

## 多参数亮度值重映射的颜色传递方法

仲红玉, 尹丽菊\*, 高明亮, 邹国锋, 申 晋, 王 炫

(山东理工大学 电气与电子工程学院, 山东 淄博 255049)

**摘 要:** 为了提高灰度图像中人眼视觉的情景感知和目标的识别率, 提出了多参数亮度值重映射的颜色传递方法, 将灰度图像赋予色彩。该方法首先将灰度目标图像和彩色参考图像由 *RGB* 颜色空间切换到亮度与色彩分离的 *YCbCr* 颜色空间。然后, 引入由彩色参考图像和灰度目标图像的列数和亮度共同决定的参数, 对彩色参考图像的亮度值进行运算, 使彩色参考图像与灰度目标图像具有相同的亮度值动态范围。最后, 根据目标像素和它周围的像素存在相关性, 进行灰度目标图像与彩色参考图像的像素匹配后, 将得到的结果再逆变至可以表示出各种色彩的 *RGB* 颜色空间。该颜色传递方法降低了色彩误传现象, 提高了颜色传递的准确度并缩短了程序的运行时间。

**关键词:** 图像处理; 亮度值重映射; 颜色传递; 灰度目标图像; 邻域相关性

**中图分类号:** TP391 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201847.0526002

## Color transfer method of luminance remapping with multi-parameters

Zhong Hongyu, Yin Liju\*, Gao Mingliang, Zou Guofeng, Shen Jin, Wang Xuan

(School of Electrical and Electronic Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

**Abstract:** In order to improve abilities of human vision for situation perceiving and the recognition rate of the targets in gray scale image, a color transfer method of luminance remapping with multi-parameters was proposed to colorize the gray scale image. First, the *RGB* color spaces of the gray scale target image and the color reference image were converted to the *YCbCr* color space, in which the luminance value and color were separated. Then, the parameters which depended on the number of columns and luminance values of the color reference image and the gray scale target image were introduced. The luminance values of the color reference image were calculated to ensure the color reference image and the gray scale target image have the same range of luminance values. At last, according to the correlation of the neighborhood, each pixel of gray scale target image was matched with the pixel of the color reference image. The matched result was converted inversely to the *RGB* color space, which can represent a variety of colors. The occurrence of color misinformation is decreased in color transfer method of luminance remapping with multi-parameters. The accuracy degree of the color transfer is increased. At the same time, the running time of the program is reduced.

收稿日期: 2017-12-10; 修订日期: 2018-01-20

基金项目: 山东省自然科学基金(ZR2015FL034); 校城融合发展计划(2016ZBXC142)

作者简介: 仲红玉(1990-), 女, 硕士生, 主要从事图像处理方面的研究。Email: zhonghongyu0827@163.com

导师简介: 尹丽菊(1972-), 女, 副教授, 博士, 主要从事光电检测与成像方面的研究。Email: LJYIN72@163.com

**Key words:** image processing; luminance remapping; color transfer; gray scale target image; correlation of the neighborhood

## 0 引言

随着微光夜视图像处理技术的发展,微光图像的颜色传递方法成为近几年的一个研究热点<sup>[1-2]</sup>。由于人眼对图像色彩的变化相比于灰度的变化更加敏感,可辨别出的色彩种类是灰度等级的几十甚至几百倍<sup>[3]</sup>。因此,利用颜色传递方法使微光环境下获得的灰度目标图像具有色彩信息,可以突出其景物的细节,将有利于人眼对目标的观察与场景的理解。

Welsh 等人在两幅彩色图像之间可以进行色彩传递的原理基础上,研究的色彩传递算法为后续灰度图像颜色传递的发展提供了广阔的空间<sup>[4]</sup>。据此,颜色传递技术的快速彩色图像融合<sup>[5]</sup>是利用颜色传递过程形成一幅具有与目标图像相似色彩效果的彩色融合图像。提高夜视融合目标可探测性的颜色对比度增强方法<sup>[6]</sup>是通过引入颜色对比度增强因子,提高颜色传递后图像的目标可探测性。夜视图像局部颜色传递算法<sup>[7]</sup>是利用颜色传递算法得到一幅更接近真实彩色图像色彩的夜视图像。基于颜色传递和目标增强的夜视图像彩色融合方法<sup>[8]</sup>通过引入一个对比度增强因子的颜色传递方法使微光夜视图像获得色彩。基于伪彩色的声纳检测可视化方法<sup>[9]</sup>使用灰度级到色彩参数的映射方法。局部颜色映射的彩色夜视算法<sup>[10-11]</sup>给出了基于局域纹理和区域直方图的颜色传递方案。夜间图像的彩色映射<sup>[12]</sup>和对于夜间和日间融合图像的改进色彩匹配技术<sup>[13]</sup>都是基于样本的彩色融合算法,实现了夜间灰度图像的彩色化。

以上研究由于灰度映射函数的非线性、无法确定映射情况下的查找表补全方案、彩色参考图像的选取等问题,使得颜色传递后的灰度目标图像的颜色与彩色参考图像存在一定偏差,并且实现过程的计算量较大,实时性差。文中提出了多参数亮度值重映射的颜色传递方法。该方法将灰度目标图像和彩色参考图像从 RGB 颜色空间转换到各个分量相互独立的 YCbCr 颜色空间。为了使灰度目标图像和彩色参考图像的亮度值具有相同的动态范围,以减少

色彩误传的现象,利用灰度目标图像和彩色参考图像的特性计算出参数后再对彩色参考图像进行亮度值重映射。根据像素的邻域相关性完成灰度目标图像和彩色参考图像的像素匹配,将匹配结果从 YCbCr 空间变换回 RGB 空间,实现灰度目标图像的彩色化处理。

## 1 相关理论及 Welsh 算法

### 1.1 颜色空间

根据三基色原理<sup>[14]</sup>,RGB 颜色空间的立体图可表示为如图 1 所示,可以看出 R、G、B 三个分量在立体图上具有一定的相关性<sup>[15]</sup>,其中任何一个像素点颜色分量的改变会影响 RGB 颜色空间中其他分量数值的变化,给灰度图像的颜色传递过程增加了难度。因此,不宜在 RGB 颜色空间上进行颜色传递,要把图像转换到其他颜色空间上。如,把 RGB 颜色空间转换到  $\alpha\beta$  颜色空间或是转换到 YCbCr 颜色空间。在  $\alpha\beta$  颜色空间中<sup>[16]</sup>,色彩是由亮度  $\iota$ 、色度分量  $\alpha$  和  $\beta$  彩色通道三种参数表征。YCbCr 颜色空间<sup>[17]</sup>中 Y 是指亮度分量、Cb 和 Cr 指色度分量,且亮度分量和色度分量不具有相关性,彼此之间相互独立。

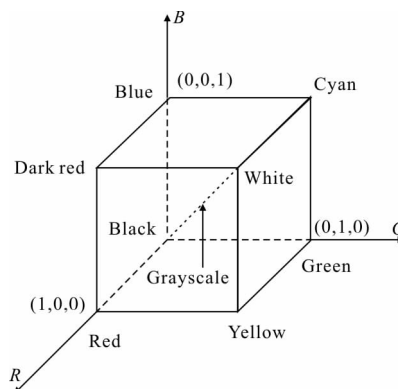


图 1 RGB 颜色空间立体图

Fig.1 RGB color space perspective

### 1.2 Welsh 经典算法

Welsh 在 Reinhard<sup>[18]</sup>彩色图像颜色传递方法的基础上,提出了灰度图像彩色化的思想和方法。该方法主要利用查找匹配像素来实现灰度图像的颜色传递,Welsh 经典算法的实现过程如图 2 所示。

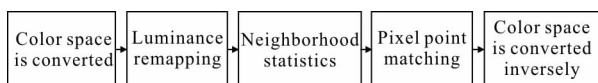


图 2 Welsh 经典算法

Fig.2 Welsh classical algorithm

其中,将图像由RGB 颜色空间转换到  $\iota\alpha\beta$  颜色空间的转换过程为:

(1) 首先从 RGB 空间变换到 LMS 颜色空间,其中 LMS 颜色空间是过渡空间,变换公式为:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.381 & 1 & 0.578 & 3 & 0.040 & 2 \\ 0.196 & 7 & 0.724 & 4 & 0.078 & 2 \\ 0.024 & 1 & 0.128 & 8 & 0.844 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

(2) 在 LMS 颜色空间上进行对数变换。

$$\begin{bmatrix} L_1 \\ M_1 \\ S_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \log L \\ \log M \\ \log S \end{bmatrix} \quad (2)$$

(3) 从  $\log LMS$  颜色空间变换到  $\iota\alpha\beta$  颜色空间。

$$\begin{bmatrix} \iota \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{6}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ M_1 \\ S_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

对参考图像进行亮度重映射的公式如下:

$$L = (l_s - \mu_s) \times \frac{D_t}{D_s} + \mu_t \quad (4)$$

式中: $L$  为变换后新的彩色参考图像中与所对应的像素点亮度值; $l_s$  为彩色参考图像  $\iota$  通道中某一点的亮度值, $\mu_s$  和  $\mu_t$  分别是彩色参考图像和灰度目标图像所有像素点的亮度均值; $D_s$  和  $D_t$  为彩色参考图像和灰度目标图像所有像素点的亮度标准偏差。

## 2 多参数亮度值重映射的颜色传递法

文中提出的多参数亮度值重映射的颜色传递方法是在 Welsh 经典算法的基础上进行了改进,首先对图像进行颜色空间的转换,其次对彩色参考图像进行多参数亮度值重映射,然后灰度目标图像与彩色参考图像的像素进行匹配,最后对匹配之后的灰度图像进行颜色空间的逆变换。

### 2.1 图像的颜色空间转换

RGB 颜色空间到  $\iota\alpha\beta$  颜色空间的转换关系不

是一个简单的变换,变换过程中还要引入其他的颜色空间,增加了空间转换的运算量。颜色空间的亮度分量与灰度图像亮度值的范围不同,将会导致图像的亮度和对比度的降低,因此文中颜色空间转换中选择了更适合进行颜色传递的亮度与色彩分离的 YCbCr 颜色空间。

RGB 与 YCbCr 颜色空间的转换的公式<sup>[19]</sup>如下:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0 & 0.587 & 0 & 0.144 & 0 \\ -0.168 & 7 & -0.331 & 3 & 0.500 & 0 \\ 0.500 & 0 & -0.418 & 7 & -0.081 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

这个转换过程可以将像素点的亮度信号和色度信号分离,而公式(5)的逆过程则是 YCbCr 颜色空间转换到 RGB 颜色空间。

### 2.2 基于多参数亮度值重映射的方法

在 Welsh 经典算法中,亮度值重映射是基于均值和标准差的,如公式(4)所示,但是公式(4)并不能保证经过亮度值重映射后有相同的亮度值动态范围,这将导致颜色误传现象的发生,降低颜色传递的准确度。

根据 Welsh 算法中亮度值重映射公式(4)和图像像素点亮度均值,在基于多参数的亮度值重映射的方法中引入参数  $\lambda_1, \lambda_2$ 。

$$L = \lambda_1 \mu_t + \lambda_2 (l_s - \mu_s) \quad (6)$$

为了使彩色参考图像和微光灰度目标图像的亮度值保持在同一动态范围内,公式(6)必须满足的条件:

$$\begin{cases} L_{\max} = l_{\max} \\ L_{\min} = l_{\min} \end{cases} \quad (7)$$

式中: $L_{\max}$  和  $L_{\min}$  分别表示亮度值重映射后得到的新彩色参考图像中每一列像素点亮度的最大值和最小值; $l_{\max}$  和  $l_{\min}$  则表示灰度目标图像中每一列像素点亮度值的最大与最小值。

根据公式(6)和(7)则可以得到亮度值重映射后新的彩色参考图像中每一列求出一对  $\lambda'$  和  $\lambda''$ :

$$\begin{cases} \lambda' = \frac{l_{t\max} - l_{t\max} - l_{t\min}}{l_{s\max} - l_{s\min} - \mu_t} \\ \lambda'' = \frac{l_{t\max} - l_{t\min}}{l_{s\max} - l_{s\min}} \end{cases} \quad (8)$$

式中: $l_{s\max}$  为彩色参考图像中每一列像素点亮度的

最大值;  $l_{\min}$  为彩色参考图像中每一列像素点亮度的最小值。

由于选择的彩色参考图像与灰度目标图像的大小不同,如彩色参考图像大小为  $M \times N$ ,灰度目标图像的大小为  $I \times J$ ,需要比较两幅图像的大小(若  $N < J$ ),选择列数( $j=1,2,3,\dots,N$ )较小的那幅图像。如果选择的参考图像和目标图像大小一样,则不需要比较,直接取两幅图像中任意图像的列数( $j=1,2,3,\dots,N$ )即可。由此可以得到  $\lambda_1, \lambda_2$ :

$$\begin{cases} \lambda_1 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \lambda_j' \\ \lambda_2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \lambda_j'' \end{cases} \quad (9)$$

式中:  $\lambda_1, \lambda_2$  为第  $j$  列中的参数,把公式(9)代入公式(6)中,得到亮度值重映射后新的彩色参考图像的亮度值,完成了彩色参考图像和灰度目标图像的亮度值重映射。在两幅图像亮度值相差较大时,也能较好地实现彩色图像到灰度目标图像的颜色传递,减少色彩误传现象的发生。

### 2.3 像素匹配

由于灰度目标图像的颜色是由彩色参考图像传递的,所以灰度目标图像与彩色参考图像的像素必须进行匹配。根据目标像素和它周围的像素存在相关性,进行颜色传递过程中匹配像素查找的搜索方法是在当前像素邻域确定的范围内开始进行搜索,只有在该范围内找不到匹配像素时才进行整幅图像的搜索匹配<sup>[20]</sup>。

匹配误差是衡量两幅图像像素匹配程度高低的标准,像素的亮度平均值和亮度标准偏差决定了匹配误差。逐个扫描灰度目标图像中的像素,计算出彩色参考图像与之匹配像素的匹配误差。

$$Err(i,j) = \omega_1 \times \left| \bar{\mu}_s - \bar{\mu}_t \right| + \omega_2 \times \left| \bar{\sigma}_s - \bar{\sigma}_t \right| \quad (10)$$

$$Err_{\min}(i,j) = \min(Err(i,j)) \quad 1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J \quad (11)$$

式中:  $\omega_1, \omega_2$  为误差系数,并且  $\omega_1 + \omega_2 = 1$ ,  $\omega_1, \omega_2$  取不同的值将会得到不同的匹配效果,经过多次的实验,取  $\omega_1 = \omega_2 = 0.5$  时,像素匹配效果较好。 $\bar{\mu}_s, \bar{\mu}_t$  和  $\bar{\sigma}_s, \bar{\sigma}_t$  分别为彩色参考图像和灰度目标图像的局部均值和标准差,局部大小一般取  $5 \times 5$ 。

将得到的  $Err_{\min}$  与阈值  $T$  进行比较,若  $Err_{\min}$  比

阈值  $T$  小,则不需要进行全局像素匹配,反之,则进行全局像素匹配。阈值的计算公式为:

$$T = \frac{1}{2MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N Err(i,j) \quad (12)$$

多参数亮度值重映射的颜色传递方法实现的流程图如图 3 所示。

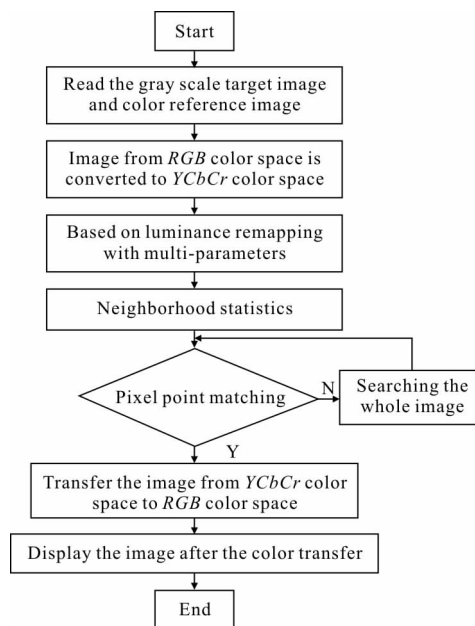


图 3 多参数亮度值重映射的颜色传递方法流程图

Fig.3 Flow diagram of color transfer algorithm of luminance remapping with multi-parameters

## 3 实验结果及分析

选取图像颜色传递方法中的常用图像进行测试,应用文中多参数亮度值重映射的颜色传递方法和已有的参考彩色化方法进行对比。根据图像整体的亮度、对比度、图像颜色分布,以及对图像目标识别和场景理解等方面主观评价彩色化图像的质量;同时借鉴融合图像的评价指标,对彩色化后的灰度图像进行客观评价,采用的评价指标有:信息熵  $H$ 、标准差  $ST$ 、平均梯度  $G$ 、空间频率  $SF$ 。

为了验证文中颜色传递方法的有效性,图 4、图 5 以及图 6 给出了三组不同场景下的实验结果,其中图(a)是彩色参考图像,图(b)为灰度目标图像,图(c)是参考文献[4]中 Welsh 灰度图像彩色化算法生成的彩色图像,图(d)是参考文献[20]改进的 Welsh 快速彩色化算法生成的彩色图像,图(e)是参考文献[8]中灰度图像彩色化算法生成的彩色图像,图(f)为文中

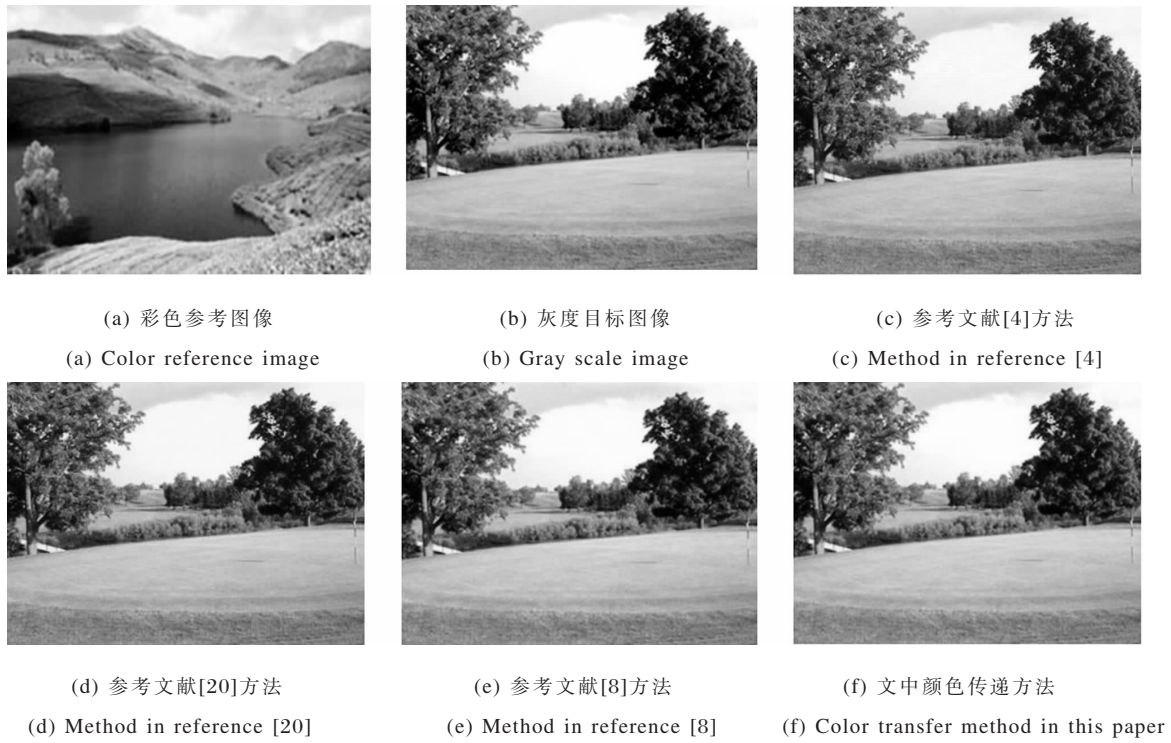


图 4 1# 场景应用不同颜色传递方法生成的彩色图像

Fig.4 Color image generated by different color transfer method for scene No.1

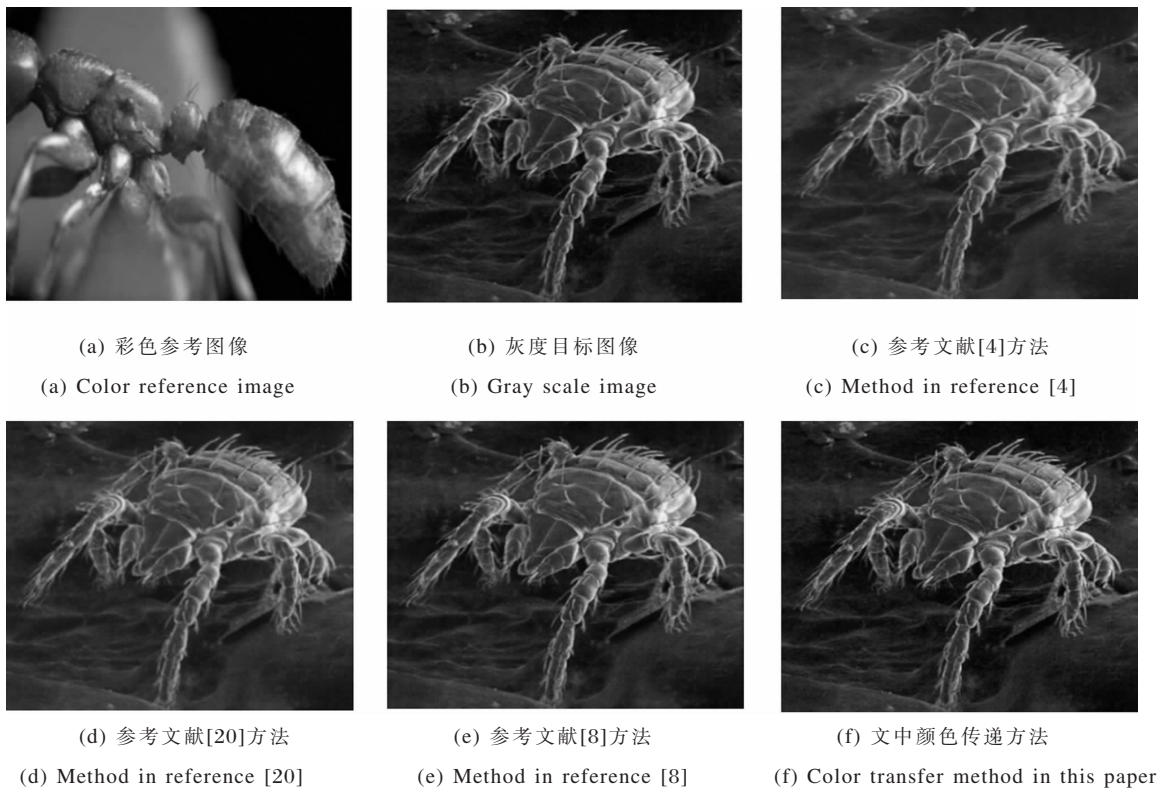


图 5 2# 场景应用不同颜色传递方法生成的彩色图像

Fig.5 Color image generated by different color transfer method for scene No.2



图 6 3# 场景应用不同颜色传递方法生成的彩色图像

Fig.6 Color image generated by different color transfer method for scene No.3

颜色传递方法生成的彩色图像。

从主观评价上看,三组场景图像中图(e)和图(f)相比于图(c)和图(d),能较好地把彩色参考图像中的色彩传递给灰度图像,但是从图像细节来看,文中的颜色传递方法优于参考文献[8]中的颜色传递方法。如图 4 不同颜色传递方法生成的彩色图像中,图(c)、图(d)和图(e)中天空的颜色出现了颜色误传的现象。文中方法得到的图(f)图像能准确地把彩色参考图像的色彩传递给了灰度图像,并且着色自然;在图 5(a)~(f)中,图(c)和图(d)生成的彩色图像着色不均匀,且图(c)、(d)以及图(e)整幅图像的色彩接近彩色参考

图像中物体本身的颜色,发生了颜色误传,文中颜色传递方法生成的彩色图像(f)相比参考颜色传递方法得到的图像效果好,着色自然;在图 6 人脸图像彩色化这组场景中,参考文献[4]和参考文献[20]颜色传递方法生成的彩色图像脸部着色不均匀,有阴影产生,且发生了颜色误传,图(c)、(d)、(e)脸部颜色都没有图(f)中图像脸部更接近参考图像的颜色。

表 1 从客观上评价了四种颜色传递方法得到的图像效果,其中,信息熵  $H$  表示为图像中包含的平均信息量,是衡量图像信息丰富程度的关键指标,信息熵的值越大,说明图像的信息量越多,图像质量越

表 1 灰度图像彩色化的评价指标

Tab.1 Evaluation index of gray scale image colorization

	Fig.4(c)	Fig.4(d)	Fig.4(e)	Fig.4(f)	Fig.5(c)	Fig.5(d)	Fig.5(e)	Fig.5(f)	Fig.6(c)	Fig.6(d)	Fig.6(e)	Fig.6(f)
$H$	7.87	7.85	7.78	7.88	6.85	6.86	6.90	7.01	7.54	7.60	7.65	7.66
$ST$	71.35	70.33	71.93	70.43	49.35	50.06	46.14	39.95	53.84	54.55	55.43	54.49
$G$	12.38	12.36	12.50	12.79	14.80	14.86	15.64	16.23	7.01	7.01	7.01	7.02
$SF$	27.20	27.27	27.81	27.93	34.10	34.25	35.13	35.79	14.84	14.90	14.83	14.91

好;图像的平均梯度  $G$  描述了图像的微小细节变化和纹理变换的能力,平均梯度的值越大,边缘信息和纹理细节越明显;空间频率  $SF$  反映了图像在空间域的总体活跃程度,空间频率的值越大,代表着图像的视觉效果越好;标准差  $ST$  反映了图像中的像素点相对于图像均值的离散情况,标准差越大,图像的反差越大,图像效果越明显,标准差越小,图像就不会有很大的反差,信息的含量就会越少,看到的图像效果就不太好。图 4(c)~(f)中(f)在信息熵  $H$ 、平均梯度  $G$  和空间频率  $SF$  的值相比于图(c)、(d)、(e)的值大,也可看出图 5 和图 6 中图像(f)的值在信息熵  $H$ 、平均梯度  $G$  和空间频率  $SF$  也是比同组其他的值大,说明其图像所含的信息越多,边缘信息以及细节越丰富,图像效果越好;根据表 1 看出三组场景中图(f)的标准偏差值  $ST$  居中,说明三组场景中(f)图像效果较明显。通过以上数据分析,文中颜色传递方法得到的图像质量和图像效果最好,边缘信息和纹理细节也比较明显。

## 4 结 论

文中在分析现有颜色传递算法的基础上,提出了多参数亮度值重映射的颜色传递方法。保证了彩色参考图像和灰度目标图像的亮度值具有相同的动态范围。像素匹配中引入阈值与匹配误差进行比较,提高了彩色参考图像与灰度目标图像像素匹配的准确性,减小了颜色传递误差,使着色后的灰度目标图像颜色更接近彩色参考图像。文中还分析了不同颜色空间的表征,由于原有颜色传递方法中采用  $RGB$  颜色空间转换到  $\iota\alpha\beta$  空间,运算中包括加法、乘法以及对数运算。其中一个像素点由  $RGB$  颜色空间转换到  $\iota\alpha\beta$  颜色空间的计算过程就需要 18 次乘法,12 次加法和 3 次对数运算,计算复杂,运算量大,延长了程序运行时间。文中采用了  $RGB$  颜色空间转换到  $YCbCr$  颜色空间,不存在对数运算,减少了运算量,使程序运行时间较原有方法缩短了 18.2%。同时,实验结果表明,应用文中颜色传递方法得到的彩色化灰度目标图像色彩填充效果均匀自然,具有良好的空间连贯性,提高了人眼对图像中目标的识别率和场景的理解力。

## 参 考 文 献:

- [1] Smith M I, Heather J P. Review of image fusion technology in 2005[C]//SPIE, 2005, 5782: 29-45.
- [2] Jin Weiqi, Wang Lingxue, Zhao Yuanmeng, et al. Developments of image processing algorithms for color night vision [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37 (1): 147-150. (in Chinese)  
金伟其, 王岭雪, 赵源萌, 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] Cai Tiefeng, Zhu Feng, Hao Yingming, et al. Pseudo-color processing of gray images for human visual detection and recognition [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, 44 (S1): 213-219.(in Chinese)  
蔡铁峰, 朱枫, 郝颖明, 等. 面向人眼探测识别的灰度图像伪彩色化方法[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(S1): 213-219.
- [4] Welsh T, Ashikhmin M, Mueller K. Transferring color to grayscale images[C]//Proc ACM TOG, 2002, 20(3): 277-280.
- [5] Li Guangxin, Xu Shuyan, Zhao Yunlong, et al. Fast color image fusion based on color transfer technique [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, 18(7): 1637-1647. (in Chinese)  
李光鑫, 徐抒岩, 赵运隆, 等. 颜色传递技术的快速彩色图像融合[J]. 光学精密工程, 2010, 18(7): 1637-1647.
- [6] Yin Songfeng, Cao Liangcai, Yang Hua, et al. Color contrast enhancement method to improve target detectability in night vision fusion[J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2009, 28(4): 281-284. (in Chinese)  
殷松峰, 曹良才, 杨华, 等. 提高夜视融合目标可探测性的颜色对比度增强方法 [J]. 红外与毫米波学报, 2009, 28 (4): 281-284.
- [7] Xue Mogen, Liu Cunchao, Zhou Pucheng. A novel local color transfer method for night vision image [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, 44(2): 781-785. (in Chinese)  
薛模根, 刘存超, 周浦城. 夜视图像局部颜色传递算法[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(2): 781-785.
- [8] Li Chengli, Shi Junsheng, Wei Li, et al. Color fusion of night vision image based on color transfer and target enhancement[J]. *Laser and Infrared*, 2016, 46(5): 607-611. (in Chinese)  
李成立, 石俊生, 魏利, 等. 基于颜色传递和目标增强的夜视图像彩色融合[J]. 激光与红外, 2016, 46(5): 607-611.
- [9] Wang H K, Wu B, Zhao Y, et al. Pseudo-color based visual

- method of sonar detection [C]//2011 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing, 2011: 1347–1358.
- [10] Qian Xiaoyan, Zhang Tianci, Wang Bangfeng, et al. Color night vision algorithm based on local color mapping [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2012, 17(5): 90–94. (in Chinese)  
钱小燕, 张天慈, 王帮峰, 等. 局部颜色映射的彩色夜视算法 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(5): 90–94.
- [11] Zhao Yuanmeng, Wang Lingxue, Jin Weiqi, et al. A color transfer method for colorization of grayscale image based on region histogram statistics [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2012, 32(3): 322–326. (in Chinese)  
赵源萌, 王岭雪, 金伟其, 等. 基于区域直方图统计的灰度图像色彩传递方法 [J]. 北京理工大学学报, 2012, 32(3): 322–326.
- [12] Hogervorst M A, Toet A. Fast natural color mapping for night-time imagery [J]. *Information Fusion*, 2010, 11(2): 69–77.
- [13] Hogervorst M A, Toet A. Improved colour matching technique for fused nighttime imagery with daytime colours [C]//SPIE, 2016, 9987: 99870J.
- [14] Hao Guiqing, Wang Bingyang. Color reduction method based on the RGB color space [J]. *Foreign Electronic Measurement Technology*, 2016, 11(35): 24–26, 41. (in Chinese)  
郝贵青, 王冰洋. 一种基于 RGB 颜色空间的色彩还原方法 [J]. 国外电子测量技术, 2016, 11(35): 24–26, 41.
- [15] Huang Guoxiang. RGB color space and its application [D]. Changsha: Central South University, 2002. (in Chinese)  
黄国祥. RGB 颜色空间及其应用研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2002.
- [16] Liu Rongpan. Application of global fuzzy C-means clustering algorithm in color transfer between images [D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2009. (in Chinese)  
刘永攀. 全局模糊 C-均值聚类算法在色彩迁移中的应用 [D]. 广州: 中山大学, 2009.
- [17] Neelamani R, de Queiroz R, Fan Z G, et al. JPEG compression history estimation for color images [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 15(6): 1365–1378.
- [18] Reinhard E, Ashikhmin M, Gooch B, et al. Color transfer between images [J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2001, 21(5): 34–41.
- [19] Xu Mingwei, Li Yufeng, Chen Niansheng, et al. Coloration of the low light level and infrared image using multi-scale fusion and nonlinear color transfer technique [J]. *Infrared Technology*, 2012, 34(12): 722–728. (in Chinese)  
徐铭蔚, 李郁峰, 陈念生, 等. 多尺度融合与非线性颜色传递的微光与红外图像染色 [J]. 红外技术, 2012, 34(12): 722–728.
- [20] Chen Qian. Improvement of Welsh's gray image coloration arithmetic [J]. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2009, 31(22): 151–153, 159. (in Chinese)  
陈倩. 一种改进的 Welsh 灰度图像彩色化算法 [J]. 武汉理工大学学报, 2009, 31(22): 151–153, 159.