

# 一种夜雾天况彩色视频构建方法

刘丽娜, 熊木地

大连海事大学信息科学技术学院, 辽宁 大连 116026

**摘要** 针对单一红外或可见光波段成像技术无法满足夜雾天况彩色成像要求的问题, 结合红外和可见光成像各自的特点, 提出一种固定区域下针对夜雾天况的彩色视频构建方法。该方法在能见度高的白天利用可见光传感器进行可见光背景图像的构建, 在能见度低的夜雾天气利用红外传感器提取出红外运动目标, 依据可见光背景图像与原始红外图像的配准参数进行 2 幅图像的同比例融合, 完成彩色视频的重构。实验结果表明, 该方法能够准确完成包含红外目标的彩色视频构建, 充分体现出夜雾天况下运动目标及其所在场景的彩色特征信息, 提升人眼对目标与场景的识别和感知。对于图像大小为 720 pixel × 576 pixel 的视频序列, 该算法的运行速度能够达到 40 frame/s, 可满足彩色视频实时构建的需要。

**关键词** 机器视觉; 彩色视频构建; 多波段成像; 红外运动目标提取; 图像配准

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

**doi:** 10.3788/AOS201737.1215001

## A Color Video Construction Method in Night and Foggy Days

Liu Lina, Xiong Mudi

College of Information Science and Technology, Dalian Maritime University, Dalian, Liaoning 116026, China

**Abstract** Single infrared or visible light band imaging technology is insufficient to meet the requirements of color imaging in night and foggy days. To overcome this problem, a color video construction method for fixed area in night and foggy days is proposed, which combines the characteristics of infrared imaging and visible light imaging. The proposed method constructs the visible background image by using visible light sensor during daytime with high visibility, and extracts the infrared moving target by using infrared sensor in night and foggy days with low visibility. Then, according to the registration parameters of the visible background image and the original infrared image, the two images fuse in the same proportion, and the construction of color video is thus completed. The experimental results show that the proposed algorithm can accurately complete the construction of color video with infrared target. It fully reflects the color feature information of the moving target and its scene in night and foggy days, and enhances the recognition and perception of target and scene information by the human eye. For a video sequence with an image size of 720 pixel × 576 pixel, the running speed of the algorithm can reach 40 frame/s and meet the the need for real-time construction of color video.

**Key words** machine vision; color video construction; multi-band imaging; infrared moving target extraction; image registration

**OCIS codes** 150.4065; 100.2000; 100.3005; 100.3008

## 1 引 言

可见光传感器在能见度高的白天可以清晰成像, 图像场景的细节丰富, 但是受光照、天气等因素影响, 在夜雾天况下则无法清晰成像。红外传感器受天气和照明的影响小, 具有透雾、透雨、透雪, 且作用距离远的优势, 但获得的是分辨率低、不利于观察的灰度级图像。将可见光场景信息与红外目标特征信息进行优势互补的多波段彩色化成像技术结合了红外和可见光的成像特点, 日益受到广泛关注。

彩色化成像技术主要分为对单幅图像的彩色成像和对视频的彩色成像。单幅图像的彩色成像方法以

**收稿日期:** 2017-06-29; **收到修改稿日期:** 2017-07-21

**基金项目:** 中央高校基本科研业务费专项基金(01770327)、中国海事局科技专项基金(0716-13400003N008)

**作者简介:** 刘丽娜(1993—), 女, 硕士研究生, 主要从事光电检测方面的研究。E-mail: llndlmu@126.com

**导师简介:** 熊木地(1970—), 男, 博士, 教授, 主要从事光电检测方面的研究。E-mail: xiongmudi@dlmu.edu.cn(通信联系人)

Reinhard 等<sup>[1]</sup>提出的颜色迁移算法为基础,将源图像的色彩特性迁移至另一幅图像,从而达到 2 幅彩色图像之间色彩相近的效果。Welsh 等<sup>[2]</sup>对这种算法进行改进,在统计像素邻域信息的基础上提出灰度图像的色彩传递算法,用于对灰度图像进行上色。之后的许多单幅灰度图像彩色化算法基本上都属于对 Welsh 算法的改进<sup>[3-5]</sup>。视频的彩色成像方法目前还处于探索阶段,国内能够查阅到的此类文献以滕升华<sup>[6]</sup>等为代表,采用基于运动估计的视频序列彩色化方法,根据帧间像素的对应关系进行帧与帧之间的颜色传递。

不同于以往基于颜色传递的彩色化方法<sup>[7-10]</sup>,本文结合红外成像与可见光成像的特点,提出一种新型的彩色视频构建方法,将红外视频中的运动目标同比例融合到可见光场景中,进而得到重构后的彩色视频。实验结果表明,该方法能够体现彩色场景的细节信息,达到与白天自然场景的一致性,提高人眼对场景内目标的识别和检测效率,满足人眼视觉需求。

## 2 系统组成

针对摄像机固定的情况,本文的夜雾天况彩色视频构建系统主要由彩色视频背景构建、红外运动目标提取和图像配准 3 部分组成(图 1)。具体实现方法如下。

1) 在能见度高的白天,利用可见光传感器提取出部分可见光视频序列,通过背景建模得到可见光成像条件下的背景信息,并将其作为最终输出的彩色视频序列的背景。

2) 在恶劣天况或者夜晚时段,利用红外传感器提取红外视频序列,通过运动目标检测方法提取出其中的红外运动目标。

3) 通过图像配准方法,依据原始红外图像与可见光背景图像的配准参数将红外运动目标同比例融合在可见光场景中,完成彩色视频的构建。

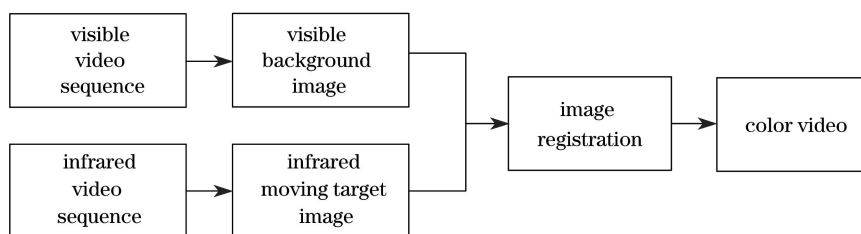


图 1 夜雾天况彩色视频构建系统示意图

Fig. 1 Diagram for color video construction system in night and foggy days

## 3 彩色视频背景构建

最简单的背景图像选取方法是在一段可见光视频序列中挑选出一幅不含运动前景的场景图像,优点是方法简单、适用性高,但缺点是需要借助人力进行判断,造成人力和时间的浪费。为了解决这个问题,本文采用背景建模的方式,通过对背景模型的更新得到可见光成像条件下的背景图像,并将其作为最终输出的彩色视频序列的场景。

混合高斯模型是 Stauffer 等<sup>[11]</sup>提出的基于统计信息的背景表示方法,是现有的大多数背景更新算法的基础。它遍历图像中的像素点,并为其建立  $K$  个高斯模型,在  $t$  时刻像素  $X_t$  的观察概率为

$$p(X_t) = \sum_{i=1}^K [\omega_{i,t} * \eta(X_t, \mu_{i,t}, \tau_{i,t})], \quad (1)$$

式中  $\omega_{i,t}$  是第  $i$  个高斯分布的权值,  $\mu_{i,t}$  是其均值,  $\tau_{i,t}$  是其协方差矩阵,  $\eta(X_t, \mu_{i,t}, \tau_{i,t})$  为  $t$  时刻第  $i$  个高斯分布,它的表达式为

$$\eta(X_t, \mu_{i,t}, \tau_{i,t}) = \frac{1}{|\tau_{i,t}|^{1/2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} (X_t - \mu_{i,t})^T \tau_{i,t}^{-1} (X_t - \mu_{i,t}) \right]. \quad (2)$$

每个新像素值  $X_t$  同当前  $K$  个模型参数进行比较,若满足  $|X_t - \mu_{i,t-1}| \leq 2.5\sigma_{i,t-1}$ ,则按照下式更新背景模型:

$$\rho = \alpha * \eta(X_t | \mu_{i,t}, \sigma_{i,t}), \quad (3)$$

$$\mu_{i,t} = (1 - \rho) * \mu_{i,t-1} + \rho * X_t, \tag{4}$$

$$\sigma_{i,t} = (1 - \rho) * \sigma_{i,t-1}^2 + \rho * (X_t - \mu_{i,t})^T (X_t - \mu_{i,t}). \tag{5}$$

若不满足,则减小该高斯成分的权值,不改变其方差与均值。其中, $\sigma_{i,t}$ 是标准差, $\alpha$ 为模型的学习速率, $\rho$ 为参数的学习速率。

建模完成后,按照 $\frac{\omega_{i,t}}{\alpha^2}$ 值从高到低的顺序对  $K$  个高斯模型进行排列,选择前  $B$  个高斯模型作为背景模型,其中  $B$  需满足下式:

$$B = \arg \left[ \min \left( \sum_{i=1}^K \omega_i > T \right) \right], \tag{6}$$

式中  $T$  为背景占有的比例大小。

### 4 红外运动目标提取

运动目标提取是将视频序列中的运动变化区域与静止背景进行分离的过程。目前,光流法、帧间差分法和背景差分法是在摄像机静止条件下常用的运动目标检测和提取方法<sup>[12-13]</sup>。光流法的抗噪能力弱、复杂度高,无法满足实时检测的要求;帧间差分法运算量小,实现简单,但提取的目标内部有空洞,不能检测速度过慢或者过快的目标,难以实现运动目标实体的完整提取;背景差分法是一种快速简单的检测方法,能够较好地满足运动目标检测的实时性和完整性要求,但受到光照和环境影响需要不断对背景图像进行更新,因此对背景图像进行建模是该方法的关键。混合高斯模型是目前比较成功而且常用的一种背景建模方法,通过基于背景样本的统计学特性完成对背景的更新,能够稳健地消除光线变化、枝叶抖动等带来的影响<sup>[14-15]</sup>。

高斯模型既可以为前景建模又可以为背景建模。本文以背景差分为基础,采用背景差与混合高斯建模相结合的方法,综合模型更新得到的视频帧前景和背景信息,有效解决传统方法带来的目标断裂和内部空洞问题,从而完成对红外运动目标的有效提取。图 2 为红外运动目标提取的算法流程图,步骤如下。

1) 对红外视频序列帧进行噪声平滑处理,滤除孤立噪声点。并通过图像增强方法突出红外目标轮廓特征信息,为运动目标的检测提供有效条件。

2) 将预处理后的红外视频帧的像素点与高斯模型进行匹配,以相匹配的像素点列为背景点,否则将其列为前景点。建模后的背景点和前景点的集合分别构成背景图像  $B(x, y)$  和前景图像  $F(x, y)$ 。

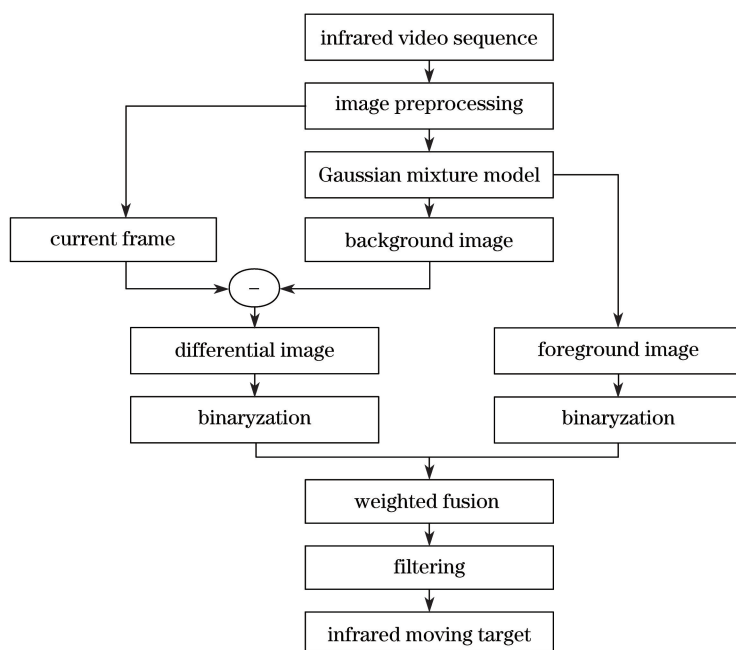


图 2 红外运动目标提取算法流程图

Fig. 2 Flow chart of infrared moving target extraction algorithm

3) 对前景图像  $F(x, y)$ 、当前帧  $f(x, y)$  和背景图像  $B(x, y)$  差分所得图像分别进行二值化, 获得两组二值图像, 分别记为

$$D_1(x, y) = \begin{cases} 1, & |f(x, y) - B(x, y)| \geq T_1 \\ 0, & |f(x, y) - B(x, y)| < T_1 \end{cases}, \quad (7)$$

$$D_2(x, y) = \begin{cases} 1, & F(x, y) \geq T_2 \\ 0, & F(x, y) < T_2 \end{cases}, \quad (8)$$

式中  $T_1, T_2$  为二值化的阈值。

4) 将两组二值化图像  $D_1(x, y)$  和  $D_2(x, y)$  进行加权融合, 得到结果图像:

$$D_{\text{result}}(x, y) = (1 - m) * D_1(x, y) + m * D_2(x, y). \quad (9)$$

式中  $m$  为比例系数, 取值在  $0 \sim 1$  之间, 本文令  $m = 0.7$ 。

5) 选取  $3 \times 3$  的方形结构元素, 通过形态学滤波去除结果图像中的孤立噪声点, 最终得到比较完整的红外运动目标。

图 3 是不同场景下的运动目标提取结果, 其中图 3(a) 为原始红外视频帧图像, 图 3(b) 是经混合高斯建模后的红外背景图像, 图 3(c) 是利用本文方法提取得到的红外运动目标。可以看出, 基于本文方法不但能够准确检测出场景中的红外运动目标, 而且保证了目标实体提取的完整性。

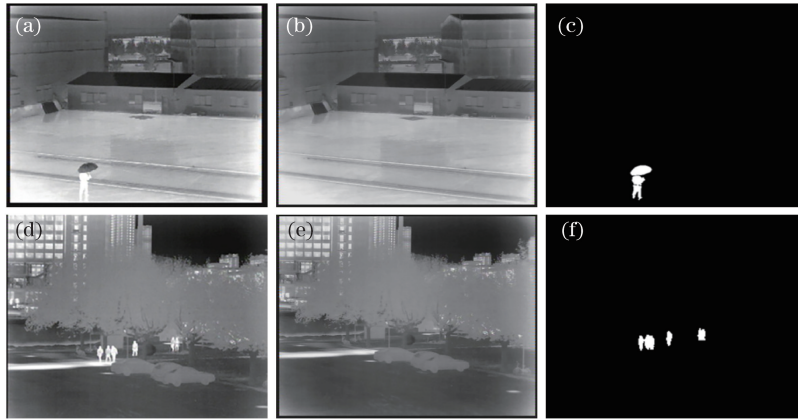


图 3 不同场景的运动目标提取结果。(a) 红外视频帧; (b) 背景图像; (c) 提取的运动目标  
Fig. 3 Extraction results of moving target under different scenes. (a) Infrared video frame;  
(b) background image; (c) moving target extraction

## 5 图像配准

由于可见光和红外传感器的安装和作用视场等不同, 无法保证采集到的可见光背景与红外图像在空间位置上的一致性, 因此, 为了将提取到的红外运动目标在相同比例下正确融入到可见光场景图中, 需要对两幅图像进行配准, 以便同一目标在不同图像中能够一一对应, 使得红外运动目标在可见光场景中具有同样的位置坐标<sup>[16]</sup>。

假设单幅红外和可见光图像在  $(x, y)$  像素点上的灰度值或其他度量值用函数表示为  $I_1(x, y)$ 、 $I_2(x, y)$ , 那么它们之间的配准可以用公式  $I_2(x, y) = g[I_1(f(x, y))]$  进行表达, 这里  $f$  为二维空间变换函数,  $g$  为一维灰度值或其他度量值的变换。

因为可见光与红外线所处波段不同, 所以两幅图像的对比度和图像特征灰度值范围也不同。与单一传感器相比, 从可见光与红外图像中提取特征一致的灰度值信息或其他度量值信息有很大难度。因此红外和可见光图像的配准表达式简化为  $I_2(x, y) = I_1[f(x, y)]$ , 寻找其中的空间几何变换函数  $f$ , 使两幅图像转换到同一坐标下, 以达到空间的一致性。

针对同源传感器, 现有的配准方法已经比较成熟, 但在非同源传感器方面仍然缺少普遍适用性。考虑到本文摄像头处于静止状态, 且固定安装在某个区域, 因此在摄像机标定阶段, 采用交互的方式完成图像特征

点的选取,即对两幅图像所对应的同一固定场景的特征点进行选取,并计算它们之间的仿射参数<sup>[17]</sup>,将其作为后续每一帧红外视频图像与可见光场景图配准的基本参数,使得系统按照预定的方式进行彩色视频的重构。图4为图像配准阶段的算法流程图。

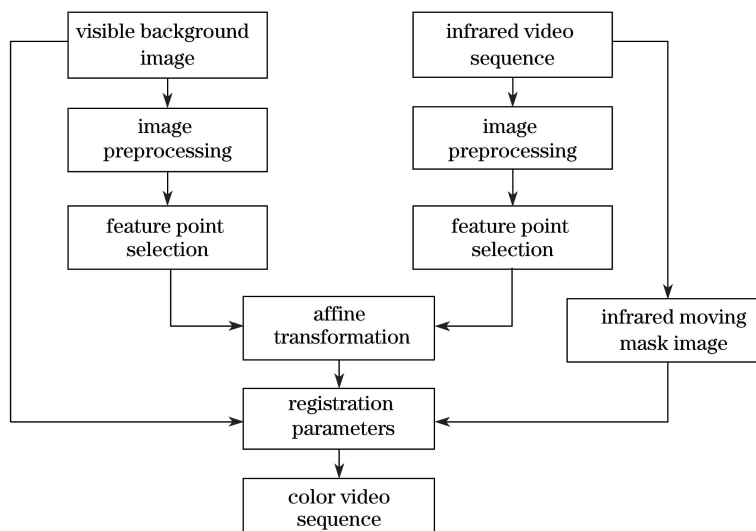


图4 图像配准算法流程图

Fig. 4 Flow chart of image registration algorithm

首先,对配准前的红外图像和可见光背景进行锐化处理,为后续的特征匹配提供更多的特征信息;其次,计算所选特征点之间的仿射矩阵,确定配准系数;最后,将红外运动目标提取过程中得到的二值图像  $D_{\text{result}}(x, y)$  作为掩模图像  $M(x, y)$ ,按(10)式提取红外原始图像  $f(x, y)$  的前景目标  $Q(x, y)$ ,并通过配准系数用前景目标对相应位置的可见光背景  $B_c(x, y)$  进行局部遮挡,结合两幅图像的像素级信息,得到彩色重构图像  $C(x, y)$ 。如(11)式所示,当掩模图像像素值为 255 时,将前景目标赋值到可见光背景图像的对应位置,否则保留可见光背景图像的像素点不作改变。

$$Q(x, y) = \begin{cases} f(x, y), & M(x, y) = 255 \\ 0, & M(x, y) = 0 \end{cases}, \quad (10)$$

$$C(x, y) = \begin{cases} Q(x, y), & M(x, y) = 255 \\ B_c(x, y), & M(x, y) = 0 \end{cases}. \quad (11)$$

## 6 实验结果

为了验证上述方法的可行性和有效性,针对不同的视场范围特点,使用红外热像仪和可见光摄像机在不同地点和天况下进行实验,在 Intel core i5-4570 3.20 GHz CPU 和 8.00 GB 内存的硬件环境上运行,并利用 C++ 语言在 OpenCV2.4.9 运行库上实现。实验视频序列分辨率为 720 pixel×576 pixel,平均处理速度约为 40 frame/s。

选取雨天(图5)和薄雾天气(图6)两个场景,演示红外原始视频序列的彩色重构结果。图5、6中(a)为待配准的夜晚红外视频图像,(b)为经混合高斯建模的可见光背景图像,(c)为完成图像配准的加权融合图像,从图中可以看出,匹配效果比较准确,(d)为原始红外视频帧图像,(e)为将按本文方法提取到的红外运动目标(d)与可见光背景图像(b)按照配准参数进行重构得到的彩色视频图像,(f)为基于文献[2]中 Welsh 方法得到的彩色化结果图像。

由实验结果可以看出,原始的红外视频图像表现为黑白灰度级图像,对比度差,动态范围小,并不适合人眼直接进行观察,但将其与可见光背景图像进行配准重构后的彩色图像不仅能够将视场中的运动目标特征表现出来,而且还能清楚地反映运动物体在场景内的具体活动位置,体现场景的细节信息。与基于颜色迁移的传统彩色化方法相比,本文方法色彩真实,目标与场景的对比度高,能够明显提高人眼对场景内目标的识别和检测效率,满足人眼的视觉需求。



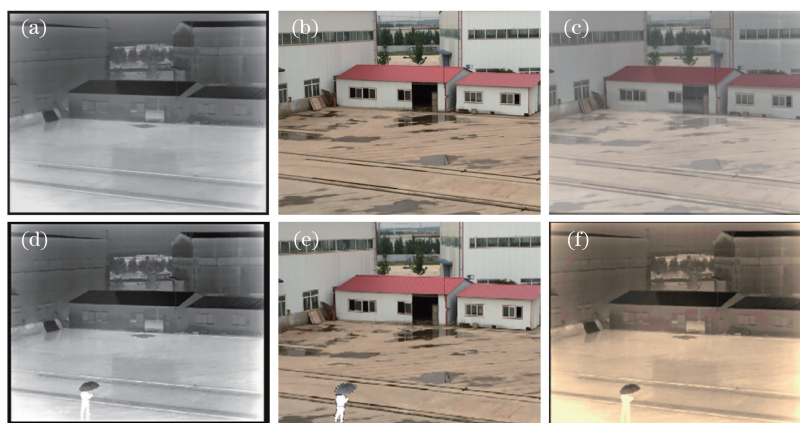


图 5 场景 1 结果图。(a)红外视频图像;(b)可见光背景图像;(c)配准效果;(d)原始红外视频图像;  
(e)本文方法得到的彩色化结果;(f)基于 Welsh 方法得到的彩色化结果

Fig. 5 Results under scene 1. (a) Infrared video image; (b) visible background image;  
(c) registration result; (d) original infrared video image; (e) colorization result based on proposed method;  
(f) colorization result based on Welsh method

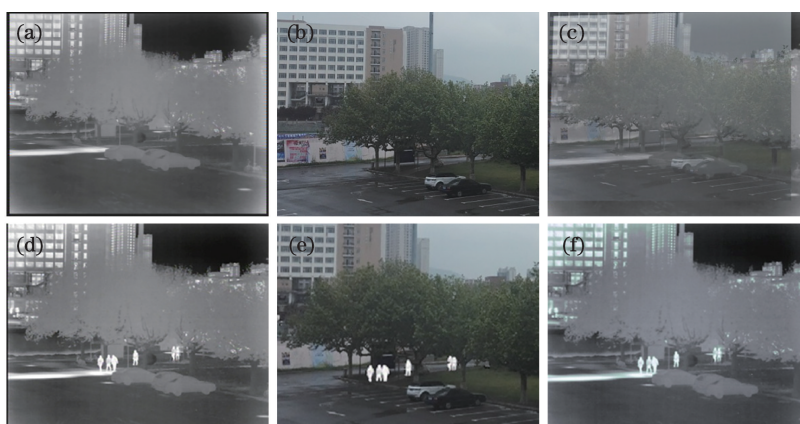


图 6 场景 2 结果图。(a)红外视频图像;(b)可见光背景图像;(c)配准效果;(d)原始红外视频图像;  
(e)本文方法得到的彩色化结果;(f)基于 Welsh 方法得到的彩色化结果

Fig. 6 Results under scene 2. (a) Infrared video image; (b) visible background image;  
(c) registration result; (d) original infrared video image; (e) colorization result based on proposed method;  
(f) colorization result based on Welsh method

为了进一步验证本文方法的实时性,对实验视频序列典型算法的运行时间作出统计,结果如表 1 所示。彩色视频的背景构建过程是单独进行的,不将其考虑在系统的实时运行时间内。可以看出,针对分辨率为 720 pixel×576 pixel 的视频序列,本文算法能够达到 40 frame/s 的运行速度,可满足彩色视频实时构建的需要。

表 1 系统算法处理时间

Table 1 Processing time of system algorithm

Algorithm	Processing time $t$ /s
Background updating	0.014
Background subtraction	0.006
Weighting fusion	0.003
Image registration	0.001
Total time	0.024

## 7 结 论

提出了一种有效的面向固定区域夜雾天的彩色视频构建方法,结合红外和可见光双波段传感器各自的成像优势,进行红外目标与可见光场景的同比例融合,最终得到一幅信息量更大、更能满足人眼视觉需求的彩色视频图像。实验结果表明,本文方法能够准确地完成夜雾天况下包含红外目标的彩色视频的构建,充分体现出运动目标及其所在彩色场景的特征信息,提升人眼对场景内目标的识别和感知。对于图像大小为 720 pixel $\times$ 576 pixel 的视频序列,本文方法的平均处理速度达到 40 frame/s,能够满足彩色视频实时构建的需求。

## 参 考 文 献

- [1] Reinhard E, Adhikhmin M, Gooch B, *et al.* Color transfer between images[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 21(5): 34-41.
- [2] Welsh T, Ashikhmin M, Mueller K. Transferring color to greyscale images[J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(3): 277-280.
- [3] Li Jianming, Ye Fei, Yu Shouqiu, *et al.* A fast algorithm of transferring color to greyscale images[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(3): 536-540.  
李建明, 叶飞, 于守秋, 等. 一种快速灰度图像彩色化算法[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(3): 536-540.
- [4] Liu Yong, Shao Changyong. Improvement of Welsh's grey image colorization arithmetics[J]. Modern Electronics Technique, 2009, 32(24): 141-143.  
刘勇, 邵常勇. 对 Welsh 灰度图像彩色化算法的改进[J]. 现代电子技术, 2009, 32(24): 141-143.
- [5] He Xiaojun, Qiao Yin. Research on Welsh algorithm-based grayscale image colorization[J]. Computer Applications and Software, 2014, 31(12): 268-271.  
和晓军, 乔寅. 基于 Welsh 算法的灰度图像彩色化的研究[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(12): 268-271.
- [6] Teng Shenghua. Research on colorization of monochrome images and videos[D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences(Institute of Electronics), 2006.  
滕升华. 黑白影像的彩色化研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(电子学研究所), 2006.
- [7] Arbelot B, Vergne R, Hurtut T, *et al.* Local texture-based color transfer and colorization[J]. Computers & Graphics, 2017, 62: 15-27.
- [8] Zhao Yuanmeng, Wang Lingxue, Jin Weiqi, *et al.* Single-band infrared image colorization algorithm based on color transfer[J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(3): 654-658.  
赵源萌, 王岭雪, 金伟其, 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, 29(3): 654-658.
- [9] He Yongqiang, Wang Qun, Wang Guopei, *et al.* Gray image colorization based on fusion and color transfer[J]. Infrared Technology, 2012, 34(5): 276-279.  
何永强, 王群, 王国培, 等. 基于融合和色彩传递的灰度图像彩色化技术[J]. 红外技术, 2012, 34(5): 276-279.
- [10] Xue Mogen, Zhou Pucheng, Liu Cunchao. A novel local color transfer method for night vision image[J]. Infrared and Laser Engineering, 2015, 44(2): 781-785.  
薛模根, 周浦城, 刘存超. 夜视图像局部颜色传递算法[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(2): 781-785.
- [11] Stauffer C, Grimson W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking[C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1999: 246-252.
- [12] Wan Ying, Han Yi, Lu Hanqing. The methods for moving object detection[J]. Computer Simulation, 2006, 23(10): 221-226.  
万缨, 韩毅, 卢汉清. 运动目标检测算法的探讨[J]. 计算机仿真, 2006, 23(10): 221-226.
- [13] Shi Yongbiao, Zhang Yong. A pedestrian detection algorithm based on video sequence research[J]. Infrared, 2016, 37(10): 35-40.  
石永彪, 张涌. 一种基于视频序列的行人检测算法研究[J]. 红外, 2016, 37(10): 35-40.
- [14] Chen Yin, Ren Kan, Gu Guohua, *et al.* Moving object detection based on improved single Gaussian background model[J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(11): 1109002.  
陈银, 任侃, 顾国华, 等. 基于改进的单高斯背景模型运动目标检测算法[J]. 中国激光, 2014, 41(11): 1109002.

- [15] Chen Qiang, Sheng Huixing, Zhang Zhuo, *et al.* Moving object detection under infrared light mutation[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2016, 53(11): 111005.  
陈强, 盛惠兴, 张卓, 等. 红外光照突变下的运动目标检测[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(11): 111005.
- [16] Zhang Yong, Jin Weiqi. 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.
- [17] Guan Yanran, Guan Youqing. Research and application of affine transformation based on OpenCV[J]. Computer Technology and Development, 2016, 26(12): 58-63.  
管焱然, 管有庆. 基于 OpenCV 的仿射变换研究与应用[J]. 计算机技术与发展, 2016, 26(12): 58-63.