

融合算法在高空间分辨率影像中的应用研究

陈向东¹, 邓江洪¹, 安国成²

(1.黄淮学院 信息工程学院,河南 驻马店 463000;2.北京国铁华晨通信技术有限公司,北京 100070)

摘要:为了分析非下采样 Contourlet 变换(Nonsampled Contourlet Transform, NSCT)在高空间分辨率影像处理中的优势,对影像降噪处理的具体过程进行分析,得到二次采样 Contourlet 变换(Sampled Contourlet Transform, SCT)与 NSCT 算法之间的相关性以及互补性,给出了基于小波理论的 Contourlet 变换图像融合算法.分析结果显示,在该图像融合算法下, SCT 及 NSCT 方法的标准差均高于原始光谱带,整体的空间及光谱分辨率都较高.

关键词:非下采样 Contourlet 变换;融合算法;小波变换;空间分辨率

中图分类号: P49

文献标志码: A

由于空间信息传感器存在诸多物理约束,如遥感(RS)图像的空间和光谱分辨率之间的矛盾^[1-2].图像融合使高空间和高光谱保存的 RS 图像通过合并完成从不同传感器获得的信息.用于视觉分析的融合算法能够提供比原始图像更好的视觉效率,也可以提高分类的准确性.文献[3-4]中给出了较多的融合方法,一类是基于颜色空间变换的方法,包括 HIS, Lab 及 YUV 等.一类是基于统计学方法,如 PCA, Brovey 变换等.还有一类融合算法是基于多分辨率分析(MRA),如金字塔分解和小波变换^[5-6].

尽管基于 HIS 变换的融合能够提高源图像的空间分辨率,但它不能使结果保持与原图一致的光谱外观^[7].已有文献证明,基于小波变化的图像融合方法可以保留图像的多光谱特征,同时能显著提高图像的空间分辨率,使得基于 MRA 的融合在像素级 RS 图像融合中广泛应用^[8].但由于分析过程中下采样步骤的存在而造成的小波变换的偏差的增大,可能导致融合结果中出现一些人工纹理信息^[9].有两种方法可以避免或减少动态纹理信息的注入,第一种方法是采用线性相位滤波器,线性相位滤波器具有较长的支持区域,可以最大限度地减少伪图像^[10-11].另一种方法是取消小波分解中的下采样步骤,并相应地对重构阶段进行一些改动.但二维小波的基函数没有各向同性,无法有效地捕捉到图像的平滑轮廓.近年来,一些变换如带变换,曲波变换和轮廓波变换已经被广泛研究,所有这些变换可以被分类为多尺度几何分析(MGA)方法.基于小波融合的图像包含更多的定向元素,提供了更高效的图像扩展.本文采用小波理论方法构建融合帧,并在该帧下建立两种融合规则,具有较高空间分辨率的伪多光谱结果,并能够保留原始的光谱保真度.

1 基于 NSCT 的融合框架

1.1 SCT 和 NSCT 理论分析

Contourlet 变换也称为金字塔方向滤波器组合(PDFB)^[12],是图像的多分辨率局部方向表达式.轮廓波变换基函数的支持区间为矩形结构,其长宽比随其规模进行变化.本质上,变换是多尺度分解和方向滤波器组的组合.拉普拉斯金字塔首先用于获取不同频率的带通图像,然后用一组扇形滤波器将二维频率平面分成楔形.

收稿日期:2018-05-23;修回日期:2018-06-27.

基金项目:河南省科技攻关项目(132102210423)

作者简介:陈向东(1969-),男,河南驻马店人,黄淮学院副教授,研究方向为信号与图像处理研究.

通信作者:邓江洪(1979-),女,河南驻马店人,主要从事计算机辅助教育及计算机图形图像处理研究, E-mail: glh9hr@

在基于多分辨率的融合问题中,平移不变性可以避免伪影的出现,并且在融合过程中更多的冗余意味着提取信息的选择越多.但是,由于多尺度分解与方向滤波器之间存在下采样的步骤,SCT 就像传统的小波变换一样仍然没有位移不变性.与金字塔分解过程相比,Contourlet 下采样变换的冗余度仅为 33%.考虑到位移不变性和冗余特性,NSCT 的过完备变换是完全位移不变的,并且具有更多的冗余.并且,还讨论了一些滤波器设计和实现问题.

1.2 融合规则

受基于小波的融合方法的启发^[13],基于 NSCT 的全色和多图像融合方法具有如下优点.

1) 分辨率高.不同尺度的细节都很清晰,这与 NSCT 中的多尺度分解的概念很相似.

2) 方向性.NSCT 提供水平、垂直和对角更多方向.图像的稀疏表示可以通过将频域分割成分量,来获得在轮廓波变换中的方向 2^j ($j=0,1,\dots$).

NSCT 为 RS 图像应用移位不变冗余扩展.然后,建立一个基于 NSCT 的灵活融合框架.如图 1 所示,相关性度量 and 融合决策的定义是框架的核心.前者表示不同波段之间的关系,后者根据相关性将不同的权重分配给不同的 Contourlet 子带.

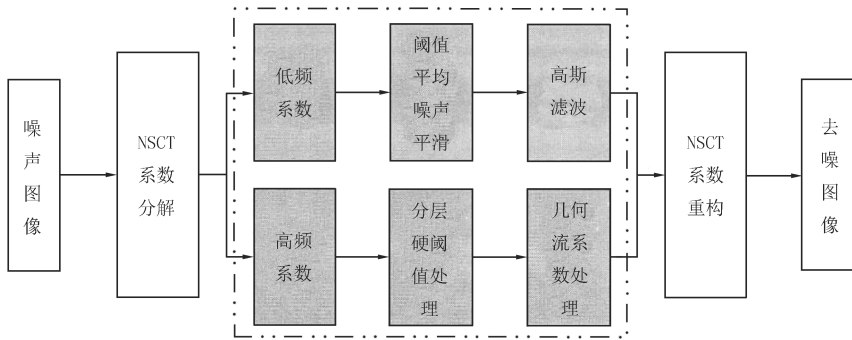


图 1 基于 NSCT 的融合框架

Fig.1 NSCT-based fusion framework

在本文中,考虑两种融合策略.第一种是融合规则,主要是基于小波的融合理论.在这种方法中,多频带中的高频被全色图像中的高频子带无差别地代替,这种方法简称 HFTR.因为得到了每个尺度的不同方向的子带 \tilde{A} ,通过对相等级别的 \tilde{A} 分解结果进行滤波,表明基于 \tilde{A} 小波的所有融合算法都可以纳入该框架.

$$C(F, L) = \frac{\sum_{n \in I_s} (F(n) - \bar{F})(L(n) - \bar{L})}{\sqrt{\sum_{n \in I_s} (F(n) - \bar{F})^2 \sum_{n \in I_s} (L(n) - \bar{L})^2}}, \quad (1)$$

式中, \bar{F}, \bar{L} 是区域中的平均值, $I_s, F(n), L(n)$ 是像素值.

由于该方法根据全色波段与多光谱波段之间的相关性选择性地取代高频,所以频谱失真将小于策略 1 的结果.但是,对于所有不同尺度级别都存在相同的阈值 θ ,并且提取不同尺度下的高频信息的相同比率.另一方面,随着分解级数的增加,频率间隔减小,这意味着频域中对应于高频的细节纹理会随着尺度的增大而变粗糙.在本文的研究中,引入了一个随尺度增加的融合门限阵列来代替前面研究中采用的单个门限.对于小尺度的高频系数代表更精细的图像边缘信息,阈值选择方法将有效保护边缘信息,并保留光谱信息.本文使用 NSCT 与小波理论结合的图像融合策略.

2 实验和分析

使用的实验数据集是两组 SPOT 全色图像和重采样的 TM3,4,5 波段图像,图像大小为 256×256 像素.为了验证新引入的算法框架的可行性和基于 LCC 的算法保留光谱信息的能力,对基于 SCT 或 NSCT 理论的算法进行了实验验证.观察融合的频谱质量和空间质量以测试该算法.

2.1 选择参数

在基于小波理论的融合方法中,选择合适的分解级别确认是一个非常复杂的问题.如果 Contourlet 变换中的分解层太小,融合图像只能吸收有限的全色图像的高频信息,不能提高图像的空间分辨率.但是如果分解级别太大,计算复杂度将会更高,并且频谱失真会增加(如图 2 所示).而在极端情况下,即使是融合块效应也会发生.研究发现图像中的多数方向纹理信息被包含在分解级别 1~3 的高频子带中.在计算复杂度和算法效率之间进行权衡,设置 NSCT 分解级别为 3,阈值数组为 $[-0.99, -0.5, 0]$.

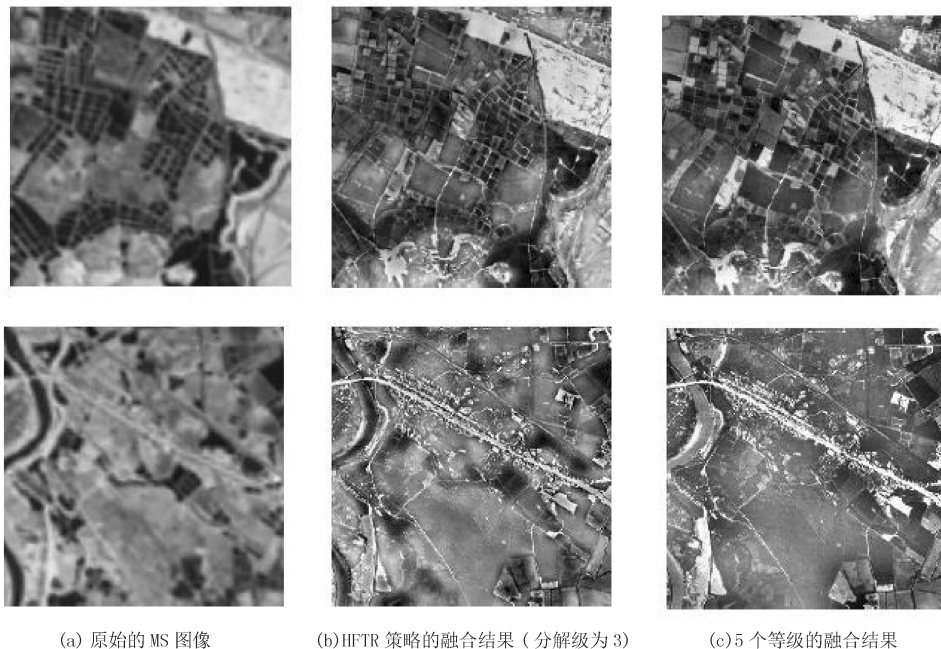


图 2 不同的 NSCT 分解级别

Fig.2 Different levels of NSCT decomposition

在 NSCT 中,不同的方向分解算子和方向滤波算子对结果的影响截然不同.由于其对称性,选择 9-7 原型滤波器进行多分辨率分解.从精细节到粗细节,3 个方向使用的 NSCT 分解数为 16、6 和 4.图 3 显示了两幅图像局部区域的融合效果.

2.2 融合图像的空间质量分析

从图 3 融合结果的局部图片中可以发现,基于 SCT 和 NSCT 的图像融合方法都能在一定程度上提高图像的空间分辨率,这将有利于那些对细节要求严格的应用场合,例如图像解释、特殊制图和摄影测量等领域.但是由于在二次采样 Contourlet 变换过程中同一类别的对象聚合的区域出现了人造纹理,所以同样的灰度级上,变得更加清晰.

除视觉分析外,本文还采用了一些量化指标来评估融合质量,包括均值、熵、平均斜率和标准差.在这些测量中,当熵值较大时图像具有更多信息.由于空间的限制,只有第 1 个图像对的统计信息列在表 1 中,而第 2 个数据集具有相似的结果.

表 1 中主要包括:在注入信息的情况下两种策略中的信息都增加.因为多谱带中的高频信息被全色带中的对应部分选择性地替换; NSCT+HFTR 方法具有较小的平均梯度.

2.3 融合图像的光谱质量分析

从图 4 中可以得到的结果是,使用 SCT 与 HFTR 以及 NSCT 与 HFTR 进行图像融合,可以更好地保存多光谱图像中的信息,这在两组数据集的值域中都很明显.并采用平均值,图像间或图像间相关系数等其他指标评价光谱信息的畸变.采用平均值计算光谱信息变化的程度.并且初始图像的相应频带与融合结果之间的差异也描述了相同的测量.基于 K-means 算法的分类实验也表明, BNSCT+HFTR 融合算法可以获得

更高的分类精度.在量化方面,将带内相关性和带间相关性用作度量.重采样 MS 和全色锐化带之间的相关性测量相应带的光谱信息的相似性.从(1)式可以推出,当两个频段相互一致时,相关系数等于 1.更好的频谱预保护将具有更大的带内相关系数接近 1.因此,表 2 和表 3 可以看出,NSCT+HFTR 具有更好的频谱质量.

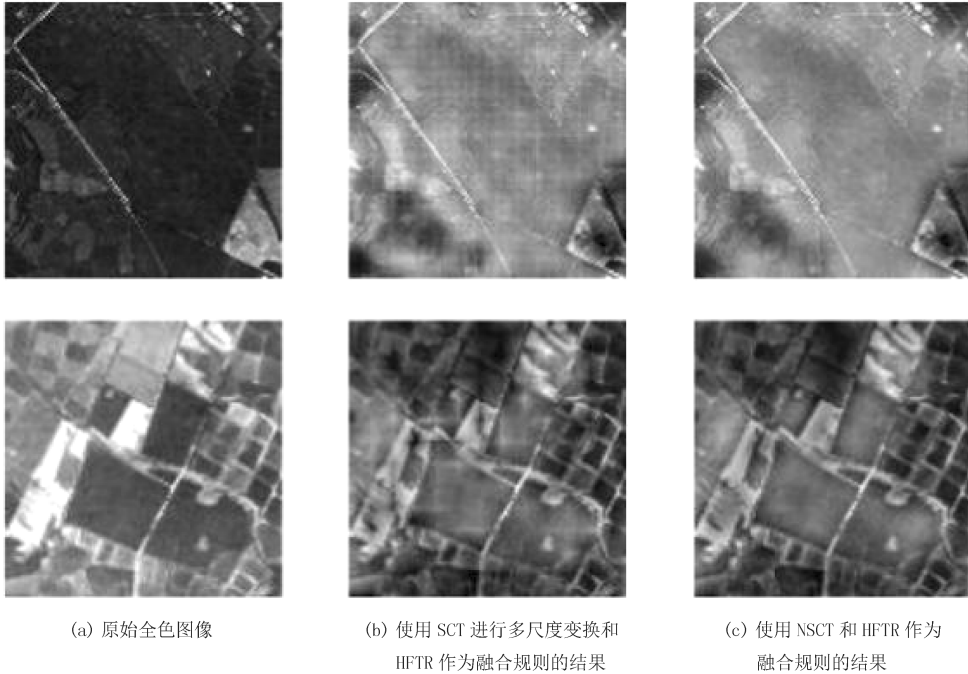


图 3 源图像和空间改进效率的比较

Fig.3 Comparison of efficiency of source image and spatial improvement

表 1 空间度量和统计数据

Tab.1 Spatial metrics and statistics

评价指标	带	原始光谱带	SCT+HFTR	NSCT+HFTR	评价指标	带	原始光谱带	SCT+HFTR	NSCT+HFTR
均值	R	125.02	123.42	123.10	平均斜率	R	10.88	24.55	21.89
	G	128.03	127.04	127.22		G	9.91	25.14	19.13
	B	87.24	86.35	85.83		B	7.81	24.61	23.74
标准差	R	51.08	57.09	59.63	熵	R	7.64	7.65	7.70
	G	43.04	52.50	51.58		G	7.39	7.61	7.62
	B	40.75	53.44	57.05		B	7.08	7.33	7.34

表 2 带间相关结果

Tab.2 Interband correlation results

数据集	原始频谱带	SCT+HFTR	NSCT+HFTR
a	R-G	0.793 9	0.885 5
	R-B	0.341 1	0.636 2
	B-G	-0.008 7	0.509 5
b	R-G	0.859 9	0.897 0
	R-B	0.756 4	0.813 7
	B-G	0.426 5	0.589 7

表 3 重采样 MS 和泛锐化带之间的关系

Tab.3 Relationships between resampled MS and pan sharpening bands

数据集	SCT+HFTR	NSCT+HFTR
a	R-R	0.744 4
	G-G	0.653 5
	B-B	0.717 5
b	R-R	0.907 7
	G-G	0.839 7
	B-B	0.892 1

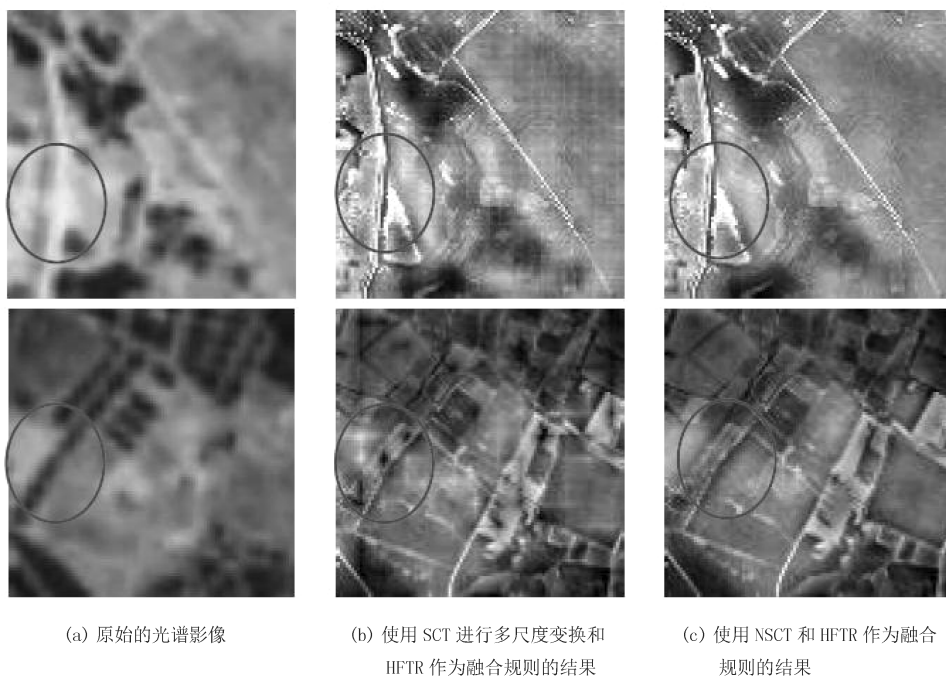


图 4 源图像和光谱保存效率的比较

Fig.4 Comparisons between source image and spectral preservation efficiency

3 结论

采用二次采样轮廓波变换提供了一种新的多分辨率呈现方法,但是在实现过程中,一些人工信息也被引入到融合图像中.本文采用非下采样轮廓波变换构造一个新的图像融合框架,在该框架下探索了一种基于小波理论融合的新方法,分析结果显示,该方法可以获得较高的空间分辨率和较高的频谱分辨率.

参 考 文 献

- [1] Ferraris V, Dobigeon N, Wei Q, et al. Robust Fusion of Multiband Images With Different Spatial and Spectral Resolutions for Change Detection[J]. IEEE Transactions on Computational Imaging, 2017, 3(2): 175-186.
- [2] Yang Y, Wan W, Huang S, et al. Remote Sensing Image Fusion Based on Adaptive IHS and Multiscale Guided Filter[J]. IEEE Access, 2017, 4: 4573-4582.
- [3] Zhang L, Zhang J. A New Saliency-Driven Fusion Method Based on Complex Wavelet Transform for Remote Sensing Images[J]. IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters, 2017(99): 1-5.
- [4] Gharbia R, El-Baz A, Hassanien A. Remote Sensing Image Fusion Approach Based on Brovey and Wavelets Transforms[C]// Proceedings of the Fifth International Conference on Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications IBICA. [s.l.: s.n.], 2014: 311-321.
- [5] Kathiresan N, Manoharan J S. A Comparative Analysis of Fusion Techniques Based on Multi Resolution Transforms[J]. National Academy Science Letters, 2015, 38(1): 61-65.
- [6] Susheela D, Pradeep K G, Jat M. A comparative study of various pixel-based image fusion techniques as applied to an urban environment [J]. International Journal of Image and Data Fusion, 2013, 4(3): 17-18.
- [7] Liu Q, Liu G, Huang C, et al. Comparison of tasseled cap components of images from Landsat 5 Thematic Mapper and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus[J]. Surveyor, 2016, 61(2): 351-365.
- [8] Nischal M, Md H, Larry L, et al. Radiometric Cross Calibration of Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) [J]. Remote Sensing, 2014, 6(12): 12619-12638.
- [9] Olav O, Lucchitta B K. Numerical Analysis of Landsat Thematic Mapper Images of Antarctica; Surface Temperatures and Physical Prop-

erties[J].Annals of Glaciology,2017,11:109-120.

- [10] 孔德洪,吕飞鹏.基于区域多信息融合的广域后备保护算法[J].电力系统保护与控制,2017,45(4):26-32.
- [11] Zhao H,Zhao X,Zhang T,et al.A New Contourlet Transform With Adaptive Directional Partitioning[J].IEEE Signal Processing Letters,2017,24(6):843-847.
- [12] Panchal S,Thakker R A.Improved Image Pansharpening Technique using Nonsubsampled Contourlet Transform with Sparse Representation[J].Journal of the Indian Society of Remote Sensing,2017,45(3):385-394.
- [13] Imoto Y,Tagami D.A truncation error estimate of the interpolant of a particle method based on the Voronoi decomposition[J].Jsiam Letters,2016,8:29-32.

Application of fusion algorithm in high spatial resolution images

Chen Xiangdong¹,Deng Jianghong¹,An Guocheng²

(1.School of information engineering,Huanghuai University,Zhumadian 463000,China

2.Beijing GuoTieHuaChen Communication Technology Co.,LTD,Beijing 100070,China)

Abstract: In order to analyze the advantages of Non-subsampled Contourlet Transform (NSCT) in high spatial resolution image processing, the specific process of image noise reduction processing was analyzed and the secondary sampling Contourlet Transform (SCT) was obtained. Based on the correlation and complementarity of the NSCT algorithms, a Contourlet transform image fusion algorithm based on wavelet theory was obtained. The analysis results show that the standard deviations, the overall spatial and spectral resolutions of the SCT and NSCT methods based on the image fusion algorithm are higher than the original spectral bands.

Keywords: Non-subsampled Contourlet transform; fusion algorithm; wavelet transform; spatial resolution

[责任编辑 陈留院 赵晓华]