

分类号_____

密 级_____

U D C _____

编 号 _____

成都理工大学

硕 士 学 位 论 文

题名和副题名 基于阈值的图像分割技术在简牍中的应用

作 者 姓 名 张阳洁

指导教师姓名及职称 王绪本 教授

申请学位级别 硕士 专业名称 信号与信息处理

论文提交日期 _____ 论文答辩日期 2010 年 6 月

学位授予单位和日期 成 都 理 工 大 学 (年 月)

答辩委员会主席 _____

评阅人 _____

二 0 一 0 年六月

分类号_____

学校代码: 10616

U D C _____

密级_____ 学号: _____

成都理工大学硕士学位论文

基于阈值的图像分割技术在筒牍中的应用

张阳洁

指导教师姓名及职称 _____ 王绪本 教授

申请学位级别 _____ 硕士 _____ 专业名称 _____ 信号与信息处理

论文提交日期 _____ 论文答辩日期 _____

学位授予单位和日期 _____ 成 都 理 工 大 学 (_____ 年 _____ 月)

答辩委员会主席 _____

评阅人 _____

2010 年 6 月

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得成都理工大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的人员对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：

年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解成都理工大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权成都理工大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

学位论文作者签名：

学位论文作者导师签名：

年 月 日

基于阈值的图像分割技术在简牍中的应用

作者简介: 张阳洁, 女, 1984 年 9 月生, 师从成都理工大学王绪本教授, 2010 年 6 月毕业于成都理工大学信号与信息处理专业, 获得工学硕士学位。

摘要

图像分割是由图像处理到图像分析的关键步骤, 也是一种基本的计算机视觉技术。这是因为图像的分割、目标的分离、特征的提取和参数的测量将原始图像转化为更抽象更紧凑的形式, 使得更高层的分析和理解成为可能。

简牍是我国独特的文字载体, 具有很高的史料价值。由于它被长年埋于地下, 导致文字模糊, 受损严重, 为文字识别带来困难。因此, 对简牍图像进行分割处理, 就成了一项不可缺少的工作。

本文先对图像分割技术做了一个概括性的描述, 重点介绍了基于阈值的图像分割方法。本文主要采用基于模糊度的阈值分割方法和基于遗传算法的最大类间方差法对简牍图像实现图像分割处理。

1. 阈值分割法是图像处理最基本的分割方法, 它具有计算量小、实现简单等优点, 在图像分析和识别中起着重要作用。图像阈值化就是按照灰度级, 将图像空间划分成与现实景物相对应的一些有意义的区域, 各个区域内部灰度级是均匀的, 而相邻区域灰度级是不同的, 其间存在边界。它的划分可以通过从灰度级出发, 选取一个或多个阈值来实现。

2. 本文从简牍图像的特点出发, 选取基于模糊度的阈值分割方法, 考虑到此方法中人工选取窗宽的局限性, 引入了自适应的模糊阈值分割算法。它可以根据直方图峰值分布自动选取窗宽大小, 大大提高简牍图像分割效率; 另外, 由于考虑到窗宽选取依赖直方图的峰值分布, 对于不具备直方图双峰特性的简牍图像分割将会导致失败, 本文采用一种直方图变换新方法, 用来解决这一难题, 使大多数简牍图像达到预期分割效果。

3. 本文以 Otsu 理论为基础, 在简牍图像分割中引入遗传算法。重点研究了基于遗传算法的最大类间方差法的图像分割方法。由于 Otsu 算法不仅考虑图像的灰度信息, 还考虑领域空间信息, 可以保证分割的精度, 而遗传算法可以大大提高阈值寻优的速度。因此, 将两种方法相结合分割简牍图像, 不但提高寻优速度, 而且保证了分割精度, 很好的实现简牍图像的分割。

关键词: 图像分割 阈值 模糊度 遗传算法 Otsu 算法

Threshold-based image segmentation in the image slips

Introduction of the author: Zhang Yangjie, female, was born in September, 1984 whose tutor was Professor Wang Xuben, She graduated from Chengdu University of Technology in Signal and Information Processing major and was granted the Master Degree in June, 2010.

Abstract

Image segmentation by image processing to image analysis of the key steps, is also a basic computer vision technology. This is because the image segmentation, object separation, feature extraction and the parameters in the original image into a more abstract and more compact form, making more high-level analysis and understanding possible.

Bamboo slips is China's unique carrier with high historical value. Because it is long buried, resulting in the text fuzzy, it was badly damaged, the character recognition difficult. Therefore, bamboo slips were segmented text, it becomes an indispensable task.

The article focuses on image segmentation techniques are a general description, focusing on threshold-based segmentation method. This is mainly based on fuzzy degree of segmentation method based on genetic algorithm and maximum difference between the image on the bamboo slips for image segmentation.

1. Threshold segmentation method is the most basic image processing segmentation method, which has computation, and simple to achieve, in image analysis and recognition play an important role. Image thresholding is in accordance with the gray level, the image space is divided into scenes with reality that corresponds to some meaningful regions, each region within the gray level is uniform, while the adjacent region of gray scale is different, there remain boundary. It's divided by starting from the gray level, select one or more threshold values to achieve.

2. From bamboo slips image's characteristics, select the degree based on fuzzy threshold algorithm, consider this method of artificial selection of bandwidth limitations, the introduction of fuzzy adaptive threshold algorithm. It can be automatically selected according to the histogram peak distribution of the size of window width, greatly improved the efficiency of image segmentation bamboo slips;

Moreover, taking into account the bandwidth selected dependent histogram peak distribution histogram peaks that do not have the characteristics of image segmentation bamboo slips will result in failure to adopt a histogram transform this new approach to solve this problem, so most of the bamboo slips image to achieve the desired segmentation.

3. In Otsu theory, image segmentation in the bamboo slips into genetic algorithm. Focuses on the genetic algorithm based on the maximum difference between two classes of image segmentation As the Otsu algorithm not only consider the image intensity data, but also to consider the field of spatial information, can guarantee the accuracy of segmentation, while the genetic algorithms can greatly improve the speed threshold optimization. Therefore, the combination of the two methods split bamboo slips image, not only to improve the searching speed, but also to ensure the accuracy of segmentation, to segment bamboo slips well.

Keywords: Image Segmentation Threshold Ambiguity Genetic Algorithm Otsu algorithm

目 录

第 1 章 引言.....	1
1.1 选题依据与研究意义.....	1
1.2 国内外发展现状.....	2
1.3 本文的主要研究内容与思路.....	2
1.4 本文的主要工作.....	4
第 2 章 图像处理.....	5
2.1 图像处理概述.....	5
2.1.1 图像处理概念.....	5
2.1.2 图像处理技术的分类.....	5
2.1.3 计算机图像处理方法.....	6
2.2 图像描述.....	7
2.2.1 像素.....	7
2.2.2 像素邻域和邻接.....	7
2.3 图像分割.....	9
2.3.1 图像分割的定义.....	9
2.3.2 图像分割的分类.....	9
2.3.3 图像分割评价.....	11
第 3 章 图像的阈值分割.....	12
3.1 阈值分割的原理.....	12
3.2 阈值分割的定义.....	12
3.3 阈值分割的分类.....	12
3.4 阈值选取的方法分类.....	13
3.4.1 依赖像素的阈值选取.....	13
3.4.2 依赖区域的阈值选取.....	17
3.4.3 依赖坐标的阈值选取.....	18
3.4.4 空间聚类.....	19
3.5 小结.....	20
第 4 章 基于模糊阈值的简牍图像分割.....	21
4.1 基于模糊度的图像分割方法.....	21
4.1.1 图像的模糊特征平面与模糊度.....	21
4.1.2 图像分割算法实现.....	23
4.2 自适应模糊阈值分割.....	24
4.2.1 模糊阈值分割.....	24
4.2.2 自适应的模糊阈值分割法.....	25
4.3 图像阈值分割逼近算法.....	27
4.3.1 算法原理.....	27
4.3.2 算法描述.....	29
4.4 简牍图像分割结果及分析.....	29
第 5 章 基于遗传算法的简牍图像分割.....	33
5.1 遗传算法.....	33
5.1.1 遗传算法的概念.....	33
5.1.2 遗传算法的特点.....	33

5.1.3 遗传算法的构成要素	33
5.1.4 标准遗传算法的基本流程	36
5.2 最大类间方差 (Otsu) 算法	37
5.2.1 Otsu 算法的基本原理	37
5.2.2 基于遗传算法的最大类间方差分割法描述	40
5.3 简牍图像分割结果及分析	41
总结和展望	46
致 谢	47
参考文献	48

第 1 章 引言

1.1 选题依据与研究意义

文物是民族的象征，国家的标记，它作为历史文化的物质载体和实物见证，具有重要的科学、历史和艺术三大价值。文物不仅对弘扬民族精神、进行爱国主义思想道德建设和普及文化知识等社会主义精神文明建设有重要意义，而且对经济建设、科学研究和旅游事业发展等物质文明建设具有重要的意义。因此，如何整理文物信息资料，得到文物原有信息，是文物保护工作的重点^[1]。

改革开放以来，我国文化遗产保护事业虽然取得了很大成绩，但面临的形势却更加严峻，文物在遭受破坏、盗窃、盗掘和流失的同时，还受到一些错误的修复理念、技术带来的危害^[2]。当前很多博物馆都积压了大量待修复的文物，同时还有大量新出土的文物不断送入博物馆，而文物修复技术人员严重缺乏，使得靠传统的修复技术根本无法满足目前文物修复的需要，而且传统的修复工作主要靠手工来完成，在修复的过程中又造成了大量文物的再损坏^[3]。已修复文物在展出过程中，由于技术原因得不到保护，文物的再损坏也普遍存在。所以，为了使文物免遭再损坏或者减少损坏，大量珍贵文物只能沉睡于地下库房或地下，无缘得见天日。因此，为了有效的保护珍贵历史文物，除了国家的大力支持，培养大批文物保护人才外，研究新的文物保护技术也迫在眉睫。

简牍是我国古代独特的文字载体，早在商周时代已经出现，直到晋代以后才渐渐退出历史舞台，它与殷墟甲骨、敦煌文书、清代故宫档案一起被誉为研究中国古代史的四大“资料库”，具有极高的史料价值。然而艰巨的工作也随着这些珍贵历史资料的出土而来，除了修复和永久保存工作外，更重要的是如何清晰准确地显现这些文字。由于文字材料可以使我们能够直接了解历史，所以文字材料的出土是考古发掘中最宝贵的部分，其意义远在其它文物之上。这些文字存在于简牍上，其可靠程度大大超过了文献的记载，把具体的简牍内容同传世文献记载相结合用来证史、补史、纠谬、辑佚和校勘，对于我国历史的准确性研究具有重要的意义。因此，简牍保护及对其信息的提取和分析对于原史考古学和历史考古学的研究有着很重要的意义。

本论文的选题是基于长沙博物馆出土的简牍文物。本论文的重点是在简牍图像数据库的基础上，根据简牍图像的特点，选取适合的方法进行图像分割、匹配处理。这一系列工作的完成将为后续简牍文字笔画的修复、文字识别等工作提供保证，同时减少简牍研究人员的工作量，提高工作效率，利于考古专家提取与研究简牍文字信息。

1.2 国内外发展现状

随着计算机技术的快速发展,计算机在文物领域得到使用推广,除了利用计算机进行行政和业务的管理外,各文物管理部门和单位都加强了计算机进行文物信息保护的研究和探索。

在发达国家,很多博物馆广泛使用计算机对文物资料进行管理,下大力气将文稿和图片资料数字化输入到计算机内,最近大英图书馆的国际敦煌项目就将两万余幅珍贵的敦煌藏经洞手稿和画卷输入计算机中,并建立了相应的数据库,在 Internet 网上供人们检索和查询;日本奈良国立文化财在对飞鸟时期遗址石雕进行全方位整体立体摄影的基础上,产生出数字复原像^[4]。

在我国,早在 1987 年,煤炭部航测遥感公司曾对陕西省的两处重点文物保护单位:西安东岳庙、耀县药王山的近 500 平方米古代壁画进行摄影成像,并应用计算机图像处理技术对部分壁画进行边缘增强试验;陕西秦兵马俑博物馆对出土文物编制包括实物图形在内的文物资料计算机档案,其中包括对修复保护工作的记录;上海博物馆和湖南省博物馆对馆藏文物制作图像和文字计算机档案;新近一些著名的文物景点如山东曲阜孔庙和北京故宫等相继投巨资建成高性能计算机系统,并开发出若干虚拟实景漫游模型^[4]。

另外,在对简牍图像处理上,刘瑛^[5]采用八邻域灰度差值算法,有效的从简牍图像的复杂背景中提取出文字,然后采用垂直投影法切分出各列文字,并利用空洞填充算法填充文字空白区域;张伟^[6]采用 Canny 边缘算子对简牍文字的轮廓曲线进行提取,并借助计算机辅助设计中的人机对话方式来修复提取的文字轮廓,最后对文字进行填充处理,很好的实现了对简牍文字的修复;覃庆炎^[7]采用 Retinex 算法消除简牍图像的退化影响,并用 gain/offset 进行修正,实现简牍图像的增强。张娜^[2]采用一种基于 HSV 空间的增强算法,对简牍图像进行增强处理,随后采用了阈值算法和空间生长法对简牍图像进行分割处理。

1.3 本文的主要研究内容与思路

本论文主要以长沙简牍博物馆所出土的原始简牍图像为研究对象,以科学的发展观为指导,以综合研究与分析方法为手段,引入新的思路、新的方法、新的技术于简牍图像处理领域。

图像处理^[8]着重强调在图像之间的转换,泛指各种图像技术,但比较狭义的图像处理主要满足对图像进行各种加工以改善图像的视觉效果并为自动识别打基础,或对图像进行压缩编码以减少所需存储空间或传输时间,满足给定传输通路的要求。

图像分割^[9]是指把图像分成各具特点的区域并提取出感兴趣目标的技术和过程。图像分割是由图像处理到图像分析的关键步骤,也是一种基本的计算机视觉技术。这是因为图像的分割、目标的分离、特征的提取和参数的测量将原始图像转化为更抽象、更紧凑的形式,使得更高层的分析和理解成为可能。

图像阈值分割是图像分割的基本方法之一,其历史可追溯到近 40 年前,现已提出了大量的分割算法。基于灰度图像阈值分割方法就是先确定一个处于图像灰度取值范围之中的灰度阈值,然后将图像中各个像素的灰度值都与这个阈值相比较,并根据比较结果将对应的像素分为两类。这两类像素一般分别属于图像的两类区域,进而达到图像分割的目的。从该方法中可以得出结论,确定一个最优阈值是分割的关键。

基于模糊系统理论的图像分割技术^[10],一般简称为图像的模糊分割技术,就是指那些用模糊概念来描述图像的性质、特征和关系,用模糊集与系统来理解、表示和处理分割过程的图像处理方法。

遗传算法是一类借鉴生物界的进化规律(适者生存,优胜劣汰遗传机制)演化而来的随机化搜索方法。其主要特点是直接对结构对象进行操作,不存在求导和函数连续性的限定;具有内在的隐并行性和更好的全局寻优能力;采用概率化的寻优方法,能自动获取和指导优化的搜寻空间,自适应地调整搜索方向,不需要确定的规则。遗传算法的这些性质,已被人们广泛地应用于组合优化、机器学习、信号处理、自适应控制和人工生命等领域。它是现代有关智能计算中的关键技术。

本论文的研究重点是图像分割,运用基于模糊度的阈值图像分割方法和基于遗传算法的最大类间方差分割方法,对已有的原始简牍图像进行图像分割、增强及匹配等处理,将文字与背景分离,很好的达到分割效果,提取出有用的文字信息,为以后的文字笔画修复以及文字识别工作打下基础,提高研究人员的工作效率,降低人工的工作强度,有利于研究人员对简牍信息进行提取和分析,并进行长久保存。下图为本文主要技术路线图,如图 1-1 所示:

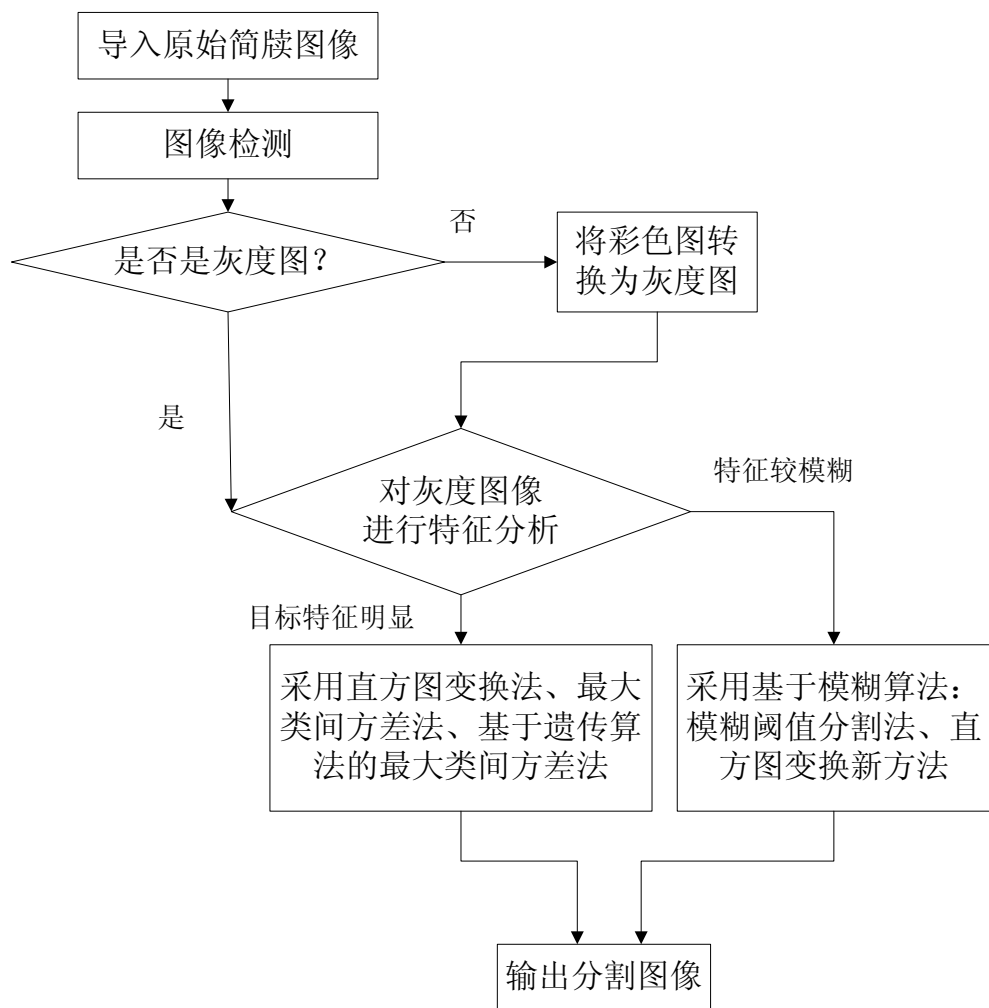


图 1-1 技术路线图

1.4 本文的主要工作

本论文主要以长沙简牍博物馆所出土的原始简牍图像为研究对象，根据原始简牍图像的特点，采用先进的图像分割算法对简牍图像进行分割。所做的工作如下：

1. 通过阅读大量国内外参考文献，对图像分割算法有了全面而系统的了解，并对其中几种图像分割算法的基本原理及推广做了深入研究；
2. 对 MATLAB 软件进行系统学习，重点学习了 MATLAB 在图像处理中的应用；
3. 系统学习了基于模糊度的阈值图像分割方法，通过对简牍图像的灰度图进行多次分割，得到最佳阈值，进而达到预期分割效果；
4. 在最大类间方差法的基础上，引入遗传算法，并将两者相结合，运用到简牍图像的分割中，达到图像分割目的。

第 2 章 图像处理

2.1 图像处理概述

2.1.1 图像处理概念

图像是用各种观测系统以不同形式和手段观测客观世界而获得的,可以直接或间接作用于人眼并进而产生视知觉的实体。包括照片、绘图、动画、视像,甚至文档等^{【11】}。

数字图像处理是指用计算机及其他有关的数字技术对图像施加某种运算和处理,从而达到某种预期的目的。具体来说,数字图形图像的处理是指电子计算机为信息处理的核心,借助各种输入、输出和存储设备,以各种图形图像处理软件为操作工具,完成对图形图像的采集、绘制、建模、变换、存储、加工、传输和输出等工作^{【12, 13】}。

2.1.2 图像处理技术的分类

图形图像处理技术主要依赖于具体的处理方法。从理论上讲,它包括图像增强、数据编码和传输、平滑、边缘锐化、分割、特征提取、图像识别与理解等内容^{【12, 14】}。

(1) 图像增强技术

图像增强^{【11】}是指对图像进行加工,以得到对具体应用来说视觉效果更“好”,更“有用”的图像,或者说改进输入图像的视觉质量的技术和过程。图像增强技术常要借助人的视觉系统的特性进行获得主观上改善的视觉效果。图像增强所采用的方法可分为空域方法和频域方法。空域增强方法指在图像空间直接对图像进行增强的方法,而频域增强方法指把图像变换到频域再对图像(间接)进行增强的方法。虽然图像分析的目的是获得对其中目标的客观测量数据,采用图像增强技术有利于将感兴趣的目标凸显出来,帮助监测和分割。

(2) 图像平滑技术

图像平滑处理技术^{【12】}主要用于图像噪声处理,即去除实际成像过程中,因成像设备和环境所造成的图像失真,提取出其中的有用信息。实际所获得的图像在形成、传输、接收和处理过程中,不可避免地存在着外部干扰和内部干扰,如光电转换过程中敏感元件灵敏度的不均匀性、数字化过程的量化噪声、传输过程中的误差以及人为因素等,均会使图像变质。因此,去除噪声,恢复原始图像是

数字图像处理中的一个重要内容。

(3) 图像数据编码和传输技术

图像数据编码指对图像进行加工,采用新的表达方式以减小表示图像所需数据量的技术和过程。一般图像数据编码在对图像进行存储、处理和传输等之前进行,而在这之后需要将压缩了的图像解压缩以重建原始图像或其近似图像。

(4) 边缘锐化技术

图像边缘锐化处理主要是为了加强图像的轮廓边缘和细节,形成完整的物体边界,达到物体从图像中分离出来或将表示同一物体表面的区域检测出来的目的。这项技术,是早期视觉理论和算法中的基本问题,也是影响实际视觉效果的重要因素之一。

(5) 图像分割技术

图像分割是指将图像分成若干部分,每一部分对应于某一物体表面。在进行每一部分的灰度或纹理应符合某一种均匀测度度量,其本质是对像素进行分类。分类的依据主要包括像素的灰度值、颜色、频谱特性、空间特性或纹理特性等。图像分割是图像处理技术的基本方法之一,被广泛应用于诸如染色体分类、景物理解系统、机器视觉等方面。

(6) 图像识别技术

图像识别过程实际上是一个标记过程,即利用识别算法来辨别场景中已分割好的各个物体,给这些物体赋予特定的标记,它是视觉系统必须完成的一个任务。

2.1.3 计算机图像处理方法

计算机图像处理方法^[15]大致可分为两大类,即:空域法和变换域法。

1. 空域法

这种方法是把图像看做是平面中各个像素组成的集合,然后直接对这一二维函数进行相应的处理。空域处理法主要有下面两大类:

1) 邻域处理法

其中包括:梯度运算、拉普拉斯算子运算、平滑算子运算和卷积运算。

2) 点处理法

包括灰度处理,面积、周长、体积、重心运算等。

2. 变换域法

计算机图像处理的变换域处理方法是首先对图像进行正交变换,得到变换域系数阵列,然后再施行各种处理,处理后再反变换到空间域,得到处理结果。这类处理包括:滤波、数据压缩、特征提取等。

2.2 图像描述

2.2.1 像素

图像可分解为许多个单元,每个单元叫做图像元素,简称像素^[9]。一幅图像在空间上的分辨率与其包含的像素个数成正比,像素个数越多,图像的分辨率越高,也就是越有可能看出图像的细节。

要表示图像就需要表示其各个像素。最常用的图像表示方法是 will 一幅图像用一个 2-D 函数 $f(x,y)$ 来表示,其中 x 和 y 表示像素的位置,而 f 则代表像素的数值。在这种表示方法中,图像与函数元素是一一对应的。

比较直观地,一幅图像可表示为一个 2-D 的 $M \times N$ 的矩阵(其中每个元素表示一个像素, M 和 N 分别为图像的行数和列数):

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1N} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2N} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ f_{M1} & f_{M2} & \cdots & f_{MN} \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

有时候用矢量表示图像也比较方便,即:

$$F = [f_1 \quad f_2 \quad \cdots \quad f_N] \quad (2-2)$$

2.2.2 像素邻域和邻接

对于任意像素 (i,j) ,把包含该像素在内的一个集合称为像素 (i,j) 的邻域^[15]。

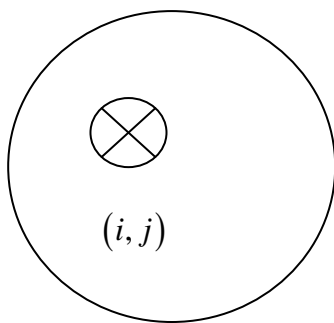


图 2-1 像素 (i,j) 的邻域

从直观上看, 这是像素 (i, j) 及其附近某些像素所形成的一个小区域。在用栅格平面表示的数字图像中, 最常用的是“像素的 4 邻域”和“像素的 8 邻域”。它们是这样定义的:

(1) 像素的 4-邻域:

对像素 (i, j) , 将它以及其上 $(i-1, j)$ 、下 $(i+1, j)$ 、左 $(i, j-1)$ 、右 $(i, j+1)$ 4 点构成的集合, 称为像素 (i, j) 的 4-邻域, 有时也称为 4-近邻。

	$(i-1, j)$	
$(i, j-1)$	(i, j)	$(i, j+1)$
	$(i+1, j)$	

图 2-2 像素 (i, j) 4-邻域

(2) 像素的 8-邻域:

对像素 (i, j) , 将它和其上、下、左、右 4 个像素以及对角线的 4 个像素构成的集合, 称为像素 (i, j) 的 8-邻域, 有时也称为 8-近邻。

$x_3(i-1, j-1)$	$x_2(i-1, j)$	$x_1(i-1, j+1)$
$x_4(i, j-1)$	$x(i, j)$	$x_0(i, j+1)$
$x_5(i+1, j-1)$	$x_6(i+1, j)$	$x_7(i+1, j+1)$

图 2-3 像素 (i, j) 8-邻域

像素 (i, j) 的 4-邻域, 有时也称为像素 (i, j) 的直接邻域, 其符号表示为 d -近邻。一个像素的 8-邻域, 除去它的 d -近邻, 余下的对角线上的 4 个像素, 称为像素 (i, j) 的非直接邻域, 其符号表示为 i -近邻。

所谓两个像素互相 4-/8-邻接, 是指它们均存在于 4-/8-邻域中。在图 2-3 中, x_1, x_2 像素是 8-邻接, x_2, x_7 也是 8-邻接。

2.3 图像分割

图像分割^[16]是指把图像分成各具特点的区域并提取出感兴趣目标的技术和过程。这里的特性可以是灰度、颜色、纹理等，目标可以对应单个区域，也可以对应多个区域。图像分割是由图像处理到图像分析的关键步骤，也是一种基本的计算机视觉技术。这是因为图像的分割、目标的分离、特征的提取和参数的测量将原始图像转化为更抽象、更紧凑的形式，使得更高层的分析和理解成为可能^[9, 11]。

2.3.1 图像分割的定义

令集合 R 代表整个图像区域，对 R 的分割可看做将 R 分成若干个满足以下 5 个条件的非空子集(子区域) R_1, R_2, \dots, R_n ：

- ① $\bigcup_{i=1}^n R_i = R$ ；
- ② 对所有的 i 和 j ， $i \neq j$ ，有 $R_i \cap R_j = \emptyset$ ；
- ③ 对 $i=1, 2, \dots, n$ ，有 $P(R_i) = TRUE$ ；
- ④ 对 $i \neq j$ ，有 $P(R_i \cup R_j) = FALSE$ ；
- ⑤ 对 $i=1, 2, \dots, n$ ， R_i 是连通的区域。

其中 $P(R_i)$ 代表所有在集合 R_i 中元素的某种性质， \emptyset 是空集。

上述条件①指出分割所得到的全部子区域的总和(并集)应能包括图像中所有像素，或者说分割应将图像中的每个像素都分进某一个子区域中。条件②指出各个子区域是互不重叠的，或者说一个像素不能同时属于两个区域。条件③指出在分割后得到的属于同一个区域中的像素应该具有某些相同特性。条件④指出在分割后得到的属于不同区域的像素应该具有一些不同的特性。条件⑤要求同一个子区域内的像素应当是连通的。对图像的分割总是根据一些分割的准则进行的。条件①与②说明分割准则应适用于所有区域和所有像素，而条件③与④说明分割准则应能帮助确定各区域像素有代表性的特征。

2.3.2 图像分割的分类

图像分割算法的研究一直受到人们的高度重视，到目前为止，提出的分割算法已经多达上千种，由于现有的分割算法非常多，所以将它们进行分类的方法也提出了不少。

最普遍的是把分割算法分成三类：边缘检测法、阈值分割法和区域提取法。

1. 边缘检测法

边缘检测算法主要是基于图像的灰度函数求导和图像中匹配特定的边缘模型这两种方法,在具体做法上表现为空域算子与图像模板求卷积和用迭代等方法求匹配函数的系数等。根据检测边缘采用方式的不同,边缘检测方法大致包括以下几类:基于局部图像函数的方法、多尺度方法、图像滤波法、扩散方程的方法、基于边界曲线拟合法、状态空间搜索法、动态规划法、边界跟踪法、哈夫变换法等【17-20】。

2. 阈值分割法

阈值分割方法是最早提出的图像分割方法之一,具有简单、快速的优点。基本思想是先确定一个处于灰度图像取值范围之中的灰度阈值,然后将图像中各个像素的灰度值都与这个阈值相比较,并根据比较结果将对应的像素分为两类,这两类像素一般分属图像的两类区域,从而达到分割目的。

阈值的选取可以根据图像自身的特点分为单阈值和多阈值选取,也可根据像素值的图像区域的取值特征选取。近年来人们提出许多选取的阈值的方法:主要有:直方图与直方图变换法、最大类间方差法、最小误差法、均匀化误差法、共生矩阵法、基于过渡区的阈值选取法等【21,22】。

3. 区域提取法

区域提取法有两种基本形式:一种是从单个像素出发,逐渐合并以形成所需的分割区域;另一种是从全图出发,逐渐分裂切割至所需的分割区域。在实际中使用的通常是这两种基本形式的结合。根据这两种基本形式,区域提取法可以分为区域生长法和分裂法。区域生长法的基本思想是将具有相似性质的像素合起来构成区域,具体做法是选定图像主要分割的目标物体内的一个小块或者说种子区域,再在种子区域的基础上不断将其周围的像素点以一定的规则加入其中,达到最终代表该物体的所有像素点结合成一个区域的目的。该方法的关键是要选择合适的生长或相似准则。生长准则一般可分为三种:基于区域灰度差准则、基于区域内灰度分布性质准则和基于区域形状准则;分裂合并法是先将图像分割成很多的一致性较强的小区域,按一事实上的规则将小区域融合成大区域,达到分割图像的目的【23,24】。

另外还有把图像分割算法分成六部分的:阈值分割、像素分类、深度图像分割、色彩图像分割、边缘检测和基于模糊集的分割。从算法的角度来看,这种分类的各部分内容是有重叠的。事实上对深度图像和彩色图像分割仍需要用或可用阈值分割、像素分类和边缘检测中的方法来进行,而基于模糊集的分割只是把模糊集合理论应用于其它几种方法中,常见的基于区域生长原理的算法却没有包含进这些类中去【25-27】。

2.3.3 图像分割评价

图像分割的评价^{【28, 29】}与图像分割方法一样是人们一直讨论的难题，到目前为止还没有一个大家都能接受的分割评价标准。分割评价的目的是为了能指导、改进和提高分割算法的使用性能，同时也为研究新的技术起指导作用。图像分割评价工作可以分成两种情况^{【11】}：

(1) 性能刻画：掌握某种算法在不同分割情况中的表现，通过选择算法参数来适应分割具有不同内容的图像和分割在不同条件下采集到的图像的需要。

(2) 性能比较：比较不同算法在分割给定图像时的性能，以帮助它们在具体分割应用中选取合适的算法或改进已有的算法。

这两方面的内容是相互关联的，性能刻画能使对算法的性能比较更加全面，性能比较能使对算法的性能刻画更有目的性。为达到分割评价的目的，对评价方法的基本要求有^{【30, 31】}：

(1) 应具有广泛的通用性，即评价方法要适于评价不同类型的分割算法并适合各种领域情况。

(2) 应采用定量的客观的性能评价准则，这里定量是指可以精确地描述算法的性能，客观是指评判摆脱了人为因素。

(3) 应选取通用的图像进行测试以使评价结果具有可比性和可移植性，同时这些图像尽可能反映客观世界的真实情况和实际应用领域的共同特点。

目前人们在评价分割技术和算法方面已提出的大多数方法可归纳为两类：

(1) 直接法：它直接研究算法本身的原理特性，通过分析推理得到分割算法性能，所以也可称为分析法；

(2) 间接法：它根据已分割图像的质量间接地评判分割算法的性能，也可称为实验法。

第3章 图像的阈值分割

3.1 阈值分割的原理

阈值分割法是最常见的、并行的直接检测区域的分割方法，而其他同类方法如像素特征空间分类，可以看做是取阈值技术的推广。

其基本原理是：通过设定不同的特征阈值，把图像像素分为若干类。图像阈值化的目的就是按照灰度级，对像素进行划分，得到的子集形成一个与现实景物相对应的区域，各个区域的内部具有一致的属性，可以通过一个或多个阈值实现【32】。阈值分割结果的好坏在很大程度上依赖于阈值的选择，因此该方法的关键就是如何选择合适的阈值。

最简单的利用取阈值方法来分割灰度图像的步骤如下：

1. 对一幅灰度取值在 $0 \sim L-1$ 之间的图像确定一个灰度阈值 T ($0 < T < L-1$)；
2. 将图像中的每个像素的灰度值与阈值 T 相比较，并将对应的像素根据比较结果划分为两类：a、像素的灰度值大于等于阈值；b、像素的灰度值小于阈值。这两类像素一般对应图像中的两类区域。

3.2 阈值分割的定义

设 (x, y) 是二维数字图像的平面坐标，图像灰度级取值范围是 $G\{0, 1, 2, \dots, L-1\}$ ，习惯上 0 代表最暗的像素点， $L-1$ 代表最亮的像素点，将位于坐标点 (x, y) 上的像素点的灰度级表示为 $f(x, y)$ 。设 $t \in G$ 为分割阈值， $B = \{b_0, b_1\}$ 代表一个二值灰度级，并且 $b_0, b_1 \in B$ 。于是图像函数 $f(x, y)$ 在阈值 t 上的分割结果可以表示为：

$$f(x, y) = \begin{cases} b_0 & f(x, y) < t \\ b_1 & f(x, y) \geq t \end{cases} \quad (3-1)$$

3.3 阈值分割的分类

由上述描述可知，取阈值分割方法的关键问题是选取合适的阈值。阈值一般可写成如下形式：

$$T = T[x, y, f(x, y), q(x, y)] \quad (3-2)$$

式中, $f(x, y)$ 是在像素点 (x, y) 处的灰度值; $q(x, y)$ 是该点邻域的某种局部性质。换句话说, T 在一般情况下可以是 (x, y) , $f(x, y)$ 和 $q(x, y)$ 的函数。借助上式可将取阈值分割方法分成如下三类:

(1) 全局阈值: 仅根据 $f(x, y)$ 来选取阈值, 所得的阈值仅与各个图像像素的本身性质相关, 此时确定的阈值对全图使用;

(2) 局部阈值: 阈值是根据 $f(x, y)$ 和 $q(x, y)$ 来选取的, 所得的阈值是与(局部)区域性质相关的;

(3) 动态阈值: 阈值除根据 $f(x, y)$ 和 $q(x, y)$ 来选取外, 还与 x, y 有关, 即所得的阈值是与坐标相关的。

以上对选取阈值分割方法的分类思想是通用的。近年来, 许多选取阈值分割方法借用了神经网络、模糊数学、遗传算法、信息论等工具, 但这些方法仍可归纳到以上三种方法中。

3.4 阈值选取的方法分类

3.4.1 依赖像素的阈值选取

图像的灰度直方图是图像各像素灰度值的一种统计度量。最简单的阈值选取方法就是根据直方图来进行, 即对双峰直方图选取两峰之间的谷所对应的灰度值作为阈值, 将目标和背景分开。谷的选取有许多方法, 下面介绍三种比较典型的方法。

1. 极小值点阈值

如果将直方图的包络看做一条曲线, 则选取直方图的谷可借助求曲线极小值的方法。设用 $h(z)$ 代表直方图, 那么极小值点应满足:

$$\frac{\partial h(z)}{\partial z} = 0 \quad \text{和} \quad \frac{\partial^2 h(z)}{\partial z^2} > 0 \quad (3-3)$$

则这些极小值对应的灰度值就可用做分割阈值。

2. 最优阈值

当目标和背景的灰度值有部分交错, 用一个全阈值并不能完全将它们分开,

为了减小误分割的概率,则可选取最优阈值^{【33】}。设一幅图像仅包含两类主要的灰度值区域:目标和背景,它的直方图可看成灰度值概率密度函数 $p(z)$ 的一个近似。这个密度函数实际上是目标和背景的两个单峰密度函数之和。如果已知密度函数的形式,则可选取一个最优阈值把图像分成两类区域而使误差最小。

设有这样一幅混有加性高斯噪声的图像,它的混合概率密度是:

$$p(z) = P_1 p_1(z) + P_2 p_2(z) = \frac{P_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left[-\frac{(z-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right] + \frac{P_2}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp\left[-\frac{(z-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right] \quad (3-3)$$

式中, μ_1 和 μ_2 分别是背景和背景区域的平均灰度值; σ_1 和 σ_2 分别是关于均值的均方差, p_1 和 p_2 分别是背景和背景区域灰度值的先验概率。根据概率定义有 $p_1 + p_2 = 1$,所以混合概率密度中有5个未知参数。如果能求得这些参数就可以确定混合概率密度。

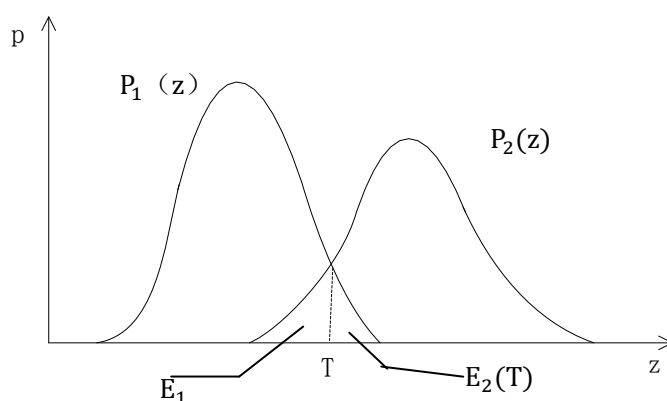


图 3-1 图像目标和背景的概率分布

假设 $\mu_1 < \mu_2$,需定义一个阈值 T 使得灰度值小于 T 的像素分割为背景,而使得灰度值大于 T 的像素分割为目标。这时错误地将一个目标像素划分为背景的概率和将一个背景像素错误地划分为目标的概率分别是:

$$E_1(T) = \int_{-\infty}^T p_2(z) dz \quad (3-5)$$

$$E_2(T) = \int_T^{\infty} p_1(z) dz \quad (3-6)$$

总的误差概率是:

$$E(T) = P_2 \times E_1(T) + P_1 \times E_2(T) \quad (3-7)$$

为求得使该误差最小的阈值可将 $E(T)$ 对 T 求导并令导数为零, 这样得到:

$$P_1 \times p_1(T) = P_2 \times p_2(T) \quad (3-8)$$

将这个结果用于高斯密度可得到二次公式:

$$\begin{cases} A = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \\ B = 2(\mu_1\sigma_2^2 - \mu_2\sigma_1^2) \\ C = \sigma_1^2\mu_2^2 - \sigma_2^2\mu_1^2 + 2\sigma_1^2\sigma_2^2 \ln(\sigma_2P_1 / \sigma_1P_2) \end{cases} \quad (3-9)$$

该二次式在一般情况下有两个解。如果两个区域的方差相等, 则只有一个最优阈值:

$$T_{optimal} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} + \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_2} \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (3-10)$$

进一步, 如果两种灰度值的先验概率相等(或方差相等), 则最优阈值就是两个区域中平均灰度值的中值。

一幅图像的混合概率密度函数 $p(z)$ 的参数可根据最小均方误差的方法借助直方图得到。例如 $p(z)$ 和实测得到的直方图 $h(z)$ 之间的均方误差为 (n 为直方图的灰度级数):

$$e_{ms} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [p(z_i) - h(z_i)]^2 \quad (3-11)$$

通过最小化这个误差就可以确定函数 $p(z)$ 的各个参数。

3. 由直方图凹凸性确定的阈值

在实际应用中, 含有目标和背景两类区域的图像的直方图^[34]并不一定总是

呈现双峰形式，特别是当图像中目标和背景面积相差较大时，直方图的一个峰会淹没在另一个峰旁边的缓坡里，直方图基本成为单峰形式。解决这类问题，可以通过直方图凹凸性的分析，从直方图中确定一个合适的阈值来分割图像。

图像的直方图(包括部分坐标轴)可看作平面上的一个区域，对该区域可计算其凸包并求取其最大的凸残差，由于凸残差的最大值常出现在直方图高峰的肩处，所以可用对应最大凸残差的灰度值作为阈值来分割图像。这里最大的凸残差是用一种称为凹性测度的指标来衡量的。与一般方法不同，这里要求凸残差的计算是沿与灰度轴垂直的直线进行的。

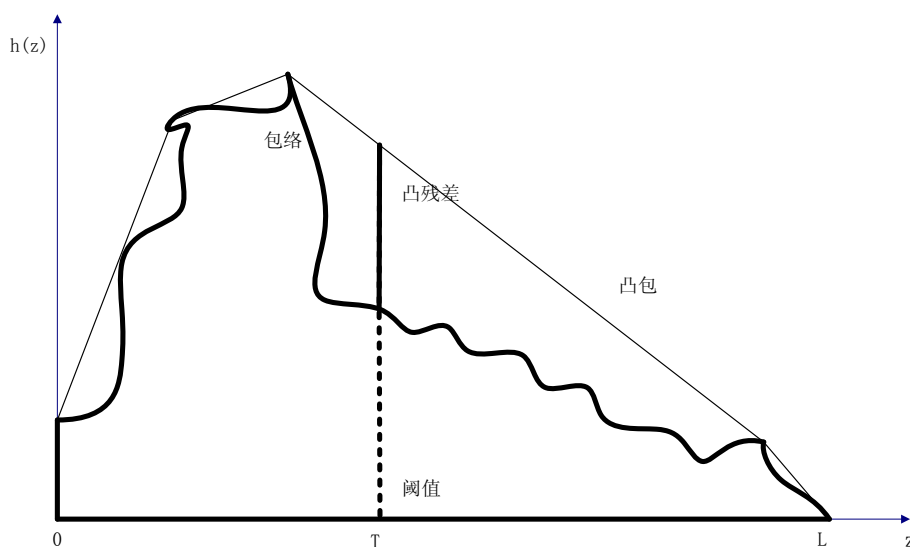


图 3-1 分析直方图凹凸性来确定分割阈值

图 3-1 给出了解释上述方法的一个图示：这里可认为直方图的包络(粗曲线)及相应的左边缘(粗直线)、右边缘(已退化为点)和底边(粗直线)一起围出了一个 2-D 平面区域。计算这个区域的凸包(见图中各前后相连的细直线段)并检测凸残差最大处可得到一个分割阈值 T ，利用这个阈值就可以分割图像。这样确定的阈值仍是一种依赖像素的阈值。

上述方法的一种变型是先将直方图函数取对数，计算指数凸包，然后借助凹凸性分析确定阈值。

对噪声较大的图像，上述方法有时会由于噪声干扰而产生一些虚假的凹形点，从而导致选取错误的阈值。解决这个问题的一种方法是再结合一些其他准则，例如将平衡测度和繁忙性测度与凹凸性测度相结合定义一个优度函数，这个优度函数与平衡测度和凹性测度成正比而与繁忙性测度成反比。通过搜索优度函数的极值可得到对噪声有相当鲁棒性的分割阈值。

3.4.2 依赖区域的阈值选取

在实际应用中，图像因受到噪声等的影响，而使原本分离的峰之间的谷被填充，要检测它们之间的谷就很困难。因为此时直方图基本是单峰的，为解决这类问题除利用像素自身性质外，还可以利用一些像素邻域的局部性质，即采用直方图变换法。

其基本思想是：利用一些像素邻域的局部性质来变换原来的直方图以得到一个新的直方图。这个新的直方图与原直方图相比，或者峰之间的谷更深了，或者谷转变成峰更容易检测了。这里常用的像素邻域局部性质是像素的梯度值，它可以借助梯度算子作用于像素邻域得到。

第一类，当目标和背景内部的像素具有较低的梯度值，而它们边界上的像素具有较高的梯度值时，可计算一个加权的直方图，其中赋给具有低梯度值的像素权重大一些。如设一个像素的梯度值为 g ，则在统计直方图时可给它加权 $1/(1+g)^2$ 。这样一来，如果像素的梯度值为零，则它得到最大的权重为 1；如果像素具有很大的梯度值，则它得到的权重就微忽其微。在这样加权的直方图中，峰基本不变而谷变深，则峰谷差距加大。如图 3-2 所示，虚线为原直方图。

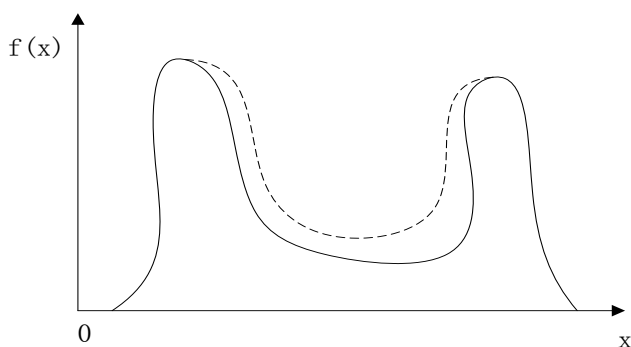


图 3-2 变换直方图 a

第二类，与第一类的方法相反，可作出仅具有高梯度值像素的直方图。这个直方图在对应目标和背景的边界像素灰度级处有一个峰，只是赋予具有高梯度值的像素权重大一些。例如可用每个像素的梯度值 g 作为赋予该像素的权值。这样在统计直方图时梯度值为零的像素就不必考虑，而具有大梯度值的像素将得到较大的权重。如图 3-3 所示，虚线为原直方图。

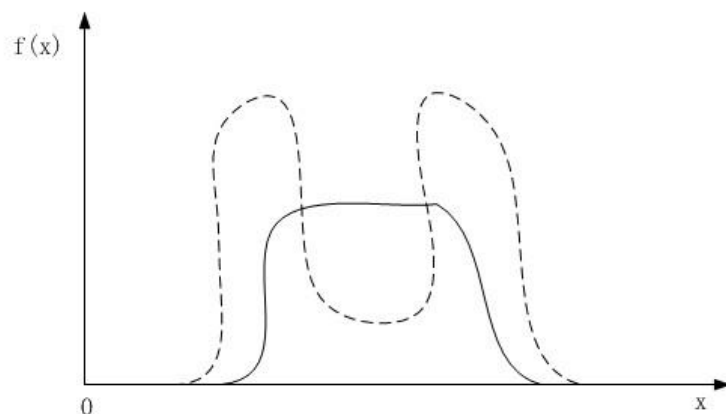


图 3-3 变换直方图 b

该方法可能会遇到的一个问题是：如果目标和背景的面积比较大但边缘像素比较少，则由于许多个小梯度值的和可能会大于少量大梯度值的和，而使原来预期的峰呈现不出来。为解决这个问题，可以对每种灰度级像素的梯度以求平均值来代替求和，这个梯度平均值对边界像素点来说一定比内部像素点要大。

3.4.3 依赖坐标的阈值选取

当图像中有不同的阴影(如照度影响)，或各处的对比度不同时，如果只用一个固定的全局阈值对整幅图进行分割，则由于不能兼顾图像各处的情况而使分割效果受到影响。有一种解决办法是用与坐标相关的一系列阈值来对图像进行分割。这种与坐标相关的阈值也叫动态阈值，这种取阈分割方法也叫变化阈值法^[11, 35]。

它的基本思想是：首先将图像分解成一系列子图像，这些子图像可以互相重叠也可以只相邻。如果子图像比较小，则由阴影或对比度的空间变化带来的问题就会比较小，就可对每个子图像计算一个阈值。此时阈值可用任一种固定阈值法选取。通过对这些子图像所得阈值的插值就可以得到对图像中每个像素进行分割所需的阈值。分割就是将每个像素都和与之相对应的阈值相比较而实现。这里对应每个像素的阈值组成图像上的一个曲面，也可叫阈值曲面。其基本步骤如下：

- (1) 将整幅图像分成一系列相互之间有 50%重叠的子图像；
- (2) 做出每个子图像的直方图；
- (3) 检测各个子图像的直方图是否为双峰的，如是则采用最优阈值法确定一个阈值，否则就不进行处理；
- (4) 根据对直方图为双峰的子图像得到的阈值通过插值得到所有子图像的阈值；
- (5) 根据各子图像的阈值再通过插值得到所有像素的阈值，然后对图像进行分割。

3.4.4 空间聚类

空间聚类可看作是对阈值分割概念的推广,同时结合了取阈分割和标记过程。它将图像空间中的元素按照从它们测得的特征值用对应的特征空间点表示,通过将特征空间的点聚集成对应不同区域的类团,然后再将它们划分开,并映射回原图像空间以得到分割的结果。与取阈值分割类似,聚类方法也是一种全局的方法,比仅基于边缘检测的方法更抗噪声。但特征空间的聚类有时也常会导致产生图像空间不连通的分割区域,这也是因为没有利用图像像素空间分布的信息。

1. K-均值聚类

将一个特征空间分成 K 个聚类的一种常用方法是 K -均值法。令 $x = (x_1, x_2)$ 代表一个特征空间的坐标, $g(x)$ 代表在这个位置的特征值, K -均值法是要最小化如下指标:

$$E = \sum_{i=1}^K \sum_{x \in Q_j^{(i)}} \|g(x) - \mu_j^{(i+1)}\|^2 \quad (3-12)$$

式中, $Q_j^{(i)}$ 代表在第 i 次迭代后赋予类 j 的特征点集合; μ_j 表示第 j 类的均值。上式的指标给出每个特征点与其对应类均值的距离和。具体的 K -均值法步骤如下:

- (1) 任意选取 K 个初始类均值, $\mu_1^{(1)}, \mu_2^{(2)}, \dots, \mu_K^{(1)}$ 。
- (2) 在第 i 次迭代时, 根据下述准则将每个特征点都赋予 K 类之一 ($j=1, 2, \dots, K$ $l=1, 2, \dots, K$ $j \neq l$), 即:

$$x \in Q_l^{(i)}, \text{ 如果 } \|g(x) - \mu_l^{(i)}\| < \|g(x) - \mu_j^{(i)}\| \quad (3-13)$$

即将每个特征点赋予均值离它最近的类。

- (3) 对 $i=1, 2, \dots, K$, 更新类均值 $\mu_j^{(i+1)}$:

$$\mu_j^{i+1} = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in Q_j^{(i)}} g(x) \quad (3-14)$$

其中 N_j 是 $Q_j^{(i)}$ 中的特征点个数。

- (4) 如果对所有的 $j=1, 2, \dots, K$, 有 $\mu_j^{j(i+1)} = \mu_j^{(i)}$, 则算法收敛, 结束; 否则退

回步骤(2)继续下一次迭代。

运用 K -均值法时理论上并未设类的数目已知，实际中常使用试探法来确定 K 。为此需要测定聚类品质，常用的判别准则多基于分割后类内和类间特征值的散布图，要求类内接近而类间区别大。可以先采用不同的 K 值进行聚类，根据聚类品质确定最后的类别数。

2. ISODATA 聚类

ISODATA 聚类方法是在 K -均值算法上发展起来的。它是一种非分层的聚类方法，其主要步骤如下：

- (1) 设定 N 个聚类中心位置的初始值；
- (2) 对每个特征点求取离其最近的聚类中心位置，通过赋值把特征空间分成 N 个区域；
- (3) 分别计算属于各个聚类模式的平均值；
- (4) 将最初的聚类中心位置与新的平均值比较，如果相同则停止，如果不同则将新的平均值作为新的聚类中心位置并返回步骤(2)继续进行。

理论上讲 ISODATA 算法也需要预先知道聚类的数目，但实际中常根据经验先取稍大一点的值，然后通过合并距离较近的聚类以得到最后的聚类数目。

3.5 小结

阈值分割法是图像处理最基本的分割方法，它具有计算量小、实现简单等优点，在图像分析和识别中起着重要作用。图像阈值化就是按照灰度级，将图像空间划分成与现实景物相对应的一些有意义的区域，各个区域内部灰度级是均匀的，而相邻区域灰度级是不同的，其间存在边界。它的划分可以通过从灰度级出发，选取一个或多个阈值来实现。

第4章 基于模糊阈值的简牍图像分割

4.1 基于模糊度的图像分割方法

Huang 和 Wang 于 1995 年首先提出了一个基于模糊度的阈值选择算法。在这个算法中,以待定的阈值作为参变量建立隶属函数,将一幅图像转化成一个模糊划分,以使图像的模糊度趋于最小为条件设计优化算法,从而达到选取最优阈值的目的^[36]。

因为大多数简牍图片模糊不清楚且受损严重,考虑到这些情况,本章采用基于模糊阈值的图像分割方法。根据标准 S 函数的特征,结合模糊度确定分割阈值,这样就可以不依赖图像的灰度直方图,也不要求直方图一定为双峰,对大多数简牍图像都有较好的分割效果。

4.1.1 图像的模糊特征平面与模糊度

根据模糊集理论,一幅 $M \times N$ 维且具有 L 个灰度级的图像可以视为一个 $M \times N$ 阶的模糊矩阵,若令 x_{mn} 表示第 (m, n) 个像素的灰度级, x_{max} 表示最大灰度级,则可将图像 X 表示为:

$$X = [\mu_{mn}(x_{mn})]_{M \times N}, \quad m=1, 2, \dots, M; n=1, 2, \dots, N \quad (4-1)$$

其中, $\mu_{mn}(x_{mn})$ 表示矩阵中第 (m, n) 个像素的灰度模糊集的隶属函数,即隶属某一灰度级的程度,且 $0 \leq \mu_{mn} \leq 1$ 。

则隶属函数 $\mu_{mn}(x_{mn})$ 可以按标准的模糊函数 S 函数得到。标准模糊函数 S 的函数为:

$$S(x_{mn}, a, b, c) = \begin{cases} 0 & x_{mn} \leq a \\ 2\left(\frac{x_{mn}-a}{c-a}\right)^2 & a < x_{mn} \leq b \\ 1-2\left(\frac{x_{mn}-a}{c-a}\right)^2 & b < x_{mn} \leq c \\ 1 & c < x_{mn} \end{cases} \quad (4-2)$$

式中, 参数 $b = (a + c) / 2$, 是曲线的拐点。S 函数曲线图如下图 4-1 所示: 图中, 实曲线即为 S 函数, 两条虚曲线为其左右极限位置: $[a, c]$ 为模糊区, $[L_{\min}, a]$ 和 $[c, L_{\max}]$ 为非模糊区。模糊区间的宽度 $\Delta b = c - a$ 称为带宽。 $\Delta b \in [\Delta b_{\min}, \Delta b_{\max}]$, 其中 $[\Delta b_{\min}, \Delta b_{\max}]$ 是模糊带宽的动态范围。 $a \in [L_{\min}, L_{\max} - \Delta b]$, $c \in [L_{\min} + \Delta b, L_{\max}]$ 。当 $x_{mn} = b$ 时, $S(x_{mn}, a, b, c) = S(b, a, b, c) = 0.5$ 。

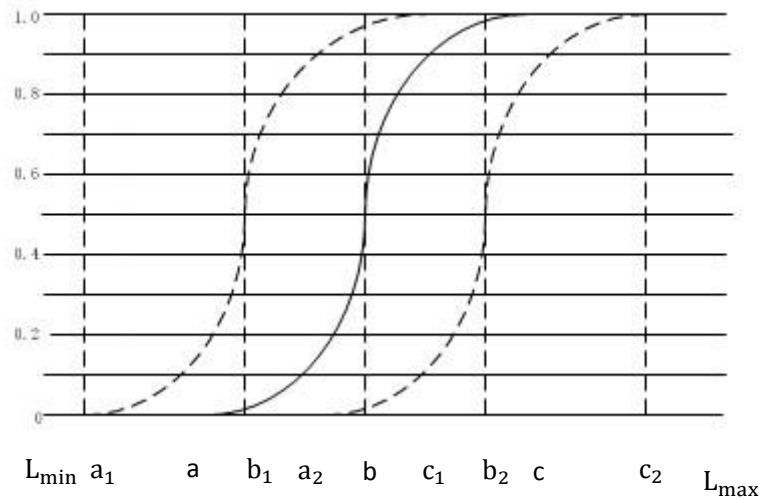


图 4-1 S 函数曲线图

描述模糊度的方法有很多, 此处标准模糊隶属函数 S 函数的特征用泛函分析中距离的概念来定义。

设论域为 $U = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, \bar{A} 为 U 的模糊子集, 则:

$$D_U(x_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum_{i=1}^n [\mu_{\bar{A}}(x_i) - \mu_{0.5}(x_i)]^2} \quad (4-3)$$

$$\text{其中, } \mu_{0.5}(x_i) = \begin{cases} 0 & \mu_{\bar{A}}(x_i) \leq 0.5 \\ 1 & \mu_{\bar{A}}(x_i) > 0.5 \end{cases}$$

称 $D_U(x_i)$ 为欧基米德模糊度, 记为 $D_U(\bar{A})$ 。推广为二维时, 对应的有 $D_U(\bar{A}) = D_U(x_i)$, 其中:

$$D_U(x_{mn}) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sqrt{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N [\mu_{\bar{A}}(x_{ij}) - \mu_{0.5}(x_{ij})]^2} \quad (4-4)$$

S 函数是连续可导函数, 因此当 x_{mn} 越接近于边缘阈值 b , $\mu_{\bar{A}}(x_{mn})$ 越接近于 0.5, 模糊矩阵 \bar{A} 越模糊, 此时 $D_U(\bar{A})$ 的值越大。阈值 b 可以用最大模糊度原则来确定。

由于 $b = (a+c)/2$, $\Delta b = c - a$, 所以 $c = b + \Delta b/2$, $a = b - \Delta b/2$, 故 S 函数就是关于 b 和 Δb 的函数, 从而 $\mu_{\bar{A}}(x_{mn})$ 和 $D_U(\bar{A})$ 是关于 b , Δb 的函数。

假定 $D_U(\bar{A}) = D(b, \Delta b)$, $\Delta b \in [\Delta b_{min}, \Delta b_{max}]$, 则 $b = \arg \{ \max [D(b, \Delta b)] \}$

其中, \arg 表示求反函数, 也就是求函数 $D(b, \Delta b)$ 的最大极值点的坐标 b 。

在实际的计算处理过程中, 取某一模糊带宽 Δb , 在 b 的可能取值范围内扫描每一灰度值, 求取对应的欧基米德模糊度^[37], 然后求得最大值, 就可以确定最大模糊度对应的分割阈值。当 Δb 取动态范围内不同值时, 可以得到不同的分割阈值。

4.1.2 图像分割算法实现

设一幅图像 X 有 $M \times N$ 维且具有 L 个不同的灰度级, $a \in [L_{min}, L_{max} - \Delta b]$, 则基于最大模糊度原则确定分割阈值的算法如下:

- (1) 初始化 $a = L_{min}$;
- (2) 计算 $c = a + \Delta b$; $b = a + \Delta b/2$;
- (3) 用式 (4-4) 计算模糊度;
- (4) 若 $a \leq L_{max} - \Delta b$, $a++$, 转 (2);
- (5) 求取最大模糊度所对应的 a 和 c , 确定分割阈值;
- (6) 分割图像;

上述算法中 Δb 的值是预先确定的。理论上来说 Δb 的取值范围可以是 $0 < \Delta b \leq L_{max} - L_{min}$ 。实际应用时, 其范围可以根据经验得到。

上述算法是根据标准 S 函数的特征^[38]以及欧基米德模糊度, 求得最大值, 进而确定最大模糊度对应的分割阈值^[39]。这样做就可以不依赖于图像的灰度直方图, 也不要求直方图一定为双峰, 对大多数简牍图像都有较好的分割效果。但是在确定模糊带宽是需要根据经验来获得, 因此, 此算法比较适合具有图像分割经验的研究者使用。

4.2 自适应模糊阈值分割

图像的模糊阈值分割法^[40, 41]是 Pal 等人提出的, 他们将灰度图像用模糊数学描述, 通过计算图像的模糊率或模糊熵来选取图像分割阈值, 并定性地考察了隶属函数窗宽对阈值选取的影响。Murthy 等人对此又作了进一步研究, 指出阈值不仅与隶属函数的窗宽有关, 还与隶属函数的分布特性有关, 并证明了隶属函数应满足的边界条件 and 对称性条件^[42, 43]。文献提出一种利用目标-背景对比度自动选取窗宽的技术^[44]。

由此可见, 只要选定满足约束条件的函数后, 理论上总能找到对某种直方图分布使用的窗宽, 但这种人工选取窗宽的方法只能针对某一幅图像。当换了一幅图像使直方图分布改变时, 预先的窗宽就可能失效, 所以必须随图像变化自动的选取窗宽。尽管上述文献详细研究了模糊阈值分割方法的自适应窗宽选取技术, 但它所需要的先验知识太多, 而且针对性很强, 难于广泛应用。同时, 对于直方图为单峰和双峰间隔很宽的图像可能导致分割失败。

4.2.1 模糊阈值分割

对于大小为 $M \times N$, 灰度级为 $0 \sim L-1$ 的图像 X , 定义隶属函数为 $\mu(x)$, 表示像素隶属明亮特性的程度。记像素 (m, n) 的灰度级为 $x_{mn} (m=1, \dots, M; n=1, \dots, N)$, 令 $h(k)$ 为图像 X 中灰度级为 k 的像素个数, 则用于度量图像 X 的模糊性的函数 $Y(x)$ 称为模糊率, 其定义如下:

$$Y(x) = \frac{2}{MN} \sum_{k=0}^{L-1} T(k)h(k) \quad (4-5)$$

其中, $T(k) = \min\{\mu(k), 1 - \mu(k)\}$ 。由上式可见, 模糊率 $Y(x)$ 与隶属函数 $\mu(x)$ 有密切关系。若取隶属函数为 S 函数, 即

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq q - \Delta q \\ 2[(x - q + \Delta q) / 2\Delta q]^2 & q - \Delta q < x \leq q \\ 1 - 2[(x - q + \Delta q) / 2\Delta q]^2 & q < x \leq q + \Delta q \\ 1 & q + \Delta q < x \leq L \end{cases} \quad (4-6)$$

上式中 $\omega = 2\Delta q$ 为隶属函数的模糊区域，称为隶属函数的窗口宽度， q 称为拐点或窗口中心。

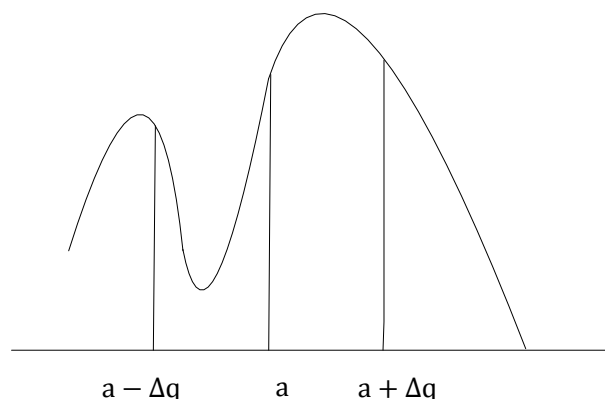


图 4-2 自适应窗宽选取示意图

由于隶属函数 $\mu(x)$ 和模糊率 $Y(x)$ 由窗宽 ω 及参数 q 决定，一旦选定了窗宽 ω ，就只与参数 q 有关。模糊阈值法的求解过程是预先设定窗宽 ω ，通过改变 q ，使隶属函数 $\mu(x)$ 在灰度 $[0, L-1]$ 区间上滑动，再通过计算模糊率 $Y_q(x)$ ，以取得模糊率曲线。该曲线的谷点所对应的灰度 q ，也就是待分割的阈值。当 q 取不同值时，模糊率曲线不同，所以 q 的大小对分割结果的好坏起决定作用。 q 取值越小， $\mu(x)$ 曲线越陡峭，当其作用于 $h(k)$ 所得到的模糊曲线在灰度直方图的谷点就可能出现震荡，产生假阈值； q 取值越大， $\mu(x)$ 曲线越平坦，在模糊率曲线上就可能会平滑掉直方图上的谷点，造成阈值丢失。如何正确选定窗宽 ω ，历来是人们关心的问题，文献^[45]指出当窗宽大于直方图上两峰间的距离时，就可能丢掉其间的谷点，反之必能求出谷点及与之对应的阈值。Murthy 等人进一步证明，窗宽 ω 小于两峰间距离时，必定存在最小模糊率，可取得正确阈值；否则，就不能保证求出正确阈值。

4.2.2 自适应的模糊阈值分割法

4.2.2.1 自适应窗宽选取

隶属函数选定后，阈值的选取完全取决于给定的窗宽。而从上文可以看出，隶属函数窗宽的选取，是通过观察直方图峰值的分布情况，人为给定的。对已知直方图分布，用这种方法总能找到合适的窗宽，但当图像改变而使直方图分布变化时(如图像的目标大小在较宽的范围上变化)，预设窗宽就可能失效，造成误分割，所以必需根据待分割图像的特性自动选取窗宽。

从式(4-6)可以看出，模糊阈值分割的实质是对图像直方图加权平均，平滑

后的直方图即为模糊率曲线,其极小值对应分割阈值。显然,当图像像素的类别数 λ 事先知道时,通过加权平滑后得到的模糊率曲线应该有 $\lambda-1$ 个极小点,故可通过判断模糊率曲线的极小值点数目是否等于 $\lambda-1$ 来确定窗宽。具体方法如下:

(1) 设定窗宽 ω 的初始值为 0;

(2) 用式(4-5)按给定的隶属函数和窗宽进行计算,得到模糊率曲线;

(3) 判断曲线的极小值点数目 n ,如果 $n=\lambda-1$ 则停止,此时对应的窗宽 ω 即为所选取的最佳窗宽;否则, $n>\lambda-1$,则 $\omega=\omega+2$,返回(2)继续计算;

上述方法对直方图呈明显双峰的图像比较合适。当图像中目标较小或较少时,直方图上的双峰不明显或双峰间的谷比较宽而平坦,甚至为单峰情形,如果直接用这种直方图来进行模糊阈值分割,必将导致分割失败。为了让模糊阈值分割法能适应小目标图像的分割,必需对直方图进行变换处理,使直方图上的谷显现出来。

4.2.2.2 直方图变换新方法

由上述分析可知,对于直方图为单峰或双峰间的谷很平坦的图像,为了进行正确的图像分割,必须先对其直方图进行变换。直方图变换法也是一种图像阈值分割法^[46],其基本思想就是利用邻域的局部性质对直方图进行变换,得到一个新的直方图,使峰间的谷变深或使谷突起变为峰,从而容易检测。通常有两种基本的变换方法:第一种变换是在统计直方图时加上一个权重,如可以乘以 $1/(1+g)^2$,其中 g 为像素点的梯度值。如果像素的梯度值为 0,则它会得到最大的权重;如果像素的梯度值很大,则得到的权重就很小。在这样的加权的直方图中,边界点贡献小而内部点贡献大,峰基本不变而谷更深,峰谷之间的差距加大。第二种直方图变换刚好相反,将高梯度像素的权重取得较大,而低梯度像素的权重取得较小,经过变换后可使双峰之间的平坦区域凸起一个峰,使阈值选取变得比较容易。

我们发现,对于单峰或双峰间的谷宽而平坦的直方图,用上述单一直方图变换方法不一定能满足要求。若将两种变换直方图结合,并作归一化处理,得到具有双峰特性的直方图,则可正确的分割图像。

设图像 X 的大小为 $M \times N$,其直方图为 $h(k)$,归一化后为 $H(k)$, $k=0 \sim L-1$,用 $f(i,j)$ 表示 (i,j) 处的灰度值,则有:

$$h(k)=\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}\delta\{f(i,j)-k\} \quad (4-7)$$

$$h_{b1}(k)=\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}g\{e(i,j)\}\delta\{f(i,j)-k\} \quad (4-8)$$

$$h_{b2}(k) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} e(i, j) \delta\{f(i, j) - k\} / H(k) \quad (4-9)$$

其中, $e(i, j)$ 为形态差分算子, 取结构元素为 3×3 方阵, 即 $e(i, j) = \max_{x, y=-1}^1 \{f(i-x, j-y)\} - \min_{x, y=-1}^1 \{f(i-x, j-y)\}$; $g\{e(i, j)\}$ 为一单调下降函数, $g\{e(i, j)\} = [1 + e(i, j)]^{-2}$; $h_{b1}(k)$ 为第一种变换后的直方图, $h_{b2}(k)$ 为第二种变换后的直方图。

将 $h_{b1}(k)$ 和 $h_{b2}(k)$ 归一化为 $H_{b1}(k)$ 和 $H_{b2}(k)$, 并将两者合并得新的变换直方图:

$$h_{b0}(k) = H_{b1}(k) + H_{b2}(k), \quad k = 0 \sim L-1 \quad (4-10)$$

将 $h_{b0}(k)$ 归一化为 $H_{b0}(k)$, 即得新的变换直方图。

4.3 图像阈值分割逼近算法

对小目标图像来说, 由于目标在图像中所占的面积比较小, 目标的灰度信息对整幅图像的贡献很小, 因此, 利用整幅图像的灰度直方图得到的阈值难以将目标和背景分开。为了获得正确的分割阈值, 必须提高目标灰度信息在待分割直方图所占的比例。最简单的方法是将图像划分为均等的子块, 先对各子图像用阈值法进行分割, 再将分割结果合并, 得到整幅图像的分割结果。这种方法存在如下缺点:

- (1) 当目标被分在不同的子块时, 分割结果的块状效果明显;
- (2) 当一个子块几乎完全属于背景或某个目标时, 直方图为单峰, 很难进行分割。

为获得最佳分割阈值, 本文提出一种阈值逼近算法。该算法根据分割出的目标和背景的灰度统计量为判断准则, 对图像的灰度统计直方图进行多次分割, 以获得最佳阈值。

4.3.1 算法原理

假设在图像中目标灰度比背景灰度低, 用模糊集法对其进行分割, 以得到目标区域和背景区域。将图像灰度直方图的低于阈值的部分可看作是目标区域的灰

度直方图。

C_0 的均值为:

$$\mu_0 = \frac{\sum_{i=0}^k i * p_i}{\omega_k} = \frac{\mu_i(k)}{\omega_k} \quad (4-11)$$

C_1 的均值为:

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=k}^{L-1} i * p_i}{1 - \omega_k} = \frac{\mu_r(k)}{1 - \omega_k} \quad (4-12)$$

为将小目标分割出来, 先进行一次模糊阈值分割, 分割后得到的两个区域, 它们的均值和标准差分别记为 $\mu_0, \mu_1, \sigma_0, \sigma_1$ 。其中, μ_0 和 μ_1 由式 (4-11) 和式 (4-12) 给出, σ_0 和 σ_1 用式 (4-13) 计算:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_0(t) = \left\{ \sum_{i=0}^t [i - \mu_0]^2 p_i / \sum_{i=0}^t p_i \right\}^{1/2} \\ \sigma_1(t) = \left\{ \sum_{i=t+1}^{L-1} [i - \mu_1]^2 p_i / \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i \right\}^{1/2} \end{array} \right. \quad (4-13)$$

在包含目标的区域中, 目标所占比例较大, 对直方图的贡献也较大。这时候可以对这个区域再次进行分割。区域中的目标所占的比例是否足够大, 可以用 $\mu_0, \mu_1, \sigma_0, \sigma_1$ 来判断。

不失一般性, 可认为当下式:

$$\mu_1 - \mu_0 > \alpha(\sigma_0 + \sigma_1) \quad (4-14)$$

满足时, 就可以认为目标和背景的灰度分布可以分开了。式 (4-14) 中的参数 α 决定分割的精度, 其值应根据目标和背景的灰度分布情况确定。 α 取值大, 分割收敛速度快, 运算迭代次数减少, 分割的精度下降; α 取值小, 分割收敛速度慢, 运算迭代次数增加, 分割的精度提高。一般说, α 可在 2~3 之间取值。

4.3.2 算法描述

该算法的流程图如图 4-3 所示。图中, 假设目标的亮度高于背景亮度, 则目标的均值大于图像的总灰度值, 可将灰度直方图的总灰度均值 μ_T 定为初始阈值, 对图像进行分割。接着计算出 $\mu_0, \mu_1, \sigma_0, \sigma_1$, 若它们满足式 (4-14), 则将该阈值作为最佳阈值, 将目标和背景较准确地地区分开; 否则, 将灰度直方图的低于该阈值的部分看作是目标区域的灰度直方图, 在其中求取阈值再次对图像进行分割, 直到式 (4-14) 满足, 得到最佳阈值为止。

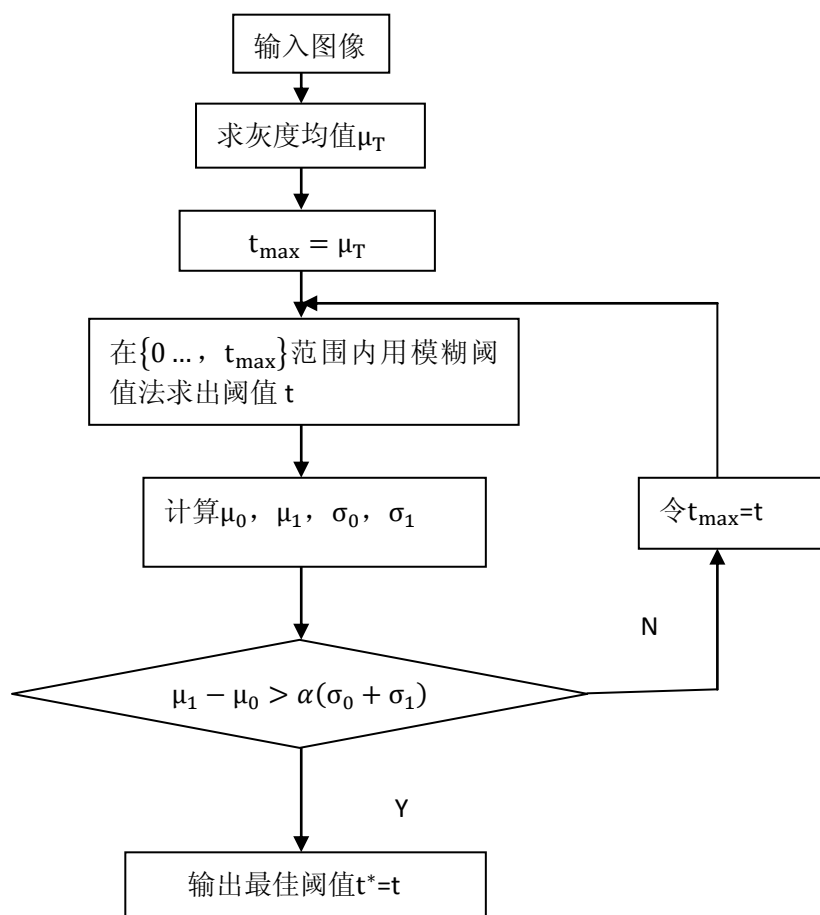


图 4-3 阈值逼近算法流程图

4.4 简牍图像分割结果及分析

本实验运用 MATLAB7.1 软件对原始简牍图像进行处理, 由于简牍图像文字信息不完全、模糊不清、边缘受损的特点, 本章采用基于模糊度的图像阈值分割方法对原始简牍图像进行分割, 根据模糊度分割阈值, 这样就不依赖图像的灰度直

方图，也不要求直方图一定为双峰，对多数简牍图像都有很好的分割效果。具体分割结果如下：

第一步：读取 1-4 号图片得到原始简牍图像，如图 4-4 所示：



图 4-4 1-4 号原始图片

第二步：对 1-4 号图片进行灰度转换，得到灰度图，如图 4-5 所示：

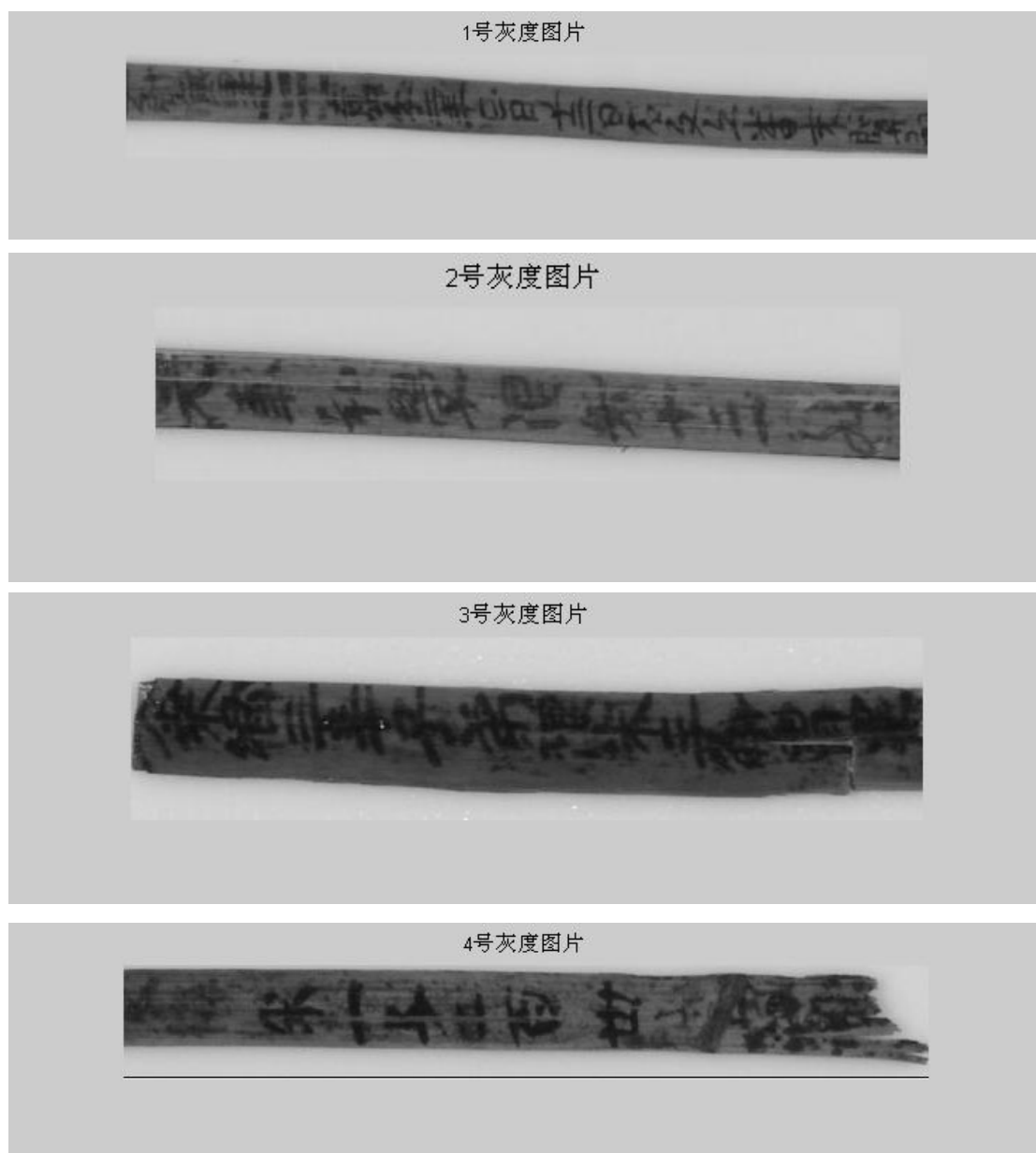
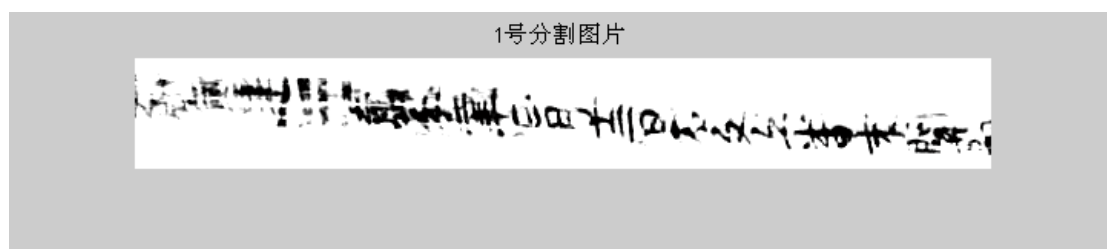


图 4-5 1-4 号简牍灰度图

第三步：运用自适应的模糊阈值算法对 1-4 号简牍灰度图片进行分割，得到分割结果图，如图 4-6 所示：



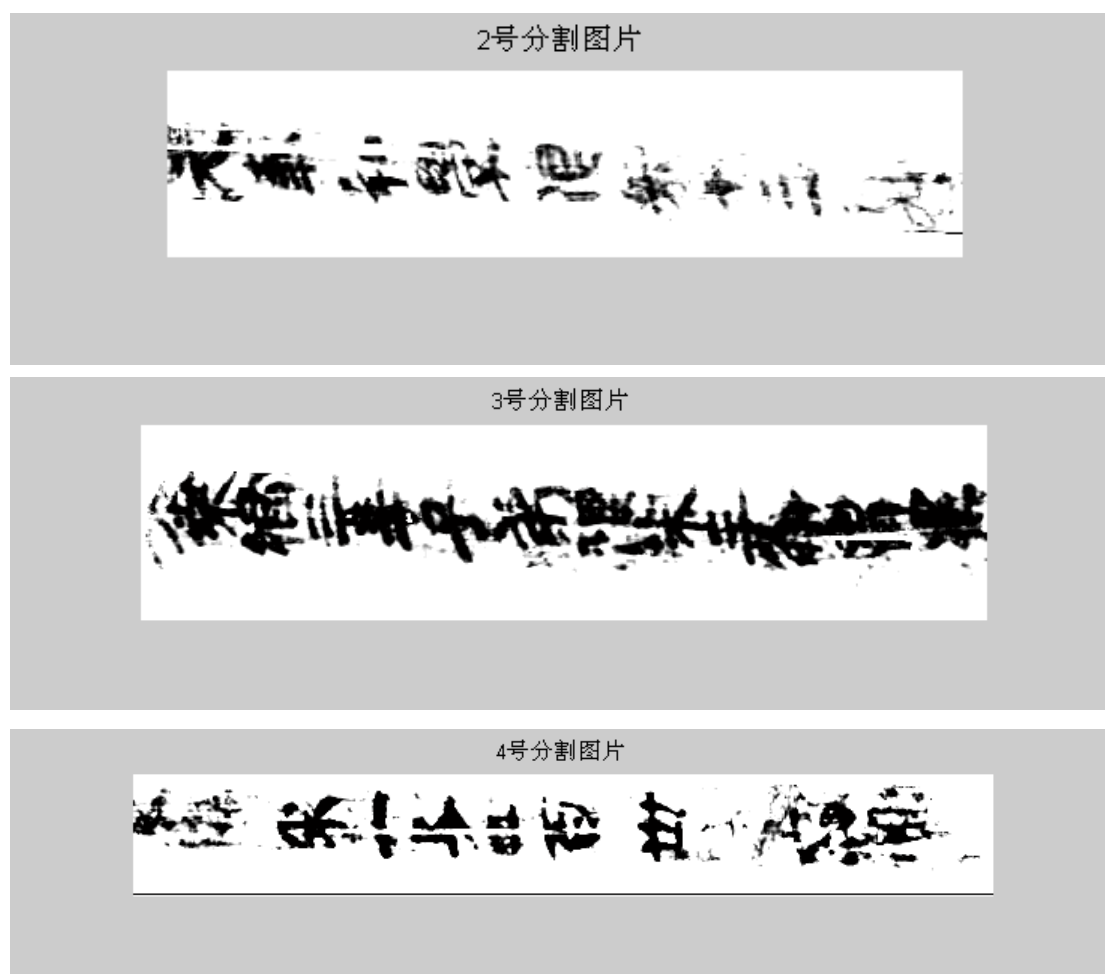


图 4-6 1-4 号简牍分割图

由图 4-6 可以看出，除 3 号简牍图上字迹笔画粘连，模糊严重，用自适应的模糊阈值分割算法得到的分割效果不明显，文字提取不是很好外；基本上，自适应的模糊阈值分割算法可以很好的将简牍目标文字与背景分离，提取出有效的文字信息，为后续的简牍修复和文字识别工作打下基础。

因此，在对简牍图像分割的工作上，还需进一步提出改进算法，以达到更好的分割效果。

第5章 基于遗传算法的简牍图像分割

5.1 遗传算法

5.1.1 遗传算法的概念

遗传算法(Genetic Algorithm)是一类借鉴生物界的进化规律(适者生存,优胜劣汰遗传机制)演化而来的随机化搜索方法。它是由美国的 J.Holland 教授 1975 年首先提出,其主要特点是直接对结构对象进行操作,不存在求导和函数连续性的限定;具有内在的隐并行性和更好的全局寻优能力;采用概率化的寻优方法,能自动获取和指导优化的搜寻空间,自适应地调整搜索方向,不需要确定的规则^[47]。遗传算法的这些性质,已被人们广泛地应用于组合优化、机器学习、信号处理、自适应控制和人工生命等领域。它是现代有关智能计算中的关键技术。

5.1.2 遗传算法的特点

遗传算法具有很强的鲁棒性,这是因为比起普通的优化搜索算法,它采用了许多独特的方法和技术,归纳起来,主要有以下几方面:

- (1)遗传算法是对参数的编码进行操作,而非对参数本身。
- (2)遗传算法直接以适应度作为搜索信息,无需导数等其他辅助信息。
- (3)遗传算法使用多个点的搜索信息,具有隐含并行性。
- (4)遗传算法使用概率搜索技术,而非确定性规则。
- (5)遗传算法在解空间进行高效启发式搜索,而非满目的穷举或完全随机搜索。
- (6)遗传算法对于寻优问题的函数基本无限制,它既不要求函数连续,也不要求函数可微,既可以是数学解析式所表达的显函数,又可以是映射矩阵甚至是神经网络等隐函数,因而应用范围较广。
- (7)遗传算法具有并行计算的特点,因而可通过大规模并行计算来提高计算速度。

5.1.3 遗传算法的构成要素

遗传算法中有五个基本要素:编码、确定初始群体、适应度函数设计、遗传操作、控制参数设定^[48]。

1. 编码

遗传算法不能直接处理问题空间的参数,必须把它们转化成遗传空间的由基因按一定结构组成的染色体或个体^[47]。这一转换操作就叫做编码,也可以称作表示。编码方法的确定需要选择串长和字母表规模。选择一个便于遗传算法求解问题的编码方法经常需要对问题有深入的了解。二进制编码是遗传算法中常用的表示方法,即 0、1 字符集。例如:对于[0, 255]之间的数,可用 8 位二进制码串来表示,用 00000000-11111111 来表示[0, 255]之间的数。

2. 确定初始群体

由多个染色体组成具有一定群体规模的染色体集合或称解的集合。遗传算法将基于这个集合进行遗传操作,每一轮操作(包括选择、交叉、变异)后生存下的染色体组成新的种群,形成可以繁衍下一代的群体。初始群体的选取与实际问题的有关,通常初始群体是随机产生的。

3. 适应函数

适应度是用来度量种群中个体优劣(符合条件的程度)的指标值,适应函数基本上依据优化问题的目标函数而定。当适应函数确定以后,自然选择规律是以适应函数值的大小以及问题的要求来确定哪些染色体适应生存,哪些被淘汰。适应度函数为群体中每个可能的染色指定一个适应度值。同时,适应度函数必须有能力计算搜索空间中每个确定的染色体适应度值。它通常表现为数值形式。

4. 遗传操作

选择、交叉和变异是遗传算法中的三种基本遗传操作。

从群体中选择优胜的个体,淘汰劣质个体的操作叫选择。选择算子有时又称为再生算子。选择的目的是把优化的个体直接遗传到下一代或通过配对交叉产生新的个体再遗传到下一代。

通常选用适应度比例法(轮盘赌方式 roulette wheel)确定选择次数,该法中的各个体选择率和其适应度值成比例。

设种群大小为 n , 其中个体 i 的适应度值为 f_i , 则 i 被选择的概率 p_{si} 为:

$$P_{si} = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^M f_j} \quad (5-1)$$

显然, 概率 p_{si} 反映了个体 i 的适应度在整个种群适应度总和中所占的比例。个体适应度越大, 其被选择的概率就越高; 反之亦然。按式(5-1)计算出种群中每一个体的选择概率后, 就可以决定哪些个体被选出。

交叉操作模拟生物进化过程中的繁殖现象,通过两条染色体上的一个或几个基因互相交换位置,来产生新的优良品种。交叉算子有多种,其中最简单的交叉

算子的作用过程如下：

首先，在匹配集中任选两个染色体，这对染色体称为双亲染色体；第二，随机选择一点交换点位置 $k(N \leq k \leq 1)$ ， N 是染色体数字串的长度；第三，按交叉概率 p_c 交换双亲染色体交换点右边的部分，生成后代染色体。表 4-1 是交叉操作示例，字符串内的下横线表示交叉点的位置。

单点交叉算子的一个重要特性是它可产生与原配对串完全不同的子代串；另一个重要特性是它不会改变原配对串中相同的位，一个极端情况是当两个配对串相同时，交叉算子不起作用。

表 5-1 交叉操作示例

序号	交叉前	交叉后
1	父代个体 1:1010 <u>1</u> 010	子代个体 1:1010 <u>0</u> 010
2	父代个体 2:1001 <u>0</u> 010	子代个体 2:1001 <u>1</u> 010

变异运算用来模拟生物在自然的遗传环境中由于各种偶然因素引起的基因突变，它以一个很小的变异概率 p_m ，随机地改变遗传基因(表示染色体的符号串的某一位)的值。在染色体以二进制编码的系统中，它随机地将染色体的某一个基因由 1 变成 0，或由 0 变成 1。表 4-2 是变异操作示例，字符串内的下横线表示变异点的位置。

表 5-2 变异操作示例

序号	变异前	变异后
1	父代个体 1: <u>1</u> 0101001	子代个体 1:00101001
2	父代个体 2:1 <u>0</u> 011011	子代个体 2:1 <u>1</u> 011011

遗传算法控制参数主要有：种群规模、迭代次数、交叉概率、变异概率等。对此标准遗传算法都设为固定值。通常，遗传算法从任一初始化种群出发，通过选择(是优秀个体有更多机会传给子代)、交叉(体现优秀个体间的信息交换)、变异(引入新的个体，保持种群的多样性)操作种群一代一代的进化到搜索空间中最优点附近，直至收敛到最优解点。

遗传算法不是直接作用在问题空间中，而是编码空间中，而且遗传操作非常简单。这使得遗传算法具有了简单、通用、鲁棒性强的特点。

5.1.4 标准遗传算法的基本流程

标准遗传算法(SGA)是一种群体型操作,该操作以群体中的所有个体为对象,只是用其本能遗传算子:选择算子、交叉算子和变异算子,其遗传进化操作过程简单,容易理解,是其他一些遗传算法的基础^[49]。

它的基本流程如图 5-1 所示,算法主要步骤:

(1)随机产生初始种群并编码。其个体长度、种群规模、交叉概率、变异概率为固定值;

(2)对父代种群计算适应度值;

(3)判断是否满足终止条件,是,则输出最佳个体及其代表的最优解;否,则转向第 4 步;

(4)执行选择算子,依据适应度选择再生个体,适应度高的个体被选中的机会高,适应度低的个体可能被淘汰;

(5)判断交叉概率,是,则执行第 6 步;否;则转到第 7 步;

(6)按照一定的交叉概率和交叉方法生成新的个体;

(7)判断变异概率,是,则执行第 8 步;否,则转到第 3 步;

(8)按照一定的变异概率和变异方法,生成新的个体,转到第 3 步;

(9)输出结果。

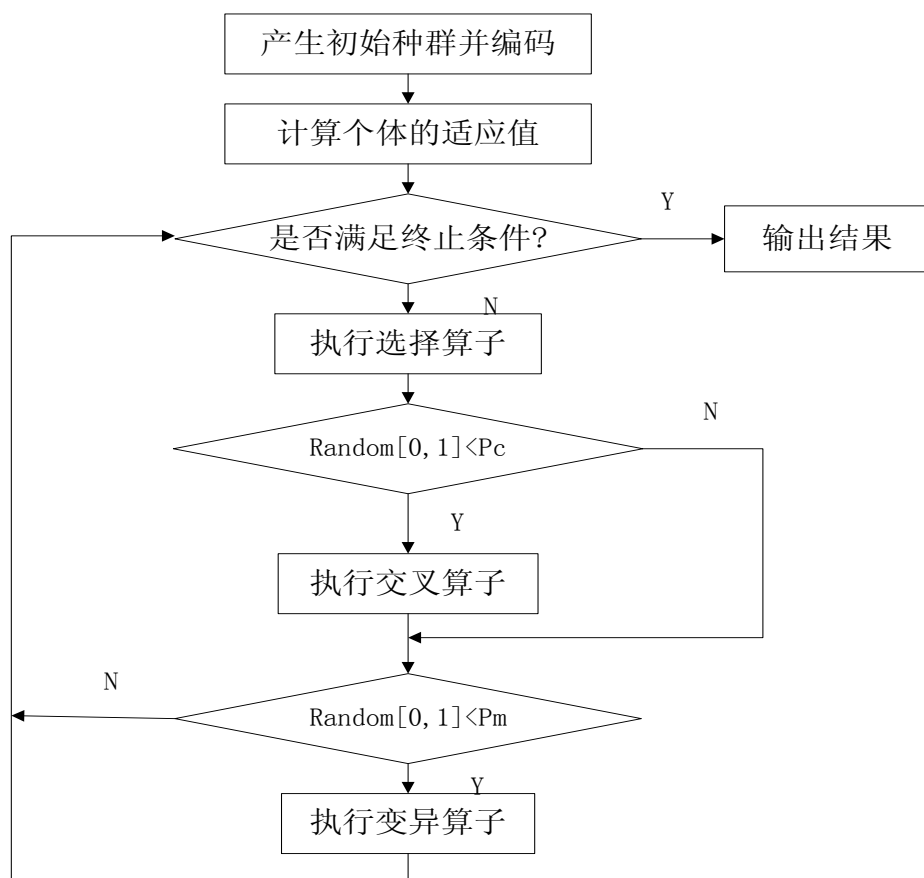


图 5-1 标准遗传算法流程图

5.2 最大类间方差（Otsu）算法

5.2.1 Otsu 算法的基本原理

最大类间方差法(Otsu 法)，是由大津展之^{【50】}在 1979 年提出来。该方法是在判断分析的基础推导出来的，是一种自动的无参数无监督的阈值分割方法^{【51】}。它是基于一维灰度直方图，且计算简单的一种阈值分割方法，因而应用广泛。Lee 等人^{【52】}分别使用错分概率，形状和均匀性度量作为准则函数评估了多种阈值分割方法的性能，结果表明，Otsu 法是一种很好的阈值分割方法。

基本原理如下：

设数字图像的灰度级 $(G = 0, 1, 2, \dots, L-1)$ ，处在灰度级 i 的所有像素个数用 f_i 表示，总的像素用 N 表示，则有 $N = f_0 + f_1 + \dots + f_{L-1} = \sum_{i=0}^{L-1} f_i$ 。而 p_i 表示图像中灰

度级为 i 出现的概率, 定义为 $p_i = \frac{f_i}{N}$, 则有 $p_i \geq 0$, $\sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1$ 。将图像中的像素灰度级用阈值 t 划分为两类 C_0 和 C_1 , 即 $C_0 = \{0, \dots, t\}$, $C_1 = \{t+1, t+2, \dots, L-1\}$ 。则两类出现的概率分布为:

$$\omega_0 = p_r(C_0) = \sum_{i=0}^t p_i = \omega(t) \quad (5-2)$$

$$\omega_1 = p_r(C_1) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - \omega(t) \quad (5-3)$$

各类的灰度均值:

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^t i p_i / \omega_0 = \mu(t) / \omega(t) \quad (5-4)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} i p_i / \omega_1 = \frac{\mu_T - \mu(t)}{1 - \omega(t)} \quad (5-5)$$

$$\text{其中 } \mu(t) = \sum_{i=0}^t i p_i, \quad \mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i, \quad \omega(t) = \sum_{i=0}^t p_i。$$

对于任意的 t 值, 下列等式成立:

$$\omega_0 + \omega_1 = 1, \quad \omega_0 \mu_0 + \omega_1 \mu_1 = \mu_T \quad (5-6)$$

各类方差:

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^t (i - \mu_0)^2 p_r(i|C_0) = \sum_{i=0}^t (i - \mu_0)^2 \frac{p_i}{\omega_0} \quad (5-7)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} (i - \mu_1)^2 p_r(i|C_1) = \sum_{i=t+1}^{L-1} (i - \mu_1)^2 \frac{p_i}{\omega_1} \quad (5-8)$$

为了评估阈值的优劣, 引入一些评判的函数:

$$\lambda = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_w^2}, \kappa = \frac{\sigma_T^2}{\sigma_w^2}, \eta = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_T^2} \quad (5-9)$$

其中 σ_w^2 , σ_B^2 , σ_T^2 分别表示类内方差、类间方差和总体方差, 具体表示为:

$$\sigma_w^2 = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2 \quad (5-10)$$

$$\begin{aligned} \sigma_B^2 &= \omega_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 \\ &= \omega_0 \omega_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 \\ &= \omega_0 \mu_0^2 + \omega_1 \mu_1^2 - \mu_T^2 \end{aligned} \quad (5-11)$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu_T)^2 P_i \quad (5-12)$$

则目标变为如何选择一个最优阈值 t , 使得 λ , κ , η 三个判决函数最大。

因为 $\sigma_T^2 = \sigma_w^2 + \sigma_B^2$ 成立, 所以 λ , κ , η 三者之间有下列关系式成立:

$$\kappa = \lambda + 1, \eta = \frac{\lambda}{\lambda + 1}, \kappa = \frac{1}{1 - \eta} \quad (5-13)$$

从三个关系式知道 λ , κ , η 单调性一致。因为 σ_T^2 为已知常量, 和 t 值无关, 所以 η 是三者当中最为简单的。有 $\eta(t) = \frac{\sigma_B^2(t)}{\sigma_T^2}$ 。这样, 可用类间方差 σ_B^2 作为分类性能高低的判决函数:

$$\sigma_B^2(t) = \frac{[\mu_T \omega(t) - \mu(t)]^2}{\omega(t)[1 - \omega(t)]} \quad (5-14)$$

$$\text{其中, } \mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i, \mu(t) = \sum_{i=0}^t i p_i, \omega(t) = \sum_{i=0}^t p_i$$

最佳阈值 t^* 为:

$$\sigma_B^2(t^*) = \max_{1 \leq t \leq L} \{\sigma_B^2(t)\} \quad (5-15)$$

在图像处理中,原有的图像分割方法都不可避免的会产生误差,这些误差会影响图像处理和识别的效果。如何使这些误差最小是使计算机视觉达到实用化的重要要求。遗传算法其固有的并行性和不易陷入局部最优的特点使之非常适于大规模搜索空间的寻优。因此,已广泛应用于图像处理领域。图像分割是一个在复杂的参量空间中寻找最优分割参量的问题,遗传算法可以有效地寻找参量空间的全局最优值,从而为解决图像分割中的参量选择难题提供了有力的保证。

5.2.2 基于遗传算法的最大类间方差分割法描述

由前文可知,最大类间方差法选取阈值的过程实质是一种寻求最优解的过程,所以可以引入遗传算法所具有的快速寻优的特点对其进行优化,以达到提高效率的目的^[53]。下面是基于遗传算法的 Otsu 法优化的具体实现过程,其流程图如 5-2 所示:

1. 建立初始种群并编码: 图像的灰度值在 0 到 255 之间,采用二进制编码,将每个可能的灰度阈值编码为 8 位。全部的灰度阈值初始值随机产生,相应的适应度值不同,通常初始种群的规模选取不宜过大。在 Matlab 中,通过函数 `crtbp` 生成 40 个个体 A1 到 A40 作为第一次寻优的初始种群,通过函数 `bs2rv` 进行二进制码和实值的转变。

2. 适应度函数计算:

采用公式:

$$P_1 = S_1 / I; \quad P_2 = S_2 / J;$$

$$F(k) = I * J * (P_1 - P_2) * (P_1 - P_2) / (256 * 256)$$

作为适应度函数对个体进行适应度计算。式中, $F(k)$ 为适应度函数; I 为目标图像的像素数; J 为背景图像的像素数; S_1 为目标图像的像素和; S_2 为背景图像的像素和。

3. 选择: 与标准遗传算法略有不同,本算法是以 Matlab 中的高级函数 `select` 作为选择程序。在这种方法中,需要设定代沟 (GGAP=0.9),即整个种群在每一代中没有完全被复制,有部分剩余。

4. 交叉: 在 Matlab 中使用高级函数 `recombin` 实现。即在当前种群中每次选取两个个体按设定的交叉概率 (0.7) 进行交叉操作,生成新一代种群。

5. 变异: 在 Matlab 中用函数 `mut` 实现。即根据一定得变异概率 P_m ,选取当前种群的每一行对应一个个体并用概率 P_m 变异每一个元素,从而形成新一代群

体。

6. 判断：以指定代数(50 代)作为寻优循环跳出的判断条件。若条件满足，否则转到步骤 7；否则，以新生成的群体作为第一代群体，转到步骤 3 继续寻优。

7. 将最后一代群体中适应度最大的个体作为最优结果，将其反编码(采用 bs2rv 函数)，即为所求的最佳分割阈值。

8. 利用最佳阈值分割图像。

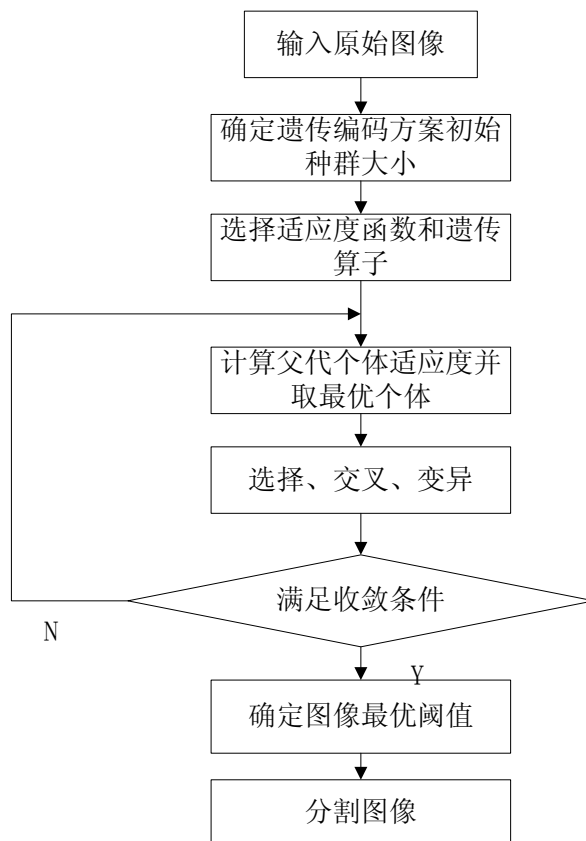


图 5-2 基于遗传算法的最大类间方差法流程图

5.3 简牍图像分割结果及分析

本章主要介绍了普通 Otsu 算法和基于遗传算法的最大类间方差分割法，下面分别采用两种算法对原始简牍图像进行分割，具体结果如下所示：

第一步：读入 5-6 号原始简牍图片，如图 5-3 所示：



图 5-3 5-6 号原始图片

第二步：对 5-6 号图片进行灰度转换，得到灰度图，如图 5-4 所示：

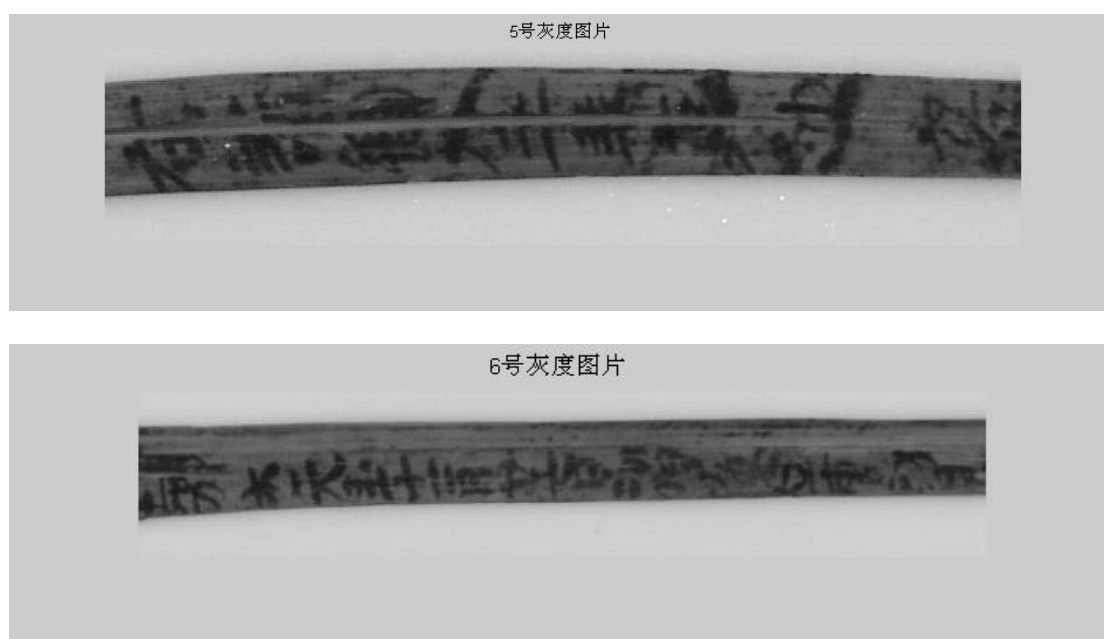


图 5-4 5-6 号灰度图

第三步：利用 Sobel 算子对 5-6 号简牍图像进行边缘检测。Sobel 算子利用像素点上下、左右邻点的灰度加权算法，根据边缘点出达到极值这一现象进行检测，它对噪声具有平滑作用，提供较为精确的边缘方向信息，但同时也会检测出许多伪边界，边缘定位精度不够高。具体如图 5-5 所示：

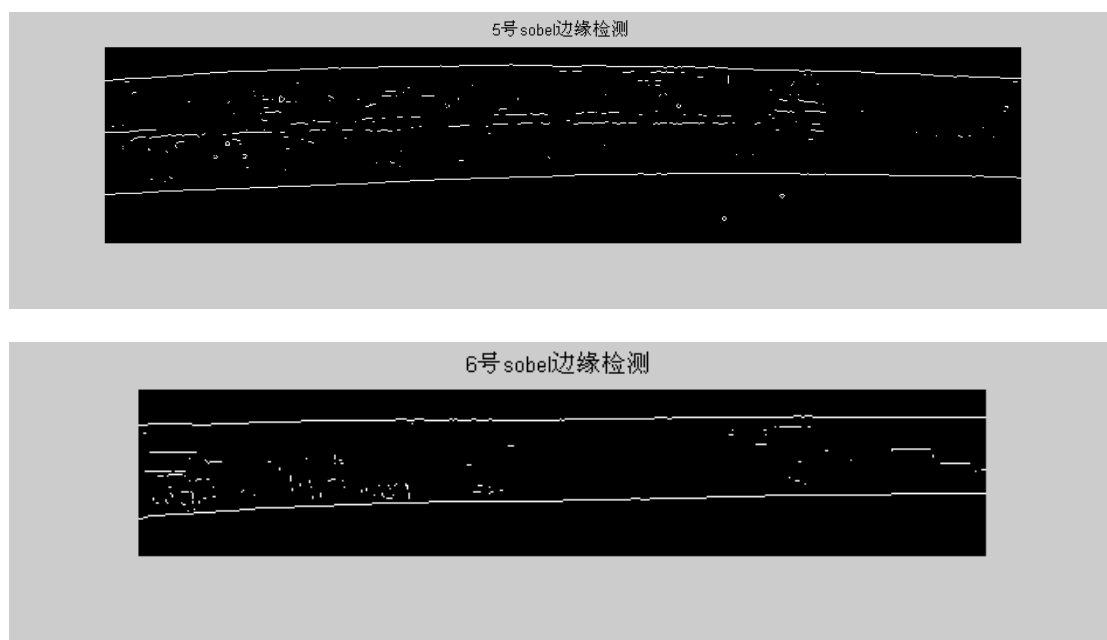


图 5-5 5-6 号 Sobel 边缘检测图

第四步：利用 Canny 算子对 5-6 号简牍图像进行边缘检测。Canny 算子是使用两个阈值来检测强边界和弱边界，并且只在弱边界与强边界相连时才进行显示。该方法与其他方法相比，受噪声影响的机会更小，并且更有可能找到真实的弱边界。具体如图 5-6 所示：



图 5-6 5-6 号 Canny 算子检测图

第五步：运用普通 Otsu 算法对简牍图像分割，如图 5-7 所示：



图 5-7 5-6 号普通 Otsu 算法分割图

第六步：运用基于遗传算法的 Otsu 算法对简牍图像分割，如图 5-8 所示：

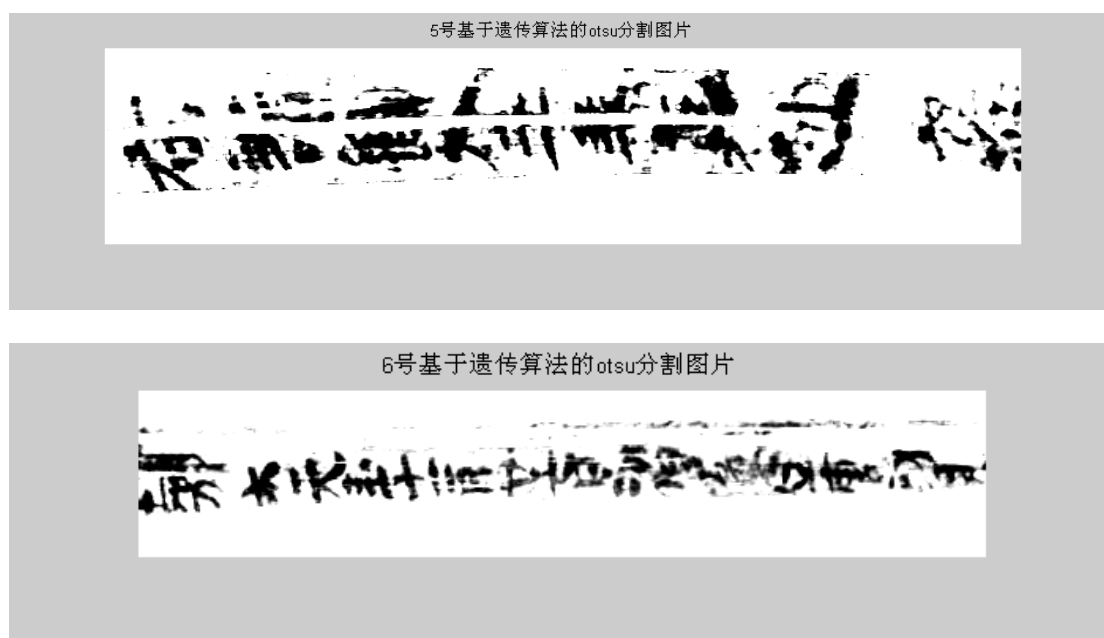


图 5-8 5-6 号基于遗传算法的 Otsu 算法分割图

由图 5-5 和图 5-6 可以看出，canny 算子在对简牍图像的边缘检测中效果要比 sobel 算子好，它对噪声具有平滑作用，减小了噪声的敏感性，可以清楚的勾勒出简牍文字的边缘信息；

由图 5-7 和图 5-8 可以看出, 普通 Otsu 算法和基于遗传算法的最大类间方差法在对简牍图像的分割上, 效果相当, 都可以较好提取文字信息, 使文字与背景分离, 为后续文字复原工作打好基础。但是在时间上, 基于遗传算法的最大类间方差法更具优势, 它可以大大缩短寻找阈值的时间。

总结和展望

本文主要是对简牍图像进行图像分割处理,根据简牍图像的特点,通过网络工具和阅读大量的参考文献,最终选取了基于阈值的图像分割方法,实现对原始简牍图像的分割处理。具体工作总结如下:

1. 通过阅读大量书籍和参考文献,对图像处理技术有了一个全面的了解,特别是对图像分割技术有了一个全新的认识,在多种图像分割算法中选取阈值分割作为研究简牍图像分割的方法。阈值分割法是图像处理中最基本的分割方法,它具有计算量小、实现简单等优点,在图像分析和识别中起着重要作用。图像阈值化就是按照灰度级,将图像空间划分成与现实景物相对应的一些有意义的区域,各个区域内部灰度级是均匀的,而相邻区域灰度级是不同的,其间存在边界。它的划分可以通过从灰度级出发,选取一个或多个阈值来实现

2. 由于简牍长年埋在地下,目标文字受损严重,模糊不清,本文根据简牍图像的特点,采用基于模糊度的阈值分割法对简牍图像进行分割。在分割过程中,考虑到人工选取窗宽具有局限性,本文引入了自适应的模糊阈值分割算法,它能够根据直方图峰值分布情况自动选取窗宽大小,大大提高简牍图像分割效率;另外,考虑到窗宽选取依赖于直方图的峰值分布,对于不具备直方图双峰特性的简牍图像分割将会导致失败,本文选用一种直方图变换新方法来解决这一难题,使大多数简牍图像都能达到预期分割效果。

3. 本文在对简牍图像阈值分割时,引入遗传算法来寻求最优解。由于普通的最大类间方差法是利用图像的灰度直方图,以背景和目标之间的方差动态的确定阈值,其计算量大,速度缓慢。本文考虑到遗传算法具有快速寻优的特点,将其和最大类间方差法结合分割简牍图像,不但提高寻优速度,而且分割效果良好,很好的实现简牍图像的分割。

在对本课题的研究过程中由于时间限制和经验缺乏,还有如下问题仍待进一步的完善和研究,具体有:

1. 对一些图像受损严重、文字信息模糊程度深的简牍图像还不能很好的实现分割,所以还需要进一步改进算法,以适应大多数简牍图像分割;

2. 下一步要做工作,在简牍图像分割的基础上研究如何对残缺文字进行笔画修复和复原,以及后续对简牍文字进行识别等。

致 谢

三年的时间匆匆而过，转眼间我的硕士研究生阶段即将结束。在论文完成之际，谨向所有给予我关心、帮助和支持的老师、同学及亲友们致以深深地谢意。

首先，要感谢我的导师王绪本教授对我研究生三年来的悉心指导。无论是在学习上，还是在生活上他都给了我极大地帮助，帮我渡过一个又一个的难关。王老师严谨的治学态度，一丝不苟的工作作风、渊博的知识、敏锐的思维、风趣的交流方式都是我一生取之不尽、用之不竭的宝贵财富。

其次，感谢祝忠明副教授，在我学习和论文撰写阶段遇到疑点、难点时，给予细心地指导和帮助。感谢我所有的任课老师们，是他们引领我走进科学的殿堂。他们严谨的治学态度，不辞辛劳的敬业精神给我留下了深刻印象，同时也是我学习的榜样。

感谢负责我课题的吴旭师兄和给予我帮助的林春师姐、阚瑗珂师兄，以及工作室的同门们：罗永、刘艳、李国庆、张振宇、于振华、李国明等，他们在学习上给了我许多帮助，生活上给了我无穷的欢乐！

感谢同寝室的室友们：贺智娟、邬静、高珊、刘建英、徐云霞、刘巧霞、史运华，共同生活的三年时间奠定了我们深厚的友谊，值得我一辈子珍惜。

最后，感谢我的父母和所有关心我的亲人，感谢他们对我精神上的鼓励、支持和生活上的关心、帮助，是他们使我顺利完成了学业，他们无私的爱永远是我努力学习、认真工作的动力源泉和坚强后盾！

参考文献

- [1] 文物价值观与文化遗产保护和应用[EB/OL]. [2005-07-28]
http://www.tianshannet.com.cn/culture/content/2007-02/27/content_1706857.htm
- [2] 张娜. 简牍图像增强与分割研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2007.
- [3] 杨斯涵. 图像分割技术在简牍保护中的应用研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2006.
- [4] 应用计算机技术实施壁画图像信息的保存[EB/OL]. [2005-04-29]
<http://www.wenwu.gov.cn/ShowArticle.aspx?ArticleID=491>
- [5] 刘瑛. OCR 技术在简牍图像数字化中的应用[D]. 成都: 成都理工大学, 2007.
- [6] 张伟. 简牍图像中文字修复的研究与应用[D]. 成都: 成都理工大学, 2008.
- [7] 覃庆炎, 王绪本, 蒋维. 反锐化掩模法在简牍文字增强中的应用[J]. 微计算机信息, 2008, 3(24): 241-242.
- [8] 章毓晋. 图像处理和分析基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [9] 章毓晋. 图像处理和分析技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [10] 刘锁兰. 基于模糊理论的图像分割区域法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
- [11] 章毓晋. 图像工程(中册)图像分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [12] 刘小伟, 彭刚, 温济川. 图形图像处理技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [13] (英) Maria Petrou, (希) Panagiota Bosdogianni 著, 赖剑煌, 冯国灿等译. 数字图像处理疑难解析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [14] 沈庭芝. 数字图像处理及模式识别[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005.
- [15] 刘丹. 计算机图像处理的数学和算法基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [16] 董明. 图像分割技术研究与应用[D]. 长春: 长春理工大学, 2009.
- [17] 杨群. 基于直方图和小波变换的图像分割方法的研究[D]. 江西: 南昌大学, 2006.
- [18] 彭丽. 基于边缘信息的阈值图像分割[D]. 湖南: 中南大学, 2009.
- [19] Canny, J. A Computational Approach for Edge Detection[J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. Vol.8, no.6, pp. 679-698, 2005.
- [20] Qian, R J, and Huang, T S. Optimal Edge Detection in Two-Dimensional Images[J]. IEEE Trans. Image Processing, vol.5, no.7, pp.1215-1220, 1996.
- [21] 杨晖, 曲秀杰. 图像分割方法综述[J]. 北京: 计算机应用研究, 2006.
- [22] 陈敏. 一种自动识别最优阈值的图像分割方法[J]. 计算机应用与软件, 2006 年 04 期.
- [23] 王萍, 苏秀琴, 刘雅. 给予区域合并的动态阈值分割算法[J]. 光子学报, 2004.
- [24] 陆剑锋, 林海, 潘志庚. 自适应区域生长算法在医学图像分割中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005.
- [25] 黄玥. 复杂背景下的灰度图像分割算法研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2008.
- [26] 吴一全, 朱兆达. 图象处理中阈值选取方法 30 年(1962-1992)的进展(一)[J]. 数据采集

- 与处理. 1993, 8:193-201.
- [27] 吴一全, 朱兆达. 图象处理中阈值选取方法 30 年(1962-1992)的进展(二)[J]. 数据采集与处理. 1993, 8:268-282.
- [28] 王坤. 数字图像分割和质量评价方法的研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2006.
- [29] Carson, C. Belongqie, S. Greenspan, H. and Malik, J. Blobworld: image segmentation using expectation-maximization and its application to image querying[J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. vol. 24, pp. 1026-1038, 2002.
- [30] 章毓晋. 一种评价图像分割技术的新方法[J]. 模式识别与人工智能, 1994, 7(4): 299-304.
- [31] 章毓晋. 图像分割评价技术分类和比较[J]. 中国图像图形学报, 1996.
- [32] 刘冬菊. 基于阈值的图像分割算法的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- [33] 李卓, 郭立红. 快速图像处理中阈值选取方法的比较研究[J]. 2005 年 3 月.
- [34] 程杰. 一种基于直方图的分割方法[J]. 华中理工大学学报. 1999, 27(1): 20-23.
- [35] 付忠良. 图像阈值选取方法的构造[J]. 中国图像图形学报, 2000, 5(06): 466-469.
- [36] 张运杰. 基于模糊系统理论的图像分割技术研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2007.
- [37] 姜巧巧, 钱昆明. 基于 Renyi 熵的图像分割算法[A]. 2009. 通讯理论与技术新发展—第十二届全国青年通信学术会议论文集(上册)[C]. 2007
- [38] 侯格贤, 毕笃彦, 吴成柯. 图像分割质量评价方法研究[J]. 中国图像图形学报, 2000, 5(1): 39-43.
- [39] 丁震, 胡钟山等. 一种基于模糊聚类的图像分割方法[J]. 计算机研究与进展, 1997, 34(7): 536-541.
- [40] 王培珍, 陈振南. 基于二维阈值化与 FCM 相混合的图像迅速分割方法[J]. 中国图像图形学报, 1998, 3(19): 35-735.
- [41] 王培珍, 杜培明. 一种用于多阈值图像自动分割的混合遗传算法[J]. 中国图像图形学报, 2000, 5(1): 40-47.
- [42] Murthy C A, Pal S K. Bounds for membership fuzziness: A correlation-based approach[J]. Information Sciences, 1992, 65:143-171.
- [43] Murthy C A, Pal S K. Histogram thresholding by minimizing gray-level fuzziness[J]. Information Sciences, 2002, 60:107-135.
- [44] Jin L Z, Xia L Z, Yang S Z. Histogram adaptive thresholding using index of fuzziness[J]. Journal of Image and Graphics, 2000, 5(5):390-395.
- [45] 李弼程, 柳葆芳. 基于二维直方图的模糊门限分割方法[J]. 数据采集与处理, 2000, 15(3): 324-329.
- [46] 李健庄. 基于二维直方图的图像模糊聚类分割方法[J]. 电子学报, 1992, 20(9): 40-46.
- [47] 遗传算法百度百科[EB/OL].

<http://baike.baidu.com/view/45853.htm>

- [48]刘大有等. 遗传程序设计方法综述[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(2):213-222.
- [49]米凯利维茨. 演化程序-遗传算法和资料编码的结合[M]. 北京:科学出版社. 2001, 12.
- [50]Otsu NA. Threshold Selection Method from Gray-level Histogram[J]. IEEE Trans. 1979. SMC-9:62-66.
- [51]曹亮. 基于 Otsu 理论的图像分割算法研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2008.
- [52]SU Lee,et al. A comparative Performance Study of Several Global Thresholding Techniques for Segmentation[J]. CVGIP.1990,52:171-190.
- [53]杨修国. 图像阈值分割方法研究与分析[D]. 上海:华东师范大学, 2009.