红外与可见光图像融合的汽车抗晕光系统

郭全民,董 亮,李代娣

(西安工业大学 电子信息工程学院,陕西 西安 710021)

摘 要:针对夜间汽车晕光现象引起的交通安全问题,从规避碰撞物的角度出发,设计了一种红外与可见光图像融合的视频抗晕光系统。系统通过对可见光图像和红外图像做 MSR 图像增强,解决了夜间可见光图像亮度低,暗处信息不易获取的问题,并提高了红外图像对比度,提升了融合图像的清晰度;通过 YUV 与小波变换结合的方式对增强后的可见光图像和红外图像进行融合,消除了晕光现象。实验结果的主客观分析表明:该融合算法比 YUV 与小波融合算法在熵、均值、平均梯度、标准差上分别提高了 1.6%、13.5%、25.3%、0.6%,该系统不仅能有效消除晕光,还对融合后图像的亮度和暗处细节信息有较大提升,提高了夜间驾驶安全性。

关键词:抗晕光; 图像融合; MSR 图像增强; YUV 变换; 小波变换

中图分类号:TP391 **文献标志码**:A **DOI**:10.3788/IRLA201746.0818005

Vehicles anti-halation system based on infrared and visible images fusion

Guo Quanmin, Dong Liang, Li Daidi

(School of Electronic Information Engineering, Xi′an Technological University, Xi′an 710021, China)

Abstract: To avoid collisions caused by night vehicles halation, a video anti-halation system of infrared and visible images fusion was designed. Visible light image and infrared image were enhanced by MSR enhancement algorithm to solve the difficulty in achieving the dark place information caused by low-light level of night visible light image, and the contrast of infrared image was improved, which consequently improved the definition of the fusion image; And the halation was eliminated by the method of infrared and visible images fusion based on YUV and wavelet transformation. Compared with the YUV and wavelet fusion algorithm, the fusion algorithm proposed in this paper can increase the entropy, mean value, average gradient and standard deviation by 1.6%, 13.5%, 25.3% and 0.6%, respectively. Experiment results show that the designed system can effectively eliminate the halation, and improves the image brightness and details in the picture, which improves the safety of night driving.

Key words: anti-halation; image fusion; MSR image enhancement; YUV transformation; wavelet transformation

收稿日期:2016-12-10; **修订日期**:2017-01-15

基金项目:陕西省教育厅科研计划(11JK0989)

作者简介:郭全民(1974-),男,教授,硕士生导师,博士,主要从事智能传感与信息融合、图像处理及机器视觉方面的研究。Email: guoqm@163.com

0 引 言

驾驶员灯光使用习惯对夜间道路车辆行驶安全有很大影响,远光灯的不正确使用会使对向来车的驾驶员因受晕光干扰造成视觉盲区,无法看清两车间的行人以及前车两侧和后方的事物,极易诱发交通事故。据公安部统计数据,国内发生在夜间的交通事故中,与远光灯的不当使用有关的达到 30%~40%[1]。

为了减小晕光影响,提高驾驶安全性,德国汽车制造商在宝马 740Li 等高档轿车上配备了红外夜视系统,利用红外热成像技术消除晕光现象[2],解决了晕光干扰问题,但由于红外图像为灰度图像,没有色彩信息,存在车牌号、车身及交通灯颜色等图像重要细节信息无法获取的问题。参考文献[3]使用积分时间长短不同的两路 CCD 摄像机,同步获取同一探测目标两路图像信号,通过置换对应晕光像素点的亮度值,保留了可见光色彩丰富的优点,缺点是不能彻底消除晕光。参考文献[4]采用红外与可见光图像融合技术,对可见光图像做 IHS 变换,将提取到的亮度分量与红外图像利用小波变换融合的方法来消除晕光,这种方法能有效消除晕光,处理速度快,但由于融合后图像的轮廓及暗处信息丢失较多,存在图像模糊的问题;参考文献[5]中提出了一种基于 YUV 彩色空间与小波变换的融合方法,这种方法消除晕光效果较好,图像细节信息丢失较少,但融合后的图像亮度降低,不利于观察暗处细节信息。

通过对夜间晕光引发的交通安全事故分析发现,事故多发生在驾驶人员避让对向车辆过程中,碰撞的物体多为前车周围阴暗处的车辆、行人等。因此,如果不能提高图像亮度,增强图像暗处细节信息,而仅仅依赖于提高消除晕光的效果,并不能完全有效地避免交通安全事故的发生。为此,文中提出了一种基于 MSR 图像增强的 YUV 与小波变换融合的视频抗晕光系统。其中 MSR 图像增强算法[6]对夜间可见光图像中原本肉眼不易获取的暗处路口、行人等细节有很大增强,起到了有效规避暗处行人、障碍等易诱发交通事故物体的作用,同时提高了夜间红外图像的对比度,减少了夜间可见光图像和红外图像融合后图像边界模糊的现象;YUV 正变换实现了可见光图像亮度分量的提取;小波变换实现了可见光图像亮度分量与红外图像的融合,达到了消除晕光的目的,同时较好地保留了图像的光谱信息;YUV 反变换实现了新的亮度分量和色度分量的重构,得到了消除晕光的彩色图像。

1 系统工作原理

红外与可见光图像融合抗晕光系统由图像采集、图像处理和系统控制 3 个部分组成,系统原理框图如图 1 所示。其中,图像采集模块采集夜间道路的红外和可见光视频图像信息;图像处理模块首先对红外图像进行滤波去噪,并以红外图像为基准对可见光图像进行空域配准,然后分别对红外图像和可见光图像做图像增强,再对增强后的红外和可见光图像进行融合,并对融合后图像进行重构,得到最终的融合图像;系统控制模块实现处理结果的显示和保存,以及对系统各模块的协调和控制。

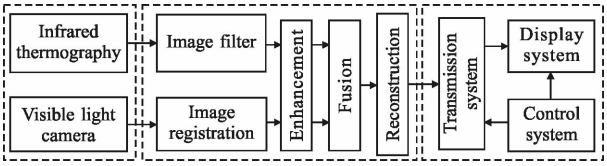


图 1 系统工作原理框图

Fig.1 Working principle of system

2 可见光和红外图像融合的抗晕光方法

2.1 图像预处理

(1) 为了去除红外图像中的噪声,使整体效果更为平滑,采用 3×3 模板做均值滤波,其数学表达式为:

$$g(x,y)=\frac{1}{N}\sum_{(i,j)\in S}f(i,j) \tag{1}$$

式中:$f(i,j)$表示原图像;S 表示中心点(x,y)的领域合集;N 表示 S 内的像素数。图 2(a)中的红外图像经滤波处理后结果如图 2(b)所示。

(a) 红外图像 (b) 3×3 滤波图像

(a) Infrared image (b) 3×3 filtered image

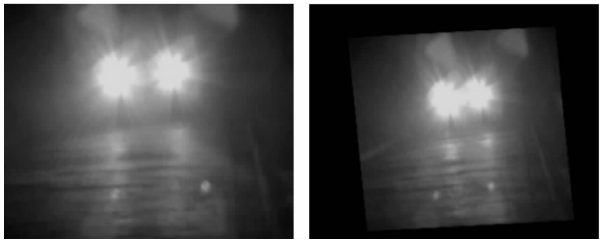
图 2 图像滤波

Fig.2 Image filtering

(2) 为了保证所采集到的夜间道路红外图像和可见光图像时空位置的一致性，以夜间道路红外图像作为参考图像，根据仿射变换原理[7]，对同时刻采集到的可见光图像和红外图像的特征点进行提取，求出待处理的两幅图像对应的变换参数。对可见光图像进行反变换可得到以同时刻采集到的红外图像为参考的配准图像。仿射变换公式为：

$$\begin{pmatrix} x_i' \\ y_i' \end{pmatrix} = k \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \tag{2}$$

式中：(x,y)为配准前可见光图像中的点；(x',y')为配准后图像中的对应点；k 为同时刻采集到的可见光图像相对于红外图像的比例因子；θ 为旋转因子；Δx、Δy 对应图像在两个坐标轴上的平移量。图 3(a)中的可见光图像配准后结果如图 3(b)所示。



(a) 可见光图像 (b) 配准后图像

(a) Visible light image (b) Registrated image

图 3 图像配准

Fig.3 Image registration

2.2 基于 MSR 图像增强的 YUV 和小波变换结合的图像融合

为了获取车辆两侧及后方等暗处细节信息，对采集到的夜间可见光图像和红外图像做 MSRCR 图像增强，以提高图像的亮度及对比度；结合 YUV 的色彩信息与小波变换能较好地保留图像光谱信息的优点，对增强后的可见光图像做 YUV 正变换提取出亮度分量 Y 和色度分量 U、V，将亮度分量 Y 与增强后的红外图像进行小波融合，得到新的亮度分量 Y'，然后将新的亮度分量 Y' 和色度信号分量 U、V 进行小波重构得到最终的彩色融合图像，融合过程如图4所示，步骤如下：

(1) 对配准后的红外与可见光图像进行 MSR 图像增强，获得图像细节信息更丰富、亮度更高的红外与可见光图像。

MSR 增强算法是基于 Retinex 理论的[8]，结合特定的夜间道路环境，传感器采集到的夜间道路图像信息由图像中事物对各波段光线的反射能力决定，图像中明处和暗处物体的色彩不受夜间道路环境光照不均的影响。道路环境的照明情况和物体表面对照射光的反射决定了图像传感器采集到的夜间道路图像中物体的亮度[9]，其表达式为：

$$I(x,y)=L(x,y)R(x,y) \tag{3}$$

式中：$I(x,y)$为可见光和红外传感器接收到的图像信号；$L(x,y)$为夜间道路环境光的照射分量；$R(x,y)$为包含图像细节信息的物体的反射性质图像。图像数据 $I(x,y)$由传感器获取，只需得到环境光的照射分量 $L(x,y)$，即可求出增强后的图像 $R(x,y)$。

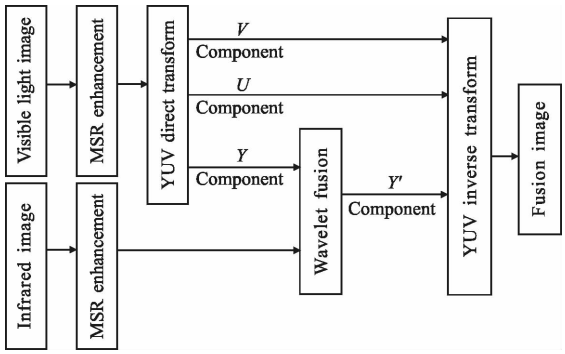


图 4 图像融合过程

Fig.4 Image fusion process

MSR 图像增强算法的基本思想：对待求取的中心像素点周围环绕像素赋予不同的权值，来估计中心像素点的亮度，并对多个固定尺度的色彩通道进行线性加权增强图像信息[10-11]。算法可表示为：

$$R_{\mathrm{MSR}i}(x,y)=\sum_{n=1}^{N} W_n\left\{\log\frac{I_i(x,y)}{F_n(x,y)*I_i(x,y)}\right\} \tag{4}$$

$$F_n(x,y)=\mu_n\cdot\exp((-(x^2+y^2)^2)/c^2) \tag{5}$$

$$\iint F_n(x,y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y=1 \tag{6}$$

式中：$R_{\mathrm{MSR}i}(x,y)$ 为第 i 个颜色通道的 Retinex 增强输出，$i\in R,G,B$ 为 RGB 图像的 3 个颜色通道；N 为尺度因子个数；W_n 为与之对应的权重系数，满足 $\sum_{n=1}^{N} W_n=1$；$I_i(x,y)$为第 i 个颜色通道的图像分布；$F_n(x,y)$为对应通道的高斯环绕函数；μ_n 为对应通道的归一化常数，使得 $F_n(x,y)$满足公式(5)。

由公式(5)可以看出：尺度因子 c 决定了 MSR 增强算法的增强效果，当 c 较大时，图像自然效果较好，当 c 较小时，图像细节突出。

红外图像属于灰度图像，而 MSR 增强算法是分通道对 RGB 图像进行增强，故可将红外图像类比成其中的某一个通道，作为单通道采用 MSR 增强算法进行处理，以提高图像亮度和对比度。

配准后的可见光图像(图 3(b))增强后如图 5(a)所示，滤波后的红外图像(图 2(b))增强后如图 5(b)所示。

(a) 可见光增强图像 (b) 红外增强图像

(a) Visible light enhanced image (b) Infrared enhanced image

图 5 图像增强

Fig.5 Image enhancement

(2) 对增强后的可见光图像做 YUV 正变换，得到色度分量 U、V，以及将与红外图像进行融合的亮度分量 Y。

因增强后的可见光图像为 RGB 模式，故需对其做 YUV 正变换，得到色度分量 U、V 和亮度分量 Y。其中亮度分量集中了晕光信息，且与红外图像相似，不包含色彩信息，将亮度分量与红外图像进行融合，既可以有效消除晕光，又保证了原可见光图像的色彩信息不受干扰。YUV 正变换公式为：

$$\begin{cases} Y=0.299R+0.587G+0.144B \\ U=-0.168\,7R-0.331\,3G+0.5B+128 \\ V=0.5R-0.418\,7G-0.081\,3B+128 \end{cases} \tag{7}$$

式中：R 为红色分量；G 为绿色分量；B 为蓝色分量。

(3) 亮度分量 Y 与红外灰度图像进行小波分解，并进行小波重构即可得到新的亮度分量 Y'。

在得到 Y、U、V 3 个分量后，将 Y 分量与红外灰度图像进行小波分解。小波变换是一种图像的多尺度多分辨率分解[12]，其分解公式为[13]：

$$\begin{cases} c_k(i,j)=\sum_m\sum_n C_{k-1}(m,n)h(2m-i)h(2n-j) \\ d_H(i,j)=\sum_m\sum_n C_{k-1}(m,n)h(2m-i)g(2n-j) \\ d_V(i,j)=\sum_m\sum_n C_{k-1}(m,n)g(2m-i)h(2n-j) \\ d_D(i,j)=\sum_m\sum_n C_{k-1}(m,n)g(2m-i)g(2n-j) \end{cases} \tag{8}$$

式中：h，g 为滤波器系数；$C_{k-1}(m,n)$为待分解图像；c_k、d_H、d_V 和 d_D 分别为源图像分解出的低频、水平高频、垂直高频和对角高频分量。

小波分解后，首先把 Y 分量的低频分量与红外图像的低频分量按照公式(9)进行加权平均，经试验发现相应的权值取 0.5 效果最好，同时将可见光图像的高频分量和红外图像的高频分量按公式(10)进行绝对值取大处理。

$$Y_L'=w_1*Y_L+w_2*IR_L \tag{9}$$

$$Y_H'=\begin{cases} Y_H & Y_H\geqslant IR_H \\ IR_H & Y_H<IR_H \end{cases} \tag{10}$$

式中：Y_L 为亮度分量的低频分量；IR_L 为红外图像的低频分量；Y_H 为亮度分量的高频分量；IR_H 为红外图像的高频分量。

通过以上处理后，得到了新的低频分量和高频分量，进行小波重构即可得到新的亮度分量 Y'，设为 $C_{k-1}(m,n)$，其重构算法如下：

$$\begin{aligned} C'_{k-1}(m,n)=&\sum_i\sum_j C_k'(i,j)h(2m-i)h(2n-j)+ \\ &\sum_i\sum_j d_H'(i,j)h(2m-i)g(2n-j)+ \\ &\sum_i\sum_j d_V'(i,j)g(2m-i)h(2n-j)+ \\ &\sum_i\sum_j d_D'(i,j)h(2m-i)g(2n-j) \end{aligned} \tag{11}$$

式中：h，g 为滤波器系数；C'_{k-1} 为待求取的重构图像 Y'；C_k'、d_H'、d_V' 和 d_D' 分别为融合后的低频、水平高频、垂直高频和对角高频分量。

(4) 将小波重构的得到图像进行 YUV 逆变换转换为 RGB 图像，获得的图像即为可见光和红外的抗晕光融合的最终图像。

YUV 逆变换如下：

$$\begin{cases} R=Y+1.402(V-128) \\ G=Y-0.344(U-128)-0.714(V-128) \\ V=B=Y+1.772(U-128) \end{cases} \tag{12}$$

3 实验结果及分析

为了验证算法的有效性，将采集的图像采用传统的 YUV 变换、YUV 与小波变换以及文中提出的算法进行处理，结果如图 6 所示。

从实验结果可以看出：图 6(a)中经 YUV 变换处

理后的图像基本消除了晕光现象,但亮度有所降低,细节模糊,车辆两侧植物细节丢失严重,道路边沿模糊,车辆后方路口和建筑模糊不清;图 6(b)中 YUV 与小波变换融合后的图像,基本消除了晕光现象,相比较于 YUV 变换图像细节信息有所提升,图像对比度得到明显增强,但车辆两侧和后方信息仍模糊不清;图 6(c)中经 MSR 图像增强的 YUV 和小波变换融合后的图像,基本消除了晕光现象、图像亮度明显提高,图像细节轮廓信息更加清晰,车辆两侧路沿清晰,车前道路和花坛中植物出现纹理信息,车辆后方路口、建筑等清晰可见,车内驾驶员的轮廓清晰。在实际夜间道路环境中,当晕光发生时这些细节信息非常重要,能让驾驶人员有效躲避碰撞物。

(a) YUV 变换

(a) YUV transformation

(b) YUV+小波变换

(b) YUV+Wavelet transformation

(c) MSR+YUV+小波变换

(c) MSR+YUV+Wavelet transform

图 6 实验结果

Fig.6 Experimental results

为客观分析图像处理结果,引入图像评价指标:熵、均值、平均梯度、标准差[14-16],对分别采用 YUV 变换、YUV+小波变换和文中算法的图像融合结果进行客观数据评价。评价结果如表 1 所示。

通过对比 YUV 变换、YUV+小波变换以及基于 MSR 图像增强的 YUV 与小波变换融合的算法处理结果分析,文中提出的融合算法比 YUV 变换后图像的熵提高了 1.9%,比 YUV+小波变换提高了 1.6%,表明融合后的图像包含信息更多,由于采集到的图像分辨率较低,可供处理的像素信息较少,提升较小;图像均值比 YUV 变换提高了 15.3%,比 YUV+小波变换后提升了 13.5%,表明融合后的图像亮度明显提高;平均梯度比 YUV 变换提高了 46.5%,比 YUV+小波变换后图提高了 25.3%,表明图像清晰度更高;标准差比 YUV 变换提高了 0.7%,比 YUV+小波提高 0.6%,表明图像纹理信息略有提高。

表 1 融合图像的客观评价

Tab.1 Objective evaluation of fusion images

Evaluation index	YUV	YUV+Wavelet	Proposed algorithm
Entropy	6.814	6.836	6.947
Mean value	73.924	75.101	85.262
Average gradient	0.007	0.008	0.010
Standard deviation	38.461	38.484	38.732

通过对采用文中算法处理后的图像进行的主客观分析,验证了提出的基于 MSR 图像增强的 YUV 与小波变换融合的汽车抗晕光方法的有效性,尤其是 MSR 增强算法的引入,相对于传统 YUV 和小波的融合算法在画面整体亮度和细节信息方面提升效果显著。

4 结束语

文中针对现有抗晕光融合算法普遍存在的融合后图像亮度和对比度降低、不利于人眼观察的不足,为了在消除晕光的同时提高图像暗处细节信息以规避碰撞,提出了 MSR 图像增强的 YUV 与小波变换融合的汽车抗晕光系统。从抗晕光效果的主客观分析可以看出:经系统处理后获得的融合图像在消除晕光的同时,轮廓细节更清晰,亮度更高,尤其是对车辆两侧路沿和植物信息的对比度和亮度提升较多,车辆后方建筑、路口等细节信息清晰可见,从避免实际碰撞情况发生的角度解决了夜间行车晕光引起的交通安全问题。

参考文献:

[1] Chen Lin. The legal issues study on the high beams car meeting at night [J]. ***Legal System and Soceity***, 2014(23):

71-72. (in Chinese)
陈琳. 夜间行车远光灯会车法律问题研究 [J]. 法制与社会, 2014(23): 71-72.

[2] Luo Yuan, Wang Lingxue, Jin Weiqi, et al. Developments of image processing algorithms and systems for LLL (Vis.)/IR color night vision [J]. ***Infrared Technology***, 2010, 32 (6): 337-344. (in Chinese)
骆媛, 王岭雪, 金伟其, 等. 微光(可见光)/红外彩色夜视技术处理算法及系统进展[J]. 红外技术, 2010, 32(6): 337-344.

[3] Wang Jian, Yang Zhe, Guo Quanmin. Research on video anti-blooming [C]//International Congress on Image and Signal Processing, 2010, 3: 491-494.

[4] Guo Quanmin, Li Xiaoling. Vehicles′ anti-blooming method based on visible and infrared images fusion [J]. ***Infrared Technology***, 2015, 37(6): 475-478. (in Chinese)
郭全民, 李晓玲. 基于可见光和红外图像融合的汽车抗晕光方法[J]. 红外技术, 2015, 37(6): 475-478.

[5] Wang Jian, Zheng Shaofeng. Visible and infrared image fusion based on YUV color space and wavelet transform [J]. ***Journal of Xi′an Technological University***, 2013, 33 (3): 209-211. (in Chinese)
王健, 郑少峰. 基于 YUV 与小波变换的可见光与红外图像融合[J]. 西安工业大学学报, 2013, 33(3): 209-211.

[6] Dou Yiwen, Zhou Mingzheng, Tang Ganyi, et al. Focus-guided multi-scale Retinex with color restore algorithm [J]. ***Computer Engineering and Applications***, 2013, 49(2): 207-270. (in Chinese)
窦易文, 周鸣争, 唐肝翌, 等. 焦点引导的带颜色恢复的多尺度 Retinex 算法 [J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(2): 207-270.

[7] Huang Yongdong, Bai Xiaojuan, Yang Jianwei. Parametric estimation and realization of affine transformation based on the central projection [J]. ***Journal of Optoelectronics·Laser***, 2013, 24 (9): 1833-1837. (in Chinese)
黄永东, 摆晓娟, 杨建伟. 基于中心投影的仿射变换参数估计与实现[J]. 光电子·激光, 2013, 24(9): 1833-1837.

[8] Jiang B, Woodell G A, Jobson D J. Novel multi-scale retinex with color restoration on graphics processingunit [J]. ***Journal of Real-Time Image Processing***, 2015, 10(2): 239- 253.

[9] Liang J W, Zhang X Q. Retinex by higher order total variation decomposition [J]. ***Journal of Mathematical Imaging & Vision***, 2015, 52(3): 345-355.

[10] Chen Zhibin, Zhang Chao, Song Yan, et al. Application of Retinex with grayscale stretching in large dynamic range smoke image enhancement [J]. ***Infrared and Laser Engineering***, 2014, 43(9): 3146-3150. (in Chinese)
陈志斌, 张超, 宋岩, 等. 灰度拉伸 Retinex 在大动态范围烟雾图像增强中的应用[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(9): 3146-3150.

[11] Li Jin, Wang Junping, Wan Guoting, et al. Novel algorithm for image enhacement with histogram equalization and MSRCR [J]. ***Journal of Xidian University***, 2014, 41 (3): 104-109. (in Chinese)
李锦, 王俊平, 万国挺, 等. 一种结合直方图均衡化和 MSRCR 的图像增强新算 [J]. 西安电子科技大学学报, 2014, 41(3): 104-109.

[12] Zeng Xiangtong, Zhang Yuzhen, Sun Jiasong, et al. One color contrast enhaced infrared and visible image fusion method [J]. ***Infrared and Laser Engineering***, 2015, 44 (4): 1198-1202. (in Chinese)
曾祥通, 张玉珍, 孙佳嵩, 等. 颜色对比度增强的红外与可见光图像融合方法 [J]. 红外与激光工程, 2015, 44(4): 1198-1202.

[13] Yang Shaokui, Liu Wen. Color fusion method for low-level light and infrared inages [J]. ***Infrared and Laser Engineering***, 2014, 43(5): 1654-1659. (in Chinese)
杨少魁, 刘文. 一种微光与红外图像彩色融合方法 [J]. 红外与激光工程, 2014, 43(5): 1654-1659.

[14] Tong Tao, Meng Qiangqiang, Sun Jiacheng, et al. Multi-sensor image fusion algorithm based on edge feature [J]. ***Infrared and Laser Engineering***, 2014, 43(1): 311-317. (in Chinese)
童涛, 孟强强, 孙嘉成, 等. 基于边缘特征的多传感器图像融合算法[J]. 红外与与激光工程, 2014, 43(1): 311-317.

[15] Xu Chunmei, Li Gang, Hu Wengang, et al. Infrared image quality evaluation[J]. ***Infrared Technology***, 2004, 26(6): 72-75. (in Chinese)
徐春梅, 李刚, 胡文刚, 等. 红外图像评价质量研究 [J].红外技术, 2004, 26(6): 72-75.

[16] Chen Huijuan, Qian Yafeng, Li Bo, et al. Assessment method for color image quality based on HVS and quaternion [J]. ***Jounal of Nanjing University***, 2015, 51 (2): 271-278. (in Chinese)
陈惠娟, 钱亚枫, 李勃, 等. 基于 HVS 和四元数的彩色图像质量评价方法[J]. 南京大学学报, 2015, 51(2): 271-278.