

基于小波变换的图像融合新算法

燕文浩^{1,2} 马彩文¹ 张 鸣³, 王 晨^{1,2}

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(3 西安科技大学通信与信息工程学院, 西安 710054)

摘 要 针对现有图像融合技术中的尺度系数卷积法存在的边缘细节损失和对比度下降问题, 提出了将 Canny 边缘检测算子等价于提取图像的小波变换模极大值点这一思想引入图像的低频分量融合规则以及用于高频子带融合的局部对比度结合方向方差方法. 最后通过仿真试验以及熵值数据证明该算法有效改善了边缘细节的准确度, 提高了分辨率, 并使局部对比度信息得以保留, 从而更加符合人类的视觉特性.

关键词 图像融合; 小波变换; 边缘检测; 局部对比度

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

0 引言

小波变换在像素级和特征级图像融合^[1]中具有广泛的应用价值, 而小波系数的选择是像素级融合技术中的核心. 传统的直接加权平均法牺牲了图像的局部对比度, 并造成边缘模糊. 为了改善细节分辨率和对比度, 有关研究人员先后提出平均与选择相结合的方法^[2]以及基于区域^[3]、基于边缘等思想, 其中前者属于传统平均法的改进方案, 使局部对比度略有提高, 但是未考虑边缘细节问题; 基于边缘的尺度系数卷积法^[4]实质是对小波系数提取边缘信息来进行比较选择, 目的在于加强低频域的边缘细节. 由于对边缘信息的检测准确度不够理想, 所以在包含大量细微边缘的图像融合中该方法有其应用的局限性. 针对这一情况, 本文提出的新方法能够使低频域边缘检测的准确度大为提高, 因此在最后的融合结果中能够较好地保留细节, 同时在高频域引入方向方差有效改善了局部分辨率.

1 Canny 边缘检测算子与方向小波变换

1986 年, Canny 从数学的角度定义边缘检测问题实质为最优化问题, 并提出一个最优化滤波器, 基于该滤波器的边缘检测方法能够有效的检测出图像中不同类型的边缘信息^[5]. Canny 边缘检测算子实质上相当于提取图像小波变换的模局部极大值点, 并进行非极大值抑制^[6]. 图像边缘的方向性体现在图像的局部变化以及沿某一方向上的全局性中, 传统的小波变换所提取的特征不能反映出这一性质,

故引入方向小波变换来描述图像在不同方向上的局部变化, 因方向小波变换模值的平方与函数平滑后的梯度模值平方成正比, 可以用求方向小波变换值来代替求梯度模值^[7]. 由此建立起 Canny 边缘检测与小波变换的联系.

2 低频域融合规则

在实际的小波分解中, 低频分量往往是一些正变换值, 而其他的三个低频份量都包含很多的在零点附近的变换值, 这说明了图像能量的大致分布情况. 那些较大的变换值具有较大的熵值, 也就是包含较多的信息量, 往往能够反映出图像的显著特征, 如边缘、轮廓等.

经 M 层小波 Mallat 塔式分解后, 对来自源图 A 、 B 的最高层低频分量 C_M^A 、 C_M^B 分别进行方向小波变换, 因为 Canny 边缘检测需要确定梯度方向及梯度模值, 然后进行非极大值抑制. 鉴于梯度值与小波变换模值的关系, 只需沿小波变换方向寻找大于某一门限的模极大值即可.

对图像 A 定义

$$I_A = \sum_{\theta} |W_{\varphi_s} C_M^A(x, y, \theta)|^2 \quad (1)$$

对图像 B 定义

$$I_B = \sum_{\theta} |W_{\varphi_s} C_M^B(x, y, \theta)|^2 \quad (2)$$

取 $\theta = \pi/4, 3\pi/4, 0, \pi/2$. 沿这四个方向寻找小波变换模极大值, 就能得到图像在对角线、水平及垂直方向的边缘信息. 对于某个区域内的同一点 (x, y) , I_A 、 I_B 基本包含了水平、垂直与对角线方向上的边缘信息, 这样一来, 选择 I_A 、 I_B 其中值较大的一个所对应的系数作为融合图像的低频分量, 就能最大程度的在融合图像中保留原图像的边缘细节. 融合函数为

$$C = P_A C_M^A + P_B C_M^B \quad (3)$$

如果 $I_A \geq I_B$, 则 $P_A = 1, P_B = 0$, 否则 $P_A = 0, P_B = 1$

3 高频域融合规则

设图像经二进小波 M 层分解后得到的水平, 垂直, 对角线三个方向的高频分量分别为 D_M^H, D_M^V, D_M^D . 在基于区域的思想, 这里提出一种新思路, 首先引入 $M \times N$ 模板 (M, N 为奇数, 一般取 $M = N = 3$ 或者 5) 对各高频子带求均值和方差为

$$f_i = D_i^i$$

$$m_i(x, y) = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f_i(x+m-\frac{M+1}{2}, y+n-\frac{N+1}{2}) \quad (4)$$

以 (x, y) 为中心的区域方向方差为

$$\sigma_i^2(x, y) = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (f_i(x+m-\frac{M+1}{2}, y+n-\frac{N+1}{2}) - m_i(x, y))^2 \quad (5)$$

式中 $i = H, V, D$, 分别代表高频子带区域方向均值和方向方差. 令 $R_M^i = m_{i,M} / m_{C,M}$, $m_{C,M}$ 表示的是分解尺度 M 上的低频分量区域均值, 因为小波分解的正交性去除了高低频分量之间的数据相关性, 所以 R_M^i 能够合理地反映出各方向上的局部对比度, 而人类的视觉特性对图像局部对比度的变化则十分敏感. 方向方差 σ_i^2 的意义在于充分代表了各方向上的局部显著性.

基于上述思想的高频域融合规则描述如下: 在分解尺度 M 上分别计算图像 A, B 三个方向上的局部对比度值 $R_{A,M}^i$ 和 $R_{B,M}^i$, 比较结果, 取绝对值较大的对比度值所对应图像的小波系数作为融合图像的高频子带小波系数 D_M^i ; 而在其他尺度 $L (M > L \geq 1)$ 下则采用方向方差最大准则, 选择较大的方差所对应图像的小波系数作为融合图像对应的小波系数 D_L^i .

融合函数为

$$D_M^i = P_A D_{A,M}^i + P_B D_{B,M}^i$$

$$i = H, V, D \quad (6)$$

如果 $R_{A,M}^i \geq R_{B,M}^i$, 则 $P_A = 1, P_B = 0$; 否则 $P_A = 0, P_B = 1$

$$D_L^i = P_A D_{A,L}^i + P_B D_{B,L}^i$$

$$i = H, V, D \quad (7)$$

如果 $\sigma_{A,i}^2 \geq \sigma_{B,i}^2$, 则 $P_A = 1, P_B = 0$; 否则 $P_A = 0, P_B = 1$

4 融合实验与结论

基于小波变换的图像融合流程如图 1.

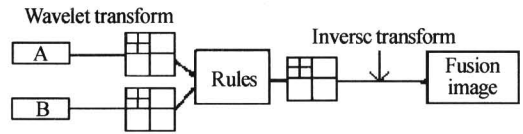


图 1 基于小波变换的图像融合流程框图
Fig. 1 The procedure of image fusion based on wavelet transformation

本实验待融合的两幅源图像是对同一时刻同一事物的不同光谱信息, 图 2 是 CCD 可见光图, 图 3 是红外图, 图中的事物是溅上墨汁的英文报纸的一部分. 其中可见光图中的报纸上由于溅上了一些墨汁, 所以被墨汁覆盖的区域无法看到文字, 但却能看到墨汁的细节信息; 而红外图像则能透过墨汁显示出被覆盖区域的文字, 但是只能显示出大致墨迹, 而无法分辨墨汁的细节. 这两幅图像已经过严格的配准.



图 2 CCD 可见光图
Fig. 2 CCD optical image

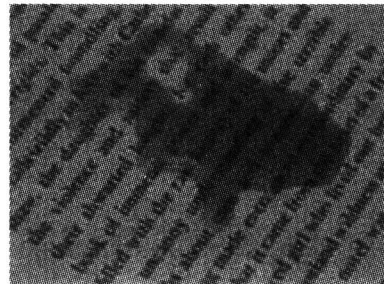


图 3 红外图
Fig. 3 Infrared image

分别采用系数卷积法和本文方法在 Matlab6.1 环境下进行仿真实验, 其结果如图 4、图 5.

最后对两种方法所得的融合图像求熵值 H 和均方交叉熵 $\overline{H_\alpha}$, 所得数据如表 1.

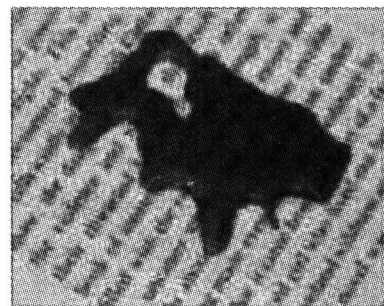


图 4 系数卷积法的融合结果
Fig. 4 The result of coefficient convolution

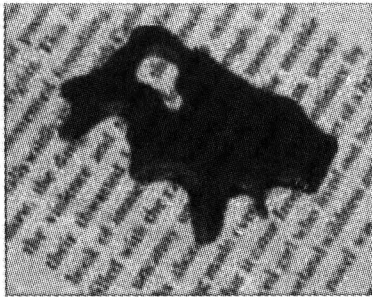


图5 本文方法的融合结果

Fig. 5 The result of method in this text

表1 两种方法的融合实验数据对比

	H	$\overline{H_{ce}}$
系数卷积法	6.4871	0.3413
本文方法	6.6139	0.3047

本文所采用的算法,其核心是通过在低频域引入 Canny 边缘检测与方向小波变换的联系这一思路来加强边缘细节,以提高检测准确度;同时,在高频域引入局部对比度和方向方差来突出局部对比度,从融合实验结果看来,细节比较丰富,整体视觉效果良好. 比较适合于包含大量细微边缘的图像,但在实验中发现计算量稍大,这有待于进一步发展完善.

参考文献

- 李明,吴艳,吴顺君. 基于小波多通道特征及融合的彩色纹理图像分析. 光子学报,2004,33(8): 999~1000

- Li M, Wu Y, Wu S J. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(8): 999~1000
- Burt P J, Kolczynski R J. Enhanced image capture through fusion. Proceedings 4th International Conference on Computer Vision. Berlin, Germany: PICCV, 1993, 173~182
- Tao G Q, Li D P, Lu G H. On image fusion based on different fusion rules of wavelet transform. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(2): 222
- 晁锐,张科,李言俊. 一种基于小波变换的图像融合算法. 电子学报,2004,32(5): 752
- Chao R, Zhang K, Li Y J. *Acta Electronica Sinica*, 2004, **32**(5): 752
- Canny J. A computational approach to edge detection. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intelligence*, 1986, **8**(6): 679~698
- Mallat S, Zhong S. Characterization of signals from multi-scale edges. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intelligence*, 1992, **14**(7): 710~732
- 付丽华,陈涛,李落清. 基于方向小波的边缘检测. 湖北大学学报(自然科学版),2003,25(2): 96~97
- Fu L H, Chen T, Li L Q. *Journal of Hubei University (Natural Science Edition)*, 2003, **25**(2): 96~97

A New Way for Image Fusion Based on Wavelet Transform

Yan Wenhao^{1,2}, Ma Caiwen¹, Zhang Ming³, Wang Chen^{1,2}

¹ Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, CAS, Xi'an 710068

² Graduate School of the CAS, Beijing 100039

³ School of Communication and Information Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054

Received date: 2005-01-02

Abstract The way of coefficient convolution with lost edge and low contrast ratio in image fusion filled with abundant slight edges, now bring a new method which combine Canny edge detection with wavelet transform and directional variance. It can improve the partial resolution with enhanced edge and partial contrast ratio obviously, so accord with the human visual character further. And the result from experiment was satisfied at last.

Keywords Image fusion; Wavelet transform; Edge detection; Partial contrast ratio



Yan Wenhao was born on Jan. 12, 1979 and graduated from The Air Force Engineering University in 2001 with his Bachelor of engineering in communication. He became a graduate student of Graduate School of CAS in Communication & Information System. Now his main research fields are digital image processing and target identification at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS.