

DOI: 10.13382/j.jemi.B1801753

基于 IHS 变换与自适应区域特征的 遥感图像融合算法*

白 鑫^{1,2} 卫 琳²

(1. 郑州升达经贸管理学院 信息工程系 郑州 451191; 2. 郑州大学 软件与应用科技学院 郑州 450002)

摘 要: 当前较多遥感图像融合算法主要通过独立像素点的像素特征来完成图像子带的融合,忽略了图像子带的区域相关性,导致融合图像存在不连续以及模糊效应等不足。因此,设计了 IHS 变换耦合自适应区域特征的遥感图像融合算法。引入 IHS (intensity, hue, saturation) 变换,对多光谱(MS)图像进行分解获取强度分量,将其与全色(PAN)图像进行融合。再通过非下采样 Contourlet 变换(NSCT)对 PAN 图像与强度分量进行子带分解,获取高、低频子带信息。并利用图像的区域能量以及区域空间特征,对低频子带融合模型的调节因子进行自适应整定,使得融合低频子带能够包含更多的空间信息。基于图像的区域方差特征来构建高频子带融合模型,使得融合高频子带能够包含更多的纹理信息。实验结果表明,与当前遥感图像融合算法相比,所提算法的融合图像具有更好地光谱特性以及空间特性。

关键词: 遥感图像融合; IHS 变换; 非下采样 Contourlet 变换; 区域空间特征; 自适应区域特征; 子带融合

中图分类号: TP391; TN0 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5015; 420.2099

Remote sensing image fusion algorithm based on IHS transform coupled with adaptive region features

Bai Xin^{1,2} Wei Lin²

(1. Department of Information Engineering, Shengda Trade Economics &
Management College of Zhengzhou, Zhengzhou 451191, China;

2. School of Software and Applied Science and Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: At present, many remote sensing image fusion algorithms mainly use the pixel features of independent pixels to complete the fusion of image subbands, ignoring the regional correlation of image subbands, resulting in the fusion of image discontinuity and fuzzy effects. Therefore, a remote sensing image fusion algorithm based on IHS transform coupled with adaptive region features is proposed in this paper. The IHS transform is introduced to decompose the multispectral image to obtain the intensity component, and then fuse it with the panchromatic image. The non-downsampling contourlet transform is used to decompose the PAN image and the intensity components to obtain the high and low frequency subband information. The adjustment factor of the low-frequency subband fusion model is adaptively adjusted by using the regional energy and spatial characteristics of the image, so that the fusion subband can contain more spatial information. A high-frequency subband fusion model is constructed based on the region variance feature of the image, which makes the fusion high-frequency subband contain more texture information. Experimental results show that the proposed algorithm has better spectral and spatial characteristics than the current remote sensing image fusion algorithm.

Keywords: remote sensing image fusion; IHS transform; nonsubsampling contourlet transform; regional spatial characteristics; adaptive region feature; subband fusion

收稿日期: 2018-10-08 Received Date: 2018-10-08

* 基金项目: 国家自然科学基金(60673174)、河南省科技攻关项目(162102210121) 资助

0 引言

通过设备采集的遥感图像,人们可以实现对地的观察,为地球表面环境监测、土壤变化以及水质监测等研究创造了良好的条件^[1]。由于遥感图像的广泛应用,提高遥感图像的质量就显得尤为必要。将具有良好空间信息的遥感图像与具有良好光谱信息的遥感图像进行融合,是提高遥感图像质量的一种有效方法^[2-3]。

通过研究人员的探索,出现了多样性的遥感图像融合方法。如 Wu 等^[4]通过 Curvelet 对图像进行分解,获取图像的高、低频信息,接着利用主成分分析(PCA)方法提取图像的第一主成分信息,用于完成图像的融合。此方法能够完成遥感图像的融合,但融合图像中具有光谱失真的现象。Tang 等^[5]通过对全变分方法进行研究,提出了一种基于变分方法的自适应正则化遥感图像融合算法,利用 TV-L1 项来融合图像的边缘区域,利用 TV-L2 项来融合图像的非边缘区域,获取融合的遥感图像。此方法具有一定的融合效果,但是融合图像中具有模糊效应。薛洋等^[6]对神经网络进行研究,设计了采用卷积神经网络的遥感图像融合方法,利用 IHS (intensity, hue, saturation) 变换从多光谱(multi-spectral, MS)图像获取 I 分量,并通过卷积神经网络的方法将空间信息融入 I 分量中,获取融合的遥感图像。此方法融合的图像中避免了模糊效应的出现,但存在块效应。Huang 等^[7]提出了基于二维经验模态分解和最小二乘理论的遥感图像融合,利用二维经验模态对图像进行分解,再通过最小二乘理论实现图像的融合。此方法融合的图像不存在块效应,但具有一定的不连续现象。

对此,本文对 IHS 变换进行研究,设计了 IHS 变换耦合自适应区域特征的遥感图像融合算法。在 MS 图像经过 IHS 变换后,获取图像的强度分量。利用非下采样 contourlet 变换(nonsubsample contourlet transform, NSCT)对所得强度分量以及全色(panchromatic, PAN)图像进行多尺度、多方向的分解,获取包含丰富图像信息的高、低频子带。利用区域能量及区域空间特征构造自适应调节因子,用于低频子带的融合。在区域方差的基础上,构建高频子带的融合策略,用于高频子带的融合。将融合子带经过非下采样 Contourlet 反变换与 IHS 反变换,获取融合的遥感图像。最后,测试了所提融合算法的融合质量。

1 所提遥感图像融合算法

所提的遥感图像融合算法过程如图 1 所示。从图 1 可知,所提算法通过 IHS 变换将 MS 图像分解成饱和度、

色调以及强度分量,以较好的保持图像的光谱信息。并将强度分量与 PAN 图像利用非下采样 Contourlet 变换分解,获取低频子带与高频子带,使得子带能够保留更多的图像信息。通过低频子带的区域能量以及空间频率特性构造自适应调节因子,通过该因子对低频子带融合模型进行调节,获取融合低频子带,使得融合低频子带能够包含更多的空间信息与光谱信息。通过高频子带的区域方差特性,构建高频子带融合模型,获取融合高频子带,使得融合高频子带能够包含图像更多的细节信息。将融合子带通过非下采样 Contourlet 反变换所得结果与饱和度分量以及色调分量相结合,通过 IHS 反变换获取融合遥感图像。

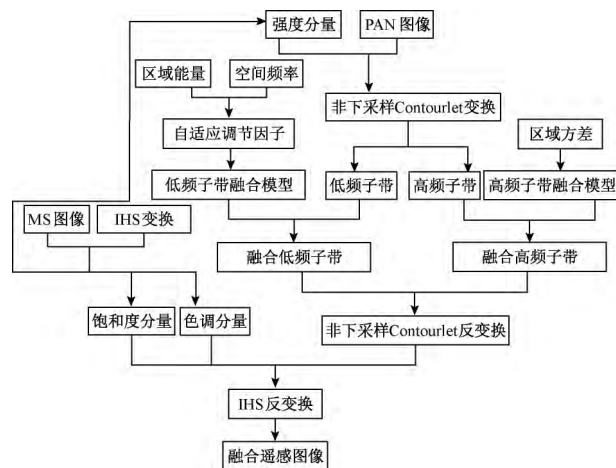


图 1 所提算法的融合过程

Fig.1 The Fusion Process of the Proposed Algorithm

1.1 强度分量的提取

图像的光谱信息主要通过图像的色彩信息表现出来。RGB 色彩空间与 IHS 变换都是图像色彩的表现方式。RGB 色彩空间主要通过红色 R、绿色 G、蓝色 B 三个元素来表示图像的色彩信息。IHS 变换主要通过强度 I、色调 H、饱和度 S 三个元素来表示图像的色彩信息^[8]。虽然 RGB 色彩空间与 IHS 变换都能较好的表现图像的色彩信息,但是 RGB 色彩空间的 3 个元素相互依赖性较强,不利于分解。而 IHS 变换的 3 个元素都相互独立,通过分解后不会导致图像的光谱信息丢失,改变某一个元素不会引起其他元素的改变,不会对图像的光谱信息引起变化。因此, IHS 变换较适合于遥感图像的融合。

将 MS 图像从 RGB 色彩空间到 IHS 变换的过程需要利用 a_1 、 a_2 两个中间变量来实现,具体过程为^[9]:

$$\begin{bmatrix} I \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ -\sqrt{2}/6 & -\sqrt{2}/6 & \sqrt{2}/6 \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$H = \arctan^{-1} \left(\frac{a_2}{a_1} \right) \quad (2)$$

$$S = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} \quad (3)$$

IHS 逆变换的过程为:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/\sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I \\ a \\ b \end{bmatrix} \quad (4)$$

图 2(a) 所示为 MS 图像,借助 IHS 方法对其处理,所提取的强度分量如图 2(b) 所示。由图 2 可知,通过 IHS 变换获取的强度分量能够较好的体现 MS 图像的亮度大小。

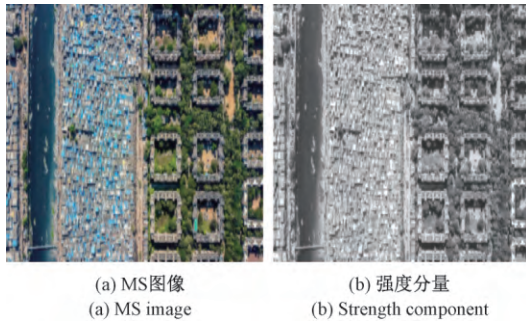


图 2 强度分量的提取结果
Fig.2 Extraction results of intensity components

1.2 获取子带信息

非下采样 Contourlet 变换不仅具有小波变换的多尺度性,而且还规避了下采样操作,使得其还具有小波变换不具备的多方向性^[10]。通过非下采样 Contourlet 变换对图像进行分解,可利用其多方向滤波功能,精细获取图像的几何结构,使得分解所得的子带图像能够包含更多的源图信息^[11]。对此,本文将采用非下采样 Contourlet 变换来获取子带信息。

非下采样 Contourlet 变换是依靠非下采样金字塔分解(NSP)以及非下采样方向滤波器(NSDFB)来完成的^[12]。非下采样 Contourlet 变换分解图像的示意图如图 3 所示,由图 3 可知,图像经过 1 级 NSP 分解可获得 $H_0(u)$ 与 $H_1(u)$ 两个尺度的子图,经过 2 级 NSP 分解可获得 $H_0(u^2)$ 与 $H_1(u^2)$ 两个尺度的子图。将 $H_1(u)$ 与 $H_1(u^2)$ 分别经过 1 级 NSDFB 与 2 级 NSDFB 滤波后,分别可得 $T_0(u)$ 、 $T_1(u)$ 以及 $T_0(u^2)$ 、 $T_1(u^2)$ 组成的多方向子带。将 NSP 分解与 NSDFB 滤波进行反向操作,便可实现非下采样 Contourlet 反变换。

利用非下采样 Contourlet 变换对 PAN 图像与图 2(b) 进行分解,获取的子带信息分别如图 4(b) 与 (c) 所示。

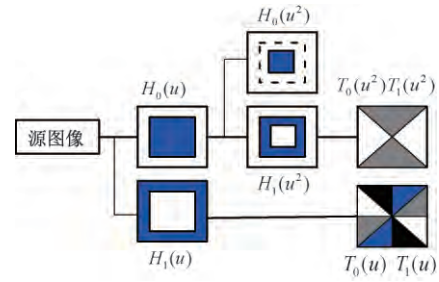


图 3 非下采样 Contourlet 变换的过程
Fig.3 The process of non-sampling contourlet transform

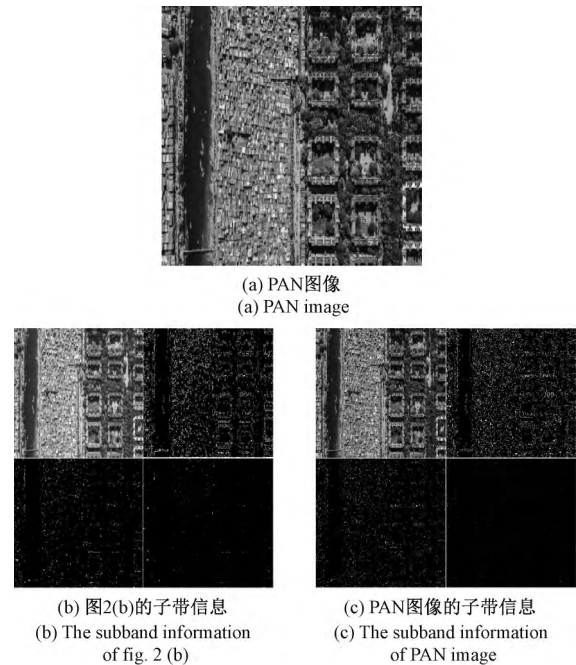


图 4 子带信息的生成结果
Fig.4 Generation results of subband information

1.3 子带融合

区域能量能够反应出图像所包含的主要能量信息,空间频率能够反应出图像的主要空间信息。通过区域能量与空间频率能够对图像的低频子带所含能量以及空间信息进行度量,能够较好的反应出不同低频子带的光谱及清晰度优势。对此,本文选用区域能量以及空间频率来对低频子带进行融合。

为了适应图像的区域相关性,子带融合过程中都选用 3×3 尺寸的图像区域作为融合对象。低频系数 $D(x, y)$ 中 3×3 大小的图像区域 G 所对应的区域能量为^[13]:

$$EN = \sum_{x, y \in G} |D(i + x, j + y)|^2 \quad (5)$$

其中, i, j 表示区域 G 中心像素点 p 的坐标。

在区域 G 中空间频率为^[14]:

$$SP = \sqrt{SP_v + SP_n} \quad (6)$$

其中, SP_v 与 SP_n 的表达式为:

$$SP_v = \sqrt{\sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 [p(i, j) - p(i, j-1)]^2 / 3} \quad (7)$$

$$SP_n = \sqrt{\sum_{j=0}^2 \sum_{i=0}^2 [p(i, j) - p(i-1, j)]^2 / 3} \quad (8)$$

对于不同的低频子带 A 和 B , 构造二者的低频子带融合模型为:

$$F_{AB} = \lambda A + (1 - \lambda) B \quad (9)$$

其中, F_{AB} 表示融合后的低频子带, λ 为由区域能量与空间频率构造的自适应调节因子, 其表达式为:

$$\lambda = \frac{\sum_{k=1}^{k=Q} EN_A^k + SP_A^k}{\left(\sum_{k=1}^{k=Q} EN_A^k + SP_A^k \right) + \left(\sum_{k=1}^{k=Q} EN_B^k + SP_B^k \right)} \quad (10)$$

式中: Q 表示低频子带中的区域总数。

区域方差能够反应出图像所包含的纹理信息。通过区域方差能够对图像纹理信息量进行度量, 能够较好的反应出不同高频子带的纹理优势。对此, 本文选用区域方差来对高频子带进行融合。

在高频子带 W 中, 令以像素点 e 为 3×3 尺寸的图像区域 H 对应的像素均值为 \bar{Z}_e , 则区域 H 对应的区域方差 C 为^[15]:

$$C = \sum_{l \in H} |Z_l - \bar{Z}_e|^2 \quad (11)$$

式中: Z_l 表示像素点 l 的像素值。

对于不同的高频子带 S 和 R , 通过区域方差 C 构造的高频子带为:

$$F_{SR} = \frac{C_S S + C_R R}{C_S + C_R} \quad (12)$$

式中: F_{SR} 表示融合后的高频子带。

将图 2(b) 的强度分量与图 4(a) 的 PAN 图像融合的子带, 通过非下采样 Contourlet 反变换所得的结果, 再通过 IHS 反变换, 以得到图 5 所示融合图像。



图 5 融合图像
Fig.5 Fusion image

2 实验结果

实验采用 Intel、4 GB 内存的 PC, 利用 MATLAB 7.10 软件进行实验。实验中选用了文献 [16-17] 算法作为对比。选取了 SOPT5 拍摄的 512×512 的某生活区遥感图像与 IKONOS 拍摄的 512×512 的某山区遥感图像进行融合实验。3 种方法融合结果分别如图 6 和 7 所示。

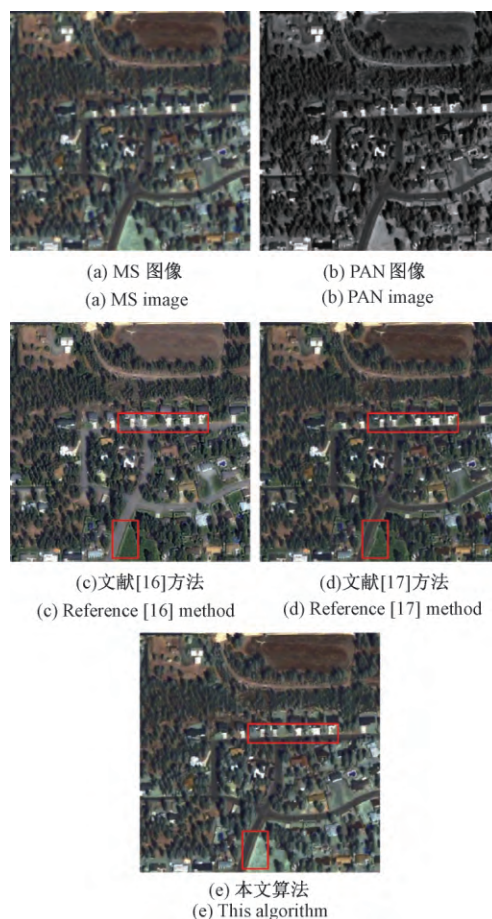
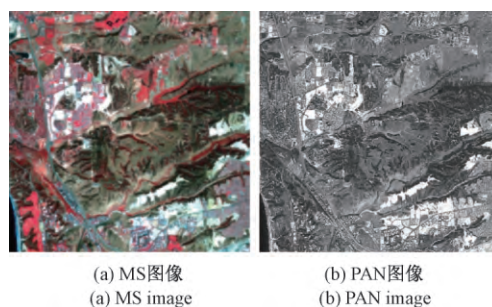


图 6 3 种方法的融合结果

Fig.6 Fusion results of the three methods



(a) MS图像
(a) MS image
(b) PAN图像
(b) PAN image

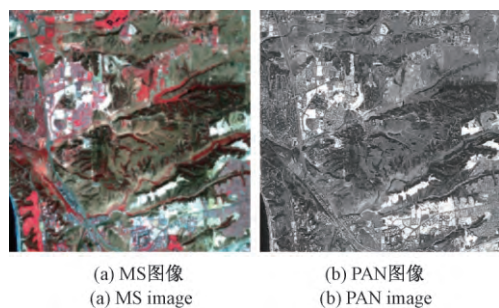


图7 3种方法融合结果

Fig.7 Fusion results of the three methods

通过对比图6不同方法的融合结果可见,图6(c)中道路及土地颜色偏浅,而且红框中建筑物的白色区域存在块效应。图6(d)中图像偏暗,绿色植被颜色偏绿,而且红框中草地存在不连续现象。图6(e)中绿色植被与土地颜色较为正常,红框中的建筑物与草地轮廓较为清晰,但图像亮度稍微偏亮。通过对比图7不同方法的融合结果可见,图7(c)中图像偏暗,而且红框中的山脉存在不连续现象。图7(d)中绿色植被颜色偏淡,而且红框中的水域与植被较为模糊。图7(e)图像亮度正常,红框中山脉完整,水域与植被不存在模糊现象,但图像红色区域颜色稍微偏浅。实验结果说明了本文算法融合的图像颜色信息较为完整,清晰度较高。因为本文采用了IHS变换对MS图像进行分解,较好的保留了MS图像的光谱信息。而且本文还通过区域方差构造高频子带融合模型,来对高频子带进行融合,较好的保留了图像的纹理信息。从而使得融合图像较好的保留了光谱信息,颜色较为完整,图像清晰度较高。

从QuickBird拍摄的遥感图像中任意选取10组用于融合测试。并通过信息熵(entropy, E)与相关系数(correlation coefficient, CC)对3种方法融合的结果进行客观评价。令图像的灰度级总数为 M ,则信息熵的表达式为:

$$E = - \sum_{j=0}^{M-1} t_j \log_2 t_j \quad (13)$$

式中: t_j 表示灰度级为 j 的像素点出现的概率^[18]。

令图像的大小为 $h \times k$, \bar{P}_{MS} 与 \bar{P}_F 分别表示MS图像 $P(x, y)$ 与融合后图像 $F(x, y)$ 的像素均值,则相关系数的表达式为^[19]:

$$CC = \frac{\sum_{x=1}^h \sum_{y=1}^k [F(x, y) - \bar{P}_F] [P(x, y) - \bar{P}_{MS}]}{\sqrt{\sum_{x=1}^h \sum_{y=1}^k [P(x, y) - \bar{P}_{MS}]^2 \times \sum_{x=1}^h \sum_{y=1}^k [F(x, y) - \bar{P}_F]^2}} \quad (14)$$

由式(13)可见, E 值越大, 表示融合图像质量越好。

由式(14)可见, CC 值越趋于1, 表示融合图像光谱特性越好。3种方法融合图像的信息熵测试结果与相关系数测试结果分别如图8(a)与(b)所示。

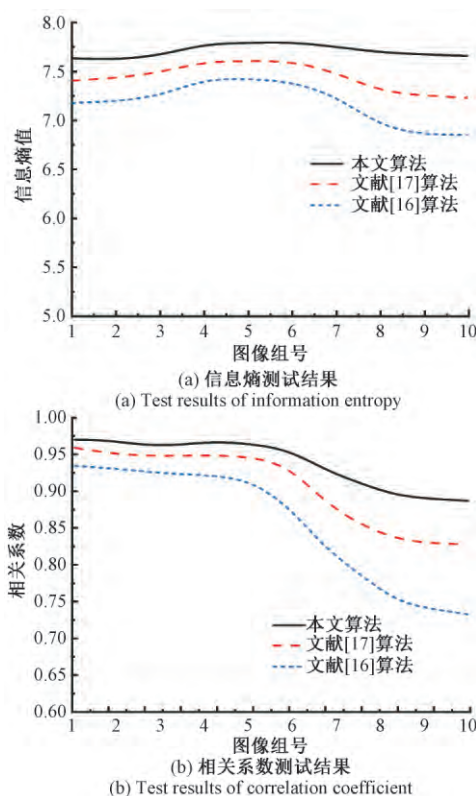


图8 3种融合方法的数值测试结果

Fig.8 Numerical test results of three fusion methods

从图8(a)可知, 本文算法融合图像的 E 值最大, 在对组号为5的测试图像融合后, 本文算法融合图像的 E 值为7.79。从图8(b)可知, 本文算法融合图像的 CC 值最大, 在对组号为5的测试图像融合后, 本文算法融合图像的 CC 值为0.968。测试结果说明, 本文算法的图像具有较高的质量。因为本文算法采用非下采样Contourlet变换获取图像的子带信息, 为融合图像保留了丰富的源图信息。同时本文算法还通过图像的区域能量以及空间频率构造自适应调节因子, 用于低频子带融合, 使得融合低频子带能够包含更多的光谱以及空间信息。从而使得融合图像具有较高的质量。文献[16]算法通过PCA方法获取MS的第一主成分后, 再通过Red-Black小波对图像分解, 并通过极大值法融合高频系数, 区域方差法融合低频系数。因为PCA方法提取主成分会造成光谱信息丢失, 而且小波变换不具备多方向性, 使得分解系数中会丢失源图信息, 所以导致该方法融合图像质量不佳。文献[17]算法中利用IHS变换获取强度分量后, 再通过Shearlet变换对图像进行分解, 并通过加权平均法以及区域一致性检验方法完成低频与高频系数的融合。因为

Shearlet 变换对图像的分解不够精细,使得分解系数存在混叠现象,而且加权平均法没有较好的顾及到图像系数的区域相关性,导致融合图像的质量有所降低。

4 结 论

本文提出了一种采用 IHS 变换耦合自适应区域特征的遥感图像融合算法。通过 IHS 变换分解 MS 图像,以保留更多的光谱信息,提高融合图像的光谱特性。通过非下采样 Contourlet 变换对强度分量以及 PAN 图像进行多尺度、多方向分解,以获取包含更多源图信息的不同子带。通过图像的区域能量以及空间频率构造自适应调节因子,用于低频子带融合,使得融合低频子带能够包含更多的光谱以及空间信息。通过图像的区域方差构造高频子带融合模型,用于高频子带融合,使得融合高频子带具有更丰富的纹理信息,包含更多的图像细节。通过对所提算法融合图像的效果以及客观评价测试结果显示,所提算法具有较好的融合性能,能够获得优良的融合遥感图像。

参考文献

- [1] ZHONG J Y, YANG B, HUANG G Y. Remote sensing image fusion with convolutional neural network [J]. Sensing and Imaging, 2016, 17(1): 10-12.
- [2] 赵延芳,王涛,李鹏,等.基于 ZY3 遥感图像的反立体校正方法研究[J].信息技术, 2017, 15(3): 60-64.
ZHAO Y F, WANG T, LI P, et al. Image correction methods to remove false topographic perception phenomena (FTPP) of ZY3 imagery [J]. Information Technology, 2017, 15(3): 60-64.
- [3] ZHU X L, BAO W X. Comparison of remote sensing image fusion strategies adopted in HSV and IHS [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2018, 46(3): 377-385.
- [4] WU Z L, HUANG Y D, ZHANG K. Remote sensing image fusion method based on pca and curvelet transform [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2018, 46(5): 687-695.
- [5] TANG S Z, SHEN C M, ZHANG G X. Adaptive regularized scheme for remote sensing image fusion [J]. Frontiers of Earth Science, 2016, 10(2): 236-244.
- [6] 薛洋,曾庆科,夏海英,等.基于卷积神经网络超分辨率重建的遥感图像融合[J].广西师范大学学报(自然科学版), 2018, 36(2): 33-41.
XUE Y, ZENG Q K, XIA H Y, et al. Remote sensing image fusion based on convolutional neural networks super-resolution reconstruction [J]. Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition), 2018, 36(2): 33-41.
- [7] HUANG D S, YANG P, LI J, et al. Remote sensing image fusion using bidimensional empirical mode decomposition and the least squares theory [J]. Journal of Computer and Communications, 2017, 13(12): 35, 44-48.
- [8] YANG Y, WAN W G, HUANG S Y. Remote sensing image fusion based on adaptive ihs and multiscale guided filter [J]. IEEE Access, 2016, 4(1): 4573-4582.
- [9] DENG C, WANG Z H, LI X W. An improved remote sensing image fusion algorithm based on IHS transformation [J]. KSII Transactions on Internet and Information System, 2017, 11(3): 1633-1649.
- [10] SOUMYA O, YOUCEF S. A new pansharpening approach based on nonsubsampling contourlet transform using enhanced PCA applied to SPOT and ALSAT-2A satellite images [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2016, 44(5): 665-674.
- [11] ZHANG Q, MALDAGUE X. An adaptive fusion approach for infrared and visible images based on NSCT and compressed sensing [J]. Infrared Physics and Technology, 2016, 74(1): 11-20.
- [12] RAJ S A S, NAIR S M, SUBRAHMANYAM G R K S. Satellite image resolution enhancement using nonsubsampling contourlet transform and clustering on subbands [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2017, 45(6): 979-991.
- [13] LAZHAR K, MAX M. EFA - BMFM: A multi-criteria framework for the fusion of colour image segmentation [J]. Information Fusion, 2017, 38(1): 104-121.
- [14] LIU Y, CHEN X, PENG H. Multi-focus image fusion with a deep convolutional neural network [J]. Information Fusion, 2017, 36(1): 191-207.
- [15] CASTALDI F, CASTRIGNAN A, CASA R. A data fusion and spatial data analysis approach for the estimation of wheat grain nitrogen uptake from satellite data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2016, 37(18): 4317-4336.
- [16] 王虹元.一种基于 Red-Black 小波的图像融合的改进算法[J].电光与控制, 2018, 25(3): 42-47.
WANG H Y. An improved algorithm for image fusion based on red-black wavelet [J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(3): 42-47.
- [17] BAO W X, WANG W, ZHU Y X. Pleiades satellite remote sensing image fusion algorithm based on shearlet transform [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2018, 46(1): 19-29.
- [18] ZHANG X M, REN J X, HUANG Z W. Spiking cortical model based multimodal medical image fusion by combining

entropy information with weber local descriptor [J].
Sensors, 2016, 16(9): 1-20.

- [19] 李欣腾, 陈晓勇, 顾腾, 等. 高分一号与 Landsat8 影像融合方法比较研究[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2017, 40(4): 376-380, 385.

LI X T, CHEN X Y, GU T, et al. Comparison study of fusion methods of GF-1 PAN and Landsat8 multi-spectral images [J]. Journal of East China University of Technology (Natural Science), 2017, 40(4): 376-380, 385.

作者简介



白鑫, 2003 年于郑州大学获得学士学位, 2009 年于华东师范大学获得硕士学位, 现为郑州升达经贸管理学院副教授, 主要研究方向为计算机图像、信息安全、目标识别。
E-mail: Baix1980insd@163.com

Bai Xin received B.Sc. from Zhengzhou

University in 2003, and M.Sc. from East China Normal University in 2009. Now she is an associate professor in Shengda Trade Economics & Management College of Zhengzhou. Her main research interests include computer image, information security and target recognition.



卫琳, 1989 年毕业于解放军信息工程大学获得学士学位, 2007 年于郑州大学获得硕士学位, 现为郑州大学副教授, 主要研究方向为网络信息技术、城市计算理论、数据库技术。

E-mail: Weilin1968hnjs@163.com

Wei Lin received B. Sc. from The PLA Information Engineering University in 1989, and M. Sc. from Zhengzhou University in 2007. Now she is an associate professor in Zhengzhou University. Her main research interests include image information processing, computer application and data base technique.