

一种变焦式夜雾天彩色视频构建方法

乔梦霞, 熊木地*, 崔婷婷, 李景润

大连海事大学信息科学技术学院, 辽宁 大连 116026

摘要 针对固定红外摄像机视频监控在夜雾天况下获得的成像效果差、监控范围有限等问题, 运用带云台的 LED 红外摄像机, 结合红外成像与可见光成像的特点, 提出一种变焦式夜雾天彩色视频构建的方法。该方法在天气状况良好的白天利用可见光成像特点实现全景图像拼接, 然后将红外图像与全景图像配准, 从而构建出视场角一致的可见光背景图像。在能见度较低的夜雾下利用红外成像系统提取运动目标, 然后通过掩模融合算法和配准参数, 将运动目标同比例发融合到可见光背景图像相同位置中, 最终实现变焦式彩色视频构建。实验结果表明, 该方法能够满足大范围监控和夜雾天全天候彩色视频实时监控的要求。

关键词 图像处理; 实时彩色视频; 全景图像拼接; 运动目标提取; 变焦式; 云台 LED 红外摄像机

中图分类号 TP391.4

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP55.121008

A Zoom Color Video Construction Method in Night and Foggy Days

Qiao Mengxia, Xiong Mudi*, Cui Tingting, Li Jingrun

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

Abstract For the fixed infrared camera video surveillance, and the poor imaging results and limited monitoring range in the night and foggy weather conditions, we propose the zoom color video construction method in night and foggy days based on LED infrared camera with PTZ, combining with the characteristics of infrared imaging and visible light imaging. This method uses visible light imaging to achieve panoramic image stitching during daytime with good weather conditions, then the infrared image with the panoramic image is registered to construct a visible light background image with the same field angle. An infrared imaging system is used to extract moving objects in night and foggy days with low visibility, then through the mask fusion algorithm and the registration parameters, the moving target is fused to the same position of the visible light background image in the same proportion, and finally the zoom color video is constructed. The experimental results show that this method can meet the requirements of wide monitoring, real-time monitoring of color video in night and foggy all days.

Key words image processing; real-time color video; panoramic image stitching; motion target extraction; zoom type; LED infrared camera with PTZ

OCIS codes 100.2550; 100.3020; 110.2990; 110.3055

1 引言

视频彩色化是目前国内外夜视领域的研究热点, 相对于夜晚黑白灰度级的视频, 彩色视频内容更加丰富, 目标易识别, 且具有丰富的场景信息。

彩色化成像处理根据目标可分为静态图像和动态图像。针对静态图像 Reinhard 等^[1] 提出了在 Lab 颜色空间, 利用一幅彩色图像和一幅灰度图像合成一幅颜色基调与原彩色图像相近的新彩色图像

的方法。2012 年, Toet 等^[2] 提出了一种颜色重映射方法, 即通过颜色查找表的方法, 将多光谱夜视图像合为具有自然感的彩色图像。通过改进在不同颜色空间传递, 2018 年, 朱进等^[3] 提出了一种基于 YUV 空间色彩传递方法, 由灰度图像及其负片图像构成初始彩色图像, 在 UV 通道进行参考图像的色彩传递。动态图像彩色化技术尚未成熟, 目前主要用于电影行业, 但电影彩色化都属于商业机密, 很难查到国内外这方面的研究。在国内, 滕升华^[4] 对视频首

收稿日期: 2018-05-28; 修回日期: 2018-06-22; 录用日期: 2018-07-05

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)

* E-mail: xiongmudi@dlmu.edu.cn

帧进行色彩转移后,运用运动估计的视频处理技术进行彩色化。2017年,刘丽娜等^[5]提出了一种夜雾天彩色视频构建方法,该方法虽可以完成动态图像彩色视频处理,但只局限于固定区域的应用。上述研究都是基于色彩传递^[6-7]方法,且为固定区域夜视图像的彩色化研究,不能满足变焦监控的需求,因此寻找视频的彩色化实用技术是十分必要的。

与以往色彩传递不同,本文采用多波段成像的思想,根据监控需要,通过LED红外摄像机云台控制系统调整不同的焦距,将红外运动目标准确地融合到视场角一致的可见光背景图像中,从而提出了一种变焦式夜雾天彩色视频构建方法。本文方法有效地克服了红外图像信息量少不利于观察、固定红外摄像机监控范围有限的缺点,实现了远距离、多方位、全天候彩色视频监控。

2 彩色视频背景图像构建

2.1 可见光背景图像全景拼接

本文利用可见光成像特点和LED红外摄像机云台控制系统,在天气良好的白天实现可见光背景图像全景拼接。图像配准^[8-9]是实现可见光背景图像全景拼接的关键技术,其分为基于图像灰度、基于变换域和基于图像特征的配准算法^[10]。基于灰度的图像配准方法是利用图像的灰度值统计信息来度量图像的相似程度^[11],应用范围较窄,一般不能用于图像的非线性变换,且计算量较大。基于变换域配准算法最主要的是傅氏变换方法,可以实现图像的平移、旋转、仿射等变换,可在一定程度上抗噪声^[12]。基于图像特征配准是提取图像中区域、线和点等显著特征,通过寻找特征之间的关系进行配准。该方法计算量小,配准精度较高,能够抑制噪声且能较好地适应图像灰度变化和干扰遮挡。

本文采用尺度不变特征变换(SIFT)^[13]特征算法实现图像配准以及图像拼接。SIFT是一种检测局部特征的算法,具有旋转、光照、仿射和尺度等不变特性。图像的拼接是把具有部分重叠的两幅或者多幅图像合成为一幅新图像。本文可见光背景图像全景拼接主要包括图像预处理、特征点提取和描述、特征点匹配、图像配准、图像拼接和后期处理等步骤。

1) 图像预处理。全景图像为后期融合红外运动目标以及构建彩色视频提供背景图像,因此全景

拼接的图像不能含有运动目标,本文采用人工手动选取的方式,在光照良好的白天使用云台控制系统采集不同视场角、不含运动目标的可见光图像。

2) 特征点提取与描述。将处理后图像通过不同尺度的高斯核函数连续平滑和下采样,然后将相邻尺度的两图像相差分,获得高斯差分(DOG)尺度空间。将DOG尺度空间中的点与图像中具有相邻尺度和相邻位置的像素点进行逐一对比,获得的局部极值(灰度极大值或极小值)位置即为特征点所在的位置和对应的尺度。特征点描述主要是对特征点周围像素进行区域分块,计算块内的梯度直方图,得到特征向量,为之后的特征点匹配做准备。

3) 特征点匹配。当得到两幅图像的特征向量后,通过判断特征向量的欧氏距离来衡量两幅图像中特征点的相似性。取图像1中某个特征点,计算图像2与其欧氏距离最近的前两个特征点。对于这两个特征点,如果次近距离与最近距离的比值小于某个阈值 T_1 ,则接受这一对匹配点^[14]。在获得匹配特征点之后,运用数据结构中排序的方法提取前 K 个最优的匹配特征点。

4) 图像配准。找出两幅图像之间适当的空间变换或映射以增强匹配图像对的融合效果。首先通过获得的最优匹配特征点计算映射变换矩阵,从而得到两幅图像之间的映射关系。然后将图像1利用变换矩阵进行透视变换,同时获取图像1匹配特征点在变换后图像上的位置,用于图像拼接点的定位。

5) 图像拼接。根据图像1匹配特征点在变换后图像上的位置及图像2匹配特征点位置,确定图像1和图像2中不重合的部分。然后将图像2不重合的部分直接复制到图像1上,即完成了图像1与图像2的拼接。

6) 后期处理。全景图像四周有时会出现黑色区域情况,本文采用像素点扫描的方法确定上边黑色区域最低点位置、下边黑色区域最高点位置、左边黑色区域最右点位置和右边黑色区域最左点位置。通过4点的位置画矩形框,确定没有黑色区域的全景图像,从而达到将四周的黑色区域剪切的效果。

图1(a)、(b)分别为原始可见光背景图像1和图像2,图1(c)为图像1与图像2特征点匹配后的图像,图1(d)为利用SIFT特征拼接后的全景图像,图1(e)为去掉黑色区域后的全景图像。可以看出,本文实现了可见光背景图像全景拼接,并且去除了拼接后全景图中的黑色边缘,适合人眼观看。

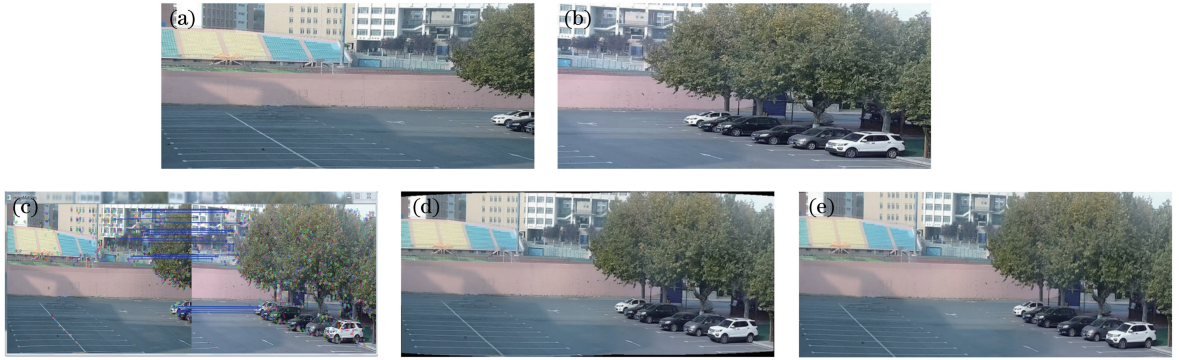


图 1 可见光背景图像全景拼接结果图。(a)原始图像 1;(b)原始图像 2;(c)特征点匹配图;
(d)拼接图像;(e)去掉黑色区域后的拼接图像

Fig. 1 Results of visible light background image panorama stitching. (a) Original image 1; (b) original image 2;
(c) feature point matching diagram; (d) stitching images; (e) stitching images after removing black areas

2.2 变焦后彩色视频背景图像构建

根据监控需要,可以通过 LED 红外摄像机云台控制系统调整不同的焦距,所以红外视频与全景图像视场角不同,变焦后的监控场景与上文中的可见光全景图像经过配准,可提取到与变焦后监控场景一致的可见光背景图像。上文中自动提取特征点匹配错误率较高,故而采用人工手动选取特征点(感兴趣点或角点)方式,分别在可见光背景全景图像和红外图像中手动选取三个特征点,然后根据特征点计算其仿射变换矩阵,确定配准系数 Mat,最后对可见光背景全景图像进行仿射变换,从而得到与红外图

像视场角一致的可见光背景图像 $B_a(x, y)$ 。

图 2 为变焦后不同焦距和视场角的两个红外场景与可见光背景全景图像配准后构建可见光背景过程图,其中图 2(a1)、(a2)分别为场景一、场景二手动标定界面,分别在可见光背景全景图像与红外图像中选取三个特征点。图 2(b1)、(b2)分别为场景一、场景二配准结果图,可以看出,红外图像与可见光背景全景图像视场角被调整一致。图 2(c1)、(c2)分别为场景一和场景二构建的与红外图像视场角一致的可见光背景图像,其中构建的两幅可见光背景图像为后续的彩色视频提供背景图像。

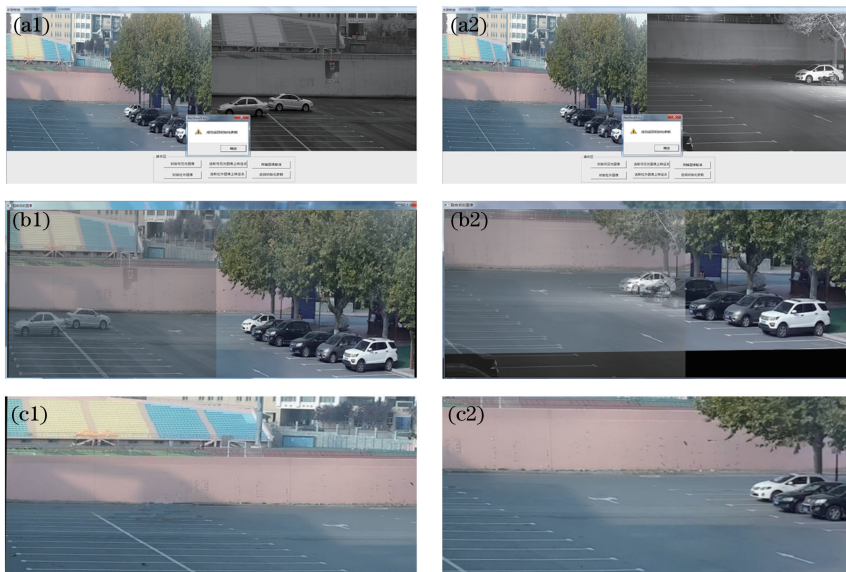


图 2 彩色视频背景图像构建结果图。(a1)场景一手动标定界面;(a2)场景二手动标定界面;(b1)场景一配准结果;
(b2)场景二配准结果;(c1)场景一彩色视频背景图像;(c2)场景二彩色视频背景图像

Fig. 2 Results of color video background image construction. (a1) Scene 1 manual calibration interface; (a2) scene 2 manual calibration interface; (b1) scene 1 registration result; (b2) scene 2 registration result; (c1) scene 1 color video background image; (c2) scene 2 color video background image

3 变焦后红外运动目标提取

运动目标提取是从视频中把有变化的物体从静态的背景图像中分离出来^[15]。当前运动目标提取和检测方法主要有帧间差分法、光流法、背景差分法等^[16-17]。帧间差分法^[18]实时性较强,但当运动物体与背景灰度相似时,提取的运动目标有空洞。光流法计算量大、耗时长,不能满足实时监控的需求。背景差分法是最常用的运动目标提取方法,其关键是构建不带有运动目标的背景模型,然后将当前帧与背景模型做差运算得到运动目标。背景差分法运算量少且易实现,但不能适应光照、天气的变化。Barnich等^[19]提出的Vibe算法复杂度低、运行速度快,能在一定程度上适应光线的变化,其场景适应性、抗噪性和稳健性均较强。

综上所述,为满足实时性及提取运动目标完整的要求,本文提出了基于Vibe背景建模的背景差分法提取红外运动目标。首先根据Vibe算法对红外视频背景建模并实时更新,从而得到背景图像与前景图像。然后利用背景差分法将当前帧与背景图像进行差分,得到前景图像并且二值化,与Vibe算法得到的前景图像相“或”,最终可以得到更加准确完整的运动目标。图3为本文提取红外运动目标算法的流程图。

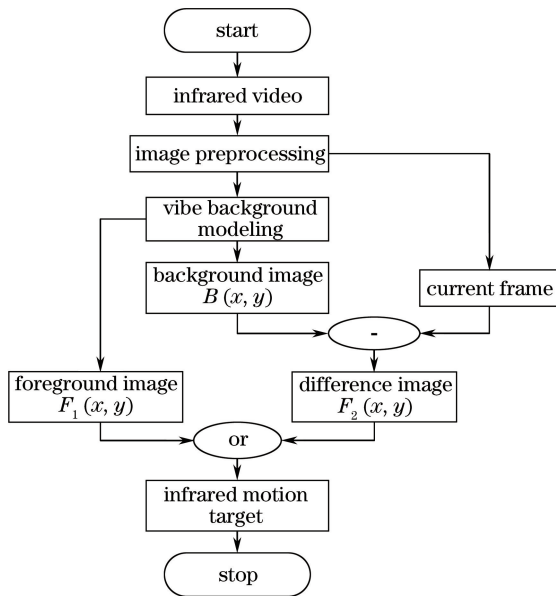


图3 红外运动目标提取流程图

Fig. 3 Flow chart of infrared motion target extraction

1) 红外视频预处理。夜雾天原始红外视频受到噪声等因素的干扰,影响红外运动目标检测。本文采用形态学滤波法对红外图像进行预处理,去消

除或弱化孤立的噪声点。同时为了降低平滑处理后的模糊效果对后续的处理,采用图像锐化对图像的边缘细节进行增强。

2) 背景建模。Vibe建模是基于像素的背景建模,该算法采用视频首帧将每个像素建立有 N 个样本的背景模型,然后将当前帧像素点与背景模型匹配,若相匹配则该点为背景点。建模后的背景点集合构成了背景图像 $B(x, y)$,前景点集合构成了前景图像 $F_1(x, y)$ 。Vibe背景模型随机地选择图像像素替换样本,并且随机地更新。

①模型初始化:在视频首帧中,随机的选择像素点 $v(x)$ 及其邻域点的像素值作为其模型样本集 $M(x)$ 的值。初始化后背景模型为

$$M(x) = \{v_0, v_1, \dots, v_{N-1}\}, \quad (1)$$

式中 v_i 为第 i 个像素的像素值, N 为样本的大小。

②像素的分类:定义一个圆心为像素点 $v(x)$ 的位置,半径是 R 的 $S_R[v(x)]$ 圆,通过计算圆内样本集 $M(x)$ 落入的样本个数来判断像素点 $v(x)$ 与样本的相似度。当相似的样本点数 c_{count} 大于阈值 T_2 时,则判定像素点 $v(x)$ 为背景点;否则,该点为前景点。

$$c_{\text{count}} = \# \{S_R[v(x)] \cap \{v_0, v_1, \dots, v_{n-1}\}\}. \quad (2)$$

③模型更新:若像素点 $v(x)$ 被检测为前景点,背景模型不需要更新;否则更新像素点 $v(x)$ 对应的背景模型样本集。Vibe算法的背景更新采用随机采样且无记忆的方法,每一个背景点有 $1/\phi$ (ϕ 为视频采样率)的概率去更新自己及其邻域点的模型样本值,在其对应点及其邻域点的模型样本集中随机选择一个样本,用其及其邻域点的像素值去更新。

3) 背景差分。当前帧 $f(x, y)$ 与背景建模后得到的背景图像 $B(x, y)$ 相差分,然后对差分图像进行阈值判断,得到二值化的前景图像:

$$F_2(x, y) = \begin{cases} 1, & |f(x, y) - B(x, y)| \geq T_3 \\ 0, & |f(x, y) - B(x, y)| < T_3 \end{cases}, \quad (3)$$

式中 T_3 为二值化的阈值。

4) 提取红外运动目标。Vibe算法得到的前景图像 $F_1(x, y)$ 是二值图像,将 $F_1(x, y)$ 和前景图像 $F_2(x, y)$ 进行布尔或运算,得到红外运动目标二值图像:

$$F_{\text{result}}(x, y) = F_1(x, y) \parallel F_2(x, y). \quad (4)$$

5) 后期处理。通过Vibe算法和背景差分法结合提取的运动目标通常含有少量的毛刺和噪声等干

扰,为了获取较完整的运动目标,去除干扰信息,采用形态学滤波法对红外运动目标分别进行膨胀与腐蚀处理。

图4为根据监控需要,调整不同焦距、不同场景中红外运动目标的提取过程,图4(a1)和(a2)分别

为场景一和场景二原始红外视频图像,图4(b1)为场景一和场景二 Vibe 建模后获得的背景图像,图4(c1)和(c2)分别为场景一和场景二提取到的红外运动目标。由图可知,本文方法可以获得较完整的红外运动目标,适合人眼观察。

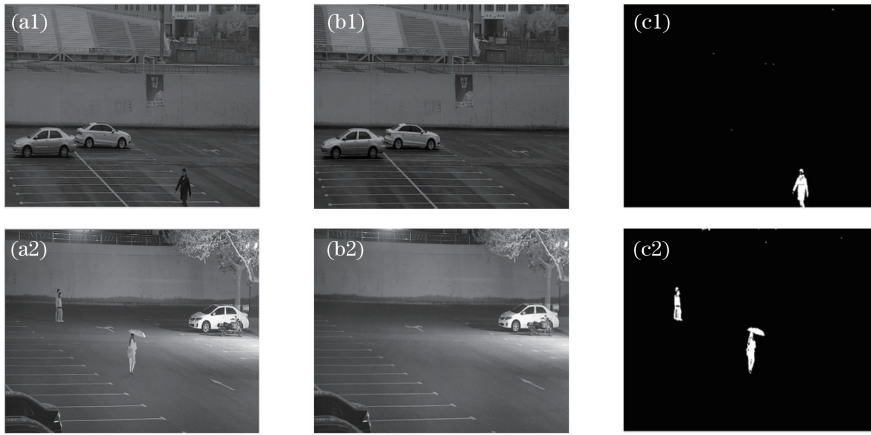


图4 红外运动目标提取结果图。(a1)场景一原始红外视频图像;(b1)场景一 Vibe 建模提取的背景图像;(c1)场景一红外运动目标;(a2)场景二原始红外视频图像;(b2)场景二 Vibe 建模提取的背景图像;(c2)场景二红外运动目标
Fig. 4 Results of infrared motion target extraction. (a1) Scene 1 original infrared video image; (b1) scene 1 vibe modeled extracted background image; (c1) scene 1 infrared moving target; (a2) scene 2 original infrared video image; (b2) scene 2 vibe modeling extracted background image; (c2) scene 1 infrared motion target

4 图像融合

摄像机变焦后,根据提取的红外运动目标以及构建好的彩色视频背景图像进行融合处理,完成彩色视频的实时输出。采用基于掩模的融合方法,利用选定的掩模图像对待处理的图像进行遮挡,以控制图像处理的区域。本文以红外运动目标二值图像 $F_{\text{result}}(x, y)$ 为掩模图像,从原始红外视频图像 $f(x, y)$ 相应位置中提取红外运动目标 $A(x, y)$ 。当 $F_{\text{result}}(x, y) = 1$ 时,根据配准系数 Mat,将红外运动目标复制到相应位置的可见光背景图像 $B_a(x, y)$ 中;否则,保留可见光背景图像,最终构建出了彩色视频 $D(x, y)$ 。

$$A(x, y) = \begin{cases} f(x, y), & F_{\text{result}}(x, y) = 1 \\ 0, & F_{\text{result}}(x, y) = 0 \end{cases}, \quad (5)$$

$$D(x, y) = \begin{cases} A(x, y), & F_{\text{result}}(x, y) = 1 \\ B_a(x, y), & F_{\text{result}}(x, y) = 0 \end{cases}. \quad (6)$$

5 实验结果及分析

为了验证本文方法的有效性和可实施性,采用 Visual Studio 2010 和计算机视觉库 OpenCV 2.4.9 进行程序编写,在操作系统为 Windows 7、处理器为 Intel Core i5-7500 CPU @3.40 GHz、内存为 8.0 GB

的硬件环境中运行。摄像机采用海康威视 200 万像素红外网络高清智能球机,采集的视频分辨率为 $1280 \text{ pixel} \times 720 \text{ pixel}$,帧率为 25 frame/s 。实验中算法参数 $T_1 = 0.6, K = 10, N = 8, R = 20, T_2 = 2, \phi = 16, T_3 = 20$ 。

本文选取夜晚阴天和夜晚有雨两个场景,其焦距和视场角都与可见光背景全景图不同,图 5、6 中 (a) 为可见光背景全景图, (b) 为不同场景中原始红外视频图像, (c) 为与对应的红外图像视场角一致的彩色视频背景图像, (d) 为不同场景提取出的红外运动目标, (e) 为不同场景构建出的彩色视频, (f) 为根据文献[2]提出的色彩传递方法的图像彩色化图。

由实验结果可知,原始红外视频图像是灰度级图像,对比度低、动态范围小,不利于夜晚监控。同时与传统固定区域的色彩传递方法对比,本文方法得到的图像色彩更加真实,目标与背景的对比较高,并且通过调整不同焦距可以使监控更加灵活,监控者通过对彩色视频分析,可以迅速地确定红外运动目标特征和具体位置。因此,本文提出的变焦式夜雾天彩色视频构建的方法,在夜晚能见度较低的情况下,不仅实现了不同焦距和视场角监控的彩色视频输出,而且较完整地体现了红外运动目标特征。

为了验证本文方法对视频可以实现实时监控处

理,实验中统计了视频处理时间。算法中可见光背景全景拼接与彩色视频背景构建是单独的模块,不计入处理总时间。红外运动目标提取运行时间为0.036 s,图像融合运行时间为0.002 s,总处理时间

大约为0.038 s,因此本文算法的实时处理速度平均能够达到26 frame/s,而摄像机采集的视频的帧率为25 frame/s,所以可以满足实时监控处理输出的要求。

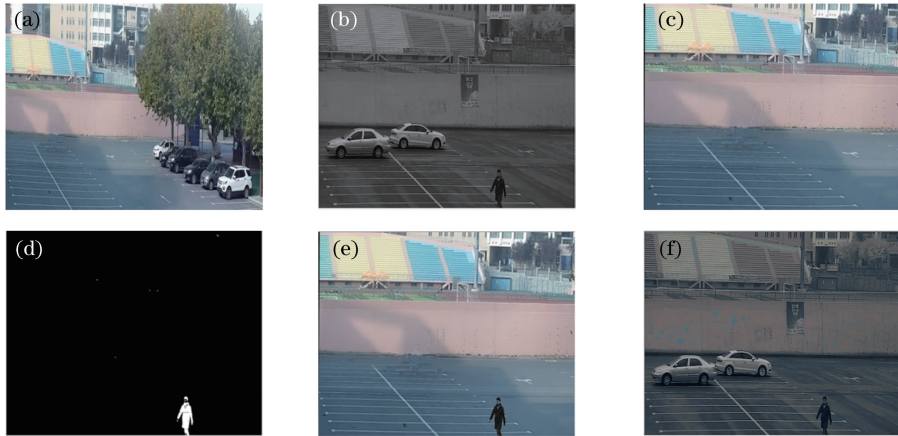


图5 场景一实验结果。(a)可见光背景全景图像;(b)原始红外视频图像;

(c)彩色视频背景图像;(d)红外运动目标;(e)本文方法的彩色视频;(f)基于色彩传递的彩色化图

Fig. 5 Experimental results of scene 1. (a) Visible light background panoramic image; (b) original infrared video image; (c) color video background image; (d) infrared motion target; (e) color video based on proposed method; (f) colorized map based on color transfer

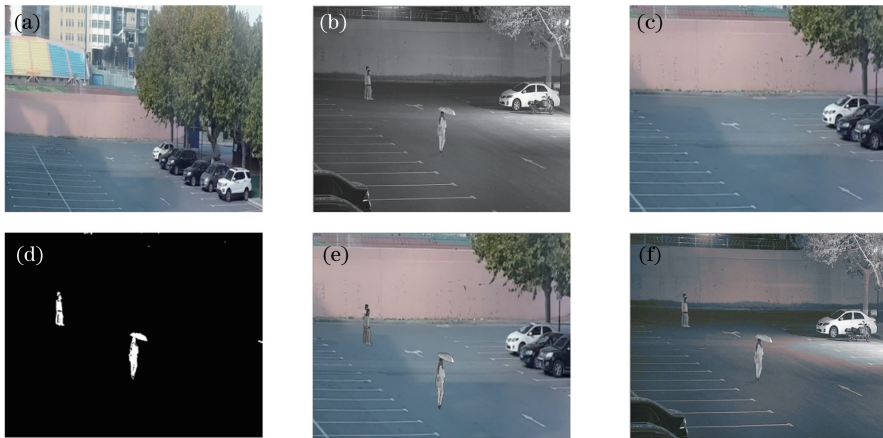


图6 场景二实验结果。(a)可见光背景全景图像;(b)原始红外视频图像;

(c)彩色视频背景图像;(d)红外运动目标;(e)本文方法的彩色视频;(f)基于色彩传递的彩色化图

Fig. 6 Experimental results of scene 2. (a) Visible light background panoramic image; (b) original infrared video image; (c) color video background image; (d) infrared motion target; (e) color video based on proposed method; (f) colorized map based on color transfer

6 结 论

提出了一种可实施的变焦式夜雾天彩色视频构建方法,利用可见光成像特点和LED红外摄像机云台控制系统,实现了可见光背景全景拼接以及变焦后彩色视频背景构建,利用本文算法完整地提取出变焦后场景中的红外运动目标,并且将红外运动目标准确地融合到相同视场角的彩色背景中。对

于图像分辨率为1280 pixel×720 pixel、采集帧率为25 frame/s的视频,本文算法的平均实时处理速度可以达到26 frame/s,满足实时监控处理要求。实验结果表明,本文算法完成了不同焦距与视场角、夜雾天彩色视频实时处理与输出,通过人眼对输出的彩色视频进行分析,可以迅速地确定红外运动目标特征和具体位置,获得更加丰富的场景信息。

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] Toet A, Hogervorst M A. Progress in color night vision [J]. Optical Engineering, 2012, 51 (1): 010901.
- [3] Zhu J, Li L, Jin W Q, *et al.* Natural-appearance colorization and enhancement for the low-light-level night vision imaging [J]. Acta Photonica Sinica, 2018, 47(4): 0410002.
朱进, 李力, 金伟其, 等. 低照度夜视成像的自然感彩色化及增强方法 [J]. 光子学报, 2018, 47(4): 0410002.
- [4] Teng S H. Research on colorization of monochrome images and videos[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences (Institute of Electrics), 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.
- [5] Liu L N, Xiong M D. A color video construction method in night and foggy days [J]. Acta Optica Sinica, 2017, 37(12): 1215001.
刘丽娜, 熊木地. 一种夜雾天况彩色视频构建方法 [J]. 光学学报, 2017, 37(12): 1215001.
- [6] Arbelot B, Vergne R, Hurtut T, *et al.* Local texture-based color transfer and colorization [J]. Computers & Graphics, 2017, 62: 15-27.
- [7] Zhao J H, Wu Y F, Hu K R, *et al.* Color image enhancement algorithm based on Lab color space and tone mapping [J]. Computer Science, 2018, 45(2): 297-300.
赵军辉, 吴玉峰, 胡坤融, 等. 基于 Lab 色彩空间和色调映射的彩色图像增强算法 [J]. 计算机科学, 2018, 45(2): 297-300.
- [8] Yang S, Yang C L. Image registration algorithm based on sparse random projection and scale-invariant feature transform [J]. Acta Optica Sinica, 2014, 34 (11): 1110001.
杨飒, 杨春玲. 基于压缩感知与尺度不变特征变换的图像配准算法 [J]. 光学学报, 2014, 34 (11): 1110001.
- [9] Ren K Q, Hu M Y. Color image registration algorithm based on improved SURF [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(5): 748-756.
任克强, 胡梦云. 基于改进 SURF 算子的彩色图像配准算法 [J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(5): 748-756.
- [10] Xu Y, Zhou Y. Review of SAR image registration methods [J]. Geospatial Information, 2013, 11(3): 63-66, 72-75.
徐颖, 周焰. SAR 图像配准方法综述 [J]. 地理空间信息, 2013, 11(3): 63-66, 72-75.
- [11] He B Y, Zhang Z Q, Li Q, *et al.* Color fusion algorithm of dual-band images based on CbCr look-up table [J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38 (1): 0133001.
何炳阳, 张智诠, 李强, 等. 基于 CbCr 查找表的双波段图像彩色融合算法 [J]. 光学学报, 2018, 38 (1): 0133001.
- [12] Wu Y Q, Wang Z L. Remote sensing image registration algorithm based on improved SURF in wavelet domain [J]. Journal of Tianjin University (Science and Technology), 2017, 50 (10): 1084-1092.
吴一全, 王志来. 基于小波域改进 SURF 的遥感图像配准算法 [J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2017, 50(10): 1084-1092.
- [13] Chen S H, Li X R, Zhao L Y, *et al.* Medium-low resolution multisource remote sensing image registration based on SIFT and robust regional mutual information [J]. International Journal of Remote Sensing, 2018, 39(10): 3215-3242.
- [14] Wu J J, Zhang R J, Tang C H. Study on separation and identification of traffic signs images [J]. Optical Instruments, 2011, 33(5): 34-41.
吴锦晶, 张仁杰, 唐春晖. 交通路标图像的分割与识别方法研究 [J]. 光学仪器, 2011, 33(5): 34-41.
- [15] Zhang R G, Liu X J, Hu J, *et al.* A fast method for moving object detection in video surveillance image [J]. Signal, Image and Video Processing, 2017, 11 (5): 841-848
- [16] Cui J, Hu C Q, Xu H D. Moving target detection for multi-beam forward-looking sonar based on frame-difference method [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2018, 39(2): 169-176.
崔杰, 胡长青, 徐海东. 基于帧差法的多波束前视声呐运动目标检测 [J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(2): 169-176.
- [17] Chen Q, Sheng H X, Zhang Z, *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.

- [18] Yao S, Chang X L, Cheng Y F, *et al.* Detection of moving ships in sequences of remote sensing images [J]. *International Journal of Geo-Information*, 2017, 6(11): 334.
- [19] Barnich O, van Droogenbroeck M. ViBe: a universal background subtraction algorithm for video sequences [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011, 20(6): 1709-1724.