文章编号:1007-2780(2016)12-1168-12

彩色夜视技术的研究进展

高 文[1,2*],朱 明[1],郝志成[1]
(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;
2.中国科学院 航空光学成像与测量重点实验室,吉林 长春 130033)

摘要:本文首先简述了人眼视觉的特点及感知彩色的原理,进而引出了彩色夜视技术,并且对彩色夜视技术的发展进行了简要的阐述,对彩色夜视技术的意义进行了分析,对现有的彩色夜视技术进行分类,并对各典型的有代表性的彩色夜视技术及彩色夜视设备进行了详细描述,分析各类别的优缺点。最后讨论了彩色夜视技术的难点以及未来的发展趋势,为相关研究人员了解彩色夜视技术提供参考。

关 键 词:彩色夜视技术;综述;颜色转换;图像融合
中图分类号:TP394.1 **文献标识码**:A **doi**:10.3788/YJYXS20163112.1168

Survey of color night vision technology

GAO Wen[1,2], ZHU Ming[1], HAO Zhi-cheng[1]

(1.*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130033, *China*;
2.*Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130033, *China*)

Abstract: This article sketches out the principle of human visual characteristics and color perception, then the color night vision technology is introduced, and the development of color night vision technology is briefly described. The significance of color night vision technology is analyzed. The existing color night vision technology is classified, and the typical color night vision technology and color night vision equipment are described in detail, the advantages and disadvantages of each category are analyzed. Finally, the difficulties and future trends of color night vision technology are discussed, which provide reference for the relevant researchers to understand the color night vision technology.

Key words: color night vision; survey; color transfer; image fusion

收稿日期:2016-11-11;**修订日期**:2016-11-25.

基金项目:中国科学院航空光学成像与测量重点实验室开放基金(No.Y2HC1SR121);吉林省科技发展计划青年科研基金(No.20150520057JH)
Supported by Open Fund of Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Chinese academy of Sciences(No.Y2HC1SR121); Youth Scientific Research Funds of Science and Technology Development Plan, Jilin Province(No.20150520057JH)

* 通信联系人,E-mail:cwenzi@126.com

1 引　　言

人类靠自己的多种感官来感知外界[1]，其中的 83％都来自于视觉，人眼视觉只响应波长范围为 0.38～0.76 的可见光波段，景物由于自身能够辐射或者反射可见光，这些可见光作用于人眼的视网膜上，所以人眼才能那个看见周围的景物，同时这些可见光辐射刺激人眼也使人眼能够看见景物的颜色特性。人眼所看到的物体的颜色，即取决于物体本身的辐射对人眼产生的颜色特性，还受人眼的视觉特性影响。人眼有锥体细胞和杆体细胞两种[2]，它们的视觉功能随外界亮度而不同。当亮度在十几 cd/m^2 以上时椎体细胞起作用，此时对物体的细节及不同颜色能够进行很好的分辨，成为锥体细胞视觉或者明视觉。那么在相对较暗的条件下，杆体细胞工作，仅能够感受到微光，不能区分颜色，并且细节分辨能力也很差，称之为杆体细胞视觉或者暗视觉。在微弱光照下（如夜晚，即使是漫天星光，也只有 0.2 lx），人眼的杆体细胞起作用，只能区别视距很近的物体的轮廓，而且逐渐失去颜色分辨能力，甚至因灵敏度下降而无法获得场景的图像，眼前一片黑暗。那么研究低光照条件下的图像信息的获取、增强、以及其他应用于夜间观察的技术是势在必行的。

夜视技术是指在夜间低照度条件下，通过应用光电探测和成像器材，将人眼不可视景物转化成可视影像，从而扩展人眼在夜间或低照度下的视力观察范围，实现夜间低照度下隐蔽信息的采集、处理和显示技术。

夜视技术使夜战的地位更为重要，拥有夜视技术可使人眼在夜间的观察距离加大，识别能力增强使部队在夜间能够容易地克服复杂地形和其他障碍，采取近似于昼间的运动速度和运动方式机动，并能迅速展开、变更部署和转移兵力兵器，从而提高了夜视侦察与识别能力、夜间瞄准与射击能力、夜间机动与协同能力，比较代表性的以夜视技术作为克敌关键的战争是 1982 年的马岛战争。

但是传统的微光夜视仪和红外[3-5]成像仪成像均为单色图像，色觉消失，分辨不出景物间的颜色差别，立体感消失，分不出目标的远近，空间分辨率下降，难以观察目标的细节，目标轮廓的可见性下降，对目标的判断准确性差。

当人眼从屏幕上观察由相机所成的图像时，显示器的照度足以使人体的锥体细胞工作，这时人眼可以处理更大的信息量。人眼从只能同时区分出由黑到白的二十多种不同的灰度级到对彩色可达上千种等级的分辨率，对彩色等级的分辨率远远超过灰度等级，通过区分颜色可以提高人类视觉响应特性，特别是低照度低对比情况下。

那么通过微光/红外图像的彩色融合[6-8]可使人眼有效感知各波段图像的特征信息，提升对场景信息的认识，因此彩色夜视技术成为国内外的热门研究方向。实验分析表明：与灰度融合[9]相比，通过彩色融合[10-19]得到的彩色融合图像可以使人眼通过色彩感知获取更丰富的场景信息，减少判断时间，提高目标探测和识别效率；彩色融合可分为符合自然场景颜色特性的自然感彩色融合，以及仅是将微光、红外图像映射在不同的颜色波段上进行融合的非自然感彩色融合，相比较自然感彩色融合可以有助于位置判断和场景记忆，减小操作者的视觉疲劳。相对于单波段微光图像，双波段彩色微光图像可提高 30％的目标探测速度，降低 60％的识别错误率。在以人眼观察为主的监视及军事侦查任务中，如彩色融合有着良好的应用和发展前景。

2 彩色夜视技术

彩色夜视技术[20-30]经历了两大阶段：第一阶段是伪彩色阶段，即将得到的灰度图像转换成绿色系的图像或者将得到多个光谱的图像直接映射到彩色波段融合成彩色图像，这个阶段的彩色夜视图像的彩色信息都不能反映图像中景物的真实颜色信息，只是为了方便观看而进行的彩色变换；第二阶段是得到与人眼观察到的可见光波段相吻合的色彩更接近景物真实色彩的彩色夜视图像，这个阶段得到的彩色夜视图像中的色彩信息更忠诚于景物本身反射的可见光颜色信息，可称其为夜视真彩图像。

显然第二阶段的彩色夜视图像具有更高的实际应用价值，因此我们着重研究和介绍这个方面的国内外研究进展情况。

从实现夜视真彩的途径上大体上可以分为 3

种，第一种是基于融合的方法，第二种是基于颜色转换思想的方法，第三种是直接从硬件上得到彩色图像。

第一种方法和第二种方法可以认为都是间接得到彩色图像。

2.1 基于融合的方法

基于融合的方法一般是由多个传感器组成（如中波红外、长波红外、微光等传感器），然后通过一定的配准、融合策略使他们合成一副彩色图像。

1998 年林肯实验室 Allen M. Waxman[10] 等在 LINCOLN LABORATORY JOURNAL 发表了一篇关于用可见光相机和长波红外相机进行融合得到彩色夜视图像的固态彩色夜视仪的文章，其系统组成如图 1 所示。

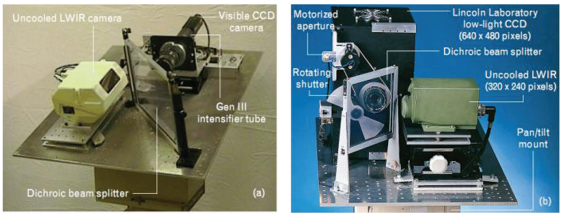


图 1 固态彩色夜视仪组成

Fig.1 Composition of solid color night-vision goggles

采用分光镜将可见光与长波红外分开，一个可见光相机和一个非制冷红外相机，其中微光 CCD 在不同照明情况下成的图像如图 2 所示，其采用两个相机所成的图像直接映射到 HSV 彩色空间，此融合过程由 TI 公司的 TMS320C80 芯片完成，整个系统能够完成 30 fps 的实时处理，其处理结果如图 3 所示。

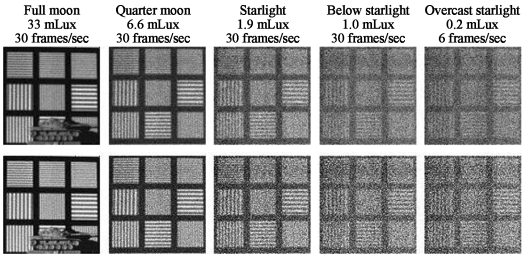


图 2 微光 CCD 在不同光照下的成像结果

Fig.2 Imaging results under different illumination

D.A. Fay[11] 等人于 2000 年提出了一个用于夜视的多传感器成像融合实时系统（Fusion of Multi-Sensor Imagery for Night Vision），该系统

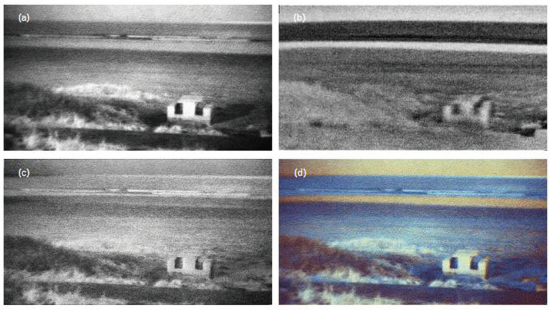


图 3 固态夜视仪在接近全月光的情况下的成像情况

Fig.3 Imaging results of Solid-state night vision under the near full moon lighting

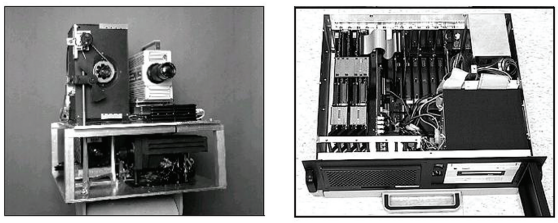


图 4 多传感器成像融合的实时系统

Fig.4 Real - time system of multi-sensor imaging fusion

由可见光传感器、短波红外和长波红外组成，如图 4 所示。

其中可见光的微光相机输出分辨率为 640×480 帧频为 30 fps 的 12 bit 数字图像，短波红外的响应波段在 0.9～1.7 μm，输出 12 bit 数字图像，长波红外的响应波段为 7 到 13 μm，输出 15 bit 数字图像数据，都是 320×240 分辨率，输出帧频为 60 fps，短波红外和长波红外采用一个能够透射短波红外反射长波红外的一分二分光片进行光学配准，融合系统对他们产生的图像进行融合输出帧频为 30 fps。

实时融合采用的是两块 Matrox 公司的主处理卡和两块协处理卡，该主处理卡包括一个 TI C80DSP 芯片、一片 16M SDRAM、两个视频接口芯片、一个数字/模拟图像采集子卡和一个视频显示模块，协处理卡包括除了数据采集和显示的其他芯片，处理卡在 PC 机上使用。融合方法采用的是生物学模型，可见光的微光图像、短波红外图像和长波红外图像分别独立输入，首先会通过前反馈中心环绕网络进行过滤增强，用一个中心周围的前馈神经网络的方法实现彩色信息与三路图像的映射关系，其示意图如图 5 所示。拍摄的图

像如图 6，图像是在 0.027 lx 条件下拍摄的，其中人和车距离相机 35 m，树丛距离为 100 m。

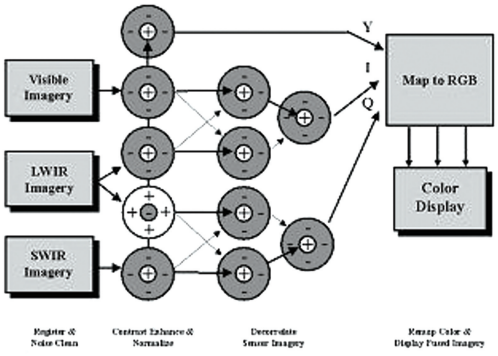
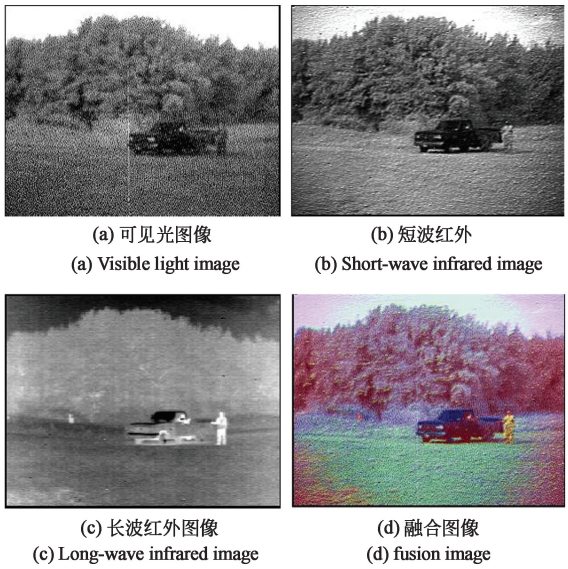


图 5　融合算法示意图

Fig.5　Schematic diagram of fusion algorithm



(a) 可见光图像　(b) 短波红外

(a) Visible light image　(b) Short-wave infrared image

(c) 长波红外图像　(d) 融合图像

(c) Long-wave infrared image　(d) fusion image

图 6　多传感器成像融合的实时系统图像

Fig. 6　Images got from the multi-sensor image fusion real-time system

Hiromi Kusamichi[12] 等人在 2004 年提出基于四元数神经网络的彩色夜视技术，该神经网络的参数为 4 维向量，神经网络由黑暗情况下拍摄的较暗的图像作为输入，采用四元数的向后繁衍算法以质量更好的图像为目的输出，那么较暗的图像与在该成像条件下较好图像的关系即建立起来，通过这种关系来处理得到微光情况下较好的图像，处理框架及实验结果如图 7、8 所示。

A. Waxman[12] 等人在 2005 年对基于融合的夜视仪成像质量进行了评价试验，就场景光照、反射率对比度、热对比度、传感器分辨率、降噪声处

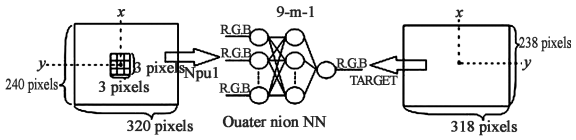


图 7　四元数神经网络处理框架

Fig.7　Quaternions neural network processing framework

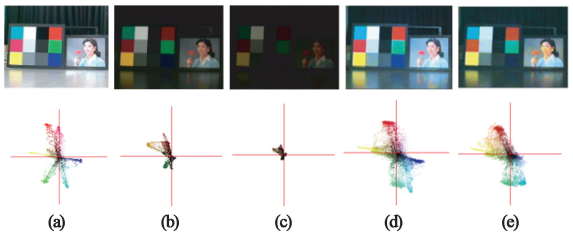


图 8　四元数神经网络实验结果.(a)明亮情况下的图像及色度图；(b)有些黑暗情况下的图像及色度图；(c)比较黑暗情况下的图像及色度图；(d)以 b 为输入图像进行四元数神经网络训练得到的图像及色度图；(e)以 c 为输入图像进行四元数神经网络训练得到的图像及色度图.

Fig.8　Quaternions neural network results. (a) the image under bright light and its chromaticity diagram; (b) the image under little dark light and its chromaticity diagram; (c) the image under very dark light and its chromaticity diagram; (d) image which used (b) as input for neural network training, and its chromaticity diagram; (e) image which used (b) as input for neural network training, and its chromaticity diagram.

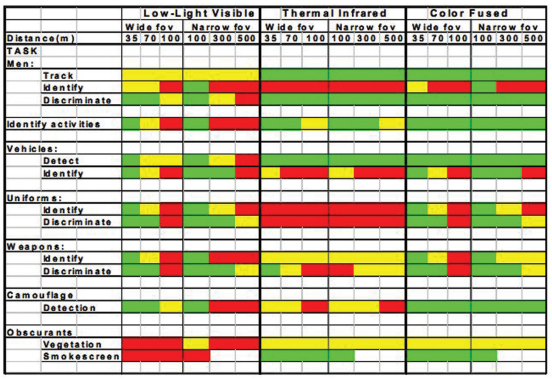
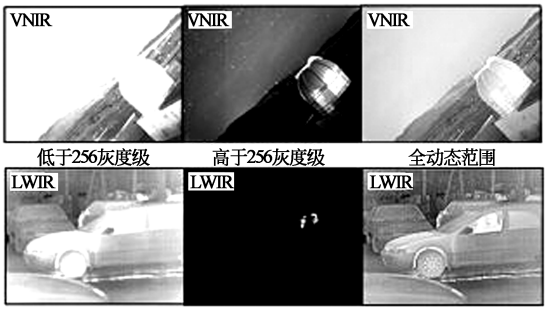


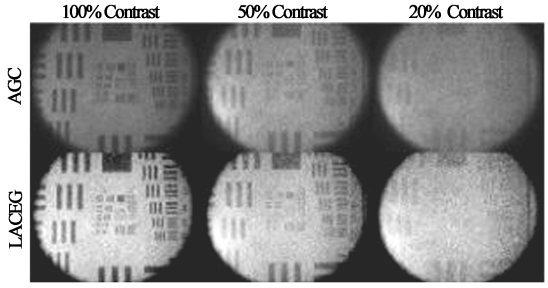
图 9　不同传感器以及 opponent-color fusion 融合方法对于完成不同任务的难易程度

Fig.9　Complexity of different sensors and opponent color fusion fusion method to complete various tasks



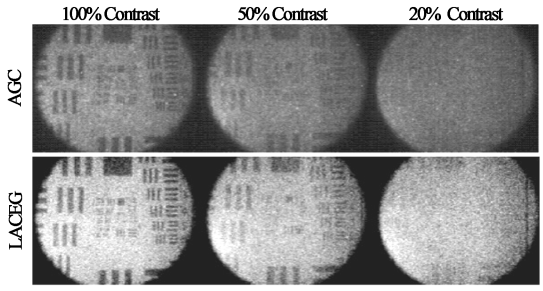
(a)不同动态范围在星光(0.003Lux)下的成像情况

(a) Different dynamic range in the imaging condition of starlight (0.003 lx)



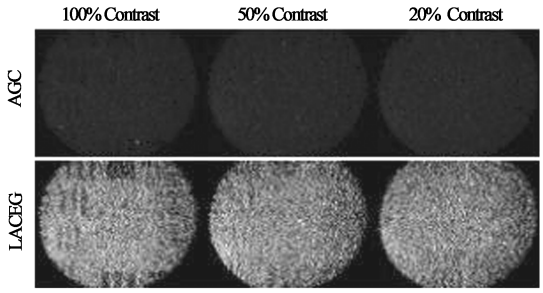
(b)在满月即 0.042 lx 下的不同对比度成像情况

(b) Imaging results under the full moon (0.042 lx) using different contrast



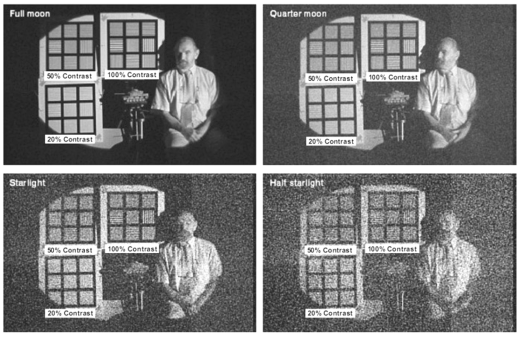
(c)1/4 月光即 0.012 lx 下的不同对比度成像情况

(c) Imaging results under the quarter moon (0.012 lx) using different contrast



(d)在低于星光月即 0.001 lx 下的不同对比度成像情况

(d) Imaging results under the lower star-light (0.001 lx) using different contrast



(e)在不同光照情况下的不同对比度成像情况

(e) Imaging results under different lighting conditions using different contrast

图 10 不同情况下的成像情况

Fig.10 Imaging results under different imaging conditions

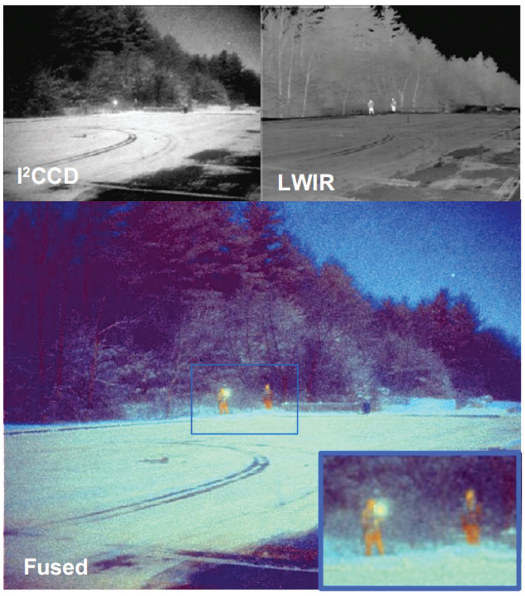


图 11 Opponent-color fusion 融合方法融合的效果

Fig.11 Result of opponent-color fusion algorithm

理、局部增强、对比度增强、噪声去除和融合方法对融合图像的质量的影响进行说明，并对不同视场、不同传感器在不同作用距离上能够完成的任务进行了试验和总结。

文中指出对于微光下不同传感器作用距离下的人物、车辆、武器等的检测、跟踪、识别任务采用 A. Waxman 等人提出的 opponent-color fusion 融合方法能够提高这些任务完成的可能性，如图 9、10、11 所示。

2.2　基于颜色转换的方法

最早由 Reinhard E，Adhikhmin M，Gooch B[14]等人于 2001 年提出的，其提出一种颜色转换的思想可以将一幅图像转换成与与参考图像颜色相似的彩色图像。

2003 年 Toet[15-16]将 Reinhard 色彩传递应用到多波段图像的彩色融合中，参考一幅高对比度色彩舒适的图像，以参考图像与彩色融合图像的标准方差之比对彩色融合图像的 3 个彩色通道进行缩放，使两幅图像 3 个通道的均值和标准方差均相同，从而获得类似于参考图像的色彩。

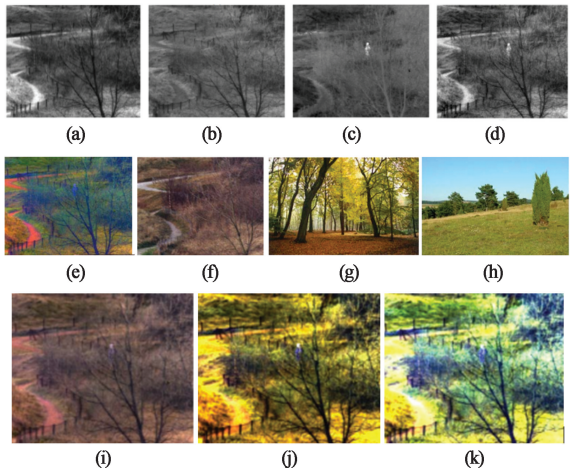


图 12　Toet 2003 年的文章中的实验结果.(a) 400～700 nm 可见光灰度图像，(b)700～900 nm 近红外图像，(c)3～5 μm 中波红外，(d)a～c 融合图像，(e)直接映射到 RGB 的伪彩色图像，(f)参考图像 1，(g)参考图像 2，(h)参考图像 3，(i)a～c 按照参考图像 1 转换得到的融合图像，(j)a～c 按照参考图像 2 转换得到的融合图像，(k)a～c 按照参考图像 3 转换得到的融合图像.

Fig.12　Results in Toet's paper 2003. (a) Visible gray-level image(400～700 nm), (b) Near infrared image(700～900 nm), (c) Middle infrared image(3～5 μm), (d) Image fused by a～c, (e) Pseudo color image direct mapping to RGB, (f) Reference image 1, (g) Reference image 2, (h) Reference image 3, (i) The fusion image transformed A～c in accordance with the reference image 1, (j) The fusion image transformed A～c in accordance with the reference image 2, (k) The fusion image transformed A～c in accordance with the reference image 3.

将当前得到的夜视灰度图像转换成与参考图像颜色相似的彩色图像，只要参考图像选择准确或者参考图像中的景物与待转换的夜视灰度图像的景物颜色相近，就可以得到人眼视觉上接近自然的夜视真彩图像。

自从提出了基于色彩传递的彩色融合方法[23]，诸多学者研究如何使融合图像与参考图像的区域色彩信息更好的匹配，通过挖掘更多、更准确的表达图像统计特征的方法和途径。基于色彩传递的自然感彩色融合算法的基本框架如图 12 所示，文献[23]中说道色彩传递是目前获得最佳自然感色彩的有效方法。

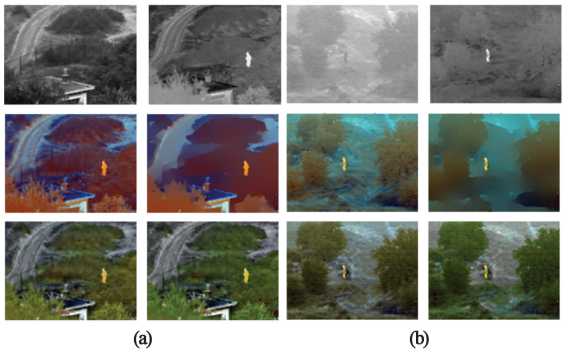


图 13　Yufeng Zheng，Bruce C. Hansen 等人融合效果图.(a)和(b)中的第一行图像分别是场景一和场景二的微光图像和红外图像，第二行图像分别是场景一和场景二的伪彩色融合图像和伪彩色分割图像，第三行图像分别是场景一和场景二的融合图像和分割图像.

Fig. 13　Fusion result images by Yufeng Zheng, Bruce C. Hansen. The first line of the images (a) and (b) are scene one and two of the low light level image and infrared image respectively, the second line of the images (a) and (b) are the pseudo color images and pseudo color segmentation image fused by scene one and two respectively, and the third line of the images (a) and (b) are the natural color fusion images and pseudo color segmentation image fused by scene one and two respectively.

Yufeng Zheng，Bruce C. Hansen[17]等人在 2005 年提出一种基于图像分割和直方图匹配的用于给夜视图像彩色化的方法，该方法是在颜色转换的方法的启发下为解决颜色转换时参考图像与待着色图像的颜色范围差别较大时颜色转换失

真的问题。

对夜视仪得到的可见光、红外图像进行直接映射为 RGB 图像，然后采用非线性的扩散滤波器度伪彩色图像进行减少颜色的处理，使用聚类和合并的技术对灰度图像进行分割，直方图追踪的方法假设源图像的颜色接近带着色图像，对于参考图像是选取一系列参考图像计算其直方图、标准偏差和均值作为彩色信息，并对分割区域进行分类（如草地、路、地面等），然后对分割的区域按照类来进行着色。实验效果如图 13 所示。

2008 年 Toet[18] 提出一种通过建立查找表来得到彩色夜视图像的方法，根据输入的双通道图像灰度值与彩色融合图像建立二维查找表，即首先将可见光彩色图像的色调按照色彩传递方法传递到双波段夜视融合图像；然后将双波段夜视图像的二维灰度信息与彩色融合图像建立如图 15 所示的二维色彩查找表；最后根据生成的查找表输出彩色夜视图像。该算法为快速视频处理提供了一个新思路。

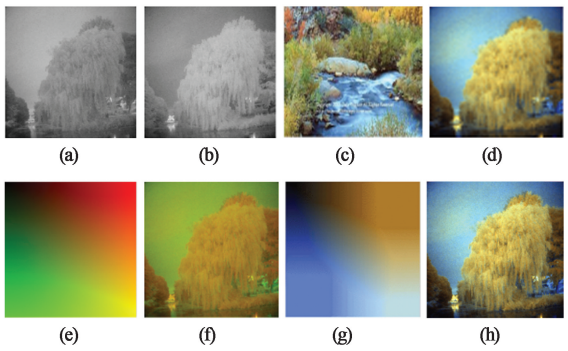


图 14 Toet 2008 年的文章中的实验结果.(a)可见光灰度图像(b) 700～900 nm 近红外图像 (c) 参考图像 (d)a～b 按照 Toet 2003 年方法融合图像 (e)颜色查找表 1 (f)a～b 按照颜色查找表 1 转换得到的融合图像 (g)颜色查找表 2 (h)a～c 按照颜色查找表 2 转换得到的融合图像.

Fig.14 Results in Toet's paper 2008.(a) Visible gray-level image,(b) Near infrared image(700～900 nm), (c) Reference image, (d) The fusion image transformed a～b in accordance with Reference image, (e) Look～up table 1, (f) The fusion image transformed a～b in accordance with look-up table 1, (g) Look～up table 2, (h) The fusion image transformed a～b in accordance with look-up table 2.

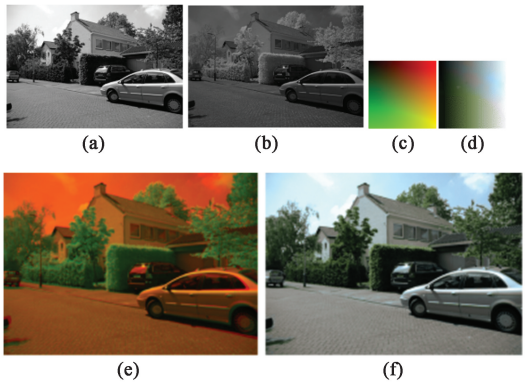


图 15 Toet 2008 年的文章中的实验结果.(a)可见光灰度图像，(b)700～900 nm 近红外图像，(c)颜色查找表 1 ，(d)颜色查找表 2，(e)a-b 按(c)转换的图像，(f)a-b 按(d)转换的图像

Fig.15 Results in Toet's paper 2008. (a) Visible gray-level image, (b) Near infrared image (700-900nm), (c) Look-up table 1, (d) Look-up table 2, (e) The fusion image transformed a-b in accordance with look-up table 1, (f) The fusion image transformed a-b in accordance with look-up table 2.

之后，Toet[19] 又公开了两个使用查找表颜色转换的系统，第一个系统为 Gecko System，由同轴的可见光传感器和近红外传感器以及两个像增强器、一个热反射镜、一个近红外反射镜组成，如图 16 所示，拍摄的图像如图 17 所示。

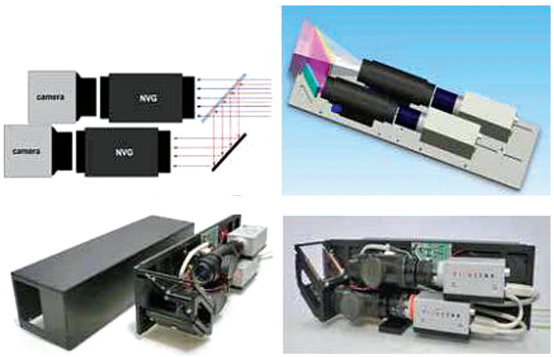


图 16 Gecko System 系统组成

Fig.16 Gecko System composition

Toet 等人开发的另一套彩色夜视系统为 TRICLOBS system，该系统传感器由可见光(400～700 nm)相机、近红外(700～1 000 nm)相机、长波红外(8～14 μm)相机三个波段的相机构成，三个相机的光轴同轴。对低照度敏感的可见光传感器分

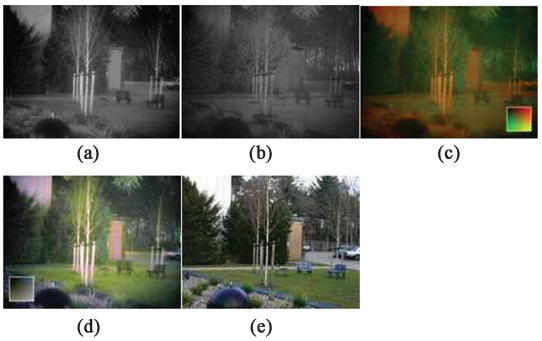


图 17　Gecko System 成像效果，(a)可见光成像 (b)近红外成像 (c)(d)(e)分别采用右下角颜色查找表得到彩色融合图像

Fig.17　Results of Gecko System. (a) Visible gray-level image, (b) Near infrared image, the images(c), (d), (e) are the fusion image transformed a-b in accordance with the look-up table in their right-down respectively

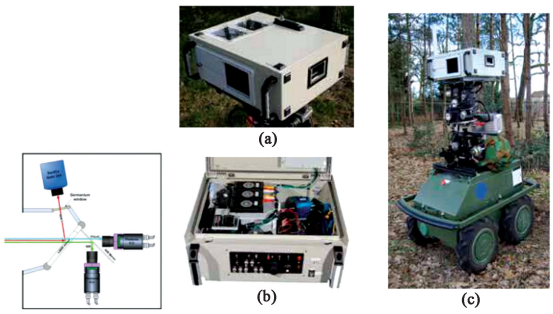


图 18　TRICLOBS system 系统组成

Fig.18　TRICLOBS system composition

辨率为 1 280×960，长波红外分辨率为 384×288，转成 640×480 的 SDI 信号输出，该系统的输出图像如图 19 所示。

2009 年北京理工大学[20-23]基于 Toet 的理论研发了基于双 DSP 的实时自然感彩色融合处理板(如图 20(a)，尺寸约 130 mm×85 mm)，该处理板实现了基于色彩传递的自然感彩色夜视处理算法，可将微光相机和红外热像仪图像进行实时的自然感彩色融合(处理延时可控制在 80 ms 以内)，输出自然舒适的彩色夜视图像。插入式结构的处理板可集成于系统中，方便调试、安装与维护(修)[22]。图 20(b)(c)(d)为北京理工大学实时融合板处理结果。微光图像中未能显示出远处的人，而在红外图像可以清晰观察到，通过自然感彩色融合将人物用暖色凸显出来，便于观察，颜色自

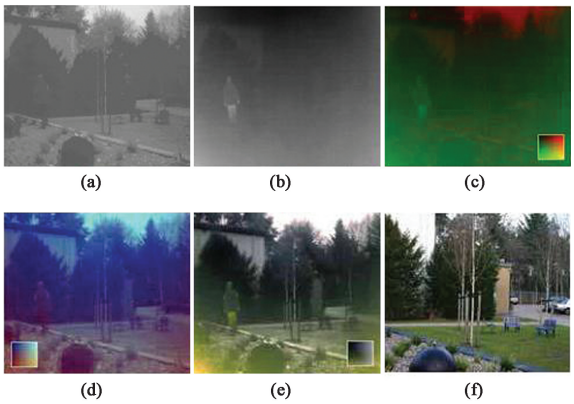


图 19　TRICLOBS system 成像效果.(a)可见光成像，(b)近红外成像，(c) (d) (e)分别采用右下角颜色查找表得到的彩色融合图像，(f)为白天拍摄的同样场景的图像

Fig.19　Results of TRICLOBS System. (a) Visible gray-level image, (b) Near infrared image, the images(c), (d), (e) are the fusion image transformed a-b in accordance with the look-up table in their right-down respectively, (f) the same scene image taken during the day

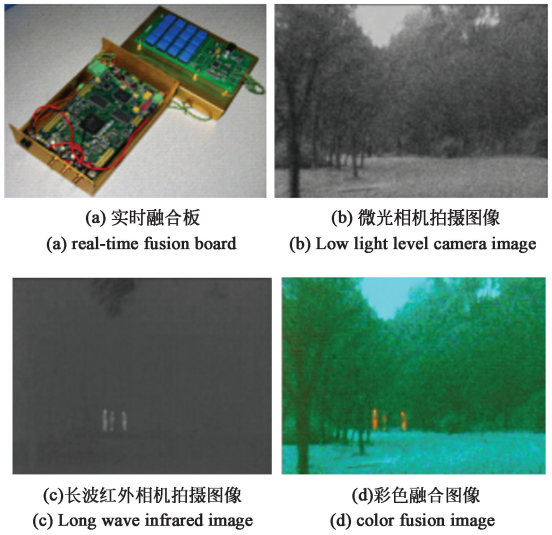


图 20　北京理工大学实时融合板及处理效果

Fig.20　Real time fusion processing board and result of Beijing university of science and technology

然。实际夜间驾驶试验表明：相比于单通道红外图像和单通道微光图像，彩色融合图像具有了对于深度的感知效果，可提高场景的自然感知和目标的探测性能。

2.3 通过硬件直接得到夜视真彩色图像

2007 年 OKSI (Opto-Knowledge Systems, Inc)公司推出了一款彩色夜视摄像机[24]，如图 21 所示，在 Gen-III 像增强 CMOS 摄像机(1/2 英寸的 640×480 像素，帧频为 200 fps)前使用了一个快速响应的通过调节电压可得到不同“颜色”透射状态的液晶滤光片；采用分次曝光得到不同颜色状态的图像(3 种或 4 种)，然后对这些图像进行融合重构成彩色夜视图像。由于 OKSI 的液晶滤光片的快速转换状态可在 1 ms 内完成，视频处理速率高达 180 fps。由于按时间序列图像采集造成的图像模糊可采用高帧频探测器来减小，对于低照度情况，低帧频长曝光时间可提高图像的信噪比，OKSI 公司彩色夜视摄像机在不同条件下的成像情况如图 22 所示。

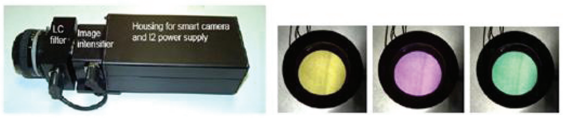


图 21 OKSI 公司彩色夜视摄像机及快速切换液晶

Fig.21 Color night vision camera and quickly switch LCD of OKSI company

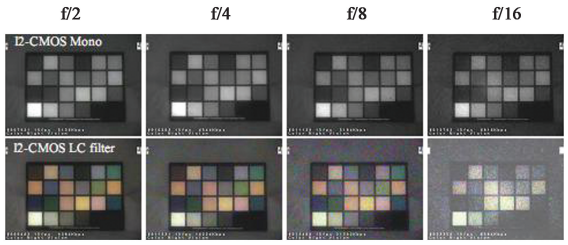


图 22 OKSI 公司彩色夜视摄像机在不同条件下的成像情况

Fig.22 Imaging results of OKSI company color vision camera under the different conditions

OKSI 公司于 2010 年 4 月在佛罗里达召开的安防会议上公布了一款真彩夜视融合系统[24](如图 23 所示)(True-Color Night Vision (TC-NV) Fusion System)，其使用的是一个可见光与近红外波段(VNIR)的 EMCCD 和一个长波红外相机，其中可见光与近红外波段(VNIR)的 EMCCD 前面加了 Bayer 滤光片从而得到彩色图像信息，在嵌入式系统中将 Bayer 图像与长波红外图像融合生成彩色图像。

对近红外波段敏感的彩色信息对于人眼观察到的彩色的真实度是有影响的，OKSI 拥有专利技术对于利用近红外波段的图像信息能够得到内容更丰富且忠诚于人眼观察的图像。

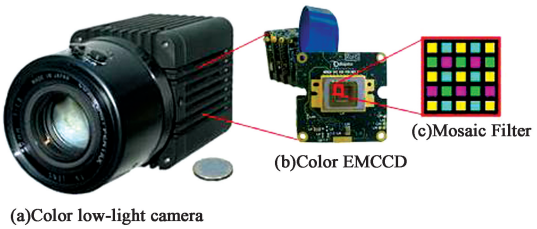


图 23 OKSI 公司 2010 年推出的彩色夜视摄像机

Fig.23 Color-vision camera launched by OKSI company in 2010

OKSI 公司 2010 年推出的真彩夜视仪融合系统，如图 24 所示，该系统能够实时处理并输出

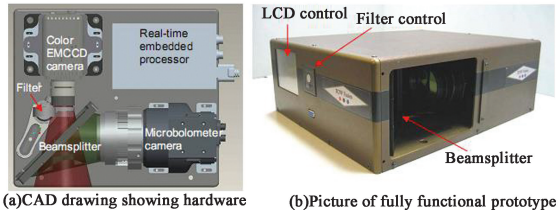


图 24 OKSI 公司 2010 年推出的真彩夜视仪融合系统

Fig.24 True color of goggles fusion system launched by OKSI company in 2010

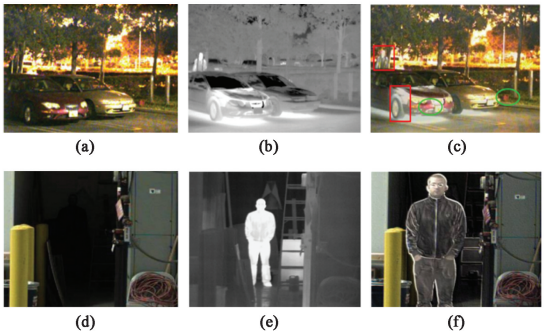


图 25 OKSI 公司 2010 年推出的真彩夜视仪融合系统成像效果.(a)和(d)是可见光近红外图像(b)和(e)是长波红外成像 (c)和(f)是融合图像

Fig.25 Results of the true color of goggles fusion system launched by OKSI company in 2010. (a)and (d) are VNIR images, (b) and (e) are long wave infrared images, (c) and (f) are fusion images



图 26　FALCON EYE KC-2000 相机

Fig.26　FALCON EYE KC-2000 CAMERA



图 27　FALCON EYE KC-2000 CAMERA 成像效果对比

Fig. 27　The imaging effec tcontrast ofFALCON EYE KC-2000 CAMERA



图 28　FALCON EYE KC-2000 CAMERA 成像效果对比

Fig. 28　The imaging effec tcontrast ofFALCON EYE KC-2000 CAMERA

分辨率为 640×480 帧频为 30 fps 的 24 位 RBG CamareLink 彩色夜视数字图像信号或者 NTFS 信号,实时处理器每帧将长波红外图像变成与可见光近红外图像相同的分辨率然后进行融合，并保持真彩色,如图 25 所示。

FALCON EYE KC-2000 CAMERA[27]（如图 26 所示)是日本 Tokyo's Komamura Corporation 公司开发的夜视相机,其采用一片 2/3"的 CMOS 传感器通过 Bayer 滤波的方式得到可见光波段的彩色图像,其响应的波长范围是 390～700 μm,在 F1.4 30 fps 的情况下能够感受的最低照度为 0.0051 x,输出为 H.264 压缩后的 1 280×720 分辨率的图像,图 27 和图 28 为该相机的成像效果。

3　结束语

近年来彩色夜视技术发展取得了较大进步。人们已经从最初的想要得到伪彩色图像来提高人眼对夜晚的观测能力,发展到追求得到符合物体实际颜色的彩色图像,基于生物学的融合方法能够得到彩色图像。但是不一定是物体本来的颜色,基于颜色转换思想的彩色夜视方法,得到的彩色图像中的颜色信息是否是物体的真实颜色在一定程度上取决于所选的参考图像或者查找表是否包含和待处理的灰度图像相似的景物,如果参考图像或查找表的颜色分布于待处理图像完全不同,则转换得到的图像的彩色信息也不能反映物体本来的颜色,直接通过硬件来得到的彩色夜视图像,能够反映物体的真实颜色,对于夜视情况下目标的检测和识别有很大促进,但是现在从硬件直接得到的彩色图像受到传感器灵敏度、照度、动态范围以及曝光时间等多种条件相互制约,还有很大的发展空间,研究能够更自然的转换颜色的方法或是在帧频、分辨率、信噪比、动态范围等指标都能够兼顾的硬件实时夜视真彩色系统,还有很多工作要做,,相信通过众多学者的共同努力,彩色夜视技术会更加完善有效。

参　考　文　献

[1]　张树青,王敬洋,王治乐,等.红外多目标复合仿真光学系统设计[J].光学 精密工程,2014,22(6):1454-1460.
ZHANG S Q, WANG J Y, WANG Z L, *et al*. Design of infrared optical system for mulit-target compounded simulator [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2014, 22(6): 1454-1460. (in Chinese)

[2]　王安祥.目标涂层表面光谱 BRDF 和色度特性[D].西安:西安电子科技大学,2006.
WANG A X. Surface multi-spectral BRDF and chromaticity characteristic of target coatings [D]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2006. (in Chinese)

[3] 陈清江,张彦博,柴昱洲,等.有限离散剪切波域的红外可见光图像融合[J].中国光学,2016,9(5):523-531.
CHEN Q J, ZHANG Y B, CHAI Y Z, *et al*. Fusion of infrared and visible images based on finite discrete shearlet domain [J]. *Chinese Optics*, 2016, 9(5): 523-531. (in Chinese)

[4] HOGERVORST M A, TOET A. Fast natural color mapping for night-time imagery [J]. *Information Fusion*, 2010, 11(2): 69-77.

[5] 张晓龙,刘英,孙强,等.消谱线弯曲长波红外成像光谱仪设计[J].光学 精密工程,2014,22(2):266-273.
ZHANG X L, LIU Y, SUN Q, *et al*. Design of long-wave infrared imaging spectrometer with eliminating spectral curvature [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2014, 22(2): 266-273. (in Chinese)

[6] CHEN Y, XUE Z Y, BLUM R S. Theoretical analysis of an information-based quality measure for image fusion [J]. *Information Fusion*, 2008, 9(2): 161-175.

[7] 杨桄,童涛,陆松岩,等.基于多特征的红外与可见光图像融合[J].光学 精密工程,2014,22(2):489-496.
YANG G, TONG T, LU S Y, *et al*. Fusion of infrared and visible images based on multi-features [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2014, 22(2): 489-496. (in Chinese)

[8] 史广维,张新,张建萍.无遮拦折反射红外光学系统[J].光学 精密工程,2014,22(8):1995-2000.
SHI G W, ZHANG X, ZHANG J P. Unobscured catadioptric infrared optical systems [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2014, 22(8): 1995-2000. (in Chinese)

[9] 宋俊儒,邢辉,穆生博,等.航空红外相机的装调[J].光学 精密工程,2015,23(8):2125-2133.
SONG J R, XING H, MU S B, et al. Alignment *of aerial multi-angle infrared camera* [J]. Optics and Precision Engineering, 2015, 23(8): 2125-2133. (in Chinese)

[10] WAXMAN A M, AGUILAR M, FAY D A, et al. Solid-state color night vision: fusion of low-light visible and thermal infrared imagery [J]. *Lincoln Laboratory Journal*, 1998, 11(1): 41-60.

[11] FAY D A, WAXMAN A M, AGUILAR M, et al. Fusion of 2-/3-/4-sensor imagery for visualization, target learning, and search [C]//*Proceedings of SPIE* 4023, *Enhanced and Synthetic Vision*. Orlando, FL: SPIE, 2000: 106-115.

[12] KUSAMICHI H, ISOKAWA T, MATSUI N. A new scheme for color night vision by quaternion neural network [C]//*Proceedings of the 2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents*. Palmerston North, New Zealand, 2004: 101-106.

[13] REINHARD E, ADHIKHMIN M, GOOCH B, *et al*. Color transfer between images [J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2001, 21(5): 34-41.

[14] WAXMAN A, FAY D, ILARDI P, *et al*. Sensor fused night vision: assessing image quality in the lab and in the field [C]//*Proceedings of the* 2006 9*th International Conference on International Conference on Information Fusion*. Florence: IEEE, 2006: 1-8.

[15] TOET A. Color the night: applying daytime colors to nighttime imagery [C]//*Proceedings of SPIE* 5081, *Enhanced and Synthetic Vision*. Orlando, FL: SPIE, 2003: 168-178.

[16] TOET A. Natural colour mapping for multiband nightvision imagery [J]. *Information Fusion*, 2003, 4(3): 155-166.

[17] ZHENG Y F, HANSEN B C, HAUN A M, et al. Coloring night-vision imagery with statistical properties of natural colors by using image segmentation and histogram matching [C]//*Proceedings of SPIE* 5667, *Color Imaging X: Processing, Hardcopy, and Applications*. San Jose, CA: SPIE, 2005: 107-117.

[18] TOET A, HOGERVORST M A. Portable real-time color night vision [C]//*Proceedings of SPIE* 6974, *Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications*. Orlando, FL: SPIE, 2008: 697402.

[19] GALLEGOS-FUNESF. *Vision Sensors and Edge Detection* [M]. Rijeka: Sciyo, 2010.

[20] 史世明,王岭雪,金伟其,等.基于 YUV 空间色彩传递的可见光/热成像双通道彩色成像系统[J].兵工学报,2009,30(1):30-35.
SHI S M, WANG L X, JIN W Q, *et al*. A dual-band color imaging system for visible and thermal IR images based on color transfer in YUV color space [J]. *Acta Armamentarii*, 2009, 30(1): 30-35. (in Chinese)

[21] 史世明,王岭雪,金伟其,等.自然感色彩的可见光/红外控向金字塔融合[J].光电子·激光,2009,20(11):1552-1556,1560.
SHI S M, WANG L X, JIN W Q, *et al*. Natural-color-appearance steerable pyramid color fusion for visible and IR images [J]. *Journal of Optoelectronics·Laser*, 2009, 20(11): 1552-1556, 1560. (in Chinese)

[22] 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.

LUO Y, WANG L X, JIN W Q, *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)

[23] 骆媛，金伟其，刘效东.基于颜色查找空间的自然感彩色融合算法及 DSP 实时实现[J].红外与激光工程，2012，41(8)：2241-2246.
LUO Y, JIN W Q, LIU XD. Color look-up space based natural color fusion algorithm and DSP real-time implementation [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(8): 2241-2246. (in Chinese)

[24] KRIESEL J, GAT N. True-color night vision cameras [C]//*Proceedings of SPIE* 6540, *Optics and Photonics in Global Homeland Security III*. Orlando, Florida, USA: SPIE, 2007: 65400D.

[25] KRIESEL J M, GAT N. True-color night vision (TCNV) fusion system using a VNIR EMCCD and a LWIR microbolometer camera [C]//*Proceedings of SPIE* 7697, *Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition XIX*. Orlando, Florida: SPIE, 2010.

[26] TSAGARIS V, ANASTASSOPOULOSV. Multispectral image fusion for improved RGB representation based on perceptual attributes [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(15): 3241-3254.

[27] SCHAUL L, FREDEMBACH C, SÜSSTRUNK S. Color image dehazing using the near-infrared [C]//*Proceedings of the* 2009 16*th IEEE International Conference on Image Processing*. Cairo: IEEE, 2009: 1629-1632.

[28] ROTH L S V, KELBER A. Nocturnal colour vision in geckos [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2004, 271(S6): S485-S487.

[29] JACOBSON N P, GUPTA M R, COLE J B. Linear fusion of image sets for display [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2007, 45(10): 3277-3288.

[30] HUANG G H, NI G Q, ZHANG B. Visual and infrared dual-band false color image fusion method motivated by Land's experiment [J]. *Optical Engineering*, 2007, 46(2): 027001.

作者简介：高文(1985－)，女，黑龙江人，博士，副研究员，2007 年于吉林大学获得学士学位，2009 年于吉林大学获得硕士学位，2012 年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位，主要从事视频图像跟踪与目标识别等方面的研究。E-mall：cwenzi@126.com

