

一种基于 ORB 特征的夜晚图像拼接方法

王天也^{1,2}, 王绍举^{1*}

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 传统的 ORB 算法在应用到夜晚图像拼接领域时, 容易受到灯光因素干扰, 出现局部区域对比度较高, 特征相对集中, 而相对较暗区域无法提取到高质量特征, 从而导致透视变换矩阵不准确, 拼接效果不好。针对上述问题, 采用了直方图均衡化算法对图像低对比度区域进行对比度拉伸, 使用 knn 匹配算法进行特征点的匹配与筛选, 对直方图均衡化后提取的两组特征使用 RANSAC 算法计算透视变换矩阵, 得到更准确的透视变换矩阵。在图像融合方面, 使用了位置加权平均融合算法, 实现更好的拼接效果。实验结果表明: 改进后的算法特征点覆盖率更高, 透视变换矩阵计算更准确, 消除了拼接的重影现象, 具有更好的拼接效果。

关键词: 图像拼接; 直方图均衡化; 仿真

中图分类号: TP391 **文献标识码:** B

A Night Image Mosaic Method Based On ORB Feature

WANG Tian - ye^{1,2}, WANG Shao - ju^{1*}

1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,

ChangchunJilin 130033, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing100049, China)

ABSTRACT: When the traditional ORB algorithm is applied to the field of night image stitching, it is easy to be interfered by the lighting factor. The local area contrast is high and the features are relatively concentrated. However, the relatively dark areas cannot extract the features of high quality features, which leads to the perspective transformation matrix. Inaccurate, the stitching effect is not good. Aiming at this problem, the histogram equalization algorithm was used to contrast the image in the low contrast area, the KNN matching algorithm was used to match and screen the feature points, and the two sets of features extracted before and after the histogram equalization were calculated using the RANSAC algorithm. The matrix gave a more accurate perspective transformation matrix. In terms of image fusion, a position-weighted average fusion algorithm was used to achieve better stitching. The experimental results show that the improved algorithm feature point coverage is higher, the perspective transformation matrix calculation is more accurate, the splicing ghost phenomenon is eliminated, and the splicing effect is better.

KEYWORDS: Image stitching; Histogram equalization; Simulation

1 引言

图像拼接技术在计算机视觉、遥感观测、航天探索、军事侦查、医学图像处理等领域都有广泛的应用并且具有良好的研究前景^[1]。在安防监控领域, 图像拼接技术同样扮演着重要角色^[2]。图像拼接主要分为图像配准和图像融合两个主

要部分^[3]。在图像配准中目前应用较为广泛的是基于点特征的配准方法^[4], 其中应用最为广泛的包括 Lowe D. G. 提出的 SIFT^[5] 算法, Bay H 等提出了 SURF^[6] 算法, Rublee 等人提出的 ORB 算法, 其中 ORB 算法的计算速度较前两者有明显的速度优势, 为了提高图像拼接的实时性, 本文选取了 ORB 算法进行图像配准, 并使用渐入渐出的位置加权算法进行图像融合。

目前 ORB 算法应用图像拼接的文献比较多, 但针对夜晚局部对比度高图像拼接的研究很少。文献[7]提出了基于物理模型与改进边界约束的低照度增强算法, 实现了夜晚图

基金项目: 吉林省重点科技攻关项目(20170204049G X)

收稿日期: 2019-07-19 修回日期: 2019-10-11

像的拼接,虽然拼接图像的视觉效果良好,但复杂度较高,很难保证拼接的流畅性。

使用 ORB 特征对夜晚图像进行特征提取时,由于存在灯光的因素会导致局部区域的亮度和对比度较高,这部分区域的 Harris 响应值相对较高,容易计算出大量的特征点,而其它对比度相对较差的区域难以提取出足够数量的特征点,根据局部区域进行匹配计算出的透视变换矩阵很难反映出两幅图像整体的变换关系,使得后续的图像拼接效果不好,虽然可以使用更为复杂的图像融合算法改进这一缺陷,但明显提高了算法的复杂度,增加了图像融合算法时间消耗,不利于视频图像的拼接。

本文采用直方图均衡化的方法对图像进行预处理,使得采集到原始夜间图像中对比度较差的部分对比度提高,而原始图像中对比度较高的灯光区域对比度降低。根据预处理前后的图像分别做图像配准,共同计算透视变换矩阵,可得到更准确的透视变换关系,从而获得更好的图像拼接效果。

2 基于 ORB 算法的图像拼接

2.1 ORB 算法

ORB 算法是由 Rublee 等人于 2011 年提出的特征点检测算法^[8]。该算法由 o-FAST 特征点和 rBRIEF 描述子组成。

2.1.1 o-FAST 特征点

FAST (Features from Accelerated Segment Test) 算法是由 Rosten 和 Drummond 于 2006 年提出,并于 2010 年修改发表的一种特征点检测算法。其中对于 FAST 特征点的定义为:像素的灰度值和相邻连续若干像素灰度值的差大于给定阈值的点,称为 FAST 角点^[9]。

FAST 通过计算角点 Harris 响应值的方法可也为特征点提供特征性度量方法,采用建立 3 层高斯图像金字塔的方法增加尺度不变性,使用灰度质心法,通过计算像素点与邻域像素点的像素矩得到这一区域的质心,定义特征的方向为该像素点与质心连线构成的向量的方向,为特征点的主方向,使特征点具有旋转不变性。

2.1.2 rBRIEF 描述子

BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features) 描述子是由 Michael Calonder^[10]于 2010 年提出的二进制码串描述子。

首先,在以特征点 P 为圆心, d 为半径的邻域内做圆 O ,在圆 O 内随机选取 256 个像素对 $P_1(A, B)$ 、 $P_2(A, B) \cdots P_N(A, B)$,定义二值 τ

$$\tau = \begin{cases} 1: P(A) < P(B) \\ 0: P(A) > P(B) \end{cases} \quad (1)$$

为了解决特征的旋转不变性,ORB 算法采用 o-FAST 特征点的主方向作为 BRIEF 描述子的主方向,将旋转后的描述子记为 steered BRIEF。

由于 steered BRIEF 的 PCA 分解具有特征分布方差小,各

成分相关性大,均值靠左,内外点有重叠区域的特点^[11],ORB 算法采用贪婪搜索的方法搜索所有的二值测试,从中筛选出类内方差大,相关性低的采样点对,最终提取出的 BRIEF 特征称为 rBRIEF 特征。

2.2 特征匹配

本文使用了 Knn 算法进行特征匹配,并使用 RANSAC 算法计算透视变换矩阵。

2.2.1 Knn 匹配算法

K 最近邻算法^[12] (K-Nearest Neighbors Algorithm, KNN) 的核心思想是针对某一特征点,分别在另一特征空间中搜索相似程度最高的前 K 个特征点作为候选特征。

本文采取 $K=2$ 的 Knn 算法,针对每个特征点分别得到最优特征匹配和次优特征匹配,两者的距离分别记为 d_1 和 d_2 ,根据两者的比率 t 筛选每个特征点匹配对,比率过大的匹配被认为是误匹配。

2.2.2 RANSAC 算法

RANSAC 算法的输入是一些测试数据,其中包括一些噪声和误差太大的点,通过反复从数据中选择随机的离散子集,以不断迭代的方式筛选内点^[11]。

本文使用 RANSAC 算法的目的主要是通过不断迭代的过程筛选掉对计算透视变换矩阵影响过大的点。

计算方法如下公式

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 (x', y') 和 (x, y) 表示一组特征点对。

透视变换矩阵为

$$M = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.3 图像融合算法

本文采用了位置加权融合算法。位置加权融合算法是一种渐入渐出的融合算法,该算法对融合的过渡区域像素值进行计算时,对两幅图像的像素值进行加权平均确定每一幅图像贡献的像素比例。加权函数如下所示

$$I_{(x,y)} = \begin{cases} I_1(x,y) & (x,y) \in R_1 \\ w_1 I_1(x,y) + w_2 I_2(x,y) & (x,y) \in R_1 \cap R_2 \\ I_2(x,y) & (x,y) \in R_2 \end{cases} \quad (4)$$

其中 $I_1(x,y)$ 表示源图像 R_1 的像素值, $I_2(x,y)$ 表示源图像 R_2 的像素值, w_1, w_2 分别表示各自所占的权重,具体的权重选择与图像的距离成比例,由 1 逐渐过渡到 0。具体的权重如下

$$\begin{cases} w_1 + w_2 = 1 \\ w_1 = 1 - \left(\frac{D}{W}\right) \end{cases} \quad (5)$$

其中 D 表示当前像素点与重叠区域左边缘的距离, W 为重叠区域的总宽度。

采用这种渐入渐出的拼接融合方法, 计算速度快, 可以使过渡区域更加平滑, 但是在配准不是很精确的情况下会出现重影的现象^[12]。

3 改进的拼接算法

首先使用了基于 ROI(感兴趣区域) 的匹配方法, 对两幅图像百分之五十的部分进行特征匹配, 有效的减少了误匹配的数量, 提高算法的速度。

其次, 由于 ORB 算法的特征点提取方法由 FAST 特征点改进而来, 在使用进行 FAST-9 特征点求其特征时, 其边缘响应较为严重, 而且没有特征点的度量方法。所以 ORB 算法在实际提取特征点过程中首先计算每个特征点的 Harris 响应值, 通过响应值的大小对候选特征点进行排序, 作为候选特征点, 再通过搜索局部极大值和抑制非极大值的方法, 进一步筛选特征点。通过这一流程提取出的特征点具有相对集中的特点。

使用原始图像进行匹配后的特征都集中在包含灯光的对比度较高的区域, 而从其它区域提取的特征相对较少, 由此得到的透视变换矩阵不能反映整幅图像的映射关系。

本文使用了直方图均衡化进行预处理, 直方图均衡化是广泛使用的图像增强算法, 基本思想是把原始图像的直方图根据其概率分布函数改变为均匀的直方图^[13]。其优点是处理速度快, 可以对图像低对比度的区域进行对比度增强。

经过直方图均衡后, 原图像较暗部分的细节变得更清晰, 在进行特征点检测时 Harris 响应值较高的候选点区域发生变化, 因此可以获得同一图像的其他区域高质量匹配点对。

最后, 把直方图均衡化前后分别得到的匹配对放在一起, 使用 RANSAC 算法计算透视变换矩阵。这样得到的结果更能准确的反映两幅图像的透视变换关系, 具体流程如下图所示。

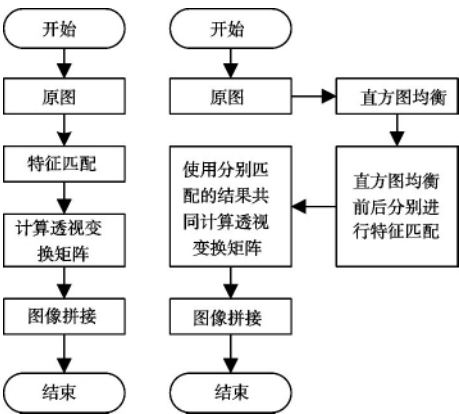


图1 传统拼接和改进的拼接流程图

4 实验结果与分析

本文使用 VS2010 开发环境结合 OpenCV 2.3.1 进行实验, 拼接图为两幅大小为 1080*1440 的夜景图像, 分别对比使用 SIFT 算法、SURF 算法、ORB 算法和改进后的 ORB 拼接算法实验效果。

本实验使用的拼接原图如下所示:

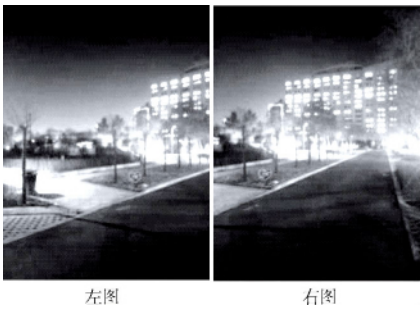


图2 原图

改进的 ORB 算法首先对原始图像进行直方图均衡, 对图像低对比度的区域进行对比度拉伸, 结果如下图所示:

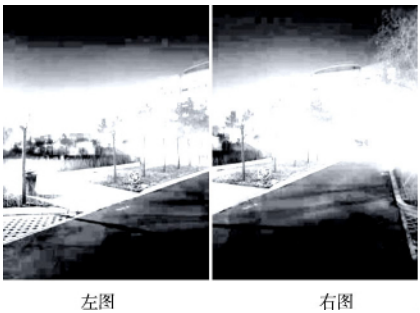


图3 直方图均衡化后的结果

接下来对原图和直方图均衡化后的图像分别进行特征匹配。由于直接使用 ORB 等特征进行匹配存在较高的误匹配率, 因此还需要使用 knn 算法进行图像的精确匹配。下图是使用 ORB 算法和 knn 算法的匹配结果:



图4 使用 knn 算法进行筛选后的匹配图

同样使用 ORB 算法以及 knn 算法对直方图均衡后的图像进行匹配,由于均衡化后的图像高对比度的区域发生变换,由 ORB 算法的原理,可以得到其它区域的匹配对。得到的结果如下所示:



图 5 直方图均衡化后的配准图

分别对比四种匹配算法的匹配总对数、精匹配对数、正确匹配对数和正确率。其中精匹配中 knn 算法阈值的选取为 0.7。通过匹配对两点连线的斜率不超过正负 0.1 为正确性的评判标准计算正确率,得到的数据如下表所示:

表 1 配准效果对比表

算法	匹配的特征点总对数	精匹配特征点对数	正确特征点对数	正确率
SIFT	2366 对	120 对	118 对	0.983
SURF	1936 对	144 对	143 对	0.993
ORB	501 对	85 对	84 对	0.988
改进的 ORB	1002 对	130 对	129 对	0.992

由表中数据对比可知,各种算法经过精匹配后得到的特征点正确率较高,说明了 knn 算法进行筛选的必要性。SIFT 算法和 SURF 算法能比 ORB 算法提取出更多的特征点对数,改进的 ORB 算法可以弥补 ORB 算法在提取特征对数量上的不足。

为了研究特征点在图中的分布情况,分别把图像分成 10×10 和 100×100 为单位的像素块,由于仅对图像 50% 区域匹配,所以分别分成 80 块和 7776 块,通过统计各类算法可以覆盖像素块的个数,体现匹配的特征点对的覆盖率。

表 2 配准特征的覆盖率比较

算法	可覆盖 10×10 的像素块区域	覆盖率	可覆盖 100×100 的像素块区域	覆盖率
SIFT	103	0.013	26	0.325
SURF	119	0.015	24	0.3
ORB	48	0.006	8	0.1
改进的 ORB	75	0.010	13	0.163

由上表数据可以反映特征点在图像中的分布情况,覆盖

率越高的特征点分布越广泛,越能准确的计算图像间整体的透视变换关系。

接下来对各种算法各流程消耗的时间进行统计:

表 3 各算法消耗时间比较

算法	提取特征点、形成描述子	特征匹配与筛选	计算变换矩阵、图像融合	总时间
SIFT	9966ms	1512ms	840ms	12320ms
SURF	1109ms	954ms	900ms	2965ms
ORB	356ms	113ms	457ms	927ms
改进的 ORB	696ms	197ms	337ms	1231ms

由表可见,SIFT 算法在提取特征上消耗大量的时间,SURF 算法有很大的进步,而 ORB 算法更快。

下面分别对比单位时间每种算法能提取的精匹配对数和单位时间匹配对数对图像的覆盖率来对比各算法的效率:

表 4 各算法效率比较

算法	单位时间提取特征(对/ms)	单位时间可覆盖 10×10 图像块个数(个/ms)	单位时间可覆盖 100×100 图像块个数(个/ms)
SIFT	0.010	0.008	0.002
SURF	0.048	0.040	0.008
ORB	0.091	0.052	0.009
改进的 ORB	0.104	0.061	0.011

SIFT 算法虽然能提取出大量的特征点,但是消耗的时间最多,效率最低;SURF 算法同样可以提取出较多特征点,并且效率较高;ORB 算法虽然提取的特征较少,但是因为耗时极少,所以效率最高,但缺点是提取的特征太过集中;改进的 ORB 算法同样具有较高的效率,同时可以使提取的特征分布较广,使得整体的特征点更具有质量。

改进的拼接算法整合直方图均衡前后分别得到的匹配对,使用 RANSAC 算法计算透视变换矩阵,然后进行拼接,最后得到的结果如图 6 所示。



图 6 改进的拼接图

下面根据细节放大图对比分析改进前后拼接算法的结果。

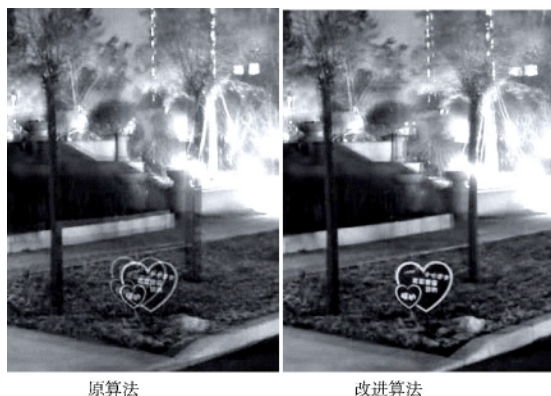


图7 细节放大图

由图可以发现,原算法得到的拼接图由于透视变换矩阵计算不准确,会发生重影的现象,而改进的算法对透视变换矩阵计算更加准确,可以很好的消除这一现象。

实现图像拼接的目的主要是完成图像的无缝融合,而目前的客观评价指标大多是针对图像本身的质量进行评价,对于无缝的定义只用从人眼主观来判断分析,所以本文拼接实验的主观分析来作为拼接结果好坏的指标。

5 结语

实现图像拼接,其核心是计算出准确的透视变换矩阵,准确的透视变换矩阵可以为后续的图像融合减少不必要的计算,使得算法具有更高的实时性。本文使用基于直方图均衡的改进匹配算法,通过增加在增强图像对比度条件下匹配对的方式,解决了夜晚图像易受到灯光因素干扰,特征点匹配集中,透视变换矩阵计算不准的问题,从而优化了图像拼接的质量。

参考文献:

- [1] Ghosh D, Kaabouch N. A survey on imagemosaicing techniques [M]. Academic Press, Inc. 2016.
- [2] 桂辉. 安防监控中多相机图像拼接相关问题的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2015.
- [3] Lin M, Xu G, Renx, et al. Cylindrical panoramic image stitching method based on multi-cameras[C]. IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, IEEE, 2015.
- [4] 董强. 机载图像拼接关键技术研究[D]. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2018.
- [5] Lowe D G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [6] Bay H, Tuytelaars T, Luc V G. Speeded up Robust Features[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.
- [7] Rosten E, Porter R, Drummond T. Faster and Better: A Machine Learning Approach to Corner Detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(1): 105-119.
- [8] 詹帝. 低照度下大视场视频拼接技术的研究[D]. 重庆邮电大学, 2017.
- [9] Calonder C, Lepetit V, Strecha C. BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features[C]. European Conference on Computer Vision, 2010: 778-792.
- [10] 雍玖, 王阳萍, 雷晓妹, 等. 基于改进 ORB 特征检测的全景视频拼接[J]. 计算机应用与软件, 2017, 34(5): 182-188.
- [11] 张婷. 基于特征快速配准的图像拼接技术的研究与实现[D]. 华东师范大学, 2018-09-27.
- [12] 王健, 于鸣, 任洪娥. 一种用于图像拼接的改进 ORB 算法[J]. 液晶与显示, 2018, 33(6): 520-527.
- [13] 方明, 李洪娜, 雷立宏, 等. 低照度视频图像增强算法综述[J]. 长春理工大报, 2016, 39(3): 56-69.

【作者简介】



王天也(1994-),男(汉族),吉林省长春市人,硕士研究生,主要研究领域为图像拼接。

王绍举(1983-),男(汉族),吉林省长春市人,副研究员,硕士研究生导师,主要研究领域为航天相机智能控制技术。

(上接第 397 页)

- [7] 赵凤, 孔令润, 马改妮. 多目标粒子群和人工蜂群混合优化的阈值图像分割算法[J]. 计算机工程与科学, 2020, 302(2): 94-103.
- [8] 海金涛, 谢广明, 文家燕, 等. 基于 Processing 实现多智能体环形围捕仿真[J]. 计算机仿真, 2020, 37(4): 345-351.

【作者简介】



王清玥(2000-),女(汉族),内蒙古呼伦贝尔人,本科生,研究方向: 计算计量经济学、图像处理。

郭婷(1986-),女(汉族),辽宁省沈阳人,博士,讲师,研究方向: 经济理论与计算计量经济学。