

基于变结构元素的复杂图像分割方法

李 刚, 魏计林

(太原科技大学 物理系, 山西 太原 030024)

摘 要:数学形态学是图像处理和分析的一种有效方法。用数学形态学的方法对图像分析的关键是恰当地选取结构元素。构造结构元素的许多方法被提出,适用于不同图像的形态学算法已经被广泛运用。传统的多结构形态学方法处理纹理简单图像时效果很好,但对于纹理复杂的图像时,分割效果并不理想。为了解决多结构元素的不足,构造了变结构元素,并提出了基于变结构元素的具有选择性的腐蚀算子和膨胀算子。通过实验表明:该方法可以剔除复杂图像的毛刺和不规则的斑点,保留图像边缘细节,取得较好的图像分割效果。

关键词:数学形态学;变结构元素;腐蚀;膨胀;图像分割

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)11-0069-04

A Method of Complex Image Segmentation Based on Variable Structural Elements

LI Gang, WEI Ji-lin

(Department of Physics, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The mathematical morphology is an effective method of image processing and analysis. The key problem of image analysis with mathematical morphology is to select structural elements properly. Many methods of constructing structural elements were proposed, and morphological algorithm is suitable for different images has been widely used. Processing the simple texture images are very effective with traditional multi-structural elements morphology, but for the complex images, the results of segmentation are not ideal. Variable structural elements are constructed for solving the defects of multi-structural elements. The selective erosion and dilation operators are proposed in this foundation. Experimental results demonstrate that this method can remove the burrs and irregular spots for complex image, retain edge details, and achieve a better image segmentation.

Key words: mathematical morphology; variable structural elements; erosion; dilation; image segmentation

0 引 言

数学形态学是一门建立在严格数学理论基础上的学科。1964年,法国巴黎矿业学院 G. Matheron 和他的学生 J. Serra 在从事铁矿核的定量岩石学分析时,首次提出了该理论。数学形态学有完备的数学基础,主要是由积分几何、集合代数及拓扑论组成的,这是数学形态学能够广泛应用于图像处理和各个方面的理论基础。其基本思想是用具有一定的几何结构元素去探测图像中相应的几何形状,对图像的几何特征进行提取和分析。1982年 Serra 的《Image Analysis and Mathematical Morphology》详细介绍了位于法国的枫丹白露形态学研究中心当时的研究成果,将数学形态

学介绍给了国际信号与图像处理界,标志着数学形态学在理论上趋于成熟。随着数学形态学理论的发展和实际应用的不断深入,数学形态学已经应用到计算机视觉、显微图像分析、图像理解与分析、医学图像诊断、模式识别等许多领域,得到了人们广泛的关注。

数学形态学是一种非线性的图像分析方法,用其方法进行图像分析的关键是选取合适的结构元素。选择单一的结构元素很难对复杂的图像进行分析,近年来,人们发展了很多构造结构元素的方法。1991年, Koskinen 等人提出了软数学形态学^[1],将结构元素分为硬核和软边界两个部分,使形态学图像处理的鲁棒性和抗干扰能力得到了提高。1992年, Shinha D 等人提出了模糊形态学^[2],构造了模糊结构元素,其模糊性由结构元素对图像的适应程度来确定。1997年, A. Gasteratos 等人将软数学形态学和模糊形态学结合,提出了模糊软数学形态学^[3],进一步增强了形态学处理和分析图像的能力。2005年,谢可夫等人提出了量子衍生数学形态学^[4],利用量子信息处理的基本概念,构

收稿日期:2011-04-12;修回日期:2011-07-18

基金项目:山西省教育厅09年研究生优秀创新项目(20093105)

作者简介:李 刚(1985-),男,山西长治人,硕士研究生,主要研究方向为光学测量与测试技术、光电图像处理;魏计林,教授,硕士生导师,主要研究方向为光学传感、光学测试及计算机工程应用。

造了叠加态结构元素,在图像边缘检测和处理强椒盐噪声方面取得了很好的效果。有些作者还结合自己处理图像的实际需要,采用了多结构元素^[5,6]和多尺度多结构元素方法^[7]。数学形态学经过多年的发展,不仅理论上已经趋于成熟,而且在实际中得到了广泛的运用。例如:在医学图像处理中,利用形态学方法可以对 X 射线图像缺陷进行提取^[8],对 CT 图像进行边缘提取^[9]等。在模式识别中,利用形态学算法可以对车牌进行有效的定位^[10]。这些数学形态学方法从不同角度,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。

但是,在用数学形态学对不同图像进行分析时,选择不同的结构元素和不同的形态学算法,得到的图像处理结果是不同的。所以在处理图像时,如何选择合适的结构元素,如何选择相应的形态学算法,是应用数学形态学的关键问题。文中在传统的多结构元素的基础上,构造了变结构元素,并基于变结构元素,提出了具有选择性的腐蚀算子和膨胀算子。在此基础上,可以对纹理复杂图像进行较好地处理。

1 数学形态学原理

1.1 传统的二值数学形态学

数学形态学的理论基础是集合论,其方法是一种非线性方法。数学形态学比传统的空域和频域方法有一些明显的优点,例如,在图像去噪处理时,可以根据先验的图像噪声的几何形状和特征,构造出合适的结构元素,然后选择适当的形态学算法,对图像进行去噪。边缘提取也是数学形态学应用的重要方面,它比传统的微分边缘提取算法有很多优势,形态学边缘提取算子对噪声不是很敏感,对噪声图像的边缘提取效果要明显优于微分算法。二值数学形态学腐蚀和膨胀算法具有并行实现结构,可转化为集合的逻辑运算,算法比空域和频域方法简单,适于并行处理,可用于实时处理,大大提高了图像分析和处理的速度。在实际应用中,数学形态学有许多基本算法,包括细化算法、边缘提取算法、抽取骨架算法等,但这些算法都是由基本的形态学腐蚀运算和膨胀运算组合而成的。

1.1.1 腐蚀

腐蚀:表示用某种形状的基元或结构元素对一个图像进行探测,以便找出在图像内部可以放下该基元的区域。

设集合 A 是输入图像,集合 B 是结构元素, A, B 为 Z^2 中的集合, A 被 B 腐蚀,记为 $A \ominus B$,则腐蚀算子的定义为:

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

$A \ominus B$ 由将 B 平移 x 仍包含在 A 内的所有点 x 的集合组成,去除边界处小结构元素的物体、毛刺、小凸起等,当两个物体之间有细小的连通,可以通过腐蚀运算将其分开,腐蚀运算具有收缩图像的作用。

1.1.2 膨胀

膨胀:是腐蚀运算的对偶运算,可以通过对补集的腐蚀来定义。

设集合 A 是输入图像,集合 B 是结构元素, A, B 为 Z^2 中的集合, A 被 B 膨胀,记为 $A \oplus B$,则腐蚀算子的定义为:

$$A \oplus B = \{x | (B)_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (2)$$

$A \oplus B$ 可以通过相对结构元素的所有点平移输入图像,然后计算其并集得到,填充图像比结构元素小的孔洞,边缘处的小凹陷或断开部分。膨胀运算具有填充图像的作用。

1.2 变结构元素二值数学形态学

1.2.1 结构元素分析

用结构元素分析图像几何结构和信息时,可以选择合适的结构元素去探测图像,用一定尺度的结构元素去填充图像的每一部分,检验结构元素对图像的填充的效果如何,如果可以完全填充,那么图像的几何结构就和结构元素的几何特征一样,如果不能完全填充,说明图像的几何结构与结构元素不同,可以再选择其他的形状的结构元素去探测图像,这样就可以得到图像每一部分的几何信息,这就是用形态学方法分析图像几何结构和特征的基本思想。

所以在数学形态学中,结构元素的选择非常重要,不同尺寸和形状的结构元素对应不同的几何特征,选择不同的结构元素去探测图像会产生不同的结果。在处理图像时,需要根据要求,选择合适的结构元素。对于复杂的图像,由于其纹理比较复杂,选择单一的结构元素,很难得到较好的处理结果。所以在处理复杂图像时必须采用多结构元素去探测图像,才能较好地保留图像边缘细节。但是选择多结构元素,只是选择几个方向上的结构元素,只能处理纹理和边缘比较规则的图像,对于纹理很复杂,含有很多毛刺和不规则斑点的图像处理效果不好。为解决多结构元素的上述缺点,文中提出了变结构元素,可以较好地处理复杂的图像。

1.2.2 变结构元素

考虑一个 3×3 尺度下的二值结构元素:

$$B_m = \begin{bmatrix} b_1 & b_8 & b_7 \\ b_2 & b_0 \Delta & b_6 \\ b_3 & b_4 & b_5 \end{bmatrix} \quad (3)$$

这里 Δ 符号表示坐标原点, m 表示 $b_i (i = 1, 2, \dots,$

8) 取0或1的个数,例如,若取原点 $b_0 = 1, m = 4$ 时,那么结构元素 B_4 中包含的结构元素多达 $C_8^4 = 70$ 种。这里 m 也可以取一个区间,例如, $3 \leq m \leq 6$, B_m 包含的结构元素为 $C_8^3 + C_8^4 + C_8^5 + C_8^6 = 210$ 种。所以结构元素 B_m 里包含的结构元素变化是非常多的,而不是一般多结构元素里只包含几个方向上的结构元素。

1.2.3 基于变结构元素的二值数学形态学

设集合 A 是输入图像,集合 B 是结构元素, A, B_m^n 为 Z^2 中的集合, B_m^n 为 $n \times n$ 尺度下的变结构元素, A 被 B_m^n 选择性腐蚀,记为 $A \ominus B_m^n$,选择性腐蚀算子定义为:

$$A \ominus B_m^n = \{x \mid \text{Card}((B_m^n)_x) \neq \text{Card}(M_A^n), M_A^n \in A, n \in Z\} \quad (4)$$

M_A^n 表示在 A 内以 $n \times n$ 窗口移动的集合,这里 m 可以是一个整数,也可以是一个区间。 Card 表示有限集合中元素的个数。该腐蚀算子的特点是:只对符合一定条件的元素进行腐蚀,不符合条件的保持其原来的元素。在具体处理复杂图像时,腐蚀算子中参数 m 值或范围的选取,需要根据不同的图像进行的实验调整,以达到最好的分割效果。

设 A, B_m^n 为 Z^2 中的集合, B_m^n 为 $n \times n$ 尺度下的变结构元素, A 被 B_m^n 选择性膨胀,记为 $A \oplus B_m^n$,则选择性膨胀算子定义为:

$$A \oplus B_m^n = \bigcup \{B \mid \text{Card}(B_m^n) = \text{Card}(M_A^n), M_A^n \in A, n \in Z\} \quad (5)$$

这里 B 为指定的膨胀结构元素, M_A^n 表示在 A 内以 $n \times n$ 窗口移动的集合,这里 m 可以是一个整数,也可以是一个区间。 Card 表示有限集合中元素的个数。该膨胀算子的特点是:只对符合一定条件的元素进行膨胀,不符合条件的保持其原来的元素。在具体处理复杂图像时,膨胀算子中参数 m 值或范围的选取,需要根据腐蚀过的图像进行的实验调整,以达到最好的分割效果。

2 实验结果及分析

将变结构形态学方法应用于复杂图像分割中,选取两组像素为 200×200 的纹理比较复杂的二值图像进行实验。一组是含有许多细枝叶毛刺的树木图像(如图1所示),用形态学方法将其主枝干分割出来。一组为在黄土高原上河流的图像,该图像含有很多不规则沟壑和斑点(如图4所示),用形态学方法将河流的边缘分割出来。这两个二值图像纹理都比较复杂。

先用传统的多结构元素的方法对二值化的树木图像(见图1)进行腐蚀处理,再对处理过的图像进行膨胀处理,得到结果如图2所示。这里选取4个不同方向结构元素:

$$b_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad b_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$b_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad b_4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

用文中变结构形态学方法,经实验,选取 $b_0 = 1, 2 \leq m \leq 3$,对二值化的树木图像进行选择性的腐蚀,再选取 $m \leq 4$,结构元素 B ,对腐蚀后的图像进行选择性的膨胀,得到处理结果如图3所示。这里 B 选取为:

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

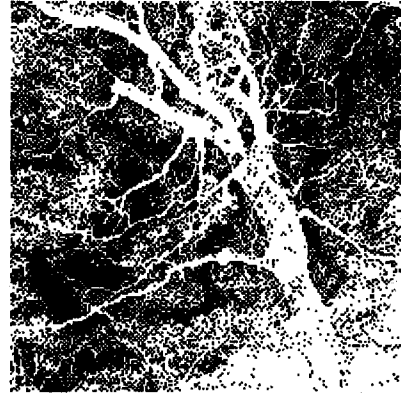


图1 树木的二值图像



图2 用多结构元素处理的结果

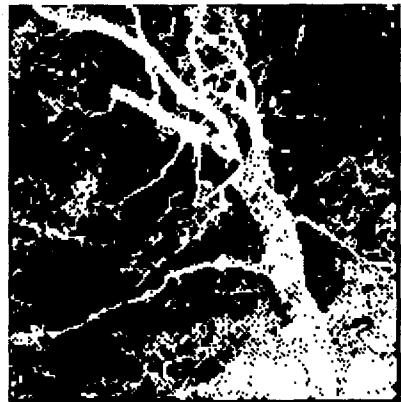


图3 用变结构元素处理的结果

由实验结果对比可以看出:由于二值树木图像含有丰富的细节和许多细枝叶的毛刺,用传统的多结构元素的方法处理,能剔除部分毛刺,但图像边缘细节变得比较模糊,树木的枝条分割的不够连续和清晰,处理效果比较差。用变结构元素形态学的方法,可以剔除大部分毛刺,树木的枝条连续而且清晰,边缘细节保持得比较好,获得了很好的分割效果。

下面再处理二值化的河流图像(见图 4),对河流形状进行边缘提取。先用传统的多结构元素对其处理,多结构元素选取和第一组一样,处理结果见图 5。



图 4 河流的二值图像

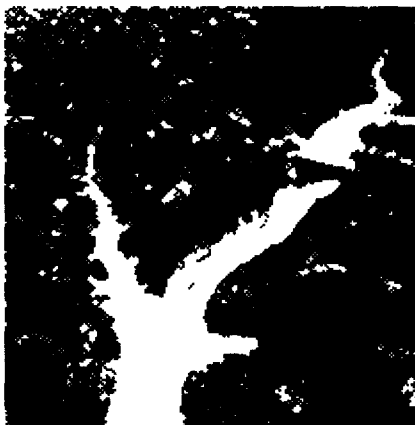


图 5 用多结构元素处理的结果



图 6 用变结构元素处理的结果

用文中的变结构形态学方法,经过实验,选取 $b_0 =$

$1, 2 \leq m \leq 4$, 对二值化的河流(图像 4) 进行选择性的腐蚀,然后,再选取 $m \leq 6$, 结构元素 B , 对腐蚀后的图像进行选择性的膨胀,得到结果见图 6。这里结构元素 B 选取和第一组一样。

由实验结果对比可以看出:由于河流是在黄土高原上,其背景很复杂,存在很多不规则的沟壑和斑点,用传统的多结构元素处理,只能剔除一部分沟壑和斑点,处理效果不理想。用变结构元素的方法,剔除了几乎所有的沟壑和斑点,而且边缘细节保持得比较好,获得了很好的分割效果。

3 结束语

数学形态学是分析图像几何结构和特征有力的数学工具,它以严格的数学理论作为坚实的基础,为定量分析图像几何信息开辟了一种新的途径。用形态学方法既可以分析对象宏观的几何信息,也可以分析微观的几何信息。例如,在模式识别中,可以用形态学方法去识别一个文字^[11],得到的是图像的宏观信息。在研究显微图像^[12]时,可以把图像里具有一定几何形状的对象提取出来,得到图像微观上的一些信息。所以数学形态学在计算机视觉和显微图像分析中都得到了广泛的应用。

文中分析了数学形态学处理图像的特点,介绍了传统的二值形态学腐蚀和膨胀运算,在传统的多结构元素的基础上,给出了变结构元素的概念,并基于变结构元素,提出了具有选择性的腐蚀算子和膨胀算子。在实际处理复杂图像时,可以根据不同图像毛刺和斑点的特点,通过调节腐蚀算子和膨胀算子 m 区间,对图像进行不同程度地腐蚀和膨胀,从而达到较好的处理效果。对于腐蚀和膨胀时 m 值或范围的选取方法,不同的图像需要进行不断实验进行调整,以达到最好的分割效果。通过两组实验表明:该方法可以较好地剔除纹理复杂二值图像中的毛刺和不规则斑点,保留图像的边缘细节,得到较好的处理效果,适用于复杂图像的分割。

参考文献:

- [1] Koskinen L, Astola J, Neuvo Y. Soft Morphological Filters[J]. Image Algebra and Morphological Image Processing II, 1991, 1568: 262-270.
- [2] Shinha D, Dougherty E R. Fuzzy Mathematical Morphology [J]. Visual, Communication and Image and Representation, 1992(3): 286-302.
- [3] Gasteratos A, Andreadis I, Tsalides P. Fuzzy soft mathematical morphology[J]. IEEE Proc. Vis. Image Signal Processing, 1998, 145(1): 41-49.

由于采集的图像是 RGB 图像,为了处理方便,首先将其转化为灰度模式,如图(b)所示。图(c)为其相应的直方图,可以看出直方图只有一个峰,显然利用直方图特点计算阈值进而对其二值化是不可行的。

下面利用不同的二值化算法对实验对象进行二值化处理,图 4(a)是平滑前采用 ostu 算法对处理对象进行二值化,虽然大部分主题信息都已经显示出来,但最后一个字比较模糊。图 4(b)是平滑后仍然采用 ostu 算法处理对象,噪声较图 4(a)有所下降,但最后一个字仍未全部显示。图 4(c)是利用最佳阈值法对平滑前的对象进行处理的结果,能够看出,主题信息已经比较清楚地凸显出来,噪音还是大量地存在。图 4(d)里的结果是平滑后采用最佳阈值法二值化的结果,与前面三个结果图比较,这个结果距离目标较近,但随着噪声的减少,主题信息量也随之减少了,这不是所希望的。图 4(e)是对图像进行区域划分,可以看出根据区域特点的不同,划分出若干个区域。按照中文算法对图像作进一步处理,结果如图 4(f)所示,相比于其他算法结果,噪声少了很多,主题信息基本全部显示,达

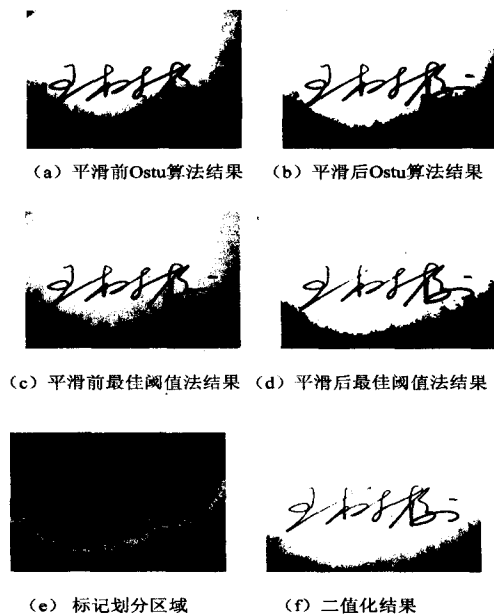


图 4 图像二值化

到去噪目的。

6 结束语

文中采用区域增长技术将待处理图像划分互不重叠的区域,针对每一个区域计算出对应的阈值对其进行二值化操作,最后得到清晰显示主题信息的结果图像,达到了提取目标有意义信息的目的。

参考文献:

- [1] Rosenfeld A, Kak A C. Digital Picture Processing [M]. Beijing: Science Press, 1983.
- [2] 张忻中. 汉字识别技术 [M]. 北京: 清华大学出版社; 南宁: 广西科学技术出版社, 1992.
- [3] 郭红晖. 医学体数据可视化基础算法研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 1997.
- [4] 荆仁杰. 计算机图像处理 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1990.
- [5] Weszka J S. A survey of threshold selection techniques [J]. Computer Graphics and Image Processing, 1978, 7(2): 259-265.
- [6] 王积分, 张新荣. 计算机图像识别 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998: 75-77.
- [7] Wong A K C, Sahoc P K. A gray-level threshold selection method based on maximum entropy principle [J]. IEEE Trans, 1989, 19(4): 866-871.
- [8] Bernsen J. Dynamic thresholding of gray-level images [C] // Proc of 8th Intel Conf on Patt Recon. Paris, France: IEEE Computer Society Press, 1986: 1251-1255.
- [9] 王强, 马利庄. 图像二值化时图像信息的保留 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(10): 746-750.
- [10] 王庆. 文本图像的一种混合二值化方法 [J]. 西北工业大学学报, 2002, 20(3): 396-399.
- [11] 章毓晋. 图像工程 (中册) 图像分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [12] 赵雪松, 陈淑珍. 综合全局二值化与边缘检测的图像分割方法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(2): 118-121.

(上接第 72 页)

- [4] 谢可夫, 罗安. 量子启发数学形态学的研究 [J]. 电子学报, 2005, 33(2): 284-287.
- [5] 刘志敏, 杨杰. 基于数学形态学的图像形态滤波 [J]. 红外与激光工程, 1999, 28(4): 1-16.
- [6] 杨隽姝, 黄昶, 范毅君. 用多结构元素实现医学图像边缘检测 [J]. 光电工程, 2008, 35(3): 112-116.
- [7] 胡媛媛, 蔡光程. 基于多结构元多尺度的形态学边缘检测 [J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(11): 97-99.
- [8] 刚铁, 王东华. 基于自适应形态学滤波的 X 射线图像的缺陷提取 [J]. 机械工程学报, 2001, 37(5): 85-89.
- [9] 张小萍, 朱志松, 王君泽. 基于 CT 医学图像的边缘提取研究 [J]. 生物医学工程研究, 2009, 28(1): 31-34.
- [10] 王允强, 吴涛, 张方方. 基于数学形态学的实用车牌定位算法及实现 [J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(11): 166-169.
- [11] 杨智勇, 周定康, 周琪云. 形态学运算在字符识别中的应用 [J]. 计算机应用研究, 2004, 21(6): 99-103.
- [12] 于子翊, 李晓娟. 基于数学形态学的显微图像边缘检测技术分析 [J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(2): 100-102.