

真彩微光夜视图像融合算法

蒋云峰*, 武东生, 黄富瑜

陆军工程大学石家庄校区电子与光学工程系, 河北 石家庄 050000

摘要 简要阐述了基于全波与三波段的真彩色微光夜视系统原理, 结合图像融合的一般算法, 研究了加权平均法、基于线性变换增强的 Brovey 法、HIS(色调、亮度和饱和度)空间法及基于边缘分割的 HIS 法 4 种真彩微光夜视图像融合算法, 详细阐述了融合算法的实现方法和过程。研究结果表明, 利用基于线性变换增强的 Brovey 法, 得到场景一和场景二的融合图像的综合客观评价指标值, 分别为 27.9647、31.2756, 均大于其余 3 种算法得到的值。在这 4 种融合算法中, 由基于线性变换增强的 Brovey 法得到的融合图像视觉效果最优。

关键词 图像处理; 夜视; 真彩微光夜视; 融合算法; 客观评价; 图像融合质量

中图分类号 O439

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP56.081008

Image Fusion Algorithms for True Color Low Light Level Night Vision

Jiang Yunfeng*, Wu Dongsheng, Huang Fuyu

Department of Electronics and Optical Engineering, Army Engineering University, Shijiazhuang, Hebei 050000, China

Abstract The principle of a true color low light level night vision system based on full-wave and three-wave bands is briefly described. Combining with the general image fusion algorithms, four image fusion algorithms for low-light-level night vision, including the weighted average method, the Brovey method based on linear transformation enhancement, the HIS (hue, intensity and saturation) space method, and the HIS method based on edge segmentation are studied. The realization methods and processes of these fusion algorithms are described in detail. The research results show that by the Brovey method based on linear transformation enhancement, the comprehensive objective evaluation indexes of fusion images for Scene 1 and Scene 2 are 27.9647 and 31.2756, respectively, larger than those by the other three algorithms. Among these four fusion algorithms, the visual effect of fusion images obtained by the Brovey method based on linear transformation enhancement is the best.

Key words image processing; night vision; true-color low-light-level night vision; fusion algorithm; impersonal evaluation; image fusion quality

OCIS codes 100.2000; 350.2660; 330.3790; 110.3000

1 引言

传统夜视包括微光夜视技术与红外夜视技术, 由于其工作原理的制约, 传统夜视技术产生的都是灰度图像^[1], 仅能依靠图像灰度差别进行目标识别。红外夜视仪得到的图像虽然亮度高, 但细节信息缺乏, 只有大致的轮廓; 而微光夜视仪得到的图像亮度低, 同样细节信息缺乏。人眼只能区分大约几十种灰度级, 但可以区分上千种彩色^[2]。针对人眼对于色彩更为敏感的特性, 实现彩色夜视具有重要的应

用价值。

近年来, 彩色夜视领域主要有微光与红外图像融合^[3]、微光双波段融合^[4]等, 而图像融合方法有许多, 例如基于拉普拉斯金字塔变换的图像融合算法、基于 YUV(亦称 YCrCb)空间的色彩传递算法^[5]、基于小波变换的图像融合方法等。国内外很多机构和大学在这一领域做出了很多研究工作, 利用这些方法可以实现伪彩色夜视。为实现彩色显示, 美国国际电话电报公司推出了一款伪彩色夜视仪, 展示的夜视效果良好^[6]。

收稿日期: 2018-10-08; 修回日期: 2018-10-10; 录用日期: 2018-10-31

基金项目: 国家自然科学基金(61801507)

* E-mail: 619780336@qq.com

现多数彩色夜视方法是用红外与可见光波段图像融合^[7]获得假彩色图像,但得到的假彩色图像与人眼的识别经验并不吻合,延长了人眼的识别时间。故而希望找到一种可以得到识别目标的真彩色图像的有效方法。现国外仅有为数不多的报道与真彩夜视仪相关,但这些报道只是简单地介绍产品,并没有为真彩夜视技术研究带来实际的价值和意义,如来自日本的新相机 FALCON EYE KC-2000、美国 Tenebraex 公司研制的 ColorPath™ CCNVD (Color Capable Night Vision Device) 彩色夜视仪。国内北京理工大学等高校对于真彩夜视技术进行了深入研究。据目前了解可知,要想得到真彩色夜视图像,可以通过直接和间接的方式得到。直接方式是通过硬件直接得到,例如上述的 KC-2000 相机;间接方式包括基于融合的方法和基于颜色转换的方法,其中基于融合的方法是通过多个传感器采集分光谱图像,将分光谱图像进行融合得到彩色图像,而基于颜色转换的方法则是通过与参考图

像作对比,使当前的灰度图像转换为彩色图像的方法^[8]。本文在间接方式的基础上基于融合方法对彩色夜视融合算法^[9]进行研究。

2 系统基本原理

夜晚条件下,由于月光、星光以及大气辉光的存在,夜天光中仍然存在低于人眼视觉响应阈值的可见光光谱。根据色度学原理,任意彩色光谱 C , 都能分解成三基色光谱 R 、 G 、 B 的叠加^[10], 即 $C = r(R) + g(G) + b(B)$, 式中 r 、 g 、 b 分别为三基色光谱的值。据此,利用滤光、分光装置将系统接收到的目标光谱进行三基色分离、成像,然后利用融合算法对图像进行真彩还原,就可以得到真彩微光夜视图像。为提高微光图像的细节分辨能力和低照度条件下的适用性,三波段真彩微光夜视图像通常由全波图像及三幅分波段图像融合而成^[2]。系统原理图如图 1 所示。其中融合算法是影响真彩微光夜视图像质量的重要因素。

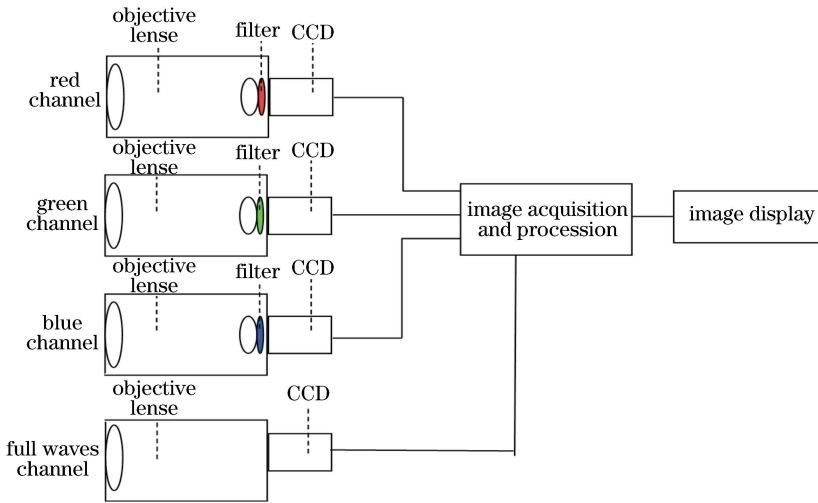


图 1 三波段真彩色夜视系统原理

Fig. 1 Principle diagram of three-band true-color night vision system

实验中,在室内与室外分别采集场景一、场景二的源图像,环境照度分别为 0.0012 lx、0.0006 lx,工作温度分别为 20 ℃、13 ℃。探测器选用星光级电子耦合器件(CCD)WAT-902H2,供电电源电压为 12 V。

3 图像融合算法

昼视彩色图像融合常用的方法是将 R 、 G 、 B 波段图像分别输入到彩色图像的 3 个分量通道,随即得到色彩较为真实的融合图像^[11]。相较于昼视图像,夜视图像存在对比度和亮度较低、噪声大等缺点,采集到的源图像如图 2、3 所示。昼视彩色图像

融合算法直接用于三波段真彩微光夜视图像融合效果不佳。针对夜视图像自身特点,结合图像融合的一般算法,提出了 4 种真彩微光夜视图像融合算法。

3.1 加权平均法

加权平均法是图像融合算法中最为传统、最为简单的一种。加权平均法是对一目标进行多次观测,按照一定权重计算出加权平均值,将其作为待融合图像进行图像融合的方法^[12]。加权平均法可表示为

$$F(m, n) = \omega_1 A_1(m, n) + \omega_2 A_2(m, n) + \dots + \omega_n A_n(m, n), \quad (1)$$



图 2 场景一的源图像。(a)全波图像;(b)短波图像;(c)中波图像;(d)长波图像

Fig. 2 Source images for Scene 1. (a) Full-wave image; (b) short-wave image; (c) medium-wave image; (d) long-wave image

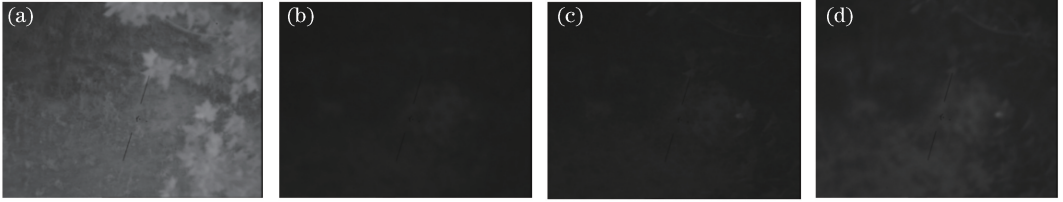


图 3 场景二的源图像。(a)全波图像;(b)短波图像;(c)中波图像;(d)长波图像

Fig. 3 Source images for Scene 2. (a) Full-wave image; (b) short-wave image; (c) medium-wave image; (d) long-wave image

式中: m 表示图像中像素的行号, $m=1,2,3\cdots M$; n 表示图像中像素的列号, $n=1,2,3\cdots N$; A_1, A_2, \cdots, A_n 为观测值; $\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_n$ 表示加权系数且和为1。

具体流程为:

1) 为充分利用全波图像的细节信息,待融合图像 R' 可表示为

$$R' = 0.5(1 - C_R)R + [1 - 0.5(1 - C_R)]W,$$

式中: R, W 分别为获取的 R 波段和全波段图像, C_R 为两者相关系数。 G', B' 可依此法得到。

2) 将得到的待融合图像进行融合。

使用加权平均法进行图像融合所得的彩色融合图像如图 4、5 所示。

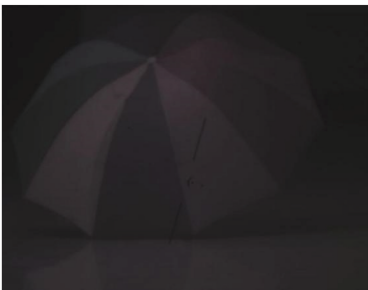


图 4 基于加权平均法的场景一的融合图像

Fig. 4 Fusion image for Scene 1 based on weighted average method

3.2 基于线性变换增强的 Brovey 法

Brovey 提出一种基于 RGB 空间的经典融合算法。多光谱图像 (R_n, G_n, B_n) 与全波图像 W 的关系表达式为



图 5 基于加权平均法的场景二的融合图像

Fig. 5 Fusion image for Scene 2 based on weighted average method

$$\begin{bmatrix} R_n \\ G_n \\ B_n \end{bmatrix} = \frac{W}{R + G + B} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (2)$$

将多光谱图像与全波图像很好地融合在一起,有效利用了分波段图像的光谱信息与全波段图像的细节信息。

Brovey 法对于处理三波段图像的融合效果较好,但没有保留源图像的亮度分量,同时需要对源图像作较高要求的预处理,噪声对于融合效果影响比较大,所以可以先对 R_n, G_n, B_n 进行图像增强,再进行融合。

为解决直方图均衡化增强带来的融合结果的不确定性,提出基于线性变换增强的 Brovey 法进行图像融合。即先采用线性变换的方式对待融合图像进行增强。线性变换是对图像进行不同程度灰度级的展开。

分析 Brovey 法得到的通道分量 R_n , 灰度集中

分布在一个范围较小的区域,灰度值差异较小,亮度较低,而对于8位图像而言,人眼视觉的最佳目视灰度值为127^[13]。为使线性变换后的图像灰度均值适宜人眼观察,采用“均值恒定”的方式对图像进行增强,即调整后的图像灰度均值为127,因此对灰度直方图作如下调整:若原图像灰度均值为 a_1 ,则灰度小于 a_1 的区域线性变换到 $[0,127]$ 区域,而原图像中灰度大于 a_1 的区域线性变换到 $(127,255)$,原图像中灰度为 a_1 的像素点则直接变换到灰度值127。

这种方法具体的实现流程如下:

1) 现将采集到的源图像 R 、 G 、 B 分波段图像以及全波图像 W 进行线性变换,再利用Brovey法得到新的通道分量 R_n 、 G_n 、 B_n ;

2) 求取图像 R_n 、 G_n 、 B_n 的灰度均值 a_1 、 a_2 、 a_3 和图像的灰度最小值 b_1 、 b_2 、 b_3 ;

3) 令线性增强变换后的彩色夜视图像通道分量为 R'_n 、 G'_n 、 B'_n ,则

$$\begin{bmatrix} R'_n \\ G'_n \\ B'_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (127/a_1) \cdot (R_n - b_1) \\ (127/a_2) \cdot (G_n - b_2) \\ (127/a_3) \cdot (B_n - b_3) \end{bmatrix} \quad (3)$$

采用基于线性变换的Brovey法得到的融合图像如图6、7所示。



图6 基于线性变换增强的Brovey法的场景一的融合图像
Fig. 6 Fusion image for Scene 1 based on Brovey algorithm based on linear transformation enhancement



图7 基于线性变换增强的Brovey法的场景二的融合图像
Fig. 7 Fusion image for Scene 2 based on Brovey algorithm based on linear transformation enhancement

3.3 HIS空间法

三波段彩色夜视系统分波段图像获取的主要是图像的彩色信息,亮度信息明显不足,所以可以利用HIS(hue, saturation, intensity)空间中的 I 分量进行增强,得到亮度足够强的融合图像。选取不同的融合规则生成的新的亮度分量 I 则不同,常用的方法有直接替换法、加权平均法以及直方图匹配法等。其中直方图匹配法是最常用的算法,最大程度地保留了图像的光谱和强度信息。此法称为传统基于HSI空间变换的彩色融合算法^[12],简称HIS空间法。

具体流程如下:

1) 将 R 、 G 、 B 图像映射为一副多光谱图像,并将多光谱图像转换到HSI空间,得到色调 H_1 、饱和度 S_1 、亮度 I_1 三个分量;

2) 将全波图像转换到HSI空间,得到 H_2 、 S_2 、 I_2 三个分量;

3) 根据多光谱图像的亮度分量 I_1 和全波图像亮度分量 I_2 ,采用直方图匹配法,以 I_2 作参考,对 I_2 进行直方图匹配得到新的亮度分量 I_3 ;

4) 将第3)步得到的亮度分量 I_3 替换 I_1 ,并同 H 、 S 分量一起转换到RGB空间,最后得到彩色夜视图像。

应用传统基于HSI空间变换法的融合结果如图8、9所示。



图8 场景一基于HSI空间变换法的融合图像
Fig. 8 Fusion image for Scene 1 based on HSI space method

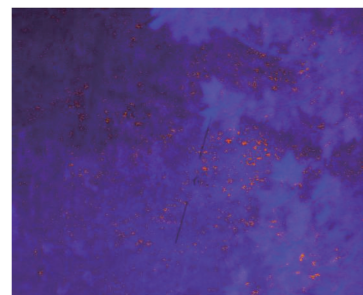


图9 场景二基于HSI空间变换法的融合图像
Fig. 9 Fusion image for Scene 2 based on HSI space method

3.4 基于边缘分割的 HSI 空间法

在识别目标时,不仅仅可以通过色彩信息,边缘信息也是目标识别的主要手段。相对于分波段图像,具有高信噪比的全波图像的边缘信息更加丰富与突出,可以用全波图像对由三波段基于映射原则得到的彩色夜视图像(C图像)进行灰度调制;另外,如果引入过多的边缘信息会导致得到的图像不协调,显得生硬,所以,基于引入边缘信息的同时更好地保留源图像的光谱信息的原则^[14],流程如下:

1) 由于微光图像的灰度范围较窄,因此需要对实验得到的全波图像和分波段图像进行增强。微光图像增强方式采用固定均值增强的方式,固定均值选用最大灰度级的中值,此处对于8比特图像来说,中值取127,其实现方法可以表示为

$$N_1 = 127 \times [N - \min(N)] / \text{Mean}(N), \quad (4)$$

式中: N 表示原始图像, N_1 为增强图像, $\min(N)$ 为原始图像灰度最小值, $\text{Mean}(N)$ 为原始图像灰度平均值。

2) 将长波、中波、短波图像分别输入到R、G、B通道,映射成一副彩色夜视图像C,并将C图像转换到HSI空间,得到色度分量H、饱和度分量S以及亮度分量I图像。

3) 对W图像和I分量进行边缘检测。不同的边缘检测算子提取的边缘信息不同,常用的有Laplacian算子、Roberts算子和Canny算子等。鉴于微光夜视图像具有明显噪声的特点,本文采用对噪声具有抑制作用的Canny算子,而且Canny算子同时能够很好地对微光图像的弱边缘进行检测,性能良好,得到W图像的边缘分割图 W_1 和C图像的边缘分割图 C_1 。

4) 调整生成新的亮度分量 I_{new} ,其表达式为

$$I_{\text{new}} = k_1 W_1 + k_2 C_1, \quad (5)$$

式中: k_1 、 k_2 为权重值。在流程1)中已经将全波图像与分波段图像的灰度均值调整到127,为得到灰度值适中的亮度分量,令 $k_1 + k_2 = 1.0$,生成的亮度分量灰度均值即约为127。

逐像素地对比边缘分割图 W_1 和边缘分割图 C_1 的值,则会产生4种情况:

a) 该像素是边缘图 W_1 的像素点,而不是边缘图 C_1 的像素点;

b) 该像素是边缘图 W_1 的像素点,也是边缘图 C_1 的像素点;

c) 该像素不是边缘图 W_1 的像素点,而是边缘图 C_1 的像素点;

d) 该像素既不是边缘图 W_1 的像素点,也不是边缘图 C_1 的像素点。

对于情况a,则全波图像所占比例大,以提高融合图像的细节信息;对于情况c,则亮度分量所占比例大,以保留融合图像的光谱信息;对于情况b和d,则两者比例相当。基于以上考虑,为了适应本系统的实际需求,通过对实验采集到的图像反复处理,最终 k_1 和 k_2 的取值如下:

对于情况a,则 $k_1 = 0.7, k_2 = 0.3$;

对于情况c,则 $k_1 = 0.3, k_2 = 0.7$;

对于情况b、d,则 $k_1 = 0.5, k_2 = 0.5$ 。

5) 由(5)式得到 I_{new} ,替换C图像原始亮度分量I、与色度分量H、饱和度分量S,由HSI空间转换到RGB空间,即得到真彩色夜视图像。

应用基于边缘分割的HSI空间的融合算法的融合结果如图10、11所示。



图10 场景一基于边缘分割的HSI法的融合图像

Fig. 10 Fusion image for Scene 1 based on HSI method based on edge segmentation



图11 场景二基边缘分割的HSI法的融合图像

Fig. 11 Fusion image for Scene 2 based on HSI method based on edge segmentation

4 客观评价

客观评价是通过一系列指标通过计算机模拟人类视觉系统感知图像质量,从而对得到的融合图像进行定量的评价^[15-16]。本文主要采取以下4个指标进行客观评价:

均值(G_{AVG}):所有像元亮度值的算术平均值,

对人眼反映为平均亮度;

空间频率(F_{SF}):表征图像的空间活跃程度;

标准差(D_{SD}):表征图像灰度分布的离散程度,本质上说明了图像的对比度;

信息熵(E):表征图像中所含信息量的大小,代表了图像的融合质量。

其中均值接近 127 对于人眼会带来较好的视觉效果,故取 $M = -|127 - G_{AVG}|$ 值越大越好;另外 3 种指标值在一定程度上值越大,图像效果也

表 1 场景一客观评价

Table 1 Impersonal evaluation for Scene 1

Method	M	F_{SF}	D_{SD}	E	Q_{IFQ}
Weighted average method	-89.0792	0.6753	16.3691	4.9706	-18.5114
Brovey method based on linear transformation enhancement	-0.0147	5.7060	92.0118	7.3740	27.9647
HIS space method	-66.0453	5.1823	24.2393	6.9380	-8.3447
HIS method based on edge segmentation	-37.0372	3.1511	42.0579	6.1350	3.5343

表 2 场景二客观评价

Table 2 Impersonal evaluation for Scene 2

Method	M	F_{SF}	D_{SD}	E	Q_{IFQ}
Weighted average method	-56.8970	1.7381	45.9571	5.6365	-1.3823
Brovey method based on linear transformation enhancement	-0.0153	5.7858	104.9935	6.8598	31.2756
HIS space method	-65.9828	9.4924	58.7091	7.4236	2.0884
HIS method based on edge segmentation	-20.2883	3.5498	67.7068	5.8631	14.9623

在客观评价中,可以看到在这 4 种融合算法中基于线性变换的 Brovey 法得到的融合图像的 IFQ 值最大,优于另外 3 种。在得到的 4 种融合算法的融合图像中,可以看到基于线性变换的 Brovey 法得到的融合图像亮度适中,对比度清晰,色彩鲜艳,细节清楚,目标清晰可见。而另 3 种融合算法综合这几方面显然不如此种算法的融合图像视觉效果。加权平均法得到的结果图像对比度低,色彩信息少,目标识别效果差;HIS 空间法得到的图像尽管对比度强烈,但色彩失真,失去真彩微光夜视的意义;基于边缘分割的 HIS 空间的融合算法的融合结果对比度较为清晰,细节信息与色彩信息较为丰富且保真,但其目视效果仍弱于基于线性变换的 Brovey 法。

5 结 论

简要阐述了真彩微光夜视技术原理,通过实验得到全波图像及三波段图像,列举 4 种真彩微光夜视图像融合算法,得到了相应的融合结果并通过主成分分析法将均值(AVG)、空间频率(SF)、标准差(SD)、信息熵(E)4 项评价图像质量的指标综合为一项综合指标“IFQ”对融合图像进行综合评价。通过 4 种算法得到的结果图像均较原始微光图像信息

越好。

为更直观地观测评价结果,将 4 项客观评价指标通过数据分析“主成分分析法”综合为一项指标“图像融合质量(IFQ, Q_{IFQ})”,其中 Q_{IFQ} 与 4 项客观评价指标的关系为

$$Q_{IFQ} = 0.274M + 0.269F_{SF} + 0.265D_{SD} + 0.277E. \quad (6)$$

表 1、表 2 分别列出了场景一和场景二各个评价指标的值和计算得出的 Q_{IFQ} 值。

量更为丰富、细节更为清晰,其中基于线性变换的 Brovey 法得到的融合图像的 IFQ 值最大,可视效果最佳,得到的结果图像较其余 3 种算法,对比度更强,颜色协调性更好,色彩最真实、鲜艳,目标识别效果最好,可以在真彩微光夜视技术中加以参考应用。

参 考 文 献

- [1] Meng F L. Research on color night vision technology based on multiband[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2013: 1-2.
孟凡龙. 基于多波段的彩色夜视技术的研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2013: 1-2.
- [2] Chen Y C, Hu W G, Wu D S, *et al.* Triple-band low light level color night vision technology[J]. Journal of Applied Optics, 2015, 36(3): 430-434.
陈一超, 胡文刚, 武东生, 等. 三波段微光彩色夜视方法研究[J]. 应用光学, 2015, 36(3): 430-434.
- [3] Sun A P, Gong Y Y, Zhu Y P, *et al.* Optical system design of low-light-level and infrared image fusion hand-held viewer[J]. Infrared Technology, 2013, 35(11): 712-717, 736.
孙爱平, 龚杨云, 朱尤攀, 等. 微光与红外图像融合手持观察镜光学系统设计[J]. 红外技术, 2013, 35

- (11): 712-717, 736.
- [4] Yu F. Low light level bispectral single channel color night vision technology [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2009: 4-12.
俞飞. 微光双谱单通道彩色夜视技术[D]. 南京: 南京理工大学, 2009: 4-12.
- [5] Xu M X, Qian W X, Gu G H, *et al.* Image fusion and colorization of infrared and visible images using a coaxial optical system [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2013, 50(9): 091004.
徐萌兮, 钱惟贤, 顾国华, 等. 共轴光学系统下的红外与可见光图像融合与彩色化[J]. *激光与光电子学进展*, 2013, 50(9): 091004.
- [6] Paicopolosa P S, Hixonb J G, Nosecke V A. Human visual performance of a dual band I²/IR sniper scope [J]. *Proceedings of SPIE*, 2007, 6737: 1-12.
- [7] Wang Y M, Chen D M, Zhao G B. Image fusion algorithm of infrared and visible images based on target extraction and Laplace transformation [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2017, 54(1): 011002.
汪玉美, 陈代梅, 赵根保. 基于目标提取与拉普拉斯变换的红外和可见光图像融合算法[J]. *激光与光电子学进展*, 2017, 54(1): 011002.
- [8] Gao W, Zhu M, Hao Z C. Survey of color night vision technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(12): 1168-1179.
高文, 朱明, 郝志成. 彩色夜视技术的研究进展[J]. *液晶与显示*, 2016, 31(12): 1168-1179.
- [9] Wang L P, Sun S Y, Chen Q, *et al.* Low light level image characteristics and image fusion technology [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2000, 19(4): 289-292.
王利平, 孙韶远, 陈钱, 等. 微光图像特征分析及图像融合技术研究[J]. *红外与毫米波学报*, 2000, 19(4): 289-292.
- [10] Tang S Q. Chromaticity [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1990: 21-25.
汤顺青. 色度学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1990: 21-25.
- [11] Guo L, Li H H, Bao Y S. Image fusion [M]. Beijing: Publish House of Electronics Industry, 2008.
郭雷, 李晖晖, 鲍永生. 图像融合[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [12] He T D. Research on remote sensing image fusion methods [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2009: 6-9.
何同弟. 遥感图像融合方法研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2009: 6-9.
- [13] Wang L. Research on the algorithm and real-time implementation of infrared image enhancement [D]. Xi'an: Xidian University, 2007: 38.
王磊. 红外图像增强算法研究及其实时实现技术[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2007: 38.
- [14] Yang X, Pei J H, Yang W H. A method to fuse multispectral and high resolution images based on edge information[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2002, 28(3): 441-444.
杨烜, 裴继红, 杨万海. 基于边缘信息的多光谱高分辨图像融合方法[J]. *自动化学报*, 2002, 28(3): 441-444.
- [15] Gao S S, Jin W Q, Wang L X, *et al.* Objective quality assessment of image fusion [J]. *Journal of Applied Optics*, 2011, 32(4): 671-677.
高绍姝, 金伟其, 王岭雪, 等. 图像融合质量客观评价方法[J]. *应用光学*, 2011, 32(4): 671-677.
- [16] Zhang Y, Jin W Q. Study of assessment effects and image fusion algorithms performance analysis [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2010, 47(10): 101001.
张勇, 金伟其. 图像融合算法性能分析与评价效果研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2010, 47(10): 101001.