

基于小波和色彩传递的夜视图像彩色融合技术

何永强,王 群,王国培,严世华
(军械工程学院光学与电子工程系,河北 石家庄 050003)

摘 要:提出一种基于小波和色彩传递的夜视图像的彩色融合方法,使观察者更容易获取图像的场景信息。结合红外图像和微光图像各自的特点,利用 NRL 法把红外图像和微光图像映射到彩色空间形成假彩色图像(源图像),然后通过小波变换对源图像和参考图像进行多分辨率分解,计算不同分辨率下的均值和标准方差,将各分量根据参考图像和源图像的标准方差比进行缩放,把参考图像的色彩分布传递给源图像。实验结果表明,通过与传统方法的比较,本文算法不仅获得真实场景色彩,还可以提高图像的细节信息,改善场景感知。

关键词:图像融合;色彩传递;小波变换;微光;红外

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.08.027

Color fusion of night vision image based on wavelet transformation and color transfer

HE Yong-qiang, WAGN Qun, WANG Guo-pei, YAN Shi-hua

(Department of Optics and Electronic Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: This paper describes a color fusion of night vision image based on wavelet transformation and color transfer that helps observers to get more abundant scene information. Concerning their characteristics, low-level light visible and IR images are combined into a pseudo-color image (source image) using NRL. Then the wavelet transformation is used to decompose the pseudo-color image and a colorful day-time reference image into multi-scale sub-band images. The mean and standard deviation of each sub-band image are calculated and then its components are scaled by the variation ratio of a day-time color target image to the source image. The color distribution of the target image is transferred into the source image. Comparing with traditional linear color transfer, the proposed method can make a color night vision image more realistic and natural, improving the situation perception.

Key words: image fusion; color transfer; wavelet transformation; low-level light; IR

1 引 言

彩色夜视技术是国内外热门研究内容,微光和红外热成像是主要的两种夜视方式,二者探测器的成像方式不同,能提供场景的互补信息而被广泛应用。由于彩色图像比灰度图像能够提供更多的场景信息,提高观察者对场景理解的能力,因此,彩色图像融合技术得到了各国学者的广泛关注^[1-3]。

彩色夜视技术的研究重点主要是图像色彩的真

实性和自然性,使得融合后的图像尽可能与白天自然场景的图像色彩一致。国际上较为著名的彩色图像融合方法有:美国海军研究室提出的 NRL^[4]法,荷兰 TNO 人性因素研究所 Toet 和 Walraven^[5]提出的 TNO 法,以及美国麻省理工学院 Waxman^[6]等人

作者简介:何永强(1966-),男,博士,副教授,研究方向为光电对抗和信息处理。

收稿日期:2011-12-20;修订日期:2012-01-13

开发的 MIT 法。NRL 法和 TNO 法融合图像的色彩不自然,但是该算法融合规则简单,算法运算速度快,便于实时处理。MIT 法比前两者复杂,其融合图像具有适合人眼观察的自然色彩,但该算法运算复杂,不适于实时处理。

本文以获得自然感知的彩色夜视图像为目的,进一步改善彩色融合图像的色彩自然性,增强图像细节,突出图像中红外热目标。利用小波变换多尺度、多方向的特点,研究一种基于小波和色彩传递的夜视图像彩色融合方法。

2 基于 YUV 空间的线性色彩传递算法

夜视图像的彩色融合技术综合了多波段的光谱信息,对目标和场景做出更加准确和全面描述。不恰当的彩色融合方法会产生不适于人眼长期观察的色彩,严重地影响观察者的观察效果。例如色彩对比度强烈的彩色融合图像易于造成观察者的视觉疲劳,降低场景意识^[7]。

2.1 彩色空间映射

根据人眼彩色视觉特性,国际照明委员会(CIE)规定,以水银光谱中波长为 $\lambda_R = 700 \text{ nm}$, $\lambda_G = 546.1 \text{ nm}$, $\lambda_B = 435.8 \text{ nm}$ 的三种色光分别为红、绿、蓝三基色。三基色各自独立,其中任一色均不能由另两色混合得到,将它们按不同比例进行混合,可产生各种彩色,根据这一原理,对 R, G, B 三通道分别赋值,便得到彩色融合图像。

为了符合人眼的视觉感受,美国海军研究室(NRL)开发了红外与微光图像假彩色融合算法,红外图像的灰度值从红色查找表(LUT)中选取,微光图像的灰度值从青色查找表(LUT)中选取^[8]。融合的映射公式如式(1)所示。

$$\text{NRL:} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{IR} \\ \text{Vis} \\ \text{Vis} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,IR 表示红外图像;Vis 表示微光(可见光)图像。

2.2 基于 YUV 空间的色彩传递

在全局线性色彩传递中,通常使用 $\alpha\beta$ 或 YUV 颜色空间。 $\alpha\beta$ 颜色空间是 Runderman 等人^[9]提出的感知去相关的颜色空间,可以最大限度按照人眼感知特性分离亮度和色彩。YUV 空间是国际电信联盟 ITU 推荐的颜色空间,常用于视频信号处理传

输,其中, Y 为亮度信号, U, V 分别为蓝色和红色色差信号。虽然 YUV 空间没有 $\alpha\beta$ 空间的感知去相关特性,但同样是将亮度与色彩分离,易于实现色彩的传递。 $\alpha\beta$ 空间转换需要大量的对数运算、指数运算和乘加运算,不利于计算。而 YUV 空间转换只需要乘加运算就能实现,减少计算量并能得到较理想的传递效果。因此,本文采用基于 YUV 颜色空间进行图像色彩传递。

将经过式(1)处理后的彩色融合图像(源图像)和参考图像转换到 YUV 空间,RGB 彩色空间到彩色 YUV 空间的转换公式为:

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

分别计算源图像和参考图像 Y, U, V 各个通道的均值和标准方差,将源图像各通道的像素值减去各自的均值,同时利用源图像与参考图像的标准方差比进行缩放,并加上参考图像相应通道的均值。

$$\begin{aligned} Y' &= \frac{\sigma_{T,Y}}{\sigma_{S,Y}}(Y - \mu_{S,Y}) + \mu_{T,Y} \\ U' &= \frac{\sigma_{T,U}}{\sigma_{S,U}}(U - \mu_{S,U}) + \mu_{T,U} \\ V' &= \frac{\sigma_{T,V}}{\sigma_{S,V}}(V - \mu_{S,V}) + \mu_{T,V} \end{aligned} \quad (3)$$

式中, $\mu_{S,Y}, \mu_{S,U}, \mu_{S,V}, \sigma_{S,Y}, \sigma_{S,U}, \sigma_{S,V}$ 分别是源图像 Y, U, V 三个通道的均值和标准方差; $\mu_{T,Y}, \mu_{T,U}, \mu_{T,V}, \sigma_{T,Y}, \sigma_{T,U}, \sigma_{T,V}$ 分别是参考图像 Y, U, V 三个通道的均值和标准方差。图像的均值和标准方差分别由式(4)和式(5)得到。

$$\mu = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j) \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f(i, j) - \mu)^2} \quad (5)$$

式中, $f(i, j)$ 表示一幅图像; M, N 表示图像 $f(i, j)$ 的大小; μ 表示图像的均值; σ 表示图像的标准方差。

源图像通过式(3)的传递后会拥有同参考图像相同的均值和标准方差,参考图像的色彩信息传递到源图像中,将变换后的图像转换到 RGB 空间,就得到了色彩外观上类似参考图像的彩色融合图像。选择适当的彩色参考图像,就可实现将彩色夜视图

像还原到类似白天的逼真场景。YUV 彩色空间到 RGB 彩色空间的转换公式为:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.000 & 1.1398 \\ 1.000 & -0.3938 & -0.5089 \\ 1.000 & 2.0279 & 0.0018 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} \quad (6)$$

3 基于多分辨率分解的色彩传递算法

通过对自然图像的统计研究表明,图像中包含大量的局部性、方向性、带通性结构^[10],传统的色彩传递算法属于全局线性处理,在一定程度上影响了传递效果,还有可能造成图像细节信息的丢失。因此本文在小波变换的基础上,对不同分辨率下各个通道完成均值和标准方差的统计,并进行统计值的传递,从而实现多分辨率分解的色彩传递^[11]。

3.1 小波分解和重构

小波变换的基本思想是用一族函数去表示或逼近一信号,这一族函数称为小波函数系它通过一小波母函数的伸缩和平移产生其“子波”来构成,用其变换系数描述原来的信号^[12]。小波变换能够把图像分解到不同尺度、不同方向的频率的子带中,相比于金子塔分解,小波变换不仅可以进行多方向的分解,而且还可以提取图像的方向信息,更加符合人眼观察事物的特性,小波具有多分辨率、去相关的特性和平移不变性等特性。因此本文选用小波作为图像分解工具。对于图像 $f(x,y)$ 利用小波分解为:

$$\begin{aligned} A_s f(i, j) &= \langle f(i, j), \phi_{sk1}(i) \phi_{sk2}(j) \rangle \\ D_s^{(1)} f(i, j) &= \langle f(i, j), \phi_{sk1}(i) \psi_{sk2}(j) \rangle \\ D_s^{(2)} f(i, j) &= \langle f(i, j), \psi_{sk1}(i) \phi_{sk2}(j) \rangle \\ D_s^{(3)} f(i, j) &= \langle f(i, j), \psi_{sk1}(i) \psi_{sk2}(j) \rangle \end{aligned} \quad (7)$$

式中, ϕ 为尺度函数; ψ 为小波函数。小波分解把图像分解为近似部分和三个方向的细节部分,二维图形小波分解可以分为两步进行,首先沿 i 方向利用

$\phi(i)$ 和 $\psi(i)$ 把图像分解为近似和细节两部分,然后沿 j 方向利用 $\phi(j)$ 和 $\psi(j)$ 对这两部分做类似的分析,得到四路输出,即近似部分 $A_1 f(i, j)$ 和三个方向细节部分 $D_1^{(1)} f(i, j), D_1^{(2)} f(i, j), D_1^{(3)} f(i, j)$ 。对于第 n 层是在第 $(n-1)$ 层的基础上对 $(n-1)$ 层的近似部分进行分解,每一层包含上一次近似部分的近似和细节信息。二维小波分解的过程图如图1所示。图像的小波重构与分解的过程相反,如图2所示。

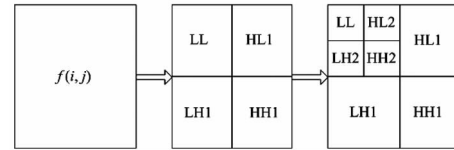


图1 图像的小波分解过程

Fig. 1 wavelet image decomposition process

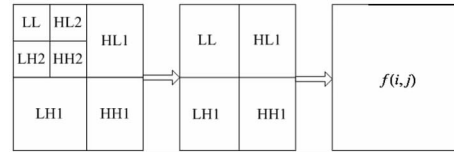


图2 图像的小波重构过程

Fig. 2 wavelet image reconstruction process

3.2 多分辨率分解色彩传递处理框图

本文首先将假彩色融合图像(源图像)从 RGB 空间转换到 YUV 空间,利用小波变换把源图像和参考图像分解到不同尺度、不同分辨率的子带中,分别计算源图像和参考图像在各个子带中的一阶统计量和二阶统计量,然后利用色彩传递公式(式(3))将参考图像的统计量传递给源图像,使源图像具有同参考图像相同的统计量,最后把处理后的源图像进行小波逆变换,并转换到 RGB 空间,就可得到一幅色彩与参考图像类似的传递图像。多分辨率分解色彩传递处理框图如3所示。

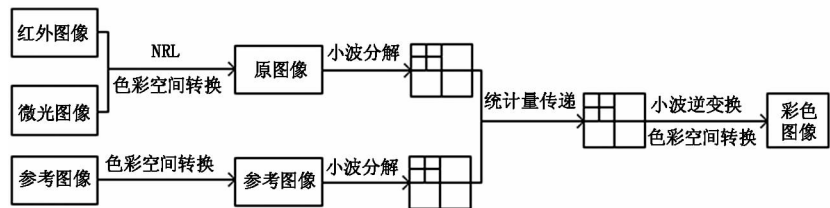


图3 算法处理过程框图

Fig. 3 block diagram of the algorithm

4 实验结果及分析

本文采用3层小波分解对源图像和参考图像

进行分解,在 YUV 色彩空间上比较线性色彩传递和基于多分辨率的色彩传递效果,源图像均为

NRL 融合成的假彩色图像,选取的参考图像如图 4 所示。



图 4 实验处理结果

Fig. 4 results of the experiment

实验对采集的红外图像和微光图像进行处理,如图 4 所示。图 4(a)为采集的红外图像,图 4(b)为采集的为光图像,图 4(c)是利用 NRL 融合方法对红外图像和微光图像进行假彩色融合的结果,图 4(d)是实验选取的参考图像,图 4(e)是利用参考图像对图 4(c)进行线性色彩传递的结果图像,图 4(f)是利用参考图像对图 4(c)进行多分辨率分解后进行色彩传递的图像。从图 4(c)中可以看出热目标呈现红色,与背景图像形成鲜明的对比,但是图像的对比度高,容易使观察者产生视觉疲劳;图 4(e)和图 4(f)显示的色彩较为自然,且红外热目标呈现亮丽的橙色,容易使观察者快速发现目标,从图中容易看出本文算法相对于线性色彩传递算法图像呈现的色彩更加自然,细节信息更加丰富,边缘突出,热目标也更加清晰。

实验用 matlab 进行仿真,并计算了具有可比性

的评价图像清晰度的图像标准:图像平均梯度,平均梯度反映出图像中微小细节反差和纹理变化特征,同时反映图像的清晰程度。由表 1 可以看出,多分辨率分解色彩传递处理结果的平均梯度比线性色彩传递结果的平均梯度大,说明本文算法处理后的图像细节更加丰富,边缘突出。

表 1 传递结果的平均梯度

Tab. 1 average gradient of the transferred results

方法	平均梯度(R)	平均梯度(G)	平均梯度(B)
线性色彩传递	3.9788	4.6192	6.8833
本文算法	7.5577	8.3693	10.94

5 结 论

本文提出基于 YUV 空间的小波和色彩传递的夜视图像彩色融合技术,红外图像和微光图像通过 NRL 法进行假彩色融合,选取适当的自然感彩色图像作为参考图像,利用小波分解对源图像和参考图像分解到不同分辨率的子带中,然后计算不同子带的均值和标准差,利用色彩传递公式对源图像进行色彩传递,最终得到与参考图像色彩相似的自然感彩色图像。通过主观评价和客观评价,本文提出的算法能够较好的突出图像中的目标,同时增强图像的边缘细节,获得了色彩丰富的场景信息,提高了观察者对场景的理解能力。

参考文献:

[1] Smith M I, Heather J P. Review of image fusion technology in 2005[J]. Proc. SPIE, 2005, 5782: 29 – 45.

[2] Jin Weiqi, Wang Lingxue, et al. Developments of image processing algorithms for color night vision[J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(1): 147 – 150. (in Chinese)

金伟奇, 王岭雪, 等. 彩色夜视成像处理算法的新进展[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(1): 147 – 150.

[3] Shang Luxi, Fang Jianan, et al. An algorithm of selecting source image in automatically coloring of night vision image[J]. Laser & Infrared, 2009, 39(2): 223 – 226. (in Chinese)

商露兮, 方建安, 等. 夜视图像自动彩色化源图像选择算法[J]. 激光与红外, 2009, 39(2): 223 – 226.

[4] McDaniel R V, Scribner D A, et al. Image fusion for tactical applications[J]. Proc. SPIE, 1998, 3436: 685 – 695.

- [5] Toet A, Walraven J. New false color mapping for image fusion[J]. Optical Engineering, 1996, 35(3): 650 – 658.
- [6] Fay D A, Waxman A M, et al. Fusion of multi-sensor imagery for night vision: Color Visualization, Target Learning and Search[C]//The 3rd International Conference on Information Fusion, Paris: IEEE Press, 2000. TuF3 – 3 – TuD3 – 10.
- [7] Shi shiming, Wang Lingxue, Jin Weiqi, et al. Color night vision research based on multi-resolution color transfer [J]. Acta Photonica Sinica, 2010, 39(3): 553 – 558. (in Chinese)
史世明, 王岭, 金伟其, 等. 基于多分辨率色彩传递的彩色夜视方法研究[J]. 光子学报, 2010, 39(3): 553 – 558.
- [8] Paul M Steele, Philip Perconti. Part task investigation of multispectral image fusion using gray scale and synthetic color night vision sensor imagery for helicopter pilotage [C]. Proc. SPIE, 1997, 3062: 88 – 99.
- [9] Ruderman D L, Cronin T W, Chuan-chin C. Statistics of cone responses to natural images: implications for visual coding[J]. JOSA A, 1998, 15(8): 2036 – 2045.
- [10] Simoncelli E P, Freeman W T, Adelson E H, et al. Shiftable multiscale transforms[J]. IEEE Trans on Information Theory, 1992, 38(2): 587 – 607.
- [11] Yang Sa, Zhan Jie, Wu Lingxi. The application of multi-wavelet transform in night-vision Image fusion algorithm [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(5): 502 – 505. (in Chinese)
杨飒, 詹杰, 吴伶俐. 多小波变换在夜视图像融合算法中的应用[J]. 激光与红外, 2008, 38(5): 502 – 505.
- [12] Donoho D L. De-noising by soft-thresholding [J]. IEEE Trans Information Theory, 1995, (41): 613 – 627.