

提取图像定向边界的结构元素快速设计方法

刘姗姗¹, 刘君妍¹, 韦玉春²

(1. 南京师范大学强化培养学院, 江苏 南京 210023)

(2. 南京师范大学教育部虚拟地理环境重点实验室, 江苏 南京 210023)

[摘要] 本文基于形态学中腐蚀的基本原理, 对二值图像进行了边界提取操作, 将 3×3 大小的结构元素分为三类讨论, 分析了不同结构元素的形状及其腐蚀效果之间的联系, 并具体提出了一种新的快速设计结构元素的方法, 从图像本身出发, 依照不同方向边界提取的需求设计结构元素。

[关键词] 形态学, 腐蚀, 结构元素, 边界提取

[中图分类号] TP751.1 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2017)02-0057-06

A Novel Directional Boundary Extraction Approach Based on Structure Elements

Liu Shanshan¹, Liu Junyan¹, Wei Yuchun²

(1. Honors College, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. Key Lab of Virtual Geographic Environment of Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: This paper presents a novel approach to extract the directional boundary of binary images. Firstly, structure elements of size 3×3 are divided into three classes to be discussed. Then the boundaries of binary images are extracted, which is used to analyze the link between shapes of structure elements and their results. Finally, from the images themselves, a novel method is raised which can design different structure elements quickly according to demands of boundary orientation.

Key words: morphology, erosion, structure elements, boundary extraction

数学形态学(Mathematical Morphology)是应用数学的一门分支,诞生于1964年,由法国巴黎矿业学院Matheron G及其学生Serra J在进行定量岩石学分析中提出^[1]。数学形态学是以形态和集合代数为基础的,用集合论的方法定量描述目标几何结构的图像分析数学工具。形态学操作可以增强图像的对比度,消除特定的噪声,进行图像细化、骨架化、填充和分割^[2]。在形态学中,结构元素是最重要最基本的概念^[3],结构元素是仅由0和1组成的矩阵,该矩阵可以有任意的大小和维度,通过变换其形状和0、1分布可使其适用于不同的图像处理要求。通过设计不同的结构元素,可以达到突出图像特征、提取图像边界等目的。数学形态学方法从不同的角度,构造了适合不同图像处理的结构元素,使应用数学形态学处理图像的能力不断提高,应用的领域得到不断扩展^[4]。

图像边界的提取,可通过使用原图像减去腐蚀之后的图像来获取。很多研究人员将精力投入了利用形态学方法提取图像完整边界的应用中^[5-10]。从各种各样的实验中可以发现,针对不同图像处理目的,需要合理地选择或设计不同的结构元素。

鉴于结构元素在形态学操作中的重要作用,本文拟基于腐蚀这一基本运算,提取图像边界,通过对不同结构元素形状的研究,提出一种结构元素的快速设计方法,以达到根据对图像边界的不同提取要求,快速地定向定宽提取图像边界的目的。

1 腐蚀运算的理论基础

腐蚀运算(Erosion)是数学形态学的基本运算之一,其主要目的是消除目标边界点,常用于去除图像

中小且无意义的目标. 在二值图像中,腐蚀运算主要是通过图像和结构元素的匹配,对图像中符合条件的像素进行筛选和标记,实现消除边界点的效果.

腐蚀运算符为“ \ominus ”,如用 A 表示输入的二值图像, B 表示结构元素,那么用 B 对 A 进行腐蚀即表示为“ $A \ominus B$ ”. 腐蚀的算法可理解为用结构元素 B 在图像 A 内进行平移,若结构元素 B 中值为 1 的部分完全包含在图像 A 内,则原点的集合就是腐蚀的结果. 腐蚀的数学表达式为:

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

式中, x 表示结构元素原点在 A 中的位置.

根据结构元素 B 的不同,被腐蚀后的图像 A 会有不同的效果. 本文将基于二值图像,采用不同形式的 3×3 大小的结构元素(结构元素原点在矩阵中心),对图像进行腐蚀操作,通过对被腐蚀边界的分析,对比不同结构元素造成的影响,总结各结构元素之间的内在联系,为实验中结构元素的选取提供辅助决策.

2 结构元素设计

结构元素是数学形态学方法的核心,通过改变结构元素的原点位置,0、1 分布及其形状大小,往往能产生截然不同的图像处理效果. 近几年来,众学者从不同角度对结构元素的设计和选取进行了研究,并发表了自己独特的见解. Li MinHua 等针对复杂背景下不同语言、不同大小的文字提出了一种良好的边缘检测方法^[11];Lü Zhe 等根据传统固定尺寸结构元素产生的局限性,提出了一种适应图像变化的结构元素算法,使得提取出的边界既连续无噪又精确完整^[12];Chieng Thion Ming 等针对医学图像的复杂性和难解译性,以心脏的 CT 图像为例设计出一种边界提取算法,该算法在有效抑制图像噪声的同时,达到了边界提取的效果^[13];Wang Xiuli 提出了一种根据图像中坡度因素变化来自动选择适宜结构元素值的算法,得到了相对于普通结构元素更好的图像处理效果^[14];Anders Landström 等创造性地提出了椭圆状结构元素,该结构元素会随着目标图像结构的不同而作出适当的改变,在有效去除图像噪声的同时,保留了重要的边界信息^[15].

本文基于 3×3 的结构元素,将常用的简单结构元素分为三大类,分别为横竖型、斜向型和混合型,其中每大类的基本特征如下:

- (1)横竖型:主要包括横向型、竖向型、“十”字型等,其结构元素特征是分布在相互正交的中心线上.
- (2)斜向型:主要包括阶梯型,其结构元素基本特征是呈斜线排列.
- (3)混合型:主要包括 T 字型、圆盘型等,其结构元素具有横竖型和斜向型的综合特征.

2.1 横竖型

对于横向型结构元素而言,在图像的上下边界处,与横向型结构元素不匹配的主要是凸起的零散的像素点,因此横向型结构元素在图像上下提取出的边界很少;而从图像的左右方向看,边界处会出现大量像素因与横向型结构元素不匹配而被腐蚀,这些被腐蚀的像素点串联起来便形成了后期提取出的连续的边界. 同样,竖向型结构元素提取出的边界沿图像的上下边缘连续,而左右方向上较为稀疏,即提取出来的边界主要沿着水平方向.

以横向型结构元素为例,从结构元素本身看,将结构元素原点与结构元素中各块中点连线并作垂线,如图 1 所示,将 O 点与 A 、 B 两点连线并作垂线得到 l_1 和 l_2 ,则该结构元素腐蚀的部分大致沿着 l_1 、 l_2 方向,即腐蚀图像的左右部分.

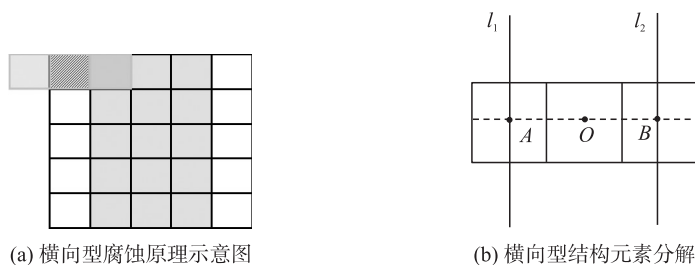


图 1 横向型结构元素分析

Fig. 1 Analysis of horizontal structure elements

2.2 斜向型

以左斜方向结构元素为例,从结构元素本身来看,如图2所示,作结构元素中心点连线的垂线 l ,并将此垂线 l 分解为水平分量 l_1 和竖直分量 l_2 ,联系横竖型结构元素腐蚀的原理可发现,图2(a)中多边形的垂直线或水平线方向上会被腐蚀掉上边界和右边界,而与垂线 l 相一致的左上斜边会被保留,其他斜边会作为边界被提取出来。

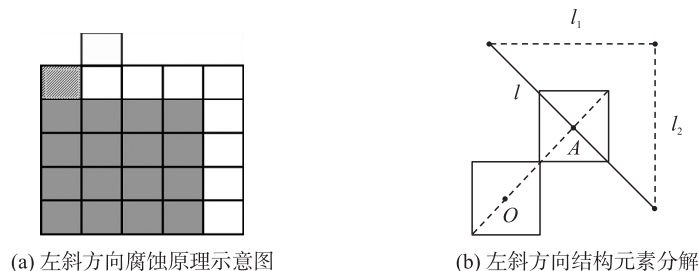


图2 斜向型结构元素分析

Fig. 2 Analysis of slanting structure elements

2.3 混合型

以正T型结构元素为例,对于除上边界的三边来说,都被提取了一层的边界,而上边界却被提取了两层。

从结构元素本身来看,将结构元素原点与结构元素中各块中点连线并作垂线,如图3所示,将 O 点与 A 、 B 、 C 、 D 点连线并作垂线得到 l_3 、 l_1 、 l_4 和 l_2 ,从之前分析可知, l_1 、 l_2 主要目的是腐蚀掉图像的上下边界, l_3 、 l_4 的水平垂直方向分解可进一步腐蚀图像的垂直线部分,即左右边界,对于图像的斜线部分,腐蚀掉的主要就是沿 l_3 、 l_4 方向的部分。

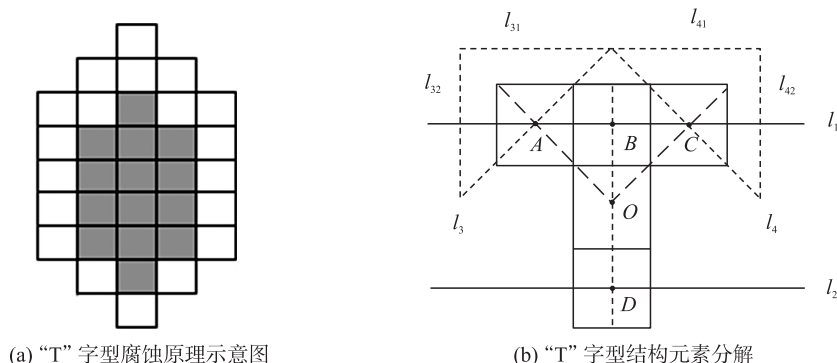


图3 混合型结构元素分析

Fig. 3 Analysis of mixed structure elements

3 实验与分析

3.1 实验数据

为突出展现不同结构元素得到的边界差异,本文采用边界形状较为规则的“多边形混合体”与“菱形”的二值图像进行实验(如图4(a)所示)。对“多边形混合体”单独提取上下边界或单独提取左右边界,则可

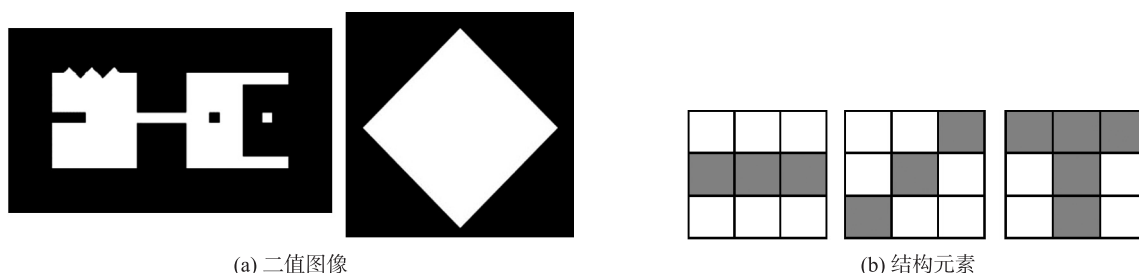


图4 实验数据图

Fig. 4 Figure of experimental data

使用横竖型结构元素;若需要“多边形混合体”一周的边界,则可使用斜向型结构元素,亦可使用横竖型中的“十”字型结构元素;若需要对“菱形”图像提取完整边界的同时并增强特定方向,则可使用混合型结构元素(如图 4(b)所示).

3.2 实验分析

本实验利用图 4 的图像数据,根据图像腐蚀的基本原理,分别采用横竖型、斜向型和混合型三类结构元素参与实验,依据提取出的边界进行分析. 边界提取主要步骤为:(1)设计结构元素;(2)进行腐蚀操作;(3)使用原图像减去腐蚀之后的图像得到图像的边界.

三类实验效果如下所示:

(1)横竖型:从图 5 可明显看出,横竖型的结构元素在其所指方向的边界较为稀疏,即结构元素指向哪个方向,其腐蚀较少.

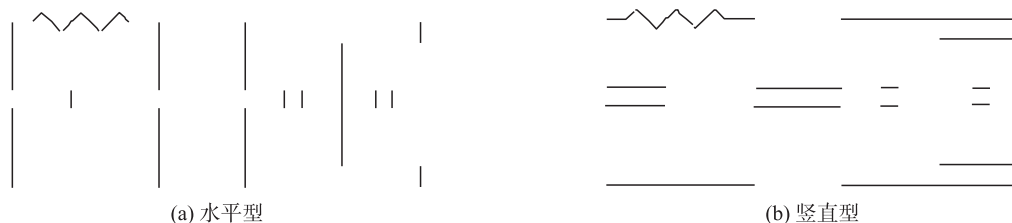


图 5 横竖型结构元素提取结果图

Fig. 5 Figure of the result of horizontal and vertical structure elements

(2)斜向型:从图 6 可发现,斜向型的结构元素既可提取出斜向的边界,也可提取出相应横向与竖向的边界.

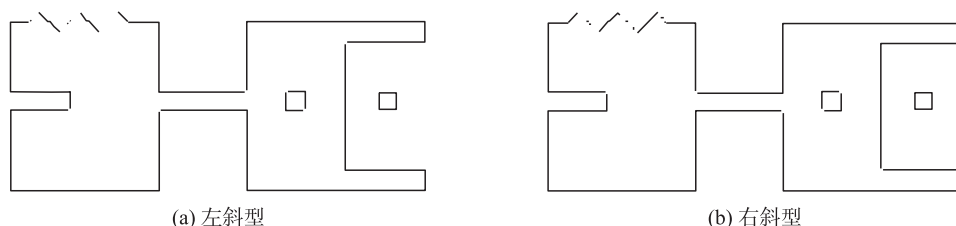


图 6 斜向型结构元素提取结果图

Fig. 6 Figure of the result of slanting structure elements

(3)混合型:为较清晰看出混合型结构元素之间边界提取的区别,使用 3×3 大小的 4 种不同方向的 T 型结构元素进行实验. 从图 7 可看出,边界在不同结构元素形状下提取出的厚薄程度有所差异,T 型的水平边在哪个方向,哪个方向图像就被腐蚀较多.

在图像处理中,图像边界的提取方法多种多样. 本文提出的结构元素快速设计方法有助于在实验中方便快捷地设计出切合特定方向需求的结构元素,并可根据需求,调整提取出边界的厚度.

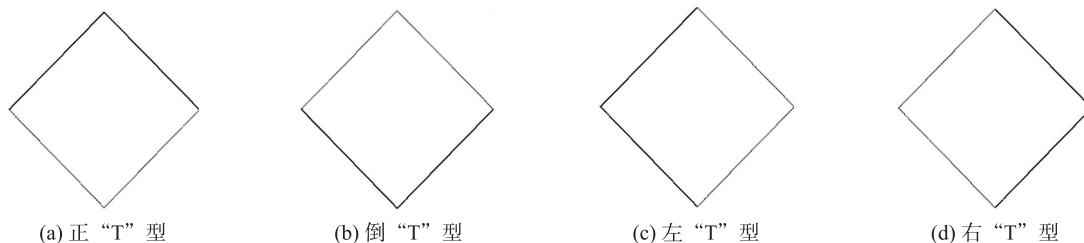


图 7 混合型结构元素提取结果图

Fig. 7 Figure of the result of mixed structure elements

3.3 对比讨论

为验证本方法的有效性,本文分别使用上述方法以及 Sobel 算子、Roberts 梯度算法 3 种方法对图 8 所示二值图像进行边界提取.

横竖型中的“十”字型结构元素能够提取图像完整的边界,通过改变“十”字型结构元素的尺寸,可以改变提取边界的厚度,设计两种不同尺寸的结构元素如图 9(a)、(b)所示. 在此基础上,为实现定向提取边界效果,将斜向型结构元素与原有的“十”字型结构元素相组合,可突出立体效果,设计结构元素如图 9(c)所示.

利用 Roberts 梯度算法和 Sobel 算子方法一同提取图像边界,5 种方法提取边界效果如图 10 所示.

由图 10 可以看出,与 Sobel 算子和 Roberts 梯度算法提取出来的边界相比,本方法提取出的边界是完整的(图 10(a)、(c)、(d)),且通过修改结构元素的尺寸,可自由调整提取边界的厚度(图(b)、(d)). 此外,操作者可根据特定方向边界提取的需要,设计混合型的结构元素,实现定向和定宽的边界提取,增强立体效果(图 10(e)).



图 8 二值图像

Fig. 8 Figure of binary image

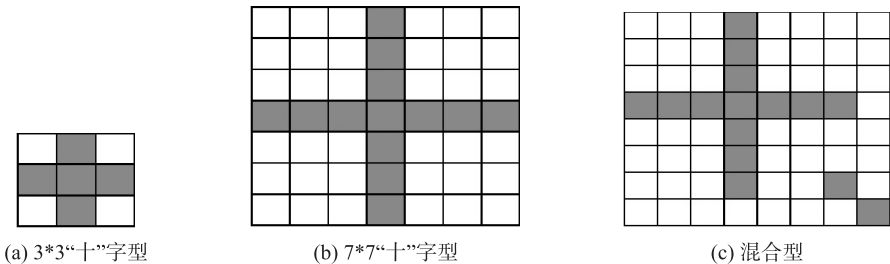


图 9 结构元素设计图

Fig. 9 Design diagram of structure elements

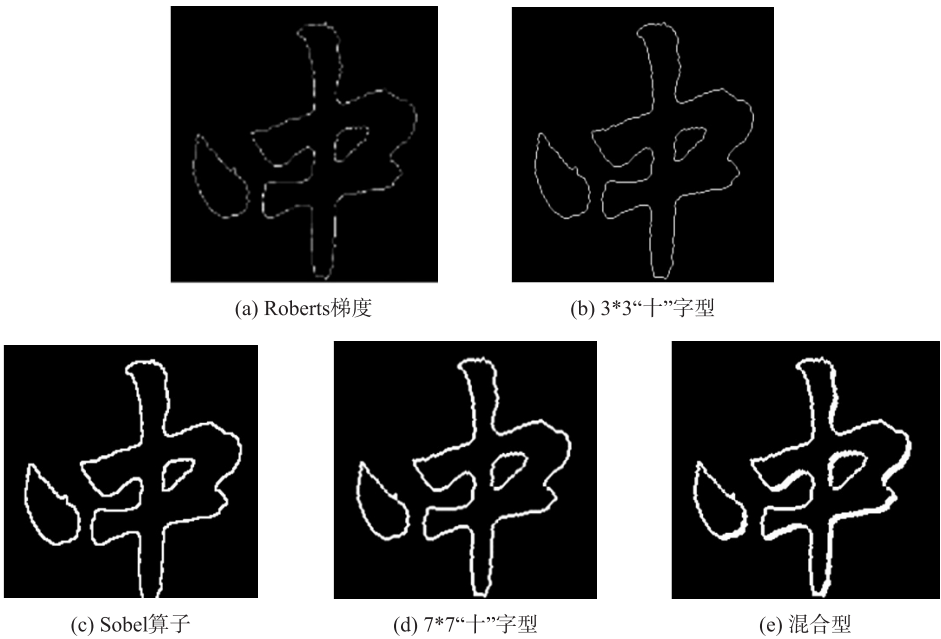


图 10 实验结果对比图

Fig. 10 Figure of comparison

4 结论

在形态学图像处理中,结构元素的重要性不言而喻,使用不同的结构元素可以产生完全不同的效果. 在实际操作中,研究人员往往需要通过尝试而选取合适的结构元素.

本文基于腐蚀的基本原理,分析不同形状结构元素的腐蚀效果,提出了一种适用于特定方向边界提取的结构元素设计方法,在提取边界的同时,能够通过更改结构元素的尺寸,自由调整边界的厚度. 该方法有助于研究人员在实验中快速确定结构元素,提高工作效率.

[参考文献](References)

- [1] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
RUAN Q Q. Digital image processing[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2001.(in Chinese)
- [2] 韦玉春,汤国安. 遥感数字图像处理教程[M]. 北京:科学出版社,2014.
WEI Y C,TANG G A. Tutorial of RS digital image processing[M]. Beijing:Science Press,2014.(in Chinese)
- [3] 唐长青,黄铮. 数学形态学方法及应用[M]. 北京:科学出版社,1990.
TANG C Q,HUANG Z. Mathematical morphology and its application[M]. Beijing:Science Press,1990.(in Chinese)
- [4] 李刚,魏计林. 基于变结构元素的复杂图像分割方法[J]. 计算机技术与发展,2011,2(11):69-72.
LI G,WEI J L. A method of complex image segmentation based on variable structural elements[J]. Computer technology and development,2011,2(11):69-72.(in Chinese)
- [5] SHEKAR B H,SMITHA M L. Video text localization with an emphasis on edge features[C]//Eighth International Conference on Image and Signal Processing. Netherlands:Elsevier Publications,2014:324-330.
- [6] RICHARD J F. Multidimension morphological edge detection[J]. SPIE visual communications and image processing II, 1987,845(1):285-292.
- [7] FAN L A,HAN X W,WANG Z S,et al. Research on edge detection of noise gray-scale image based on multi-structuring elements[J]. Engineering journal of Wuhan university,2003,36(3):86-90.
- [8] QI D,GUO F,YU L. Medical image edge detection based on omni-directional multi-scale structure element of mathematical morphology[C]//IEEE International Conference on Automation and Logistics. New York:IEEE,2007:2 281-2 286.
- [9] LIN H,DU P J,SHU N,et al. Edge detection method of remote sensing images based on mathematical morphology of multi-structure elements[J]. Chinese geographical science,2004,14(3):263-268.
- [10] LEE J,HARALICK R M,SHAPIRO L G. Morphology edge detection[J]. IEEE transaction on robotic automation,1987,3(4):142-156.
- [11] LI M H,BAI M. A novel text detection approach based on multi-structure element of morphology[C]//International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering. New York:IEEE Computer Society,2012:1 438-1 441.
- [12] LÜ Z,WANG F,CHANG Y,et al. Edge detection based on adaptive structure element morphology[C]//IEEE International Conference on Automation and Logistics. New York:IEEE,2007:254-257.
- [13] CHIENG T M,OMAR Z,KADIMAN S,et al. Efficient morphological-based edge detection algorithm for computed tomography cardiac images[C]//IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications. New York:IEEE,2015:423-428.
- [14] WANG X L. Image edge detection based on adaptive selection the value of structure element of mathematical morphology [C]//IEEE International Conference on Electronic Computer Technology. New York:IEEE,2009:197-199.
- [15] LANDS T R,ANDERS M,THURLEY M J. Adaptive morphology using tensor-based elliptical structuring elements[J]. Pattern recognition letters,2013,34(12):1 416-1 422.

[责任编辑:严海琳]