

Jiyu Jiqi Shijue De Tuxiang Shibie Jishu Jiqi Yingyong

基于机器视觉的图像识别技术及其应用

李孟歆 著

中国矿业大学出版社
China University of Mining and Technology Press

基于机器视觉的图像识别技术及其应用

李孟歆　著

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

基于机器视觉的图像识别技术及其应用 / 李孟歆著
. —徐州：中国矿业大学出版社，2019.1

ISBN 978-7-5646-4038-5

Ⅰ. ①基… Ⅱ. ①李… Ⅲ. ①计算机视觉—图象识别
Ⅳ. ①TP302.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 151725 号

书　　名　基于机器视觉的图像识别技术及其应用
著　　者　李孟歆
责任编辑　仓小金
出版发行　中国矿业大学出版社有限责任公司
（江苏省徐州市解放南路　邮编 221008）
营销热线　(0516)83884103　83885105
出版服务　(0516)83995789　83884920
网　　址　http://www.cumtp.com　**E-mail**：cumtpvip@cumtp.com
印　　刷　徐州市今日彩色印刷有限公司
开　　本　787×960　1/16　**印张** 12.25　**字数** 224 千字
版次印次　2019 年 1 月第 1 版　2019 年 1 月第 1 次印刷
定　　价　45.00 元
（图书出现印装质量问题，本社负责调换）

前　言

随着科学技术的飞速发展，多媒体技术越来越多地进入了人们的生活，需要存储和传输的信息量也越来越多，图像因其能够比文字更直观地表达意思和说明情况被广泛应用。图像处理是图像理解和识别的前提，各种识别和理解算法都依赖于高品质的图像。图像处理技术对随后的识别和理解有很大的影响，图像处理技术作为一种识别和理解的手段被广泛应用于遥感、生物特征识别、通信等应用中。

本书利用国内外人工智能、计算机视觉、深度学习、图像处理和模式识别领域的最新研究成果，针对当今应用领域中多种识别技术的特点，通过大量应用研究使读者可以系统地了解自动识别技术的最新发展，帮助读者构建基于机器视觉的图像识别应用系统。本书引入小波理论、粗糙集理论、模糊神经网络等人工智能方法，通过仿真实验研究，建立了表面缺陷的自动视觉检测系统，系统具有良好的分类精度、识别速度、鲁棒性和抗干扰性。其研究成果的推广应用可以显著提高劳动生产率，提高工业生产线的产品质量检测水平，并可带来显著的经济效益和社会效益。为进一步拓展其应用领域，本书对步态识别、足迹识别、手势识别、火灾识别等实际案例进行了深入的研究和分析，取得了重要的研究成果。

本书取材新颖，论述深入浅出，图例丰富，注重理论与实践相结合，可供从事图像处理与识别技术的研究人员和工程技术人员参考和学习之用。

本书第1、5、6章由沈阳建筑大学李孟歆、张颖、夏兴华、谢军撰写；第2、3章由侯静、曹阳、胡红爽撰写；第4、8章由许可、刘剑、胡楠

撰写；第 9、10、11 章由韩忠华、张辉、王然冉、李美玲撰写；第 12、13 章由张锐、门蕊、裴文龙撰写；第 7 章、14 章由沈阳城市建设学院常玲、许伟靖，沈阳建筑大学徐睿、姜通维、刘桐序、孙艺桐、周源撰写。定稿和校对由李孟歆、张颖、侯静完成。参加本书撰写的还有金凤、林佰凤、韩净宜、李东昊、侯丁丁、陈莉等，在此一并表示感谢！

由于著者水平所限，书中难免有不足之处，诚恳欢迎读者批评指正。

著　者

2018.6

目　录

第 1 章　引言 …… 1
1.1　图像识别技术研究的目的与意义 …… 1
1.2　国内外研究现状及发展趋势 …… 2

第 2 章　基于模糊粗糙集的图像增强 …… 7
2.1　图像增强 …… 7
2.2　基于属性直方图和模糊粗糙集理论的图像增强 …… 7
2.3　实验与结果分析 …… 10

第 3 章　基于模糊逻辑和偏微分方程的图像增强 …… 12
3.1　模糊集合理论 …… 12
3.2　模糊图像处理系统 …… 13
3.3　基于模糊逻辑和偏微分方程的图像增强算法 …… 15
3.4　实验与结果分析 …… 21

第 4 章　基于小波变换的图像特征提取 …… 22
4.1　小波变换的产生及发展 …… 22
4.2　小波变换及性质 …… 23
4.3　离散小波的快速实现 …… 25
4.4　特征提取 …… 28
4.5　纹理图像的特征提取 …… 28
4.6　基于小波变换的图像特征提取方法 …… 30
4.7　实验与结果分析 …… 36

第 5 章　基于粗糙集的神经网络图像识别方法研究 …… 37
5.1　系统描述 …… 37
5.2　粗糙集特征提取与选择 …… 39
5.3　系统功能实现 …… 42
5.4　仿真实验研究 …… 43

第 6 章　基于粗糙集的模糊神经网络图像识别方法研究 …… 45
6.1　模糊逻辑与神经网络 …… 45
6.2　系统框架结构 …… 46
6.3　系统功能与特点 …… 46
6.4　仿真实验研究 …… 47

第 7 章　神经网络参数优化设计 …… 53
7.1　正交试验设计 …… 53
7.2　实验结果分析 …… 54
7.3　响应曲面法 …… 55
7.4　神经网络参数最优设置 …… 61

第 8 章　图像识别案例:基于多特征融合的步态分类识别 …… 63
8.1　特征融合算法 …… 63
8.2　基于支持向量机的分类识别 …… 68
8.3　基于 SVM 算法的步态识别 …… 73
8.4　实验结果对比分析 …… 74

第 9 章　图像识别案例:基于 Kinect 的静态手势识别 …… 77
9.1　静态手势图像边缘特征提取 …… 77
9.2　静态手势参数特征 …… 82
9.3　DAG-SVMs 静态手势识别算法 …… 83
9.4　实验结果与分析 …… 87
9.5　静态手势与多媒体音量调节的交互系统设计 …… 89
9.6　音量调节交互系统的实现 …… 91
9.7　手势交互系统分析 …… 91

第 10 章　图像识别案例:基于 Kinect 的动态手势识别 …… 93
10.1　动态手势的骨骼关节三维数据获取 …… 93
10.2　动态手势的特征描绘 …… 95
10.3　DTW 手势识别算法 …… 99
10.4　实验结果与分析 …… 103

第 11 章　图像识别案例:基于视频图像的火灾识别 …… 106
11.1　运动前景目标检测算法 …… 106
11.2　具有火焰颜色的运动目标检测 …… 108
11.3　火焰特征提取与判定 …… 113
11.4　火焰特征检测的综合分析 …… 117
11.5　实验结果分析 …… 118
11.6　基于改进的背景估计法的运动区域检测 …… 123
11.7　烟雾特征提取与判定 …… 125
11.8　烟雾特征的综合分析 …… 132
11.9　实验结果与分析 …… 134

第 12 章　图像识别案例:基于机器视觉的轨道障碍物识别 …… 138
12.1　可疑障碍物辅助检测 …… 139
12.2　可疑障碍物检测 …… 140
12.3　角点特征提取 …… 144
12.4　特征匹配 …… 145
12.5　目标测速 …… 145
12.6　障碍物辅助检测 …… 146
12.7　目标特征提取 …… 146
12.8　运动轨迹以及目标测速 …… 149

第 13 章　图像识别案例:智能车辆结构化道路目标检测 …… 152
13.1　生成假设车辆 …… 153
13.2　验证假设车辆 …… 161
13.3　车辆检测实验结果及分析 …… 171

第 14 章　图像识别案例:基于人眼识别的驾驶员疲劳检测 …… 174
14.1　基于微积分投影函数和 Hough 变换二级人眼定位方法 …… 174

14.2 利用 PERCLOS 疲劳状态分析 …… 179
14.3 实验与结果分析 …… 181

参考文献 …… 184

第1章 引 言

1.1 图像识别技术研究的目的与意义

随着科学技术的发展，需要存储和传输的信息量越来越多，图像是一种应用相当普遍的数据，几乎每个领域都需要使用图像，图像可以比文字更直观地表达意思和说明情况，是一种非常重要的数据。图像处理是图像理解和识别的前提，各种识别和理解算法都依赖于高品质的图像。图像处理技术对随后的图像识别和理解有很大的影响，图像处理技术作为一种识别和理解的手段广泛地用于各类应用中。

机器视觉系统主要分为视觉系统图像采集、数字化图像处理、结果反馈三大部分，在视觉系统图像采集部分主要应用了图像摄取装置（例如 CMOS、CCD 等）等视觉产品获取预处理对象；数字图像处理部分则是通过将视觉系统获取的视频图像序列输送到图像处理单元而进行的数字化处理，该部分需要结合实际检测需要设计适合有效的处理方法达到自动检测目的；结果反馈分析部分则是通过对数字图像处理部分像素分布、亮度和颜色等特征的统计分析，判别目标物的尺寸、形状的特征，进而通过该反馈的结果来控制设备的动作。基于机器视觉的系统均具有成本低廉、适用范围广以及操作简单的优点，近年来被广泛应用于许多领域，如汽车自动驾驶、智能机器人等。在采集图像的过程中，由于受到外界和内部噪声的干扰，会造成图像的信噪比下降。因此，对图像进行去噪、增强等预处理，建立满足质量检测要求的图像处理系统，具有重要的理论意义和应用价值。

随着劳动力成本的提高和产品结构的改善，对质量和生产效率的要求越来越高，对在线检测的要求也日益强烈。利用图像进行检测具有非接触性等优点，图像检测在工业中的应用不断得到推广。由于采用人工分拣产品劳动量非常大，如目前国内墙地砖和胶合板的生产厂全厂约有 1/3～1/2 的工人被安排在分拣、包装岗位。人眼容易疲劳，在长时间的高强度工作后，主观性的判断失误经常发生。由于分拣工人熟练程度、身体、情绪等因素的影响，在分拣结果上无法

达成一致。这使得产品分类的稳定性和一致性差，出售的成品质量得不到保证。此外，由于墙地砖发展的趋势是尺寸愈来愈大，工人已无法用人力搬运来进行分拣。因此，研制适合我国国情的可在线自动分拣墙地砖的计算机集成系统不仅可以大大提高分拣准确度，保证产品质量的稳定性和一致性，而且将大幅度节省劳动力，减轻工人劳动强度。此外，墙地砖生产厂生产量大，对自动检测与分拣装置的需求潜力巨大。

1.2 国内外研究现状及发展趋势

本书引入了海量数据处理方法——粗糙集理论，粗糙集理论是 Pawlak 提出的一种刻画不完整性和不确定性的软计算数学工具，它为信息科学和认知科学提供了新的科学逻辑和研究方法，能有效地分析不精确、不一致、不完整等各种不完备信息，对数据进行分析和推理，从中发现隐含的知识，揭示潜在的规律。该理论处理不确定信息的优势是无须提供任何先验信息，对不确定性的描述或处理比较客观。目前，粗糙集已成为人工智能领域中的学术热点，在机器学习、知识获取、决策分析、过程控制、模式识别等许多领域中得到了广泛应用。

由于图像信息具有较强的空间复杂性、相关性，处理过程中经常会遇到不完整性和不确定性问题，因此将粗糙集理论应用到图像处理中，在很多场合具有比传统方法和精确算法更好的效果。目前，粗糙集已经应用于图像增强、图像分割、图像滤波、图像修复等领域。

1.2.1 在图像滤波和平滑领域

图像滤波涉及噪声滤除和图像细节保留的兼顾和平衡，传统方法在有效去除噪声的同时，会使图像细节受损。粗糙集理论应用于图像滤波的基本思想是将每一幅图像表达的信息作为一个知识系统，利用粗糙集中近似集合的概念检测并处理图像中的噪声像素。

Zbigniew 和 Smart 提出基于粗糙集的图像滤波方法，该方法可以去除噪声，加强边缘。杨阳等提出了一种基于粗糙集的图像中值滤波算法，根据图像灰度和邻域灰度均值相似程度，建立粗糙集等价关系和相应划分集合，然后利用它判断图像中的噪声。胡旺等针对图像滤波方法对噪声类型具有偏好性的不足，提出了一种基于粗糙集的多向差分图像去噪方法。根据多向差分图像提出了描述像素平稳性的方向数和描述噪声性的方向极值数的概念，采用粗糙集理论按照像素的平稳性和噪声性将图像划分为平稳噪声子图、脉冲噪声子图以及正常像素子图，并对两类噪声子图分别设计了不同的自适应滤波算法。陈铁民和王卫星提出一种基于粗糙集阴影边缘方法，根据粗糙集理论、梯度、最大邻域差及

噪声的条件属性，将一幅图像划分为不同的子图像，然后对子图像分别进行处理，得到阴影边缘点，再对边缘点进行细化和跟踪，删除那些假边缘点，最后得到阴影边缘图像。胡小梅和李众立提出粗糙集彩色图像滤波算法，能有效去除彩色图像的椒盐噪声，并较好地保持了图像的边缘细节信息。

郭海涛等人利用粗糙集理论进行声呐图像平滑，具有较强的保护图像细节和边缘的能力。吕振肃等人提出了改进的基于粗糙集的图像平滑方法，通过像素点的粗糙集近似相似度来判断像素所属的掩模，对图像进行平滑处理，既去除了噪声，保持了细节，又增加了图像的对比度。

1.2.2 在图像增强领域

图像增强处理是改善图像质量的重要技术，它是将图像中感兴趣的信息有选择地突出、强化，如突出轮廓、细节，消除噪声等，目的是增加图像的对比度，改善灰度层次，提高图像的“可懂度”。徐立中等提出一种粗糙集图像增强方法，按属性把图像分成不同子图，对子图进行对比度增强。叶灵伟等先按属性对图像作粗糙分类增强变换，得到增强输出图像，粗糙集增强的图像在灰度层次和边缘清晰程度方面均优于常规的图像增强方法。徐宁和杜明辉将粗糙集图像增强用于CT图像处理中。

1.2.3 在图像分割领域

图像分割是将图像表示为有具体物理意义的连通区域集合。通过对图像的不同特征如边缘、纹理、颜色、灰度等的分析达到图像分割的目的，分割得到的图像区域在特征描述上具有相似性。

S. Shek 将图像看成知识系统，基于不可分辨关系分割成不同区域。罗诗途等提出了一种基于粗糙集的图像分割智能决策方法，选取若干具代表性的分割算法构成算法库，用其对各种样本图像进行分割，然后利用从样本图像中提取出来的各种数值特征以及根据图像分割质量评价标准确定的各样本图像的最优分割算法来生成决策信息表，最后应用粗糙集理论对决策信息表进行离散化处理和属性约简，以生成图像分割算法选取的决策规则。Liu 等人提出粗糙集图像分割算法，利用粗糙集相似性关系解决分割中聚类问题。

1.2.4 在图像特征提取与分类领域

粗糙集方法用于模式识别主要是基于知识系统的表达和属性的简化方法，目的是求出每个模式的最小描述和对应的决策算法。陈敏针对遥感图像波段选择中传统手工方法的不足，应用粗糙集理论，通过核属性的方法计算达到简化决策表中的条件属性的目的，得到图像分类的关键波段和一些次关键波段，实现了波段的自动选择。肖迪等提出根据肺癌细胞的每个特征属性对粗糙集下、上近

似集的影响程度作为属性约简的依据，根据约简的结果，再采用扩展的相近关系粗糙集对肺癌细胞进行识别诊断。利用下近似集中的结果进行判断可以提高识别的准确率，利用上近似集中的结果进行判断可以降低肺癌细胞识别的漏诊率。李孟歆等提出了基于粗糙集的神经网络分类器，用粗糙集约简的样本集进行胶合板缺陷的神经网络分类研究。吴成东等采用粗糙集方法对墙地砖的原始特征进行优化，去除冗余特征，提高了分类精度，在一定程度上提高了系统实时性。

粗糙集模式分类可以获得简洁的 if-then 规则，这种规则接近人类语言，易于理解。武广富提出了一种基于粗糙集理论的火焰状态识别方法。该方法利用粗糙集理论的分类原则，得到火焰燃烧的高温区域，结合其他火焰图像的特征量，用基于粗糙集的知识决策系统建立火焰状态识别规则，构建全炉膛燃烧状态识别的基本模型，判断燃烧状态。该方法简化了计算量，提高反应速度。

粗糙集方法能有效地改进识别速度，但在容错性等方面需要做进一步的研究。另外，知识表达系统的顺序问题对结果也有一定的影响。

1.2.5 基于粗糙集的图像处理混合方法

粗糙集理论的进一步推广主要表现在和其他方法的有效结合上，以弥补单一理论的局限性。

在图像预处理方面，王英健等提出了基于模糊粗糙集的视觉特征图像增强方法，取得了较好的效果。张东波等提出了模糊粗神经网络的图像脉冲噪声滤波方法，建立了一种兼有模糊化神经元和不可微粗神经元的模糊粗神经网络，并采用了融合爬山法的遗传算法，增强网络学习过程中的搜索能力。在图像分割方面，李孟歆和庞玉红提出了基于塔形小波和特征加权的墙地砖纹理图像分割方法，改进原有的图像分割算法，对原始纹理图像进行高阶小波分解，在有效提取近似信息的基础上提高了系统的实时性。

在图像分割方面，张东波和王耀南结合 FCM 和粗糙集，提出了新的图像分割方法，以不同聚类数情况下 FCM 的分割结果为依据构建属性值表，基于属性构成的不可分辨关系将图像分成多个小区域；然后，通过值约简获得各属性权值并以此为依据，计算各区域之间的差异度，进而通过差异度定义的等价关系，实现各区域相似度评价；最后，通过相似度定义的最终等价关系实现区域合并，完成图像分割。该方法在人工生成图像和大脑 CT 图像及 MRI 图像的分割中得到验证。吴冰等提出粗糙集神经网络用于图像分割的方法，该方法充分发挥了粗糙集理论和神经网络的优势，组成网络具有学习速度快、容错能力强的特点，粗糙集神经网络在图像分割中的应用，明显优于神经网络。

在特征提取和分类方面，乔晓明等借助于粗糙集理论在处理大数据量、消除冗余信息等方面的优势，在进行属性约简的基础上，提出一种结合 FCM 的图像

聚类方法，该方法可以减少数据运算量，提高算法效率。蒋芸等将粗糙集理论中基于信息增益的约简方法和神经网络相结合，提出了粗糙神经网络算法 RNN，将其应用于乳腺 X 光图像分类。该方法的分类精确度可达到 92.37%，所花费的时间也明显减少。Swiniarski 提出了基于小波变换和粗糙集的人脸识别算法，识别精度能达到 99.24%，粗糙集方法起到了数据降维的重要作用。宋余庆等人提出基于主分量分析(PCA)和粗糙集的特征提取方法，采用 PCA 对输入向量进行甄别，用粗糙集理论约简与分类无关或影响不大的向量。Swiniarski 和 Skowron 采用独立分量分析，主成分分析和粗糙集方法进行人脸识别，粗糙集主要用于特征约简。

粗糙集理论处理不确定性信息的特点、相关信息提取能力，以及和其他智能方法的易融合性使得粗糙集在图像处理领域具有良好的应用前景，不但可以用于构造新型的系统，而且它能够优化现有的许多算法。尽管如此，粗糙集在图像领域的应用仍处在探索阶段，新的方法、新的技术仍有待深入研究和探讨。大数据集、高效约简算法、并行计算以及混合智能算法研究等问题仍是粗糙集研究的主要方向。

以墙地砖的检测为研究背景，在意大利，Surface、Spction 等公司生产了可对瓷砖的尺寸、颜色自动检测的系统，但此系统对墙地砖的生产条件、产品质量有较高的要求。一般某个系统只能解决某些问题，如专门用来进行裂纹、针穴等缺陷检测，而且大都对单色砖的分类效果良好，对带有仿大理石等自然纹理图案的地砖效果较人工检测差。比较成功的有由英国、法国、意大利合作研究的 ASSIST 系统，该系统已能成功检测单色及颗粒状纹理砖面的缺陷，如崩边、裂纹、斑点等，但对采用丝印技术上釉的其他纹理砖面的缺陷识别则不成功。该系统提供的分类算法主要基于颜色直方图，对于单色及种类较少的混色砖较为适用，但对纹理较复杂、颜色较多地砖则效果较不理想。

在纹理分类方面，Kim 提出的直方图交叉分类方法和 George 等人提出的直方图比率特征分类方法，都是利用图像单一的直方图统计信息，从不同侧面得到图像的纹理特征，并应用 Euclidean 相关度量方法对纹理特征进行分类；Dekker Robb. J 与 Cline Tison 等提出的基于统计的分类算法，根据不同性质图像区域的统计特性差异进行分类，由于统计方法忽略了图像的空间分布特性，所以往往得不到满意的分类结果；Hocenski Z. F 等人提出利用神经网络对瓷砖的图像数据进行预处理和分类的方法，采用神经网络对特征进行生成和选择，并且通过对图像数据的预处理来减少输入的数量。这种方法不仅能检测到瓷砖表面的常见缺陷，而且能够分析出新种类的缺陷及不可预测的缺陷。

在国内，墙地砖自动识别方面的研究起步较晚，在 20 世纪 80 年代末，国外

陶瓷业瓷砖几何尺寸自动分拣装置得到应用时，国内陶瓷业的分拣工作完全由人工完成。90年代以来，我国对各种先进生产设备进行引进、吸收与消化，烧成产品品质控制的自动化已逐渐引起人们的重视。赵海洋研究了利用减影技术实现缺陷识别的方法；刑希东根据统计理论与计算机视觉理论，提出一种新的评判准则自动识别墙地砖的色差；戴勇等人提出了一种利用数学形态学来检测瓷质墙地砖表面缺陷的方法，该方法通过优化形态学结构元素使图像中正常的纹理变化经滤波后响应最小，以达到缺陷识别的目的；钟克洪等人提出的基于小波差分统计特征的纹理缺陷检测方法，应用小波基函数对纹理图像进行分解，将图像划分为互不重叠的子窗口，然后计算其差分统计纹理特征值，最后采用Mahalanobis距离分类器进行缺陷判定。

2002年，广东省佛山市的康思达液压机械有限公司与华中理工大学研制了能进行墙地砖几何尺寸、色差、缺陷等计算机检测与分类的装置，该装置用计算机配上一些外围设备，能较好地自动对墙地砖的几何尺寸、缺陷等进行检测与分类。但是，由于墙地砖色彩与花纹图案的多变与复杂性，特别是一些墙地砖还带有随机花纹，识别的难度很大。因此，该装置只能对一些单色或花纹简单的墙地砖进行颜色的检测与分类。罗玮等研究了对瓷砖的色差进行分级的分类器设计问题；胡师彦利用遗传算法的随机优化与良好的并行性、全局优化性和稳健性等特点将遗传算法与BP神经网络相结合，用于图像识别，改进了BP网络的不足。初秀民、王荣本等人提出的一种减少图像识别计算量的图像分割方法，将图像等分，并用灰度方差值描述子块图像特征，并利用BP神经网络对子块图像进行模式分类，并将图像子块模式矩阵的不变矩作为图像的整体特征，在此基础上设计了基于全局优化算法的前馈神经网络分类器。

第 2 章　基于模糊粗糙集的图像增强

2.1　图像增强

图像增强技术作为基本的图像处理技术，其目的是对图像进行加工，以得到对具体应用来说视觉效果更“好”，更“有用”的图像。由于具体应用的目的和要求不同，因而这里“好”和“有用”的含义也不相同，并且所需要的具体增强技术也大不相同。从根本上说，并没有图像增强的通用标准，观察者是某种增强技术优劣的最终判断者。由于视觉检查的评价是相当主观的过程，所以所谓“好图像”的定义在比较增强算法性能中实际上是非常多变不定的。由于各种外界因素的影响，如光照、传感器分辨率等，获得的原始图像不同程度地存在边缘模糊、局部或整体的对比度不足等问题。图像增强作为图像处理常用的技术，可以消除原始图像边缘模糊、对比度弱等缺点，从而增强图像的视觉效果。

图像增强常用于改善图像质量。这里的“改善”，有客观方面的改善，如增加信号和噪声比率；也有主观方面的改善，如通过改变颜色或灰度，使图像的某些特征更容易识别。目前常用的增强技术根据其处理所进行的空间不同，可分为基于图像域的方法和基于变换域的方法两类；从处理策略上，可分为全局的和局部的；从处理对象上，还可分为应用于灰度图像的和彩色图像的。总体上，图像增强问题可以归纳为以下三个方面：消除脉冲噪声，非脉冲噪声的平滑，边缘增强和明显的结构信息的保护。噪声滤波和边缘增强常常是相互冲突的处理，噪声的平滑会破坏边缘细节，而边缘锐化会增强噪声。近年来，许多新的增强算法都充分利用了周围领域这一非常重要的信息，形成了局部处理的灰度调整算法。

2.2　基于属性直方图和模糊粗糙集理论的图像增强

近年来，有些学者将粗糙集理论用于图像处理。Ozaktas 把图像看成是一

个知识系统，根据粗糙集理论，基于不可分辨关系，将图像分割为不同的区域。Du 等分割方法推广用于图像增强。其中的关键与难点是图像子图的划分。对于具有理想双峰直方图的图像，可以根据直方图进行子图的划分；但实际图像的直方图常呈单峰或复杂的多峰，这时子图的划分是非常困难的，只能盲目试验，交互进行。

属性直方图是一种受约束的直方图。本章给出了属性直方图的定义，并在此基础上提出了一种基于属性直方图和模糊粗糙集理论的图像增强方法。

2.2.1 属性直方图

属性直方图是对直方图概念的发展和推广。将大小为 $M\times N$ 的图像的所有像素视为论域 $X=\{(i,\ j)\mid :0\leqslant i\leqslant M-1,\ 0\leqslant j\leqslant N-1\}$。设 Q 为论域 X 上的某种属性集，$(i,j)\in Q$ 表示像素 $(i,\ j)$ 具有属性 Q。对于图像 X，Q 上的属性直方图定义为由 $nQ(k)-k$ 形成的离散图线，$nQ(k)$ 表示图像 X 中具有属性 Q 且灰度值为 k 的像素数目。属性直方图不同于图像分块分割（Chow 和 Kaneko 提出）等方法中使用的子区域直方图。子区域直方图考虑的是子区域所有的像素；属性直方图仅仅考虑了图像中具有某种属性的像素，从某种意义上说它是一种残缺的直方图，但正是由于这种残缺性，使属性直方图能够舍弃通常意义直方图中的一些具有一定先验知识的干扰成分或具体问题不关心的成分，而简化直方图，从而使基于直方图的图像处理方法得到简化和变得可行。对于同一幅图像，Q 不同，相应的属性直方图也不同，因此同一幅图像可对应多个属性直方图，这一点与通常意义的直方图不同；但正是由于这种不同，使用时可通过改变 Q 而得到同一幅图像的不同的属性直方图，这使属性直方图的使用较通常意义的直方图更为灵活。如果 $Q=\Omega$（Ω 为论域 X 上的全集），属性直方图变为通常意义的一维直方图，可见通常意义的直方图仅仅是属性直方图的一种特例。利用属性直方图解决问题的关键是如何确定属性直方图，而确定属性直方图的关键是根据具体问题和先验知识构造属性集 Q。Q 的一般构造式为

$$Q=\{(i,j)\mid :\Phi[(i,j)]\} \tag{2-1}$$

式中，$\Phi[(i,\ j)]$ 表示像素 $(i,\ j)$ 具有某种先验知识 Φ，也可以说具有某种约束 Φ。

2.2.2 基于不可分辨关系的子图划分

首先定义条件属性 $C=\{C_1,\ C_2\}$，其中 C_1 为像素灰度值属性，C_2 为噪声属性。设图像分为目标区和背景区，灰度值属性 $C_1=\{C_{10},C_{11}\}$，C_{10}，C_{11} 分别代表两个区域的灰度值特征。噪声属性 $C_2=\{C_{20},C_{21}\}$，C_{20}，C_{21} 分别代表图像上的