

DOI: 10.13382/j.jemi.B2003018

基于拉普拉斯分解耦合亮度调节 的可见光与红外图像融合算法*

冯 贺¹ 李 立² 赵 凯^{1,3}

(1. 安阳工学院 计算机科学与信息工程学院 安阳 455000; 2. 安阳工学院 电子信息与电气
工程学院 安阳 455000; 3. 中国石油大学(华东) 控制科学与工程学院 青岛 266580)

摘 要:为了解决当前较多可见光与红外图像融合方法的融合结果中的目标信息不突出等问题,引入拉普拉斯分解机制,采用图像的亮度特征来融合可见光与红外图像。借助拉普拉斯分解方法,对输入图像进行分层,求取不同的图层信息。并利用图像的均值特征,计算图像的亮度信息,对低频图层的融合权值进行自适应调整,从而得到一个目标信息完整度较高的融合低频图层。基于图像的空间频率特征,对高频图层所含的细节丰富度进行评估,以获取一个细节丰富的融合高频图层。再利用拉普拉斯逆分解方法,对低、高频图层完成融合。实验数据显示,较已有的融合算法而言,所提算法的融合结果更能突出目标信息,具备更为丰富的细节特征。

关键词: 可见光与红外图像融合;拉普拉斯分解;亮度调节;空间频率;均值特征

中图分类号: TP391; TN01 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6040;520.1099

Fusion algorithm of visible and infrared image based on Laplace decomposition coupled with brightness adjustment

Feng He¹ Li Li² Zhao Kai^{1,3}

(1. College of Computer Science and Engineering, Anyang University of Technology, Anyang 455000, China; 2. College
of Electronic Information and Electrical Engineering, Anyang University of Technology, Anyang 455000, China;
3. School of Control Science and Engineering, China University of Petroleum (Hua Dong), Qingdao 266580, China)

Abstract: In order to solve the problem as the target information is not prominent in the fusion results of many visible and infrared image fusion methods. The Laplace decomposition mechanism is introduced to fuse the visible and infrared images with the brightness characteristics of the image. With the help of Laplace decomposition method, the input image is layered to obtain different layer information. Using the mean value of the image, the brightness information of the image is calculated, and the fusion weight of the low-frequency layer is adjusted adaptively to obtain a low-frequency layer with high integrity of the target information. Based on the spatial frequency characteristics of the image, the detail richness of the high frequency layer is evaluated to obtain a fusion high frequency layer with rich details. And the low and high frequency layers are fused by using the Laplace inverse decomposition method. Experimental data show that the fusion results of the proposed algorithm can highlight the target information and have more detailed features than the existing fusion algorithms.

Keywords: visible and infrared image fusion; Laplace decomposition; brightness adjustment; spatial frequency; mean value feature

0 引 言

随着人们生活质量的不断提升,图像在人们的日常

工作中也占有愈发重要的地位。科技的发达促使了多传感器的
发展,得益于此,人们可在多种环境下对同一场景的图像内容进行采集^[1]。通过不同传感器获取到的同一场景不同环境下的图像各具自身的特点和缺陷^[2]。为了

收稿日期: 2020-03-20 Received Date: 2020-03-20

* 基金项目:国家自然科学基金河南省人才培养联合基金(U1204613)、河南省高等学校重点科研项目(16A520034)、河南省科技攻关项目(172102310671)、河南省教育厅科学技术研究重点项目(15A510017)、河南省科技计划重点科技攻关项目(142102310188)资助



互补不同传感器所采集图像缺陷的同时,保留各传感器采集图像的特点,就需要对其进行融合^[3]。其中,可见光与红外图像的融合就较为常见^[4]。

当下人们对可见光与红外图像的融合进行了研究,Xing 等^[5]设计了多尺度双音滤波分解方法,对输入图像进行分层处理,获取其基础和细节层图像,并引入稀疏表示方法,对所得分解图层进行融合。虽然稀疏表示方法对参数不敏感,但由于该稀疏表示方法在融合不同分层图像时没有考虑图像的亮度特征,致使融合结果中的目标信息不完整。张佳丽^[6]通过非下采样 Contourlet 变换求取图像各个系数,接着采用基于能量和标准差的方法对低频及高频系数进行融合,获取融合结果。该方法虽然提高了图像边缘的清晰度,但由于其主要依靠图像的标准差信息对分层图像进行融合,忽略了图像的亮度特征,从而导致其所得融合结果中目标信息不突出。Yi 等^[7]利用非下采样轮廓波变换得到输入图像的低频和高频信息后,再通过视觉显著性检测和局部标准差方法分别对低频和高频信息。虽然该方法从视觉显著性出发融合低频信息,可促使融合图像的目标信息更为突出,但由于其没考虑图像的亮度信息,所以致使融合结果中具有光谱扭曲的现象。Cheng 等^[8]采用非下采样 Shearlet 变换计算图像的低通和高通子图,并利用图像的能量和平均梯度信息,分别作为自适应双通道脉冲耦合神经网络的神经元,以融合不同子图。由于该方法融合子图的过程忽略了图像的亮度元素,而且自适应双通道脉冲耦合神经网络对神经元选定的依赖性较强,易使得融合结果出现目标信息丢失。

对此,本文提出了基于拉普拉斯分解耦合亮度调节的可见光与红外图像融合算法。通过对输入图像进行拉普拉斯分解,获取输入图像的分解层。以图像的亮度信息作为低频图层融合系数的计算依据,获取目标信息突出且光谱丰富的融合低频图层。以图像的空间频率信息作为高频图层融合系数的计算依据,得到细节丰富的融合高频图层。借助拉普拉斯逆分解方法,实现二者的融合。最后,测试了所提技术的有效性与优势。

1 可见光与红外图像融合算法

本文算法的过程如图 1 所示,根据图 1 可知,本文算法主要有不同图层的获取及图层的融合两个过程。

1) 在不同图层的获取阶段,本文算法在 Gaussian 金字塔的基础上,通过利用窗函数与输入图像进行卷积运算,完成图像的拉普拉斯分解操作,从而输出低频及高频图层。

2) 在不同图层的融合阶段,本文算法分别根据低频及高频图层各自的特性,采用不同的方法对其进行融合。

在低频图层融合时,本文算法借助均值函数,获取了不同低频图层的亮度信息,并以此作为低频图层融合系数的调节依据,获取融合低频图层。在高频图层融合时,采用空间频率函数对不同高频图层的空间分辨率进行测量,并以此作为高频图层的融合系数,获取融合高频图层。进而得到融合结果。

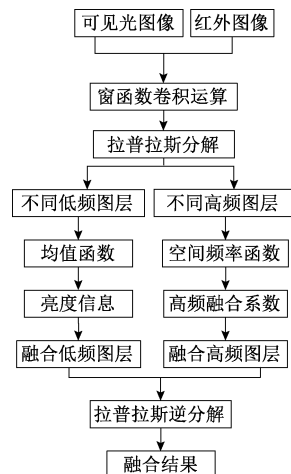


图 1 本文算法的融合过程

Fig. 1 The fusion process of the algorithm in this paper

1.1 不同图层的获取

利用高斯金字塔对输入图像进行处理,能够较好地抑制其所含的噪声信息,且利用高斯金字塔对图像进行分解时,所获得的塔图能够较好地保留输入图像的原始信息,使得分解所得的不同图层更具对输入图像的保真性^[9-10]。对此,本文将借助拉普拉斯分解方法,以获取可见光与红外图像的不同图层。

将输入图像 $I(x, y)$ 作为高斯金字塔塔图的底层图像,并构造窗函数 η ^[11-12]:

$$\eta = \frac{1}{256} \begin{bmatrix} 1 & 6 & 4 & 6 & 1 \\ 6 & 14 & 24 & 16 & 6 \\ 4 & 24 & 36 & 24 & 4 \\ 6 & 14 & 24 & 14 & 6 \\ 1 & 6 & 4 & 6 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

将窗函数 η 与第 $i-1$ 层塔图 R_{i-1} 进行卷积运算,并进行下采样操作,可求得第 i 层塔图 R_i :

$$R_i = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \eta \otimes R_{i-1}(2a+m, 2b+n) \quad (2)$$

式中: $\otimes$ 为卷积运算; $0 \leq a < h, 0 \leq b < g$, h, g 分别为塔图 R_i 的行、列数。

获取到塔图 R_i 后,需要利用放大因子 B_i 将其放大至塔图 R_{i-1} 的大小。令放大后塔图为 $\bar{R}_i$, 其计算过程为:

$$\bar{R}_i = 4 \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \eta \otimes B_i \left(\frac{a+m}{2}, \frac{b+n}{2} \right) \quad (3)$$



$$B_i\left(\frac{a+m}{2}, \frac{b+n}{2}\right) = \begin{cases} R_i\left(\frac{a+m}{2}, \frac{b+n}{2}\right), \frac{a+m}{2} \text{ 及 } \frac{b+n}{2} \text{ 为整数} \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

通过式(3)对各层塔图放大后,即可构造如下拉普拉斯分解模型:

$$\begin{cases} E_i = R_i - \bar{R}_{i+1}, 0 \leq i < K \\ E_k = R_k, i = K \end{cases} \quad (5)$$

式中: K 为金字塔的总层数。

从式(5)可见,通过拉普拉斯分解模型所获取的图层(除第 K 层)都为求取本层与上一层放大塔图的差值所得,这些分解图层构成的塔图即为拉普拉斯金字塔。

在拉普拉斯金字塔中,第 K 层塔图由于其包含了输入图像 $I(x, y)$ 的概貌内容,可将其视为低频图层,而除第 K 层塔图外的其余层塔图,由于其包含了输入图像 $I(x, y)$ 的细微信息,可将其视为高频图层。

图2(a)与(b)所示为输入样本,根据上述通过拉普拉斯分解过程,得到的不同图层如图2(c)、(d)所示。

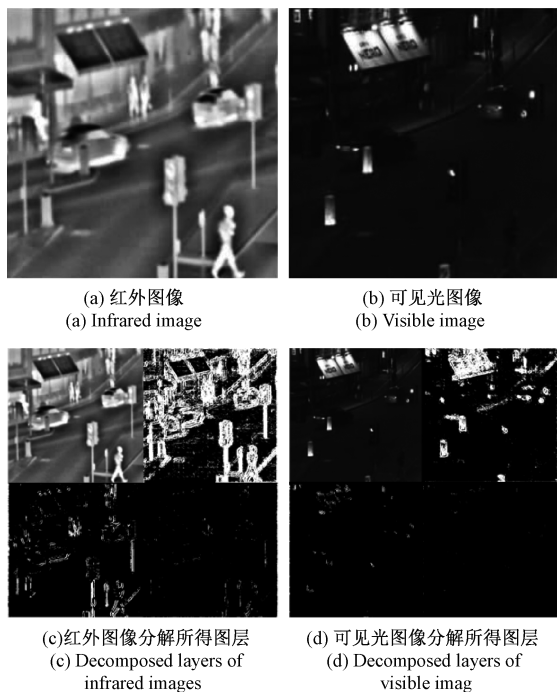


图2 基于拉普拉斯的图像分解结果

Fig. 2 Image decomposition results based on Laplace

1.2 不同图层的融合

通过拉普拉斯分解方法对红外与可见光图像分层后,低、高频图层分别含有输入图像的概貌和细节信息。随后,本文将根据低频及高频图层各自的特性,采用不同的方法对其进行融合。

红外图像中目标信息亮度较高,可见光图像中,光谱特征也大多都通过其亮度信息来体现。对此本文将引入图像的均值函数,测量图像的亮度信息,并以其为依据,融合低频图层。

大小为 $M \times N$ 图像 $I(x, y)$ 的均值函数为^[13]:

$$L(x, y) = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I(x, y) \quad (6)$$

式中: $L(x, y)$ 为图像 $I(x, y)$ 的平均亮度。

通过式(6)求取 $I(x, y)$ 的亮度信息 LT :

$$LT = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N p(x, y) - L(x, y) \quad (7)$$

式中: $p(x, y)$ 为 $I(x, y)$ 中的像素点。

采用式(7)分别计算低频图层 $W_l(x, y)$ 和 $W_v(x, y)$ 的亮度信息 LT_l 和 LT_v , 并利用其作为低频图层的融合系数,求取融合低频图层 $W_w(x, y)$:

$$W_w = \frac{LT_l \times W_l(x, y) + LT_v \times W_v(x, y)}{LT_l + LT_v} \quad (8)$$

图像的空间频率特征能够表征图像的边缘等细微信息的含有量。对此,本文将借助图像的空间频率函数,用以测量图像的细微信息含有量,并以此计算高频图层融合系数,获取融合高频图层。

图像 $I(x, y)$ 的行、列空间频率 $C(x, y)$ 、 $R(x, y)$ 的计算过程为^[14]:

$$C(x, y) = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{M=1}^{M-1} \sum_{N=0}^{N-1} (I(x, y) - I(x-1, y))^2} \quad (9)$$

$$R(x, y) = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{M=0}^{M-1} \sum_{N=1}^{N-1} (I(x, y) - I(x, y-1))^2} \quad (10)$$

利用 $C(x, y)$ 、 $R(x, y)$ 求得的空间频率函数 $RC(x, y)$ 为:

$$RC(x, y) = \sqrt{R(x, y)^2 + C(x, y)^2} \quad (11)$$

采用式(11)计算高频图层 $D_l(x, y)$ 和 $D_v(x, y)$ 的空间频率信息 RC_l 和 RC_v , 通过其求取融合高频图层 $D_w(x, y)$:

$$D_w = \frac{RC_l \times D_l(x, y) + RC_v \times D_v(x, y)}{RC_l + RC_v} \quad (12)$$

在求得 $W_w(x, y)$ 和 $D_w(x, y)$ 后,再通过拉普拉斯逆分解得到融合结果。

利用式(8)和(12)对图2(c)和(d)中不同图层融合后,并通过拉普拉斯逆分解得到的融合结果如图3所示。观察图3可知,其不仅能够较好地突出目标信息,而且还能够较好地表现出图像的细节内容。

2 仿真实验

仿真实验在 AMD Ryzen 5 3500X3.6 GHz 处理器、



图 3 融合结果

Fig. 3 Fusion result

8 GB 内存、NVIDIA Quadro P620 显卡的 PC 上,采用 MATLAB 2014a 完成。实验中利用了 UN camp 和 APC4 图像进行融合效果测试实验。通过本文算法及文献[15-16]算法融合 UN camp 和 APC4 图像,并分析其融合效果。

2.1 融合效果测试

本文算法及文献[15-16]算法对 UN camp 图像的融合效果如图 4 所示。分析各算法的融合结果可知,图 4(c)存在光谱扭曲现象,图像偏暗淡,目标信息不够突出,“道路”轮廓不清晰。图 4(d)“植物”的颜色偏白,且目标信息的亮度不够,对比度不强,房屋附近的“树木”信息有所丢失。图 4(e)图像亮度与“植物”颜色都较为正常,目标信息与周围环境的对比度较强,能够较好地突出目标信息。“道路”轮廓清晰,“树木”信息完整可见。

图 5 所示为不同算法对 APC4 图像的融合结果。对比不同算法的融合结果可以发现,图 5(c)亮度不够,目标信息有所丢失,且“地面植被”不够清晰,地面不同区域的对比度较差,难以分辨地面不同区域的轮廓。图 5(d)图像较为模糊,车后“道路”轮廓不清晰,“地面植被”和“道路”间的间隔信息丢失。图 5(e)图像亮度适中,目标信息较为完整,“地面植被”轮廓清晰,地面不同区域的对比度较强,能够辨别出地面不同区域的轮廓,图像整体较为清晰,车后“道路”轮廓清晰可见,“地面植被”和“道路”间的间隔也清晰可见。

由上述分析可知,本文算法融合的图像目标信息的完整度较高,光谱特性较好,图像较为清晰。因为本文算法采用了拉普拉斯分解方法,在获取输入图像不同图层的时候,不仅能够抑制图像中的噪声,提高所得分解图层的清晰度,而且还能较好的对输入图像的细微信息较好的保真。同时本文算法还利用了低频图层的亮度信息为调节因素,完成了低频图层的融合,使得融合低频图层具有较好的光谱及目标信息保真度,从而提高了融合图像的质量。

2.2 融合图像数值测试

从 OUS 数据集中选取 10 组红外与可见光图像作

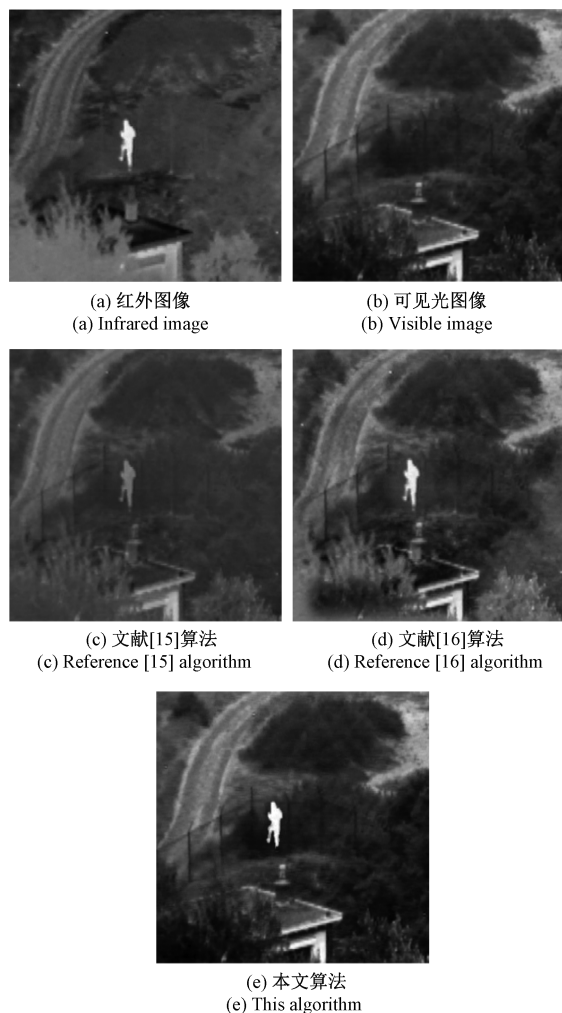


图 4 不同算法对 UN camp 图像的融合结果

Fig. 4 Fusion results of UN camp images by different algorithms

为融合对象,利用本文算法及文献[15-16]算法对其进行融合。采用互信息(mutual information, MI)和平均梯度(average gradient, AG)对不同算法融合的图像进行数值测试^[17-18]。其中,MI 值体现了融合结果与原始图像间的相关程度。而 AG 值突出了融合结果所富含的细微信息。融合图像的质量随 MI 和 AG 数值的增大而更好。

对于灰度级数量为 S 的融合图像 F , 红外图像 R 及可见光图像 V , 其对应的 MI 值计算过程为^[18]:

$$MI(F, R) = \sum_{i=0}^{S-1} \sum_{j=0}^{S-1} L_{FR}(i, j) \log_2 \frac{L_{FR}(i, j)}{L_F(i) L_R(j)} \quad (13)$$

$$MI(F, V) = \sum_{i=0}^{S-1} \sum_{j=0}^{S-1} L_{FV}(i, j) \log_2 \frac{L_{FV}(i, j)}{L_F(i) L_V(j)} \quad (14)$$

$$MI = MI(F, R) + MI(F, V) \quad (15)$$

式中: L_F, L_R, L_V 分别为 F, R, V 的概率密度; L_{FR}, L_{FV} 分别为 F 与 R, F 与 V 的联合概率密度。

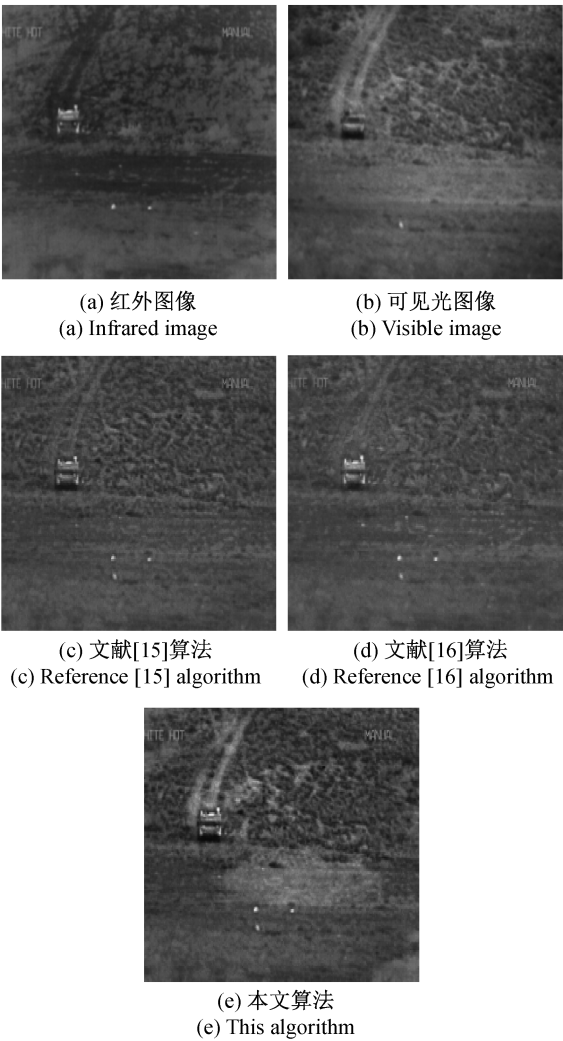


图 5 不同算法对 APC4 图像的融合结果

Fig. 5 Fusion results of APC4 images by different algorithms

而 F 的 AG 值为^[19-20]:

$$AG = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N \sqrt{\left(\frac{\Delta F_x^2 + \Delta F_y^2}{2} \right)} \quad (16)$$

式中: $M \times N$ 为 F 的大小。

不同算法对选取的 12 组融合对象进行测试,并统计其对应的 MI 和 AG 值,如图 6 所示。通过对比图中的 MI 和 AG 值可知,本文算法对应的 MI 和 AG 值最为理想。对于第 10 组融合图像而言,本文算法对应的 MI 和 AG 值分别为 5.56 bit 和 19.12 级,而此时文献[15]对应的 MI 和 AG 值为 4.63 bit 和 17.65 级,文献[16]对应的 MI 和 AG 值为 5.08 bit 和 18.09 级。

综上所述发现,本文算法融合图像的质量较好, MI 和 AG 值较高。因为本文算法利用均值函数获取了低频图层的亮度信息,并将其作为低频图层融合系数的计算依据,得到了含有丰富目标信息及光谱特征的融

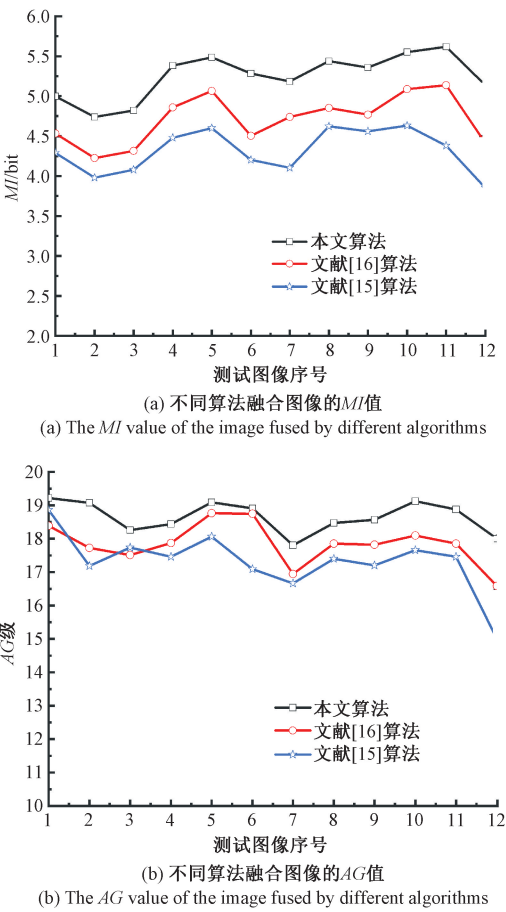


图 6 不同算法的融合图像的 MI 值和 AG 值

Fig. 6 The MI and AG value of the image fused by different algorithms

合低频图层。同时本文算法还采用空间频率特征,度量了高频图层所含有的细微信息,使得融合高频图层能够更丰富的含有原始图像的细微信息,从而提升了本文算法融合图像的质量。文献[15]利用双树复小波变换求取红外和可见光图像的子带,利用源图像的聚类块训练词典信息,并通过该词典信息与系数比大的方法融合低频与高频子带,进而求取融合结果。由于小波变换易丢失源图细微内容,而且依靠训练词典的方法对训练数据的完备性要求较高,难以得到较为完备的词典信息,从而使得文献[15]算法融合图像的质量不佳。文献[16]通过主成分分析方法对红外和可见光图像的背景及目标信息进行分离,接着采用随机高斯矩阵联合标准差信息的方法对目标信息和背景信息进行融合,从而得出融合图像。由于主成分分析方法易造成图像的光谱信息丢失,而且随机高斯矩阵联合标准差信息的,目标信息和背景信息融合方法,没有考虑图像的亮度特征,使得融合图像的目标信息不够突出,从而降低了融合图像的质量。



3 结 论

为了促使可见光与红外图像的融合结果能够更好地体现目标信息,本文通过拉普拉斯分解和亮度调节的方法,对可见光与红外图像进行了融合。融合过程中,利用拉普拉斯分解方法从输入图像中提取出其低频与高频图层。采用图像的亮度信息作为低频图层的融合系数,以求取目标信息突出、光谱信息丰富的融合低频图层。通过空间频率函数测量图像的细微信息包含度,对高频图层进行融合,以求取细微信息饱满的融合高频图层。实验结果表明,本文算法融合图像的目标信息突出,光谱特征和细节内容表征效果较好,可获取质量优良的融合图像。

参考文献

- [1] 郭玥,于希明,王少军. 遥感图像云检测的多尺度融合分割网络方法[J]. 仪器仪表学报, 2019, 32(6): 31-38.
- GUO Y, YU X M, WANG SH J. Multiscale fusion segmentation network method for cloud detection of remote sensing image [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2019, 32(6): 31-38.
- [2] 董安勇,苏斌,赵文博. 基于卷积稀疏表示的红外与可见光图像融合[J]. 激光与红外, 2018, 48(12): 1547-1553.
- DONG AN Y, SU B, ZHAO W B. Infrared and visible image fusion based on convolution sparse representation[J]. Laser & Infrared, 2018, 48(12): 1547-1553.
- [3] 舒衡,古乐野,陈蔓. 基于离散不可分剪切波变换和迭代自适应引导滤波的多聚焦图像融合[J]. 计算机应用, 2019, 39(S2): 236-241.
- SHU H, GU L Y, CHEN M. Multi-focus image fusion based on discrete non-separable sherlet transform and iterative adaptive guided filtering [J]. Journal of Computer Applications, 2019, 39(S2): 236-241.
- [4] 刘轶伦,奚峥皓. 基于改进灰狼优化的红外与可见光图像融合[J]. 红外技术, 2019, 41(11): 1017-1024.
- LIU Y L, XI ZH H. Infrared and visible image fusion based on improved gray wolf optimization [J]. Infrared Technology, 2019, 41(11): 1017-1024.
- [5] XING C D, WANG Z S, OUYANG Q. Method based on bitonic filtering decomposition and sparse representation for fusion of infrared and visible images[J]. IET Image Processing, 2018, 12(12): 2300-2310.
- [6] 张佳丽. 基于压缩感知耦合梯度下降的红外-可见光图像自适应融合算法[J]. 光学技术, 2019, 45(1): 70-77.
- ZHANG J L. Adaptive fusion algorithm of infrared visible light image based on compressed sensing coupling gradient descent[J]. Optical Technique, 2019, 45(1): 70-77.
- [7] YI X, WANG B. Fusion of infrared and visual images guided by visual saliency [J]. Journal of Xidian University, 2019, 46(1): 27-32, 38.
- [8] CHENG B Y, JIN L X, LI G N. Infrared and visual image fusion using LNSST and an adaptive dual-channel PCNN with triple-linking strength[J]. Neurocomputing, 2018, 310(1): 135-147.
- [9] LIU Y, CASTRO M, LEDERLIN M. An improved nonlinear diffusion in Laplacian pyramid domain for cone beam CT denoising during image-guided vascular intervention[J]. BMC Medical Imaging, 2018, 18(1): 1-14.
- [10] HANEDANI K, BAHMANI Z, MOHAMMADIAN A. Spatio-temporal filtering of thermal video sequences for heart rate estimation [J]. Expert Systems with Applications, 2016, 54(1): 88-94.
- [11] SIVAKUMAR N, HELEN P K. A wavelet and contourlet based hybrid fusion for medical images using laplacian pyramid and directional filter banks with weighted average method[J]. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 2017, 14(4): 1976-1980.
- [12] DOGRA A, GOYAL B, AGRAWAL S. Osseous and digital subtraction angiography image fusion via various enhancement schemes and Laplacian pyramid transformations [J]. Future Generation Computer Systems, 2018, 82(1): 149-157.
- [13] FRANCHI G, ANGULO J, MOREAUD M. Enhanced EDX images by fusion of multimodal SEM images using pan sharpening techniques[J]. Journal of Microscopy, 2018, 269(1): 94-112.
- [14] 贾瑞明,郑奇. 基于人眼频率特性的分形增强算法[J]. 激光与红外, 2018, 48(7): 919-924.
- JIA R M, ZHENG Q. Fractal enhancement algorithm based on frequency characteristics of human eyes [J]. Laser & Infrared, 2018, 48(7): 919-924.
- [15] AISHWARYA N, BENNILA T C. Visible and infrared image fusion using DTCWT and adaptive combined clustered dictionary [J]. Infrared Physics and Technology, 2018, 93(1): 300-309.
- [16] LI J, SONG M, PENG Y. Infrared and visible image fusion based on robust principal component analysis and compressed sensing [J]. Infrared Physics and Technology, 2018, 89(1): 129-139.



- [17] 杨勇,刘家祥,黄淑英. 卷积自编码融合网络的红外可见光图像融合[J]. 小型微型计算机系统, 2019, 40(12):2673-2680.
YANG Y, LIU J X, HUANG S Y. Convolutional auto-encoding fusion network for infrared and visible image fusion[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2019, 40(12): 2673-2680.
- [18] XU Y, PENG L, LI G Y. Multi modal registration of structural features and mutual information of medical image[J]. Future Generation Computer Systems, 2019, 93(1):499-505.
- [19] LI W S, HU X, DU J. Adaptive remote-sensing image fusion based on dynamic gradient sparse and average gradient difference[J]. International Journal of Remote Sensing, 2017, 38(23):7316-7332.
- [20] 林宁. Curvelet 变换耦合双特征模型的遥感图像融合算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2018, 32(12): 78-84.
LIN N. Remote sensing image fusion algorithm based on coupled dual feature model of curvelet transform[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2018, 32(12): 78-84.

作者简介



冯贺(通信作者), 2005 年于解放军信息工程大学获得学士学位, 2008 年于西南交通大学获得硕士学位, 现为安阳工学院讲师, 主要研究方向为图像处理、信息安全、计算机应用、算法及其优化。

E-mail: FengH1982aym@aliyun.com

Feng He (Corresponding author) received B. Sc. degree

from the PLA Information Engineering University in 2005, and M. Sc. degree from Southwest Jiaotong University in 2008. Now he is a lecturer at Anyang University of Technology. His main research interests include image processing, information security, computer application, algorithm and optimization.



李立, 2007 年获得防空兵学院学士学位, 2010 年获得华东交通大学硕士学位。现为安阳工学院副教授, 主要研究方向为: 图像融合、计算机应用技术、WDM-PON、网络安全。

E-mail: lilifkb@163.com

Li Li received B. Sc. degree from Air Defense Academy in 2007, and M. Sc. degree from East China Jiaotong University in 2010. Now He is an associate professor at Anyang University of Technology. His main research interests include image fusion, computer application technology, WDM - PON, network security.



赵凯, 2007 年于中国石油大学(华东)获得学士学位, 2010 年于中国石油大学(华东)获得硕士学位, 现为安阳工学院讲师, 中国石油大学(华东)博士研究生, 主要研究方向为图像处理、机器视觉、机器人控制。

E-mail: upczhaokai@163.com

Zhao Kai received B. Sc. degree from China University of Petroleum (UPC) in 2007, and M. Sc. degree from China University of Petroleum (UPC) in 2010. Now he is a lecturer at Anyang University of Technology and Ph. D. candidate at China University of Petroleum (UPC). His main research interests include image processing, machine vision and robot control.