

一种基于图像匹配的公路破损标线检测方法

王立春,李强懿,阮航

(南京航空航天大学 计算机科学与技术学院,江苏 南京 211100)

摘要:为进一步提高公路破损标线的检测效率,解决传统人工查看破损标线带来的高错误率、高成本问题,提出一种基于无人机航拍图像匹配的公路破损标线检测方法。对无人机采集的待检测公路图像,该算法首先利用 SIFT 提取关键点,然后利用 KNN 以及最优节点优先搜索算法进行特征匹配。为提高图像匹配准确度,提出一种分区域特征匹配融合算法。该算法将图像划分为多个区域,并分别进行特征检测与匹配,利用图像不同区域的匹配结果计算图像变换矩阵,用以提高图像的匹配准确度。最后,利用模板匹配方式,将待检测图像与已标定的模板图像进行对比来检测破损标线。实验结果表明,该算法检测准确率高,适用性好。

关键词:航拍图像;图像匹配;破损标线检测;特征融合;无人机

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2018)09-0025-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.09.006

A Damaged Road Markings Detection Method Based on Image Matching

WANG Li-chun, LI Qiang-yi, RUAN Hang

(School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,
Nanjing 211100, China)

Abstract: In order to improve the detection efficiency of damaged road marking and solve the high error rate and high cost caused by traditional manual finding way, we present a damaged road markings detection method based on UAV aerial images and image matching. For road images collected by UAV, this algorithm firstly extracts key points of the image by SIFT, and then use KNN algorithm and optimal node search algorithm to match the features. In order to improve the accuracy of image matching, we propose a sub-regional feature matching fusion algorithm which divides each image into multiple regions for feature detection and matching, and computes transformation matrix by the matching results of different image regions to improve the matching accuracy of image. Finally, by template matching method, we compare the test road image with calibrated template image to detect the damaged markings. Experiment shows that the proposed algorithm has high accuracy and great applicability.

Key words: aerial images; image matching; broken road marking detection; feature fusion; UAV

0 引言

公路破损标线的检测方法,目前仍以人工查看方式为主,相对比较落后。而对于自动化的公路破损标线检测的相关研究一直在继续。Loce R. P. 对计算机视觉技术在道路交通系统中的应用进行了总结^[1];陈新波等提出一种利用城市智能监控系统采集图像对道路标线进行自动化分析的方法^[2];李楠利用深度学习方法进行路面裂缝的识别^[3]。

随着无人机技术的成熟,由于无人机具有飞行灵活、不受时间空间限制等特点,利用无人机航拍公路图

像并对图像进行自动化分析,无疑将是一种更好的检测方式^[4]。

由于公路标线的位置并没有统一的规则^[5],并且标线破损形状多变,且存在完全磨损掉的可能性,直接对图像中破损标线进行检测分析无法准确计算出标线破损程度并且容易产生漏检等情况。因此利用图像匹配技术,首先将航拍公路图像中的标线进行一次模板标定,然后每次检测时,将待检测图像与已标定的模板图像进行匹配,根据与标定模板图像的对比结果进行破损程度分析,将得到更为准确的结果。

收稿日期:2017-11-05

修回日期:2018-03-07

网络出版时间:2018-05-16

基金项目:国家自然科学基金(61375021)

作者简介:王立春(1993-),男,硕士,CCF 会员(54501G),研究方向为计算机视觉。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180515.1702.062.html>

目前,图像匹配技术在目标识别、目标跟踪等领域应用广泛。图像匹配方法主要有两类,即基于区域的方法以及基于特征匹配的方法。基于区域的方法易受噪声和光照的影响,适用性较差,而基于特征匹配的方法能够通过两幅图像的共同特征对图像进行匹配,具有更好的稳定性。文献[6]对当前局部特征进行了总结。常用的特征检测算子包括 Harris^[7]、SIFT^[8]、SURF^[9]、ORB^[10]特征等。文献[11-12]利用 SIFT 算法实现图像目标的匹配与定位;文献[13]利用改进的局部不变特征实现兴趣点的匹配;文献[14]改进了 SIFT 算法以实现亚像素级的图像配准。

受上述研究启发,文中提出一种基于图像匹配的公路破损标线检测方法。该方法利用待检测图像与已标记的模板图像进行图像匹配,匹配后根据与标定模板的对比结果检测破损标线。为进一步提高匹配的准确度,提出一种分区域特征匹配融合的特征匹配方法,并进行了实验验证。

1 特征检测与匹配

1.1 特征检测与描述

SIFT 特征是由 Lowe 等提出的一种稳定的特征检测算子,具有较好的尺度、仿射、光照不变性,在 SLAM、人脸识别、目标跟踪等领域应用广泛。

为保证特征的尺度不变性,SIFT 算法通过输入图像和不同的高斯核做卷积,从而建立不同的尺度空间,并在不同尺度空间中进行特征点的检测和提取。不同尺度空间表示为式 1:

$$L(x, y, \sigma) = I(x, y) * G(x, y, \sigma) \quad (1)$$

其中, $L(x, y, \sigma)$ 表示不同的尺度空间; $I(x, y)$ 表示二维图像; $G(x, y, \sigma)$ 表示卷积核,见式 2:

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (2)$$

其中, σ 为尺度空间因子,是高斯正态分布的标准差。

为得到稳定的特征点,Lowe 提出建立高斯差分尺度空间,见式 3:

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, \sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) \quad (3)$$

其中, $D(x, y, \sigma)$ 为相邻尺度图像之差。

在高斯差分空间中,每个点与 26 个相邻点进行比较,检测极值点,所有的极值点就构成了 SIFT 候选关键点。

为保证 SIFT 的旋转不变性,SIFT 算法计算每个特征点的主方向,SIFT 算法主方向利用关键点邻域内像素的梯度方向分布特性得到。计算主方向后,将坐标轴旋转到特征点主方向,然后以特征点为中心取

16 * 16 大小邻域,并将该邻域划分为 4 * 4 的子区域,每个区域统计 8 个方向的直方图,最终得到 128 维的 SIFT 特征向量。

1.2 特征匹配

特征匹配是指在找出图像特征点之后,找到待匹配图像中最相似的特征点进行匹配。目前主流的匹配方法包括暴力匹配、FLANN 匹配、交叉验证等。为了提高匹配准确度以及匹配效率,文中采用 KNN 算法进行特征匹配,并利用最优节点优先搜索算法^[15]进行最近邻特征搜索,该算法是 KD 树算法的改进,可以有效减少高维数据的匹配时间,提高匹配效率。在特征点相似性比较算法上,KNN 算法通过特征点的最近邻与次近邻特征向量的欧氏距离比来确定匹配点对,对于距离比小于阈值 σ ,认为该特征点对匹配,反之为匹配失败。实验中阈值取 0.6。

采用 KNN 算法后,仍然存在一定数量的错误匹配,为更好地滤除错误的匹配点对,提高匹配准确度,文中进一步采用 RANSAC^[16-17]方法进行错误特征匹配的过滤。RANSAC 是一种概率模型方法,其通过多次随机抽样,并对参数进行评估,利用评估结果将样本分为内点和外点,内点即在误差范围内的点给予保留,外点则误差较大,认为是匹配错误的点对,进行删除。经过 RANSAC 方法过滤后,特征点匹配的准确性有较大提升。

2 图像匹配

在特征匹配之后,便可以利用匹配点对计算出相应的透视变换矩阵,将匹配的图像变换到相同的坐标系,实现图像匹配,进而实现标线的破损检测。但在实验中发现,由于待检测图像与模板图像拍摄时间不同,公路两侧的植物会因为风、季节等因素发生一定的变换,对特征点的检测产生一定的影响,导致图像匹配之后出现一定程度的畸变。为解决该问题,文中提出一种分区域特征匹配融合算法。

2.1 图像匹配度检测

为验证两幅图像的匹配程度,将变换到相同坐标系下的图像利用模板匹配^[18]算法进行匹配准确度检测。模板匹配算法,利用模板在搜索图上平移,通过对两幅图像进行逐像素比较,并根据像素差值来判断两幅图像的相似性。文中选取已标定模板图像作为模板,待检测图像作为搜索图像,图像相似性表示见式 4:

$$D(i, j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{i,j}(m, n) - T^{i,j}(m, n)] \quad (4)$$

为保证较高的匹配效果,文中搜索图平移范围设置为上下左右各 200 个像素。图像相似度计算方法为,首先利用模板匹配算法得到匹配结果,将匹配结果

归一化到0-1得到归一化的模板匹配矩阵,在模板匹配矩阵中找到极值点,然后利用周围像素值分布判断是否匹配成功,由于匹配成功后,极值点以外点均会小于极值点,匹配矩阵中间会形成亮斑。如果匹配成功,则该极值点对应的值作为该图像匹配的准确度。

2.2 分区域特征匹配融合算法

根据透视变换原理^[19],只需两幅图像的4对匹配点便可以计算出透视变换矩阵,透视变换公式见式5:

$$[x,y]^T = \frac{\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e \\ f \end{bmatrix}}{1 + [u,v] [x_0,y_0]^T} \tag{5}$$

其中, a,b,c,d,e,f 分别为利用4个点对求取的透视变换参数; $[x_0,y_0]^T$ 为原坐标, $[x,y]^T$ 为变换后的坐标。

为提高匹配的准确度,减少由于绿色植物等特征点变化产生的图像匹配错误,文中提出一种多区域特征匹配融合算法。该算法选取待检测图像的4个顶点以及其在模板图像上的4个对应匹配点作为透视变换的计算点。

首先对图像进行多区域划分,划分后可将4个顶点分别划分在不同区域,简单的划分方式如:左边区域1/2以及右边区域1/2、左边区域2/3以及右边区域2/3等。然后针对每一种划分方式,分别对不同区域进行特征提取与匹配,计算出不同的透视变换矩阵,进而计算出4个顶点所对应的匹配点,利用由不同变换矩阵计算出的4个匹配点重新求出新的透视变换矩阵进行整张图像匹配。最后对多种划分方式,根据图像匹配后的匹配度,选取最佳的匹配结果,作为这张图像的匹配结果。具体算法描述如下:

算法1:多区域特征匹配融合算法。
Step1:采用多种方式对图像进行划分,实验选取划分方式分别为:(1)不划分;(2)图像左右各1/2;(3)图像左边2/3与右边2/3部分。

Step2:利用上述特征匹配算法,对Step1中每种划分方式的各个区域分别进行特征检测与匹配。

Step3:对每个区域分别计算透视变换矩阵,根据4个顶点所在的区域,利用不同的透视变换矩阵分别求取4个顶点的对应点。计算方式为式6:

$$[x_i',y_i']^T = M_i [x_i,y_i]^T, i = 1,2,3,4 \tag{6}$$

其中, M_i 为每个顶点所在区域的透视变换矩阵; $[x_i,y_i]^T$ 分别为4个顶点; $[x_i',y_i']^T$ 为每个顶点匹配后的对应点。

Step4:利用Step3计算得到的4个顶点以及匹配后的对应点,重新计算透视变换矩阵,对图像进行匹配,计算方式见式7:

$$M = \text{Perspective}\left(\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_i' \\ y_i' \end{bmatrix}\right), i = 1,2,3,4 \tag{7}$$

其中, **Perspective** 表示计算透视变换矩阵。
Step5:对不同的划分方式分别执行Step2~Step5,得到每种划分的匹配结果,并对每种划分的匹配结果进行匹配度检测,找到最佳匹配,作为图像的最终匹配结果。

2.3 算法效果分析

实验通过无人机定航线飞行方式^[20-21]对多条公路图像,分别在不同时间采集相同位置图像,定航线飞行方式可以较好地保证两次拍摄的图像差别不大,从而有效提高图像匹配效率。

实验首先针对存在匹配畸变的图像测试分区域特征匹配算法的效果,验证算法的有效性。匹配矫正效果如图1所示。结果证明,文中算法可以有效矫正由于匹配错误造成的图像畸变,提高匹配准确率。

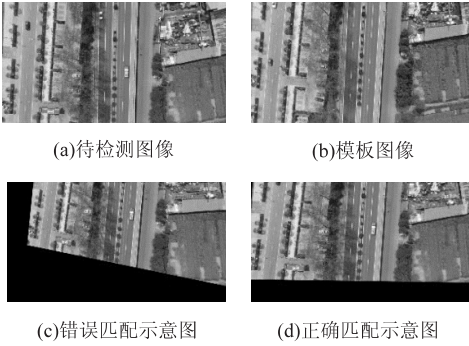


图1 实验图像

另外,文中测试采用不同区域划分方式的算法准确度,表1中序号1~4为采用不同区域划分的匹配结果。表中分别采用的是全区域匹配、图像左右1/2、图像左右2/3以及将前面结合并选取最佳的匹配方式。可以发现只使用一种划分方式匹配准确度相差不大,但是将多种划分算法融合后,准确率有了较大提升,使用分区域特征匹配融合算法,对于提高匹配的准确度有明显效果。

表1 采用不同区域划分的匹配结果

序号	方法	图像总数	正确率/%
1	全图像匹配	500	92.8
2	左边1/2与右边1/2	500	83.2
3	左边2/3与右边2/3	500	92
4	1、2、3结合选取最佳	500	98.4
5	SIFT算子匹配	500	98.4
6	SURF算子匹配	500	94.3
7	ORB算子匹配	500	81.8

另外,分别对比了使用不同检测算子对匹配准确率的影响。分别选取SIFT算子、SURF算子、ORB算

子进行图像匹配测试实验,结果见表 1 中序号 5-7。根据对比结果可以证明,SIFT 算子的检测精度比 SURF 以及 ORB 算子的匹配准确度高,故文中算法选取 SIFT 特征可以达到最好的匹配效果。

3 破损标线检测

在进行图像匹配之后,便可以根据模板图像以及标线标注图像进行破损标线检测。模板图像以及标线标注图像如图 2 所示,其中左图为模板图像,右图为模板图像对应的标线标注图像,由于图像较大,这里只显示局部图像。

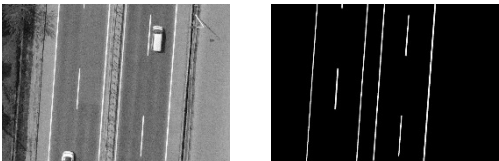


图 2 模板图像(左)和标线标注图像(右)

由于拍摄的时间不同以及光照等的影响,文中采用局部阈值分割算法作为标线的阈值分割算法,并且为防止匹配后图像并未完全重合,而存在较小的偏移,将每个标线模板区域候选框放大 20%,并采用模板匹配方法进行破损度的计算。具体破损检测算法如下:

算法 2:破损标线检测算法。

Step1:对每个标线,提取模板标注图像中各标线区域的外接矩形,并提取每个标线模板图像。

Step2:将外接矩形长宽各放大 20%,提取待检测图像中对应位置区域作为检测破损标线的候选区域。

Step3:对候选区域,利用大津阈值方法进行阈值分割处理,得到待检测二值图像。

Step4:利用提取的标线模板图像在待检测图上平移,通过对两幅图像进行逐像素比较,找到差值最小的值,作为当前标线的破损面积。

Step5:破损面积比例大于阈值 σ 标记为破损标线, σ 为需要检测的破损比例。

文中算法的检测结果如图 3 所示,这里只显示局部图像。可以看出,利用模板匹配算法,可以有效减少由于匹配后没有完全重合而带来的破损检测错误情况,提高标线破损比例的检测精度以及算法的适用性。

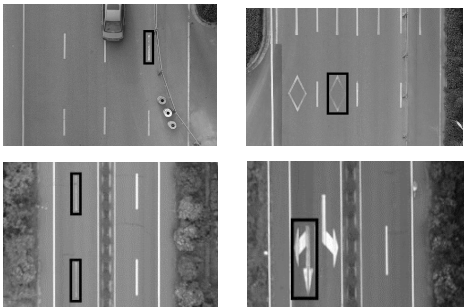


图 3 万方数据 破损标线检测结果

4 实验结果分析

本次实验的测试数据采用无人机定航线飞行方式,分路段采集多条公路图像,图像大小为 4 000 * 3 000 像素。

为评估算法的有效性和适用性,分别对不同路段测试算法的精度。并且为验证分区域特征匹配算法的有效性,对分区域融合算法前后的破损标线检测精度进行对比。选取准确率以及召回率作为评估算法的检测精度指标,公式如下:

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$
 (8)

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$
 (9)

其中, P 表示准确率; R 表示召回率; TP 表示真实情况为正例并且预测结果也为正例; FN 表示真实情况为正例并且预测结果为反例; FP 表示真实情况为反例预测结果为正例; TN 表示真实情况为反例预测结果为反例。

首先利用文中算法对多条公路进行破损标线检测,结果见表 2。由表 2 可以看出,文中算法的平均检测准确率可以达到 96% 以上,召回率平均可以达到 97% 左右。对漏检图像进行分析,主要原因为图像匹配时出现错误,导致该图片被跳过。不过这种情况较少,算法整体准确度较高。

表 2 不同公路破损标线检测精度

公路	破损标线总数	准确率/%	召回率/%
公路 1-1	101	95.4	94.3
公路 1-2	106	96.1	93.9
公路 2-1	378	96.2	97.3
公路 2-2	356	97.2	97.5
公路 3-1	550	96.5	97.4
公路 3-2	537	97.6	96.8

同时,对分区域特征匹配算法使用前后的破损标线检测精度进行对比,结果见表 3。由表 3 可以发现,在未使用分区域融合特征匹配前,图像匹配错误率较高,导致标线检测召回率偏低,而使用之后,召回率有

表 3 使用分区域特征匹配融合算法前后精度对比

公路	破损标线总数	使用前 召回率/%	使用后 召回率/%
公路 1-1	101	90.2	94.3
公路 1-2	106	88.1	93.9
公路 2-1	378	93.2	97.3
公路 2-2	356	90.7	97.5
公路 3-1	550	90.4	97.4
公路 3-2	537	91.5	96.8

了明显的提高。这是因为,当匹配错误被纠正后,破损标线可以正常检测,进而提高了检测精度。

综上分析,文中算法可以有效检测出破损标线,平均检测精度可以达到95%以上,并且使用分区域融合算法可以有效提高图像匹配准确度,进而提高破损标线的检测精度。

5 结束语

文中研究了一种基于无人机航拍图像匹配的破损标线检测方法。该方法利用无人机航拍公路图像,自动检测公路破损标线,提高标线检测效率。为了提高图像匹配的准确度,提出了一种分区域融合特征匹配算法。该算法可以有效提高图像匹配的准确度,减少匹配过程中发生的图像畸变,进而提高破损标线的检测精度。虽然该算法可以有效提高图像的匹配效果,但是仍然存在发生轻微畸变的可能,进而带来标线的错位,影响检测效果。因此,下一步的工作是进一步提高匹配的效果以及速度,同时针对公路标线做匹配的优化,使公路的匹配更加准确;另外,针对公路车辆的干扰,造成的公路标线破损检测错误也是下一步工作的重点。

参考文献:

[1] LOCE R P, BERNAL E A, WU Wencheng, et al. Computer vision in roadway transportation systems; a survey[J]. Journal of Electronic Imaging, 2013, 22(4): 041121.

[2] 陈新波, 蒋 峥. 路面交通线破损图像智能检测优化研究[J]. 计算机仿真, 2016, 33(5): 161-165.

[3] 李 楠. 基于深度学习框架 Caffe 的路面裂缝识别研究[J]. 冶金丛刊, 2017(3): 20-21.

[4] 常德强, 黄海峰. 小型无人机在公路巡查中的应用前景展望[J]. 科技视界, 2014(20): 319-320.

[5] 王运霞, 刘东波, 顾金刚, 等. 浅析道路交通标线设置常见问题[J]. 中国公共安全学术版, 2014(4): 79-83.

[6] 孙 浩, 王 程, 王润生. 局部不变特征综述[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(2): 141-151.

[7] 毛雁明, 兰美辉, 王运琼, 等. 一种改进的基于 Harris 的角

点检测方法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(5): 130-133.

[8] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.

[9] BAY H, ESS A, TUYTELAARS T, et al. Speeded-up robust features (SURF)[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.

[10] RUBLEE E, RABAU D V, KONOLIGE K, et al. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF[C]//IEEE international conference on computer vision. Barcelona, Spain: IEEE, 2011: 2564-2571.

[11] 傅卫平, 秦 川, 刘 佳, 等. 基于 SIFT 算法的图像目标匹配与定位[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(1): 163-169.

[12] 李 炀, 翟社平. 改进的 SIFT 图像匹配算法[J]. 计算机技术与发展, 2016, 26(11): 58-62.

[13] 张 良, 王海丽, 吴仁彪. 基于改进局部不变特征的感兴趣点匹配[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(11): 2620-2625.

[14] 卢 浩, 刘团结, 尤红建. 亚像素级的图像配准方法[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(4): 45-49.

[15] BEIS J S, LOWE D G. Shape indexing using approximate nearest-neighbour search in high-dimensional spaces[C]//IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. [s. l.]: IEEE, 1997: 1000-1006.

[16] 陈艺虾, 孙权森, 徐焕宇, 等. SURF 算法和 RANSAC 算法相结合的遥感图像匹配方法[J]. 计算机科学与探索, 2012, 6(9): 822-828.

[17] 马 强, 项昭保, 黄良学, 等. 基于改进 SIFT 和 RANSAC 图像拼接算法研究[J]. 计算机技术与发展, 2016, 26(4): 61-65.

[18] BRUNELLI R. Template matching techniques in computer vision: theory and practice[M]. [s. l.]: John Wiley & Sons, 2009.

[19] 牛 彦. 关于透视变换的研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(6): 549-551.

[20] 韩泉泉, 陈知秋, 田雪涛, 等. 无人机航线跟随控制方案设计与实现[J]. 电子设计工程, 2014, 22(11): 1-4.

[21] 卢清秀. 基于嵌入式的智能搜救无人机飞控系统设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2017, 27(2): 191-194.