

# 基于非下采样三通道不可分对称小波的多光谱图像融合

刘 斌<sup>1</sup>, 彭嘉雄<sup>2</sup>

(1. 湖北大学数学与计算机科学学院, 湖北武汉 430062; 2. 华中科技大学图像识别与人工智能研究所, 湖北武汉 430074)

**摘 要:** 针对 IHS 变换融合方法不能保持好的光谱信息, 张量积小波变换融合方法生成的融合结果图像空间分辨率偏低、且易产生方块效应等不足. 提出了一种基于三通道不可分对称小波的多光谱图像融合方法. 利用矩阵扩充的方法, 给出了三通道不可分对称小波滤波器组的构造方法, 用所构造的不可分小波滤波器组分别对多光谱图像的亮度分量和全色图像作非下采样多尺度分解, 采用高频分量替代、低频分量取平均进行融合. 实验结果表明, 该方法有较好的融合效果, 其保持光谱信息的能力和空间分辨率信息的能力比基于 IHS 融合方法、基于 DWT 的融合方法和基于 IHS-DWT 的融合方法都强.

**关键词:** 图像融合; 不可分小波; 多光谱图像; 全色图像

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 05-1094-06

## Multi-Spectral Image Fusion Method Based on Nonsampled Three Channels Nonseparable Symmetrical Wavelets

LIU Bin<sup>1</sup>, PENG Jia-xiong<sup>2</sup>

(1. School of Mathematics and Computer Science, Hubei University, Wuhan, Hubei 430062, China;

2. Institute of Image Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

**Abstract:** In order to solve the problems that the image fusion method based on IHS transform can not preserve good spectral information and the image fusion method based on separable discrete wavelet transform is low in spatial resolution and block effect is exist in the fused image, a new multispectral image fusion method based on IHS transform and three channels nonseparable symmetrical wavelets is proposed. A construction method of the symmetrical filter bank relating to this kind of wavelet is presented. The multi-resolution decompositions of the intensity of the multispectral image and panchromatic image are performed in nonsampled mode using the filter bank constructed. The approximation images and the detail images of the multi-resolution pyramids are fused. The experiment results show that this method has good visual effect. The fusion performance outperforms the IHS fusion method, the fusion method based on DWT and the fusion method based on IHS-DWT in preserving spectral quality and high spatial resolution information.

**Key words:** image fusion; nonseparable wavelets; multispectral image; panchromatic image

## 1 引言

多光谱(MS)图像与高分辨率全色(PAN)图像的融合是将具有好的光谱信息但分辨率较低的图像与具有高空间分辨率全色图像进行整合, 生成一幅既具有好的光谱信息又具有高的分辨率的图像. 它是目前遥感图像融合热点, 并有着广泛的应用<sup>[1,2]</sup>.

目前关于多光谱图像与高分辨率图像的融合方法主要有 IHS 变换方法<sup>[3]</sup>、主成分分析法(PCA)<sup>[4]</sup>、缨帽变

换法(BT)<sup>[3]</sup>、基于张量积离散小波变换(DWT)的融合方法及基于 ARSIS 概念的融合方法<sup>[5,6]</sup>. 在这些方法中, 使用最广泛的是 IHS 变换方法和小波变换方法. 但 IHS 变换方法和小波变换方法都有其不足: 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; 基于离散小波变换方法所得融合结果图像有好的光谱信息, 但其空间分辨率低, 且由于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有方块效应. 基于上述问题, Zhang 等人把 IHS 变换具有较好的空

间分辨率和小波变换能获得较好的光谱信息这两个互补的优点有机结合起来,提出了一种结合 IHS 变换和小波变换的多光谱图像融合方法<sup>[7]</sup>,获得了较好的融合效果,融合结果图像既具有较好的光谱信息,也具有较高的空间分辨率.但由于所建议的融合方法采用的是基于下二抽样的张量积小波变换,不具备时不变性,使得融合结果图像不可避免地产生了人工痕迹和方块效应.另外,除 Haar 小波外,张量积小波都不同时具有紧支撑、正交性和对称性,双正交张量积小波具有对称性,但它不具备正交性,用于图像分解和重构时会产生信息冗余,对称的小波能使融合结果图像没有偏移、不产生重影、且能得到空间分辨率高的融合结果图像.不可分小波是近年来发展起来的一类新的小波,相对于张量积小波而言它有很多好的特点,如可同时具有紧支撑、正交性和对称性,在对图像进行分解和重构时,能获得具有较高空间分辨率的图像,克服了张量积离散小波变换不能获得高空间分辨率图像的不足.我们研究小组研究了基于二通道、四通道不可分小波的多光谱图像融合方法<sup>[8~10]</sup>,获得了较好的融合效果.但相对于三通道不可分小波而言,四通道不可分小波在对图像进行分解和重构时需要更多的运算量,而二通道不可分小波虽然可以节约图像分解和重构时的运算量,但由于所构造的二通道滤波器组只有对角线上的元素的值非零<sup>[9,10]</sup>,在对图像进行滤波时,只有对角线上的像素参与了滤波,非对角线上的元素不参与运算,滤波时相关信息被丢失了.三通道不可分小波是一类新的小波,目前国内外还未见基于三通道的不可分小波的图像融合方法.另外,基于非下采样的小波变换具有平移不变性,使得重构图像能较好地保持原图像光谱信息和纹理信息,不会产生方块效应.综上所述,为了获得更好的能保持多光谱信息和高空间分辨率信息的图像,本文提出一种基于非下采样的三通道不可分对称小波滤波器组的构造方法,并把它应用于多光谱图像与高分辨率图像的融合中.

## 2 具有紧支撑、正交性和对称性的二维三通道不可分小波与滤波器组

根据一般二维小波变换及多尺度分析的理论,当抽样矩阵  $M = [2, 1; -1, 1]$ ,  $M$  的行列式的绝对值为 3, 故有 3 个通道, 1 个低通通道和 2 个高通通道, 相应地有一个尺度函数和两个小波函数, 从而对应地有 1 个低通滤波器和 2 个高通滤波器, 若此时的尺度函数和小波函数都不能分解为一维的尺度函数和一维的小波函数的张量积, 则称为不可分的 (non-separable) 小波. 记小波低通滤波器为  $H_0 = \{h_0(k)\}_{k \in \mathbf{Z}}$ , 高通滤波器为  $H_i = \{h_i(k)\}_{k \in \mathbf{Z}} (i = 1, 2)$ , 则相应于抽样矩阵为  $M = [2, 1;$

$-1, 1]$  的情形下的二维 Mallat 算法, 有如图 1 的图像三通道小波分解和图 2 的重构过程, 其中  $A_{j+1}, A_j, A_{j-1}$  分别为尺度指标  $j+1, j, j-1$  时的近似分量, 即图像的低频成份,  $D_j^{(1)}$  和  $D_j^{(2)}, D_{j-1}^{(1)}$  和  $D_{j-1}^{(2)}$  分别为尺度指标为  $j, j-1$  时的细节分量, 即图像的高频成份,  $M$  为抽样矩阵,  $H_0, H_1, H_2$  分别为三通道小波分解的低通和高通滤波器,  $H_0^*, H_1^*, H_2^*$  为分别与  $H_0, H_1, H_2$  相对应的三通道小波重构低通滤波器和高通滤波器. 此图中只给出了两层分解, 实际上还可进行多层小波分解与重构.

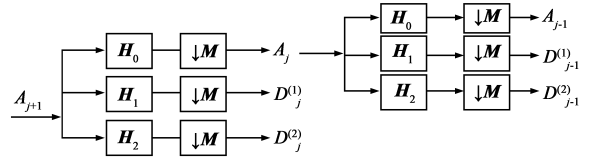


图1 图像的三通道不可分小波分解

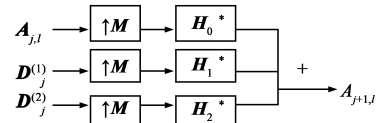


图2 图像的三通道不可分小波重构

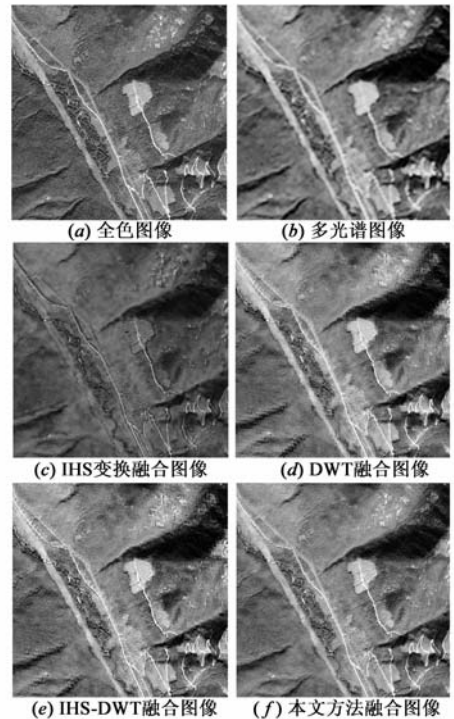


图3 LISS-3多光谱图像与全色图像的融合

上述三通道小波分解与重构分别包含了下抽样和上插值的过程, 有此两过程的小波变换不具有平移不变性, 在图像处理中有时不能很好地保持图像的纹理信息, 因此, 在图像融合等实际应用中往往省略这两过程. 可以证明, 去掉下抽样和上插值的不可分小波分解与重构也具有正交性和完全重构性质.

从图 1 和图 2 可以看出,三通道小波分解和重构的过程不涉及尺度函数和小波的具体形式,因此在诸如图像融合等实际应用的问题中,我们主要关心的是如何构造尺度低通滤波器和小波高通滤波器.

关于二维不可分小波滤波器的设计方法,目前的设计方法主要集中在四通道和二通道滤波器组的设计上,二维三通道不可分小波滤波器的设计方法目前国内还很少见.根据高维小波构造的理论方法<sup>[11]</sup>,我们提出基于抽样矩阵为  $\mathbf{M} = [2, 1; -1, 1]$  且具有对称性二维三通道小波滤波器组的构造方法如下:

构造:

$\mathbf{X}(x, y) = (1, x, y)$ ,  $\mathbf{DG}(x, y) = \text{Diag}(1, x^2/y, xy)$ , 则二维三通道具有紧支撑、正交性和对称性的滤波器组的形式可构造如下:

$$\begin{aligned} & [m_0(x, y), m_1(x, y), m_2(x, y)] \\ & = \frac{1}{3} \mathbf{X}(x, y) \prod_{j=1}^K [\mathbf{U}_j \mathbf{DG}(x, y) \mathbf{U}_j^T] \mathbf{V} \end{aligned} \quad (1)$$

其中,  $x = e^{-i\omega_1}$ ,  $y = e^{-i\omega_2}$ ,  $\mathbf{U}_j (j = 1, 2, \dots, K)$  为  $3 \times 3$  的对称正交阵,  $\mathbf{V} \sqrt{3} = (\mathbf{V}_0, \mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2) \sqrt{3}$  为正交阵,  $\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2$  为  $3 \times 1$  向量,  $\mathbf{V}_0 = (1, 1, 1)^T$ ,  $m_0(x, y)$ ,  $m_1(x, y)$ ,  $m_2(x, y)$  分别为滤波器  $\mathbf{H}_0, \mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2$  所对应频域形式.

为构造三通道小波滤波器组,取  $K = 1$ , 构造  $3 \times 3$  正交对称矩阵  $\mathbf{U}_1$  和正交矩阵  $\mathbf{V}$  如下, 设:

$$\mathbf{U}_1 = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & d \\ c & b & a \end{pmatrix}, \text{ 则根据其正交性可求得其中参数}$$

$a, b, c, d, e$  的值, 这里选取一组解:  $a = 3/4, b = \sqrt{6}/4, c = -1/4, d = \sqrt{6}/4, e = -1/2$ , 得:

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_1 &= \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 3 & \sqrt{6} & -1 \\ \sqrt{6} & -2 & \sqrt{6} \\ -1 & \sqrt{6} & 3 \end{pmatrix}, \text{ 构造:} \\ \mathbf{V} &= \begin{pmatrix} 1 & \sqrt{2}/2 & -\sqrt{6}/2 \\ 1 & -\sqrt{2} & 0 \\ 1 & \sqrt{2}/2 & \sqrt{6}/2 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

据此, 可以构造滤波器组的时域形式如下:

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_0 &= \begin{pmatrix} .278093 & .227062 & -.926977e-1 \\ .147938 & -.120791 & .147938 \\ -.92677e-1 & .227062 & .278093 \end{pmatrix}, \\ \mathbf{H}_1 &= \begin{pmatrix} -.128118 & -.104608 & .427057e-1 \\ .321113 & -.262188 & .321113 \\ .427057e-1 & -.104608 & -.128118 \end{pmatrix}, \\ \mathbf{H}_2 &= \begin{pmatrix} -.306186 & -.250000 & .102062 \\ -.226623e-16 & .185037e-16 & -.226623e-16 \\ -.102062 & .250000 & .306186 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

显然, 此滤波器组是不可分和对称的.

### 3 融合算法

为了与基于 IHS 变换和下 2 抽样的张量积小波融合方法(文献[7])相比较, 我们采用与文献[7]类似的融合方法, 主要区别为: 采用式(3)的不可分小波滤波器组对图像进行分解与重构, 为保持变换的平移不变性, 使融合结果图像有好的光谱信息与纹理信息, 分解与重构时不进行下采样和上插值, 即采用非下采样的不可分小波变换; 另外, 对多光谱图像的亮度分量和高分辨率全色图像作不可分小波分解后的低频分量采用取平均的方式进行融合. 具体融合步骤如下:

**Step1** 对 PAN 图像和 MS 图像进行配准.

**Step2** 对 MS 图像进行 IHS 变换<sup>[3]</sup>:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{v}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ -\sqrt{2}/6 & -\sqrt{2}/6 & 2\sqrt{2}/6 \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R} \\ \mathbf{G} \\ \mathbf{B} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{H} = \arctan \frac{\mathbf{v}_2}{\mathbf{v}_1} \quad (5)$$

$$\mathbf{S} = \sqrt{\mathbf{v}_1^2 + \mathbf{v}_2^2} \quad (6)$$

其中,  $\mathbf{I}$  表示强度,  $\mathbf{H}$  表示色调 (Hue),  $\mathbf{S}$  表示饱和度 (Saturation).

**Step3** 对 PAN 图像和 MS 图像的亮度成份进行直方图匹配:

记 MS 图像的亮度图像为  $\mathbf{I}$ , 其均值为  $m_1$ , 标准差为  $\sigma_1$ ; PAN 图像为  $\mathbf{P}$ , 其均值为  $m_2$ , 标准差为  $\sigma_2$ . 则匹配过程可描述如下:

$$\mathbf{P}' = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \times \mathbf{P} + m_1 - \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \times m_2 \quad (7)$$

**Step4** 对多光谱图像的亮度分量  $\mathbf{I}$  和全色图像  $\mathbf{P}'$  进行融合, 得亮度图像  $\mathbf{I}'$ .

首先, 用第 2 节式(3)构造的 3 个  $3 \times 3$  的滤波器分别对图像  $\mathbf{I}$  和  $\mathbf{P}'$  进行多级不可分小波分解.

其次, 用  $\mathbf{P}'$  分解后的各级高频分量去替代  $\mathbf{I}$  分解后的相应高频分量, 研究发现,  $\mathbf{I}$  和  $\mathbf{P}'$  分解后的低频分量系数的选择方式对融合结果图像所能保持的光谱信息和空间分辨率的影响至关重要, 设多光谱图像亮度分量  $\mathbf{I}$  的不可分小波分解后的低频分量为  $\mathbf{IA}$ , 全色图像  $\mathbf{P}'$  作不可分小波分解后的低频分量为  $\mathbf{P}'\mathbf{A}$ , 记融合后的低频分量  $\mathbf{FA}$  为:

$$\mathbf{FA} = t \times \mathbf{IA} + (1-t) \times \mathbf{P}'\mathbf{A} \quad (8)$$

则  $t$  值越大, 最后融合结果图像的光谱信息越好, 否则, 最后融合结果图像的空间分辨率越高. 基于此规律, 为了使结果图像既能保持好的光谱信息又具有较高的空

间分辨率,我们取  $t = 1/2$ ,即取两低频分量的平均值作为新的低频分量.

最后,做不可分小波逆变换,生成新的亮度图像  $F$ .

**Step5** 对图像  $F$ 、 $H$  和  $S$  进行 IHS 逆变换,形成融合后的多光谱图像.

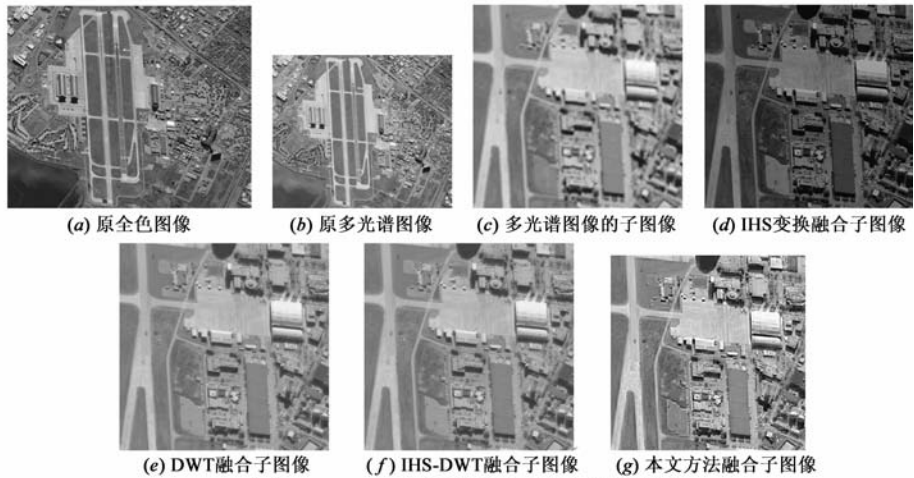


图4 Quickbird多光谱图像与全色图像的融合

## 4 实验结果与分析

### 4.1 实验结果

为了验证上述方法的可行性,我们进行了大量的

实验研究,这里展示两组实验结果.

第一组是 IRS-P6 卫星的 LISS-3 传感器所拍摄的多波段影像和全色影像进行融合.图 3(a)和图 3(b)为大小为  $592 \times 592$  的原始图像,其中,图 3(a)是分辨率为 5.8m 的全色图像,图 3(b)为分辨率为 23.5m 的 LISS-3 多波段图像,这里我们所选择的是 B2(绿光波段)、B3(红光波段)和 B4(近红外)三波段合成的图像.这是一幅火灾的场景,图中右上角等处火焰还正在燃烧,而图中的左下角偏上方等地方火焰已熄灭,留下了燃烧的痕迹.火焰和燃烧后的痕迹是通过光谱信息表示的.第二组实验,选择同一场景(太空船发射场)的快鸟(QuickBird)多波段影像和全色影像进行融合.图 4(a)和图 4(b)为原始图像,其中,图 4(a)是大小为  $2024 \times 2361$  分辨率为 0.61m 的 QuickBird 全色图像,图 4(b)为分辨率为 2.44m 的 QuickBird 多波段图像(选择红、绿和近红外三波段合成的图像),采用双线性插值法对 MS 图像进行重采样,得到像素大小为  $0.61m \times 0.61m$  的图像,与 PAN 图像的大小一致,对 PAN 图像和 MS 图像进行配准.由于图像太大,为了能看清各种方法的融合效果,我们采用裁剪子图像的方式显示融合效果.图 4(c)为原多光谱图像裁剪出的子图像.

图 3(f)和图 4(g)分别为本文建议融合方法的融合结果图像.为了体现本文方法的融合效果,我们把它与基于 IHS 变换融合方法(文献[3])、基于 DWT 变换的融合方法(文献[5])、基于 IHS-DWT 变换的融合方法(文献[7])分别作对比研究.图 3(c)、图 3(d)和图 3(e)是 LISS-3 图像分别使用这三种方法得到的融合结果图像,图 4(d)、图 4(e)和图 4(f)是 Quickbird 图像分别使用这三种方法得到的融合结果图像,所采用的张量积小波为 Daubechies 系列小波中的 db2

小波.本文建议方法、基于 DWT 融合方法和基于 IHS-DWT 融合方法的小波分解层数均为 3.

比较上述四种方法融合结果图像的视觉效果,本文所建议方法(图 3(f))能保持较好的光谱信息,右上角处的火焰和左下角偏上方的燃烧痕迹的光谱信息很自然;同时,结果图像也有较高的空间分辨率,与全色图像有相同的分辨率;图像自然,没有方块效应和人工痕迹.基于 IHS 变换的融合方法(图 3(c))虽然有较高的分辨率,但其颜色偏深,光谱信息较差.基于 DWT 的方法融合结果图像(图 3(d))有较好的光谱信息,但空间分辨率较差,且在山脊等处有明显的方块效应.基于 IHS-DWT 融合方法(图 3(e))虽然在空间分辨率上有所提高,且也有好的光谱信息,但方块效应仍然存在.

从 Quickbird 图像的融合视觉效果看,本文所建议方法能保持原图像的较好的空间分辨率和光谱信息(图 4(g)).基于 IHS 变换的融合方法(图 4(d))虽然有较高的分辨率,但其光谱信息扭曲严重,与原 PAN 图像较接近.基于 DWT 方法和基于 IHS-DWT 方法融合结果图像(图 4(e)和图 4(f))也有较好的光谱信息和分辨率信息,但从视觉效果看,其融合结果图像的空间分辨率比本文建议的融合方法相应结果子图像差.

### 4.2 融合结果客观性能分析

为了衡量融合图像保持原 MS 图像的光谱信息,我们采用偏差指数(Bias)、标准差(Standard Deviation,

表 1 LISS-3 融合图像的各项性能指标

	IHS 融合方法			DWT 融合方法			HS-DWT 融合方法			本文融合方法		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
BIAS	28.12	33.36	32.66	17.93	17.24	15.88	16.60	18.12	17.45	14.89	16.13	15.68
SD	41.78	42.58	42.51	27.02	23.79	22.86	23.99	24.79	24.63	21.22	22.03	21.19
RASE	49.22			5.590			1.925			1.2895		
ERGAS	154.29			11.80			3.872			2.9734		
CC	0.860	0.709	0.718	0.870	0.864	0.853	0.888	0.836	0.820	0.918	0.884	0.871
Entropy	5.949	6.793	6.010	7.004	7.506	7.129	7.090	7.439	7.100	7.111	7.519	7.136
sCC	0.934	0.972	0.986	0.937	0.976	0.968	0.966	0.987	0.981	0.986	0.990	0.989

SD)、原多光谱图像的 R、G、B 通道与融合结果多光谱图像的 R、G、B 通道的相关系数 (Correlation Coefficient, CC)、相对平均光谱误差指数 (Relative Average Spectral Error, RASE)、相对整体维数综合误差 (其意为: Relative Global Dimensional Synthesis Error, ERGAS) 去衡量光谱信息的保持程度<sup>[12]</sup>。

为了衡量融合结果图像所含的空间分辨率信息, 采用熵 (Entropy)、PAN 图像和融合多光谱图像的 R、G、B 通道分别被中心值为 8, 周围值均为 -1 的大小为  $3 \times 3$  的高通滤波器滤波后的相关系数 (sCC) 以衡量融合结果图像的空间分辨率信息<sup>[12]</sup>, 其值越大, 说明融合结果图像保持原 PAN 高分辨信息越好。

表 1、表 2 分别是 LISS-3 图像和 Quickbird 图像融合的各项客观性能指标。从表中可以看出, 本文建议融合方法的 BIAS、SD、RASE、ERGAS 的值都比其它三种融合方法的相应值小, CC、Entropy 和 sCC 的值比其它三种融合方法的相应值都大, 说明本文融合方法保持光谱信息的能力和空间分辨率的能力较强。

为了看出本方法的时间效率, 我们也对上述四种方法的时间复杂度进行了分析比较。由于 Matlab 图像处理的优越性能: 其底层很多函数 (如卷积滤波函数 filter) 以内置形式出现、对向量和矩阵的处理采用整体操作 (使用并行处理)、对循环运算进行了优化处理。因此, 本文实验采用 Matlab 7.5 编程实现, 所用计算机为 core2Duo 2. 33GHz CPU + 2GB Ram。设参与融合的图像的大小均为  $M \times N$ , 这里的主要运算为卷积中的乘法、矩阵赋值、IHS 变换及其逆变换、抽样和插值等, 四种方法的时间效率 (运算次数) 和所用时间列于表 3 中, 可见本文方法时间效率比 DWT 融合方法和 IHS-DWT 融合方法效率高, 由于 IHS 融合方法不涉及卷积运算, 因此它耗时较少。

表 3 四种方法的运算次数及 LISS-3 和 Quickbird 图像融合所耗时间

	IHS 融合方法	DWT 融合方法	IHS-DWT 融合方法	本文 融合方法
时间效率	$27 * M * N$	$679 * M * N$	$330 * M * N$	$276 * M * N$
LISS-3 图像	0.1474909(s)	1.621623(s)	0.552944(s)	0.413149(s)
Quickbird 图像	1.953695(s)	20.196411(s)	7.587153(s)	5.764679(s)

另外, 利用第 2 节其它  $a, b, c, d, e$  的解构造的对称滤波器组进行融合实验时, 也得到与上述结论相同的结论, 说明此类不可分小波的一组滤波器组对多光谱图像和高分辨率图像的融合性能相近。而且, 基于张

表 2 Quickbird 融合图像的各项性能指标

	IHS 融合方法			DWT 融合方法			HS-DWT 融合方法			本文融合方法		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
BIAS	63.41	63.58	63.59	13.65	12.19	12.40	14.81	14.82	14.82	12.69	12.68	12.68
SD	68.86	68.87	68.87	22.01	19.69	18.35	22.59	22.60	22.59	18.95	18.96	18.96
RASE	117.66			2.668			0.709			0.4695		
ERGAS	219.52			7.271			1.937			1.2772		
CC	0.848	0.781	0.721	0.901	0.899	0.896	0.885	0.857	0.832	0.918	0.896	0.878
Entropy	6.812	6.544	6.348	7.470	7.283	7.130	7.405	7.224	7.126	7.471	7.277	7.131
sCC	0.994	0.995	0.995	0.971	0.972	0.971	0.969	0.970	0.971	0.989	0.989	0.988

量积小波的图像融合也是通过滤波器组实现对图像的分解和重构的, 因此, 三通道不可分小波和张量积小波一样, 有较广泛的适用范围, 能适用于各类图像的融合处理。

## 5 结论

提出了一种三通道伸缩矩阵为  $[2, 1; -1, 1]$  的不可分对称小波滤波器组的构造方法, 构造了不可分低通滤波器和高通滤波器, 并把它应用于多光谱图像与高分辨率图像的融合中。从融合的视觉判读效果看, 所建议的方法有好的视觉效果, 融合结果图像清晰, 能保持较好的光谱信息和高分辨率信息。从客观性能指标看, 该方法保持光谱信息和空间分辨率信息的能力比基于 IHS 变换的融合方法、基于 DWT 的融合方法和基于 IHS-DWT 融合方法都强。

利用本文建议方法对 ETM + 多光谱图像与全色图像的融合、SPOT 高分辨率图像与 TM 多光谱图像的融合, 也得到与上述结论相同的结论。该方法有较广泛的适用范围。

## 参考文献

- [1] C Thomas, T Ranchin, L Wald, J Chanussot. Synthesis of multi-spectral images to high spatial resolution: a critical review of fusion methods based on remote sensing physics [J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2008, 46(5): 1301 - 1312.
- [2] 余二永, 王润生, 徐学文. 基于统计模型的遥感图像多分辨率融合方法 [J]. 电子学报, 2008, 36(3): 490 - 493.  
She Er Yong, Wang Run Sheng, Xu Xue Wen. Multi-resolution fusion of remote sensing image based on statistical model [J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(3): 490 - 493. (in Chinese)
- [3] T M Tu, S C Su, H C Shyu, P S Huang. A new look at IHS-like image fusion methods [J]. Information Fusion, 2001, 2(3): 177 - 186.
- [4] P S Chavez, S C Sides, J A Anderson. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: landsat TM & SPOT panchromatic [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1991, 57(3): 295 - 303.

- [5] D A Yocky. Image merging and data fusion by means of the discrete two-dimensional wavelet transform [J]. *Journal of the Optical Society of America A*, 1995, 12(9): 1834 – 1841.
- [6] T Ranchin, L Wald. Fusion of high spatial and spectral resolution images: The ARSIS concept and its implementation [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2000, 66(1): 49 – 61.
- [7] Yun Zhang, Gang Hong. An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour IKONOS and QuickBird images [J]. *Information Fusion*, 2005, 6(3): 225 – 234.
- [8] 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.  
Liu Bin, Peng Jiaxiong. Fusion method of multi-spectral and panchromatic image based on four channels non-separable additive wavelets [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2009, 32(2): 350 – 356. (in Chinese)
- [9] Liu Bin, Peng Jiaxiong. Multi-spectral image fusion method based on two channels non-separable wavelets [J]. *Science in China Series F: Information Sciences*, 2008, 51(12): 2022 – 2032.
- [10] 刘斌, 彭嘉雄. 基于二通道不可分加性小波的多光谱图像融合[J]. *光学学报*, 2007, 27(8): 1419 – 1424.  
Liu Bin, Peng Jiaxiong. Multi-spectral image fusion based on two channels non-separable additive wavelets [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, 27(8): 1419 – 1424. (in Chinese)
- [11] Q H Chen, C A Micchelli, S L Peng, Y S Xu. Multivariate filter banks having matrix factorizations [J]. *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 2003, 25(2): 517 – 531.
- [12] M J Choi, R Y Kim, M R Nam, et al. Fusion of multispectral and panchromatic satellite images using the curvelet transform [J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2005, 2(1): 136 – 140.

## 作者简介



刘 斌 男, 1963 年生于湖北红安, 湖北大学教授. 2006 年在华中科技大学图像所获模式识别与智能系统专业博士学位. 主要从事图像融合、小波理论与应用、模式识别等的教学和研究工作.

E-mail: liubin3318@163.com



彭嘉雄 男, 1934 年生于江西, 教授, 博士生导师. 主要研究领域为模式识别、计算机视觉、图像匹配与定位、成像跟踪、检测与估计、智能自动化.