

脉冲噪声污染图象中的数学形态边缘检测器

李向吉 丁润涛

(天津大学电子信息工程学院, 天津 300072)

摘要 深入地研究了数学形态学在边缘检测领域中的应用, 系统地给出了形态差分算子的定义。同时, 还研究了在受脉冲噪声污染的情况下, 如何用形态差分算子准确地提取图象的边缘, 并提出了几种具有抗噪能力的数学形态边缘检测算子。计算机模拟实验表明, 正确使用数学形态的4种基本运算, 将使数学形态边缘检测算子能较好地消除脉冲噪声对边缘的影响, 效果优于其它边缘检测算子。

关键词 数学形态学, 边缘检测

1 引言

边缘检测是图象处理和模式识别中的重要课题, 它广泛地应用在图象分割、目标自动识别、机器人、遥感、医学图象分析等领域。对边缘检测来说, 一般有如下要求: (1) 高的边缘定位精度; (2) 检测响应最好是单像素的; (3) 对不同尺度的边缘都能有好的响应并尽量减少漏检; (4) 对噪声不敏感, 不致因噪声造成虚假检测; (5) 检测灵敏度受边缘方向影响小。这些要求往往是相互矛盾的, 很难在一个边缘检测算子中得到完全的统一。Marr-Hildreth^[1]算子是一种性能很好的边缘检测方法。但在图象混有脉冲噪声时, 效果就不能令人满意, 此时, 线性检测算法一般都不可能有很好的效果。因此, 一些学者提出了非线性预滤波边缘检测算法^[2], 该类算法先利

用非线性滤波器剔除脉冲噪声, 然后再进行边缘检测, 并取得一定的效果。

数学形态学^[3~6]是用来描述物体的几何形状, 它能对物体的几何特征进行定量的估计, 因此, 它特别适合需刻画物体形状的图象处理场合。近年来, 数学形态学被应用到边缘检测领域, 并提出了一些基于数学形态学边缘检测算子⁷。数学形态学有腐蚀 $f(n) \ominus B$ 、膨胀 $f(n) \oplus B$ 、开 $f(n) \circ B$ 和闭 $f(n) \cdot B$ 等4种基本运算。其中, $f(n)$ 为灰度图象, B 为结构元。

在数学形态学中, 定义边缘和脉冲噪声如下:

定义1 阶跃状边缘是位于邻接的、有显著不同灰度值的、2个恒值区域之间, 并且这2个恒值区域的宽度 K 均大于(或等于)结构元 B 的宽度。如图1(a)所示。

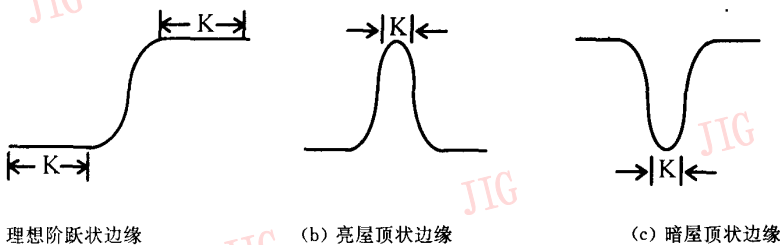


图1 各种理想边缘图形

* 国家自然科学基金资助项目(No. 69772041)

收稿日期: 1998-01-04; 收到修改稿日期: 1998-02-27

定义2 屋顶状边缘是指它位于灰度值从增加到减少(或减少到增加)的变化转折点,并且其灰度发生变化所持续的宽度 K 小于结构元 B 的宽度。对灰度值是从增加到减少发生变化的屋顶状边缘,称为亮屋顶状边缘,反之则称为暗屋顶状边缘。如图1(b)、(c)所示。

阶跃状边缘是图象较大的灰度区的变化,反映了图象的轮廓;而屋顶状边缘处于图象的细节处,体现了图象的细节。

定义3 脉冲噪声点或区域是指这样的一些点或区域,它的灰度值明显别于其周围所有的像素的灰度值,并且由这样一些相邻的点或区域所形成的连通区域的宽度 K 小于结构元 B 的宽度。

2 数学形态边缘检测算子及其抗噪型算子

数学形态差分算子 MD 分别有以下3种定义形式:

定义4 数学形态差分算子 MD 可如下定义:

$$\text{膨胀型 } MD_1 = f(n) \oplus B - f(n) \quad (1)$$

$$\text{腐蚀型 } MD_2 = f(n) - f(n) \ominus B \quad (2)$$

$$\text{膨胀-腐蚀型 } MD_3 = f(n) \oplus B - f(n) \ominus B \quad (3)$$

可以看出,数学形态差分算子实质上是传统的线性差分算子的一定意义上的推广。例如,膨胀-腐蚀型算子 MD_3 计算的是一定区域内(由结构元 B 所决定)的最大和最小值之差。因此数学形态差分算子可认为是一种非线性的差分算子。而且,用形态算子检测出来的边缘,其宽度与结构元 B 的尺寸有关。因此,这里一般都采用 3×3 的结构元以实现单像素提取。

定义5 数学形态边缘梯度的幅度 MM 和相位角 $M\theta$ 为:

$$MM = (MD_x^2 + MD_y^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\tan M\theta = MD_x / MD_y \quad (5)$$

其中, MD_x 和 MD_y 分别是用沿 X 和 Y 轴方向的结构元 B_x 和 B_y 按照式(1)~(3)得出的沿 X 和 Y 轴方向的形态差分。

上述各种数学形态边缘检测算子对脉冲噪声点的响应一般都比较强烈,因此,如何使数学形态边缘检测算子对脉冲噪声具有较好的滤波韧性,是设计形态边缘检测算子的关键。J. Lee 提出了最小钝化形态边缘提取算子^[7],该算子采用对原图象进行平滑的方法,使阶跃边缘变成斜坡边缘,然后再进行边缘提取。该算法具有一定的抗噪能力,但它不是通过

剔除噪声,而是通过平滑图象来增强其抗噪鲁棒性的。平滑将使图象模糊,信息丢失,不能充分体现非线性滤波的优势。

数学形态学中的开、闭运算能很好地滤除一切小于结构元 B 的正负脉冲点或区^[6]。因此,在对受脉冲噪声污染的图象进行边缘检测时,须充分利用开、闭运算。在二维图象中,多结构元^[8~10]具有较好的细节保持能力,因此,在以下的抗噪型形态边缘检测算子中,结构元 B 都采用多结构元。

定义6 抗噪型形态边缘检测算子 NMD :

$$\text{膨胀型 } NMD_1 = f(n) \oplus B - f(n) \cdot B \quad (6)$$

$$\text{腐蚀型 } NMD_2 = f(n) \cdot B - f(n) \ominus B \quad (7)$$

$$\text{膨胀-腐蚀型 } NMD_3 = (f(n) \cdot B) \oplus B - (f(n) \cdot B) \ominus B \quad (8)$$

由于膨胀和开运算都能滤除负脉冲点,而腐蚀和闭运算能剔除正脉冲点,因此有:

性质1 膨胀型抗噪型形态边缘检测算子 NMD_1 对负脉冲的响应为零;腐蚀型一阶抗噪型形态边缘检测算子 NMD_2 对正脉冲的响应为零。

性质2 膨胀-腐蚀型抗噪型形态边缘检测算子 NMD_3 对正负脉冲的响应为零。

注意到,算子 NMD_1 在滤除负脉冲的同时,对正脉冲无抑制作用。同样,算子 NMD_2 对负脉冲也无抑制作用,因此对它们作出如下修正:

定义7 修正抗噪型形态边缘检测算子:

$$\text{膨胀型 } NMD_{1M} = (f(n) \cdot B) \oplus B - (f(n) \cdot B) \cdot B \quad (9)$$

$$\text{腐蚀型 } NMD_{2M} = (f(n) \cdot B) \cdot B - (f(n) \cdot B) \ominus B \quad (10)$$

性质3 膨胀型和腐蚀型修正抗噪型形态边缘检测算子 NMD_{1M} 和 NMD_{2M} 对正负脉冲的响应均为零。

3 计算机实验

图2为 256×256 8bits 的原图象,图3是对图2施加8%的正负脉冲的噪声图象。用数学形态边缘检测算子和其它算子对图3的噪声图象进行了如下主观(测试1和2)和客观(测试3)测试:

测试1 数学形态边缘检测算子对噪声图象的边缘提取。选用式(8)~(10)的抗噪型形态边缘检测算子。测试结果如图4~6所示。

测试2 数学形态边缘检测算子(NMD)与其它边缘检测算子在抗噪能力上的对比。采用非线性



图 2 256×256bits 图 3 8%正负脉冲噪声原图象 声图象



图 4 膨胀型算子 NMD_{1M} 图 5 腐蚀型算子 NMD_{2M} 图 6 膨胀-腐蚀型算子 NMD_3

预滤波方法^[2]和 J. Lee 最小钝化形态边缘提取算子^[7](LEE)是对噪声图象进行边缘提取的两种典型的方法。预滤波器选用 5×5 的多层中值滤波器^[10](MMF)和 3×3 的中值滤波器(MED),边缘检测算子采用拉普拉斯算子。测试结果如图 7~9 所示。



图 7 5×5 多层中值预滤波波 图 8 3×3 中值预滤波波 图 9 Lee 算子 G

测试 3 选用 Pratt 的品质因素 (Figure Of Merit)^[11]来客观评价各算子的性能。Pratt 的品质因素是一个较全面的评价参数,但它只能正确评价边缘检测器处于图象的较大轮廓(阶跃状边缘)时的性能,而不能反映它在检测图象细节处边缘(屋顶状边缘)时的能力。这是由于它采用了单一的阶跃状边缘测试图^[11]的缘故。因此这里对 Pratt 的测试图作出修正,采用两幅测试图:阶跃状边缘测试图和屋顶状边缘测试图。对 256×256 的阶跃状边缘测试图,0~127 列像素的灰度值为 198,128~255 列的灰度值为 57。对屋顶状边缘测试图,第 127 列的灰度值为 170,其余各列的灰度值为 101。图 10 和图 11 绘出了各边缘检测器在不同程度脉冲噪声下的品质因素。其中,数学形态边缘检测器(NMD)用修正的膨

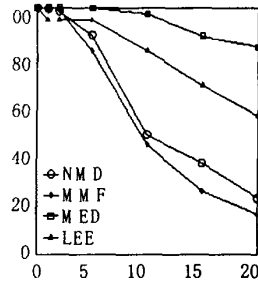


图 10 阶跃状边缘测试图的品质因素曲线

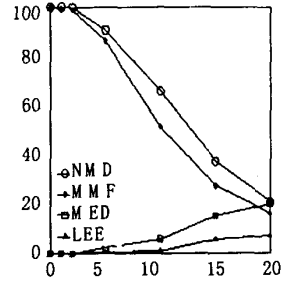


图 11 屋顶状边缘测试图的品质因素曲线

胀型抗噪算子 NMD_{1M} 。

实验表明, 3×3 中值预滤波和最小钝化形态边缘提取算子虽然对脉冲噪声有很强的滤除能力,但细节处的边缘受损严重。由于图象的细节是图象质量的好坏的关键,因此不能正确反映图象细节的边缘检测器是没有实用价值的。 5×5 多层中值预滤波器能较好地保持图象细节,但对脉冲噪声的抑制能力是不够的。而形态边缘检测算子能兼顾抑制噪声和精细地检测边缘的需求,是一类较为理想的边缘检测算子。

4 结 论

通过上面的分析,可以看出,本文提出的数学形态差分算子与其它算子相比,具有如下优点:

(1) 在对噪声图象进行边缘检测时,能较好地解决抑制噪声和精细提取边缘的矛盾。

(2) 本文提出的数学形态差分算子具有多种不同的形式,其性质也各不相同。因此,使用起来具有很高的灵活性,可根据实际情况选用。

(3) 抗噪型数学形态差分算子所具有的抑制脉冲噪声的能力,不是通过预先滤除噪声的方法,而是利用数学形态的 4 种基本运算所固有的特性,来达到消除脉冲噪声对边缘检测的影响的。

(4) 由于数学形态的四种基本运算实质是取最大和最小的运算,因此,数学形态的方法是有利于硬件的实现的,并且运算速度比一般的中值实质要快。本文提出的各种差分算子是纯数学形态的,因此,特别适合用硬件来构成快速边缘检测器。

此外,本文还对 Pratt 的品质因素的测试方案进行了该进,使它既能评价边缘检测器在检测图象轮廓时的性能,又能反映检测图象细节处边缘的性能。

参考文献

- 1 Marr D, Hildreth E. Theory of edge detection. Proc. Roy. Soc. Lond. 1976, B207:483~524.
- 2 Yoo J, Bouman C A, Delp E J, Coyle E J. The nonlinear prefiltering and difference of estimates approaches to edge detection: applications of stack filters, CVGIP, 1993, 55(2):140~159.
- 3 Maragos P, Schafer R W. Morphological Filters-Part I: Their relations to median, order-statistics, and stack filters, IEEE Trans. on ASSP. 35(8):1153~1169.
- 4 Maragos P, Schafer R W. Morphological Filters-Part I: Their relations to median, order-statistics, and stack filters, IEEE Trans. on ASSP. 35(8):1170~1184.
- 5 Haralick R M S, Sternberg S R, Zhuang Xinhua. Image analysis using mathematical morphology. IEEE Trans. on Pattern. Anal. Mach. Intell. 1987, PAMI-9(4).
- 6 Stevenson R L, Arce G R. Morphological filters: statistics and further syntactic properties. IEEE Trans. on circuits and systems 1987, CAS-34.
- 7 Lee J S J, Haralick R M, Shapiro L G. Morphological edge detection, IEEE Trans. Robotics Automat. 1987, 35(8):1153~1169.
- 8 Song J, Delp E J. The analysis of morphological filters with multiple structuring elements. 1990, CVGIP, 50, 308~328.
- 9 Song J, Delp E J. A study of the generalized morphological filter, Circuits Systems Signal Process, 1992, 11(1).
- 10 Arce G R, Foster R E. Detail-preserving ranked-order based filters for image processing. IEEE Trans. on ASSP, 1989, 37(1).
- 11 Abdou I E, Pratt W K. Quantitative design and evaluation of enhancement/ thresholding edge detectors, Proceedings of The IEEE, 1979, 67(5).



李向吉 1969年生,现为天津大学电子信息工程学院博士研究生。主要研究方向为非线性图象处理及非线性滤波理论。已发表学术论文近十篇。



丁润涛 1938年生,1961年毕业于天津大学,现为天津大学电子信息学院教授、院长、博士生导师。研究方向为非线性滤波理论及应用,数字图象处理,视频技术等。发表学术论文40余篇。

Mathematical Morphological Edge Detectors For Noisy Images Corrupted By Impulses

Li Xiangji, Ding Runtao

(Faculty of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract This paper extensively studies the application of mathematical morphology to the field of edge detecting. The definitions of morphological differentiating operators are systematically presented. In the mean time, several anti-noises morphological differentiating operators are developed to deal with the images corrupted by impulses. It is shown by computer simulations that, by appropriately using the four basic operators of mathematics morphology, the influence of impulsive noise on edge detecting will be eliminated by morphological differentiating operators. The morphological edge detectors will outperform other edge detectors.

Keywords Mathematical morphology, Edge detecting

欢迎订阅《计算机辅助设计与图形学学报》

《计算机辅助设计与图形学学报》是由中国计算机学会主办、科学出版社出版的中国计算机学会会刊,是我国计算机辅助设计和图形学领域著名的学术刊物。该刊以快速传播CAD与图形学领域的知识与经验为目的,刊登有创见的学术论文,报道最新科研成果和学术动态,及时反映该领域的发展水平与发展方向。该刊面向全国,聘请了我国CAD与计算机图形学学术界的知识学者、专家参加刊物的编委会,具有权威性和代表性。

《计算机辅助设计与图形学学报》被定为我国计算技术、计算机类核心期刊。美国工程索引EI已于1996年起收录本刊。

《计算机辅助设计与图形学学报》从1999年起改为大16开,双月刊,96页。

邮发代号:82-456 定价:16.00元/期

邮政编码:100080

联系地址:北京 中国科学院计算技术研究所 《计算机辅助设计与图形学学报》编辑部

电话:(010) 62565533-5667