

灰度图像边缘检测中的形态学方法

冯桂^①, 桂预凤^②, 林宗坚^②

① 江汉石油学院电信系, 荆州 434102② 中国测绘科学研究院, 北京 100039)

摘要: 介绍了用形态学进行灰度图像边缘检测的算法, 分析了其几何意义; 用计算机实现了形态学方法对灰度图像的边缘检测, 并与用传统的 Laplace 算子、Sobel 算子进行边缘检测的结果进行了比较。

关键词: 图像形态学; 边缘检测; 灰度图像

中图分类号: TP751 **文献标识号:** A **文章编号:** 1000- 3177(2000) 59- 0012- 03

1 引言

边缘检测是数字影像处理与分析中最基本的手段, 检测的结果直接决定着后续处理的精度与结果。尽管传统的边缘检测方法很多, 如 Laplace 算子、Sobel 算子和梯度算子等等, 但从大量数字图像处理的结果及对图像处理的要求来看, 这些边缘检测算子主要起到的是高通滤波的作用。对数字图像进行锐化处理后其边缘检测的效果并不佳, 尤其在图像较复杂或含有噪声时更是如此, 因而, 寻找一种更好的边缘检测方法是十分需要的。从计算机图像处理发展的过程来看, 线性系统理论一直都占据了一个核心、基础的地位, 但是实际的物理过程常常是非线性的, 用线性近似在很多情况下无法刻画其主要性质。随着图像处理理论和应用的发展, 线性系统的这一缺陷日益显露出来并引起了人们的注意, 于是, 非线性处理技术应运而生, 并且迅速成为与线性方法并行的主流方向。

数学形态学是一种非线性图像处理和分析理论, 它具有一套完整的理论、方法及算法体系, 其坚实的理论基础使它得以蓬勃发展。它从最初的由二维结构推断矿体成分到后来的三维医学影像分析, 涵盖了欧氏空间或数字空间中的集合问题。从目前的研究进展看, 数学形态学理论体系是未来的发展目标, 它无论在数学意义上还是在实际问题中都具有重要价值。事实上自 80 年代以来, 数学形态学已经在医学、生物学、光学、材料学、遥感、机器人视觉和工业自动控制等领域得到了广泛应用。形态学在图像分析与处理方面的应用也非常广泛, 涉及的领域有模式识别、图像压缩、滤波、匹配、形状分析、边

缘检测等。

2 数学形态学的基本理论

如前所述, 数学形态学是一种非线性图像处理和理论, 它的成功应归功于一个新的思路, 即摒弃了传统的数值建模及分析方法, 而从集合的角度来刻画和分析图像。数学形态学中基于集合的观点是非常重要的, 这意味着: ① 它的运算由集合运算(如并、交、补等)来定义; ② 所有的图像都必须以合理的方式转换为集合。这一基于集合的观点的一个自然结果是形态学算子的性能将主要以几何方式进行刻画, 而传统的理论则以解析的方式描述算子的性能。这种显式的几何描述特点更适于视觉信息的处理和分析, 因此, 数学形态学与几何的直接关系是它的一个十分吸引人的优点。

数学形态学是在集合论的基础上发展起来的, 这就使它同计算机视觉问题紧密地结合了起来。从视觉心理角度看待“看见”或“看不见”, 实际上是一种“并集”或“交集”运算, 因为对于所有能看到的东来说, 其理解的结果是它们的“并”, 而对于所有因遮挡而不能看到的东来说, 其理解的结果是它们的“交”。因此, 集合变换反映着视觉过程。数学形态学采用具有一定结构和特征(即形态)的结构元素(structure element)去量度影像中的形态, 进而解决理解问题, 这和影像的低层次处理和高层次处理都是一致的。因而, 数学形态学是适宜于解决计算机视觉不同阶段(由低层次到高层次)问题的统一的理论、方法和分析工具。

从集合论的角度看, 数学形态学包含了从一个集合转换到另外一个集合的运算方法。这种转换的

作者简介: 冯桂, 女, 毕业于福州大学无线电系, 获硕士学位, 副教授, 武汉测绘科技大学摄影测量与遥感专业博士生, 现在中国测绘科学研究院从事客座研究, 主要研究领域为图像处理与识别、形态学应用等。

目的是要找到原始集合的特定几何结构,而转换后的集合包括了这种结构的信息.同时,这种转换是通过一种称为结构元素的特征集合来实现的.

对集合进行分析就是对集合进行变换,以突出所需要的信息,所采用的方法是使主观“探针”与客观物体相互作用.“探针”也是一个集合,它由我们分析的目的来决定.这个“探针”的集合称为结构元素.剩下的问题就是如何用结构元素对物体集合进行变换.在形态学中定义了两个基本的变换,即腐蚀(Erosion)和膨胀(Dilation).一般将形态学变换作用于实际图像的过程称为形态学运算.

设一幅灰值图像 $F = f(x, y), (x, y) \in R^2$, 其中 (x, y) 为图像上点的坐标, $f(x, y)$ 为 (x, y) 处的灰度值.灰值图像的腐蚀、膨胀运算的定义如下:

腐蚀: $E = F \ominus B = \{x, y \mid B[x, y] \subseteq F\}$ (1)

膨胀: $D = F \oplus B = \{x, y \mid F \cap B \neq \emptyset\}$ (2)

为了便于用计算机实现形态学运算,下面给出灰度图像形态学基本运算的另一种定义方法.设 $f(x, y)$ 为图像 F 在 (x, y) 的灰度值, B 为结构元素, $B(i, j)$ 为它在 (i, j) 处的值,则:

(1) 当且仅当下式成立时 F 被 B 腐蚀:

$$E(x, y) = \bigwedge_{B(i, j)} [F(x + i, y + j) - B(i, j) + 1] \tag{3}$$

上式等号右端表示对所有的 $B(i, j)$ 取方括号内值的最小值

(2) 当且仅当下式成立时 F 被 B 膨胀:

$$D(x, y) = \bigwedge_{B(i, j)} [F(x - i, y - j) - B(i, j) - 1] \tag{4}$$

上式等号右端表示对所有的 $B(i, j)$ 取方括号内值的最大值

利用形态学的基本运算并基于集合的观点,可以把客观实体看作是欧氏空间的子集,这个集合集中反映了物体的形状、体积、纹理、色彩等等.为了对客观实体进行比较、理解并揭示其特点,需要通过一系列集合变换来描述它才能达到预期的目的.如果将客观实体用影像来表达,则集合变换主要是选择较小的特征影像集合(即结构元素)并使之与目标影像相互作用,以达到影像分析及特征提取的目的,亦即通过结构元素及形态学运算复合方式的选择来达到影像处理的目的.所以,根据给定的图像处理目的,灵活、合理地运用形态学运算的要领归结为两点,即运算复合方式的选择及结构元素的选择.

3 形态学边缘检测算法及其几何意义

几何结构不仅是客观的,而且还与观察者的实践活动的关,尤其当人们需要理解和把握这种结构时更是如此.引入结构元素的概念,就是通过选取合理的结构元素(也就是具有一定特征)去改变原有的几何形状和结构,并采用形态学运算中的复合方式使变换结果更加清晰和准确地反映算法设计的特定意图.

将形态学用于图像的边缘检测时,由形态学基本运算的特性可知腐蚀和膨胀满足:

$$F \ominus B \subseteq F \subseteq F \oplus B$$

因此 $F - F \ominus nB, F \oplus nB - F, F \oplus nB - F \ominus nB$ 等都可用于图像边缘的提取

这里以 $F - F \ominus nB$ 为例来说明形态学边缘检测方法的几何意义.当结构元素位于平坦区域时,由于落入“窗口”内的图像灰度值相差不大,所以变换后的输出与输入没有太大的灰度差别,而当进入图像的灰度跳变区域时(边缘即图像灰度跳变的区域),则由于灰度值差别较大,从而使变换后的输出图像比原图有所降低.如图 1 所示,由于 $F \ominus B \subseteq F$, 所以对原图与其相应的腐蚀图进行减法运算后,其差值反映了原图像的边缘信息.

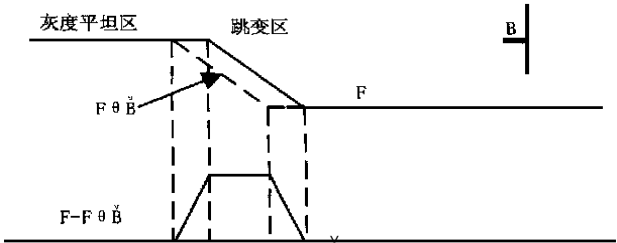


图 1 $F - F \ominus B$ 的几何意义

4 不同的结构元素对边缘检测结果的影响

利用结构元素的不同形状和大小,可以控制图像边缘检测处理后的一些性质.例如增加结构元素 B 的尺寸或刻度数 n 可以改变检出的边缘宽度;当结构元素 B 的指向对于原点对称时,可以检出对于原点对称的边缘.从图 1 可以看出:选用原点左边的横线作为结构元素可以检出图像右边的缘,选用原点右边的横线作为结构元素可以检出图像左边的垂直边缘.同理,选用原点上边的横线作为结构元素可以检出图像的下边缘,选用原点下边的横线作为结构元素可以检出图像的上边缘,选用对于原点对称的结构元素可以得到与方向无关的边缘检测结构元

素。在一般的图像边缘检测中,若无特殊要求,常选用 3×3 正方形结构元素

5 形态学用于灰度图像边缘检测处理的结果及讨论

上述算法用于一幅灰度图像的边缘检测,其结果如图 2 所示。其中图 2(a)左边为原始图像,图 2(a)右边为本文方法的边缘检测结果,所使用的结构元素为 3×3 正方形。为了进行检测效果的比较,同时给出了用传统的 Laplace 算子和 Sobel 算子对同

一幅图像处理的结果如图 2(b)和图 2(c)所示。由图 2 可以看出,用形态学边缘检测方法所得的结果图像,在边缘的连续性及各向同性方面都优于传统方法。此外,还可以看到:形态学边缘检测方法对图像细节和边缘定位也有相当好的效果。所检出的边缘宽度与所使用的结构元素形状和大小密切相关,当结构元素的尺寸(刻度数 n)增大时,检出的边缘宽度将随之增大。因而,合理地调节结构元素的尺寸将能有效地去除噪声并能很好地保护细节。

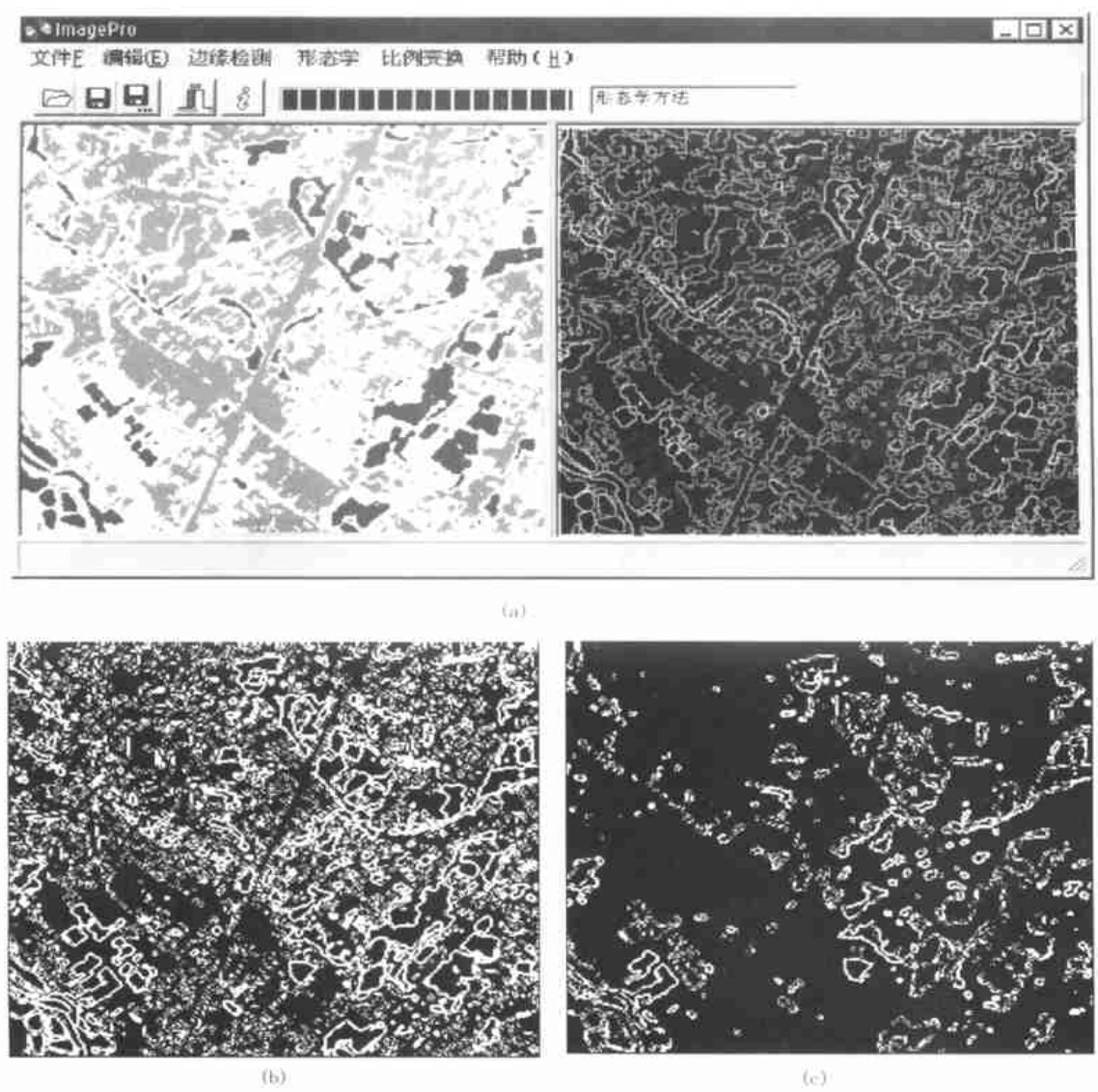


图 2 实验结果

参考文献

1 Castleman K R. Digital Image Processing [M].北京: 清华大学出版社, 1998
2 徐建华. 图像处理与分析 [M].北京: 科学出版社, 1992
3 吴敏金. 图像形态学 [M].上海: 上海科学技术文献出版社, 1991
4 龚炜,石青云,程民德. 数字空间中的数学形态学——理论及应用 [M].北京: 科学出版社, 1997