DOI:10.19431/j. cnki. 1673-0062.2020.05.010

# 基于局部结构和视觉显著特征的红外和可见光 图像泊松重构融合算法

#### 贺双龙,杨 斌\*

(南华大学 电气工程学院,湖南 衡阳 421001)

摘 要:研究了一种基于泊松重构的红外和可见光图像融合算法,算法在梯度域内实现图像信息的融合,可有效避免传统空域和变换域方法在融合图像中由于局部亮度 不一致而产生伪边缘。另外,提出的算法在源图像梯度融合时,同时考虑了图像的局 部结构显著和视觉显著特征,能够在保留源图像更多细节的同时突出输入图像的视 觉显著目标信息。通过与其他最新融合算法的对比实验结果显示本文算法获得的融 合图像既有突出的红外目标,又有清晰的可见光背景细节,并且不会产生伪影和嗓 声,同时客观评价指标也有显著的优势。 关键词:图像融合;泊松重构;结构显著性;视觉显著性 中图分类号:TP391 文献标志码:A 文章编号:1673-0062(2020)05-0062-10

# Local Structural and Visual Saliency Based Infrared and Visible Image Fusion with Poisson Reconstruction

#### HE Shuanglong, YANG Bin\*

(School of Electrical Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: This paper presents an infrared and visible images fusion algorithm based on Poisson reconstruction. The algorithm achieves the fusion of image information in the gradient domain, which can effectively avoid the occurrence of false edges due to the local brightness inconsistency in the traditional methods. The proposed algorithm uses local structure calculated from gradients as the pixel activity measure which retains more details of the source image. Moreover, the visual saliency targets of the input images can be high-

收稿日期:2020-04-01

基金项目:国家自然科学基金项目(61871210);湖南省自然科学基金项目(2016JJ3106);湖南省教育厅优秀青年项 目(16B225);南华大学青年英才支持计划、南华大学船山人才支持计划、南华大学重点学科资助项目 (NHXK04)

作者简介:贺双龙(1995-),男,硕士研究生,主要从事图像融合方面的研究。E-mail:1245337451@qq.com.\*通信 作者:杨 斌(1980-),男,教授,博士,主要从事图像处理方面的研究。E-mail:yangbin01420@163.com

lighted in the fused image due to the visual saliency features which are considered in the fusion scheme. Compared with the other latest infrared and visible image fusion algorithms, the experimental results show that the fusion images obtained by our algorithm demonstrate both highlighted infrared targets and clear visible light background details, and will not produce artifacts and noises. Moreover, the proposed method also performs better results in terms of higher objective evaluation metrics than other methods.

key words: image fusion; Poisson reconstruction; structural saliency; visual saliency

### 0 引 言

图像融合即通过图像处理技术将两幅或多幅 图像合成一幅融合图像,融合图像包含所有源图 像重要的信息。红外与可见光图像融合是图像融 合技术最典型的应用。红外图像传感器对场景中 物体的温度和和辐射差异成像,不受外界复杂环 境条件影响,红外图像可以反映出目标物体的轮 廓,但是其可视性差,对比度低,缺少图像细节信 息。可见光图像传感器依据场景中的光谱反射率 不同成像,可见光图像含有大量图像细节,但会受 到烟雾等遮挡物影响无法观察到清晰的目标<sup>[1]</sup>。 因此将红外和可见光图像两种图像融合,生成图 像细节信息丰富,分辨率高的融合图像,产生完整 场景视觉感知,其在探测、军事、医疗等领域有着 重要价值。

近年来基于多尺度变换的图像融合方法一直 是红外与可见光图像融合领域的热点和焦点[2]。 这类方法首先将源图像进行多尺度分解,得到图 像的高频系数和低频系数;然后按照设定的融合 规则将源图像的高频系数和低频系数融合;最后, 对融合的系数做多尺度逆变换得到融合图像。常 用的多尺度变换包括金字塔变换<sup>[3]</sup>、小波变 换<sup>[4]</sup>、非下采样轮廓波变换<sup>[5]</sup>等。然而基于多尺 度变换的方法的融合性能受变换基函数、分解层 数、系数融合策略的影响较大,当系数设置不当 时,容易在融合图像中产生细节丢失、伪影和失真 等现象。对此,大量的改进算法先后被提出。S. Li 等提出基于引导滤波的融合算法 (guided filtering based fusion, GFF)<sup>[6]</sup>,利用引导滤波实现 融合权重与图像内容的一致化校验,融合质量有 很大提升。Z. Zhou 等将边,角等空间图像结构定 义为梯度空间排列,从而提出了一种新的图像结 构显著特征的度量方法,并将该方法成功应用于 多聚焦图像融合<sup>[7]</sup>。D. P. Bavirisetti 等提出了一 种计算图像视觉显著特征的方法,对多尺度分解 图像的低频进行加权融合,融合结果中场景的视 觉显著目标更加突出<sup>[8]</sup>。J. Sun 等针对直接像素融合易产生伪影的问题,设计了突出重要结构和目标的马尔科夫随机场融合模型,在梯度域中对源图像进行融合,有效消除了融合图像中产生的伪影<sup>[9]</sup>。传统的基于稀疏表示融合算法,虽然提升了融合图像质量,但是细节信息和目标信息缺失,融合图像可能出现伪影的问题依旧存在<sup>[10]</sup>。

本文提出了一种基于泊松方程重构的红外可 见光图像融合的方法,有效避免了传统方法融合 图像中由于局部亮度不一致而产生的伪边缘等错 误信息。另外,采用图像空间域梯度计算图像局 部的结构显著特征,更加符合人眼在空间域上感 知视觉图像信息的特点。为了进一步在融合图像 中突出输入图像的视觉显著目标信息,提取源图 像全局的视觉显著特征,并与图像局部结构显著 结合,构造了融合权重矩阵实现图像梯度域融合。 最后,根据融合的梯度矩阵,通过雅克比迭代算法 求泊松重构的融合图像。算法在多组红外与可见 光源图像上进行了实验,并与其他最新算法的结 果进行了对比分析,结果显示本文方法融合图像 中目标物体更加突出,保留了更多的图像细节信 息和目标。

# 基于局部结构与视觉显特征的泊 松重构图像融合算法

本文融合方法的示意图如图 1 所示,图 1 中  $G_x^A = G_y^A$ 为源图像 A 的水平与垂直方向梯度值,  $G_x^B = G_y^B$ 为源图像 B 的水平与垂直方向梯度值;  $G_x = G_y$ 为融合梯度的水平与垂直方向梯度值;  $V_A = V_B$ 分别为源图像 A 与 B 的视觉显著性图;  $S_A = S_B$ 分别为源图像 A 与 B 的结构显著性图; 由图 1 可知,基于局部结构与视觉显特征的泊松 重构图像融合算法包括四个步骤。首先,分别计 算红外与可见光源图像的水平和垂直梯度。然 后,分别根据它们的梯度获得红外与可见光源图像中 提取它们的全局视觉目标显著性特征,并结合源 图像局部结构显著性特征构造融合权重矩阵;其 次,根据融合权重矩阵分别将红外与可见光源图 像的水平和垂直梯度融合;最后,通过泊松方程重构,由融合梯度求出最终融合图像。



图 1 本文融合算法示意图 Fig. 1 The fusion framework of the proposed algorithm

#### 1.1 图像梯度计算

已配准的红外光图像和可见光图像分别用 A 和 B 进行表示,由公式(1)和(2)可得源图像的梯度分别为  $\nabla A = (A_x, A_y)$ 和  $\nabla B = (B_x, B_y)$ ,其中  $\nabla$ 表示梯度算子,x = y分别表示水平和垂直梯度。

$$\mathbf{I}_{x} = \frac{\partial \mathbf{I}}{\partial x} = \begin{cases} \mathbf{I}(i+1,j) - \mathbf{I}(i,j) \\ 1 \le i < M, 1 \le j \le N \\ 0 \qquad i = M, 1 \le j \le N \end{cases}$$
(1)

$$\mathbf{I}_{y} = \frac{\partial \mathbf{I}}{\partial y} = \begin{cases} \mathbf{I}(i, j+1) - \mathbf{I}(i, j) \\ 1 \leq i \leq M, 1 \leq j < N \\ 0 & 1 \leq i \leq M, j = N \end{cases}$$
(2)

其中, $I \in \{A, B\}$ ,  $M \neq N$ 分别为图像像素的行数 和列数。

#### 1.2 图像局部结构显著特征

文献[7]将图像边,角等空间图像结构定义 为梯度空间排列的特殊形式,并基于此提出了图 像局部结构显著特征。该图像局部结构显著特征 符合人眼在空间域上对图像的边缘、轮廓敏感的 特点,与人类视觉的感知机理一致,因此本文将用 该方法对源图像的梯度进行融合。首先定义源图 像1的局部窗口W的梯度协方差矩阵为:

$$\boldsymbol{C}_{\sigma}(X) = \begin{bmatrix} \sum_{X \in W} \mathbf{I}_{x}^{2}(X) * \boldsymbol{G}_{\sigma} & \sum_{X \in W} \mathbf{I}_{x}(X) \mathbf{I}_{y}(X) * \boldsymbol{G}_{\sigma} \\ \sum_{X \in W} \mathbf{I}_{x}(X) \mathbf{I}_{y}(X) * \boldsymbol{G}_{\sigma} & \sum_{X \in W} \mathbf{I}_{y}^{2}(X) * \boldsymbol{G}_{\sigma} \end{bmatrix}$$
(3)

其中 $I_x(X)$ 与 $I_y(X)$ 为在像素X = (m,n)处源图像 I 沿 x 和 y 方向的梯度; $G_\sigma$ 为标准差为 $\sigma$ 的高斯 低通滤波器。将梯度协方差矩阵进行特征分解 可得:

$$\mathbf{C}_{\sigma}(X) = \mathbf{V} \begin{bmatrix} s_1^2 & \\ & s_2^2 \end{bmatrix} \mathbf{V}^{\mathrm{T}}$$
(4)

式中的 $s_1$ 和 $s_2$ 表示矩阵 $G_\sigma$ 的特征值的平方根, V是特征向量构成的正交矩阵, $V^T$ 为V的转置。 图像I在像素X处的局部结构显著特征定义为:

$$S(X) = \sqrt{(s_1 + s_2)^2 + \alpha(s_1 - s_2)^2}$$
 (5)

式中 α>1,用来描述结构显著性对边缘和角状结构的相对重视性。

图 2 为依据式(5)得到的红外光图像和可见 光图像局部结构显著性图。图 2(a)中结构显著 的人的轮廓在其结构显著性图 2(c)中非常清晰 的呈现出来。同时在图 2(b)中结构清晰的房子 边缘和篱笆在图 2(d)中的结构显著性也明显突 出。因此可以用公式(5)计算得到的图像结构显 著特征来指导图像融合。





#### 1.3 图像全局视觉显著特征

图像视觉显著性检测是一种检测或识别图像 中重要区域(如人、物体或像素)的技术,与场景 中存在的其他区域相比,这些图像显著区域更容 易引起人类视觉注意[9]。对于红外与可见光融 合来说,希望源图像中的视觉显著性特征能在融 合图像中尽量完整的保留,因此本文用图像视觉 显著性检测来提取图像的图像全局视觉显著特 征。为提高算法效率,本方案中采用文献[8]中 提出的方法分别计算红外与可见光的视觉显著特 征。首先,分别对源图像进行均值滤波和中值滤 波:然后以均值滤波和中值滤波结果差值图像的 绝对值作为图像的视觉显著特征  $V_{A}$ 和  $V_{B}$ 。其中 中值滤波和均值滤波器的窗口大小分别为3和 35 的正方形,该参数在文献[8]已证明为最佳窗 口大小。图3为红外光图像和可见光图像的全局 视觉显著特征图,其中源图像为图2(a)和(b)的 红外与可见光图像。从图 3 中可以看到,源红外 与可见光图像中的人和房子等显著目标在 V<sub>4</sub> 和 V。中都很清楚的呈现出来,与结构显著性图对 比,图像结构显著性图比较图2(c)中只有人的轮 廓边缘特征明显,而图3(a)整个人形区域特征值 都比较大,因此见二者之间存在互补特征,将二者 结合可有效提高融合图像质量。



(a)红外图像的视觉显著性图 (b)可见光图像的视觉显著性图

图 3 红外与可见光图像的视觉显著性图



#### 1.4 权重值及融合结果图像梯度计算

通过结构与视觉显著性结果图构造权值,两

种度量显著图的计算方式上面已经给出,这里采 用两种显著图相乘的方式进行计算得到的权重图 像很好的展示出显著性的突出目标。计算公式 如下:

$$S(m,n) = \frac{S_A(m,n)}{S_A(m,j)n + S_B(m,n) + \varepsilon}$$
(6)

$$\boldsymbol{V}(m,n) = \frac{\boldsymbol{V}_A(m,n)}{\boldsymbol{V}_A(m,n) + \boldsymbol{V}_B(m,n) + \boldsymbol{\varepsilon}} \quad (7)$$

$$Y = S \otimes V \tag{8}$$

这里的 $S_A$ 、 $S_B$ 、 $V_A$ 、 $V_B$ 在上文中已经提到,S是结构显著特征权重图,V是视觉显著特征权重图,W为最终加权矩阵, $\varepsilon$ 是一个很小的值用于修正常数, $\otimes$ 表示点乘,得到期望梯度如下计算公式:

$$\boldsymbol{G}_{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{W} \otimes \boldsymbol{A}_{\boldsymbol{x}} + (\boldsymbol{1} - \boldsymbol{W}) \otimes \boldsymbol{B}_{\boldsymbol{x}}$$
(9)

 $\boldsymbol{G}_{\boldsymbol{y}} = \boldsymbol{W} \otimes \boldsymbol{A}_{\boldsymbol{y}} + (\boldsymbol{1} - \boldsymbol{W}) \otimes \boldsymbol{B}_{\boldsymbol{y}} \quad (10)$ 

其中通过上述描述可以清晰的看本文算法的融合 过程,并且得到融合图像梯度  $\nabla G = (G_x, G_y)$ ,其 中 $G_x$ 为融合图像 x 方向梯度, $G_y$  为 y 方向梯度, 1 其全为1 的矩阵。

#### 1.5 泊松重建融合图像

根据泊松图像编辑原理<sup>[11-12]</sup>,利用狄利克雷 边界条件和融合图像梯度  $\nabla G = (G_x, G_y)$ ,求解式 (10)的变分问题可重建获得融合图像  $F = f + \partial \Omega$ , 其中f是大小为(M - 2)×(N - 2)待重建区域  $\Omega$ 上 的重建图像,  $\partial \Omega$  为边界条件宽度为1 个像素大 小, $f^0$ 是雅克比迭代式的迭代初始值,F 是融合结 果图像。重构需要求解方程如下所示:

$$\min_{f} \iint |\nabla f - \nabla G|^{2} \text{ s. t. } f|_{\partial \Omega} = A/4 + 3B/4 - f^{0}$$
(11)

根据变分理论可知,欧拉-拉格朗日条件是变分式 (10)存在极值的必要条件,因此令

 $\boldsymbol{D} = |\nabla \boldsymbol{f} - \nabla \boldsymbol{G}|^2 = (\boldsymbol{f}_x - \boldsymbol{G}_x)^2 + (\boldsymbol{f}_y - \boldsymbol{G}_y)^2,$ 代人欧拉方程得到如下式:

$$\frac{\partial \boldsymbol{D}}{\partial (\boldsymbol{f} - \boldsymbol{G})} - \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x} \left[ \frac{\partial \boldsymbol{D}}{\partial (\boldsymbol{f}_x - \boldsymbol{G}_x)^2} \right] -$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}y} \left[ \frac{\partial \boldsymbol{D}}{\partial (\boldsymbol{f}_{y} - \boldsymbol{G}_{y})^{2}} \right] = 0 \qquad (12)$$

化简得到泊松方程如下:

$$\Delta \boldsymbol{f} = \operatorname{div}(\nabla \boldsymbol{G}) \tag{13}$$

式中的 △ 为拉普拉斯算子 div 为散度算子将式子 (12)改写为线性方程  $Qx = \text{div}(\nabla G)$ 的形式,其中  $x = [f(1,1)f(1,2)\cdots f(1,n-1)f(1,n-2)\cdots$  $f(m-2,n-2)]^{\text{T}}$ 。由拉普拉斯算子的离散形式 可知,矩阵 Q 严格对角占优,故关于其雅克比行 列式迭代收敛且有唯一解<sup>[11]</sup>,由边界值确定。

为了尽量减少算法的运算量,提高光照度低时,融合图片的亮度,避免因为融合迭代次数过少 而产生伪影,将初始融合图像 A/4+3B/4 进行分 解,分别作为雅克比初始迭代值 f<sup>0</sup> 和边界条件 ∂Q,故 k 次雅克比迭代得到的重建图像 f<sup>\*</sup> 和融合 图像 F。

$$\begin{cases} F = f^{k} + \partial \Omega \\ \partial \Omega = A/4 + 3B/4 - f^{0} \\ f^{0}(i,j) = A(i,j)/4 + 3B(i,j)/4 \\ 2 \le i \le m - 1, 2 \le j \le n - 1 \\ f^{k}(i,j) = \left[ f^{k-1}(i-1,j) + f^{k-1}(i+1,j) + f^{k-1}(i,j-1) + f^{k-1}(i,j+1) - \lambda \times \operatorname{div}(\nabla G(i,j)) \right]/4 \end{cases}$$
(14)

其中 λ 为一个修正梯度参数,在实验参数设置中 给出,可以使图像轮廓更加清晰有效的提高梯度 信息的保留。

### 2 实验与分析

为了考察算法的性能好坏,将其与其他几种 经典融合算法进行比较,都在同一台电脑上的 Matlab2016a进行运行比较。在这里将比较如下 几个客观图像质量评价指标信息熵(information entropy,IE)、平均梯度(average gradient,AG)、空 间频率(spatial frequency,SF)、标准差(standard deviation,SD)<sup>[13]</sup>。结合主观评价对融合图像进 行分析。其中 IE 表示信息丰富度,AG 用于细节 纹理的度量,SF 空间活跃度,SD 也用于对纹理信 息的度量。上述几个指标结果越大表示融合图像 效果越好。

#### 2.1 实验参数设置

通过文中介绍本文出现如下几个参数  $\sigma$ 、 $\alpha$ 、  $\lambda$ 、k,其中通过如下实验结果确定, $\sigma$ 是高斯参数 且与  $\alpha$  是 Z. Zhou 在自己文中提出方法给定的参 数分别设置为 0.2 和 1.5<sup>[7]</sup>。 $\lambda$  为梯度修正值通 过实验确定其大小,k 为雅克比迭代次数可通过 实验选取最佳次数。通过实验得到如图 4(a)、图 4(b)。





通过对实验结果进行分析,可以得到当 λ 的 值设置为 1.45 时各指标取得良好结果。对于迭 代次数 *k* 通过实验发现当设置为 450 时取得良好 结果,当迭代次数太大时不仅耗时还会使图像信息出现重叠失真。

#### 2.2 融合图像数据结果对比

将本文的融合结果与如下几种方法进行对 比,它们分别是拉普拉斯金字塔变换(Laplacian pyramid, LP)<sup>[14]</sup>、双树复小波变换(dual-tree complex wavelet transform, DTCWT)<sup>[15]</sup>、曲线波变换 (curvelet transform, CVT)<sup>[16]</sup>、非下采样轮廓波变换 (nonsubsampled contourlet transform, NSCT)<sup>[17]</sup>、基 于双树复小波变换的稀疏混合法(DTCWT-SR,这 里直接用 SR 表示)<sup>[18]</sup>以及(guided filtering based fusion, GFF<sup>[6]</sup>)融合法,还有基于绝对值取大的泊 松重构图像法(这里用 GD 直接表示)。其中 LP 参数设置为分解4层分解,低频采用算术平均值 融合规则,高频采用绝对值取大的融合规则,GD 使用梯度绝对值取大的融合规则。其他方法都使 用文献作者提供的源程序,以及最优的参数设置。 图5中的(a)、(e)和(f)来源于 https://figshare. com/articles/TNO\_Image Fusion\_Dataset.中的部分 图像,(b)、(c)、(d)源于其他文献中出现的图 像,且均已配准。如图5所示给出六个场景的红 外和可见光图像每组左为红外光图像右为可见光 图像。



图 5 六组不同场景的源图像 Fig. 5 Source images of six different sets of scenes

图 6 到图 8 给出前三个场景本文算法和对比 算法的融合结果。通过主观评价前三个场景可以 发现所有方法都能够成功地将红外与可见光图像 进行融合,并在融合图像中保留源图像主要的目 标细节等信息。但通过仔细观察还是可以发现, 不同算法的融合结果质量还是存在一定的差距。 图 6(a)和(b)分别为 CVT 和 DTCWT 方法的融合 结果,由图可见人影后栏杆区域有明显细节信息 的丢失,且图像有一定的模糊。图 6(c) SR 方法 的融合结果出现了一定的伪影;图 6(d) 为基于引 导滤波图像融合算法的融合结果,由于融合权重进行了基于图像内容的一致化校验,所有图像细节保留较好。图6(e)和(f)分别为LP和NSCT方法融合结果,融合图像细节较丰富,但在屋顶区域没有很好地呈现出可见光图像的屋顶细节信息。图6(g)为GD的融合结果,图中的图像细节丰富,但人影目标不太突出。本文算法的融合结果如图6(h)所示,总体上呈现清晰,细节丰富,未存在伪影模糊的情况且目标区域突出,很有利于观察对整体图像的观察。



图6 场景1不同算法融合结果

Fig. 6 Fusion results of scene 1 with different algorithm

图 7 为街区监控图像不同算法的融合结果。 图 7(a)为 CVT 融合结果,其中有伪影出现,影响 观察。图 7(b)、(c)和(g)分别为 DTCWT、SR 和 GD 的融合结果,几种结果里路面模糊,右下角人 物都出现一定模糊,图 7(b)和(c)中也出现一定 伪影。图 7(d)为 GFF 方法的融合结果,左上角 广告牌下的门有一定模糊,且右上角的目标不如 其他结果明显。图7(e)和(f)分别为LP和NSCT 方法的融合结果,呈现出较多的细节信息。本文 算法的融合结果如图7(h)所示,总体清楚,有较 多的细节信息,未出现伪影情况,整体视觉效果优 于其他算法。



图 7 场景 2 不同算法融合结果 Fig. 7 Fusion results of scene 2 with different algorithms

图 8 中(a)、(b)和(c)分别为 CVT、DTCWT 和 SR 方法融合结果,从图中可以看出右上角可 见光图像中的路灯有明显的信息丢失,其中(a) 和(b)中右下角栏杆较模糊,(c)中路面出现黑 影。图 8(d)为 GFF 方法融合结果,明显丢失了 可见光图像右边上的路灯,且右下角栏杆较模糊。 图 8(e)和(f)分别为 LP 和 NSCT 方法融合结果, 两幅融合结果图像的可见光信息都保存较完整, 但右下角栏杆呈现不清晰。图 6(g)为基于图像 梯度的融合结果,图中的图像细节丰富,但可见光 图像路灯目标不太突出。图 8(h)为本文方法融 合结果,由图可知融合结果整体清晰,可见光图像 目标和细节保存相对完整,未出现伪影和模糊的 情况。

为节省空间图9只给出本文算法的其他三个 融合结果。其中图9(a)中场景实物呈现完整,场 景整体清晰。图9(b)中的目标物体突出,地面细 节呈现完整;图9(c)中人物目标呈现完整,地面 和丛林表现出丰富的细节信息。三个融合结果都 表现出相对完整的图像场景,未出现伪影以及模 糊的情况,利于观察者研究图像整体信息。



图 8 场景 3 不同算法融合结果

Fig. 8 Fusion results of scene 3 with different algorithms



图 9 场景 4,5,6 本文算法融合结果图 Fig. 9 Fusion results of scene 4,5,6 with the proposed method

所有算法的客观评价指标由表1给出。通过 对比分析同一场景不同算法的客观值、同一场景 不同算法的融合结果可知:1)LP,DTCWT,CVT 在 上述几个客观指标中表现较差,图像融合结果相 对较模糊,有明显细节信息丢失,但是空间结构性 较好,没有伪影。2)SR在SD和IE两种指标都有 这相对好的结果,但是从图6中可以明显看出融 合图像出现伪影,因为其结合了多尺度加稀疏表 示,未完全克服稀疏表示可能出现伪影的缺点。 空间结构性相对表现较差,可能会引起读者误读。 3) NSCT 和 GFF 方法融合结果在整体表现上比其 他四种方法在客观指标上有不小的优势。从算法 原理上分析,NSCT 是多尺度算法的改进,通过对 图像得到不同尺度上的高频分量,尽可能对细节 纹理的保留,而传统的 NSCT 融合是简单的像素 平均加权融合,没有考虑到像素之间的差异性,因

此对比度会相对降低。而 GFF 是兼顾红外图像 的强度与可将光的梯度,因此红外图像的质量直 接决定了融合图像的质量,在主观评价中看到图 8 明显丢失了可见光图像的信息,且通过 AG 指标 可以看出对可见光图像梯度的信息保留也不足, 虽然可以通过调整参数去针对不同场景,但是操 作相对繁琐目耗时。4)本文融合算法因为采用 了结构显著性与视觉显著性结合的方式,充分突 出图像的显著特性,且将图像变换到梯度域中进 行的融合,所以在五个场景中都有着最高的 AG 值,SD值与SR相当,在IE值也与GFF和NSCT 相当。与采用梯度绝对值取大的泊松重构方法比 较客观评价指标可以明确看出平均梯度信息保存 更加完整,空间一致性一直处于最好,没有伪影, 细节纹理保存相对完整,从客观指标看优于大多 数算法。

Table 1         Comparison of objective index values									
源图	指标	CVT	DTCWT	SR	GFF	LP	NSCT	Gd	本文算法
场景1	SD	26.97	26.32	33.75	31.32	29.13	27.14	31.94	38.68
	AG	4.85	4.71	4.77	5.27	4.95	4.96	5.04	5.67
	IE	6.53	6.48	6.95	6.69	6.65	6.55	6.75	7.01
	SF	11.16	11.00	11.14	12.80	11.41	11.34	11.38	13.73
场景2	SD	29.05	29.39	35.78	32.43	35.01	30.57	31.47	44.23
	AG	5.23	5.19	5.31	4.87	5.43	5.30	5.15	6.34
	IE	6.42	6.41	6.87	6.52	6.64	6.46	6.60	7.05
	SF	15.53	15.70	15.80	15.22	16.20	15.91	14.76	17.40
场景3	SD	41.57	41.65	46.94	40.50	47.36	43.08	46.38	57.42
	AG	8.94	8.95	8.97	8.34	9.28	9.13	9.13	10.06
	IE	7.25	7.23	7.32	7.21	7.35	7.27	7.30	7.41
	SF	20.94	21.44	21.45	20.19	22.15	21.85	21.42	25.55
场景4	SD	22.87	22.49	30.20	28.37	24.32	22.81	27.99	32.96
	AG	3.52	3.49	3.541	3.12	3.70	3.61	3.61	4.60
	IE	6.45	6.43	6.63	6.55	6.51	6.45	6.68	6.89
	SF	8.28	8.30	8.41	7.47	8.62	8.45	8.13	11.03
场景5	SD	25.12	25.01	32.11	29.99	26.33	25.22	26.37	27.92
	AG	4.15	4.10	4.18	4.25	4.22	4.17	4.21	4.56
	IE	6.53	6.52	6.85	6.75	6.60	6.53	6.57	6.73
	SF	13.36	13.25	13.73	11.49	13.11	13.36	13.53	12.46
场景6	SD	54.87	54.58	64.09	55.27	58.10	55.11	52.16	66.94
	AG	10.12	10.13	10.22	10.05	10.23	10.18	10.73	13.69
	IE	7.51	7.48	7.63	7.59	7.56	7.50	7.53	7.68
	SF	24.86	24.96	25.27	24.99	25.24	25.04	24.63	33.36

表 1 客观指标值对比 able 1 Comparison of objective index values

## 3 结 论

本文提出了一种红外光图像和可见光图像融 合的算法,该算法在梯度域进行处理通过结构显 著特征和视觉显著性特征的加权规则,利用泊松 重构得出融合结果图像。算法得到如下三点结 论:1)算法采用显著性提取图像信息特征,尽可 能的保留了红外和可见光场景里的目标和细节纹 理;2)该算法在梯度域中对图像进行融合,使得 融合结果图像的空间结构性好,不会有伪影存在; 3)通过该算法得到的融合图像结果清晰,视觉效 果良好,便于对融合结果图像进行主观研究。

#### 参考文献:

[1] MA J, MA Y, LI C. Infrared and visible image fusion methods and applications: A survey [J]. Information fusion, 2019, 45: 135-178.

- [2] MA T. Multi-scale decomposition based fusion of infrared and visible image via total variation and saliency analysis Infrared [J]. Infrared physics & technology, 2018, 92: 154-162.
- [3] LIU G, JING Z, SUN S. Image fusion based on expectation maximization algorithm and steerable pyramid [ J ]. Chinese optics letters, 2004, 2(7):386-389.
- [4] MALLAT S G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation [J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 1989, 11 (7):674-693.
- [5] DA CUNHA A L,ZHOU J,DO M N. The nonsubsampled contourlet transform: Theory, design, and applications[J]. IEEE transactions image processing,2006,15(10):3089-3101. (下转第76页)

- [3] 苏欢.空调冷凝热回收过程的热力学优化与反演方 法研究[D].长沙:湖南大学,2017:46-53.
- [4] 龚光彩,王洪金,吕东彦,等.基于有限时间热力学结 霜工况热泵性能分析[J].湖南大学学报,2009,36 (12):4-8.
- [5] 王立平.复合冷凝过程热力学仿真[D].长沙:湖南大学,2008:17-23.
- [6] GONG G C, CHEN F H, SY H, et al. Thermodynamic simulation of condensation heat recovery characteristics of a single stage centrifugal chiller in a hotel[J]. Applied energy, 2012,91(1):326-333.
- [7] 陈飞虎.复合冷凝过程热力学仿真与优化研究[D]. 长沙:湖南大学,2014.
- [8] 陈飞虎,龚光彩,孙小琴.离心式制冷机组复合冷凝过 程热力学仿真[C]//中国建筑学会建筑热能动力分 会第二十届学术交流大会文集.合肥:《暖通空调》杂 志社,2017.
- [9] WANG L P, GONG G C, CHEN F H, et al. Finite-time thermodynamic simulation of circulating direct condensation heat recovery on chillers[C]//The 7th International Green Energy Conference. 2012, Dalian, China:24-29.
- [10] 陈剑波, 闵矿伟. R410A 水源热泵空调机组变进水 温度运行特性分析 [J]. Fluid machinery, 2011, 39 (3):52-57.
- [11] WANG H T, ZHOU S B, WEI ZH S. A study of secondary heat recovery efficiency of a heat pipe heat ex-

(上接第70页)

- [6] LI S, KANG X, HU J. Image fusion with guided filtering
   [J]. IEEE transactions on image processing, 2013, 22
   (7):2864-2875.
- [7] ZHOU Z, LI S, WANG B. Multi-scale weighted gradientbased fusion for multi-focus images [J]. Information fusion, 2014, 20(1):60-72.
- [8] BAVIRISETTI D P, DHULI R. Two-scale image fusion of visible and infrared images using saliency detection[J]. Infrared physics & technology,2016,76:52-64.
- [9] SUN J, ZHU H, XU Z. Poisson image fusion based on Markov random field fusion model [J]. Information fusion, 2013, 14(3):241-254.
- [10] LIU Y, LIU S. A general framework for image fusion based on multi-scale transform and sparse representation [J]. Information fusion, 2015, 24:147-164.
- [11] GANGNET M, BLAKE A. Poisson image editing [J]. ACM siggraph, 2003, 22(3):313-318.
- [12] HOCKNEY W. A fast direct solution of Poisson's equation using Fourier analysis [J]. Journal of the ACM, 1965,12(1):95-113.

changer air conditioning system [J]. Energy and buildings,2016,133(1):206-216.

- [12] SINTEF P N. Energy research refrigeration and air conditioning[M]. Norway: Wiley, 2002:190-192.
- [13] GONG G C, ZENG W. A new heat recovery technique for air-conditioning/heat-pump system [J]. Applied thermal engineering, 2008, 28 (17/18):2360-2370.
- [14] BEN A M. A green affordable housing coalition fact sheet [M]. Green affordable housing coalition: Wiley Online Library,2005:319-324
- [15] LEE A H W, JONES J W. Analytical model of a residential desuperheater [J]. Applied energy, 1997, 57(4):271-285.
- [16] CHEN F H, LIAO S G, GONG G C. Thermodynamic simulation of CCP in air-cooled heat pump unit with HFCs and CO<sub>2</sub> trans-critical [J]. Journal of power and energy engineering, 2018, 6(9):141-164.
- [17] BEITELMAL A H, FABRIS D. Servers and data centers energy performance metrics [J]. Energy and buildings, 2014,80(10):562-569.
- [18] MARIJIA S T, JEONG T K. Data centre's energy efficiency optimization and greening: Case study methodology and R&D needs [J]. Energy and buildings, 2014, 85(9): 564-578.
- [19] YOON S H, PAYNE W V. Residential heat pump heating performance with single faults imposed[J]. Applied thermal engineering, 2011, 31(5):765-771.
- [13] ZHU P, HUANG Z. A fusion method for infrared-visible image and infrared-polarization image based on multiscale center-surround top-hat transform[J]. Optical review, 2017, 24(3):370-382.
- [14] 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.
- [15] LEWIS J J, ROBERT J O, NIKOLOV S G. Pixel-and region-based image fusion with complex wavelets [J]. Information fusion, 2007, 8(2):119-130.
- [16] NENCINI F, GARZELLI A, BARONTI S. Remote sensing image fusion using the curvelet transform[J]. Information fusion,2007,8(2):143-156.
- [17] CUNBA D, ARTHUR L, ZHOU J. The nonsubsampled contourlet transform: Theory design and applications
   [J]. IEEE transactions on image processing, 2006, 15 (10):3089-3101.
- [18] LIU Y, LIU S, WANG Z. A general framework for image fusion based on multi-scale transform and sparse representation [J]. Information fusion, 2015, 24:147-164.