基于数学形态学的甲骨拓片字形复原方法

顾绍通
(江苏师范大学 语言科学学院,江苏 徐州 221009)

摘 要:甲骨拓片字形图像是直接来源于出土甲骨的甲骨文字形图像,是获取高质量甲骨文字形的重要途径之一。由于书写材料本身质地的原因以及受到污染和腐蚀,字形图像边缘锯齿形状明显,很多地方会有突起的毛刺,无法直接使用,需要对字形图像进行平滑复原处理。对此,提出了一种基于数学形态学的甲骨拓片字形图像复原方法。首先介绍了数学形态学的基本原理,分析了甲骨拓片字形的特点,并针对甲骨拓片字形的特点,运用数学形态学对字形图像进行一系列运算,在水平方向、竖直方向以及斜线方向分别对字形边缘进行基于数学形态学的平滑处理,在保留字体风格的同时对甲骨拓片字形图像边缘进行平滑。实验结果表明,该方法对甲骨拓片字形图像的复原是有效的。

关键词:甲骨拓片;字形复原;数学形态学;滤波
中图分类号:TP391 **文献标识码**:A **文章编号**:1673-629X(2018)12-0176-03
doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.12.037

A Characters Restoration Method on Jiagu Rubbings Based on Mathematical Morphology

GU Shao-tong
(School of Linguistic Science and Art, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221009, China)

Abstract: The image of the character on Jiagu rubbings comes directly from the tortoise shell and animal bone excavated underground, and it is one of the important sources of high quality Jiagu font. Due to the quality of the writing material itself, as well as the contamination and corrosion, the zigzag shape of the edge of the character image is obvious, and there will be raised burrs in many places, which cannot be used directly, so it needs to be smoothed and restored. For this, we propose a restoration method of characters on Jiagu rubbings based on mathematical morphology. We give a brief introduction of mathematical morphology first, analyze the characteristics of Jiagu rubbings characters. The image of the character on Jiagu rubbing is smoothed well with the style of the character preserved after a series of operations of mathematical morphology in the horizontal, vertical, and diagonal directions. The experiment shows that the proposed method is effective in restoration of Jiagu rubbings character image.

Key words: Jiagu rubbings; character restoration; mathematical morphology; filter

1 概 述

人们在获取图像的过程中,由于受到器件、环境、图像载体本身等多种因素的影响,导致图像的质量不能达到理想要求,图像质量下降,甚至有些图像十分模糊,掩盖了所要的信息。这样的图像需要经过处理达到要求之后才能使用。图像复原技术可以满足人们对高质量图像的要求。图像复原技术在文物修复、遥感图像处理等方面具有广泛的应用。

甲骨文是刻写在龟甲和兽骨上的文字,流行于两千多年前的商朝。由于刻写材料是龟甲和兽骨,深埋地下数千年,已腐蚀严重,加上发掘出土后的损坏,字形已经非常模糊,字形笔划的边缘污染严重,无法直接使用。目前,获取高质量的甲骨文字形一般有两种途径,第一种途径是由著名甲骨文学者描摹书写,这样的甲骨文字形由于出自甲骨文专家之手,一般来说,字形逼真度很高,如郭沫若、罗振玉、董作宾、王国维等甲骨文四大家不仅在甲骨文研究上功力深厚,而且在甲骨文书法艺术上也有很高的造诣。他们的作品不仅保持了甲骨文字体风格的原貌,同时具有很高的书法艺术价值。但是由于甲骨文四大家流传下来的作品有限,加之有些字形在甲骨文书法艺术作品中很难找到,于是不得不从甲骨拓片中获取。第二种途径是直接从原

收稿日期:2018-01-02 **修回日期**:2018-05-04 **网络出版时间**:2018-07-04
基金项目:国家社科基金项目(13CYY039)
作者简介:顾绍通(1978-),男,硕士,讲师,研究方向为中文信息处理。
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180703.1510.014.html

万方数据

始甲骨拓片中获取字形,但是由于一般的甲骨拓片污染严重,因而通过这种途径获取的字形需要经过复杂的处理才能使用。由于字形污染严重,对甲骨文字形的识读和研究带来很大不便,需要对甲骨拓片上的字形进行修复处理。目前的图像修复算法,大体可以分为偏微分方程的方法、纹理合成的方法、稀疏表示的方法。典型的偏微分方程的方法有基于整体变分的方法[1]、基于曲率的扩散模型[2]、非局部整体变分方法[3]等。典型的纹理合成的方法有基于纹理的修复方法[4]、基于分形的修复算法[5]、图像块匹配置换算法[6]、小波变换与纹理合成结合的方法[7]、区域分割和扩散相结合的方法[8]、权重变分的方法[9]。典型的基于稀疏表示的方法有稀疏形态成分分解模型[10]、在线字典学习算法[11],李民等[12]采用非局部自相似图像块统一进行联合稀疏表示,从而训练高效的字典,提高了算法的性能;Sahoo[13]等运用局部图像块的稀疏近似来解决图像修复问题;李志丹等提出基于 Curvelet 方向特征的稀疏表示修复方法[14]。

上述图像修复方法都能在某种程度上较好地修复图像,但也都存在不足之处。基于偏微分方程的修复方法的思想是扩散机制,使图像待修复区域周围的信息扩散至待修复区域,因而其主要适用于划痕等小区域的处理,当修复区域较大时会出现区域模糊,修复效果不佳。基于纹理合成的修复方法原理是分析整幅图像的纹理特征,选取与待修复区域最近似的图像区块来填补待修复区域,从而修复图像。该方法弥补了偏微分方程方法的不足之处,可以有效处理图像修复区域较大的情况,但对待修复图像的纹理特征有一定要求,对于纹理特征不明显的图像修复效果较差,计算效率低。基于稀疏表示的方法通常是基于固定字典或者是字典学习的方法来修复图像破损区域。该方法通常假定图像的稀疏系数是随机分布的,并没有考虑稀疏系数的内在联系以及其他相关样本图像的信息,应用范围有限。

针对出土甲骨拓片上字形的特点,文中采用基于数学形态学的方法对甲骨拓片上的字形进行计算机辅助复原。通过对甲骨拓片上字形图像的膨胀与腐蚀操作,平滑字形图像边缘的凹凸形态。

2　基于数学形态学的复原方法

2.1　数学形态学原理

数学形态学建立在集合代数基础上,是分析几何结构和形状的数学方法。数学形态学采用集合论的方法定量地描述几何结构和形状。数学形态学由一组形态学的代数运算子组成。通过这些算子及其组合来进行图像结构的分析和处理,具体包括图像分割、特征抽取、边缘检测和轮廓追踪等。膨胀和腐蚀是数学形态学中两种最基本的运算。膨胀和腐蚀操作的主要作用是去除图像结构中多余的部分,保留感兴趣的部分,同时保持图像原有的内部结构不变。腐蚀和膨胀的组合运用构成开运算和闭运算。

具体来说,数学形态学中的膨胀操作可以使图像中的目标区域"生长"或"变粗"。膨胀操作的定义是:把结构元素 B 平移 s 后得到 B_s,若 B_s 击中 A,则对这个 s 点作标记,满足上述条件的所有 s 点组成的集合称作 A 被 B 膨胀的结果。用公式可以表示为:$D(A) = \{ s \mid B_s \uparrow A \} = A \oplus B$。在执行膨胀操作时,输出的像素值是输入的图像相应像素邻域内所有像素中的最大值。以二进制图像为例,假设任何像素值为 1,那么对应的输出像素值就是 1。

数学形态学中的腐蚀操作可以使图像中的目标"收缩"或"细化",和膨胀操作相同,腐蚀操作也由结构元素控制,是将结构元素 B 平移 a 后得到 B_a,若 B_a 包含于 A,则对这个 a 点作标记,满足上述条件的所有 a 点组成的集合称作 A 被 B 腐蚀的结果。可以用公式表示为:$E(A) = \{ a \mid B_a \in A \} = A \Theta B$。在腐蚀操作中,输出的像素值是输入图像中相应像素邻域内所有像素的最小值。同样以二进制图像为例,若任输入图像中任意一个像素值均为 0,那么对应的输出像素值也为 0。

在数学形态学中,开运算和闭运算是两个最为重要的组合运算。开运算和闭运算可以通过腐蚀操作和膨胀操作的组合来定义。对几何形状先进行腐蚀操作再进行膨胀操作称为开运算,可表示为 $\mathrm{OPEN}(X) = D(E(X))$。开运算的作用在于可以消除散点和毛刺,利用这一特性对图像进行平滑。对几何形状先进行膨胀操作再进行腐蚀操作称为闭运算,可以表示为 $\mathrm{CLOSE}(X) = E(D(X))$。闭运算的作用在于可以使目标区域扩大,因而可以利用这一特性,通过选择适当的元素结构通过闭运算将两个邻近的目标区域连接起来。

从上面对开运算和闭运算的描述可以看出,开运算可以使目标区域变小,闭运算则可以使目标区域增大。开运算和闭运算有一个共同的特点,一次滤波就可以把所有特定于结构元素的噪声滤除干净,重复运算则不会再有效果。

2.2　复原方法

由于甲骨文是刻写在龟甲和兽骨上,龟甲和兽骨本身并非光滑如纸,因而刻写在上面的文字笔划并非光滑圆润。经过两千多年的地下埋藏被发掘出来后,字形边缘已非常模糊。

图 1 为原始甲骨拓片及字形图像。

万方数据

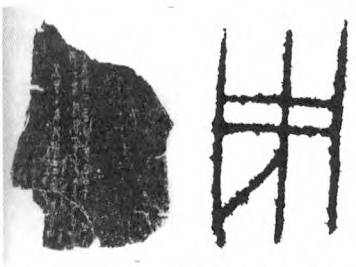


图 1 原始甲骨拓片及字形

从图像上看，字形边缘非常粗糙，锯齿状非常明显。以竖直方向为例，在字形边缘上，有的地方向外突起，有的地方则向内凹陷。因此，在执行膨胀操作时，需要具体分析。在向外突起的地方，由于本身已突起，是图像上噪声引起的，如果再执行膨胀操作，则会使原来突起的地方更加尖锐。因此，对于本身已突起的地方，就不再需要执行膨胀操作了。对于如何判定突起的地方，作如下处理：扫描图像边缘，对于那些符合条件的点判定为特征点，即突起的点，可以通过一个点与相邻的两点夹角 θ 计算出来。夹角 θ 计算如下：

$$\theta = \arccos\left(\frac{\boldsymbol{V}_1 \cdot \boldsymbol{V}_2}{|\boldsymbol{V}_1||\boldsymbol{V}_2|}\right) \ (\theta \leqslant \pi)$$

其中，$\boldsymbol{V}_1$ 和 $\boldsymbol{V}_2$ 分别是该点与邻近两点所形成的向量 $\overrightarrow{p_i p_{i-1}}$ 和 $\overrightarrow{p_i p_{i+1}}$。

设 M 是夹角 θ 的阈值，如果 $\theta \leqslant M$，系统就认为点 P_i 是突起点。采用这种方式可以把所有的突起点都提取出来，方法如图 2 所示。图 3 是提取到的字形图像上的突起点。

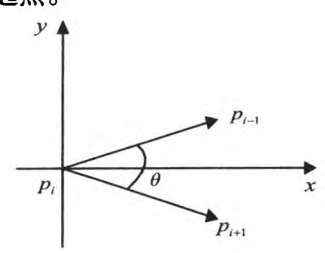


图 2 突起点的提取方法

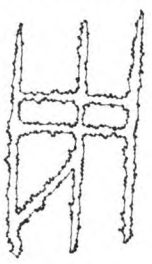


图 3 提取到的突起点

水平方向上的突起点的提取与竖直方向上突起点的提取方法类似。这里就不再重复。对于斜线上的突起点，也可以仿此建立坐标系，分别处理。

综上所述，甲骨文字分形配准算法如下：

Step1：对输入字形图像进行去噪处理，得到二值图像；

Step2：对竖直方向的笔划边缘进行数学形态学操作；

Step3：对水平方向的笔划边缘进行数学形态学操作；

Step4：对斜线方向的笔划边缘进行数学形态学操作；

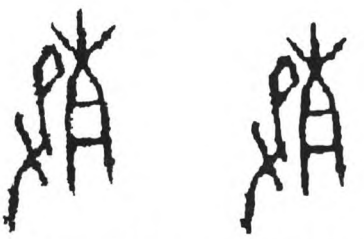
Step5：输出处理后的字形图像。

3 实验结果与分析

在 Windows 环境下主频 3.30 GHz 的双处理器计算机上，利用 Visual C++ 2010 和 OpenCV2.4 实现了以上算法，设计并实现了基于数学形态学的甲骨拓片字形复原系统。图 4 和图 5 分别展示了复原前和复原后的字形图像。从图上可以看出，复原处理前的字形图像边缘非常粗糙，有很多突出的细小毛刺。经过高斯滤波后复原的字形图像，边缘平滑了很多。

(a)甲骨文原始字形 (b)复原处理后的字形

图 4 实验结果(1)



(a)甲骨文原始字形 (b)复原处理后的字形

图 5 实验结果(2)

从实验结果可以看出，经过形态学操作后，图像边缘得到了一定程度的平滑。随着平滑操作的继续进行，图像边缘在得到平滑的同时，边缘特征的信息也会相应退化。因此，在执行形态学操作后，需要选择合适的阈值，从而得到预期的结果。

4 结束语

在分析甲骨拓片字形特点的基础上，提出了一种基于数学形态学的甲骨拓片字形图像复原方法。首先介绍了数学形态学的基本原理，并针对甲骨拓片字形的特点，运用数学形态学对字形图像进行一系列运算，进而对甲骨拓片字形图像边缘进行平滑。实验结果表明，该方法对甲骨拓片字形图像的复原有一定的效果。

(下转第 184 页)

万方数据

作系统的启动提供了必要的条件和参数。在本次移植过程中,详细阐述了 U-boot 的启动过程,分析了 U-boot 的主 Makefile 和 mkconfig,介绍了 U-boot 移植中主要几个移植对象的移植方法。实验结果表明,将官方 U-boot 移植到基于 s5pv210 的 x210 的开发板上可行,同时通过 tftp 的方式加载内核和 nfs 方式挂载启动 ext2 的根文件系统,从而启动整个 Linux 系统,为以后嵌入式系统开发提供必要环境。

参考文献:

[1] WELSH M,KAUFMAN L. Linux 权威指南[M]. 洪 峰,译. 第 3 版. 北京:中国电子出版社,2000.

[2] 邹思轶. 嵌入式 Linux 设计与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2002.

[3] 马丽洁. 嵌入式 Linux 应用编程[M]. 北京:北京理工大学出版社,2016.

[4] 熊星星,何月顺. 基于 S5PV210 的 U-boot 分析与移植[J]. 计算机系统应用,2015,24(1):199-205.

[5] 张 伟,刘 斌,董群锋. 基于 S3C2410 上 U-Boot 的移植与实现[J]. 计算机系统应用,2014,23(9):204-207.

[6] 史巧硕,范东月,柴 欣,等. 嵌入式 Linux 根文件系统的构建与分析[J]. 计算机测量与控制,2015,23(2):656-659.

[7] 杜海星. 基于 ARM 的嵌入式 Bootloader 分析与移植[J]. 微计算机信息,2010,26(29):58-59.

[8] 申 爽. 基于 S3C2440 的 Uboot 分析与移植[J]. 计算机系统应用,2012,21(5):222-225.

[9] 朱吉庆. 工程项目中的 VxWorks 操作系统移植与网络驱动分析实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2008.

[10] 刘启军,程 明. 嵌入式 linux 中以太网设备驱动的设计与实现[J]. 通信技术,2009,42(9):145-147.

[11] GENG Qingtian,SUN Zhanchen,ZHAO Hongwei,et al. The U-boot transplantation based on S3C2440[C]//International conference on mechatronic science, electric engineering and computer. Jilin,China:IEEE,2011:2168-2171.

[12] WANG Lei. Realization of U-Boot booting through NAND flash[J]. Electronic Design Engineering,2010,18(5):98-100.

[13] BLUM R. Linux command line and shell scripting bible [M]. [s. l.]:John Wiley & Sons,2015.

[14] NAM S,YOON S K,KIM S D. Fast bootstrapping method for the memory-disk integrated memory system[C]//IEEE/ACIS international conference on computer and information science. Las Vegas,NV,USA:IEEE,2015:167-172.

(上接第 178 页)

参考文献:

[1] CHAN T F,SHEN J. Mathematical models for local nontexture inpaintings[J]. SIAM Journal on Applied Mathematics, 2002,62(3):1019-1043.

[2] CHAN T F,SHEN J. Nontexture inpainting by curvaturedriven diffusions(CDD)[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation,2001,12(4):436-449.

[3] ZHANG X,CHAN T F. Wavelet inpainting by nonlocal total variation[J]. Inverse Problems and Imaging,2010,4(1):191-210.

[4] 方宝龙. 基于纹理合成的图像修复算法研究[D]. 济南:山东大学,2013.

[5] DRORI I,COHEN-OR D,YESHURUN H. Fragment-based image completion[J]. ACM Transactions on Graphics,2003, 22(3):303-312.

[6] TANG Feng,YING Yiting,WANG Jin,et al. A novel texture synthesis based algorithm for object removal in photographs [C]//Proceedings of the 9th Asian computing science conference on advances in computer science. ChiangMai,Thailand:Springer-Verlag,2004:248-254.

[7] 张 东,唐向宏,张少鹏,等. 小波变换与纹理合成相结合的图像修复[J]. 中国图象图形学报,2015,20(7):882-894.

[8] 翟东海,鱼 江,段维夏,等. 破损区域分块划分的图像修复[J]. 中国图象图形学报,2014,19(6):835-842.

[9] 王 猛,翟东海,聂洪玉,等. 邻域窗口权重变分的图像修复[J]. 中国图象图形学报,2015,20(8):1000-1007.

[10] STARCK J L,ELAD M,DONOHO D L. Image decomposition via the combination of sparse representations and a variational approach[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2005,14(10):1570-1582.

[11] MAIRAL J,ELAD M,SAPIRO G. Sparse representation for color image restoration[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2008,17(1):53-69.

[12] 李 民,程 建,李小文,等. 非局部学习字典的图像修复[J]. 电子与信息学报,2011,33(11):2672-2678.

[13] SAHOO S K,LU W. Image inpainting using sparse approximation with adaptive window selection[C]//7th international symposium on intelligent signal processing. [s. l.]:IEEE, 2011:1-4.

[14] 李志丹,和红杰,尹忠科,等. 基于 Curvelet 方向特征的样本块图像修复算法[J]. 电子学报,2016,44(1):150-154.

万方数据