

基于模糊推理和柔性形态滤波的图像增强方法

付萍¹, 薛定宇¹, 迟健男², 徐心和¹

(1. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004; 2. 北京科技大学 信息工程学院, 北京 100083)

摘 要: 根据柔性形态学的相关概念和性质, 提出了一种基于模糊推理和柔性形态滤波的图像增强方法. 该方法首先定义了方向性结构元素, 在结构元素内引入模糊推理方法判别图像边缘方向, 进而构造方向性柔性形态学滤波器对图像边缘进行滤波增强, 并根据局部均值和熵差自适应确定增强系数. 实验结果表明该方法可以有效滤除噪声, 增强图像边缘.

关键词: 模糊推理; 边缘检测; 边缘方向判决; 柔性形态滤波; 图像增强

中图分类号: TP 391.41

文献标识码: A

文章编号: 1005-3026(2008)01-0025-04

Image Enhancement Based on Fuzzy Inference and Soft Morphological Filtering

FU Ping¹, XUE Ding-yu¹, CHI Jian-nan², XU Xin-he¹

(1. School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2. School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China. Correspondent: FU Ping, E-mail: pingshui000 @ 163.com)

Abstract: According to the correlative concept and properties of soft morphology, an image enhancement approach based on fuzzy inference and soft morphological filtering is proposed. With the idea of fingerprint image enhancement taken for reference, the directional structuring elements are defined, in which the fuzzy inference is introduced to judge the direction of image edges, and further, construct directional filter of soft morphology so as to filter off noise and enhance image edges. The coefficient of image enhancement is thus determined adaptively according to local mean value and entropy difference. Experimental results showed that the approach proposed can filter off the high-frequency noise and upgrade image edge effectively.

Key words: fuzzy inference; edge detection; edge direction judgement; soft morphology filtering; image enhancement

图像增强是基本的图像预处理手段,按特定需要采用相应的技术手段强调图像中的某些特征而抑制其他信息,使之更适合于图像的后续处理或特定应用,主要有边缘、轮廓增强、纹理增强、目标区域增强、对比度增强等.图像对比度的高低预示着灰度梯度的大小,因此边缘、轮廓、目标区域以及纹理增强也意味着对比度的增强.对比度增强方法主要有三类:空间域增强方法、变换域增强方法^[1-2]和基于参数优化的方法^[3-5].以上方法各具特点,能够较好地增强图像的对比度,也增强了图像边缘和目标轮廓,但普遍对噪声比较敏感.

形态运算具有并行、局部、实时、快速、易于硬件实现的特点,而模糊逻辑在处理不确定性问题方面有着重要的应用.本文提出了一种基于模糊推理和柔性形态滤波的图像增强算法,该方法在抑制图像中的高频噪声的同时,可以有效地增强图像中的边缘,使增强后的图像满足图像分割和特征提取的要求.

1 算法描述

目前,基于方向滤波的图像增强方法多见于指纹图像的方向纹理增强.由于指纹是由脊线和

收稿日期: 2007-01-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60475036); 教育部博士学科点专项科研基金资助项目(20040145012).

作者简介: 付萍(1974-),女,黑龙江五常人,东北大学博士研究生;薛定宇(1963-),男,辽宁沈阳人,东北大学教授,博士生导师;徐心和(1940-),男,河北临榆人,东北大学教授,博士生导师.

谷线交替排列而成,具有局部一致的方向性,因此方向图技术是指纹图像处理的关键技术之一,主要有基于邻域内模板灰度统计特性求取方向图的方法^[6],利用时域或频域滤波器的方法^[7]等,这些方法针对性强而普适性较差。

本文的图像增强方法,将边缘建模为如图 1 所示的几种类型,确定这几种类型边缘的一种方法是检测图像中每一个像素及邻域像素的状态,以决定像素是否处于图像边缘上,定义方向性结构元素如下。

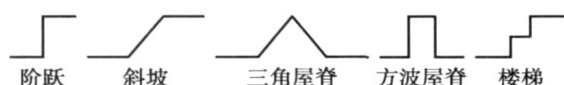


图 1 常见边缘形式
Fig. 1 Forms of common edges

将图 2 中结构元素遍历图像中的每一像素 7×7 邻域内,采用 If-Then 模糊推理规则确定图像边缘方向对应的结构元素,然后构造柔性形态学方向滤波器进行边缘滤波平滑,最后根据局部均值和方差确定增强系数对边缘点增强处理。

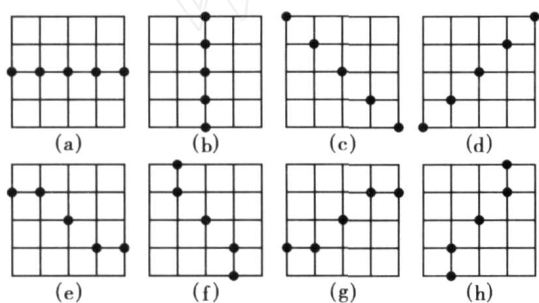


图 2 方向结构元素
Fig. 2 Directional structuring elements

综上所述,本文提出的图像边缘增强方法,借鉴了指纹图像增强方法的思想,算法流程如图 3 所示。

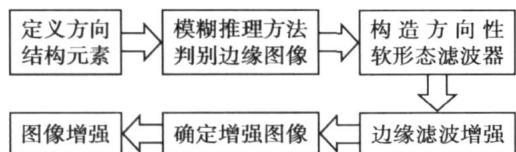


图 3 图像增强算法流程图
Fig. 3 Flow chart of image enhancement algorithm

2 模糊推理图像边缘方向判别

边缘方向判别是通过采样像素与其邻域像素的灰度差值来判断的,下面以图 2a,2f 为例,来讨论针对图 1 中各类边缘类型的边缘方向模糊推理。

对于结构元素图 2a,2f 及其邻域的 7×7 区域,其像素编号如图 4 所示。

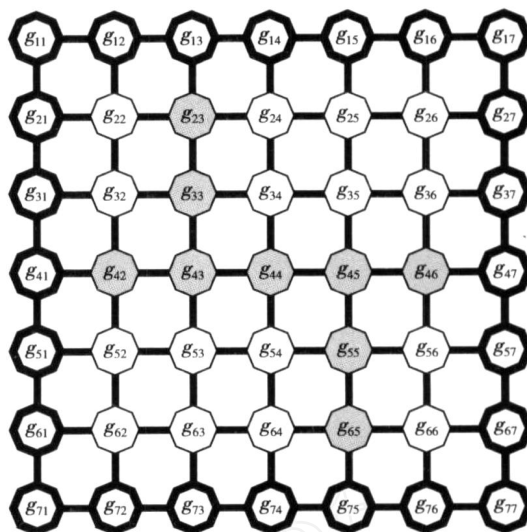


图 4 结构元素及其邻域像素编号

Fig. 4 Numbering of structuring elements and neighborhood pixels

设像素灰度差:

$$g_{m,n}^{i,j} = |g_{i,j} - g_{m,n}|. \quad (1)$$

1) 当边缘方向为图 2a 所示的方向时:

对于阶跃边缘

$g_{4,4}^{5,4}, g_{4,4}^{5,2}, g_{4,4}^{5,6}$ 或 $g_{4,4}^{3,4}, g_{4,4}^{3,2}, g_{4,4}^{3,6}$ 很大,而 $g_{4,4}^{4,3}$ 和 $g_{4,4}^{4,5}$ 较小;

对于斜坡边缘

$g_{4,4}^{6,4}, g_{4,4}^{6,2}, g_{4,4}^{6,6}$ 或 $g_{4,4}^{2,4}, g_{4,4}^{2,2}, g_{4,4}^{2,6}$ 很大,而 $g_{4,4}^{4,3}$ 和 $g_{4,4}^{4,5}$ 较小;

对于屋脊边缘

$g_{4,4}^{6,4}, g_{4,4}^{2,4}, g_{4,4}^{6,2}, g_{4,4}^{2,2}, g_{4,4}^{6,6}, g_{4,4}^{2,6}$ 很大,而 $g_{4,4}^{4,3}$ 和 $g_{4,4}^{4,5}$ 较小;

对于楼梯边缘

$g_{4,4}^{6,4}, g_{4,4}^{6,2}, g_{4,4}^{6,6}$ 或 $g_{4,4}^{2,4}, g_{4,4}^{2,2}, g_{4,4}^{2,6}$ 很大,而 $g_{4,4}^{4,3}$ 和 $g_{4,4}^{4,5}$ 较小;

2) 当边缘方向为图 2f 所示的方向时:

对于阶跃边缘

$g_{4,4}^{5,3}, g_{4,4}^{2,2}, g_{4,4}^{6,4}$ 或 $g_{4,4}^{3,5}, g_{4,4}^{2,4}, g_{4,4}^{6,6}$ 很大,而 $g_{4,4}^{3,3}$ 和 $g_{4,4}^{5,5}$ 较小;

对于斜坡边缘

$g_{4,4}^{6,2}, g_{4,4}^{2,1}, g_{4,4}^{6,3}$ 或 $g_{4,4}^{2,6}, g_{4,4}^{2,5}, g_{4,4}^{6,7}$ 很大,而 $g_{4,4}^{3,3}$ 和 $g_{4,4}^{5,5}$ 较小;

对于屋脊边缘

$g_{4,4}^{6,2}, g_{4,4}^{2,1}, g_{4,4}^{6,3}, g_{4,4}^{2,6}, g_{4,4}^{2,5}, g_{4,4}^{6,7}$ 很大,而 $g_{4,4}^{3,3}$ 和 $g_{4,4}^{5,5}$ 较小;

对于楼梯边缘

$g_{4,4}^{6,2}, g_{4,4}^{2,1}, g_{4,4}^{6,3}$ 或 $g_{4,4}^{2,6}, g_{4,4}^{2,5}, g_{4,4}^{6,7}$ 很大,而 $g_{4,4}^{3,3}$ 和 $g_{4,4}^{5,5}$ 较小;

在实际图像中,特别是对比度差而需要增强

的图像中,图像边缘往往建模为斜坡边缘,并且通过以上分析可以看出,从模糊推理角度来讲,斜坡边缘涵盖了阶跃边缘.用 M_z 和 M_p 分别代表很小和很大的隶属函数, Y 为输出变量, M_y 和 M_s 分别代表 Y 是和不是所设边缘方向的隶属函数,则上述两种情况判别边缘方向的模糊推理如表 1 所示.

表 1 边缘方向的模糊推理

Table 2 Fuzzy inference for edge direction

If								Then
M_p			M_z					Y
6,4	6,2	6,6	2,4	2,2	2,6	4,3	4,5	
84,4	84,2	84,6	84,4	84,2	84,6	84,4	84,4	
2,4	2,2	2,6	6,4	6,2	6,6	4,3	4,5	
84,4	84,2	84,6	84,4	84,2	84,6	84,4	84,4	
6,4	2,4	6,2						
84,4	84,4	84,2						
				4,3	4,5			
2,2	6,6	2,6		84,4	84,4			
84,2	84,6	84,6						
6,2	2,1	6,3	2,6	2,5	6,7	3,3	5,5	M_y
84,4	82,3	86,5	84,4	82,3	86,5	84,4	84,4	
2,6	2,5	6,7	6,2	2,1	6,3	3,3	5,5	
84,4	82,3	86,5	84,4	82,3	86,5	84,4	84,4	
6,4	2,4	6,2						
84,4	84,4	84,2						
				4,3	4,5			
2,2	6,6	2,6		84,4	84,4			
84,2	84,6	84,6						

输入变量 g 的隶属函数如图 5 所示, 输出变量 Y 的隶属函数如图 6 所示^[8], 0 和 1 分别代表像素灰度值为 0 和 255.

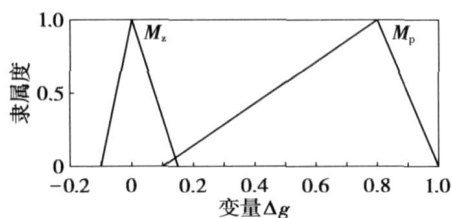


图 5 输入变量的隶属函数

Fig. 5 Membership functions of variable input

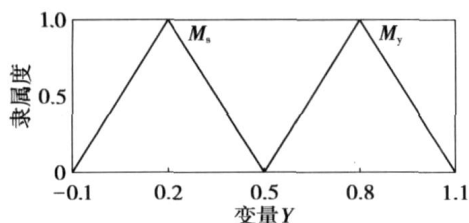


图 6 输出变量的隶属函数

Fig. 6 Membership functions of variable output

上述模糊推理方法,可以有效确定图像中的边缘方向.对于被噪声污染图像,以上对模糊规则作适当修改,仍能判别图像的边缘方向,如当有脉冲噪声时,受噪声干扰像素的灰度突变要大得多,据此可以去除脉冲噪声的影响.

3 基于柔性形态学方向滤波器的图像边缘增强

柔性形态学^[9]是 Koskinen 等人在经典形态学的基础上,将“顺序统计”思想注入标准数学形

态学,提出的一类非线性算子.

柔性形态变换对加性噪声和图像形状的微小改变不敏感,利用柔性形态变换的腐蚀和膨胀运算构造柔性形态滤波器如下:

$$F = \left\{ k \left(\sum_{a \in A} f(a) + \sum_{b \in B \setminus A} f(b) \right) - \left[\sum_{n=1}^k f \oplus [B, A, n] + \sum_{n=1}^k f [B, A, n] \right] \right\} / f k \text{card}(A) + \text{card}(B \setminus A) - 2k, \quad (2)$$

其中, $\text{card}(A)$ 表示集合 A 的基元, “\” 代表集合差。式(2)的柔性形态滤波是图像结构元素区域内的局部加权均值滤波, 因此可以有效抑制图像中的高频噪声。根据上节由模糊推理确定的图像中每个像素点 (x, y) 的边缘方向 A_i (图 2 所示中的一种结构元素), 将式(2)中的结构元素 A 替换为 A_i , B 替换为 B_i (B_i 是 A_i 的 4 个方向上的扩展结构元素), 则构成方向性柔性形态滤波器, 作柔性滤波处理得滤波结果 F_i , 用 F_i 乘以增强系数后的值赋给像素点 (x, y) , 即图像中点 (x, y) 处新的灰度值为

$$g(x, y) = aF_i. \quad (3)$$

对于脉冲噪声密度较大的图像,式(2)中的 k 取值可以大一些;对于高斯噪声密度较大的图像, k 取值相对较小。增强系数 a 的选择由图像的灰度分布来确定,使增强后的灰度值保持在 $[0, 255]$ 之间。增强系数 a 还可以根据图像的特殊需要,采用自适应的增强系数来突出某些局部特征,如利用图像的局部熵差和全局熵差之比来进一步突出灰度剧变区,即

$$a = D_B / D, \quad (4)$$

这里熵差定义为

$$D_B = \log N_B - E_B(f) \quad . \quad (5)$$

其中, $E_B = \log S_B - \left(\sum_x f(x) \log f(x) \right) / S_B; N_B = \mu(B); S_B = \sum_x f(x)$. 采用柔性形态滤波进行图像增强, 具有平滑和连接中断边缘的效果.

4 实验结果与分析

选择可见光图像 270×238 的骨髓组织切片图(图 7a)、 364×366 的航拍图像(图 8a)作为实验样本,来验证本文算法对图像中各类、各向边缘的增强作用。骨髓组织切片图中布满白色的脂肪细胞和网状的骨髓组织,边缘丰富且模糊。航拍图像中分布纵横交错的高速路、建筑物和自然景物,景物大小不均、边缘方向多样。采用增强系数 $a = 2.3$,骨髓组织图的增强结果如图 7b 所示。图 7a

中的脂肪细胞边缘和网状骨髓组织边缘被明显增强,算法对各方向的边缘均有良好的反应.为了更进一步说明算法在边缘及对比度增强方面的有效性,本文给出了骨髓组织图增强前后三维图如图 9 所示,可见增强后图像中白脂肪细胞边缘得到增强和锐化.为了验证本文算法的抑噪性能,在图 8a 航拍图中加入 1 % 的椒盐噪声.滤噪增强结果如图 8b 所示,可见图 8a 中的椒盐噪声几乎完全被滤除,而同时图像中的高速路、建筑物边缘均被锐化.表 2 为图像增强各项评价参数,其中标准差是图像灰度分散程度的度量.从图像均值数据可以看出,图像增强前后灰度值得到增强.标准差显示图像增强后,灰度值和等级更加分散,即对比度得到增强.在本文的增强算法中,图像细节的增强效果与所选择的结构元素的尺度有关,增强图像

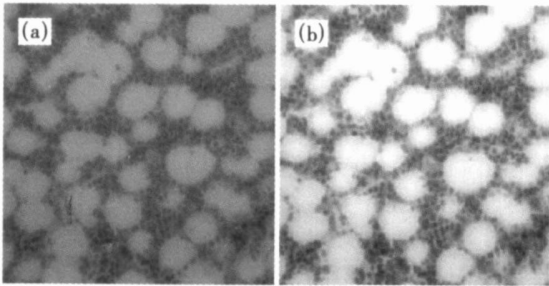


图 7 骨髓组织图增强图
Fig. 7 Enhancement image of marrow tissue
(a) —骨髓组织切片图;(b) —增强图.

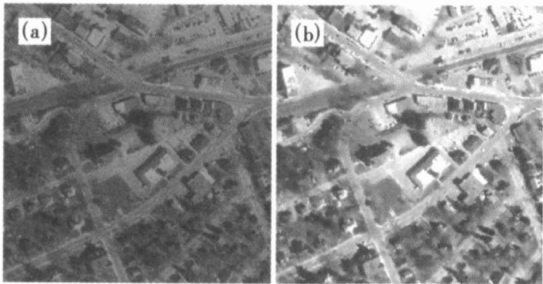


图 8 加噪航拍图像增强结果
Fig. 8 Enhancement results of noisy image
(a) —加噪航拍图(1 %椒盐噪声);(b) —增强图.

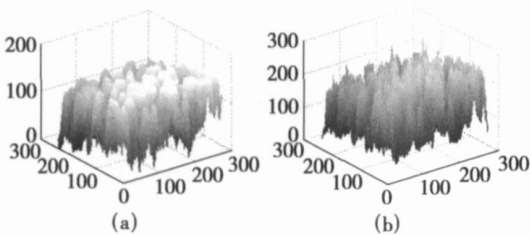


图 9 骨髓组织图增强前后三维图比较
Fig. 9 Image comparison of 3D chart between original and enhanced marrows tissue
(a) —原图三维图;(b) —增强三维图.

细节可选择尺度较小的结构元素,而噪声的滤除,往往要求结构元素的尺度相对较大,因此结构元素尺度的选取要兼顾图像边缘细节的增强和噪声抑制的折中统一.

表 2 图像增强评价参数

评价参数	骨髓组织切片图		航拍图	
	原图	增强图	加噪图	增强图
均值	78.909 7	160.594 0	137.702 2	215.675 0
标准差	30.878 0	79.483 2	56.593 5	93.917 0

5 结 语

本文首先定义了多方向的结构元素,在结构元素内引入模糊推理方法判别图像边缘方向,进而构造柔性形态滤波器,在滤除噪声的同时,增强图像边缘.实验结果证明了本文算法的有效性.

参考文献:

[1] Gonzales R C, Wintz P. Digital image processing [M]. Reading, MA: Addison Wesley, 1987.

[2] 曾鹏鑫,么健石,陈鹏,等.基于小波变换的图像增强算法[J].东北大学学报:自然科学版,2005,26(6):527-530.
(Zeng Peng-xin, Yao Jian-shi, Chen Peng, et al. An approach to wavelet-based image enhancement algorithm[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2005, 26(6):527-530.)

[3] Saitoh F. Image contrast enhancement using genetic algorithm [C]. Proceedings of IEEE SMC '99. Tokyo: IEEE, 1999: 899-904.

[4] Russo F. Hybrid neuro-fuzzy filter for impulse noise removal [J]. Pattern Recognition, 1999,32(3):1843-1855.

[5] Ramar K, Arumugam S, Sivanandam S N. Enhancement of noisy and blurred images: a fuzzy operator approach [J]. Advance in Modeling and Analysis, 1999,42(1):49-60.

[6] Mehtre B M, Murthy N N, Kapoor S, et al. Segmentation of fingerprint images using the directional image [J]. Pattern Recognition, 1987,20(4):429-435.

[7] Sherlock D, Momro D M, Millard K. Fingerprint enhancement by directional fourier filter [J]. IEEE Proceedings of Vision Image and Signal Processing, 1994, 141(2):87-94.

[8] 赵春江,施文康,邓勇.基于模糊推理的边界检测方法[J].光学精密工程,2003,11(3):309-313.
(Zhao Chun-jiang, Shi Wen-kang, Deng Yong. Edge detection based on fuzzy inference[J]. Optics and Precision Engineering, 2003,11(3):309-313.)

[9] Koskinen L, Astola J, Neuvo Y. Soft morphological filters[C]. Proceedings of SPIE Symposium Image Algebra and Morphological Image Processing. San Diego: [s. n.], 1991: 262-270.