

红外中长波图像彩色融合方法研究

粟宇路¹, 苏俊波¹, 范益红², 苏 兰¹, 刘传明¹, 陈大乾¹

(1. 昆明物理研究所, 云南 昆明 650223; 2. 陆军装甲兵装备技术研究所, 北京 100072)

摘要: 特定目标或场景红外中、长波成像亮度差异较大, 导致图像融合难以在灰度域取得较好效果, 而彩色融合则可以有效地解决该问题。本文结合红外中、长波成像特点, 对两种经典彩色融合算法进行了改进: 通过引入相应的清晰度评价机制, 实现对融合决策的优化。实验结果验证了改进算法的有效性。

关键词: 中波红外; 长波红外; 彩色融合

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2019)04-0335-06

Study on Color Mapping for MWIR and LWIR Image Fusion

SU Yulu¹, SU Junbo¹, FAN Yihong², SU Lan¹, LIU Chuanming¹, CHEN Daqian¹

(1. Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China;

2. Army Armored Military Equipment Technology Institute, Beijing 100072, China)

Abstract: The intensities of MWIR and LWIR imaging for a specific target or scene differ greatly from each other. Thus, it is difficult to achieve better results in gray fusion. However, color fusion can solve this problem effectively. This study improved two classical color fusion algorithms by combining the features of MWIR and LWIR imaging. The fusion decision was optimized by introducing the corresponding resolution evaluation mechanism. The experimental results verify the effectiveness of the improved algorithm.

Key words: MWIR, LWIR, color fusion

0 引言

随着科技的不断发展, 人们对目标信息获取的要求也越来越高, 不再只追求单一渠道信息来源, 取而代之的是信息渠道的多元化。然同一目标由不同传感器获取的信息呈多元化和差异性, 导致各传感器之间信息的矛盾和不协调, 从而催生了信息融合技术来解决上述矛盾。信息融合是依据所需完成的任务要求, 基于各传感器获取信息的特点, 制定合适的准则, 将复杂、量大的多元信息转换为简单、量少的综合信息以供人眼或者器件进行判别。图像由于具有直观、易于人眼识别等优势, 成为多传感器获取目标信息的一种重要形式, 因而图像融合亦成为信息融合技术领域的一个重要分支。目前, 图像融合在遥感观测、智能控制、医学影像、安防监控以及国防军事等领域的应用需求也越来越迫切。

红外成像具有全天候应用特点, 日益被应用到更

多的领域。当前, 第二代凝视型焦平面阵列成像器件无疑是红外成像器件的主流, 伴随着第三代双波段或者多波段红外焦平面器件的发展, 国外对双波段热像仪的研究发展迅速^[1-3], 而国内受制于器件制造水平, 在最近几年才逐步进行双波段热像仪的研究。红外中、长波双波段成像作为红外双波段成像领域的重要研究分支, 其图像融合方法也成为工程应用中不可回避的课题。

通过对红外中、长波的成像研究发现: 红外中波对特定目标的成像与长波成像差异很大, 如目标的中波成像表现为亮白, 而目标的长波成像表现为暗黑, 两者的轮廓特征相当, 常规灰度域融合算法难以适用于对这种目标的成像融合, 而彩色域融合算法则可以很好地解决这一问题。

本文结合红外中、长波成像特点, 对两种经典的彩色域融合算法进行了分析、改进, 对红外中、长波成像进行融合实验。

收稿日期: 2017-12-17; 修订日期: 2018-03-26。

作者简介: 粟宇路 (1987-), 男, 工程师, 研究方向为红外成像及图像处理。E-mail: suyulu02@126.com。

1 Toet 假彩色融合算法改进

1.1 Toet 假彩色融合算法

Toet 等人开发了一种假彩色融合算法，在以可见光与长波红外图像之间的差异形成的背景上，以不同的颜色差异来突出表征两图像间的细节^[4]。该算法分为4个步骤：

1) 确定微光与红外图像的共有部分，通过比较两者的局部并取最小实现。假设微光图像为 $I_{\text{TV}}(i,j)$ ，红外图像为 $I_{\text{IR}}(i,j)$ ，其中 $\{i,j\} \in [1, 256]$ ， $\{I_{\text{TV}}, I_{\text{IR}}\} \in [0, 255]$ ，共有成分确定如式(1)所示：

$$I_{\text{TV}}(i,j) \cap I_{\text{IR}}(i,j) = \min\{I_{\text{TV}}(i,j), I_{\text{IR}}(i,j)\} \quad (1)$$

2) 微光和红外图像分别减去共有成分得到微光图像独有成分 I_{TV}^* 和红外图像独有成分 I_{IR}^* ，其计算如式(2)所示：

$$\begin{cases} I_{\text{TV}}^* = I_{\text{TV}} - I_{\text{TV}} \cap I_{\text{IR}} \\ I_{\text{IR}}^* = I_{\text{IR}} - I_{\text{TV}} \cap I_{\text{IR}} \end{cases} \quad (2)$$

3) 微光图像减去红外图像的独有成分 $I_{\text{TV}} - I_{\text{IR}}^*$ ，红外图像减去微光图像的独有成分 $I_{\text{IR}} - I_{\text{TV}}^*$ 。

4) 将处理后的各分量分别送给 R 、 G 、 B 通道，如式(3)所示：

$$\begin{cases} R \\ G \\ B \end{cases} = \begin{cases} I_{\text{IR}} - I_{\text{TV}}^* \\ I_{\text{TV}} - I_{\text{IR}}^* \\ I_{\text{TV}}^* - I_{\text{IR}}^* \end{cases} \quad (3)$$

1.2 算法改进

Toet 算法计算简单，适于硬件实现。但是此方法事实上只用到了 R 、 G 两个通道，形成融合图像色彩不够自然。因此，可通过式(4)所示进行 R 、 G 、 B 三通道融合：

$$\begin{cases} R \\ G \\ B \end{cases} = \begin{cases} I_{\text{IR}} - I_{\text{TV}}^* \\ \frac{I_{\text{IR}} + I_{\text{TV}}}{2} \\ I_{\text{TV}} - I_{\text{IR}}^* \end{cases} \quad (4)$$

1.3 本文改进算法

Toet 算法盲目放大两者间的差异，容易将信号幅值相对较弱波段图像的有效信息掩盖，从而使融合图像损失掉可能对识别任务非常重要的信息。

为此，对于红外中、长波图像的融合，本文引入局部清晰度判断机制，即在放大两者差异之前先作清晰度判断：如果独有信息波段图像局部清晰度大于另一方，则对两者的差异进行放大；如果独有信息波段图像局部清晰度小于另一方，则对两者的差异进行缩小。清晰度 D 的计算见式(5)所示：

$$\begin{cases} D_x(i,j) = I(i,j) - I(i+1,j) \\ D_y(i,j) = I(i,j) - I(i,j+1) \\ D(m,n) = \frac{1}{25} \sum_{i=m-2}^{m+2} \sum_{j=n-2}^{n+2} \sqrt{\frac{1}{2}(D_x^2(i,j) + D_y^2(i,j))} \end{cases} \quad (5)$$

式中： $D_x(i,j)$ 、 $D_y(i,j)$ 分别表示行、列坐标为 (i,j) 的像元在行和列方向的梯度； m 、 n 分别表示局部区域中心点的行、列坐标。

各波段图像的独有成分计算仍如式(2)所示，而 R 、 G 、 B 三通道的值计算如式(6)所示：

$$\begin{cases} R = \begin{cases} I_{\text{LW}} - \alpha_1 \cdot I_{\text{MW}}^* & \text{if } (D_{\text{MW}} > D_{\text{LW}}) \\ I_{\text{LW}} + \alpha_2 \cdot I_{\text{MW}}^* & \text{if } (D_{\text{MW}} < D_{\text{LW}}) \end{cases} \\ B = \frac{I_{\text{MW}} + I_{\text{LW}}}{2} \\ G = \begin{cases} I_{\text{MW}} - \beta_1 \cdot I_{\text{LW}}^* & \text{if } (D_{\text{LW}} > D_{\text{MW}}) \\ I_{\text{MW}} + \beta_2 \cdot I_{\text{LW}}^* & \text{if } (D_{\text{LW}} < D_{\text{MW}}) \end{cases} \end{cases} \quad (6)$$

式中： D_{MW} 、 D_{LW} 分别表示红外中、长波图像的局部清晰度， α_1 和 α_2 表示 R 通道融合系数， β_1 和 β_2 表示 G 通道融合系数， α_1 、 α_2 、 β_1 和 β_2 的计算如式(7)所示：

$$\begin{cases} \alpha_1 = \lambda + \frac{D_{\text{MW}} - D_{\text{LW}}}{\mu \cdot D_{\text{MW}}} \\ \alpha_2 = \frac{D_{\text{LW}} - D_{\text{MW}}}{\mu \cdot D_{\text{MW}}} \\ \beta_1 = \lambda + \frac{D_{\text{LW}} - D_{\text{MW}}}{\mu \cdot D_{\text{MW}}} \\ \beta_2 = \frac{D_{\text{MW}} - D_{\text{LW}}}{\mu \cdot D_{\text{MW}}} \end{cases} \quad (7)$$

式中： λ 表示偏移调节因子，取值为 0~0.5； μ 表示缩放调节因子，取值为 20~25。

2 Schreer 互补彩色融合算法改进

2.1 Schreer 互补彩色融合算法

Schreer 等人提出了用真彩色显示融合图像^[5]。通常，彩色图像由三原色混合而成，可以在两个波段成像差异的地方用任意彩色显示，在两个波段成像相同的地方用灰度来显示。如果仅有两种波段图像可以获得，则两个波段的图像应该分别被设定为相应混合色，如此当两个波段成像灰度相同时，融合图像显示为灰度图像。表 1 所示为混合色样例。

2.2 本文改进算法

Schreer 互补彩色融合算法利用了三原色机理将两个波段的差异得以用彩色显示出来，但该算法仅考虑两个波段间的灰度差异，并不考虑二者之间的细节差异，因此融合后的图像仍具有使两波段中具有较多细节但辐射较弱的图像信息被掩盖的较大风险。

表1 双波段混合色样例

Table 1 Dual-band mixed color sample

Method	MWIR	LWIR
Color pair 1	Cyan(RGB 0%, 100%, 100%)	Red(RGB 100%, 0%, 0%)
Color pair 2	Light blue(RGB 0%, 50%, 100%)	Orange(RGB 100%, 50%, 0%)

因此,本文拟在双波段图像配色之前对两者共色通道配色比例进行调整(如表2所示),先对融合前的中、长波图像进行清晰度评价,设中波图像和长波图像的平均清晰度分别为 $\overline{D_{MW}}$ 、 $\overline{D_{LW}}$,则两波段图像共色通道配色计算如式(8)所示:

$$\begin{cases} x = \frac{\overline{D_{MW}}^4}{\overline{D_{MW}}^4 + \overline{D_{LW}}^4} \\ y = \frac{\overline{D_{LW}}^4}{\overline{D_{MW}}^4 + \overline{D_{LW}}^4} \end{cases} \quad (8)$$

3 实验结果与分析

针对红外中、长波图像彩色融合算法改进的有效性,本文选取了几组典型场景进行融合验证。图1为典型的炮弹发射场景(场景一),火光对双波段成像影响差异显著,其中左图为中波红外图像中的汽车被火光遮盖难以辨识,但旁边棚屋下的支架受到火光照射成像较为清晰,右图为长波红外图像,则恰好相反。图2为场景一的Toet假彩色融合,从左至右依次为作者初始算法融合效果图、改进算法融合效果图、本文改进算法融合效果图。图3为场景一的Schreer互补彩色融合,从左至右依次为Color pair 1算法融合效果图、Color pair 2算法融合效果图、本文改进算法Color pair 3融合效果图。图4为典型的城市建筑场景(场景二),反射光对双波段成像影响亦有明显差异,尤其是对窗户边框和太阳能热水器的成像差异显著,其中左图为中波成像,右图为长波成像。图5为场景二

的Toet假彩色融合,从左至右依次为作者初始算法融合效果图、改进算法融合效果图、本文改进算法融合效果图。图6为场景二的Schreer互补彩色融合,从左至右依次为Color pair 1算法融合效果图、Color pair 2算法融合效果图、本文改进算法Color pair 3融合效果图。图7为典型的施工工地场景(场景三),中波红外(左图)和长波红外(右图)对远处的围墙和近处飘扬的旗帜成像存在较大差异,中波红外图像几乎看不到远处围墙的细节,但对近处的旗帜成像较为清楚,长波红外图像则反之。图8为场景三的Toet假彩色融合,从左至右依次为作者初始算法融合效果图、改进算法融合效果图、本文改进算法融合效果图。图9为场景三的Schreer互补彩色融合,从左至右依次为Color pair 1算法融合效果图、Color pair 2算法融合效果图、本文改进算法Color pair 3融合效果图。

目前,大多数的图像质量评价方法都是针对灰度域的图像而言,而彩色域的图像质量评价方法相对较少,特别是对于红外双波段图像的彩色融合效果评价鲜有公开报道^[6-8]。

一般来说,图像所含信息越丰富,质量越好。信息熵H可以客观描述一幅图像中所含信息量的多少^[9],其计算如式(9)所示:

$$H = -\sum_{i=0}^{255} p(i) \log_2 p(i) \quad (9)$$

式中:p(i)表示第i灰度/色度级上像素数分布的概率。

表2 改进的双波段混合色样例

Table 2 Improved dual-band mixed color sample

Method	MWIR	LWIR
Color pair 3	Light blue (RGB 0%, x, 100%)	Orange (RGB 100%, y, 0%)



图1 场景一: 炮弹发射(左: 中波红外; 右: 长波红外)

Fig.1 Scenario one: shell launching (Left: MWIR, Right: LWIR)



图2 场景一 Toet 假彩色融合 (左: 原算法; 中: Toet 改进算法; 右: 本文改进算法)

Fig.2 False color fusion of scenario one by Toet

(Left: original algorithm, Middle: the improved algorithm, Right: improved algorithm in this paper)



图3 场景一 Schreer 互补彩色融合 (左: Color pair 1; 中: Color pair 2; 右: Color pair 3)

Fig.3 Complementary color fusion of scenario one by Schreer

(Left: Color pair 1, Middle: Color pair 2, Right: Color pair 3)

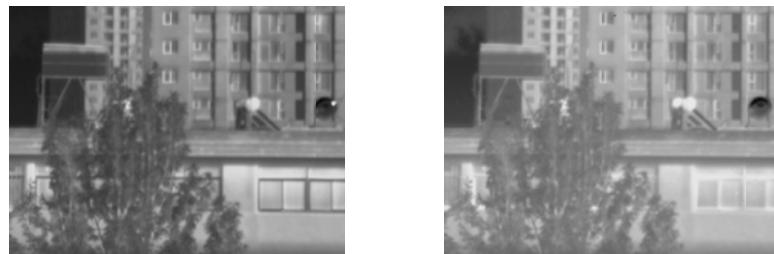


图4 场景二: 城市建筑 (左: 中波红外; 右: 长波红外)

Fig.4 Scenario two: building (Left: MWIR, Right: LWIR)



图5 场景二 Toet 假彩色融合 (左: 原算法; 中: Toet 改进算法; 右: 本文改进算法)

Fig.5 False color fusion of scenario two by Toet

(Left: original algorithm, Middle: the improved algorithm, Right: improved algorithm in this paper)



图6 Schreer 互补彩色融合 (左: Color pair 1; 中: Color pair 2; 右: Color pair 3)

Fig.6 Complementary color fusion of scenario two by Schreer (Left: Color pair 1, Middle: Color pair 2, Right: Color pair 3)

对于 RGB 彩色图像, 每一颜色分量都有式(9)计算的信息, 则总信息熵 H_{RGB} 计算如式(10)所示:

$$H_{\text{RGB}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{H_{\text{R}}^2 + H_{\text{G}}^2 + H_{\text{B}}^2} \quad (10)$$

式中: H_{RGB} 、 H_{R} 、 H_{G} 、 H_{B} 分别表示整幅图像、红色分量、绿色分量和蓝色分量的信息熵。

本文采用信息熵对各组实验融合图像进行质量评价, 结果如表 3 所示。

通过对 3 组场景实验结果进行主、客观评价对比, 不难发现: 首先, 本文改进算法在原有算法基础上均取

得了进一步的效果, 这些效果包括融合图像的色彩人眼舒适性和信息量; 其次, 改进算法对于不同红外中、长波场景的适用性在原有算法的基础上进一步提高。

4 结论与展望

本文结合红外中、长波成像特性, 对国外两种经典彩色融合算法进行了改进, 实验结果表明: 改进算法与原算法相比, 在融合性能和算法适应性方面获得了提高。



图 7 场景三: 施工工地 (左: 中波红外; 右: 长波红外)

Fig.7 Scenario three: construction site (Left: MWIR, Right: LWIR)

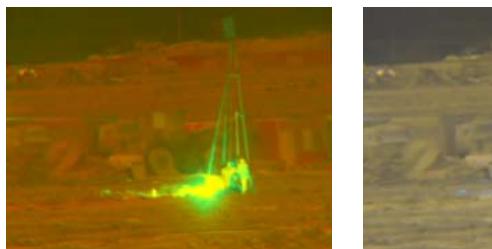


图 8 场景三 Toet 假彩色融合 (左: 原算法; 中: Toet 改进算法; 右: 本文改进算法)

Fig.8 False color fusion of scenario three by Toet

(Left: original algorithm, Middle: the improved algorithm, Right: improved algorithm in this paper)



图 9 场景三 Schreer 假彩色融合 (左: Color pair 1; 中: Color pair 2; 右: Color pair 3)

Fig.9 Complementary color fusion of scenario three by Schreer

(Left: Color pair 1, Middle: Color pair 2, Right: Color pair 3)

表 3 融合效果评价

Table 3 Evaluation of fusion performance

Scenario	Fusion method					
	Toet	Improved Toet	Improved in this paper	Color pair 1	Color pair 2	Color pair 3
Scenario one	5.5698	5.6802	6.5188	5.9826	6.2842	6.3172
Scenario two	5.9304	7.2398	7.2662	7.1517	7.1474	7.1574
Scenario three	4.9849	6.1129	6.1171	5.9364	6.0673	6.0851

相比灰度域融合算法，彩色域融合算法相对更加简单，但却能很好地解决灰度域融合算法难以解决的问题，且易于工程应用实现，将会更多地应用到红外融合领域。

参考文献：

- [1] Markus Muller, Oliver Schreer, Monica Lopez Saenz. Real-time image processing and fusion for a new high-speed dual-band infrared camera[C]//Proc. of SPIE, 2007, **6543**(10): 1-10.
- [2] Adomeit U, Ebert R. IR-dual-band-camera demonstrator experimental assessment-practical applications[C]//Proceedings of SPIE, 2007, **6737**(3): 1-12.
- [3] Breiter R, Cabanski W, Mauk K H, et al. Multicolor and dual-band IR camera for missile warning and automatic target recognition[C]// Proceedings of SPIE, 2002, **4718**: 280-288.
- [4] Alexander Toet, Jan Walraven. New false color mapping for image fusion[J]. Optical Engineering, 1996, **35**(3): 650-658.
- [5] Oliver Schreer, Monica Lopez Saenz, Christian Peppermuller, et al. Dual-band camera system with advanced image processing capability[C]//Proc. of SPIE, 2007, **6542**: 1-7.
- [6] 赵秀芝, 谢德红, 潘康俊. 彩色视觉相似性图像评价方法[J]. 计算机应用, 2013, **33**(6): 1715-1718.
- ZHAO Xiuzhi, XIE Dehong, PAN Kangjun. Color image quality assessment algorithm based on color structural similarity[J]. *Journal of Computer Applications*, 2013, **33**(6): 1715-1718.
- [7] 娄申龙, 虞中捷. 基于 FSIM 和不同颜色模型的彩色图像评价方法研究[J]. 计算机工程应用技术, 2017, **13**(7): 226-228.
- LOU Shenlong, YU Zhongjie. The study of colored image quality assesment based on FSIM & diverse color models[J]. *Computer Knowledge and Technology*, 2017, **13**(7): 226-228.
- [8] 王勇, 王宇庆, 顾海军, 等. 客观评价彩色图像质量的全四元数结构相似度方法[J]. 光电子·激光, 2014, **25**(10): 2033-2042.
- WANG Yong, WANG Yuqing, GU Haijun, et al. Color image quality assessment method based on full quaternion structure similarity measure[J]. *Journal of Optoelectronics-Laser*, 2014, **25**(10): 2033-2042.
- [9] 谢正祥, 王志芳, 熊兴良, 等. 基于视觉感知噪声模型的彩色图像质量评价和彩色图像质量最佳化[J]. 中国图象图形学报, 2010, **15**(10): 1454-1463.
- XIE Zhengxiang, WANG Zhifang, XIONG Xingliang, et al. Color image quality assessment based on noise model of human vision perception and color image quality optimization[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010, **15**(10): 1454-1463.