

颜色对比度增强的红外与可见光图像融合方法

曾祥通^{1,2}, 张玉珍^{1,2}, 孙佳嵩^{1,2}, 喻士领^{1,2}

- (1. 南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094;
2. 江苏省光谱成像与智能感知重点实验室, 江苏 南京 210094)

摘要: 针对红外与可见光彩色融合图像中目标与背景间的低对比度的问题, 提出一种基于 HSI 空间颜色对比度增强的红外和可见光图像融合方法。首先对输入的可见光与红外图像进行直方图均衡和中值滤波加强处理, 然后对加强的红外图像模糊阈值分割得到红外目标, 最后把分割的红外目标图像和加强的可见光和红外图像在 HSI 空间的三通道线性融合和色彩传递, 为了增强目标与背景间的颜色对比度, 在色彩传递阶段, H 通道的色彩传递方程中引入一个比例因子。实验结果表明: 与其他算法相比, 该方法得到的彩色融合图像热目标和低温物体与背景间的颜色对比度明显加强, 同时背景的细节信息呈现白天类似的自然彩色, 更加符合人眼视觉感知。

关键词: 颜色对比度增强; 图像融合; HSI 空间; 色彩传递;

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)04-1198-05

One color contrast enhanced infrared and visible image fusion method

Zeng Xiangtong^{1,2}, Zhang Yuzhen^{1,2}, Sun Jiasong^{1,2}, Yu Shiling^{1,2}

- (1. School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;
2. Jiangsu Key Laboratory of Spectral Imaging and Intelligent Sense, Nanjing 210094, China)

Abstract: Focus on color fusion for infrared and visible images with low contrast between target and background issues, a contrast enhancement method for infrared and visible image was presented based on HSI color space. Firstly, the contrast of infrared and visible images was enhanced using local histogram equalization and median filter, then the infrared target was extracted from the enhanced infrared image after fuzzy threshold segmentation. Finally, the two enhanced images and the segmentation infrared target were fused into the three components of a HSI image in terms of a simple linear fusion strategy and color transfer. To enhance the color contrast between the target and the background, a scaling factor was introduced into the transferring equation in the H channel during color transfer process. The experimental

收稿日期: 2014-08-12; 修订日期: 2014-09-15

基金项目: 国家自然科学基金(6177091)

作者简介: 曾祥通(1989-), 男, 硕士生, 主要从事图像融合和目标识别与跟踪方面的研究。Email: zengxt2013@126.com

导师简介: 张玉珍(1973-), 女, 硕士生导师, 博士, 主要从事光电探测与图像处理方面的研究。Email: papershare501@163.com

results show that, compared with other algorithms, the color fusion images of hot target and color contrast between low temperature object and background obtained by the presented method enhance obviously. At the same time, the details of visible images are endowed with natural color similar to that of the light color images during the day, which is more comfortable to the human's visual perception.

Key words: color contrast enhancement; image fusion; HSI space; color transfer

0 引言

目前两种最常见的图像传感器为可见光 CCD 和红外热像仪。通常,可见光场景细节丰富,而红外图像可呈现人、机动车等目标热辐射,具有较好的热对比度,因此,将这两种图像融合起来可以得到一个紧凑的、适合人眼对环境视觉感知的融合图像。近年来,将可见光和红外图像融合得到广泛关注,融合的方法包括灰度融合(如主成分分析法、对比度调制、调制金字塔、小波变换)和彩色融合。总体上,彩色图像相对黑白图像在监视、侦察和安防应用中具有更大的优势,人类能够分辨几千种颜色但只能分辨出大约 100 个灰度级。许多实验表明:彩色融合可以提高物体特征的对比度,提高人的视觉感知和目标识别能力,所以彩色融合成为了越来越重要的一个研究领域,科研人员提出了许多融合算法。

彩色融合图像色彩的稳定性和颜色对比度是两个讨论的热点问题,实验结果表明:不合适的彩色映射会导致色彩的不稳定性并且影响人的判断能力。2003 年 Toet^[1-2]首先把原先应用在灰度图像彩色化的色彩传递技术应用到多波段夜视图像中来,使得融合的夜视图像具有和白天自然场景下类似的色彩效果,但是色彩空间转换先是由 RGB 转换到 LMS,再由 LMS 转换到 Lab 空间,这样算法占用更多的时间并且目标不突出。而从背景中突出的目标有利于增强人类视觉判断能力并且有利于目标识别与探测。然而,目前对这方面的关注比较少。2007 年 Wang^[3]提出了一种基于红外图像的局部均值非线性色彩传递算法,该算法使红外目标呈高亮红色突出显示且背景赋予自然彩色。2008 年 Zheng 和 Essock^[4]提出了一种基于图像分割、识别和局部色彩传递来增强彩色映射效果的显著夜视图像彩色化算法。但是该算法需要非线性融合、局部识别、局部比较和

图像分割等处理,因此相对 Toet 的算法要消耗更多的时间,并且这种基于高斯变换非线性融合的原理会给融合图像带来模糊的效果,反过来影响人的视觉感知。2010 年 Yin^[5]提出一种增强颜色对比度的夜视图像彩色化算法,该算法在简单的线性融合后的色彩传递过程中引入一个将红外图像的局部与全局平均比的比率因子来提高目标与背景的对比度。2011 年 Qian^[6-7]在 Yin 的基础上提出一种基于 Lab 空间颜色对比度增强的方法。实验也表明这种方法相对全局统计方法在目标探测的准确性方面有很大的提高。

但在恶劣的天气和环境下,夜视图像由于图像的高噪音和低对比度会变得模糊,上面的算法很少考虑这方面的问题。另外,Yin 的方法虽然能提高目标的探测准确度但对于一些温度低的目标并没有高亮显示且有些背景并没有在最后的彩色融合图像中呈现自然景色。为了得到效果更好的彩色夜视图像,文中提出了一种基于人类视觉系统的 HSI 空间的彩色融合方法,在呈现自然色彩的同时,目标与背景间的对比度得到增强,这样可以帮助观察者提高视觉感知能力和减少目标识别的时间。

1 彩色融合方法

文中提出的算法包括两个步骤:(1) 图像的预处理和目标分割;(2) 线性融合和颜色对比度增强。预处理主要是对输入的可见光和红外图像进行直方图均衡化和中值滤波,去除原图像的部分噪声;由于模糊阈值分割^[8-9]方法对红外图像中的目标分割效果较好,所以在目标分割阶段采用模糊阈值分割的方法得到红外目标图像,便于后续色彩传递过程中目标增强。上述经过预处理的可见光和红外图像与分割的红外目标在 HSI 空间线性融合和色彩传递,最后为了增强目标与背景间的颜色对比度,在 H 通道的色彩传递方程引入一个比例因子。该算法的原理

框图如图 1 所示。

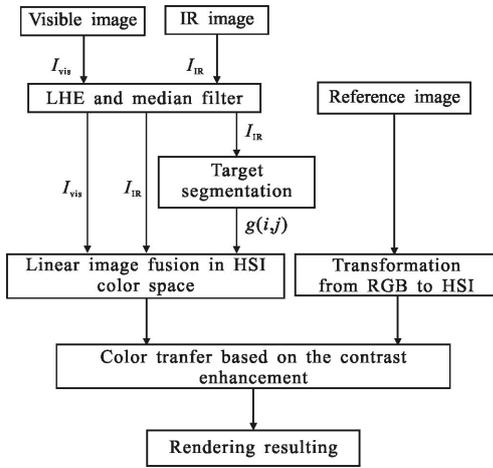


图 1 文中算法原理图

Fig.1 Principle diagram of proposed algorithm

1.1 线性融合方法

通常，假彩色融合是直接可见光和红外图像映射到 R、G、B 三个通道。然而 HSI 颜色空间^[10-11]是从人的视觉系统出发，用色调、饱和度和亮度来描述色彩。通常把色调和饱和度通称为色度，用来表示颜色的类别与深浅程度。由于人的视觉对亮度的敏感程度远强于对颜色浓淡的敏感程度，为了便于色彩处理和识别，人的视觉系统经常采用 HSI 颜色空间，它比 RGB 颜色空间更符合人的视觉特性。在图像处理 and 计算机视觉中大量算法都可在 HSI 颜色空间中方便地使用，它们可以分开处理而且是相互独立的。因此，在 HSI 颜色空间可以大大简化图像分析和处理的工作量。因此，文中直接在 HSI 空间线性映射获得假彩色图像来加快算法的速度。假彩色线性融合如公式(1)所示：

$$\begin{cases} H=g \\ S=I_{IR}-I_{vis} \\ I=m_1I_{IR}+m_2I_{vis} \end{cases} \quad (1)$$

式中： H 代表色调； S 和 I 分别代表色饱和度和亮度； m_1 和 m_2 是常量 ($m_1+m_2=1$)； I_{vis} 和 I_{IR} 以不同的比例映射到亮度通道，这样就获得了一幅简单的彩色融合图像，但融合的彩色图像效果较差，下面将做色彩传递和对比度增强。

1.2 基于颜色对比度增强的非线性色彩传递

线性融合后的彩色图像呈现的色彩不自然，为了获得自然的彩色和进一步加强彩色融合图像目标

和背景的对比度，在 H、S、I 通道做非线性色彩传递，使得最后得到的彩色融合图像色彩更加自然。由于色彩传递在 HSI 空间进行，即参考图像要先从 RGB 空间转换到 HSI 空间，转换公式如参考文献[11]所示。

在全局线性色彩传递过程中，H、S、I 三通道线性色彩传递映射如公式(2)所示：

$$\begin{cases} H' = \frac{\sigma_{\text{ref}}^H}{\sigma_{\text{fuse}}^H} (H - \mu_{\text{fuse}}^H) + \mu_{\text{ref}}^H \\ S' = \frac{\sigma_{\text{ref}}^S}{\sigma_{\text{fuse}}^S} (S - \mu_{\text{fuse}}^S) + \mu_{\text{ref}}^S \\ I' = \frac{\sigma_{\text{ref}}^I}{\sigma_{\text{fuse}}^I} (I - \mu_{\text{fuse}}^I) + \mu_{\text{ref}}^I \end{cases} \quad (2)$$

式中： H' 、 S' 、 I' 分量分别代表线性色彩传递后的 H、S、I 分量， σ 和 μ 分别表示参考图像和线性融合图像 H、S、I 分量的方差和均值。在线性色彩传递阶段，由公式(2)分析可知，先是对源图像的 H、S、I 分量用参考图像与融合图像的标准方差之比进行全局缩放，所以在红外图像中的热目标、低温物体和背景间的对比度被弱化，这样会导致热目标的模糊和识别效率降低。为了加强热目标和背景间的对比度，提出一种非线性的色彩传递加强算法。由以上可知： H 代表色调，可以通过改变 H 的值来调节角度从而得到不同的颜色分布，所以只要在 H 分量传递过程中做出修正即可得到适合人眼感知的色彩，同时使目标与背景的对比度得到加强。 H' 分量的修正式如公式(3)所示：

$$H' = w \frac{\sigma_{\text{ref}}^H}{\sigma_{\text{fuse}}^H} (H - \mu_{\text{fuse}}^H) + \mu_{\text{ref}}^H \quad (3)$$

式中： w 表示红外图像每一个像素的亮度值与亮度均值的差与其均值之比，如公式(4)所示：

$$w(i, j) = \|I_{IR}(i, j) - \mu_{IR}\|^p / \langle \text{dist} \rangle \quad (4)$$

$$\langle \text{dist} \rangle = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \|I_{IR}(i, j) - \mu_{IR}\| / M \times N \quad (5)$$

式中： $\langle \text{dist} \rangle$ 表示红外图像每一个像素的亮度值和红外图像的均值之差的平均值； p 是一个根据加强不同对比度的需要修正的一个常量。这样红外热目标可以呈现不同的彩色亮度，并且通过全局色彩传递可以得到自然的彩色，最后把 H、S、I 分量按参考文

献[11]给出的公式转化成 $R、G、B$ 分量合成后得到对比度加强的彩色融合图像。

2 融合结果

为了验证算法的有效性,用三组图片融合来验证,它们对应的场景分别是扎营、树林、沙丘,同时和 Toet、Yin、Qian 提出的方法得到的彩色融合图像进行对比,由实验可知:当 $m_1=0.2、m_2=0.8、p=8.3$ 时彩色融合结果最好。下面对三组融合对比度增强的彩色图像进行分析。

在图 2 中,站着的人是红外热目标,而房屋的顶部是红外图像中的低温区域,对比发现图 2(c)Toet 的融合结果相对于图 2(d)Yin 和图 2(e)Qian 的融合结果在还原背景自然彩色和热目标与背景间的对比度差异明显,Yin 和 Qian 的方法能较好地还原背景的自然彩色且目标与背景间的对比度也有比较明显的加强,但相比于文中提出的方法,虽然 Qian 的方法也可以区分出低温物体,但在呈现图像的细节信息方面效果较差;而 Yin 的方法能够较好地呈现自然景色和图像的细节信息,但不能较好地地区别出低温物体;文中算法的融合结果不仅能较好地还原背景的自然景色而且能够区分低温物体,从图 2(e)融合结果可知:背景的颜色更加自然,亮度适中,细节信息

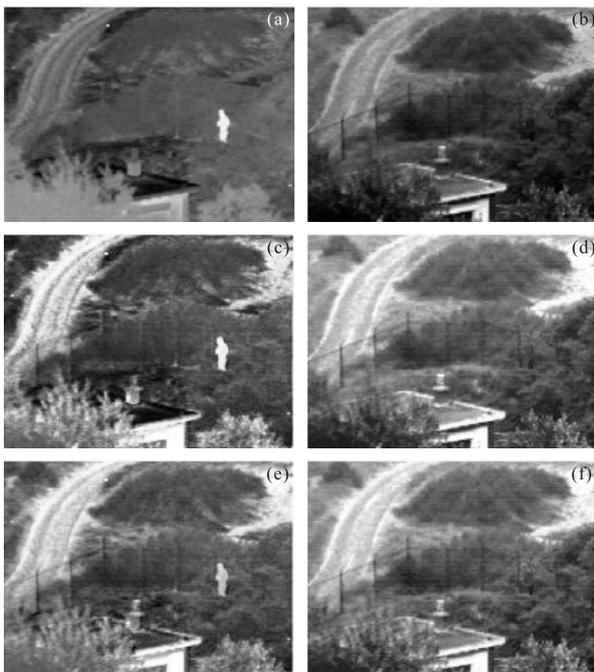


图 2 第一组融合结果

Fig.2 Result fusion of experiment one

清楚,红外图像中屋顶的低温区域成淡蓝色显示,这是由于 HSI 空间是基于人的视觉系统出发,它相对 RGB 系统更加符合人的视觉特性。同理,从图 3 可知,文中提出的方法树林里面的人和背景对比度明显,且地面的小草和水可以较清晰地辨别出来;图 4 中沙丘中的人和草都清晰可见且草丛中的水也能区别出来。在实验中还发现,在非线性色彩传递的过程中根据不同人的视觉需要可以改变 H (色调)的大小来突出显示目标的颜色,由公式(4)可知文中只要调节常量 p 的大小即可,文中给出了 p 取不同值的融合结果,实验结果如图 5 所示。

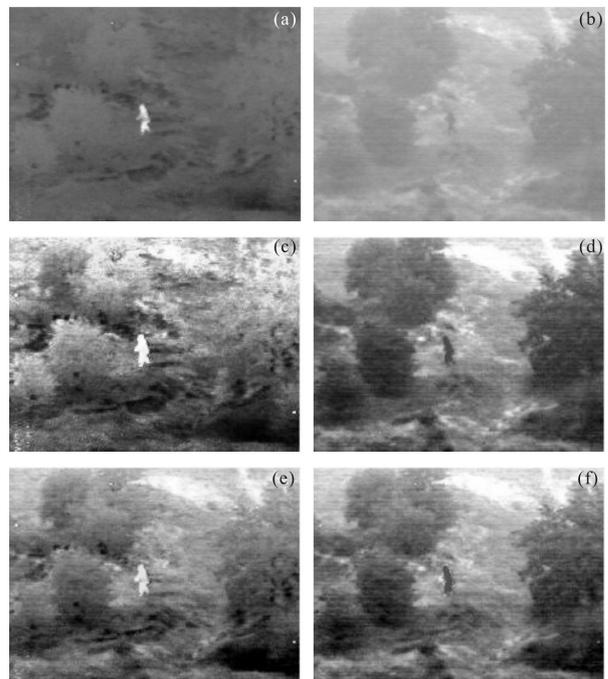
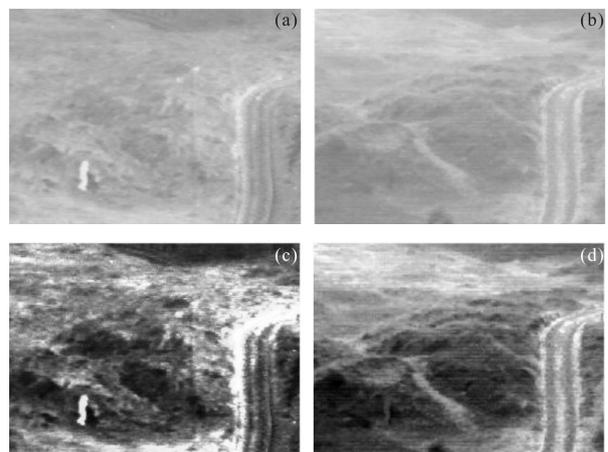


图 3 第二组融合结果

Fig.3 Result fusion of experiment two



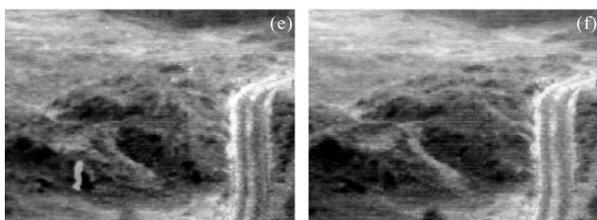
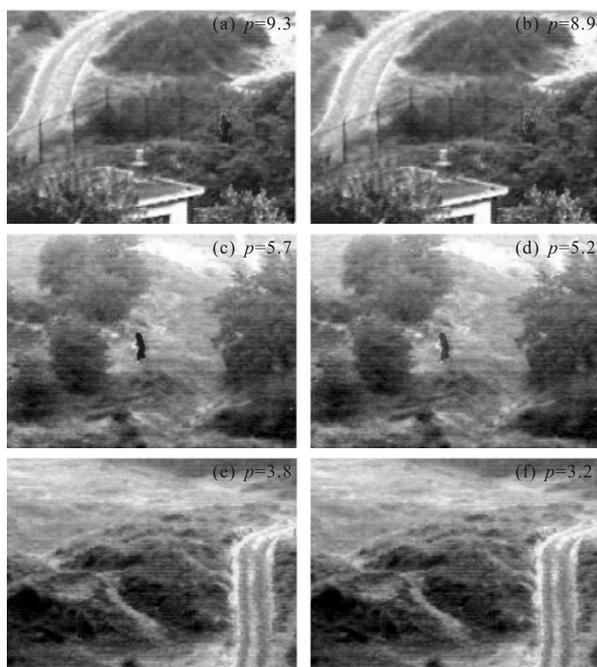


图 4 第三组融合结果

Fig.4 Result fusion of experiment three

图 5 调节参数 p 的融合结果Fig.5 Result fusion of adjust parameter p

由图 5 可知, 上述给出了融合的彩色图像背景的自然彩色不变, 热目标呈蓝色和紫色显示, 还可以得到其他的颜色(如绿色等)。针对不同的场景, 调节 p 的大小就可以改变目标与背景间的对比度以及目标的颜色对比度, 它对目标识别方面有很大的作用, 同时军事应用中也可以帮助迅速发现目标, 然后作出正确的判断。

3 结论

针对可见光和红外图像, 文中提出一种基于人的视觉系统的 HSI 空间快速、简单的颜色对比度增强的彩色融合方法。该算法首先对输入的可见光和红外图像直方图均衡和中值滤波加强处理, 再把分割的红外目标和加强的红外和可见光图像一块在

HSI 空间线性融合和非线性色彩传递, 最后得到颜色对比度增强的彩色融合图像。由三组不同场景实验结果可以看到, 文中提出的算法和 Toet、Yin、Qian 等人提出的算法相比, 不仅可以增强热目标和低温物体与背景间的颜色对比度, 同时目标与背景间的对比度可以根据不同场景需要进行调节, 而且可见光的细节信息呈现和白天类似的自然彩色, 细节信息较多且清晰, 视觉感受比较逼真, 这对军事应用中发现敌情有很重要的作用。

参考文献:

- [1] Toet A. Applying daytime colors to multiband nightvision imagery[C]//SPIE, 2003: 168-178.
- [2] Toet A. Natural color mapping for multiband nightvision imagery[J]. *Information Fusion*, 2003, 4(2): 155-166.
- [3] Wang L X, Shi S M, Jin W Q, et al. Color fusion algorithm for visible and infrared images based on color transfer in YUV color space[C]//SPIE, 2007: 1781-1787.
- [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] Yin S F, Cao L C, Ling Y S, et al. One contrast enhancement method for color night vision [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2010, 53(4): 146-150.
- [6] Qian X Y, Wang Y J, Wang B F. Effective contrast enhancement method for color night vision [J]. *Infrared Physics and Technology*, 2012, 55(1): 130-136.
- [7] Qian X Y, Wang Y J, Wang B F. Color contrast enhancement for color night vision based on color mapping [J]. *Infrared Physics and Technology*, 2013, 57(6): 36-41.
- [8] Jiang Yiming, Wang Keyong. Infrared image segmentation algorithm of tank[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 56(4): 1481-1485. (in Chinese)
- [9] Cheng Guo, Zuo Hongfu. The image adaptive thresholding by index of fuzziness [J]. *Acta Automatic Sinica*, 2003, 29(5): 386-390. (in Chinese)
- [10] Jang J H, Ra J B. Pseudo-color image based on intensity-hue-saturation [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, 2008: 1066-1071.
- [11] Cheng Zhengyun, Wang Xia, Zou Xiaofeng, et al. Polarimetric and multi-spectral image fusion based on HIS color system and wavelet transform [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, 39(1): 1710-1712. (in Chinese)