

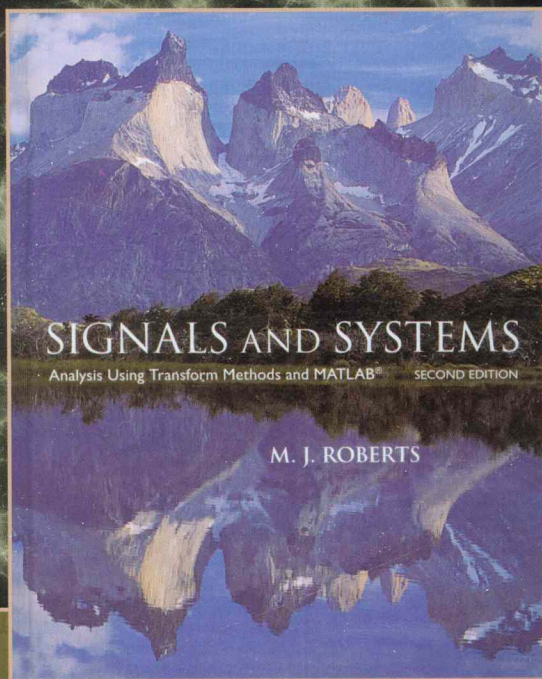
信号与系统

使用变换方法和MATLAB分析

(原书第2版)

[美] Michael J. Roberts 著
胡剑凌 朱伟芳 等译

*Signals and
Systems
Analysis Using Transform
Methods and MATLAB
(Second Edition)*



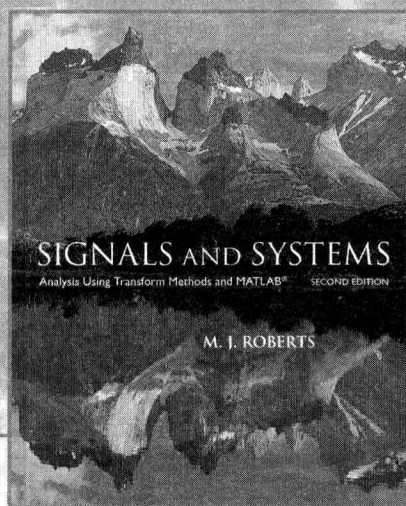
信号与系统

使用变换方法和MATLAB分析

(原书第2版)

[美] Michael J. Roberts 著
田纳西大学
胡剑凌 朱伟芳 等译

*Signals and
Systems*
*Analysis Using Transform
Methods and MATLAB*
(Second Edition)



图书在版编目 (CIP) 数据

信号与系统：使用变换方法和 MATLAB 分析（原书第 2 版） /（美）罗伯茨（Roberts, M. J.）著；胡剑凌等译. —北京：机械工业出版社，2013. 6

（国外电子电气经典教材系列）

书名原文：Signals and Systems: Analysis Using Transform Methods and MATLAB, Second Edition

ISBN 978-7-111-42188-7

I. 信… II. ①罗… ②胡… 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（2013）第 077226 号

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号：图字：01-2011-6618

Michael J. Roberts: Signals and Systems: Analysis Using Transform Methods and MATLAB, Second Edition (ISBN 978-0-07-338068-1).

Copyright © 2012 by The McGraw-Hill Education.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form 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) and China Machine Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2013 by The McGraw-Hill Asia Holdings (Singapore) PTE.LTD and China Machine Press.

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）教育出版公司和机械工业出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内（不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾）销售。

版权© 2013 由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司与机械工业出版社所有。

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

本书采用从基本概念出发、以实际应用为例子的介绍方法，遵循从模拟到离散、从信号到系统的分析思路，系统地介绍了连续时间和离散时间信号与系统的分析方法。具体包括：信号与系统分析中涉及的一般性概念；连续时间信号和离散时间信号的数学描述方法；线性时不变系统的卷积理论；连续和离散时间傅里叶变换理论；拉普拉斯变换和 z 变换及其应用；采样定理；CTFT 和 DTFT 在频率响应分析中的各种应用；连续时间通信系统的基本规则；模拟和数字滤波器的设计与分析；状态空间分析法。最后的附录部分包括一些有用的数学公式、4 种傅里叶变换表、拉普拉斯变换表以及 z 变换表。

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：朱秀英

藁城市京瑞印刷有限公司印刷

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

185mm×260mm·38.75 印张

标准书号：ISBN 978-7-111-42188-7

定 价：89.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

客服热线：(010) 88378991 88361066

投稿热线：(010) 88379604

购书热线：(010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱：hzsj@hzbook.com

译者序

在翻译完美国田纳西大学电气与计算机工程系 Michael J. Roberts 教授的《信号与系统：使用变换方法和 MATLAB 分析》第 1 版 7 年后，应出版社邀请，翻译该书的第 2 版。拿到第 2 版原著的第一时间，我就迫不及待地浏览了全书，如同第 1 版，全书处处闪现着原著者的睿智与敬业精神，同时原著者结合多年的课堂教学经验，以获得更好的教学效果为目标，对第 1 版进行了大量的改进。鉴于此，我欣然接受出版社的邀请，将此教材第 2 版翻译成中文，以介绍给国内高等院校相关专业的广大师生及相关领域的工程技术人员与研究人员。

众所周知，信号与系统课程是电子类、自控类及计算机类专业非常重要的专业基础课，也是引导学生从公共基础课向专业基础课学习转移的重要桥梁之一。另外，该门课程也是学生首次系统学习变换理论的课程，要求学生学会并习惯从变换域观察和分析信号与系统，但由于变换理论的抽象性容易造成学生对概念理解的困惑，从而忽略了分析系统对信号响应的真正目的。为此一本良好的教材对培养学生对专业的兴趣以及掌握专业的知识具有重要的意义。本书的写作将易懂性和数学严格性完美地结合，内容介绍循序渐进，概念介绍直观形象，同时配以大量的图形解释、例题和习题，并给出了 MATLAB 实现的例子，极大地方便了教与学。同时相对于第 1 版，在以下方面作出了改进：采用了更精简且不容易存在歧义的符号表示信号；将连续时间和离散时间信号与系统的概念分在独立的章节中介绍，以使本教材具有更好的模块化特征；突出了信号与系统的数值近似分析与处理的方法，以使本教材更贴近实际工程应用；增加了更多的 MATLAB 实现的例子，以便于学生理解和掌握本课程的理论，同时掌握本课程理论的实现技术。

本书采用从基本概念出发、以实际应用为例子的介绍方法，遵循从模拟到离散、从信号到系统的分析思路，系统地介绍了连续时间和离散时间信号与系统的分析方法。第 1 章介绍了信号与系统分析中涉及的一般性概念。第 2 章和第 3 章分别给出了连续时间信号和离散时间信号的数学描述方法。第 4 章和第 5 章分别介绍了系统的数学描述方法以及线性时不变系统的卷积理论。第 6 章介绍连续时间傅里叶变换理论，从图形化介绍开始，基于正交理论导出连续时间傅里叶级数 (CTFS)，并进一步推广到连续时间傅里叶变换 (CTFT)。第 7 章采用与第 6 章相似的方法介绍了离散时间傅里叶变换技术，包括离散时间傅里叶级数 (DTFS)、离散傅里叶变换 (DFT) 以及离散时间傅里叶变换 (DTFT)。第 8 章介绍连续时间系统的分析技术——拉普拉斯变换。第 9 章介绍离散时间系统的分析技术—— z 变换，并分析了 z 变换与拉普拉斯变换之间的关系。第 10 章介绍采样定理，并导出了 CTFT 与有限采样点 DFT 之间的联系。第 11 章给出了 CTFT 和 DTFT 在频率响应分析中的各种应用。第 12 章介绍连续时间通信系统的基本规则。第 13 章和第 14 章介绍拉普拉斯变换和 z 变换的各种应用。第 15 章介绍模拟滤波器和数字滤波器的设计与分析。第 16 章介绍连续时间系统和离散时间系统的状态空间分析法。最后的附录部分包括一些有用的数学公式、4 种傅里

叶变换表、拉普拉斯变换表以及 z 变换表。

全书在介绍基本概念的同时给出了大量的实际应用的例子，并介绍了实现这些方法的 MATLAB 函数和运算。这些例题一方面紧密结合了基本概念与方法的应用，另一方面也减缓了对某些抽象概念理解上的梯度。同时全文给出了大量的习题，这些习题根据难易程度分成了两类：第一类是作为训练使用的较简单的习题，并给出了习题答案；第二类用来进一步加深读者对概念的理解，难度也较大，且没有提供答案。正是由于例题和习题的大量引入和分类，使该书非常适合教与学。

整书的翻译由胡剑凌、朱伟芳以及一些硕士研究生共同完成，共历时近 4 个月，在翻译的过程中，通过讨论进一步加深了对信号与系统的理解，翻译过程也是我们自我学习、自我提升的过程。在此脱稿之际，诚挚感谢所有为我们翻译小组提供过帮助的专家、学者、老师与同学。

在本书的翻译过程中改进了原著中的一些错误，大部分属于录入和排版中的疏漏，这些都在译文中以“译者注”标出。同时限于水平和时间原因，书中难免有误漏之处，敬请读者批评指正。

胡剑凌

2012 年 10 月

前 言

动机

我写这本书的第 1 版是因为我热爱信号与系统分析中的数学完美性。这种热爱从未改变过。第 2 版是根据我自己使用本书的课堂教学经验以及学生和同行的建设性意见对第 1 版进行的改进。

读者对象

本书的内容覆盖了信号与系统分析基础理论两个学期的课程，适用于大学三年级或四年级相应学科的教学。本书也可以作为研究生一个学期的教材。我将它用于研究生对线性系统变换方法的回顾教程。

与第 1 版的不同之处

自从写了本书第 1 版和我的第 2 本书《信号与系统基础》，我在课堂教学中一直使用这两本书。在准备第 2 版的过程中，我在教学中同时使用了第 2 版的讲义，为了测试不同方法介绍新知识的效果，也为了检测和（我希望）更正在正文和习题答案中出现的全部或大部分错误，同时还采纳了各个层次的审阅者的反馈意见。根据我自己的经验以及审阅者和学生的建议，我对第 2 版作了以下改变。

- 纵观信号和系统领域其他深受欢迎的书籍，普遍存在符号不标准的问题。每位作者都有他自己的偏爱，每种偏爱仅适用于某些类型的分析而不是全部类型的分析。我尽可能精简符号，省略掉一些不必要的下标。这样做旨在使资料描述精确且无歧义，有时也是为了避免学生在阅读和学习本书资料的过程中产生疲劳和厌倦。同时，我改变了连续时间谐波函数的符号，使其不易与离散时间谐波函数混淆。
- 省略了第 1 版第 8 章中相关函数、能量与功率谱密度的内容。大多数初级信号与系统课程不涉及这一方面的内容，而是将其列入概率与统计方面的课程。
- 第 1 版中一些印刷版的附录已经移到本书的主页上：www.mhjn.com/roberts。这些附录以及第 8 章相关内容的删减，大大减少了第 2 版的篇幅，而第 1 版要厚重得多。
- 我尽量使本书“模块化”，以符合某些主题的连续覆盖，其结果就是第 2 版拥有 16 章而不是 12 章。在第 2 版中，有关频率响应、滤波器、通信系统以及状态分析等内容独立成章。
- 前 10 章主要介绍新的分析技术、理论和数学基础，后 6 章主要阐述如何应用这些技术处理一些常见类型的实际信号和系统。
- 第 2 版比第 1 版有更多的 MATLAB 例子，而且这些 MATLAB 例子在文中出现得

更早。

- 第2版没有将所有新的信号函数集中于信号描述章节中介绍，而是保留了一些衍生函数，直至其在后续章节中需要时自然出现。
- 在有关系统特性和系统描述的第4章中，加长了关于系统数学模型的讨论。
- 虽然连续时间卷积涉及极限概念和连续时间冲激，而离散时间卷积不涉及，但是我还是根据审阅者的意见先介绍了连续时间卷积，再介绍离散时间卷积，因为审阅者认为学生更熟悉连续时间的概念，先连续、后离散的顺序更适合。
- 在有关连续时间傅里叶级数和离散时间傅里叶级数的理论基础方面，重点讨论正交性原则。
- 增加了双边拉普拉斯变换和双边 z 变换的覆盖面。
- 更多地强调了采用离散傅里叶变换逼近其他类型的变换以及一些常用信号处理技术的数值化方法。
- 增加了有关连续时间角度调制的内容。
- 在第1版中，“梳状”函数定义如下

$$\text{comb}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t-n), \quad \text{comb}_{N_0}[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta[n-mN_0]$$

其中，单个连续时间冲激由 $\delta(t)$ 表示，而单个离散时间冲激由 $\delta[n]$ 表示。在第2版中，用“周期冲激”函数代替。连续时间周期冲激用 $\delta_T(t)$ 表示，而离散时间周期冲激用 $\delta_N[n]$ 表示，其中 T 和 N 是它们各自的基本周期，定义如下

$$\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t-nT), \quad \delta_N[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta(n-mN)$$

连续时间梳状函数具有完备的数学意义，但是根据我自己的教学经验，当自变量 t 变成 at 时同时发生时间缩放和冲激强度缩放变化会让学生产生困惑。周期冲激函数采用下标而不是时间缩放表示相邻冲激之间的间距（即基本周期）。在周期冲激函数中，当基本周期改变时，冲激强度并不同时改变，而在梳状函数中两者一起改变。周期冲激函数在连续时间域有效分离了时间缩放变化和冲激强度缩放变化，这减轻了学生的负担，使得他们能集中精力去理解卷积、采样、积分变换等各种抽象概念。虽然在离散时间形式中不存在时间缩放和冲激强度缩放一起改变的情况，但我还是改变了离散周期冲激函数的形式，使其与连续时间周期冲激函数的形式保持一致。

概述

本书首先介绍描述连续时间和离散时间信号与系统的数学方法，然后介绍连续时间傅里叶级数的变换思想，并以此为基础介绍傅里叶变换，傅里叶变换是傅里叶级数对非周期信号的一种扩展。接着介绍离散时间傅里叶级数和离散时间傅里叶变换。本书随后介绍拉普拉斯变换，拉普拉斯变换即连续时间傅里叶变换用于无界信号和非稳定系统的一般化，也是系统分析的一种强有力工具，因为它与连续时间线性系统的特征值和特征函数有着密切的联系。本书用相同的方式介绍离散时间系统的 z 变换。然后介绍联系连续时间和离散时间的采样。

本书其余章节介绍傅里叶分析方法在频率响应分析、通信系统、反馈系统、模拟和数字滤波器以及状态空间分析等领域的应用。全书给出了大量的例子，并介绍实现上述方法的 MATLAB 函数和运算。

各章概要

第 1 章

本章介绍在信号与系统分析中涉及的一般性概念，不包括任何严格的数学推导。目的是通过揭示信号与系统在日常生活中的普遍性以及理解它们的重要性激发学生的学习兴趣。

第 2 章

本章介绍描述不同信号的数学方法。从熟悉的函数如谐波函数和指数函数出发，扩展了信号描述函数的范围以涵盖连续时间奇异函数（开关函数）。像大多数信号与系统教科书一样，本章定义了单位阶跃函数、符号函数、单位冲激函数、单位斜坡函数。本章另外定义了单位矩形函数和单位周期冲激序列，单位周期冲激序列结合卷积运算能给任意周期信号提供一种特别简洁的数学描述方式。

在介绍了这些新的连续时间信号函数后，本章阐述了一些常见类型的信号变换，如幅度缩放、时移、时间缩放、微分、积分等，并将它们应用于信号函数。随后本书介绍了一些在某类变换中保持不变的信号属性，如奇偶性、周期性等，以及这些信号属性在信号分析中的含义。本章最后一节介绍信号的能量和功率。

第 3 章

本章采用与第 2 章相似的方式介绍离散时间信号，主要包括离散时间正弦函数和指数函数，讨论离散时间正弦函数的周期判定问题。这是学生第一次接触采样的一些概念。书中定义了一些类似于连续时间奇异函数的离散时间奇异函数。然后介绍了离散时间信号函数的幅度缩放、时移、时间缩放、差分和累加，并指出了离散时间函数中尤其是时间缩放中出现的一些独特含义和问题。本章最后一节介绍离散时间信号的能量和功率。

第 4 章

本章介绍系统的数学描述。首先给出最通用的系统分类形式，如齐次性、可加性、线性、时不变性、因果性、记忆性、静态非线性、可逆性等。书中通过例子给出具有或不具有这些性质的不同类型的系统，以及如何通过系统的数学描述证明系统所具有的不同性质。

第 5 章

本章主要介绍在线性时不变（LTI）系统响应的系统分析中引入冲激响应和卷积的概念。书中给出卷积的数学形式并用图解方式说明卷积积分的意义。书中同时介绍如何利用卷积性质将多个串联或并联的子系统合并成一个系统，以及整个系统的脉冲响应应该是什么。其后一节通过求取 LTI 系统在复谐波激励下的响应，引入传递函数的概念。本章最后一节以类似方式介绍离散时间脉冲响应和离散卷积。

第 6 章

本章介绍傅里叶级数，学生开始接触变换方法。本章首先用图形的方式介绍一个概念，

即任何工程有应用的连续时间周期信号都可以用实数或复数的连续时间谐波信号的线性组合表示。然后用正交概念正式推导傅里叶级数，从而揭示信号可以描述成离散谐波函数的原因。书中同时提到了狄利克雷条件，以便于学生知道连续时间傅里叶级数可以应用于所有实际的连续时间信号，但不能应用于所有可以想象的连续时间信号。

本章的接下来几节揭示了傅里叶级数的性质。在介绍中尽可能使傅里叶级数的符号和性质与随后将要介绍的傅里叶变换类似。谐波函数与时间函数构成一个“傅里叶级数对”。在第1版中，采用小写字母表示时域信号，采用大写字母表示相应的谐波函数。但这会使得连续时间谐波函数和离散时间谐波函数看上去形式一样，导致两者不易区分。在第2版中，改变了连续时间谐波函数的符号，使其易于分辨。本章的另外一节是关于傅里叶级数的收敛性，阐述了在信号非连续点的吉布斯现象。本书鼓励学生使用表格和性质求解谐波函数，这种方法为求解傅里叶变换以及随后的拉普拉斯变换和 z 变换做好了准备。

本章的主要篇幅用于介绍将傅里叶级数的概念扩展到傅里叶变换。书中通过分析当周期信号的周期接近无限大时连续时间傅里叶级数的变化，导出并定义了连续时间傅里叶级数的一般化形式——连续时间傅里叶变换。随后书中推导了连续时间傅里叶变换的所有重要性质。同许多关于信号与系统、控制系统、数字信号处理、通信系统和傅里叶方法的其他应用如图像处理 and 傅里叶光学的书一样，也采用了两种不同的符号习惯，即周期频率 f 和角频率 ω 。书中同时采用了这两个变量，且两者之间可以通过简单的变量代换相互转化。这样写作的目的是为学生在他们大学和职业生涯中阅读其他书时碰到这两种形式做好准备。

第7章

本章采用与第6章类似的方式推导和定义离散时间傅里叶级数(DTFS)、离散傅里叶变换(DFT)以及离散时间傅里叶变换(DTFT)。DTFS和DFT几乎是相同的。本章主要介绍DFT，因为DFT广泛应用于数字信号处理中。书中强调了由于连续和离散时间信号之间的不同而引起的重要区别，特别是与连续时间傅里叶级数(CTFS)(一般)的无限和范围相对应的DFT的有限和范围。同时指出一个重要的事实，即DFT将一个有限的数据集合与另一个有限的数据集合联系起来，从而使得它可以直接用数字计算机计算。讨论了DFT一种快速算法——FFT。与第6章一样，本章同时使用了周期频率和角频率两种形式，并强调了两者之间的关系。采用 F 和 Ω 表示离散域的频率，区别于连续域的 f 和 ω 。但是，不幸的是，在其他一些书籍中这两种符号是相反的。本书采用的符号与大多数信号与系统书籍保持一致。这也说明了在这个领域符号还缺乏统一性。本章最后一节比较了4种傅里叶方法，特别强调了信号在一个域进行采样与在另一个域进行周期延拓的对偶性。

第8章

本章介绍拉普拉斯变换。本章从两个角度推导拉普拉斯变换：一个是从傅里叶变换应用于更广义信号时的一般化出发；另一个是通过分析复指数信号激励线性时不变系统所产生的结果导出。书中首先定义了双边拉普拉斯变换，并讨论收敛域的重要性。然后定义了单边拉普拉斯变换。书中推导了拉普拉斯变换的所有重要性质。详细介绍了计算逆变换的部分分式展开法，并给出了在给定初始条件下采用单边拉普拉斯变换求解微分方程的例子。

第 9 章

本章介绍 z 变换。除了 z 变换在离散时间信号和系统的应用，其他的介绍过程与拉普拉斯相似。书中首先定义双边变换，讨论了收敛域，然后定义了单边变换。书中同样推导了 z 变换的所有重要性质，介绍了计算逆变换的部分分式展开法，以及给定初始条件的差分方程的求解。本章还分析了拉普拉斯变换和 z 变换之间的关系，这是在第 15 章中将要介绍的采用离散时间系统逼近连续时间系统的一个重要思想。

第 10 章

本章首先介绍连续时间信号和对其采样而形成的离散时间信号之间的关系。10.1 节的内容覆盖了在实际的系统中采样是如何应用在采样保持和 A/D 转换器中的。10.2 节的内容从一个问题开始，即需要使用多少采样值才能充分描述连续时间信号。这个问题通过香农 (Shannon) 采样理论的推导给出解答。接着本章讨论了理论的和实际的插值方法以及带限周期信号的特殊性质。并完整推导了连续时间信号的 CTFT 与由该信号的有限个采样点的 DFT 之间的关系。随后该章给出如何用 DFT 近似一个能量信号或周期信号的 CTFT。接下来探讨了 DFT 在各种典型信号处理操作中的数值逼近作用。

第 11 章

本章主要涵盖 CTFT 和 DTFT 在频率响应分析中的各种应用。主要的议题包括理想滤波器、波特图、实际无源和有源连续时间滤波器以及基本的离散时间滤波器。

第 12 章

本章主要介绍连续时间通信系统的基本规则，包括频率复用、单边和双边幅度调制与解调以及角度调制。最后简单介绍了离散时间系统的幅度调制与解调。

第 13 章

本章的内容覆盖了拉普拉斯变换的各种应用，包括复频域中系统的方框图表示、系统稳定性、系统互连性、反馈系统（根轨迹分析法）、系统对标准信号的响应以及连续时间系统的标准实现。

第 14 章

本章的内容覆盖了 z 变换的各种应用，包括复频域中系统的方框图表示、系统稳定性、系统互连性、反馈系统（根轨迹分析法）、系统对标准信号的响应、采样数据系统以及离散时间系统的标准实现。

第 15 章

本章主要介绍一些常用的实际模拟和数字滤波器的设计与分析。模拟滤波器的类型主要包括巴特沃兹 (Butterworth) 滤波器、切比雪夫 (Chebyshev) I 型和 II 型滤波器以及椭圆 (考尔) 滤波器。接着介绍模仿模拟滤波器设计数字滤波器的典型技术，包括脉冲响应不变法、阶跃响应不变法、有限差分法、匹配 z 变换法、直接替换法、双边 z 变换法、有限长脉冲响应法以及 ParksMcClellan 数字设计法。

第 16 章

本章主要介绍连续时间系统和离散时间系统的状态空间分析法。重点介绍系统和输出方程、传递函数以及状态变量的转换与对角化。

附录

本书有 7 个附录，主要包括一些有用的数学公式、4 种傅里叶变换表、拉普拉斯变换表以及 z 变换表。

连续性

本书的内容是模块化的，即使跳过一些章节也能保持连续性。连续时间和离散时间的内容交替介绍，而且连续时间分析可以脱离离散时间分析而独立进行。如果学时较短，可以省略最后 6 章中的任意一章或者全部。

审阅和编辑

本书的出版很大程度上归功于各位审阅者，尤其是那些花了很多时间提出评价并给出改进意见的审阅者。我在此表示深深的感谢。同时感谢过去几年里学习这门课程的许多学生。我相信我们之间更多的是一种互利的关系，他们从我这里学习信号与系统分析，而我从他们那里学习如何教授信号与系统分析。有无数次学生问我一些非常敏锐的问题，而这些问题不仅体现出学生对概念的不理解，同时也反映出我以前对这些概念理解得不够。

写作风格

每个作者都认为自己的写作方式有助于学生对内容的理解，我也不例外。我教授这门课程多年，通过课程测试我知道哪些内容学生已经掌握而哪些内容学生没有掌握。在办公室里我花费了无数的时间向学生面对面地解释某些概念，正是通过这些教学实践，我了解哪些内容需要反复强调。在写作中，我尽量以直接对话的方式将理论介绍给读者，避免一些不必要的形式，并希望在一定程度上尽量消除那些在学生中容易存在的误解和错误。变换理论不是一种易于理解的概念，在第一次接触这些理论时，学生往往会因为概念的抽象性而陷于困惑之中，从而忽略了分析系统对信号响应的真正目的。正如所有作者一样，考虑到易懂性和数学严密性都十分重要，因此在写作中我尽量将两者完美地结合起来。我相信我的著作是简明清晰的，但最终的判断应取决于读者。

习题

每章后面都有两组习题：第一组在一定程度上作为训练使用，并给出了相应的习题答案；第二组习题具有较大难度，且没有提供答案。

结束语

正如我在第 1 版中的声明那样，我欢迎任何批评、纠正和建议。所有的意见，包括那些我不同意的或者其他人不同意的，都将会对本书的下一版产生建设性影响，因为它们指出了。如果某些东西你觉得不正确，那它也有可能困扰其他人，作为作者就有义务解决这些问题。因此我希望在你的意见中直接而清楚地指出哪些内容需要修改，同时请不要隐瞒你发现的任何错误。

感谢以下为本书提供大量帮助的审阅者：

Scott Acton 弗吉尼亚大学 (University of Virginia)

Alan A. Desrochers 伦斯勒理工学院 (Rensselaer Polytechnic Institute)

Bruce E. Dunne 大合谷州立大学 (Grand Valley State University)

Hyun Kwon 安德鲁大学 (Andrews University)

Erchin Serpedin 德克萨斯 A&M 大学 (Texas A&M University)

Jiann-Shiou Yang 明尼苏达大学 (University of Minnesota)

迈克尔 J. 罗伯特，教授
电气与计算机工程系
田纳西大学，诺克斯维尔

目 录

译者序		
前言		
第 1 章 概论	1	
1.1 信号与系统的定义	1	
1.2 信号的类型	2	
1.3 有关系统的例子	7	
1.3.1 一个机械系统	7	
1.3.2 一个流体系统	7	
1.3.3 一个离散时间系统	8	
1.3.4 反馈系统	9	
1.4 一个熟悉的信号与系统例子	11	
1.5 MATLAB 的使用	14	
第 2 章 连续时间信号的数学描述	15	
2.1 概述	15	
2.2 函数符号	15	
2.3 连续时间信号函数	16	
2.3.1 复指数函数和谐波函数	16	
2.3.2 不连续函数	17	
2.4 函数的组合	25	
2.5 缩放和时移	28	
2.5.1 幅度缩放	28	
2.5.2 时移	29	
2.5.3 时间缩放	30	
2.5.4 同时时移和缩放	33	
2.6 微分与积分	36	
2.7 偶函数与奇函数	38	
2.7.1 奇、偶函数的组合	40	
2.7.2 奇、偶函数的导数和积分	41	
2.8 周期函数	41	
2.9 信号能量和功率	44	
2.9.1 信号能量	44	
2.9.2 信号功率	45	
2.10 要点总结	46	
习题一(附答案)	47	
习题二(无答案)	54	
第 3 章 离散时间信号的描述	60	
3.1 概述	60	
3.2 采样和离散时间	60	
3.3 谐波函数和指数函数	62	
3.3.1 谐波函数	62	
3.3.2 指数函数	64	
3.4 奇异函数	65	
3.4.1 单位冲激函数	65	
3.4.2 单位序列函数	66	
3.4.3 符号函数	67	
3.4.4 单位斜坡函数	67	
3.4.5 单位梳状函数或冲激序列	67	
3.5 缩放和时移	68	
3.5.1 幅度缩放	68	
3.5.2 时移	68	
3.5.3 时间缩放	69	
3.6 差分和累加	72	
3.7 偶函数与奇函数	74	
3.7.1 奇、偶函数的组合	75	
3.7.2 奇、偶函数的有限对称区间累加	76	
3.8 周期函数	77	
3.9 信号能量和功率	78	
3.9.1 信号能量	78	
3.9.2 信号功率	78	
3.10 要点总结	80	
习题一(附答案)	80	
习题二(无答案)	85	
第 4 章 系统的描述	89	
4.1 概述	89	
4.2 连续时间系统	89	
4.2.1 系统建模	89	
4.2.2 系统特性	96	
4.2.3 二阶系统的动态特性	107	
4.2.4 复谐波激励	108	
4.3 离散时间系统	109	
4.3.1 系统建模	109	

4.3.2 系统特性	113	7.2.2 正交性和谐波函数	222
4.4 要点总结	116	7.2.3 傅里叶变换的性质	225
习题一(附答案)	116	7.2.4 快速傅里叶变换	228
习题二(无答案)	119	7.3 离散时间傅里叶变换	229
第5章 系统的时域分析	121	7.3.1 拓展到非周期信号的离散 傅里叶变换	229
5.1 概述	121	7.3.2 推导与定义	231
5.2 连续时间	121	7.3.3 广义DTFT	232
5.2.1 冲激响应	121	7.3.4 离散时间傅里叶变换的收敛性	233
5.2.2 连续时间卷积	125	7.3.5 DTFT的性质	233
5.3 离散时间	137	7.3.6 离散时间傅里叶变换的数值 计算	238
5.3.1 冲激响应	137	7.4 傅里叶方法比较	243
5.3.2 离散时间卷积	139	7.5 要点总结	244
5.4 要点总结	152	习题一(附答案)	244
习题一(附答案)	152	习题二(无答案)	248
习题二(无答案)	157	第8章 拉普拉斯变换	251
第6章 连续时间傅里叶方法	163	8.1 概述	251
6.1 概述	163	8.2 拉普拉斯变换的发展	251
6.2 连续时间傅里叶级数	163	8.2.1 傅里叶变换的推广	251
6.2.1 概念基础	163	8.2.2 复指数激励和响应	253
6.2.2 正交性和谐波函数	167	8.3 传递函数	253
6.2.3 紧凑型三角傅里叶级数	168	8.4 级联系统	254
6.2.4 收敛性	170	8.5 直接II型实现	254
6.2.5 傅里叶级数部分和的最小误差	172	8.6 拉普拉斯逆变换	255
6.2.6 奇、偶周期函数的傅里叶 级数	173	8.7 拉普拉斯变换的存在性	255
6.2.7 傅里叶级数表和性质	173	8.7.1 时限信号	256
6.2.8 傅里叶级数的数值计算	176	8.7.2 右边信号与左边信号	256
6.3 连续时间傅里叶变换	182	8.8 拉普拉斯变换对	257
6.3.1 将傅里叶级数扩展到非周期 信号	182	8.9 部分分式展开	260
6.3.2 广义傅里叶变换	185	8.10 拉普拉斯变换的性质	268
6.3.3 傅里叶变换性质	189	8.11 单边拉普拉斯变换	270
6.3.4 傅里叶变换的数值计算	194	8.11.1 定义	270
6.4 要点总结	201	8.11.2 单边拉普拉斯变换的特有 性质	271
习题一(附答案)	201	8.11.3 带有初始条件的微分方程 的解	272
习题二(无答案)	213	8.12 零极点图和频率响应	274
第7章 离散时间傅里叶方法	219	8.13 MATLAB系统对象	280
7.1 概述	219	8.14 要点总结	281
7.2 离散时间傅里叶级数和离散 傅里叶变换	219	习题一(附答案)	282
7.2.1 线性和复指数激励	219		

习题二(无答案)	286	10.3.1 周期冲激采样	344
第9章 z 变换	290	10.3.2 内插	346
9.1 概述	290	10.4 要点总结	349
9.2 离散时间傅里叶变换的推广	290	习题一(附答案)	349
9.3 复指数函数激励和响应	291	习题二(无答案)	361
9.4 传递函数	291	第11章 频率响应分析	366
9.5 级联系统	291	11.1 概述	366
9.6 系统的直接 II 型实现	292	11.2 频率响应	366
9.7 z 逆变换	293	11.3 连续时间滤波器	367
9.8 z 变换的存在性	293	11.3.1 滤波器的例子	367
9.8.1 时限信号	293	11.3.2 理想滤波器	371
9.8.2 右边信号和左边信号	294	11.3.3 波特图	375
9.9 z 变换对	296	11.3.4 实际滤波器	384
9.10 z 变换的性质	298	11.4 离散时间滤波器	394
9.11 z 逆变换的求解方法	298	11.4.1 符号	394
9.11.1 长除法	298	11.4.2 理想滤波器	394
9.11.2 部分分式展开法	299	11.4.3 实际滤波器	400
9.11.3 有关 z 正变换和 z 逆变换的 例子	299	11.5 要点总结	410
9.12 单边 z 变换	303	习题一(附答案)	410
9.12.1 单边 z 变换的特有性质	303	习题二(无答案)	417
9.12.2 差分方程的解	304	第12章 通信系统分析	427
9.13 零极点图和频率响应	305	12.1 概述	427
9.14 MATLAB 系统对象	307	12.2 连续时间通信系统	427
9.15 变换方法比较	308	12.2.1 通信系统的需求	427
9.16 要点总结	312	12.2.2 频分复用	429
习题一(附答案)	312	12.2.3 模拟调制和解调	429
习题二(无答案)	315	12.3 离散时间谐波载波幅度调制	440
第10章 采样和信号处理	319	12.4 要点小结	441
10.1 概述	319	习题一(附答案)	441
10.2 连续时间采样	319	习题二(无答案)	444
10.2.1 采样方法	319	第13章 系统的拉普拉斯变换分析	448
10.2.2 采样理论	321	13.1 概述	448
10.2.3 混叠	324	13.2 系统的表示方法	448
10.2.4 时间受限和带宽受限的信号	327	13.3 系统的稳定性	451
10.2.5 插值	327	13.4 系统的连接	453
10.2.6 带通信号的采样	329	13.4.1 级联与并联	453
10.2.7 谐波信号的采样	331	13.4.2 反馈连接	453
10.2.8 带限周期信号	333	13.5 采用 MATLAB 进行系统分析	470
10.2.9 采用 DFT 进行信号处理	336	13.6 系统对标准信号的响应	472
10.3 离散时间采样	344	13.6.1 单位阶跃响应	472
		13.6.2 谐波响应	475

13.7 系统的标准实现	477	15.2.2 切比雪夫、椭圆和贝塞尔 滤波器	517
13.7.1 级联实现	477	15.3 数字滤波器	520
13.7.2 并联实现	478	15.3.1 模拟滤波器的模拟	520
13.8 要点总结	479	15.3.2 滤波器设计技术	520
习题一 (附答案)	479	15.4 要点总结	549
习题二 (无答案)	485	习题一 (附答案)	549
第 14 章 系统的 z 变换分析	491	习题二 (无答案)	554
14.1 概述	491	第 16 章 状态空间分析	557
14.2 系统模型	491	16.1 概述	557
14.2.1 差分方程	491	16.2 连续时间系统	557
14.2.2 方框图	491	16.2.1 系统和输出方程	558
14.3 系统的稳定性	492	16.2.2 传递函数	566
14.4 系统连接	492	16.2.3 其他状态变量选择	568
14.5 系统对标准信号的响应	494	16.2.4 状态变量变换	568
14.5.1 单位序列响应	494	16.2.5 对角化	569
14.5.2 因果谐波响应	496	16.2.6 状态空间分析的 MATLAB 工具	572
14.6 用离散时间系统模拟连续时间 系统	499	16.3 离散时间系统	572
14.6.1 z 变换与拉普拉斯变换的 关系	499	16.3.1 系统和输出方程	572
14.6.2 冲激不变性	500	16.3.2 传递函数和状态变量的变换 ..	575
14.6.3 数据采集系统	502	16.3.3 状态空间分析的 MATLAB 工具	577
14.7 系统的标准实现	507	16.4 要点总结	578
14.7.1 级联实现	507	习题一 (附答案)	578
14.7.2 并联实现	507	习题二 (无答案)	581
14.8 要点总结	508	附录 A 有用的数学关系式	583
习题一 (附答案)	508	附录 B 连续时间傅里叶级数对	585
习题二 (无答案)	510	附录 C 离散傅里叶变换对	587
第 15 章 滤波器分析与设计	513	附录 D 连续时间傅里叶变换对	590
15.1 概述	513	附录 E 离散时间傅里叶变换对	596
15.2 模拟滤波器	513	附录 F 拉普拉斯变换对	600
15.2.1 巴特沃兹滤波器	513	附录 G z 变换对	602
		参考文献	603

第 1 章 概 论

1.1 信号与系统的定义

所谓**信号**是指任何试图传送某种信息的时变物理现象，例如，人声、手语、莫尔斯电码(Morse code)、交通信号、电话线中的电压、无线电或者电视发射机发出的电场、电话或计算机网络中光纤内光强度的变化等。**噪声**类似于信号，也是一种时变物理现象，但是它往往并不像信号那样携带有用信息，因而人们并不希望噪声存在。

信号总是在**系统**上运行。当一个或多个**激励信号**或**输入信号**作用到系统的一个或多个输入端时，系统就会在输出端产生一个或多个**响应信号**或**输出信号**。图 1-1 给出了一个单输入单输出系统的框图。

在通信系统中，发射机是一种用来产生信号的装置，而接收机是用来获取信号的装置。**信道**是信号从发射机传送到接收机的路径。在发射机、信道和接收机中不可避免地会引入噪声，如图 1-2 所示。发射机、信道和接收机都是整个系统的组成部分或者子系统。科学仪器用来测量物理现象(如温度、压力、速度等)并将那些物理现象转换成如电压或电流的信号。现代办公大厦的控制系统(图 1-3)、典型的工业过程控制系统(图 1-4)、带封闭驾驶室的现代农业机械(图 1-5)、飞机中的电子设备以及汽车中的点火和燃油泵送控制系统等，都是处理信号的系统。

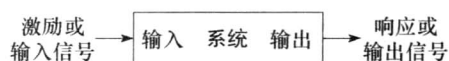


图 1-1 单输入单输出系统的框图

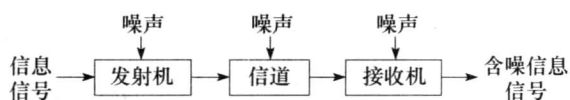


图 1-2 通信系统



图 1-3 现代办公大厦