

纹理图像分析

马 莉 范影乐 著



科学出版社
www.sciencep.com

纹理图像分析

马 莉 范影乐 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

目前科学技术发展的一个重要方向就是机器视觉。纹理图像分析作为机器视觉系统的重要基础技术,在图像目标识别、跟踪和图像内容理解方面起到越来越重要的作用。机器视觉中纹理图像分析的任务是用计算机技术模拟人类的视觉功能,对纹理图像建模、处理和理解。本书深入、系统地阐述图像纹理的描述方法、纹理建模的基本理论和技术、纹理特征的提取和纹理分析技术的应用。全书分为三个部分:基础理论、纹理分析应用技术和纹理分析的应用。基础部分介绍了常用的纹理描述模型;纹理分析应用技术包括特征提取、纹理分割、纹理分类、纹理合成;纹理分析应用部分主要介绍纹理分析在医学影像疾病诊断、图像检索、目标识别和工业在线检测中的应用。

本书所涉及的内容及讨论的深度适合电子科学与工程、控制理论与控制工程、计算机科学与技术、仪器科学与技术以及相关专业的研究生、高年级本科生,可作为教材或教学参考书,也可供从事与图像纹理分析相关的科研和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

纹理图像分析/马莉,范影乐著. —北京:科学出版社,2009
ISBN 978-7-03-025632-4

I. 纹… II. ①马…②范… III. 图像分析 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 169580 号

责任编辑:姚庆爽 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009年9月第一次印刷 印张:15 1/4

印数:1—3 000 字数:291 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈长虹〉)

前 言

视觉活动是人们在社会生产生活中认识和了解外部世界的主要途径。人们的主要视觉感知来自物体的形状、颜色和纹理。纹理作为物体表面的一种基本属性广泛存在于自然界中,是描述和识别物体的一种极为重要的特征。纹理分析是人类视觉区分目标的重要感知功能之一。机器视觉中纹理研究的主要目的是理解、建模和处理图像中的纹理模式,最终用计算机技术模拟人类视觉对纹理的学习和认知过程。

随着计算机技术、电子技术的快速发展和信息技术在人们社会生产、生活中的渗透,纹理分析在许多领域都有重要的应用。如工业生产过程中的产品质量控制、农产品精细加工、智能交通监控、医学图像分析、遥感图像分析、文档处理、图像检索和国防安全等。本书作者长期从事图像处理和模式识别领域的本科生、研究生教学工作,并且多年来从事与纹理图像分析相关的科研工作,涉及工业生产过程产品的缺陷检测、医学图像的计算机辅助诊断和食品安全方面基于机器视觉的快速检测等。本书的编撰是根据学科及科研、教学发展的需要,基于作者在图像纹理分析方面的教学和科研积累,并结合参考大量的国内外纹理分析和应用方面的科技文献形成的。本书的目的是为致力于机器视觉、图像分析、模式识别学习的高年级本科生、研究生,从事图像信息处理的工程技术人员提供较全面系统地了解和学习图像纹理分析技术的平台。本书有机地将纹理分析理论以及与纹理分析相关的应用解决方案相结合,具有可读性强、学术性强、面向应用的特点。

本书共 11 章,分为三个部分:其中第 1~4 章为基础篇,第 5~7 章为应用基础,第 8~11 章为应用篇。第一部分介绍了纹理图像分析的研究现状和应用领域(第 1 章)、常用的纹理描述方法(第 2~3 章)和纹理特征选择策略(第 4 章);第二部分介绍了纹理分割、纹理分类和纹理合成应用技术(第 5~7 章);第三部分介绍了纹理分析技术在医学影像 CAD 诊断中的应用(第 8 章)、基于纹理特征分析的图像分割(第 9 章)、基于纹理特征的图像检索和目标识别(第 10~11 章)。

本书具有以下两个特点:①较为全面阐述纹理图像分析的基础理论 and 应用,有助于纹理图像分析技术的深入研究。本书以图像分析中的纹理分析为切入点,较为全面地介绍了机器视觉系统中物体表面纹理特征的描述方式,纹理分析在目标识别、图像检索与纹理合成中的应用,以及应用系统实例的介绍。②理论联系实际。本书约有三分之二的篇幅涉及纹理分析的应用技术,其中有相当部分来自作者在科研项目中与纹理分析技术相关的理论和工程实践成果,可以供初学者或纹

理图像分析领域的工程技术人员参考。

本书第 1~2 章、第 7~8 章、第 10~11 章由马莉撰写,第 3~6 章、第 9 章由范影乐撰写。感谢国家自然科学基金(60775016,60872090)、浙江省重大科技专项(2007C13062,2008C01015)以及杭州电子科技大学的资助和支持。感谢研究生周记林、单雅静、毛俊勇、王文峰、郭安哲、耿丽硕、游迎荣、汪子梅、项健、陈可、丁颖、钟华在试验研究中付出的辛勤劳动。恳切希望纹理分析领域的专家、学者以及广大读者对书中的不当之处提出批评意见。

作 者

2009 年 5 月于杭州

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 纹理图像分析概述	1
1.2 纹理分析技术发展历史与现状	3
1.3 纹理分析的应用领域	8
1.4 前景与展望	12
参考文献	13
第 2 章 基于区域的纹理描述	15
2.1 结构法纹理描述	16
2.1.1 基于结构的纹理表示	16
2.1.2 纹理基元模型	17
2.2 统计法纹理描述	19
2.2.1 基于一阶统计的纹理描述	19
2.2.2 基于边缘纹理直方图描述	24
2.2.3 灰度共生矩阵	26
2.2.4 自相关函数	28
2.2.5 Laws 纹理能量描述	29
2.3 基于模型的纹理表示	30
2.3.1 基本术语与概念	30
2.3.2 Gibbs-MRF 随机场纹理模型	32
2.3.3 二维自回归函数	33
2.3.4 纹理的非参数模型	34
参考文献	38
第 3 章 基于信号处理方法的纹理描述	40
3.1 纹理的周期性	40
3.2 空域/频域滤波器	43
3.3 频谱分析法	43
3.4 Gabor 滤波器	45
3.5 基于小波分解的多尺度特征	47
参考文献	51

第4章 纹理特征提取和选择	52
4.1 概述	52
4.2 纹理特征度量	52
4.2.1 距离度量	53
4.2.2 概率距离度量	54
4.2.3 熵函数度量	54
4.3 纹理特征选择	55
4.3.1 基于主成分分析的纹理特征选择	55
4.3.2 基于独立成分分析的纹理特征选择	60
4.4 纹理特征评价	62
4.4.1 纹理特征评价函数	63
4.4.2 纹理特征选择策略	63
4.4.3 纹理特征选择应用	66
4.5 纹理特征不变性分析	67
4.5.1 纹理特征与坐标系统	68
4.5.2 平移不变性与矩不变特征	69
4.5.3 纹理特征的尺度和旋转不变性	71
参考文献	74
第5章 纹理分割技术	77
5.1 纹理分割概述	77
5.1.1 常用纹理分割技术概述	77
5.1.2 纹理分割的主要过程	78
5.1.3 纹理分割的应用	79
5.2 区域生长法	81
5.2.1 种子像素的选取	82
5.2.2 区域生长准则	82
5.3 分裂与合并	83
5.4 聚类法	84
5.4.1 基本原理	84
5.4.2 应用实例	87
5.5 神经网络方法	88
5.5.1 常用神经网络结构和原理	89
5.5.2 无监督神经网络在纹理分割中应用	91
5.5.3 监督式神经网络在纹理分割中应用	94
参考文献	95

第 6 章 纹理分类	97
6.1 纹理图像的特征提取与分类	97
6.2 监督式纹理分类器设计	97
6.2.1 概率判别规则	98
6.2.2 Fisher 分类器	99
6.2.3 K 近邻法	100
6.3 无监督纹理分类器设计	101
6.3.1 K 均值聚类	101
6.3.2 ISODATA 聚类	103
6.3.3 改进的 K 均值聚类应用实例	104
6.4 基于小波变换的纹理分类	106
6.5 基于支持向量机的纹理分类	108
6.5.1 支持向量机简介	108
6.5.2 纹理分类实例	110
参考文献	113
第 7 章 纹理合成	H115
7.1 纹理合成概述	115
7.1.1 纹理合成的发展与现状	115
7.1.2 纹理合成的发展方向	117
7.2 基于 Markov 随机场模型的纹理合成	118
7.2.1 MRF 模型	119
7.2.2 基于像素的纹理合成	121
7.3 基于块采样的纹理合成	124
7.3.1 Chaos Mosaic 纹理合成算法	124
7.3.2 基于块拼接的纹理合成	125
7.3.3 基于块采样的无约束纹理合成	126
7.4 基于金字塔算法的纹理合成	128
7.4.1 图像金字塔	128
7.4.2 基于金字塔的纹理合成	132
7.5 有约束纹理合成	134
参考文献	137
第 8 章 纹理分析在医学影像诊断中的应用	139
8.1 医学影像诊断概述	139
8.2 基于纹理特征的乳腺 X 射线图像微钙化簇提取	139
8.2.1 微钙化以及微钙化簇	140

8.2.2	乳腺 X 射线图像微钙化感兴趣区域提取	141
8.2.3	微钙化点提取	145
8.2.4	微钙化簇提取与特征提取	145
8.3	纹理分析在肺部疾病早期诊断中应用	147
8.3.1	基于纹理特征的肺部分割	147
8.3.2	基于熵滤波器的 ROI 区域提取	148
8.3.3	基于小波变换的肺部蜂巢状组织提取	149
8.4	肝 CT 图像的计算机辅助诊断	150
8.4.1	基于纹理特征聚类的肝脏分割	151
8.4.2	基于视觉注意模型的肝占位性病变自动提取	153
8.5	纹理分析在皮肤黑色素瘤诊断中的应用	159
	参考文献	162
第 9 章	基于纹理特征的图像分割	164
9.1	基于 Gabor 滤波器的纹理图像分割	164
9.1.1	Gabor 小波函数	164
9.1.2	图像纹理特征的描述	166
9.1.3	纹理图像分割	166
9.2	基于复杂性测度的纹理图像分割	167
9.2.1	复杂性测度描述	167
9.2.2	KC 复杂性测度	169
9.2.3	C_0 复杂性测度	169
9.2.4	Hilbert 曲线扫描	170
9.2.5	基于一维复杂性测度的图像纹理分割	171
9.2.6	基于二维复杂性测度的图像纹理分割	172
9.2.7	基于 KC 复杂性测度的车牌定位	174
9.3	基于矩的纹理图像分割	175
9.3.1	Legendre 矩	176
9.3.2	Zernike 矩	176
9.3.3	Krawtchouk 矩	177
9.4	基于高斯混合模型的纹理图像分割	178
9.4.1	高斯混合模型	179
9.4.2	最大似然函数	179
9.4.3	EM 估计算法	180
9.5	多特征多分类器融合的图像纹理分割	180
9.5.1	纹理特征提取	181

9.5.2 分类器设计	182
9.5.3 实验结果	183
参考文献	184
第 10 章 基于纹理的图像检索	186
10.1 基于内容的图像检索	186
10.1.1 纹理特征匹配	187
10.1.2 特征索引机制	188
10.2 基于纹理特征的图像检索	189
10.2.1 图像检索中的纹理特征	189
10.2.2 不变性纹理特征	189
10.2.3 多特征融合及归一化	194
10.3 基于纹理分析的医学超声图像检索	195
10.3.1 空间纹理特征分析	195
10.3.2 基于多尺度 Gabor 小波的纹理特征	198
10.4 颜色和纹理特征在图像检索中应用	200
10.4.1 基于颜色和纹理特征的图像检索系统	200
10.4.2 基于小波分解的多尺度纹理描述	203
参考文献	205
第 11 章 基于纹理的目标识别	207
11.1 目标识别概述	207
11.2 基于纹理的人脸识别	207
11.3 基于纹理的缺陷检测	211
11.3.1 织物纤维缺陷检测概述	211
11.3.2 基于 Gabor 小波织物瑕疵检测	215
11.3.3 机械加工零件表面缺陷检测	219
11.4 基于纹理特征的珍珠表面缺陷检测	223
11.4.1 珍珠表面缺陷与检测方案	223
11.4.2 珍珠表面缺陷增强	225
11.4.3 珍珠表面的缺陷检测	227
参考文献	230

第 1 章 概 述

1.1 纹理图像分析概述

纹理是自然界物体表面的自然属性。近 20 年来,随着计算机技术的迅速发展以及机器视觉系统在生产过程、农产品质量监测、国防安全、交通管理等领域的应用,纹理图像分析技术正在成为机器视觉领域研究的热点课题之一。

机器视觉系统中纹理分析研究的目的在于理解、建模和处理图像中的纹理模式,最终用计算机技术模拟人类视觉对纹理的学习和认知过程。一个典型的机器视觉系统可以分解成若干部分:图像采集、图像处理、特征提取和分类。纹理分析是机器视觉系统中许多处理阶段的核心要素,纹理分析试图建立通用、有效、简洁的纹理量化描述。在图像处理阶段,必须基于每个区域的纹理特征将图像分割成若干有意义的连续区域;在特征提取和分类阶段,纹理特征提供用来辨别目标的有用信息。本章将介绍纹理的视觉表现、纹理在图像分析领域的描述方法,以及纹理分析的研究进展和应用领域。

1. 纹理的定义与纹理特征

纹理是人们视觉系统对自然界物体表面现象的一种感知,它作为物体表面的一种基本属性广泛存在于自然界中,是人们描述和区分不同物体的重要特征之一。虽然人们对纹理的研究已有近 40 年的历史,但至今难以对纹理给出统一、准确的定义。一般来说,现实世界中的物体图像并不呈现区域的均匀性,图像的纹理由重复的模式组成^[1],这种重复模式的纹理元素(或基元)按某种规则排列。例如,木材表面包含称为“视觉纹理”的某种重复条纹模式的亮度变化(图 1.1.1(a))。这种模式是由物体表面材质的粗糙性、方向性或者表面颜色不同造成的反射差异引起的。在图像分析领域,可以把纹理定义为像素灰度在二维空间变化的函数。

常见的纹理有以下三种类型:①自然纹理。这种纹理来源于真实物体表面,如图 1.1.1(a)中木材表面纹理和图 1.1.1(b)五种不同的花草纹理。自然纹理大多呈现不规则性,随机性强。②人工合成纹理。人工合成纹理是用计算机算法模拟或人为生成的表面纹理,如图 1.1.2(a)对角线花纹和迷彩服花纹(图 1.1.2(b))。一般来说,人工纹理形状规则、确定,分布规则。③混合纹理。混合纹理由人工纹理随机分布于物体表面或自然景物中构成。

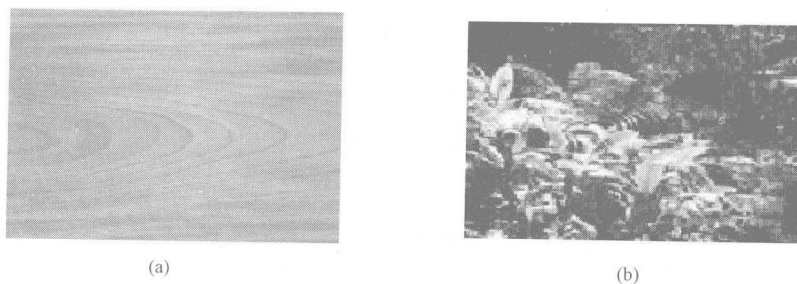


图 1.1.1 自然纹理图像

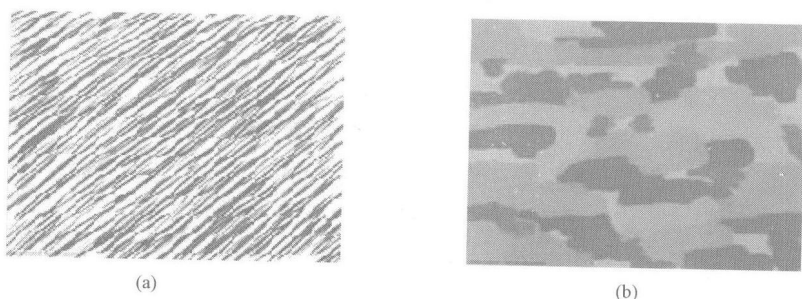


图 1.1.2. 人工纹理图像

纹理最明显的视觉特征是粒度或粗糙性、方向性、重复性或周期性^[2]。同时,纹理是一个区域特征,与观察尺度相关。从人们视觉感知来说,纹理有两个要素:①引起视觉感知的像素灰度/颜色变化模式的基本单元,即纹理基元;②纹理基元按一定规则排列,表现为某种规律性,也可以表现为随机性。

2. 纹理分析的主要内容

图像分析系统的任务是利用数字图像处理技术从图像中提取有用的信息,而纹理分析是图像分析的组成部分之一。

图像分析系统主要有三个部分:预处理、数据降维(虚框所示)和特征提取。输入图像首先送入预处理环节,预处理环节的任务是去除输入图像的噪声,增强图像中感兴趣区域的特征;在数据降维模块,数据可以在两个域进行分析:①经傅里叶变换到频域;②在空域对预处理的图像数据进行分割。经滤波后提取出感兴趣区域的频域/空域特征(特征是降维处理后,表征目标的有意义的信息),最后对特征量进行度量和分析,为目标识别做准备。图像分析系统过程如图 1.1.3 所示。

根据人类视觉系统感知模式,图像分析中常用的特征分为三类:颜色特征、形状特征和纹理特征。颜色特征表征物体表面对光谱的不同反射情况;形状则关注目标的空间形态,例如位置、大小、方位、空间关系等;纹理是一类重要的反映物体

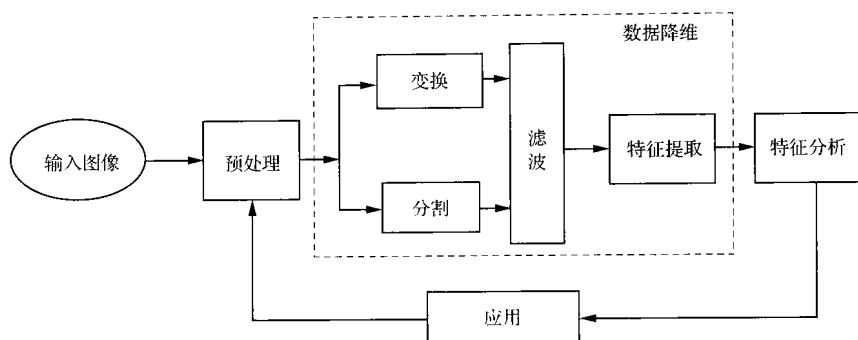


图 1.1.3 图像分析系统

表面粗糙性、方向性和规则性的特征。纹理分析是利用图像处理技术从图像中提取重要表面灰度分布信息,并对纹理特征进行分析的技术。纹理分析是机器视觉的一个重要领域。纹理分析的主要内容包括以下三个方面。

(1) 根据人们视觉对纹理的感知,用数学计算模型表示纹理的方向性、周期性、粗糙性以及尺度性等。

(2) 提取有效的纹理特征度量方法。

(3) 纹理分析的应用研究,如纹理分类、纹理合成、纹理检索等。

1.2 纹理分析技术发展历史与现状

图像纹理表现为二维空间的灰度变化模式(如水波纹和海边的卵石)。纹理是一个区域特征,即纹理是图像中的上下文特征,其定义必须包括邻域的灰度且邻域的大小与纹理的类型有关。纹理的许多视觉特征在纹理描述中具有重要作用,包括一致性、密度、粗糙性、规则性、方向性、频率和相位等^[3,4]。在这些特征中,某些特征是相关的。例如,频率与密度相关,但方向仅适用于方向纹理。由于纹理特征的描述具有多维性,因此没有一种方法足以分析纹理的多样特征。自 20 世纪 80 年代以来,纹理分析方法可大致分为 4 类:结构分析方法、统计方法、基于纹理模型的方法和信号处理方法。

1. 结构分析方法

结构分析方法假设纹理是由纹理基元按某种规则排列形成的,仅适用于规则纹理。图 1.2.1 是一幅含有 5 种纹理的纹理图像。可以看出,在每个纹理类型区域,其灰度分布的模式不同,纹理基元(构成纹理模式的最小像素集)也不相同。结构分析方法有两个主要步骤:①纹理基元的提取;②发现图像纹理中基元的排列规

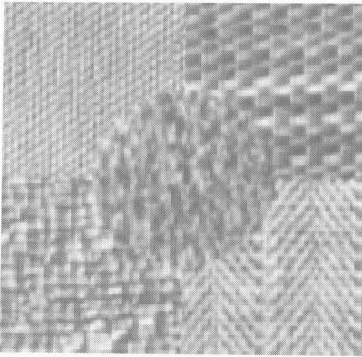


图 1.2.1 含有多种纹理的图像

则。通常纹理基元由图像中具有均匀灰度的区域构成。纹理基元具有面积、周长、偏心度、方向、延伸度、矩等特征。结构分析方法通常首先确定纹理基元,然后根据句法模式识别理论,利用形式语言对纹理的排列规则进行描述。Varhees 和 Poggio^[5]提出了基于 LoG 算子核在不同尺度上对纹理图像滤波,然后将多尺度信息结合提取纹理基元的方法。在树状结构中,纹理的表达可以是多层次的,可以从像素或小块纹理一层层的向上合并,最终组成一个多层树状结构。

结构分析方法的优点是有益于对纹理构成的理解和高层检索使用,适合于描述人工规则纹理。而对于自然纹理来说,纹理分布的随机性使得纹理基元提取相当困难,基元之间的排布规则不易用确定的数学模型描述。因此,结构分析法在随机纹理描述中应用不多。

2. 统计方法

纹理可以描述为随机变量灰度在图像空间的分布。在机器视觉纹理领域的研究中,纹理的统计特征是早期关注的热点之一^[1]。对于自然纹理,局部观测具有很大的随机性,然而整体上存在统计意义的某种规律性。从区域统计的角度去分析纹理图像的方法称之为基于统计的纹理分析方法。纹理的统计分析可以在空域和频域进行。在图像空间域,基于统计的方法包括:矩、自相关函数^[6]、灰度共生矩阵分析、边缘频率、游程长度等;在频域有频谱分析法^[7]。

1) 基于空间域的纹理统计方法

纹理矩是与纹理基元形状和灰度空间分布有关的几何特征^[3]。许多纹理图像呈现出纹理基元周期重复的特征,空间自相关函数的基本思想是利用像素之间的灰度相似性计算描述图像纹理的规则度和粗糙度。自相关函数的周期性反映纹理基元重复出现的周期性,自相关下降速度反映纹理基元的粗糙度。自相关函数也可在频域中计算,而且效率更高。灰度共生矩阵在一定程度上反映了纹理图像中各灰度级在空间上的分布特性,是纹理分析领域中最经常采用的特征之一。灰度共生矩阵克服了直方图法不反映空间位置信息的弱点,描述了纹理结构性特征,是图像灰度变化的二阶统计度量^[3]。纹理也可以用边缘频率来描述。不同的边缘尺度选用不同的边缘算子掩模检测。通过检测边缘分布的一阶和二阶统计量,度量纹理的一些属性,如粗糙度、对比度、随机性、方向性、直线性、周期性等^[2,4]。

2) 基于频域的纹理统计方法

频谱法将空间域的纹理图像变换到频率域中,利用傅里叶变换得到的频谱获

得在空间域不易提取的纹理特征。该方法借助于傅里叶频谱的频率特性来描述具有周期性或近似周期性的纹理图像的方向性^[8]。利用统计的方法对频率特性度量,派生出许多纹理特征的描述子(直方图、熵、均值、方差、斜度等)。纹理图像的功率谱举例如图 1.2.2 所示。

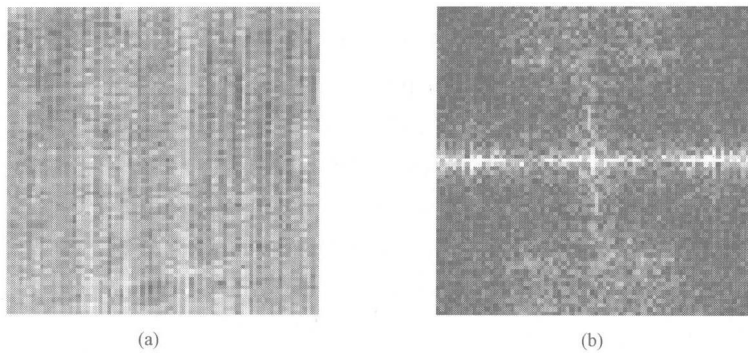


图 1.2.2 纹理图像的功率谱举例

图 1.2.3 给出了纹理统计分析方法在这两个域中的关系图。从图 1.2.3 中可以看出,纹理图像利用傅里叶变换可以在空域—频域之间转换。在图像空间域纹理分析中主要有共生矩阵、自相关函数、差分统计等。其中,自相关函数与图像的功率谱之间是傅里叶变换与逆变换的关系。

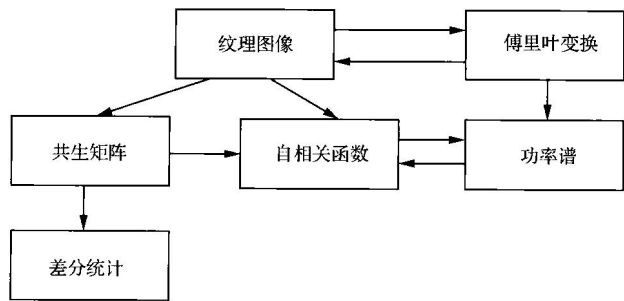


图 1.2.3 不同纹理统计方法的关系^[1]

3. 基于纹理模型的方法

基于纹理模型的方法是通过所建立的图像模型来描述纹理。常见的纹理模型方法有 Markov 随机场、分形维和二维自回归模型。

1) Markov 随机场

Markov 随机场(简称 MRF)是广泛使用的纹理模型,该模型在二维空间分析纹理图像的灰度变化,获得图像中局部空间上下文信息^[9]。Markov 随机场模型假设纹理图像区域的灰度变化是稳定分布的随机变量,图像中每个像素的灰度值

仅依赖于其邻域像素的灰度。MRF 模型首先建立一个空间邻域系统模型,模型参数表示纹理的重要视觉特征。纹理建模过程包括:①确定 MRF 随机场模型阶数和模型形式;②用极大似然估计计算模型参数。不同的纹理类型具有不同的模型阶次和参数。

2) 分形维模型

许多自然表面在不同尺度上呈现粗糙性和自相似性,分形维是度量这些特性的有力工具^[10]。图 1.2.4 中给出 Sierpinski 三角形进行自复制产生不同尺度下自相似图形的过程(将图 1.2.4(a)中任一黑三角形等分 4 块,使中间一块为白色,其他仍为黑色,可以得到更细尺度的自相似图形 1.2.4(b))。分形几何学是由 Mandelbrot 首先提出并发展为系统理论的,他首先利用分形维度量物体表面的粗糙度^[11]。分形维模型的重要特征包括:①分形维大小与人们对物体表面粗糙程度的视觉感知具有一致性,即光滑的物体表面具有较小的分形维值,而较为粗糙的表面具有较大的分形维值;②分形维具有尺度不变性,物体表面的分形维模型广泛用于物体的粗糙度、不规则性、自然纹理的分析。

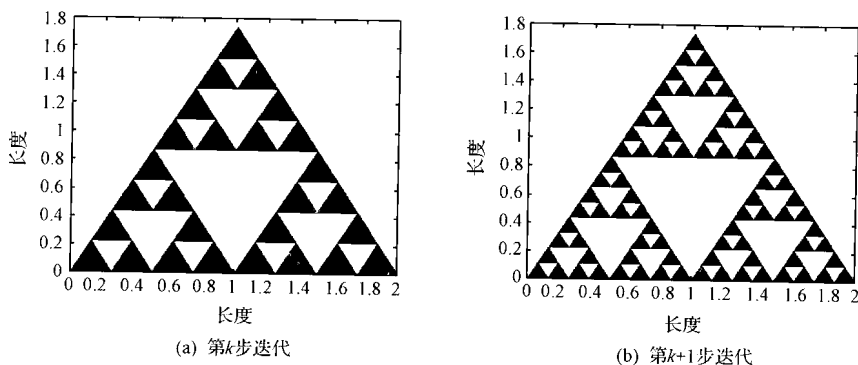


图 1.2.4 Sierpinski 三角形

3) 自回归模型

当给定任一像素的邻域,自回归模型提供了该像素灰度值的线性估计方法^[6]。自回归模型的系数表征纹理的特征和类型。对于粗纹理来说,自回归模型的邻域系数是相近的;而对于细纹理来说,自回归模型邻域系数具有很大不同。二维自回归模型可应用于纹理的描述、识别与分类。自回归模型的优势之一是利用任一初始给定的线性估计器合成一种纹理模式。

4. 信号处理方法

本节讨论基于信号处理的纹理分析技术。绝大多数基于信号处理的纹理分析方法具有两个步骤:①利用所给定的滤波器对纹理图像滤波;②从滤波后的图像中

提取纹理特征。纹理分析的信号处理方法大致包括空间滤波器、频域滤波器和 Gabor/小波模型^[12]。

1) 空间滤波器

空间滤波器是获得图像纹理特征最直接的方法。通过边缘检测算子(Sobel、Laplacian、Robert 等)可以获得纹理图像边缘的响应(边缘强度、方向),接着用统计的方法得到纹理的特征。纹理矩也可以认为是一种空间滤波方法。由纹理矩派生的特征具有对图像仿射变换的不变性,广泛应用于纹理分割与分类。

2) 频域滤波器

纹理图像特征分析经过傅里叶变换在频域进行。根据傅里叶变换的性质,纹理图像的傅里叶频谱将原始图像分解成不同的频带,进行多分辨率处理。频域中的纹理特征分析的示意图见图 1.2.5。图 1.2.5(a)和图 1.2.5(b)分别表示对频域按频带划分和按相位角划分,坐标原点对应零频率。图 1.2.5(a)中任一圆上点 (u, v) 具有相同的频率,任一环形区域覆盖的频谱表示纹理图像对某频带 $[f_i - \Delta f, f_i + \Delta f]$ 的响应。同样,图 1.2.5(b)中任一楔形区域表示对某方向带 $[\theta_i - \Delta\theta, \theta_i + \Delta\theta]$ 的响应。因此,按照频域中不同的子带区域对纹理的响应进行统计,可以检测出特定纹理的特征。

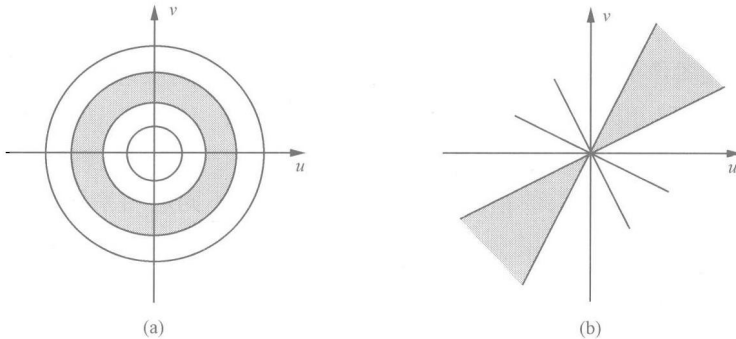


图 1.2.5 频域多分辨率分解示意图

3) Gabor/小波模型

傅里叶变换是对纹理图像的全局进行分析,不能适应某些应用需要对频域分析定位的要求。Turner^[12]和 Bovik 等^[13]提出利用 Gabor 滤波器进行纹理分析。2D 的 Gabor 函数由高斯包络调制的某一频率和方向的正弦波组成,经 Gabor 滤波的图像是对该特定频率和方向的响应。根据这个原理,利用在方向、尺度上具有可调制性的 Gabor 滤波器组寻找纹理图像的最大响应,检测出纹理的方向和结构特征。

小波变换的多尺度分解特性提供了优良的纹理图像时空分析工具。它将纹理