

夜视图像局部颜色传递算法

薛模根^{1,2}, 周浦城^{1,2}, 刘存超^{1,2}

- (1. 陆军军官学院 军用光电技术与系统实验室, 安徽 合肥 230031;
2. 偏振光成像探测技术安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230031)

摘要: 针对基于全局统计信息颜色传递过程中存在的染色效果不能很好保持图像色彩的自然性, 局部区域颜色与真实场景的颜色不符、目标变淡的问题, 提出一种夜视图像局部颜色传递算法。首先, 采用稀疏表示的方法对红外与微光图像融合; 其次, 对得到的融合图像进行非线性扩散, 扩散结果采用核模糊均值聚类算法进行图像分割; 然后, 在 YCbCr 颜色空间对红外与微光图像块进行颜色传递; 最后, 把得到的彩色图像块组合成一幅图像, 随后用得到的灰度融合图像来表征 YCbCr 空间的 Y 通道。实验结果表明, 文中算法得到的彩色图像更加自然、真实。

关键词: 彩色夜视; 颜色传递; 图像分割; 非线性扩散

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)02-0781-05

A novel local color transfer method for night vision image

Xue Mogen^{1,2}, Zhou Pucheng^{1,2}, Liu Cunchao^{1,2}

- (1. Laboratory of Military Electro-Optical Technology and System, Army Officer Academy of PLA, Hefei 230031, China;
2. Anhui Provincial Key Laboratory of Polarized Light Imaging Detection Technology, Hefei 230031, China)

Abstract: A natural global color mapping method matches the statistical properties of night vision imagery to those of a daylight color image. Thus the rendered night vision image appears to resemble the natural target image in terms of color appearance and the reference image is not automatically selected. However, the colored night vision image may appear unnatural if the target image's global color statistics are different from that of the night vision scene. And then target is not easy to be detected because the color of target and background is similarity. Consequently, a new local color transfer method was presented. Firstly, the infrared (IR) and low-level-light (LL) images were fused by using sparse representation. Secondly, a nonlinear diffusion filter was applied to the gray fused image. The diffused image segmented by Kernel fuzzy C-mean algorithm. Finally, the IR and LL images block were color fused by using color transfer technology in the YCbCr color space, where the Y component of the color image was replaced with the fused image, which is a gray scale image made with multi-band night vision images. Experimental result shows that the obtained image has more natural and realistic coloration compared with global coloring method.

Key words: coloring night-vision; color transfer; image segmentation; nonlinear diffusion

收稿日期: 2014-06-15; 修订日期: 2014-07-20

基金项目: 安徽省自然科学基金(1208085QF115)

作者简介: 薛模根(1964-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事信息融合、光电对抗方面的研究工作。Email: zhoup2004@163.com

0 引言

红外热像仪和微光夜视仪获取的红外与微光图像具有互补性及冗余性,通过融合可以有效增强场景理解和目标的可探测性^[1]。然而这两种夜视仪获得的是表征场景空间信息的灰度图像,缺少场景的彩色信息,不利于人眼对目标的识别与场景理解。研究表明,人眼对彩色图像的分辨率要远远高于灰度图像。因此,图像的彩色融合更利于人眼对目标的观察与场景的理解^[2]。

传统的基于彩色空间映射的 MIT 法和 Toet 方法得到的伪彩色图像与真实自然场景的颜色差别较大,不能达到期望的自然彩色效果,影响对目标的准确识别。Toet^[3]利用颜色传递技术,把白天自然场景的颜色特征传递给多波段夜视图像,得到近自然彩色图像,但该图像中目标变淡、局部区域的颜色与真实场景颜色相差较大。Zheng^[4]提出一种利用图像分解与融合的夜视图像局部彩色化方法,但目标与背景颜色相近,不利于人眼对目标的识别,而且计算复杂、时间开销大。钱小燕^[5]提出一种局部颜色映射的彩色夜视算法,但该方法只适用于固定场所的监视。

针对上述问题,文中提出一种新的夜视图像局部颜色传递算法。首先采用基于稀疏表示的方法对红外与微光图像进行灰度融合;其次,将融合结果进行非线性扩散和聚类分割;然后,对分割的红外与微光图像块进行颜色传递;最后,利用得到的灰度融合图像来表征 YCbCr 空间的亮度分量,得到具有近自然彩色效果的融合图像。

1 红外与微光图像灰度融合

为了实现红外与微光图像灰度融合,首先采用基于稀疏表示的融合方法,该方法区别于传统的信号表示方法就在于将原信号 $y \in \mathbb{R}^n$ 表示为过完备字典 $D \in \mathbb{R}^{n \times k} (n < k)$ 中的列向量 $\{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ (称为原子) 的线性组合,数学模型为:

$$\hat{\alpha} = \arg \min \|\alpha\|_0 \quad \text{s.t.} \quad \|y - D\alpha\| \leq \varepsilon \quad (1)$$

首先选取离散余弦变换字典作为初始化过完备字典,待融合夜视图像为样本数据,利用 K-SVD 算法^[6]训练出所需的过完备字典 D ,由此可以根据 GramSchmidt 算法^[7]得到红外图像 x_1 与微光图像 x_2

在字典 D 下的稀疏系数 α 和 β 。假设融合图像 y 在字典 D 下对应的稀疏系数为 γ ,则融合结果的优劣取决于 γ 如何从稀疏系数 α 和 β 中进行选取。为了使融合图像中的方差最大、融合图像与源图像的差别最小,文中构建如下目标函数:

$$y^* = \arg \min \|\nabla x_1(y - x_1)\|_{l_1}^2 + \|\nabla x_2(y - x_2)\|_{l_1}^2 \quad (2)$$

式中:残差 $y - x_1$ 和 $y - x_2$ 分别表征了源图像与融合图像之间的差别; ∇x_1 和 ∇x_2 是残差的权重。

为了验证算法的有效性,这里选取了主成分分析(PCA)、Laplacian 金字塔和离散小波变换(DWT)融合方法进行对比,结果如图 1 所示。不难看出,PCA 融合方法得到的图像中热目标变得模糊不清。与拉普拉斯金字塔融合方法和离散小波变换融合方法相

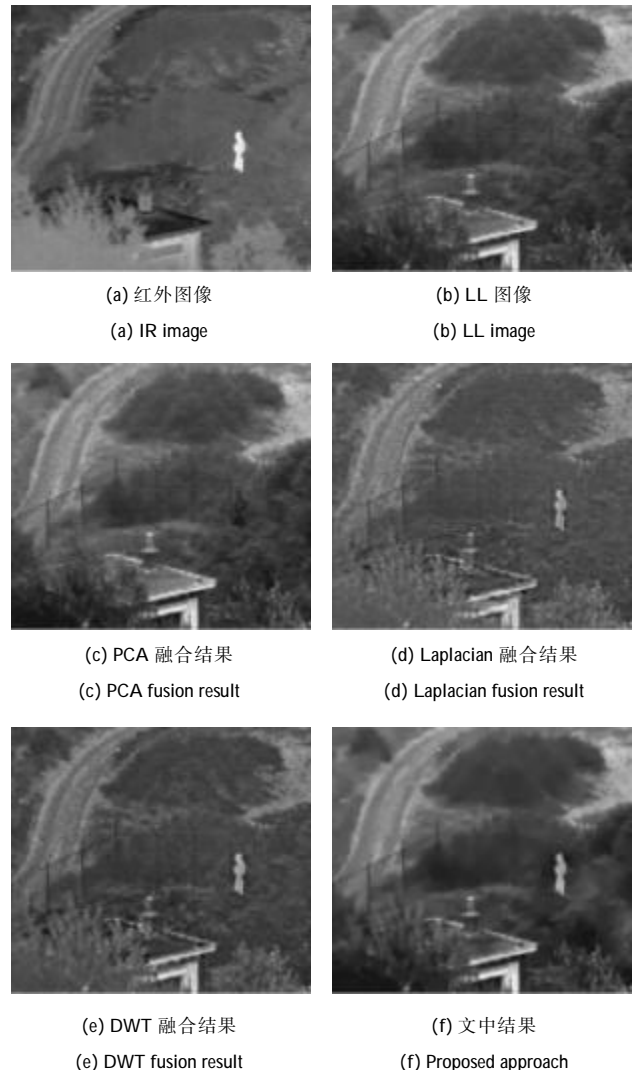


图 1 红外与微光图像灰度融合结果

Fig.1 Gray fused results of infrared and low-level light images

比,文中方法得到的融合图像既较好地保留了红外图像中的热目标信息,同时又继承了微光图像中丰富的场景细节信息。

2 夜视图像局部颜色传递算法

基于夜视图像全局颜色传递算法的框架,提出一种夜视图像局部颜色传递算法,克服了全局颜色传递算法中的不足,使得夜视图像的彩色融合效果如同白天自然彩色图像一样。该算法具体步骤如下。

(1)源图像的分割。由于复杂场景下红外图像和微光图像受噪声干扰大,直接进行图像分割精度难以得到保障^[9]。为了克服噪声干扰、提高图像分割精度,首先对待分割的红外与微光图利用非线性扩散的方法来消除噪声,增强图像的边缘,然后对非线性扩散所得的图像采取核模糊 C 均值聚类算法(KFCM)对图像进行分割。

在图像处理与分析中运用非线性扩散滤波的想法最初是由 Perona 和 Malik 提出,简称 P-M 模型。由于 P-M 模型是一个病态问题,为了将其转为良态问题,需要引入正则项。文中采用全变分(Total Variation)模型,使用加性算子分裂法(Additive Operator Splitting)^[9],并在求解之前首先对 P-M 模型正则化,在每一步迭代时都对噪声图像作高斯平滑,以便减少扩散过程中噪声的影响。

对扩散得到的图像,采用 KFCM 算法进行分割,其基本思想是通过高斯核函数把输入图像映射到高维特征空间中进行模糊 C 均值聚类,从而实现非线性扩散滤波器输出图像的分割。

(2)对于分割出的图像块,选取与之内容相近的自然彩色图作为其参考图像,采用目标增强的颜色传递方法进行彩色融合。

为了实现红外与微光图像彩色融合,首先将红外与微光图像块仿照 Toet 颜色对抗的方法在 YCbCr 空间生成伪彩色图像。这里采用李郁峰^[10]等人提出的伪彩色融合结构:

$$\begin{cases} Y = \text{Vis} \\ \text{Cb} = \text{Vis} - \text{IR} + \text{Vis} \cap \text{IR} \\ \text{Cr} = \text{IR} - \text{Vis} + \text{Vis} \cap \text{IR} \end{cases} \quad (3)$$

其中,

$$\text{Vis} \cap \text{IR}(i, j) = \min \{ \text{Vis}(i, j), \text{IR}(i, j) \} \quad (4)$$

式中:(i, j)为像素点坐标。

其次,把图像块组对应的参考图像分别映射至 YCbCr 空间并计算各自的颜色特征(均值和方差),在 YCbCr 颜色空间按照公式(5)使伪彩色图像的颜色特征均值与方差与参考图像一致:

$$\begin{cases} I_c^Y = (I_s^Y - \mu_s^Y) \cdot \frac{\sigma_T^Y}{\sigma_s^Y} + \mu_T^Y, \\ I_c^{Cb} = (I_s^{Cb} - \mu_s^{Cb}) \cdot \frac{\sigma_T^{Cb}}{\sigma_s^{Cb}} + \mu_T^{Cb}, \\ I_c^{Cr} = \text{con} \cdot (I_s^{Cr} - \mu_s^{Cr}) \cdot \frac{\sigma_T^{Cr}}{\sigma_s^{Cr}} + \mu_T^{Cr}, \end{cases} \quad (5)$$

式中: I_c 是彩色融合图像; I_s 是伪彩色图像; μ 和 σ 分别为均值与标准差;下标 S 和 T 分别表示源图像和参考图像;con 是增强因子。

为了突出图像中的热目标,这里运用大津分割法分割出热目标,确立分割阈值 T,然后用红外图像中各像素的偏离与红外图像平均值的比值作为增强因子 con,即:

$$\text{con}(i, j) = \frac{| \text{IR}(i, j) - T |}{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \text{IR}(i, j)} \quad (6)$$

(3)最后,将图像块组生成的伪彩色图像相加重构出一幅彩色图像,并用基于稀疏表示得到的灰度融合图像代替 Y 通道图像,然后将其从 YCbCr 颜色空间变换至 RGB 颜色空间,最终获得一幅近自然彩色融合图像。

3 实验结果与分析

为了验证算法的有效性,采用荷兰国家应用科学院(TNO)提供的红外与微光图像样本进行实验,并与参考文献[3]和[10]进行比较。对于融合图像的非线性扩散,采用加性算子分裂法,其中正则化因子 $\sigma=0.4$,扩散函数采用全变分扩散,时间步长为 20,迭代次数 60。对非线性扩散得到的结果采用 KFCM 算法进行分割,根据实验样本的内容选择聚类数,此实验聚类数选择 2,模糊指数为 2,窗口大小为 8,最大迭代次数为 500,误差为 10^{-5} 。

实验步骤按照以下流程进行。首先,对图 2(a)、(b)采用稀疏融合算法得到图 2(c),对该结果运用正则化后改进的半隐格式的加性算子分裂法进行非线性扩散得到图 2(d),采用 KFCM 算法对图 2(d)进行图像分割,得到图 2(e)和(f)。

其次,把得到的图 2(e)和(f)映射回图 2(a)和(b),

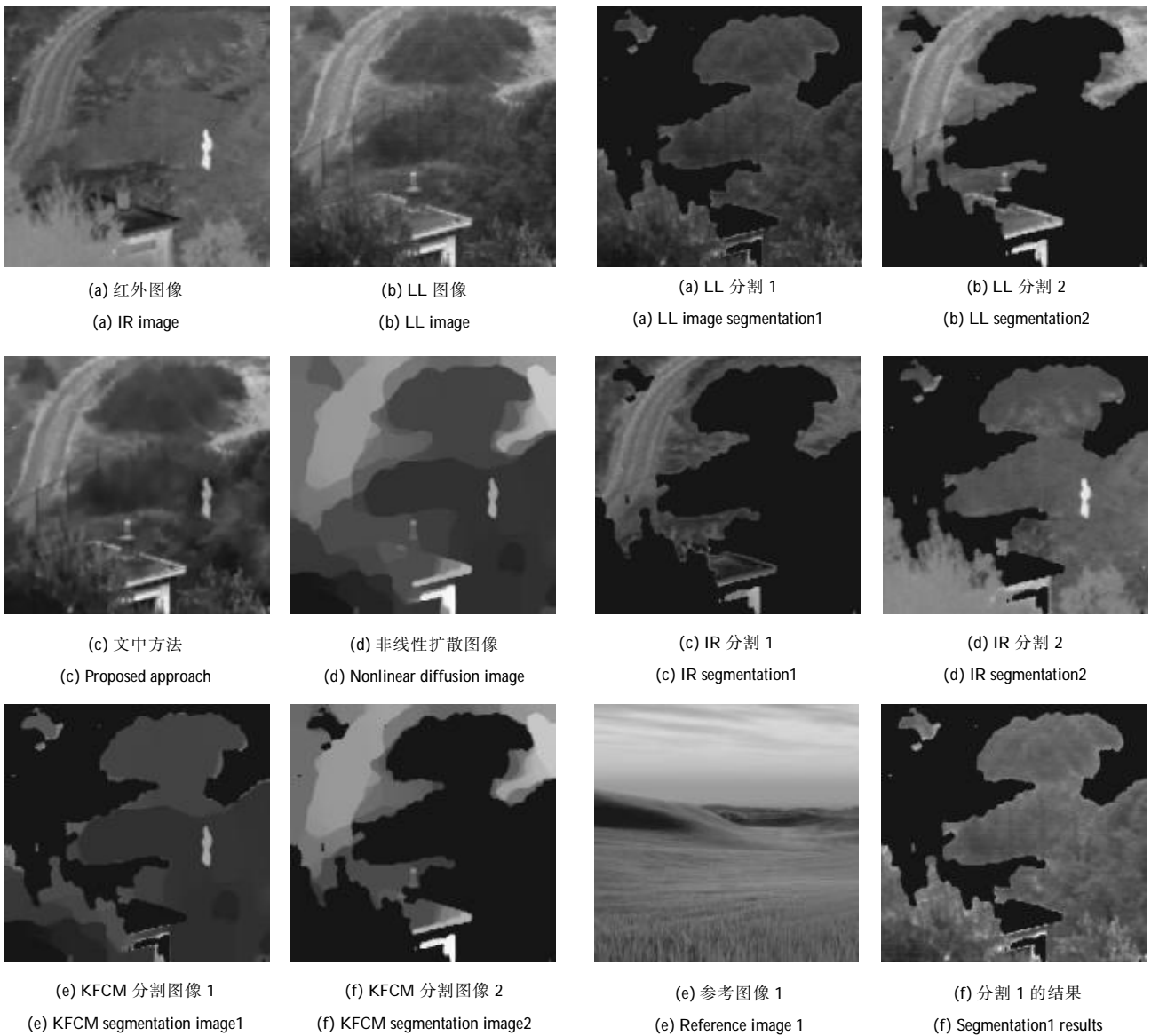


图 2 图像分割实验

Fig.2 Image segmentation experiment

得到红外与微光图像的分割图像块组如图 3(a)~(d),把红外与微光分割出的场景对应部分,采用目标增强的颜色传递算法进行传递,参考图像分别为图 3(e)和(g),得到彩色融合图像分别为图 3(f)和(h)。

最后,把图 3(f)和(h)相加重构出一幅图像,并把该图像从 RGB 颜色空间变换到 YCbCr 颜色空间,再利用稀疏表示方法获得的融合图像结果,也就是图 2(c)来代替 Y 通道图像分量,最后反变换回 RGB 颜色空间,即得到文中算法的近自然彩色融合图像,亦即图 4(c)。

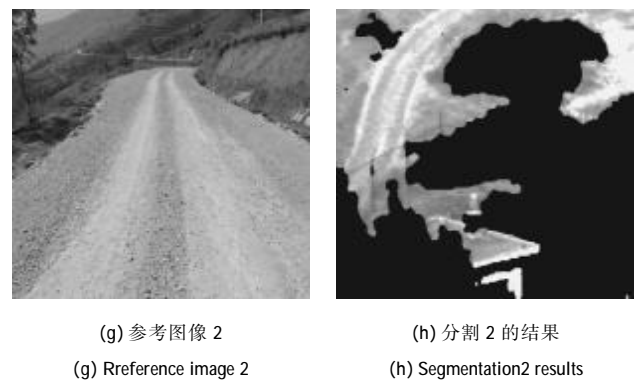


图 3 图像块着色结果

Fig.3 Image block coloration results

图 4(a)和(b)分别为采用参考文献[3]和[10]得到的彩色融合图像,参考图像为图 3(e)。与文中算法得



(a) 参考文献[3]融合结果
(a) Fusion result by literature[3]

(b) 参考文献[10]融合结果
(b) Fusion result by literature[10]



(c) 文中结果
(c) Proposed approach

图 4 彩色融合结果

Fig.4 Colorful fused results

到的融合图像图4(c)相比,图4(a)中的场景颜色不真实、场景模糊,目标与背景颜色相近,目标可探测性不强。图4(b)中的场景颜色相比图4(a)中较好,目标探测性强但与背景颜色相近,而且场景中的路面颜色没有图4(c)图像颜色真实、清晰,尤其是栅栏、墙体边缘及墙面较模糊,没有图4(c)图像清晰。文中算法得到的融合图像较参考文献[3]和[10]得到的图像,场景颜色更加的真实、清晰,目标探测性强,图像有一定的层次感,景深效果好,更利于人眼的观察与识别。

4 结 论

针对基于全局统计特征的颜色传递算法的不足,提出了一种夜视图像局部彩色化算法。该算法较好的弥补了基于统计特征的颜色传递算法的不足,利用非线性扩散与KFCM算法实现图像的分割,采用目标颜色对比度增强的颜色传递算法实现图像块颜色传递,最后在YCbCr空间利用夜视图像灰度融

合图像来表征Y通道。实验结果显示文中算法得到的夜视图像色彩更接近于真实的彩色图像,更利于人眼的观察与识别,增强了场景的理解与目标的可探测性。

参考文献:

- [1] Yang Shaokui, Liu Wen. Color fusion method for low-level light and infrared images[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(5): 1654-1659. (in Chinese)
- [2] Su Yu, Gao Shaoshu, Jin Weiqi, et al. Color-quality subjective evaluation for color fusion images of typical scenes based on color harmony [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(11): 3767-3774. (in Chinese)
- [3] Toet A. Natural colour mapping for multiband night vision imagery[J]. *Information Fusion*, 2003, 4(1): 155-166.
- [4] Zheng Y, Essock E A. A local-coloring method for night-vision colorization utilizing image analysis and fusion [J]. *Information Fusion*, 2008, 9(2): 186-199.
- [5] Qian Xiaoyan, Zhang Tianchi, Wang Bangfeng, et al. Color night vision algorithm based on local color mapping [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2012, 17(5): 689-693. (in Chinese)
- [6] Aharon M, Elad M, Bruckstein A. The K-SVD: an algorithm for designing of overcomplete dictionaries for sparse representation [J]. *IEEE Trans on Signal Processing*, 2006, 54(11): 4311-4322.
- [7] Candes E J, Romberg J, Tao T. Robust uncertainty principles: exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information [J]. *IEEE Trans on Information Theory*, 2011, 52(2): 489-509.
- [8] Cao Junfeng, Shi Jiacheng, Luo Haibo, et al. Image enhancement using clustering and histogram equalization [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(12): 3436-3441. (in Chinese)
- [9] Weickert J, ter Haar Romeny B M, Viergever M A. Efficient and reliable schemes for nonlinear diffusion filtering [J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 1998, 7(3): 398-401.
- [10] Li Yunfeng, Feng Xiaoyun, Xu Mingwei, et al. Night vision dual-band images coloration using fast fusion and color transfer [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2012, 17(10): 1213-1221. (in Chinese)