

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2013 6
Vol.1 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2013 年 6 月 第 18 卷 第 6 期(总第 206 期)

目 次

综述

利用块效应特征的 JPEG 图像盲取证研究进展 赵洁, 郭继昌, 张艳(613)

图像处理和编码

可信度双三次插值的 PMD 距离信息和 RGB 图像数据融合 ... 胡良梅, 王竹萌, 高隼, 张旭东, 吴国松(621)

分数阶微分的 CIE $L^*a^*b^*$ 颜色空间边缘检测 汤慧梅, 赵跃进(628)

图像分析和识别

频谱预处理模糊运动方向鉴别的改进算法 孔勇奇, 卢敏, 潘志庚(637)

基于视频动态纹理的火灾检测 邵婧, 王冠香, 郭蔚(647)

医学图像处理

旋转不变的 X 线图像相关度拼接 赵宏, 赵凯, 江春花, 康雁(654)

心肌灌注核磁共振图像的非刚性配准 王建, 潘静薇, 杨新(661)

遥感图像处理

空间约束的无人机影像 SURF 特征点匹配 韩天庆, 赵银娣, 刘善磊, 白杨(669)

支持向量机和水平集的高分辨率遥感图像河流检测 于晓升, 吴成东, 陈东岳, 田子恒(677)

地理信息技术

影响域渐进扩展的居民地增量综合 许俊奎, 武芳(685)

“第 16 届全国图象图形学学术会议”专栏

场景切换视频自适应帧间码率控制 方志军, 高永彬, 舒雷, 袁非牛, 杨勇(692)

适用于 PACS 系统的医学图像近无损压缩 李萍, 蒋慧琴, 杨晓鹏, 刘玉敏(699)

用于视觉词语生成的概率预测器 史淼晶, 徐蕊鑫, 许超(706)

多特征融合的人体目标再识别 范彩霞, 朱虹, 蔺广逢, 罗磊(711)

G^2 连续的低次避障代数样条曲线 陈军(718)

自适应多特征融合的真实感地形快速绘制 曾艳阳, 康凤举, 杨惠珍(724)

第九届和谐人机环境联合学术会议(HHME2013)征稿通知 (730)

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 18 No. 6 June 2013

Contents

Review

Survey: blind forensic of JPEG forgeries based on blocking artifacts Zhao Jie, Guo Jichang, Zhang Yan(613)

Image Processing and Coding

PMD distance information and high resolution RGB image data fusion based on bicubic interpolation with credibility
..... Hu Liangmei, Wang Zhumeng, Gao Jun, Zhang Xudong, Wu Guosong(621)

Edge detection in CIE L*a*b* based on fractional differential Tang Huimei, Zhao Yuejin(628)

Image Analysis and Recognition

Motion blur direction detection based on pre-processing of spectrum image Kong Yongqi, Lu Min, Pan Zhigeng(637)

Fire detection based on video dynamic texture Shao Jing, Wang Guanxiang, Guo Wei(647)

Medical Image Processing

X-ray image mosaic based on rotation invariant correlation Zhao Hong, Zhao Kai, Jiang Chunhua, Kang Yan(654)

Non-rigid registration for myocardial perfusion MR image Wang Jian, Pan Jingwei, Yang Xin(661)

Remote Sensing Image Processing

Spatially constrained SURF feature point matching for UAV images Han Tianqing, Zhao Yindi, Liu Shanlei, Bai Yang(669)

Using support vector machine and level set for river detection in high resolution remote sensing image
..... Yu Xiaosheng, Wu Chengdong, Chen Dongyue, Tian Ziheng(677)

Geoinformatics

Expanding the influencing domain gradually for incremental generalization of settlement Xu Junkui, Wu Fang(685)

Issum of the 16th National Conference on Image and Graphics

Adaptive frame-layer rate control in scene change video Fang Zhijun, Gao Yongbin, Shu Lei, Yuan Feiniu, Yang Yong(692)

Near-lossless compression for medical image in PACS Li Ping, Jiang Huiqin, Yang Xiaopeng, Liu Yumin(699)

Probabilistic predictor for fast visual word generation Shi Miaojing, Xu Ruixin, Xu Chao(706)

Person re-identification based on multi-features Fan Caixia, Zhu Hong, Lin Guangfeng, Luo Lei(711)

Construction of low degree algebraic spline curve with G^2 continuity to avoid obstacles Chen Jun(718)

Fast rendering of realistic terrain based on adaptive multiple features fusion Zeng Yanyang, Kang Fengju, Yang Huizhen(724)

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: 文章编号: 1006-8961(2013)06-0669-08

论文引用格式: 韩天庆, 赵银娣, 刘善磊, 白杨. 空间约束的无人机影像 SURF 特征点匹配[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(6): 669-676.

空间约束的无人机影像 SURF 特征点匹配

韩天庆¹, 赵银娣¹, 刘善磊², 白杨¹

1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 徐州 221116; 2. 江苏省基础地理信息中心, 南京 210013

摘要: 与普通场景图像相比, 无人机影像中纹理信息较丰富, 局部特征与目标对象“一对多”的对应问题更加严重, 经典 SURF 算法不适用于无人机影像的特征点匹配。为此, 提出一种辅以空间约束的 SURF 特征点匹配方法, 并应用于无人机影像拼接。该方法对基准影像整体提取 SURF 特征点, 对目标影像分块提取 SURF 特征点, 在特征点双向匹配过程中使用两特征点对进行空间约束, 实现目标影像子图像与基准影像的特征点匹配; 根据特征点对计算目标影像初始变换参数, 估计目标影像特征点的匹配点在基准影像上的点位, 对匹配点搜索空间进行约束, 提高匹配速度与精度; 利用点疏密度空间约束, 得到均匀分布的特征点对。最后, 利用所获取的特征点对实现无人机影像的配准与拼接, 通过人工选取均匀分布的特征点对验证拼接精度。实验结果表明, 采用本文方法提取的特征点能够得到较好的无人机影像拼接效果。

关键词: SURF 特征点; 空间约束; 无人机影像; 影像拼接; 图像分块

Spatially constrained SURF feature point matching for UAV images

Han Tianqing¹, Zhao Yindi¹, Liu Shanlei², Bai Yang¹

1. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

2. Geomatics Center of Jiangsu Province, Nanjing 210013, China

Abstract: Compared with general scene images, unmanned aerial vehicle (UAV) images provide richer texture information, and often there are more serious problems for the one-to-many correspondence between local features and target objects. The traditional speeded-up robust features (SURF) algorithm would be inapplicable to UAV images. Therefore, an improved spatially constrained SURF method is proposed for UAV image matching and mosaicking. In the first feature point matching phase, SURF feature points are extracted from the whole base image and the blocks of the target image, respectively, a cosine-based spatial constraint relationship is built using the selected two pairs of points and imposed on the feature point dual matching process between the central block in the target image and the base image. In the second phase, the initial parameters of geometric transformation are calculated using the feature point points obtained in the first phase and used to estimate locations in the base image corresponding to points in the target image. For each feature point in the target image, point matching just need to be done within the neighborhood of the estimated locations so as to ensure matching efficiency and reliability. Meanwhile, uniformly distributed feature points are achieved with the constraint of point intensity. Finally, the obtained feature points are used for UAV image registration and mosaicking. The performance is compared with the manually selected points that are uniformly distributed. Experimental results illustrate the validity of the presented method.

Key words: SURF feature points; spatial constraint; unmaned aerial vehicle image; image mosaic; image blocking

收稿日期: 2012-08-07; 修回日期: 2012-11-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(40901221); 江苏高校优势学科建设工程项目(SZBF2011-6-B35); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXLX12_0955)

第一作者简介: 韩天庆(1987—), 男, 中国矿业大学环境与测绘学院摄影测量与遥感专业硕士研究生, 主要研究方向为无人机遥感影像处理。E-mail: hantq@cumt.edu.cn

0 引言

近年来,无人机摄影测量系统在土地与矿产资源管理、地质勘查、自然灾害监测、抢险救灾等领域得到了广泛应用。影像特征点匹配作为无人机影像拼接的关键技术,其匹配质量直接影响后续处理的优劣,如何准确高效地对无人机影像序列进行匹配已成为国内外学者关注的热点^[14]。文献[5]提出的 SIFT(scale invariant feature transform)特征匹配算法对旋转、缩放、亮度变化具有不变性,对视角变化、仿射变换、噪声也保持了一定的鲁棒性,但由于其特征点检测和描述子生成的算法较为复杂,实用性不强^[6-7],之后提出的 NSIFT^[8]、SIFT-GM 和 SIFT-GMEP^[9]、PCA-SIFT^[10]等改进方法在一定程度上提高了其运算速度。文献[11]通过引入积分图像和近似 Hessian 矩阵运算,对 SIFT 进行了改进,提出了 SURF(speeded up robust features)算法,既保证了匹配精度又提高了计算效率^[12],并在场景图像匹配^[13]和医学图像匹配^[14]中得到了成功的应用。

无人机影像拼接的首要任务是在影像重叠区域内提取具有准确度高、数量足够、分布均匀的特征点。与普通的场景图像相比,利用无人机搭载的高精度数码成像设备扫描获取地表影像,覆盖面积较大,空间分辨率较高,地物的纹理和结构信息更丰富,异点(目标点)同质(局部特征描述子)现象更严重。经典 SURF 算法在无人机影像特征点匹配中存在一定的局限性,至少有以下几个方面的问题:1) SURF 特征点较易集中在影像中纹理表征丰富的区域,采用 RANSAC(random sample consensus)剔除误配点后,在这些区域得到最优匹配点的可能性较大,从而导致特征点分布不均匀^[15];2)由于无人机影像提供了更为丰富的纹理和结构信息,SURF 特征点数量较多,从而使得在特征点匹配和误配点剔除过程中所需计算成本较高,难以同时兼顾匹配精度与算法效率^[16-17];3)无人机影像中存在着大量局部特征相似的点,经典 SURF 算法仅以欧氏距离为测度不能将其完全区分开来,从而产生大量误配点,这种现象在影像中道路、广场地砖、球场、房屋等人工地物部分表现尤为严重。

针对问题 1) 和问题 2),文献[15]通过选取局部响应极值点平衡图像各部分特征点数量,文献

[18]采用分块方法提高 SURF 特征点匹配的速度。为了进一步改善特征点匹配中误配点难以剔除的问题,提出一种面向无人机影像拼接的辅以空间约束的 SURF 特征点匹配分块方法。首先根据差分全球定位系统/惯性测量装置(DGPS/IMU)数据提供的摄站点大地坐标以及影像覆盖范围估算目标影像各子图像与基准影像的重叠度。采用两点对空间约束方式对与基准影像重叠度足够高的子图像和基准影像的 SURF 特征点进行双向匹配,取欧氏距离最小的前 10 对点计算影像间仿射变换参数并估计目标影像上特征点的匹配点在基准影像上的点位,然后在所得估计点位的邻域范围内搜索匹配点,从而抑制“异点同质”所产生的误配率,同时也提高特征点匹配速度。此外,为了使特征点在无人机影像匹配区域中均匀分布,通过约束特征点间距避免局部特征点过于密集,并运用分块策略控制特征点数量。对于包含建筑物等高大地物的影像,利用 DGPS/IMU 数据提供的外方位元素,根据空间前方交会原理获取特征点地面 3 维坐标,剔除高程大于各点平均高程的特征点,以消除特征点投影误差对变换模型的影响。实验结果表明,本文方法提取的特征点能满足无人机影像拼接的要求。

1 经典 SURF 算法

SURF 算法是 Bay 等人在 2006 年提出的 SIFT 改进算法^[11],主要步骤如下:

1) 运用积分图基于近似 Hessian 矩阵进行特征点检测

影像特征点是在不同尺度空间进行检测提取的。与 SIFT 中通过对原始影像进行高斯平滑和降采样来构造尺度空间的方法不同,SURF 在构造尺度空间时,图像大小保持不变,通过逐步放大箱式滤波器对输入影像进行卷积操作得到尺度空间,然后在影像空间和相邻尺度的 $3 \times 3 \times 3$ 的邻域内进行非极大值抑制,完成特征点的检测。与 SIFT 相比,箱式滤波器充分利用积分图像进行快速滤波,同时保留了更多的图像高频信息。

2) 基于 Harr 小波分布提取特征点描述子

SURF 首先通过统计 $6s$ (s 为特征点所在尺度) 为半径的扇形窗口内 x 和 y 方向上的 Harr 小波响应来确定特征点的主方向,然后以特征点为中心沿主方向划出一个 $20s \times 20s$ 大小的子区域,并将

其均分为 16 个子块,对每个子块分别统计 x 、 y 方向上的 Harr 小波响应及其绝对值之和 ($\sum dx$, $\sum |dx|$, $\sum dy$, $\sum |dy|$),得到 64 维的特征点描述子。SURF 特征点描述子维数由 SIFT 的 128 维降到 64 维,降低了后续特征点匹配的计算复杂度。

3) 基于最邻近距离比值法匹配特征点

SURF 特征点匹配通常是采用描述子的欧氏距离作为相似性度量测度来判断特征点对是否匹配。对于目标影像中的某个特征点,采用 BBF (best bin first) 算法从基准影像上找到与之匹配的最邻近点和次邻近点,基于最邻近距离比值法 (NNDR) 删除与最邻近点和次邻近点距离比值大于设定阈值 δ 的特征点对。 δ 值越小,匹配结果越可靠,但获得的匹配点对数量也会减少。

4) 误配点剔除

实际应用中,特征点匹配后仍会存在一定比例的误配点,通常采用 RANSAC 方法进行剔除。RANSAC 通过多次从匹配点对中抽取最小点对集估计目标影像的变换参数,对于目标影像中的各特征点,利用变换参数将其投影到基准影像上,若基准影像中对应的匹配点与其投影点之间的距离小于设定阈值 ε ,则将此特征点对归为“内点”(inlier),否则归为“外点”(outlier),输出内点数量达到最大的一次估计,并将此估计中的所有内点视为正确匹配点对。

2 空间约束的无人机影像 SURF 特征点匹配与拼接

与普通场景图像相比,无人机影像纹理结构信息较详尽,在 SURF 特征点匹配中“异点同质”现象更为严重,提出一种辅以空间约束的 SURF 特征点匹配方法用于无人机影像拼接(图 1),具体步骤如下:

1) SURF 特征点提取

采用两种不同的策略分别对基准影像和目标影像提取 SURF 特征点。对于基准影像,采用经典 SURF 算法中的特征点检测和描述子提取方法对其整体提取 SURF 特征点。对于目标影像,运用文献[18]中的简单 K 分块方法将其均分为 $M \times M$ 个子图像后,分块提取各子图像的 SURF 特征点。

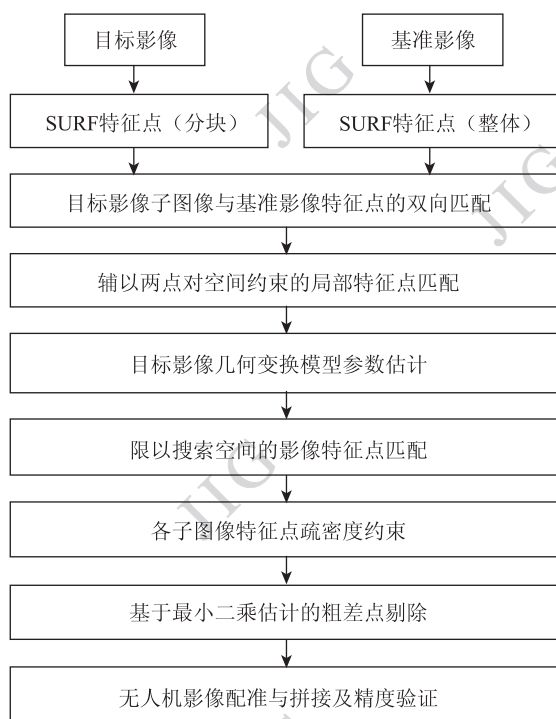


图 1 本文方法流程图

Fig. 1 The flow chart of the proposed algorithm

2) 辅以两点对空间约束的局部特征点匹配

利用无人机 DGPS/IMU 提供的成像瞬间摄站大地坐标以及影像覆盖范围,估算目标影像各子图像与基准影像的重叠度,并取重叠度高于 80% 的子图像与基准影像进行局部特征点匹配。考虑到无人机影像重叠度较高,影像中心部分一般为重叠区域,优先对中心子图像与基准影像的重叠度进行估算,若其重叠度高于 80%,则采用中心子图像与基准影像进行局部特征点匹配,否则依次对其邻边子图像及对角子图像进行估算,直至找到与基准影像重叠度高于 80% 的子图像。若各子图像与基准影像的重叠度均不足 80%,则采用重叠度最高的子图像与基准影像进行局部特征点匹配。采用文献[19]的双向匹配法匹配特征点,对于目标影像子图像和基准影像中的两个特征点,只有当两点互为对方的最临近点时,才将其归为一对匹配点。

经双向匹配得到的特征点对仍存在一定数量的误配,利用两对人工选定的特征点作为空间约束点对误配点进行剔除。图 2 给出了两点对空间约束的示意图, A 、 A' 、 B 、 B' 分别为人工选定的两对特征点, P 、 Q 为双向匹配后得到的匹配点对,利用余弦定理可求得角度 α 和 β ,若 $|1 - \alpha/\beta|$ 小

于阈值 ρ , 则认为 P 和 Q 为正确匹配, 否则将其归为误配。

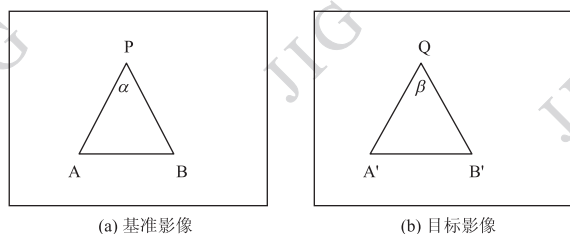


图 2 两点对空间约束示意图

Fig. 2 The illustration of spatial constraint with two point pairs

3) 限以搜索空间的影像特征点匹配

利用两点对空间约束下得到的特征点对求解影像几何变换参数。在此基础上, 对于目标影像中的各特征点, 基于几何变换模型计算其投影到基准影像中的估计点位, 然后在以估计点位为中心、 R 个像素为半径的圆形区域范围内采用 NNDR 法寻找最佳匹配点。这种限以搜索空间的特征点匹配方案可将绝大部分特征点排除在匹配点搜索范围之外, 减少“异点同质”现象导致的误配, 提高匹配速度。

4) 点疏密度约束

根据需要对匹配后的任意两特征点间距设定一个阈值 D , 将距离过近的特征点剔除, 以避免特征点在局部过于密集。重叠度为 100% 的子图像内保留欧氏距离最小的前 U 对特征点, 重叠度为 S 的子图像内保留 $V = U \times S$ 对特征点, 以使特征点整体均匀分布。

5) 高大地物特征点剔除

在地势较为平坦的区域, 上述方法提取的特征点经粗差点剔除即可用来计算影像变换参数, 完成影像拼接。但是, 在地形起伏较大或存在建筑物等高大地物的区域, 投影误差成为影响影像拼接精度的重要因素, 采用此类特征点求取的影像变换模型难以满足影像拼接的精度要求, 必须予以剔除。虽然粗差点剔除处理能够剔除部分投影误差过大的点, 但其效果并不可靠, 且同时会丧失相当数量的平坦区域的正确匹配点。利用无人机 DGPS/IMU 数据提供的影像外方位元素, 根据空间前方交会原理求取各特征点地面 3 维坐标。计算各特征点平均高程并将高程大于平均高程的特征点剔除, 只保留平坦区域的特征点用以计算影像变换模型, 以减少高大地物上特征点的投影误差对变换模型的影响。

6) 粗差点剔除

利用最小二乘原理估计各特征点对的残差, 并统计特征点对的均方根误差 ($RMSE$), 若 $RMSE$ 大于阈值 γ 则剔除残差最大的特征点对, 直至 $RMSE$ 小于 γ 。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta x^2 + \Delta y^2)}{N}} \quad (1)$$

式中, Δx 和 Δy 分别为特征点在 x 、 y 方向的残差, N 为同名特征点对数。

7) 变换参数计算与影像拼接

利用剔除粗差点后所得特征点对, 采用二次多项式模型计算目标影像变换参数, 并用双三次卷积法对像素值内插, 实现无人机影像序列的配准与拼接。实验结果表明, 与仿射变换模型相比, 二次多项式模型能更好地模拟无人机影像的畸变, 拼接效果更好。

3 实验结果与分析

使用图 3 中 3 组无人机影像作为实验数据, 每组实验数据包括 4 幅从原始无人机影像上截取的大小为 3000×4000 像素的影像, 其中第 1、2 组为平坦区域, 第 3 组中包含一定数量的建筑物、树木等高大地物。以图 3(a) 影像为基准影像, 目标影像与基准影像的航向重叠和旁向重叠均在 50% 以上。实验硬件环境主要参数为 AMD Turion II M520 2.3 GHz 处理器, 内存 2 G。实验分为两部分: 特征点提取与匹配、影像的配准与拼接。其中特征点提取与匹配部分在 MATLAB 平台上完成, 影像配准、拼接以及配准精度验证使用 ENVI 软件完成。

3.1 特征点提取与匹配实验

实验比较了经典 SURF 算法和本文方法在无人机影像特征点匹配中的效果。经典 SURF 算法的实验中, 在包含 3 个组, 每组 4 层的尺度空间内完成实验影像 SURF 特征点检测和描述子生成, Hessian 响应阈值设为 0.000 2, 初始采样因子为 4; 特征点匹配中 NNDR 阈值 $\delta = 0.5$; 使用 RANSAC 剔除误配点时, 距离阈值 ε 设为 2 个像素。为精确对比两种方法特征点匹配的准确性与运算效率, 本文方法特征点检测和描述子生成的参数设置与经典 SURF 中保持一致; 目标影像均分为 3×3 个子图像, 目标影像

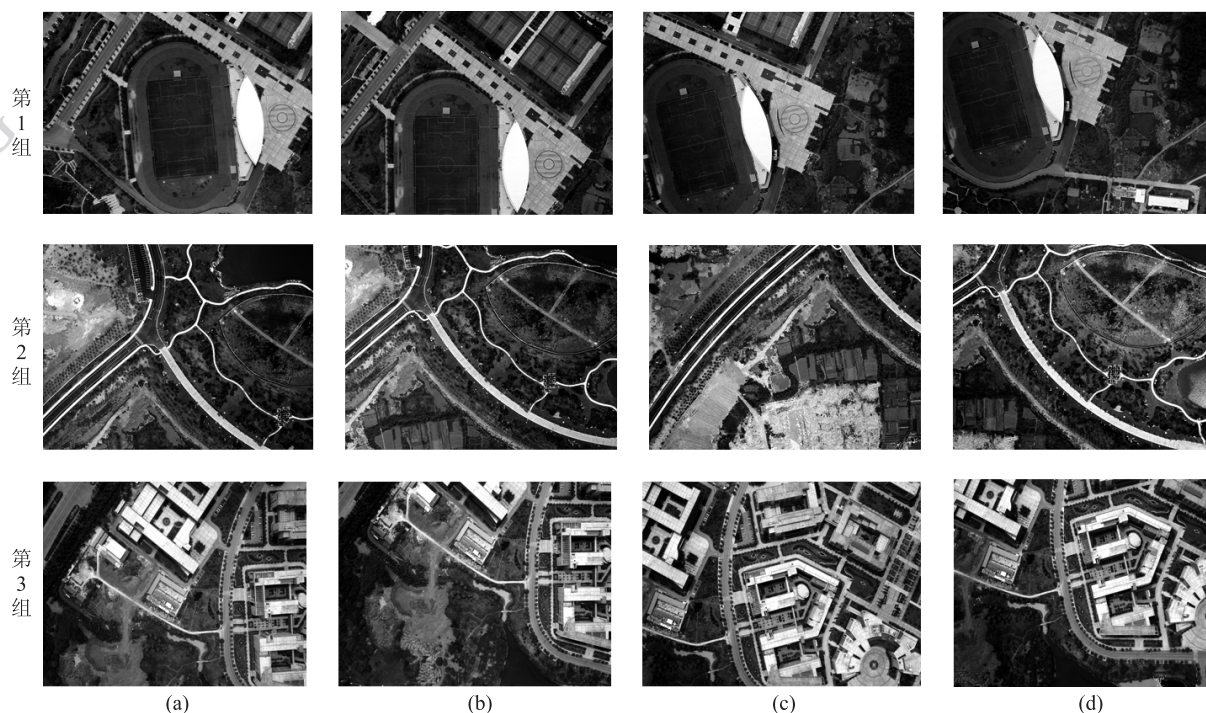


图3 3组无人机影像

Fig. 3 Three series of the UAV images

子图像与基准影像进行特征点双向匹配时, NNDR 阈值 $\delta = 0.5$, 两点对空间约束阈值 $\rho = 0.05$; 限以搜索空间的影像特征点匹配中搜索空间半径 $R = 15$ 像素; 为清晰显示, 使用点疏密度空间约束时, 点距阈值 D 设为 70 个像素, 重叠度为 100% 的子图像内保留欧氏距离最小的前 40 对特征点, 其他子图像根据重叠度按比例保留一定数量特征点; 粗差点剔除时, 阈值 γ 设为 1 个像素。经典 SURF 算法中使用 RANSAC 剔除误配点后, 选取与本文方法最终所得特征点对数量相当的特征点予以显示。下面以图 3 第 1、2 组中实验数据 (a) (b) 影像为例, 对经典 SURF 算法与本文方法的特征点匹配结果进行分析。

图 4 为图 3 第 1、2 组数据 (a) (b) 影像局部特征点双向匹配结果, 图中没有误配现象, 特征点点位精确, 能够满足解算影像初始变换模型的需要。图 5 和图 6 分别为传统最邻近距离比值法 (经 RANSAC 剔除误配) 与本文方法对两对无人机影像 SURF 特征点进行匹配的效果对比。图 5 和图 6 中的 (a) 与 (b) 相比, (b) 中所有特征点对均为正确匹配, (a) 中存在相当数量的误配点 (图 5 中红色表示误配点, 绿色为正确匹配), 且人工地物上的误配点分别占到了图 5 (a) 中误配点的 100% 以及图 6 (a)

中的 85.7%。从理论上讲, 问题的原因在于无人机影像, 尤其是人工地物区域的影像中存在大量诸如公路、球场、广场、房屋等局部结构相似的地物, 导致图像中“异点同质”现象十分普遍, 经典 SURF 算法在全图范围内搜索匹配点的过程会遇到很多“同质”点, 仅仅以欧氏距离作为匹配测度难以将其完全区分, 使得部分非匹配点被误配。使用 RANSAC 剔除误点时, 利用随机抽取的几个点计算影像变换参数, 所得变换模型并不精确, 对于如图 5 (a) 和图 6 (a) 局部放大图中的误配现象, 由于误配点与理论上的正确点位相差不大, RANSAC 算法很容易将其归为内点。本文方法利用限以搜索空间的特征点匹配, 成功地将这类点排除在匹配点搜索范围之外, 从而避免了将其误配, 图 5 (b) 和图 6 (b) 局部放大图显示, 经典 SURF 特征点匹配中漏配的特征点也得到了正确匹配。

图 5 和图 6 中 (a) (b) 的特征点分布情况对比可见, 图 5 (a) 中球场左侧以及右上方特征点十分密集, 足球场部分特征点很少, 球场右下方几乎没有特征点, 图 6 (a) 中, 与影像其他部分相比, 影像右上部特征点明显过于密集; 图 5 (b) 和图 6 (b) 中的特征点整体分布均匀, 影像各部分的特征点数量大致相当。其原因在于, 无人机影像纹理特征分布不均匀,

经典 SURF 使用 RANSAC 剔除误配点容易导致特征点陷入局部最优的困境,使得特征点集中在纹理特征丰富的部分,而图像平滑部分特征点过少。本文方法通过点疏密度空间约束控制每个子图像中的特征点数量以及特征点间距,避免了图像各部分特征点整体分布不均匀以及特征点在局部过于密集的问题。

对于图 3 第 3 组中包含高大地物的影像,其特征点提取与匹配过程与平坦区域影像基本相同。不同的是,在利用最小二乘原理剔除粗差点之前,根据

空间前方交会原理,利用 DGPS/IMS 数据提供的外方位元素求取特征点的地面 3 维坐标,然后将高程大于平均高程的点剔除,使得匹配结果中只包含平坦区域内的特征点,从而限制了使用投影误差过大的特征点计算影像变换模型时产生的粗差。应用本文方法对图 3 第 3 组(a)(b)特征点进行匹配时,剔除高大地物特征点前后匹配结果如图 7 所示。由图 7 可看出,建筑物顶部、侧墙以及高大树木上的特征点几乎完全被剔除,而平坦区域的特征点得到了很好地保存,且特征点分布较为均匀。

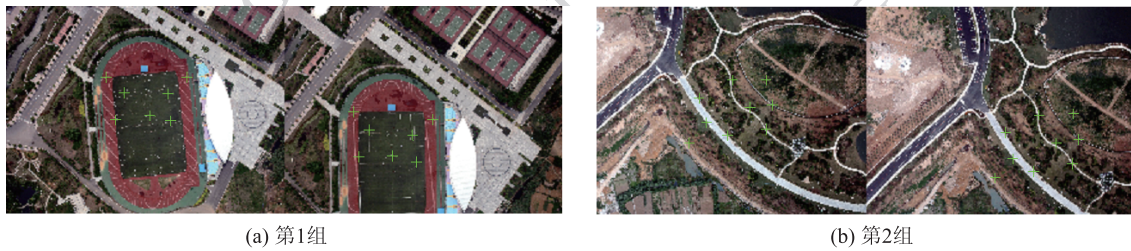


图 4 两组数据目标影像子图像与基准影像特征点匹配结果

Fig. 4 Feature points matching result of sub-image of target image and base image in the first two series of data

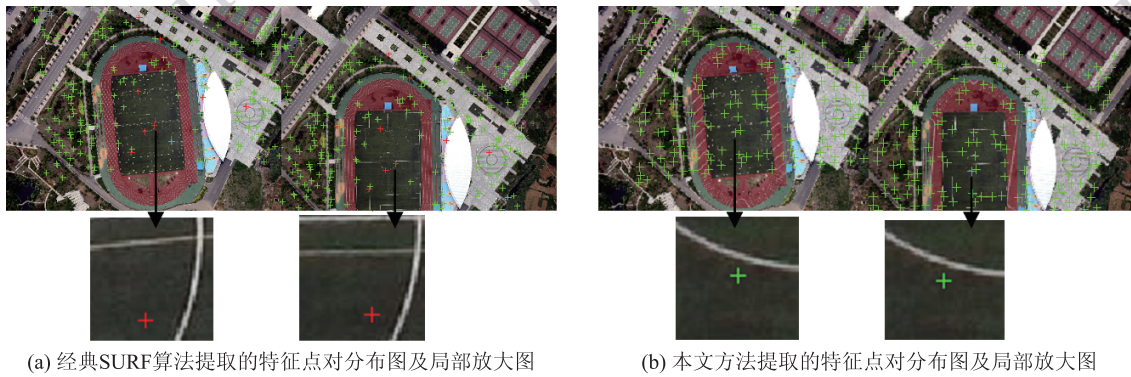


图 5 第 1 组数据中的 1 对无人机影像对特征点匹配结果

Fig. 5 The feature point matching results of a pair of UAV images in the first series of data

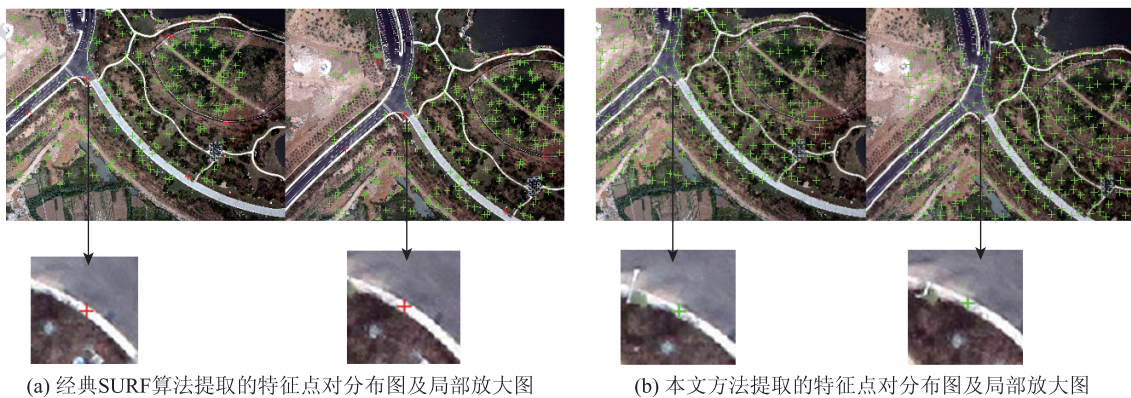


图 6 第 2 组数据中的 1 对无人机影像对特征点匹配结果

Fig. 6 The feature point matching results of a pair of UAV images in the second series of data



(a) 剔除高大地物特征点前匹配结果

(b) 剔除高大地物特征点后匹配结果

图7 第3组数据中1对无人机影像高大地物特征点剔除前后的匹配结果

Fig. 7 The feature point matching results of a pair of UAV images in the third series of data before and after removing the feature points in tall objects

表1为经典SURF算法和本文方法的运行时间比较。由于本文方法特征点检测和描述子生成依照SURF算法,相关参数也与经典SURF算法实验中的参数进行了统一,唯一的区别是本文方法在对目标影像提取特征点时是对子图像分别提取特征点,因此本文方法提取特征点的耗时与SURF算法几乎相同。在特征点匹配阶段,经典SURF算法依照BBF算法在整幅图像范围内搜索匹配点,虽然其效率高于遍历搜索,但其全局搜索策略仍限制了匹配速度。本文方法采用限以搜索范围的特征点匹配策略,将匹配对象搜索范围锁定在一个直径为15像素的圆形区域内,大大提高了特征点匹配速度。由表1可

知,两组实验中,本文方法在特征点匹配阶段的速度分别是经典SURF算法的8.1倍和6.8倍,综合速度也分别是其3.3倍和2.4倍。

3.2 影像配准与拼接实验

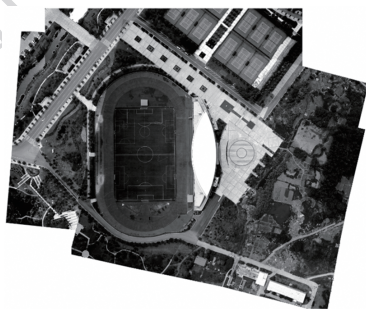
使用本文方法对3组实验影像特征点进行匹配后,在ENVI中利用所得特征点对采用二次多项式模型对每组中的目标影像进行配准,并使用双三次卷积法对像素值进行内插。使用ENVI软件分别在3对无人机影像上选定10对均匀分布的特征点作为验证点(第3组数据验证点均选在平坦区域),得到其配准误差平均值为0.83个像素,0.96个像素和2.93个像素。

图8为3组无人机影像的在ENVI中的拼接结果,从图8中来看,本文方法应用于平坦区域(第1、2组数据)无人机影像拼接中取得了较高的拼接精度,基本没有明显错位现象,只有一些具有一定高度的人工建筑由于受到拍摄角度变化导致的投影误差影响,存在些许错位。第3组影像中,高大地物密集区域,影像拼接后建筑物部分错位现象较为明显,其平坦部分仅有几处靠近建筑物的区域出现错位现象,拼接效果良好。其原因在于,建筑物及树木上的特征点几乎完全被剔除,使得其附近特征点分布不均,故该区域拼接精度比平坦区域要差。

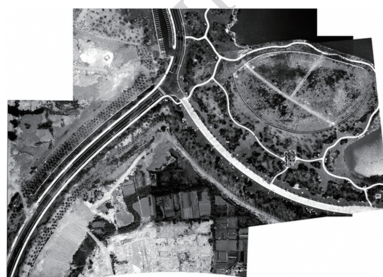
表1 本文方法和经典SURF算法的运算时间比较

Table 1 The computation cost comparison of SURF and the proposed algorithm

实验数据	方法	提取特征点 耗时	特征点匹配 耗时	/s
				总耗时
第1组无人 机影像	SURF	302.5	1 181.2	1 483.7
	本文方法	309.8	145.5	445.3
第2组无人 机影像	SURF	256.9	623.7	880.6
	本文方法	267.4	92.4	359.8



(a) 第1组



(b) 第2组



(c) 第3组

图8 3组无人机影像拼接图

Fig. 8 Mosaic of the three series of UAV images

4 结 论

提出一种辅以空间约束的 SURF 特征点匹配方法,提高了 SURF 特征点匹配的速度与精度并使特征点分布趋于均匀。首先,对经典 SURF 算法应用于无人机影像特征点匹配时存在的问题进行了分析;利用两点对约束实现了目标影像中心子图像与基准影像特征点匹配并得到了目标影像初始变换模型;通过限以搜索空间的特征点匹配,改善了特征点匹配中误配点难以剔除的问题,并提高了特征点匹配速度;在分块策略基础上通过点疏密度约束得到了均匀分布的特征点对;引入 DGPS/IMU 数据解算特征点高程,用以剔除高大地物特征点,从而在建筑物密集区得到了较好的拼接结果。实验结果表明,本文方法所获取的特征点对应用于无人机影像拼接,其拼接效果较为理想,能够满足生产需求。本文方法实现了“一对一”的无人机影像特征点匹配及拼接,如何实现多幅影像的特征点匹配以及建立多幅影像联合配准模型是下一步研究的重点,如何实现拼接线的自动检测,使拼接线绕过建筑物、树木等地物也需要在今后的工作中进行深入研究。

参考文献 (References)

- [1] Hafiane A, Palaniappan K, Seetharaman G. UAV-video registration using block-based features [C]//IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Boston, USA; IEEE Press, 2008, 2:1104-1107.
- [2] Yang Z, Guo B. Image registration using rotation normalized feature points [C]//Proceedings of the 8th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. Washington DC, USA; IEEE Computer Society, 2008, 2:237-241.
- [3] He J, Li Y S, Lu H. Research of UAV aerial image mosaic based on SIFT [J]. Opto-Electronic Engineering, 2011, 38(2): 122-126. [何敬,李永树,鲁恒. 基于 SIFT 特征点的无人机影像拼接方法研究[J]. 光电工程, 2011, 38(2):122-126.]
- [4] He X Y, Yue J W, Zhang X R. Quick match of unmanned aerial vehicles image based on SIFT algorithm [J]. Computer Engineering, 2011, 37(7):216-218. [何孝莹,岳建伟,张栩然. 基于 SIFT 算法的无人机影像快速匹配[J]. 计算机工程, 2011, 37(7):216-218.]
- [5] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant key points [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110.
- [6] Vural M F, Yardimci Y, Temizel A. Registration of multispectral satellite images with orientation-restricted SIFT [C]//IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium. Washington DC, USA; IEEE Press, 2009, 3:243-246.
- [7] Mukherjee A, Velez-Reyes M, Roysam B. Interest points for hyper spectral image data [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009, 47(3):748-760.
- [8] Ke Y, Sukthankar R. PCA-SIFT: a more distinctive representation for local image descriptors [C]//Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York, USA; ACM Press, 2004:506-513.
- [9] Cheung W, Hamarneh G. N-SIFT: N-dimensional scale invariant feature transform for matching medical images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(9):2012-2021.
- [10] Kelman A, Sotka M, Stewart C. Keypoint descriptors for matching across multiple image modalities and non-linear intensity variations [C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Minneapolis, USA; IEEE Press, 2007:1-7.
- [11] Bay H, Tuytelaars T, Gool L V. Surf: speeded up robust features [C]//Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision. New York, USA; ACM Press, 2006:404-417.
- [12] Bauer J, Sunderhauf N, Protzel P. Comparing several implementations of two recently published feature detector [C]//Proceedings of the International Conference on Intelligent and Autonomous Systems. Toulouse, France; IAV, 2007, 6(1):143-148.
- [13] Zhang R J, Zhang J Q, Yang C. Image registration approach based on SURF [J]. Infrared And Laser Engineering, 2009, 38(1):160-165. [张锐娟,张建奇,杨翠. 基于 SURF 的图像配准方法研究[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(1):160-165.]
- [14] Wang Y L, Shen J X, Liao W H. Automatic fundus images mosaic based on SIFT feature [J]. Journal of Image and Graphics. 2011, 16(4):654-659. [王玉亮,沈建新,廖文和. 基于 SIFT 特征的眼底图像自动拼接[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(4):654-659.]
- [15] Brown M, Szeliski R, Winder S. Multi-image matching using multi-scale oriented patches [C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. British Columbia University, Canada; IEEE Computer Society, 2005, 1:510-517.
- [16] Zhang Y, Gao G D, Jia K B. A fast algorithm for cylindrical panoramic image based on feature point matching [J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(6):1189-1193. [张媛,高冠东,贾克斌. 运用特征点匹配的柱面全景图像快速拼接算法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(6):1189-1193.]
- [17] Schwind P, Suri S, Reinartz P. Applicability of the SIFT operator to geometric SAR image registration [J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(6):1959-1980.
- [18] Qiao Y J, Xie X F, Li D D. Research on the speed-up method of SURF feature matching by blocking [J]. Laser & Infrared, 2011, 41(6):691-696. [乔勇军,谢晓方,李德栋. SURF 特征匹配中的分块加速方法研究[J]. 激光与红外, 2011, 41(6):691-696.]
- [19] Wang S H, You J H, Fu K. An automatic method for finding matches in SAR images based on coarser scale bilateral filtering SIFT [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2012, 34(2):287-293. [王山虎,尤红建,付琨. 基于大尺度双边 SIFT 的 SAR 图像同名点自动提取方法[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(2):287-293.]