

TUOPUWENLI TUXIANGYUCHULI JISHU YU YINGYONG

拓扑纹理图像预处理 技术与应用

冯志林◎著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

拓扑纹理图像预处理 技术与应用

冯志林 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书从拓扑纹理图像的目标特性出发,采用 Allen-Cahn 模型、马尔科夫模型、相位场模型、Mumford-Shah 模型和光流场模型等数学工具,解决拓扑纹理图像预处理过程中的关键问题,系统阐述了相关理论、方法和数值实现算法,为推进拓扑纹理图像在工程领域中的深入应用提供理论方法指导。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

拓扑纹理图像预处理技术与应用/冯志林著. —北京:电子工业出版社,2012.1
ISBN 978-7-121-15323-5

I. ①拓… II. ①冯… III. ①拓扑—数字图像处理 IV. ①TN919.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 244290 号

责任编辑:董亚峰 特约编辑:王 纲

印 刷:北京京科印刷有限公司

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:850×1 168 1/32 印张:8 字数:256 千字

印 次:2012 年 1 月第 1 次印刷

定 价:29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

拓扑纹理是人类视觉的一个重要组成部分,目前大多数纹理研究集中在 Brodatz 纹理集上,而在拓扑纹理图像中,纹理的外观实质上并不同于 Brodatz 纹理集所描述的内容,迄今为止还难以适当地为其建模。为此有关专家进行了大量的探索研究,但未能获得有关拓扑纹理的去噪、色彩复原、分割、修补、配准等问题的有效解释。

本书是关于拓扑纹理图像去噪、图像色彩复原、图像分割、图像修补和图像配准技术及其应用研究的最新成果总结,内容注重理论与实践并重,针对性与系统性较强。本书是在浙江省自然科学基金项目“拓扑纹理图像预处理及特征流形学习关键问题研究”(Y1080343)、浙江省科技厅公益技术研究工业项目“数码喷墨印花纹理分析系统的研究与开发”(2010C31027)和国家自然科学基金项目“基于认知发育模型的学习方法研究”(61070113)资助下所积累的研究成果基础上完成的,并融入了国内外的一些最新研究成果。本书的特点是紧跟国际、国内学术发展动态,以作者学术研究成果为基础,以国际、国内技术发展为主线,讨论目前拓扑纹理图像研究领域里的热点问题,主要内容均有研究实验结果和应用价值。

全书分为 8 章,第 1 章结合国内外研究的发展趋势,介绍有关拓扑纹理图像预处理领域的研究进展。第 2 章研究含噪拓扑纹理图像中不规则纹理的外观建模技术及保边去噪模型,并设计支持拓扑纹理图像保边去噪算法,以有效提高对复杂纹线拓扑形变的自适应能力。第 3 章研究能对多色彩通道间相关性进行有效表征和提取的马尔可夫随机场图像模型,并提出一种改进的次优模拟退火算法对拓扑纹理图像进行色彩快速复原。第 4 章研究支持含噪拓扑纹理图像精确分割的纹理外观轮廓结构建模技术及分割

模型,设计一种含噪拓扑纹理图像的精细分割方法,实现其对拓扑纹理图像轮廓结构的表征。第5章研究利用相位场模型的相位分离演化过程,描述相位扩散界面的动态变化行为,实现对边缘轮廓曲线的跟踪,并提出一种基于有限元法的相位场模型数值求解算法,有效提高相位场模型对边缘曲线的表征能力。第6章研究将轮廓曲线的拓扑弯曲度约束引入不连续边集的约束惩罚项中,提出了一种基于改进MS模型的拓扑纹理图像修补算法,使不连续边集的约束同时满足最小长度和最小弯曲度的要求,提高修补结果的正确性。第7章研究基于光流场的图像配准模型,并提出一种基于单元分解光流场的拓扑纹理图像配准算法,通过对单元分解网格生成过程实施局部和整体的灵活度控制,可以有效提高单元分解光流场模型对精细纹理边缘的配准精度。第8章,对全书进行总结,并给出今后的一些研究方向。

本书力求做到深入浅出、通俗易懂。本书在撰写过程中参考了诸多的教材和学术论文,作者对给予本书写作以启迪和支持的朋友表示衷心的感谢。对于所参考内容,由于数量众多,在此没有一一注明,敬请相关作者予以理解和支持。

本书适合从事计算机视觉、通信与图像工程、智能信息处理、模式识别、生物医学工程等信息学科相关专业高年级本科生、研究生学习参考使用,同样也非常适合数字信号处理和数字图像分析及处理专业相关研究人员阅读。

受专业和水平所限,书中在取材和论述过程中难免有疏漏和错误之处,敬请读者提出宝贵意见。

作 者
2012年1月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 拓扑纹理图像的定义	1
1.2 拓扑纹理图像预处理的研究内容	4
1.3 拓扑纹理图像预处理的研究现状	9
1.3.1 保细节图像去噪研究现状	9
1.3.2 保色彩图像恢复研究现状	15
1.3.3 精确图像分割研究现状	18
1.3.4 精细图像修补研究现状	27
1.3.5 精准图像配准研究现状	31
1.4 目前存在的主要问题	36
1.5 研究内容和本书结构	39
参考文献	41
第 2 章 基于 Allen-Cahn 模型的拓扑纹理图像去噪研究	56
2.1 图像去噪理论	56
2.2 拓扑纹理图像的去噪方法	60
2.2.1 拓扑纹理去噪的基本思路	60
2.2.2 Allen-Cahn 非线性抛物方程	61
2.3 基于 Allen-Cahn 方程的去噪模型	63
2.3.1 面积保留的 MCM 模型	63
2.3.2 非局部形式 Allen-Cahn 方程的水平集表示	64
2.3.3 边界演化的行为控制	67
2.4 Allen-Cahn 去噪模型的水平集求解	68
2.4.1 快速行进算法	70
2.4.2 Hermes 算法	71

2.4.3 快速水平集演化算法	72
2.5 提花织物纹理图像的去噪应用	74
2.6 小结	78
参考文献	79
第3章 基于马尔可夫随机场模型的拓扑纹理图像色彩复原研究	84
3.1 彩色图像复原理论	84
3.1.1 彩色图像增强技术	84
3.1.2 彩色图像恢复技术	88
3.2 拓扑纹理图像的色彩复原方法	92
3.2.1 拓扑纹理图像色彩复原的基本思路	92
3.2.2 马尔可夫随机场图像模型	93
3.3 基于 MRF 的彩色拓扑纹理图像复原模型	96
3.3.1 彩色图像的先验概率分布模型	96
3.3.2 单色彩通道先验高斯概率分布	97
3.3.3 多色彩通道之间的相关性	98
3.4 基于线过程的不确定性模拟退火算法	99
3.4.1 模拟退火算法	100
3.4.2 确定性模拟退火算法	101
3.5 实验结果与比较	104
3.6 提花织物纹理图像的色彩复原应用	108
3.7 小结	111
参考文献	111
第4章 基于 Mumford-Shah 模型的拓扑纹理图像分割研究	117
4.1 图像分割的变分理论	117
4.2 变分分割模型	119
4.3 拓扑纹理图像的 Mumford-Shah 分割的基本思路	121
4.4 Chan-Vese 的简化 Mumford-Shah 模型	124
4.5 Mumford-Shah 泛函分割模型	126

4.5.1	有界变分函数空间	127
4.5.2	MS 泛函的离散化和 L -收敛	129
4.6	泛函序列收敛的数值算法	133
4.6.1	拟牛顿最小化算法	133
4.6.2	网格自适应调整算法	139
4.7	实验结果与比较	140
4.8	提花织物纹理图像的 Mumford-Shah 分割应用	143
4.9	小结	149
	参考文献	150
第 5 章	基于相位场模型的拓扑纹理图像分割研究	153
5.1	相位场模型理论	153
5.2	相位场模型	155
5.2.1	经典相位场模型	155
5.2.2	相位场模型的改进	157
5.3	相位场分割模型	161
5.4	相位场分割模型的求解算法	163
5.4.1	有限元离散表示	163
5.4.2	网格自适应调整	165
5.5	实验结果与比较	169
5.6	提花织物纹理图像的相位场分割应用	172
5.7	小结	175
	参考文献	176
第 6 章	基于 Mumford-Shah 模型的拓扑纹理图像修补研究	178
6.1	图像修补理论	178
6.2	基于扩散的图像修补模型	182
6.3	基于总变分的图像修补模型	184
6.4	Mumford-Shah 模型修补原理	186
6.4.1	拓扑弯曲度约束	186
6.4.2	边缘项的离散正则收敛序列元	187

6.4.3 离散正则收敛序列元的差分表示	190
6.5 Mumford-Shah 模型修补算法	192
6.6 提花织物纹理图像的修补应用	194
6.7 小结	198
参考文献	199
第 7 章 基于光流场模型的拓扑纹理图像配准研究	202
7.1 图像配准理论	202
7.1.1 图像配准的变换方法	203
7.1.2 非刚性配准	204
7.1.3 基于空间变换的非刚性配准方法	204
7.1.4 基于物理模型的非刚性配准方法	206
7.2 光流场模型	208
7.2.1 光流的概念及应用	208
7.2.2 光流计算方法	209
7.3 拓扑纹理图像的配准方法	211
7.3.1 拓扑纹理配准的基本思路	212
7.3.2 拓扑纹理的光流场配准模型	214
7.4 基于单元分解的光流场配准模型	215
7.5 单元分解的光流场图像配准算法	219
7.6 喷墨印花纹理图像的配准应用	226
7.7 小结	234
参考文献	235
第 8 章 总结与展望	241

第 1 章 绪 论

1.1 拓扑纹理图像的定义

纹理是图像的一种基本特性，对其进行分析处理是数字图像分析中的一个关键课题。从 20 世纪 70 年代起，人们就对此问题进行了大量的研究，主要集中在图像纹理的分析、理解与描述和计算机自然纹理生成两大方面，并已取得了丰硕的成果，在景物识别^[1]、缺陷检测^[2]、目标定位^[3]、遥感图像分析^[4]、医学器官分类^[5]、图像复原与估测^[6]、基于内容的图像数据库检索^[7]、材质图像分类^[8]、图像视频检索和分割^[9]以及计算机景物仿真^[10]等众多方面产生了深远的影响，有人还利用虹膜和指纹图像纹理的不可伪造性发展成了商品防伪技术^[11]。然而不幸的是，纹理图像以其自身所固有的特性，处理过程不同于一般图像处理方法，应用传统的数字图像处理理论在对这一类对象进行分析处理的时候感到欠缺^[12]。人们对纹理图像的处理至今也没有一套普遍适用的分析方法，系统的理论支撑严重不足，从而其发展始终被制约在算法层，步履艰难^[13]。

纹理是图像处理领域中一个重要而又难以描述的特性，关于图像纹理至今还没有为众人公认的严格定义。但图像纹理对人们来说是很熟悉的，它们反映了物体表面颜色和灰度的某种变化，而这些变化又与物体本身的属性相关，如物品的质地，如粗糙度、光滑性、颗粒度、随机性、规范性等特性。纹理一般指人们所观察到的图像中像元（或子区域）的灰度变化规律，习惯上把图像中这种局部不规则的、而宏观有规律的特性称为纹理。在图像分

析中将描述这种灰度变化规律的数字特征称为图像的纹理特征。通常把图像灰度分布性质或图像表面呈现出的方向信息称为纹理结构，它有助于区别不同的图像区域。一般来说，纹理图像中灰度分布具有某种周期性，即便灰度变化是随机的，它也具有一定的统计特性。当图像中大量出现同样的或差不多的基本图像元素模式时，纹理分析就成为了研究这类图像的最重要的手段。提取图像的纹理特征是图像分析、理解和识别的一个极其重要的信息源。纹理特征与其他图像特征相比，它反映了图像灰度模式的空间分布，包含了图像的表面信息及其与周围的关系，更好地兼顾了图像的宏观与微观结构，因而在图像分析中受到了人们的格外关注。

由于纹理具有广泛性和多样性，人们对纹理始终没有形成一个明确的、统一的、能够被普遍接受的定义。这一点给纹理的研究带来了一定的复杂性和难度。尽管如此，科研工作者还是对纹理下过这样或那样的定义。一些典型的定义如下。

① Hawkins^[14]认为纹理的标志有三要素：一是某种局部的序列性在包含该序列的更大区域内的不断重复，二是序列是由基本元素的非随机排列构成的，三是各部分大致都是均匀的统一体。纹理区域内任何地方都有大致相同的结构尺寸。当然，这些也只是从感觉上看来是合理的，并不能得出定量的纹理测度。

② Tamua^[15]认为纹理是一些具有相同特性的微小的区域所组成的。它的结构是由一些重复出现的基元模式构成的，并且基元是按照一定的规则来排列的。

③ Tan^[16]认为如果图像中许多块图像的局部统计量或其他一些特性具有恒定性、缓慢的变化或者呈现出近似周期性的变化，则可以认为图像中包含有纹理。

④ Bovik^[17]认为图像的纹理为图像亮度变化的一种趋势。它是自然景物对人的视觉感知系统产生刺激产物，而这种刺激反映了亮度的一种平稳变化。

⑤ Fumiaki^[18]认为纹理是一种区域性的特征而不是一个点的

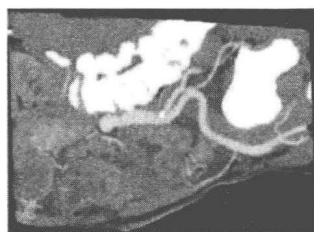
特性。在一个像素点上定义纹理是没有意义的,所以纹理是一种上下文特性。其定义必须考虑到空间某一个邻域中的所有点的灰度信息,而这个邻域的大小与纹理的类型和纹理基元的尺寸有关。

⑥ Chaudhuri^[19]认为纹理是人的视觉在不同距离、不同角度和尺度对统一或不同的景物的一种感知体现。在任何距离下这种感知具有一定的规律性,这种规律性则是一种纹理特征。

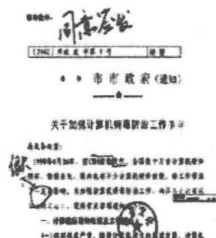
本书研究的对象是拓扑纹理图像,它除了具有纹理图像的上述特征外,还具有其自身的不同特点。拓扑纹理图像是一类包含许多蜿蜒的曲线、规则与不规则的几何图形、对称与不对称的图案的纹理图像。它的涵盖范围非常广,纺织 CAD 中的各种提花图案[图 1.1 (a)]、医学图像中的器官图像[图 1.1 (b)]、手写体图像[图 1.1 (c)]以及古代文物绘画图像[图 1.1 (d)]等都属于拓扑纹理图像的范畴,对于这类拓扑纹理图像的去噪、色彩复原、分割、修补、配准等关键预处理技术是影响上述各类图像处理系统性能和品质优劣的核心要素^[20~22]。



(a) 提花图案



(b) 医学图像



(c) 手写体图像



(d) 古代文物绘画图像

图 1.1 拓扑纹理图像示例

① 纺织 CAD 中的提花图案。提花织物是一种富含艺术性的纺织产品,在提花织物图案中通常包含许多蜿蜒的曲线、规则与不规则的几何图形,具有很强的观赏和实用价值,被广泛应用于领带、商标、毛巾、装饰布、服装面料等行业。已有相当多的纹理方法用于提花织物的缺陷瑕疵检测、花形图案的识别提取等^[23~26]。

② 医学图像中的器官图像。由于人体解剖结构的复杂性、组织器官形状的不规则性及不同个体间的差异性等,器官的组织结构和断面都具有很强的、各具特色的纹理曲线特性,因此,在医学组织图像中包含了很多拓补结构复杂的轮廓图案。纹理分析方法在医学图像领域中起着非常重要的作用。这一方面已有大量的文献发表^[27~29]。

③ 手写体图像。手写体数字图像识别技术有着较广泛的应用背景,尤其是脱机手写体识别,如邮政编码、统计报表、银行票据的识别等。由于个体书写习惯有着较大的差异且随机性较大,笔画曲线存在着多变性,从而使得脱机手写体识别难度较大,识别率较低^[30~32]。

④ 古代文物绘画图像。古代文物绘画图像作为人类文明历史的遗存,是研究古代人类文明发展的珍贵素材。文物图像中包含许多艺术图案,这些图案大都具有令人浮想联翩的不规则曲线特征,对这些古代文物图像的整理,特别是濒危文物图案的原貌恢复,是文物保护及研究中十分重要的环节^[33~35]。

1.2 拓补纹理图像预处理的研究内容

在过去的 30 年里,纹理图像预处理有了很大的进步,产生了许多纹理分析方法。根据纹理的基本特征,目前已出现了许多纹理分析方法。Haralick、Richard 等人做了较为全面的总结,基本上可归纳为统计法、结构法、模型法和空间频率域联合分析法 4 类,它们有着各自不同的特点^[18]。

1. 统计法

基于统计的方法是纹理分析中最基本的一类方法, 该类方法考虑的是纹理中灰度级的空间分布, 典型的有灰度共生矩阵法、Laws 纹理能量法等。

早在 20 世纪 70 年代初, Haralick^[36]就提出了纹理特征的共生矩阵表示。该方法研究纹理的空间灰度级相关性。首先构造一个基于方向和图像像素点之间距离的共生矩阵, 然后从中提取有意义的统计信息来表示纹理。许多其他研究人员沿此路线提出了该表示法的增强形式。Gotlieb^[37]研究了统计信息, 首次提出并实验发现对比度、逆差矩和熵具有最大的识别能力。这类方法在纹理图像分析问题中曾具有相当的意义, 使得人们对图像纹理的描述成为可能, 但计算量大是基于统计方法永远也不能避免的问题, 当纹理分析进入实用化及遥感图像、网络图像数据库等海量数据需要分析时, 统计法所暴露出来的缺点越来越不能为人们所忍受^[38]。在人类纹理视觉感知心理学研究推动下, Tamua^[15]从另一种角度研究纹理表示。他们提出了视觉纹理的计算近似值, 这在心理学研究中具有重要性。这六种视觉纹理属性分别是粗糙度、对比度、方向性、拟线性、规则性、光滑度。Tamua 纹理表示法与共生矩阵表示法的主要区别在于 Tamua 表示法中的所有属性都具有视觉上的意义, 而共生矩阵中的一些属性并不具有视觉意义。这种特征使得 Tamua 表示法在图像检索中非常有吸引力。

统计法的优点是原理简单易懂, 容易实现, 但在多纹理分类中, 难以取得理想的结果。因为灰度的起伏变化除与纹理结构的变化有关外, 还与照明条件等多种因素有关, 这影响了统计结果的有效性。

2. 结构法

基于结构的方法也称几何法, 出发点是纹理由纹理基元组成的定义, 研究重点在于纹理基元之间的相互关系和排列规则。

通常纹理可以认为是一种所谓的“基元”在空间中按照一定

的周期模式进行排列与编织,那么一种很自然的想法是,如果可以找到这种基元和它相应的排列编织规则,纹理的描述问题也就解决了。McCormick^[39]在这一方面曾做过一定的努力,并发展为应用形式语言、纹理谱等概念进行描述,在人工纹理图像描述方面取得了一定的成果。但遗憾的是,人们处理的纹理图像绝大多数来自于真实景物,是自然纹理图像,这些图像的共同特点是基元不统一,相互间仅为相似关系,而且往往带有旋转和变异,基元尺寸也很难确定,这使得基于纹理基元的描述方法难以进一步深入并步入实用化。

结构法主要适用于非常规则的纹理,对于分析自然纹理图像则很难取得满意的效果。由于具有形貌特征的图像大都不符合前述定义,故不适合用结构法进行分析。

3. 模型法

基于模型的方法假设纹理按某种模型分布,模型可以表示纹理元之间的关系,模型参数则表达了纹理元的特性,因此通过估计模型的参数可以把握纹理的重要性状,进行纹理分析。

由于缺少纹理描述的理论依托,当直观描述无法取得预期效果时,一种很自然的想法随之而来,即将纹理分析问题借助于某一比较成熟的理论之上,凭借该理论的问题处理方法或者模型结构,完成对图像纹理的描述。于是便产生了基于分形^[40]、Markov随机场^[38,41]、Gibbs随机场^[42,43]等纹理描述法,从此纹理图像分析进入模型分析法时代。这一类方法在纹理分析史上起到了重要的作用,不但推进了纹理分析法的多元化进程,也使得纹理分析向实用化迈进了一大步。模型法主要有随机场方法和分形法,常见的随机场模型有高斯马尔科夫随机场^[44]和Gibbs随机场等,随机场方法的缺点是参数难以估计,计算量大,且自然纹理很难用单一的模型表达。分形维数给出了粗糙度的一种度量,许多自然图像的粗糙度具有一些统计性质,在不同的尺度上具有自相似性,分形对于这些性质的建模非常有用,但分形维数的计算一般是采

用一个理论模型,而实际的纹理图像并不完全符合,另外不同的纹理图像可能具有相近的分形维数,使进一步的处理复杂化。

单纯依赖模型对纹理进行分析是不够的,这主要是因为模型理论的建立及目标分析并非直接针对图像纹理,在利用这些理论及模型对图像纹理进行分析描述的时候精度自然会受到影响。

4. 空间频率域联合分析法

空间频率域联合分析法主要包括 Gabor 变换法^[45]和小波变换法^[46]等,该类方法利用在空间域和频率域中同时取得较好局部化特性的滤波器对纹理图像进行滤波,从而获得了较为理想的纹理特征。

随着数学工具的进一步发展,特别是多分辨率分析、数据融合、形态学、粗集理论以及小波分析技术的提出,对纹理图像分析产生了巨大的影响。基于多通道、多分辨率分析的算法率先受到了广泛的重视,它可以有效地对纹理图像进行特征提取和分割处理。基于多通道滤波提取图像特征的分析 and 辨别图像纹理的方法符合人眼视觉生理的特点,故它是纹理图像分析的重要发展方向,Gabor 滤波器^[47]是该类方法的典型代表,它是一种联合空频的方法,符合人类视觉感知系统的特性。其纹理模型基于窄带纹理场模型,能在空域和频域同时达到局部最优。但由于 Gabor 变换的窗口大小固定,难于满足实际应用的需求。近年来蓬勃兴起的小波变换在此方面有所突破,其窗口形状能随着窗口中心频率的变化而自适应调节。小波变换的这种特性有助于提取图像纹理特征和分割纹理图像。20 世纪 90 年代初,许多研究人员开始研究将小波变换用于纹理表示。由于小波分析有良好的时频分析特性,比傅里叶分析多了时域分辨率,又比 Gabor 滤波器组多了窗口尺寸可调的随意性,特别是第二代小波的产生^[48],不但任意有限脉冲响应滤波器均可以由小波变化来替代,而且它有很好的运算性和计算效率,所需的存储元器件比第一代小波少,计算量随着滤波器长度的增大将趋近于第一代小波计算量的一半,这对需

要进行大量计算的纹理图像分析而言具有重大意义。可以预见，它们也将在纹理分析领域中占有重要的一席之地。

空间频率域联合分析法虽然在分析自然纹理图像中能取得一定的效果，但基于多通道滤波的分析方法，常采用区域平均特征，如区域能量、区域方差等，正如 Mallat 指出的，这类特征都是特殊的、非本质的，因为区域平均过程导致了纹理结构信息的损失，通常不能反映纹理的本质特征。同时由于单通道能量、方差信息不能有效描述纹理特征，为了实现对纹理特征的有效描述，需要多个滤波通道，这就增加了分类特征的维数。在高维特征空间中，各模式特征间的分布关系比较复杂，不利于获得理想的分类结果。

总之，由于目前尚没有公认的纹理定义，也没有较为通用的纹理分析方法，大多还只适用于一部分特定的图像。由于拓朴纹理图像中具有许多不规则的拓朴曲线，且这些曲线的拓朴结构都相对比较复杂，不同于普通的规则纹理图像，因此需要采用特殊方法对其进行处理。一般图像处理与分析关心如下几个方面：图像去噪、图像修复、图像分割、边缘检测、形状模型、图像配准、特征提取、目标识别以及图像可视化等，它们广泛应用于科学与工程领域。特别地，图像预处理是图像分析处理的前期必要工作，如滤波以减弱噪声的影响，增强图像的边缘等。拓朴纹理图像预处理本身也是一个较为笼统的概念，本书将重点研究以下 5 个重要的拓朴纹理图像预处理领域：纹理图像的去噪、纹理图像的色彩复原、纹理图像的分割、纹理图像的修补和纹理图像的配准。

由于普通规则纹理图像的上述研究方法并不能直接用于拓朴纹理图像这 5 个关键预处理技术。因此，本书将主要考虑针对上述 5 个预处理技术中存在的如下问题：一是研究支持拓朴纹理图像的保边去噪算法，以有效提高对复杂纹线拓朴形变的自适应能力；二是研究支持表征和提取彩色拓朴纹理图像中多色彩通道间相关性的模型，以有效避免色彩混叠，增强退化彩色拓朴纹理图像的色彩恢复质量；三是研究支持对纹理曲线形变复杂度具有良