

DOI: 10.13382/j.jemi.B2003182

基于非下采样 Contourlet 变换耦合特征选择机制的可见光与红外图像融合算法*

罗娟¹ 王立平²

(1. 宜春幼儿师范高等专科学校 高安 330800; 2. 萍乡学院 机械与电子工程学院 萍乡 337055)

摘要:为了克服当下较多可见光与红外图像融合方法因忽略了光谱特征而导致融合图像存在光谱扭曲、目标内容显著度较差等不足,提出了非下采样 Contourlet 变换(nonsampled contourlet transform, NSCT)耦合特征选择机制的图像融合算法。首先,通过 NSCT 对可见光与红外图像计算,分离出其不同图像系数。然后,利用信息熵函数,度量图像所含信息量的丰富度,以形成低频系数的融合系数,得到富含红外目标等丰富信息的融合低频系数。采用像素点的邻点信息,度量图像的清晰度特征,并引入均值函数,度量图像的光谱特征,再联合图像的清晰度特征,构造特征选择机制,从图像中选择理想的高频系数融合函数,获取兼顾细节特征和光谱特征的融合高频系数。最后,通过实验结果发现,较现有的融合算法而言,所提算法拥有更好的融合质量,更好地保持了图像的光谱特征,且目标内容显著。

关键词:可见光与红外图像融合;非下采样 Contourlet 变换;特征选择机制;信息熵函数;清晰度特征;光谱特征

中图分类号: TP391; TN0 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5015; 420.2099

Infrared and visible image fusion algorithm based on nonsampled contourlet transform coupled with feature selection mechanism

Luo Juan¹ Wang Liping²

(1. Yichun Early Childhood Teachers College, Gaoan 330800, China; 2. College of Mechanical and Electronic Engineering, Pingxiang College, Pingxiang 337055, China)

Abstract: In order to overcome the shortcomings as spectral distortion and poor target content saliency of the fused image by ignoring spectral features in current visible and infrared image fusion methods, the infrared and visible image fusion algorithm based on nonsampled contourlet transform coupled with feature selection mechanism is proposed in this paper. Firstly, the visible and infrared images are calculated by NSCT to separate it into different image coefficients. Then, the information entropy function is used to measure the richness of the image information content for forming the fusion coefficient of low-frequency coefficient, which can obtain the fusion low-frequency coefficient with rich information such as infrared target. The neighborhood information of pixels was used to measure the definition feature of image, and the mean function was introduced to measure the spectral feature of image. Through the definition feature and the spectral feature of image, the feature selection mechanism was constructed to select the ideal high-frequency coefficient fusion function from the image, and obtain the fused high-frequency coefficient that takes into account both the detailed characteristics and the spectral characteristics. Finally, the experimental results show that compared with the existing fusion algorithm, the proposed algorithm has better spectral characteristics, significant target content and better fusion performance.

Keywords: visible and infrared image fusion; nonsampled contourlet transform; feature selection mechanism; information entropy function; definition feature; spectral feature

0 引言

随着科技飞跃式的发展,人们已经不满足于可见光图像等单一化环境下的图像内容,对多元化环境下的图像获取提出了要求^[1-2]。借助传感器技术,人们可获取红外图像,以满足于人们在夜间等条件下,对目标内容进行观察。虽然传感器技术的发展,实现了多元化环境下的图像获取,但获取的图像却不能给予人们较好的视觉感应^[3]。如红外图像就缺乏良好的光谱等图像内容^[4]。对此,将红外与可见光图像进行融合,以获取兼顾其各自优点的图像,已成为当下人们关注的热点。

近年来,红外与可见光图像融合方法层出不穷,如 Cheng 等^[5]采用非下采样 Shearlet 变换分离图像的低频和高频系数后,再将奇异值分解与脉冲耦合神经网络方法相结合,通过图像的平均梯度信息融合图像的各系数,进而求取融合图像。由于图像的平均梯度信息主要反映的是图像的细节信息,没有考虑图像的光谱特征,从而导致该方法融合的图像中具有光谱失真的现象。Du 等^[6]将可见光与红外图像的融合问题描述为总变分最小化问题。通过数据保真度项和正则化项分别约束融合图像的像素强度相似性和梯度相似性,并采用快速迭代收缩阈值算法框架来提高收敛速度,获取融合图像。由于总变分是一种像素扩散的方法,忽略了像素点间的关联性,易导致融合图像中光谱及目标信息的丢失。Agrawal 等^[7]采用包络的 Curvelet 变换方法得到图像的近似系数和详细系数,并采用主成分分析法融合近似系数,利用详细系数相比较的绝对最大值方法融合详细系数,以求取融合图像。由于主成分分析法易丢失图像光谱信息,而且当不同详细系数所含的图像信息相近时,采用绝对最大值方法,易出现图像细节信息的丢失。Zhu 等^[8]通过二维经验模态分解出图像的固有模态和趋势项,并采用高斯模糊逻辑的方法融合趋势项,通过邻域特征的区域对比法融合固有模态,最终获取融合图像。由于高斯模糊逻辑方法和邻域特征区域对比法在融合固有模态和趋势项时,没有考虑图像的光谱特征,从而使得该方法融合图像效果较差。

因此,本文借助非下采样 Contourlet 变换(nonsampled contourlet transtorm, NSCT)对红外和可见光图像进行分解,求取其低频和高频系数。采用度量图像所含信息丰富度的方法,对低频系数进行融合。通过图像的清晰度特征和光谱特征,构建特征选择机制,根据图像间清晰度特征和光谱特征的近似情况,采用对应的融合机制,获取融合高频系数。实验结果显示,所提方法的融合性能较好。

1 所提可见光与红外图像算法

本文所提算法的融合过程如图 1 所示。由图 1 可见,所提算法将图像的融合过程分成了获取频域系数图像和融合系数图像两大部分。

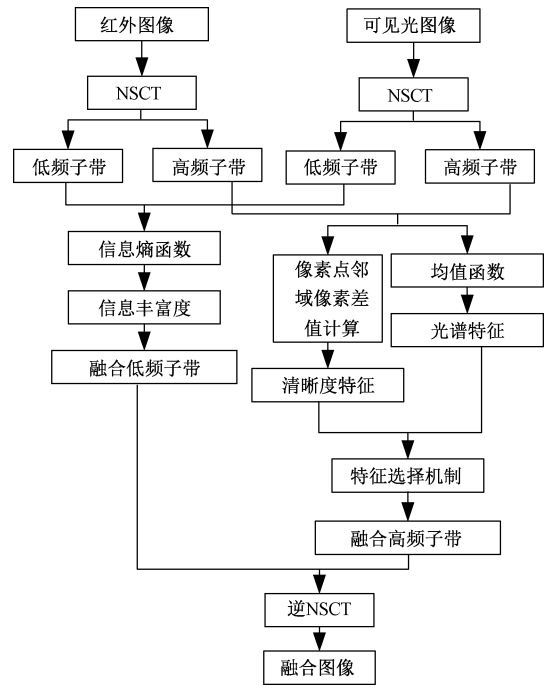


图 1 所提可见光与红外图像融合算法的过程

Fig. 1 The process of this visible and infrared image fusion algorithm

1) 获取图像的频域系数。借助 NSCT,通过 NSP 和非下采样方向滤波器组(nonsampled directional filter bank, NSDFB)作用于可见光与红外图像,以获取具有丰富良好原图信息的不同系数。

2) 融合系数图像。在融合低频系数时,所提算法采用信息熵函数,对各低频系数所富含信息量的多少进行度量,在度量结果的基础上,获取具有良好信息丰富度的融合低频系数。在融合高频系数时,所提算法采用像素点邻域像素差值计算的方法,获取图像的清晰度特征,通过均值函数,度量图像的光谱特征,进而构造特征选择机制,在比较各高频系数的清晰度和光谱特征后,选择适宜的方法融合高频系数,获取具有良好清晰度和光谱特征的融合高频系数。

1.1 获取系数图像

NSCT 是基于 Contourlet 变换发展而来,其更具优秀的边缘等图像信息的敏感度^[9]。NSCT 通过其良好的尺度分解等优势,可使得分离所得图像系数能够较好的保留输入图像的原始信息,为系数融合时提供更为丰富的

参考信息,以提高融合图像的质量。

NSCT 在结构上是由 NSP 和 NSDFB 构成,NSP 和 NSDFB 的结构示意图如图 2 所示。其中 NSDFB 采用滤波器 $b_i(x)$ 和 $g_i(x) i = 0, 1$ 组成,NSP 通过采用滤波器 $a_i(x)$ 和 $h_i(x) i = 0, 1$ 组成,其 $a_i(x)$ 和 $h_i(x)$ 之间满足式(1) [10-11]。

$$a_0(x)h_0(x) + a_1(x)h_1(x) = 1 \quad (1)$$

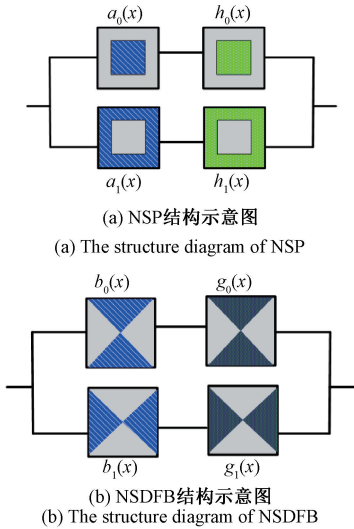


图 2 NSP 和 NSDFB 的结构示意图

Fig. 2 The structure diagram of NSP and NSDFB

NSCT 对图像的分离过程如图 3 所示。图 3 中 NSP 和 NSDFB 分别负责图像尺度和方向上的分离。在分离深度为 m 层时,NSP 的等价滤波器为:

$$a_n^{eq}(x) = \begin{cases} a_1(x^{2^{n-1}}) \prod_{j=0}^{n-2} a_0(x^{2^j}), & 1 \leq n \leq 2^m \\ \prod_{j=0}^{n-1} a_0(x^{2^j}), & n = 2^m \end{cases} \quad (2)$$

NSCT 在分离深度为 k 时,可从输入图像中分离出 1 个低频系数和 k 个高频系数。

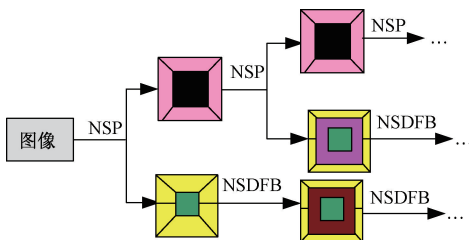


图 3 NSCT 的分离过程

Fig. 3 The separation process of NSCT

利用 NSCT 作用于可见光与红外图像所得的分离结果如图 4 所示。

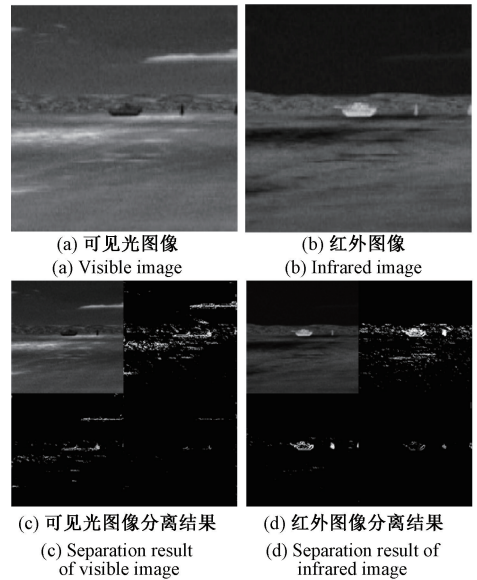


图 4 NSCT 对输入图像的分离结果

Fig. 4 The separation results of NSCT for input images

1.2 频域系数的融合

低频系数表达了原像的概貌信息,因此,所含信息越为丰富的低频系数,其越能表达图像的红外目标等信息。信息熵函数可对图像所含信息丰富度进行度量,对此,所提算法将采用信息熵函数,度量低频系数的信息丰富度,对其进行融合。

灰度总级为 L 图像的信息熵函数为 [12]:

$$IN = - \sum_{i=0}^{L-1} p_i \log_2 p_i \quad (3)$$

式中: p_i 是灰度值为 i 像素点的概率。

通过式(3)计算出低频系数 R_L 和 V_L 所含有的信息丰富度 IN_R 和 IN_V 后,可通过其求取融合低频系数 RV_L :

$$RV_L = \frac{IN_R \times R_L + IN_V \times V_L}{IN_R + IN_V} \quad (4)$$

原始图像的细节信息和一部分光谱信息依赖于高频系数来表达,其中细节信息可通过图像的清晰度来表达,光谱信息通过图像的均值特征来表达。对此,所提算法将利用像素点邻域像素的差值,计算图像的清晰度特征,借助均值函数,计算图像的光谱特征。通过计算出来的清晰度和光谱特征,制定特征选择机制,以融合高频系数。

大小为 $M \times N$ 的图像 I , 其清晰度 De 可通过像素点 $p(x, y)$ 的水平、垂向和对角像素点的像素差值来计算:

$$De = \frac{1}{MN} \{ [p(x, y) - p(x - 1, y)]^2 + [p(x, y) - p(x + 1, y)]^2 \cdot [p(x, y) - p(x, y - 1)]^2 + [p(x, y) - p(x, y + 1)]^2 + [p(x, y) - p(x - 1, y - 1)]^2 + [p(x, y) - p(x - 1, y + 1)]^2 \cdot [p(x, y) - p(x + 1, y - 1)]^2 + [p(x, y) - p(x + 1, y + 1)]^2 \} \quad (5)$$

I 的均值函数为^[13]:

$$Ar = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N p(x, y) \quad (6)$$

采用式(5)计算出高频系数 R_H 和 V_H 的清晰度特征 De_R 和 De_V , 利用式(5)计算出 R_H 和 V_H 的光谱特征 Ar_R 和 Ar_V 后, 利用其构造以下特征选择机制。

1) 比较清晰度特征 De_R 和 De_V 及光谱特征 Ar_R 和 Ar_V 的大小。

2) 当 $De_R \geq De_V$ 且 $Ar_R \geq Ar_V$ 时, 则判断 R_H 的清晰度及光谱特征都优于 V_H , 此时可选择 R_H 作为融合高频系数。同理, 当 $De_R < De_V$ 且 $Ar_R < Ar_V$ 时, 则判断 V_H 的清晰度及光谱特征都优于 R_H , 此时可选择 V_H 作为融合高频系数 V_H , 该过程可表述为:

$$RV_H = \begin{cases} R_H, De_R \geq De_V \text{ 且 } Ar_R \geq Ar_V \\ V_H, De_R < De_V \text{ 且 } Ar_R < Ar_V \end{cases} \quad (7)$$

式中: RV_H 为融合高频系数。

3) 当 $De_R > De_V$ 且 $Ar_R < Ar_V$, 或 $De_R < De_V$ 且 $Ar_R > Ar_V$ 时, 说明 R_H 和 V_H 在清晰度和光谱特征上各有优势, 此时应该选择将 R_H 和 V_H 都纳入 RV_H 的求取过程, 构造下列高频系数融合函数:

$$RV_H = \frac{(De_R + Ar_R)R_H + (De_V + Ar_V)V_H}{De_R + Ar_R + De_V + Ar_V} \quad (8)$$

通过上述特征选择机制可见, 高频系数的融合是以图像的清晰度特征和光谱特征为依据, 根据不同高频系数间清晰度特征和光谱特征的大小关系, 选择合适的融合策略, 获取融合高频系数, 以保证其富含丰富细节信息的同时, 还具有良好的光谱信息。

在得到含有丰富信息量的 RV_L 和富含丰富细节信息及良好光谱信息的 RV_H 后, 将其通过逆 NSCT, 便得到融合图像。以图 2(a) 和 (b) 为例, 借助上述过程, 得到的融合结果如图 5 所示。由图 5 可见, 其不仅较好的体现了图 2(a) 的光谱及背景信息, 而且还较好的体现了图 2(b) 的红外目标信息。

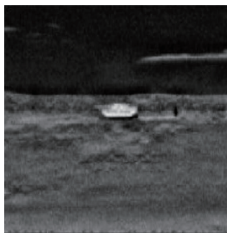


图 5 融合图像
Fig. 5 Fused image

2 实验结果

在 AMD R7 3700X CPU、8 GB 内存的 PC 上, 利用 MATLAB 2016a 对所提算法进行图像融合实验。在实验

中, 还将文献[14-15]算法, 通所提算法一同进行融合实验, 以对比各算法的融合效果。

从图 6 所示各算法融合的 visible-infrared 图像可见, 图 6(c) 偏暗淡, 而且图像的清晰度较差, 红外目标内容也有所丢失; 图 6(d) 中亮度比 (c) 较好, 但图像的对比度较差, “树叶” 的边缘不够完整; 图 6(e) 亮度较 (c) 和 (d) 最为正常, 图像也较为清晰, “树叶” 的边缘和红外目标内容较完整。从图 7 所示各算法融合的 car-road 图像可见, 图 7(c) “灯光” 亮度偏亮, “道路” 偏暗, 而且 “车辆” 和 “道路” 等红外目标内容较为模糊; 图 7(d) 整体较为模糊, “栅栏” 和 “车辆” 等红外信息有所丢失, “灯光” 亮度偏暗; 图 7(e) 图像清晰度较好, 光谱信息也较为正常, “灯光”、“车辆”、“道路”、“栅栏” 等红外目标信息较为完整, 而且显著度也较高。从图 8 所示各算法融合的 bridge 图像可见, 图 8(c) 图像背景整体偏暗, “人物” 的红外信息有所丢失, “桥体” 的轮廓不清晰; 图 8(d) “人物” 和 “桥体” 偏亮, “桥体” 和 “地面” 连接处的对比度较低, “桥面” 较为模糊; 图 8(e) 背景和 “桥体” 及 “人物” 的明暗度较为正常, “人物”、“桥体” 的轮廓较为清晰, “桥体” 与背景的对比度较好, “桥面” 的清晰度较高。说明所提算法融合的图像光谱和红外信息都较为正常, 具有

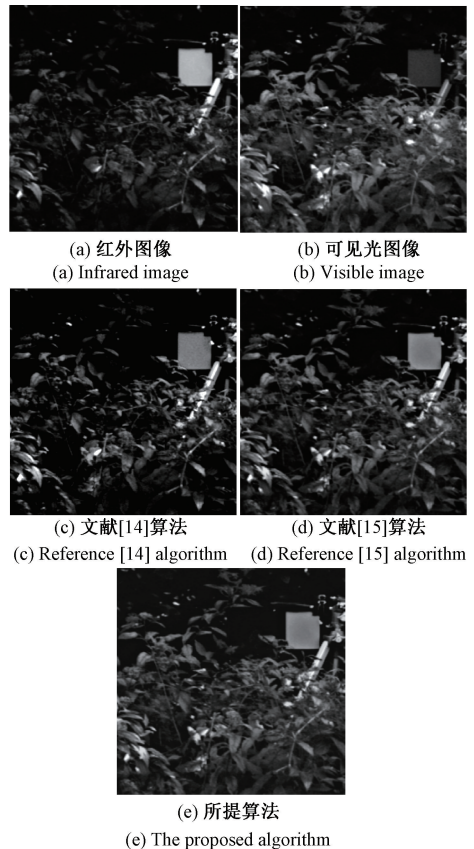


图 6 Visible-infrared 图像的融合结果
Fig. 6 Fusion results of visible-infrared images

较为理想的融合性能。因为所提算法借助 NSCT 利用 NSP 和 NSDFB 从可见光和红外图像中分离出了富含较为完整原始信息的低频和高频系数,为系数融合时提供更为丰富的参考信息。同时所提算法还采用了信息熵函数,度量了低频系数所含有的信息量,以获取信息丰富度较高的融合低频系数,从而使得融合图像具有较好的质量。

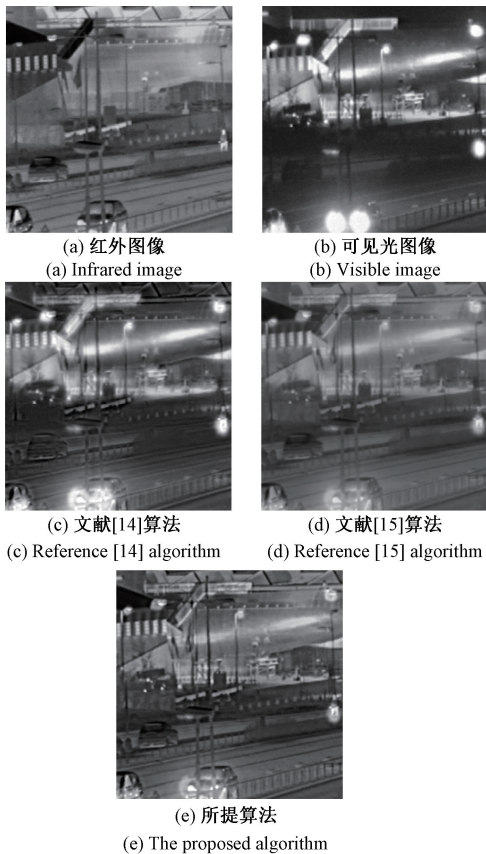


图 7 car-road 图像的融合结果
Fig. 7 Fusion results of car-road images

为进一步观察所提算法的融合性能,采用 TNO 数据库中的 12 组图像作为融合目标。通过所提算法、文献[14-15]算法对其进行融合,并测量了融合图像的通用图像质量指标(universal image quality index, UIQI)及光谱扭曲指数(spectral distortion index, SDI),用以分析各算法的融合性能。

UIQI 和 SDI 分别表现了融合图像的整体结构完整性及光谱扭曲性。融合图像的整体结构越为完整, UIQI 值将越大,融合图像的质量就越理想。融合图像的光谱扭曲度越小, SDI 也将越小,融合图像的光谱特征就越为理想。UIQI 和 SDI 的表达式为^[16-20]:

$$UIQI = \frac{C_{FI}}{S_I S_F} \frac{2V_F V_I}{V_F^2 + V_I^2} \frac{2S_I S_F}{S_I^2 + S_F^2} \quad (9)$$

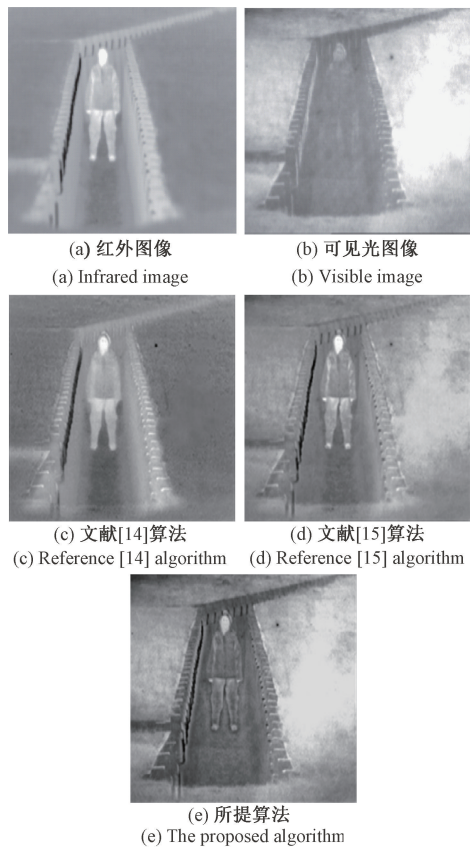


图 8 Bridge 图像的融合结果
Fig. 8 Fusion results of bridge images

$$SDI = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left| \frac{F(i,j) - I(i,j)}{I(i,j)} \right|^2 \quad (10)$$

式中: $M \times N$ 为融合图像 F 和原始图像 I 的大小, S_I 和 V_I 分别为 I 的均值和标准差, S_F 和 V_F 具有类似意义, C_{FI} 为 F 和 I 的协方差。

各算法融合目标图像对应的 UIQI 和 SDI 结果如图 8 所示。从图 8 可见,所提算法的 UIQI 较大且 SDI 较小。以融合目标 6 的结果为例,所提算法的 UIQI 和 SDI 各为 0.949 和 0.206,均大于两个对照组。可见,所提算法融合的图像具有较好的结构完整度,以及较小的光谱扭曲度。因为所提算法采用信息熵度量了图像所含信息丰富度,并以此求取了所含信息较为丰富的融合低频系数。同时,所提算法还通过图像的清晰度特征和光谱特征构造了特征选择机制,求取了细节信息和光谱信息都较为良好的融合高频系数,进而提高了所提算法的融合性能。文献[14]采用 Bregman 方法对可见光和红外图像进行背景、红外目标及轮廓的能量进行分割,接着采用 Boltzmann 方法对所分割内容进行学习,以对 NSCT 分离的不同系数进行融合。由于 Bregman 方法分割图像时未考虑图像的光谱信息,且 Boltzmann 方法对学习信息的完备性要求较高,易使得融合过程出现光谱丢失等现象,从

而导致文献[14]融合性能较差。文献[15]通过非下采样 Shearlet 变换联合二维经验模态分解的方法分离出图像系数后,采用改进的模糊集方法和对比分析结合欧氏距离的方法分别融合低、高频系数。由于模糊集方法更多的是考虑图像的清晰度,而忽略了图像的光谱信息,且欧氏距离的方法依赖于阈值的设置,从而降低了文献[15]的融合性能。

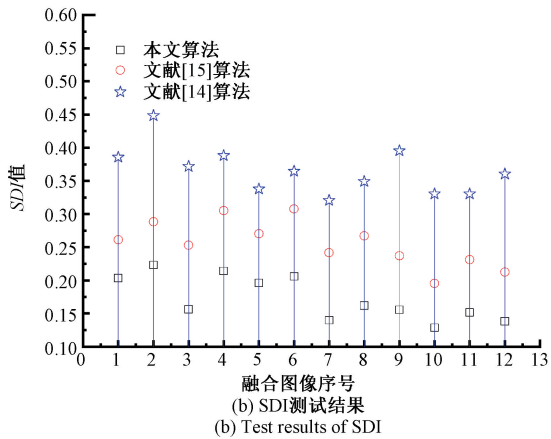
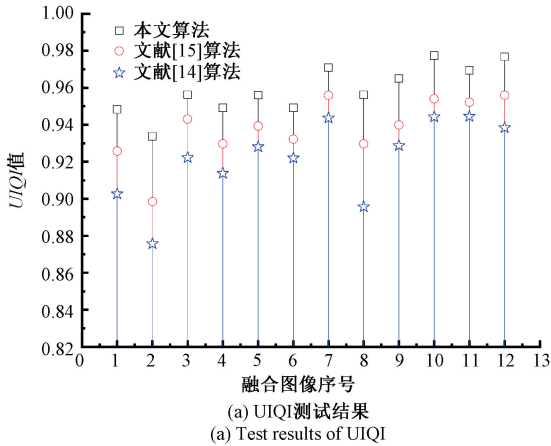


图 9 各算法的 UIQI 和 SDI 测试结果

Fig. 9 The UIQI and SDI test results of each algorithm

3 结论

本文通过 NSCT 对可见光和红外图像进行非下采样操作后,将其分离成了富含原图信息的低频和高频系数。采用信息熵函数,度量了图像所含信息,将其作为低频系数融合时的权重,求取了富含红外目标内容等信息的融合低频系数。以图像的清晰度和光谱特征,构建了特征选择机制,根据图像间的清晰度和光谱特征差异,选择了适宜的高频系数融合方法,求取了富含细节和光谱信息的融合高频系数。实验结果显示,所提算法融合图像的整体结构和光谱信息都较为理想,具有优良的融合特性。

参考文献

- [1] 杨树财, 于松, 苏帅. 六通道球幕投影图像畸变校正及融合板设计[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(9): 170-179.
YANG SH C, YU S, SU SH. Distortion correction and fusion plate design of six channel spherical screen projection image [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2019, 40(9): 170-179.
- [2] 周顺杰, 杨学志, 董张玉. 面向特征识别的 SAR 与可见光图像融合算法研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2018, 41(7): 900-907.
ZHOU SH J, YANG X ZH, DONG ZH Y. Fusion algorithm of SAR and visible images for feature recognition [J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2018, 41(7): 900-907.
- [3] 丁文杉, 毕筠彦, 何林远. 基于稀疏特征的红外与可见光图像融合[J]. 光子学报, 2018, 47(9): 233-242.
DING W SH, BI D Y, HE L Y. Infrared and visible image fusion based on sparse feature [J]. Acta Photonica Sinica, 2018, 47(9): 233-242.
- [4] 杨勇, 刘家祥, 黄淑英. 卷积自编码融合网络的红外与可见光图像融合[J]. 小型微型计算机系统, 2019, 40(12): 2673-2680.
YANG Y, LIU J X, HUANG SH Y. Convolutional auto-encoding fusion network for infrared and visible image fusion [J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2019, 40(12): 2673-2680.
- [5] CHENG B, JIN L, LI G. A novel fusion framework of visible light and infrared images based on singular value decomposition and adaptive DUAL-PCNN in NSST domain [J]. Infrared Physics and Technology, 2018, 91(1): 153-163.
- [6] DU Q L, XU H, MA Y. Fusing infrared and visible images of different resolutions via total variation model [J]. Sensors, 2018, 18(11): 3827-3303.
- [7] AGRAWAL D, KARAR V. Generation of enhanced information image using curvelet-transform-based image fusion for improving situation awareness of observer during surveillance [J]. International Journal of Image and Data Fusion, 2019, 10(1): 45-57.
- [8] ZHU P, HUANG Z H. Fusion of infrared and visible images based on BEMD and GFL [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2017, 28(10): 1156-1162.
- [9] 白鑫, 卫琳. 基于 IHS 变换与自适应区域特征的遥感图像融合算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(2): 161-167.
BAI X, WEI L. Remote sensing image fusion algorithm based on IHS transform and adaptive region feature [J].

- Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2019, 33(2):161-167.
- [10] 杨建新,王中叶.非下采样 Contourlet 变换在带钢表面缺陷图像去噪中的应用研究[J].表面技术,2018,47(7):259-264.
YANG J X, WANG ZH Y. Application of nonsubsamped contourlet transformation in steel strip image denoising[J]. Surface Technology, 2018, 47 (7): 259-264.
- [11] LI L, SI Y, JIA Z. A novel brain image enhancement method based on nonsubsamped contourlet transform[J]. International Journal of Imaging Systems and Technology,2018,28(2):124-131.
- [12] 马翔,楚莹莹,陈允杰.基于空间信息熵活动轮廓模型的图像分割[J].控制工程,2018,25(11):2010-2016.
MA X, CHU Y Y, CHEN Y J. Medical image segmentation based on active contour model of spatial information entropy [J]. Control Engineering of China, 2018, 25(11):2010-2016.
- [13] ZHU P, DING L, MA X Q. Fusion of infrared polarization and intensity images based on improved toggle operator [J]. Optics & Laser Technology, 2018, 98(1):139-151.
- [14] FENG X. Infrared and visible image fusion based on NSCT and deep learning [J]. Journal of Information Processing Systems, 2018,14(6):1405-1419.
- [15] CAI H, ZHUO L, CHEN X. Infrared and visible image fusion based on BEMSD and improved fuzzy set [J]. Infrared Physics and Technology, 2019, 98 (1): 201-211.
- [16] PREMA R, SUMITHRA M G. Comparative assessment of image fusion methods for land cover/land use monitoring[J]. International Journal of Engineering and Advanced Technology, 2018,8(2C2):105-110.
- [17] XU L, XIAO Q, HE L. Fused image quality assessment based on human visual characteristics [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2019, 44(4):546-554.
- [18] JIA D, CHEN G, ZHANG Y E. Fusion algorithm of infrared and visible images based on frame difference detection technology and area feature [J]. International Journal of Computers and Applications, 2020, 42 (7): 655-660.
- [19] LIU Y C, DONG L L, CHENG Y. An efficient method for infrared and visual images fusion based on visual attention technique[J]. Remote Sensing, 2020, 12(5):781-789.
- [20] 周宏宇,宋旭,刘国英. Contourlet 变换耦合特征投票的遥感图像融合算法[J].太赫兹科学与电子信息学报,2020,33(4):692-697.
ZHOU H Y, SONG X, LIU G Y. Remote sensing image fusion algorithm based on Contourlet transform coupled feature voting [J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information, 2020, 33(4):692-697.

作者简介



罗娟,2002年于江西农业大学获得学士学位,2012年于江西师范大学获得硕士学位,现为宜春幼儿师范高等专科学校讲师,主要研究方向为计算机图像处理、计算机应用、网络信息安全。

E-mail: LuoJ1980ycy@126.com

Luo Juan received B. Sc. degree from Jiangxi Agricultural University in 2002, M. Sc. degree from Jiangxi Normal University in 2012. Now she is a lecturer in Yichun Early Childhood Teachers College. Her main research interests include computer image processing, computer applications, network information security and Remote sensing mapping.



王立平(通信作者),2004年于江西师范大学获学士学位,2007年于同济大学获硕士学位,现为南京航空航天大学博士研究生,萍乡学院教授,主要研究方向为智能算法、计算机应用、智能监测等。

E-mail: wlp8631@163.com

Wang Liping (Corresponding author) received B. Sc. degree from Jiangxi Normal University in 2004, M. Sc. degree from Tongji University in 2007. Now he is a Ph. D. candidate at Nanjing University of Aeronautics and Astronautics and a professor at Pingxiang University. His main research interests include Intelligent algorithms, computer application and intelligent monitoring.