

文章编号: 2095-4980(2020)03-0456-06

## 基于二代 Curvelet 变换耦合图像纹理算法

石坤泉<sup>1</sup>, 高 鹰<sup>2</sup>

(1.广州番禺职业技术学院 信息工程学院, 广东 广州 511483; 2.广州大学 计算机学院, 广东 广州 510665)

**摘 要:** 当前较多图像融合算法主要是通过图像的能量信息来完成系数融合, 忽略了图像的纹理特征, 导致融合结果中存在吉布斯以及块现象等缺陷。设计了二代 Curvelet 变换耦合纹理信息调节的融合算法, 该算法采用二代 Curvelet 变换, 从输入图像中获取不同的 Curvelet 系数, 采用图像的 R(Red),G(Green),B(Blue)值, 构造纹理信息因子, 测量图像的纹理信息, 并联合图像的信息熵特征, 定义低频信息融合机制, 完成低频系数的融合, 使融合图像具有更多的纹理信息。利用图像的平均梯度特征建立高频信息融合方法, 实现高频系数的融合, 使其含有更多的边缘细节信息。测试结果显示: 与已有的融合算法相比, 该算法的融合图像更为清晰, 没有吉布斯和块现象, 具有更大的交互信息量和标准差值。

**关键词:** 纹理信息因子; 图像融合; 信息熵; 多聚焦图像; 平均梯度; 二代 Curvelet 变换

**中图分类号:** TP391.41

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA2019334

## Multi-focus image fusion algorithm based on second generation Curvelet transform coupled with texture information adjustment

SHI Kunquan<sup>1</sup>, GAO Ying<sup>2</sup>

(1.School of Information Engineering, Guangzhou Panyu Polytechnic, Guangzhou Guangdong 511483, China;

2.School of Computer Science, Guangzhou University, Guangzhou Guangdong 510665, China)

**Abstract:** At present, many image fusion algorithms mainly use image energy information to fuse image coefficients, ignoring the texture information of the image, which brings the defects of Gibbs and block phenomenon to the fusion results. This paper designs a multi-focus image fusion algorithm based on the second generation Curvelet transform coupled with texture information adjustment. Firstly, the second generation Curvelet transform is utilized to obtain different sub-band images from the input image. Then, the texture information factor is constructed by using R,G and B values of the image, and the texture information of the image is measured. By combining the information entropy characteristics of the image and the R, G and B values of the image, the fusion results have more texture information. The average gradient feature of the image is adopted to compute high frequency coefficient fusion, which makes it more capable of describing details such as edges. Finally, the image fusion test of this algorithm shows that compared with current fusion algorithms, the fusion image of this proposed algorithm is clearer, without the defects of Gibbs and block phenomenon, and with larger values of mutual information and standard deviation.

**Keywords:** texture information factor; image fusion; information entropy; multi-focus image; average gradient; second generation Curvelet transform

随着人们需求的变化, 数字图像在人们生活的多种场景中得到了应用<sup>[1]</sup>。受拍摄环境或拍摄器材等条件的制约, 难以将多个聚焦内容清晰地成像于 1 张图像中<sup>[2-3]</sup>。为了实现将多个聚焦内容清晰地集中于 1 张图像中, 人们开始对图像融合技术进行研究<sup>[4]</sup>。

收稿日期: 2019-09-09; 修回日期: 2019-11-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61672008); 广东省科技计划资助项目(2016B010127001); 广东省普通高校特色创新资助项目(2017GKTSCX047)

作者简介: 石坤泉(1967-), 男, 硕士, 主要研究方向为图像处理、信息安全、机器视觉。email:Shikunqg1967gd@2980.com

目前出现了多种图像融合算法。如 LI 等<sup>[5]</sup>采用一种新的多尺度图像分析方法，结合非局部均值滤波加权融合策略用于图像融合，进而获取融合结果。由于非局部均值滤波加权融合策略没有考虑图像的纹理信息，且多尺度图像分析方法没有顾及到图像在多方向上的分析，导致融合图像中含有块现象。刘健等<sup>[6]</sup>利用非下采样 Shearlet 计算出图像的不同系数，通过区域能量和 Laplacian 能量，分别获取不同系数的融合结果。这种基于图像能量信息来完成图像系数融合的方法，忽略了图像的纹理信息，使融合结果中具有吉布斯现象。LI 等<sup>[7]</sup>将主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)和广义高斯模型用于图像融合，通过小波变换得到图像系数后，采用广义高斯分布下的极大似然法融合高频系数和区域 PCA 方法融合低频系数。由于 PCA 方法不能较好地保留源图信息，广义高斯分布下的极大似然没有度量图像的纹理信息，使融合结果中含有块现象和模糊现象。GUO 等<sup>[8]</sup>提出一种基于全卷积网络(Full Convolution Network, FCN)的多焦点图像融合方法，通过高斯滤波器训练 FCN，将一对源图像输入到经过训练的 FCN 中，生成 2 个表示焦点属性的分数图，用另一个得分图平均一个逆得分图，生成一个综合得分图，充分利用 2 个得分图的焦点概率，完善融合任务的二元决策图，利用基于改进决策图的加权策略生成融合图像。由于该方法通过高斯滤波器训练 FCN，难以获取较为完备的训练字典，而且基于改进决策图的加权策略，没有分析图像的纹理信息，限制了其融合质量。

针对上述问题，本文提出二代 Curvelet 变换耦合纹理信息调节的图像融合方法。通过图像的 R,G,B 值构造纹理信息因子，并将其与图像的信息熵特征相结合，从纹理信息与信息丰富度两方面来融合低频系数，使其在包含丰富源图信息的同时，具有更多的纹理特征。采用图像的平均梯度特征，设计高频系数融合方法，使融合图像具备更好的细节描绘能力。实验结果显示，本文算法的融合图像没有吉布斯以及块现象，具有理想的纹理完整度和视觉质量。

### 1 本文多聚焦图像融合算法

二代 Curvelet 变换耦合纹理信息调节的图像融合算法过程如图 1 所示。由图 1 可知，本文算法主要分为基于 Curvelet 变换的图像分解、图像系数融合 2 部分。采用二代 Curvelet 对多聚焦图像变换，得到其不同的 Curvelet 系数，这些系数蕴含了丰富的源图内容。在低频系数融合时，借助图像的 R,G,B 值，构造纹理信息因子以测量图像的纹理度，并采用信息熵模型获取图像的信息丰富度，通过纹理信息因子和信息熵模型计算融合结果。在高频系数融合时，通过计算其平均梯度来测量图像的边缘等信息，以构造高频系数融合函数，从而输出融合结果。

#### 1.1 基于二代 Curvelet 变换的图像分解

与当下其他图像分解方法相比，二代 Curvelet 变换除了具有优良的多方向等特性外，还有良好的几何特征表述能力<sup>[9]</sup>。首先，计算输入图像  $I$  的频域方程  $\hat{I}$ <sup>[10]</sup>：

$$\hat{I}[r_1, r_2] = FFT(I), \quad -\frac{r}{2} \leq r_1, r_2 \leq \frac{r}{2} \quad (1)$$

式中： $FFT(\cdot)$  为快速傅里叶变换； $r$  为  $I$  的大小； $r_1, r_2$  为位于  $r$  中窗口的尺寸。

在角度  $\theta$  下计算  $\hat{I}$  的采样值  $\hat{I}$ ：

$$\hat{I}[r_1, r_2 - r_1 \tan \theta], \quad (r_1, r_2) \in C_r \quad (2)$$

式中  $C_r$  为条件因子，其计算函数为：

$$C_r = \{(r_1, r_2) : r_{1,0} \leq r_1 \leq r_{1,0} + m, \quad r_{2,0} \leq r_2 \leq r_{2,0} + n\} \quad (3)$$

式中： $m$  和  $n$  为图 2 所示窗口  $W$  的大小； $(r_{1,0}, r_{2,0})$  为  $I$  的左下角坐标<sup>[11]</sup>。

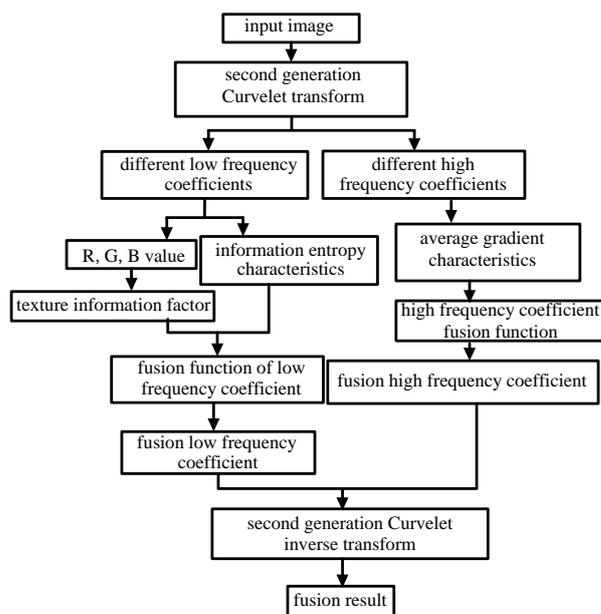


Fig.1 Process of multi-focus image fusion algorithm in this paper  
图 1 本文多聚焦图像融合算法的过程

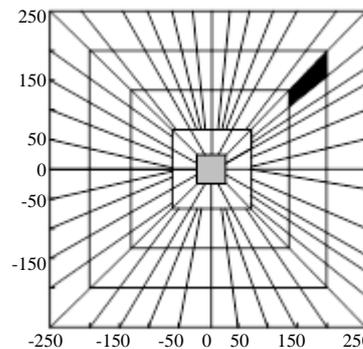


Fig.2 Window of second generation Curvelet transform in frequency domain  
图 2 二代 Curvelet 变换频域的窗口

计算  $\hat{I}$  与  $W$  的乘积  $I'$  :

$$I' = \hat{I}[r_1, r_2 - r_1 \tan \theta] \times W \quad (4)$$

对  $I'$  采用 *wrap* 计算<sup>[12]</sup>, 获取其结果  $I''$ 。再对  $I''$  实施快速傅里叶逆变换, 便可得到  $I$  的不同系数。

以图 3(a)和图 3(b)所示的目标为测试数据, 借助二代 Curvelet 变换对其实施分解, 得到的系数分别见图 3(c)和图 3(d)。

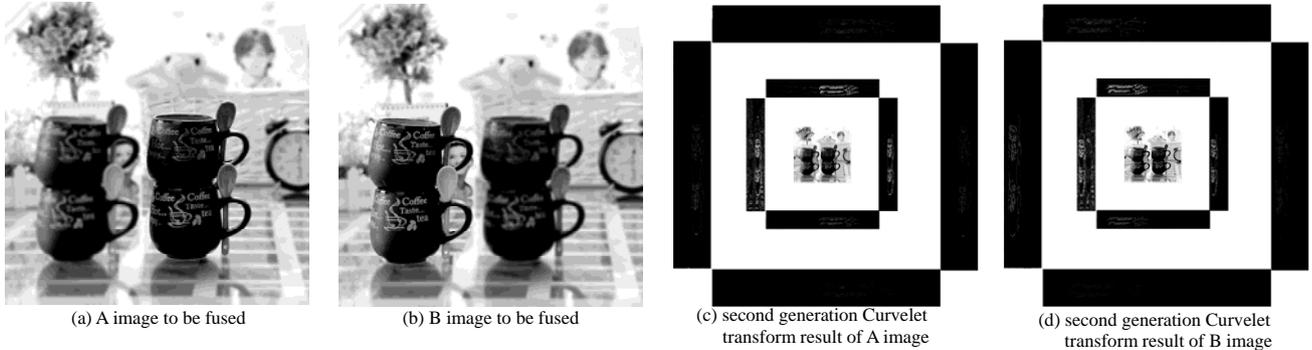


Fig.3 Second generation Curvelet transform results of image  
图 3 图像的二代 Curvelet 变换结果

## 1.2 图像系数融合

图像的不同系数反映了原图的不同内容, 其中, 低频系数以描述图像的主体信息和纹理特征为主。信息熵通过图像的灰度特征来反映图像的信息量。因此, 本文通过图像的 R,G,B 值, 构造了纹理信息因子, 将其与图像的信息熵相结合, 完成低频系数的融合, 改善融合图像的纹理信息量。

在灰度级为  $\{1, 2, \dots, L\}$  的图像中, 其信息熵  $P$  为<sup>[13]</sup>:

$$P = -\sum_{i=0}^L g_i \log_2 g_i \quad (5)$$

式中:  $g_i$  是灰度为  $i(i < L)$  像素点出现的概率;  $L$  为图像的灰度等级。

在大小为  $M \times N$  的图像  $I$  中, 坐标为  $(i, j)$  像素点在 R,G,B 3 个通道中的值分别为  $R_{ij}, G_{ij}$  和  $B_{ij}$ , 则通过图像 R,G,B 值所构造的纹理信息因子  $Q$  为:

$$Q = \left[ \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (R_{ij} - R_T)}{M \times N} \right] + \left[ \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (G_{ij} - G_T)}{M \times N} \right] + \left[ \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (B_{ij} - B_T)}{M \times N} \right] \quad (6)$$

式中  $R_T, G_T$  和  $B_T$  分别为  $I$  中像素点在 R,G,B 3 个通道中的均值。

对于不同的低频系数  $E, S$ , 通过式(5)分别求取其信息熵值  $P_E$  和  $P_S$ 。再基于式(6)分别求取其纹理信息值  $Q_E$  和  $Q_S$ 。随后, 联合  $P_E, P_S, Q_E$  和  $Q_S$ , 构造低频系数融合函数  $U(E, S)$  :

$$U(E, S) = \omega E + (1 - \omega) S \quad (7)$$

$$\omega = \frac{P_E + Q_E}{P_E + Q_E + P_S + Q_S} \quad (8)$$

式中  $\omega$  为低频系数对应的权重。根据式(7)便可获取 2 幅待融合图像的融合低频系数  $U(E, S)$ 。

接下来完成高频信息的融合。通常, 高频系数刻画了图像的边缘等特征。图像的平均梯度特征主要是利用像素点的差分值来测量图像边缘等信息。因此, 本文利用图像的平均梯度特征来融合高频系数。

对于尺寸为  $M \times N$  的图像  $I$ , 其平均梯度  $D$  为<sup>[14]</sup>:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sqrt{\frac{\partial p(i, j)_x^2 + \partial p(i, j)_y^2}{2}}}{MN} \quad (9)$$

式中:  $p(i, j)$  为坐标  $(i, j)$  处像素点;  $\partial p(i, j)_x$  与  $\partial p(i, j)_y$  为  $p$  在  $x, y$  轴的差分值。

对于不同高频系数  $V, B$ , 通过式(9)分别求取其平均梯度值  $D_V$  和  $D_B$ , 再联合  $D_V$  和  $D_B$  来构造高频系数融合函数  $H(V, B)$  :

$$H(V,B)=\frac{D_V \times V + D_B \times B}{D_V + D_B} \quad (10)$$

根据式(10)便可获取 2 幅待融合图像的融合高频系数  $H(V,B)$ 。通过式(7)和式(10)计算出  $U(E,S)$  和  $H(V,B)$  后,再借助 Curvelet 逆变换,可得到融合图像。

以图 3(a)和图 3(b)所示待融合图像为样本,根据上述过程,形成的融合图像见图 4。由图 4 可见,本文算法融合图像完整度较好,无吉布斯和块现象,视觉效果良好。



Fig.4 Fusion result of the algorithm in this paper  
图 4 本文算法的融合结果

## 2 实验结果

采用 Matlab 7.10 软件,在 Intel i 52.8 GHz CPU,500 GB ROM 的 Lenovo PC 上进行实验。为了较为直观地对比本文算法的融合性能,实验中采用文献[15-17]作为比较对象。通过观察融合效果以及客观测试分析,评估各算法的性能。

### 2.1 融合效果对比与分析

不同算法对“兔子”待融合图像融合的结果如图 5 所示。从融合效果看,各算法融合的图像在整体上都具有较好的质量。但文献[15]算法的融合图像中含有不连续和吉布斯现象;文献[16]算法的融合图像中含有块现象和不连续现象;文献[17]算法的融合图像中含有间断和块现象;而本文算法的融合图像中仅一处存在轻微模糊现象。图 6 为不同算法对“橘子”待融合图像的融合结果。对比各算法的融合结果可以发现:文献[15]算法融合的图像中含有块现象和振铃现象;文献[16]算法融合的图像中含有吉布斯现象和不连续现象;文献[17]算法融合的图像中含有间断现象和振铃现象;本文算法的融合图像中仅有一处存在轻微的振铃现象。根据上述融合结果发现,本文算法的融合效果最好,融合图像中不含块现象和吉布斯现象。原因是本文算法采用了二代 Curvelet 变换计算图像的不同系数,使其较好地保留了原图像的几何特征。同时,本文算法还利用图像的 R,G,B 值来设计纹理信息因子,利用其测量图像的纹理信息。将其与信息熵进行联合,共同完成了低频系数融合,使融合图像能够具有较好的几何特征,提高了融合图像的质量。

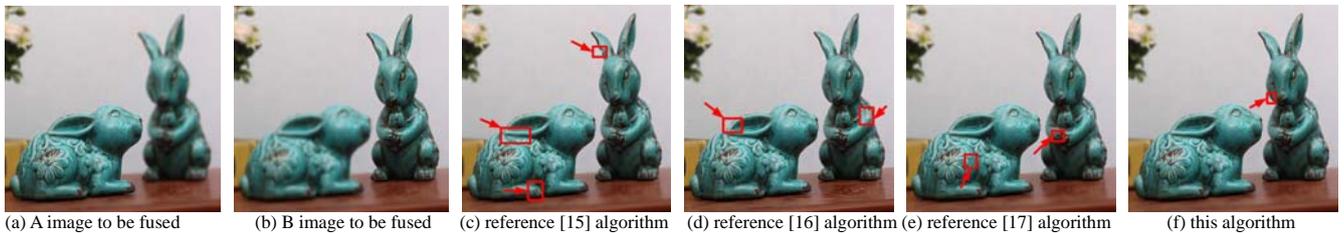


Fig.5 Fusion results of “rabbit” multi-focus images with different algorithms  
图 5 不同算法对“兔子”多聚焦图像的融合结果

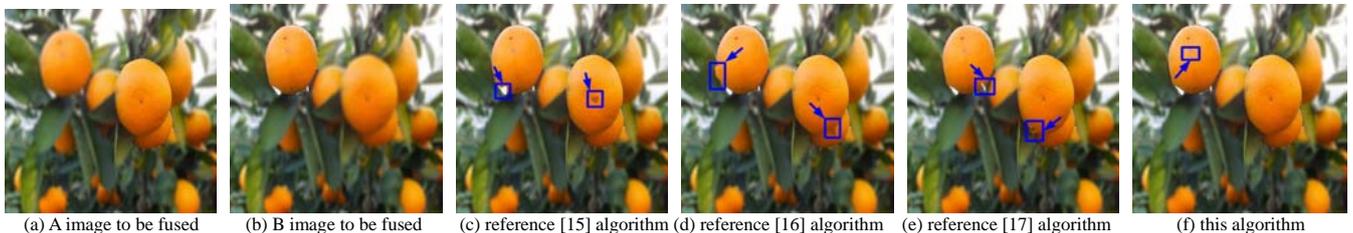


Fig.6 Fusion results of “orange “ multi-focus images with different algorithms  
图 6 不同算法对“橘子”多聚焦图像的融合结果

### 2.2 客观测试对比与分析

在图 7 所示场景上,通过 Nikon D3500 相机采集 20 组不同的待融合图像。通过不同算法对这 20 组图像进行融合测试。通过计算融合图像的交互信息量(Mutual Information, MI)和标准差(Standard Deviation, SD)、空间频率(Spatial Frequency, SF),对各算法进行客观评价。

MI 反应了融合图像  $F$  与待融合图像  $A,B$  之间的交互关系, $F$  与  $A,B$  的交互内容越多, $F$  的质量就越好,MI

值也越大。SD 描绘了  $F$  的图像细节刻画能力,  $F$  的细节内容越丰富, SD 值也越大。SF 刻画了  $F$  的细节特征, SF 值越大, 表示  $F$  所含细节信息越多。MI,SD,SF 的表达式分别为<sup>[18-19]</sup>:

$$MI = \sum_{i=0}^f \sum_{j=0}^a Z_{FA} \log_2 \frac{Z_{FA}}{Z_F Z_A} \quad (11)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (F(x,y) - F')^2}{MN}} \quad (12)$$

$$SF = \sqrt{RF^2 + CF^2} \quad (13)$$

式中:  $f$  和  $a$  分别为图像  $F$  和  $A$  的最大灰度值;  $Z_F$  和  $Z_A$  分别为  $F$  和  $A$  的灰度直方图;  $F'$  为  $F$  的像素均值;  $M \times N$  为  $F$  的尺寸;  $Z_{FA}$  为  $F$  和  $A$  的归一化联合灰度直方图;  $RF$  和  $CF$  分别为行、列空间频率, 其表达式为:

$$\begin{cases} RF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (F(x,y) - F(x,y-1))^2} \\ CF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (F(x,y) - F(x-1,y))^2} \end{cases} \quad (14)$$

不同算法对 20 组图像的融合结果所对应的  $MI, SD$  和  $SF$  值如图 8 所示。从图 8 可以发现, 本文算法融合图像的  $MI, SD$  和  $SF$  值都高于文献[15-17]。如, 对于组号为 8 的待融合图像, 本文算法融合图像的  $MI, SD$  和  $SF$  值均为最大, 分别为 5.69, 42.16, 35.29, 说明本文算法的融合图像具有较好的质量和细节刻画能力。文献[15]算法利用小波方法将输入图像分为不同的图像层, 并利用平均融合方法融合近似层, 通过 PCA 机制来融合细节层。因为小波变换不能较好地包含原图信息, 且小波系数平均融合方法没考虑图像的纹理信息, 使文献[15]算法融合性能不理想。文献[16]算法采用引导滤波的方式将图像分为基本层和细节层, 然后采用梯度能量的方法融合基本层, 采用空间频率的方法融合细节层。由于梯度能量的方法忽略了图像的纹理信息, 且引导滤波的方式不能较好地表达图像的几何特征, 从而降低了文献[16]算法的融合性能。文献[17]算法将模态分解方法引入融合过程, 通过二维经验模态分解图像, 获取分解系数, 采用局部区域能量和局部平均灰度差信息, 分别获取高、低频融合系数。由于局部区域能量未能较好地刻画图像的细节信息, 且局部平均灰度差信息不能较好地表达图像的纹理信息, 限制了文献[17]的融合性能。

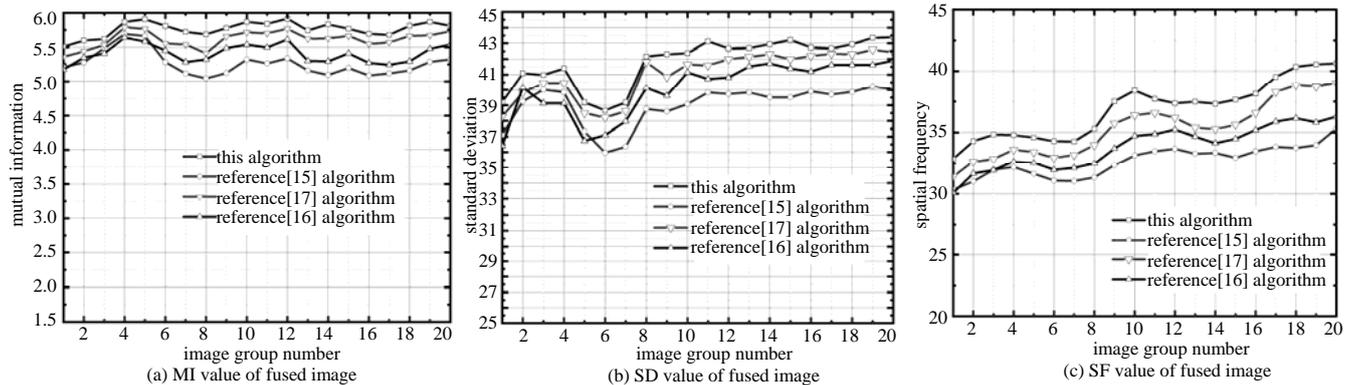


Fig.8 Objective evaluation results of fusion image with three algorithms

图 8 三种算法融合图像的客观评价结果

### 3 结论

为了提高融合图像包含纹理信息的丰富度, 本文在通过二代 Curvelet 变换获取图像不同系数的基础上, 设计了一种采用纹理信息调节的方法, 用于图像融合。利用图像的 R,G,B 值设计了纹理信息因子, 将其与信息熵模型相联合。在图像系数融合过程中, 同时考虑了图像的纹理特征与信息丰富度特征, 以融合低频系数, 使之能更好地体现图像的纹理信息与概貌信息。利用图像的平均梯度特征, 测量了图像的边缘等信息, 以融合高频系数, 使之能更好地刻画图像的细节信息。实验中, 测试了本文算法的融合性能, 从融合图像的视觉效果, 以及融合图像的  $MI, SF$  和  $SD$  值可见, 本文算法融合性能较好, 融合图像质量较高。



Fig.7 Test scenario  
图 7 测试场景

## 参考文献：

- [1] 王志明,张航. 融合多层卷积神经网络特征的快速图像检索方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2019,31(8):1410-1416. (WANG Zhiming,ZHANG Hang. A fast image retrieval method based on multi-layer CNN features[J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2019,31(8):1410-1416.) DOI:10.3724/SP.J.1089.2019.17845.
- [2] 刘斌,谌文江,辛迦楠. 基于四通道不可分加性小波的多聚焦图像融合[J]. 计算机科学, 2019,46(7):268-273. (LIU Bin, CHEN Wenjiang,XIN Jianan. Multifocus image fusion based on four channel non-separable additive wavelet[J]. Computer Science, 2019,46(7):268-273.) DOI:10.11896/j.issn.1002-137X.2019.07.041.
- [3] 杜鑫. 压缩感知在多源图像融合中的应用[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2013,11(4):614-618. (DU Xin. Application of compressed sensing in multi-source image fusion[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2013,11(4):614-618.) DOI:10.11805/TKYDA201304.0614.
- [4] 冷凯群. 基于 PLFT 及图像融合的卫星河流识别[J]. 计算机工程与设计, 2018,39(12):3762-3766. (LENG Kaiqun. PLFT and images fusion-based satellite rivers detection[J]. Computer Engineering and Design, 2018,39(12):3762-3766.) DOI:CNKI:SUN:SJSJ.0.2018-12-028.
- [5] LI Huaifeng,QIU Hongmei,YU Zhengtao. Multifocus image fusion via fixed window technique of multiscale images and non-local means filtering[J]. Signal Processing, 2017,138(1):71-85. DOI:10.1016/j.sigpro.2017.03.008.
- [6] 刘健,程英蕾,聂玉泽. 基于 NSST 域方向性加权的多聚焦图像融合方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2017, 18(2):74-82. (LIU Jian,CHENG Yinglei,NIE Yuze. A multi-focus image fusion based on NSST domain[J]. Journal of Air Force Engineering University(Natural Science Edition), 2017,18(2):74-82.) DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2017.02.013.
- [7] LI Jian,QU Huaijing,WANG Meiping. Multi-focus image fusion based on PCA and generalized Gaussian modeling[J]. Computer Engineering and Applications, 2017,53(5):216-221. DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.1506-0023.
- [8] GUO Xiaopeng,NIE Rencan,CAO Jinde. Fully convolutional network-based multifocus image fusion[J]. Neural Computation, 2018,30(7):1775-1800. DOI:10.1162/neco\_a\_01098.
- [9] 何飞佳,李庆武,韩辉. 基于同态滤波与 Curvelet 变换的钻孔图像自适应增强[J]. 传感器与微系统, 2017,36(8):145-148. (HE Feijia,LI Qingwu,HAN Hui. Borehole image adaptive enhancement based on homomorphic filtering and Curvelet transform[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2017,36(8):145-148.) DOI:10.13873/J.1000-9787(2017)08-0145-04.
- [10] 杨红梅,刘志刚. 基于二代曲波变换的电气化铁路接触网连接装置旋转双耳不良状态检测[J]. 铁道学报, 2017, 39(9):53-58. (YANG Hongmei,LIU Zhigang. Defective condition detection of rotary double ears of junction device of catenary system in electrified railway based on 2nd generation Curvelet transform[J]. Journal of the China Railway Society, 2017,39(9):53-58.) DOI:CNKI:SUN:TDXB.0.2017-09-008.
- [11] GAI Shan. Multichannel image denoising using color monogenic Curvelet transform[J]. Soft Computing, 2016,22(2):635-644. DOI:10.1007/s00500-016-2361-1.
- [12] PRASHANT Srivastava,ASHISH Khare. Content-based image retrieval using local binary Curvelet co-occurrence pattern—a multiresolution technique[J]. Computer Journal, 2017,61(3):369-385. DOI:10.1093/comjnl/bxx086.
- [13] 张焯,刘晓佩. 一种改进的压缩感知图像融合方法[J]. 西安科技大学学报, 2018,37(4):690-696. (ZHANG Ye,LIU Xiaopei. An improved compressive sensing image fusion method[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2018,37(4):690-696.) DOI:10.13800/j.cnki.xakjdx.2018.0425.
- [14] LI Weisheng,HU Xin,DU Jiao. 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.
- [15] ANIL Singh,VIKRANT Bhateja,ASHUTOSH Singhal. Multi-focus image fusion method using 2D-wavelet analysis and PCA[J]. Information and Communication Technology for Intelligent Systems, 2017,83(1):616-623. DOI:10.1007/978-3-319-63673-3\_74.
- [16] YUAN Yating,CHEN Li,ZHANG Yongxin. Multi-focus image fusion based on guided image filtering[J]. Computer Society of the Republic of China, 2018,29(4):135-146.
- [17] QIN Xinqiang,HU Gang,HU Kai. Image fusion method based on regional feature and improved bidimensional empirical mode decomposition[J]. Journal of Electronic Imaging, 2018,27(1):1-11.
- [18] PEDRO Atencioortiz,SANCHEZ Torresgerman,BRANCH Bedoyajohn. Evaluating supervised learning approaches for spatial-domain multi-focus image fusion[J]. Dyna, 2017,84(202):137-146. DOI:10.15446/dyna.v84n202.63389.
- [19] FARID Muhammadshahid,MAHMOOD Arif,SOMAYA Almaadeed. Multi-focus image fusion using content adaptive blurring[J]. Information Fusion, 2019,45(1):96-112. DOI:10.1016/j.inffus.2018.01.00.