

引用格式:赵爱罡,范小虎,赵乾,等.基于两层策略的SAR图像局部不变特征点的匹配方法[J].电光与控制,2019,26(1):34-37. ZHAO A G, FAN X H, ZHAO Q, et al. Matching of local invariant feature points in SAR image based on two-tier strategy[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26 (1):34-37.

基于两层策略的SAR图像局部不变特征点的匹配方法

赵爱罡, 范小虎, 赵乾, 王建永, 葛春

(火箭军士官学校,山东青州 262500)

摘要:在基于局部不变特征的SAR景像匹配制导中,局部不变特征点的匹配实时性具有十分重要的工程意义。提出了一种基于两层策略的特征点匹配方法。首先根据特征点响应的阈值对实时图和参考图分别提取一级特征点和二级特征点,然后依据二级特征点到一级特征点的距离使二级特征点隶属于距离最近的一级特征点,由此达到对二级特征点进行分组的目的。进一步,通过对一级特征点进行方向梯度描述,借助kd-tree最近邻方法(NN)匹配策略实现特征点初步配对,并结合RANSAC算法验证剔除误匹配点。最后,对隶属于提纯后一级特征点的二级特征点进行BRIEF描述,分组对二级特征点进行匹配。仿真实验结果表明,特征点匹配速度大幅提升。

关键词:SAR; 两层匹配策略; 景像匹配制导; 特征描述; 特征匹配

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2019.01.008

Matching of Local Invariant Feature Points in SAR Image Based on Two-Tier Strategy

ZHAO Ai-gang, FAN Xiao-hu, ZHAO Qian, WANG Jian-yong, GE Chun

(Rocket Force Sergeancy School, Qingzhou 262500, China)

Abstract: In SAR scene matching guidance system based on local invariant feature, the real-time performance of the matching of the local invariant feature points is of great engineering significance. A new scene matching algorithm based on two-tier matching strategy is proposed to improve the speed of scene matching algorithm. First, the first-level and the second-level feature points are extracted respectively from the real-time and reference images according to the threshold value. Then, make each of the second-level feature point subordinate to the closest first-level feature point according to their distance. Further, the first-level feature points are described by SIFT descriptor and using nearest neighbor method based on kd-tree to achieve the initial matching of the first-level feature points. RANSAC algorithm is utilized to get rid of the error matches. Finally, the second-level feature points which are subordinate to the first-level feature points after eliminating the false matching points are described by BRIEF descriptor and then are matched. Experimental results show that the matching speed of feature points is improved.

Key words: SAR; two-tier matching strategy; scene matching guidance; feature description; feature matching

0 引言

在SAR景像匹配制导系统中,对匹配算法的实时性要求较高,而对于局部不变特征的景像匹配算法,提

高实时性主要从两个方面进行研究:一是局部特征的描述;二是特征点的匹配策略。因为在景像匹配制导过程中,主要获取位置信息,而局部特征匹配是获取这个信息的关键,其中,局部特征点描述与匹配过程相对检测而言较耗时,所以提高特征点描述与匹配过程的时间是景像匹配制导的关键环节^[1]。

特征点描述与匹配分别决定了局部特征描述子的鲁棒性及实时性。理想的局部特征描述子应既能准确描述局部特征,又能应对局部特征的一些变化,如光照、遮挡、旋转等形变,最后还要满足实时性要求。但

收稿日期:2016-09-13

修回日期:2018-11-08

基金项目:火箭军工程大学第二批尖子人才专项计划(JXJZZX1605);
国家自然科学基金(61203189,61374054)

作者简介:赵爱罡(1986—),男,河北衡水人,博士,讲师,研究方向为导航制导与控制。

是准确性和鲁棒性是一对矛盾关系,对局部特征点描述越全面细致,准确性越好,意味着能够对局部特征进行准确描述;但是一旦局部特征因为外部环境或拍摄角度问题发生变化,鲁棒性就要受到影响,容易造成误匹配问题,所以景像匹配算法要兼顾描述子的准确性、鲁棒性和匹配的实时性要求^[2]。

为此,国内外专家学者们提出了多种特征描述子,其中,具有代表性的方法有基于梯度方向直方图统计的 SIFT 描述子^[3]和基于二进制的 BRIEF 描述子^[4]。SIFT 描述子利用特征点周围的梯度信息进行描述,梯度信息主要与纹理及形状有关,也就是局部区域的结构组成,具有一定的准确性。使用梯度方向直方图进行描述,对局部区域的位置关系及整体的光照、旋转及缩放变化比较鲁棒,但也存在一定的问题,为了提高准确性,生成的特征向量维度较高,匹配速度受到了影响。相对而言, BRIEF 描述子利用局部特征点周围像素点对中心点灰度比较形成对比描述符,采用二进制格式进行表述,匹配速度可以大幅提高。

现有的特征点匹配算法大多只利用了其中一种特征点描述方法,为了提高特征点匹配算法的实时性,平衡特征点描述鲁棒性、独特性以及匹配速度之间的相互矛盾,本文在基于 Facet 模型的 SAR 图像特征点检测的基础上^[5],提出了基于两层策略的特征点匹配方法。

1 两层特征点检测

基于 Facet 模型对 SAR 图像的局部区域做灰度曲面最佳拟合,然后计算拟合曲面中心点的二阶方向导数,取二阶方向导数极大值小于零的点作为潜在特征点,最后通过对极大值的绝对值归一化和局部非极大值抑制提取特征点^[5]。本文提出了两层特征点检测方法,通过设定二阶方向导数极大值的绝对值归一化后的阈值,将特征点分别提取为一级和二级特征点。匹配流程如图 1 所示。

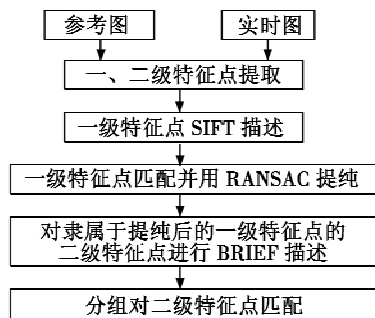


图 1 特征点匹配流程

Fig. 1 Feature point matching process

本文首先将阈值设定为 0.6 进行特征点提取,然后在邻域半径 $r = 40$ 像素范围内进行非极大值抑制,

将提取的特征点设置为一级特征点,并对每个特征点编号。将阈值设置为 0.4 ~ 0.6 像素进行二级特征点的提取,在邻域半径 $r = 5$ 像素范围内进行非极大值抑制,并对每个二级特征点编号。依据与一级特征点的距离,每个二级特征点隶属于最近的一级特征点,每个二级特征点均隶属于其中某一个一级特征点。

采用不同时间成像的 Chernobyl of Ukraine 地区 SAR 图像所截取的数据作为实时图和参考图(图像的像素大小均为 475×430)。一、二级特征点提取效果如图 2 所示。

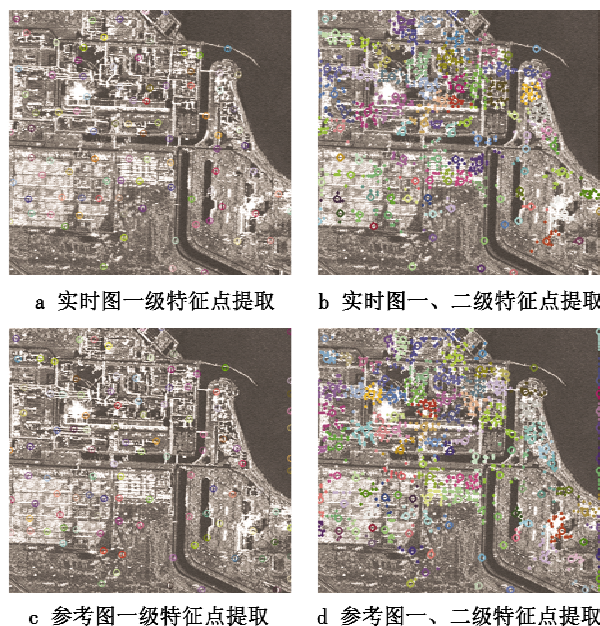


图 2 实时图与参考图特征点提取

Fig. 2 The feature point extraction of real-time and reference images

实时图提取的一级特征点数目为 $N_{10} = 91$,二级特征点数目为 $N_{11} = 875$;参考图提取的一级特征点数目为 $N_{20} = 107$,二级特征点数目为 $N_{21} = 1050$ 。对实时图和参考图的一级特征点分别进行编号,二级特征点根据距离一级特征点的远近,判定隶属于某个已编号的一级特征点,在图 2b 和图 2d 中每个一级特征点和其所隶属的二级特征点采用相同的颜色来表示。

2 特征描述

为了使特征点具有方向不变性,需对特征点主方向进行确定,确定的方法已在特征点检测过程中具体介绍^[5],此处不再赘述。

特征描述是景像匹配制导过程中的关键步骤,根据不同的应用场合,即景像的内容和实时性要求,针对具体应用,合理选择局部不变特征的描述和匹配策略是解决实际问题的方法之一。目前最常用的 SIFT 特

征描述子的准确性较高,也显现出一定的应用效果,但是梯度方向直方图的计算过程步骤较多,严重影响了 SIFT 特征描述子的实时性要求,并且 128 维的特征向量在匹配过程中不但耗时且占用内存较多。因此,对于实时图和参考图数目较少的一级特征点(分别为 97 和 107)采用梯度方向直方图进行描述,以确保景像内容大范围匹配的准确性。BRIEF 局部特征描述子简单高效,它具有两方面的优点:1) 描述子利用灰度对比能够快速生成描述子;2) 二进制串描述子可以加快匹配速度。这两个优点直接关系到景像匹配实时性。因此,为了提高速度,对实时图和参考图数目较多的二级特征点(分别为 875 和 1050)采用 BRIEF 描述。

3 特征点匹配和误匹配点剔除

在一级和二级特征点检测和特征描述的基础上从实时图和参考图具有相同内容的区域中,分别寻找存在于两幅图像中的具有对应关系的特征点做一次正确匹配。为了提高特征点匹配的效率和,本文提出了一种新的两级匹配策略。

该方法首先通过 kd-tree 最近邻方法(Nearest Neighbors, NN)^[6]对一级特征点进行匹配,在获取的匹配点对中,采用 RANSAC 算法利用对应关系剔除错误匹配^[7],得到实时图和参考图正确的一级特征点匹配点对,然后分别对每组正确匹配的隶属于一级特征点的二级特征点进行匹配。

3.1 一级特征点匹配和提纯

一级特征点采用 SIFT 描述子,是在大范围的景像中寻找的特征突出的点作为特征点,所以 128 维的特征描述符之间的差异较大,在匹配的过程中可以有效减少误匹配,因此可以直接利用两幅图像对应一级特征点的 SIFT 描述子进行匹配。本文使用文献[6]中提出的基于 kd-tree 的 NN 方法来实现一级特征点的初步匹配,得到同名点对 54 对,如图 3 所示。

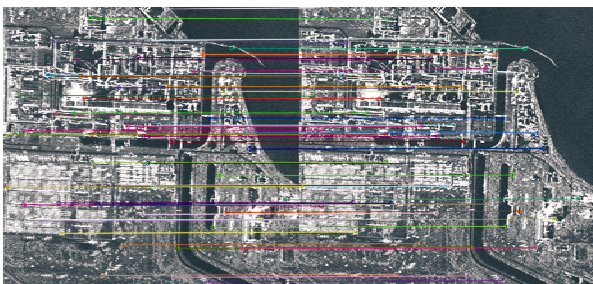


图 3 一级特征点初始匹配效果

Fig. 3 Initial matching effect of the first-level feature points

由于存在误匹配现象,匹配之后借助 RANSAC 算法利用集合对应关系对误匹配点对进行剔除,得到符

合位置关系的匹配点对。图 4 所示提纯后的匹配点对为 48 对。

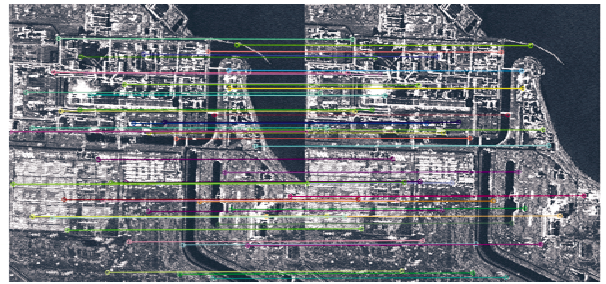


图 4 剔除误匹配后一级特征点匹配效果

Fig. 4 Matching effect of the first-level feature points after eliminating the false matching points

3.2 二级特征点匹配

特征描述子决定着特征匹配性能,不同的特征描述子应该采用与之相适应的特征匹配方法,需要根据特征描述子特性选择合适的匹配计算方法。对于 SIFT 描述子,特征空间中 kd-tree NN 方法是比较常用的匹配方法,但文献[8]指出,这种方法对于二进制特征这样的低维特征描述子却并不适用。基于二进制的特征描述方法所生成的特征描述子通常是二进制串,Hamming 距离计算比较快速,对于一般的图像匹配来说只需采用简单的线性匹配策略就足以满足实时性要求。同时,考虑到隶属于同一个一级特征点的二级特征点的数目较少,因此,与一级特征点所用的 SIFT 特征描述子的匹配方法不同,对基于 BRIEF 描述的二级特征点采用线性匹配策略。

考虑到二级特征点数目较多,并且每个二级特征点隶属于距离最近的一级特征点,为提高对二级特征点的匹配速度,根据二级特征点和正确匹配的一级特征点的隶属关系对二级特征点进行分组,将隶属于同一个一级特征点的二级特征点归为一组,然后再进行匹配。对实时图和参考图的一级特征点进行匹配并剔除误匹配点后,有 48 组正确的匹配点对,从而二级特征点有 48 组。对实时图和参考图中隶属于同一个一级特征点匹配点对的二级特征点进行匹配。例如,实时图中编号为 33 的一级特征点和参考图中编号为 41 的一级特征点是一组正确的匹配点对,所属的二级特征点数目分别为 21 和 25,匹配策略采用线性匹配策略。

对于二级特征点的匹配点对,由于在较小的范围内,图像相同或相似结构出现的概率很低,从而误匹配的概率也很低,如图 5 所示。

同时,由于范围很小,即使出现少数误匹配,对于空间匹配模型的误差影响也可忽略。同样,对二级点的其他各组进行匹配,正确二级特征点匹配对数是 518。

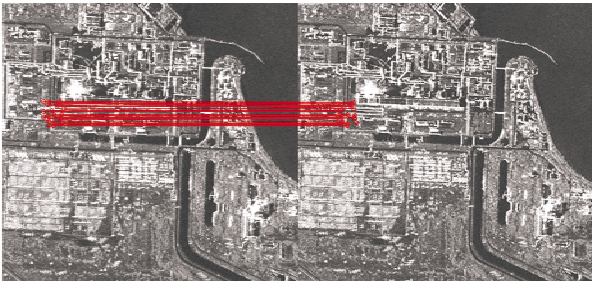


图5 一组二级特征点匹配效果图

Fig. 5 Matching effect of a set of the second-level feature points

4 实验验证

为了验证本文所提算法的有效性,与 BRIEF 算法

表1 实验结果

Table 1 Experimental results

匹配方法	匹配时间/s	总匹配数	正确匹配数	正确匹配率/%	匹配效率
BRIEF 描述	0.19	966	523	54.1	284.7
本文方法	0.14	952	558	58.6	418.6

由表1可看出,本文方法与直接对所有特征点进行 BRIEF 描述和匹配相比较,匹配时间较快,匹配效率有了很大的提高。这是由于采用两层匹配策略,一级特征点的匹配点初始匹配数目比较少,匹配搜索速度较快,RANSAC 算法剔除误匹配点时与一、二级特征点匹配总数目相比,需要检测的点的数目少,减少了迭代次数;二级特征点匹配时,只对隶属于正确匹配的一级特征点的二级特征点匹配,且采用分组匹配策略,每组二级特征点的数目相对二级特征点总数目来说很少,很大程度地提高了匹配搜索速度,而且由于没有必要剔除误匹配点,计算速度也有了很大的提升。

5 结束语

本文提出了一种基于两层策略的 SAR 图像特征点匹配方法。首先根据特征点响应的阈值对实时图和参考图分别提取一级特征点和二级特征点;然后对一级特征点进行 SIFT 描述,基于 kd-tree 的最近邻方法来实现一级特征点的初步匹配,并用 RANSAC 算法剔除误匹配点;对隶属于提纯后一级特征点的二级特征点进行 BRIEF 描述,分组对二级特征点匹配。结果表明,在保证特征点匹配性能的基础上,特征点匹配速度有了很大的提升。

参考文献

[1] 侯毅. 图像局部不变特征提取及应用研究[D]. 长沙:

国防科技大学,2012.

进行对比实验,两种算法最终均用 RANSAC 算法剔除误匹配点。
本文实验的硬件配置为: Intel Core i5-2100 CPU 3.2 GHz, 内存 4.0 GiB。本文算法利用图像处理库 OpenCV 搭建实验平台。

为评价本文算法的匹配性能,从匹配时间、总匹配数、正确匹配数、正确匹配率和匹配效率进行对比实验,其中,正确匹配率 = 正确匹配数/总匹配数,匹配效率 = (正确匹配率 × 100)/匹配时间。

为保证实验结果的客观性,本文实验结果是完成所有图像匹配的总时间除以所有匹配图像对数所得,并且取 10 次计算的平均值。通过实验,得出实验结果如表 1 所示。

国防科技大学,2012.

[2] 王永明,王贵锦. 图像局部不变性特征与描述[M]. 北京:国防工业出版社,2010.

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

[4] CALONDER M, LEPETIT V, OZUYSAL M, et al. BRIEF: computing a local binary descriptor very fast [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(7):1281-1298.

[5] 黄鹏杰,王宏力,赵爱罡,等. 一种基于 Facet 模型的 SAR 图像特征点检测算法[J]. 电光与控制,2017,24(1):41-45.

[6] KIM K, HASAN M K, HEO J P, et al. Probabilistic cost model for nearest neighbor search in image retrieval[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2012, 116(9):991-998.

[7] FISCHLER M A, BOLLES R C. Random sample consensus; a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography [J]. Communications of the ACM, 1981, 24(6):381-395.

[8] MUJA M, LOWE D G. Fast matching of binary features [C]//The 9th Conference on Computer and Robot Vision (CRV), 2012:404-410.