

微光（可见光）/红外彩色夜视技术处理算法及系统进展

骆媛, 王岭雪, 金伟其, 赵源萌, 张长兴, 李家琨

(北京理工大学光电学院, “光电成像技术与系统”教育部重点实验室, 北京 100081)

摘要: 彩色夜视技术是国内外重点发展的关键技术之一, 将多波段图像融合成一幅适于人眼观察及目标探测的彩色图像。按照彩色夜视融合算法进展及融合结果的自然感程度, 介绍并分析了基于色彩传递的自然感彩色夜视算法及最新进展, 基于 ICA 域的真彩色融合算法。随着先进夜视成像装置和实时信号处理技术的飞速发展, 国内外已提出多种彩色夜视融合系统, 部分已进入使用/装备阶段。介绍并分析了几种已使用/装备的光学式实时彩色夜视融合系统和数字式实时彩色夜视融合系统。

关键词: 彩色夜视; 图像融合; 色彩传递; ICA; 微光(可见光); 红外

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8891(2010)06-0337-08

Developments of Image Processing Algorithms and Systems for LLL(Vis.)/IR Color Night Vision

LUO Yuan, WANG Ling-xue, JIN Wei-qi, ZHAO Yuan-meng, ZHANG Chang-xin, LI Jia-kun

(School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Key Laboratory of Photoelectronic Imaging Technology and System,
Ministry of Education of China, Beijing 100081, China)

Abstract: Color night vision is one of the typical technologies that has been emphasized in domestic and foreign countries by fusing multiband images into a color image. It's suitable for observation and target detection. According to the development trend and natural-appearance degree of images, natural-appearance algorithms based on color transfer and its latest developments are introduced and analyzed, true color fusion algorithms based on ICA are introduced and analyzed. Along with fast development of advanced night vision equipment and processing technology of realtime signals, diverse color night vision system are proposed, some has been used/deployed. Several used/deployed optical and digital real-time color night vision systems are presented and analyzed.

Key words: color night vision, image fusion, color transfer, ICA, LLL(Vis.), IR

引言

微光(可见光)与红外探测器由于成像机理不同,二者能够提供场景和目标的互补信息:微光(可见光)图像的场景细节丰富,但容易受到天气和外界环境的干扰;而热图像则呈现较好的热对比度,受天气和照明的影响小,具有穿透雾、霾、雨、雪且作用距离远的优势,因此,微光(可见光)的场景细节正好与红外的热目标进行互补,将二者图像目标特征结合的图像融合技术受到人们的关注。由于人眼能分辨的颜色等级是灰度等级的几百倍,通过微光/红外图像的彩色融合可使人眼有效感知各波段图像的特征信息,提升对目标与场景信息的认识,因此,彩色夜视技术成为

国内外研究的主要方向。实验分析表明^[1,2]:与灰度融合相比,自然感彩色融合可通过人眼的色彩感知获取更丰富的场景信息,从而改善场景的深度感知,提高目标识别和探测效率,减少判断时间,增强操作者对总体形势的意识能力;与非自然感彩色融合相比,自然感彩色融合能提高方位判断和场景记忆能力,减小操作者的视觉疲劳感、稳定心理状态。双波段彩色微光图像信息比单波段微光图像可使目标探测速度提高30%,识别错误减少60%^[3]。在以人眼观察为主的任务中,如战区侦察、安全监视、搜救、直升机驾驶观察、军事车辆驾驶和单兵作战等展现出很好的应用和发展前景。2008年文献[4]对之前的彩色夜视融合算法和技术研究进展进行了较详细的综述,之后彩色

收稿日期: 2010-05-20。

作者简介: 骆媛(1985-),女,陕西汉中,人,博士研究生,主要研究方向为数字图像与视频处理技术、夜视与红外技术。

基金项目: 现代交通领域863项目,编号:2009AA11Z204;国家自然科学基金项目,编号:60971010;高等学校博士学科点专项基金,编号:20070007022。

夜视技术特别是彩色夜视系统得到了迅速的发展, 本文将主要介绍近年来国内外对几种彩色夜视融合算法、技术与系统的研究进展。

1 彩色夜视融合算法的研究进展

彩色融合将来自于可见光(微光)、近红外、短波红外、中波红外、长波红外的两波段或多波段图像融合成一幅彩色图像。按照算法原理, 多波段彩色融合方法^[4]大致可分为灰度伪彩色编码、多波段彩色空间直接映射、基于生物视觉特性的彩色融合和基于色彩传递的自然感彩色融合。这些方法各有特点, 在国内外均已取得重要的研究进展, 并进入应用阶段。

1.1 基于色彩传递的自然感彩色融合算法
1.1.1 基于色彩传递的自然感彩色融合算法

基于色彩传递的自然感彩色融合算法是2003年荷兰TNO的Toet提出并成功用于多波段图像的彩色融合^[5-7], 可将一幅白天自然场景彩色参考图像的色调“传递”给色彩不自然的彩色夜视映射图像, 获得与参考图像类似的自然感色彩, 如图1所示, 有利于观察人员解读图像, 增强场景态势感知, 缩短反应时间。

我们近年来在基于自然感的色彩传递算法及其实时化处理方面^[8-10]取得一定的进展(如图2)。在 $l\alpha\beta$ 空间色彩传递算法的基础上, 为有利于算法实时化处理, 提出了基于YUV空间的线性色彩传递算法; 为突出场景细节, 提出了YUV空间的拉普拉斯色彩传递算法。

1.1.2 基于查找表的色彩传递快速算法

2008年Toet提出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^[11], 即首先按照色彩传递传递方法, 将可见光彩色图像的色调传递到双波段夜视融合图像; 然后根据双波段夜视图像的二维灰度信息, 与彩色融合图像建立一一对应的二维色彩查找表, 如图3所示; 进而根据双通道夜视图像灰度值的二维查找表连续输出彩色夜视图像。该算法为快速的视频处理提供了一个新的思路。我们进一步针对Toet二维查找表缺失部分数据的问题, 按像素间欧氏距离越接近颜色越相似的原则, 建立了完整的二维色彩查找表, 实现了双通道彩色夜视图像的融合, 如图4所示, 为算法的实用化进一步奠定了基础。



图1 TNO彩色夜视图像的色彩传递效果 Fig.1 Result of TNO color transfer

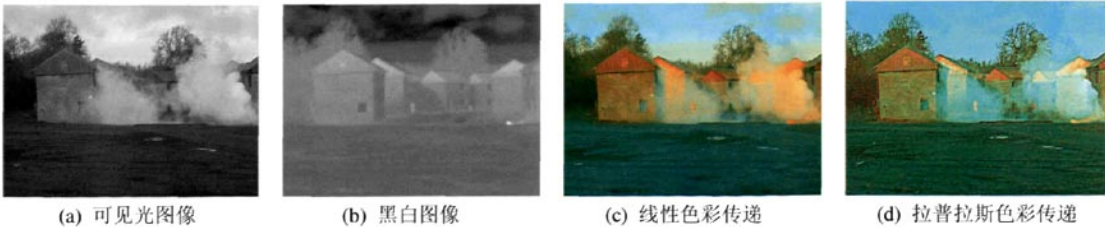


图2 北理工的线性色彩传递及拉普拉斯色彩传递处理效果 Fig.2 Results of BIT linear color transfer and laplacian color transfer

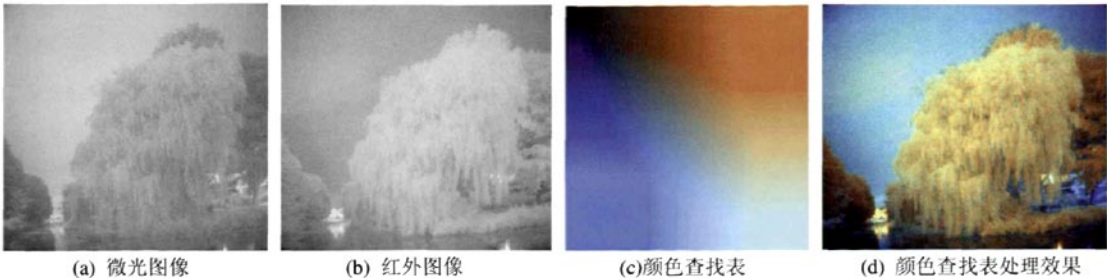


图3 Toet基于颜色查找表的自然感彩色图像处理效果 Fig.3 Results of Toet natural-appearance color vision based on lookup table

1.2 基于ICA域的真彩色融合

2007年瑞典学者 Mitianoudis 等提出了一种基于独立分量分析 ICA (Independent Component Analysis) 域的灰度图像融合算法^[12], 利用 ICA 对场景图像进行训练获得独立分量基函数, 通过基函数对待融合图像进行线性变换, 进而在变换域根据不同的融合规则对图像进行融合, 最后通过 ICA 反变换得到融合图像。与小波和金字塔等传统的多分辨率多尺度灰度图像融合方法相比, 该方法具有更好的边缘建模特性, 对于灰度值变化较大区域的细节特征体现没有方向性的限制, 且提取独立成分的原则是各成分之间统计独立, 消除了图像数据间的冗余性。2008年 Mitianoudis 进一步将图像融合从灰度图像融合扩展到彩色可见光图像与热图像的融合^[13], 先将彩色图像从 RGB 转换到 YUV 颜色空间或者 HSV 颜色空间, 然后将进行亮度图像融合, 最后将色彩通道与亮度图像融合得到彩色融合图像, 如图 5 所示。这种方法在保持灰度图像 ICA 域融合方法优势的基础上, 可满足自然感的要求, 但其处理量较大。

2 多波段彩色融合技术与系统应用

彩色夜视系统需要针对某一特定需求特别设计。近年来已有用于大型车辆、船只、直升机和单兵手持/头盔的设备已进入美国陆军并开始服役。

2.1 光学式彩色夜视实时融合系统

2.1.1 增强型夜视镜 ENVG AN/PSQ-20

增强型夜视镜 (ENVG AN/PSQ-20)^[14]是 ITT 公

司推出的由像增强器和微测辐射热计构成的小型单目夜视镜, 通过光学方法将微光与红外成像融合, 如图 6 所示。可手持使用, 也可安装在头盔上, 2007 年 6 月通过了美国陆军作战实验, 2008 年 4 月完成了第一批次的陆军装备; 2008 年 6 月和 2009 年 4 月完成了第二和第三批次的陆军装备。

2009 年 6 月, ITT 在美国陆军的支持下, 成功试制了数字增强型夜视镜 ENVG(D)的原理样机, 经美国陆军评审通过。ENVG(D)采用数字传感器——MCPMOS (the MicroChannel Plate Complimentary Metal-Oxide Semiconductor) 取代了传统的像增强器, 提供微光增强数字视频与热红外视频实现实时融合, 将单兵作战人员及战场指挥人员的通讯连接起来, 建立数字战场网络, 可将任意终端的数字图像导入到数字战场网络共享, 极大增强了战场态势感知能力, 是美国陆军与 ITT 公司投入 4 亿美元力推的未来战场技术。

2.1.2 微光/红外双波段狙击瞄准镜^[15]

美国陆军研究实验室与美国夜视和电子传感器管理局研制了微光(增强)和长波红外(热像仪)双波段狙击瞄准镜。该系统集成了基于非制冷焦平面热像仪和像增强器, 以提供双波段图像和融合图像。系统采用折反式多光谱共孔径结构(如图 7), 为瞄准镜在各光谱段上的应用提供无视差的配准图像。使用二向分光镜在光路上实现可见光(近红外)及长波红外的分离, 用合光棱镜将微显示器上的热图像叠加在微光增强图像上, 直接从像增强器输出端观察图像。

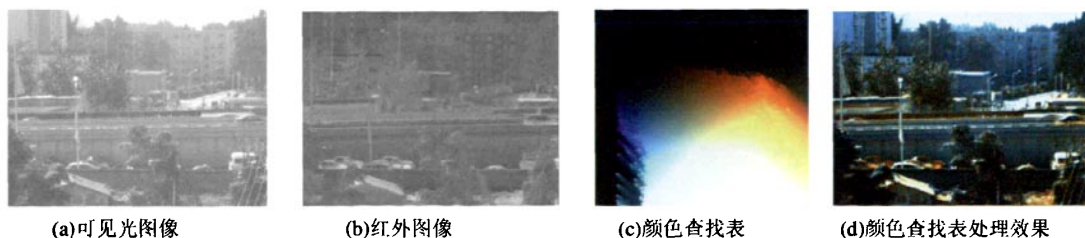


图 4 北京理工大学基于颜色查找表的自然感彩色图像处理效果

Fig.4 Results of BIT natural-appearance color vision based on lookup table



图 5 基于 ICA 域的彩色融合算法处理效果

Fig.5 Results of color fusion algorithm based on ICA

2.2 数字式彩色夜视实时融合系统

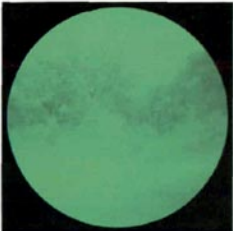
2.2.1 MIT 林肯实验室微光与红外实时彩色融合系统^[16]

1998 年麻省理工学院的林肯实验室建立了基于生物视觉特性的微光与红外实时彩色融合系统的硬件平台，平台由微光/红外成像舱与融合处理系统构成。微光与红外成像舱主要包括微光 ICCD、热电型

非制冷焦平面长波热像仪及一个分光镜，分光镜能透过可见及近红外光，反射长波红外。融合系统由一块奔腾主处理器板、二块加拿大 Matrox 公司的 GenesisC80 主处理器板和二块 GenesisC80 协处理器板组成。目前，美国 Alphatech 公司仍在继续发展 MIT 的对立色彩图像融合技术，并成功为美国军方演示了其系统。



(a)增强型夜视镜



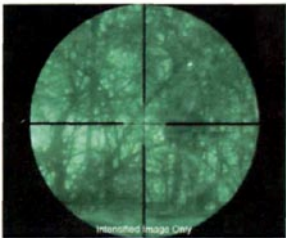
(b)单路微光



(c)叠加红外图像的彩色融合效果

图 6 ENVG AN/PSQ-20 及其处理效果

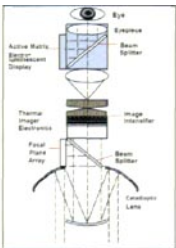
Fig.6 Picture and performance of ENVG AN/PSQ-20



(a)微光增强图像



(b)融合图像



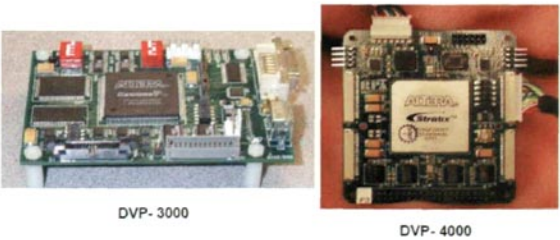
(c)系统结构示意图

图 7 微光/红外双波段狙击瞄准镜

Fig.7 Dual band I²/IR sniper scope

2.2.2 美国 Equinox 公司实时处理板卡 DVP-3000 和 DVP-4000

美国 Equinox 公司 2000 年得到美国 DARPA 的 Phase II SBIR 合同，开发“使用混合多片相机的智能探测器技术的处理算法”^[17]。2003 年得到 Army/NVESD (CECOM Night Vision Electronic Sensors Directorate) Phase II SBIR 合同^[18]，研制了“超低功耗增强微光和热红外的彩色图像融合电子处理硬件”，并开发了两种用于可见光和红外热图像的实时彩色视频融合的处理板产品 DVP-3000 和 DVP-4000^[19]，如图 8 所示。处理板分别采用了 Altera 公司的低端 Cyclone FPGA 和高端的 Stratix FPGA，处理两路输入增强微光和红外图像两路视频，将红外热图像进行彩色编码后，叠加到灰度可见光图像上，生成实时彩色融合视频图像。2005 年又获得海军合同开发可在“大范围传感器移动平台网络中使用的可见光/热红外融合船只监控系统”^[20]。



	DVP-3000	DVP-4000
Size	3in x 4in	3in x 3in
Weight	2.6 ounces	< 2 ounces
Power Consumption	1.7 Watts	1.5 watts
Digital Inputs	LVTTIL	Serialized LVDS
Outputs	Camera Link, NTSC, S-Video	Camera Link
Throughput	Upto 1280x1024 Visible 320x240 Thermal IR 30fps	Upto 1280x1024 Visible 320x240 Thermal IR 60fps
Input AGC	Yes	Yes
Co-registration	No	Yes

图 8 Equinox 公司视频处理板及其性能指标

Fig.8 Performance of Equinox circuit board

DVP-3000 和 DVP-4000 均可在场景亮度大范围变化的情况下，保持颜色不变性，如图 9 所示，即场景适应性较强；同时 DVP-4000 可矫正可见光/热红外

相机的视差和非线性光学畸变，良好的配准预处理可提升图像的观察效果观察效果，但总体上其融合颜色的自然感较差，不适于人眼的长时间观察习惯。

2.2.3 TNO 实时彩色夜视系统 GECKO SYSTEM 和 VIPER SYSTEM

荷兰 TNO 研究开发了两种基于二维查找表的自然感实时处理系统^[21]：可见光/近红外微光彩色夜视成像系统 GECKO SYSTEM 和可见光/热红外彩色夜视成像系统 VIPER SYSTEM，均可以获得比较自然的彩色夜视图像。

GECKO SYSTEM 由两个 GEN III Mini N/SEAS 微光夜视成像系统经 45°放置的半反半透镜分光实现可见光（透射）和近红外辐射（反射）的分离。当输出视频分辨率为 1 K×1 K 时，帧频为 33 fps，当输出视频分辨率为 640×480 时，帧频为 105 fps。图 10 给出了其处理效果。

VIPER SYSTEM 由平行放置的红外微测辐射热计 FLIR A10 和数字像增强 ICCD 等组成。入射辐射经半透半反镜实现可见光/近红外透射和热红外反射。

图 11 给出了其处理效果。

2.2.4 加拿大 GSCI 公司 DSQ-20 “QUADRO” 彩色成像仪^[22]

DSQ-20 “QUADRO” 是由加拿大 GSCI 公司开发的微光/热红外融合夜视成像系统，采用（超二代或超三代）像增强器和长波非制冷热像组件（探测器阵列规模 160×120），并配备近红外激光照明设备，可手持或头盔使用，如图 12 所示。系统采用 3 V 锂电池 CR123，可连续供电 4 h，带电池重量为 850 h，尺寸为 165 mm×110 mm×95 mm；机身采用航空铝材。图像输出为 VGA 格式（640×480），可选择热像、微光图像单独显示和融合（将微光图像按绿色显示，热目标与黄色叠加）显示模式。图 13 给出其融合效果。

2.2.5 北京理工大学双波段实时自然感彩色夜视成像系统

北京理工大学研发的基于双 DSP 的实时自然感彩色融合处理板（如图 14，尺寸约 130 mm×85 mm）^[10]，系统采用基于色彩传递的自然感彩色夜视处理算法，可实现 ICCD 和红外热像仪的自然感彩色视频实时融



图 9 DVP-3000 和 DVP-4000 实时处理板卡集成系统实时处理效果

Fig.9 Performance of DVP-3000 and DVP-4000 integrated system

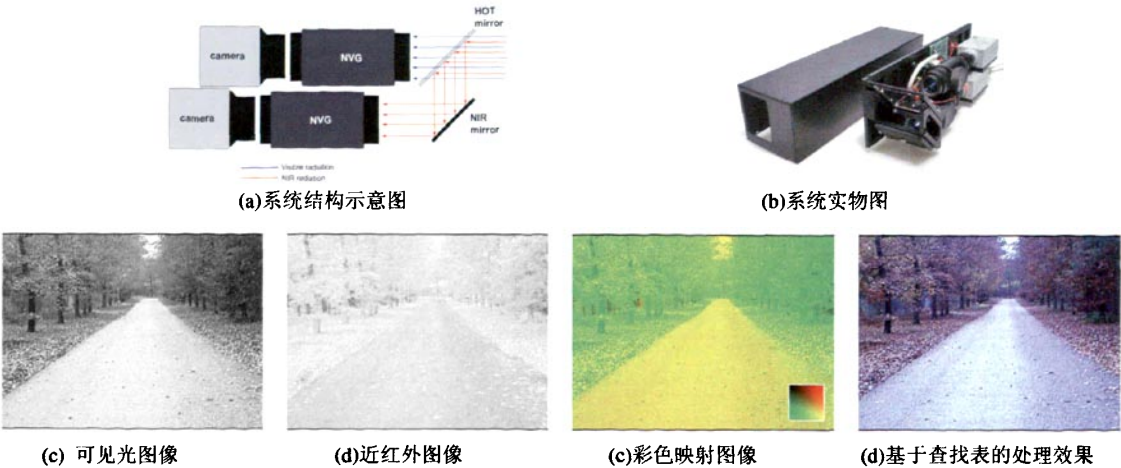


图 10 GECKO SYSTEM 构成及处理效果

Fig.10 Configuration and performance of GECKO system

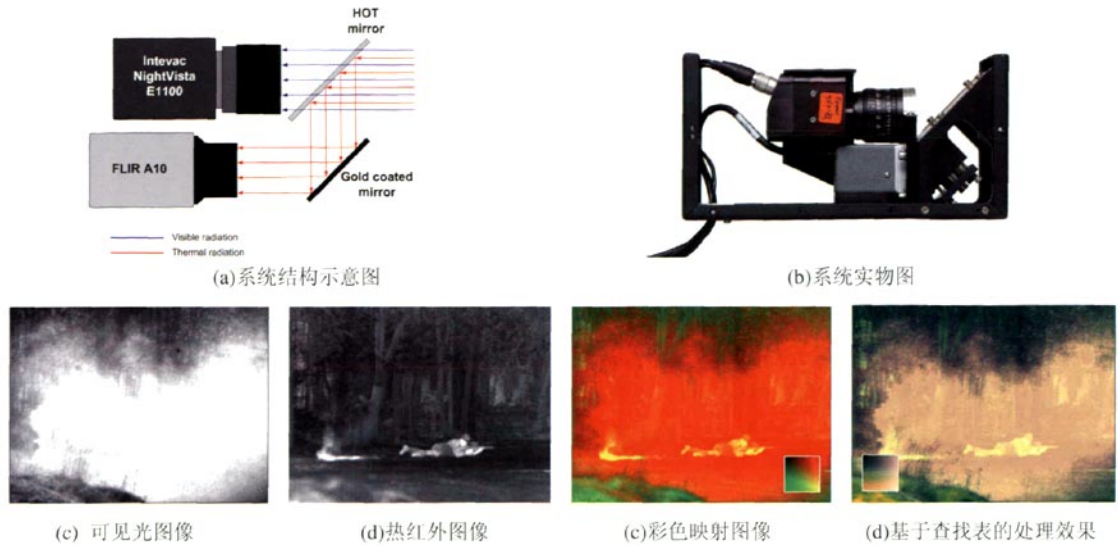


图 11 VIPER SYSTEM 构成及处理效果

Fig.11 Configuration and performance of VIPER system



图 12 DSQ-20 彩色夜视仪及其头盔安装模式

Fig.12 DSQ-20 color night goggle

合（处理延时可控制在 80ms 以内），提供自然舒适的

彩色夜视图像，辅助驾驶员进行无照明条件下的安全驾驶。处理板采用插入式结构集成于系统中，方便设计人员调试、非设计人员的安装与维护（修）。

图 15 为自然感彩色夜视系统的实时处理效果图。在远距离观察树林中隐匿目标时，融合图像采用暖色突出热目标，探测性能优于单通道的微光及红外图像，且图像颜色自然，具有层次感。实际夜间驾驶试验表明：彩色融合图像与单通道红外图像相比具有了对于深度的感知效果，与单通道微光图像相比提供了蓝天、绿树等自然的观察场景，融合图像可提高场景的自然感知和目标的探测性能。



图 13 DSQ-20 “QUADRO” 彩色成像仪处理效果

Fig.13 Performance of DSQ-20 “QUADRO”

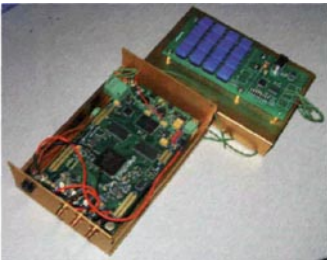


图 14 北理工实时自然感彩色融合系统

Fig.14 BIT real-time natural-appearance color fusion system

342

2.2.6 OKSI 公司彩色夜视摄像机

2007 年 OKSI 公司推出了一款彩色夜视摄像机，如图 16 所示^[23]，在 Gen-III 像增强 CMOS 摄像机（1/2 英寸的 640×480 像素，帧频为 200fps）前使用了一个快速响应的液晶滤光片（可通过调节电压可得到不同“颜色”透射的状态）；经过分次曝光形成 3 或 4 种不同颜色状态的图像，进而重构获得近真彩色的彩色夜视图像。OKSI 的液晶滤光片可在 1 ms 内快速转换状态，因此视频处理速率可达到 180 fps。采用高帧

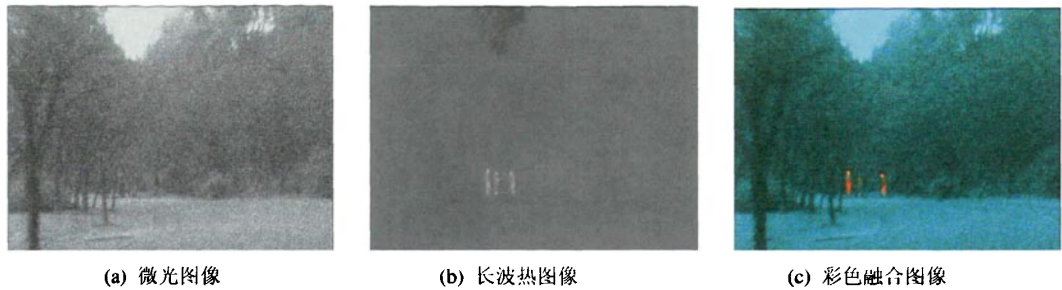


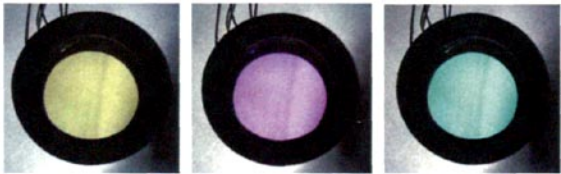
图 15 彩色夜视驾驶仪的实时彩色融合图像比较

Fig.15 Performance of real-time color fusion driving assistant system



(a) 彩色夜视摄像机实物图

图 16 OKSI 公司开发的真彩色相机系统实物及液晶滤光片



(b) 三种不同颜色的液晶滤光片

Fig.16 OKSI ture color camera and filters

频的探测器可减小由于按时间序列图像采集造成的图像模糊，在低照度情况下，可采用（低帧频—30 帧/s）的长曝光时间提高图像信噪比。

2.2.7 美国 CANVS 公司彩色夜视眼镜 CNVS-4949、CNVS-5050

最近，美国 CANVS 公司为美国特种作战司令部研制出彩色夜视眼镜，如图 17 所示^[24]，可用于特种作战、执法机构、急救单位以及搜索与救援部门，佩戴这种眼镜可发现 400m 外的目标。急救人员对彩色夜视眼镜评价很高，因为即使在光线很弱的情况下也能辨别出血液，而用绿光夜视仪进行观察，几乎所有的流体看起来都差不多。图 18 给出 CANVS 公司的演示视频中有对比性的绿光夜视仪图像和彩色夜视眼镜图像。

3 结束语

在过去的几年里，彩色夜视技术得到各国军方的

重视，一些图像融合系统在车辆、船只、飞行器和单兵装备上得到有效应用，并提出了多种新的彩色成像系统构成模式。美国在军方的资助下自 1991 年以来取得了很多专利^[4,25-32]，而随着先进的夜视成像装置和实时信号处理技术的飞速发展，彩色夜视技术的发展领域和可应用/装备空间将进一步扩大：①能够提供复杂融合算法的实时小型化设备已经不成问题，已经有一些便携单兵手持、安装于头盔的设备已进入美国陆军并开始服役。美国陆军投入 4~5 亿美元为单兵



(a) CNVS-4949 (b) CNVS-5050

图 17 美国 CANVS 公司的彩色夜视眼镜

Fig.17 CANVS color night vision goggles



(a)绿光夜视仪图像 (b)彩色夜视眼镜图像 (c)热红外图像 (d)彩色夜视眼镜图像

图 18 CANVS 公司彩色夜视眼镜的图像效果

Fig.18 Performance of CANVS color night goggles

装备彩色夜视眼镜。②机载光学系统在现代军事中越来越重要,美国将投入 118.9 亿美元购买和研发瞄准吊舱、夜视镜、热成像系统等光电系统^[33]。美国 LOCKHEED MARTIN 公司 LANTIRN 瞄准吊舱和 Sniper 先进瞄准吊舱(ATP)装备了高分辨率、中波前视红外装置、电视摄像机、视频数据链、数字数据处理记录仪等仪器。对于目视条件,在前端传感器不变的前提下,只需开发处理算法即可完成彩色融合图像的实时显示,从而提高情报监视与侦查的任务。

参考文献:

- [1] Toet A, Franken E M. Perceptual evaluation of different image fusion schemes[J]. *Displays*, 2003, 24(1): 25-37.
- [2] 石俊生, 金伟其, 王岭雪. 微光与红外图像融合质量视觉评价实验[J]. *红外技术*, 2004, 26(3): 22-28.
- [3] 石俊生. 彩色夜视融合图像质量评价研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2005.
- [4] 金伟其, 王岭雪, 赵源萌. 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.
- [5] Toet A. Color the night: applying daytime colors to nighttime imagery. Verly J G. Enhanced and Synthetic Vision 2003[C]//*Bellingham: SPIE*, 2003: 168-178.
- [6] Toet A. Natural colour mapping for multiband nightvision imagery[J]. *Information Fusion*, 2003, 4(3): 155-166.
- [7] Toet A. Colorizing single band intensified nightvision images[J]. *Displays*, 2005, 26(1): 15-21.
- [8] 王岭雪, 史世明, 金伟其. 基于 YUV 空间的双通道视频图像色彩传递及实时系统[J]. *北京理工大学学报*, 2007, 27(3): 189-191.
- [9] 史世明, 王岭雪, 金伟其. 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.
- [10] 史世明, 王岭雪, 金伟其. 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.
- [11] Maarten A. Hogervorst, et al. Method for applying daytime colors to nighttime imagery in realtime[C]//*Proc of SPIE*, 2008: 697403.
- [12] Nikolaos Mitanoudis, Tania Stathaki. Optimal contrast correction for ICA-based fusion of multimodal images[J]. *IEEE sensors journal*, 2008, 6(1): 1-21.
- [13] Nikolaos Mitianoudis, Tania Stathaki. Optimal contrast for color image fusion using ICA bases[C]//*IEEE International Conference on Digital Object Identifier*, 2008: 1-7.
- [14] ITT Night Vision: Enhanced night vision goggle(ENVG)AN/PSQ 20-ENVG (F6023)[EB/OL]. www.nightvision.com/products/military/product_pages/an_psq20-ENVG.htm. 2009.
- [15] Peter S. Paicopolisa, Jonathan G. Hixsonb, Valerie A. Noseckc. Human visual performance of a dual band I2/IR sniper scope[C]//*Proc of SPIE*, 2007, 6737: 1-12.
- [16] Aguilar M, Fay D A, Ross W D, et al. Real-time fusion of low-light CCD and uncooled IR imagery for color night vision. Verly J G. Enhanced and Synthetic Vision 1998[C]//*Bellingham: SPIE*, 1998: 124-135.
- [17] Equinox Corp. DARPA awards Equinox Equinox SBIR Phase II for development of video surveillance algorithms using fused visible and thermal infrared images [EB/OL]. www.equinoxsensors.com/publications/newsrelease_2000_07.html. 2003.
- [18] Equinox Corp. Army awards Equinox Equinox SBIR Phase II for development of low-power technology for image fusion algorithms [EB/OL]. www.equinoxsensors.com/publications/newsrelease_2003_11.html. 2003.
- [19] Wolff L B, Socolinsky D A, Eveland C K, et al. Advances in low-power visible/thermal IR video image fusion hardware. Peacock G R. Thermal Image Fusion Applications[C]//*Bellingham: SPIE*, 2005: 54-59.
- [20] Equinox Corp. Equinox awarded \$425K Navy contract for watercraft surveillance system using visible/thermal infrared fusion.[EB/OL]. www.equinoxsensors.com/publications/newsrelease_2005_05.html. 2005.
- [21] Toet, A. and M.A. Hogervorst. Portable real-time color night vision. Dasarathy B V. Image Level Issues and Applications[C]//*Bellingham: SPIE*, 2008: 697402-1-12.
- [22] CSCI. DSQ-20 "QUADRO" Enhanced Night Vision Thermal System [EB/OL]. www.nvoptics.com/products/dsq_20_quadro.html.
- [23] Kriesel J, Gat N. True-color night vision cameras. Saito T T. Border Security[C]//*Bellingham: SPIE*, 2007: 65400D/1-10.
- [24] CANVS Corp. The Contrast Enhanced (Retrofit) goggle[EB/OL]. www.canvs.com/cnvs4949.htm.
- [25] General Motors Corp. Night vision system with color video camera[P]. US, 5001558. 1991-3-19.
- [26] ITT Corp. Color image intensifier device utilizing color input and output filters being offset by a slight phase lag[P]. US, 5162647. 1991-2-28
- [27] ITT Manufacturing Enterprises, Inc. Color night vision apparatus[P]. US, 6570147.
- [28] Insight Technology, Inc. Fusion night vision system[P]. US, 7307793, 2007-12-11.
- [29] Litton Systems Inc. System for multi-sensor image fusion[P]. US, 7274830, 2007-9-25.
- [30] Valeo Vision. Infrared night vision system, in colour[P]. US, 7358496, 2008-4-15.
- [31] OmniTech Partners. Dual band night vision device[P]. US, 7333270, 2008-02-19.
- [32] Fluke Corp. Camera with visible light and infrared image blending[P]. US, 7535002, 2009-5-19.
- [33] 付小会. 机载和星载光电系统市场分析[J]. *新光电*, 2010(4): 6-27.