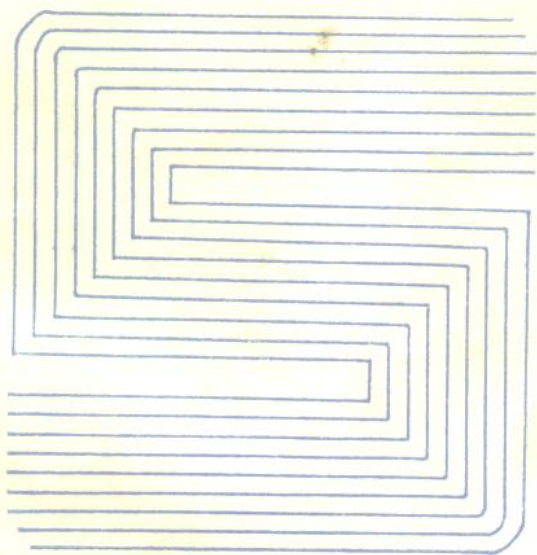


陈季镐 主编

数字 波形的处 理和识别



海洋出版社

73.412
601
12

DG57.109

数字波形的处理和识别

陈 季 稿 主 编
陶 笃 纯
陈 耀 明 译

海 洋 出 版 社

1989·北京

内 容 简 介

本书把数字信号处理和数字模式识别结合起来,介绍了一些对两者来说是共同以及相互关联的方法,如数字滤波和谱分析。除说明数字信号处理、统计及句法模式识别的基本概念及方法外,着重介绍了在语言识别、地球物理、声呐和雷达等方面的应用。内容丰富,观点新颖。

适于信号处理、模式识别、语言、地球物理、生物医学以及声呐和雷达等方面的研究人员阅读,也可作为大学有关专业高年级学生的参考书。

Digital Waveform Processing and Recognition

C. H. Chen

CRC Press 1982

责任编辑 刘莉蕾

责任校对 刘兴昌

数字波形的处理和识别

陈季镐 主编

陶笃纯 陈耀明 译

海洋出版社出版 (北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 新村印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: $8 \frac{1}{2}$ 字数: 130千字

1989年10月第一版

1989年10月第一次印刷

印数: 600册

ISBN7-5027-0189-3/TN·7 羊: 2.40元

译者的话

数字信号处理和数字模式识别,是近年来两个非常活跃的研究领域,在许多应用中取得了显著的成功。它们的发展势头方兴未艾。尽管早就感到这两个领域有一定联系,不可分割,但当读到陈季镐教授主编的这本书时,立即对它发生了浓厚的兴趣。我们强烈地意识到,单单把信号处理和模式识别结合起来写成一本书这件事本身,就是一种新的学术思想形成和发展到一定程度的标志。正是基于这一认识,我们才产生了要把这本书译成中文,向国内学术界和有关人士介绍这一新思想的念头。

本书主编陈季镐,是美国马萨诸塞大学电机系教授。他长期从事信号处理和模式识别的研究工作,在通讯、信号处理和模式识别等方面发表了一百多篇文章,并且是好几本专著的作者和编者。本书的另外几位作者,都是各自专长的学术领域的权威。陈教授得知本书正在译成中文的消息后,特地为中译本写了序言,足见其对国际学术交流的重视和对祖国科学事业发展的关心。

本书涉及的应用领域,我们熟悉的范围有限,因此虽然作了一定努力,难免还会有一些用词不当甚至误译的地方,祈请各方面专家和广大读者批评指正。对于原书中的一些错误,我们尽力作了改正,除少数比较关键的地方外,译本中在一般印刷错误之处不再一一指出。

如果这本书能引起读者的兴趣,从而对我国信号处理和模式识别的研究工作有所促进的话,我们就感到十分欣慰了。

1014037

1984年4月

中文本序言

信号处理同模式识别早年是从不同的起始点发展起来的。在过去的二十多年里，两者的研究和应用都有极大的进展。许多工业、学术和政府机构，同时用到信号处理和模式识别，而一般书刊将两者完全分开考虑。鉴于两者间关系密切，本书同时介绍统计及句法模式识别，数字滤波和谱分析，并着重在语言、地球物理、声呐和雷达等方面的应用。由于篇幅所限，各个题目未能详细介绍，但力求简明扼要。随着数字硬件的迅速发展，信号处理同模式识别的实际应用将会更多而且更加有效，理论方面的新进展则较少些。承蒙著名权威学者傅京孙教授、Donald G. Childers教授和Alistair D. C. Holden教授提供了几章介绍他们的专长，使本书增色不少。因着重实际应用，本书附有Burg及Fougere的最大熵谱分析程序，使读者在高分辨谱分析方面的应用方便一些。

承蒙陶笃纯和陈耀明先生将本书译成中文介绍给国内读者，对学术交流贡献很大，谨此致谢。

陈季儒

1983年11月25日

前 言

现在，人们对数字信号处理、数字模式识别以及它们的应用，有强烈的兴趣，并开展了大量的工作。许多工业、学术和政府部门既对波形的处理感兴趣。又对波形的识别感兴趣。明显地存在着这样的需要：把数字信号处理和数字模式识别结合起来，写成一本书，使得对于处理和识别是共同的并且相互关联的一些方法得以发展，并用到各种应用中去。

本书就是以此为目标而写的。第二章和第三章是关于数字滤波、谱分析以及离散检测和估计的基本原理，也有一些利用语音及生物医学波形的说明性的例子。第四章和第五章为综述统计和句法模式识别以及对于信号处理的应用。关于对语音、地球物理、声呐和雷达方面应用的比较详细的讨论见第六章到第十章。第十一章是关于波形处理和识别的数字系统实现方面的一些内容。本书既可作为数字信号处理和识别的理论、设计和应用方面的参考书，也可作为教科书。

感谢傅京孙教授、D.G.Childrens教授和D.C.Holden教授对本书的重要贡献。本人也对为我在模式识别和统计信号处理方面的研究工作起了保证作用的空军科研部和海军研究部表示感激。

陈季镐 (C.H.Chen)

目 录

第一章 引言 (陈季镐)	(1)
I. 数字波形的描述	(1)
II. 数字波形的处理	(1)
III. 数字波形的识别	(2)
IV. 全书通览	(2)
第二章 数字信号处理基础 (陈季镐)	(5)
I. 前言	(5)
II. 数字信号处理概述	(5)
III. 非递归差分器和希尔伯特变换器的设计	(6)
IV. 数字互相关器	(15)
V. 已知信号的离散检测	(17)
VI. 随机信号的离散估计	(20)
VII. 基阵处理器和多通道滤波	(21)
第三章 数字谱分析 (D.G. Childers)	(24)
I. 前言	(24)
II. 概述	(25)
III. 早期的谱分析方法	(28)
IV. 自相关法	(31)
V. 直接方法	(32)
VI. 现代谱分析方法	(44)
VII. 实例——语音信号	(58)
A. 基本概念	(58)
B. 逆滤波	(60)
C. 线性预测谱估计	(61)
D. 语音识别、线性预测和模式识别	(62)

E. 数据压缩.....	(64)
VII. 实例——脑电图.....	(64)
A. 脑电图和ER 谱.....	(67)
B. 脑电图预 测.....	(67)
IX. 小结.....	(69)
第四章 统计模式识别 (陈季镐).....	(72)
I. 前言.....	(72)
II. 波形识别的判决规则.....	(73)
III. 统计特征提取.....	(76)
IV. 模式识别中的学习.....	(79)
V. 聚类分析.....	(84)
VI. 不完整矢量的识别.....	(87)
VII. 有限样本量和有限特征数.....	(88)
VIII. 结束语.....	(90)
第五章 句法模式识别及其在信号处理	
方面的应用 (傅京孙)	(95)
I. 前言.....	(95)
II. 基元选择和模式文法.....	(97)
III. 句法聚类.....	(101)
IV. 句法识别和误差修正剖析方法.....	(103)
A. 用于正则语言的误差修正剖析方法.....	(104)
B. 用于上下文无关语言的误差修正	
剖析方法.....	(106)
V. 形状分析的句法方法.....	(107)
VI. 在波形和信号处理方面的应用.....	(108)
VII. 结束语.....	(113)
第六章 语音处理 (Alistair D.C. Holden) ...	(121)
I. 前言.....	(121)

II. 语音产生模型.....	(122)
III. 分析方法.....	(123)
A. 倒频谱.....	(124)
B. 线性预测分析.....	(125)
C. SIFT算法.....	(127)
IV. 韵律特征.....	(127)
A. 自动语音识别中的语言重音.....	(128)
B. 由声学参数得到重读估计的例子.....	(130)
V. 孤立单词识别及其应用.....	(131)
VI. 声音数据输入与其他方法的比较.....	(132)
VII. 连贯讲话识别系统.....	(133)
A. 评价.....	(134)
B. 语音理解系统.....	(135)
第七章 在地球物理方面的应用(1) (陈季镐).....	(139)
I. 前言.....	(139)
II. 地震信号模型化.....	(139)
III. 谱匹配和ARMA模型.....	(142)
IV. 预测解卷积与同态解卷积.....	(152)
V. 地震鉴别的地球物理特征.....	(155)
VI. 各种特征提取准则的比较.....	(157)
VII. 利用决策理论进行地震鉴别.....	(159)
VIII. 地震预报.....	(160)
IX. 探矿.....	(162)
附录.....	(163)
第八章 在地球物理方面的应用(2) (陈季镐).....	(168)
I. 前言.....	(168)
II. 用于侵入探测的自适应滤波.....	(168)
III. 一种新的最大熵谱分析方法.....	(183)

附录A	(192)
附录B	(199)
第九章 声呐信号处理 (陈季镐)	(224)
I . 前言	(224)
II . 运动声源的被动跟踪	(224)
III . 时延估计	(229)
IV . 自适应平均级检测器	(233)
第十章 在雷达中的应用 (陈季镐)	(238)
I . 前言	(238)
II . 多普勒估计	(238)
III . 雷达跟踪中的多途问题	(240)
IV . 雷达杂波的模型	(244)
V . 其他一些问题	(244)
第十一章 数字系统的实现 (陈季镐)	(247)
I . 前言	(247)
II . 阵列处理器	(247)
III . 以FFT为基础的信号处理系统的实例	(249)
IV . 模式识别硬件	(252)
V . 结束语	(252)

第一章 引言

陈季稿

I. 数字波形的描述

在许多应用中,测量数据是一组波形(或者一个波形),要从其中把所要的信息提取出来。譬如在生物医学方面,从病人身上得到心电图(EKG),由医生进行解释,以确定病人的心脏是否正常。在心脏不正常的情况下,还可以从心电图获得进一步的信息。实际上,在许多应用中测得的波形中包含的信息比人类使用者能充分提取的要多得多。另外,由于数据量非常大,人们要在较短的时间里得到所需的信息是极其困难的。为了进行波形处理和识别,已经发展了一些借助于计算机的,交互作用的,以及完全自动化的方法。在用数字计算机进行任何处理及识别之前,一般需要将波形数字化。处理和识别的结果就是计算机的输出。就心电图的例子来说,处理结果可以是以谱显示,而识别结果可以是对该心电图的一种解释。

在本书中所考虑的波形都是数字形式的。因而对处理而言,输入是一组数字的时间序列;对识别而言,输入则通常是一些处理过的数据,譬如由几个特征测量组成的矢量样本。在本书中,既考虑用于处理的数字系统又考虑用于识别的数字系统。

II. 数字波形的处理

所谓处理,实际上包括了除判决和解释以外,数字计算机对数字波形所作的所有操作。由于识别几乎总是需要对波形

作初步的处理,所以,处理与识别的关系是很密切的。一类重要的处理操作是对数据进行滤波,其目的是减小设备噪声的影响,或将数据限制在一定的频带中。这种滤波既可以用模拟方式也可以用数字方式来进行。人们更多地采用数字滤波,因为它使用灵活,性能又好。另一类重要的处理操作是波形的谱分析。除数据的时域分析外,在波形的研究方面频域分析也是很重要的。为了得到某种需要的信息,常常既要作时域处理又要作频域处理。

Ⅲ. 数字波形的识别

识别的主要目的是要把一个模式(在本书中是一个数字波形),分到几种可能类别中的一个中去。识别的另外一个目的,可能是要得到数据的某种解释或者某些结构。然而,识别的关键问题是特征提取,即确定能够鉴别来自不同类别的数据,或者能够正确认定来自同一类别的样本的一些有代表性的特征。统计模式识别认为,各种模式在本质上是统计的。它处理数字信号的统计描述,数学特征的提取,判决规则,聚类以及参数和密度估计等问题。另一方面,句法模式识别则处理基元选择和模式文法,句法分类和误差修正以及剖析和句法聚类的问题。

Ⅳ. 全书通览

现在,人们对于数字信号处理和数字模式识别的各个领域以及它们的应用有强烈的兴趣,也取得了许多进展。本书同时考虑这两个方面,将提供一些对处理和识别来说是共同的和相互关联的方法,并把它们用到各种实际应用中去。

在第二章中考虑的数字信号处理的基础,处理象非递归

数字滤波器和离散估计，离散检测这样一些专门课题。离散估计和检测是数字波形的处理和识别的基础，十分重要。可是，在一般数字信号处理的教科书中，却没有这方面的内容。第三章主要介绍谱分析，并给出一些关于语音和生物医学波形的说明性实例。第四章简述模式识别的统计理论。在第五章中充分论述了关于模式识别的句法方法及其在信号处理方面的应用。在第六章中提出了考察语音处理方面的几种重要方法。第七和第八章中，给出了对地球物理数据的处理和识别的详细说明。作为解释性的例子，对远震和探测侵入的地震数据作了详细的考察。同时还提供了几个重要计算机程序的清单。第九章和第十章分别考察了声呐和雷达信号处理的一些关键方面。最后，在第十一章中，考虑了用于处理和识别的数字系统实现方面的问题。

文 献 说 明

不论在数字信号处理还是在模式识别方面，在过去的十五年中都出版了二十本以上的书。在每一个领域中，发表的文章数目都远远超过1000篇。以下所列是在这两方面浩如烟海的文献中具有代表性的文献目录。

参 考 文 献

1. *Proc. Int. Conf. on Pattern Recognition*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, New York, 1973, 1974, 1976, 1978, 1980.
2. *Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980.
3. Oppenheim, A. V. and Schaffer, R. W., *Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1975.

4. Oppenheim, A.V., Ed., *Applications of Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1975.
5. Peled, A. and Liu, B., *Digital Signal Processing, Theory, Design and Implementation*, John Wiley & Sons, New York, 1976.
6. Fu, K.S., *Syntactic Methods in Pattern Recognition*, Academic Press, New York, 1974.
7. Fu, K.S., Ed., *Applications of Pattern Recognition*, CRC Press, Boca Raton, Fla., in press.
8. Chen, C.H., *Statistical Pattern Recognition*, Hayden Book, Rochelle Park, N.J., 1973.
9. Chen, C.H., Ed., *Pattern Recognition and Signal Processing*, Sijthoff & Noordhoff, The Netherlands, 1978.

第二章 数字信号处理基础

陈季镐

I. 前言

数字信号处理基础包括一系列专题:采样和重建,变换方法,数字滤波,谱分析,自适应信号处理,离散估计和检测以及信号处理的硬件与软件等,在本章和第三、七、八和十一章中,我们将有选择地对这些专题加以研究。有关数字信号处理的基本原理,在一些入门书^[1, 2]和有关专著^[3, 4]中都有令人满意的叙述,读者可以从中得到入门指导。本章首先对数字信号处理领域中的问题作一概述,然后讨论其中几个方面的问题。

一台典型的数字信号处理机第一步是把连续波形数字化(即采样),采样速率至少是波形最高有效频率的两倍。模数转换的另一部分功能是将离散数据量化。这种量化与采样不同,它是一个不可逆的过程。我们通过滤波、变换和各种不同方法的组合,对所得数据进行数字化的处理,以便提取或增强有用信息。数字处理机的输出可以是数字方式的,在许多实际问题中,也经常转换成模拟量再输出。处理得到的数字数据和模拟数据,都能按需要显示出来。

II. 数字信号处理概述

在过去的十五年中,数字信号处理取得了巨大的进展,为前言提到的各个专题提供了坚实的理论基础。数字信号处理领域中最重要分支是数字滤波和谱分析。数字滤波进一步可分成非递归和递归滤波器,或称为有限脉冲响应(FIR)和

冲响应 (IIR) 滤波器。后一种滤波器可认为是连续线性时不变系统的一种离散方式。谱分析分支又分成通过离散傅里叶变换 (DFT) 进行谱计算和通过统计方法进行谱计算。对随机信号, 例如数字系统中的量化噪声的情况下, 就要用统计方法来作谱计算。计算 DFT 的有效方法——快速傅里叶变换和有关的快速卷积, 在许多实际谱分析中得到最广泛的应用。数字信号处理还包括数字系统的实现以及在各种领域内的应用。本书和 Oppenheim 的著作^[5] 就是详细介绍数字信号处理的应用的。为很好地利用理论研究的成果, 对于以有限精度的软件或硬件的信号处理数字系统, 必须深入了解该系统具体实现中涉及的各种问题。数字处理提供的灵活性和高精度, 将有助于促使我们研制各种新的数字器件。在大多数应用中, 数字信号处理最终将代替模拟处理, 就象数字计算机代替模拟计算机一样。

Ⅲ. 非递归差分器和希尔伯特变换器的设计

本节我们讨论一种设计非递归数字滤波器的简单方法, 这种方法是 Gold 和 Radar^[6] 提出的。该方法通用性好, 只要在计算机程序语句中稍作改动, 就可把差分器变成希尔伯特变换器, 反之亦然。此外, 我们还要研究各种不同的窗函数及其尺度对所得滤波器频响的影响。

理想差分器和理想希尔伯特变换器的传递函数分别为

$$F_D(j\omega) = j\omega \quad -\pi < \omega T < \pi \quad (1)$$

$$\text{和} \quad F_H(T) = \begin{cases} +j & 0 < \omega T < \pi \\ -j & -\pi < \omega T < 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中 T 是采样周期, 每个滤波器频响的实部为零, 角标 D 和 H 分别代表差分器和希尔伯特变换器。冲激响应 β_n 是由下式

定义的傅里叶系数^[6]

$$\beta_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(wT) e^{i w T n} d(wT) \quad (3)$$

对于差分器，

$$\beta_{nD} = \begin{cases} \frac{(-1)^n}{n}, & n \neq 0 \\ 0, & n = 0 \end{cases} \quad (4)$$

对于希尔伯特变换器，

$$\beta_{nH} = \begin{cases} -\frac{2}{n\pi}, & n \neq 0 \text{ 或 } n \text{ 为奇整数} \\ 0, & n = 0 \text{ 或 } n \text{ 为偶整数} \end{cases} \quad (5)$$

众所周知，权重函数（亦称窗函数）是修正和截取傅里叶级数用的，该级数代表一个周期函数。所得到的傅里叶表示常常出现吉布斯（Gibbs）现象；这种表示方式是对原函数的一种近似。

设 $w(n)$ 为窗函数， N 是窗的尺度，常取2的幂函数。常用的窗函数如下：

(1) 矩形窗

$$w(n) = \begin{cases} 1, & |n| < N \\ 0, & |n| \geq N \end{cases} \quad (6)$$

(2) 三角形窗

$$w(n) = \begin{cases} 1 - \frac{|n|}{N}, & |n| < N \\ 0, & |n| \geq N \end{cases} \quad (7)$$

(3) 抛物型窗

$$w(n) = \begin{cases} 1 - \frac{|n|^2}{N^2}, & |n| < N \\ 0, & |n| \geq N \end{cases} \quad (8)$$