



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION



信息与计算科学丛书 — 71

图像重构的数值方法

徐国良 陈冲 李明 著



科学出版社

内 容 简 介

图像重构是计算机断层成像和电镜成像等领域中最重要的研究课题之一。本书的主要内容包括图像重构的数学基础,成像数据的采集原理及采集方法,各种主要的重构算法,如 Fourier 重构方法、反投影方法、代数重构方法等和最近发展起来的有效方法,如 L^2 梯度流、压缩感知、Framelet 方法、Bregman 迭代方法等,以及相应的理论分析。

本书内容新颖、文字简练、可读性强,可作为理工科院校的应用数学、计算数学、生物医学图像处理等专业的研究生和本科生的教材,也可作为相关领域科技工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

图像重构的数值方法/徐国良,陈冲,李明著. —北京:科学出版社,2015.10
(信息与计算科学丛书;71)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-045921-3

I. ①图… II. ①徐… ②陈… ③李… III. ①图象处理-数值方法
IV. ①TN911.73 ②0241

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015) 第 239656 号

责任编辑:王丽平 刘信力 / 责任校对:张凤琴
责任印制:肖 兴 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 10 月第 一 版 开本:720 × 1000 1/16

2015 年 10 月第一次印刷 印张:23 1/4 插页:4

字数:440 000

定价:148.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

目 录

《信息与计算科学丛书》序

前言

符号说明

第 1 章 引言	1
1.1 医学图像重构问题的研究背景及发展现状	1
1.1.1 医学图像重构问题的研究背景	1
1.1.2 医学图像重构问题的发展现状	2
1.2 冷冻电镜图像重构问题的研究背景及发展现状	5
1.2.1 冷冻电镜图像重构问题的研究背景	5
1.2.2 冷冻电镜图像重构问题的发展现状	6
第 2 章 预备知识	9
2.1 记号、函数空间与常用公式	9
2.2 Fourier 变换	11
2.2.1 $\mathcal{S}(\mathbb{R}^n)$ 上的 Fourier 变换	11
2.2.2 $\mathcal{S}'(\mathbb{R}^n)$ 上的 Fourier 变换	12
2.3 特殊函数	13
2.4 Radon 变换及 X 射线变换	16
2.4.1 Radon 变换及 X 射线变换的性质	17
2.4.2 Radon 变换及 X 射线变换的对偶	19
2.4.3 求逆公式	21
2.4.4 Radon 变换和 X 射线变换的奇异值分解	23
2.5 采样定理及采样格式	24
2.5.1 采样定理	24
2.5.2 可分辨性	28
2.5.3 采样格式	32
2.6 样条函数	34
2.6.1 样条函数的定义及性质	34
2.6.2 刚度矩阵的快速求逆	37
2.6.3 样条基函数乘积的积分	40
2.7 压缩感知	41

2.8	小波变换	47
2.8.1	连续小波变换	48
2.8.2	离散小波变换: 小波框架与正交小波基	50
2.8.3	多分辨分析与小波的构造	52
2.8.4	正交小波分解和重构的快速算法	56
2.9	重构模型及适定性分析	58
第 3 章	CT 数据及冷冻电镜图像的采集原理和方法	62
3.1	CT 数据采集原理	62
3.2	CT 数据采集方法	65
3.2.1	平行投影	65
3.2.2	扇形束投影	67
3.2.3	锥形束投影	67
3.2.4	数据采集模式	68
3.3	冷冻电镜图像采集原理	69
3.4	冷冻电镜图像采集方式	71
第 4 章	平行束投影图像重构的经典方法	73
4.1	Fourier 重构方法	73
4.2	反投影方法	79
4.2.1	滤波反投影方法	79
4.2.2	反投影滤波方法	81
4.3	代数方法	83
第 5 章	医学 CT 图像的重构方法	87
5.1	扇形束投影的图像重构	87
5.1.1	等角扇形束投影的图像重构	87
5.1.2	等距扇形束投影的图像重构	91
5.2	锥形束投影的图像重构	93
5.2.1	Tuy 公式	93
5.2.2	FDK 算法	96
5.2.3	Katsevich 公式	99
5.3	内部问题的小波方法	106
第 6 章	图像重构的梯度流方法	112
6.1	特殊规整项的 L^2 梯度流的显式有限元方法	112
6.1.1	L^2 梯度流方法	112
6.1.2	L^2 梯度流的有限元求解算法	114
6.1.3	B 样条基函数的施密特正交化	116

6.2 Cryo-EM 单颗粒重构的 L2GF 算法	117
6.2.1 算法框架	117
6.2.2 冷冻电镜单颗粒 L2GF 算法数值实验	119
6.3 Cryo-ET 重构的 L2GF 算法	122
6.3.1 算法的一般框架	122
6.3.2 保真项的计算	122
6.3.3 正则项的计算	128
6.3.4 Cryo-ET 重构的数值实验	129
6.4 一般规整项的 L^2 梯度流的显式有限元方法	132
6.5 基于无穷投影角度的梯度流方法	135
6.5.1 基于无穷投影角度的图像重构模型	135
6.5.2 图像重构模型的初步探索	137
6.5.3 显式有限差分方法	142
6.5.4 半隐式有限元方法	147
6.6 有限角度的半隐式有限元方法	160
6.7 混合格式	160
6.7.1 算法提出	161
6.7.2 算法细节和复杂性分析	166
6.7.3 数值实验	167
第 7 章 图像重构的梯度流方法的理论分析	173
7.1 显式有限元方法的收敛性	173
7.1.1 选取 Tikhonov 型正则化项的收敛性分析	173
7.1.2 选取修正 TV 正则化项的收敛性分析	180
7.1.3 稳定性与鲁棒性分析	184
7.2 无穷投影角度半隐式有限元方法的收敛性	185
7.3 有限投影角度半隐式有限元方法的收敛性	194
7.4 混合格式的收敛性	195
第 8 章 冷冻电镜图像重构的双梯度下降法	205
8.1 双梯度下降法	205
8.2 梯度和几何流	206
8.3 数值计算	208
8.3.1 离散化	208
8.3.2 L^2 梯度流	211
8.3.3 计算组合方向	214
8.3.4 步长曲线	215

8.4	数值实验和讨论	219
8.4.1	无噪声数据的数值实验	219
8.4.2	信噪比为 1.0 的有噪声数据的数值实验	220
8.4.3	信噪比为 0.1 的有噪声数据的数值实验	222
第 9 章	基于稀疏逼近的图像重构方法	226
9.1	压缩感知方法	226
9.1.1	压缩感知模型	226
9.1.2	压缩感知模型与统计模型的关系	228
9.2	小波紧框架方法	231
9.2.1	算法及理论分析	232
9.2.2	算法实现及数值实验	236
9.3	Bregman 迭代法	240
9.3.1	经典的 Bregman 迭代算法	240
9.3.2	分裂 Bregman 迭代算法	241
9.3.3	线性化 Bregman 迭代算法	243
9.3.4	线性化分裂 Bregman 迭代算法	243
9.3.5	收敛性分析	252
9.3.6	数值实验	262
第 10 章	冷冻电镜图像的重构的前处理	265
10.1	CTF 矫正、粒子挑选与对齐	265
10.2	电镜图像分类	267
10.2.1	预备知识	267
10.2.2	分类算法	270
10.2.3	实验结果	275
10.2.4	注记	281
10.3	冷冻电镜图像的定向	281
10.3.1	定向问题的描述	281
10.3.2	预备知识	282
10.3.3	基于公共线的定向算法	285
10.3.4	实验结果	292
10.4	Cryo-ET 图像重构的前处理	296
10.4.1	Cryo-ET 图像重构的流程	296
10.4.2	Cryo-ET 图像的对齐	297
第 11 章	重构图像的分割	300
11.1	Mumford-Shah 模型	300

11.2 RSF 模型	302
11.3 光照非均匀的 Mumford-Shah 模型	302
11.3.1 IIMS 模型的水平集形式	304
11.3.2 分裂 Bregman 迭代算法	307
11.3.3 实验结果	312
11.4 分片多项式的 Mumford-Shah 模型	318
11.4.1 水平集形式	319
11.4.2 数值计算	321
参考文献	325
索引	344
《信息与计算科学丛书》已出版书目	347

彩图