



基于模糊 聚类的图像分割

Fuzzy Clustering for Image Segmentation

赵 凤 著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

西安邮电大学学术专著出版基金资助项目

基于模糊聚类的图像分割

Fuzzy Clustering for Image Segmentation

赵 凤 著



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是一部讲述模糊聚类理论及其在图像分割中应用的专著,是以作者十余年科研工作取得的研究成果为基础撰写而成的。本书立足于模糊 c -均值型聚类算法,主要讲述利用图像空间信息的模糊聚类、基于进化算法的模糊聚类以及模糊聚类与谱聚类的结合等内容,着重介绍这些算法在图像分割中的应用。

本书可供模式识别、图像处理及模糊信息处理等方向的研究生、高校教师和科研人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于模糊聚类的图像分割/赵凤著. —西安:西安电子科技大学出版社, 2015.9

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3854 - 6

I. ① 基… II. ① 赵… III. ① 聚类分析-算法-应用-图像分割-研究

IV. ① O212.4 ② TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 227222 号

策划编辑 邵汉平

责任编辑 邵汉平 王 朋

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2015年9月第1版 2015年9月第1次印刷

开 本 787毫米×960毫米 1/16 印张 9.5

字 数 159千字

印 数 1~1000册

定 价 25.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3854 - 6/O

XDUP 4146001 - 1

*** 如有印装问题可调换 ***

序

图像是人类社会活动中最常用的信息载体。根据记录方式的不同,图像可分为两大类:模拟图像和数字图像。目前大多数图像是以数字形式存储的。伴随着计算机技术、通信技术、电子技术的发展和互联网的普及,人们对数字图像的依赖越来越多,人类已进入“数字图像”时代。

图像分割是图像处理和前期视觉中的基本技术,是大多数图像分析及视觉系统的重要组成部分,也是成功进行图像分析、理解与描述的关键步骤。图像分割的目的是把图像中具有均匀性质的不同区域分开。由于图像分割是研制和开发计算机视觉系统、字符识别系统、目标自动获取系统等图像识别和理解系统首先要解决的问题,是目标识别、图像理解、计算机视觉等研究的共同基础,因此历来受到国内外相关学者的高度重视。

聚类分析是多元统计分析的重要内容,也是模式识别的基本方法。聚类分析的目的是将具有某种同一性质的样本自动划分为一类。鉴于图像分割和聚类分析具有的共性,采用聚类算法进行图像分割是国际上流行的一种图像分割方法。

模糊聚类分析是聚类分析的一个分支。鉴于图像本质上具有模糊性,如三维目标投影为二维图像时会有信息损失,边缘、边界、区域、纹理等的定义具有模糊性,对图像底层处理结果的解释带有模糊性,采用模糊聚类分析方式进行图像分割获得了各国研究人员的青睐,各种以图像分割为应用对象的模糊聚类算法相继提出。赵凤博士从攻读硕士研究生至今一直从事着基于模糊聚类的图像分割方法研究,作为其硕士、博士研究成果和成为高校教师后研究工作的一个总结,她归纳整理了自己的研究成果,并结合国内外相关学者的研究成果,撰写了这本专著。该专著叙述了模糊 c -均值型聚类、模糊谱聚类、基于多目标进化的模糊聚类、结合图像局部空间信息和非局部空间信息的模糊聚类,并给出了其应用于图像分割的效果。

本书的出版为有兴趣的读者了解模糊聚类算法和基于模糊聚类的图像分割方法提供了很好的途径。赵凤博士勤奋努力、专注敬业,相信本书的出版既是她研究工作的小结,也是新的研究工作的起点。祝愿她在研究生涯中更上一层楼,取得更大的成就。

范九伦

2015年3月1日

前 言

聚类是一个古老的问题，它伴随着人类社会的产生和发展而不断深化。人类要认识世界就必须区别不同的事物并且认识事物间的相似性，聚类就是按照一定的要求和规律对事物进行区分和分类的过程。在这一过程中没有任何关于类别的先验知识，也没有教师的指导，仅靠事物间的相似性作为类属划分的准则，使其得到的每个类中的模式(样本)是相似的，而不同类之间的模式(样本)差别较大。聚类源于很多领域，包括数学、计算机科学、统计学、生物学和经济学等。

模糊聚类算法是聚类算法最重要的一个分支，该类算法采用模糊的方法来进行聚类，给出了样本对类别的不确定性程度，符合现实世界中事物具有的亦此亦彼性质，更能客观地反映现实世界。目前，模糊聚类算法已经成功地被应用于模式识别、数据挖掘和图像处理等领域中。在图像分割领域，模糊聚类已经成为最常用的方法之一。

本书是一本关于模糊聚类在图像分割方面应用的专著，主要以作者科研工作取得的研究成果为基础撰写而成。本书立足于传统的模糊聚类，详细讲述了模糊聚类领域最新的研究进展，着重介绍了这些算法在图像分割中的应用。本书涉及的内容均为发表在国内外有影响的学术期刊上的研究成果，都经过了反复的实验验证。因此，本书可供模式识别、模糊信息处理及图像处理等方向的教学、科研人员阅读参考。

本书的撰写得到了西安邮电大学范九伦教授、西安电子科技大学焦李成教授的指导和帮助，并承蒙恩师范九伦教授作序，在这里表示衷心的感谢。非常感谢西安邮电大学通信与信息工程学院和科技处的大力支持。此外，感谢西安电子科技大学出版社的编辑老师，是他们的辛勤劳动，使本书得以顺利出版。为了使本书既包含模糊聚类的基础理论和方法，又能反映模糊聚类的最新研究成果。本书在撰写过程中参考了国内外许多同行的论文和著作，引用了其中的观点和结论，在此对原作者表示谢忱。

本书获得了西安邮电大学学术专著出版基金、国家自然科学基金(No. 61102095)、陕西省自然科学基金基础研究计划项目(No. 2012JQ8045)和陕西省科技计划项目(No. 2014KJXX-72)的资助。

由于时间仓促，作者学识有限，本书难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

赵 凤

2015年4月6日于西安

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 图像分割	1
1.1.1 基于阈值的分割方法	2
1.1.2 基于聚类的分割方法	3
1.1.3 基于区域的分割方法	4
1.1.4 基于边缘的分割方法	5
1.1.5 基于图论的分割方法	5
1.2 模糊聚类应用于图像分割	7
1.3 本书的结构	10
参考文献	12
第 2 章 模糊 c -均值型聚类	15
2.1 模糊 c -均值聚类算法	15
2.1.1 数据集 X 的 c 划分	16
2.1.2 硬 c -均值聚类算法	16
2.1.3 模糊 c -均值聚类算法	17
2.2 核模糊 c -均值聚类算法	19
2.2.1 核表示及核函数	20
2.2.2 核模糊 c -均值聚类算法	21
2.3 抑制式模糊 c -均值聚类算法	22
2.3.1 竞争学习机制	22
2.3.2 抑制式模糊 c -均值聚类算法	23
2.4 广义模糊 c -均值聚类算法	24
2.5 可能性模糊 c -均值聚类算法	25
2.6 经典模糊 c -均值型聚类算法性能分析	26
参考文献	28
第 3 章 利用图像局部空间信息的模糊聚类	30
3.1 引入邻域空间限制项的模糊 c -均值聚类算法及其核算法	30
3.1.1 引入邻域空间限制项的模糊 c -均值聚类算法	30
3.1.2 基于简化邻域空间限制项的模糊 c -均值聚类算法	31

3.1.3 基于简化邻域空间限制项的核模糊 c -均值聚类算法	33
3.2 加强模糊 c -均值聚类算法	34
3.2.1 线性加权和图像的构建	34
3.2.2 加强模糊 c -均值聚类算法	34
3.3 快速广义模糊 c -均值聚类算法	35
3.3.1 新颖的线性加权和图像的构建	35
3.3.2 快速广义模糊 c -均值聚类算法	36
3.4 模糊局部信息 c -均值聚类算法	36
3.4.1 融合局部空间信息的模糊因子	36
3.4.2 模糊局部信息 c -均值聚类算法	37
3.5 几种融合图像局部空间信息的模糊聚类算法性能分析	38
参考文献	40
第4章 利用图像非局部空间信息的模糊聚类	41
4.1 图像的非局部空间信息	41
4.2 基于非局部空间信息的模糊 c -均值聚类算法	43
4.3 基于自调节非局部空间信息的模糊 c -均值聚类算法	44
4.3.1 自调节非局部空间信息的获取	44
4.3.2 基于自调节非局部空间信息的模糊 c -均值聚类算法	45
4.4 基于自调节非局部空间信息的快速模糊 c -均值聚类算法	46
4.4.1 自调节非局部空间灰度直方图的构建	46
4.4.2 融合自调节非局部空间信息的快速模糊 c -均值聚类算法	47
4.5 优选抑制式自调节非局部空间模糊 c -均值聚类算法	48
4.5.1 抑制式模糊 c -均值聚类算法存在的问题	48
4.5.2 模糊隶属度优选抑制式策略	48
4.5.3 优选抑制式非局部空间模糊 c -均值聚类算法	49
4.6 几种融合图像非局部空间信息的模糊聚类算法性能分析	49
4.6.1 算法参数讨论	49
4.6.2 合成图像对比实验	51
4.6.3 自然图像对比实验	53
参考文献	55
第5章 基于遗传算法的模糊聚类图像分割	57
5.1 遗传算法	57
5.1.1 染色体及其编码方式	58
5.1.2 适应度函数	60

5.1.3	遗传算法的基本算子	61
5.1.4	遗传算法的参数分析	63
5.1.5	遗传算法的基本步骤	64
5.2	遗传模糊聚类算法	65
5.2.1	遗传模糊聚类算法的适应度函数	65
5.2.2	遗传模糊聚类算法的染色体编码及种群初始化	65
5.2.3	遗传模糊聚类算法的遗传算子设计及停止条件	66
5.2.4	遗传模糊聚类算法的主要流程	66
5.3	融合图像非局部空间信息的遗传模糊聚类算法	67
5.3.1	染色体编码及种群初始化	67
5.3.2	融合图像非局部空间信息的目标函数的设计	68
5.3.3	选择、交叉和变异算子	69
5.3.4	算法主要步骤	69
5.4	融合图像非局部空间信息的遗传模糊聚类算法性能分析	70
	参考文献	72
第 6 章	基于多目标进化模糊聚类的图像分割	74
6.1	多目标优化与多目标进化聚类	74
6.1.1	多目标优化问题的数学描述	75
6.1.2	多目标进化算法的发展	76
6.1.3	NSGA-II 算法	76
6.1.4	多目标进化聚类算法	77
6.2	基于局部空间信息的多目标进化模糊聚类图像分割算法	77
6.2.1	染色体编码及种群初始化	78
6.2.2	融合图像局部空间信息的目标函数的设计	78
6.2.3	选择、交叉和变异算子	79
6.2.4	精英策略	79
6.2.5	最优解的选择	79
6.2.6	实验结果与分析	80
6.3	基于非局部空间信息的多目标进化模糊聚类图像分割算法	82
6.3.1	染色体编码及种群初始化	82
6.3.2	融合图像非局部空间信息的目标函数的设计	83
6.3.3	选择、交叉和变异算子及精英策略	83
6.3.4	最优解的选择	84
6.3.5	实验结果与分析	84

6.4 基于互补空间信息的多目标进化模糊聚类图像分割算法·····	90
6.4.1 融合图像互补空间信息的目标函数的设计·····	91
6.4.2 最优解的选择·····	91
6.4.3 实验结果与分析·····	92
参考文献·····	100
第7章 基于模糊相似性谱聚类的图像分割·····	104
7.1 谱聚类算法简介·····	104
7.1.1 谱图划分准则·····	105
7.1.2 经典的谱聚类算法·····	106
7.2 模糊相似性度量·····	110
7.2.1 经典的相似性度量·····	111
7.2.2 模糊相似性度量·····	112
7.3 基于模糊相似性谱聚类的纹理图像分割·····	115
7.3.1 基于小波变换的纹理特征提取·····	115
7.3.2 算法实现·····	115
7.4 模糊相似性谱聚类的性能分析·····	116
7.4.1 参数敏感性分析·····	118
7.4.2 合成纹理图像分割实验·····	118
7.4.3 遥感图像分割实验·····	122
参考文献·····	124
第8章 基于模糊原型提取谱聚类集成的图像分割·····	127
8.1 聚类集成技术·····	128
8.1.1 聚类集成的基本概念·····	128
8.1.2 聚类集体的生成及共识函数的设计·····	128
8.2 基于模糊原型提取谱聚类集成算法的纹理图像分割·····	131
8.2.1 模糊原型提取谱聚类算法·····	131
8.2.2 模糊原型提取谱聚类集成算法·····	133
8.3 基于模糊原型提取谱聚类集成算法的纹理图像分割性能分析·····	134
8.3.1 合成纹理图像分割实验·····	134
8.3.2 遥感图像分割实验·····	137
参考文献·····	139

第1章 概 述

聚类是按照一定的要求和规律对事物进行区分和分类的过程。在这一过程中没有任何关于类别的先验知识,也没有教师的指导,仅靠事物间的相似性作为类属划分的准则,使其得到的每个类中的样本是相似的,而不同类中样本之间的差别较大。模糊聚类算法是聚类算法中最重要的一个分支,该类算法采用模糊的方法来进行聚类,给出了样本对于类别的不确定性程度,符合现实世界中事物具有的亦此亦彼性质,更能客观地反映现实世界。目前,模糊聚类算法已经成功地被应用于模式识别、数据挖掘和图像处理等领域中。在图像分割方面,模糊聚类已经成为最常用的方法之一。本书着重讨论模糊聚类在图像分割中的应用。

1.1 图像分割

图像是指各种图形和影像的总称,其作为人类感知世界的视觉基础,是人类获取信息、表达信息和传递信息的重要手段。图像处理是指利用计算机对图像进行分析、加工和处理以满足人的视觉心理或者应用需求的技术。常见的图像处理技术有图像编码、图像增强、图像复原、图像分割等。

图像分割是图像处理到图像分析的一个关键步骤,就是将一幅图像划分成若干个具有不同特性且有意义的区域,每个区域具有相似的特征。这里以 $M \times N$ 大小的灰度图像为例,设 $I = \{(x, y) \mid x = 0, 1, \dots, M-1; y = 0, 1, \dots, N-1\}$ 表示图像像素 (x, y) 构成的集合,其中, M 和 N 都是正整数,设 $G = \{0, 1, \dots, 255\}$ 表示灰度级集合,则一幅数字图像就是一个映射 $f: I \rightarrow G$, $f(x, y)$ 表示图像像素 (x, y) 的灰度值,即 $f(x, y) \in G, \forall (x, y) \in I$ 。借助集合概念,对图像分割可以给出如下正式的定义^[1, 2]:

图像分割可看成是将集合 I 划分成满足以下条件的 K 个非空子集 $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_K$ 的过程:

$$(1) \bigcup_{i=1}^K \pi_i = I;$$

- (2) $\pi_i \cap \pi_j = \emptyset$, 对所有的 i 和 $j, i \neq j$;
- (3) π_i 是一个连通区域, $i=1, 2, \dots, K$;
- (4) $P(\pi_i) = \text{TRUE}$, $i=1, 2, \dots, K$, 即每个子区域内部具有相同特性;
- (5) $P(\pi_i \cup \pi_j) = \text{FALSE}, i \neq j$, 即不同的子区域具有不同的特性。

上述定义对图像分割给出了概括性的准则, 也起到了指导图像分割算法设计的作用。

在过去的几十年中, 学者们提出了很多图像分割方法, 主要包括基于阈值的分割方法、基于聚类的分割方法、基于区域的分割方法、基于边缘的分割方法和基于图论的分割方法等。

1.1.1 基于阈值的分割方法

阈值分割方法是图像分割领域出现较早的一类方法, 其基本假设是: 同一目标或背景内的像素点的灰度值具有相似性, 不同目标或背景的像素点在灰度上有差异, 反映在图像的直方图上, 不同的目标、背景则对应不同的峰, 选取的阈值应位于两个峰之间的谷, 从而将各个峰分开。如果只需选取一个阈值, 则称为单阈值分割, 它将图像分为目标和背景两大类; 如果选取多个阈值, 则称为多阈值分割, 此时图像将被分割成多个目标区域和背景。

基于阈值的分割方法首先需要确定合适的阈值, 然后将图像中像素的灰度值与该阈值进行比较, 确定每个像素所属的类别, 最终获得图像的分割结果。很显然, 该类方法的关键和难点就是如何确定合适的阈值。当图像中的目标之间或者目标与背景之间的灰度差异不明显时, 最佳阈值是很难确定的。另外, 阈值化的方法只考虑了图像的灰度信息而没有考虑图像的空间信息, 因此, 当图像中含有噪声或像素灰度具有不均匀性时, 该类方法容易失效。

最大类间方差法是一种自适应的阈值确定方法, 由日本学者大津(Nobuyuki Otsu)于1979年提出, 所以又叫大津法或Otsu法^[3]。Otsu法按照图像的灰度特性, 将图像分成背景和前景两部分。背景和前景之间的类间方差越大, 说明构成图像的这两部分的差别越大, 当部分目标被错分为背景或部分背景被错分为目标时都会导致这两部分差别变小。因此, 使类间方差最大的分割其错分概率最小。图1.1所示为Otsu法在一幅图像上的分割结果。

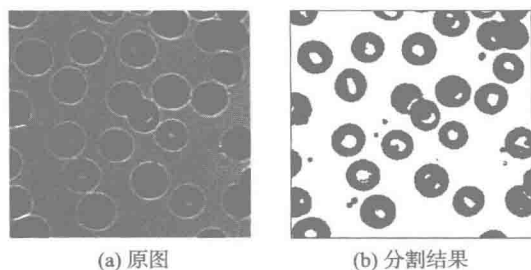


图 1.1 Otsu 法的分割结果

1.1.2 基于聚类的分割方法

聚类是将给定的样本集按某种聚类准则自动划分成若干个子集(类),使得相似的样本尽可能归为同一类,而不相似的样本尽可能划分到不同的类中。由于聚类过程中不使用样本任何的先验信息,所以聚类属于非监督模式识别范畴。

聚类算法研究中的一个重要分支是模糊聚类分析。模糊聚类分析方法采用模糊的方法来进行聚类,即给出了样本对于类别的不确定性程度,符合现实世界中事物具有的亦此亦彼性质,因此,模糊聚类分析更能客观地反映现实世界,成为解决聚类问题有力的分析工具。

模糊 c -均值(Fuzzy c -means, FCM)聚类算法^[4]是模糊聚类分析中的一种经典算法,它以模糊数学理论为基础,是对硬 c -均值(Hard c -means, HCM)聚类算法的推广,通过最优化一个模糊目标函数实现聚类。它不像 HCM 那样认为每个样本只能属于某一类,而是赋予每个样本对于各类的隶属度,用隶属度更好地描述边缘像素亦此亦彼的特点,适合处理事物内在的不确定性。利用模糊 c -均值聚类进行图像分割,可以减少人为的干预,且较适合图像存在不确定性和模糊性的特点。图 1.2 所示为 FCM 算法在一幅图像上的分割结果。

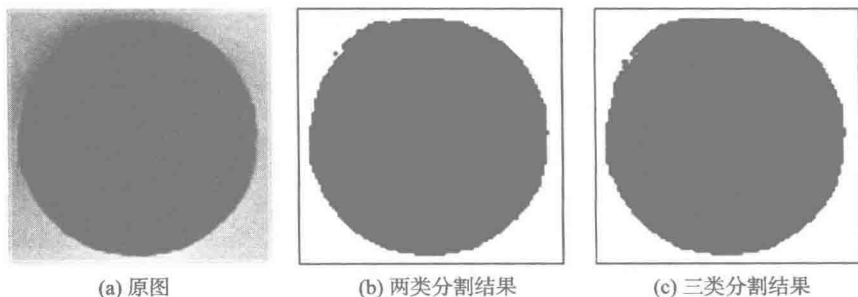


图 1.2 FCM 算法的分割结果

1.1.3 基于区域的分割方法

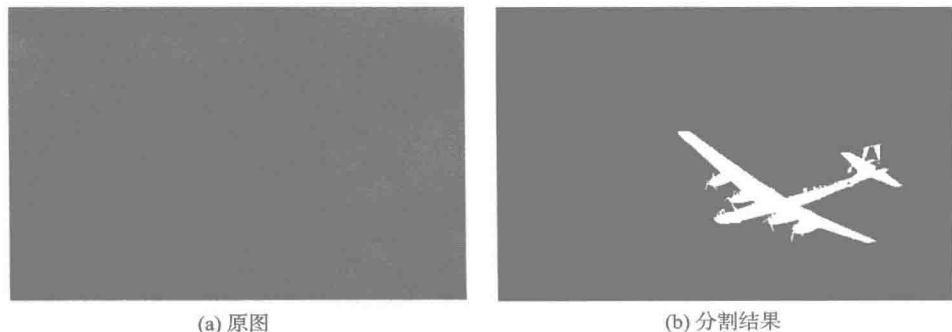
基于区域的分割方法，其假设是同一区域中相邻的像素在视觉上应该有相似的特征，如灰度特征、颜色特征或纹理特征等。该类方法中最常用的算法有区域生长法^[5]和区域分裂合并法^[6]，它们是两种典型的串行区域分割算法，其特点是将分割过程分为顺序的多个步骤，且后续步骤需根据前面步骤的结果进行判断而确定。

区域生长是将成组的像素或区域发展成更大区域的过程。其基本思想是：从一组种子点开始，将与种子点具有相似属性(例如灰度级、纹理和颜色等)的相邻像素附加到生长区域的每个种子上。它是一个迭代的过程，每个种子像素点都迭代生长，直到处理过每个像素，因此形成了不同的区域，这些区域的边界通过闭合的多边形定义。

区域分裂合并是将图像区域按照一定的准则进行分裂或合并的过程。其基本思想是：根据区域的特征一致性进行测度，当图像中某个区域的特征不一致时，就将该区域分裂成四个相等的子区域，当相邻的两个子区域的特征满足一致性时，就将它们合成一个大区域，直至所有区域不再满足分裂合并的条件为止。

需指出，区域分裂的极致情况就是分割成单一像素点，然后按照一定的准则进行合并，在一定程度上可以看成是单一像素点的区域生长。虽然区域生长比区域分裂合并省掉了分裂的过程，但区域分裂合并可以在较大的区域基础上进行合并，而区域生长只能从单一像素点出发进行生长(合并)。

下面以区域生长算法为例，给出其在一幅图像上的分割结果，如图 1.3 所示，初始种子像素点选择在图像中的飞机上。



(a) 原图

(b) 分割结果

图 1.3 区域生长算法的分割结果

1.1.4 基于边缘的分割方法

边缘是图像最基本的特征之一,是指图像中两个不同区域的边界线上连续的像素点的集合,是图像局部特征不连续性的反映,体现了图像中灰度、颜色、纹理等特性的突变。基于边缘的图像分割方法也是人们较早研究的分割方法之一,它是建立在边缘上像素的灰度会呈现出阶跃式变化这一观测基础上的,其主要步骤为:首先检测出图像中可能的边缘点,然后利用边缘闭合技术得到封闭的边缘,最后对边缘构成的区域进行划分以获得图像的分割结果。

边缘检测技术在基于边缘的图像分割方法中起至关重要的作用。根据边缘上像素的灰度会呈现出阶跃式变化这一特性,一般常用微分算子进行边缘检测^[7]。常见的微分算子有 Roberts 算子、Prewitt 算子、Sobel 算子、Laplacian 算子和 Kirsh 算子等。在实际应用中,各种微分算子常用小区域模板来表示。图像边缘是利用模板和图像卷积得到的。对于要处理的图像,由于噪声和边缘的关系,会给边缘检测带来一定的难度。针对不同的图像,所采用的边缘检测算法也不尽相同。下面以 Sobel 边缘检测算子为例,给出其在一幅图像上的分割结果,如图 1.4 所示。



图 1.4 基于 Sobel 边缘检测的图像分割结果

1.1.5 基于图论的分割方法

近年来,基于图论的图像分割方法成为图像分割领域的一个新的研究热点。它的基本思想是将图像分割问题转化为图像像素的最优划分问题。具体来说,该类方法把图像中的像素看成图的结点,结点之间边的权重采用两个像素间的相似性程度表示,例如灰度、颜色、位置或其他局部分布的差别。这样就将一幅图像转化为一个带权无向图,然后采用合适的图划分准则对无向图进行划分来得到图像的分割结果。

图论在图像分割中的应用最早可以追溯到 1971 年,Zahn 基于图论的最小生成树理论,提出了一种基于最小生成树的图像分割方法^[8]。2000 年,Shi 和

Malik 提出了一种基于规范切准则的图像分割算法^[9], 这是基于图论的图像分割方法中的一种经典算法, 该算法同时兼顾了同一区域内像素间相似性大和不同区域的像素之间的相似性小的原则, 获得了良好的分割效果。然而, 该算法的计算复杂度较高, 使其实际应用受到了一定的限制。为了降低谱聚类算法的计算复杂度, Fowlkes 等人^[10]于 2004 年提出使用 Nyström 逼近技术来优化规范切准则, 即在一个采样样本集上求解图划分, 然后将得到的解推广到整个数据集。目前, 基于图论的图像分割方法的研究主要集中在以下几个方面:

- (1) 谱图划分准则的设计。
- (2) 如何优化图划分准则。
- (3) 基于图论的图像分割快速算法的设计。

下面以 Shi 和 Malik 提出的规范切图像分割算法^[9]为例, 给出其在一幅图像上的分割结果, 如图 1.5 所示。需要指出的是, 规范切图像分割方法首先通过提取图像的边缘来获得像素间的拉普拉斯矩阵, 然后对该矩阵的特征向量进行聚类以获得最终的分割结果, 因此, 我们在图 1.5 中分别对图像的边缘检测结果、拉普拉斯矩阵的特征向量(由于是分两类, 所以展示前两个特征向量)和最终的分割结果进行了展示。



图 1.5 基于规范切的图像分割结果

1.2 模糊聚类应用于图像分割

实际上,图像在本质上具有模糊性,如三维目标投影为二维图像时会有信息损失;边缘、边界和纹理等图像特征的定义具有模糊性;对图像底层处理结果的解释带有模糊性^[11, 12]。所以,利用模糊理论解决图像分割问题有其内在的必然性和合理性,基于模糊聚类的图像分割方法越来越受到广大学者的关注。

模糊 c -均值(FCM)聚类算法^[4]是最经典的模糊聚类算法,与硬 c -均值(HCM)聚类算法相比,FCM 算法为每一个图像像素的归属引入了模糊性,使得 FCM 算法可以保留原始图像中更多的信息。然而,FCM 算法最大的缺点是没有利用图像中任何的空间信息,使得算法对于图像中的噪声敏感,无法在含噪图像分割中获得满意的结果。鉴于此,研究者们提出了很多利用图像的空间信息指导模糊聚类的算法^[13~16]。首先,Ahmed 等人^[14]引入一个空间邻域项到 FCM 的目标函数中,提出了结合空间信息的模糊 c -均值聚类算法(简称为 FCM-S),并把该算法应用到了核磁共振(MR)图像的分割当中。为了降低 FCM-S 算法的复杂度,Chen 和 Zhang^[13]提出了 FCM-S 算法的两个改进算法,FCM-S1 和 FCM-S2 算法。此外,Chen 和 Zhang 还提出利用核诱导距离代替欧式距离,提出了 FCM-S1 和 FCM-S2 算法的核版本,即 KFCM-S1 和 KFCM-S2 算法。众所周知,图像中灰度级的数目远远少于图像中像素的数目。基于这个事实,Szilagyi 等人^[15]提出了加强模糊 c -均值聚类算法(简称为 EnFCM),试图进一步提高图像分割的速度。在该算法中,首先利用原始图像和其均值滤波图像定义一个线性加权和图像,然后在该图像的灰度直方图上进行图像聚类。需要指出的是,EnFCM 算法获得了与 FCM-S 算法相当的分割性能,并大幅度降低了计算复杂度。随后,Cai 等人^[16]提出了快速广义模糊 c -均值聚类算法(简称为 FGFCM)。FGFCM 算法首先利用原始图像的像素邻域窗内的灰度和空间位置定义了一个新颖的线性加权和图像,然后在该图像的灰度直方图上进行图像聚类。与 EnFCM 算法类似,FGFCM 算法获得满意分割结果的同时,耗费的运行时间较少。近来,Krinidis 和 Chatzis^[17]提出了模糊局部信息 c -均值聚类算法(简称为 FLICM),该算法通过构建融合局部空间信息的模糊因子来抑制图像噪声和保持图像细节,在含噪图像分割上取得了较好的分割性能。鉴于以上这些算法都利用像素点的邻域空间信息指导聚类过程,本书将该类算法统称为基于图像局部空间信息的模糊聚类算法。

需要指出的是,当图像被噪声严重污染时,像素的邻域像素也可能被污染。此时,像素的局部空间信息无法在含噪图像分割中发挥积极的指导作用,

因此,基于图像局部空间信息的模糊聚类算法无法获得满意的分割结果。实际上,对于每一个像素,图像中存在很多与它具有相似邻域结构的像素。与仅仅利用当前像素的邻域像素获得空间信息相比,利用和当前像素具有相似邻域结构的像素来获得空间信息显然是更合理的,这种空间信息被称为非局部空间信息。与局部空间信息相比,这种空间信息更加充分地挖掘了图像中的空间结构信息。

Zhao 等人^[18]首先利用每个像素的非局部空间信息定义了一个新颖的空间限制项,并将其引入到 FCM 的目标函数中,构造了融合非局部空间信息的模糊聚类目标函数,最后采用迭代算法获得最终的图像分割结果,这种结合非局部空间信息的模糊聚类图像分割算法被称为基于非局部空间信息的模糊 c -均值聚类算法(简称为 FCM-NLS)。大量实验表明 FCM-NLS 能在一定程度上克服 FCM 算法对于图像噪声的敏感性,在含噪图像分割中取得了优于基于局部空间信息的模糊 c -均值聚类算法的分割性能。

需要指出的是,获得非局部空间信息时需要设置非局部滤波参数 h ,该参数对于非局部空间信息的质量有较大影响,进而对基于非局部空间信息的模糊 c -均值聚类算法的分割性能有一定的影响。实际上,参数 h 的确定是一个公开的问题。如果 h 取值过大,会使得非局部空间信息损失图像细节信息,特别是图像边缘信息;如果 h 取值过小,会使得非局部空间信息仍然受到图像噪声的影响。通过大量实验表明,参数 h 应该根据含噪图像的噪声水平来确定^[18]。在机器学习和模式识别领域,利用局部结构进行学习已经成为一个趋势^[19, 20]。Zhao 等人^[21]提出利用像素搜索窗内的统计特性来获得非局部滤波参数 h 。在该策略中,所有像素不是采用同样的 h 取值,而是为每一个像素计算一个自适应的 h 取值。对于像素 j ,它的滤波程度参数 h_j 可以通过学习其搜索窗内的统计特性来获得。在此基础上,Zhao 等人^[21]提出基于自调节非局部空间信息的模糊 c -均值聚类算法(FCM-SNLS)。该算法首先利用像素的自调节非局部空间信息定义一个空间限制项,然后把这个空间限制项引入到 FCM 算法的目标函数中。众所周知,图像中灰度级的数目远远少于图像中像素的数目。因此,采用图像灰度直方图上的聚类代替像素的聚类可以明显提高图像分割的速度。鉴于此,Zhao 等人^[21]又提出了基于自调节非局部空间信息的快速模糊 c -均值聚类算法(FFCM-SNLS),该算法首先利用所有像素的自调节非局部空间信息构建自调节非局部滤波图像,然后在其灰度直方图上进行聚类以获得最终的图像分割结果。实验结果表明,基于自调节非局部空间信息的两个模糊聚类算法(即 FCM-SNLS 和 FFCM-SNLS)对于算法参数的取值不敏感,克服了基于非局部空间信息的模糊 c -均值聚类算法对于参数 h 取值的依赖性,表明了