

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2008.06.027

IHS 变换域的遥感图像 NSCT 融合算法

石爱业, 马艳军, 黄凤辰, 徐立中

(河海大学计算机及信息工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要:针对非采样 Contourlet 变换(NSCT)在多光谱图像与全色图像融合时复杂度较大的问题,提出一种 IHS 变换域的多光谱图像与全色图像 NSCT 融合算法.该算法首先对多光谱图像进行 IHS 变换,然后再将强度分量图像与全色图像进行基于 NSCT 的融合,得到新的强度分量,最后再做 IHS 逆变换得到融合图像.实验结果表明,将 IHS 变换与 NSCT 相结合,有效地减少了融合计算量.另外与小波变换、Contourlet 变换、NSCT 等多分辨率分析的遥感图像融合算法相比,该算法还有效地减少了融合图像的光谱扭曲,提高了融合图像的视觉效果.

关键词:非采样 Contourlet 变换; IHS 变换; 遥感图像融合

中图分类号: TP751.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-1980(2008)06-0850-06

有效地融合高分辨率全色(panchromatic,简称 PAN)图像和低分辨率多光谱(multispectral,简称 MS)图像,均衡融合结果中的空间细节信息和光谱信息两项特征指标,是多源遥感图像融合技术的研究热点.在近 20 年中,这方面的研究取得了长足的发展,提出了大量的遥感图像融合方法.

目前研究最多的是基于多分辨率分解的图像融合策略,而离散小波变换(DWT)凭借其对图像较好的逼近能力成为在图像融合领域中最流行的多分辨率分解策略.但是由一维小波张成的二维离散小波只具有水平、垂直、对角 3 个有限的方向,不能‘最优’地表示含有线或面奇异的二维图像^[1-2]. Contourlet 变换和非采样 Contourlet 变换(non-subsample Contourlet transform, NSCT)的提出很好地解决了小波变换这方面的缺陷,逐渐得到国内外学者的重视. Ni 等^[3]提出了一种基于 Contourlet 区域对比度的遥感图像融合算法; 罗丽等^[4]提出了一种基于 à trous-Contourlet 变换的遥感图像融合算法,用于 IKONOS PAN 图像和 MS 图像的融合; 贾建等^[5]将 NSCT 应用于多聚焦图像融合和高分辨率、多光谱图像融合; 翟军涛等^[6]提出了 NSCT 结合 IHS 的遥感图像融合算法,但是他们的算法仅针对 SPOT 图像和 TM 图像的融合.

上述基于 NSCT 的图像融合算法都没有考虑融合的复杂度降低问题.研究发现,由于 Contourlet 变换要频繁地进行降采样和重采样操作,不仅不具有平移不变特性,而且会产生频谱混淆,从而导致图像失真,使得它在遥感图像融合中的效果并不明显,有时甚至比 DWT 还要逊色.而 NSCT 虽然很好地弥补了 Contourlet 变换的不足,并且继承了 Contourlet 变换的多尺度和多方向性的特点,但由于处理过程中需要对滤波器进行插值处理,并且各方向子带都和原图像大小相同,从而使其在遥感图像融合应用中运算复杂性较高,制约了 NSCT 在遥感图像融合中的应用.

为了提高基于 NSCT 的遥感图像融合算法的运算速度和融合质量,本文提出了一种 IHS 变换域的遥感图像 NSCT 融合算法.实验结果显示,该算法不仅可以有效地减少融合结果图像的光谱畸变,提高融合图像的视觉效果,而且可以将基于 NSCT 遥感图像融合算法的计算复杂性显著降低.

1 NSCT

2002 年, Do 等^[7-9]提出的 Contourlet 变换是小波变换之外另一种多分辨率的、局域的、多方向的图像表示方法. Contourlet 基的支撑区间具有随尺度而长宽比变化的‘长条形’结构,因而能更好地捕获图像的边缘信

收稿日期: 2008-06-06

基金项目: 国家自然科学基金(60374033, 60872096) 教育部科学技术研究重点项目(107056) 江苏省高技术研究重大项目(BG2006003)

作者简介: 石爱业(1969—),男,江苏泗洪人,讲师,博士研究生,主要从事信号与信息处理及遥感图像处理研究.

息^[6].但是在 Contourlet 的构造过程中,由于在拉普拉斯金字塔和方向滤波器中都存在采样操作,这就造成 Contourlet 变换不具有平移不变性,不可避免地会引起吉布斯现象.为消除这一现象,2005 年 Cunha 等^[10]通过结合非采样的塔式分解和非采样的方向滤波器,实现了 NSCT. NSCT 是 Contourlet 变换的平移不变版本.非采样的塔式分解使得 NSCT 具备了多尺度性,采用 à trous 算法实现的非采样方向滤波器又使得 NSCT 具备了多方向性,二者的有机结合使得 NSCT 不但继承了 Contourlet 的多尺度和多方向性,同时还具备了平移不变特性,可以有效消除吉布斯现象.

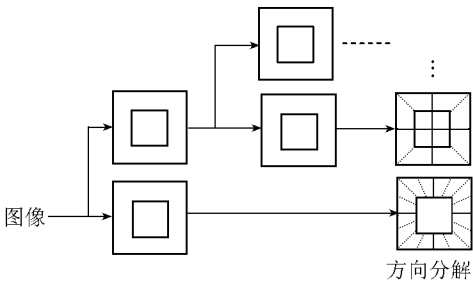


图 1 NSCT 原理

NSCT 的原理如图 1 所示.NSCT 所采用的二通道非采样滤波器组结构如图 2 所示.

Fig.1 Principles of non-subsample Contourlet transform

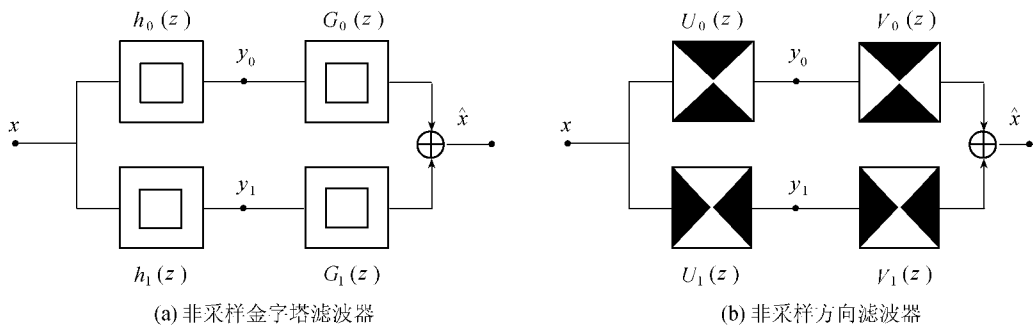


图 2 NSCT 所采用的二通道非采样滤波器组结构

Fig.2 Two-channel non-subsample filter banks used in NSCT

2 IHS 变换

在色度学中,把彩色图像的红(R)、绿(G)、蓝(B)变换成强度、色度、饱和度称为 IHS 变换,而强度、色度、饱和度变换成 R,G,B 称为 IHS 逆变换.

IHS 彩色空间符合人类的视觉感知,该模型将强度分量与一幅彩色图像中携带的彩色信息分开.色度和饱和度反映光谱信息,色度是指一种颜色的最大或平均波长分布,代表颜色属性,饱和度是指一种颜色相对于灰度的纯度.强度是指颜色的亮度,主要反映源图像地物反射的全部能量和图像上所反映的空间信息.

在 RGB 彩色系统中,由于 R,G,B 3 个分量的相关性较强,对其任一分量所做的改动都会严重地影响融合结果图像的光谱质量.而 IHS 彩色系统有效地分离了图像的空间强度信息和光谱信息,符合人的视觉特性,且各分量是近似正交的.因此,为了更好地保持图像的光谱特征,基于多分辨率分析的融合更适合在 IHS 彩色系统中进行.

本文采用的 IHS 正、逆变换见文献[11].

3 融合规则选择

在基于多分辨率分析的遥感图像融合过程中,高频系数融合规则的选取主要有 2 类:一类是以单个像素为考察对象,例如绝对值选大规则,比较各个方向高频子图中多分辨率分解系数的绝对值大小,具有较大绝对值的变换系数对应于较强烈的亮度变化;另一类是以一个局域窗口为考察对象,计算局域内的统计特性,如依据方差最大原则来选择高频系数.因为图像的像素之间存在较大的相关性,所以在一个局域内考察图像比以单个像素为考察对象更能反映图像的特征和趋势^[12].在一个局域窗口内,统计特性越明显,说明图像灰度级变化越大,细节越丰富.

对于多分辨率分解后图像的低频系数(位于最高分解层)一般用以下 2 种方法进行选择:

- a. 直接取 MS 图像多分辨率分解后的低频分量的系数,即 $M_{result} = M_{MS}$.

b. 取 MS 图像多分辨率分解后的低频分量系数和高空间分辨率 PAN 图像多分辨率分解后的低频分量系数的加权平均. 即, 对于 2 个低频分量的系数矩阵 M_{MS} 和 M_{PAN} , 融合后低频分量的系数矩阵 M_{result} 取 $M_{result}(i, j) = k_1 M_{MS}(i, j) + k_2 M_{PAN}(i, j)$, 其中 $k_1 + k_2 = 1$, (i, j) 代表系数矩阵中的位置信息.

而在遥感图像融合的实际应用中, 一般采用第一种方法进行选取, 以尽可能地保持光谱特性, 减少色彩畸变, 虽然这样会损失掉 PAN 图像低频分量中的空间信息.

4 基于 IHS + NSCT 的遥感图像融合算法

本文综合利用 IHS 变换和 NSCT 的优点, 提出一种基于 NSCT 的遥感图像融合算法, 图 3 给出了基于 IHS + NSCT 的遥感图像融合算法原理.

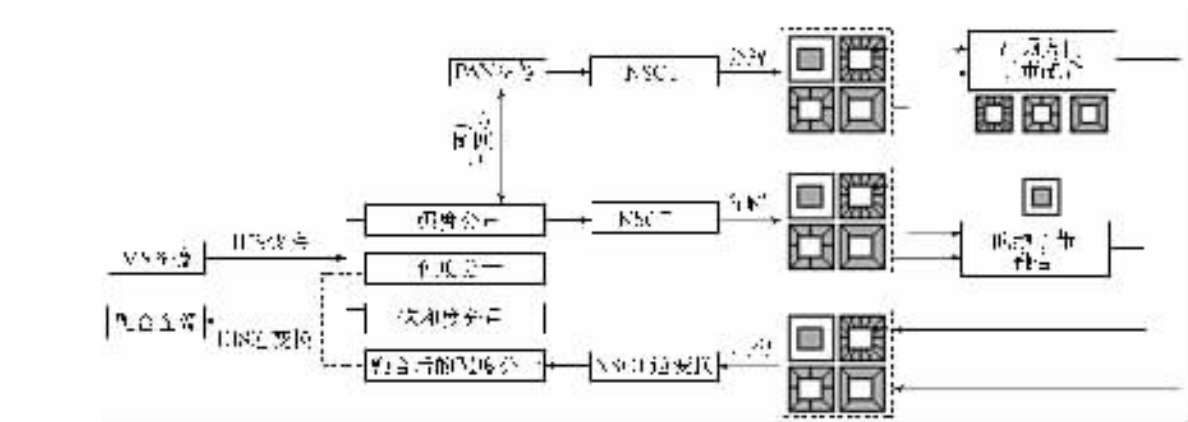


图 3 基于 IHS + NSCT 的遥感图像融合算法原理

Fig.3 Diagram of remote sensing images fusion based on IHS + NSCT

- 具体算法过程如下：
- a. 将高分辨率 PAN 图像配准到低分辨率 MS 图像上, 配准精度在一个像元以内.
 - b. 对 MS 图像进行 IHS 变换, 分别得到 MS 图像在 IHS 彩色空间中的色度、饱和度和强度分量, 然后对强度分量进行 NSCT 分解 (一般选择进行 4 层 NSCT 分解, 方向数对应于 1, 2, 3, 4 层分别为 16, 8, 4, 3).
 - c. 将 PAN 图像与 MS 图像的强度分量进行直方图匹配得到 PAN1, 然后进行 NSCT 分解, 分解层数应与 MS 的强度分量所进行的 NSCT 分解层数及每层所选方向数保持一致.
 - d. 按照一定的融合规则对低频系数和各个分解层的高频方向子带系数进行融合, 然后经过重构得到融合后的强度分量.
 - e. 将融合后的强度分量和 MS 图像的色度、饱和度进行 IHS 逆变换, 得到融合后的图像.

5 融合实验结果与分析

5.1 融合实验设计

为了验证本文算法的正确性和普适性, 本文对 3 组待融合图像 (图 4) 分别采用小波变换 (DWT), IHS + DWT, Contourlet 变换 (CT), IHS + CT, NSCT 和 IHS + NSCT 进行融合实验. 实验中, 对所有融合算法融合规则均采用局域方差最大.

3 组待融合图像分别为 IKONOS PAN 与 MS 图像、QuickBird PAN 与 MS 图像、SAR PAN 图像与 TM MS 图像 (图 4). 图像参数如表 1 所示. 其中, 数据位数相同时, 图像大小为 256×256 像素和 512×512 像素的不同用于比较图像大小变化对算法复杂性的影响; 当图像大小相同时, 数据位数为 8 bit 位和 16 bit 的不同用于比较数据位数变化对算法复杂性的影响.

表 1 待融合图像基本参数
Table 1 Basic parameter of three pairs of images to be fused

图 源	图像大小/ 像素	数据位数/ bit	分辨率/m	
			PAN 图像	MS 图像
IKONOS	256 × 256	16	1.0	4.0
QuickBird	512 × 512	16	0.6	2.4
SAR, TM	512 × 512	8	10.0	30.0

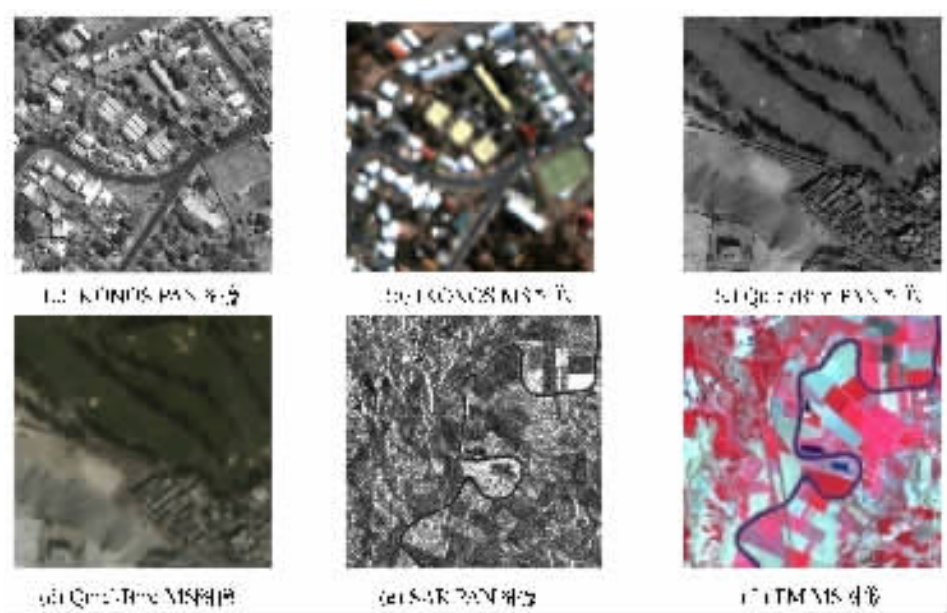


图 4 3 组待融合图像

Fig.4 Three pairs of original images to be fused

5.2 融合结果评价与分析

5.2.1 评价指标

为了评估融合图像的光谱质量,以计算融合图像与 MS 图像相应波段的相关系数和光谱扭曲程度来评价融合结果.相关系数 $C_k(k=R,G,B)$ 越大,则光谱特性越接近原 MS 图像,理想值为 1.

作为光谱质量的评价标准,图像的光谱扭曲程度直接反应了 MS 图像的光谱失真程度.第 k 个光谱分量的光谱扭曲程度定义为

$$D_k = \frac{1}{MN} \sum_i \sum_j |\bar{V}_{kij} - V_{kij}|$$

式中: M,N ——图像的行数和列数; V_{kij} 和 $\bar{V}_{kij}$ ——第 k 个光谱分量在原始图像和融合图像上 (i,j) 点的像素灰度值. D_k 值越大,表明在 k 光谱段的差异越大,光谱失真越严重,即光谱质量越差,反之则光谱质量越好,理想值为 0.

为了评估融合图像的空间细节质量,以及 Zhou 等^[13]提出的方法,即融合图像与 PAN 图像分别经过拉普拉斯滤波器的滤波以提取细节信息,本文采用 3×3 的拉普拉斯滤波模板.滤波后的融合图像各波段与拉普拉斯滤波后的 PAN 图像的相关系数 $C'_k(k=R,G,B)$ 越高,就表明在融合过程中,有更多的 PAN 图像的空间信息‘注入’到 MS 图像中,理想值为 1.

5.2.2 融合结果及其评价

表 2 给出了利用不同算法得到的不同图像的融合结果的评价参数比较,最后一行给出了各参数的理想值,并用下划线标示出了最接近理想值的融合结果参数.

由表 2 可以看出,利用 DWT,IHS + DWT,CT,IHS + CT,NSCT,IHS + NSCT 6 种不同的融合方法对 3 组源图像进行融合的结果中,在 RGB 彩色空间中基于 CT 的融合结果较 DWT 有小幅提高,但并不明显,有时还要稍差.基于 NSCT 的融合结果较 DWT 则有了明显的提高.

另外,IHS 彩色空间中进行的融合在光谱信息的保留上性能明显提高,比直接应用多分辨率分析在 RGB 空间进行融合取得了更好的融合效果.且基于 IHS + NSCT 的融合结果除个别空间细节相关系数较基于 NSCT 的融合结果稍差以外均最接近于理想值.

5.2.3 计算复杂性分析

算法实验利用 matlab R2007a 编程实现,运行环境 CPU P4 2.0G,操作系统 Windows XP.表 3 给出了各算法对图像进行融合所需的时间.

表 2 利用不同算法得到的融合结果参数比较

Table 2 Comparison among results of fused images using different methods										
图 源	融合方法	光谱特性参数					空间信息参数			
		C_R	C_G	C_B	$D_R/\text{像素}$	$D_G/\text{像素}$	$D_B/\text{像素}$	C'_R	C'_G	C'_B
QuickBird	DWT	0.943 5	0.946 6	0.942 4	2 062.7	2 110.9	1 973.8	0.786 9	0.809 1	0.761 4
	IHS + DWT	0.944 2	0.947 2	0.948 3	2 053.8	1 926.0	1 641.1	0.784 6	0.783 7	0.788 4
	CT	0.943 7	0.936 4	0.934 4	2 036.4	2 086.2	1 991.5	0.885 6	0.807 6	0.799 5
	IHS + CT	0.945 1	0.938 6	0.950 9	2 017.6	1 850.4	1 660.5	0.783 2	0.782 3	0.786 8
	NSCT	0.949 9	0.952 5	0.956 3	1 914.1	1 811.2	1 831.8	<u>0.888 7</u>	0.810 5	0.863 2
	IHS + NSCT	<u>0.951 3</u>	<u>0.954 1</u>	<u>0.957 9</u>	<u>1 900.3</u>	<u>1 798.1</u>	<u>1 543.6</u>	0.886 3	<u>0.875 5</u>	<u>0.889 9</u>
IKONOS	DWT	0.844 8	0.846 5	0.844 3	59.152 4	59.159 3	50.885 3	0.969 0	0.958 1	0.943 5
	IHS + DWT	0.873 8	0.851 9	0.852 3	47.254 7	57.713 9	40.339 5	0.953 7	0.961 1	0.961 3
	CT	0.851 1	0.853	0.791 6	58.402 3	58.637 6	50.425 5	0.969 1	0.958 2	0.943 6
	IHS + CT	0.863 6	0.858 4	0.800 6	46.785 1	57.155 3	39.816 3	0.953 3	0.961 0	0.961 1
	NSCT	0.888 7	0.865 4	0.864 2	53.668 3	53.794 6	36.484 1	0.971 3	0.959 6	0.944 9
	IHS + NSCT	<u>0.899 0</u>	<u>0.870 6</u>	<u>0.865 7</u>	<u>42.952 9</u>	<u>52.406 6</u>	<u>36.189 6</u>	<u>0.975 2</u>	<u>0.962 5</u>	<u>0.962 6</u>
SAR,TM	DWT	0.783 0	0.768 8	0.765 3	26.066 7	40.339 7	34.605 4	0.759 5	0.883 6	0.879 3
	IHS + DWT	0.794 9	0.933 9	0.868 0	25.325 8	18.327 0	22.909 3	0.795 8	0.755 2	0.800 3
	CT	0.768 6	0.782 9	0.778 8	25.679 4	39.461 3	33.843 3	0.758 4	0.896 0	0.881 1
	IHS	0.774 0	0.938 2	0.875 2	24.914 7	17.860 4	22.397 1	0.791 7	0.790 6	0.790 2
	NSCT	0.818 3	0.806 6	0.805 5	22.755 9	36.447 3	31.047 8	0.790 9	<u>0.895 6</u>	0.881 3
	IHS + NSCT	<u>0.896 6</u>	<u>0.948 3</u>	<u>0.893 9</u>	<u>21.809 6</u>	<u>16.380 3</u>	<u>20.578 3</u>	<u>0.798 8</u>	0.895 5	<u>0.885 3</u>
理想值		1	1	1	0	0	0	1	1	1

由表 3 可知,运用 DWT,CT 2 种变换进行融合所耗费的时间均在一个数量级内,差别不大.运用 NSCT 进行融合所耗费的时间为 DWT 的 19 倍左右,而运用 IHS + NSCT 进行融合所耗费的时间缩短为 DWT 的 6 倍左右,较运用 NSCT 节省了大约 2/3 的时间,而且融合效果最好.由此可见本文算法不仅缩短了运用 NSCT 进行融合所需的时间,而且提高了融合质量,是一种有效的遥感图像融合算法.另外,由表 3 可见,其所耗费的时间与数据的位数不相关,而当图像增大时其运算速度也基本保持不变(如当图像大小变为原来的 4 倍时,其耗费时间也为原来的 4 倍左右).

6 结 语

本文提出了基于 IHS 变换域的遥感图像 NSCT 融合算法,实验结果与分析表明了本文所提出的融合算法提高了图像融合的速度,且提高了图像的融合效果.由于 IHS 变换只能处理 3 个波段的 MS 图像的融合,故此在本文的后续工作中,可以采用基于主成分分析的 NSCT 遥感图像融合算法,用以解决多于 3 个波段的图像融合.

参考文献:

[1] CANDES E J. Harmonic analysis of neural networks[J]. Applied and Computational Harmonic Analysis,1999,6(2):197-218.

[2] 练秋生,孔令富.冗余轮廓波变换的构造及其在 SAR 图像降斑中的应用[J].电子与信息学报,2006,28(7):1215-1218.

[3] NI Wei, GUO Bao-long, YANG Liu. Data fusion of multisensor remote sensing images using region based contourlet contrast[J]. Journal of Astronautics, 2007,28(2):364-369.

[4] 罗丽,袁真,王珂.基于 à trous-Contourlet 变换的遥感图像融合算法[J].模式识别与人工智能,2007,20(2):248-253.

[5] 贾建,焦李成,孙强.基于非下采样 Contourlet 变换的多传感器图像融合[J].电子学报,2007,35(10):1934-1938.

表 3 融合算法的执行时间比较

Table 3 Comparison among consumed time using different methods		
图源	融合方法	耗时/s
QuickBird	DWT	104.33
	IHS + DWT	35.16
	CT	136.94
	IHS + CT	45.45
	NSCT	2 000.60
	IHS + NSCT	670.50
IKONOS	DWT	27.19
	IHS + DWT	9.19
	CT	33.33
	IHS + CT	11.03
	NSCT	498.00
	IHS + NSCT	167.42
SAR,TM	DWT	104.39
	IHS + DWT	34.58
	CT	134.38
	IHS + CT	45.08
	NSCT	2 016.50
	IHS + NSCT	673.58

[6] 翟军涛,那彦. 基于 NSCT 的多光谱和全色图像的融合[J]. 激光与红外,2008,38(3) 283-284.

[7] DO M N,VETTERLI M. Contourlet :a direction multiresolution image representation[C]//IEEE International Conference on Image Processing. Rochester, New York, USA :IEEE,2002 357-360.

[8] DO M N,VETTERLI M. Contourlets,beyond wavelet[M]. New York :Academic Press,2003.

[9] DO M N,VETTERLI M. The contourlet transform :an efficient directional multiresolution image representation[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2005,14(6) 760-769.

[10] CUNHA A L,ZHOU J,DO M N. The nonsubsampling contourlet transform :theory, design, and applications[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2006,15(10) 3089-3101.

[11] GONZALEZ R C,WOODS R E,EDDINS S L. 数字图像处理 :matlab 版[M]. 阮秋琦,译. 北京 :电子工业出版社,2005.

[12] PIELLA G. A general framework for multiresolution image fusion :from pixels to regions[J]. Information Fusion,2003,4(4) 259-280.

[13] ZHOU J,CIVCO D L,SILANDER J A. A wavelet transforms method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data[J]. International Journal of Remote Sensing,1998,19(4) 743-757.

Remote sensing images fusion using non-subsample Contourlet transform based on IHS transform

SHI Ai-ye, MA Yan-jun, HUNG Feng-chen, XU Li-zhong

(College of Computer and Information Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : With regard to the difficult problem in the fusion of multispectral and panchromatic images using the non-subsample Contourlet transform (NSCT), a fusion method using the NSCT in the IHS (intensity-hue-saturation) transform domain was proposed. Firstly, the IHS transform of the multispectral images was made. Then the new intensity components were obtained by the fusion of intensity component images and panchromatic images based on the NSCT. After that, the fusion images were obtained by use of the inverse IHS transform. The test results indicate that the combination of the IHS transform with NSCT saves more time, and the proposed method can improve the visual effect of the fused images and decrease the aberrance of the spectra compared with other methods based on the multi-resolution analysis, such as the discrete wavelet transform, the Contourlet transform, the NSCT.

Key words : non-subsample Contourlet transform ; IHS transform ; remote sensing images fusion