

分类号 _____

UDC _____

编号 _____

成都理工大学

学位论文

题名和副题名 简牍图像增强与分割的研究

作者姓名 张娜

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 2007.5 论文答辩日期 2007.6

学位授予单位和日期 成都理工大学 (2007年6月)

答辩委员会主席 张成江

评阅人 李永平 金石

2007年5月

分类号 _____

学校代码: 10616

U D C _____

学号: 200402219

成都理工大学硕士学位论文

简牍图像增强与分割的研究

张 娜

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 _____ 2007.5 _____ 论文答辩日期 _____ 2007.6

学位授予单位和日期 _____ 成 都 理 工 大 学 (2007 年 6 月)

答辩委员会主席 张成江

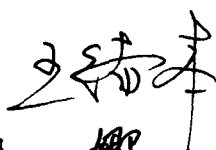
评阅人 李 娜 金 石

2007 年 5 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。与我一同工作的同志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。

学位论文作者导师签名：



学位论文作者签名：



2007年5月31日

学位论文授权使用授权书

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：



2007年5月31日

简牍图像增强与分割的研究

作者简介：张娜，女，1982年1月生，2004年从师于王绪本教授，于2007年6月毕业于成都理工大学信号与信息处理专业。

摘要

数字图像处理技术应用于简牍图像处理领域，可以加快考古专家提取与分析简牍历史文化信息的进程；对简牍图像来说，也需要用图像技术来改善其字迹模糊、对比度低以及笔画残缺不全等缺点，从而有利于考古研究以及文物保护工作的开展。

图像增强、图像分割和数学形态学处理是图像处理领域中一项重要而有价值的技术。图像增强的研究目的是改善图像的视觉效果，提高图像的可懂度；图像分割就是从图像中提取出感兴趣的部分；而数学形态学处理可以简化图像数据，保持基本的形状特征，并去除不相干的结构。

论文根据简牍图像的特点，采用了一种基于HSV空间的简牍图像增强算法。该方法按照人的视觉特性选择了HSV空间，并将线性变换、中值滤波、高斯-拉普拉斯级联作用于图像的亮度分量，同时也对饱和度作了相应的拉伸处理。实验结果表明，增强后的简牍图像更清晰，文字信息更突出，增加了可读信息；接着，以增强后的简牍亮度信息为主要依据，进行了分割处理。针对当前主流的分割算法进行了分析、分类、归纳和总结，具体结合简牍的独有特性，分别采用了阈值技术、最大类间方差（OTSU）法，以及区域生长法进行处理，通过大量的实验，找到了最佳的简牍文字提取方法，有效地把文字与背景进行了分离；然后，对提取出的文字信息进行了数学形态学处理，组合使用开运算和闭运算，有效地对字体笔画进行了加深，并填补了笔画上的一些细小空洞；最后，在改进现有投影法的基础上，对简牍文字图像进行了分割处理，取得了预期效果，这为后期文字笔画的修复以及文字识别工作的顺利进行奠定了基础。

关键词：图像增强，颜色模型，图像分割，数学形态学，投影法

Research Of Bamboo Slips Image Enhancement And Segmentation

ABSTRACT

Digital image processing technique applied in bamboo slips image improves the process of culture information distilled and analyzed for archaeologist; Also, there are demand for using image technique to change the shortage, such as fuzzy words、 low contrast and fragmentary information and so on. The alteration could make the research and cultural relic work well.

Image enhancement、 segmentation and mathematical morphology are greatly important and valuable technology in Image Processing fields. The aim of image enhancement is to change the vision and improve the cognition; Image segmentation is to distill the interested region from picture; Mathematical morphology method could keep the basic shape characteristic of image when predigesting data and wiping off the disrelation structure.

According to bamboo slips characteristic, a new enhancement method is proposed which is based on HSV in paper. The perceptual color HSV space is used. When the saturation is processed, the value is disposed by the combined method of linear transformation、 median filtering and laplacian of Gaussian. The experimental results show that the enhanced bamboo slips image is much more clearly and more words can be known; Next step, image segmentation is used for enhanced value information. Analysis、 classification and conclusion of current picture splitting algorithm is carried out. Combining bamboo slips characteristic, Threshold value, Maximum Between-Class Variance(OTSU) and area segmentation methods are used separately to bamboo slips. Through a large of experiment, a suitable segment method is found for bamboo slips words distilled, which could separate the words from the background; Later, mathematical morphology method is used to process the word information. Open and Close operator using together is useful for thickening the word and filling up the small inanition; At last, the word picture is divided based on the improved projection method. The pleasant result is helpful for the pickup study, such as word restoration and recognition.

Keywords: Image Enhancement, Color space, Image Segmentation, Mathematical Morphology, Projection Method

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	II
第 1 章 引 言	1
1.1 选题依据与研究意义	1
1.2 国内外的发展现状	2
1.3 论文的主要研究内容与思路	3
1.4 本论文的主要工作和结构安排	4
1.4.1 主要工作	4
1.4.2 结构安排	5
第 2 章 数字图像处理技术简介	6
2.1 数字图像处理概述	6
2.1.1 图像和数字图像	6
2.1.2 图像工程学	7
2.1.3 图像表示	8
2.2 数字图像处理技术的内容	9
2.3 数字图像处理特点及优点	9
2.4 数字图像处理的应用	10
第 3 章 简牍图像增强处理	12
3.1 图像增强概述	12
3.2 简牍图像增强方法	13
3.2.1 颜色模型	14
3.2.2 线性变换	20
3.2.3 中值滤波	23
3.2.4 图像锐化	25
3.2.5 实验结果讨论	29
第 4 章 简牍图像分割处理	32
4.1 图像分割概述	32
4.2 阈值化技术	33
4.2.1 阈值分割	33
4.2.2 OTSU 分割	35
4.3 区域生长	37

4.4 实验结果对比	39
第 5 章 数学形态学图像处理	41
5.1 数学形态学概念	41
5.2 图像腐蚀	41
5.3 图像膨胀	42
5.4 开启和闭合	43
5.5 实验结果分析	44
第 6 章 简牍文字分割处理	45
6.1 投影法原理	45
6.2 实验结果分析	46
结 论	51
致 谢	53
参考文献	54

第1章 引言

1.1 选题依据与研究意义

中国已知的地上地下不可移动文物有近40万处。二十世纪九十年代是政府对文物抢救保护投入最多、成效最为显著的一个时期^[1]。文物作为历史文化的物质载体和实物见证,是民族的象征,国家的标记,具有重要的历史、艺术和科学价值三大价值。文物用于历史或科学研究、满足精神文化需求的使用价值,不仅对弘扬和培育民族精神、进行爱国主义教育和思想道德建设、普及文化知识以及对外文化交流等社会主义精神文明建设,而且对经济建设、科学研究、旅游事业发展等物质文物保护也具有十分重要的意义^[2]。因此,怎样记录和整理文物信息资料,包括文物原貌的储存,是文物保护与研究中十分重要的环节。

改革开放以来,我国文化保护事业虽然取得了很大成绩,但面临的形势却更加严峻,不正确的修复理念、技术和材料给文物带来一定的危害。目前,文物保护工作已逐步纳入法制化轨道。文物保护^[3,4]是一项多学科交叉的边缘学科,当前很多博物馆都积压了大量待修复的文物,同时还有大量的新出土文物不断进入博物馆,仅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,已修复的文物在展出过程中,由于技术原因得不到有效的保护,也会在一定程度上损坏文物。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的历史文物,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。

简牍是我国继甲骨卜辞、居延汉简、敦煌文书之后在古文献领域的又一重大发现,是我国特有的文档材料、古文化的重要载体,大量重要的历史信息都存于简牍上,其可靠程度大大超过文献的记载,具有极高的史料价值。简牍考古研究的目的是为了揭露、记录、发现古代遗留下来的实物资料及古代文献的相关信息。科学准确的记录研究过程、对海量考古数据的科学分析与直观的展示,是对简牍文物科学利用,正确分析古代文献的必要条件。简牍发掘出土之后,风化速度急剧加快,如不及时释读整理,很多字迹就永远无法辨认。因此,既要采取一切必要手段对之进行科学的保护,又要发挥其应有的价值,对之进行整理,并早日公布,以确保让“新发现”促进“新学问”的形成和发展,进而服务于社会文化事业的发展,达到正确分析古代文献资料的目的。但传统的简牍处理方法是极其复杂的:首先人工地进行揭剥、清洗、拍照、脱水、入库,然后再进行编码、整理

工作。同时，简牍专家还要从海量的图片中对残断的简牍进行人工拼接，以及文字识别等信息提取工作，其巨大的工作量是可想而知的。

随着网络和数字化技术的发展，将先进的计算机信息化技术应用于简牍信息处理领域，运用先进的图像处理技术对简牍图像进行处理，将克服传统手段的投入大、效率低、工程繁琐等缺点，加快文献释读整理的速度，对简牍文物的管理、保存和研究有着重要的意义。

本论文的选题是基于国家“十五”科技攻关项目—文物保护关键技术(2004BA810B)/高新技术在出土竹木类文物修复复原与保存技术的应用研究课题中对简牍文物保护关键技术研究，重点是对简牍图像进行预处理，以及文字分割操作，其中图像预处理包括了简牍图像的增强、分割和形态学处理。这一系列工作的完成将为后续文字笔画修复、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 国内外的发展现状

伴随计算机和信息技术的飞速发展，世界发达国家开始将计算机技术应用到濒危珍贵文物的计算机复原以及模拟修复、网上的虚拟博物馆等方面。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。另外，我们知道博物馆的工作大多是运用文物、图片和相关资料进行展览、陈列以及保管收藏和研究，现在很多博物馆开始使用各种图像处理软件来改善由于图文物资料和图片年代久远，纸张变质发黄，图像变得模糊不清，难以辨认等现象，这些软件在读取文物图像信息过程中起到良好的作用。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。对于简牍，韩国和日本也非常重视，各自投入了大量人力、物力来研究简牍，并取得了一些效果。

在我国，随着计算机、信息技术的快速发展，也已经开始了相关研究，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，开始将计算机图像处理技术应用到科技考古领域中。

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；在考古绘图领域中，逐渐采用相应的计算机图形处理软件（如 Photoshop、

Illustrator、CorelDRAW、AutoCAD等)将所拍正交文物图像转化为正投影线图,存储在计算机中,推动了考古绘图的数字化进程,初步完成了考古绘图的数字化建设。与此同时,它所拍摄的完全正交图像,也为文物图形资料数据库的建立打下了坚实的基础。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;在甘肃,以敦煌莫高窟第45窟为研究对象,采用近景摄影测量技术,获取高质量、高精度壁画图像摄影反转片,采用数字扫描方法得到壁画的数字图像,经过几何纠正和色彩还原等图像处理,得到较高质量的数字图像,并辅以各类文字说明和相关文物档案等属性资料,初建了敦煌壁画高保真图像信息系统^[6]。

目前,文物修复专家贾文忠将文物修复课开进了北京大学文博学院、北京城市学院等五所首都高校,这门课深受欢迎,并被学生评为“最感兴趣和最爱学的课程”。课程内容包括文物保护、修复概论等,帮助学生从一无所知到能够完整地修复一件文物,写出理论与实践相结合的论文。

1.3 论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拍照的简牍为研究对象,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。

图像处理技术指在图像之间进行转换以改善图像的视觉效果并为自动识别打下基础,或减少其所需存储空间或传输时间,满足给定传输通路要求的各种技术。图像增强是一类基本的图像处理技术,在图像处理领域中占据着重要位置。通常,图像在传输和转换过程中要造成某些降质。因此,必须对降质图像进行改善处理。其中一种改善方法就是不考虑降质原因,只将图像中感兴趣的特征有选择地突出,同时衰减不需要的特征。图像增强主要目的是改善图像的视觉效果,提高图像成分的清晰度,同时变得更有利于计算机处理。常用的图像增强方法有很多,如空间域单点增强、图像平滑、图像锐化、图像滤波及彩色增强等等。

图像分割也是一种关键的图像处理技术。在图像研究中,一般对图像中的某些部分感兴趣,这些部分常称为目标或前景(其他部分称为背景),它们一般对应图像中特定的具有独特性质的区域,为了辨识和分析目标,需要将这些有关区域分离出来,在此基础上才有可能对目标进一步处理,如进行特征提取和测量。图像分割就是指把图像空间划分成若干个具有某些一致性属性的不重叠区域并提取出感兴趣目标的技术和过程。

数学形态学以形态为基础对图像进行分析,其基本思想是用具有一定形态的结构元素去量度和提取图像中的对应形状以达到图像分析和识别的目的。数学形

态学的应用可以简化图像数据,保持基本的形状特征,并去除不相干的结构。数学形态学的基本运算有膨胀、腐蚀、开启和闭合4种。

本论文的研究重点是先对简牍图像进行增强处理,提高简牍图像的清晰度;再以增强后的亮度信息为主要依据,进行分割处理,将文字与背景进行分离,提取部分有用的文字信息;接着,对提取的文字进行了形态学处理,进一步改善文字的视觉效果,更突出字体的笔画信息,去除无用信息,并在一定程度上填补笔划上的小孔;最后,结合简牍自身的特性,改进现有的投影法,对简牍文字图像进行分割处理,有效地分割出文字信息,为以后的文字笔画修复以及文字识别工作打下基础,提高研究专家的工作效率,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,并进行长久性保存。

1.4 本论文的主要工作和结构安排

1.4.1 主要工作

本论文基于国家“十五”科技攻关项目——文物保护关键技术研究(2004BA810B)(高新技术在出土竹木类文物修复复原与保存技术的应用研究课题)中对简牍进行图像处理研究,根据简牍图像的特点,采用先进的图像处理技术对简牍图像进行处理。所做的工作如下:

1. 通过大量的文献阅读,对常用的图像处理技术有了全面而系统的了解,对经典的图像处理算法的基本原理和推广作了详细的研究和总结;
2. 按照人眼的视觉特性,选择HSV颜色模型进行简牍图像增强处理,并对其优势进行了分析和对比;
3. 在HSV色彩空间中,对简牍图像增强处理进行了研究,并从直方图分布以及统计参数两方面客观地对增强结果进行了分析;
4. 在增强的基础上,以亮度信息为主要依据,研究了如何有效地进行文字与背景的分离处理。通过大量的实验,分析比较几种主要的文字提取方法,确定简牍文字的最佳提取方案;
5. 对提取的文字信息,进行数学形态学处理,采用开运算和闭运算进行处理,更进一步改善文字的视觉效果;
6. 分析了简牍文字图像的特点,结合现有的投影法,在大量实验的基础上,提出并运用多个修正参数,对简牍文字进行分割处理。

本论文意在探索利用Matlab软件实现以上几个有关简牍图像处理的问题,寻找适合简牍图像的增强和分割算法,从而降低简牍信息提取的难度。同时,也对接下来的文字修复以及文字识别工作起到一定的指导作用,做好准备工作。

1.4.2 结构安排

本文的结构安排如下：

第1章，阐述了本文的选题依据、研究目的以及国内外研究现状，并概述了本文的主要研究内容以及所做的工作。

第2章，介绍了数字图像处理的基本概念、特点和分类，以及目前常用的图像处理方法及其广泛应用等。

第3章，对简牍图像进行了增强处理，目的在于提高简牍图像的对比度，使文字细节信息更加清晰，色彩信息也更符合人眼的视觉心理特性，为提取文字信息做好前期准备工作。

第4章，对简牍图像的分割方法进行了研究，比较了一些现有的分割算法的优缺点，分别采用了阈值技术、OTSU法、区域生长法以增强后的亮度分量为依据，进行了分离文字与背景的操作，通过大量的实验，找到了最优的提取方法。

第5章，对提取出的文字图像进行形态学处理，采用将开运算与闭运算级联使用的方法，处理文字信息，取得了良好的效果。

第6章，深入分析了简牍文字图像的特点，具体结合现有的投影法，在大量实验的基础上，提出并运用多个修正参数，对简牍文字进行分割处理。

第 2 章 数字图像处理技术简介

2.1 数字图像处理概述

2.1.1 图像和数字图像

大量科学研究表明,人类从外界获得的信息约有 75%来自于视觉系统。这就是说,人类大部分信息都是从图像中获得的。图像就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而产生视知觉的实体。图像能够以各种各样的形式出现,例如可视的和不可视的、抽象的和实际的、适于计算机处理的和不适于计算机处理的等等。就其本质来说,可以将图像^[6]分为两大类:

一类是模拟图像,指空间坐标和明暗程度都是连续变化的、计算机无法直接进行加工处理。包括光学图像、照相图像、绘图、电视图像等。例如,在生物医学研究中,人们在显微镜下看到的图像就是一幅光学模拟图像,照片、用线条画的图、绘画也都是模拟图像。模拟图像的处理速度快,但精度和灵活性差,不容易查找和判断。

另一类是将连续的模拟图像经过离散化处理以后变成计算机能够识别的点阵图像,称为数字图像。数字图像是一种空间坐标和灰度均不连续的,用离散的数字表示的图像。

图像处理就是对图像信息进行加工处理,以满足人的视觉心理和实际应用的要求。人类获取外界信息可通过视觉、听觉、触觉、嗅觉和味觉等多种方法。但绝大部分是来自视觉所接收的图像信息,作为传递信息最多的媒体之一,它比其他任何媒体都显得更为重要,所谓“百闻不如一见”就是最好的证明。因此,图像处理技术的广泛研究和应用是必然趋势^[9]。

数字图像处理(Digital Image Processing),也称计算机图像处理(Computer Image Processing),它是指将模拟的图像信号转换成离散的数字信号并利用计算机对其进行处理的过程,其输入是原始图像,输出则是改善后的图像或者是从图像中提取出的一些特征,以提高图像的实用性,从而达到人们所要求的预期结果。这项技术最早出现于 20 世纪 50 年代,当时的数字计算机已经发展到一定水平,人们开始利用计算机来处理图形和图像信息。目前,数字图像处理技术已经广泛地应用到各个领域,如通信、电视传输、医学、印染工业、工业检测及科学研究、军事公安、气象预报等。

2.1.2 图像工程学

工程学是指将自然科学的原理运用到工程实践中所形成的新学科。图像工程学是指将数学、光学、物理、逻辑等基础学科运用于图像处理领域而发展起来的涵盖整个图像领域新学科。图像工程学可以由下到上分为三个层次:图像处理、图像分析和图像理解^[7]。

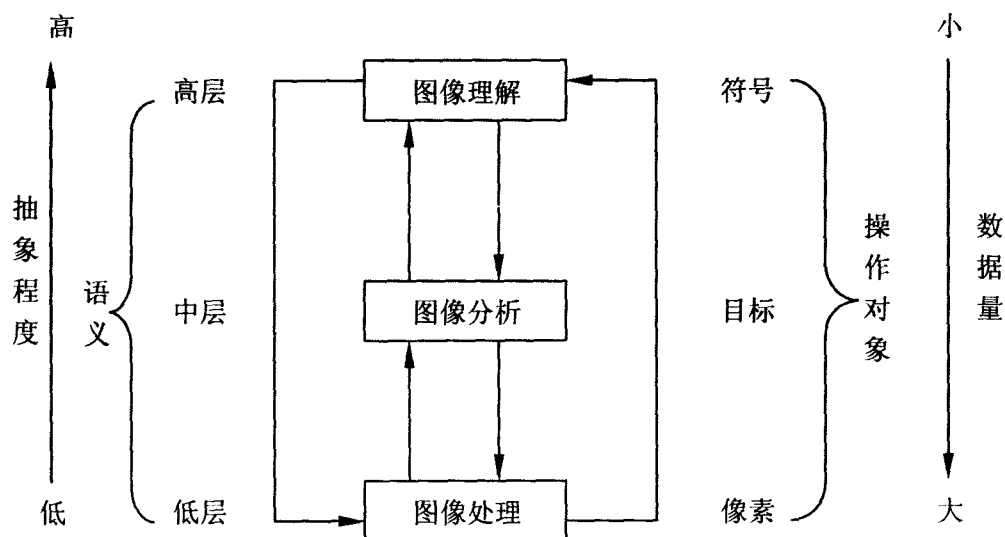


图 2-1 图像工程三层次示意图

图像处理着重强调在图像之间进行变换，是图像工程的最底层操作，直接对像素进行处理，属于物理空间，其处理的数据量极大。常用图像处理泛指各种图像技术，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下基础，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。图像处理主要包括：图像重建、图像增强、图像压缩编码、图像变换等技术。

图像分析是对图像中感兴趣的目标进行检测和测量，以获得它们的客观信息，从而建立对图像的描述，属于数学空间。图像分析位于中层，分割和特征提取把原来以像素描述的图像转变成比较简洁的对目标的描述。如果说图像处理是一个从图像到图像的过程，则图像分析是一个从图像到数据的过程。这里数据可以是对目标特征测量的结果，或是基于测量的符号表示。它们描述了图像中目标的特点和性质。图像分析主要包括：目标检测、提取、跟踪，目标表达等技术。

图像理解的重点是在图像分析的基础上，进一步研究图像中各目标的性质和它们之间的相互联系，并得出对图像内容含义的理解以及对原来客观场景的解释，从而指导和规划行动。它位于最高层，研究描述符号之间的联系，得到对图像内容的理解和对客观存在的解释，属于逻辑空间。如果说图像分析主要是以观察者为中心研究客观世界（主要研究可观察到的事物），那么图像理解在一定程

度上则是以客观世界为中心,并借助知识、经验等来把握和解释整个客观世界(包括没有直接观察到的事物)。图像理解包括:图像配准、融合,图像解释、推理等内容。

在图像工程学体系中,图像间的转换是通过图像处理进行的。对图像进行图像分析,能得到图像数据,对图像通过模式识别,能得到图像符号。可以再通过对数据和符号的图像理解,把信息提供给人。

从图 2-1 可见,图像工程是既有联系又有区别的图像处理、图像分析及图像理解三者的有机结合。随着抽象程度的提高,数据量是逐渐减少的。更具体一点说,原始图像数据经过一系列的处理逐步转化的更有组织并能够被更抽象地表达。在这个过程中,语义不断引入:由低层到高层;操作对象发生变化:从像素到目标再到符号;数据量得到了压缩:由大到小。另一方面,高层操作对低层操作有指导作用,能提高低层操作的效能。

图像工程学是一门系统的研究图像理论、技术和应用的学科。它与模式识别、计算机视觉、计算机图形学等专业相关,又与人工智能、神经网络、遗传算法、模糊数学等学科有密切的联系。

2.1.3 图像表示^[7]

在数字图像中,一幅图像是由若干个图像点构成的,每一个点被称为一个像素((Pixel)。像素即构成图像的基本元素,比如,如果一幅图像的大小是 256×400 ,实际上讲的就是这个图像有多少像素:该图像在水平方向上有 256 像素,在垂直方向有 400 像素,整个图像是一个 256×400 像素的矩形区域的图像。图像水平方向上的像素个数称为图像的宽度,垂直方向上的像素个数称为图像的高度。

客观世界在空间上是三维(3-D)的,但大部分成像装置都将 3-D 世界投影到二维(2-D)像平面,所以得到的图像是 2-D 的。一幅图像一般可以用一个 2-D 数组 $f(x, y)$ 来表示,这里 x 和 y 表示 2-D 空间 XY 中一个坐标点的位置,而 f 则代表图像在点 (x, y) 的某种性质 F 的数值。

日常所见图像多是连续的,即 f, x, y 的值可以是任意实数。但利用计算机对图像进行处理时,则需要把连续图像在坐标空间 XY 和性质空间 F 都离散化,从而得到离散化的图像即数字图像。

最常用的图像表示方法如上面介绍,将一幅图像用一个 2-D 数组 $f(x, y)$ 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。这样,图像像素与数组元素是一一对应的。

一幅图像可以表示为一个 2-D 的 $N \times M$ 的矩阵(其中 N 和 M 分别为图像的行数和列数)

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1M} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2M} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_{N1} & f_{N2} & \cdots & f_{NM} \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

也可用矢量表示图像:

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

其中

$$f_i = [f_{1i} \ f_{2i} \ \cdots \ f_{Ni}]^T, \quad i=1, 2, \dots, M \quad (2-3)$$

2.2 数字图像处理技术的内容

数字图像处理的研究方法^[8]非常多,主要包括信号处理方法、数学物理方法、生理学和心理学方法、仿生学方法等,这些方法相互交叉、内容有重复,不能截然分开。一般来说,主要包括:图像增强、图像变换、图像复原、图像分割、图像压缩编码、图像重建等内容。

图像数字化——即研究如何把一幅连续的光学图像表示成一组数字,也就是将模拟图像进行数字化处理,转变成离散的图像,以便于计算机进行加工处理。

图像增强——增强图像中的有用信息,提高图像的视觉效果。

图像变换——把原先定义在图像空间的信息以某种形式转换到频率域进行处理以改善图像的质量,同时还因为大多数变换都有快速实现的方法,可以大大提高处理运算的速度。

图像复原——由于原始图像在某种情况下出现了退化或恶化现象,就可以根据退化模型进行图像的重建,称为图像复原。

图像分割——按照一定的原则将一幅图像或景物分为若干个特定的、具有独特性质的部分或子集,并提取出感兴趣目标的技术和过程。

图像编码——在满足一定保真度的情况下,通过特殊编码方式,从而减少原图像数据的空间占用量。

图像重建——根据二维平面图像数据构成三维物体的图像。

在本文的研究内容中,重点研究图像增强、分割方面的内容,利用图像处理技术对简牍图像进行处理,从而达到令人满意的结果。

2.3 数字图像处理特点及优点

数字图像处理技术在灵活性、精度、调整和再现性方面都是卓越的,它具有

用程序能自由地进行各种处理,并且能达到较高的精度,具有以下几个基本特点^[9]:

1. 数字图像处理的信息量很大。如一幅彩色的每个像素用红、绿、蓝三种颜色表示,每种颜色用 8 bit 表示灰度级。则一幅 1024×1024 不经压缩的真彩色图像,数据量可达 3 MB (即 $1024 \times 1024 \times 8 \text{ bit} \times 3 = 24 \text{ Mb}$)。对这样大信息量的图像进行处理,必须要有拥有大存储量的计算机才能胜任。
2. 数字图像占有的频带比较宽。与语言信息相比,占用的频带要大几个数量级。如电视图像的带宽为 5.6MHz,而语言带宽仅为 4KHz 左右。所以说,如果频带愈宽,技术实现的难度就越大,成本也就越高,为此对频带压缩技术就提出了更高的要求。
3. 数字图像中各个像素是不独立的,其相关性很大。比如说在电视画面中,同一行中相邻两个像素或相邻两行间的像素,其相关系数可达 0.9 以上,而相邻两帧之间的相关性比帧内相关性还要大一些。可见,数字图像处理信息压缩的潜力很大。
4. 由于数字图像处理,一般是给人观察和评价的,因此受人的因素影响很大。但人的视觉系统很复杂,很大程度上受环境条件、视觉特性和主观意识的影响,因此对图像质量的评价标准还有待更进一步的研究。
5. 数字图像处理技术综合性强。数字图像处理涉及的技术领域相当广泛,如通信技术、计算机技术、电子技术、生物医学、遥感领域、电视技术等。

数字图像具有以下显著优点^[6]:

- ◇ 精度高:目前的计算机技术可以将一幅模拟图像数字化为任意的二维数组,即数字图像可以有无限多个像素组成,每个像素的亮度可以量化为 12 位(即 4096 个灰度级),这样的精度使得数字图像与彩色照片的效果相差无几。
- ◇ 处理方便:由于数字图像本质上是一组数据,所以可以用计算机对它进行任意方式的修改,例如放大、缩小、改变颜色、复制和删除图像的某一部分等。
- ◇ 重复性好:模拟图像即使是使用非常好的底片和相纸,也会随着时间的流逝而褪色、发黄,而数字图像可以存储在光盘中,上百年后再用计算机重现也不会有丝毫的改变。

2.4 数字图像处理的应用

数字图像处理技术起源比较早,但真正发展是在八十年代后,随着计算机技术的高速发展而迅猛发展起来。目前,数字图像处理技术已经在许多不同的应用领域中得到重视,并取得了巨大的成就,其应用越来越广,已经渗透到工程、工业、医疗保健、航空航天、军事、科研、安全保卫等各个方面,在国计民生及国

民经济中发挥越来越大的作用。具体应用领域^[10]可粗略概括为表 2-1:

表 2-1 数字图像处理的应用领域

学 科	主要应用内容
遥感领域	森林、国土、海洋遥感图像图像处理
生物医学	细胞分析、染色体分类、CT、血球分类、X 射线照片分析
环境保护	水质及大气污染调查
地 质	资源勘探、地图绘制、探地雷达
水 利	河流分布、水利及水害调查
气 象	云图分析等
通 信	电视广播、可视电话和会议电话、传真、图文电视和可视图文
经 济	电子商务、身份认证、防伪
工业、交通	零件、产品无损检测、交通管制、车牌识别
军 事	虹膜识别、指纹识别、人脸识别、交通监控

数字图像处理技术未来发展大致可归纳为以下几点:

1. 将向着高速、高分辨率、立体化、智能化、多媒体化和标准化方向发展。
2. 朝着三维成像或多维成像的方向发展, 将图像、图形更好地相结合。
3. 硬件芯片研究。将图像处理的众多功能固化在芯片上将会有更加广阔的应用领域。
4. 新理论和新方法的深入研究。

随着计算机信息技术的不断发展以及人们需求的不断扩大, 多门学科知识的交叉、融合已是现代科学发展的突出特点和必然途径, 而数字图像处理又是一门与国计民生紧密相连的一门应用科学, 它的发展与应用与我国的现代化建设联系密切, 影响深远。数字图像处理技术无论是在理论上还是在实践上都存在着巨大的潜力。总而言之, 随着计算机技术的日益发展, 图像处理技术将日益完善, 图像处理的应用范围将越加深入和广泛。

第3章 简牍图像增强处理

3.1 图像增强概述

通常,图像在传送和转换的过程中,如成像、复制、转换、扫描、传输以及显示等,总是会出现图像的质量下降现象。如果不考虑图像降质的原因,只对图像感兴趣的部分,如边缘、轮廓、对比度等进行突出,而衰减不需要的特征,达到便于观察或者进一步分析和处理的目的,这就是图像增强技术^[11-12]。图像增强不会增加数据信息量,而是增加所选择特征的动态范围,从而使这些特征检测或识别、或是其他分析处理更加容易进行,所以改善后的图像不一定要去逼近原始图像。也就是说,图像增强有可能对图像特征的动态范围进行压缩或拉伸、对边缘信息进行锐化以及提高图像对比度等处理,从而改善图像视觉等效果。

从图像质量评价观点看,图像增强技术的主要目的是使处理后的图像对某种特定的应用来说,比原始图像更加适用,因此这种处理方法是为了某种应用目的去改善图像视觉效果、提高图像的清晰度等,从而使处理后的结果更适合人的视觉特性或计算机的识别系统。

图像增强技术有两类方法^[11]:空间域和频率域方法。空间域中的方法主要是在空间域对图像像素灰度值直接运算处理。空间域法的图像增强技术可以用下式(3-1)和图3-1来描述。

$$g(x,y) = f(x,y)h(x,y) \quad (3-1)$$

其中 $f(x,y)$ 、 $g(x,y)$ 为增强处理前后的图像, $h(x,y)$ 为空间增强函数。

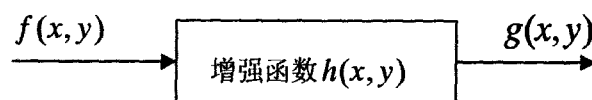


图 3-1 图像增强空域模型

图像增强的频率域法就是在图像的某种变换域范围内,对图像的变换值进行运算。可以用下式(3-2)和图3-2来描述图像频率域增强技术的原理过程。

$$\left. \begin{aligned} F(u,v) &= \phi[f(x,y)] \\ G(u,v) &= F(u,v)H(u,v) \\ g(x,y) &= \phi^{-1}[G(u,v)] \end{aligned} \right\} \quad (3-2)$$

其中 $F(u,v)$ 、 $G(u,v)$ 分别是增强处理前后图像 $f(x,y)$ 、 $g(x,y)$ 的频域正变换, $H(u,v)$ 为频域增强函数。

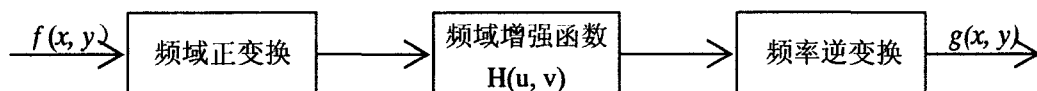


图 3-2 图像增强频域模型

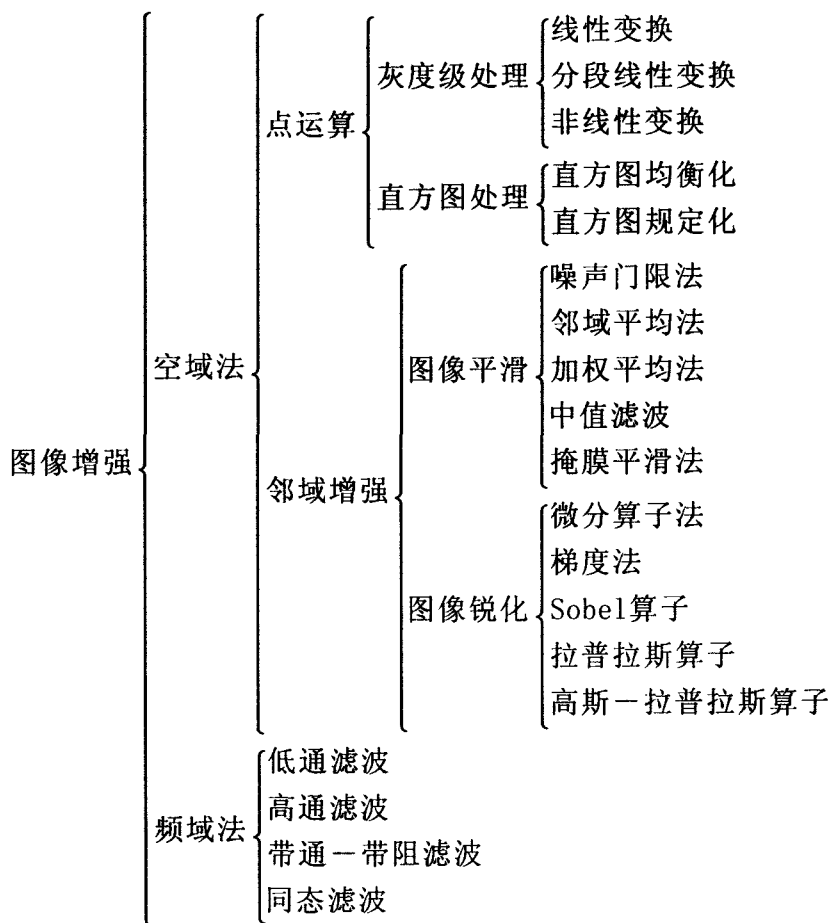


图 3-3 图像增强主要方法

3.2 简牍图像增强方法

与常见的彩色图像相比，简牍图像具有很大的特殊性。由于大多数简牍实物长期埋存地下，出土时重叠、粘连，有的腐蚀、朽烂，文字信息出现脱落，墨迹扩散，有些根本难以识别简牍上的文字符号，大大增加了简牍信息提取的难度。

通常采用图像增强技术来改善图像的视觉效果，提高图像的可懂度。但现有的图像增强方法，如线性变换、中值滤波、图像锐化等，对于灰度图像而言是一些很好的方法，而将它们应用于彩色图像，却有一定的局限性，主要是由于彩色图像还存在色彩信息。本文结合简牍图像自身的特点，使用一种基于 HSV 空间的彩色图像增强方法，在色调分量不改变的前提下，将几种增强技术组合起来作用于简牍的亮度分量，不仅可以调节动态范围，还可以去除了图像的噪声并使目标

轮廓得到增强，而对于饱和度进行适当的灰度拉伸，改变其直方图分布。

简牍属于彩色图像，对它的增强处理不能局限于灰度图像处理技术，应重视其色彩信息，选择合适的彩色空间，其主要算法步骤如下图 3-4 所示：

原始简牍图像 → RGB 空间转换到 HSV 空间 →

线性变换 $\left\{ \begin{array}{l} \text{饱和度} \\ \text{亮度} \end{array} \right. \rightarrow \text{中值滤波} \rightarrow \text{高斯-拉普拉斯} \rightarrow \text{HSV 空间转换到 RGB 空间} \rightarrow$

输出结果

图 3-4 简牍图像增强的算法步骤图

3.2.1 颜色模型

光的电磁辐射刺激我们的视觉系统，对这种刺激的反映所产生的感觉就是颜色。更准确地说，颜色就是人眼视网膜中 400nm~700nm 波长电磁波谱的视觉区域上对光的感知结果。一种颜色能由一个 3 分量的向量来指定，所有颜色的集合就形成了一个向量空间，称之为颜色模型或者彩色空间^[13]。一种颜色的 3 个分量可以以很多不同的方式来定义，这就可以产生很多不同的颜色模型。所以，颜色模型或彩色空间^[14]是颜色信号的一种描述方法，其目的是按某种标准利用基色表示颜色。实际上，一种彩色空间是用一个三维坐标系统及这个系统中的一个子空间进行表示，在这个系统中的每种颜色都由一个单点表示。

颜色模型可见于现代科学领域的文献中，如人工智能、物理学、计算机信息科学、通信、电子、工程学、心理学等领域。在这些领域中，可以将彩色空间主要分为 4 大类：

- ◇ 比色/色度学(colorimetric)模型：基于对光谱反射的物理测量。
- ◇ 心理学(psychophysical)模型：基于人类对颜色的感知。这些模型或者是基于主观观测标准和比较基，如 Munsell 颜色模型，或者是通过实验来构造以服从人类对颜色的感觉，如 HSV、HSI、HSL 模型。
- ◇ 生理学(physiological)激励的模型：基于三基色——人类视网膜中的 3 种锥体细胞。在计算机硬件中常使用的 RGB 颜色模型是最著名的生理学激励的颜色模型例子。
- ◇ 对立(opponent)颜色模型：基于感知实验。

从数字图像处理应用角度来看，可以将众多的彩色空间划分为 2 大类：

1. 面向硬件设备(彩色显示器或打印机)的颜色模型

这种颜色模型和输入、分析处理及输出信号设备有关。这样的空间在需要以某种方式指定颜色的现代应用中是极为重要的，它和用来提供、处理或接收颜色

信号的硬件设备相一致，RGB 颜色模型^[14]是最典型的一种。通常，像视频摄像机、彩色图像扫描仪和彩色显示器都基于此彩色空间来处理颜色信息。另外还有用于电视传输系统的 YIQ, YUV, YCbCr 颜色模型，用于彩色打印机上的 CMY 模型。

2. 面向视觉感知或用户的颜色模型

它被用做人类操作者与处理颜色信息的硬件间的桥梁。这样的颜色模型允许用户根据感知属性规定颜色，它们能被看成颜色的人类感知的实验近似，该模型也可以看成以彩色处理分析为目的的应用。此颜色模型，包括 HSI 模型、HLS 模型、HSV 模型、HSB 模型、HCV 模型，还有视觉感知均匀的 $L^*u^*v^*$ 模型和 $L^*a^*b^*$ 模型。

在数字图像处理中常用的彩色空间有 RGB 模型、HSV 模型和 HSI 模型，但 HSV 模型比 HSI 模型^[17-19]更接近人类对颜色的视觉感知。下面介绍几种采用的彩色模型。

1) RGB 彩色模型^[14]

在 RGB 模型中，每种颜色的主要光谱中都有红、绿、蓝的成份。这种模型基于 Cartesian（笛卡尔）坐标系。颜色子空间如图的立方体所示，在图 3-5 中，RGB 值在 3 个顶角上，蓝绿色、紫红色和黄色在另三个顶角上，黑色在原点，白色在离原点最远的角上。在这个模型中，灰度级沿着黑白两点的连线从黑延伸到白，其他各种颜色由位于立方体内或立方体上的点来表示，同时由原点延伸的矢量决定。为了方便，假定所有的颜色值都被标准化，图 3-5 中的立方体就是单位立方体。也就是，所有 R、G、B 的值都被假定在 $[0, 1]$ 范围内。

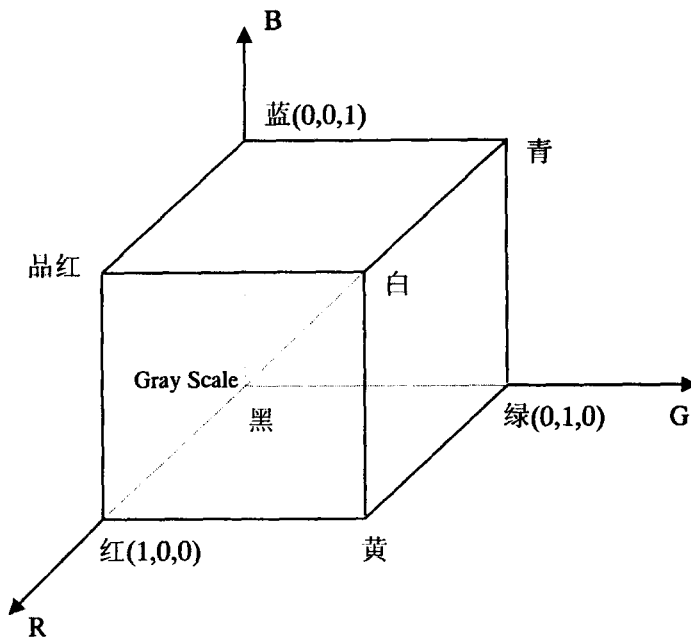


图 3-5 R、G、B 彩色矩形

RGB 彩色模型中的图像由三个独立的图像平面构成，每个平面代表一种原色。当输入 RGB 监视器时，这三个图像在屏幕上组合产生了合成的彩色图像。那么，当图像本身用 3 原色平面描述时，在图像处理中运用 RGB 模型就很有意义。所以，大多数用来获取数字图像的彩色摄像机都是使用 RGB 模型，RGB 模型是面向诸如彩色显示器或打印机之类的硬设备的常见颜色模型。

通常，彩色图像用 R、G、B 三分量的值进行表示，但 R、G、B 三分量之间常有很高的相关性，直接利用这些分量常常不能得到所需的结果。如对一幅彩色图像进行增强处理，因为彩色图像包含了红、绿、蓝三分量，进行增强处理后，三分量的强度将不同地改变颜色性能（如色调），显示在 RGB 监视器上时就不再是自然和谐的了。因此，RGB 模型对于这类图像处理就不太适合。为了降低彩色空间中各分量之间的相关性，以及为了所采用的空间更方便于简牍图像的增强处理，需要将 RGB 图像变换到其他的彩色模型空间中去。

RGB 颜色模型存在的主要缺点如下：

- ◇ 不直观，从 RGB 值中很难看出其所表示的颜色的认知属性；
- ◇ 不均匀的，两个色点之间的距离不等于两个颜色之间的知觉差异；
- ◇ 对硬件设备具有依赖性。RGB 颜色模型是一个与设备相关的、颜色描述不完全直观的空间。因此，考虑到 RGB 颜色模型不均匀和不直观的缺点，在彩色图像处理中大多采用更加符合颜色视觉特性的颜色空间。

简牍图像在 RGB 模型中的 R 分量、G 分量、B 分量，分别如下所示：



图 3-6 R 分量



图 3-7 G 分量

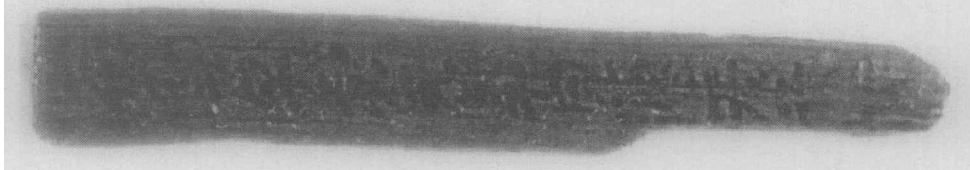


图 3-8 B 分量

2) CMY 彩色模型^[14]

蓝绿色、红紫色和黄色都是光的合成色(或二次色)。多数在纸上堆积颜色的设备,如彩色打印机、复印机,要求 CMY 数据输入或进行一次 RGB 到 CMY 的变换。这一变换可以用简单的变换式表示:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

这里,假定所有的颜色值都被标准化到[0, 1]范围内,上式表明从一个纯蓝绿色表面反射的光线中不包括红色(即 $C=1-R$)。类似地,纯红紫色不反射绿色,纯黄色不反射蓝色。(3-3)式揭示了 RGB 值可以很容易地用 1 减 CMY 单个值的方法获得。CMY 模型在图像处理中用在产生硬拷贝输出上,所以,从 CMY 到 RGB 的反变换操作就没有什么实际意义了。

3) YIQ 彩色模型^[14]

YIQ 彩色模型用于彩色电视广播。为了有效传输并与黑白电视兼容, YIQ 是一个 RGB 的编码。实际上, YIQ 系统中的 Y 分量提高了黑白电视机要求的所有影像信息。RGB 到 YIQ 的变换定义为

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & -0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3-4)$$

为了从一组 RGB 值中获得 YIQ 值,我们可以进行矩阵变换。YIQ 模型利用人的可视系统对亮度变化比对色调和饱和度变化更敏感而设计的。这样, YIQ 标准中用以表示 Y 时给予较大的带宽(指数字颜色所用比特数),用以表示 I、Q 时赋予较小的带宽。

4) HSV 彩色模型^[15-20]

HSV 型是面向用户的,是一种复合主观感受的色彩模型,该颜色模型比 RGB 模型更接近于人们的经验和对彩色的感知,更符合人类描述和解释颜色的方式。当观察一个彩色物体时,往往用色调(Hue)、饱和度(Saturation)和亮度(Value)描述它,如下图 3-9 所示:这是一个倒置的六边形的锥体,最下面的锥体顶部的点为亮度为 0 的点,呈黑色。最上面的锥体地面上的中心点为白色。该锥体的其中心轴上的点构成了从黑到白的所有无彩色的灰度。

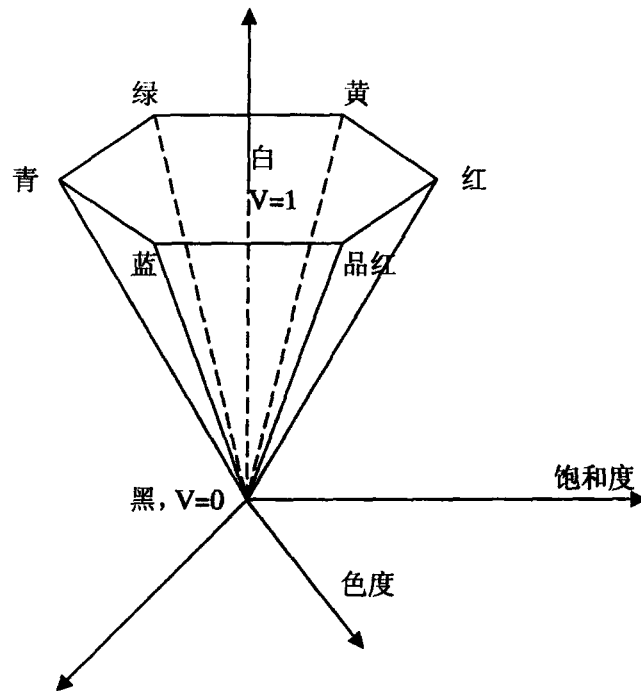


图 3-9 HSV 彩色空间

HSV 模型中的 H 表示色调，即光的不同颜色，如红、橙、黄、绿、青、蓝、紫分别表示不同的色调。不同的波长呈现不同的颜色，就是指不同的色调。发光物体的色调取决于它产生的辐射光谱的分布。锥体六边形的六个顶点相互之间相隔 60° ，构成了红 (0°)，黄 (60°)，绿 (120°)，青 (180°)，蓝 (240°)，品红 (300°)。

HSV 模型中的 S 表示饱和度，即彩色的深浅程度。饱和度的深浅与色光中白光成份的多少有关。一种纯彩色光中加入的白光成份越少，该彩色的饱和度越高；反之，白光成份越多，饱和度就越低。因而，饱和度反映了某种色光被白光冲淡的程度。S 取值范围为 $[0,1]$ 。显然，在中心点上，饱和度为 0，表明无彩色。

HSV 模型中的 V 表示强度或亮度，即肉眼感受到光的明暗程度，光波能量增大，亮度就增大；反之能量减弱，亮度则减小。实际上，强度（或称亮度）是 R、G、B 三个灰度值的平均值，它直接决定像素的整体亮度。在坐标原点的值为 0，在锥体最上方的顶点上的值为 1。在原点表示黑色，在锥体最上方底面上的颜色的强度达到最大。

HSV 模型对于开发基于彩色描述的图像处理方法是一个理想的工具，这种彩色描述更自然、直观。而 RGB 对图像彩色的产生是理想的，但在彩色描述上有较多的限制。

HSV 彩色模型的优点^[11]在于：

- ◇ 彩色视觉模型的三个分量相对于人的视觉分量，彼此之间相互独立（视觉心理和物理两个方面），能够获得对彩色的直观表示；
- ◇ 视觉彩色模型空间均为彩色空间，各彩色值根据主观评价均匀量化，彩色距

离的大小与人眼的感觉一致;

◇ 由于彩色距离均匀分布, 很容易建立误差优化准则, 将量化误差控制在要求的范围内。

HSV 和 RGB 颜色模型只是同一物理量的不同表示法, 因而它们之间存在着转换关系^[15]:

RGB 变换为 HSV 空间转换关系为:

$$V = \max(R, G, B) \quad (3-5)$$

$$S = \begin{cases} [(V - \min(R, G, B))/V] & V > 0 \\ 0 & V = 0 \end{cases} \quad (3-6)$$

$$H = \begin{cases} 60(G - B)/SV & V = R \\ 60[2 + (B - R)/SV] & V = G \\ 60[4 + (R - G)/SV] & V = B \\ 0 & V = 0 \\ H + 360 & H < 0 \end{cases} \quad (3-7)$$

HSV 变换到 RGB 空间转换关系为:

$$\begin{cases} R = V \\ B = R - S \cdot V \\ G = B + S \cdot V \cdot H / 60 \end{cases} \quad \text{if } (0 < H \leq 60) \quad (3-8)$$

$$\begin{cases} R = V \\ B = R - S \cdot V \\ B = G - S \cdot V \cdot (H - 360) / 60 \end{cases} \quad \text{if } (300 < H \leq 360) \quad (3-9)$$

$$\begin{cases} G = V \\ B = G - S \cdot V \\ R = B - S \cdot V \cdot (H - 120) / 60 \end{cases} \quad \text{if } (60 < H \leq 120) \quad (3-10)$$

$$\begin{cases} G = V \\ R = G - S \cdot V \\ B = R + S \cdot V \cdot (H - 120) / 60 \end{cases} \quad \text{if } (120 < H \leq 180) \quad (3-11)$$

$$\begin{cases} B = V \\ R = B - S \cdot V \\ G = R - S \cdot V \cdot (H - 240) / 60 \end{cases} \quad \text{if } (180 < H \leq 240) \quad (3-12)$$

$$\begin{cases} B = V \\ G = B - S \cdot V \\ R = G + S \cdot V \cdot (H - 240) / 60 \end{cases} \quad \text{if } (240 < H \leq 360) \quad (3-13)$$

将简牍图像通过以上运算公式, 从 RGB 空间转换到 HSV 空间, 分别得到色调、饱和度、亮度三道信号, 如下所示:

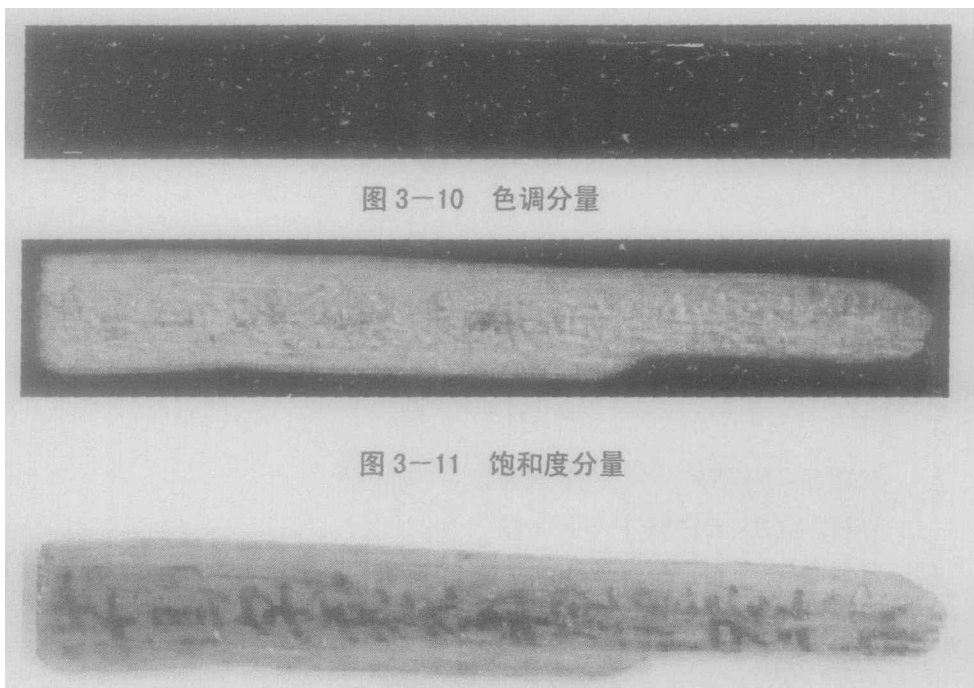


图 3-10 色调分量

图 3-11 饱和度分量

图 3-12 亮度分量

3.2.2 线性变换

灰度变换^[21-23]可使图像动态范围增大,提高对比度,使图像变得清晰、边缘特征突出,这是图像增强技术的重要手段之一。它主要利用点运算来修正图像像素灰度,由输入像素点的灰度值确定相应输出点的灰度值,通过改变原始图像数据所占据的灰度范围而使图像在视觉上得到良好的改观,是一种基于图像变换的操作。灰度变换不改变图像内的空间关系,除了灰度级的改变是根据某种特定的灰度变换函数进行之外,可以看作是“从像素到像素”的复制操作。基于点运算的灰度变换可表示为

$$g(i, j) = T[f(i, j)] \quad (3-14)$$

其中 T 被称为灰度变换函数,它描述了输入灰度值和输出灰度值之间的转换关系。一旦灰度变换函数确定,该灰度变换就被完全确定下来。

灰度变换通常可分为线性变换、分段线性变换、非线性变换。

1. 线性变换^[21]

通常,在图像采集过程中,如果亮度太大或者亮度不足,得到的图像灰度可能会局限在一个很小的范围内,这时在显示器上看到的图像就很模糊,清晰度不高,没有灰度层次感。使用线性变换,用一个线性单值函数,对图像的每一个像素灰度作线性扩展,将有效地增强图像的对比度,增大图像的动态范围区间,从而改善图像视觉效果。

假定原图像 $f(i, j)$ 的灰度分布范围为 $[a, b]$, 变换后的图像 $g(i, j)$ 的灰度范围线性的扩展至 $[c, d]$, 如下图 3-13 所示。则对于图像中的任一点的灰度值 $f(i, j)$, 变换后为 $g(i, j)$, 其数学表达式如下式 3-15 所示。

$$g(i, j) = \frac{d-c}{b-a} \times [f(i, j) - a] + c \quad (3-15)$$

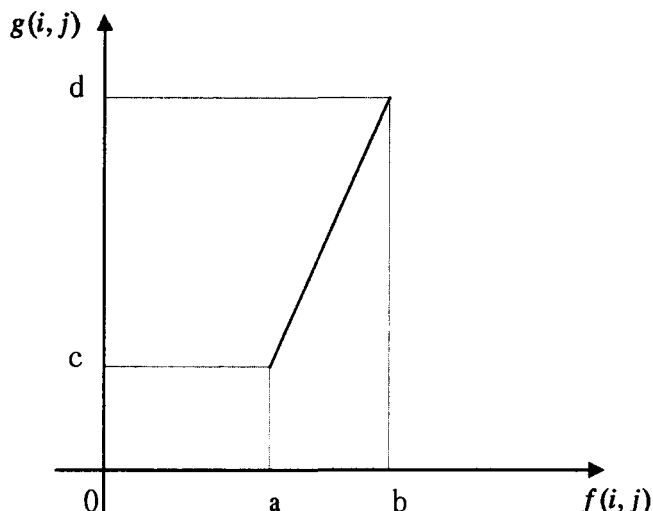


图 3-13 线性变换示意图

如果图像的灰度范围超出了 $[a, b]$, 但大多数像素灰度值落在区间 $[a, b]$ 内, 只有很少部分的像素灰度分布在小于 a 和大于 b 的区间内, 就可以采用截取式线性变换法, 如图 3-14 所示, 其变换式如下:

$$g(i, j) = \begin{cases} c & f(i, j) < a \\ c + \frac{d-c}{b-a} \times (f(i, j) - a) & a \leq f(i, j) < b \\ d & b \leq f(i, j) \end{cases} \quad (3-16)$$

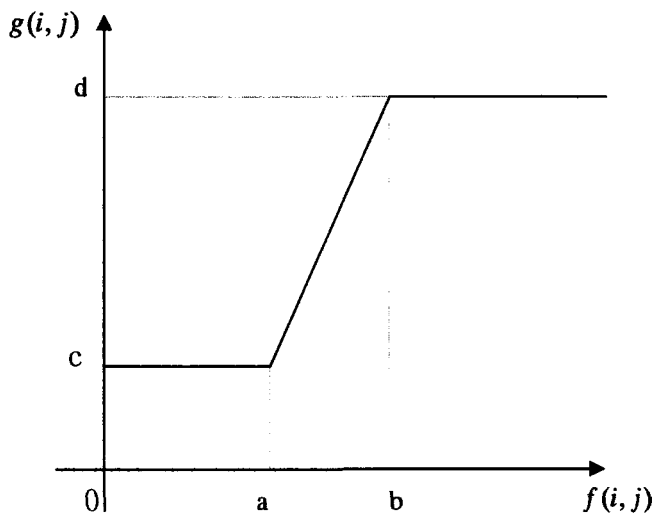


图 3-14 截取式线性变换示意图

截取式线性变换方法可以使灰度小于 a 和大于 b 的像素灰度强行变换成 c 和 d ，将会造成一小部分信息的损失，但是增强了图像中绝大部分像素的灰度层次感，从而达到了图像增强的目的，总的看来，这样的损失还是值得的。

在 HSV 空间，当色度保持不变时，S 和 V 决定了彩色图像的总效果，包括颜色信息和亮度信息。因此要实现简牍的增强，必须对两者都进行线性变换，否则将达不到满意的增强效果。线性变换是用一个线性单值函数增强图像的对比度，使图像在逼真度和可辨识度两个方面得到改善，以获得用户所需的重要信息。

由于原始简牍图像，灰度范围相当窄，其灰度直方图集中于一部份，造成目标图像灰度值与背景灰度值相接近，人眼无法辨别出，利用线性变换^[23]，就可以使图像的直方图分布于整个灰度部分，图像有较大的动态变化范围，视觉上增加对变换后图像分辨的亮度差的总级数，同时也加大目标图像与背景间亮度差异；而且饱和度的线性处理，也使简牍的颜色信息有所改变，更符合人眼的视觉特性。

下面是原始简牍图像进行线性变换及结果显示：



图 3-15 原始简牍图片

图 3-16 基于 HSV 空间进行亮度和饱和度线性变换

本文实验中所采用的简牍图像的大小是 766×150 ，格式是 jpg。图 3-15 为原始简牍，图 3-16 是经过 HSV 彩色空间转换后保持色度不变，对饱和度和亮度分量均进行线性变换的结果图，可以看出图像对比度增强了，颜色信息也增强了，更适合人眼观察，但是图像上还存在着许多噪声，需要对亮度分量再进行中值滤波，去除图像噪声，提高图像质量。

2. 分段线性变换^[22]

分段线性变换是为了突出人们感兴趣的目标或亮度值区间，要求局部扩展亮度值范围。它可以有效地利用有限个灰度级，达到最大限度增强图像中 useful 信息的目的。

3. 非线性变换

对于要进行扩展的亮度值范围是有选择的，扩展的程度是随亮度值的变化而连续变化的。

3.2.3 中值滤波

任何一幅原始图像,在获取和传输等过程中,会受到各种噪声的干扰,造成图像退化、质量下降等问题。通常情况下,信号和噪声总是结伴而行,保护信号和抑制噪声,也就是提高信噪比,一直都是图像预处理的热点问题。

图像平滑的目的^[21]就是为了减少和消除图像中的噪声,以改善图像质量,有利于抽取对象特征进行分析。经典的平滑技术对噪声图像使用局部算子,当对某一个像素进行平滑处理时,仅对它的局部小领域内的一些像素进行处理,其优点是计算效率高,而且可以对多个像素并行处理。

中值滤波^[24]是目前应用最广泛的抑噪方法之一,它是基于排序统计理论的一种能有效抑制噪声的非线性信号处理技术。中值滤波器首先提出并应用到一维信号处理技术中,后来被图像处理领域所采用,这种滤波器的优点是运算简单而且速度较快,在滤除加性白噪声和长尾噪声方面显示出了极好的性能;并且,它在滤除噪声(尤其是干扰脉冲噪声及颗粒噪声)的同时还能很好的保护信号的细节信息。另外,中值滤波器很容易自适应化,从而可以进一步提高其滤波性能。因此,中值滤波非常适用于一些线性滤波器无法胜任的数字图像处理应用场合。

中值滤波是是一种领域运算,类似于卷积,但是计算的不是加权求和,而是把邻域中的像素按灰度级进行排序,然后选择改组的中间值作为输出像素值^[25]。对于一个一维序列 f_1, f_2, \dots, f_n , 取窗口长度为 n , n 为奇数。对此序列进行中值滤波,就是从输入序列中顺序取出 n 个元素, $f_{i-u}, \dots, f_{i-1}, f_i, f_{i+1}, \dots, f_{i+u}$, 其中 i 为窗口的中心位置, $u = \frac{n-1}{2}$, 将这 n 个元素按照数值大小排列,位于正中间的那个数值作为滤波输出。用数学式表达为^[21]:

$$g_i = \text{Med}\{f_{i-u}, \dots, f_{i-1}, f_i, f_{i+1}, \dots, f_{i+u}\}, i \in Z, u = \frac{(n-1)}{2} \quad (3-17)$$

式中, $\text{Med}\{\dots\}$ 表示取序列中值。

对二维序列 $\{f_{ij}\}$ 进行中值滤波时,滤波窗口也是二维的,将窗口内像素排序,生成单调数据序列 $\{x_{ij}\}$, 二维中值滤波结果为:

$$g_{ij} = \text{Med}_B\{x_{ij}\} \quad B \text{ 为窗口} \quad (3-18)$$

一般说来,二维中值滤波比一维中值滤波更能抑制噪声。二维中值滤波器的窗口形状可以有多种,如线状、方形、十字形、圆形、菱形等,如下图 3-17 所示^[11]。不同形状的窗口产生不同的滤波效果,使用时必须根据图像的内容和不同的要求加以选择。从以往的经验来看,对有缓变的较长轮廓线物体的图像,采用方形或者圆形窗口比较适宜;对于包含有尖顶角物体的图像,则适宜采用十字形窗口。使用二维中值滤波最值的注意的就是保持图像中有效的细线状物体。

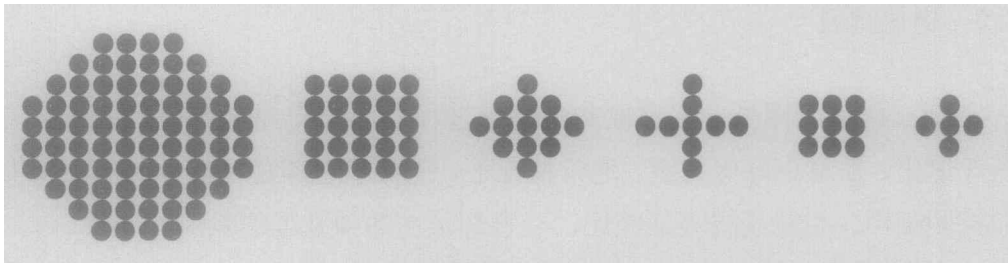


图 3-17 二维中值滤波常用的窗口图形

中值滤波的具体实现步骤^[25]是：

- 1) 将模板在图像中漫游，并将模板中心与图像中某个像素的位置结合
- 2) 读取模板下各对应像素的灰度值
- 3) 将这些灰度值从小到大排成一列
- 4) 找出这些值里排在中间的一个
- 5) 将这个中间值赋给对应模板中心位置的像素

可以看出，中值滤波的主要功能就是让与周围像素灰度值的差比较大的像素改取与周围的像素值接近的值，从而可以消除孤立的噪声点。虽然中值滤波技术^[26-28]在衰减噪声的同时能较好的保护图像的边缘，但由于其仅考虑滤波窗内输入数据的排序信息，而未考虑输入数据的时序原信息，故在图像处理中会产生边缘抖动，并会删除一些重要的图像细节，如：细线，拐角等，使图像的边缘会变得模糊。

中值滤波的性质^[23]，如下：

1. 非线性，两序列 $f(r), g(r)$

$$Med\{f(r) + g(r)\} \neq Med\{f(r)\} + Med\{g(r)\} \quad (3-19)$$

2. 对尖峰性干扰效果好，保持边缘的陡峭又去掉干扰，对高斯分布噪声效果差；
3. 对噪声延续距离小于 $W/2$ 的噪声抑制效果好， W 为窗口长度。对于奇数个元素，中值是指按大小排序后，中间的数值；对于偶数个元素，中值是指排序后中间两个元素灰度值的平均值。

中值滤波的实验结果如下：

对线性变换后的简牍图像，再采用中值滤波进行滤波处理，如下图所示：



图3-18 对图3-16的亮度进行中值滤波

图3-18表明，中值滤波有效地减少了图像的噪声，提高了信噪比，平滑效果好，但图像的边缘轮廓模糊，不利于文字信息的提取。

3.2.4 图像锐化

在图像摄取、传输及处理过程中可能会出现很多因素使图像变得模糊不清。另外，前面介绍的图像平滑技术在滤除噪声的同时，也使图像的一些细节信息变得不模糊，不便于对目标特征的提取。

图像模糊的实质主要是因为图像受到了求和、平均或积分运算。因此，可对其进行逆运算（微分运算），使模糊的图像变得清晰，突出边缘特征。

图像锐化^[29-31]的主要目的是使灰度反差增强，从而加强图像中的目标边界和细节信息，从而有利于轮廓提取。但值得注意的是，要有较高的信噪比才能进行图像锐化处理。不然，锐化后，得到的图像质量会大幅度下降。因为在锐化处理过程中，噪声得到了比有用信号还强的增强。所以，一般都是先进行去除噪声处理，然后才对图像进行锐化处理。

图像锐化可以在空间域中进行，也可以在频域中进行。在空间域主要是运用微分运算进行图像的增强；而在频域中则是加强信号高频分量。常用的图像锐化方法有很多种，如微分算子方法、拉普拉斯算子方法、Sobel算子、高斯-拉普拉斯算法以及空间高通滤波方法等^[21]。

3.2.4.1 基于一阶微分的图像增强——梯度算子^[12]

梯度对应的是一阶导数，则梯度算子是一阶导数算子，它是图像处理中最常用的一阶微分算法。

对一个二维的图像 $f(x, y)$ 函数，它在位置 (x, y) 处的梯度可定义为：

$$G[f(x, y)] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3-20)$$

梯度的幅度为

$$G[f(x, y)] = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad (3-21)$$

向量的幅角为

$$\theta(x, y) = \arctan \frac{\frac{\partial f}{\partial x}}{\frac{\partial f}{\partial y}} \quad (3-22)$$

梯度算子重要的性质就是梯度方向，是在图像灰度最大变化率上，刚好能说

明图像边缘上的灰度变化。

1. Roberts(罗伯特)算子

Roberts 算子又称梯度交叉算子,是一种利用局部差分算子寻找边缘的算子,采用差分运算来近似替代微分运算,梯度幅度计算近似方法如下图 3-19 所示:

(i, j)	(i, j+1)
(i+1, j)	(i+1, j+1)

图 3-19 Roberts 算子梯度幅值计算示意图

(i, j) 为当前像素的位置, 算子计算公式如下:

$$G(i, j) = |f(i, j) - f(i+1, j+1)| + |f(i+1, j) - f(i, j+1)| \quad (3-23)$$

它是由两个 2×2 模板组成。用卷积模板表示如下:

$$G(i, j) = |G_x| + |G_y| \quad (3-24)$$

式中, $G_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$ $G_y = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$, 标注·的是当前像素的位置。

2. Sobel 算子

Sobel 算子梯度幅值计算如下图所示。(i, j) 为当前像素点, 梯度幅值计算公式如下:

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

图 3-20 Sobel 算子各像素点的关系图

$$G(i, j) = |f(i-1, j+1) + 2f(i, j+1) + f(i+1, j+1) - f(i-1, j-1) - 2f(i, j-1) - f(i+1, j-1)| + |f(i-1, j-1) + 2f(i-1, j) + f(i-1, j+1) - f(i+1, j-1) - 2f(i+1, j) - f(i+1, j+1)| \quad (3-25)$$

将图 3-20 的坐标对应记为图 3-21 所示的符号:

A_0	A_1	A_2
A_7	(i, j)	A_3
A_6	A_5	A_4

图 3-21 梯度幅值计算图

可将上式(3-25)简化为:

$$G(i, j) = |A_2 + bA_3 + A_4 - bA_7 - A_0 - A_6| + |A_0 + bA_1 + A_2 - A_6 - bA_5 - A_4| \quad (3-26)$$

式中 $b=2$ 。可以用卷积模板表示：

$$G(i, j) = |P_x| + |P_y| \quad (3-27)$$

$$P_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad P_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

P_x 是水平模板， P_y 是垂直模板。

3.2.4.2 基于二阶微分算子的图像增强^[15,21]

考虑到一阶微分算子的局限性，随后出现了二阶微分算子，它是与边缘方向无关的，如 Laplacian 算子、Wallis 算子、LOG 算子等。通过利用二阶导数零交叉所提出的边缘宽度作为一个像素单位，从而保证边缘定位的精度，不需要再进行细化处理。但是有一个问题：由于图像的边缘和噪声同时频域中的高频分量，二阶导数算子比一阶导数算子更容易受到噪声的影响，所以就需要在微分运算之前采取适当的平滑滤波，去掉噪声。

1. 二阶方向导数算子

二阶导数用二阶差分近似表示。图像中的点特征和线特征上的灰度与周围或两侧像素灰度平均值的差别比较大，可以用二阶差分的原理来检测。相应水平方向上的二阶导数可以定义为

$$f''(i, j) = (f(i+1, j) - f(i, j)) - (f(i, j) - f(i-1, j)) \quad (3-28)$$

通常将上式乘以-1，此时二阶差分算子为

$$[-1 \ 2 \ -1]$$

同样可以得到垂直方向和两个对角线方向的二阶差分算子为：

$$\begin{bmatrix} -1 \\ 2 \\ -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} & & -1 \\ & 2 & \\ -1 & & \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 & & \\ & 2 & \\ & & -1 \end{bmatrix}$$

2. 拉普拉斯算子^[12]

对图像进行拉普拉斯(Laplacian)运算是偏导数运算的线性组合，且为旋转不变性，即各向同性的线性运算。拉普拉斯算子是不依赖于边缘方向的二阶微分算子，是常用的二阶导数算子。

定义为：

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (3-29)$$

拉普拉斯对模板的基本要求是对应中心像素的系数应该是正的,而对于中心像素邻近像素的系数应是负的,且它们的和应该是零。可以简单地表示为:

$$G(i, j) = |4f(i, j) - f(i+1, j) - f(i-1, j) - f(i, j+1) - f(i, j-1)| \quad (3-30)$$

或者

$$G(i, j) = |8f(i, j) - f(i-1, j-1) - f(i-1, j+1) - f(i-1, j) - f(i+1, j) - f(i+1, j-1) - f(i+1, j+1) - f(i, j+1) - f(i, j-1)| \quad (3-31)$$

也就是说,拉普拉斯算子可以用模板来进行检测,其模板如下:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Laplacian 算子是一个标量而不是向量,具有线性特性和旋转不变。其用差分运算近似代替微分运算,虽然其有着各向同性的性质,但其检测的边缘方向信息容易丢失。Laplacian 算子是一个二阶微分算子,其利用边缘点处二阶导函数出现零交叉的原理检测边缘。Laplacian 算子对灰度突变比较敏感,可以检测出绝大部分的边缘,但其容易丢失一些边缘、边缘不够连续、对噪声敏感和不能获得边缘方向等信息。

3. 高斯-拉普拉斯算子^[21]

高斯-拉普拉斯算子也就是 LOG(Laplacian of Gaussian) 算子,它是根据图像的信噪比来求出检测边缘的最优滤波器。在边缘检测之前,利用高斯函数先进行低通滤波,然后才利用拉普拉斯算子进行高通滤波并提取零交叉点。

高斯滤波函数为

$$g(x, y) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3-32)$$

式中, σ 为高斯滤波器标准方差,它决定着图像的平滑程度。

对图像 $f(x, y)$ 进行低通滤波,得 $f(x, y) * g(x, y)$, 然后经拉普拉斯算子处理得到

$$G(x, y) = \nabla^2 [g(x, y)] * f(x, y) \quad (3-33)$$

$$\text{其中 } \nabla^2 g(x, y) = \left(\frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4} \right) e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}} \quad (3-34)$$

式中, $x, y = -I, \dots, -1, 0, 1, \dots, I, I \in [1, \infty)$ 。 σ 高斯分布的尺度空间常量,定义 LOG 算子的尺寸大小为 $W_c = 2\sqrt{2}\sigma$ 。

LOG 算子实际是以 $\nabla^2 g(x, y)$ 为卷积核,对原灰度图像进行卷积运算后提取的

零交叉点为边缘点。

对于数字图像，LOG 算子可以有两种实现思路，其在数学上是等价的。

一种是先做高斯滤波，然后对滤波后图像求卷积的拉普拉斯变换。

另外一种是先求高斯滤波器的拉普拉斯变化，再与图像进行卷积处理。一般用模板直接来实现这种方法，而模板的大小是有限制的。

常用的 LOG 算子是 5×5 模板，即

$$\begin{bmatrix} -2 & -4 & -4 & -4 & -2 \\ -4 & 0 & 8 & 0 & -4 \\ -4 & 8 & 24 & 8 & -4 \\ -4 & 0 & 8 & 0 & -4 \\ -2 & -4 & -4 & -4 & -2 \end{bmatrix}$$

在 LOG 算子中，所谓尺寸大小就是指高斯滤波器方差 σ 大小，而高斯滤波器的方差 σ 决定着图像中边缘和其他尖锐不连续的部分模糊化程序，等效于确定图像与固定平均小模板卷积迭代的次数。用不同的尺度的 LOG 算子处理图像，可以得到图像在不同分辨率上的描述。小尺寸 LOG 算子可以得到较准确的边缘定位，同时能获得较多的图像细节，但对噪声较为敏感；大尺寸 LOG 算子噪声滤波效果较好，但同时丢失了重要的边缘信息，对相互邻近的边缘容易将它们连接在一起，影响了边缘检测的效果。因此，尺寸参数的选取是 LOG 算子的关键。高斯-拉普拉斯是效果较好的图像锐化算子，因为它把高斯平滑滤波器和拉普拉斯锐化滤波器结合起来使用，先平滑噪声，再进行边缘增强，这样既可以抑制噪声，同时又可以较好地保留有效地增强边缘信息，所以取得的效果较好^[23]。

基于 HSV 空间的简牍增强结果如下图 3-22 所示：



图 3-22 本文方法结果图

图 3-22 在图 3-18 的基础上，对图像亮度再进行了图像锐化处理，即高斯-拉普拉斯变换。从图 3-22 可以看出，采用本文提出的彩色图像增强方法有效地提高了简牍图像成分的清晰度，达到了图像增强的目的，为后面的简牍图像分割处理做了准备工作。

3.2.5 实验结果讨论

基于 RGB 空间的增强结果，如下图 3-23 所示：



图 3-23 R, G, B 三通道进行线性变换

图 3-23 直接将灰度变换扩展到彩色图像增强中，即对 R, G, B 三基色通道直接采用线性变换方法，未进行彩色空间转换。从图 3-23 可以看出，文字的颜色已经被改变了，出现了色彩的失真，主要就是因为 RGB 空间中的 3 个分量信息是互相关联的，对 3 个分量分别进行处理，就会造成颜色的偏移，该方法不适用于简牍图像的增强处理。将图 3-23 与图 3-22 进行对比，可以看出基于 HSV 模型空间的增强处理，所取得的效果是令人满意的，能够达到预期目的的要求。

从视觉效果上来看（图 3-22），本文方法不仅使图像的动态范围提高了，而且在细节信息上具有明显的改善，使文字信息凸显出来，其增强效果也可以从对应的直方图看出。该方法具有很大的实用价值，提高了图像的可读性，有利于考古学家提取简牍图像中的文字信息。

以下从两个方面对简牍图像的增强效果进行评价：

1. 对比直方图分布

将增强前后简牍图像亮度、饱和度的直方图进行对比，可看出本文的增强方法有效地拉大了图像的动态范围区间，增加了人眼可辨别的灰度级数，在一定程度上突显出了图片上的文字信息，达到了预期的效果。

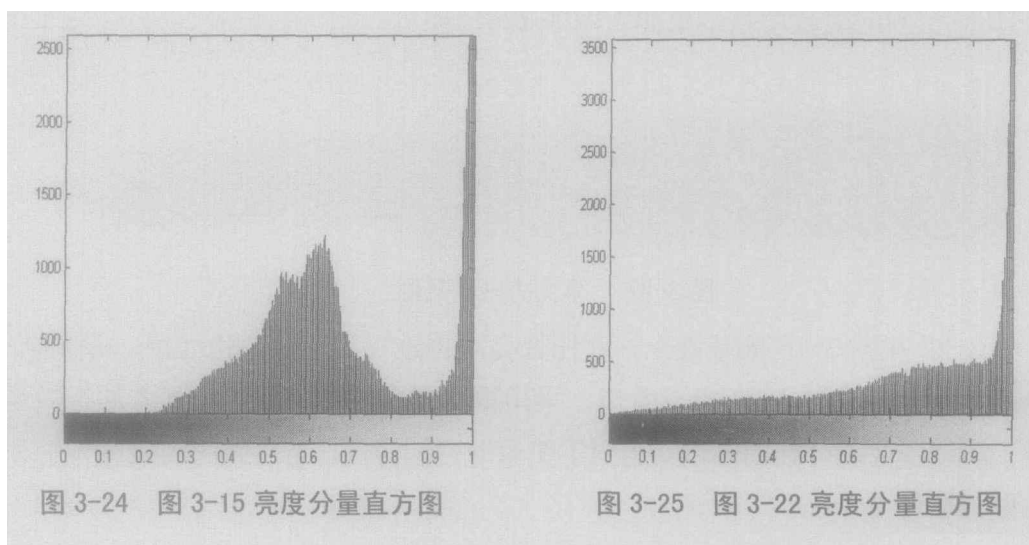


图 3-24 图 3-15 亮度分量直方图

图 3-25 图 3-22 亮度分量直方图

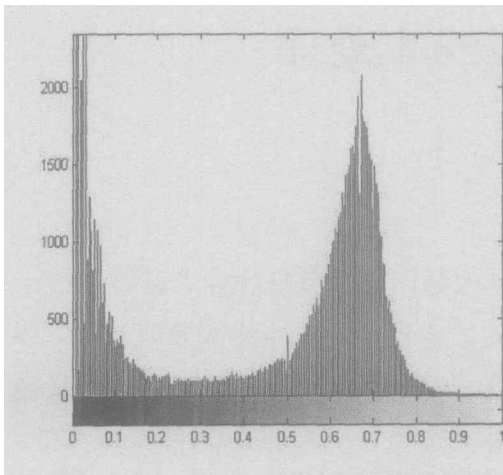


图 3-26 图 3-15 饱和度分量直方图

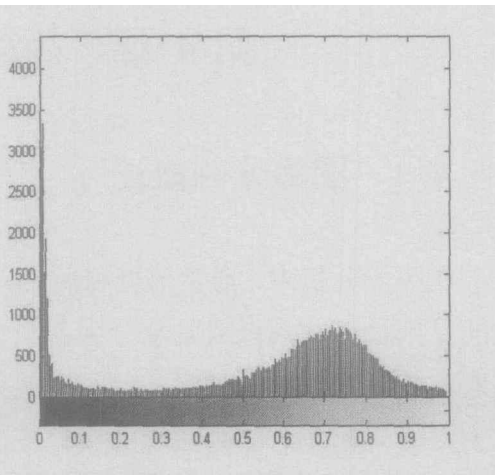


图 3-27 图 3-22 饱和度分量直方图

2. 对比简牍性能统计参数

对图像增强结果的评价还可以利用图像的统计参数进行客观判断，如均值、标准差、信息熵、清晰度和亮度的改变比例。利用图像的亮度值，分别统计出各图像的均值、标准差、信息熵和清晰度；另外，并求出整个图像采用不同方法得到的亮度的改变比例，其结果如下表 3-1 所示。

表 3-1 简牍性能统计参数

算法	均值	标准差	信息熵	清晰度	亮度改变比例
原始简牍图	181.2785	55.7245	4.6639	5.1679	
亮度、饱和度 线性变换法	216.7202	45.7049	4.0917	5.7742	16.46%
亮度再进行中 值滤波法	215.9930	45.4662	4.1628	4.9417	15.03%
采用 RGB 三通 道增强法	206.0787	49.7873	3.9822	13.4863	8.33%
本文采用方法	213.2057	61.3435	3.7353	13.9334	15.59%

从表 3-1 的统计参数可以看出：本文算法的清晰度是表里 4 种方法中最高的，其均值、信息熵与其它方法相差不多，但标准差大，说明该方法得到的简牍灰度级比较分散，灰度级出现的概率最趋于相等，包含的信息量最大。从各种情况下的亮度改变比例值也充分表明该方法的性能相对较好，能够得到相对较高的亮度。通过客观评价与视觉判断，都可以说明本文所采用的方法是十分有效的。

第 4 章 简牍图像分割处理

4.1 图像分割概述

在图像分析中,通常需要将所感兴趣的区域从图像中提取出来,这种按照一定的原则将一幅图像或景物分为若干个特定的、具有独特性质的部分或子集,并提取出感兴趣目标的技术和过程,就称为图像分割(image segmentation),又被称为二值化处理,因为图像分割处理过程实际上就是区分图像中的目标和背景。图像的目标和背景,一般对应图像中的某些特定的、具有独特性质的区域。这里的独特性可以是像素的灰度值、物体轮廓曲线、颜色、纹理等,也可以是空间频谱或直方图特征等。在图像中用来表示某一物体的区域,其特征都是相近或相同的,但是不同物体的区域之间,特征就会急剧变化。目标可以对应单个区域,也可以对应多个区域。为了辨识和分析目标,需要将它们分离提取出来,在此基础上才有可能进一步进行图像识别与理解^[12]。

图像分割^[23]的目的就是从图像中提取感兴趣的目标。可以以逐个像素为基础去研究图像分割,也可以利用在规定邻域中的某些图像信息去分割。图像分割的基础是建立在像素间“相似性”和“非连续性”两个基本概念之上。所谓像素的相似性是指图像中在某个区域内像素具有某种相似的特性,如灰度一样或纹理相同。所谓的“不连续性”是指像素灰度的不连续,形成跳变的阶跃。

由于图像分割的应用领域较广,其定义也有许多种,现借助集合概念用比较正式的方法定义:

令集合 R 代表整个图像区域,对 R 的分割可看作将 R 分成 N 个满足以下 5 个条件的非空的子集(子区域) R_1, R_2, \dots, R_N :

- 1) $\bigcup_{i=1}^N R_i = R$
- 2) 对 $i=1, 2, \dots, N$, $P(R_i) = TRUE$
- 3) 对 $\forall i, j, i \neq j$, 有 $R_i \cap R_j = \phi$
- 4) 对 $\forall i, j, i \neq j$, 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 $P(R_i)$ 是对所有在集合 R_i 中元素的逻辑谓词, ϕ 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)应能包括图像中的所有像素,或者说分割应将图像中的每个像素都分进某1个子区域中。条件2)指出各个子区域是互补重叠的,或者说1个像素不能同时属于2个区域。条件3)指出在分割后得到的属于同1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中的像素应该具有一些不同的特性。条件5)要求同1个子区域内的像素应该是连通的。对图像的分割总是根据一些分割的准则进行的。条件1)与条件2)说明分割准则应可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性。

图像分割技术是计算机图像处理领域中的一个基本而重要的问题,也是目标识别技术中的一项非常关键的技术,是特征提取的基础。目前,图像分割方法有许多种,按照不同的分类标准,可以将图像分割划分为不同的种类。从分割依据的角度来看,图像分割可以分为相似性分割和非连续性分割,如图4-1所示。相似性分割是将具有同一灰度级或具有相同组织结构的像素划分在一起,从而形成图像的不同区域;非连续性分割就是首先检测图像的局部不连续性,然后将它们连接在一起形成边界,这些边界就将图像分成不同的区域。

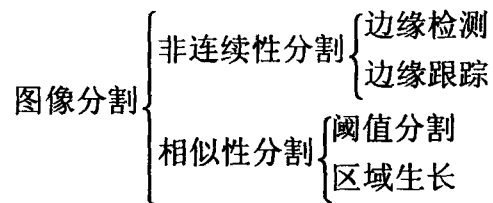


图4-1 图像分割方法图

4.2 阈值化技术

4.2.1 阈值分割

阈值分割算法根据图像灰度值的分布特性确定某个阈值来进行图像分割,是区域分割算法中具有代表性的一类非常重要的分割算法。由于图像阈值处理的直观性和易于实现的特点,以及阈值分割总能用封闭而且连通的边界定义不交叠的区域,使得阈值化分割算法成为图像分割中应用数量最多的一类^[12]。

阈值分割利用了图像中要提取的目标物和其背景的灰度特性上的差异,把图像视为具有不同灰度级的两类区域(目标和背景)的组合,选取一个适合的阈值,以确定图像中的每一个像素点应该属于目标还是背景,从而得到相应的二值图像。简单来说,阈值分割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

像素划为两类:像素灰度值大于阈值的一类,像素灰度值小于阈值的为另一类(灰度值等于阈值的像素可归入这两类之一)。这两类像素一般分属图像中的两类区域,所以对像素根据阈值分类达到了区域分割的目的。

阈值化分割算法^[32]主要有两个步骤:

- ◇ 确定需要的分割阈值;
- ◇ 将分割阈值与像素值比较以划分像素。

确定阈值大小是非常关键的,如果阈值选的过高,则过多的目标区域将被划分为背景;反之,如果阈值选的过低,则过多的背景将被划分到目标范围内。如果能确定一个合适的阈值就可方便地将图像分割开来。

采用阈值法进行分割处理都是基于一定的图像模型。比如说,如果一幅图像由具有单峰灰度分布的目标和背景组成,处于目标或背景内部相邻像素间的灰度值是高度相关的,但处于目标和背景交界处两边的像素在灰度值上有很大的差别,那么图像的灰度直方图基本上可以看成由分别对应目标和背景的两个单峰直方图混合而成的。另外,如果这两个分布大小(数量)接近且均值相距足够远,而且两部分的均方差也足够小,则直方图应为较明显的双峰。同样,如果图像中有多个单峰灰度分布的目标,则直方图有可能表现为较明显的多峰。

确定一个阈值可以把图像各灰度像素分成不同的两个类,则多个不同的阈值,就可以把图像灰度像素分成多个不同的类。如果只用一个阈值分割称为单阈值分割方法,如果用多个阈值分割称为多阈值分割方法。单阈值分割可看作是多阈值分割的特例,许多单阈值分割算法可推广以进行多阈值分割。反之,有时也可将多阈值分割问题转化为一系列单阈值分割问题来解决。不管用何种方法选取阈值,一幅原始图像 $f(x, y)$ 取单阈值 T 分割后的图像可定义为:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) > T \\ 0 & f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (4-1)$$

$g(x, y)$ 是一幅二值图像,它相当于把原始图像 $f(x, y)$ 用空间占有数组来表达。

值得注意的是,无论是单阈值分割还是多阈值分割,分割结果会因为取阈值时只考虑像素本身的值,未考虑像素的空间位置,出现不同区域具有相同标号或区域值的情况。因此,根据像素值划分到同一类的像素有可能分属于图像中不相连通的区域。往往就需要借助一些对场景的先验知识来进一步确定目标区域。

阈值分割的优点是实现简单,对于不同类的物体灰度值或其它特征值相差很大时,它能很有效地对图像进行分割。阈值分割不仅可以大量压缩数据,减少存储容量,而且能大大简化在其后的分析和处理步骤。

阈值分割的缺点^[35-38]是:

- ◇ 对于图像中灰度值范围有较大重叠的图像分割问题难以得到准确的结果;
- ◇ 由于它仅仅考虑了图像的灰度信息而不考虑图像的空间信息, 阈值分割对噪声和灰度不均匀很敏感, 所以它经常和其它方法结合起来运用。

阈值分割结果图如下所示:

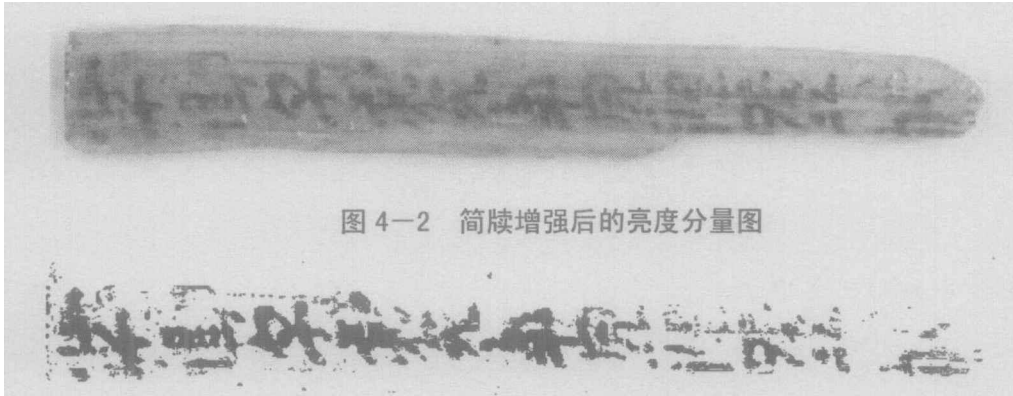


图 4-2 简牍增强后的亮度分量图

图 4-3 简牍阈值分割图

从图 4-3 可看出, 阈值分割法能有效地提取简牍文字信息, 去掉了无用的背景信息, 较好地保持了文字信息的原貌, 为后期图像处理工作做好了铺垫。

4.2.2 OTSU 分割

OTSU (最大类间方差法)^[9]是由日本人大津展之在 1979 年首先提出的, 也称大津阈值法或最大类间方差法。该方法是在判决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法, 是以最佳门限将图像灰度直方图分割成两部分, 使两部分类间方差取最大值, 即分离性最大。OTSU 方法是利用图像的灰度直方图, 以目标和背景的方差最大作为准则动态确定图像的分割阈值。

其基本原理如下:

设原始灰度图像的灰度级为 L , 灰度级为 i 的像素点数为 n_i , 则图像的全部像素数为 $N = n_0 + n_1 + \cdots + n_{L-1}$

归一化直方图, 则

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad \sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1 \quad (4-2)$$

p_i 表示图像中灰度级为 i 出现的概率, 按灰度级用阈值 t 划分为两类:

$C_0 = (0, 1, 2, \dots, t)$ 和 $C_1 = (t+1, t+2, \dots, L-1)$ 。因此, C_0 和 C_1 类的出现概率及均值层分别由下列各式给出:

$$w_0 = P_r(C_0) = \sum_{i=0}^t p_i = w(t) \quad (4-3)$$

$$w_1 = P_r(C_1) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - w(t) \quad (4-4)$$

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^t i p_i / w_0 = \mu(t) / w(t) \quad (4-5)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} i p_i / w_1 = \frac{\mu_T(t) - \mu(t)}{1 - w(t)} \quad (4-6)$$

式中: $\mu(t) = \sum_{i=0}^t i p_i$ (4-7)

$$\mu_T = \mu(L-1) = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i \quad (4-8)$$

对于任何t值, 下式都能成立:

$$w_0 \mu_0 + w_1 \mu_1 = \mu_T, \quad w_0 + w_1 = 1 \quad (4-9)$$

C_0 和 C_1 类的方差可由下式得到:

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^t (i - \mu_0)^2 p_i / w_0 \quad (4-10)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} (i - \mu_1)^2 p_i / w_1 \quad (4-11)$$

类内方差为:

$$\sigma_w^2 = w_0 \sigma_0^2 + w_1 \sigma_1^2 \quad (4-12)$$

类间方差为:

$$\sigma_B^2 = w_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + w_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 = w_0 w_1 (\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (4-13)$$

总体方差为:

$$\sigma_T^2 = \sigma_w^2 + \sigma_B^2 \quad (4-14)$$

t 的等价的判决准则:

$$\lambda(t) = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_w^2}, \quad \kappa(t) = \frac{\sigma_T^2}{\sigma_w^2}, \quad \eta(t) = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_T^2} \quad (4-15)$$

这三个准则是彼此等效的, 把 C_0 和 C_1 两类得到的最佳分离的 t 值作为最佳阈

在应用区域生长法^[12]时,首先需要解决以下3个问题:

- 确定区域的数目,即选择一组能正确代表所需区域的生长点像素
- 选择有意义的特征,即确定在生长过程中将相邻区域像素包括进来的特征
- 确定相似性准则,即获取生长过程停止的准则

特征相似性是构成与合并区域的基本准则,相邻性是指所取的邻域方式。区域生长根据所用的邻域方式和相似性准则的不同,可以产生各种不同的区域生长法。把灰度相关的值作为区域生长准则,区域生长可以分为单一型(像素与像素)、质心型(像素与区域)和混合型(区域与区域)3种类型。

单一型区域生长法比较简单,其原理是以图像的某个像素为生长点,比较相邻像素的特征,将特征相似的相邻像素合并为同一区域;然后以合并的像素作为生长点,继续重复以上的操作,最终形成具有相似特征的像素的最大连通集合。其步骤如下:

- ✧ 对图像进行光栅扫描,找出尚没有归属的像素,当寻找不到这样的像素时结束操作。
- ✧ 把这个像素灰度与其周围(4邻域或8邻域)不属于任何一个区域的像素进行比较,若灰度差值小于某一阈值,则将它作为同一个区域加以合并,并对合并的像素赋予标记。
- ✧ 从新合并的像素开始,反复进行第2步操作。
- ✧ 反复进行第2、3步操作,直到区域不能再合并为止。
- ✧ 返回第1步操作,寻找能作为新区域出发点的像素。

质心型区域生长是比较单个像素的特征与其相邻区域的特征,如果相似则将像素并到区域中。质心型区域生长操作步骤类似简单区域生长法,不同点就是在上述步骤2中,改为比较已存在区域的像素灰度平均值与该区域邻接的像素灰度值,若差值小于阈值,则合并。

混合型区域生长是把图像分割成小区域,比较相邻小区域的相似性,如果相似则合并。

采用区域生长法得到的提取结果,如图4-6所示:



图4-6 简牍图像区域生长分割图

虽然区域生长能较好地地区分文字与背景信息,有效地分割出有用的区域,但是由于简牍文字的特殊性,从图4-6也可以看出,提取出的部分文字信息,存在着某些笔画粘成一团,难以识别,不利于文字信息分析工作的开展。

4.4 实验结果对比

根据前面通过阈值技术、OTSU法、区域生长得到的分离结果图(图4-3、4-4、4-6)，分别提取出文字的边缘信息，如下所示：

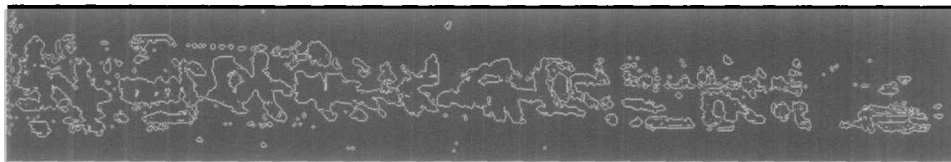


图 4-7 阈值分割的边缘图

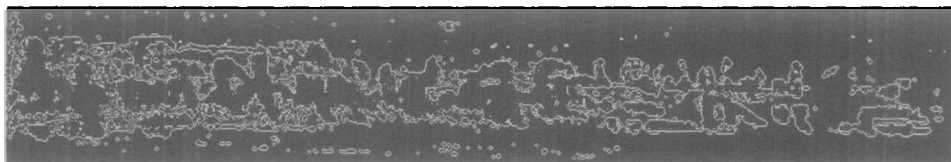


图 4-8 OTSU 分割的边缘图

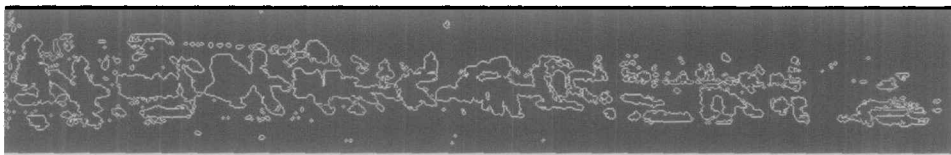


图 4-9 区域生长分割的边缘图

从图4-3、图4-4、图4-6就可以看出阈值分割处理的效果最好，保留的字体笔画信息最多，也最清晰。再从上面文字的边缘图来看，更能说明：阈值分割(图4-7)方法是简牍文字提取的最佳方法，它提取出的字迹最完整，线条也最清晰，该方法能够更好的保护字体的边缘信息，有利于后期图像处理工作的开展。



图 4-10 原始图像的阈值分割图

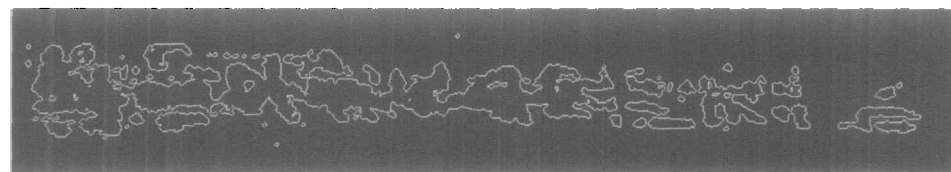


图 4-11 图 4-10 的边缘图

对原始简牍图像直接采用阈值分割法提取文字信息(图4-10)，可以看到，虽然有效地去掉了背景信息，但是分离的字体很多细节部分混成一团，不利于辨认。分别将图4-10与图4-3、图4-11与图4-7相比，可知，增强后的简牍再进行分离文字操作，能有效的分离出文字信息，笔画清晰、线条明显较从原图中直接

提取文字的效果好。从这里，更加充分地说明了，简牍图像增强处理的必要性，简牍的增强工作作为简牍图像分割打好了基础，使提取出的文字效果更好，这样又为后续的图像修复、文字识别打下了牢固的根基。

第5章 数学形态学图像处理

5.1 数学形态学概念

数学形态学 (Mathematical Morphology) ^[39-41] 是法国和德国的科学家在研究岩石结构时建立的一门学科。它是分析几何形状和结构的数学方法, 是建立在集合代数基础上, 用集合论方法定量描述几何结构的科学。1985年后, 它逐渐成为分析图像几何特征的工具。

数学形态学是由一组形态学的代数运算子组成的。最基本的形态学运算子有: 腐蚀(Erosion), 膨胀(Dilation)、开(Open)、闭(Close)。用这些算子及其组合来进行图像形状和结构的分析及处理, 包括图像分割、特征提取、边界检测、图像滤波、图像增强和修复等方面的工作^[23]。

形态学以图像的形态特征为研究对象, 描述图像的基本特征和基本结构, 其实也就是描述图像中元素与元素, 部分与部分间的关系。形态学的理论基础是集合论。在图像处理中形态学的集合代表着黑白和灰度图像的形状, 如黑白二值图像中所有黑色像素的集合组成了此图像的完全描述。

由于形态学具有完备的数学基础, 这些就为其用于图像分析和处理、形态滤波器的系统设计和特性分析打下了坚实的基础, 尤其重要的是实现了形态学分析和处理算法的并行, 在很大程度上提高了图像分析和处理的速度。数学形态学现已广泛地应用于多门学科的数字图像分析和处理过程中。

5.2 图像腐蚀

图像数学形态学中腐蚀具有收缩图像目标的作用, 是消除物体图像无用点, 使边界向内部收缩的过程, 可以把小于结构元素的物体去掉。如果物体是圆的, 它的直径在每次腐蚀后将减少几个像素。腐蚀对从一幅分割图像中去除小且无意义的图像元素集合来说是非常有用的。通过选取的适当结构元素可以将两个或多个比较接近、不易分辨的图像目标依灰度收缩, 使目标分离, 便于轮廓的提取。

腐蚀^[25]的算符为 \ominus , A 用 B 来腐蚀写作 $A \ominus B$, 其定义为:

$$A \ominus B = \{x | (B)_x \subseteq A\} \quad (5-1)$$

A 用 B 来腐蚀的结果是所有 x 的集合, 其中 B 平移 x 后仍在 A 中。也就是说, 用 B 来腐蚀 A 得到的集合是 B 完全包括在 A 中时 B 的原点位置的集合。

图 5-1 说明了腐蚀运算的过程。图 (i) 中填入 “X” 的部分为集合 A。图 (ii)

中填入“Y”的部分为集合 B，标有“(Y)”的位置表示中心像素，但并不代表其所在位置处的像素灰度值，只是为与集合 A 相区别开来。图(iii)中标有“X”的像素表示腐蚀后 A 中保留下来的像素，标有“Y”的像素表示 A 中被腐蚀掉的像素。从腐蚀运算过程图(图 5-1)可以明显看到腐蚀运算使原图像的区域范围变小了。

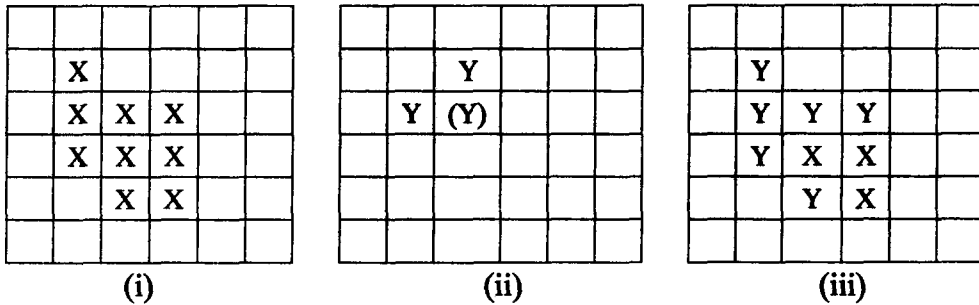


图 5-1 腐蚀运算过程

5.3 图像膨胀

膨胀在数学形态学中的作用与腐蚀的作用刚好相反，它是对边界点进行扩充，简单膨胀接触的所有点并合并到该物体的过程。过程的结果是使物体的面积增大了相应数量的像素点。膨胀可以用来填补目标区域中存在的某些空洞。

膨胀^[25]的算符为 \oplus ，用 B 来膨胀写做 $A \oplus B$ ，这里先将 A 和 B 看作是所有取值为 1 的像素点的集合。其定义为：

$$A \oplus B = \{x | [(\hat{B})_x \cap A] \neq \Phi\} \quad (5-2)$$

其中 \hat{B} 表示 B 的映像，定义为：

$$\hat{B} = \{x | x = -b, b \in B\} \quad (5-3)$$

$(\hat{B})_x$ 表示对 B 的映像进行位移 x，定义为：

$$(M)_x = \{y | y = a + x, a \in M\} \quad (5-4)$$

用 B 膨胀 A 的过程是：先对 B 做关于中心像素的映射，再将其映像平移 x，A 与 B 映像的交集不为空集。也就是说，用 B 来膨胀 A 得到的集合是 \hat{B} 的位移与 A 至少有一个非零元素相交时 B 的中心像素的位置的集合。因此，膨胀式子可以写成：

$$A \oplus B = \{x | [(\hat{B})_x \cap A] \subseteq A\} \quad (5-5)$$

如果将 B 看作是一个卷积模板，膨胀就是先对 B 做关于中心像素的映射，再将映射连续地在 A 上移动而实现的。

图 5-2 说明了膨胀运算的过程，如下所示：

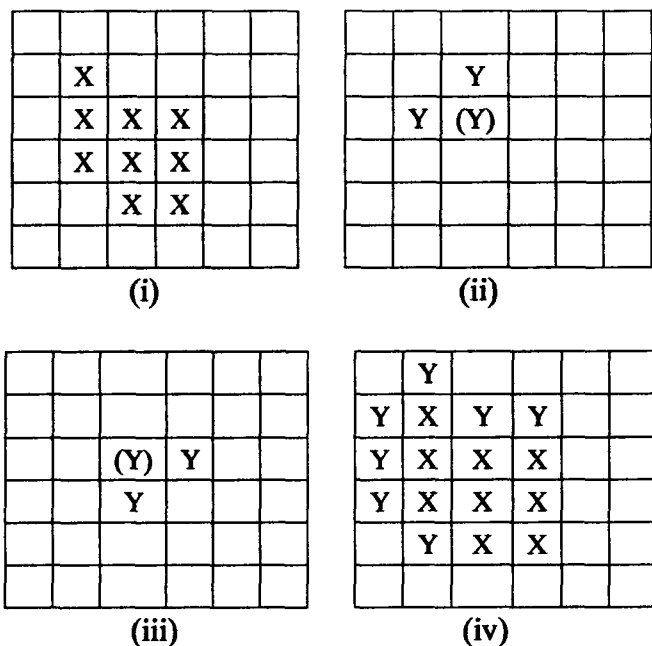


图 5-2 膨胀运算过程

在图 5-2 中，图(i)中填入“X”的部分为集合 A。图(ii)中填入“Y”的部分为集合 B，标有“(Y)”的位置表示中心像素，但并不代表其所在位置处的像素灰度值，只是为与集合 A 相区别开来。图(iii)是图(ii)的映射。图(iv)中标有“X”的像素为 A 中原来的位置，标有“Y”的像素表示膨胀出来的部分，合起来就是膨胀的结果，也就是 $A \oplus B$ 。从图 5-2 可以明显看到膨胀运算使原始图像的区域范围扩大了。

5.4 开启和闭合^[25]

膨胀和腐蚀并不是互为逆运算的，所以可以将它们级联结合使用。开启就是先对图像进行腐蚀，然后膨胀其结果。它具有消除细小物体、毛刺和孤立的小点，在细点处分离物体和平滑较大的边界时又不明显地改变其面积的作用。

开启的运算符为 \circ ，A 用 B 来开启写做 $A \circ B$ ，其定义为：

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \tag{5-6}$$

闭合就是先对图像进行膨胀，然后腐蚀其结果，它具有填充物体内部细小空洞、连接邻近物体、弥合孔洞和裂缝，在不明显改变面积的情况下平滑其边界的作用。

闭合的运算符为 \cdot ，A 用 B 来闭合写做 $A \cdot B$ ，其定义为：

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \tag{5-7}$$

开启和闭合这两种运算都可以除去比结构元素小的特定图像细节，同时保证

不产生全局几何失真。

5.5 实验结果分析

将形态学的开启与闭合运算级联作用于阈值分割后的简牍图像,如图 5-3 所示:

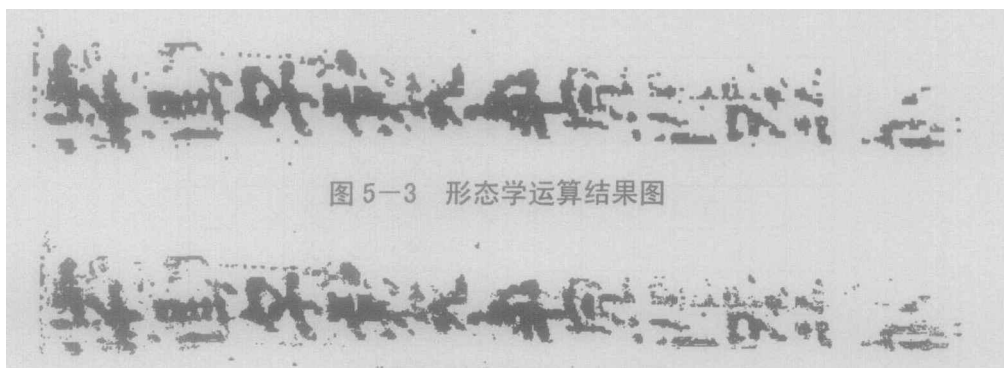


图 5-3 形态学运算结果图

图5-4 简牍阈值分割图

将图5-3与图5-4进行对比,可以明显看出,图5-3较图5-4清晰。通过开运算平滑了字体的轮廓,去掉了细小突出的无用信息;而闭运算则填补上了字体笔画上的一些小孔,搭接了笔画上的细小间断从而起到连通作用。对阈值法分割后的简牍图像再进行形态学运算,组合使用开运算和闭运算,有效地对字体笔画进行了加深,在一定程度上改善了文字信息的视觉效果,并使一些笔画上的小洞得到了填补,去除了细小的噪声点,为下面简牍文字分割处理,做好了充分地准备工作,更有利于后期简牍文字笔画的修复以及简牍文字识别工作的顺利开展。

第6章 简牍文字分割处理

经过论文前几章的处理,包括了简牍图像增强、分割、以及数学形态学处理已经得到了较为单纯、清晰的二值图像。从一张数字化的原始简牍图片可知,其每根简牍之间的间隔是较宽的,简牍之间的文字行距也是较明显的,再加上简牍数字化处理所拍摄的照片比较标准,几乎没有歪曲、倾斜等现象,这些就为简牍文字分割创造了良好的条件,在分割时只需要考虑一行字的分布情况,即只需要区分字间距。根据简牍文字图像的这些特点,就可以采用投影法来进行文字分割处理。

6.1 投影法原理

投影法^[42-45]是根据图像在一些方向上的投影分布特征来进行检测,这种方法本质上是一种统计方法。图像 $f(x,y)$ 中,长方形区域 $(x_1, x_2) \times (y_1, y_2)$ 的水平投影 $S(x)$ 和垂直投影 $P(y)$ 分别定义为:

$$S(x) = \sum_{y=y_1}^{y_2} f(x,y) \quad (6-1)$$

$$P(y) = \sum_{x=x_1}^{x_2} f(x,y) \quad (6-2)$$

水平投影特征表示了图像水平方向的特征,统计每一行的像素个数,它可以去掉简牍文字图像过宽的白色背景,为垂直投影打下基础,使得对文字的定位能够精确实现;而垂直投影特征表示了文字图像垂直方向的特征,统计每一列的像素个数。

由于简牍文字为手写体,其字体、大小、疏密都不一样,使得简牍字与字之间的间距大小不等,很多时候出现了字与字之间粘连的现象,再加上简牍在地下埋藏年代久远,有的腐蚀、朽烂,文字信息脱落,墨迹扩散,字体模糊,转换成数字图像之后,产生的噪声较多,另外汉字中存在着上下结构、左右结构的字,字体结构都不是连通的,因此增加了水平扫描和垂直扫描的误判率,给图像文字分割增加了难度。

虽然简牍文字存在着上述不利于投影分割法的缺点,但是经过观察,发现简牍文字分布还是有规律可循的,其字与字之间虽有粘连,但是它们粘连处的笔画最少,也就是说,连接处像素值为0的个数应该是最少的;而上下结构、左右结构字体的不连通间隔比字与字之间的不连通间隔小很多,且字的偏旁笔画短小,

所占的像素较少。因此,就可以根据这些特点,设立像素的置信区间,通过调整相关参数确定置信区间,找到字与字的连接分离处,从而进行简牍图像文字分割处理。

具体步骤如下:

(1)先自上向下对图像进行逐行扫描直至遇到第 1 个黑色像素点,记录下来,然后再由下向上对图像进行逐行扫描直至找到第 1 个黑色像素,这样就找到图像的高度范围。

(2)在这个高度范围之内再自左向右逐列扫描,遇到第 1 个满足设定条件的像素位置时认为是字分割的起始位置,然后继续扫描,直至遇到没有黑色像素的列,通过参数的设置,来判断此处是否是一个字的结束位置。如果起止位置区间在置信区间里,则认为找到了一个字的分离位置;如果不满足,则继续按上面方法扫描,直至遇到符合条件的像素列,记录下来,并判断此时扫描到的像素列起位置与前一步字的结束位置之间是否满足一定的距离要求,如果满足,则认为现在找到的像素列与前面像素列都属于一个字,则继续扫描,直到找到这个字的末位置为止。另外,如果前面已经找到了一个字的分离位置,通过此处判断条件,也可以再次判断是否是前一个字的偏旁部首,如果不是,则开始进行下一个字的位置扫描工作。按照同样的方法扫描,找出所有文字的位置,直至图像的最左端,就得到每个字比较精确的宽度范围,从而完成简牍文字分割处理。

6.2 实验结果分析

根据简牍文字图像的特点采用投影法,进行文字分割处理,实验结果如下所示:

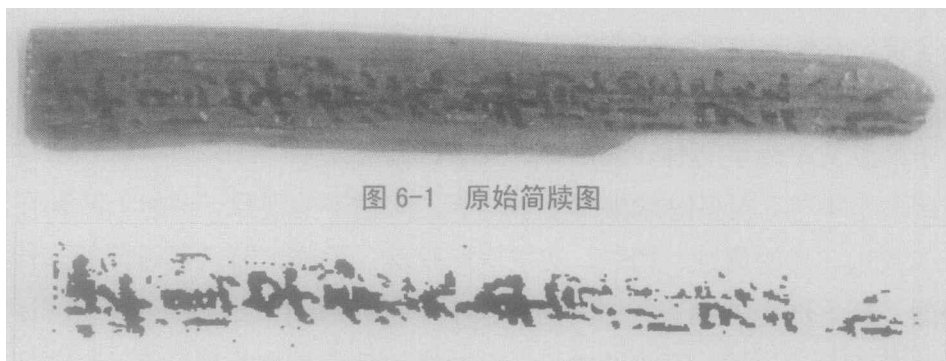


图 6-2 简牍文字预处理图

水平投影图(图 6-3)纵坐标方向的高度和简牍文字图像的高度是一样的,水平方向以蓝色的直线表示目标像素的数量,蓝色直线代表了这一行的目标像素的多少。对图 6-2 进行水平投影,统计各行的像素个数,得到文字的水平投影图,如图 6-3 所示:

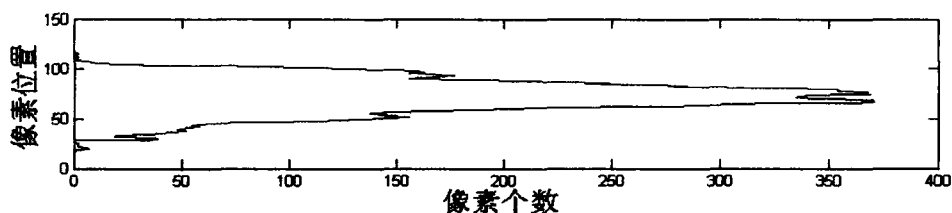


图 6-3 图 6-2 水平投影图

通过水平投影法，对简牍文字图像的高度进行定位，结果如下图 6-4 所示：

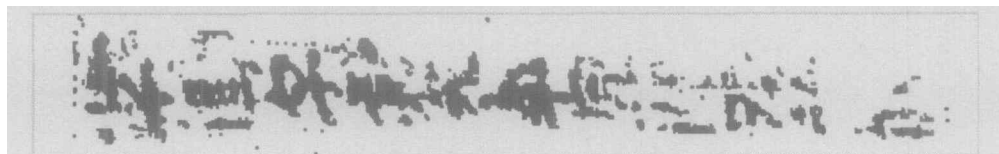


图 6-4 水平投影分割结果图

垂直投影图(图 6-5)横坐标方向的长度和简牍文字图像的宽度是一样的，垂直方向以蓝色的直线表示目标像素的数量，蓝色直线越长代表这一列的目标像素越多。对图 6-4 进行垂直投影，统计各列的像素个数，得到文字的垂直投影图，如图 6-5 所示：

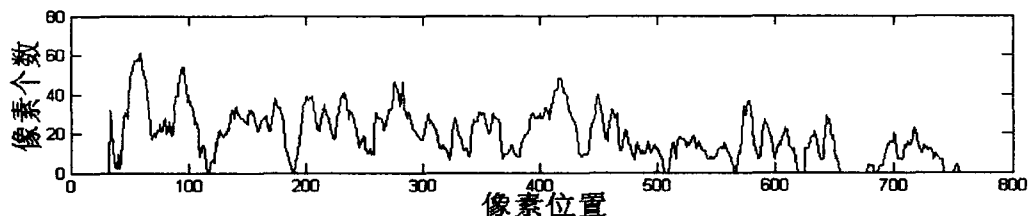


图 6-5 图 6-4 垂直投影图

从垂直投影图(图 6-5)，可以看出有字的位置投影值不为 0，较宽字间距的位置投影值为 0，当字间出现了粘连，虽然没有理想的零值波谷，但是在粘连处存在一个波谷，像素数目是最低的。根据这一特点可以将字分割开来，分割结果见图 6-6。

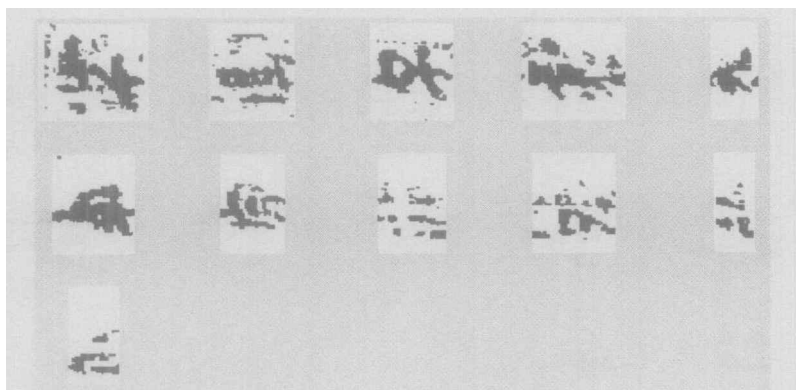


图 6-6 简牍文字分割结果图

从图 6-6 可知：投影法可以将简牍文字分割出来，能够达到文字分割的目的。

虽然图 6-2 文字粘连、断笔现象有点严重，但投影法还是能将绝大多数字体都较完整地提取出来，极个别字体会出现断笔、缺损现象。从文字分割结果图(图 6-6)可以充分地说明投影法的有效性和实用性，该算法简单，运算速度快，实时性好，容易实现，具有很强的应用价值。

对于字间距较大，没有连笔的简牍文字图像(图 6-7)，进行文字分割处理，结果如下所示：



图 6-7 原始简牍图像



图 6-8 简牍文字预处理图

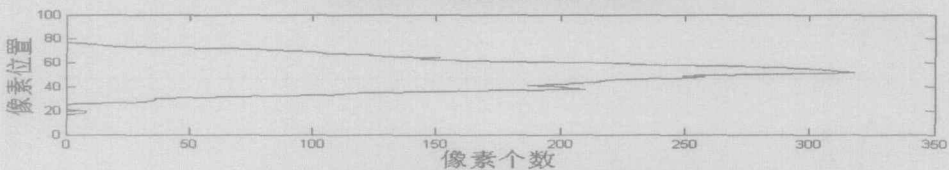


图 6-9 图 6-8 水平投影图

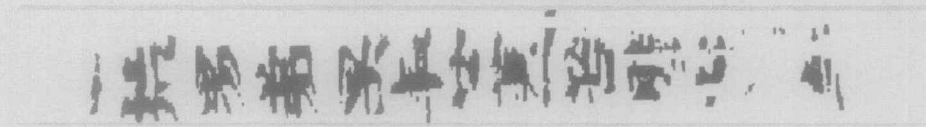


图 6-10 水平投影分割结果图

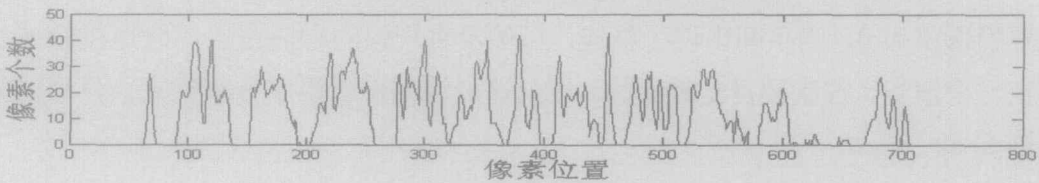


图 6-11 图 6-10 垂直投影图

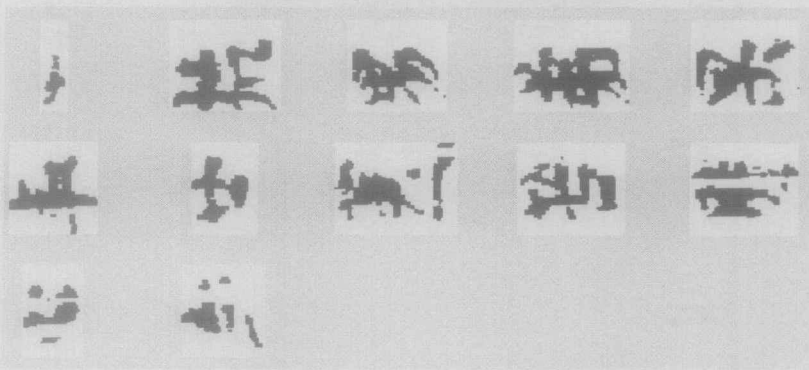


图 6-12 简牍文字分割结果图

从图 6-12 可以看出，投影法能够将每一个文字(图 6-8)都较完整地提取出来，

没有缺损现象,能较好地保持字体的原貌,且分割出的每一个字也是比较清晰的,这样有利于后期对断笔修复以及文字识别工作的顺利进行,也提高了简牍文字信息提取的效率,减轻了考古专家的工作量。

简牍文字分割算法核心部分如下:

```

.....
for j=1:hig
    sum=0;
    sum0=0;
    for i=1:len
        if aa(i,j)==255
            sum=sum+1;
        else
            sum0=sum0+1;
        end
    end
    if sum>len-14 %文字分割系数 1, 根据简牍文字的字体、大小、疏密进行设置合适的值
        if flag==0
            k1=j;
        else
            k1=j;
        end
    end
    if sum0>=14 %文字分割系数 2, 根据简牍文字的字体、大小、疏密进行设置合适的值
        if flag==0
            k2=j;
        else
            k2=j;
        end
    end
    if k2==k1+1
        if flag==0
            if flag2==0
                bb(n,1)=k1-5;
                flag=1;
            else

```

```

        if k1-bb(n-1,2)<2    %文字分割系数 3
            n=n-1;
            flag=1;
        else
            bb(n,1)=k1-5;
            flag=1;
        end
    end
end
elseif k2==k1-1
    if flag==1
        if k1-bb(n,1)>15    %文字分割系数 4
            bb(n,2)=k1+4;
            n=n+1;
            flag=0;
            flag2=1;
        end
    end
end
end
end
.....

```

结 论

论文主要是围绕简牍图像增强与分割处理,结合研究生阶段所做的工作,对这些基础而重要的图像处理技术做了研究和探讨,从而对图像技术在应用领域的作用和意义有了更深刻的理解和认识。

论文首先简述了数字图像处理的基本知识以及常用的图像处理方法,结合简牍图像自身的特点,使用了一种基于 HSV 空间的简牍图像增强方法;接着,利用有效的分割技术分离了文字与背景信息;然后,对提取的文字采用了数学形态学处理方法;最后,形态学处理的基础上,进行简牍文字分割处理。通过算法的实践研究,得出以下结论:

第一,论文采用的增强方法处理简牍图像具有有效性和实用性。在实验中利用色度空间转换模型可以圆满地解决图像中色彩信息相互关联的问题。使用 HSV 模型空间,可以将色调、饱和度、亮度信息分开处理,它们之间是相互独立的,这样可以大大简化图像分析和处理的工作量。

第二,论文中提出在色调分量不改变的前提下,将线性变换、中值滤波、高斯-拉普拉斯级联组合起来作用于简牍的亮度分量,不仅可以调节动态范围,还可以去除了图像的噪声并使目标轮廓得到增强,而对于饱和度进行适当的灰度拉伸,改变其直方图分布。这种方法具有广泛的应用价值,对于不同的领域具有较好的指导意义,特别是对于图像处理研究方面的优化处理提供了一条新的算法思路。

第三,论文对增强后的简牍图像,以亮度信息为主要依据,再进行分割处理,提取出文字信息,去掉简牍图像的背景信息,这为以后更进一步的优化算法提供了思路和指导。对当前主流的灰度图像分割算法进行了分析、分类、归纳和总结,指出了各类方法的优缺点,为人们在不同的应用场合及不同的图像数据条件下选择不同的分割算法提供了一定的依据;具体分析了简牍的独有特性,结合已知的先验知识,分别采用了阈值技术、最大类间方差(OTSU)法,以及区域生长法对简牍进行处理,通过大量的实验研究,找到了符合简牍特性的文字提取方法,有效地分离出文字信息。

第四,论文对分离的文字信息,采用形态学方法进行处理。开运算平滑了简牍字体的轮廓,去掉了细小突出的无用信息;而闭运算则填补上了字体笔画上的一些小孔,搭接了笔画上的细小间断从而起到连通作用。实践结果证明了,对通过阈值技术提取出的文字信息再进行形态学处理,两者的结合使用是一种非常有效的处理方法,在一定程度上对字体笔画进行了加深,填补了字体笔画上的细小漏洞,并去掉了一些无用信息,得到了效果更加清晰的简牍文字图,到达了令人

满意的结果。

第五, 论文分析了简牍文字图像的特点, 结合现有的投影法, 在大量实验的基础上, 提出并运用多个修正参数, 对简牍文字进行分割处理, 取得了预期的效果, 为后期文字笔画修复以及文字识别工作做好了充分的准备。

将图像处理技术应用于简牍图像处理领域中, 还存在着许多问题需要解决。但是, 随着社会的发展和科技的进步, 图像处理技术理论研究和实际应用必将广泛的应用到考古领域研究中, 具有广阔的发展前景。为了让信息技术更好的提升简牍考古研究的工作效率和成果, 还需要人们不断的引进其它学科和领域的新概念、新方法和新理论, 将多种处理方法有效的结合起来, 利用特定领域的先验信息和专业知识。在最近十多年里, 模式识别、机器学习和人工智能等学科都有了一些新的进展, 也为图像处理研究提供了新的技术和手段。

在本研究中也发现一些有待进一步研究解决的问题:

1. 改进增强算法, 根据图像特性, 自动选择最优的阈值。现在算法还有一些不太完善的地方, 根据具体问题, 具体分析, 改进和优化算法, 提供工作效率。
2. 在下一步的工作中, 研究如何在文字分割的基础上对残缺的文字信息进行笔画修复, 以及文字识别处理。

致 谢

三年时间转瞬而过，在本论文完成之际，谨向所有给予我关心、支持和帮助的老师、同学及亲友致以深深的谢意。

回首三年来的学习经历，首先要感谢导师王绪本教授在学业上给予我的悉心指导以及在生活中对我的无微不至的关心。王绪本教授渊博的学识、高尚的品德、严谨的治学作风、精益求精的工作态度、不断创新的开拓进取精神还将对我今后的工作和学习产生深远的影响。王老师虚怀若谷的品格将永远提醒我要善于学习不能骄傲自满。在这三年来，王老师不仅在各方面给我悉心的照顾，同时又注重对我各方面能力的发掘与培养，我取得的每一点一滴进步，无不饱含着他的心血和汗水，从他身上获得的这些都将成为我永久的财富，指导着我一生的发展和奋斗，再次对王老师表示由衷的感谢！

感谢多年来所有教授我知识的老师们，是他们让我学到了很多宝贵的知识。

感谢由导师领导下的简牍项目小组在一起学习、合作过的杨斯涵、李申申、朱杰、陈瑜、张伟、覃庆炎等师姐师兄们，在学习和研究中是他们给予我鼓励和帮助！

感谢三年来生活在我周围的同学和朋友曹辉、李秋香、郑文峰、阚瑗珂、简兴祥、曹礼刚、杨利容、宋利霞、刘英利、陈露军、方继里、徐雯琪、陈红娟、马丽丽、李海蓉、熊艳荣、韩建、赵涛、董晓坡、倪秀胜、曾科、余年、林春、李文超、邓薇、路瑶、胡蕾等，他们在学习上给了我许多帮助，生活上给了我无穷的欢乐！

感谢我的父母，我的大舅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，使我顺利地完成了学业，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。

另外，本文参考和引用了大量的文献资料，在此，也一并向这些文献资料的作者致谢！

参考文献

- [1] 考古与文物保护[EB/OL]. [2005-07-28]
http://www.gov.cn/test/2005-07/28/content_18142.htm
- [2] 文物价值观与文化遗产保护和利用[EB/OL]. [2007-05-20]
http://www.wenbao.net/wbw_admin/news_view.asp?newsid=248
- [3] 杨斯涵. 图像处理技术在简牍保护中的应用研究: [D].成都 成都理工大学, 2006
- [4] 李申申.基于轻量级架构的简牍图像信息系统: [D].成都 成都理工大学, 2006
- [5] 应用计算机技术实施壁画图像信息的保存[EB/OL]. [2007-05-20]
http://www.cnipc.com.cn
- [6] 蔡超峰. 局部直方图均衡化算法研究及其应用: [D].郑州 郑州大学, 2005
- [7] 郑方, 章毓晋. 数字信号与图像处理[M].北京: 清华大学出版社, 2006
- [8] 张淑骅. 基于 MATLAB 的 X 光图像处理方法: [D].上海 华东师范大学, 2005
- [9] 夏良正.数字图像处理[M].江苏: 东南大学出版社, 1999
- [10] 高岚. 基于模糊边缘判决的自适应图像增强方法: [D].武汉 武汉科技大学, 2004
- [11] 李在铭等. 数字图像处理压缩与识别技术[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2000
- [12] 龚声蓉, 刘纯平, 王强等.数字图像处理与分析[M].北京: 清华大学出版社,2006.
- [13] 李文举. 智能交通中图像处理技术应用的研究: [D].大连 大连海事大学, 2004
- [14] 阮秋琦. 数字图像处理学[M].北京: 电子工业出版社, 2001
- [15] 朱虹. 数字图像处理基础[M].北京: 科学出版社, 2005
- [16] 魏俊, 李弼程. 基于 HIS 变换、小波变换与高通滤波的遥感影像融合[J], 信息工程大学学报, 2003, 4(2):46-50.
- [17] 黄凯奇, 王桥, 吴镇扬. 基于视觉特性和颜色空间的多尺度彩色图像增强算法[J].电子学报, 2004, 32(4): 673-676.
- [18] Christopher C. Yang, Jeffery J. Rodriguez. Efficient Luminance and Saturation Processing Techniques for Color Images, Journal of Visual Communication and Image Representation,1997,8(3):263-277
- [19] Zhang Yujin, Yao Yurong, He Yun. Color Image Segmentation Based on HSI Model[J]. High Technology Letters, 1998, 4(1): 28-31.
- [20] 王兴伟, 沈兰荪, 刘党辉. 一种新的彩色医学图像增强算法[J].中国生物医学工程学报, 2004, 23(1):5-9.
- [21] 李弼程, 彭天强, 彭波等编著. 智能图像处理技术[M].北京:电子工业出版社, 2004
- [22] 贺兴华, 周媛媛, 王继阳, 周晖等.MATLAB7.x 图像处理[M].北京: 人民邮电出版社, 2006
- [23] 杨淑莹, 边奠英. vc++图像处理程序设计 (第 2 版) [M].北京、清华大学:北京交通大学出版社,2003
- [24] 宁媛, 李皖. 图像去噪的几种方法分析比较[J].贵州工业大学学报(自然科学版), 2005, 34(4):63-66
- [25] 飞思科技产品研发中心.MATLAB6.5 辅助图像处理[M].北京: 电子工业出版社,2003
- [26] 刘丽梅, 孙玉荣, 李莉.中值滤波技术发展研究[J].云南师范大学学报, 2004, 24(1):23-27.
- [27] D Charles, E R Davies. Mode filters and their effectiveness for enhancing color images[J]. The Imaging Science Journal, 2004, 52: 3-25.
- [28] J. Prewitt. Object Enhancement and Extraction. Picture Process . Psychopict,1970:75-149

- [29] D.C Marr and E, Hildreth. Theory of Edge Detection. Proc. Roy. Soc. London,1980(B275):187-217
- [30] Chen W. A new algorithm of edge detection for color image: generalized fuzzy operator. Science in Chian(A),1995,38(10):1272-1273
- [31] Rafael C.Gonzalez, Richard E.Woods, Steven L.Eddins. Digital Image Processing Using MATLAB[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005
- [32] 章毓晋.图像分割[M].科学出版社, 2001
- [33] Haralick, Robert M, Shapiro, Linda G. IMAGE SEGMENTATION TECHNIQUES[J]. Proceedings of SPIE-The international Society for Optical Engineering, 1985, 548:2-9
- [34] Pornphan Dulyakarn, Yuttapong Rangsanteri, and Punya Thitimajshima. Histogram Transformation Based Threshold Selection for Image Segmentation[EB/OL]. <http://www.aars-acrs.org/acrs/proceeding/ACRS1999/Papers/PS599-1.htm>
- [35] 刘红霞. 图像分割算法的研究与实现: [D].上海 华东师范大学, 2004
- [36] 王李冬, 邵晓英, 巴特尔. 一种基于感兴趣区域提取的医学图像检索技术[J]. 宁波大学学报(理工版), 2006,19(4):465-470
- [37] 郑丽敏, 于铂, 唐毅, 朱虹, 田立军, 任发政. 利用图像处理技术自动估算猪胴体参数[J]. 计算机应用研究, 2007, (1):203-206
- [38] 范华忠, 张伯虎, 冯艳. 图像处理技术在火焰目标提取中的应用[J]. 电光与控制, 2006,13(1):9-9-104
- [39] 金忠. 一种基于形态学的 X 射线数字图像焊缝边缘检测方法[J]. 计量技术,2006,(5):34-35
- [40] Jorge D.Mendiola-Santibanez, Ivan R.Terol-Villalobos, Gilberto Herrera-Ruiz, Antonio Fernandez-Bouzas. Morphological contrast measure and contrast enhancement: One application to the segmentation of brain MRI[J]. Signal Processing, 2007, 87(9):2125-2150
- [41] 韩晓微. 彩色图像处理关键技术研究: [D].辽宁 东北大学, 2005
- [42] 卢昭金, 韩焱. 基于 OTSU 法车牌自动定位技术研究[J]. 电脑开发与应用, 2006, 19(5):276-278
- [43] 刘明军, 谢宏霖, 孙雪松, 由枫秋. 车牌字符分割算法的比较研究[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2006, 20(3):245-248
- [44] 马野伦.基于数字图象处理的人眼定位算法研究: [D].吉林 吉林大学, 2006
- [45] 李元金.基于图像处理的牌照识别系统的研究: [D].天津 天津工业大学, 2005