

文章编号:1001-9014(2009)04-0281-04

## 提高夜视融合目标可探测性的颜色对比度增强方法

殷松峰<sup>1,2</sup>, 曹良才<sup>1</sup>, 杨华<sup>2</sup>, 谭峭峰<sup>1</sup>, 何庆声<sup>1</sup>, 凌永顺<sup>2</sup>, 金国藩<sup>1</sup>

(1. 清华大学精密仪器与机械学系精密测试与仪器国家重点实验室, 北京 100084;

2. 电子工程学院安徽省红外与低温等离子体重点实验室, 安徽 合肥 230037)

**摘要:**根据人眼视觉系统特性,分析了场景理解和目标探测对彩色融合的要求,并据此提出了一种通过颜色对比度增强来提高目标可探测性的夜视融合方法.该方法使热目标呈红色,冷目标呈蓝绿色;根据红外图像特征,引入了一种和红外图像各像素亮度与图像平均亮度的偏离相关的颜色对比度增强因子,利用该因子可增强目标与背景的颜色对比度,弥补颜色传递彩色融合方法在颜色对比度上的不足,能有效提高目标可探测性.实验表明该方法既能突出红外目标,又能保持丰富的背景细节,在增强场景理解的同时提高了目标可探测性.

**关键词:**图像融合;夜视;对比度增强;颜色对比度;目标探测

**中图分类号:**TN219 **文献标识码:**A

## COLOR CONTRAST ENHANCEMENT METHOD TO IMPROVE TARGET DETECTABILITY IN NIGHT VISION FUSION

YIN Song-Feng<sup>1,2</sup>, CAO Liang-Cai<sup>1</sup>, YANG Hua<sup>2</sup>, TAN Qiao-Feng<sup>1</sup>,

HE Qing-Sheng<sup>1</sup>, LING Yong-Shun<sup>2</sup>, JIN Guo-Fan<sup>1</sup>

(1. State Key Lab of Precision Measurement Technology and Instruments, Department of Precision Instruments and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Key Lab of Infrared and Low Temperature Plasma of Anhui Province, Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China)

**Abstract:** Requirements on color image fusion for situation awareness and target detection tasks were analyzed based on the characteristics of human visual system. Then a night vision fusion method was presented to improve target detectability by enhancing color contrast between the target and the background. The proposed fusion method relates hot and cold targets to the colors of intense red and cyan, respectively. According to the characteristics of infrared images, a color contrast enhancement ratio related to the divergence of the intensity of each pixel from the mean intensity of the infrared image was utilized to enhance color contrast between the target and the background. The enhancing method offsets the disadvantage of color transfer method in color contrast and improves target detectability. Experimental results demonstrate that the method can not only pop out both hot and cold targets, but also keep details of the background well. The situation awareness and target detectability can be improved by the method.

**Key words:** image fusion; night vision; contrast enhancement; color contrast; target detection

### 引言

可见光图像和红外图像是军事夜视中最经常采用的两种图像形式.可见光图像的高频细节信息丰富但目标对比度较差,尤其在弱光照情况下质量更差;红外图像有着较高的热对比度并能突出车辆、人等目标,但分辨率较低.因此,可见光图像和红外图像经常通过图像融合以整合其互补信息而保留其共

有信息,从而增强场景理解和目标可探测性.

颜色是图像和人眼视觉系统的基本要素,人眼可以分辨几千种颜色,但只能分辨大约100多级灰度.因此,彩色图像融合<sup>[1,2]</sup>比灰度融合<sup>[3-5]</sup>能提供更多维度的信息.对夜视图像进行适当的伪彩色渲染可以显著提高观察者在场景理解、目标探测与识别等任务中的效能.但由于传统伪彩色融合图像与人眼实际视觉不一致并缺乏颜色恒定

收稿日期:2008-06-12,修回日期:2009-02-28

基金项目:国家自然科学基金(60807005)资助项目

作者简介:殷松峰(1984-),男,河南淮阳人,清华大学精密仪器与机械学系光学工程专业在读博士,主要研究图像融合与目标探测.

Received date: 2008-06-12, revised date: 2009-02-28

性,长时间的观察容易使观察者产生疲劳甚至错觉.为使夜视图像具有自然的彩色视觉效果,近年来颜色传递方法在图像融合中得到应用<sup>[6,7]</sup>.然而,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,在红外图像中清晰的目标在融合图像中却往往与背景有着相近的颜色,目标的可探测性反而有所降低.

本文针对颜色传递方法中目标可探测性降低问题,基于红外图像特征和融合过程,通过对目标与背景的颜色对比度进行增强,强化了融合图像中目标与颜色的对应关系,可以辅助目标探测,并引入了一种和红外图像各像素亮度与图像平均亮度的偏离相关的颜色对比度增强因子,利用该因子可增强目标与背景的颜色对比度,有效提高目标的可探测性.

## 1 场景理解和目标探测对彩色融合的要求

场景理解和目标探测是夜视系统两个基本的方面<sup>[8,9]</sup>.场景理解要求源图像中的细节信息尽可能多地保留在融合图像中,目标可探测性依赖于目标和背景的对比度,而这在红外图像中通常是很高的<sup>[9]</sup>.尽管研究已经充分证实图像融合可以大大提高场景理解能力,但图像融合在目标探测方面的优势仍有待挖掘<sup>[9]</sup>.

由于人眼视觉系统的生理特性,人眼对彩色图像中的亮度分辨能力远不如对灰度图中的亮度分辨能力高,仅通过亮度信息难以使彩色融合在目标探测能力上比其他方案具有更大的优势.颜色对比度为融合图像提供了另一维度的对比度信息,颜色对比度和亮度对比度综合作用的结果使得彩色融合后目标的可探测性优于传统的红外图像和灰度融合方案.对夜视中场景理解和目标探测任务而言,理想的彩色融合方案应当具有自然的视觉效果,保留尽可能多的背景细节以增强场景理解,同时应在颜色上突出目标以利于目标探测.

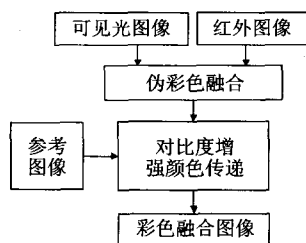


图1 基于对比度增强颜色传递的夜视融合

Fig. 1 Night vision fusion based on contrast-enhanced color transfer method

## 2 基于对比度增强颜色传递的夜视融合

本文提出的基于对比度增强颜色传递的夜视融合方案如图1所示.首先对红外和可见光源图像进行伪彩色融合,进而通过对比度增强颜色传递将参考图像的主要颜色特征传递给伪彩色融合图像使之具有自然的视觉效果,同时提高红外目标与背景的颜色对比度,突出红外目标.

伪彩色融合技术可以提高观察者目标探测能力,本文在YUV空间的伪彩色融合策略为

$$\begin{cases} Y(i,j) = Vis(i,j) \\ U(i,j) = Vis(i,j) - IR(i,j) \\ V(i,j) = IR(i,j) - Vis(i,j) \end{cases}, \quad (1)$$

其中, $Vis(i,j)$ 和 $IR(i,j)$ 分别表示可见光图像和红外图像中位于 $(i,j)$ 点像素的灰度值; $Y,U,V$ 分别表示YUV空间中相应通道的伪彩色融合结果, $Y$ 代表亮度, $U$ 和 $V$ 分别表示蓝色和红色与亮度 $Y$ 的差异<sup>[6]</sup>.这一伪彩色融合方案符合红外图像特征和人眼生理视觉特性.红外图像中,比平均灰度高的区域为潜在的热目标(如人),比平均灰度低的区域为潜在的冷目标(如夜间静止的车辆),目标的灰度与图像平均灰度通常有较大偏离.此处采用的伪彩色融合方案中,红外图像主要被映射到 $V$ 通道.由于 $V$ 通道对应于红色与亮度的差异,因此红外热目标所对应的区域红色将占主导地位,而冷目标所对应的区域红色缺失,蓝色和绿色占据主导地位.根据颜色混合原理,融合图像中热目标将呈现红色,冷目标呈现蓝绿(青)色.

颜色传递方法的独特优势是可以获得具有自然视觉效果的融合图像,便于场景理解.然而,如果不对颜色对比度进行增强,目标颜色通常不够明显,这使得目标的可探测性仍很低.本文对 $V$ 通道进行颜色对比度增强

$$\begin{cases} Y_F(i,j) = \frac{\sigma_R^Y}{\sigma_S^Y} [Y_S(i,j) - \mu_S^Y] + \mu_R^Y \\ U_F(i,j) = \frac{\sigma_R^U}{\sigma_S^U} [U_S(i,j) - \mu_S^U] + \mu_R^U \\ V_F(i,j) = \eta(i,j) g \frac{\sigma_R^V}{\sigma_S^V} [V_S(i,j) - \mu_S^V] + \mu_R^V \end{cases}, \quad (2)$$

其中,下标 $S,R$ 和 $F$ 分别指伪彩色融合图像、参考图像和最终的彩色融合图像; $\mu$ 和 $\sigma$ 分别为相应颜色通道的均值和标准差; $\eta$ 为红外目标颜色对比度增强因子,定义为

$$\begin{cases} \eta(i,j) = D(i,j)/\mu_D \\ D(i,j) = |IR(i,j) - \mu_{IR}| \end{cases}, \quad (3)$$

即  $D$  为红外图像中各像素灰度值与图像平均灰度值的偏离,从而  $\eta$  为各像素的偏离与平均偏离的比值.为降低噪声影响,采用以待分析像素为中心的  $3 \times 3$  矩形窗口进行均值滤波,以局部平均偏离代替各像素的偏离.

### 3 实验与结果分析

对比度增强颜色传递通过对目标与背景的颜色对比度进行增强,强化了融合图像中目标与颜色的对应关系,可以辅助目标探测.为验证该方法的有效性,采用由荷兰人因所(TNO)提供的 uncamp, trees 和 dune 三个源图像对序列进行融合实验,并对 NV7404 和 NV1811 两个图像对及其融合结果进行详细探讨.

在如图 2 所示的 NV7404 图像对中,人是热目标,在红外图像中人为添加了一个冷目标(图中暗的矩形区域),参考图像为图 2(c)所示的自然场景.根据第 2 节分析,红外图像中的人和暗区域在融合图像中应分别呈现深红色和蓝绿(青)色.在不增强的情况下,人与背景几乎具有完全相同的颜色(图 2(d)),难以从背景中分辨出来,冷目标的颜色也不够突出.用所定义的红外目标颜色对比度增强因子  $\eta$  进行颜色对比度增强,如图 2(e)所示,融合图像中人呈深红色,冷目标区域呈现蓝绿色,与预期效果相符,有效突出了红外目标.

表 1 各区域平均颜色对比度增强因子  $\eta$

Table 1 Mean color contrast enhancement ratios for different regions

区域	H	C	B
$\eta$	3.8626	7.8959	0.9595

对比度增强颜色传递的增强效果取决于颜色对比度增强因子的大小,该方法的有效性可以通过式(3)中的颜色对比度增强因子深入分析.将红外图像分割为 3 个区域,如图 2(f)所示,其中 H、C 和 B 分别表示热目标、冷目标和背景区域.三个区域的平均颜色对比度增强因子  $\eta$  如表 1 所列.冷、热目标的平均颜色对比度增强因子均远大于 1,可以在颜色上突出冷、热目标,提高目标可探测性;背景区域的平均增强因子约为 1,保证了融合图像中背景细节仍具有自然的视觉效果,保持了场景理解性能.

NV1811 图像对融合实验如图 3 所示.基于普通颜色传递的融合图像获得了自然的视觉效果,但红外目标(人)与背景几乎融为一体而难以探测(图 3(d)).进行颜色对比度增强时(图 3(e)),由于热目标(人)的灰度值与平均灰度偏差大,因此颜色得到有效增强,呈现深红色,容易探测.另外,红外图像中的屋顶明显低于背景温度,可以视为潜在冷目标,经过颜色对比度增强,屋顶相应地呈现蓝绿(青)色,表明源红外图像中该部分具有较低温度,提供了更多的温度信息.同时,NV1811 图像对和 NV7404 图像对都采用了相同的参考图像,二者源图像之间以

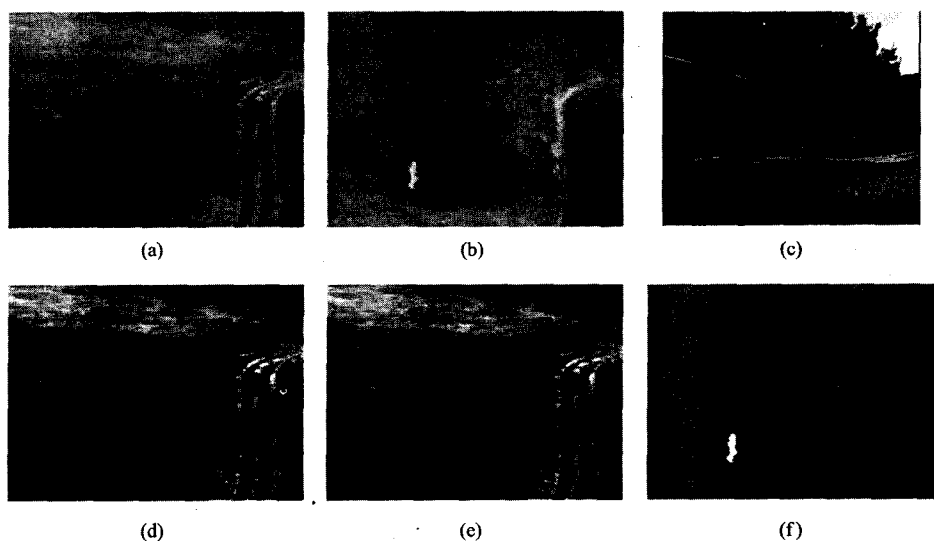


图 2 NV7404 图像对夜视融合 (a)可见光图像 (b)红外图像 (c)参考图像 (d)未增强融合图像 (e)基于对比度增强颜色传递的融合结果 (f)红外图像分割结果

Fig. 2 Night vision fusion of image pair NV7404 (a)visual image (b)IR image (c)reference image (d)fusion result without enhancement (e)fusion result based on contrast-enhancement color transfer method (f)segmentation of IR image

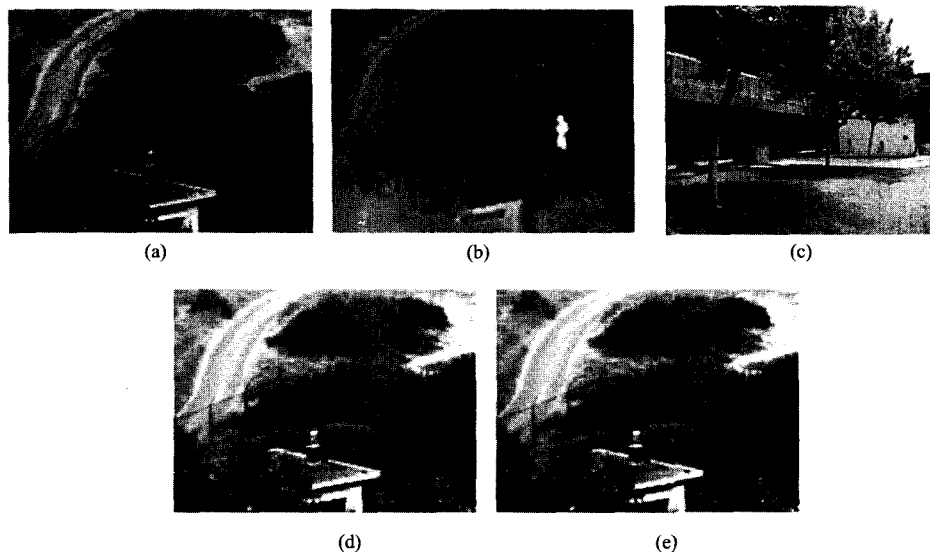


图3 NV1811 图像对夜视融合 (a)可见光图像 (b)红外图像 (c)参考图像 (d)未增强融合图像 (e)基于对比度增强颜色传递的融合结果

Fig. 3 Night vision fusion of image pair NV1811 (a) visual image (b) IR image (c) reference image (d) fusion result without enhancement (e) fusion result based on contrast-enhancement color transfer method

及二者与参考图像之间的场景都有较大差别,但融合后均获得了自然的视觉效果,表明基于对比度增强颜色传递的图像融合方案对参考图像具有鲁棒性。

本文基于对比度增强颜色传递的夜视融合采用了全局算法,仅涉及简单的矩阵线性运算,因此具有较高的执行效率。在采用主频 2.8 GHz 的 CPU, 512M 内存的硬件条件下,用 Matlab 程序对 trees 图像序列进行融合。所有 19 对图像的分辨率均为  $360 \times 270$ ,融合耗时 1.97s。在所采用的实验条件下可以达到约 10 帧/s 的融合速度,基于硬件的合理系统实现将可满足实时融合的需要。

#### 4 结语

本文提出的红外目标颜色对比度增强因子与红外图像中目标和背景的特征相符合,达到了与人眼视觉系统特点相适应的增强效果。无论热目标还是冷目标其增强因子均大于 1,而背景区域的增强因子趋向于 1。因此,融合图像中提供了更多的温度信息,热目标和冷目标可以同时得到增强,而背景细节很好地得以保持。融合图像相对于源图像而言,同时提高了场景理解和目标可探测性,有利于提高夜视环境下的作战能力。

#### REFERENCES

- [1] Toet A, Walraven J. New false color mapping for image fusion[J]. *Opt. Eng.*, 1996, **35**(3): 650—658.
- [2] WANG Ling-Xue, JIN Wei-Qi, SHI Jun-Sheng, et al. Research on fusion schemes of multi-band color night vision images based on opponent vision property[J]. *J. Infrared Milim. Waves* (王岭雪, 金伟其, 石俊生, 等. 基于拮抗视觉特性的多波段彩色夜视融合方法研究. *红外与毫米波学报*), 2006, **25**(6): 455—459.
- [3] Zhang Zhong, Blum R S. A categorization of multiscale decomposition-based image fusion schemes with a performance study for a digital camera application [J]. *Proc. IEEE*, 1999, **87**(8): 1315—1326.
- [4] Piella G. A general framework for multiresolution image fusion: From pixels to regions [J]. *Information Fusion*, 2003, **4**: 259—280.
- [5] LIU Sheng-Peng, FANG Yong. Infrared image fusion algorithm based on contourlet transform and improved pulse couple neural network[J]. *J. Infrared Milim. Waves* (刘盛鹏, 方勇. 基于 Contourlet 变换和 IPCNN 的融合算法及其在可见光与红外线图像融合中的应用. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(3): 217—221.
- [6] WANG Ling-Xue, SHI Shi-Ming, JIN Wei-Qi, et al. Color fusion algorithm for visible and infrared images based on color transfer in YUV color space [J]. *Proc. SPIE*, 2007, **6787**: 67870S-1-7.
- [7] Zheng Yu-Feng, Essock E A. A local-coloring method for night-vision colorization utilizing image analysis and fusion [J]. *Information Fusion*, 2008, **9**(2): 186—199.
- [8] SHI Jun-Sheng, JIN Wei-Qi, WANG Ling-Xue. Study on perceptual evaluation of fused image quality for color night vision [J]. *J. Infrared Milim. Waves* (石俊生, 金伟其, 王岭雪. 视觉评价夜视彩色融合图像质量的实验研究. *红外与毫米波学报*), 2005, **24**(3): 236—240.
- [9] Lanir Y. Comparing multispectral image fusion methods for a target detection task [D]. Dissertation of Ben-Gurion University of the Negev, 2005.

[1] Toet A, Walraven J. New false color mapping for image fu-