

基于 Q-Shift DT-CWT 的多聚焦图像融合研究

徐月美^{1,2}, 张 虹¹, 张凤云²

(1 中国矿业大学 环测学院, 江苏 徐州 221116; 2 中国矿业大学 计算机学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要: 提出了一种基于 Q-Shift 双树复小波变换的多聚焦图像融合算法. 根据多聚焦图像的成像特点和变换后的高低频系数相关性, 对高频系数采用“模值绝对值和取大”和对低频系数采用“局部区域标准方差取大”的融合准则, 并对高频融合系数进行一致性检测, 以实现尽可能直接选择源图像中的清晰区域系数作为融合图像对应位置的系数. 实验结果表明, 该融合方法获得了很好的融合效果, 与小波变换相比, 充分显示了近似的平移不变性和良好方向选择性等特性.

关键词: Q-Shift 双树复小波变换; 多聚焦图像融合; 模值绝对值和; 局部区域标准方差

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)09-0206-04

Multifocus Image Fusion Method Based on Q-Shift DT-CWT

XU Yue-mei^{1,2}, ZHANG Hong¹, ZHANG Feng-yun²

(1 School of Environment Science and Spatial Information,

China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2 School of Computer Science and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: The paper proposes a multifocus image fusion method which is based on the Q-Shift dual-tree complex wavelet transform. The low frequency coefficients and high frequency coefficients were fused with local area standard deviation maximum selectivity and module absolute value sum maximum selectivity according to the multifocus imaging features and the correlation of low frequency coefficients and high frequency coefficient. Then it is important to verify consistency of the fused high frequency coefficients. The ideal fused image is to directly use the vivid area coefficients of the source image as the coefficients of the fused image. Experience results show that the paper's image fusion method has a better quality, and it shows the approximate shift invariant and good directional selectivity of Q-Shift DT-CWT comparing to the wavelet transform.

Key words: Q-Shift dual-tree complex wavelet transform (Q-Shift DT-CWT); multifocus image fusion; module absolute value sum; local area standard deviation

1 引言

随着小波变换不断的研究和发展, 其多尺度分解的思想在图像融合中得到了较好的应用, 然而在越来越多的应用过程中, 小波变换的缺陷不断表现出来, 主要体现在: 不具有平移不变性和较少的方向选择性(三个方向: 水平、垂直和对角)等方面. 这些缺陷影响了融合图像的质量, 尤其是对没有完全配准的图像进行融合比较不利. 要实现平移不变性, 可以在小波分解时不进行下采样, 但这样会引起计算

量的增大, 且输出信息中有很大大冗余. 为了解决小波变换的缺陷, 使之具有平移不变性和多方向的选择性, 将双树复小波变换运用于图像融合中. 文中针对双树复小波变换的优点和缺点, 研究基于 Q-Shift 双树复小波变换的图像融合, 并根据多聚焦图像的特点, 提出相应的融合算法.

2 双树复小波变换原理

双数复小波变换 (Dual-Tree Complex Wavelet

Transform, DT-CWT)^[1-4] 不仅保持了传统小波变换的时频局部化的分析能力,还具有以下特点:近似平移不变性、良好方向选择性、有限数据冗余、高效计算效率、较好重构效果. 它采用了二叉树结构的两棵离散小波树(a和b),并行实现变换的实部和虚部运算,两棵树分别作用于图像的行和列产生双树结构. 一维信号的双树复小波分解的示意图如图1所示. 其中,树a和树b的滤波器组分别表示变换的实部和虚部,↓2表示隔点下采样.

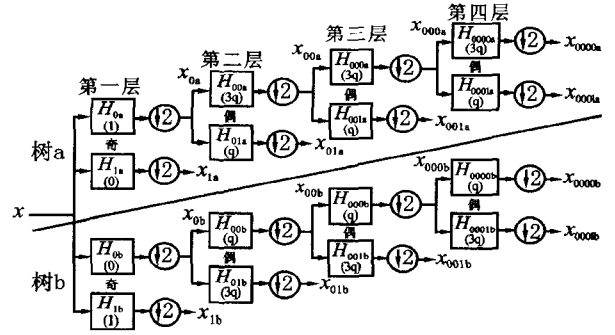


图2 一维信号 Q-Shift 双树复小波分解示意图

完全重构的合成滤波器就可能设计成正交的,两棵树使用的重构滤波器与分解滤波器可以设计成仅时间相反. 因此,高层使用的所有滤波器都是由同一个正交原型序列派生得到的.

3.2 基于 Q-Shift DT-CWT 的图像融合过程

基于 Q-Shift DT-CWT 的图像融合算法具体有下面三个步骤^[8-10]:

(1) 对源图像 A 和 B 分别进行 Q-Shift DT-CWT 变换,得到图像的多个分解子图像,即低频子图像 L_A, L_B 和一系列高频子图像 $H_{A,i}, H_{B,i}$ (j 为分解的层数, i 为每一层的 6 个方向子带);

(2) 对各个子图像分别采用不同的融合规则进行融合处理,得到融合后的多个 Q-Shift DT-CWT 子图像;

(3) 对每个融合后 Q-Shift DT-CWT 系数进行逆 Q-Shift DT-CWT 变换,就得到融合图像 F.

4 基于 Q-Shift DT-CWT 的多聚焦图像融合准则

多聚焦图像,是指当光学传感器(如数码相机)在拍摄某一场景中的两个或两个以上景物时,分别聚焦到各个景物,经过多次拍摄,就得到了多幅图像^[11]. 对于多聚焦图像,由于它本身具有明显的清晰区域和明显的模糊区域,即在融合图像中的任何一区域都可以在源图像 A 或 B(以两幅图像为例)的对应位置找到它的清晰图像,因此在融合图像中可以用源图像的清晰图像来表示,从而提高整幅融合图像的质量. 由光学系统成像的原理可知,清晰图像的高频分量远大于模糊图像的高频分量,而清晰图像的低频系数不小于模糊图像的低频系数^[12],因此在融合规则方面采用“选择取大”的方法,即直接选择源图像中的清晰区域系数作为融合图像对应位置的系数.

对源图像进行 Q-Shift 双树复小波变换后,每

图1 一维信号双树复小波分解

为了实现双树复小波变换更好的平移不变性,滤波器之间的延迟应满足一个采样样值的间隔. 对第一层分解容易实现,只要延迟一个采样周期即可. 但是对高层分解,分别采用奇数长度的滤波器和偶数长度的滤波器轮流交替的滤波算法还存在一些不足:滤波器组必须双正交;结构不是很对称;两棵树的频率响应还有一些不同.

3 Q-Shift 双树复小波变换

3.1 Q-Shift 双树复小波变换原理

Q-Shift(Quarter Sample Shift)双树复小波变换(Q-Shift DT-CWT)^[5-7],即四分之一采样平移双树复小波变换,是 Kingsbury 为解决双树复小波变换中“结构不是很对称、两棵树的频率响应有一些不同”等问题而提出的改进. 一维信号的 Q-Shift 双树复小波分解示意图如图2所示.

Q-Shift DT-CWT 的原理是:Q-Shift 双树复小波变换使用两个系列的滤波器组分别对各层进行滤波,其中第一层分解使用的滤波器组与原始双树复数小波分解第一层使用的相同,而对于高层使用群延迟近似 $1/4$ 采样(图2中用 q 表示)的滤波器组,故称之为 Q-Shift 双树复小波. 将树 a 和树 b 使用的滤波器的时间设计为相反,由此就能保证两棵树相对于各自采样速率二分之一一个采样间隔($2q$)的延迟. 而且,由于不再要求滤波器系数对称,所以保证

层将得到 2 个低频子带和 6 个方向的高频子带. 对低频子带采用“局部区域标准方差^[12]取大”的融合准则, 对高频子带采用“模值^[13]绝对值和取大”的融合准则.

4.1 低频子带系数

对于低频子带系数在许多文献中往往采用简单的平均法或加权平均. 对低频系数直接采用平均法能够有效地抑制图像中的噪声, 但在一定程度上也降低了图像的对比度, 从而使得原图像中的一些有用信息丢失^[14]. 因此正确选择低频子带系数能够很好地提高图像的视觉效果. 在本研究中采用“局部区域标准方差取大”的准则来确定融合图像的低频子带系数.

定义低频子带系数 $L_A(k_1, k_2)$ 和 $L_B(k_1, k_2)$ 的局部区域标准方差为 $STD^A(k_1, k_2)$ 和 $STD^B(k_1, k_2)$, 如下:

$$STD^A(k_1, k_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} \sum_{j=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} [L_A(k_1 + i, k_2 + j) - \bar{L}_A(k_1, k_2)]^2}{N \times M}} \quad (1)$$

类似地可以定义 $STD^B(k_1, k_2)$, 其中 $N \times M$ 是 $3 \times 3, 5 \times 5$ 等大小的区域, $\bar{L}_A(k_1, k_2)$ 为局部区域均值. 其融合图像低频系数 $L_F(k_1, k_2)$ 的选择准则为:

$$L_F(k_1, k_2) = \begin{cases} L_A(k_1, k_2) & STD^A \geq STD^B \\ L_B(k_1, k_2) & STD^A < STD^B \end{cases} \quad (2)$$

4.2 高频子带系数

由于经过 Q-Shift 双树复小波变换后的高频系数是复数, 并且变换后的每一层有 6 个方向的子带系数, 因此先计算某一层 6 个方向子带系数模值的绝对值和 SUM^A 和 SUM^B .

$$SUM_i^A(k_1, k_2) = \sum_{i=1}^6 |H_{A,i}^*(k_1, k_2)| \quad (3)$$

$$SUM_i^B(k_1, k_2) = \sum_{i=1}^6 |H_{B,i}^*(k_1, k_2)| \quad (4)$$

其融合图像高频各层各方向系数的选择准则为:

$$H_{F,i}^*(k_1, k_2) = \begin{cases} H_{A,i}^*(k_1, k_2) & SUM_i^A(k_1, k_2) \geq SUM_i^B(k_1, k_2) \\ H_{B,i}^*(k_1, k_2) & SUM_i^A(k_1, k_2) < SUM_i^B(k_1, k_2) \end{cases} \quad (5)$$

4.3 一致性检测

源图像 A 和 B 经过 Q-Shift 双树复小波变换

后, 运用 4.1 和 4.2 节中的低频和高频融合准则进行融合, 再对其进行逆变换, 就得到了融合图像 F. 在多聚焦图像中清晰区域一般是连通的区域, 如果某像素为清晰度高的像素, 那么与其相邻的其他像素也很可能属于清晰区域, 所以非常有必要根据这一特点对融合后的图像进行一致性检验. 如果融合后的像素是来自于图像 A 的像素, 而其相邻像素 (以当前待检验像素为中心的矩形窗口区域, 如 3×3) 大多数来自于图像 B 的像素, 那么就将该融合后的像素改为取自于图像 B 的像素, 反之亦然. 所以, 要对融合后的变换系数进行一致性检测, 以提高图像的融合质量.

5 融合实验和结果分析

为了验证文中方法的有效性, 对多组源图像进行了融合实验, 均得到了非常理想的融合效果. 列出一组进行分析, 如图 3 所示.

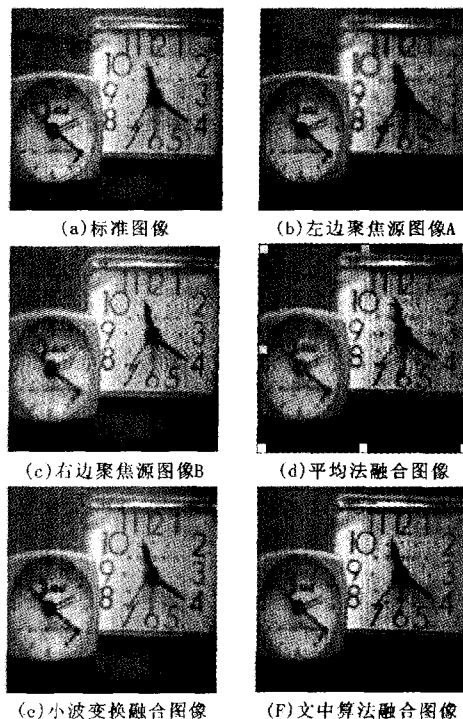


图 3 实验结果

从主观上分析, 在图 3 的实验结果中可以看出: 平均法融合图像的效果整体比较模糊, 对比度相对较低; 小波变换融合图像的数字边缘出现“伪影”现象; 文中算法融合图像的融合效果比较理想, 融合质量有了明显改善, 比较接近标准图像.

在实际应用中, 由于理想融合图像通常是未知的, 因此对于融合结果的量化评估是一个较为复杂的问题. 实验采用融合图像与标准图像之间的均方

差(RMSE)^[15]与互信息(MI)^[16]作为客观评价标准.其 RMSE 值越小,MI 值越大,则图像的融合质量就越理想. RMSE 和 MI 的定义如公式(6)、(7)所示.融合图像的性能参数如表 1 所示.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [F(i,j) - R(i,j)]^2}$$

(6)

$$MI_{RF} = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} P_{RF}(i,j) \log_2 \frac{P_{RF}(i,j)}{P_F(i)P_R(j)}$$

(7)

表 1 实验结果的性能参数

性能参数	平均法	小波变换	文中算法
RMSE	5.0693	4.1038	0.5637
MI	5.4371	5.9863	6.3146

从表 1 中性能参数值的分析来看,与主观视觉分析相互吻合,可见基于 Q-Shift 双树复小波变换的图像融合方法能够更好地表现图像的细节信息,改善融合质量.

6 结束语

文中将 Q-Shift 双树复小波变换用于多聚焦图像融合中,由于多聚焦图像有明显的清晰区域和明显的模糊区域,在融合图像中可以用源图像的清晰区域表示,从而提高整幅融合图像的质量.基于多聚焦图像的这一特点,在融合规则方面,对变换后的低频子带和高频子带分别采用不同的“选择取大”的融合准则.实验结果表明,文中的融合方法获得了很好的融合效果.

参考文献:

[1] Selesnick I W, Baraniuk R G, Kingsbury N G. The dual-tree complex wavelet transform[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2005, 22(6): 123-151.

[2] Kingsbury N G. The dual-tree complex wavelet transform: a new efficient tool for image restoration and enhancement[J]. Proceedings of European Signal Processing Conference, 1998: 319-322.

[3] Kingsbury N G Shift invariant properties of the Dual-tree Ccomplex Wavelet Tansform[C]// Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech, and Sig-

nal Processing; IEEE, Phoenix, 1999: 16-19.

[4] 张化民,周义明,张莉,等. 基于双变量收缩函数的对偶树复小波图像去噪[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(12): 141-143.

[5] Kingsbury N G. A dual-tree complex wavelet transform with improved orthogonality and symmetry properties[J]. International Conference on Image Processing, 2000(2): 375-378.

[6] Kingsbury N G. Design of Q-Shift complex wavelets for image processing using frequency domain energy minimization[C]// Processings of IEEE International Conference on Image Processing. Barcelona: IEEE, 2003: 1013-1016.

[7] Kingsbury N g. Complex wavelet for translation invariant analysis and filtering of signals[J]. Journal of Applied and computational Harmonic Analysis, 2001, 10(3): 234-253.

[8] 韩崇昭,朱洪验,段战胜. 多元信息融合[M]. 北京:清华大学出版社, 2006.

[9] 李玲玲. 像素层图像融合方法研究与应用[D]. 武汉:华中科技大学, 2005.

[10] 李伟. 像素层图像融合方法及应用研究[D]. 广州:华南理工大学, 2006.

[11] 李勇. 基于多尺度分解的多源图像融合算法研究[D]. 吉林:吉林大学, 2010.

[12] 张强,郭宝龙. 基于非下采样的多聚焦图像融合[J]. 信号处理, 2009, 29(7): 1334-1346.

[13] 孙巍,王珂,袁国良,等. 基于复数小波域的多聚焦图像融合[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(5): 951-957.

[14] 晁锐,张科,李言俊. 一种基于小波变换的图像融合算法[J]. 电子学报, 2004, 32(5): 750-753.

[15] Petrovic V S. Multisensor pixel-level image fusion [J]. A thesis submitted to the University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy, 2001(16): 52-58.

[16] Piella G New quality measures for image fusion[C]// Proceedings of the 7th International Conference on Information Fusion, Stockholm, Sweden: IEEE, 2004: 542-546.

作者简介:

徐月美 女, (1974-), 硕士, 副教授. 研究方向为图像处理、图像融合.