

# 利用 NSCT 域邻域特性区域化方法融合红外与微光图像<sup>①</sup>

徐 敏<sup>1</sup>, 莫东鸣<sup>1</sup>, 张 祯<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(重庆工业职业技术学院 机械工程学院, 重庆 401120)

<sup>2</sup>(重庆工业职业技术学院 管理工程学院, 重庆 401120)

**摘 要:** 针对同一场景的红外与微光(可见光)图像融合问题, 提出了一种利用邻域特性区域化处理的非下采样 Contourlet 变换(NSCT)融合方法. 首先, 对红外和微光源图像进行多尺度、多方向分解; 然后对低频系数采用邻域能量上改进的区域化加权融合规则, 高频系数采用邻域能量区域化匹配的系数选择方案与邻域方差上的区域方差取大融合规则; 最后利用 NSCT 反变换进行重构得到融合图像. 实验结果表明, 本文方法信息熵略低于亮度过度增大的参考文献中的方法, 由于传统方法引入虚假细节信息导致空间频率略高于所提方法, 但其互信息与边缘保持度(Q)指标值较好, 其融合图像整体效果优于对比方法. 本文方法在保留源图像主要信息及捕捉细节信息方面效果显著, 且融合的图像具有较好的视觉效果.

**关键词:** 图像融合; 非下采样 Contourlet 变换; 邻域能量; 红外和微光图像

## Fusing Infrared and Low Light Level Images by Using the Method of Neighborhood Characteristics Regionalization in Domain

XU Min<sup>1</sup>, MO Dong-Ming<sup>1</sup>, ZHANG Zhen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Department of Mechanical Engineering, Chongqing Industry Polytechnic College, Chongqing 401120, China)

<sup>2</sup>(Department of Management Engineering, Chongqing Industry Polytechnic College, Chongqing 401120, China)

**Abstract:** A fusion algorithm for infrared and low-light level(visible) images based on neighborhood characteristic and regionalization in NSCT domain was proposed. Firstly, the NSCT was performed on the infrared and visible images at different scales and directions. The low-frequency coefficients were fused with a rule of an improved regional weighted fusion method based on neighborhood energy, and the high-frequency coefficients were fused with a rule of an improved neighborhood energy and regionalization coefficients options and an area variance chooses max based on a neighborhood variance regionalization rule. Finally, the fused coefficients were reconstructed to obtain the fused image. Experimental results show that the information entropy of proposed method is lower than that of the method in the reference whose luminance increases excessively. The introducing of false details of traditional methods results in spatial frequency is slightly higher compared with the proposed method. But the mutual information and edge retention(Q)index value of the proposed method are better and the fusion image is superior to other contrast methods. The proposed method presented better effects in retaining the source images information and capturing details, and fused image had better visual effects.

**Key words:** image fusion; nonsubsampling Contourlet transform; neighborhood energy; infrared and low-light level(visible) images

图像融合就是综合利用各成像传感器针对同一场景得到的不同图像的互补信息和冗余信息, 获得对该

场景更为全面、准确的解释<sup>[1]</sup>. 目前, 图像融合技术已广泛应用在军事、安全监控、人类视觉辅助系统、医

① 基金项目:重庆市高等学校青年骨干教师资助项目(自然科学类);重庆市工业职业技术学院科研项目自然科学基金(GZY201313)

收稿时间:2015-06-29;收到修改稿时间:2015-09-08

学成像与诊断及遥感领域. 因此, 该领域具有广泛的研究前景.

近年来, 多尺度分析方法在图像融合中的研究成为一个热点, 以其良好的时频局部性及“最稀疏”函数表示方法得到广泛应用. 学者 Dohono 和 Martin Vetterli 提出了一种“真正”的图像二维表示方法, 即 Contourlet 变换, 其原理是采用 LP(Laplacian pyramid) 变换对源图像进行多尺度分解“捕获”点奇异, 再由 DFB(Directional Filter Bank)将分布在同方向上的点奇异合成系数, 这种算法利用类似于线段的方式来逼近源图像<sup>[2]</sup>, 具有多尺度、多方向性及良好的时频局部性, 但是, 其滤波器结构决定了其不具备平移不变性. 在此基础上, Cunha 等提出了非下采样 Contourlet 变换(NSCT), 继承了 Contourlet 变换的优点, 且分解得到的子带系数与源图像尺度大小一样, 更有利于图像融合的实现<sup>[3,4]</sup>. 基于 NSCT 融合虽然能实现较好的融合效果, 但是融合规则的选择将直接影响到融合效果<sup>[5]</sup>. 目前融合规则大部分采用加权平均<sup>[6]</sup>、迭代寻优<sup>[7,8]</sup>或多次实验方法选择融合权值<sup>[9]</sup>, 加权平均会导致融合图像对比度下降; 迭代寻优虽然能寻到较好的权值系数, 但是目标函数的构建、迭代次数的设置都需要多次尝试, 而且计算复杂度高; 而最优权值选择是通过多次实验验证选取, 能够得到较好的图像融合效果, 但每组图像的最优权值不尽相同, 且需大量时间验证, 并且不具备鲁棒性. 文献[10]采用局部能量与能量对比度融合, 虽然考虑了像素点之间的关联性, 但单个像素点不能很好地表达图像特征.

基于以上分析, 为了进一步提高融合效果, 本文将像素级与特征级融合的优点结合起来, 即考虑单个像素点的邻域特性, 也结合独立区域之间的关联, 对红外和微光图像进行融合, 其中低频系数采用一种邻域能量上改进的区域化能量加权融合规则, 尽可能的保留源图像主要信息, 高频系数采用基于邻域能量区域化匹配的系数选择方案与邻域方差改进的区域方差取大融合规则, 尽可能的保留边缘轮廓信息. 实验验证, 本文方法取得了较好的融合效果.

### 1 图像融合策略

图像融合规则是图像融合的核心, 本文将源图像红外 IR 与微光图像 VI 分别进行 NSCT 变换, 分别得到对应的低频子带系数  $C_{IR}(x,y)$ 、 $C_{j,j}^l(x,y)$  与不同尺度、

方向高频子带系数分别为  $C_{j,j}^h(x,y)$ 、 $C_{j,j}^l(x,y)$ , 然后用一定的融合规则得到融合图像 F 的 NSCT 系数  $\{C_F(x,y), C_{F,i}^f(x,y)\}$ ; 最后进行 NSCT 反变换得到融合图像 F.

为加强像素点之间的关联, 如图 1 所示首先对低频系数与高频系数都进行邻域处理(文中主要是邻域能量和邻域方差), 再进行区域化处理.

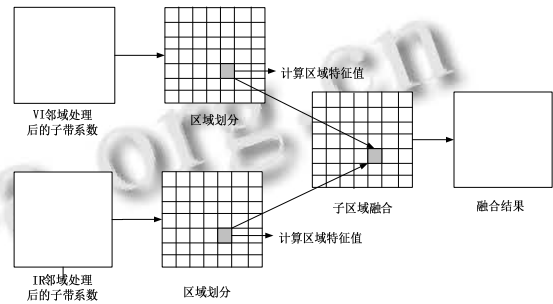


图 1 邻域区域化处理子带系数融合过程

#### 1.1 低频子带系数融合

图像低频子带系数是低分辨率下原始图像的近似, 且占据图像大部分能量<sup>[11]</sup>. 为尽量保留图像大部分能量信息, 低频采用邻域能量上改进的区域化能量加权融合规则, 具体实现步骤如下:

1)由式(1)分别计算红外和微光图像的邻域能量.

$$E'_i(x,y) = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=(M-1)/2}^{(M+1)/2} \sum_{n=(N-1)/2}^{(N+1)/2} C_i(x+m,y+n)^2 \quad (1)$$

式(1)中,  $E'_i(x,y)$  为图像 I 在  $(x,y)$  处的邻域能量,  $M \times N$  在文中取  $3 \times 3$ .

2)将得到的相应邻域能量矩阵划分成若干个互不重叠  $(3 \times 3)$  方形子区域. 由式(2)计算该区域特征值, 代表相应区域每个点的能量值;

$$E_{I,i} = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=(M-1)/2}^{(M+1)/2} \sum_{y=(N-1)/2}^{(N+1)/2} E'_i(x,y) \quad (2)$$

式(2)中,  $E_{I,i}$  为第  $i$  个子块进行邻域能量区域化后的能量特征值;

3)由式(3)、(4)分别计算红外与微光图像第  $i$  个子块的融合权值  $w_{VI,i}$  与  $w_{IR,i}$ ;

$$w_{VI,i} = E_{VI,i} / (E_{VI,i} + E_{IR,i}) \quad (3)$$

$$w_{IR,i} = E_{IR,i} / (E_{VI,i} + E_{IR,i}) \quad (4)$$

4)最后由式(5)进行加权融合得到低频系数. 式中,  $C_{F,i}$  为第  $i$  个子块融合后得到的低频系数.

$$C_{F,i}(x,y) = w_{VI,i}(x,y) \times C_{VI}(x,y) + w_{IR,i} \times C_{IR}(x,y) \quad (5)$$

### 1.2 高频子带系数融合

高频包含了丰富的纹理及轮廓等细节信息<sup>[12]</sup>. 本文采用基于邻域能量区域化改进的匹配系数选择方案与邻域方差上改进的区域方差取大相结合的融合规则.

1) 最高尺度采用基于邻域方差区域化处理的方差取大法<sup>[12]</sup>:

①由式(6)计算均值, 代入式(7)计算邻域方差;

$$\overline{C_{j,l}^I(x,y)} = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=-(M-1)/2}^{(M+1)/2} \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N+1)/2} C_{j,l}^I(x+m,y+n) \quad (6)$$

$$D_{j,l}^I(x,y) = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=-(M-1)/2}^{(M+1)/2} \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N+1)/2} [C(x+m,y+n) - \overline{C_{j,l}^I(x,y)}]^2 \quad (7)$$

式中,  $\overline{C_{j,l}^I(x,y)}$  为图像 I 以  $(x,y)$  为中心的邻域均值,  $D_{j,l}^I(x,y)$  为相应的邻域方差.

②将邻域方差矩阵分成  $(3 \times 3)$  互不重叠的小块, 由式(8) 对每小块求平均, 获得每小块的特征方差;

$$D_{j,l}^{\prime} = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=-(M-1)/2}^{(M+1)/2} \sum_{y=-(N-1)/2}^{(N+1)/2} D_{j,l}^I(x,y) \quad (8)$$

③最后依据式(8)计算结果, 由式(9)判断高频系数.

$$C_{j,l}^F(x,y) = \begin{cases} C_{j,l}^{VI}(x,y) & , D_{j,l}^{\prime} \geq D_{j,l}^{IR} \\ C_{j,l}^{IR}(x,y) & , D_{j,l}^{\prime} < D_{j,l}^{IR} \end{cases} \quad (9)$$

2) 其余子带系数采用改进的邻域能量匹配的加权数选择方法, 实现步骤如下:

①由式(1)、(2)计算红外与微光图像相应的区域的平均邻域能量:  $E_{j,l}^{IR}(x,y)$  和  $E_{j,l}^{VI}(x,y)$ ;

②由式(10)计算对应子带系数绝对值之积, 再由式(11)计算邻域系数之和, 最后将计算结果划分为  $(3 \times 3)$  独立小块, 并由式(12)进行区域化处理;

$$P_{j,l}(x,y) = |C_{j,l}^{VI}(x,y) \times C_{j,l}^{IR}(x,y)| \quad (10)$$

$$Q_{j,l}(x,y) = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=-(M-1)/2}^{(M+1)/2} \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N+1)/2} P_{j,l}(x,y) \quad (11)$$

$$Q_{j,l}^{\prime}(x,y) = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=-(M-1)/2}^{(M+1)/2} \sum_{y=-(N-1)/2}^{(N+1)/2} Q_{j,l}(x,y) \quad (12)$$

③由式(13)对源图像 IR 和 VI 的各方向子带系数进行邻域一致性匹配测度<sup>[13]</sup>;

$$S_{j,l}(x,y) = \frac{2Q_{j,l}^{\prime}(x,y)}{E_{j,l}^{VI}(x,y) + E_{j,l}^{IR}(x,y)} \quad (13)$$

④分别由式(14)、(15)定义权值系数  $w_{j,l}^{(1)}(x,y)$  和  $w_{j,l}^{(2)}(x,y)$ ;

$$w_{j,l}^{(1)}(x,y) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left[ \frac{1 - S_{j,l}(x,y)}{1 - \alpha} \right] \quad (14)$$

$$w_{j,l}^{(2)}(x,y) = 1 - w_{j,l}^{(1)}(x,y) \quad (15)$$

⑤最后由式(16)、(17)确定融合图像的各方向子带系数.

当  $S_{j,l}(m,n) < \alpha$

$$C_{j,l}^F(x,y) = \begin{cases} C_{j,l}^{VI}(x,y) & , E_{j,l}^{\prime} \geq E_{j,l}^{IR} \\ C_{j,l}^{IR}(x,y) & , E_{j,l}^{\prime} < E_{j,l}^{IR} \end{cases} \quad (16)$$

当  $S_{j,l}(m,n) \geq \alpha$

$$C_{j,l}^F(x,y) = \begin{cases} w_{j,l}^{(1)}(x,y)C_{j,l}^{VI}(x,y) + w_{j,l}^{(2)}(x,y)C_{j,l}^{IR}(x,y) & , E_{j,l}^{\prime} \geq E_{j,l}^{IR} \\ w_{j,l}^{(2)}(x,y)C_{j,l}^{VI}(x,y) + w_{j,l}^{(1)}(x,y)C_{j,l}^{IR}(x,y) & , E_{j,l}^{\prime} < E_{j,l}^{IR} \end{cases} \quad (17)$$

式中,  $\alpha$  为匹配度阈值(通常取  $0.5 \sim 1$ ), 文中取  $\alpha = 0.8$ .

## 2 融合实验结果与质量分析

### 2.1 融合实验演算

为验证本文融合算法的有效性和正确性, 基于以上理论与分析, 实验中利用 MATLAB 平台, 两组完全配准红外与微光原始图像(大小均为  $256 \times 256$ ) 选至荷兰人因学研究所图片库, 其中图 5(a)-(b)为第一组, 图像中包含单目标且不含文字; 图 6(a)-(b)为第二组, 其图像中包含多目标且含文字. 文中融合算法的尺度方向分解均为 4 级. NSCT 域的方向分解级数分别为 1,3,3,4, 拉普拉斯滤波器选择“maxflat”, 方向滤波器选用“dmaxflat7”滤波器.

以图 5(a)-(b)分解后的对应子带图像的左上角  $(3 \times 3)$  系数为例进行融合细节演算.

1) 低频子带系数采用章节 2.1 中低频融合规则进行融合, 其融合过程如图 2 所示;

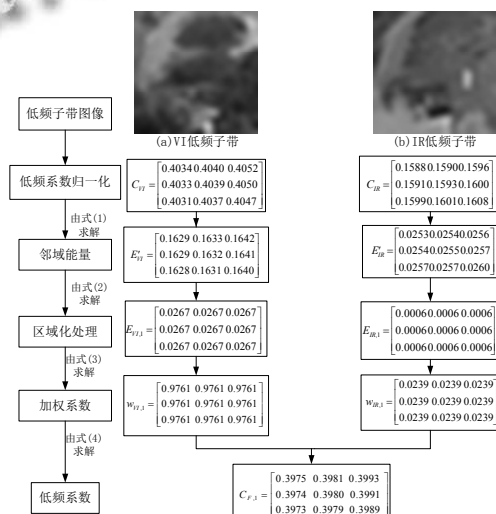


图 2 低频子带系数融合

2) 最高尺度采用章节 2.2 中最高尺度融合规则进行融合, 如图 3 所示.

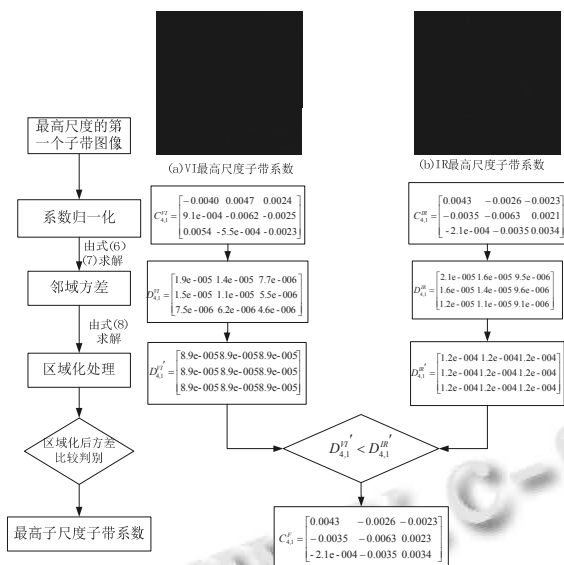


图 3 最高尺度第一个子带系数融合

3) 其余尺度仅以第一尺度第一个子方向系数为例进行说明. 采用章节 2.2 中其余尺度的融合规则进行融合, 如图 4 所示.

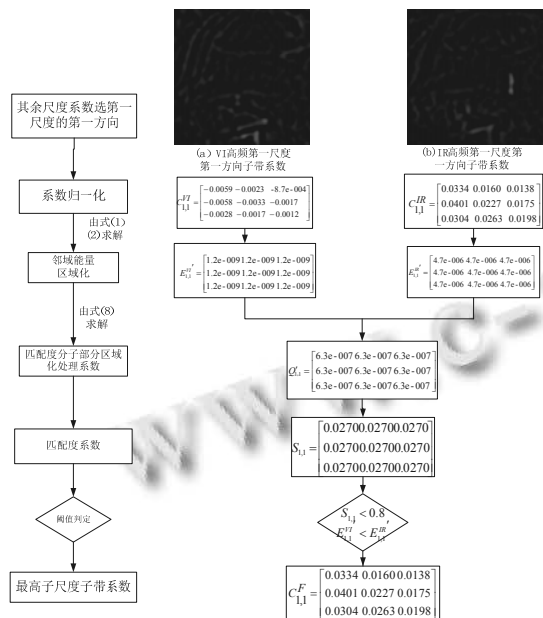


图 4 其余尺度的第一尺度第一方向系数融合

### 2.2 实验效果与主观评价

文中分别采用传统方法[Contourlet 方法(CNT 方法)、 NSCT 方法]、文献[1]的方法和本文所提方法对

如图 5(a)-(b)单目标源图像进行融合, 得到图 6(c)-(f). 分析可知, 图 5(c)整体较为模糊, 且目标边缘有虚假轮廓; 图 5(d)整体细节清晰, 但目标边缘出现了虚假轮廓; 图 5(e)目标清晰, 但原本较亮的地方反而得到过度增强. 然而, 本文方法的融合图像如图 5(f)所示, 其细节清晰且目标边缘无虚假轮廓; 依照同样方法, 对第二组多目标源图像如图 6(a)-(b)进行融合如图 6(c)-(f)所示, 其中图 6(c)整体细节模糊, 文字及目标较难识别; 图 6(d)整体细节较为清晰, 但目标边缘出现较为明显虚假轮廓, 且文字部分细节模糊化; 图 6(e)取得了较好的融合效果, 文字部分较为清晰且目标识别度较高, 但文字部分过亮、目标边缘较为模糊; 如图 6(f)本文方法, 文字部分清晰, 目标识别度高且边缘轮廓处理较好, 整体效果更佳. 为了进一步评价融合后的图像, 本文引入客观评价.

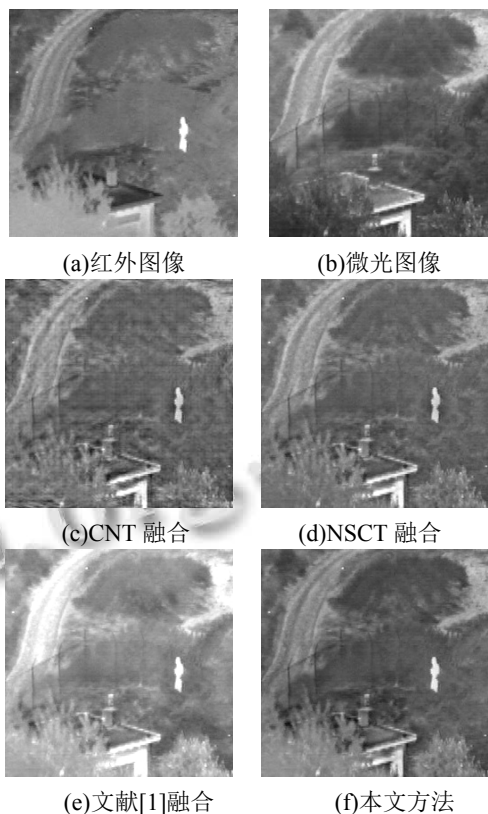
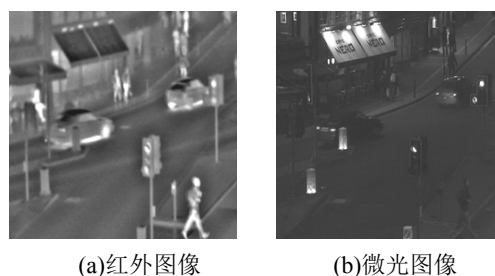
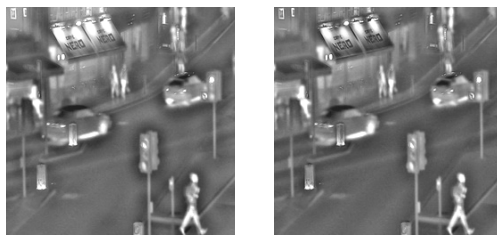


图 5 红外和微光图像融合(1)





(e)文献[1]融合 (f)本文方法  
图6 红外和微光图像融合(2)

### 2.3 客观评价与分析

本文采用信息熵、空间频率、互信息及边缘保持

度(Q)指标进行<sup>[13-15]</sup>客观评价,评价结果如表1所示。分析可知,两组客观评价数据中,本文所提方法的信息熵大于传统方法,但小于文献[1]中方法,其原因为文献[1]中方法在融合过程中,亮度大的地方得到过度增强,导致信息熵增加;本文所提方法的空间频率大于文献[1]中方法,但小于传统方法,原因在于传统方法仅进行简单融合,在其融合图像过程中引入了虚假信息所致;与其他三种方法相比,文中所提方法具有更大的互信息与Q指标值,表明所提方法较好的保留了源图像主要信息及细节信息。

表1 融合图像质量客观评价

实验图像 性能评价方法	第一组图像				第二组图像			
	信息熵	空间频率	互信息	Q 指标	信息熵	空间频率	互信息	Q 指标
CNT 融合	6.6813	<b>13.5000</b>	1.4166	0.3367	6.5548	<b>18.1286</b>	1.6893	0.4709
NSCT 融合	6.5509	<b>12.1229</b>	1.5932	<b>0.4669</b>	6.4499	<b>17.7338</b>	<b>2.0452</b>	<b>0.6278</b>
文献[1]方法	<b>6.9952</b>	11.0689	<b>1.8051</b>	0.4185	<b>6.8312</b>	17.2560	2.0422	0.6193
本文方法	<b>6.7776</b>	<b>11.3463</b>	<b>2.1127</b>	<b>0.4689</b>	<b>6.7574</b>	<b>17.5416</b>	<b>4.1174</b>	<b>0.6770</b>

## 3 结论

本文根据红外图像融合高目标指示性与微光图像细节清晰度好的特点,利用 NSCT 域邻域特性区域化融合方法,对红外与微光源图像进行 NSCT 变换,在低频子带系数与高频子带系数中充分利用邻域特性区域化进行处理。本文所选取的单目标与多目标源图像融合的图像既能较好保留源图像的光谱信息与主要能量信息,又能有效获得源图像的细节信息且具有较高的目标识别性,取得了很好的融合效果。实验结果证明:两组实验中,本文所提方法与其他方法相比,融合图像整体效果优于对比方法。另外,融合结果说明本文方法具有一定的鲁棒性。

### 参考文献

- 张强,郭宝龙.一种基于非采样 Contourlet 变换红外图像与可见光图像融合算法.红外与毫米波学报,2007,26(6):476-480.
- Po DDY, Do MN. Directional multiscale modeling of images using the contourlet transform. IEEE Trans. on Image Processing, 2006, 15(6): 1610-1620.
- Cunha AL, Zhou JP, Do MN. The Nonsubsampled Contourlet transform: Theory, design, and application. IEEE Trans. on Image Processing, 2006, 15(10): 3089-3101.
- 赵飞翔,陶忠祥.基于 NSCT 的红外与可见光图像融合.光电

与控制,2013,20(9):29-33.

- 宋梦馨,郭平.结合 Contourlet 和 HIS 变换的组合优化遥感图像融合方法.计算机辅助设计与图形学学报,2012,24(1):83-88.
- 赵娜,张骏,朱建冰.基于高频方差对比度小波变换的图像融合方法.计算机仿,2009,26(4):253-255,283.
- 常霞,焦李成,贾建华.基于非下采样 Contourlet 的多传感器图像自适应融合.计算机学报,2009,32(11):2229-2238.
- 张勇,马东玺,闫鹏程.灰度夜视融合图像质量结构相似度评价方法.光子学报,2014,43(1):1-7.
- 汪大,毕硕本,王必强,等.基于区域特征的非下采样 Contourlet 变换卫星云图融合.计算机应用,2012,32(9):2585-2587.
- 郭明,符拯,奚晓梁.基于局部能量的 NSCT 域红外与可见光图像融合算法.红外与激光工程,2012,41(8):2230-2235.
- 段先华,夏加星.基于边缘特征和局域方差的图像融合新算法.江苏科技大学学报,2012,26(2):164-168.
- 路雅宁,郭雷,李晖晖.结合边缘信息和图像特征信息的曲波域遥感图像融合.光子学报,2012,41(9):1118-1123.
- 胡钢,吉晓民,刘哲,等.结合区域特性和非子采样 SPT 的图像融合方法.计算机辅助设计与图形学学报,2012,24(5):636-647.
- 张秦涛,庞全,改进用于彩色图像融合的小波融合方法,计算机系统应用,2013,22(1):148-151.
- 杨粤涛,朱明,贺柏根,等.采用改进投影梯度非负矩阵分解和非采样 Contourlet 变换的图像融合方法.光学精密工程,2011,19(5):1144-1150.