

基于小波变换的多聚焦图像融合

杨亚,王铮,张素兰,郭飞飞

(重庆大学计算机学院,重庆 400044)

摘要:为了获得大场景的清晰图像,一般是将几幅聚焦于这一场景的不同目标点上的图像经过各种融合算法处理后获得。先对源图像进行小波变换,再计算其改进后的空间频率,然后采用改进后的空间频率作为参数来决定源图像数据的选取规则:低频部分采用基于改进后的空间频率的加权系数法,高频部分直接取基于改进后的空间频率的小波系数最大值。实验所选取的阈值为0.8。从实验结果可以看出采用的方法比文献[5]的方法更好地保留了源图像的边缘信息,同时也更大地提高了融合后图像所含的源图像信息量。

关键词:小波变换;图像融合;多聚焦图像;空间频率

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)03-0056-03

Multi-focus Image Fusion Scheme Based on Wavelet Transform

YANG Ya, WANG Zheng, ZHANG Su-lan, GUO Fei-fei

(Department of Computer Science and Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In order to obtain a clear picture of a big scene, the general method is to fuse a number of images focused on different targets at the same scene through a variety of image processing algorithms. First deal with the source images through wavelet transform, and then calculates the improved spatial frequency, at last determines the source of the images' data selection rules through improved spatial frequency as a parameter: It gets the low-frequency part of the image based on the weighted spatial frequency coefficient method, and high-frequency part based on maximum value of improved spatial frequency of wavelet coefficients. Set a threshold value of 0.8. The experimental results can be seen from the method proposed in this article that it retains better edge of the source images' information than in the literature[5], as well as greater integration of the amount of information contained in the source images.

Key words: wavelet transform; image fusion; multi-focus image; spatial frequency

0 引言

图像融合是指按照一定的融合规则,把同一场景的多个不同聚焦点的图像进行一定的处理,再把清晰部分组成一幅新的图像。对于来自同一场景的多幅图像,由于成像传感器方向不同,焦距不同以及各种干扰的存在,所摄取的图像存在不能同时清晰成像的情况,因此有必要对这些图像进行处理。图像融合技术就是为了解决从多幅图像中恢复出一幅更清晰,包含信息量更多的原始图像的一个重要方法,这样就能从融合后的图像中抽取出比任何单一图像所提供的更为准确可靠的信息。融合后的图像与原图像相比,信息更丰富,视觉上更清晰,新图像包含了原多幅图像的冗余信

息和互补信息,保持了原来多聚焦图像中的细节清晰部分,这幅图像可供计算机进行目标识别和图像理解。图像融合在遥感图像、医学图像,军事地理上得到了广泛的应用。通常图像融合可分为三个层次,像素级融合、特征级融合和决策级融合。在像素级融合中的方法主要有 IHS 变换、PCA 法和小波变换等方法。文中主要研究基于小波变换的图像的像素级融合。

小波变换具有优良的时频局部化性能,它用一组尺度不同的带通滤波器对信号进行滤波,将信号分解为不同频带进行处理^[1],在图像处理中获得了广泛的应用。原始图像经小波变换可分解为一系列具有不同空间分辨率和频域特性的子图像,这些子图像充分反映原始图像的局部变化特征,因此基于小波变换的图像融合根据一定的融合规则对变换域内的所有尺度上各子带内的信息进行处理,将来自不同原图像的信息有效地融合在一起。常用的融合算法有加权小波系数,直接选取最小小波系数等融合方法。小波融合模

收稿日期:2009-06-25;修回日期:2009-09-12

作者简介:杨亚(1984-),女,重庆人,硕士研究生,研究方向为数字图像处理;王铮,副教授,硕士生导师,研究方向为数字图像处理、嵌入式。

型不仅能够针对输入图像的不同特征来合理选择小波基以及小波变换次数,而且在融合操作时又可以根据实际需要来引入双方的细节信息。从而表现出更强的针对性和实用性,融合效果更好。

1 图像的小波分解与重构

如果一个图像进行 L 层小波分解,将得到 $(3L + 1)$ 层子带,其中包括低频的基带 C_j 和 $3L$ 层的高频子带 D^h, D^v 和 D^d 。用 $F(x, y)$ 代表源图像,记为 C_0 ,设尺度函数 $\Phi(x)$ 和小波函数 $\Psi(x)$ 对应的滤波器系数矩阵分别为 H 与 G ,则二维小波分解算法可描述为^[2]:

$$\begin{cases} C_{j+1} = HC_jH' \\ D_{j+1}^h = GC_jH' \\ D_{j+1}^v = HC_jG' \\ D_{j+1}^d = GC_jG' \end{cases} \quad (j = 0, 1, \dots, J-1)$$

式中: j 表示分解层数; h, v, d 分别表示水平、垂直、对角分量; H' 和 G' 分别是 H 和 G 的共轭转置矩阵。

小波重构算法为

$$C_{j-1} = H'C_jH + G'D_j^hH + H'D_j^vG + G'D_j^dG \quad (j = J, J-1, \dots, 1)$$

2 图像的融合算法

2.1 空间频率

空间频率反映图像空间的总体活跃程度,空间频率越大,图像越清晰,反之,图像越模糊。因此,空间频率可以作为图像清晰度参考值。文中改进后的空间频率定义为^[3]:

$$RF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [f(i, j) - f(i, j-1)]^2} \quad (1)$$

$$CF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=2}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j) - f(i-1, j)]^2} \quad (2)$$

$$DF_1 = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=2}^M \sum_{j=2}^N [(f(i, j) - f(i-1, j-1))/\sqrt{2}]^2} \quad (3)$$

$$DF_2 = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=2}^M \sum_{j=1}^{N-1} [(f(i, j) - f(i-1, j+1))/\sqrt{2}]^2} \quad (4)$$

$$SF = \sqrt{(RF)^2 + (CF)^2 + (DF_1)^2 + (DF_2)^2} \quad (5)$$

其中 $f(i, j)$ 表示图像经过小波变换后得到的系数, RF 和 CF 分别表示行频率和列频率, DF_1 和 DF_2 代表 45° 和 135° 对角线频率。

图像经过小波多尺度分解后,得到各自的小波分

解系数,分别对应图像的低频分量、水平方向、垂直方向和对角线方向的高频分量,这些小波系数分别反映了低频近似轮廓图像和高频细节图像^[4]。对两幅配准的图像 A, B 分别进行 L 层小波分解,得到图像分解后的近似分量子图和每层 3 个方向的细节分量子图: $D_{A,J}, D_{A,J}^h$ 和 $D_{B,J}, D_{B,J}^h$, 其中 $1 \leq J \leq L, 1 \leq i \leq 3$ 。

2.2 低频融合规则

图像的低频部分决定了图像的轮廓,直接取最大值会降低图像包含的信息量,而图像的清晰度主要体现在高频部分^[5],因此对低频部分选用基于空间频率的加权值方法。

低频融合规则如下:

(1) 根据公式(1)~(5)分别计算两幅图像的低频系数以点 (x, y) 为中心的 $M \times N$ 区域内的空间频率 SF_A 和 SF_B 。一般情况下 $M \times N$ 取 3×3 或者 5×5 , 区域取得越大,得到的空间频率涉及到的不相关的信息量也越多,精确度也越低。文中取 3×3 的区域。

(2) 分别计算两幅图像每个点的空间频率 SF_A 和 SF_B 的匹配度,匹配度在一定程度上反应了两幅图像的相关程度。

匹配度计算公式为:

$$M_{\text{tch}}(A, B)(x, y) = \frac{SF_A^2(x, y) * SF_B^2(x, y) * 2}{SF_A^2(x, y) + SF_B^2(x, y)} \quad (6)$$

(3) 选定阈值 thrsh , 其值一般在 $0.5 \sim 1$ 之间, 该值的最优选取跟待融合的图像有关。

如果 $M_{\text{tch}} < \text{thrsh}$

$$D(x, y) = \begin{cases} D_{A,J}(x, y) \\ \text{if } (D_{A,J}(x, y) > D_{B,J}(x, y)) \\ D_{B,J}(x, y), \text{ else} \end{cases} \quad (7)$$

如果 $M_{\text{tch}} \geq \text{thrsh}$

$$D(x, y) = \begin{cases} D_{A,J}(x, y) * w_{\max} + D_{B,J}(x, y) * w_{\min} \\ \text{if } (D_{A,J}(x, y) > D_{B,J}(x, y)) \\ D_{A,J}(x, y) * w_{\min} + D_{B,J}(x, y) * w_{\max} \\ \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

其中

$$w_{\min} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} * \left(\frac{1 - M_{\text{tch}}(A, B)}{1 - \text{thrsh}} \right) \quad (9)$$

$$w_{\max} = 1 - w_{\min} \quad (10)$$

$D(x, y)$ 表示融合后得到的低频小波系数。

2.3 高频融合规则

高频信息包含了图像的大部分边缘特征集中大部分细节信息,边缘是其周围灰度变化不连续的那些像素的集合,是图像局部亮度变化最明显的地方,是不同

区域的分界处,也是人眼识别和机器视觉最敏感的信息^[6],由于噪声点在小波变换过程中已经弱化,所以高频区域直接采用取最大值规则,即:

$$D(x, y) = \begin{cases} D_{A,J}^i(x, y) \\ \text{if } (SF_{A,J}^i(x, y) > SF_{B,J}^i(x, y)) \\ D_{B,J}^i(x, y), \text{ else} \end{cases} \quad (11)$$

其中, $D(x, y)$ 表示融合后的高频小波系数, J 表示分解的层数, $1 \leq J \leq L$ 。

3 实验结果及分析

基于文中的上述算法,对两幅同一场景的聚焦不同目标的图像进行了融合实验。并同文献[5]的融合结果进行了比较。具体实验结果如图1所示,实验数据如表1所示。其中图(a)和(b)分别为同一场景中聚焦于不同目标处的图像,图(c)为源图像的清晰的参考图像,图(d)为文中算法所得的融合图像,图(e)为文献[5]中算法所得的融合图像。为了客观评价融合后图像的效果,选用了平均梯度、均方根误差和熵作为评价标准^[7]。

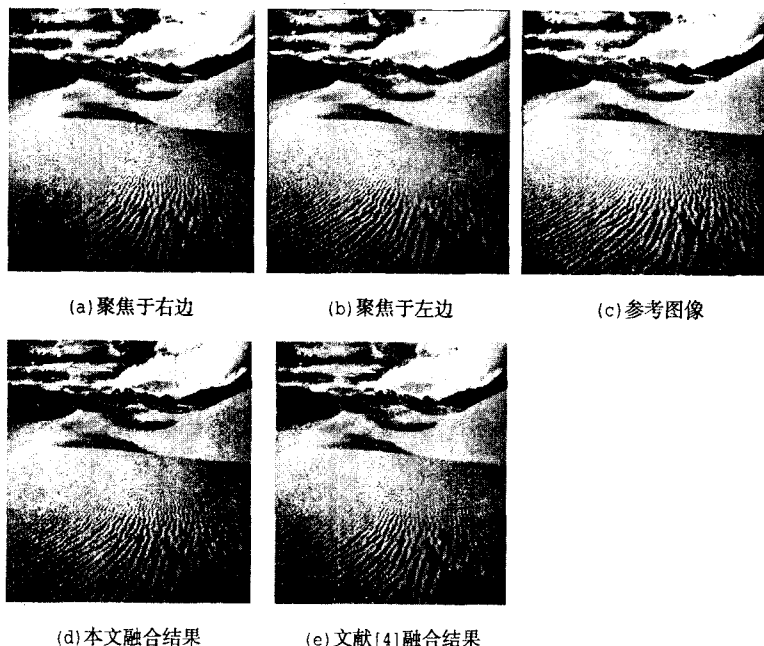


图1 融合结果

表1 两种不同融合算法的客观结果

融合算法	平均梯度	RMSE	熵
文献[5]算法	9.3093	10.8996	16.2844
文中算法	11.9319	1.0707	17.7434

(1) 平均梯度。

平均梯度反映了图像中的微小细节和纹理变换特征,表示图像的清晰度,平均梯度越大,则图像越清晰,

其计算公式为:

$$G = \frac{1}{M * N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [\Delta_x F^2(x, y) + \Delta_y F^2(x, y)]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

(2) 均方根误差。

均方根误差 RMSE(Root Mean Square Error) 反映了两幅图像间的差别,即融合后图像和参考的标准图像间的差别。均方根误差越小,则融合后的图像效果越好。其计算公式为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (F'(x, y) - F(x, y))^2}{M * N}} \quad (13)$$

(3) 熵。

图像的熵用来衡量图像信息的丰富程度,通过对图像信息熵的比较可以对比图像的细节表现能力。熵值越大,则图像中携带的信息量也越大。其计算公式为

$$E = - \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N p(x, y) * \log_2 p(x, y) \quad (14)$$

其中 $p(x, y)$ 为点 $F(x, y)$ 的概率。

从融合结果图1和表1可看出,使用文中的方法所得到的融合图像的均方根误差要比利用文献[5]中

得到的融合图像的均方根误差小很多,这充分说明该文的融合方法更多地保留了输入图像中的清晰部分,融合结果更接近给定的参考图像。同时,实验中得到的融合图像平均梯度要比文献[5]所得到的融合图像的平均梯度大,这也说明了利用文中方法得到的融合图像清晰度更高,细节内容更加丰富。文中实验所得的熵也大于文献[5]所得的熵,说明文中的融合算法包含了更多的源图像信息。

4 结束语

文中在图像的融合过程中主要考虑了改进的图像空间频率对融合规则的影响。图像的空间频率越大,图像越清晰,空间频率越小,图像越模糊^[8]。这种现象也反应在图像经过小波变换后所得的系数上。也因为小波变换是图像分析中的重要方法,所以文中的融合算法主要考虑把小波系数上的空间频率作为关键的图像融合因子。

不管从主观角度还是客观标准都不难看出,文中的融合算法效果更好,也更好地保留了源图像中清晰部分的信息。

(下转第62页)

褐为主色,配以协调的混合色彩,可绘制出具有唐三彩韵味的广义 M-J 集图案。

4 实际设计效果展示

采用以上的自动配色方案可以为指定的广义 M-J 集图案提供合适的配色方案,以生成适合网页、宣传册、产品包装等应用的实用性较强的图片,并且生成最后设计方案(见图 3)。

这里将给出几个设计实例。图 3(a)是原始的广义 M-J 集图案。可以看到其图案构思奇特,但颜色绚丽杂乱。图 3(b)是采用中国传统艺术中的青花瓷配色方案,以浅蓝、黑蓝、青翠为主色调,利用自动配色方案生成结果的对比。生成的图片可用于青花瓷艺术中。图 3(c)是采用唐三彩的一种配色方案,以黄、绿、褐为主色调生成的结果。

5 结束语

文中介绍的自动配色方案可以根据用户给出的一个输入图片和指定的颜色偏好,生成与需求协调的配色方案,并依据色彩构成理论将配色方案应用到给定的布局上得到最终的设计方案。虽然在光度学、视觉心理学、视觉生理学的发展下,颜色视觉有了很大的进步,但仍是一个充满未知的领域,颜色协调也仍是充满了神秘感。计算机辅助颜色设计还有很多需要解决的问题,如根据应用的不同提供严肃的、活泼的等不同的风格等。以更加准确详细地描述用户的设计需求,从而进一步提高自动配色方案的实用性。

参考文献:

- [1] Peitgen H O, Richter P H. The Beauty of Fractals[M]. Berlin:Springer-Varlag, 1986.

(上接第 58 页)

参考文献:

- [1] LI Xu, ROUX M, HE Mingyi, et al. A New Method of Image Fusion Based on Redundant Wavelet Transform[M]. [s. l.]:Institution of Engineering and Technology, 2008: 12-16.
- [2] 闫敬文. 数字图像处理(MATLAB 版)[M]. 北京:国防工业出版社, 2007:181-184.
- [3] Borwonwatanadelok P, Rattanapitak W, Udomhunsakul S. Multi-Focus Image Fusion based on Stationary Wavelet Transform and Extended Spatial Frequency Measurement[C]//International Conference on Electronic Computer Technology. [s. l.]:IEEE computer society, 2009:78-79.
- [4] Song Yu, Li Mantian, Li Qingling, et al. A new Wavelet

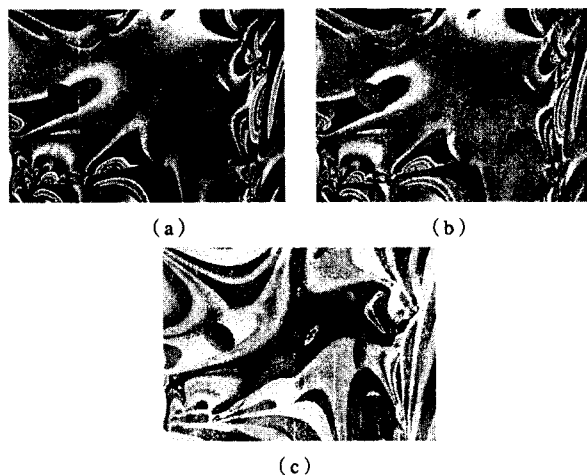


图 3 最终效果展示

- [2] 王兴元,黄 丽. 广义 Mandelbrot-Julia 集的内部结构[J]. 工程图学学报, 2005, 26(5): 98-103.
- [3] 张宪荣, 张 萱. 设计色彩学[M]. 北京:化学工业出版社, 2003.
- [4] Tokumaru M, Muranaka N, Imanishi S. Color design support system considering color harmony[C]// In: IEEE, ed. Proc. of the 2002 IEEE Int' l Conf. on Fuzzy Systems. Honolulu: IEEE Press, 2002:378-383.
- [5] 齐亚峰,孙济洲,商 毅. 中国水墨画的基本艺术特征及其计算机仿真实现[J]. 中国图像图形学报, 2003, 8(5):562-566.
- [6] 李莉婷. 色彩·构成·设计[M]. 合肥:安徽美术出版社, 1999.
- [7] Ren Qi, XU Ying-Qing, Zhuang Yue-Ting, et al. Auto-Color: An Automatic Color Scheme Generating and Authoring System[J]. Journal of Software, 2005, 16(5):691-699.
- [8] Wu X L. Color quantization by dynamic programming and principal analysis[J]. ACM Trans. on Graphics, 1992, 11(4): 348-372.

Based Multi-focus Image Fusion Scheme and Its Application on Optical Microscopy[C]//Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Kunming, China:[s. n.], 2006:401-404.

- [5] 於时才,吕艳琼. 一种基于小波变换的图像融合新算法[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(1):390-391.
- [6] Lu Yinghua, Feng Xue, Zhang Jingbo, et al. A Multi-focus Image Fusion Based on Wavelet and Region Detection[C]//EUROCOM2007. The International Conference on "Computer as a Tool". Warsaw:[s. n.], 2007:294-297.
- [7] 张素兰,王 铮. 基于区域锐度的多聚焦图像融合[J]. 计算机工程, 2009, 35(4):221-222.
- [8] 龙 燕,姜 威. 基于改进的空域相关的多聚焦图像融合[J]. 光学技术, 2008, 34(3):431-433.