

文章编号 1004-924X(2014)02-0489-08

基于多特征的红外与可见光图像融合

杨 枕¹, 童 涛^{1,*}, 陆松岩¹, 李紫阳², 郑 悦¹

(1. 空军航空大学, 吉林 长春 130022; 2. 中国人民解放军 93010 部队, 辽宁 沈阳 110000)

摘要:针对传统图像融合方法易导致融合图像整体对比度低及细节反差小的问题,提出一种多特征加权多分辨率图像融合方法。首先,对多尺度分解后的低频系数进行边缘特征、平均梯度特征的提取,同时对高频系数进行相关信号强度比特征的提取。然后,通过边缘特征级融合指导像素级图像融合得到高频系数;针对合成模块中简单加权法易引起边缘或纹理局部模糊的问题,提出分两种情况分别合成同一位置的多尺度分解系数。最后,通过平均梯度特征自适应加权得到融合图像的低频系数,并对低频和高频系数进行多尺度逆变换得到融合图像。实验表明,本文方法的融合性能优于经典的融合方法,其融合质量评价指标中的标准差、空间频率、信息熵和平均梯度分别提高了 15.12%、4.30%、6.15% 和 3.44%。

关键词:图像融合;红外图像;可见光图像;边缘特征;相关信号强度比;平均梯度;特征级融合

中图分类号:TP751 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20142202.0489

Fusion of infrared and visible images based on multi-features

YANG Guang¹, TONG Tao^{1,*}, LU Song-yan¹, LI Zi-yang², ZHENG Yue¹

(1. Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China;
2. No. 93010 Unit of the Chinese People's Liberation, Shenyang 110000, China)

* Corresponding author, E-mail: tongtao 0917 @163. com

Abstract: In allusion to the lower overall contrast and smaller detail contrast of a fused image from the conventional fusion methods, an effective multi-feature weighted multi-resolution image fusion algorithm was proposed. Firstly, the edge features and average gradient features were extracted from a low frequency coefficient after multi scalar decompose, while the correlated signal intensity ratio feature was extracted from a high frequency coefficient. Then, the high frequency coefficient of the fused image was obtained from the pixel-level weighted average image fusion conducted by the edge feature fusion. Furthermore, a novel combination map was proposed to process the frequency coefficient from the same place with two patterns to solve the problem that the simple weighted method is not effective for retaining the edge and texture information. Finally, the low frequency coefficient of the fused image was obtained by adaptive weighted method based on regional average gradient and the target image was obtained by inversing multi-scale transformation for low frequency and high frequency coefficients. The experiments on fusing infrared and visible images show that the proposed algorithm is better than the classical methods. And the fusion quality indexes, such as standard deviation, spatial fre-

收稿日期:2013-04-22;修订日期:2013-06-07.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 40901096)

quency, information entropy and average gradient have increased by 15.12%, 4.30%, 6.15% and 3.44%, respectively.

Key words: image fusion; infrared image; visible image; edge feature; correlated signal intensity ratio; average gradient; feature level fusion

1 引言

由于图像融合可以扩展系统的时空覆盖率,增强系统的可靠性和鲁棒性;提高系统的作用范围并且具有全天候工作能力等而得到广泛的应用。根据发生融合的阶段,图像融合可分为像素级、特征级、决策级融合。像素级融合能够较完整地保留原有信息;特征级融合针对特征信息进行综合处理,其处理的数据比像素级融合要少,这就大大提高了融合效率;决策级融合层次最高,它主要对图像信息进行判定并给出决策。目前的研究主要集中在像素级层面上,对于特征级和决策级方面的研究报道较少。

Piella^[1]在 Zhang^[2]等人的工作基础上,提出了通用的多分辨率图像融合框架,即将基本融合规则与图像的多分辨率分解相结合实现融合。多分辨率图像融合主要包括基于取大融合规则的方法和基于加权融合规则的方法:前者的主要思想是选取能量、方差、像素绝对值、相关信号强度比等活性测度值大的图像的多分辨率系数作为融合后图像的多分辨率系数;而后者的主要思想是根据加权规则,只选取某幅图像的多分辨率系数或者选取原图像各自多分辨率系数的一部分参与融合。由于红外与可见光图像对于同一事物的描述差异较大,如果只是进行简单的平均或只保留其中某一幅图像的低频信息^[3-4],则无法充分利用源图像间的互补信息。

基于上述问题,本文对 Piella 提出的多分辨率图像融合框架进行了扩展,并结合特征级图像融合和加权融合规则的优势,提出了一种介于像素级和特征级之间的多特征加权多分辨率图像融合方法。该方法首先对源图像进行多分辨率分解,对分解后的低频和高频系数分别进行边缘和相关信号强度比特特征提取;其次,在决策模块中通过边缘特征级融合指导基于相关信号强度比的加权像素级图像融合,从而得到高频系数;再次,针对传统合成模块中简单加权法^[5-10]可能会引起部

分边缘或纹理局部模糊的问题,提出将同一位置的多分辨率分析系数分为同号和异号两种情况分别合成。最后,为了提高算法的实时性,通过区域平均梯度特征自适应加权的方法得到了融合图像的低频系数,并对融合的低频和高频系数进行多尺度逆变换得到融合图像。

2 本文算法步骤

本文提出的融合框架主要包括特征提取、决策模块、合成模块,如图 1 所示。

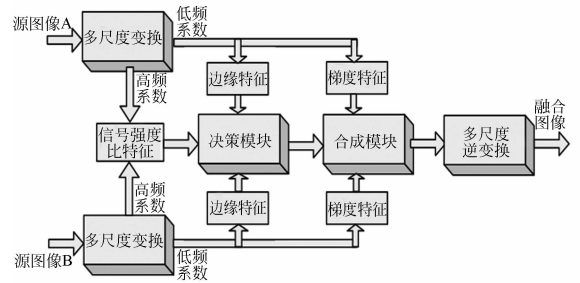


图 1 扩展的多分辨率图像融合框图

Fig. 1 Fusion block diagram for extended multiresolution images

2.1 多分辨率分析

Mallat 将多尺度分析思想引入到小波分析中,建立了 Mallat 算法^[6],从而实现了小波分析从数学到技术的转变。小波变换将图像分解为逼近图像与细节图像之和,因此,可以有针对性地对图像进行下一步处理。目前,小波变换在图像处理领域已经引起了越来越多的关注和重视,已经成为应用最广泛的多尺度分析工具。本文算法选用小波变换作为多分辨率分析工具,小波变换的分解与重构公式见文献^[6],本文不另作介绍。

2.2 特征提取

2.2.1 边缘特征提取

首先,运用 Canny 边缘提取算子对低频系数 $L_{j,A}$ 和 $L_{j,B}$ 进行边缘特征提取,并生成二值边缘图像 $E_{j,A}$ 和 $E_{j,B}$ 。为了确保源图像中的互补边缘信息能够完整地融入到融合图像当中,提取出

$E_{j,A}$ 和 $E_{j,B}$ 的特有边缘信息 $X_{j,A}$ 与 $X_{j,B}$,其中:

$$\begin{cases} X_{j,A} = \text{XOR}(E_{j,A}, E_{j,B}) \text{ AND } E_{j,A} \\ X_{j,B} = \text{XOR}(E_{j,A}, E_{j,B}) \text{ AND } E_{j,B} \end{cases} \quad (1)$$

考虑到边缘点邻域范围内的信息具有同等的重要性,对 $X_{j,A}$ 和 $X_{j,B}$ 做小的形态膨胀,记为 $Y_{j,A}$ 和 $Y_{j,B}$ 。

2.2.2 相关信号强度比^[7]特征提取

相关信号强度比能够反映源图像窗口区域信号强度特征,融合时根据其数值可直接判断哪幅源图像的特征信息更为显著,它定义为:

$$R_{j,AB}^s = I_{j,A}^s / I_{j,B}^s, \quad (2)$$

其中:

$$I_{j,s}^s(m,n) = \sum_{a \in G, b \in H} P(a,b) |D_{j,s}^s(m+a, n+b)|. \quad (3)$$

上式表示细节分量 $D_{j,s}^s$ 以 (m,n) 为中心,在窗口 $G \times H$ 内的信号强度。 $\mathbf{P}=[1/10, 1/10, 1/10; 1/10, 1/5, 1/10; 1/10, 1/10, 1/10]$ 为掩模矩阵,对 $|D_{j,s}^s|$ 进行线性滤波。

2.2.3 平均梯度特征提取

平均梯度特征的具体定义如下:

$$AG_{N,X}(m,n) = \frac{1}{GH} \sum_{m=1}^G \sum_{n=1}^H \sqrt{\frac{\Delta f_x^2(m,n) + \Delta f_y^2(m,n)}{2}}, \quad (4)$$

其中: $AG_{N,X}$ 表示图像 X 在最低分辨率为 2^N 时,低频系数的平均梯度, $\Delta f_x, \Delta f_y$ 分别为图像 X 在 x 与 y 方向上的差分。

2.3 决策模块

决策模块是整个融合的核心,它根据上述提取出的显著特征给出多分辨率分析系数的具体选择方式,决定了融合图像的多分辨率系数。

为了确保融合的精确性,基于相关信号强度比的像素级加权融合规则如下:

$$\alpha_j^s(m,n) = \begin{cases} 1 & R_{j,AB}^s(m,n) \geq 1/T \\ 0 & R_{j,AB}^s(m,n) < T \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left[\frac{1 - R_{j,AB}^s(m,n)}{1 - 1/T} \right] & 1 \leq R_{j,AB}^s(m,n) < 1/T \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \left[\frac{1 - R_{j,AB}^s(m,n)}{1 - T} \right] & T \leq R_{j,AB}^s(m,n) < 1 \end{cases} \quad (5)$$

其中: T 为阈值,其取值为 $[0,1]$, α_j^s 为决策因子。当区域窗口中 $I_{j,A}^s$ 和 $I_{j,B}^s$ 的差异较大时,也即 $R_{j,AB}^s(m,n) \geq 1/T$ 或者 $R_{j,AB}^s(m,n) < T$ 时,决策因子 α_j^s 取1或0,以确保融合图像取得显著特征

的多分辨率分析系数。当区域窗口中 $I_{j,A}^s$ 和 $I_{j,B}^s$ 比较相近时,也即 $T \leq R_{j,AB}^s(m,n) < 1/T$ 时,则说明两者的多分辨率分析系数中都存在显著的信息,因此,为了确保两者的显著信息都能纳入融合图像中,决策因子 α_j^s 取0到1之间的值。上述加权融合规则的具体推导见文献^[7],本文不再赘述。

通过式(6)将边缘特征与基于相关信号强度比的决策因子结合起来,得到最终的决策因子。

$$\begin{cases} S_{j,A}^s = \max(\alpha_j^s, Y_{j,A}) \\ S_{j,B}^s = \max(1 - \alpha_j^s, Y_{j,A}) \end{cases} \quad (6)$$

2.4 低频系数的融合

低频系数主要反映了源图像的概貌信息。由于红外与可见光图像对于同一事物的描述差异较大,如果进行简单平均法或只保留其中某一幅图像的低频信息,将无法充分利用源图像间的互补信息,自然就失去了图像融合的本质意义。平均梯度能够反映图像的微小细节反差。平均梯度越大,图像的细节反差和纹理变化越大,对应的图像整体对比度越高,则目视效果越好。因此,为了确保融合图像具有更完善的目视解译效果,进一步提高图像融合的时效性,本文对低频系数进行平均梯度自适应加权处理,实现红外与可见光图像在低频信息上的互补。

低频系数的融合规则为

$$C_{N,F}(m,n) = p_A(m,n)C_{N,A}(m,n) + p_B(m,n)C_{N,B}(m,n), \quad (7)$$

$$\begin{cases} p_A(m,n) = \frac{AG_{N,A}(m,n)}{AG_{N,A}(m,n) + AG_{N,B}(m,n)} \\ p_B(m,n) = \frac{AG_{N,B}(m,n)}{AG_{N,A}(m,n) + AG_{N,B}(m,n)} \end{cases}, \quad (8)$$

其中: $p_A(m,n), p_B(m,n)$ 为自适应系数调整因子。上述低频系数融合规则对所参加融合的图像对应图像块中的小波系数能够自适应地乘一个反映自身细节反差的系数,这样就可以更完善地保留源图像间的互补信息,提升融合图像对比度。

2.5 合成模块

本文针对合成模块中传统的简单加权法^[7-9]可能会引起部分边缘或纹理局部模糊的问题,提出对同号和异号两种情况分别采用不同的合成方式。

当对应位置的多分辨率分析系数同号时,由于加权系数都为0到1的正数,则对多分辨率分

析系数进行简单的加权运算,并不会引起融合图像的边缘减弱,此时融合方式为:

$$D_{j,F}^s(m,n) = S_{j,A}^s(m,n)D_{j,A}^s(m,n) + S_{j,B}^s(m,n)D_{j,B}^s(m,n). \quad (9)$$

而当对应位置的多分辨率分析系数异号时,由于加权系数都为 0 到 1 的正数,如果按照上述方式进行简单的加权运算,则可能会导致对应位置的多分辨率分析系数的幅值降低,引起融合图像的边缘减弱。对于高频系数,细节丰富的位置对应的数值一般都比较小,在合成的过程中,融合图像的多分辨率分析系数符号如果选用与其幅值较大的系数符号相同时,就会尽可能多地增强图像的细节信息。因此,针对上述情况采用以下合成策略:融合图像对应位置的高频多分辨率分析系数的符号与待融合图像中绝对值较大的高频系数的符号相同,也即

$$D_{j,F}^s(m,n) = \begin{cases} S_{j,A}^s(m,n)D_{j,A}^s(m,n) - S_{j,B}^s(m,n)D_{j,B}^s(m,n) & \text{if } |S_{j,A}^s(m,n)| \geq |S_{j,B}^s(m,n)| \\ -S_{j,A}^s(m,n)D_{j,A}^s(m,n) + S_{j,B}^s(m,n)D_{j,B}^s(m,n) & \text{if } |S_{j,A}^s(m,n)| < |S_{j,B}^s(m,n)| \end{cases} \quad (10)$$

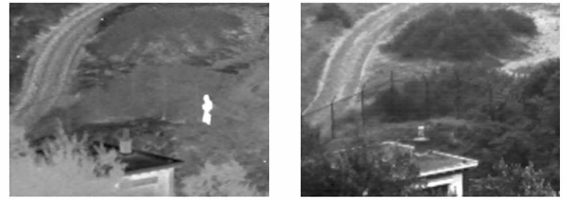
2.6 多分辨率分析的逆运算

将上述通过特征提取、决策模块、合成模块得到的融合图像的高频系数以及通过平均梯度自适应加权方法得到的低频系数通过小波逆变换得到最后的融合图像。

3 实验结果与分析

为了验证该方法的正确性和有效性,本文使用 MATLAB 7.0 进行仿真实验,实验中采用了大量的红外与可见光图像。受文章篇幅的限制,这里仅列出 2 组较为典型的红外与可见光图像。来自荷兰 TNO 人因学研究所提供的“UN Camp”可见光和红外图像^[7],如图 2 所示。图 2(a)中,行人目标非常显著,场景非常模糊;图 2(b)中,无行人目标,但是场景信息十分丰富、清晰。图 3 为文献^[7]提供的一组红外与可见光图像,图 3(a)中汽车、行人、红绿灯等都比较清晰,广告牌比较模糊,图 3(b)中广告牌清晰,汽车、行人、红绿灯等都比较模糊。

将本文提出的方法(文中简称 DTZ)同一些



(a) 红外图像 (b) 可见光图像
(a) Infrared image (b) Visible image

图 2 第一组红外与可见光图像
Fig. 2 The first set of infrared and visible images



(a) 红外图像 (b) 可见光图像
(a) Infrared image (b) Visible image

图 3 第二组红外与可见光图像
Fig. 3 The second set of infrared and visible images

典型图像融合方法进行对比,用于对比的方法主要包括 T. Pu 方法^[8],它采用小波分解的低频与高频信息作对比度作为活性测度; Petrović 方法^[9],采用取大法与边缘特征结合选取高频系数; Li 方法^[7]采用相关信号强度比作为活性测度;基于区域能量^[10]的方法,它采用区域能量作为活性测度,文中简称 energy;基于区域方差^[11]的方法,采用区域方差作为活性测度,文中简称 var。

实验中多尺度分析工具均采用经典小波变换 bior6.8 小波基,分解层数为 3,energy 方法中根据文献^[10]将阈值 α 的大小设为 0.75,本文根据文献^[7]将阈值设为 0.75。主观上通过人眼观察直接比较融合结果,客观上采用标准差、平均梯度、空间频率、熵值作为评价指标。标准差可以反映图像的灰度值围绕平均值的离散程度。标准差小,图像反差小,分布单一;反之图像反差大、有较好的对比度;平均梯度可以反映图像的细节反差与纹理特征;空间频率反映空间域总体活跃程度;熵值越大说明图像所含信息量越大,上述 4 个评价指标的有效性已得到学者们的广泛认可^[12]。

各方法对两组红外与可见光图像的融合结果如图 4(a)~4(f)以及图 5(a)~5(f)所示,融合图像的客观评价数据如表 1 和表 2 所示,与其相应

的数据曲线如图 6 和图 7 所示。

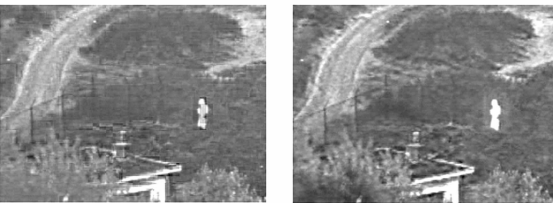


图 4 各方法对第一组红外与可见光图像融合的结果
Fig. 4 Fusion results for the first set infrared and visible images by different methods



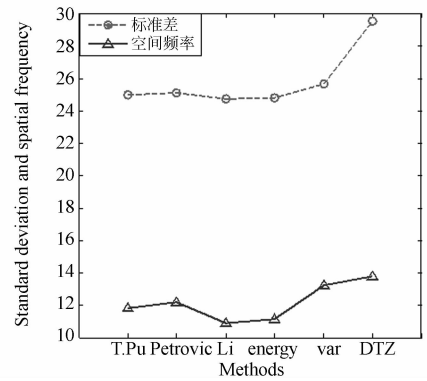
(e) var 方法
(e) var method

(f) DTZ 方法
(f) DTZ method

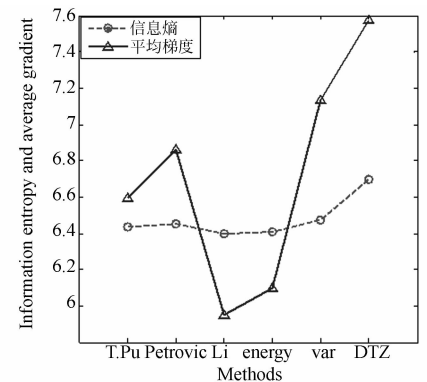
图 5 各方法对第二组红外与可见光图像融合的结果
Fig. 5 Fusion results for the second set infrared and visible images by different methods



图 5 各方法对第二组红外与可见光图像融合的结果
Fig. 5 Fusion results for the second set infrared and visible images by different methods



(a) 几种方法的标准差与空间频率
(a) Standard deviation and spatial frequency of different methods



(b) 几种算法的信息熵与平均梯度
(b) Information entropy and average gradient of different methods

图 6 第一组源图像各融合方法的客观评价数据
Fig. 6 Objective evaluation of different methods for the first set of images

表 1 第一组源图像各方法融合的客观评价结果

Tab. 1 Results of objective evaluation of different methods in the first set of images

| 指标 | 方法 | | | | | |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | T.Pu | Petrovic | Li | energy | var | DTZ |
| 标准差 | 24.954 4 | 25.128 | 24.713 9 | 24.774 1 | 25.650 9 | 29.528 7 |
| 空间频率 | 11.787 3 | 12.187 5 | 10.908 7 | 11.112 2 | 13.223 9 | 13.791 3 |
| 信息熵 | 6.434 0 | 6.452 1 | 6.399 6 | 6.408 3 | 6.472 4 | 6.695 2 |
| 平均梯度 | 6.592 6 | 6.860 5 | 5.947 5 | 6.099 6 | 7.135 1 | 7.573 6 |

表 2 第二组源图像各方法融合的客观评价结果

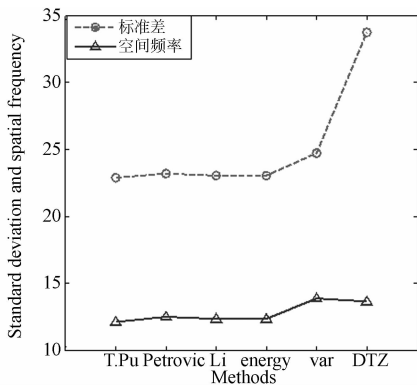
Tab. 2 Results of objective evaluation of different methods in the second set of images

| 指标 | 方法 | | | | | |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | T.Pu | Petrovic | Li | energy | var | DTZ |
| 标准差 | 22.847 8 | 23.171 4 | 23.040 8 | 23.039 4 | 24.739 2 | 33.710 3 |
| 空间频率 | 12.095 7 | 12.488 3 | 12.304 3 | 12.320 8 | 13.844 4 | 13.640 1 |
| 信息熵 | 5.997 8 | 6.014 8 | 6.006 5 | 6.008 7 | 6.112 1 | 6.544 1 |
| 平均梯度 | 3.973 8 | 4.261 8 | 4.109 1 | 4.129 2 | 4.935 2 | 4.822 5 |

综合主观评价和客观评价结果,可以得出:

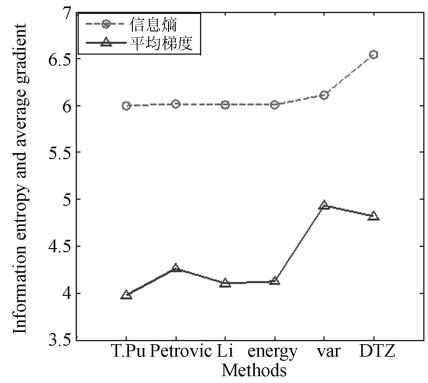
(1)视觉效果上:图 4(a)~4(f)以及图 5(a)

~5(f)说明各融合方法都能够将目标信息融入到融合图像中,但是各图像的整体对比度和细节反差保持各有不同。从目标信息的保持来看,如图 8 以及图 9 所示,其中:var 方法中目标的边缘非常模糊,T.Pu、Petrovic、Li 和 energy 方法的目标在图像中的整体对比度较低,目标指示能力弱,而本文提出的 DTZ 方法在各组实验中都能更为完整地保留目标的亮度特征,在场景中目标的指示能力更加显著;在场景信息的保持方面,var 方法所得到的融合图像出现了方块,场景的整体对比度较低,而 DTZ 方法融合图像的细节反差和纹理



(a) 几种方法的标准差与空间频率

(a) Standard deviation and spatial frequency of different methods

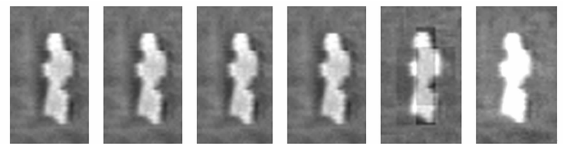


(b) 几种方法的信息熵与平均梯度

(b) Information entropy and average gradient of different methods

图 7 第二组源图像各融合方法的客观评价数据

Fig. 7 Objective evaluation of different methods for the second set of image



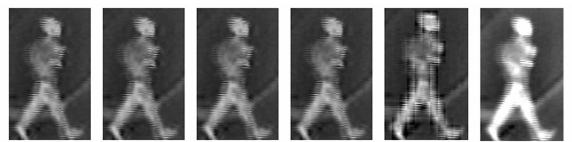
(a)T.Pu (b) Petrovic (c) Li (d) energy (e) var (f)DTZ

图 8 第一组融合图像的目标局部放大图

Fig. 8 Partial enlarged view of object in the first set of fusion image

变化都比较大,场景的整体对比度较高,其视觉效果较其他方法更佳。

(2)客观评价指标上:从表 1 和表 2 的客观评价数据和图 6、图 7 的数据曲线图可见,对于第一组实验图像:DTZ 方法的各融合性能客观评价指标值都较其他方法有大幅度的提高:DTZ 方法的评价指标标准差较 var 方法(在其他 5 种方法中其指标值最大)提高了 15.12%,DTZ 方法的评价指标空间频率较 var 方法提高了 4.30%,DTZ 方法的评价指标信息熵较 var 方法提高了 6.15%,



(a)T.Pu (b) Petrovic (c) Li (d) energy (e) var (f)DTZ

图 9 第二组融合图像的目标局部放大图

Fig. 9 Partial enlarged view of object in the second set of fusion image

DTZ方法的评价指标平均梯度较 var 方法提高了 3.44%,这与客观评价得到的融合图像的细节反差大,纹理变化幅度大相吻合。对于第二组实验图像:DTZ方法在融合性能评价指标标准差和信息熵上较 var 方法分别提高了 36.26%和 7.07%,但是评价指标空间频率和平均梯度上较 var 方法分别下降了 1.5%和 2.3%,这是由于 var 方法引入了方块现象和虚假边缘信息,该现象在图 8(e)和 9(e)中能够清晰地反映出来。

4 结 论

本文对 Piella 提出的多分辨率图像融合框架进行扩展,提出了一种介于像素级和特征级之间

的多特征加权多分辨率图像融合方法;并针对传统合成模块中简单加权法可能会引起部分边缘或纹理局部模糊的问题,提出了一种更为有效和细化的合成模块;针对传统运用简单平均法处理低频系数引起的目标指示能力较弱的问题,提出一种区域平均梯度自适应加权的方法。实验结果表明,DTZ方法的融合性能优于经典融合方法。红外与可见光图像融合仅仅是多传感器侦察图像融合的一部分,由于本文在融合实验的过程中,DTZ方法和实验数据仅仅考虑了红外和可见光图像融合的需求,该方法对多光谱和高光谱与可见光图像的融合的适用性并未深入,下一步研究的重点是探索该方法对多光谱和高光谱与可见光图像融合的适用性。

参考文献:

- [1] PIELLA G. A general framework for multiresolution image fusion: from pixels to regions[J]. *Information Fusion*, 2003, 4(4): 259-280.
- [2] ZHANG Z, BLUM R S. A categorization of multi-scale-decomposition-based image fusion schemes with a performance study for a digital camera application [J]. *Proceedings of IEEE*, 1999, 87(8): 1315-1326.
- [3] LI H, MANJUNATH B S, MITRA S K. Multisensor image fusion using the wavelet transform[J]. *Graphical Models and Image Processing*, 1995, 57(3): 235-245.
- [4] 童涛, 杨桃, 谭海峰, 等. 基于 NSCT 变换的多传感器图像融合算法[J]. *地理与地理信息科学*, 2013, 29(2): 22-25.
TONG T, YANG G, TAN H F, et al.. Multi-sensor image fusion algorithm based on NSCT[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2013, 29(2): 22-25. (in Chinese)
- [5] LALLIER E, FAROQ M. A real time pixel-level based image fusion via adaptive weight averaging [C]. *Proceeding of the 3rd International Conference on Information Fusion*, 2000, 2: 214-217.
- [6] 邵明省, 杜广朝. 基于量子克隆多宇宙算法的图像融合研究[J]. *液晶与显示*, 2012, 27(6): 837-841.
SHAO M SH, DU G CH. Image fusion processing based on multi-universe quantum cloning algorithm [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(6): 837-841. (in Chinese)
- [7] 李光鑫, 徐抒岩, 吴伟平, 等. Piella 像素级多分辨率图像融合框架的扩展及其算法[J]. *光学精密工程*, 2012, 20(12): 2773-2779.
LI G X, XU SH Y, WU W P, et al.. Extension of Piella pixel-level multiresolution image fusion framework and its algorithm[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(12): 2773-2779. (in Chinese)
- [8] PU T, NI G Q. Contrast-based image fusion using the discrete wavelet transform [J]. *Optical Engineering*, 2000, 39(8): 2075-2082.
- [9] PETROVIC V. Multi-level image fusion [J]. *SPIE Proceedings*, 2003, 5099: 928-933.
- [10] BURT P J, KOLCZYNSKI R J. Enhanced image capture through fusion [C]. *The 4th International Conference on Computer Vision*, Philadelphia, USA, 1993: 173-182.
- [11] 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[J]. *红外与激光工程*, 2012, 41(8): 2229-2235.
GUO M, FU ZH, XI X L. Novel fusion algorithm for infrared and visible images based on local ener-

gy in NSCT domain [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(8):2229-2235. (in Chinese)

- [12] CANGA E F, NIKOLOV S G, CANAGARAJAH C N, *et al.*. Characterisation of image fusion qual-

ity metrics for surveillance applications over band-limited channels[C]. 2005 *8th International Conference on Information Fusion, Philadelphia, USA*, 2005:483-490.

作者简介:



杨 桃(1975—),男,黑龙江齐齐哈尔人,副教授,1998年于空军第二航空学院获得学士学位,2006年于中国科学院东北地理与农业生态研究所获得博士学位,主要从事遥感图像解译和GIS应用分析等方面的研究。E-mail: yg2599@sina.com

通讯作者:



童 涛(1989—),男,江西九江人,硕士研究生,2011年于空军航空大学获得学士学位,主要从事多传感器图像融合等方面的研究。E-mail: tongtao0917@163.com

(版权所有 未经许可 不得转载)