

基于亮度分量的多聚焦彩色图像融合

徐月美^{1,2}, 张 虹¹, 贾 丽³

(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;

3 徐州空军学院 基础部, 江苏 徐州 221000)

摘 要: 针对小波变换在图像融合中的平移变性和有限的方向选择性等缺陷和多聚焦彩色图像融合的复杂性, 将 Q-Shift 双树复小波变换应用于多聚焦彩色图像融合. 首先对 IHS 模型的亮度分量 I 进行 Q-Shift 双树复小波分解, 根据多聚焦图像的成像特点和分解后的高低频系数相关性, 对分解后的高频系数和低频系数采用“选择取大”的融合准则进行融合和逆变换, 得到融合后的亮度分量, 再根据融合前后亮度分量值的接近程度来确定融合后的色调分量和饱和度分量, 从而实现多聚焦彩色图像的融合. 通过对实验评估指标信息熵、平均梯度、方差和相关系数等实验值的比较, 所研究方法的各参数值都得到了很好的体现, 获得了较好的融合效果.

关键词: 小波变换; Q-Shift 双树复小波变换; 多聚焦彩色图像; 图像融合; IHS 模型; 亮度分量

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)04-0173-04

Multi-focus Color Image Fusion Algorithm Based on Intensity

XU Yue-mei^{1,2}, ZHANG Hong¹, JIA Li³

(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;

3 Department of Fundamental Courses, Xuzhou Air Force College, Xuzhou 221000, China)

Abstract: In the paper, the Q-Shift dual-tree complex wavelet transform is applied for the multi-focus color image fusion according to the wavelet transform having some defects of shift-variance and limited orientations in image fusing and to the complexity of multi-focus color image fusion. First, the intensity component of IHS model needs to be decomposed by Q-Shift DT-CWT. Then the low and high frequency coefficients of the intensity componet is gained by the ‘selectivity maximun’ rules according to the multi-focus imaging features and the correlation of low frequency coefficients and high frequency coefficient. And then, it can obtain the fusion intensity component by the inverse transformation. Last, computing the fusion hue component and saturation component by comparing the close degree of the intensity component values before and after fusion and finishing the whole fusion process. By the comparison of evaluation parameters such as entropy, average gradient, variance and correlation coefficient, the experience results show that the parameters value of the studied method obtain good results and the fusion image has a better quality.

Key words: wavelet transform; Q-Shift dual-tree complex wavelet transform(Q-Shift DT-CWT); multi-focus color image; image fusion; IHS; intensity

1 引言

随着小波变换的分解思想在图像融合中得到越来越多的应用,小波变换的平移变性和有限的方向

选择性等缺陷不断突现出来. 这些缺陷直接影响着融合图像的质量,尤其是对没有完全配准和具有一定噪声的图像进行融合非常不利. 为此将具有平移不变性和多方向选择性的 Q-Shift 双树复小波变换

(Dual-Tree Complex Wavelet Transform, DT-CWT)^[1]运用于图像融合. 而彩色图像的融合要比灰度图像复杂得多, 本文针对 Q-Shift 双树复小波变换的优点, 研究用类似于灰度图像的融合方法来解决彩色图像的融合. 近年来, 彩色图像融合方法主要有: 以 RGB 空间模型进行的融合^[2]和以 IHS 或 YUV 空间模型进行的融合^[3]. 由于在 RGB 模型, 需要对 R、G 和 B 三个分量分别处理, 而它们之间又存在较强的相关性, 因此会带来颜色信息的丢失和错乱. 本文针对 IHS 模型中的亮度分量 I 采用 Q-Shift 双树复小波变换方法进行融合, 然后根据亮度分量的融合结果来确定 H 分量和 S 分量的取值, 从而减少算法的计算量, 降低融合图像变色和失真的不确定因素.

2 Q-Shift 双树复小波变换原理

Q-Shift(Quarter Sample Shift)DT-CWT, 即四分之一采样平移的双树复小波变换. 一维信号的 Q-Shift DT-CWT 分解示意图参见文献[4], 它采用两棵二叉树结构的小波树, 并行实现变换的实部和虚部运算, 由此产生双树结构. Q-Shift DT-CWT 的变换原理是: 使用两个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 DT-CWT 相同, 而对于高层使用群延迟近似 1/4 采样(示意图中用 q 表示)的滤波器组, 因此被称之为 Q-Shift 双树复小波. 设计时要求将两树的滤波器时间设为正好相反, 从而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.

二维 Q-Shift 双树复小波变换是在一维 Q-Shift 双树复小波变换基础上进行扩展, 即对图像的行和列分别进行一维 Q-Shift DT-CWT, 通过两棵离散小波树并行实现实部和虚部运算. 图像经 Q-Shift DT-CWT 分解后, 每一级分解均得到两个低频子带 $A_{(j+1,1)}$ 和 $A_{(j+1,2)}$ (低频部分用于产生下一尺度上的低频部分与高频部分) 和 6 个不同方向($\pm 15^\circ$ 、 $\pm 45^\circ$ 、 $\pm 75^\circ$)的高频细节子带 $D_{(j+1,m)}$ ($m=1, \dots, 6$), 其分解示意图参见文献[5]. Q-Shift DT-CWT 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、高效计算效率和较好的重构效果等特点.

3 彩色图像的 IHS 模型和 IHS 变换

3.1 IHS 模型

IHS 模型是从人眼的视觉系统出发, 根据人眼

色彩视觉提出的彩色空间模型. 它用亮度(I)、色调(H)和饱和度(S)来表示物体的颜色, 该颜色模型比 RGB 模型更接近人眼对颜色的感知. 在 IHS 模型中: 亮度是指人眼对光或物体明暗程度的感觉, 对应图像的灰度, 其与颜色信息无关^[6]; 色调是指彩色的类别, 是物体在自然光照射下所反射的各种光谱成份作用于人眼的综合效果; 饱和度是指彩色的纯度, 一般来说颜色越鲜艳, 饱和度也越大, 色调和饱和度与人眼观察颜色方式紧密相关, 合称为色度.

3.2 IHS 变换

从 RGB 模型变换为 IHS 模型称之为 IHS 变换. IHS 变换被广泛应用于彩色图像融合^[6], 一种典型的 IHS 变换如下所示:

$$\begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ -1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{6} & 2/\sqrt{6} \\ 1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{6} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中

$$H = \arctan(V_2/V_1) \quad (2)$$

$$S = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} \quad (3)$$

从 IHS 模型变换为 RGB 模型称之为 IHS 逆变换, 变换公式如下所示:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/\sqrt{6} & 3/\sqrt{6} \\ 1 & -1/\sqrt{6} & -3/\sqrt{6} \\ 1 & 2/\sqrt{6} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中

$$V_1 = S \cdot \cos(H) \quad (5)$$

$$V_2 = S \cdot \sin(H) \quad (6)$$

在变换公式中, R 、 G 和 B 分别是 RGB 模型的三基色, I 是 IHS 模型的亮度分量, 包含彩色图像的亮度信息, V_1 和 V_2 是 IHS 变换的中间变量, 包含图像的彩色信息.

4 基于亮度分量的多聚焦彩色图像融合

类似于灰度图像, 由于聚焦点的不同, 彩色图像中也存在明显的清晰区域和模糊区域. 因此多聚焦的彩色图像同多聚焦的灰度图像的融合目标是一致的, 即提取被融合的各幅彩色图像中清晰区域组合成一幅各处都清晰的彩色图像, 同时尽可能少的引入无用信息.

就多聚焦彩色图像的融合质量而言, 主要有三个方面来决定: 选择何种彩色空间的变换、选择何种多尺度分解方法和采用什么样的融合规则. 本文研究的彩色图像融合方法首先使用 IHS 变换; 由于

IHS变换后的亮度对应于图像的灰度,且与颜色信息无关,因此充分利用双树复小波变换在图像融合中的优势,对亮度分量 I 进行双树复小波分解,再根据分解后 I 分量的值来确定 H 分量和 S 分量的值;根据光学成像原理,清晰图像 I 分量的高频系数远大于模糊图像 I 分量的高频系数,而清晰图像 I 分量的低频系数不小于模糊图像 I 分量的低频系数^[7],因此融合规则采用“选择取大”.具体的融合步骤如下:

Step1:取经过严格配准的多聚焦彩色源图像A和B;

Step2:根据式(1)~(3)计算多聚焦彩色源图像A和B对应的亮度分量 I_A 、 I_B ,色调分量 H_A 、 H_B ,饱和度分量 S_A 、 S_B ;

Step3:使用双树复小波变换对亮度分量 I_A 、 I_B 进行3层分解,得到一系列的高频系数和低频系数;然后对高频系数和低频系数分别采用“模值绝对值和取大”和“局部区域标准方差取大”的融合方法^[8],得到融合图像的亮度分量 I_F 的高频系数和低频系数,并进行一致性检测和调整;最后经过Q-Shift DT-CWT逆变换得到待融合彩色图像的亮度分量 I_F ;

Step4:根据融合后的亮度分量 I_F 与 I_A 和 I_B 的接近程度来决定融合图像的色调分量 H_F 和饱和度分量 S_F ;具体方法如下:

$$H_F = \begin{cases} H_A & \text{if } |I_F - I_A| \leq |I_F - I_B| \\ H_B & \text{if } |I_F - I_B| < |I_F - I_A| \end{cases} \quad (7)$$

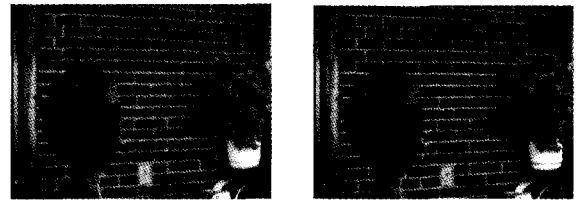
$$S_F = \begin{cases} S_A & \text{if } |I_F - I_A| \leq |I_F - I_B| \\ S_B & \text{if } |I_F - I_B| < |I_F - I_A| \end{cases} \quad (8)$$

由此可以确保融合后彩色图像中的各部分 I 、 H 和 S 三分量取自同一个源图像.

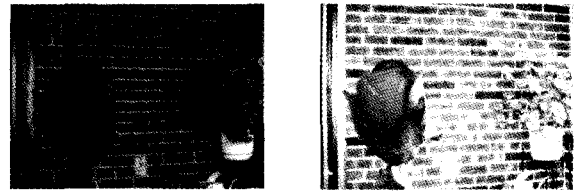
Step5:根据式(4)~(6)对Step4中计算得到的 I_F 、 H_F 和 S_F 进行IHS逆变换,得到RGB模型对应的 R 、 G 和 B 分量,从而完成多聚焦彩色图像的融合.

5 融合实验和结果分析

为了验证本文所研究融合过程的有效性,对多组源图像进行了融合实验,都得到了很好的融合效果.本文列出一组进行分析和比较,如图1所示.其中:文献[9]采用RGB空间和小波变换进行融合;文献[2]采用RGB空间和双树复小波变换进行融合;文献[10]采用IHS空间和小波变换进行融合.



(a)左边聚焦彩色源图像A (b)右边聚焦彩色源图像B



(c)文献[9]融合结果

(d)文献[2]融合结果



(e)文献[10]融合结果

(f)本文的融合结果

图1 Flower图像的融合结果

从主观上来分析:文献[9]的融合结果,看上去整体稍有模糊,颜色有一定的失真;文献[2]的融合结果,颜色失真现象非常严重,整体有一定的模糊;文献[10]的融合结果在颜色的鲜亮程度和清晰度上都有了很大的改善,但是交界区域还存在轻微的块状效应(由于图比较小,其块状不是很明显).本文算法的融合结果较好的解决了融合图像的亮度和色度,其融合效果都优于前三种融合方法.

就客观评价而言:采用信息熵 E (是衡量图像信息丰富程度的一个重要指标,为图像的平均信息量)、平均梯度 AG (反映图像的微小细节反差表达能力、纹理变化特征和图像的清晰度)、方差 σ^2 (是衡量图像中灰度级的分布)和相关系数 C (反映两幅图像的相关程度,也可表示光谱信息的改变程度)^[11];由于彩色图像在保存时是保存的每个像素对应的 R 、 G 和 B 三个分量的值,因此对融合图像的客观评价取每个像素 R 、 G 和 B 三分量的平均值.根据各参数的含义可知:信息熵 E 值越大、平均梯度 AG 值越大、方差 σ^2 越大、相关系数 C 越大,则融合图像包含的有用信息量就越大、图像就越清晰,融合的效果就越好.图1中的性能参数表如表1所示.

表 1 Flower 图像融合结果性能参数表

性能参数	文献[9]	文献[2]	文献[10]	本文算法
E	7.015 9	7.125 1	7.283 5	7.342 8
AG	11.185 2	11.371 6	13.867 3	14.210 3
σ^2	0.256 3	0.258 4	0.265 1	0.270 3
C	0.821 6	0.795 3	0.830 2	0.839 5

客观性能参数值与主观视觉分析相吻合,可见采用本文研究的融合方法对彩色图像中的亮度分量进行融合,不仅充分利用了源图像的灰度信息,而且很好的保持了源图像的颜色信息.

6 结束语

本文研究了彩色多聚焦图像的融合,在融合过程中根据多聚焦图像的成像特点及彩色图像融合的复杂性,充分考虑到影响图像融合质量的因素:彩色空间、多尺度分解方法、融合规则和融合对象,提出了相应的融合方法,尤其是根据融合后亮度分量值与融合前的作比较,来确定其它两分量,从而保证了融合后图像中各部分的 I、H 和 S 来自于同一个源图像.从实验中的主观分析和客观性能参数的比较来看,本文所研究的融合方法获得了比较满意的融合效果.

参考文献:

[1] Kingsbury N G. A dual-tree complex wavelet transform with improved orthogonality and symmetry properties[C]//International Conference on Image Processing, Vancouver, BC, Canada: IEEE, 2000:375-378.
[2] 王亚杰,李殿起,徐心和.基于双树复小波变换彩色多

聚焦图像融合方法[J]. 计算机工程与应用,2007,43(28):12-14.
[3] Huang W, Jing Z L. Evaluation of focus measures in multi-focus image fusion[J]. Pattern Recognition Letters,2007, 28(4):493-500.
[4] 孙巍.像素级多聚焦图像融合算法研究[D]. 长春:吉林大学,2008.
[5] 章毓晋.图像处理和分析[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
[6] Wang Z, Ziou D, Armenakis C. A comparative analysis of image fusion methods[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2005,43(6): 1391-1402.
[7] 张强,郭宝龙.基于非下采样的多聚焦图像融合[J]. 信号处理,2009,89(7):1334-1346.
[8] 徐月美.基于 Q-Shift DT-CWT 的多聚焦图像融合研究[J]. 微电子学与计算机, 2011,28(9):206-209.
[9] 陈木生.基于小波变换的多聚焦彩色图像融合新方法[J]. 计算机工程与应用,2008,44(32):189-190,202.
[10] 李仁和.一种新的多传感器彩色图像融合方法[J]. 传感器与微系统,2010,29(5):74-76.
[11] 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.