

基于 HSV 和红黑小波变换的多光谱图像融合

祝 青, 刘 斌

(湖北大学数学与计算机科学学院, 武汉 430062)

摘 要: 提出一种基于 HSV 和红黑小波变换的多光谱图像融合方法。对多光谱图像进行 HSV 变换, 将得到的明度分量和全色图像做多尺度红黑不可分小波分解。采用不同的融合算子对高低频分量进行融合, 对融合后的图像进行红黑重构和 HSV 逆变换得到融合结果, 并采用客观性能指标对融合结果进行评价。实验结果表明, 该方法对多光谱图像和高空间分辨率图像有较好的融合效果。

关键词: 图像融合; 红黑小波; HSV 变换; 多光谱图像; 全色图像

Multispectral Image Fusion Based on HSV and Red-black Wavelet Transform

ZHU Qing, LIU Bin

(School of Mathematics and Computer Science, Hubei University, Wuhan 430062, China)

【Abstract】 This paper proposes a method of multispectral image fusion based on HSV and red-black wavelet transform. The multispectral image is transformed by HSV transform, multi-resolution red-black non-separable wavelet decomposition of the value component of multispectral image and panchromatic image is performed. Different fusion algorithms are used to the high-frequency parts and the low-frequency part. The fusion result image is obtained by red-black reconstruction and inverse HSV transform. The fusion performance is evaluated using objective index. Experimental results show that this method has good fusion effective for the multispectral image and high spatial resolution image.

【Key words】 image fusion; red-black wavelet; HSV transform; multispectral image; panchromatic image

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.03.094

1 概述

近年来, 图像融合在遥感图像处理、医学图像处理、机器视觉等领域得到了广泛应用^[1]。多光谱图像与高空间分辨率全色图像的融合是将具有好的光谱信息但空间分辨率较低的图像与具有高空间分辨率的全色图像进行整合, 生成一幅既具有好的光谱信息又具有高空间分辨率的图像^[2]。融合方法主要有 IHS(Intensity, Hue, Saturation)变换、主成份分析、离散小波变换等。IHS 变换方法能得到高空间分辨率的图像, 但融合结果图像的光谱信息损失严重; 主成份分析方法适合于多光谱图像的所有波段, 虽然增加了融合结果图像的空间表现力, 但其光谱分辨率受到很大影响, 其融合的运算量较大; 离散小波变换方法所得的融合结果图像有好的光谱信息, 但其空间分辨率较低, 且由于在对图像进行分解和重构时进行了抽样, 使得融合结果图像中存在方块效应^[3]。

鉴于上述方法存在的问题, 目前研究的热点是改进或结合上述方法, 选择合适的融合算子进行融合。一般景象的图像信息多集中在二维频谱的“钻石型”区域中, 二维可分离小波对其描述不佳, 不可分离小波(非张量积小波)则能较好地提取这一类信息。基于五株形采样的小波提升方案可构造不可分离小波, 称为红黑小波变换。传统的 IHS 变换融合法会产生较大的光谱失真和退化现象, 而 HSV(Hue, Saturation, Value)色彩空间可以较好地分离彩色图像的亮度和色度信息, 这使其能更好地解决多光谱彩色图像的融合问题^[4]。因此, 本文提出一种基于 HSV 变换和红黑不可分小波变换的多光谱图像融合方法。

2 HSV 变换和红黑小波变换

2.1 HSV 变换

HSV 色彩模型是三原色光模型(RGB)的一种非线性变换。多光谱图像经过 HSV 变换后形成 3 个分量: 色调分量 H, 饱和度分量 S, 明度分量 V。其中, V 与全色图像再分别进行后续的多尺度红黑小波变换。HSV 逆变换即融合后的新明度分量 V'与原始的色调分量 H, 饱和度分量 S 经过逆向变换还原到 RGB 模型。

2.2 红黑小波变换

红黑小波是一种基于五株形采样的非张量积提升小波, 文献[5]在提升小波框架的启发下, 将类似提升方式应用到矩形网格上, 命名为红黑小波变换。该方法包括 2 个完整的提升过程, 即水平/垂直提升和对角提升。而每一个提升小波变换分为 3 个步骤: 分解, 预测, 更新。下文以 8×8 的数字图像 $M(i, j)$ 为例, 分析红黑小波的变换过程。

2.2.1 水平/垂直提升

图像 $M(i, j)$ 按照下标的奇偶性被划分为 2 个部分:

$$Red((i+j) \bmod 2 = 0), Black((i+j) \bmod 2 = 1) \quad (1)$$

水平/垂直提升示意图如图 1 所示。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61072126); 湖北省自然科学基金资助重点项目(2009CDA133)

作者简介: 祝 青(1987-), 女, 硕士研究生, 主研方向: 图像融合; 刘 斌, 教授、博士

收稿日期: 2011-07-25 E-mail: rainy8758@163.com

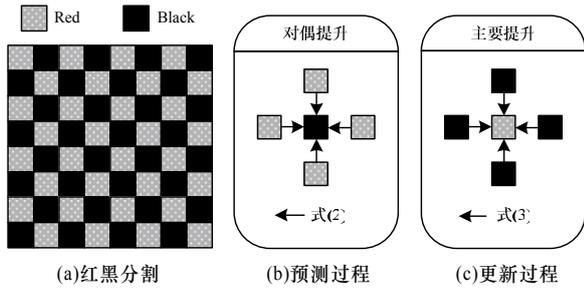


图1 水平/垂直提升示意图

如图 1(a)所示, 红块和黑块是按照水平和垂直方向交叉划分的。根据信号的相关性, 由水平垂直方向 4 个邻域的 Red 点来预测 Black 点, 保存预测偏差, 如图 1(b)所示。公式如下:

$$M(i, j) = M(i, j) - [M(i-1, j) + M(i, j-1) + M(i+1, j) + M(i, j+1)] / 4 \quad (2)$$

$$(i+j) \bmod 2 = 1$$

用预测偏差修正 Red 点, 使其保持原始图像的均值特性, 如图 1(c)所示。公式如下:

$$M(i, j) = M(i, j) + [M(i-1, j) + M(i, j-1) + M(i+1, j) + M(i, j+1)] / 8 \quad (3)$$

$$(i+j) \bmod 2 = 0$$

2.2.2 对角提升

上述步骤中的 Red 点集按照下标的奇偶性被划分为 2 个部分:

$$\begin{aligned} &Blue(i \bmod 2 = 0, j \bmod 2 = 0) \\ &Yellow(i \bmod 2 = 1, j \bmod 2 = 1) \end{aligned} \quad (4)$$

对角提升示意图如图 2 所示。

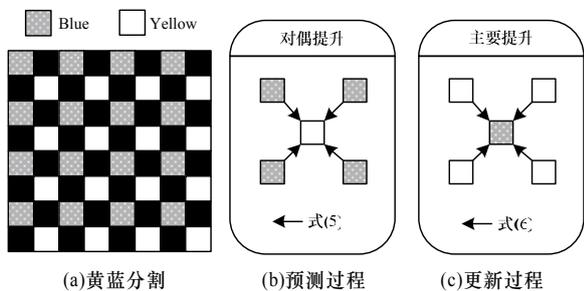


图2 对角提升示意图

由图 2(a)可以看出, 蓝块和黄块是按照对角线方向交叉划分的。根据信号的相关性, 由对角线方向四邻域的 Blue 点来预测 Yellow 点, 保存预测偏差, 如图 2(b)所示。公式如下:

$$M(i, j) = M(i, j) - [M(i-1, j-1) + M(i+1, j-1) + M(i-1, j+1) + M(i+1, j+1)] / 4 \quad (5)$$

$$i \bmod 2 = 1, j \bmod 2 = 1$$

用预测偏差修正 Blue 点, 使其保持原始图像的均值特性, 如图 2(c)所示。公式如下:

$$M(i, j) = M(i, j) + [M(i-1, j-1) + M(i+1, j-1) + M(i-1, j+1) + M(i+1, j+1)] / 8 \quad (6)$$

$$i \bmod 2 = 0, j \bmod 2 = 0$$

2.2.3 系数重排

在完成上述步骤后, 图像中每 4 个点中有 1 个点保存图像的近似信息, 其他 3 个点保存图像的细节信息, 所有的提升步骤都是进行原位计算, 即变换后的低频和高频系数是交叉存取的。为了便于进行多分辨分析, 需要对变换的系数进

行重排, 过程如图 3 所示。

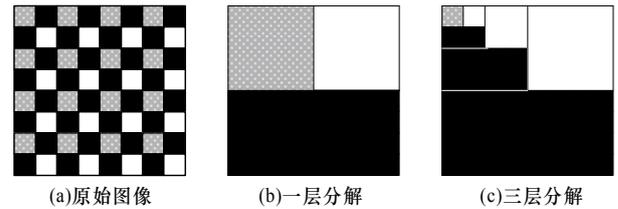


图3 系数重排与多分辨分析示意图

以上过程组成了一个完整的红黑小波一次分解变换过程, 重复对蓝块进行分解即得到多尺度分解结果。在进行逆变换时, 需要先将变换系数重新按照交叉方式排列, 然后对前向变换进行简单的求逆运算(反更新、反预测、合并)即可。

3 融合规则

低频分量的融合规则为: 低频分量(近似系数)保存了图像的主要轮廓, 由于是同一目标地物, 因此 2 幅图像经过小波分解后其低频分量之间的差异比高频分量之间的差异小很多。采用简单加权平均法进行融合, 最顶层低频分量的融合规则如下:

$$\hat{A}_j = (A_j^p + A_j^m) / 2 \quad (7)$$

其中, A_j^p 、 A_j^m 分别表示全色图像和多光谱图像 V 分量最高层低频分量的小波系数。

高频分量的融合规则为: 在不同方向不同尺度上的高频分量当中, 绝对值较大的小波系数对应原图像中对比度较大的边缘细节特征。因此, 在各分解尺度上, 对于高频系数的融合算子采用绝对值取大的规则, 其融合规则如下:

$$\hat{D}_{(l,k)} = \begin{cases} D_{(l,k)}^p & \text{abs}(D_{(l,k)}^p) \geq \text{abs}(D_{(l,k)}^m) \\ D_{(l,k)}^m & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

其中, $D_{(l,k)}^p$ 、 $D_{(l,k)}^m$ 分别表示全色图像和多光谱图像 V 分量的各尺度各高频分量的小波系数。高频系数绝对值是对细节信息强度最直观的度量, 还可以采用更高级的融合规则, 如窗口基验证规则, 甚至更复杂的区域基融合规则。由于复杂规则的采用必将导致计算量和复杂度的增大^[6], 绝对值取大的融合规则已经能够有效地完成高频系数挑选, 因此选用该规则。

4 实验结果与分析

为了验证本文方法的有效性, 进行仿真实验, 选取基于 HSV 变换的融合方法(简称 HSV 方法)以及基于 HSV 和 db2 小波融合方法(简称 HSVDB2 方法), 与本文的基于 HSV 变换与红黑小波变换融合方法(简称 HSVRB 方法)的融合结果进行比较, 每种算法小波分解层数均为 3 层, 实验在 Matlab R2009b 编程环境中实现。实验图像选择同一场景的太空船发射场的快鸟(QuickBird)遥感图像。全色图像的空间分辨率为 0.61 m, 多光谱图像的空间分辨率为 2.44 m, 图像大小为 512×512 像素。QuickBird 原始图像如图 4 所示。

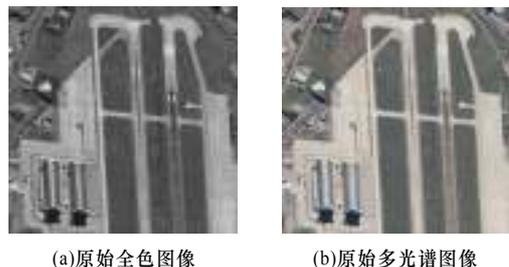


图4 QuickBird 原始图像

3种方法的图像融合结果如图5所示。

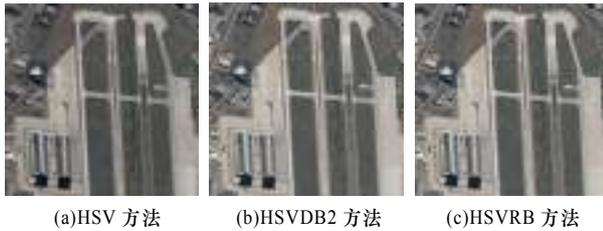


图5 3种方法的图像融合结果

从视觉效果看, 3种方法得到的融合图像细节信息均明显增强, 图像清晰度大大提高, 图4(b)中原来不清楚的跑道边缘、周边设备等, 在融合图像中均得到增强。但图5(a)的色度信息偏差较大, 整体图像偏深, 说明HSV方法的光谱信息损失严重, 而图5(b)、图5(c)的色度信息与图4(b)比较接近, 细节清晰, 说明HSVDB2方法及HSVRB方法能在提高多光谱图像空间分辨率的同时很好地保持原始图像的光谱信息, 并且图5(c)与图4(b)的色调亮度最为接近, 说明本文方法保持原始图像的光谱信息能力最强, 并且跑道边缘平滑、纹理清晰, 综合融合效果最好。

为了综合客观地衡量融合图像的光谱信息和空间分辨率信息, 本文采用相对平均光谱误差(RASE)指数^[7]、相对整体维数综合误差(ERGAS)^[7]、融合图像信息熵^[2]以及融合图像空间频率^[8]这4个评价指标。RASE指数用百分比表示, 融合图像的光谱质量越高, 则RASE越低, 理想情况为0, 其值越小, 光谱弯曲程度越小, 融合效果越好; ERGAS值越小, 光谱弯曲程度越小, 融合效果越好; 信息熵(entropy)的值越大, 表明图像中所含的信息量越大; 空间频率(spatial frequency)反映了一幅图像空间的总体活跃程度, 其值越大, 表明图像越清晰。将本文方法与HSV、HSVDB2方法分别作比较, 客观性能评价结果如表1所示。

表1 不同融合方法对多光谱图像融合的客观性能评价

融合算法	RASE/(%)	ERGAS	熵	空间频率		
				R通道	G通道	B通道
HSV	21.751 2	5.438 4	7.045 1	19.592 8	19.285 9	19.024 0
HSVDB2	10.810 8	2.702 5	7.124 0	20.416 6	20.059 7	19.785 1
HSVRB	10.687 1	2.672 0	7.136 2	20.447 8	20.080 5	19.803 2

可以看出, 本文提出的HSVRB方法与其他方法的相对平均光谱误差指数和相对整体维数综合误差相比都是最小的, 特别是远小于HSV方法。这说明本文方法的光谱扭曲

(上接第286页)

参考文献

- [1] 陈永光, 李修和, 沈阳. 组网雷达作战能力分析与评估[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 51-52.
- [2] 孙仲康, 周一宇, 何黎星. 单多基地有源无源定位技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996: 20-22.
- [3] 王玲. 无源定位技术研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2009.
- [4] Gillette M D, Silverman H F. A Linear Closed-form Algorithm for Source Localization from Time-differences of Arrival[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2008, 15(1): 1-4.
- [5] 陈永光, 李昌锦, 李修和. 三站时差定位的精度分析与推算模型[J]. 电子学报, 2004, 32(9): 1452-1455.
- [6] 张正明, 杨绍全, 张守宏. 平面时差定位精度分析[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2000, 27(1): 13-16.
- [7] Deng Yong, Xu Hui, Zhou Yiyu. Study on Ambiguity and Non-

程度小, 保持光谱信息的能力强。3种方法的熵值虽然相差不大, 但是HSVRB方法的熵值仍然最高, 这说明本文提出的方法融合后信息量比较丰富, 同时与前2个指数的结果保持一致, 也说明了该方法有较强的光谱信息保持能力。从空间频率指数可以看出, HSVRB方法融合图像各通道的空间频率均高于其他方法。这说明本文算法在提高融合图像的多光谱信息的同时, 尽可能保持了全色图像的高空间分辨率, 空间频率较高, 空间分辨率信息较好。

5 结束语

本文提出了一种基于HSV变换和红黑不可分小波变换的融合方法, 并把它应用于高空间分辨率图像与多光谱图像的融合中。本文方法融合的图像纹理清晰, 在保持图像的光谱信息方面性能较优, 能获得更多的信息量, 同时又能较好地保持原全色图像的空间分辨率。下一步将选取多种对比方法, 增加分解层数, 采用更多的评价指标从不同方面对本文方法进行评价, 综合比较得出更全面的实验结果, 有针对性地应用于各种图像融合领域。

参考文献

- [1] 刘维杰, 刘斌, 彭嘉雄. 基于分块的不可分小波多聚焦图像融合[J]. 计算机工程, 2011, 37(2): 205-206.
- [2] 刘斌, 彭嘉雄. 基于四通道不可分加性小波的多光谱图像融合[J]. 计算机学报, 2009, 32(2): 350-356.
- [3] 刘斌, 彭嘉雄. 基于二通道不可分小波的多光谱图像融合[J]. 中国科学, 2008, 38(12): 2273-2284.
- [4] 常化文. 基于HSV变换与Atrous变换的图像融合[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(4): 938-940.
- [5] Uytterhoeven G, Bultheel A. The Red-black Wavelet Transform[C]// Proc. of Signal Processing Symposium. [S. l.]: IEEE Press, 1998.
- [6] 杨波, 敬忠良. 梅花形采样离散小波框架图像融合算法[J]. 自动化学报, 2010, 36(1): 12-22.
- [7] Gonzalez-Audicana M, Saleta J L, Catalan R G, et al. Fusion of Multispectral and Achromatic Images Using Improve IHS and PCA Mergers Based on Wavelet Decomposition[J]. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42(6): 1291-1299.
- [8] Li Shutao, Kwok J T, Wang Yaonan. Combination of Images with Diverse Focuses Using the Spatial Frequency[J]. Information Fusion, 2001, 2(3): 169-176.

编辑 顾姣健

solution of 3-Station TDOA Location Systems[J]. Systems Engineering and Electronics, 2000, 22(3): 27-29.

- [8] 牛新亮, 赵国庆, 刘原华, 等. 低空目标高精度无源时差定位方法[J]. 西安电子科技大学学报, 2009, 36(5): 862-866.
- [9] 吕明, 郭士民. 基于数据融合的时差定位处理算法的应用[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(4): 100-102.
- [10] 张美杨, 季忠梅, 王建辉. 基于加权多维定标的组网定位算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(2): 97-99.
- [11] 张正明. 辐射源无源定位研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2000.
- [12] 何友, 王国宏, 修建娟, 等. 基地雷达的组合估计及定位精度分析[J]. 电子学报, 2000, 28(3): 17-20.

编辑 金胡考

