

文章编号 1004-924X(2013)05-1333-07

自然彩色化双通道实时图像融合系统

裴 闯*, 蒋晓瑜, 王 加, 梁浩聪
(装甲兵工程学院 控制工程系, 北京 100072)

摘要:考虑硬件资源与运算速度的需求,设计了一种基于数字信号处理(DSP)的具有自然彩色效果的红外与可见光图像融合系统。该系统采用软硬件结合的方法进行双通道图像配准,基于 YCbCr 空间实现伪彩色融合,然后利用自然真彩色参考图像对融合结果进行颜色传递。系统采用基于统计特性的颜色查找表技术,利用参考图像与伪彩色融合图像的统计特性修正颜色查找表,提高了计算效率。在系统的硬件平台上进行了实验,结果表明,系统融合图像接近自然色彩,在保留可见光图像细节的前提下,有效地突出了红外图像中的热目标。该系统融合速率达到 25 frame/s,能够实现红外与可见光图像的实时融合与自然彩色化,有助于观察人员快速地发现目标,弥补了单一图像传感器的不足。

关键词:图像处理;图像融合;伪彩色融合;颜色传递;颜色查找表

中图分类号:TP751 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20132105.1333

Dual-channel real-time image fusion system with nature color

PEI Chuang*, JIANG Xiao-yu, WANG Jia, LIANG Hao-cong

(Department of Control Engineering, Academy of Armored
Force Engineering, Beijing 100072, China)

* Corresponding author, E-mail:lnxiaopeiwinwin@163.com

Abstract: In consideration of the hardware resources and improving computing speeds, a dual-channel infrared and visible image fusion system with nature color was designed based on a Digital Signal Processor(DSP) to registrate dual-channel images by combining hardware and software. A false color image fusion algorithm was used to fuse the images in a YCbCr color space, then the system chose a reference image to transfer color to the fusion result. Furthermore, a color lookup table based on statistical properties of image was used to solve the complexity computation problem in color transfer. The real-time fusion and natural colorization of infrared and visible images were realized by this system. An experiment was performed on the wareplatform. The result shows that the color-transferred image has natural color perception to human eyes, and can highlight the targets effectively with clear background details. The fusion speed of this system is up to 25 frame/s, which impletments the fusion of infrared and visible images and the natural colorization in real time and satisfies the requirements of real-time image processing. The system makes up the disadvantages of single image sensor, improves the ability to detect potential targets.

Key words: image processing; image fusion; false color fusion; color transfer; color lookup table

1 引言

在现代高技术信息化战争中,目标探测与反探测是争取制信息权的关键环节。先进的光电侦察设备能够快速发现、识别敌伪装目标,使战场对我方向透明,有效地提高我方武器的打击精度。红外成像传感器利用目标与背景之间的热辐射差异探测目标,对雨雪、云雾的穿透能力强,具有特殊的识别伪装能力,因此越来越多的战斗车辆装备了红外传感器。但是红外传感器的成像分辨率不高,不利于人眼对目标环境的判读;可见光图像具有丰富的细节和敏锐的色感,不过其在恶劣气候和夜间的成像能力差,无法发现环境中的目标。红外和可见光图像有着良好的互补性,将两者融合可综合红外图像较好的目标指示特性和可见光图像的清晰场景信息,能够有效提高我方装备发现和识别目标的能力。

针对多源图像的实时融合系统,学者们提出了较多的解决方案^[1-3],但是融合结果多为灰度图像^[4-6]。在灰度图像中,人眼只能同时区分出由黑到白的低于 100 种不同的灰度级,而人眼对彩色的分辨力可达到几百种甚至上千种。基于人眼视觉的这一特征,伪彩色图像融合成为图像融合研究的热点之一^[7-8]。伪彩色融合图像目标突出,但是其色彩单一且有一定的颜色失真,人眼长期观察容易疲劳,不利于战斗人员使用。选择自然真彩色图像作为参考图像,在系统对融合结果进行颜色传递,获得自然场景的融合结果,有效地解决了这一问题^[9-]。

但是,传统的伪彩色融合算法基于 RGB 色空间或者 HIS 色空间^[8],颜色传递基于独立的 $l\alpha\beta$ 空间^[11-13]。对于像素级图像融合,融合处理数据量极大,颜色空间的转换更加剧了运算负担。文献^[14-15]提出了在 YUV 空间进行伪彩色融合和颜色传递的解决方法,但是仍需要对每帧图像计算均值和方差以及复杂的颜色匹配运算,运算量同样较大,对实时融合提出了挑战。

本文根据硬件运算速度需求提出了基于 YCbCr 空间的伪彩色图像融合及颜色传递算法,并采用统计信息颜色查找表技术。采用该技术在同一场景的融合过程中只需计算一次颜色表,而后的融合及颜色传递运算简化为对融合结果的查

表赋值操作,从而进一步提高了算法的执行效率。基于高速数字信号处理器 TMS320DM642 设计了融合系统,为图像融合的应用提供了一个新的技术平台。

2 系统硬件设计

2.1 总体结构

图像融合系统包括图像采集配准单元、融合处理单元、系统控制单元及融合输出单元。系统硬件总体结构如图 1 所示。

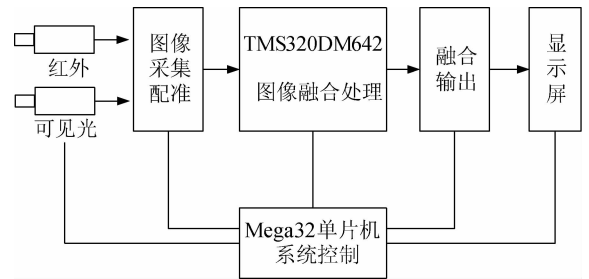


图 1 图像融合系统硬件结构图

Fig. 1 Hardware layout of fusion system

2.2 图像采集与配准单元

系统融合图像分别来源于红外热像仪和可见光 CCD,输出视频为 PAL 制式,大小为 720×576 。由于像素级图像融合对双通道图像配准有着严格的要求,系统采用了软硬件结合的图像配准方法。选择定焦的红外热像仪和可连续变焦的可见光 CCD,两者采用光轴平行的方式刚性连接(图 2(a))。设计了二自由度的硬件承载平台,使可见光 CCD 能够在 X 轴和 Y 轴方向微调(图 2(b))。系统测定红外与可见光镜头的变焦范围,在融合模式下,控制单元自动将可见光 CCD 视场调焦到与红外热像仪一致。微调可见光 CCD 位置,到了双通道图像的初配准。另外,在软件设计中加入配准模式,双通道图像中的匹配特征点由软件搜索确定,也可以由用户交互界面人为设定。配准算法根据匹配特征点的位置对应关系调整可见光图像,达到红外与可见光图像的精配准。图 2(c)、图 2(d)分别为配准前和配准后的图像灰度融合结果。可以看到,配准后红外与可见光图像视场一致,目标(人)精确重合,达到了融合配准的要求。

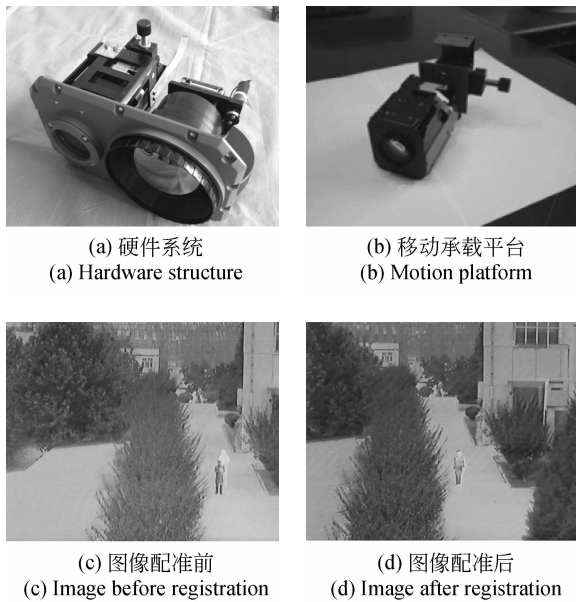


图 2 系统配准机构与配准结果

Fig. 2 Registration structure and registered result

2.3 系统控制单元

系统控制单元完成系统控制、管理及通信功能,包括可见光、红外与融合图像的输出切换、可见光 CCD 的变焦控制、亮度调节,红外和融合图像的变焦控制以及软件配准等功能。系统的工作方式设定、工作参数选择以及工作模式切换等,由键盘以外部命令的方式输入,然后由系统控制单元通过 RS-232 串行通信分别给红外热像仪、CCD 摄像机及 DSP 数据处理系统发送命令执行。

本系统选用 Mega32 单片机作为系统控制单元。由于控制命令大多是单向传输的,本系统采用广播式(或演讲式)多机通信方式,即单片机发送包含接收地址的控制命令,红外热像仪、CCD 摄像机或 DSP 接收到命令后,首先判断接收的地址是否与自己相同,如果相同则执行命令,完成相应的操作,否则忽略收到的命令。这样可保证串行信息的有序/可靠传输。该多机通信连接方式如图 3 所示。

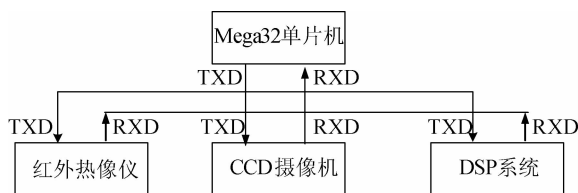


图 3 系统控制单元多机通信连接方式

Fig. 3 Communication mode in system control unit

2.4 融合处理单元

对于双通道实时图像融合系统来说,由于要处理的数据量大,计算复杂,计算中间结果精度要求高,因此系统采用的 Ti 公司的 TMS320DM642 多媒体芯片。

系统融合处理单元的工作流程为:上电初始化完成后,DSP 输入模块上的图像编码器 SAA7115 将由外部 CCD 摄像头和红外热像仪传来的模拟信号以每秒 25 帧的速度进行采样并转换为数字图像信息,存于一个固化在 SAA7115 芯片里的 FIFO 中,该 FIFO 共有 5 120 Bytes,分两部分,每部分均为 2 560 Bytes,拥有 64 位的 DMA 接口。由 FIFO 大小可知,该 FIFO 仅能缓存每幅图像的很小的一部分,当 FIFO 充满数据时 DSP 就会启动 DMA 中断,将其中的数据搬运到容量更大的外存 SDRAM 中,而后关闭中断,继续接收下一批数据。

输入模块在采集一帧图像后,发送消息到处理模块;处理模块接收消息,同时判断单片机指令,获得需要执行的任务类型,根据指令对图像进行切换、变焦、平移与融合等操作,处理结束后发送消息到输出模块;输出模块将图像数据送往 SAA7105 图像解码器中,由 SAA7105 完成数模转换后输出到显示设备,完成一帧图像的处理。

3 图像融合算法

3.1 基于 YCbCr 空间的伪彩色融合算法

由于传统的伪彩色融合算法多基于 RGB 色空间或者 HIS 色空间,而 DSP 处理的数字视频信号为 YCbCr_{4:2:2} 格式,繁琐的空间变换会增加系统的运算负担。因此,本文设计融合算法将红外与可见光图像在 YCbCr 空间融合为伪彩色图像,作为颜色传递的源图像。

首先利用最小算子计算红外亮度 Y_{IR} 与可见光图像亮度 Y_{vis} 的共有部分:

$$Y_{com} = \text{Min} \{ Y_{vis}, Y_{IR} \}, \quad (1)$$

然后计算两幅图像的独有部分:

$$\begin{cases} Y_{vis}^* = Y_{vis} - Y_{com} \\ Y_{IR}^* = Y_{IR} - Y_{com} \end{cases} \quad (2)$$

最后算法伪彩色融合策略为:

$$\begin{bmatrix} Y_{out} \\ Cb_{out} \\ Cr_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{vis} \\ Y_{vis} - Y_{IR}^* \\ Y_{IR} - Y_{vis}^* \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中,将可见光图像的亮度 Y_{vis} 直接赋值给融合图像,最大限度地保留了可见光图像丰富的细节;将可见光增强图像 $Y_{vis} - Y_{IR}^*$ 送入 Cb 通道,将红外增强图像 $Y_{IR} - Y_{vis}^*$ 送入 Cr 通道。伪彩色融合图像中,增强后的红外目标呈现红色,背景呈现蓝绿色,符合人眼对冷暖色调的感知特性。

3.2 利用查找表技术颜色传递

本文设计的系统采用颜色查找表技术进行快速颜色传递。颜色查找表将伪彩色图像融合和颜色传递过程视为根据可见光与红外图像亮度对融合图像色彩映射赋值的过程^[16-17]。算法的流程如图 4 所示,实现步骤为:

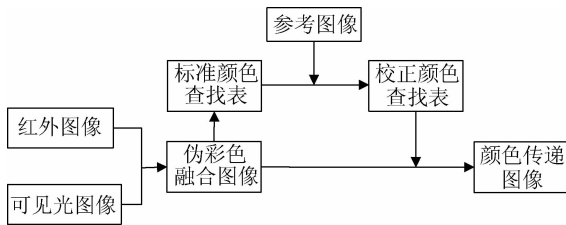


图 4 查找表颜色传递流程

Fig. 4 Color transfer process based on lookup table

第一步,根据 YCbCr 空间融合算法得到伪彩色融合图像,建立标准颜色查找表。

第二步,选择合适的参考图像,计算伪彩色融合图像和参考图像的统计信息(均值和方差),利用两者的统计信息按照颜色传递方法对标准颜色表颜色修正,得到校正颜色查找表,计算过程如公式(4)所示。

$$\begin{cases} Y'_1 = \langle Y_0 \rangle + \frac{\sigma_0^Y}{\sigma_1^Y} (Y_1 - \langle Y_1 \rangle) \\ Cb'_1 = \langle Cb_0 \rangle + \frac{\sigma_0^{Cb}}{\sigma_1^{Cb}} (Cb_1 - \langle Cb_1 \rangle) \\ Cr'_1 = \langle Cr_0 \rangle + \frac{\sigma_0^{Cr}}{\sigma_1^{Cr}} (Cr_1 - \langle Cr_1 \rangle) \end{cases} \quad (4)$$

式中: $\langle Y_0 \rangle$ 、 $\langle Cb_0 \rangle$ 、 $\langle Cr_0 \rangle$ 与 σ_0^Y 、 σ_0^{Cb} 、 σ_0^{Cr} 分别为参考图像的均值和方差; $\langle Y_1 \rangle$ 、 $\langle Cb_1 \rangle$ 、 $\langle Cr_1 \rangle$ 与 σ_1^Y 、 σ_1^{Cb} 、 σ_1^{Cr} 分别为伪彩色融合图像的均值和方差; Y'_1 、 Cb'_1 、 Cr'_1 为标准颜色表中的 Y_1 、 Cb_1 、 Cr_1 的修正结果。

第三步,校正的查找表包含了颜色传递后图像中所有可能出现的颜色信息。对配准的红外与可见光图像,利用红外图像的亮度 Y_{IR} 和可见光图像的亮度 Y_{vis} 作为索引查找该颜色表,将对应

点的 YCbCr 值赋给融合图像。逐点扫描源图像所有像素点后,得到颜色传递后的融合图像。查表过程如图 5 所示。

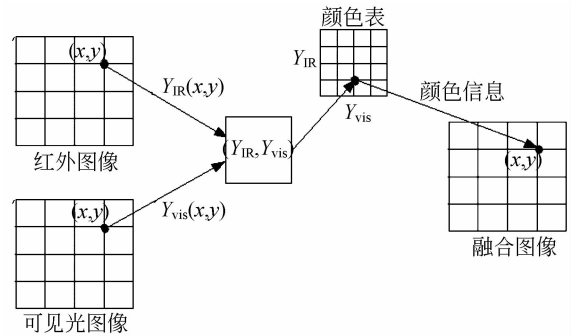


图 5 颜色表查找过程

Fig. 5 Color lookup process of the table

由于同一融合场景具有相似的图像统计特征,可以对相同场景采用同一颜色表运算。因此,基于统计信息的颜色查找表技术,将伪彩色图像融合及颜色传递过程简化为根据源图像亮度直接查表对融合图像赋值的过程(图 5),DSP 只进行指针地址取值和赋值过程,不进行任何运算,大大减少了运算量,提高了系统的实时性。

4 实验结果

为了验证系统的融合效果,本文选择了 2 个不同场景进行融合实验,利用天敏 SDK3000 图像采集卡按照 25 frame/s 的速度实时采集图像,得到实验结果如图 6 所示(彩图见期刊电子版)。

图 6(a)、(b)和图 6(g)、(h)分别为系统获得的 2 个场景的红外与可见光图像。第一个场景中,2 个身着迷彩伪装的目标在丛林中移动;第二个场景中,道路远处的树丛中有坦克和伪装的战斗人员。在可见光图像 6(b)、(h)中,环境信息丰富,但是目标无法发现;而红外图像图 6(a)、(g)中,目标明显突出,但是缺乏目标的环境信息。

图 6(c)、(i)为本文基于 YCbCr 空间伪彩色融合结果,伪彩色融合图像色彩显现红绿色或者红蓝色,热目标呈暖色调红色,场景呈现冷色调蓝色或绿色,图像对比度较高,目标突出。但是图像色彩单一,易产生视觉疲劳,不利于人眼观察。

图 6(d)、(j)为选择的 2 幅参考图像。其中,第一个场景为异场景丛林,第二个场景为同场景

的可见光彩色图像。根据本文算法得到的标准和校正后的颜色表如图 6(e)、(k)所示。利用原始源图像查找校正的颜色表,得到自然彩色化的融合结果图 6(f)、(l)。从融合结果可以看出,自然彩色化的融合图像具有与参考图像类似的色彩和亮度,色彩丰富自然,人眼观察的舒适度高,同时保留了红外图像中目标突出的特性(树丛中的人、

坦克发动机),便于对目标的判断和识别。对比同场景的参考图像图 6(j)和自然彩色化融合图像图 6(l)可以发现,由于采用基于统计信息的颜色表校正技术,因此参考图像中小范围的颜色无法表现在融合图像中。如参考图像路边的杂草呈现棕色,但融合图像中杂草呈现与图像整体一致的浅绿色。

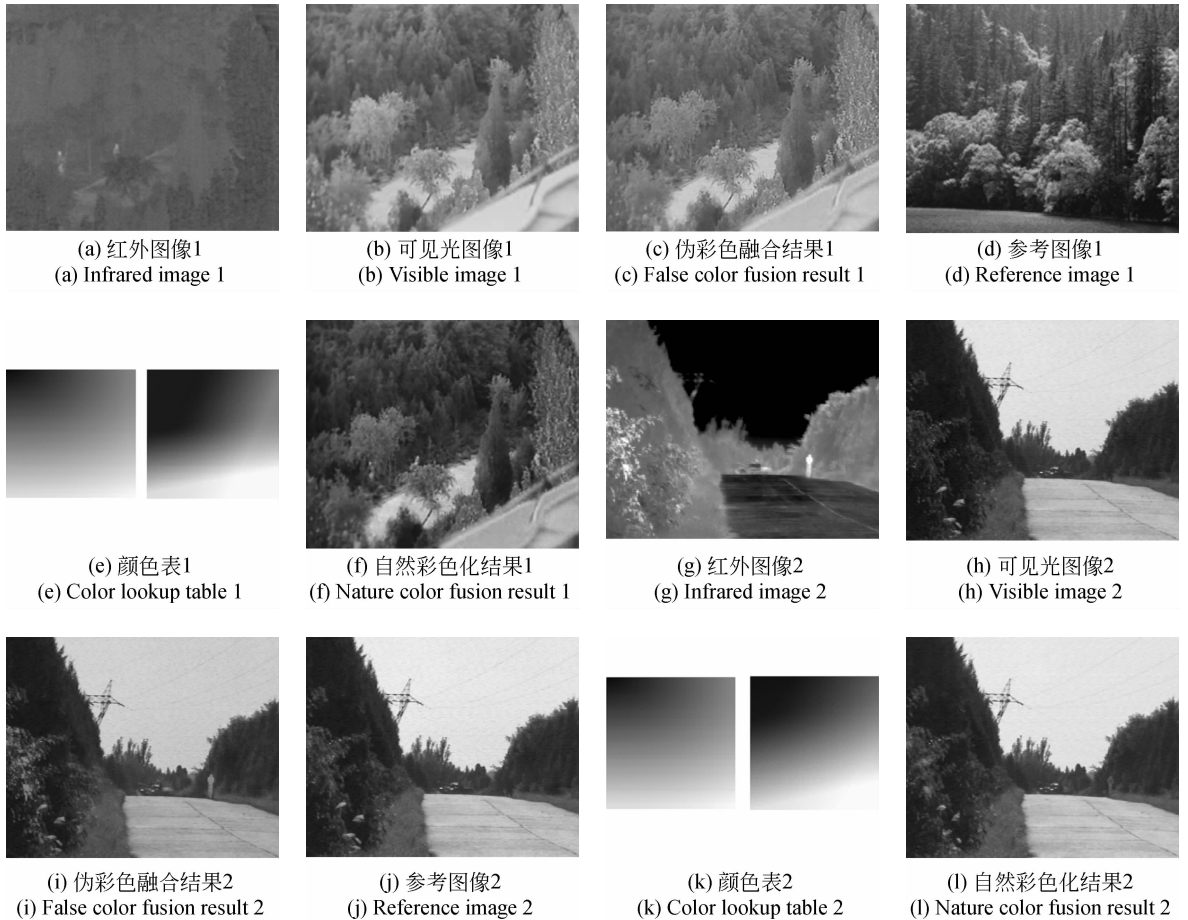


图 6 融合结果图

Fig. 6 Fusion results of the system

5 结 论

本系统从硬件资源与运算速度的需求考虑,设计了基于 YCbCr 空间的伪彩色图像融合算法和基于统计信息的颜色表方法。采用单片机双光路同步控制和软硬件结合的方法对双通道图像进行了配

准,利用 DSP 实现了红外与可见光图像融合与自然彩色化。设计和实验结果表明,在系统的硬件平台上,融合算法满足 25 frame/s 的实际工程需求。本技术和系统可以应用于战场侦察和安防领域,提高光电侦察装备的探测识别能力。下一步将构建系统参考图像库和图像自动匹配策略,实现系统自动选择合适的参考图像对融合场景颜色传递的功能。

参考文献:

- [1] 田思,张俊举,袁轶慧,等. 不同视场的多源图像融合技术研究 [J]. 兵工学报,2012,33(1):26-31.
TIAN S, ZHANG J J, YUAN Y H, *et al.*. Research on multi-source image fusion technology in different fields of view [J]. *Acta Armament*, 2012, 33(1):26-31. (in Chinese)
- [2] 曲锋,刘英,王健,等. 红外双波段图像实时融合系统 [J]. 光学精密工程,2010,18(7):1684-1690.
QU F, LIU Y, WANG J, *et al.*. Infrared dual-band real-time image fusion system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(7):1684-1690. (in Chinese)
- [3] 孙明超,张崇,刘晶红. 多尺度图像增强可见光与红外图像融合 [J]. 吉林大学学报,2012,42(3):738-742.
SUN M CH, ZHANG CH, LIU J H. Fusion of visible and infrared images based on multi-scale image enhancement [J]. *Journal of Jinlin University*, 2012, 42(3):738-742. (in Chinese)
- [4] 王昕. 含噪声图像的多聚焦融合算法 [J]. 光学精密工程,2011,19(12):2977-2984.
WANG X. Multi-focus fusion algorithm for noisy images [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(12):2977-2984. (in Chinese)
- [5] 王强,倪国强,高昆,等. 一种基于 DSP 的小型集成化图像融合系统设计 [J]. 激光与红外,2005,35:902-905.
WANG Q, NI G Q, GAO K, *et al.*. A design of DSP based small integrated system for image fusion [J]. *Laser and Infrared*, 2005, 35:902-905. (in Chinese)
- [6] 陈浩,朱娟,刘艳滢,等. 利用脉冲耦合神经网络的图像融合 [J]. 光学精密工程,2010,18(4):996-1001.
CHEN H, ZHU J, LIU Y Y, *et al.*. Image fusion based on pulse coupled neural work [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(4):996-1001. (in Chinese)
- [7] 王加,蒋晓瑜,纪伯公. 基于感知颜色空间的灰度可见光与红外图像融合算法 [J]. 光电子·激光,2008,19(9):1261-1264.
WANG J, JIANG X Y, JI B G. An algorithm to fuse gray-scale infrared and visible light image based on perceptual color space [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2008, 19(9):1261-1264. (in Chinese)
- [8] 王加,蒋晓瑜. 基于伪彩色编码和图像融合技术的伪装目标识别方法 [J]. 探测与控制学报,2008,30(2):43-46.
WANG J, JIANG X Y, DU D CH. A disguised target recognition method based on pseudo-color coding and image fusion [J]. *Journal of Detection & Control*, 2008, 30(2):43-46. (in Chinese)
- [9] REINHARD E, ASHIKHMIN M, GOOCH B, *et al.*. Color transfer between images [J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2001, 21(5):34-41.
- [10] 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.
LI G X, XU S Y, ZHAO Y L, *et al.*. Fast color image fusion based on color transfer technique [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(7):1637-1647. (in Chinese)
- [11] 钱小燕,韩磊,王帮峰. 红外与可见光图像快速融合算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2011,23(7):1211-1216.
QIAN X Y, HAN L, WANG B F. A fast fusion algorithm of visible and infrared images [J]. *Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics*, 2011, 23(7):1211-1216. (in Chinese)
- [12] 史世明,王岭雪,王霞,等. 一种彩色夜视实时图像融合系统 [J]. 红外与激光工程,2006,35:360-365.
SHI S M, WANG L X, WANG X, *et al.*. Real-time fusion system for color night vision [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35:360-365. (in Chinese)
- [13] 赵源萌,王岭雪,金伟基,等. 基于色彩传递的单波段热图像彩色化处理算法 [J]. 光学学报,2009,3:654-658.
ZHAO Y M, WANG L X, JIN W Q, *et al.*. Sing-band infrared image colorization algorithm based on color transfer [J]. *Acta Optics Sinica*, 2009, 3:654-658. (in Chinese)
- [14] 王岭雪,史世明,金伟其,等. 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.
WANG L X, SHI S M, JIN W Q, *et al.*. Color transfer and its real-time system based on a YUV space for dual-channel video image [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2007, 27(3):189-191. (in Chinese)
- [15] 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 Armament*, 2009, 30(1): 30-35. (in Chinese)

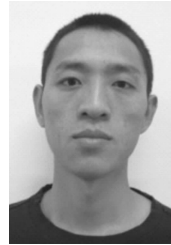
[16] TOET A. Natural color mapping for multiband night vision imagery [J]. *Information Fusion*, 2003, 4(3): 155-166.

[17] MAARTEN A H, ALEXANDER T. Fast natural color mapping for night-time imagery [J]. *Information Fusion*, 2009, 10: 1016-1020.

作者简介:



裴 闯(1985—),男,辽宁葫芦岛人,博士研究生,2010 于装甲兵工程学院获得硕士学位,主要从事三维计算全息、图像融合与机器视觉方面的研究。E-mail: lnxiaopeiwinwin@163.com



梁浩聪(1988—),男,广东从化人,硕士研究生,2011 年于华南理工大学获得工学学士学位,主要从事三维全息、信息融合等方面的研究。E-mail: lianghaocong@126.com



王 加(1978—),女,江苏扬州人,博士,讲师,2008 年于装甲兵工程学院获得工学博士学位,主要从事图像处理、信息融合方面的研究。E-mail: jawang@tom.com



蒋晓瑜(1967—),男,湖南安仁人,教授,博士生导师,1997 年于北京理工大学获得工学博士学位,主要从事光电图像处理、图像融合、电子稳像及三维数字全息等方面的研究。E-mail: jiangxiaoyu2007@gmail.com

导师简介:

(版权所有 未经许可 不得转载)