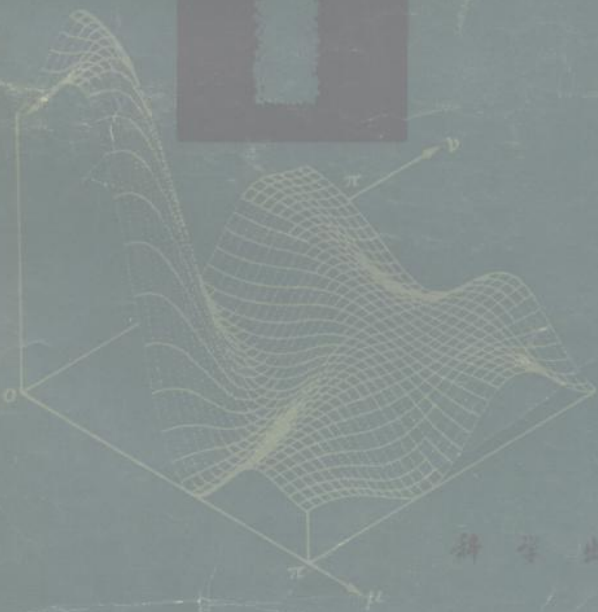


# 图片处理和数字滤波

(美) 黄煦涛 主编



科学出版社

# 图片处理和数字滤波

[美] 黄煦涛 主编

徐元培 译

科学出版社

1978.04

## 内 容 简 介

本书是应用物理丛书第六卷。这是一本把二维数字滤波和数字图象处理技术结合起来讨论的书。它从基本理论及实际应用两方面重点讨论二维递归和非递归数字滤波器的设计和实现以及图象增强和复原的许多线性和非线性技术。为使读者对图象处理有更全面的认识，本书也讨论了图象的二维变换、飞点扫描系统及图象数字化的噪声问题。全书共分六章，每章分别由这方面有成就的教授或工程师撰写。

本书可供遥感技术、生物医学、天文、通信、气象、工业生产过程控制、高能物理及军事侦察等领域中从事图象处理的科技人员及高等学校有关师生参考。

T. S. Huang

PICTURE PROCESSING AND DIGITAL FILTERING

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1975

## 图片处理和数字滤波

〔美〕黄煦涛 主编

徐元培 译

\*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1980年12月第一版 开本：787×1092 1/32

1980年12月第一次印刷 印张：10

印数：0001—3,240 字数：223,000

统一书号：15031·308

本社书号：1906·15—8

定价：1.55元

## 译 者 的 话

人类从外界获取的知识中，百分之七十是通过眼睛获得的，百分之三十是通过其它器官得到的。眼睛获得的都是图象信息，因此图象信息对于人类认识客观世界以及认识人类本身至关重要。近十几年来，在科学研究、工农业生产、医学、天文气象等各方面都越来越多地以图象信息为依据来判断和认识事物，从而提高了可靠性和准确性。图象处理目前已经形成一个专门的学科，其研究工作还正在不断地深入发展和不断地开拓新的问题，应用范围也遍及许多部门。

从实际景物转换成图象信息时，总会或多或少地引入噪声，或由于摄象条件的限制、摄象系统本身的固有特性等使图象数据产生各种失真和畸变，因此在许多情况下需要对原始图象进行处理才能加以利用。模拟技术和数字技术都能用来进行图象处理，但数字技术精度高灵活性大，因此获得了很大的发展。

本书共分六章，第一章为引言，阐述数字图象处理的意义和应用，并对以下各章作了评注。第二章为图象二维变换，第三、第四两章介绍了二维递归及非递归数字滤波器的设计技术；重点讨论了这类滤波器的稳定性检验及如何稳定化的问题，也提出了用非零相位递归滤波器的组合来实现零相位递归滤波。第五章讨论了图象增强和复原所用的许多线性和非线性方法，其中包括一种我们感兴趣的在噪声存在下可把信号带宽外推约一倍的技术。第六章分析了图象数字化装置（飞点扫描系统）所产生的噪声，提出了提高信噪比的系统方案。

本书对每个问题的论述有一定的完整性和系统性，因此它不仅是从从事这方面工作的科技人员的很好的参考书，同时也可作为高等学校学生及研究生的参考教材。

在本书译完之后，曾请清华大学工业自动化系常迥教授作了校阅，特此致谢。

在翻译过程中，对原书中明显的印刷错误作了改正，但由于译者水平有限，书中难免有不妥之处，请读者批评指正。

译 者

1979年10月

## 为中译本写的序言

随着中国在科学和技术方面的日益进步，需要传输和处理的信息的量也将迅速增长起来。很多信息都是多维的，例如作地球资源研究用的卫星照片和航空照片，作地震预报及石油勘探用的地震数据等都是多维的。又因中文没有字母，逐行扫描常常是在存储和传送中文字符时的一种方便的表达方法(但这将使信息成为两维的且信息量也将大大增加)，故中国对多维信号的传输和处理的需要特别尖锐。

按目前通信和计算机发展的趋向来看，大多数信息的传输和处理都将以数字方式进行。这本书的目的也就是要深入地讨论多维信号数字处理的几个重要的题目。我十分感谢徐元培把这本书译成中文，他目前正在普渡大学我们的组里作图象序列分析方面的研究工作。还有一些来自中国的访问学者也正在美国各大学里在多维信号和信息处理的各领域内工作。在他们回中国以后，他们或许会写出远超过本书的多维信号处理方面的著作。在此，我希望这本书能对中国学生和研究人员们在这方面起入门的作用。

黄叔涛  
普渡大学  
西拉菲亚德，印第安纳  
美国

1980年4月22日

## 序 言

无论从事哪种科学和工程工作，我们都会遇到信号处理问题。很多信号是多维的，即它们是好几个变量的函数，例如医学和工业X光图片，电子显微镜图片，雷达和声纳图，地震数据，电视图象及卫星（如地球资源卫星）照片等。处理的目的是：产生信号并将其显示，象质改善，信息抽取，模式识别以及为传输和存储所进行的有效编码等。多维信号处理的一些有用而引人注意的应用是：字符识别，由卫星拍摄的月球和火星照片的增强，由地球资源卫星所摄照片来画出地球资源图及横向层析照相术等。

信号处理可以用数字方法也可用模拟方法来实现，但数字技术灵活得多。这是因为数字技术的迅速发展而使许多多维信号的处理成为可能。

在本书中，我们将引导读者深入讨论经选定的二维信号（即照片或图象）的数字处理问题：第二章至第四章讨论二维变换及滤波器，第五章讨论图象增强和复原，而第六章则讨论数字信号处理硬件中的噪声，特别是扫描装置的噪声问题。这几章都是教学性的，通过它们把读者引到现在最新的研究工作上。我们预想本书对从事这方面工作的科学家和工程师将是一本有用的参考书，对讲授有关信号处理、图象处理及数字滤波课程时也是一本辅助教科书。

我们感谢高级研究计划厅（ARPA）支持编写这本书，而且也感谢它对写在引言这一章内所进行的工作的支持。我们

也应感谢埃尔兰根 (Erlangen) 理工大学 博士阿道夫·洛曼 (Adolf Lohmann) 教授,他首先提出需要编写这样一本书.

黄煦涛 于印第安纳

1975年4月



# 目 录

<b>第一章 引言</b> .....	黄煦涛(1)
1.1 什么是图片处理? .....	1
1.2 本书梗概及一般参考文献 .....	2
1.3 二维变换 .....	3
1.4 二维数字滤波器 .....	7
1.5 图象增强和复原 .....	12
1.6 数字图象处理的硬设备 .....	19
1.7 其它方面 .....	20
参考文献.....	20
<b>第二章 二维变换</b> .....	H. C. 安德鲁斯(23)
2.1 引言 .....	23
2.1.1 动机: 编码、复原、特征抽取 .....	23
2.1.2 线性模型 .....	25
2.2 数学表达式 .....	28
2.2.1 用正交基表示图象 .....	28
2.2.2 图象表达式的例子 .....	32
2.2.3 可分离性和栈运算符 .....	40
2.3 图象编码 .....	45
2.3.1 空间域中图象编码 .....	45
2.3.2 变换域中图象编码 .....	48
2.4 景物复原 .....	54
2.4.1 可分离的空间-不变的点播散函数 .....	56
2.4.2 可分离的空间-变化的点播散函数 .....	57
2.4.3 不可分离的空间-不变的点播散函数 .....	63

2.4.4	不可分离的空间-变化的点播散函数 .....	67
2.5	结论 .....	69
	参考文献 .....	71
<b>第三章</b>	<b>二维非递归滤波器</b> .....	<b>J. G. 菲阿斯柯那罗(73)</b>
3.1	原理 .....	74
3.1.1	二维离散系统 .....	74
3.1.2	近似理论 .....	78
3.1.3	线性规划 .....	88
3.2	算法 .....	93
3.2.1	窗函数法 .....	93
3.2.2	频率采样法 .....	98
3.2.3	直接用线性规划法 .....	103
3.2.4	新算法 .....	107
3.2.5	例子及各种算法的比较 .....	118
3.3	小结和结论 .....	131
	参考文献 .....	134
<b>第四章</b>	<b>二维递归滤波</b> .....	
	.....R. R. 里德, J. L. 香克斯, S. 特雷特 (137)	
4.1	引言 .....	137
	用 $z$ 变换来定义递归滤波器 .....	137
	因果性 .....	138
	单位脉冲响应 .....	138
	绝对稳定性 .....	139
	初始条件 .....	139
4.2	稳定性 .....	140
4.2.1	定理 1 [香克斯 (Shanks) ] 及证明 .....	140
	根轨迹图 .....	141
	例 1 (不稳定) .....	142
	例 2 (稳定) .....	143

	一阶滤波器的稳定条件 .....	143
	例 .....	144
4.2.2	定理 2 (T. S. 黄) 及证明 .....	144
	检验程序 .....	147
4.3	设计 .....	148
4.3.1	一维技术的推广 .....	149
	可分离滤波器 .....	149
	旋转一维滤波器 .....	149
	把二维低通滤波器移位 .....	156
4.3.2	在空间域内综合 .....	162
	方法 .....	162
	例 .....	165
4.3.3	一般化的近似和稳定性 .....	166
	近似 .....	166
	稳定化的过程 .....	166
	对幅值和相位的评论 .....	170
	二维离散希耳伯特变换 .....	170
4.4	实现 .....	178
4.4.1	二维递归滤波器的相位响应 .....	178
	串级零相位 .....	178
	相加性零相位 .....	179
4.4.2	状态变量实现法 .....	180
	递归方程式 .....	181
	各实现方法的评注 .....	181
	参考文献 .....	183
<b>第五章</b>	<b>图象增强和复原</b> .....	<b>B. R. 弗里登(185)</b>
5.1	非光学领域内的术语及参考资料 .....	187
5.2	数学预备知识、符号和定义 .....	188
5.3	直观复原法 .....	191

5.3.1	离散成象方程的矩阵求逆运算 .....	192
5.4	菲利浦 (Phillip) 平滑法 .....	193
5.4.1	推导过程 .....	194
5.4.2	讨论 .....	195
5.4.3	用作图象增强时的相对优点 .....	196
5.5	图梅 (Twomey) 的一般化方法 .....	196
5.5.1	用作图象增强时的相对优点 .....	198
5.6	随后提出的一些方法 .....	198
5.7	线性还是非线性方法? .....	198
5.8	所定义的滤波方法 .....	200
5.9	逆滤波 .....	201
5.9.1	最优的处理带宽 .....	204
5.9.2	窗函数的用途 .....	206
5.10	其它专门用途的线性方法 .....	207
5.10.1	直流分量的消除 .....	208
5.10.2	用卷积模板法消除图象的运动模糊 .....	209
5.10.3	纯相位补偿 .....	211
5.10.4	进行连续卷积的范雪特 (Van Cittert) 法 .....	212
5.10.5	离散分解卷积法 .....	214
5.11	根据统计方法的线性法 .....	218
5.11.1	陡度受约束的维纳滤波器法 .....	218
讨论	.....	220
最优滤波的信息方面的问题	.....	221
5.11.2	巴克斯-吉尔伯特 (Backus-Gilbert) 最优化方法 .....	222
5.12	带宽外推的可能性 .....	224
5.13	先验知识所起的重要作用 .....	227
5.13.1	有限空间大小的知识 .....	228
哈里斯 (Harris) 法 .....	229	

“外推窗函数”的应用 .....	230
5.13.2 正性的知识: 对杂散振荡和分辨率的影响 ...	233
5.13.3 关于上界的知识 .....	234
5.14 正性-约束条件的复原法概论 .....	235
5.15 谢尔 (Schell) 和伯劳 (Biraud) 法 .....	236
5.15.1 讨论 .....	241
5.16 简森-范雪特 (Jansson-Van Cittert) 法 .....	242
5.17 最大熵复原: 两种原理, 两种方法 .....	244
5.18 伯格 (Burg) 的最大熵的解 .....	247
5.18.1 讨论 .....	248
5.19 弗里登 (Frieden) 的最大熵的解 .....	251
5.19.1 讨论 .....	253
5.19.2 数值检验 .....	253
5.20 蒙特卡洛 (Monte Carlo) 复原技术 .....	257
5.21 其它方法 .....	260
5.22 所得结果一览表 .....	260
5.23 今后可能的研究方向 .....	264
参考文献 .....	264

## 第六章 数字图象处理所用硬件中噪声的考虑 .....

..... F.C. 比林斯利(268)	
6.1 噪声对观看和分析的影响 .....	268
6.1.1 美学观点 .....	269
6.1.2 噪声对数据处理的影响 .....	270
6.1.3 某些相关性的考察 .....	272
6.2 噪声对量化的影响 .....	273
6.2.1 带有噪声的信号的量化 .....	273
6.2.2 两个亮度不同的区域的可测性 .....	276
6.2.3 性能测度的推导 .....	278
6.2.4 系统噪声 .....	279

6.2.5	胶片颗粒噪声 .....	280
6.3	系统带宽及采样方法 .....	283
6.3.1	检测器的噪声 .....	284
6.3.2	测量准确度 .....	287
6.4	实际情况 .....	290
6.4.1	情况 1: 固定系统的参数 .....	291
6.4.2	情况 2: 改变系统的参数 .....	292
	改变步长以得到固定的 $\beta$ .....	292
	改变步长以得到固定的 SNR .....	293
	均匀步长时得到固定的 $\beta$ .....	293
	均匀步长时得到固定的 SNR .....	295
	扫描光强的调制 .....	298
6.5	小结 .....	301
	参考文献 .....	301
	补充参考文献 .....	304

# 第一章 引 言

黄煦涛 (T. S. Huang)

## 1.1 什么是图片处理?

广义地说,图片或图象处理的意思是多维信号(它是好几个变量的函数)的处理. 多维信号包括电视图象、侦察照片、医学X光照片、分子结构的电子显微图片、雷达和声纳图及二维地震数据等.

处理这些多维信号的目的是多方面的. 但大多属于下列四类之一: 增强,有效编码,模式识别及计算机绘图.

在很多情况下,我们对信号进行处理以提高其质量. 一个突出的例子是在加利福尼亚理工学院喷气推进实验室(JPL)所做的月球和火星图片增强的工作. 我们都已在报纸上看到了处理前和处理后的照片. 处理后与处理前相比所得到的改善确实是惊人的. 从我们把变质的图片加以改进这一点来说,我们称之为图象复原.

当传输或存储一个信号要求过多的通道或存储容量时,就需将它进行有效的编码以降低这一要求. 电视电话就是一个例子. 如用普通的传输方法,则所要求的通道容量几百倍于声频通道的容量. 若不采取有效的编码方法,几乎不可能很经济地推广使用. 另一个例子是医院中X光照片的保存,因为这种照片数量很大,保存它们要占很大空间,而且要找出所要的照片来也是十分困难的. 所以很需要应用有效编码来改进这种情况.

我们用“模式识别”这个术语粗略地指从信号中检测及抽取模式或其它信息。因此，它包括的范围就很广，从简单地计算一个信号的平均值直到称为重力定律的牛顿对自然模式的识别。最受注意的图象模式识别问题是字符识别。许多商品机器仍只适于识别印刷体，特别是单个字体。而手写体的识别仍然还是一项困难的工作。近来积极在进行的另一方面的工作是利用自动模式识别来帮助医学诊断。现已开始一些有益的计划。我们还提一下另一个正在开始进行的工作，即由卫星拍摄的照片自动绘制地球资源图。

计算机绘图是考虑图片如何输入计算机以及从计算机如何输出图片的问题，并考虑与之有关的程序和数据结构问题。计算机绘图的另一有意义的方面是显示三维物体。或许，应用全息照相以后，我们总有一天会有真正的三维显示图象。

## 1.2 本书梗概及一般参考文献

在本书中我们将选定一些数字图片处理中的题目作较深入的论述。将特别着重讨论图象复原，而有效编码只是简单地讨论一下(在第二章中)，至于图片模式识别及计算机绘图则不予讨论。

在作图片处理时，我们应用了许多数学方法，有些是线性的，有些则是非线性的。但只有对线性技术(尤其是酉变换及线性移位-不变或空间-不变运算)才能一般地且系统地加以论述。而对非线性运算来说，则还没有实际有用的一般性理论，因此必须把它们放在特殊应用中分别加以讨论。

在第二章至第四章中，讨论了图片处理中有用的线性技术。特别是分别讨论了二维变换、非递归滤波器及递归滤波器。第五章讨论了图象复原方法，其中包括许多非线性技术。



最后,第六章讨论了数字图象处理的硬设备,着重讨论了硬设备的噪声问题。

尚未着手图象处理工作的读者或许愿意读一读罗森菲尔德(Rosenfeld)和黄煦涛及其同事们的文章<sup>[1,2]</sup>,以获得这方面的全貌。他们也会愿意读一下电气电子工程师学会出的二本专刊,一本是数字图片处理<sup>[3]</sup>,另一本是数字模式识别<sup>[4]</sup>。想要深入探讨图象处理专题的读者将发现罗森菲尔德的综述文章<sup>[5-7]</sup>更为有用。

### 1.3 二维变换

在本引言的其余各部分里,我们将对本书各章加以评注。当读者读了有关章节之后,对这里的一些评论将会更好地理解。

在第二章中,安德鲁斯(Andrews)以外积展开为总结构来讨论二维变换。对一些基础知识及对于快速计算的算法读者可参看安德鲁斯的书<sup>[8]</sup>。第二章中最感兴趣的部分也许是把奇异值分解法(SVD)应用于图象处理,特别是应用到图象复原中去。如该章所述,奇异值分解是同矩阵的伪逆密切联系在一起的。如想深入讨论此问题,见兰佐斯(Lanczos)的文章<sup>[9]</sup>。

在图象复原中,用SVD(奇异值分解)来消除噪声是特别有效的,这种噪声在所有象质变坏的图象中是固有的。用第二章中的符号,我们可写出一个不可分离的线性空间-变化的图象变质模型

$$\mathbf{g} = [H]\mathbf{f} + \mathbf{n} \quad (1.1)$$

这里 $\mathbf{f}$ 和 $\mathbf{g}$ 分别为原始景物和象质变坏了的图象采样值的列矩阵, $\mathbf{g}$ 和 $\mathbf{f}$ 中元素的数目不一定要相等。矩形矩阵 $[H]$