

文章编号: 1672-8785(2016)11-0014-04

基于颜色对比度增强的红外与微光 图像彩色融合方法

杨 钊^{1,2} 钱立志¹

(1. 高过载弹药制导控制与信息感知实验室, 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: 针对用传统的颜色传递算法得到的彩色融合图像存在目标与背景颜色相近、目标变淡的问题, 提出了一种基于颜色对比度增强的红外与微光图像彩色融合方法。首先对红外和微光图像进行了伪彩色融合, 然后对彩色参考图像与伪彩色融合图像进行了颜色传递。其次, 采用大津分割法分割出了微光图像中的目标信息, 并得到了目标区域。最后, 在 HSI 颜色空间中利用目标区域对颜色传递后的融合图像的 H、S、I 分量进行了调整, 并得到了最终的融合图像。实验结果表明, 利用该方法得到的彩色融合图像具有目标与背景对比度高、细节丰富、色彩较好等特点, 可提高人眼对场景的理解和对目标的快速识别。

关键词: 伪彩色融合; 颜色传递; 大津分割; 红外; 微光

中图分类号: TN219 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.11.003

Infrared and Low-level-light Image Color Fusion Method Based on Color Contrast Enhancement

YANG Fan^{1,2}, QIAN Li-zhi¹

(1. High Overload Ammunition Guidance Control and Information Perception

Laboratory, Hefei 230031, China; 2. Anhui Province Key Laboratory of

Polarization Imaging Detection Technology, Hefei 230031, China)

Abstract: In the color fusion images obtained by traditional color transfer algorithms, the color of the target is similar to that of the background and the target becomes faded. To solve this problem, an infrared and low-level-light image color fusion method based on color contrast enhancement is proposed. Firstly, the infrared image and the low-level-light image are fused in color. Then, the color transfer is implemented on the color reference image and the pseudocolor fusion image. Secondly, the Otsu segmentation method is used to extract the target information in the low-level-light image and hence the target area image is obtained. Finally, the target area in the HIS color space is used to adjust the HIS component of the fusion image obtained through color transfer. The final fused image is obtained. The experimental result shows that the color fusion image obtained by this method has the features of high target-background contrast, rich detail and better color. It can help human eyes detect and identify targets quickly.

Key words: color fusion; color transfer; Otsu segmentation; infrared; low-level-light

收稿日期: 2016-06-30

作者简介: 杨钊 (1983-), 男, 安徽安庆人, 博士研究生, 主要从事偏振成像、图像融合以及信息隐藏等方面的研究。E-mail: yangf31@126.com

0 引言

作为一种夜视侦察手段,红外与微光探测在隐藏和伪装的战争场景中的应用愈加广泛,其各自的成像特点及优势使得它们在目标信息的反映上具有互补性和冗余性。因此,通过信息融合手段可以有效增强场景理解以及目标的可探测性。然而目前获取到的红外及微光图像均为灰度图像,其融合后的图像仅仅表征场景空间的灰度信息,而缺少场景的彩色信息。关于人眼视觉系统的研究表明,人眼对彩色图像的分辨率远高于灰度图像。因此,图像的彩色融合更有利于人眼对目标的观察和对场景的理解。

由于传统的伪彩色图像融合方法利用色差来增强图像的细节信息,虽然增加了图像色彩,也增强了人眼观察的“兴奋度”,但其图像色彩并不自然,且不适于人眼长时间地直接观察。为此,人们逐渐研究出了一些符合人眼观察的自然感彩色融合算法。2003年,Toet A^[1]提出了一种颜色传递理论,即通过把白天自然场景的颜色特征传递给多波段夜视图像,得到了一幅近自然彩色图像。但是由于颜色传递中所有三个颜色通道都进行相同的线性映射,在红外或微光图像中清晰可见的目标在融合图像中却往往有着与背景相近的颜色,使得图像中的目标变淡,导致目标的可探测性反而有所下降。

本文针对用传统的颜色传递算法得到的彩色融合图像中目标与背景颜色相近、目标变淡的问题,提出了一种基于颜色对比度增强的红

外与微光图像彩色融合方法。通过强化融合图像中目标与颜色的对应关系,可以增强目标与背景的颜色对比度,从而有效提高目标的可探测性。

1 基于颜色对比度增强的彩色融合方案

由于人眼视觉系统具有对颜色敏感的生理特性,理想的彩色融合方案应当具有自然的视觉效果,且保留尽可能多的背景细节以增强场景理解,同时还应在颜色上突出目标以便于进行目标探测。图1所示为本文提出的基于颜色对比度增强的红外与微光图像彩色融合方案。

首先对红外和微光图像进行伪彩色融合,然后把彩色参考图像转换到YCbCr颜色空间中^[2],并将其与得到的伪彩色融合图像进行颜色传递,从而得到一幅近自然彩色融合图像。其次,采用大津分割法分割出微光图像中的目标信息^[3],得到目标区域,然后在HSI颜色空间中利用分割出的目标区域对得到的初步彩色融合图像的H、S、I分量进行调整,以提高目标与背景的颜色对比度,从而突出目标。最后,将处理结果变换回RGB颜色空间,得到最终的图像融合结果。

2 红外与微光图像的伪彩色融合

由于用伪彩色融合技术可以提高观察者的目标探测能力,本文采用Toet伪彩色融合结构。在YCbCr空间中的伪彩色融合策略为

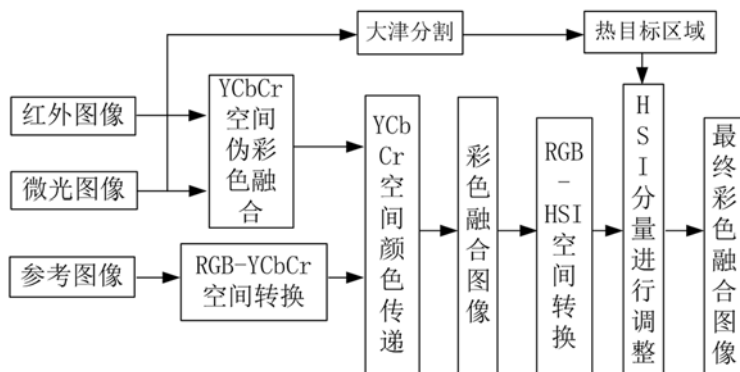


图1 红外与微光图像彩色融合方案

$$\begin{cases} Y(i, j) = IP(i, j) \\ Cb(i, j) = IP(i, j) - IR'(i, j) \\ Cr(i, j) = IR(i, j) - IP'(i, j) \end{cases} \quad (1)$$

$$IR'(i, j) = IR(i, j) - IP(i, j) \cap IR(i, j) \quad (2)$$

$$IP'(i, j) = IP(i, j) - IP(i, j) \cap IR(i, j) \quad (3)$$

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

式中, (i, j) 为像素点的坐标; IP' 和 IR' 分别为微光图像和红外图像的独有分量。通过将源图像与独有分量的差异作为 Cb 、 Cr 分量, 可以增加伪彩色图像的色彩对比度, 从而为进一步的颜色传递提供丰富的光谱特征和空间信息。

3 基于目标对比度增强的颜色传递

基于伪彩色融合可获得比较自然的色彩效果, 但在细节方面稍显劣势^[4-5]。为了获得质量更佳的自然感彩色融合图像, 我们进一步采用颜色传递方式对伪彩色融合图像进行色彩增强, 其基本思想是使伪彩色图像与参考图像在 YCbCr 空间中具有相同的均值和方差^[6-7]。

首先将参考图像由 RGB 空间映射至 YCbCr 空间, 并计算其颜色特征 (均值和方差); 然后利用式 (5) 所示的颜色传递方法把参考图像的颜色特征均值与方差传递给伪彩色融合图像; 将得到的融合图像从 YCbCr 空间变换到 RGB 空间, 最终获得颜色传递后的彩色融合图像。

$$\begin{cases} Y_F = \frac{\sigma_R^Y}{\sigma_S^Y}[Y_S - \mu_S^Y] + \mu_R^Y \\ Cb_F = \frac{\sigma_R^{Cb}}{\sigma_S^{Cb}}[Cb_S - \mu_S^{Cb}] + \mu_R^{Cb} \\ Cr_F = \frac{\sigma_R^{Cr}}{\sigma_S^{Cr}}[Cr_S - \mu_S^{Cr}] + \mu_R^{Cr} \end{cases} \quad (5)$$

式中, 下标 S 和 F 分别表示伪彩色融合图像和颜色传递后的彩色融合图像; μ_R 和 σ_R 分别为参考图像在 Y 通道、 Cb 通道、 Cr 通道中的颜色特征均值和标准差。

为了进一步突出彩色融合图像中的目标, 提高目标与背景之间的颜色对比度, 增强人眼识别效果, 本文在符合人眼颜色感知的 HSI 颜色

模型中对目标区域进行颜色增强。在微光图像中, 与沙地背景相比, 光滑的金属板能够反映出更多的光强度信息, 因此本文首先运用大津分割法在微光图像中分割出目标, 得到目标区域 R , 然后通过滤波消除噪声干扰。

在 YCbCr 空间中, 将经过颜色传递后的彩色融合图像变换到 HSI 空间, 并利用分割出的目标区域 R 调整色调分量 H 及颜色饱和度分量 S :

$$H_2(i, j) = \begin{cases} \frac{H(i, j) + E(H)}{2} + 180^\circ, & (i, j) \in R \\ H(i, j), & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

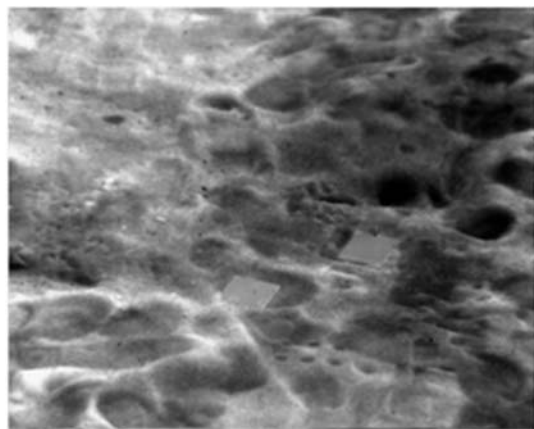
$$S_2(i, j) = \begin{cases} \frac{|S(i, j) - E(S)|}{E(|S(i, j) - E(S)|)}, & (i, j) \in R \\ S(i, j), & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

式中, $E(\cdot)$ 为平均值。式 (6) 表明, 如果当前像素属于图像中的目标区域 R , 那么将其色调调整为当前像素的色调与整幅图像的平均色调的平均值的补色。式 (7) 表明, 若当前像素属于图像中的目标区域 R , 则将其饱和度调整为整幅图像的平均色饱和度和该像素点色饱和度之差的绝对值与该绝对值的平均值的比值。最后, 将调整后的融合图像由 HSI 空间变换回 RGB 空间, 得到最终的彩色融合图像。

4 实验与结果分析

基于目标对比度增强的颜色传递通过对目标与背景的颜色对比度进行调整, 强化了融合图像中目标与颜色的对应关系。实验样本采用由红外与微光成像探测系统获取的隐藏在沙地中的金属板的红外与微光图像 (见图 2)。

为了验证本文方法的有效性, 我们选取 Toet 彩色融合方法并采用同一幅参考图像进行对比研究 (实验结果见图 3)。其中, 图 3(a) 为颜色传递所选择的真彩色参考图像, 图 3(b) 为利用大津分割去噪后得到的目标区域图像, 图 3(c) 为采用 Toet 方法获取的彩色融合图像, 图 3(d) 为采用本文方法得到的融合图像。



(a) 红外图像



(b) 微光图像

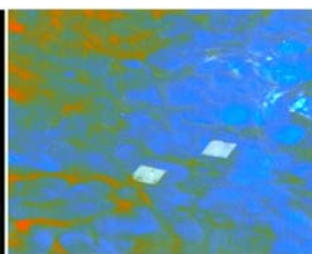
图 2 隐藏在沙地中的涂有红外伪装涂料的金属板



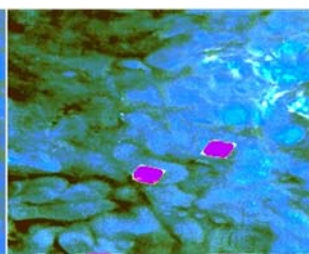
(a) 参考图像



(b) 图像分割结果



(c) Toet 融合结果



(d) 本文融合结果

图 3 实验结果

从图 3(c) 中可以看出, 采用 Toet 方法得到的融合结果颜色单一, 目标与背景颜色相近、目标变淡, 场景中的一些事物色彩不自然, 不利于人眼对目标的观察和快速识别。从图 3(d) 中可以看出, 与 Toet 方法相比, 本文方法所获结果的场景颜色更加接近参考图像, 视觉效果更舒适, 目标与背景互为补色, 目标突出, 对比度更高。

为了定量比较用不同彩色融合方法生成图像的优劣, 我们采用彩色融合图像质量评价中的“目标探测性”和“细节”两个基本指标对其进行评价, 从而得出夜视彩色融合图像的质量情况。

“目标探测性”的量化是利用 HSI 彩色空间的彩色差公式来计算目标与背景之间的相对颜色对比度。目标与背景之间的相对颜色对比度越大, 目标探测性越好。“细节”的量化可利用图像熵来加以评价。彩色图像熵的定义为 R、G、B 三通道的熵之和。熵越高, 图像细节越丰富。表 1 和表 2 分别列出了图 3(c) 和

图 3(d) 所示彩色融合结果的颜色对比度和图像熵。从中可以看出, 本文融合结果的颜色对比度和图像熵均优于 Toet 方法的融合结果, 即本文融合结果的“目标探测性”好, 细节更丰富。

表 1 彩色融合图像的颜色对比度

	Toet 融合结果	本文融合结果
颜色对比度	0.256	0.924

表 2 彩色融合图像的熵评价

	Toet 融合结果	本文融合结果
彩色熵	21.362	22.987

5 结束语

针对传统的颜色传递方法的不足, 本文在红外与微光图像信息互补的基础上, 在 YCbCr 颜色空间中采用颜色传递方法得到了红外与微光彩色融合图像。利用图像分割从微光图像中

(下转第 23 页)