

文章编号:1000-582X(2010)02-0123-04

用形态学改进医学图像边缘检测算法

赵德春^{1,2a}, 彭承琳^{2a}, 陈园园^{2a}, 李勇明^{2b}

(1. 重庆邮电大学 生物信息学院, 重庆 400065;

2. 重庆大学 a. 生物工程学院; b. 通信工程学院, 重庆 400044)

摘要:针对医学图像的噪声问题,在数学形态学边缘检测算子的基础上,综合多结构元素和多尺度算法的特性,提出了一种改进的边缘检测算法。该算法采用交替序列滤波器和结构元素,对数据分别进行闭运算和开运算,并且对水平、垂直和倾斜方向采用不同的权重系数进行加权,同时计算出膨胀型边缘检测算子,最后获得改进的边缘检测算子。给出了算法实现的具体步骤,使用该算法提取了 MRI 图像边缘,并对 Lena 图也进行了检测。实验表明该算法能够提高传统的形态学边缘检测方法的边缘分辨率,具有一定的实用性。

关键词:图像处理;边缘检测;形态学;结构元素

中图分类号:TN911.73

文献标志码:A

An improved morphological edge detection algorithm of medical image

ZHAO De-chun^{1, 2a}, PENG Cheng-lin^{2a}, CHEN Yuan-yuan^{2a}, LI Yong-ming^{2b}

(1. College of Bio-information, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, P. R. China; 2a. College of Bioengineering; b. College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: Medical images usually contain much noise which affects the edge detection accuracy. Focusing on this problem, based on the edge detection operator in mathematical morphology, an improved edge detection algorithm is presented by combining the features of the multi-structure elements and the multi-scale edge detection algorithm. The algorithm performs opening and closing operations on the data with the alternative sequence filters and the structure elements. The weighting operation is applied with different weight coefficients for horizontal, vertical and diagonal directions, while the edge detection operator with dilation type is calculated to obtain the improved edge detection algorithm. The steps of the algorithm are described. The algorithm is used to extract the edge of MRI image as well as the image of Lena. The experimental results indicate the algorithm can considerably improve the edge resolution of the traditional morphological edge detection methods and is practical.

Key words: image processing, edge detection, morphology, structuring element

随着计算机技术的发展,医学图像在临床诊断和治疗中起着越来越重要的作用。医学图像主要包

括:X射线图像、CT图像、MRI图像、超声图像和显微图像等^[1]。不管是哪一种医学图像,它的临床应

收稿日期:2009-10-12

基金项目:重庆市自然科学基金资助项目(CSTC,2008BB2164)

作者简介:赵德春(1975-),男,重庆邮电大学博士研究生,主要从事生物医学信号处理方向研究,(Tel)13452196708;
(E-mail) zdchl@yahoo.com.cn。

彭承琳(1936-),男,重庆大学教授,博士生导师,(E-mail)chenglinpeng@yahoo.com.cn。

用是与图像处理技术密不可分的,而边缘检测是医学图像处理的关键技术之一^[2]。边缘检测的好坏,直接影响到治疗过程。

医学图像中往往含有不同程度的噪声,由于边缘和噪声在空间域和频率域都具有相似的特性,从而给边缘检测带来困难^[3-4]。现有的边缘检测方法有多种,如微分算子法、曲面拟合法(Sobel 算子、Prewitt 算子等)^[5]、小波变换法等^[6]、统计法^[7]。但是数学形态学的边缘检测算法相对于其他方法有着独特的优势,它能够很好地解决边缘检测精度与抗噪声性能的协调问题^[8]。

从数学形态学的边缘检测方法入手,采用多尺度多结构元素,经过多次实验研究提出了一种改进的边缘检测方法,并设计了两类实验,测试算法对医学图像的检测性能,运用实例验证该算法的可行性。

1 数学形态学边缘检测算法

数学形态学(mathematical morphology)是分析几何形状和结构的数学方法,是建立在集合代数基础上,用集合论方法定量描述几何结构的科学^[9]。1985年后,它逐渐成为图像几何特征的工具,并日益表现出良好的应用前景^[10-11]。由于数学形态学具有完备的数学基础,这为形态学用于图像分析和处理奠定了坚实的基础。

1.1 形态学边缘检测算子回顾

最基本的形态学运算有:腐蚀(Erosion)、膨胀(Dilation)、开(Opening)和闭(Closing)。腐蚀(\ominus)在数学形态学运算中的作用是消除物体边界点,而膨胀(\oplus)的作用是把图像周围的背景点合并到物体中^[12-13]。

设 $f(x, y)$ 是一个定义在 R^2 或 Z^2 上的图像灰度函数, $B(x, y)$ 是一个定义在 R^2 或 Z^2 上的给定结构元素,则有

形态开:

$$f \circ (x, y) = f \circ B(x, y) = [(f \ominus B) \oplus B](x, y); \quad (1)$$

形态闭:

$$f_c(x, y) = f \cdot B(x, y) = [(f \oplus B) \ominus B](x, y)。 \quad (2)$$

形态开可以消除图像中物体边缘“毛刺”和散点;而形态闭则起到去掉小洞,填补轮廓上的缝隙的作用。因此,人们提出了级联滤波器^[14],即采取开、闭运算的交替使用来达到双边滤波的目的。通过形态运算可以得到边缘检测算子

腐蚀型:

$$G_1 = f(x, y) - f \ominus B(x, y); \quad (3)$$

膨胀型:

$$G_2 = f \oplus B(x, y) - f(x, y)。 \quad (4)$$

1.2 改进的形态边缘检测算子

现有的形态学的边缘检测方法已经很多^[15],但是往往很难得到准确的边缘特征,为此,提出了采用多尺度多结构元素、基于级联滤波器的形态学边缘检测方法。

1.2.1 交替序列滤波器

由于形态开闭的不同作用,前人已经研究出许多形态滤波器用于不同的图像处理。典型的有交替序列滤波器(ASF)

$$ASF_k = \alpha_k \beta_k \cdots \alpha_2 \beta_2 \alpha_1 \beta_1, \quad (5)$$

式中: α 和 β 分别表示形态开、闭变换。

在这里,为了更好地消除噪声保护边缘,变换开、闭的顺序,即交替序列滤波器(Filter)为

$$Filter_k = \beta_k \alpha_k \cdots \beta_2 \alpha_2 \beta_1 \alpha_1。 \quad (6)$$

1.2.2 结构元素的选取

不同取向的结构元素可以有效地检测出不同走向的边缘细节,因而,采用单一的结构元素进行检测时,往往不能得到较好的边缘,尤其是对图像进行形态学边缘检测时,一个结构元素只对与其同方向的边缘敏感,而与其不同方向的边缘则会被平滑掉^[16]。所以这里采用 4 个不同方向的 3×3 结构元素,分别从水平、垂直和 2 个对角方向对图像进行检测

$$B_1 = [0 \ 0 \ 0; 1 \ 1 \ 1; 0 \ 0 \ 0];$$

$$B_2 = [0 \ 1 \ 0; 0 \ 1 \ 0; 0 \ 1 \ 0];$$

$$B_3 = [1 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0; 0 \ 0 \ 1];$$

$$B_4 = [1 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0; 0 \ 0 \ 1];$$

同时,考虑到形态闭运算可以抑制信号中的负脉冲噪声^[16]。因此这里先采用 3×3 结构元素对图像闭运算来降低图像的噪声,然后再采用 5×5 的结构元素进行开运算,来填充闭运算产生的空穴。 5×5 的结构元素同样采取水平、垂直和 2 个对角共 4 个方向

$$B_{11} = [00000; 00000; 11111; 00000; 00000];$$

$$B_{22} = [00100; 00100; 00100; 00100; 00100];$$

$$B_{33} = [10000; 01000; 00100; 00010; 00001];$$

$$B_{44} = [00001; 00010; 00100; 01000; 10000];$$

这种结构元素的选取,充分发挥了闭运算能削弱负脉冲噪声的功能,只要采取合适大小的结构元素,就能有效的降低噪声、检测出图像的边缘特性。

1.2.3 改进的边缘检测算子

综合现有的形态学边缘检测方法,采用上述交替序列滤波器和结构元素,然后考虑到各个方向边

缘出现的几率,水平和垂直方向的权系数 p_1 、 p_2 取 0.2,而倾斜方向的权系数 p_3 、 p_4 取 0.3^[16]。则改进的边缘检测方法如下:

1)分别用 4 个方向的 3×3 结构元素对图像进行闭运算,得到 β_{11} 、 β_{12} 、 β_{13} 和 β_{14} ,对他们进行加权求和得到 β_1

$$\beta_1 = \sum_{i=1}^4 p_i \beta_{1i} \quad (7)$$

再用 4 个方向的 5×5 结构元素对 β_1 进行开运算,得到 α_{11} 、 α_{12} 、 α_{13} 和 α_{14} ,也对他们进行加权求和得到 α_1

$$\alpha_1 = \sum_{i=1}^4 p_i \alpha_{1i} \quad (8)$$

实际上 α_1 也就是 Filter_1 ;

2)对 α_1 重复步骤(1),重复 n 次,即得到 Filter_n ,也就是式(6)。计算出:

$$F_{\max} = \max(\text{Filter}_1, \text{Filter}_2 \cdots \text{Filter}_n); \quad (9)$$

$$F_{\min} = \min(\text{Filter}_1, \text{Filter}_2 \cdots \text{Filter}_n); \quad (10)$$

$$\Delta n = F_{\max} - F_{\min} \quad (11)$$

3)据式(4),计算出膨胀型边缘检测算子 $G_2 = f \oplus B(x, y) - f(x, y)$,从而得到改进的边缘检测算子 G

$$G = G_2 - 0.5 \Delta n \quad (12)$$

以上 3 步即为改进的形态学边缘检测方法,如图 1 所示

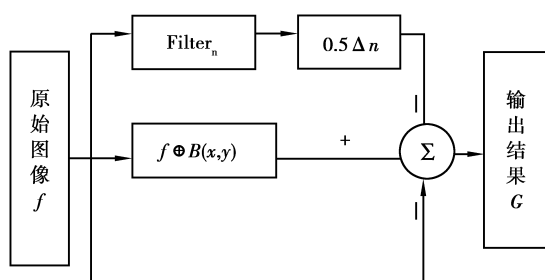


图 1 改进的形态学边缘检测

2 仿真实验

为了测试算法的性能,文中设计了两类实验,首先,测试算法对医学图像的检测性能,然后再把算法用于头发细节丰富的 Lena 图像的边缘检测,验证该算法的可行性。

图 2(a)~(d)给出 MRI 图像采用研究方法提取的边缘图像,作为比较同时给出了采用 G_2 (膨胀型边缘检测算子)与经典算子提取的边缘图像。图(b)为采用研究方法 $n=3$ 时检测到的边缘结果,可见研究算法的检测结果边缘清晰、MRI 图中的软组织边

缘清楚。(c)和(d)为经典形态学膨胀型算子和腐蚀型算子检测结果,局部软组织的细节相对不清楚。

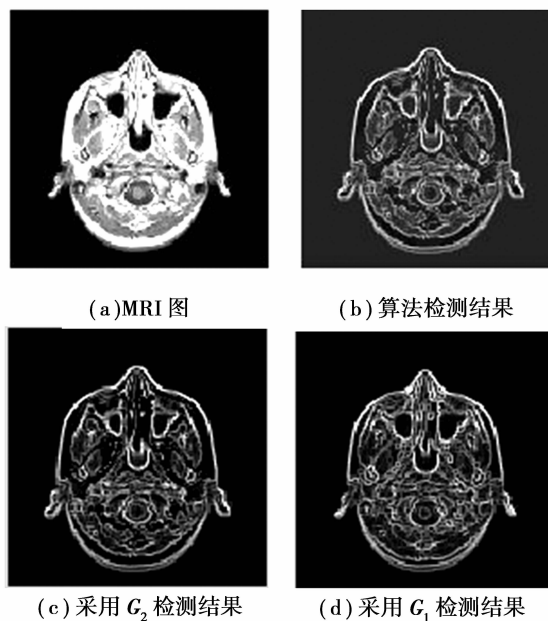


图 2 不同检测方法检测结果的比较

下面是用算法检测 Lena 图,并对结果进行了如下对比,如图 3 所示

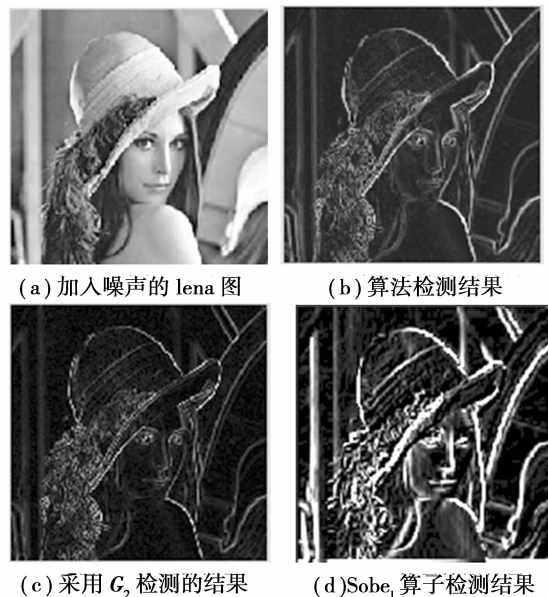


图 3 不同算法对加入噪声的 Lena 图检测结果的比较

从上面的实验结果可以看出算法中头发和人脸边缘都能被检测,边缘清晰、连续,细节也较其他方法丰富。

3 结论

从医学图像的特征入手,依据传统形态学原理和特征,采用多结构元素多尺度的方法,经过多次实

验研究出一种新的获得图像边缘的算法。文中给出了算法实现的详细步骤,并设计了两个实验,验证了该算法能提高形态学边缘检测器的分辨率,说明该算法不仅对医学图像有良好的检测结果,而且对与细节丰富的图像的边缘提取也有着较好的实用价值。但是数学形态学的内容相当丰富,更好的方法有待于作进一步的研究。

参考文献:

- [1] LIU J C, BAI J, PEN M, et al. Analysis of functional MRI data during continuous rest state sequently using time series and spatial clustering: A primary study[C] // Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, September 1-4, 2005. Shanghai, China; IEEE, 2005: 5295-5297.
- [2] PELLEGRINO F A, VANZELLA W, TORRE V. Edge detection revisited [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetic, 2004, 34 (3): 1500-1508.
- [3] KAO W K, CHEN Y J. Multistage bilateral noise filtering and edge detection for color image enhancement [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2005, 5(4): 1346-1351.
- [4] DENG Z F, YIN Z P, XIONG Y L. High probability impulse noise-removing algorithm based on mathematical morphology[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2007, 14(1): 31-34.
- [5] SCHARACNSKI J, JUNG C R, CLARKE R T. Adaptive image denoising using scale and space consistency [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11 (9): 1092-1101.
- [6] 焦斌亮,胡永刚. 基于变尺度形态学的遥感图像边缘检测算法[J]. 光学仪器, 2005, 27(8): 13-17.
JIAO BIN-LIANG, HU YONG-GANG. Edge detection algorithm for remote sensing image based on scale transformable morphology [J]. Optical Instruments, 2005, 27(8): 13-17.
- [7] RAKESH R R, CHAUDHURI P, MURTHY C A. Thresholding in edge detection: a statistical approach [J]. IEEE Transactions on Image processing, 2004, 13(7): 927-936.
- [8] ZOU L, LIU P, ZHAO Q. Mathematical morphology based phase selection scheme in digital relaying[J]. IEEE Proceedings, Part C: Generation, Transmission and Distribution, 2005, 152(2): 157-163.
- [9] 付永庆,王咏胜. 一种基于数学形态学的灰度图像边缘检测算法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2005, 26(5): 685-687.
FU YONG-QING, WANG YONG-SHENG. An algorithm for edge detection of gray-scale image based on mathematical morphology[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2005, 26(5): 685-687.
- [10] LOURERDIS G, VAVIDAVOULIA M I, ANDREADIS I, et al. A new approach to morphological color image processing [J]. Pattern Recognition, 2002, 35(8): 1733-1741.
- [11] SAID E H, NASSAR D E M, FAHMY G, et al. Teeth segmentation in digitized dental X-ray films using mathematical morphology[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2006, 1 (2): 178-189.
- [12] BOUAYNAYA N, CHARIF C M, SCHONFELD D. Theoretical foundations of spatially-variant mathematical morphology part I: Binary images [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30(5): 823-836.
- [13] BOUAYNAYA N, SCHONFELD D. Theoretical foundations of spatially-variant mathematical morphology part II: Gray-level images [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30(5): 837-850.
- [14] CHANG S G, YU B, VETTERLI M. Spatially adaptive wavelet thresholding with context modeling for image denoising [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 23(9): 1522-1531.
- [15] LIN X N, WENG H L, LIU H F, et al. A novel adaptive single-phase reclosure scheme using dual-window transient energy ratio and mathematical morphology [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, 21(4): 1871-1877.
- [16] 费浦生,王文波. 基于小波增强的改进多尺度形态梯度边缘检测算法[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2007, 32(2): 120-123.
FEI PU-SHENG, WANG WEN-BO. Edge detection based on image enhancement of wavelet transform and modified multi-scale morphological gradient [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007, 32(2): 120-123.

(编辑 侯湘)