

# 基于自适应图像增强技术的水族文字提取与识别研究

杨秀璋<sup>1</sup> 武 帅<sup>1</sup> 夏 换<sup>2</sup> 于小民<sup>2</sup>

1 贵州财经大学信息学院 贵阳 550025

2 贵州财经大学贵州省经济系统仿真重点实验室 贵阳 550025

(201601072@mail.gufe.edu.cn)

**摘 要** 传统的少数民族文字缺乏利用数字图像处理技术进行分析的研究,水族古文字依靠口传、纸张手抄、刺绣、碑刻、木刻和古籍等传承,文字清晰度不足,数字化读取困难,无法满足信息化时代对濒危水族文字抢救提出的新要求。文中提出一种基于自适应图像增强及区域检测的水族文字提取与分割算法,通过对数变换和伽玛变换处理复杂环境下图像的光照影响,利用中值滤波降低噪声,接着采用 Sobel 算子提取水书灰度图像的文字边缘细节,通过阈值化、膨胀和腐蚀处理提取文字轮廓,最后通过区域检测与文字定位算法实现水族古文字的提取和分割。实验结果表明该算法能有效降低图像噪声并提取水族文字,分离的水族文字信息较完整,在一定程度上减轻了民族研究者和考古专家的工作量。该算法可以应用于水族文字识别、文物修复和保护、水族文化传承等领域,具有一定的应用前景和实用价值。

**关键词:** 图像增强;区域检测;水族文字;文字提取;图像分割

中图法分类号 TP391

## Research on Shui Characters Extraction and Recognition Based on Adaptive Image Enhancement Technology

YANG Xiu-zhang<sup>1</sup>, WU Shuai<sup>1</sup>, XIA Huan<sup>2</sup> and YU Xiao-min<sup>2</sup>

1 School of Information, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China

2 Guizhou Province Economic System Simulation Key Laboratory, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China

**Abstract** Aiming at the lack of digital image processing technology in traditional minority scripts, Shui characters are inherited by oral transmission, paper handwriting, embroidery, stele inscription, woodcut and ancient books. The text is not clear enough and it is difficult to digitally read, which can not meet the new requirements for rescuing endangered shui characters in the information age. In this paper, an algorithm of shui character extraction and segmentation based on image enhancement and region detection is proposed. The illumination of the image is processed by logarithmic and gamma transform, and the noise is reduced by median filtering. Then the text edge details of the gray-scale image of Shui characters are extracted by Sobel operator, and the text contours are extracted by threshold processing, expansion processing and corrosion processing. Finally, the text contours are extracted by Region detection. Detection and text location algorithm can extract and segment ancient Shui characters. This paper uses Python language to simulate the shui characters. The experimental results show that the algorithm can effectively reduce the image noise and extract the shui characters. The separated Shui characters information is more complete, which reduces the workload of ethnic researchers and archaeologists to a certain extent. The algorithm can be applied to the recognition of Shui characters, the protection of cultural relics, the inheritance of Shui culture and other fields, and has a certain application prospect and practical value.

**Keywords** Image enhancement, Region detection, Shui characters, Text extraction, Image segmentation

## 1 引言

水书是水族古文字及其著编典籍的汉译统称,是除纳西族东巴文以外世界上最后“活着”的象形文字,收集整理、研究解读水族文字对了解水族历史文化、研究少数民族原始宗教

和文化信仰、从中窥探中国古文字奥秘有着重要意义<sup>[1]</sup>。由于水书是靠数量稀少的水书先生代代手抄传承,且记录水书的载体除纸张外还有大量刺绣、碑刻、木刻等其他原生载体、金石载体,随着时代的发展,大量水书古籍文献和文字图像正在损毁和流失。另一方面,水书传承者的数量随着时间推移

基金项目:贵州省科学技术基金项目(黔科合基础[2019]1041,黔科合基础[2020]1Y279,黔科合基础[2019]1403号,黔科合基础[2020]1Y420);贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合KY字[2021]135);贵州财经大学校级科研基金项目(2019XQN01)

This work was supported by the Guizhou Science and Technology Plan Project(黔科合基础[2019]1041,黔科合基础[2020]1Y279,黔科合基础[2019]1403,黔科合基础[2020]1Y420), Young Science and Technology Talents Growth Project of Education Department of Guizhou Province(黔教合KY字[2021]135) and Guizhou University of Finance and Economics Scientific Research Fund Project(2019 XQN01).

通信作者:夏换(66374769@qq.com)

正在急剧减少,据统计,全国有近千名水书先生,但绝大部分已在 60 岁以上,大量散落民间的水书古籍无法被收集进行专业修复和妥善保存<sup>[2]</sup>。传统水书收集整理和水族文字研究在人力、物力和技术上有一定的局限性,对大量散落民间的水书进行系统采集整理和文字提取识别难度巨大,无法满足信息化时代对濒危水族文字抢救提出的新要求<sup>[3]</sup>。

当前,国内外学者开始高度重视对濒危水书的抢救工作,发掘、收集和整理了大批水书文献资料。这一时期,除了传统的对水书自身的研究和挖掘,学者们也开始思考水族文字抢救工作中存在的问题和困难,并不断探索解决方案,如罗春寒的《水书的抢救及存在问题浅议》<sup>[4]</sup>、潘朝霖的《水文急剧消亡的原因探析》<sup>[5]</sup>、[英]康蔼德和潘兴文的《水语调查研究》<sup>[6]</sup>等。随着计算机技术的发展和普及,水书研究进入信息化时代,运用计算机辅助水书输入、整理研究开始走入学术视野,如韦宗林的《水族古文字计算机输入法》<sup>[7]</sup>、董芳的《水书文字规范标准建设与信息化的研究》<sup>[8]</sup>、罗刚的《计算机水书语料库建设的探讨》<sup>[9]</sup>、戴丹的《水书水字可视化输入中的模式匹配》<sup>[10]</sup>。经过各级部门和专家学者不遗余力的努力,目前国内水书的整理和研究已颇具成效。但传统的水族文字采集、整理和保护方式还存在以下几个方面的不足:1)由于记载水族文字的主要载体为口传、纸张手抄、刺绣、碑刻、木刻、陶瓷和古籍等,文字清晰度不足,数字化读取困难,对字体的采集和整理主要依赖于大量的人力和物力,信息化环境下的数据库建设不足,大大制约了整理和研究效率;2)历来对水书和水族古文字的研究主要采用人文社科的思想,侧重于对字源、字音、字义和文化内涵的破译和解读,现代化信息技术在水书研究领域的运用体现不明显,作用没有得到充分发挥;3)对水族文字提取和识别研究,破译成果的整理和运用不足,至今没有完成水书本体和水族古文字识别及数据库的建设。

随着计算机视觉和图像处理技术的迅速发展,图像分割与图像识别方法已广泛应用于各行各业,比如车牌识别、人脸识别、身份证识别等<sup>[11-14]</sup>。图像分割(Image Segmentation)是将图像分成若干具有独特性质的区域并提取感兴趣目标的技术,它是图像处理和图像分析的关键步骤<sup>[15]</sup>。图像识别(Image Recognition)是通过算法和函数提取像素中的某些特征,并对图像进行识别和分类的过程<sup>[16]</sup>。为了更好地运用现代计算机图像处理和图像分割等技术来辅助濒危水族文字的抢救工作,保护水族文化,修复水书文物图像,本文提出了一种基于图像增强及区域检测的水族文字提取与分割算法。该研究具有重要的理论研究意义和良好的实际应用价值,可以广泛应用于水族文字提取、水族文字识别和水族文化传承领域。

## 2 水族文字提取与分割算法的实现

### 2.1 算法框架

本文提出了一种基于自适应图像增强及区域检测的濒危水族文字提取与分割算法,采用数字化手段抢救水书,为后续识别水族文字和挖掘水族古文字释义提供基础。算法流程如图 1 所示。

(1)读取水族文字原始图像。

(2)图像预处理。获取图像的平均灰度值,判断图像的光线、亮度、背景等复杂环境并自动过滤,通过对数变换增强图

像暗部细节,通过伽马变换降低图像亮度背景。

(3)利用中值滤波算法消除图像噪声,同时保留图像边缘细节。

(4)通过图像灰度转换将第(3)步处理后的彩色图像转换为灰度图像。

(5)采用 Sobel 算子锐化突出水族文字图像的边缘细节,改善图像的对比度,提取文字轮廓。

(6)经过阈值化处理提取图像中的文字区域,将图像的背景和文字区域分离。

(7)将阈值化处理后的图像进行膨胀处理和腐蚀处理,突出图像轮廓并过滤掉图像的细节。

(8)最后采用水族文字区域检测与轮廓定位算法提取目标文字,定位并分割水族文字,输出图像。

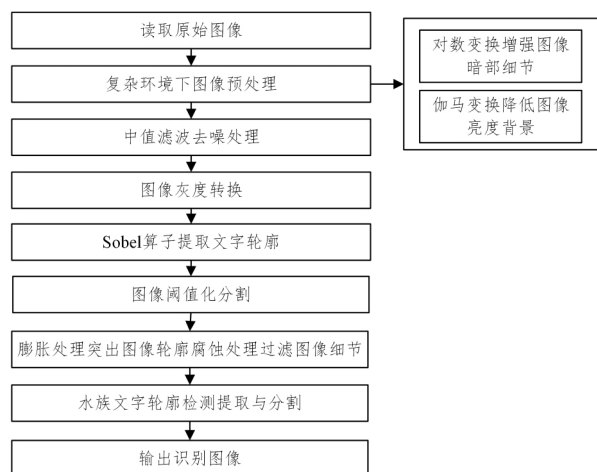


图 1 水族文字提取与分割算法流程图

Fig. 1 Framework diagram of Shui text extraction and segmentation algorithm

### 2.2 复杂环境下的图像预处理

在复杂环境下,受光照明暗、自然侵蚀、拍摄角度、背景复杂程度、文物损坏等影响,水书文物图像会产生噪声,严重降低了文字提取和识别的准确度。因此进行图像提取和分割前,需要对图像进行预处理操作,增强水族文字图像的清晰度。本文结合图像复杂环境实现自适应的图像增强处理。

(1)对数变换增强图像暗部细节

图像灰度的对数变换用于增强图像的暗部细节,增加低灰度区域的对比度。对数变换如式(1)所示:

$$D_B = c \times \log(1 + D_A) \quad (1)$$

其中, $D_A$ 为原始图像灰度值, $D_B$ 为变换后的目标灰度值, $c$ 为常数。

图 2 是水族文字图像对数变换前后的对比图,它将亮度较低、文字不清晰的图像有效增强。

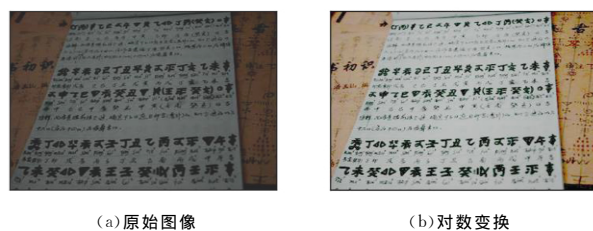


图 2 基于对数变换的增强图像

Fig. 2 Enhanced image based on logarithmic transformation

## (2) 伽玛变换修正图像对比度

伽玛变换又称为指数变换或幂次变换,主要用于图像校正,将灰度过高或者灰度过低的图像进行修正,增强图像的对比度。图像灰度的伽玛变换公式如式(2)所示。当  $\gamma=1$  时,该变换转换为灰度线性变换;当  $\gamma>1$  时,会压缩图像灰度级较低的部分,拉伸灰度级较高的区域;当  $\gamma<1$  时,会压缩图像灰度级较高的部分,拉伸灰度级较低的区域。

$$D_B = c \times D_A^\gamma \quad (2)$$

图 3(a)是整体亮度偏高的水族文字图像;图 3(b)是经过伽玛变换处理后的效果图,有效地降低了图像亮度,使图像文字更清晰。

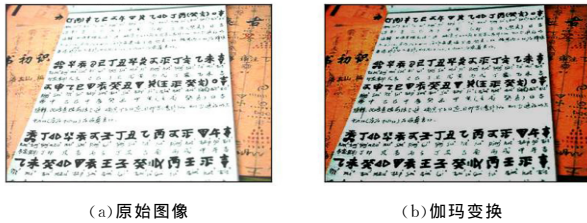


图 3 基于伽玛变换的增强图像

Fig. 3 Enhanced image based on gamma transform

## 2.3 中值滤波去噪处理

中值滤波(Median Blur)是一种非线性平滑滤波,它计算每个像素点及对应邻域内所有像素点灰度值的中值,来替换当前像素点的灰度值,让周围的像素值更接近真实情况,从而消除孤立的噪声。中值滤波对脉冲噪声有良好的消除作用,它能有效过滤掉噪声,同时保护图像的边缘细节,使之不被模糊处理,常被应用于图像噪声消除、图像平滑等操作中[17]。

OpenCV 将中值滤波算法封装在 medianBlur() 函数中。图 4(a)是一幅包含噪声的水书拓片图像,图 4(b)是经过中值滤波处理后的效果。从图中可以发现,水书拓片噪声已被有效地消除。

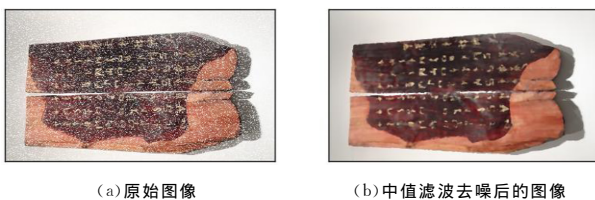


图 4 图像中值滤波去噪处理

Fig. 4 Image denoising processing through median filter algorithm

## 2.4 图像灰度转换

图像灰度转换是将一幅彩色图像转换为灰度图像的过程。彩色图像通常包括 R(红色)、G(绿色)、B(蓝色) 3 个分量,灰度转换是将彩色图像的 R、G、B 3 分量相等匹配的过程。灰度图像是将像素置于黑色与白色之间的多级色彩深度中,灰度值越大像素点越亮,反之越暗。灰度最大值和最小值是 255 和 0,对应白色和黑色。

本文所采用的灰度转换公式如式(3)所示,它将原始颜色 RGB(R,G,B) 按照人类眼睛感官颜色的敏感程度(红色占 29.9%,绿色占 58.7%,蓝色占 14.4%的比例)加权平均并均匀地替换成新的灰度颜色 RGB(Gray, Gray, Gray)。

$$Gray = R * 0.299 + G * 0.587 + B * 0.144 \quad (3)$$

图 5 是将彩色图像转换为灰度图像的过程。

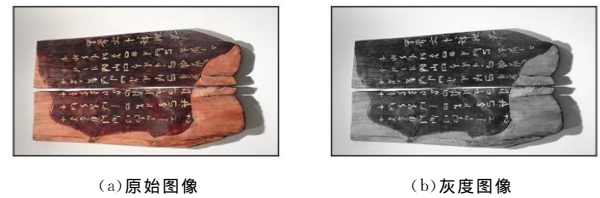


图 5 图像灰度转换

Fig. 5 Image gray conversion

## 2.5 Sobel 算子提取水族文字轮廓

Sobel 算子是一种用于边缘检测的微分算子,它结合了高斯平滑和微分求导。该算子根据像素点上下、左右邻点灰度加权差在边缘处达到极值这一现象检测边缘,有效利用了图像明暗程度的近似值进行图像锐化处理。

由于 Sobel 算子增加了权重的概念,认为相邻点的距离远近对当前像素点的影响是不同的,距离越近的像素点对当前像素的影响越大,从而实现图像锐化并突出边缘轮廓。Sobel 算子的模板分为水平方向和垂直方向,如式(4)所示。

$$d_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, d_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Python 和 OpenCV 将 Sobel 算子封装在 Sobel() 函数中,图 6 是 Sobel 算子提取水书拓片的效果。

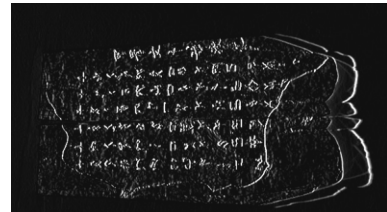


图 6 Sobel 算子提取水书轮廓

Fig. 6 Sobel operator extracts outline of Shui characters

## 2.6 阈值化处理

图像阈值化(Binarization)旨在剔除掉图像中低于或高于一定值的像素点,从而提取图像中的物体,将图像的背景和物体区分开来。阈值的目的是确定出一个范围,这个阈值范围内的像素点使用同一种方法处理,而阈值之外的部分则使用另一种处理方法或保持原样,从而分割图像。

OTSU 算法是一种基于寻找合适阈值实现图像二值化分割的方法。该算法的核心思想是寻找图像二值化最优阈值,再根据阈值将图像分为前景(白色)或者背景(黑色)。

图像阈值化处理后的结果如图 7 所示,它将图像中的各像素点集中分布于两种灰度级,从而分割图像的前景和背景。

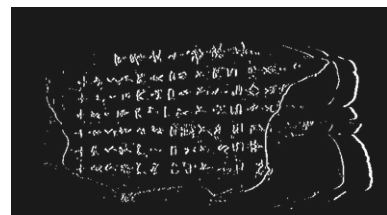


图 7 图像阈值化处理

Fig. 7 Result of image thresholding

图 8 是对比阈值化处理前后的灰度直方图。其中,图 8(a)表示经过 Sobel 算子处理后的灰度直方图,该像素点集



中分布于灰度为 0 的区域;图 8(b)表示阈值化处理后的灰度直方图,仅有 0 和 255 两种像素值,分别对应黑色(背景)和白色(前景)。

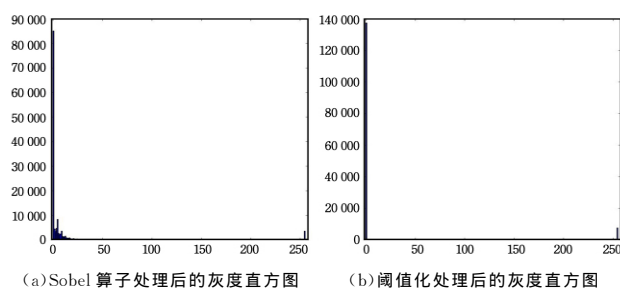


图 8 阈值化处理前后的灰度直方图对比

Fig. 8 Comparison of thresholded gray histograms

## 2.7 膨胀和腐蚀处理

图像膨胀和图像腐蚀主要用来寻找图像中的极大区域和极小区域,它们是两种最基本的形态学运算。

### (1) 膨胀处理

图像膨胀处理用于扩张目标高亮区域,其运行结果图比原图的高亮区域更大。膨胀的运算符是“ $\oplus$ ”,设  $A$  和  $B$  为集合, $A$  被  $B$  的膨胀记为  $A \oplus B$ ,其定义如式(5)所示。

$$A \oplus B = \{x | B_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (5)$$

该公式表示用卷积模板  $B$  来对图像  $A$  进行膨胀处理,扫描图像中的每一个像素点,用模板元素和二值图像元素做“与”运算,如果都为 0,那么目标像素点为 0,否则为 1。通过计算  $B$  覆盖区域的像素点最大值,并用该值替换参考点的像素值,实现图像膨胀。图 9 是经过图像膨胀后的水书拓片,它扩张了图像文字区域并突出了文字的边缘轮廓。



图 9 图像膨胀处理

Fig. 9 Image expansion processing

### (2) 腐蚀处理

图像腐蚀是膨胀处理的逆操作,它类似于“领域被蚕食”,将图像中的高亮区域或白色部分进行缩减细化,从而过滤掉图像的细节。设  $A$  和  $B$  为集合, $A$  被  $B$  的腐蚀记为  $A - B$ ,其定义如式(6)所示。

$$A - B = \{x | B_x \subseteq A\} \quad (6)$$

该公式是图像  $A$  用卷积模板  $B$  来进行腐蚀操作,通过模板  $B$  与图像  $A$  的卷积计算,获取  $B$  覆盖区域的像素点最小值,并用该值来替代参考点的像素值。如图 10 所示,它有效地过滤掉了图像的细节,提取了水书拓片的主要轮廓。

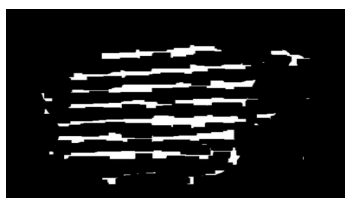


图 10 图像腐蚀处理

Fig. 10 Image corrosion processing

## 2.8 水族文字区域检测与轮廓定位

经过图像膨胀和腐蚀处理,有效地凸显出水书拓片的文字区域,接着利用区域检测和轮廓定位方法最终提取出目标文字,分割水族古文字。

### 算法 1 文字区域检测与轮廓定位算法

输入:水族文字原始图像

输出:识别文字区域及轮廓的图像

1. 计算图像中白色区域(灰度值为 255)的面积,并寻找图像区域特征,调用 OpenCV 中的 findContours() 函数寻找一系列的轮廓区域。
2. 遍历排序所有轮廓面积,过滤掉面积较大、比例不协调等异常轮廓,并找出各轮廓的 4 个顶点坐标。
3. 通过 4 个顶点坐标计算各轮廓的长和宽,结合水族文字的字形特征,过滤长宽异常区域。
4. 确定最终的文字区域,并调用 OpenCV 中的 drawContours() 函数绘制相关轮廓,提取文字。
5. 通过图像分割技术对水书各文字进行切片处理,并将最后的水族文字图像输出保存。

图 11 是经过水族文字区域检测与轮廓定位处理后的效果图,可以看出本文提出的方法有效地提取和分割了水书拓片中的水族文字区域。



图 11 水族文字拓片中的文字提取与定位

Fig. 11 Text extraction and location in Shui character rubbings

## 3 实验结果与分析

本文在 Python 和 OpenCV 环境中进行了仿真实验分析,验证了所提出的基于图像增强及区域检测的濒危水族文字提取与分割算法的有效性和实用性。该方法经过复杂环境下的图像预处理、中值滤波去噪、图像灰度转换、Sobel 算子提取轮廓、图像阈值化分割、膨胀和腐蚀处理、文字区域检测与轮廓定位等步骤,有效提取和分割了水族文字图像。

图 12 是对水书中的文字进行提取和定位实验。

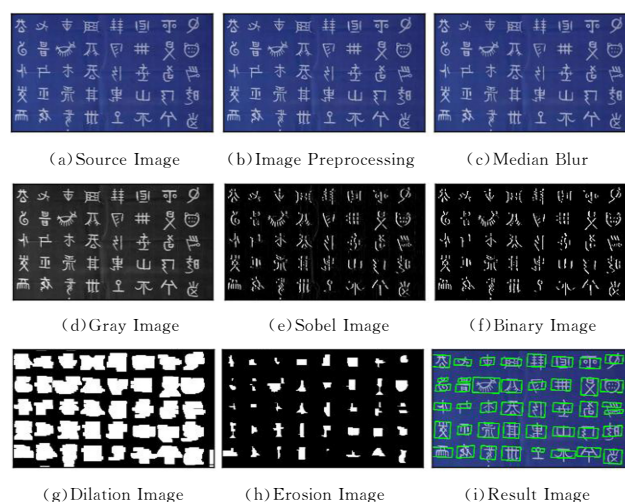


图 12 水族文字提取与定位的实现步骤

Fig. 12 Implementation steps of Shui characters extraction and positioning

图 12(a)表示原始图像,图 12(b)表示图像预处理,图 12(c)表示中值滤波去噪处理后的效果图,图 12(d)表示灰度图像,图 12(e)表示 Sobel 算子提取轮廓,图 12(f)表示阈值化处理分割文字与背景,图 12(g)表示图像膨胀处理,图 12(h)表示图像腐蚀处理,图 12(i)是算法处理的最终效果图,它将水

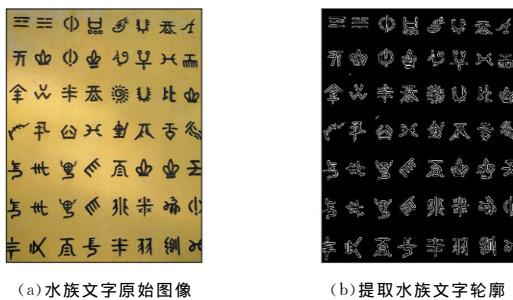
族文字有效地提取与定位出来了。

最终分割的水族文字图像如图 13 所示,它将原始水书图像中的单个古文字进行了提取,并过滤识别不准确或面积较小的异常文字。该实验共提取水族古文字图像 38 张,该水书图像的提取正确率约为 92.0%。



图 13 水族文字分割

Fig. 13 Shui characters segmentation



(a)水族文字原始图像

(b)提取水族文字轮廓

图 14 水族文字轮廓提取

Fig. 14 Outline extraction of Shui characters

图 14 是将强光照图像中的水族文字进行提取。其中图 14(a)是原始图像,图像亮度较强;图 14(b)是提取后的文字轮廓,它有效地消除了噪声。

采用本文算法提取和定位的水族古文字的完整流程如图 15 所示,包括读取原始图像、图像预处理、中值滤波处理、灰度转换、Sobel 算子提取轮廓、阈值化处理、膨胀处理、腐蚀处理、区域检测与文字定位 9 个步骤。最终将所有水族文字轮廓标记出来,但受光照强弱和背景明暗程度等复杂环境影响,提取的文字中存在两个文字被框选的现象,从而造成一定误差,后续研究需进一步优化算法。

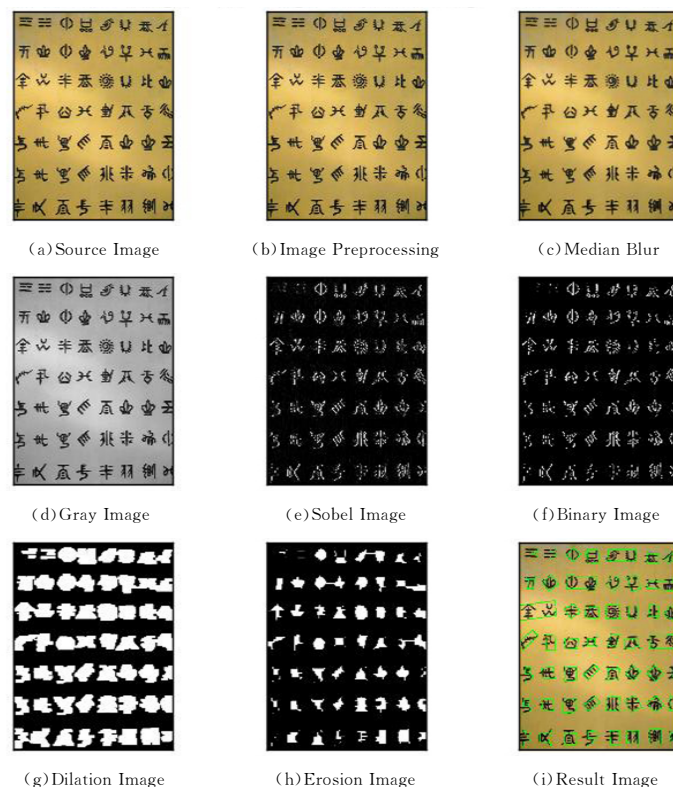


图 15 强光照图像中的水族文字提取与定位

Fig. 15 Extraction and positioning of Shui characters in strong illumination images

分割后的水族文字图像如图 16 所示,共提取分割文字图像 45 张,50 个水族古文字。

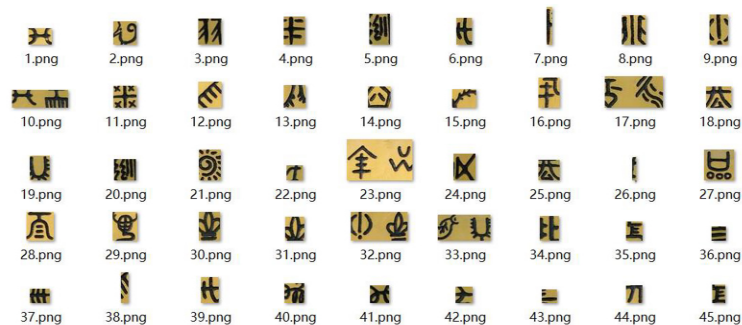


图 16 水族文字最终分割图像

Fig. 16 Final segmentation of aquarium text

**结束语** 目前缺乏利用数字图像处理和图像识别技术针对传统少数民族文字进行分析的研究,且水族古文字依靠口传、纸张手抄、刺绣、碑刻、木刻和古籍等传承,文字清晰度不足,数字化读取困难,无法满足信息化时代对濒危水族文字抢救提出的新要求。对此,本文提出了一种基于图像增强及区域检测的水族文字提取与分割算法,通过对数变换和伽玛变换处理图像的光照和背景,利用中值滤波降低图像噪声,接着将彩色图像转换为灰度图像, Sobel 算子提取水族文字边缘细节,阈值化处理、膨胀处理和腐蚀处理提取文字轮廓,最终通过区域检测与文字定位算法实现水族古文字的提取和分割。

本文在 Python 和 OpenCV 编程环境下,结合水族文字的字形和变化特点,对水书文字进行了仿真实验。实验结果表明,本文提出的文字提取和分割算法能有效提取水族文字,分离的水族文字信息较完整,有利于后续的文字识别和图像修复工作的顺利开展。同时,该算法也能降低图像噪声,提高水族文字的识别精确度,在一定程度上减轻了民族研究者和考古专家的工作量,可以广泛应用于水族文字识别、文物修复和保护、水族文化传承领域,具有一定的应用前景和实用价值。下一步,作者将结合深度学习和神经网络技术实现水族古文字的识别,实现复杂环境下的水族文字提取,进一步将图像处理和图像识别技术应用于民族文字和文化传承研究。

## 参 考 文 献

- [1] CEN J W. The source of Shuishu and Shuijia[J]. Xinan Minzu Wenhua Luncong, 1949.
- [2] PAN Y Z. Historical data of Shui society[M]. Ethnic Culture and History Research Group of Sandu Shui Autonomous County, 1981.
- [3] PAN C L. Exploration of the origin of Shui[J]. Journal of Guizhou Minzu University (Philosophy and Social Sciences), 1987(2): 88-92.
- [4] LUO C H. Saving the characters of Sui people and exchanging views on it[J]. Journal of Guizhou Minzu University (Philosophy and Social Sciences), 2006(1): 15-18.
- [5] PAN C L. Analysis on the reason of the sharp extinction of Shui characters[C]//Proceedings of the 1st International Colloquium on Ancient Manuscripts and Literatures of the Minorities in China, 2010.
- [6] Castro A, PAN X W. A survey of the Shui Language [M]. Guiyang: Guizhou People's Press, 2014.
- [7] WEI Z L. Shui ancient character computer input method[J].

Journal of Guizhou Minzu University (Philosophy and Social Sciences), 2000(4): 13-19.

- [8] DONG F, ZHOU S Y, ZHENG W J. Research on the informatization and construction of Shui character standard[J]. Journal of Qiannan Normal University for Nationalities, 2005(5): 59-62.
- [9] LUO G. Discussion on the construction of computer Shui Character corpus[J]. Journal of Qiannan Normal University for Nationalities, 2008(6): 67-69.
- [10] DAI D, CHEN X R. Pattern matching in visual input method of Shui Character [J]. Computer Technology and Development, 2011, 21(9): 187-190, 193.
- [11] LUO X C, LIU G X, FENG Y Q, et al. A vehicle license plate recognition method based on the characteristics of vehicle license plate[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2003, 31(4): 70-73.
- [12] MA S, FAN Y Y, LEI T, et al. Practical license plate recognition method based on multi-feature extraction[J]. Application Research of Computers, 2013, 30(11): 3495-3499.
- [13] WU C, YIN H, HUANG Z Y, et al. Vehicle plate recognition based on artificial neural network[J]. Computer Technology and Development, 2016, 26(12): 160-168.
- [14] LI Y. Study on the key techniques for human identification at a distance based on fusion of gait and face[D]. Tianjin: Tianjin university, 2010.
- [15] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing third edition[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2013.
- [16] RUAN Q Q. Digital image processing third edition[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2008.
- [17] YANG X Z, XIA H, YU X M. Image enhancement and recognition method based on Shui characters[J]. Computer Science, 2019, 46(S2): 324-328.



**YANG Xiu-zhang**, born in 1991, M. S. candidate. His main research interests include artificial intelligence, image recognition, knowledge mapping and natural language processing.



**XIA Huan**, born in 1981, Ph.D, professor. His main research interests include computer application, pattern recognition, library and information.