

基于区域分割的遥感图像融合方法*

李 晖 晖 郭 雷 刘 航

(西北工业大学 自动化学院, 西安 710072)

摘 要 提出了一种基于区域分割的图像融合方法, 先将待融合的图像按空间特性分割成相似度不同的区域, 然后根据具体应用目的对每个区域采用不同的融合规则. 对多光谱与全色图像、多光谱与雷达图像两类遥感图像对进行了融合实验, 实验结果表明, 引入区域分割后的融合结果不但性能更优, 而且可以很方便地控制不同图像源的成分对融合结果的贡献, 满足特定应用的需求.

关键词 图像融合; 区域分割; $\hat{\alpha}$ trous 算法; IHS 变换

中图分类号 TP391 文献标识码 A

0 引言

随着图像融合技术的发展, 已经有不少算法成功地应用在图像融合领域, 例如 IHS^[1]、PCA^[2] 以及基于多分辨率分析的方法(金字塔算法^[3,4] 和小波变换^[5~7])等. 但是这些算法都是针对整个图像场景进行处理, 没有考虑空间特征不同的各个区域固有的特性. 事实上, 对融合算法的评价一般都是基于区域的而且高度依赖于实际景物的特征^[8]. 例如, 在对低分辨率的多光谱图像和高分辨率的全色图像进行融合时, 诸如水体这样具有很大相似度的区域没有必要进行空间细节的增强, 原因是多光谱波段的分辨能力已经足够对其进行描述, 而类似城市区域或两个相似区域之间的边界区域的信息则需要空间增强. 因此, 引入基于区域分割的图像融合算法更加合理.

本文针对遥感图像融合领域中两种不同类型的融合: 多光谱与全色图像、多光谱与雷达图像的融合, 在融合过程中引入了基于区域分割的思想. 实验结果表明该方法不但性能更优, 而且还可以根据具体应用目的方便地控制不同图像源对融合结果的贡献, 满足不同应用需求.

1 图像区域分割

通常根据图像像素点附近邻域的灰度变化情况来判断当前像素点属于哪一类区域, 如果灰度变化比较平缓, 则属于平滑区; 如果灰度变化比较剧烈, 则属于边缘区; 如果灰度变化呈现某种规律, 则属于纹理区. 不仅如此, 灰度变化程度还和观察的尺度有很大关系, 根据不同区域灰度变化的程度随观察尺度变化的不同, 将区域分割的准则定义为^[9]: 1) 若

无论观察尺度如何变化, 邻域内灰度变化的程度都比较平缓, 则当前像素点属于平滑区; 2) 若邻域内灰度变化的程度在小尺度观察时比较剧烈, 而在大尺度观察时比较平缓, 则当前像素点属于纹理点; 3) 若邻域内灰度变化的程度在小尺度观察时比较剧烈, 而在大尺度观察时仍然比较剧烈, 则当前像素点属于边缘点.

评价像素点邻域的灰度变化可以采用计算标准差的方法, 即对图像每个像素加 3×3 滑动窗口, 求取其标准差并将所得标准差赋值给窗口中心的像素. 这样, 对图像所有像素计算完成之后, 产生一幅新的标准差图像. 对于观察尺度和灰度变化程度的关系, 可以通过小波变换的多尺度分解特性来完成. 具体步骤如下: 1) 对原始图像利用非降维的小波变换进行分解, 得到一系列和原图尺寸大小相同、分辨率尺度不同的平滑图像; 2) 对原图和得到的平滑图像依次计算其标准差图像, 然后对每个像素点对应所有图像中该点的标准差取平均值, 产生一幅新的平均后的标准差值图像; 3) 利用该标准差值图像对原图像进行区域划分, 大的标准差值对应的像素代表原图像中的边缘区, 反之, 很小的值对应的像素代表平滑区. 介于中间的值对应的像素代表纹理区.

假设原图像为 I , 经过二层小波分解后得到两个不同尺度的平滑图像 I_1, I_2 (可以将 I 视为最小尺度图像, I_1 视为中尺度图像, I_2 视为大尺度图像), 其标准差图像分别为 $\sigma_1, \sigma_{I_1}, \sigma_{I_2}$. 标准差图像可由下式计算

$$\sigma(x, y) = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{w(x,y)} [I(x, y) - \bar{I}(x, y)]^2 \right\}^{1/2} \quad (1)$$

式中, $\bar{I}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{w(x,y)} I(x, y)$, n 为窗口 $W(x, y)$ 中的像素数目. 则新生成的标准差图像为

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_{I_1} + \sigma_{I_2}}{3} \quad (2)$$

根据 σ 就可以对图像进行区域分割了. 根据实验,

* 国家自然科学基金项目(60175001)资助

Tel: 13689280701 Email: lihuih66@hotmail.com

收稿日期: 2005-05-18

一幅典型的 σ 图的直方图参见图 1.

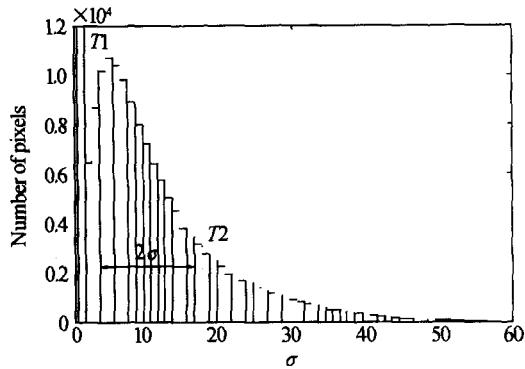


图 1 标准差图像 σ 的直方图

Fig. 1 Histogram of the standard deviation image σ

从图 1 可以看出, σ 的直方图分布与 Gamma 分布很类似, 因此阈值可以一种自适应的方式^[8]来确定

$$T1 = \mu(\sigma) - \sigma(\sigma) \quad T2 = \mu(\sigma) + \sigma(\sigma) \quad (3)$$

式中, $\mu(\sigma)$ 表示 σ 的均值, $\sigma(\sigma)$ 表示 σ 的标准差. 小于 $T1$ 的像素点对应着平滑区, 大于 $T2$ 的像素点对应着边缘区, 而介于 $T1$ 和 $T2$ 之间的像素点对应着纹理区.

经过阈值分割后图像就被分割为包含三类不同区域的映射图, 可以给每个区域赋与不同的值以示区别. 例如, 在图 2(c) 中不同的区域赋予不同的灰度, 白色代表平滑区, 黑色代表边缘区, 灰色代表纹理区.

2 基于区域分割的图像融合算法

R (红)、 G (绿)、 B (蓝) 和 I (亮度)、 H (色度)、 S (饱和度) 是两种不同的颜色表示空间, 两种表色系统可以相互转换, 由 RGB 转换到 IHS 为正变换, 即 IHS 变换, 由 IHS 转换到 RGB 为 IHS 反变换. IHS 变换图像融合方法是将多光谱图像 3 个波段的低分辨率数据通过 IHS 变换转换到 IHS 空间, 然后将高分辨率图像替换 I 分量图像或对 I 分量进行调制, 作为新的亮度成分 I_{new} 代入 IHS 反变换还原到原来 RGB 空间中^[10].

本文采用结合 IHS 变换和小波变换的融合方法, I_{new} 的生成是通过利用小波变换提取出高分辨率图像的细节信息, 然后加入到 I 分量中^[8], 即

$$I_{new} = I + \sum_{l=1}^n w_l \quad (4)$$

$\sum_{l=1}^n w_l$ 即为高分辨率图像的细节信息, 通过 \hat{a} trous 算法得到. \hat{a} trous 算法是小波变换的一种变换类型, 是将原始图像分解成一幅逼近图像和代表不同分辨率下细节信息的若干层小波面, 各层小波面及逼近图像的像素空间与原图像像素空间均相同^[11].

以全色图像 panchromatic image(PAN)为例, 经过 \hat{a} trous 算法分解后为

$$PAN = \sum_{l=1}^n w_l + PAN_r \quad (5)$$

式中, l 为分解层数, PAN_r 为逼近图像, $\sum_{l=1}^n w_l$ 为各层小波面之和. 为了很好提取细节信息而又不至于带来很大的计算量和内存占用, 本实验分解层数取 3.

以多光谱图像与全色图像融合为例, 基于区域分割的图像融合算法流程如下: 1) 先对多光谱图像从 RGB 空间变换到 IHS 空间, 得到多光谱图像的 I 分量; 2) 对 I 分量和高分辨率全色图像进行区域分割, 得到两幅分割后的映射图; 3) 根据应用需求, 比较映射图的不同区域有选择地加入高分辨率图像细节信息, 得到 I_{new} ; 4) 将 I_{new} 代回进行 IHS 反变换得到最后融合结果.

实验 1 图来自文献^[12], 采用 Landsat 7 全色 PAN 和多光谱 Multispectral(MS) 图像. 见图 2.

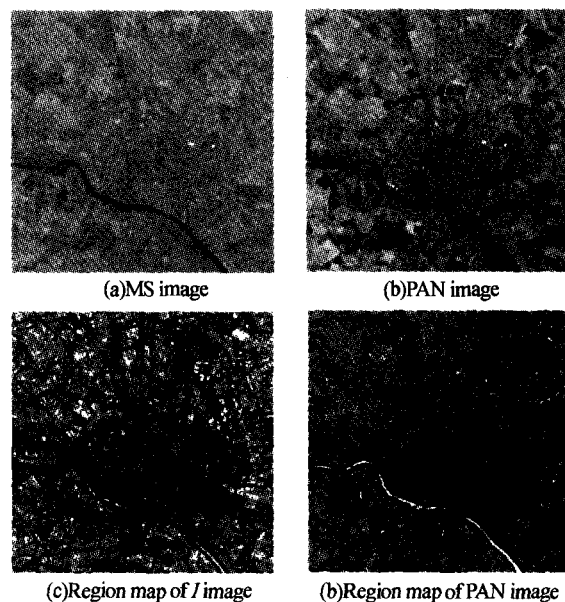


图 2 实验图像及相应的区域映射图

Fig. 2 Experimental images and corresponding region maps

图 2 中(c)、(d)为 I 分量和全色图像的区域分割映射图, 可以看到, 边缘区主要集中在图中的城市区域以及不同景物之间的边界, 而平滑区则主要集中在一些具有相同地物的区域, 例如河流以及植被. 由于每幅映射图像中的区域都分为三种类型, 那么逐个像素地比较两幅映射图会得到 9 种不同的情况, 例如其中一种情况是该像素点在多光谱图中属于平滑区域, 而在全色图像中却属于边缘区, 这也体现了不同原始图像对重要特征的贡献不同. 如果融合目的是为了在保留光谱信息的前提下增强多光谱图像的空间分辨率, 即多光谱图像中的信息量重要性优先于全色图像, 那么适合于多光谱图像中平

滑区的融合规则应该是保持其平滑区不变, 仅在全色图像中可见的一些细节特征(包括噪声)不应当被引入到最终的融合结果中. 另外, 对于多光谱图像中的边缘区, 引入的全色图像的信息对空间分辨率的提高不大, 但是却带来很大程度的光谱扭曲, 因此在融合时可以根据具体情况采取相应的措施.

图 3 给出了根据不同区域采取不同融合方法的实验结果. (a) 图为未采用区域分割的融合方法. (b) 图为对多光谱图的平滑区不作任何变化, 而对其他区域加入全色图像的细节信息. (c) 图为只将全色图像的边缘区细节信息加入多光谱图像, 其他区域不变. (d) 图为只对多光谱图的纹理区加入全色图像的细节信息, 其他区域不变.

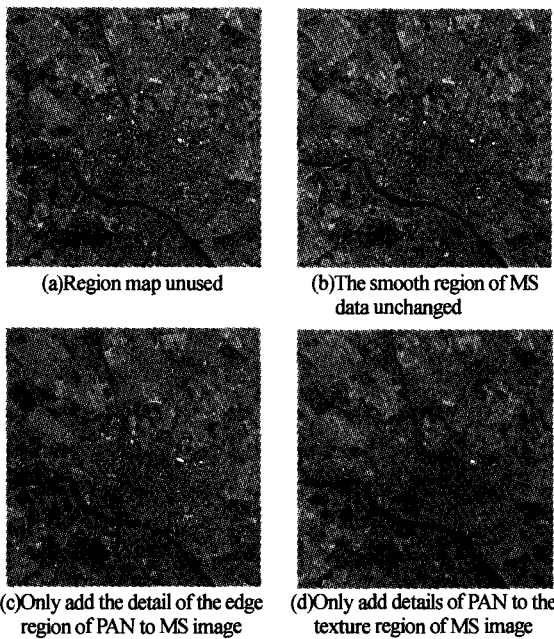


图 3 融合结果
Fig. 3 Fusion results

从 4 幅结果图像可以看出, (a) 图与 (b) 图视觉效果很相似, 差异只是在多光谱图像的平滑区, 如右上角的一小方块区域, (b) 图的光谱特征完全保留了原始多光谱图像的光谱特征, 而 (a) 图却加入了全色图像的信息, 带来了不必要的光谱扭曲, 参见图 4 放大后的效果. 如果原始图像中存在大块平滑区域, 那么所带来的光谱扭曲现象是相当严重的. 因此, 如果融合目的是为了在保留光谱信息的前提下增强多光谱图像的空间分辨率, (b) 图的效果优于 (a) 图. (c) 图仅仅添加了全色图像的边缘区, 因此, 融合结果中主要反映的是全色图像场景中城市的信息, 周围乡村的信息保持原多光谱图信息. (d) 图是一种折衷的效果, 其空间分辨率比 (a) 图和 (b) 图低, 而光谱扭曲程度则小于前两幅图像.

评价选取了四个指标, 包括: 反映图像空间细节

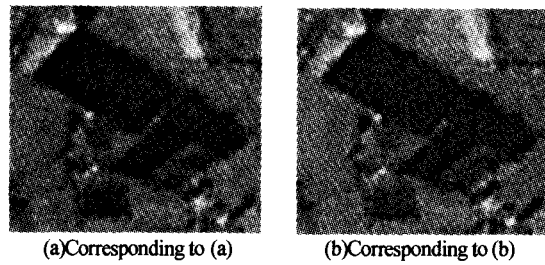


图 4 对应图 3 中右上角方块区域放大图
Fig. 4 Magnifying region of the top right of fig. 3

信息的熵和平均梯度(清晰度), 反映光谱信息改变的相关系数与扭曲程度, 定义如下: 1) 熵 图像熵值的大小反映了融合图像中所包含的平均信息量的大小, 熵越大, 所含信息越丰富, 其定义为

$$H(x) = - \sum_{i=0}^{255} p_i \log_2 P_i \quad (6)$$

P_i 为图像 X 上像元亮度值为 I 的概率.

2) 清晰度

$$\bar{g} = \frac{1}{n} \sum \sqrt{(\Delta I_x^2 + \Delta I_y^2)} / 2 \quad (7)$$

式中: ΔI_x 与 ΔI_y 分别为 x 与 y 方向上的差分; n 为图像大小.

3) 相关系数 反映了两幅的相关程度. 相关系数越大, 表明融合图像的光谱信息改变的程度越小. 定义为

$$C(f, g) = \frac{\sum_{i,j} [(f_{i,j} - e_f) \times (g_{i,j} - e_g)]}{\sqrt{\sum_{i,j} [(f_{i,j} - e_f)^2] \sum_{i,j} [(g_{i,j} - e_g)^2]}} \quad (8)$$

式中, $f_{i,j}$ 和 $g_{i,j}$ 分别为融合前、后图像的灰度值; e_f 和 e_g 分别为两幅图像的均值.

4) 扭曲程度 直接反映了多光谱图像的光谱失真程度, 定义为

$$D = \frac{1}{n} \sum_i \sum_j |V_{i,j} - V_{i,j}| \quad (9)$$

式中, n 为图像大小, $V_{i,j}$, $V_{i,j}$ 分别为融合后和原始图像上 (i, j) 点的灰度值.

根据各图像计算出的性能评价指标参见表 1 和表 2, 表中数据也反映出不同融合结果中空间细节信息与光谱保留信息的不同比例, 与目视效果是相对应的.

表 1 融合结果评价一

波段	熵			清晰度		
	红	绿	蓝	红	绿	蓝
原多光谱图	3.359	3.817	2.192	10.200	7.488	5.978
(a)图	6.805	6.495	6.151	21.256	18.896	18.288
(b)图	6.767	6.459	6.101	20.881	18.498	17.892
(c)图	5.752	5.764	4.932	17.971	15.461	14.759
(d)图	6.072	5.920	5.236	17.242	14.553	13.925

表2 融合结果评价二

波段	扭曲程度			相关系数		
	红	绿	蓝	红	绿	蓝
(a)图	10.135	10.146	10.14	0.882	0.814	0.662
(b)图	9.626	9.637	9.640	0.884	0.813	0.665
(c)图	6.021	6.020	6.117	0.901	0.822	0.699
(d)图	5.039	5.032	5.096	0.939	0.892	0.783

为了更好地说明基于区域分割图像融合的灵活性,实验2采用 Landsat TM 多光谱 MS 图像和 Radarsat SAR (Synthetic Aperture Radar) 雷达图像,见图5.

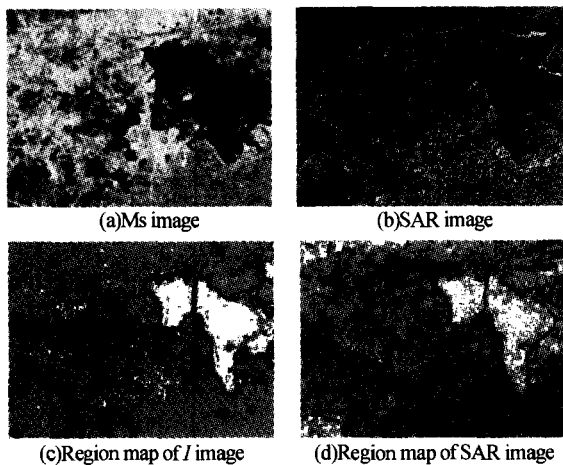


图5 实验图像及相应的区域映射图
Fig. 5 Experimental images and corresponding region map

融合结果见图6. 由于本实验中采用的是 SAR 图像与多光谱图像融合,因此采用的融合规则与上一个实验有所不同,(a)图仍为未采用区域分割的融合方法,(b)图对 SAR 图像的平滑区不作变化,将其他区域的细节信息加入到 I 分量中. 上一个实验中是以多光谱图 I 分量的平滑区作为依据的,而本实验中以雷达图像的平滑区作为融合的依据,这是因为雷达图像的成像机理与多光谱图像不同,因此可能存在多光谱图像中无法反映的纹理细节信息,即使是在多光谱图像的平滑区,通过雷达图像仍然能够观察到更多的信息,这从图5(c)、(d)两幅区域映射图也可以看出,在多光谱映射图中的大块水体部分(白色区域),对应的 SAR 映射图相同的位置反映出更多的信息(存在纹理区和边缘区). (c)图为对多光谱图的边缘区不作变化,其他区域加入细节信息. 这样作的目的可以更好地保留多光谱图像中重要的光谱信息,满足特定的应用需求.(d)图为仅将 SAR 图像的边缘区信息加入多光谱图像,其他区域保持不变. 由 SAR 图的区域映射图可以看出,边缘区主要集中在城市区域以及城市外围的道路(图像右下角). 这样,将 SAR 图像中最重要的细节特征添加到多光谱图像中,而保持其他区域的光谱信

息不变,这种方式既加入了必要的空间细节信息,又使光谱扭曲程度最小,适合不同的应用需求.

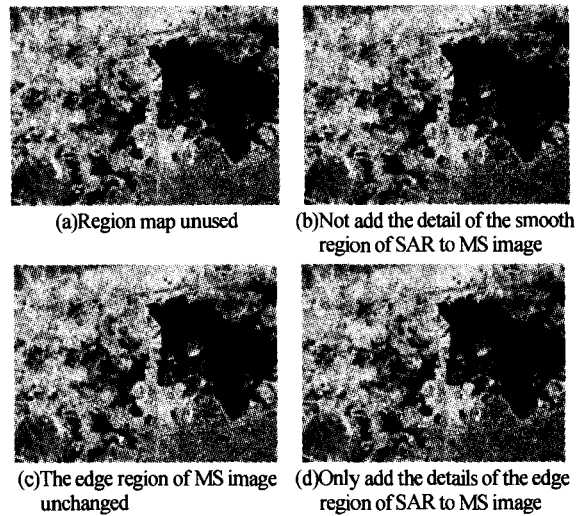


图6 融合结果
Fig. 6 Fusion results

3 结论

本文提出了基于区域分割的图像融合方法,区域分割可以将待融合的图像首先按空间特性分割成相似度不同的区域,然后不同区域可以根据具体应用目的采用不同的融合规则. 针对遥感图像融合应用中多光谱图像、全色图像和雷达图像数据分别进行了融合实验,实验结果表明引入区域分割思想的图像融合算法不但可以得到更优性能的融合结果,而且可以根据不同的应用需求,通过区域控制不同图像源的成分对融合结果的贡献,得到不同的融合结果. 因此该算法更加合理和灵活.

参考文献

- 1 Carper W J, Lillesand T M, Kiefer R W. The use of intensity-hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data. *Photogramm Eng Remote Sensing*, 1990, **56**(4): 459~467
- 2 Chavez P S, Sides S C, Anderson J A. Comparison of three difference methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. *Photogramm Eng Remote Sensing*, 1991, **57**(3): 295~303
- 3 Aiazzi B, Alparone L, Argenti F, et al. Multispectral Fusion of Multisensor Image Data By the Generalized Laplacian Pyramid. In: *Proceedings of Geoscience and Remote Sensing Symposium*. New Jersey: IEEE Press, 1999. 1183~1185
- 4 Toet A. Image fusion by a ratio of low-pass pyramid. *Pattern Recognition Letters*, 1989, **9**(4): 245~253
- 5 刘卫华,周利华. 基于小波概率估计的图像融合方法研

- 究. 光子学报, 2004, **33**(1): 101~104
Liu W H, Zhou L H. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1): 101~104
- 6 杨静, 王岩飞, 刘波. 一种新的非抽取提升结构小波变换图象融合方法. 光子学报, 2004, **33**(6): 728~731
Yang J, Wang Y F, Liu B. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(6): 728~731
- 7 那彦, 史林, 杨万海. 小波包变换与遥感图像融合. 光子学报, 2004, **33**(6): 736~738
Na Y, Shi L, Yang W H. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(6): 736~738
- 8 Bunttilov V, Bretschneider T. Objective content-dependent quality measures for image fusion of optical data. In: Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Anchorage, USA: IEEE Press, 2004: 613~616
- 9 杨海军, 梁德群, 毕胜. 基于图像方向性信息测度的图象象素分类. 中国图象图形学报, 2001, **6**(5): 429~433
Yang H J, Liang D Q, Bi SH. *Journal of Image and Graphics*, 2001, **6**(5): 429~433
- 10 Castleman K R. Digital Image Processing. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002. 459~461
- 11 杨福生. 小波变换的工程分析与应用. 北京: 科学出版社, 1999. 66~68
Yang F S. Engineering Analysis and Application of Wavelet Transform. Bei Jing: Science Press, 1999. 66~68
- 12 Garzelli A. Wavelet-based Fusion of Optical and SAR Image Data Over Urban Area. In: Photogrammetric Computer Vision, ISPRS Commission III, Symposium 2002, Graz, Austria. September 9 - 13, 2002. p. B-59 ff

A Region-based Remote Sensing Image Fusion Method

Li Huihui, Guo Lei, Liu Hang

College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072

Received date: 2005-05-18

Abstract A region-based image fusion method was proposed. The source images firstly were split into different regions with various spatial characteristics and then performed the different fusion methods for each particular region independently. Experiments were implemented with two categories of remote sensing image fusion—multispectral image vs. panchromatic image and multispectral image vs. radar image. The results show that using the proposed method which could be not only obtained better quality fusion result, but also easily controlled the contribution of these components in the fused product and chosen the appropriate fusion method, which satisfied the user's needs.

Keywords Image fusion; Region segmentation; \hat{a} trous algorithm; IHS transform



Li Huihui was born in 1974 in Sichuan, China. She graduated from Department of Automatic Control in KunMing University of Science and Technology, receiving the B. S. degree in 1996; She graduated from the College of Automation in Northwestern Polytechnical University, receiving the M. S. degree in 2003. Now she is a Ph. D. candidate in Northwestern Polytechnical University. Her research interest focuses on multisource image fusion.