.ece.ucsb.edu。针对 PC, Macintosh PowerPC 及 UNIX 工作站的文件目录如下:

pub/mitra/Labs/pc

pub/mitra/Labs/mac

pub/mitra/Labs/unix(只含有 M 文件)

按照以下步骤,可从 FTP 网址将文件下载到 PC 或 UNIX 电脑中:

1. 在电脑中运行 FTP 程序。
2. 输入 **ftp iplserv.ece.ucsb.edu**。
3. 在 **Login:** 提示符处,输入 **anonymous**。
4. 在 **Password** 提示符处,输入你的电子邮件地址。
5. 输入 **cd pub/mitra/Labs/pc** 找到适用于 PC 的文件。输入 **cd pub/mitra/Labs/unix** 找到适用于 UNIX 的文件。这些目录中包含有我们要找的 M 文件和报告文件。
6. 输入 **cd 目录名称**,进入存储 M 文件和报告文件的目录。
7. 输入 **asc**,下载 ASCII 文件(例如 M 文件)。输入 **bin**,下载二进制文件,例如 Word 报告文件(对 PC)。输入 **get 文件名** 下载所需要的文件类型。最后那条命令会将需要下载的文件存放在本地系统的当前目录中。
8. 使用 **get** 命令,下载其他的文件,或者输入 **cd**,回到前一级目录中。
9. 下载完所有的文件后,输入 **bye**。

将文件下载到 Macintosh 电脑中的 FTP 程序有多种。下面给出来自 Dartmouth College 的 **Fetch** 程序的下载步骤。

1. 运行该 FTP 程序。
2. 在 **New Connection** 对话框中输入下列信息。若看不到该对话框,可从 **File** 菜单中选择 **New Connection** 来打开它。

Host: **iplserv.ece.ucsb.edu**

User ID: **anonymous**

Password: 你的电子邮件地址

Directory/**pub/mitra/Labs/mac**

3. 选定 **OK**。这时会出现一个显示 FTP 站点的目录内容的窗口。双击其他期望的文件夹可进入相应的目录。
4. 双击所要的文件可下载文件。这时会跳出一个对话框。在电脑上选择存储该文件的位置并选定 **Save**。在 **Fetch** 程序的最新版本中,选择目录名并选定 **Get** 后,就可下载整个目录。

通过互联网下载文件的步骤如下:

1. 打开可利用的网络浏览器。
2. 在 URL 窗口中输入 **ftp://iplserv.ece.ucsb.edu**。
3. 双击期望的目录,以进入目录(PC 和 Macintosh 形式的目录如上所示)。
4. 双击所需要的文件进行下载。这时会跳出一个询问将文件存储至何处的对话框。

1.3 基础知识回顾

R1.1 离散时间信号用一个称为样本的数字序列来表示。典型的离散时间信号或序列 $\{x[n]\}$ 的样本值用 $x[n]$ 表示,其中自变量 n 的取值范围是从 $-\infty$ 到 ∞ 之间的整数。为了表示方便,序列 $\{x[n]\}$ 通常不用大括号表示。

R1.2 离散时间信号可以是一个有限长序列,也可以是一个无限长序列。有限长(也称为有限时宽或有限范围)序列仅定义在有限的时间间隔中:

$$N_1 \leq n \leq N_2 \quad (1.1)$$

其中 $-\infty < N_1$ 而 $N_2 < \infty, N_2 \geq N_1$ 。有限长序列的长度或时宽为

$$N = N_2 - N_1 + 1 \quad (1.2)$$

R1.3 满足

$$\tilde{x}[n] = \tilde{x}[n + kN] \quad \text{对所有 } n \quad (1.3)$$

的序列称之为周期为 N 的周期序列,其中 N 取任意正整数, k 取任意整数。

R1.4 序列 $x[n]$ 的能量定义为

$$\mathcal{E} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x[n]|^2 \quad (1.4)$$

有限间隔 $-K \leq n \leq K$ 上的序列能量定义为

$$\mathcal{E}_K = \sum_{n=-K}^K |x[n]|^2 \quad (1.5)$$

R1.5 非周期序列 $x[n]$ 的平均功率定义为

$$\mathcal{P}_{av} = \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{1}{2K+1} \mathcal{E}_K = \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{1}{2K+1} \sum_{n=-K}^K |x[n]|^2 \quad (1.6)$$

周期为 N 的周期序列 $\tilde{x}[n]$ 的平均功率为

$$\mathcal{P}_{av} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |\tilde{x}[n]|^2 \quad (1.7)$$

R1.6 单位样本序列(通常称为离散时间冲激或单位冲激)用 $\delta[n]$ 表示,其定义为

$$\delta[n] = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & n \neq 0 \end{cases} \quad (1.8)$$

单位阶跃序列用 $\mu[n]$ 表示,其定义为

$$\mu[n] = \begin{cases} 1, & n \geq 0 \\ 0, & n < 0 \end{cases} \quad (1.9)$$

R1.7 指数序列由

$$x[n] = A\alpha^n \quad (1.10)$$

给定。其中 A 和 α 可以是任意实数或任意复数,表示为

$$\alpha = e^{(\sigma_0 + j\omega_0)}, \quad A = |A|e^{j\phi}$$

式(1.10)可改写为

$$x[n] = |A|e^{\sigma_0 n + j(\omega_0 n + \phi)} = |A|e^{\sigma_0 n} \cos(\omega_0 n + \phi) + j|A|e^{\sigma_0 n} \sin(\omega_0 n + \phi) \quad (1.11)$$

R1.8 带有常数振幅的实正弦序列形如

$$x[n] = A \cos(\omega_0 n + \phi) \quad (1.12)$$

其中 A , ω_0 和 ϕ 是实数。在式(1.11)和式(1.12)中,参数 A , ω_0 和 ϕ 分别称为正弦序列 $x[n]$ 的振幅、角频率和初始相位。 $f_0 = \omega_0/2\pi$ 称为频率。

R1.9 若 $\omega_0 N$ 是 2π 的整数倍,当 $\sigma_0 = 0$ 时,式(1.11)的复指数序列和式(1.12)的正弦序列是周期序列,即

$$\omega_0 N = 2\pi r \quad (1.13)$$

其中 N 为任意正整数,而 r 为任意整数。满足这种情况的最小 N 称为序列的周期。

R1.10 长度 N 的两个序列 $x[n]$ 和 $h[n]$ 的乘积,产生长度也为 N 的序列 $y[n]$

$$y[n] = x[n] \cdot h[n] \quad (1.14)$$

长度为 N 的两个序列 $x[n]$ 和 $h[n]$ 相加,产生长度也为 N 的序列 $y[n]$

$$y[n] = x[n] + h[n] \quad (1.15)$$

用标量 A 与长度为 N 的序列 $x[n]$ 相乘,得到长度为 N 的序列 $y[n]$

$$y[n] = A \cdot x[n] \quad (1.16)$$

无限长序列 $x[n]$ 通过时间反转,可得到无限长序列 $y[n]$

$$y[n] = x[-n] \quad (1.17)$$

无限长序列 $x[n]$ 经过 M 延时,可得到无限长序列 $y[n]$

$$y[n] = x[n - M] \quad (1.18)$$

若 M 是一个负整数,式(1.18)运算得到序列 $x[n]$ 的超前。

长度为 N 的序列 $x[n]$,可被长度为 M 的另一个序列 $g[n]$ 增补,得到长度为 $N + M$ 的更长序列 $y[n]$

$$\{y[n]\} = \{\{x[n]\}, \{g[n]\}\} \quad (1.19)$$

1.4 用到的 MATLAB 命令

这个练习中将用到的 MATLAB 命令如下:

运算符和特殊符号

: . + - * / ; %

基本矩阵和矩阵控制

i ones pi rand randn zeros

基本函数

cos exp imag real

数据分析

sum

二维图形

axis grid legend plot stairs
stem title xlabel ylabel

通用图形函数

clf subplot

信号处理工具箱

sawtooth square

关于这些命令的辅助说明,请参见 *MATLAB Reference Guide* [Mat94] 和 *Signal Processing Toolbox User's Guide* [Mat96], 也可在命令窗口中键入 `help 命令名称`。在附录 B 中可找到此处使用的 MATLAB 函数的简要解释。

1.5 序列的产生

本节的目的是使读者熟悉 MATLAB 中产生信号和绘制信号的基本命令。MATLAB 已被开发成能对数据向量或矩阵进行运算的工具。因此,序列以向量的形式存储,并且所有的信号被限定为因果的和有限长的。采用何种步骤执行本书中的程序,要根据 MATLAB 所运行的平台来决定。

基于 Windows PC 的 MATLAB

程序可通过在命令窗口中键入不带 `.m` 的程序名并按回车来执行。也可从命令窗口中的 **File** 菜单上,选择 **Open**,以选定所要的 M 文件,这将在 Editor/Debugger 窗口中打开这个 M 文件,使用 **Tools** 菜单下的 **Run** 命令,可运行该 M 文件。

基于 Macintosh 的 MATLAB

程序可通过在命令窗口中键入不带 `.m` 的程序名并按回车来执行。也可在屏幕上使用 **Open M-File** 命令,将该文件复制到 Editor 窗口,然后在屏幕上选择 **Save and Execute** 命令。

例 1.1 单位样本和单位阶跃序列

此例产生的两个基本离散时间序列分别是式(1.8)和式(1.9)给出的单位样本序列和单位阶跃序列。使用如下 MATLAB 命令,可产生长度为 N 的单位样本序列 $u[n]$

$$u = [1 \text{ zeros}(1,N-1)];$$