

针对动态目标的高动态范围图像融合算法研究

都 琳¹, 孙华燕², 王 帅¹, 高宇轩¹, 齐莹莹³

¹装备学院研究生院, 北京 101416;

²装备学院光电装备系, 北京 101416;

³西安卫星测控中心, 陕西 西安 710000

摘要 高动态范围成像技术能够全面有效地反映拍摄场景信息, 有利于在复杂环境下获得更高的成像质量。目前基于多曝光图像序列的高动态范围图像融合算法需要高精度配准的输入图像序列, 无法克服动态问题带来的影响, 无法针对存在动态目标的多曝光图像序列进行高动态范围图像融合。基于此, 提出了一种高动态范围图像融合算法。该算法利用基于色彩梯度的微分光流法获得由相机抖动以及场景目标运动导致的多曝光图像之间的动态目标偏移量; 结合标定的逆相机响应函数构建高动态范围图像融合权重函数, 对存在动态问题影响的多曝光图像进行高动态范围图像融合。实验结果表明, 提出的算法无需提前对输入图像序列进行精确配准, 能够有效克服动态问题影响, 实现动态目标的高动态范围图像融合。

关键词 图像处理; 动态目标; 色彩梯度微分光流法; 高动态范围图像融合权重函数

中图分类号 TN911.73 **文献标识码** A

doi: 10.3788/AOS201737.0410001

High Dynamic Range Image Fusion Algorithm for Moving Targets

Du Lin¹, Sun Huayan², Wang Shuai¹, Gao Yuxuan¹, Qi Yingying³

¹*Institute of Graduate Student, Academy of Equipment, Beijing 101416, China;*

²*Department of Photoelectric Equipment, Academy of Equipment, Beijing 101416, China;*

³*Xi'an Satellite Measurement and Control Center, Xi'an, Shaanxi 710000, China*

Abstract High dynamic range imaging technique can reflect the shooting scenario comprehensively and effectively, resulting in high quality imaging in the complex environment. However, the classic high dynamic range image fusion algorithm based on high-precision registration of multiple exposure images cannot deal with the impact of dynamic problems. It fails to realize high dynamic range image fusion when there is a moving target in the exposure images. Therefore, a new high dynamic range fusion algorithm to deal with the dynamic targets is proposed. The derivative optical flow based on color gradient is first utilized to acquire the dynamic target offset of different exposure images, which is caused by the camera shake or the movement of the scenario target. The high dynamic range image fusion weighting function is established by combination of target offset and inverse camera response function, and is applied to the fusion algorithm to tackling the problem of dynamic targets in the high dynamic range images without precise mapping. The experimental results show that without image registration, the proposed algorithm is effective in the fusion of the high dynamic range images with moving targets.

Key words image processing; moving target; color-gradient-based differential optical flow method; high dynamic range image fusion weighting function

OCIS codes 100.2960; 100.3008; 110.3010

1 引 言

高动态范围成像技术有利于复杂环境下获得更高的成像质量, 因此广泛应用于模式识别、智能交通系统、遥感遥测、军事监视侦察等众多领域, 具有重要的研究价值。目前高动态范围成像技术的实现方式主要

收稿日期: 2016-10-26; **收到修改稿日期:** 2016-12-08

作者简介: 都 琳(1988—), 女, 博士研究生, 主要从事高动态范围图像处理方面的研究。E-mail: daiqisundu@163.com

导师简介: 孙华燕(1963—), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事光电信息处理与对抗方面的研究。

E-mail: shy221528@vip.sina.com

分为两种,基于硬件实现和基于软件合成。由于基于硬件实现的高动态范围成像技术需要特定的硬件成像系统,造价昂贵且技术仍不成熟,本文主要研究基于软件合成的高动态范围图像融合技术。

基于软件合成的高动态范围图像融合算法的主要研究过程为:首先对多曝光图像序列进行频域处理提取有效信息,然后将生成的结果图像按相应的高动态范围图像文件格式进行存储,最后得到真实的高动态范围图像。该图像可广泛用于军事目标监视、遥感、虚拟现实以及高质量的数字影视等领域。但由于动态范围的扩大无法在普通显示器上正常显示,所以需要进行相应的高动态范围图像显示处理,即色调映射的处理。成像系统的相机响应函数能够建立拍摄图像亮度信息与场景辐亮度信息之间的严格映射关系,这是基于多曝光输入图像高动态范围图像融合的关键技术,所以基于相机响应函数的高动态范围图像融合技术具有重要的研究价值^[1]。

目前已有的基于相机响应函数标定的高动态范围图像融合算法主要是在已知图像之间曝光比例的前提下,利用不同曝光量的已配准的图像序列作为输入,建立图像各通道图像亮度信息与场景辐照度信息之间的映射关系,进而构建融合函数获得反映拍摄场景的高动态范围图像,但这需要拍摄场景保持静态并假设图像序列照度一致。Debevec 等^[2]提出将多帧配准的不同曝光量图像融合为一帧高动态范围图像的方法,该方法可以得到令人较满意的结果,但是计算量大、耗时长,且相机成像时的曝光参数必须十分精确,从而限制了该算法的应用。Mitsunaga 等^[3]利用 N 次多项式来模拟响应函数建立图像亮度与场景辐照度之间的映射,使用曝光度比的估计值来计算多项式的系数,然后用计算得到的多项式重新估计曝光度比,重复上述过程直到算法收敛,可得到相机的响应函数,该算法稳定性不高,迭代结束条件精度设置稍高时容易发散,而且曝光度比的估计值偏离正确值稍大时会收敛到错误的结果。Grossberg 等^[4-5]提出对相机响应函数集进行主成分分析(PCA)来获得相机响应函数模型,该方法可以避免直方图分析方法对不同曝光图像进行空间对齐,但仍需要输入已配准的多曝光图像序列并保持图像照度一致。Mitsunaga 等^[6]尝试以多帧不同曝光度的图像来合成高动态范围图像,首先对一个观察场景做出可信用度估计,然后对不同的曝光图像进行加权平均得到该场景的高质量图像,但该方法仅适用于静态场景,而且要求在多次曝光时,图像采集系统、场景及其光照情况相对不变。Celebi 等^[7]提出一种新的自适应直方图分离算法对单帧输入图像分离出过曝光图像以及欠曝光图像,利用分离的图像进行高动态范围图像融合,从而消除成像系统晃动带来的影响,但该方法不适用于同时需要对场景以及其中的目标获得高动态范围图像的情况。

实际拍摄场景中目标的动态问题以及成像系统的晃动给输入图像序列配准带来很大困难,且往往无法保证输入图像序列的光照严格一致。基于此,本文提出了针对动态目标的高动态范围图像融合算法,在无需提前对输入图像序列进行精确配准的前提下,可克服动态问题的影响、实现动态目标高动态范围图像融合。

2 算法原理

基于多曝光图像序列的高动态范围图像融合技术需要对静态拍摄目标的多曝光图像序列进行处理,但实际情况中往往无法获得理想的静态输入图像序列。相机抖动以及场景目标运动等会造成无法进行高精度的图像配准,进而无法利用现有的较为成熟的高动态范围图像融合算法获得动态目标的高动态范围图像^[8]。

本文算法利用基于色彩梯度的微分光流法获得相机抖动以及场景目标晃动导致的多曝光图像之间的目标偏移量,通过分析单帧曝光量合适的拍摄图像进行逆相机响应函数标定,结合构建的高动态范围图像融合权重函数对存在动态问题影响的多曝光图像进行高动态范围图像融合。算法流程图如图 1 所示。

2.1 基于色彩梯度的微分光流法获取偏移量

光流算法能够获得图像随时间变化与目标运动变化之间的关系,不变量的确定是光流场估计的重要内容。传统光流算法多假定目标的亮度在运动中保持不变,从而构成光流基本方程进行求解。但拍摄的不同帧图像之间往往无法保证光照条件不发生变化,所以在存在动态问题影响的情况下亮度信息不适合作为光流求解的不变量。

由于物体的颜色信息不会随着光照条件的变化而发生变化,所以颜色信息可为光流求解提供更加准确的约束信息,更适用于作为光流求解的不变量,从而提高光流估计精度,抑制噪声造成的影响。相较于颜色信息,色彩梯度本身能够更为理想地克服外界干扰,具有更好的稳健性,所以利用基于色彩梯度求解光流场

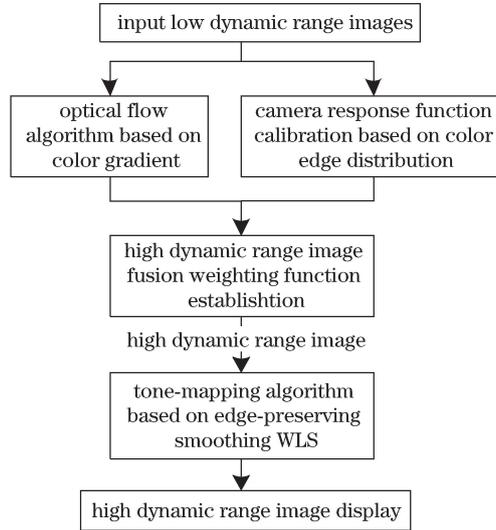


图 1 针对动态目标的高动态范围图像融合算法流程图

Fig. 1 Flow chat of the proposed high dynamic range image fusion algorithm for moving targets

的方法,即利用物体色彩梯度的恒常性构建新的光流基本方程,对其施加全局平滑约束求解光流。利用色彩梯度恒常性作为约束条件进行光流估计可令背景及运动目标内部区域更加均匀,有利于获得平滑一致的光流估计结果。

令 \mathbf{r} 、 \mathbf{g} 、 \mathbf{b} 分别为 RGB 彩色空间 R 轴、 G 轴以及 B 轴的单位向量,定义两帧存在动态偏移图像之间的偏移向量为

$$\begin{cases} \mathbf{U} = \frac{\partial R}{\partial x} \mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial x} \mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial x} \mathbf{b} \\ \mathbf{V} = \frac{\partial R}{\partial y} \mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial y} \mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial y} \mathbf{b} \end{cases} \quad (1)$$

令 g_{xx} 、 g_{yy} 以及 g_{xy} 为偏移向量的点积,得

$$\begin{cases} g_{xx} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{U} = \mathbf{U}^T \mathbf{U} = \left| \frac{\partial R}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial x} \right|^2 \\ g_{yy} = \mathbf{V} \cdot \mathbf{V} = \mathbf{V}^T \mathbf{V} = \left| \frac{\partial R}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial y} \right|^2 \\ g_{xy} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{V} = \mathbf{U}^T \mathbf{V} = \frac{\partial R}{\partial x} \frac{\partial R}{\partial y} + \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y} + \frac{\partial B}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y} \end{cases} \quad (2)$$

定义输入图像中每个像素点 (x, y) 的角度 $\theta(x, y)$ 及梯度值 $F_\theta(x, y)$ 为

$$\begin{cases} \theta(x, y) = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2g_{xy}}{g_{xx} - g_{yy}}\right) \\ F_\theta(x, y) = \left\{ \frac{1}{2} [(g_{xx} + g_{yy}) + (g_{xx} - g_{yy}) \cos 2\theta + 2g_{xy} \sin 2\theta] \right\}^{1/2} \end{cases} \quad (3)$$

假设色彩梯度 $F_\theta(x, y)$ 为不变量,利用色彩梯度恒常性定义光流估计基本方程为

$$\frac{\partial F_\theta}{\partial x} \cdot \mathbf{u} + \frac{\partial F_\theta}{\partial y} \cdot \mathbf{v} + \frac{\partial F_\theta}{\partial t} = 0. \quad (4)$$

对(4)式施加全局平滑约束,利用变分法获得欧拉方程为

$$\begin{cases} \lambda \nabla^2 \mathbf{u} = \left(\frac{\partial F_\theta}{\partial x} \right)^2 \mathbf{u} + \frac{\partial F_\theta}{\partial x} \frac{\partial F_\theta}{\partial y} \mathbf{v} + \frac{\partial F_\theta}{\partial x} \frac{\partial F_\theta}{\partial t} \\ \lambda \nabla^2 \mathbf{v} = \frac{\partial F_\theta}{\partial x} \frac{\partial F_\theta}{\partial y} \mathbf{u} + \left(\frac{\partial F_\theta}{\partial y} \right)^2 \mathbf{v} + \frac{\partial F_\theta}{\partial y} \frac{\partial F_\theta}{\partial t} \end{cases}, \quad (5)$$

式中 (u, v) 是时刻 t 内空间像素点 (x, y) 单位时间内的空间偏移量, λ 是平滑因子。

参考基于亮度恒常性的 Horn-Schunck 光流估计算法过程,利用 Gaussian-Seidel 迭代法求解基于色彩梯度恒常性的光流分量估计,迭代公式为

$$\begin{cases} u^{k+1} = u^k - \frac{\frac{\partial F_\theta}{\partial x} u^k + \frac{\partial F_\theta}{\partial y} v^k + \frac{\partial F_\theta}{\partial t}}{\lambda + \left(\frac{\partial F_\theta}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_\theta}{\partial y}\right)^2} \cdot \frac{\partial F_\theta}{\partial x} \\ v^{k+1} = v^k - \frac{\frac{\partial F_\theta}{\partial x} u^k + \frac{\partial F_\theta}{\partial y} v^k + \frac{\partial F_\theta}{\partial t}}{\lambda + \left(\frac{\partial F_\theta}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_\theta}{\partial y}\right)^2} \cdot \frac{\partial F_\theta}{\partial y} \end{cases} \quad (6)$$

利用(6)式可以获得不同曝光量图像之间致密的光流场,从而获得不同曝光量图像之间精确的偏移量 (u_k, v_k) , k 是迭代次数,结合后续构建的高动态范围图像融合权重函数,对图像之间目标的偏移量进行校正。利用光流法获得动态目标之间的偏移量估计能够解决输入的多曝光图像序列高精度配准的难题,克服动态问题给高动态范围图像融合带来的困难。

2.2 结合光流偏移量构建高动态范围图像融合权重函数

针对存在动态问题影响的多曝光输入图像序列,获得逆相机响应函数,即获得图像亮度信息与反映真实场景信息的辐亮度信息之间的映射关系,结合利用光流法获得的每帧图像中目标的动态偏移量,对输入的多曝光图像序列通过构建的融合权值函数进行高动态范围图像融合,获得动态目标的高动态范围图像。

2.2.1 逆相机响应函数标定

选择一帧曝光量合适的采集图像,构造边缘信息观察集,分析边缘信息的 RGB 分布^[9],结合贝叶斯估计对相机响应函数 g 进行标定^[10]。这样避免了存在动态问题影响的序列图像给相机响应函数标定带来的影响,从而扩大了相机响应函数标定的应用范围,提高了计算效率。

2.2.2 权重函数选取

针对输入多曝光图像序列,高动态范围图像融合中权重函数的选取应强化信息量多的图像区域,弱化信息量少的图像区域,即强化曝光量合适的图像区域,弱化欠饱和以及过饱和的图像区域,从而能够有效表达场景信息。高斯函数能够较为理想地满足权重选取的条件,将其与后续构建的高动态范围融合函数相结合,可以强化信息量多的图像区域信息,弱化信息量少的图像区域,从而降低对输出高动态范围图像的影响。

定义归一化的高斯权重函数为

$$\omega(z) = \frac{f(z) - O_{\text{offset}}}{1 - O_{\text{offset}}}, \quad (7)$$

式中 $f(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(z-u_e)^2}{2\sigma^2}\right]$, u_e 为期望, σ 为标准差, $O_{\text{offset}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(0-u_e)^2}{2\sigma^2}\right]$ 。

2.2.3 高动态范围图像融合权重函数

针对理想的静态多曝光输入图像序列,利用归一化的权重函数,结合标定的逆相机响应函数,对输入多曝光图像序列建立高动态范围图像融合公式:

$$I_i = \frac{\sum_{j=1}^P \omega(M_{ij}) g(M_{ij}) / \Delta t}{\sum_{j=1}^P \omega(M_{ij})}, \quad (8)$$

式中 i 为图像中像素点的空间索引, g 为标定的逆相机响应函数, M_{ij} 为输入多曝光图像序列中第 j 帧图像上像素点 i 的亮度信息, ω 为归一化的高斯权值函数,期望 $u_e = 127.5$,标准差 $\sigma = 1$ 。

实际情况中通常无法获得理想的静态多曝光输入图像序列,针对存在动态问题影响的多曝光图像序列,

在(8)式中加入通过色彩微分光流算法获得的不同曝光量图像之间的偏移量。对(8)式进行图像偏移量更新,获得的高动态范围图像融合权重函数为

$$I_{(i_x, i_y)} = \frac{\sum_{j=1}^P \sum_{r=1}^{P-1} \omega(M_{(i_x-u_k, i_y-v_k)_j}) g(M_{(i_x-u_k, i_y-v_k)_j}) / \Delta t_j}{\sum_{j=1}^P \omega(M_{(i_x-u_k, i_y-v_k)_j})}, \quad (9)$$

式中 P 为输入图像序列帧数, j 为输入图像数目索引, k 为输入图像序列剔除参考帧图像后的数目索引, (i_x, i_y) 为各帧图像中像素点的空间索引, (u_k, v_k) 为两帧图像之间获得的偏移量,即以两帧为一组进行偏移量更新, $M_{(i_x, i_y)_j}$ 为输入多曝光图像序列中第 j 帧图像上像素点 (i_x, i_y) 的亮度信息, $M_{(i_x-u_k, i_y-v_k)_j}$ 为第 j 帧图像上加入偏移量校正后的像素点 (i_x-u_k, i_y-v_k) 的亮度信息,期望 $u_e = 127.5$, 标准差 $\sigma = 1$ 。根据(9)式可以克服动态问题影响进行高动态范围图像融合。

利用(9)式高动态范围图像融合权重函数结合输入的多曝光图像序列,即可获得反映拍摄动态场景信息的高动态范围图像。但高动态范围图像的动态范围会超过普通显示器的动态范围,需要利用色调映射对高动态范围图像进行压缩,同时保留图像细节与颜色等对于表现原始场景非常重要的信息。

2.3 高动态范围图像评价模型

目前已有的图像评价方法均适用于低动态范围图像评价,但针对超过范围的图像数据无法进行科学合理的评价。为了解决高动态范围图像评价问题,采用适用于所有光照条件的评价模型 HDR-VDP 对色调映射后压缩的高动态范围图像进行评价。对于 HDR-VDP 模型来讲,输入为低动态范围图像与高动态范围图像,输出为两者之间的视觉差异概率图,处理过程如图 2 所示。

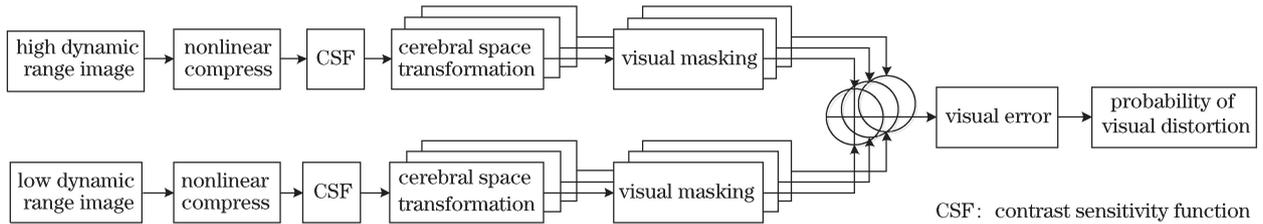


图 2 HDR-VDP 的处理过程流程图

Fig. 2 Flow chat of HDR-VDP processing

3 实验结果及分析

3.1 动态目标实验结果及分析

3.1.1 第一组实验结果

实验采用尼康 D90 相机设置不同的曝光时间。为加入成像系统晃动及模拟场景中存在的动态目标,曝光量的更改采用手动设置,在拍摄场景中加入人为手臂的晃动模拟拍摄场景中的动态目标。拍摄每帧图像时随机晃动相机,同时场景中人物手臂由上至下摆动,从而获得实验室场景中不同曝光量的存在动态问题影响的图像序列。光圈值设为 $f/16$ (f 为镜头焦距),为了加入成像系统晃动的的影响,选取 8 帧曝光时间分别为 $1/40, 1/15, 1/5, 1/2, 0.77, 1, 1.6, 2$ s 的图像,如图 3 所示。

利用 2.1 节中基于色彩梯度的微分光流法获得不同图像帧之间的光流偏移量。在输入图像序列中选择动态目标位置最佳并且曝光量较为合适的图片作为参考帧图像,即选择图 3(e)作为参考帧图像。以图 3(c)与图 3(e)、图 3(g)与图 3(e)为例,由于篇幅有限,仅显示手臂部分光流变化,分别如图 4(a)及 4(b)所示。

选择图 3 中曝光量合适的图 3(e)作为输入图像进行相机响应函数标定,标定结果如图 5 所示。图 5 中红绿蓝三条曲线分别表示彩色图像红色通道、绿色通道以及蓝色通道标定的逆相机响应函数。

未加入利用光流法获得的偏移量,即利用(8)式得到的实验结果如图 6(a)所示,利用标定的相机响应函数结合获得的图像之间的光流偏移量,结合(9)式获得的动态场景的高动态范围图像融合结果如图 6(b)所示。

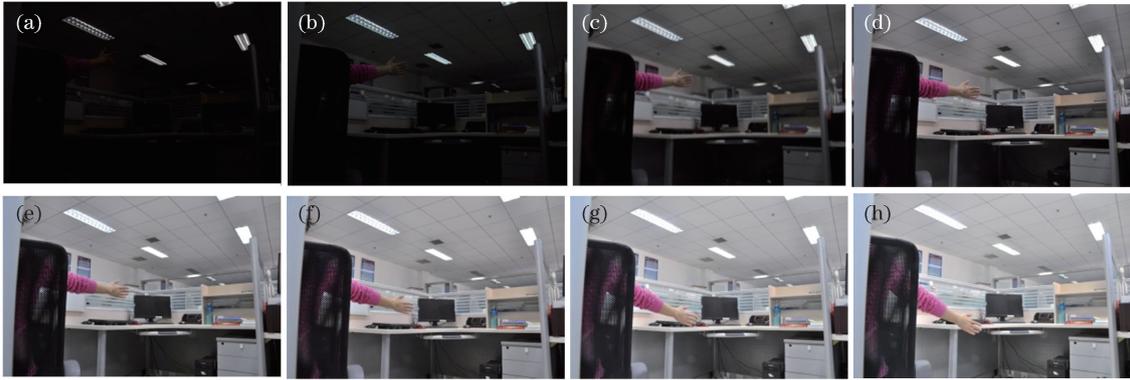


图 3 存在动态目标的不同曝光时间的多曝光图像序列。(a) 1/40 s; (b) 1/15 s; (c) 1/5 s; (d) 1/2 s; (e) 0.77 s; (f) 1 s; (g) 1.6 s; (h) 2 s

Fig. 3 Image sequences with moving target acquired with different exposure durations. (a) 1/40 s; (b) 1/15 s; (c) 1/5 s; (d) 1/2 s; (e) 0.77 s; (f) 1 s; (g) 1.6 s; (h) 2 s

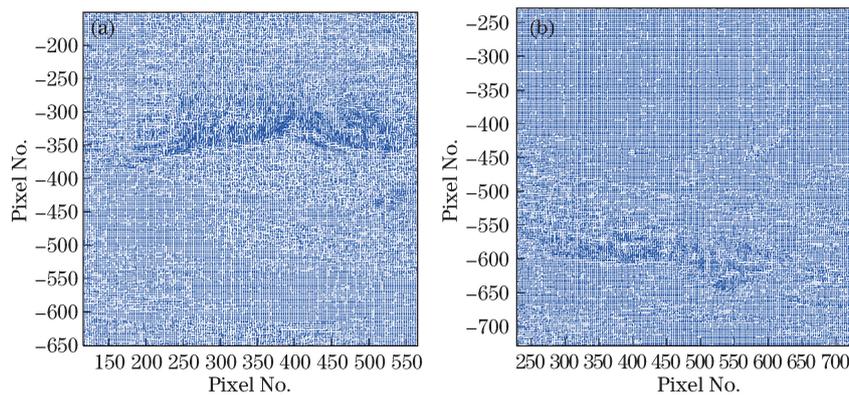


图 4 (a) 图 3(c)与图 3(e)之间的光流变化;(b)图 3(g)与图 3(e)之间的光流变化

Fig. 4 (a) Optical flow of Fig. 3(c) and Fig. 3(e); (b) optical flow of Fig. 3(g) and Fig. 3(e)

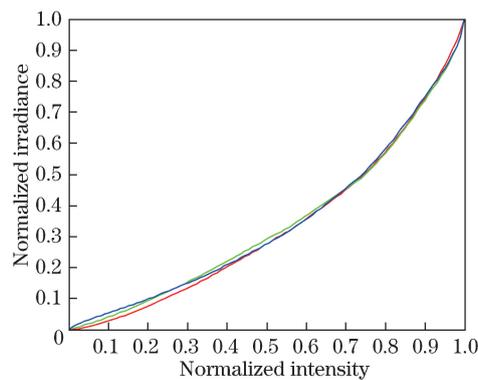


图 5 逆相机响应函数标定结果

Fig. 5 Calibration result with inverse response function of the camera

3.1.2 第二组实验

第二组实验采用相同的尼康 D90 相机拍摄一组动态图像,图像中目标任意晃动,每拍摄一帧图像相机随机晃动一次,场景中的人物随意晃动,从而获得实验室场景中不同曝光量的存在动态问题影响的图像序列。光圈值设为 $f/16$,选取 8 帧曝光时间分别为 1/10,1/5,1/2,0.77,1,1.6,2,2.5 s 的图像,如图 7 所示。

未加入偏移量,即利用(8)式得到的实验结果如图 8(a)所示,利用标定的相机响应函数与图像之间的光流偏移量,结合(9)式获得动态场景的高动态范围图像融合结果,如图 8(b)所示。

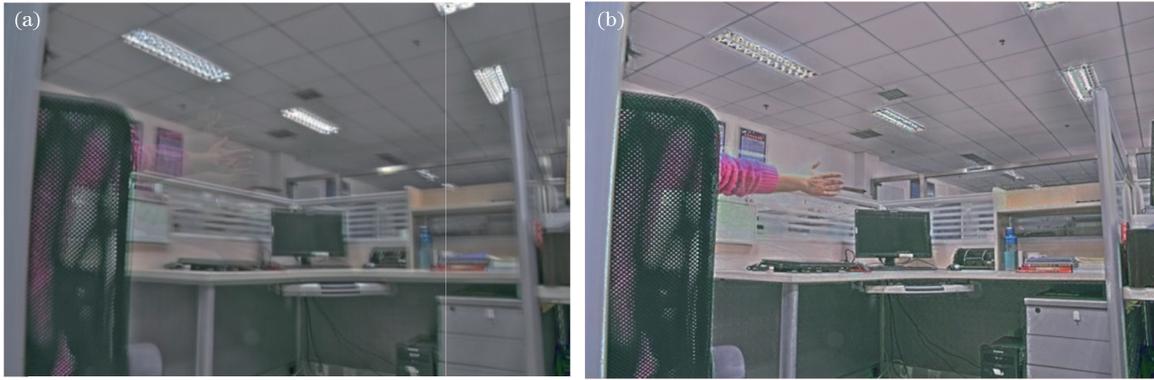


图 6 不同算法的高动态范围图像融合结果。(a) 文献[2]算法;(b) 本文算法

Fig. 6 High dynamic range image fusion results by different algorithms. (a) Ref. [2] algorithm; (b) proposed algorithm



图 7 存在动态目标的不同曝光时间的多曝光图像序列。(a) 1/10 s; (b) 1/5 s; (c) 1/2 s;
(d) 0.77 s; (e) 1 s; (f) 1.6 s; (g) 2 s; (h) 2.5 s

Fig. 7 Image sequences with moving target acquired with different exposure durations.

(a) 1/10 s; (b) 1/5 s; (c) 1/2 s; (d) 0.77 s; (e) 1 s; (f) 1.6 s; (g) 2 s; (h) 2.5 s

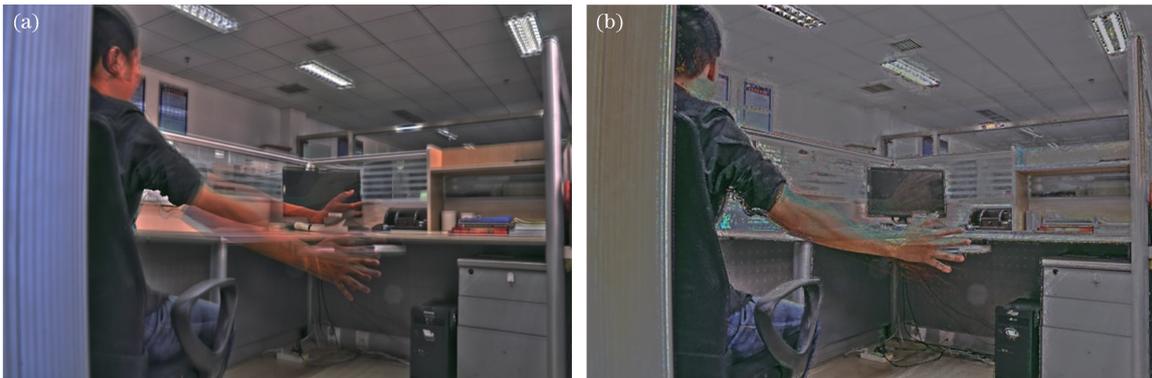


图 8 不同算法的高动态范围图像融合结果。(a) 文献[2]算法;(b) 本文算法

Fig. 8 High dynamic range image fusion results by different algorithms. (a) Ref. [2] algorithm; (b) proposed algorithm

3.2 高动态范围图像结果分析及评价

观察图 6(a)和图 8(a)可以看出,没有加入光流算法的高动态范围图像融合结果中存在严重的混叠现象。利用本文方法,结合光流算法获得动态偏移量,对图 3 和图 7 中 8 帧输入图像进行高动态范围图像融合,获得的结果如图 6(b)和图 8(b)所示。观察结果发现,该算法获得的高动态范围图像融合结果能够以参考帧图像中动态目标为参照,获得较为理想的高动态范围图像融合结果,避免了动态问题的影响,且该算法无需对输入图像进行配准,提高了算法的计算效率与高动态范围图像融合结果的精度,实现了动态目标高动态范围图像融合。

3.2.1 高动态范围图像评价

针对色调映射处理输出的高动态范围图像融合结果,采用均值、方差以及信息熵对不同算法的处理结果进行评价,针对两组实验、不同算法的评价结果如表 1 所示。

表 1 不同高动态范围图像融合算法结果评价

Table 1 Evaluation of different high dynamic range image fusion algorithms

Algorithm	Experiment group	Mean	Variance	Comentropy
Ref. [2] algorithm	No. 1	98.2234	920.5580	6.6360
Proposed algorithm	No. 1	119.8119	1334.4386	7.3232
Ref. [2] algorithm	No. 2	83.9603	1039.5403	6.5328
Proposed algorithm	No. 2	120.9587	1209.4647	7.1954

均值反映图像亮度的平均水平,方差反映图像高频信息,如果图像对比度小则方差小,如果图像对比度大则方差大。由表 1 可知,未利用本文算法处理的图像结果中存在严重的混叠现象,造成了图像方差较小即对比度低。信息熵反映图像包含的信息量,利用本文算法获得的高动态范围图像结果更为理想。

3.2.2 基于 HDR-VDP 模型的高动态范围图像评价

利用 2.3 节中 HDR-VDP 模型对图 6 中不同的高动态范围图像融合结果进行评价,同样选择图 3(e)作为低动态范围参考帧图像,获得的视觉差异概率图分别如图 9(a)和 9(b)所示。对图 8 中不同的高动态范围图像融合结果进行评价,同样选择图 7(e)作为低动态范围参考帧图像,获得的视觉差异概率图分别如图 9(c)和 9(d)所示。

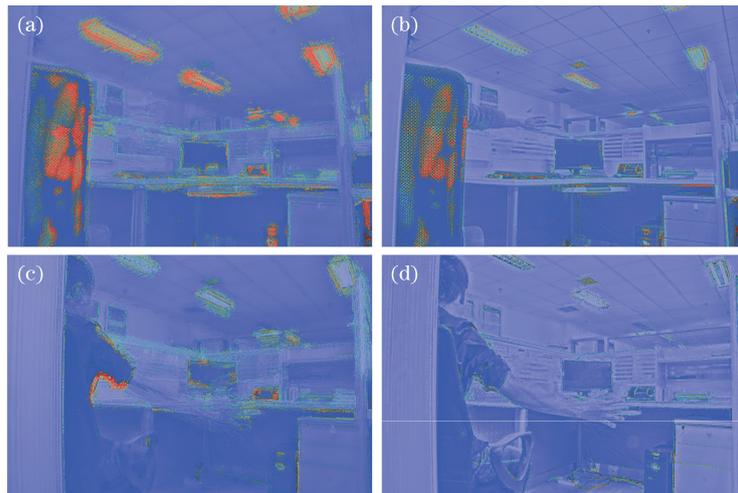


图 9 不同算法的高动态范围图像融合结果视觉差异概率图。(a)(c) 文献[2]算法;(b)(d) 本文算法

Fig. 9 Visual difference of high dynamic range image fusion results obtained by different algorithms.

(a)(c) Ref. [2] algorithm; (b)(d) proposed algorithm

通过图 9 可以看出,针对动态目标以及存在动态问题影响的输入多曝光图像序列,利用 Debevec 和 Malik 提出的算法获得的高动态范围图像融合结果存在严重的混叠现象,导致视觉差异概率结果存在明显的红色及绿色区域,即视觉差异部分。本文算法获得的高动态范围图像融合结果由于利用动态偏移量对高动态范围图像融合权重函数进行校正,视觉差异较小,因此可以获得较为理想的动态目标高动态范围图像。

4 结 论

提出了高动态范围图像融合方法首先通过基于色彩梯度的微分光流法利用色彩恒常性进行光流估计,获得存在动态问题影响的图像之间的偏移量;然后通过分析曝光量合适的单帧图像的边缘颜色分布进行相机响应函数标定;最后结合构建的高动态范围图像融合权重函数对存在动态问题影响的多曝光图像进行高动态范围图像融合。该方法无需提前对输入图像序列进行精确配准,即可克服动态问题的影响进行动态目标高动态范围图像融合。该算法最大的优势在于并不需要严格要求拍摄场景静止或者严格要求成像系统没

有晃动,克服了动态问题给相机响应函数标定带来的困难。

该方法能够克服动态问题影响,对存在动态目标的拍摄场景进行高动态范围图像融合。由于利用光流法获得图像之间精确的偏移量,因而无需对输入图像序列进行高精度的图像配准,大大提高了动态目标高动态范围图像融合的计算效率,同时能够以选择的参考帧为参照对动态目标拍摄的图像序列进行高动态范围图像融合,降低了对输入图像静态的约束条件,从而扩展了高动态范围成像技术的应用范围。

参 考 文 献

- [1] Reinhard E, Ward G, Pattanaik S, *et al.* High dynamic range imaging: acquisition, display and image-based lighting[M]. 2nd ed. San Francisco: Morgan Kaufmann Publisher, 2010: 171-183.
- [2] Debevec P E, Malik J. Recovering high dynamic range radiance maps from photographs[C]. Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1997: 369-378.
- [3] Mitsunaga T, Nayar S K. Radiometric self calibration[C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1993: 374-380.
- [4] Grossberg M D, Nayar S K. What can be known about the radiometric response from images[C]. 7th European Conference on Computer Vision, 2002: 189-205.
- [5] Grossberg M D, Nayar S K. Modeling the space of camera response functions[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(10): 1272-1282.
- [6] Nayar S K, Mitsunaga T. High dynamic range imaging: spatially varying pixel exposures[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2000: 472-479.
- [7] Celebi A T, Duvar R, Urhan O. Fuzzy fusion based high dynamic range imaging using adaptive histogram separation[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2015, 61(1): 119-127.
- [8] Du Lin, Sun Huayan, Zhang Tinghua, *et al.* Camera response function calibration algorithm based on single frame image[J]. Acta Optica Sinica, 2016, 36(7): 0711003.
都 琳, 孙华燕, 张廷华, 等. 基于单帧图像的相机响应函数标定算法研究[J]. 光学学报, 2016, 36(7): 0711003.
- [9] Ding Weili, Ma Pengcheng, Lu Ming, *et al.* High resolution light field depth reconstruction algorithm based on priori likelihood[J]. Acta Optica Sinica, 2015, 35(7): 0715002.
丁伟利, 马鹏程, 陆 鸣, 等. 基于先验似然的高分辨光场图像深度重建算法研究[J]. 光学学报, 2015, 35(7): 0715002.
- [10] Fang Huameng, Yi Benshun, Gan Liangcai, *et al.* A fast calibration method of camera response function for high dynamic range image[J]. Acta Photonica Sinica, 2013, 42(6): 737-741.
方华猛, 易本顺, 甘良才, 等. 高动态范围图像合成中相机响应函数的快速标定[J]. 光子学报, 2013, 42(6): 737-741.
- [11] Hasinoff S W, Sharlet D, Geiss R, *et al.* Burst photography for high dynamic range and low-light imaging on mobile cameras[J]. ACM Transactions on Graphics, 2016, 35(6): 192.
- [12] Lin S, Gu J, Yamazaki S. Radiometric calibration from a single image[C]. Proceedings of the IEEE Society Conference on Computer Visual and Pattern Recognition, 2004, 2: 938-945.
- [13] Tai Y W, Chen X, Kim S J, *et al.* Nonlinear camera response functions and image deblurring: theoretical analysis and practice[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(10): 2498-2511.