

基于侧窗滤波与分块贝塞尔插值的图像融合

钱进, 王永成, 徐东东, 贵广利

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要:为解决传统红外与可见光图像融合算法存在的目标信息不足、背景杂波以及边缘模糊等问题,提出一种基于侧窗滤波与分块贝塞尔插值法的红外与可见光图像融合算法。首先,采用基于分块的贝塞尔插值方法估计红外图像的背景,利用红外图像与估计的背景图像作差,获得目标图像。然后,对目标图像进行侧窗滤波处理,同时,利用红外图像与可见光图像作差,获得前景图像,滤波结果与前景图像叠加获得目标图像的增强结果。最终,目标增强结果与可见光图像叠加,获得最终融合结果。实验结果验证了所提融合算法在提升图像质量方面的性能较好。

关键词: 红外图像; 图像融合; 侧窗滤波; 背景抑制; 边缘保护

中图分类号: TP301.6

文献标志码: A

文章编号: 1672-9870(2020)03-0007-06

Image Fusion Based on Side Window Filtering and Blocked Bezier Interpolation

QIAN Jin, WANG Yong—cheng, XU Dong—dong, BEN Guang—li

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033)

Abstract: An infrared and visible image fusion algorithm based on Side Window Filtering (SWF) and Block Bezier Interpolation (BBI) was proposed to solve the problems of insufficient target information, background clutter and blurry edge in traditional infrared and visible image fusion algorithms. Firstly, the BBI method was utilized to reconstruct background from the infrared image, and a target image is obtained from the difference between infrared image and background. Then, the SWF algorithm is performed on the target image, and at the same time, the difference between the infrared image and the visible image is used to obtain the foreground image, and the result of SWF is superimposed with the foreground image to obtain the enhanced result of the target image. Finally, the target enhancement result is superimposed with the visible image to obtain the final fusion result. Experimental results show that the proposed fusion algorithm has better performance in improving image quality.

Key words: infrared image; image fusion; side window filtering; background suppression; edge—preservation

图像融合已被广泛应用于交通监控、目标识别、医学成像等领域,其主要任务是将多个传感器对同一场景图像信息进行整合,以提高成像清晰度。红外与可见光图像融合^[1]作为多源信息融合的一个重要分支,成为图像领域的研究

热点。视觉图像难以探测隐藏目标,但提供了场景细节信息。而红外图像疏于对真实场景的理解,但突出“热”目标信息。由此,融合红外图像的显著特征和视觉图像细节信息,有助于提升图像质量。

收稿日期: 2019-06-16

作者简介: 钱进(1992-),男,硕士,研究实习员, E-mail: cykzqj@163.com

通讯作者: 王永成(1980-),男,博士,研究员, E-mail: wyc_dyy@sina.com

传统的红外与可见光图像融合算法主要有基于区域的^[2-3]和基于多尺度分解的^[4-7]两种算法,前者是利用分割算法将源图像分为多区域,对各个区域的显著信息进行融合,但该算法很难清楚地表现边缘纹理;多尺度分解的融合算法有金字塔、小波分解、以及形态学等算法。这些算法均是提取了两种图像的多尺度特征,在多尺度空间进行信息融合。但在低光照环境下,此类算法常丢失许多视觉图像信息,从而导致融合结果的场景模糊问题。由此,采用红外图像特征提取和视觉信息保留不失为一种融合策略^[7],该算法采用分块的贝塞尔插值方法来估计目标图像,并通过叠加前景图像融入了视觉信息。但背景抑制过程中,噪声被保留且边缘细节被模糊了,这降低了融合图像的清晰度。

基于上述分析,本文提出了一种侧窗滤波和分块贝塞尔插值法的红外与可见光图像融合算法。相对于传统的滤波方法,侧窗滤波^[8](Side Window Filter, SWF)在滤波的同时,从根源上保留了边缘细节信息。

1 分块贝塞尔插值法分析

本节主要分析基于分块贝塞尔插值法(Blocked Bezier Interpolation, BBI)的基本原理,并进行实验验证,同时分析其算法存在的不足。BBI法图像融合主要分为三步,首先通过分块贝塞尔插值法进行图像背景估计,利用原图像与估计背景图像作差,得到红外图像的目标特征图像;然后对所得的特征图像进行特征增强;最后利用增强后的目标图像与可见光图像进行融合,得到最终的融合结果。

1.1 四叉树分块

四叉树分块方法^[9]已成功地用于通过生成的四叉树结构来估计目标轮廓。其方法是将原始图像逐步分成若干小块,目的是将具有一致性的像素分到同一小块中,从而估计图像大致轮廓,算法具体步骤如下:

(1)将原始图像进行分解,平均分为四个大

小一样的小块,当某块的灰度最大值减去最小值大于设定阈值 T 时,对该块继续以同样方式分割;

(2)设定阈值 S ,当某个块的尺寸小于 S 时,停止分割。

通常情况下,考虑到噪声,阈值 T 选取范围为 $[1, 20]$,尺寸阈值 S 要大于前景目标尺寸。

1.2 基于分块贝塞尔插值法的图像背景估计

贝塞尔插值法^[10]是一种通过插值一些已知控制点来恢复大型矩阵的方法,该方法可以通过在背景上采样控制点来估计图像背景。要准确地估计出图像背景,应尽可能多的采样控制点,进而排除在目标内的控制点。文献^[10]中选择控制点的方法是逐个像素的搜索控制点,这样导致效率很低。在选取控制点时,如果能够预先估计目标的轮廓,可以加快算法的速度。

由四叉树分块法可估计目标轮廓,所以可将四叉树分块法与贝塞尔插值法相结合来估计背景图像。

首先对红外图像进行四叉树分块得到若干个子块,然后从每个子块中采样16个控制点 $p_{ij}=[x_{ij}, y_{ij}, G_{ij}](i, j \in \{1, 2, 3, 4\})$, x, y, G 分别表示控制点的横纵坐标及对应灰度值,由于四叉树结构可以确认大部分顶点位于红外图像背景上,但是一小部分控制点可能在红外目标内,并且局部最小灰度值通常表示背景,所以将控制点的灰度值设置为相应位置的局部最小值。由控制点生成插值后的图像为:

$$Q(u, v) = U \cdot M \cdot P \cdot M^T \cdot V^T \quad (1)$$

其中, (u, v) 表示插入点,其位置由0和1之间的插值比表示; $U=[u^3, u^2, u^1, u^0]$ 和 $V=[v^3, v^2, v^1, v^0]$ 表示插值系数,与 (u, v) 相关; M 和 P 可表示为:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -1 & 3 & -3 & 1 \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, M 表示恒定插值系数矩阵; P 是由 4×4

矩阵构成的16个控制点; p_{ij} 表示控制点的特征(主要为 (x, y) 坐标和图像灰度值)。如果 p 表示坐标, 则 Q 表示插值的对应坐标, 如果 p 表示灰度, 则 Q 表示插值的图像灰度。通过设置 (u, v) 可以得到每个子块的插值图像。

通过结合每个子块的插值图像可以得到红外图像的估计背景图像 B_{IR} , 与红外图像 I_{IR} 作差, 获得目标图像 T_{IR} , 即

$$T_{IR} = \max(I_{IR} - B_{IR}, 0) \quad (3)$$

其中, $\max(\cdot)$ 表示最大值函数。

图1给出一组使用分块贝塞尔插值法获得估计背景图像及目标图像的结果。

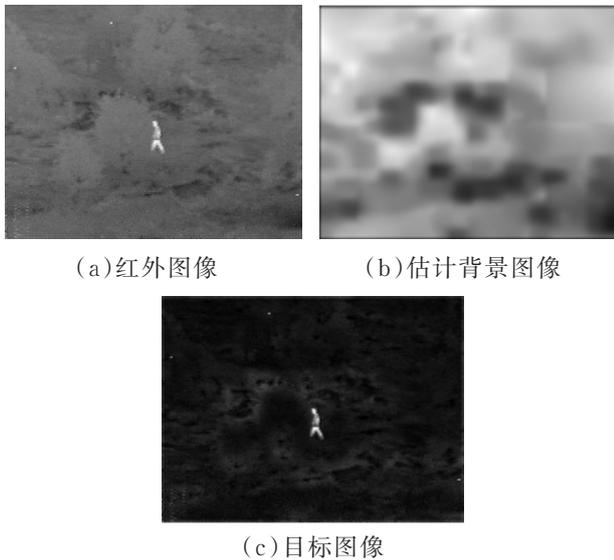


图1 分块贝塞尔插值法实验结果

1.3 图像增强

就图像灰度值而言, 红外目标区域通常高于对应的可见光的图像区域, 即红外图像中的更“亮”的区域较大概率属于前景。为兼顾可见光图像细节特征, 求得较精确的目标图像, 增强的目标图像 T_a 可表示为

$$T_a = T_{IR} + \alpha \cdot \max(I_{IR} - I_{Vis}, 0) \quad (4)$$

其中, $\alpha \cdot \max(I_{IR} - I_{Vis}, 0)$ 表征粗略的前景图像, 参数 $\alpha \in [0, 1]$, 目的是为了防止融入过多的背景; I_{Vis} 表示可见光图像。

1.4 缺点分析

由1.3可知, 增强的目标图像兼顾了热红外

与视觉的特征信息, 理论上融入了视觉细节信息。但是通过分块贝塞尔插值法获得的红外目标图像 T_{IR} 中通常含有杂波噪声, 且在背景抑制过程中边缘细节也会被抑制。由此, 本文引入侧窗滤波方法, 达到去除目标图像噪声同时保留边缘细节信息的目的。

2 基于侧窗滤波的图像增强

针对上述问题, 本节引入侧窗滤波方法, 对目标图像 T_{IR} 进行滤波处理。获得增强的目标图像杂波噪声较少, 且其红外细节特征被较好地保留。

侧窗滤波^[7](SWF)是一种兼有边缘保留和噪声剔除的局部线性滤波, 其将滤波子窗口的边缘置于待处理像素。传统的滤波方法仅仅是减少了边缘像素在法线方向上的扩散, 而侧窗滤波切断了法线方向扩散的可能性, 从而保护了图像边缘。若给定像素 i , 侧窗滤波通过枚举八个可能的方向, 并通过最小化输入 q_i 与输出 $I_{ij}(j=1, 2, 3, \dots, 8)$ 之差的代价函数, 来自适应选择最佳方向来计算, 滤波后的图像可表示为:

$$I_{SWF} = \arg \min_{\forall I_{ij}, j \in [1, 8]} \|q_i - I_{ij}\| \quad (5)$$

其中, I_{SWF} 表示像素 i 的一次滤波结果; I_{ij} 则表示第 j 个方向的滤波结果, 即:

$$I_{ij} = K_j \cdot q_i \quad (6)$$

其中, K 表示半径为 r 的滤波窗; I_{SWF} 被当作下一次滤波的输入进行迭代, 可得输出经过 m 次迭代滤波的结果 I_{SWF}^m 。

实验中, 将局部半径 r 和迭代次数 m 分别设为3和5, 对图1的目标图像进行滤波, 结果如图2所示。

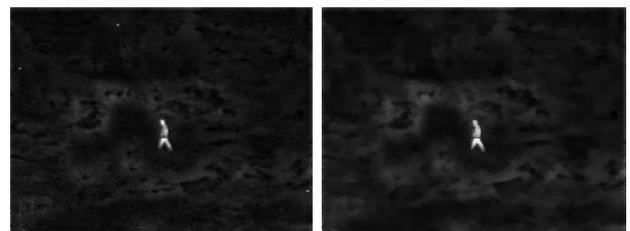


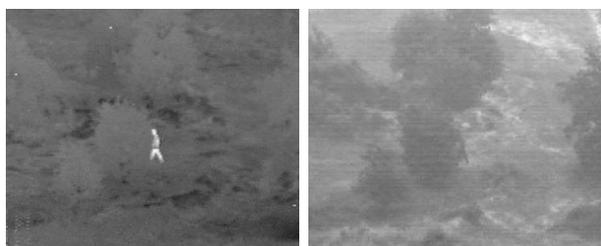
图2 侧窗滤波方法的实验结果

如图2(a)所示,获得的目标图像中包含杂波噪声。如图2(b)所示,经由侧窗滤波处理后的目标图像中噪声明显减少,且图像目标边缘信息得到了有效的保护。

将目标图像经过 m 次迭代滤波后的结果表示为 $F_{T_{IR}}^m$,由公式(4)可得经过增强处理后的目标图像 T_{aF} 可表示为:

$$T_{aF} = F_{T_{IR}}^m + \alpha \cdot \max(I_{IR} - I_{Vis}, 0) \quad (7)$$

图3给出一组使用公式(7)增强处理的实验结果,其中侧窗滤波局部半径 r 和迭代次数 m 分别设为3和5,公式(7)中参数 α 设为0.4。



(a) 红外图像

(b) 可见光图像

(c) 前景图像

(d) 迭代滤波后的目标图像

(e) 增强的目标图像

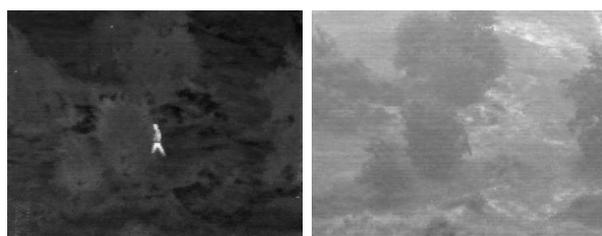
图3 目标图像增强处理结果

经过增强处理后的目标图像与可见光图像进行像素级融合,融合结果 R 可以表示为:

$$R = T_{aF} + I_{Vis} \quad (8)$$

图4给出一组经过增强处理后的目标图像与可见光图像融合的实验结果,即本文所提出算法的最终融合结果。

本文所提算法的流程图如图5所示。



(a) 增强的目标图像

(b) 可见光图像



(c) 最终融合图像

图4 最终融合结果

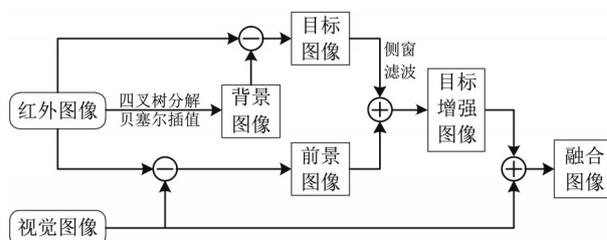


图5 本文融合算法流程图

3 实验结果及分析

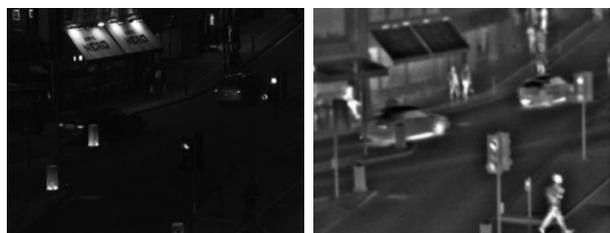
采用TNO数据库中四组图像,分别为Road、Octec、T3和Steamboat作为测试集,如图6所示。

在图像二叉树分块过程中,阈值 T 和 S 分别设为20和32;在目标图像增强过程中,参数 α 设为0.4,以防止目标图像中融入过多背景;在侧窗滤波过程中,局部半径 r 和迭代次数 m 分别设为3和5。实验硬件为2.8 GHz的CPU和32 GB内存的电脑,软件为Matlab2014a。选取非下采样轮廓波变换(Non-Subsampled Contourlet Transform, NSCT)算法、BBI算法作比较,融合结果如图7—图9所示。

3.1 定性比较

图7给出了夜间公路图在三种算法下的融合结果。如图6(a)左所示,夜间公路图视觉信息严重不足。采用NSCT算法的融合结果如图7(a)所示,其结果的背景边缘较为明显,且对比度较低。采用BBI算法的融合结果如图7(b)所

示,其结果的视觉效果整体偏暗。而本文所提算法采用侧窗滤波,其结果如图7(c)所示,有效地保留了图像细节信息,视觉效果优于BBI算法。



(a) Road



(b) Octec



(c) Steamboat



(d) T3

图6 测试图像(左:可见光图,右:红外图)



(a) NSCT

(b) BBI



(c) Ours

图7 Road上的对比融合结果

图8给出烟雾中的房屋和人的图像在三种算法下的融合结果。如图6(b)左所示,白天的光照充足,但由于房屋前的浓烟遮挡,视觉图像缺乏对房屋和人等“热”目标的理解。采用NSCT算法的融合结果如图8(a)所示,其结果丢失了较多的视觉信息,且存在过平滑的问题。采用BBI算法的融合结果如图8(b)所示,其结果在突出地面信息效果上不如本文所提算法。如图8(c)所示,经侧窗滤波的增强作用,本文所提出算法的融合结果中前景更亮。



(a) NSCT

(b) BBI



(c) Ours

图8 Octec上的对比融合结果

上述两组对比实验在主观视觉上验证了所提算法在图像信息增强方面更加优越。另外,该算法在其它几种场景的信息融合中,均有效地提升了图像质量。图9(a)给出了在 Steamboat 测试集上的融合结果,图9(b)给出了在 T3 测试集上的融合结果。



(a) Steamboat

(b) T3

图9 所提算法在测试集上的融合结果

3.2 定量比较

采用文献[11]中的参数 Q_{ABF} , 图像互信息

(Mutural Information, MI), 空间频率(Spatial frequency, SF)和时间四种评价指标对几种算法进行评估,结果如表1所示。

表1 融合算法性能对比

参数	NSCT	BBI	Ours
Q_{ABF}	0.59	0.59	0.6
MI	0.91	0.91	0.92
SF	11.5	10.9	11.7
时间/s	5	0.1	0.8

Q_{ABF} 表征了边缘保留特性;MI 越大,表示融合图像从源图像获取的信息越丰富;SF 越大,融合图像越清晰且细节越明显。

如表1所示,黑体表示最优。所提算法在 Q_{ABF} 、MI 和 SF 三种指标上,相对于其它算法均较高,即融合后的图像从源图像获取的信息相对丰富,且边缘细节更明显。若源图像尺寸为 $N \times N$,当阈值 S 最小为2时,四叉树分解的最大复杂度为 $O=N \log_2^N$,贝塞尔插值与侧窗滤波均为线性运算,其算法复杂度均为 $O=N^2$ 。另外,如表1所示,本文算法耗时为0.8秒,算法实时性相对较高,但与BBI算法相比,实时性略差。

综上所述,在主观视觉与客观指标上,所提算法在多组红外与可见光图像上的融合效果较好且效率较高。

4 结论

针对图像背景杂波以及边缘模糊等问题,提出一种基于侧窗滤波与分块贝塞尔插值法的红外与可见光图像融合算法。所采用的基于红外特征提取和视觉信息保留的融合框架实现简单且实时性高;侧窗滤波有效地抑制了背景杂波且保护了边缘信息。实验验证了所提算法在提升图像质量方面的性能,以及多源融合比单波段成像的优势,有助于后续目标检测、跟踪和识别等应用。

参考文献

- [1] 荣传振,贾永兴,吴城,等.红外与可见光图像分解与融合方法研究[J].数据采集与处理,2019,34(1):150—160.
- [2] 贺兴容,龚奕宇,范松海,等.基于帧差检测技术与区域特征的红外与可见光图像融合算法[J].现代电子技术,2019,42(1):65—69.
- [3] Luo J, Rong C, Jia Y, et al. Fusion of infrared and visible images based on image enhancement and feature extraction [C].2019 11th International Conference on Intelligent Human—Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), Hangzhou, China, 2019.
- [4] 罗谨哲,荣传振,贾永兴,等.基于对比度增强和两尺度分解的红外与可见光图像融合[J].通信技术,2019(8):1871—1877.
- [5] 欧锋,黄丹飞.基于多尺度二维小波变换的静脉图像融合[J].长春理工大学学报(自然科学版),2015,38(2):138—141.
- [6] 赵程,黄永东.基于滚动导向滤波和混合多尺度分解的红外与可见光图像融合方法[J].激光与光电子学进展,2019,56(14):106—120.
- [7] Zhang Y, Zhang L J, Bai X Z, et al. Infrared and visual image fusion through infrared feature extraction and visual information preservation [J].Infrared Physics and Technology, 2017(83):227—237.
- [8] Yin H, Gong Y, Qiu G. Side window filtering[C]. IEEE CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Long Beach, CA, USA, 2019.
- [9] Bai X Z, Zhang Y, Zhou F G, et al. Quadtree—based multi—focus image fusion using a weighted focus measure [J].Information Fusion, 2015(22):105—118.
- [10] Zhang L. In situ image segmentation using the convexity of illumination distribution of the light sources [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008,30(10):1786—1799.
- [11] Xydeas C S, Petrovic V.Objective image fusion performance measure [J].Military Technical Courier, 2000,56(2):181—193.