

信号分析与 处理导论

宇航出版社

信号分析与处理导论

〔英〕 P. A. 林恩 著

刘庆普 沈允春 译

倪汉昌 校

宇航出版社

内 容 简 介

本书是有关信号分析与处理的入门书,是一本导论性基础理论教材。内容丰富,概念清晰,在选材与讲法上都有许多新颖之处,特别注重基本概念与基本方法的讲解。全书分为两部分,第一篇讲述有关信号分析的基本理论,包括连续信号、抽样数据信号以及随机信号的各种分析方法;第二篇讲述有关信号处理的基本理论,包括系统分析、各种调制方法、模拟与数字滤波器。最后介绍了在噪声背景中对信号进行恢复、检测和预测的基本方法。

本书可供大专院校有关专业作为教材或教学参考书,也可供同信号分析与处理有关的广大科技工作者参考。

AN INTRODUCTION TO THE ANALYSIS AND PROCESSING OF SIGNALS

P. A. Lynn

THE MACMILLAN PRESS LTD

1982年 第二版

信号分析与处理导论

〔英〕 P. A. 林恩 著

刘庆普 沈允春 译

倪汉昌 校

责任编辑: 张国瑞

*

宇航出版社出版

(北京和平里滨河路1号 邮政编码100013)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

七〇七所印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 11.375 字数: 264千字

1990年5月第1版第1次印刷 印数: 1—2500册

ISBN 7-80034-291-3/TN·021 定价: 5.80元

DG57 / 116

译者序

近年来，由于电子计算机与数字技术的迅速发展，在信号分析与处理方面的研究进展很快，其应用范围已经从传统的雷达、通信和测量领域扩大到天文、气象、地震、勘探、生物医学甚至社会科学与经济学等许许多多关心信号和数据的分析与处理的领域。本书对这些领域中共同关心的有关信号分析与处理方面的基本概念提供了导论性的阐述。书中不讨论有关电子技术的任何细节，所谓信号也不仅仅局限于电气与电子工程领域中的信号，这种选材方法无疑有利于拓宽读者所学知识的应用范围。本书虽然起点不高，在数学上只要求读者具备基本微积分学知识和复数运算知识，但内容较新，涉及范围广，特别注重对一些重要概念的物理意义的阐述。在讲法上采用了模拟概念与数字概念并行的方式，许多重要概念的讲解既针对模拟信号与系统，又针对数字信号与系统。讲解中深入浅出，循序渐进，加之数学上力求直截了当，使得本书成为一本很适合于初学者的有关信号分析与处理的基础理论教材。

本书是作者为英国布里斯托尔电子工程学院电气与电子工程专业学生所写的教材，自1973年初版后，曾多次重印，并于1982年经修订再版发行。再版后，无论在选材上，还是在讲法上，都有许多新颖之处，并特别注重抽样数据信号的分析与处理，以适应电子技术日益“数字”化的形势。我

们认为有必要译出本书，作为大专院校有关专业的教材或教学参考书，也希望与信号和数据的分析与处理有关的广大科技工作者通过阅读本书，能短时间在信号分析与处理理论方面达到一定水平。

本书由刘庆普翻译第一篇，沈允春翻译第二篇，倪汉昌负责全书校对。因水平所限，错误难免，敬请读者批评指正。

译 者

作 者 前 言

本书旨在简明易懂地介绍信号分析与线性信号处理理论。其水平适用于电气与电子工程专业的二、三年级课程，也适用于与信号、记录和各种数据的分析与处理有关的其它课程。其中一少部分内容一般说来可作为研究生教材。

信号理论这一学科在许多现代的教材中都有涉及，这些教材的作者通常总要说明写书的理由。一个时期以来，本人感到在这总的领域里需要有一本书，这本书不是去论述有关电子线路或电子技术的任何细节。我采用的方法是从所谓“系统”的观点讨论信号与信号处理，也就是说，教材本身不涉及具体的电气或电子信号处理器，也不集中研究主要或仅仅与电气和电子工程有关的信号类型。然而我期望并且相信，电气工程专业的学生们会发现本教材不仅同信号理论课程有关，而且同通信与线性系统课程有关。本书将有助于他们将大量有关电子线路和电子系统方面的知识在更广泛的领域中运用。我还相信，所采用的这种方法将使本教材对于涉及信号和数据的其它领域中的工作者也是有用的，这些领域包括工程技术的各个分支、物理学、医学、还有社会科学与经济学的某些领域。考虑到这一点，我力求在数学上尽可能地简单明了，并设想读者并不具备较基本积分运算和基本复数运算更高深的知识。略去有关电子线路和电子系统方面详细内容的另一个好处在于使我们在这一本薄书中阐述信号理论的

基本问题变得容易多了。

我希望在总的探讨方法和在内容上都有某些新颖之处。鉴于种种原因，与同样篇幅的书相比，我更为注重抽样数据信号。电子学正日益“数字”化，通信系统中推广应用脉冲编码调制就证实了这一点，而且数字计算机目前已经广泛地用于各种信号和数据的储存、分析与处理。强调这一点的另一个重要原因还在于我相信，信号处理中的许多核心概念，例如卷积和相关，在用于抽样数据信号时更容易理解。鉴于这种处理方法，本书包括了内容充实的有关数字滤波器的这一节。这使得本书成为最先以导论水平接触这一重要概念的一本书。

详细地讲，第二、三章对用傅里叶方法和拉普拉斯方法分析信号作了很一般性的介绍，由于篇幅所限，不可能对这些十分有效的方法给予充分阐述。第四章涉及抽样数据信号并介绍 z 变换。从这往后，对连续信号和抽样数据信号不作专门区分，其后各章针对两种函数或其中任意一种函数阐述概念。因此，即使读者主要兴趣在于连续（模拟）信号和系统，也应该认真对待第四章。对本书其余部分就不需要介绍了，要说明的一点是，一章的长短只反映我认为在特定标题下应该包括内容的多少，因此各章的篇幅变化很大，而篇幅长的章节，即使不求甚解地读，也不是要一口气读完。值得说明的是，在第五章（“随机信号”）中，只有5.4节对理解后面各章是重要的，这一节讨论自相关和功率谱密度函数。对随机信号不感兴趣的读者，还可以略去7.4节。

感谢我的同事 G. A. L. 里德，他对手稿给予许多有益的建议和评论；感谢伦敦帝国理工学院电气工程系医学实

验室的 B. 麦克塞耶斯医学工程教授，书中涉及的许多想法都是他首先向我提出的。最后，还应感谢 V. 麦金托什女士和 L. 杰克逊女士，她们以杰出的能力和很高的热情从事打字工作。

P. A. 林恩

再 版 前 言

在本书初版后的九年中，微电子学获得异乎寻常的发展，在初版前言中，我曾指出，电子学正日益数字化，在这一方面，当然有微电子学的重大影响。高性能的微处理器和计算机，连同它们提供的数字信号分析与处理技术，对几乎每个用户来说，目前都可以用适当的价格买到。这一情况已经反映在近五年来出版的关于数字系统、滤波器和信号处理的大量教材中。然而这些教材（范围再大些，还有论文）中有许多对在这方面并非专家的人，包括过去是学模拟电路、系统和技术的工程师来说，仍然是颇难理解的。基于这一理由，我相信本书仍然有用，书中既有模拟方法，也有数字方法，并且在两者之间不做专门的区分。

考虑到数字电子学的迅速发展，这次再版着重修订了关于数字信号处理的内容。在第九章中关于数字滤波器的各节已经重新整理并加以扩充，还明确划分了有限冲激响应（FIR）型滤波器与无限冲激响应（IIR）型滤波器。这与大多数新近出版的关于数字滤波器的教科书是一致的。第十章已经完全重写，这一章的新标题反映出其范围更广了。特别是，我收入了关于最佳维纳和卡尔曼滤波的材料，数字计算机对这些课题具有重大的实际意义。我认为有理由说，本书最后一章即使是在导论的水平上，也还是包括了有关信号恢复、估计和预测的大多数有用的线性处理方法。

我衷心感谢安吉拉·泰勒夫人在校对手稿方面所给予的帮助。

P. A. 林恩

目 录

第一篇 信号分析

第一章 背景	(2)
1.1 发展历史.....	(2)
1.2 信号类型和信号源.....	(3)
1.3 信号理论的用途.....	(5)
1.4 信号处理器.....	(6)
第二章 周期信号	(8)
2.1 时域描述.....	(8)
2.2 频域描述.....	(12)
2.3 正交函数.....	(15)
2.3.1 向量与信号.....	(15)
2.3.2 用正交函数集描述信号.....	(18)
2.4 傅里叶级数.....	(23)
2.4.1 系数计算.....	(24)
2.4.2 时间原点选择与波形功率.....	(29)
2.4.3 小结.....	(34)
习题.....	(35)
第三章 非周期信号	(39)
3.1 引言.....	(39)
3.2 指数型傅里叶级数.....	(39)
3.3 傅里叶变换.....	(46)
3.3.1 推导.....	(46)
3.3.2 连续频谱举例.....	(50)

3.3.3 傅里叶积分方程的对称性	(54)
3.3.4 傅里叶变换的限制条件	(56)
3.4 拉普拉斯变换	(59)
3.4.1 与傅里叶变换的关系	(59)
3.4.2 拉普拉斯变换的应用	(61)
3.4.3 信号的极、零点表示	(66)
3.4.4 其它性质	(70)
习题	(74)
第四章 抽样数据信号	(77)
4.1 引言	(77)
4.2 利用狄拉克(δ)函数的数学描述方法	(78)
4.3 抽样数据信号频谱	(80)
4.3.1 离散傅里叶变换	(80)
4.3.2 快速傅里叶变换	(84)
4.4 z 变换	(86)
4.4.1 引言	(86)
4.4.2 z 平面极点和零点	(88)
4.5 讨论	(96)
习题	(97)
第五章 随机信号	(99)
5.1 引言	(99)
5.2 概率论基础	(102)
5.2.1 事件的概率	(102)
5.2.2 联合概率与条件概率	(103)
5.2.3 概率密度函数	(103)
5.3 幅度分布和矩	(108)
5.4 自相关函数和功率谱密度函数	(114)
5.4.1 随机信号的频谱特性	(114)
5.4.2 自相关函数	(115)

5.4.3 功率谱密度函数	(120)
5.4.4 对随机信号的运用	(123)
5.5 几种重要的随机信号	(127)
5.5.1 平稳信号与各态历经信号	(127)
5.5.2 高斯信号	(129)
5.5.3 随机二元信号: 二项分布与泊松分布	(132)
5.5.4 伪随机信号	(136)
5.5.5 点过程信号	(142)
习题	(149)
第六章 信号比较	(153)
6.1 引言	(153)
6.2 互相关函数	(155)
6.3 互谱密度函数	(159)
6.4 讨论	(161)
习题	(163)

第二篇 信号处理

第七章 信号和系统	(166)
7.1 引言	(166)
7.2 线性处理简介	(167)
7.2.1 线性系统	(167)
7.2.2 频域法	(169)
7.2.3 时域法	(184)
7.2.4 线性处理举例	(194)
7.3 卷积、相关和滤波	(196)
7.4 随机信号处理	(199)
7.5 非线性处理	(208)
习题	(210)

第八章 调制和抽样	(214)
8.1 调制引言	(214)
8.2 信号抽样和再现	(216)
8.2.1 抽样过程	(216)
8.2.2 信号再现	(223)
8.3 其它调制处理	(226)
8.3.1 信号截断	(226)
8.3.2 振幅调制	(229)
8.3.3 频率调制和脉冲编码调制	(231)
习题	(233)
第九章 滤波器	(235)
9.1 引言	(235)
9.2 滤波器的一般特性	(236)
9.2.1 滤波器分类	(236)
9.2.2 滤波器的时域、频域响应	(237)
9.3 模拟滤波器	(241)
9.3.1 概述	(241)
9.3.2 几种常见的滤波器	(242)
9.4 数字滤波器	(251)
9.4.1 概述	(251)
9.4.2 几种基本的数字滤波器	(254)
9.4.3 硬件和软件实现	(264)
9.4.4 有限冲激响应(FIR)滤波器	(266)
9.4.4.1 引言	(266)
9.4.4.2 滑动平均滤波器	(268)
9.4.4.3 利用窗函数设计有限冲激响应滤波器	(270)
9.4.4.4 频率抽样滤波器	(273)
9.4.4.5 递归整乘数设计	(278)
9.4.5 无限冲激响应滤波器(IIR)	(289)

9.4.5.1 引言	(281)
9.4.5.2 根据选择 z 平面的极点和零点设计滤波器	(282)
9.4.5.3 冲激不变滤波器	(285)
9.4.5.4 双线性变换法	(286)
9.4.6 滤波器实现进一步讨论	(290)
习题	(292)
第十章 信号恢复、检测和预测	(297)
10.1 引言	(297)
10.2 信号恢复	(298)
10.2.1 在宽带噪声中恢复信号	(298)
10.2.2 在窄带噪声中恢复信号	(302)
10.2.3 信号平均	(304)
10.2.4 最佳信号估计	(306)
10.2.4.1 引言	(306)
10.2.4.2 维纳滤波器	(307)
10.2.4.3 卡尔曼滤波器	(313)
10.3 信号检测	(319)
10.3.1 引言	(319)
10.3.2 匹配滤波器	(320)
10.3.3 脉冲压缩技术	(324)
10.3.4 检测误差	(328)
10.4 信号预测	(331)
10.4.1 引言	(331)
10.4.2 维纳预测器	(333)
习题	(339)
后记	(342)
附录: 某些常用的拉普拉斯变换	(343)
参考资料	(344)

第 一 篇

信 号 分 析

第一章 背景

1.1 发展历史

在不久以前，仅仅是由于传递军事情报的需要，才刺激了信号传输技术和科学的发展。追溯到远古时代，鉴于信使走得太慢，人们就用烟火信号和鼓声来传送情报，在公元前，希腊人和罗马人对使用烽火都很有经验。16世纪末，英格兰人曾用一长串烽火发出西班牙舰队接近的警报。差不多就在这个时候，人们开始普遍地用“信号”这个词来表示“专门为了传送警报、指示或情报所给出的、为人们的视觉或听觉所能感觉到的一种符号或通告”。到了1806年，人们只要用3分钟就能将旗语信号由普利茅斯发往伦敦，并收到回音。1852年由塞缪尔·莫尔斯（Samuel Morse）发明的著名通信编码和电报的研制成功都大大提高了传送消息的速度和可靠性，并使通信在除了战争和防御以外的其它方面都获得广泛的应用。

如所周知，在所有这些早期的传送情报的方法中，信号理论是没什么用的，使用的信号都是很简单的，接收器几乎总是人的肉眼或耳朵。随着电话、特别是无线电的发明，这种情况迅速改变了，在第一次用复杂电气设备发送和接收信号的时候，其性能就符合数学分析结果。代表消息的电信号在