

基于小波变换的多聚焦图像融合方法研究

蔡植善^{1,2} 陈木生^{1,2}

¹泉州师范学院物理与信息工程学院, 福建 泉州 362000

²信息功能材料福建省高校重点实验室, 福建 泉州 362000

摘要 基于小波变换的多聚焦图像融合中,融合方法、小波基和小波分解层数的选取是关键技术。研究一种基于区域能量的多聚焦图像融合方法,分析比较小波基、小波分解层数对图像融合结果的影响,利用熵、峰值信噪比、空间频率对融合图像进行评价。结果表明:提出的融合方法能够得到较好的效果,采用 bior2.2 小波基、分解层数为 4~6 时得到较好的融合效果,该结果能为实际应用中小波参数的选择提供参考。

关键词 图像处理;小波变换;图像融合;多聚焦图像;小波基;分解层数

中图分类号 TP391

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP52.091003

Study on Multi-Focus Image Fusion Method Based on Wavelet Transform

Cai Zhishan^{1,2} Chen Musheng^{1,2}

¹College of physics and information engineering, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000, China

²Key Laboratory of Information Functional Material for Fujian Higher Education, Quanzhou, Fujian 362000, China

Abstract Wavelet fusion method, wavelet basis and decompose levels play an important role in the fusion algorithm of multi-focus images based on wavelet transform. A new image fusion method based on local wavelet energy is proposed, some wavelet types and levels are analyzed and compared. The fusion parameters such as entropy, peak signal noise rate and spatial frequency are used to evaluate the fusion results. The results show that the new fusion method can get a better fusion results, bior2.2 wavelet basis and 4~6 levels are the best in image fusion, which provides some recommendation for wavelet basis selection.

Key words image processing; wavelet transform; image fusion; multi-focus image; wavelet basis; decompose levels

OCIS codes 100.7410; 110.4155; 100.2960; 100.3010; 100.2000

1 引言

多聚焦图像融合是将两幅或多幅不同聚焦的图像进行融合处理,将多幅图像中清晰部分集中于一幅图像中,从而克服单一图像的不足,使融合图像更有利于人眼的识别和计算机的分析处理,目前被应用于医疗诊断、遥感、目标识别等领域^[1-4]。由于小波变换具有较好的紧支性、正交性和对称性,相对于主成分分析(PCA)变换、拉普拉斯金字塔等方法具有较好的时频特性,因而在图像融合中具有更为广泛的应用,是近年来的一个研究热点^[5-8]。虽然基于小波变换的图像融合方法能够取得较好的融合结果,但对于不同图像的融合中,所选取的图像融合方法、小波基和小波分解层数对融合结果有很大的影响^[9-10]。

针对多聚焦图像小波分解后的特点,本文采用基于区域小波能量的方法进行融合处理,利用信息熵、峰值信噪比(PSNR)和空间频率进行评价,并且对不同小波基和不同分解层数下的图像融合结果进行了分析和讨论,得到了相应的结果。

2 基于小波变换的图像融合原理

对二维图像进行 J 层的小波分解,可得 $3J+1$ 个不同的频带,其中包含 $3J$ 个高频带和一个低频带。并且

收稿日期: 2015-02-15; 收到修改稿日期: 2015-03-15; 网络出版日期: 2015-07-16

基金项目: 福建省科技厅重点项目(2013H0041)、泉州市科技局重点项目(2012Z108)、校重点学科资助

作者简介: 蔡植善(1963—),男,副教授,主要从事物联网、电子电路系统、信号处理和图像融合处理方面的研究。

E-mail: 561390880@qq.com.

能量主要集中于低频部分,而高频部分代表了图像的细节信息。下面以两幅图像的融合为例,说明基于小波变换的图像融合原理^[8-11]。

如图1所示,对源图像1和源图像2进行小波分解,即用低通滤波器L和高通滤波器H分别对两源图像的水平方向和垂直方向进行滤波,使源图像分解为水平低频垂直低频(LL)、水平低频垂直高频(LH)、水平高频垂直低频(HL)、水平高频垂直高频(HH)的4个子图像,再根据需要利用低通滤波器L和高通滤波器H对LL子图像重复上面的过程,这样就建立各图像的小波塔形分解。接着对分解后的低频子图像和高频子图像根据需要进行融合处理,得到融合后的小波金字塔。最后对融合后的小波金字塔进行小波逆变换,即可得到融合结果。

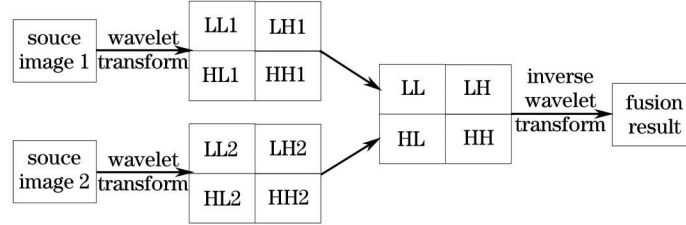


图1 基于小波变换的图像融合原理

Fig.1 Principle of image fusion based on wavelet transform

3 融合方法

3.1 融合算法

在图像融合的过程中,融合方法的选择对融合结果的影响很大,这也是图像融合至今还没很好解决的难点问题。对于模糊程度不同的图像,经小波分解为低频子图像和高频子图像后,低频子图像的系数值比较接近;高频子图像的系数相差较大,即图像越清晰对应的高频小波系数值越大^[7]。针对这些特点,研究一种基于小波变换和区域能量的图像融合方法,该方法表述如下:

1) 对多聚焦图像 A 、 B 分别进行小波变换,分解层数为 J , 可得到一个低频系数和 $3J$ 个高频系数:

$$A(x, y) = L_j^A(x, y) + \sum_{j=1}^J H_{j,r}^A(x, y), \quad (1)$$

$$B(x, y) = L_j^B(x, y) + \sum_{j=1}^J H_{j,r}^B(x, y), \quad (2)$$

其中上标表示不同的图像,下标 j 代表小波分解层数, r 代表 h, v, d 三分量。

2) 低频子带的融合算法

(a) 计算与低频子带相对应的高频子带的区域总能量之比,区域的大小为 3×3 :

$$H_j^A(x, y) = |H_{j,h}^A(x, y)| + |H_{j,v}^A(x, y)| + |H_{j,d}^A(x, y)|, \quad (3)$$

$$H_j^B(x, y) = |H_{j,h}^B(x, y)| + |H_{j,v}^B(x, y)| + |H_{j,d}^B(x, y)|, \quad (4)$$

$$\alpha(x, y) = \frac{\sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 H_j^A(x+m, y+n)}{\sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 H_j^A(x+m, y+n) + \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 H_j^B(x+m, y+n)}. \quad (5)$$

(b) 对低频子带进行融合处理

$$L_j^F(x, y) = \alpha(x, y)L_j^A(x, y) + [1 - \alpha(x, y)]L_j^B(x, y). \quad (6)$$

3) 分解层数为 j , 方向为 r 的各个高频子带的融合方法如下:

(a) 计算两图像高频分量各点特征区域能量 $E_{j,r}^A(x, y)$ 、 $E_{j,r}^B(x, y)$, 区域大小为 3×3 :

$$E_{j,r}^A(x, y) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 |H_{j,r}^A(x+m, y+n) \times w|, \quad (7)$$

$$E_{j,r}^B(x, y) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 |H_{j,r}^B(x+m, y+n) \times w|, \quad (8)$$

$$w = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

(b) 对高频子带进行融合处理

$$H_{j,r}^F(x,y) = \begin{cases} H_{j,r}^A(x,y) & E_{j,r}^A(x,y) > E_{j,r}^B(x,y) \\ H_{j,r}^B(x,y) & \text{else} \end{cases}. \quad (10)$$

4) 对融合的小波系数进行逆变换, 获得融合图像。

3.2 融合结果

为了验证本方法的有效性, 对两幅多聚焦图像进行融合处理, 融合结果如图2所示, 从图中可以看出, 本方法能够得到较好的融合效果, 图像中清晰部分也集中在纹理细节较为丰富的区域。

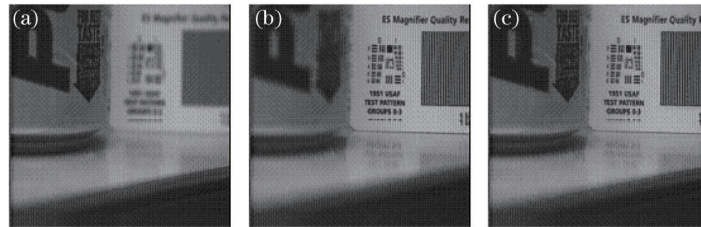


图2 图像融合结果。(a) 左聚焦; (b) 右聚焦; (c) 融合结果

Fig.2 Results of image fusion. (a) Left focus; (b) right focus; (c) fusion result

4 小波基和分解层数对图像融合结果的影响

基于小波变换的图像融合方法中, 选取的小波基和分解层数对图像融合结果也有较大的影响, 因而分析讨论了这两个参数对图像融合结果的影响, 利用熵、峰值信噪比和空间频率对融合结果进行评价。具体的实验方法是: 1) 在已确定的融合程序中修改相对应的参数, 分别用 db2, bior2.2, coif2, haar, sym 等小波对在相同的分解层数下对图像进行融合, 观察和记录融合后的结果; 2) 在同一个小波函数中分别改变图像的分解层数并记录相应的结果, 结果如图3、图4和图5所示。

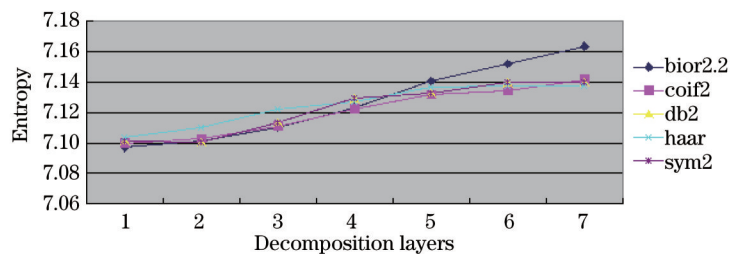


图3 不同小波基和分解层数的熵值

Fig.3 Entropy of different decomposition basis and layers

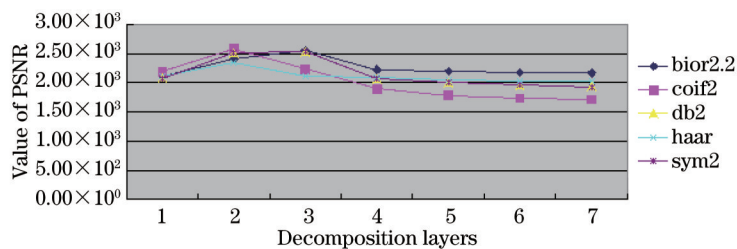


图4 不同小波基和分解层数的峰值信噪比

Fig.4 PSNR of different decomposition basis and layers

从图3熵值中可以看出, bior2.2和coif2随着分解层数的增加, 熵值越高, 即图像的效果越好。db2和sym2在分解层数达到7层的时候图像的熵达到最佳值, 继续分解下去图像的熵值基本保持不变, 图像质量的效果达到稳定值。而haar小波所分解融合的图像在第6层达到一个最佳值, 更多的分解层数的图像质量趋于稳定。从图4峰值信噪比的实验中, bior2.2在分解层数在3层, coif2在分解层数在2层, haar小波

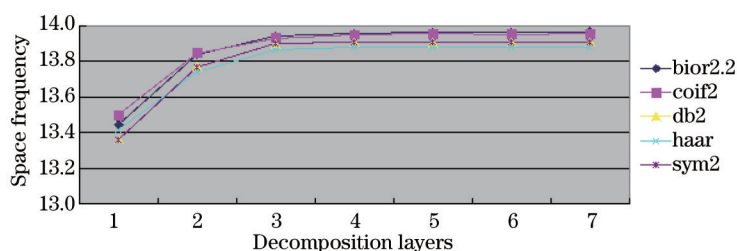


图5 不同小波基和分解层数的空间频率

Fig.5 Space frequency of different decomposition basis and layers

在分解层数2层时,图像的融合质量达到最佳值。db2在图像3层时图像的融合质量达到最佳。Sym2小波在图像融合的3层达到一个较为高质量的状态。从图5空间频率的实验结果中,实验数据表明db2和sym2在4层以后空间频率的值达到稳定,bior2.2和coif2在5层达到一个稳定的值,haar小波在4层分解层数达到稳定值。当达到稳定值后,随着分解层数的增加,空间频率基本不变。综合上面的结果可以看出,在图像融合中,利用bior2.2小波在融合层数4~6之间时,可以得到较好的融合效果。

5 结 论

研究一种基于区域能量的图像融合方法,对于低频采用与相对应高频区域总能量相关的方法,能够更好地保留图像的边缘信息;高频部分采用区域能量的自适应图像融合方法。最后分析了小波基、小波分解层数对图像融合结果的影响,并利用熵、峰值信噪比和空间频率进行评价。结果表明该融合方法是有效的,bior2.2小波在融合层数4~6之间时,可以得到较好的融合效果。

参 考 文 献

- Lu Huimin, Xu Ming, Li Xun. Image deblurring with adaptive signal-Noise ratio estimation for computational imaging system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2014, 34(8): 0810002.
卢惠民, 徐明, 李迅. 用于计算成像系统的基于信噪比自适应估计的图像去模糊研究[J]. *光学学报*, 2014, 34(8): 0810002.
- Yang Xuye, Li Xuwei, Zhang Libao. Saliency region detection of remote sensing image based on multi-scale frequency analyses[J]. *Acta Optica Sinica*, 2014, 34(s1): s110002.
杨绪业, 李雪薇, 张立保. 基于多尺度频域分析的遥感图像视觉显著区域检测[J]. *光学学报*, 2014, 34(s1): s110002.
- Zhou Yuren, Geng Aihui, Wang Ying, *et al.*. Contrast enhanced fusion of infrared and visible images[J]. *Chinese J Lasers*, 2014, 41(9): 0909001.
周渝人, 耿爱辉, 王莹, 等. 基于对比度增强的红外与可见光图像融合[J]. *中国激光*, 2014, 41(9): 0909001.
- Huang Sijie, Chen Fansheng, Liao Xingxing. A high dynamic range fusion method based on multi-exposure imaging[J]. *Chinese J Lasers*, 2014, 41(s1): s109009.
黄思婕, 陈凡胜, 廖星星. 一种基于多次曝光的大动态范围图像融合方法[J]. *中国激光*, 2014, 41(s1): s109009.
- Cheng Gong, Guo Lei, Zhao Tianyun, *et al.*. Multi-focus image fusion method based on wavelet transform[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2012, 48(1): 194-198.
程 焱, 郭雷, 赵天云, 等. 一种基于小波变换的多聚焦图像融合方法[J]. *计算机工程与应用*, 2012, 48(1): 194-198.
- Li Min. Multi-focus image fusion based on morphological Haar wavelet transform[J]. *Computer Engineering*, 2012, 38(12): 211-215.
李敏. 基于形态Haar小波变换的多聚焦图像融合[J]. *计算机工程*, 2012, 38(12): 211-215.
- Wang Yuanjun, Jiang Boyu, Jin Zhenyi, *et al.*. Review of medical image fusion method based on wavelet transform[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2013, 30(6): 4530-4538.
王远军, 姜博宇, 靳珍怡, 等. 基于小波变换的医学图像融合方法综述[J]. *中国医学物理学杂志*, 2013, 30(6): 4530-4538.
- Dong Zhangyu, Zhao Ping, Liu Dianwei, *et al.*. An improved wavelet transformation image fusion method and evaluation of its fusion result[J]. *Remote Sensing For Land & Resources*, 2012, 24(3): 44-50.
董张玉, 赵萍, 刘殿伟, 等. 一种改进的小波变换融合方法及其效果评价[J]. *国土资源遥感*, 2012, 23(3): 44-50.
- Gong Jianzhou, Liu Yansui, Xia Beicheng, *et al.*. Effect of wavelet basis and decomposition levels on performance of

fusion images from remotely sensed data[J]. Geography and Geo-Information Science, 2010, 26(2): 6-10.

龚建周, 刘彦随, 夏北成, 等. 小波基及其参数对遥感影像融合图像质量的影响[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(2): 6-10.

- 10 Sun Yuqiu, Feng Xiaoqiang, Wang Rong. Impact of wavelet basis multi-focus image fusion effect[J]. Journal of Yangtze University(Nat Sci Edit)Sci&Eng, 2012, 9(1): 98-103.

孙玉秋, 冯小强, 王 蓉. 小波基对多聚焦图像融合效果的影响[J]. 长江大学学报(自然科学版)理工, 2012, 9(1): 98-103.

- 11 Chen Musheng. Image fusion algorithm for visual and infrared image based on local energy ratio[J]. Infrared Technology, 2008, 30(4): 221-225.

陈木生. 基于区域能量比的红外与可见光图像融合方法[J]. 红外技术, 2008, 30(4): 221-225.

栏目编辑: 韩 峰