

基于像素角点检测的无人机测绘 多源遥感影像自动配准技术

段 岚

(云南省迪庆州人防指挥信息保障中心, 云南 迪庆 674499)

摘要: 在无人机测绘多源遥感影像自动配准过程中, 平移差过大会导致无人机测绘多源遥感影像的不匹配对接, 且无人机测绘多源遥感影像中存在不适合用于配准的角点, 导致影像自动配准的精度较差; 为解决上述问题, 设计基于像素角点检测的无人机测绘多源遥感影像自动配准技术; 定义像素信息的多尺度空间, 完成多源像素匹配, 推导多尺度特征模型表达式, 提取关键像素信息, 实现多源遥感影像像素信息取样; 预处理遥感图像, 检测像素角点, 通过去除非配准角点的处理方式, 确定配准处理主方向, 再按照细节增强标准, 完善具体的配准操作流程, 完成基于像素角点检测的无人机测绘多源遥感影像自动配准技术的设计; 实验结果表明, 应用所提方法后, 遥感图像像素的平移差保持在 0~35 pt 的数值范围内, 在像素采集尺度不唯一的情况下, 有效解决了由平移差过大导致的无人机测绘多源遥感影像不匹配对接的问题, 图像配准重叠率较高, 保障了配准后图像的真实性。

关键词: 无人机测绘多源遥感影像; 自动配准; 像素匹配; 像素角点; 非配准角点; 多尺度特征; 细节增强

Automatic Registration Technology for Multi-source Remote Sensing Images in UAV Surveying Based on Pixel Corner Detection

DUAN Lan

(Yunnan Diqing Prefecture Civil Air Defense Command Information Support Center, Diqing 674499, China)

Abstract: In the process of automatic registration of multi-source remote sensing images in drone surveying, excessive translation errors can lead to mismatched docking for drone surveying multi-source remote sensing images, and there are corners in drone surveying multi-source remote sensing images that are not suitable for registration, resulting in poor accuracy of image automatic registration. To address the above issues, a multi source remote sensing image automatic registration technology for unmanned aerial vehicle (UAV) mapping based on pixel corner detection is designed. Define a multi-scale space for pixel information, complete multi-source pixel matching, derive multi-scale feature model expressions, extract key pixel information, and achieve multi-source remote sensing image pixel information sampling. Preprocess remote sensing images, detect pixel corners, and determine the main direction of registration processing by removing non registration corners. Then, according to the detail enhancement standards, improve the specific registration operation process, and complete the design of automatic registration technology for multi-source remote sensing images in UAV surveying based on pixel corner detection. Experimental results show that after applying the proposed method, the translation difference of the remote sensing image pixels is maintained within the range of 0~35 pt. In the case of non unique pixel acquisition scales, the method effectively solves the mismatched docking of multi-source remote sensing images in UAV mapping caused by excessive translation difference, with a high image registration overlap rate, ensuring the authenticity of registered images.

Keywords: UAV mapping of multi-source remote sensing images; automatic registration; pixel matching; pixel corners; non registered corners; multi scale features; detail enhancement

0 引言

在无人机测绘中, 多源遥感影像具有不同时间、不同传感器或不同分辨率的特点。为了获得全面、准确和高质量的地理数据, 将这些多源遥感影像进行自动配准是至关重要的^[1]。遥感项目工程中, 图像数据的融合属于一种属性融合, 其应用优势在于融合后的像素信息具有更强的鲁棒性, 在测图精度保持不变的情况下, 应用融合后的信息对遥感图像进行配准处理, 能够大幅提升像素节点的清晰

度与分解精度。然而, 由于不同传感器、不同时间、不同视角等因素的影响, 无人机测绘多源遥感影像之间存在着位置偏差和形变等配准问题, 这对于后续的遥感数据分析和应用带来了挑战。自动配准是解决多源遥感影像配准问题的关键技术之一。传统的自动配准方法通常基于特征点匹配或区域匹配, 但在存在大尺度差异和非线性变形的情况下, 其精度和鲁棒性往往不够理想。因此, 需要设计一种更加有效和准确的自动配准方法来应对无人机测绘多源遥感影像的配准挑战。

收稿日期: 2023-10-19; 修回日期: 2023-11-23。

作者简介: 段 岚(1982-), 女, 大学本科, 工程师。

引用格式: 段 岚. 基于像素角点检测的无人机测绘多源遥感影像自动配准技术[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(12): 16-22.

随着遥感技术手段的迅速发展, 无人机测绘多源遥感影像的获取和应用越来越广泛。与单源遥感影像数据相比, 应用多源遥感技术所捕获到的数据信息具有合作性、互补性与冗余性的特点。合作性是指在处理无人机测绘多源遥感影像时不同传感器设备中的信息具有依赖性关系; 互补性则是指不同来源的遥感信息始终保持相互独立的存在状态; 冗余性表示所有遥感信息对环境及目标的描述与解释结果完全相同。在实际应用过程中, 像素平移差过大是造成无人机测绘多源遥感影像无法精准对接的主要原因, 特别是在多个像素采集尺度并存的情况下, 遥感图像不匹配会造成像素区域重叠的问题, 并影响配准后图像的真实性。在面对上述问题时, 文献 [2] 提出基于 SIFT 与互信息筛选优化的遥感影像配准方法采用 SIFT 算法提取关键像素特征点, 通过快速最近邻逼近搜索的处理方式, 完成对待配准图像的粗匹配操作, 又借助筛选优化后的最优变换矩阵, 确定像素对象的最佳配准方案。文献 [3] 提出基于嵌入式 FPGA 加速 ORB 算法的遥感影像配准方法通过灵活配置像素特征点的方式, 确定遥感影像的偏移精度, 又根据像素信息的单位损失量, 确定关联图像之间的配准关系。文献 [4] 提出基于无人机测量数据的森林恢复情况评估方法。陆地资源卫星 dNBR 图像显示, 无人机测量数据与严重程度分类和受试物种的地面测量数据相似。陆地资源卫星 dNBR 图像显示, 2003 年大部分中度烧毁和高度烧毁的地区在 2020 年已经恢复, 但地面测量显示, 严重烧毁地区的树木明显比中度烧毁地区的树木短。因此, 陆地资源卫星 dNBR 没有检测到树木高度变化。虽然无人机可以潜在地估算树木高度, 但陆地资源卫星 ETM+ 有望用于估算树冠的生理状况。总体而言, 需要不同的遥感水平来追踪恢复森林的不同变化。文献 [5] 提出无人机测量和运动摄影测量在冰川和冰缘地貌中的应用。无人驾驶飞行器结合运动结构摄影测量已成为冰川和冰缘地貌学中非常有效的工作流程的基础, 填补了传统地面调查与航空或卫星遥感数据之间的空间差距。无人机生成的数据提供了灵活的空间和时间分辨率, 从而实现了从纯粹的地貌形态描述到更好地理解过程—形态关系的转变, 例如通过量化短期景观变化以应对各种驱动因素。

然而随着像素信息采集尺度的不断复杂化, 上述方法的应用, 并不能保证遥感图像像素的平移差始终保持在可控的数值范围之内, 故而在保障配准后图像真实性方面的应用能力相对有限。为更好地解决遥感图像失真的问题, 提出基于像素角点检测的无人机测绘多源遥感影像自动配准技术。通过构建多尺度特征模型, 对不同尺度下的特征进行综合表达, 以更好地捕捉到影像中的特征信息。通过去除非配准角点对象, 在像素角点检测阶段就对配准过程中的干扰项进行了处理。这种处理方式的创新性在于提高了自动配准的准确性和可靠性, 减少了错误配准带来的影响。根据细节增强标准, 完善具体的配准操作流程, 进一步提高配准结果的质量。

1 基于像素角点检测的无人机测绘多源遥感影像像素信息取样

对于无人机测绘多源遥感影像像素信息的提取, 应在多尺度空间内, 完成对多源像素的匹配处理, 再以此为基础, 求解具体的多尺度特征模型表达式, 实现对关键像素信息的取样, 本章节对上述内容展开研究。

1.1 像素信息多尺度特征模型构建

1.1.1 多尺度空间定义

多尺度空间可以看作是遥感图像的多分辨率组合, 由于像素节点的分辨率水平并不相同, 所以多尺度空间对于遥感图像的数量并没有明确规定。在单一遥感图像中, 改变像素点的分布方式就可以改变原图像的尺度定义条件, 因此在定义多尺度空间时, 出于精确配准图像的考虑, 还应保证空间场景内所包含遥感图像中像素节点排列关系的统一性。具体的遥感图像的多尺度空间定义原则如图 1 所示。

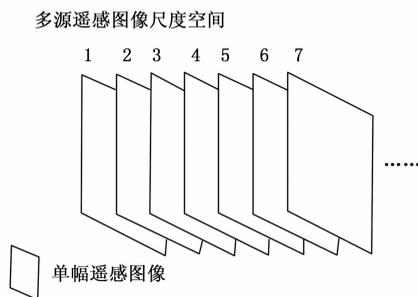


图 1 遥感图像的多尺度空间定义原则

在多尺度空间内构造遥感图像阵列时, 相邻图像的间隔距离完全相等, 且每一幅图像内对应像素节点与水平坐标轴、竖直坐标轴之间的夹角数值也完全相等。每一幅遥感图像中都包含大量的像素节点, 但多尺度空间并不允许像素重叠情况的存在, 所以对于对应像素节点的提取, 应选择像素密度相对较小的区域作为目标取样范围^[6]。

规定 p_1, p_2, \dots, p_n 表示 n 个距离相等的遥感图像, \dot{O} 表示对应图像节点之间的像素尺度特征, α 表示尺度空间内的像素点映射参数, 联立上述物理量, 可将多源遥感影像的多尺度空间定义条件表示为:

$$P = \frac{1}{n!} | p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n |^{-\delta^2/2\alpha^2} \quad (1)$$

构造像素信息多尺度空间可以有效限制像素节点在遥感图像中的偏移行为能力, 即便是在遥感图像间隔距离相对较大的情况下, 只要保证对应像素节点之间尺度映射关系的唯一性, 就可以在多尺度空间内, 完成对遥感图像多源像素点的匹配处理。

1.1.2 多尺度空间内的多源像素匹配

多源像素匹配是指遥感图像的尺度空间内选取多个像素节点作为标记目标, 再将这些目标节点与中心匹配点连接起来, 达到划分图像区域的目的^[7]。为避免多源遥感影像中出现像素混乱的情况, 多源像素点与中心匹配点之间的连线不能发生交叉或重叠。完整的多源像素匹配标准如

图 2 所示。

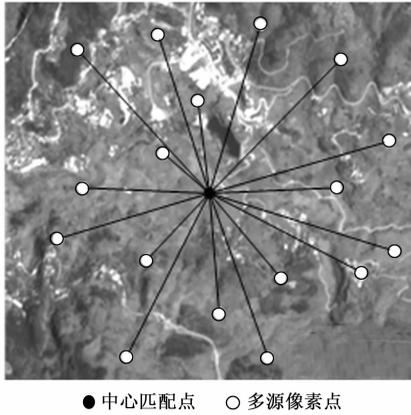


图 2 多尺度空间内的多源像素匹配标准

遥感图像真实反映了区域环境中的地位景观形态，故而图像的绘制并不需要考虑美观性与相邻像素点的关联性，因此在多尺度空间内完成多源像素匹配时，存在像素节点不规则分布的情况^[8]。中心匹配点与多源像素点的距离仅可以用来描述匹配节点所处位置，不能表现出该节点与中心匹配点之间的方向性关系，所以在选取多源像素点时还必须借助“±”符号，来标记节点方向。

对于多尺度空间内多源像素匹配表达式的求解参考式(2)：

$$I = \chi \left(\frac{P}{\beta \hat{i}} \right) \quad (2)$$

式中， χ 为多尺度空间内的遥感区域划分参数， \hat{i} 为多源像素点取样特征， β 为像素节点的色域值判别系数。多源像素匹配标准具有唯一性，多尺度空间定义条件及遥感图像的改变，都会影响匹配标准定义式的求解结果。

1.1.3 遥感图像多尺度特征模型表达式求解

遥感图像多尺度特征模型是针对多源像素匹配原则求解的表达式条件，在尺度空间内，特征模型定义式影响图像处理主机对于像素信息的提取能力。多尺度特征是同时适应不同图像尺度空间的像素节点取样参量，如果同一图像区域内，中心匹配点周围多源像素点的数量水平能够满足多尺度特征模型的取样需求，就表示按照当前像素匹配原则，可以实现对多源遥感影像的匹配处理。

多尺度特征模型是针对多源像素匹配原则的求解条件，在尺度空间内，特征模型定义式影响图像处理主机对于像素信息的提取能力。多尺度特征能够适应不同图像尺度空间的像素节点取样参量。如果中心匹配点周围多源像素点的数量水平满足多尺度特征模型的取样需求，即可实现对多源遥感影像的匹配处理^[9]。

在多尺度空间内随机选择一个像素节点 δ ，且其取值既不与第一个像素单元重合也不与最后一个像素单元重合。利用参数 δ ，可将遥感图像中的像素尺度平均阈值 u 表示为：

$$u = \operatorname{argmin} \|U_{\delta}^2 - I\gamma_{\delta}\|^2 \quad (3)$$

式中， U_{δ} 表示基于参数 δ 的像素信息取样向量， γ 表示多源

像素匹配原则下的遥感图像分区参数， y_{δ} 表示单位图像区域内基于参数 δ 的像素信息标记系数。

联立式 (2) (3)，推导遥感图像多尺度特征模型表达式为：

$$Y = \frac{1}{uI} \sum_{\xi=1}^t \left[\delta \left(\frac{\hat{R}_{\xi}}{|\Delta T|} \right) \right] \quad (4)$$

式中， t 表示与节点 δ 匹配的像素信息取样尺度参量， \hat{R}_{ξ} 表示多尺度特征条件下的像素对象标记特征， ΔT 表示单位图像尺度空间内的像素节点累积量。基于多尺度特征完成对无人机测绘多源遥感影像像素信息的提取，既要求像素节点的高度同源性，也要求单位图像区域内，经过匹配处理的像素节点不得出现相互覆盖的情况，因此在定义多尺度特征模型表达式时，必须在不完全重叠的尺度空间内，完成对像素单元的取样^[10]。

1.2 面对多尺度特征模型的像素信息提取

对于无人机测绘多源遥感影像像素信息的取样，是在多尺度空间内完成对待配准像素单元的提取。多尺度特征模型规定，在配准多源遥感影像的过程中，只有保证关联图像中心匹配点的对应关系，才能在同一关联区域内提取到满足配准需求的多源像素点对象，因此在提取遥感图像像素信息时，多尺度特征模型对图像区域的划分标准提出了较高需求^[11-12]。

对于多源遥感影像关联像素区域的划分遵循如下流程。

1) 核心像素区域划分：

$$r_1 = \left(\frac{1}{\gamma_1 - 1} \right) \times |E_1| \quad (5)$$

式中， γ_1 为核心像素区域内的遥感图像节点标记参数， E_1 为核心像素区域内参与构成遥感影像的像素节点数量。

2) 边缘像素区域划分：

$$r_2 = \left(\frac{1}{\gamma_2 - 1} \right) \times |E_2| \quad (6)$$

式中， γ_2 表示边缘像素区域内的遥感图像节点标记参数， E_2 表示边缘像素区域内参与构成遥感影像的像素节点数量。

联立式 (4) ~ (6)，可将面对多尺度特征模型的像素信息提取表达式定义为：

$$e = \sqrt{(r_1 + r_2)^{\epsilon} \left(\frac{\Phi Y}{2} \right)^{-1} (W_1 + W_2)} \quad (7)$$

式中， ϵ 为基于多尺度特征模型的遥感像素节点评级参数， Φ 为核心像素区域、边缘像素区域内相似性像素信息的匹配向量， W_1 为核心像素区域内的图像尺度特征定义项， W_2 为边缘像素区域内的图像尺度特征定义项。在实际处理过程中，极有可能出现待配准图像像素关联性较弱的问题，因此利用多尺度特征模型提取遥感图像像素信息时，还应在定义统一协调标准后，求解具体的取样表达式，才能保证配准处理后图像像素水平的一致性。

1.3 无人机测绘多源遥感影像预处理

由于遥感相机成像机理的不同导致采集所得像素节点的遥感图像风格不统一，而不同的遥感图像风格则会对配准精度造成严重影响。遥感影像预处理是保障图像配准精

度的有效方法,按照多尺度特征模型,去除图像中的噪点单元,从而使配准后遥感图像保持统一的像素风格,达到提升遥感图像清晰度水平的目的^[13-14]。

图 3 为预处理前的无人机测绘遥感影像。

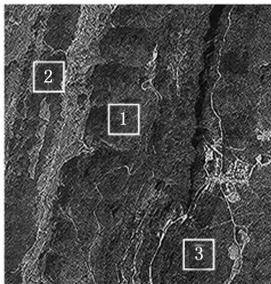


图 3 预处理前的无人机测绘遥感影像

图 3 中,1 号、2 号、3 号区域内像素节点的遥感风格明显不统一。相较于周围图像区域,1 号区域内图像节点的像素水平更低,其整体色度质量较差,颜色也略浅于周围遥感图像。2 号区域内图像节点的像素水平则高于周围图像区域,其颜色比周围遥感图像更深,二者形成了鲜明对比。3 号区域内图像节点呈现不规则的分布状态,其整体颜色深浅不一,在整幅遥感图像中表现得极为突出。

图 4 为完成预处理的无人机测绘遥感影像。

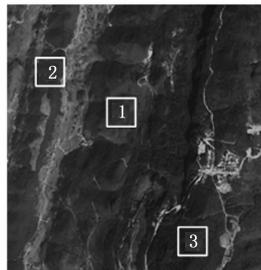


图 4 完成预处理的无人机测绘遥感影像

图 4 中,1 号区域内图像节点的像素水平得到了提升,其色度质量开始恢复,颜色也不再与周围遥感图像具有明显差异性。2 号区域内图像节点的像素水平出现了一定程度的下降,虽然其颜色依然比周围遥感图像更深,但二者却不再形成鲜明对比。3 号区域内图像节点的分布形式逐渐趋于规律性状态,颜色分布也朝着一致性方向发展。

2 基于像素角点检测的多源遥感影像自动配准技术

在多尺度特征模型的支持下,完成对无人机测绘多源遥感影像的预处理,以提高影像质量和可靠性,使得影像能够更精确地反映地物在地理空间中的位置和形状。在此基础上,引入像素角点检测方法实现多源遥感影像自动配准。具体流程为:根据像素角点检测结果对角点对象进行筛选和过滤,去除非配准角点对象,过滤掉那些不适合用于配准的角点,从而提高配准精度和效率。再按照角点配准处理的主要操作方向,对遥感图像细节进行增强处理,

从而实现基于像素角点检测的无人机测绘多源遥感影像自动配准技术的设计。

2.1 像素角点检测

像素角点是指在图像中具有明显灰度或纹理变化的位置,这些位置通常对应着图像中的边缘、拐角或纹理结构等显著特征。角点检测算法通过分析像素间的灰度差异和领域内像素的空间分布,自动识别出这些角点特征。它能够对目标物体的边界和特征进行准确定位和提取。在无人机多源遥感影像配准中,利用像素角点检测方法能够将多幅影像进行几何变换,使它们在同一地理坐标系下对齐。角点提取可以识别出具有高显著性的角点特征,从而进行特征匹配和几何转换,实现影像间的自动配准。

对于遥感影像来说,点特征是像素节点的最主要表现特征,而在多尺度特征模型支持下,对于像素角点的检测等同于对像素角点对象的检测。像素角点既可以是关联像素连线的交点,也可以是单位图像区域内灰度差别较大节点的连线交点^[15]。在自动配准遥感影像的操作中,点特征必须是具有明显特征信息的像素点对象。一幅完整的遥感影像中,点特征一定符合某一项共性数学特征描述条件,如局部极值、最大灰度、最大梯度等等,针对不同像素角点的检测方式也会有所不同^[16]。

φ 表示无人机测绘多源遥感影像中符合多尺度特征模型的像素角点对象,其定义式如下:

$$\varphi = |\Delta Q| \times \frac{e}{\sqrt{q_1 q_2}} \quad (8)$$

式中, ΔQ 为遥感影像中的像素点单位数值量, q_1 为关联像素角点的水平接线向量, q_2 为关联像素角点的竖直接线向量。

利用式(8),可将基于像素角点检测的像素角点检测表达式定义为:

$$A = \left[\frac{(a+1)}{s_1 s_2 \cdots s_n} \right] \cdot \left(\frac{\psi}{d} \right) \quad (9)$$

式中, s_1, s_2, \dots, s_n 表示遥感影像单位像素区域内 n 个不重合也不覆盖的关联像素连线交点, a 为关联像素角点之间的连线系数,为图像角点的局部检测参数。像素角点连线影响像素角点检测结果,特别是在角点数量极大的情况下,第一个点特征与最后一个点特征的间隔距离较大,单纯依照多尺度特征模型完成角点连线有可能出现连线交叉的情况,因此在角点数量过多时,可以通过细化遥感图像分区的方式,保障像素角点的平衡接线关系。

2.2 非配准角点去除

在无人机测绘多源遥感影像中,为去除不满足多尺度特征条件的非配准角点,应计算周围各像素点之间的相似性。由于相似性指标的取值并不相同,所以非配准角点去除表达式只在特定条件下成立^[17-18]。

对于周围各像素点间相似性的计算满足下式:

$$g = -\lg \lambda(\hat{G}) \quad (10)$$

式中, λ 为对应像素角点的匹配阈值, \hat{G} 为关联像素连线内

的像素点特征阈值。

当相似性计算值与中心角点像素差小于阈值 \hat{G} 时，认为周围各像素点属于相似点，则为“1”；若相似性计算值与中心角点像素差大于阈值 \hat{G} 时，认为周围各像素点不属于相似点，则为“0”，则表示单位图像区域内中心像素点间不存在相似关系。

在计数值为“1”的情况下，联立式 (9) (10)，推导非配准角点去除表达式为：

$$H = fAg \cdot (\iota + 1)\bar{h} \quad (11)$$

式中， f 为像素角点的相似性计数向量， ι 为非配准角点处的像素阈值差， \bar{h} 为单位图像区域内可去除的非配准角点个数均值。如果式 (11) 的计算结果无限趋近于“0”，表示单位图像区域内不存在其他可以去除的非配准角点；如果式 (11) 的计算结果无限趋近于“1”，表示单位图像区域内依然存在其他可以去除的非配准角点。

2.3 配准处理主方向确定

配准处理主方向可以理解成遥感影像自动配准的实际操作方向。完成非配准角点去除后，确定配准处理主方向是在同一方向区域内取样像素角点，再按照多尺度特征模型定义具体的配准执行方案^[19]。同一方向区域内对于像素角点的取样要求核心匹配点周围不得存在其他的非配准角点，且两个核心匹配点处的像素角点检测结果不可以相等。

设 j 表示同一方向区域内的像素角点分布参数， \mathbf{K} 表示关联角点对象的配准向量， κ 表示非配准角点对遥感图像像素均值的影响系数， η 表示遥感影像中的像素角点配准效率， ν 表示像素角点配准方向定义值。在上述物理量的支持下，联立式 (11)，可将遥感图像配准处理的主方向定义式表示为：

$$F = \frac{1}{2jH^2} \mathbf{K}^{[\eta(\nu+1)^2]/(2\kappa^2)} \quad (12)$$

在不考虑其他干扰条件的情况下，遥感影像中像素角点基本保持较为规律分布状态，但完成非配准角点去除处理后，单位图像区域内可能会由于像素缺失而出现角点聚集的情况，因此为保证图像配准处理的准确性，还应在确定主要处理方向之前，按照多尺度特征模型，对过度聚集的角点进行分离处理^[20]。

2.4 遥感图像细节增强

遥感图像细节增强是通过像素角点叠加的方式，将关键像素单元凸显出来，以便于对遥感影像进行配准处理。图像细节是指具有明显突变特征的像素角点。完成图像配准处理时，如果以细节角点作为对接区域，只有保证对接像素的相似性，才能实现对图像的精确配准；如果以非细节角点作为对接区域，那么细节角点则会存在于遥感图像的其他像素区域内，若不能针对该区域进行增强处理，则会导致细节角点在配准后图像中显得过于突出，从而使得图像的完整性受到影响^[21]。具体的遥感图像细节增强处理原则如图 5 所示。

多尺度特征条件下，完成遥感影像的自动配准并不是

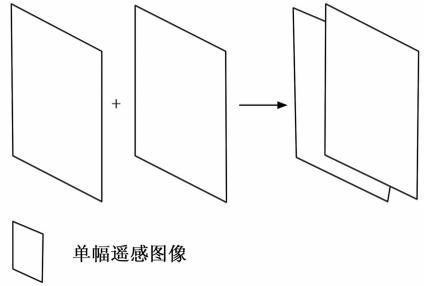


图 5 遥感图像细节增强处理原则

将单幅遥感图像简单拼接起来，而是需要配合原图像中像素角点的分布特征，对图像进行调换、旋转等处理^[22]。而细节增强是确保遥感影像像素统一性的必要处理环节，在配准处理之前，将包含细节像素信息的角点对象凸显出来，既可以保证配准后图像的完整性，也不会使多元遥感图像中出现不统一的像素点单元。

2.5 无人机测绘多源遥感影像自动配准流程完善

完善遥感影像自动配准流程包含遥感图像取样、关键像素角点获取等多个处理步骤。按照多尺度特征条件取样遥感影像，应保证所获取关键像素点处于同一图像区域之内，且这些像素单元中不应包含非配准角点^[23-24]。此外，为保证遥感图像自动配准的准确性，还应保证叠加像素角点满足细节增强条件，且叠加后的像素角点还必须保持在关键像素点的原取样区域之中。完整的无人机测绘多源遥感影像自动配准流程如图 6 所示。

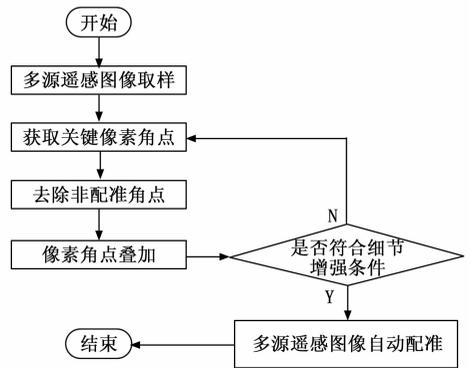


图 6 无人机测绘多源遥感影像自动配准流程

规定 m 表示图像区域内的关键像素点定义参量， c_{\max} 表示细节增强区域内可叠加像素角点个数的最大值， c_{\min} 表示可叠加像素角点个数的最小值， μ 表示基于像素角点检测的无人机测绘多源遥感影像配准向量， X 表示像素角点的细节增强处理特征，在上述物理量的支持下，联立式 (12)，推导遥感影像自动配准技术的计算式如下：

$$L = (c_{\min} \dots c_{\max} \mu X F) \quad (13)$$

基于多尺度特征配准无人机测绘多源遥感影像，通过细节增强的方式，保障了像素角点的一致性，能够较好解决关联图像的不匹配对接问题，从而在像素采集尺度不唯

一的情况下, 避免像素重叠区域的出现。能够使对接后图像具有真实性。

3 实验分析

完成对接后无人机测绘多源遥感影像是否能够保持真实性, 可以用来检验图像配准方法的实用性, 本次研究选择基于像素角点检测的无人机测绘多源遥感影像自动配准技术、文献 [2] 提出的基于 SIFT 与互信息筛选优化的遥感影像配准方法、文献 [3] 提出的基于嵌入式 FPGA 加速 ORB 算法的遥感影像配准方法 3 组不同技术手段进行实验, 并根据多像素采集尺度下遥感图像的失真情况, 确定最佳图像配准方案。

3.1 多像素采集尺度下的遥感图像处理

本次研究选择 90%、75%、60%、45% 共 4 种不同的像素采集尺度条件, 分别对应图 7 中的 (a) (b) (c) (d)。其中, 90% 的像素采集尺度条件下, 遥感图像的清晰度水平最高, 在像素采集尺度由 90% 过渡到 45% 的过程中, 遥感图像的清晰程度依次下降, 通常情况下, 当像素采集尺度小于 50% 时, 遥感图像中的一部分像素角点可能被噪点单位掩盖, 因此原遥感图像的清晰度越低, 配准处理过程中平移差指标的可变区间就越小。

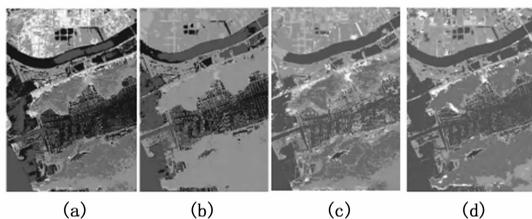


图 7 多像素采集尺度定义

3.2 像素平移差统计

像素平移差可以用来描述遥感图像的失真程度, 且像素平移差越大, 就表示配准后遥感图像的失真概率越大。对应像素采集尺度条件而言, 当采集尺度小于 50% 时, 遥感图像中的一部分像素角点可能被噪点单位掩盖, 所以当像素平移差超过 50 pt 时, 配准后遥感图像出现像素失真的可能性也就相对较高。

表 1 记录了基于像素角点检测的无人机测绘多源遥感影像自动配准技术 (方法 1)、基于 SIFT 与互信息筛选优化的遥感影像配准方法 (方法 2)、基于嵌入式 FPGA 加速 ORB 算法的遥感影像配准方法 (方法 3) 应用下, 配准处理过程中像素平移差的具体数值水平。

表 1 像素平移差

方法	多像素采集尺度/%				
	90	75	60	45	
像素平移差/pt	方法 1	10	6	3	0
	方法 2	90	72	61	65
	方法 3	88	74	59	47

横向分析表 1 可知, 当多像素采集尺度等于 45%, 像

素平移差水平最低, 方法 1 平移差达到了 0, 这就表示配准后遥感图像能够精准对接起来, 且不会出现像素重叠的情况; 方法 3 虽然会出现像素重叠的情况, 但由于其平移差未超过 50 pt, 所以不会造成遥感图像失真的问题; 方法 2 的像素重叠问题较为严重, 更会使配准后的遥感图像出现失真的表现情况。纵向分析表 1 可知, 整个实验过程中, 方法 1 像素平移差的均值水平最低、方法 2 像素平移差均值最高、方法 3 平移差均值位于两者之间。

3.3 图像配准效果

由于像素采集尺度条件为 45% 时, 像素平移差的整体均值水平最低, 配准处理的操作难度最小, 因此在分析图像配准效果时, 仅以该情况为例进行讨论。

图 8 反映了像素采集尺度条件为 45% 时的无人机测绘多源遥感影像配准效果。

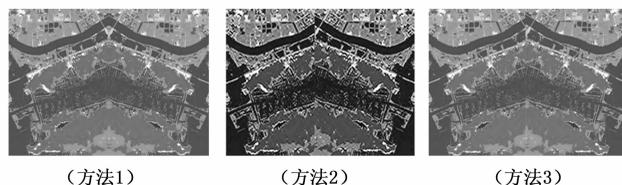


图 8 配准后的无人机测绘多源遥感影像

分析 8 可知, 经方法 1 的配准处理后, 两幅遥感图像的对接程度较高, 东西走向的水域、草地、林地等景观图像均得到了精准对接, 且配准后图像不会出现任何的不匹配或是重叠的情况, 整幅图像的真实性程度也相对较高。经方法 2 的配准处理后, 两幅遥感图像的对接程度较低, 景观图像无法得到精准对接, 配准后图像严重不匹配, 也出现了部分重叠的情况, 整幅图像的真实性程度较低。经方法 3 的配准处理后, 景观图像虽未得到精准对接, 但景观图像并未出现严重不匹配的情况, 对接部分像素节点出现了重叠, 但却并未影响图像的真实性。

3.4 图像配准重叠率

选用重叠率指标, 用于评估两幅图像之间的重叠程度。通过计算被配准对象图像和基准图像之间的共享区域的像素比例来表示。较高的重叠率表示配准效果较好。图 9 反映了无人机测绘多源遥感影像配准重叠率结果。

分析图 9 可知, 方法 1 对多源遥感影像配准的重叠率平均值为 98.0%, 方法 2 对多源遥感影像配准的重叠率平均值为 84.5%, 方法 3 对多源遥感影像配准的重叠率平均值为 78.9%。所提方法通过定义像素信息的多尺度空间, 可以提取不同尺度下的特征, 使得匹配更加准确和全面。通过检测和提取像素角点, 可以获取影像中的显著特征点, 实现特征匹配和几何变换。非配准角点去除: 通过去除非配准角点对象, 即将那些不适合用于配准的角点进行筛选和过滤, 可以提高配准的精度和可靠性。这样可以排除由于误检测、噪声或遮挡等因素引起的错误配准, 并减少影响配准结果的干扰。

综上所述, 基于像素角点检测的无人机测绘多源遥感

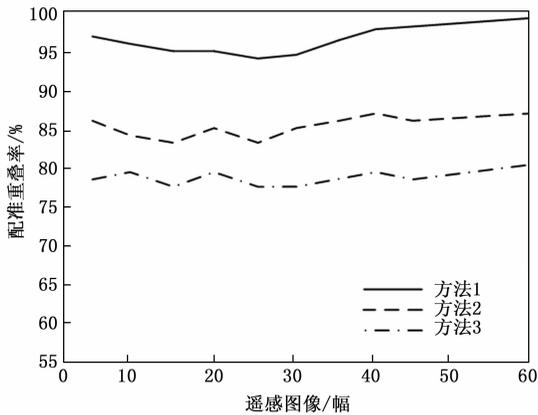


图9 无人机测绘多源遥感影像配准重叠率

影像自动配准技术的应用,解决了基于 SIFT 与互信息筛选优化的遥感影像配准方法、基于嵌入式 FPGA 加速 ORB 算法的遥感影像配准方法不能精准匹配像素节点的问题,在对接像素单元的过程中,可将像素平移差控制在较低的数值区间之内,即便在像素采集尺度不唯一的情况下,也不会导致关键像素区域内出现图像重叠的问题,能够较好地保证配准后图像的真实性,符合实际应用需求。

4 结束语

基于像素角点检测的无人机测绘多源遥感影像自动配准技术的设计,利用取样所得的无人机测绘多源遥感影像像素信息,完成对遥感图像的预处理,又联合点特征检测条件,针对遥感图像进行细节增强处理,从而完善具体的自动配准流程。实验结果表明,所设计方法可以有效解决由平移差过大造成的无人机测绘多源遥感影像不匹配对接的问题,在像素采集尺度不唯一的情况下,不会导致像素区域重叠的问题,在保障遥感图像真实性方面具有突出作用价值,为后续的遥感数据分析和应用提供了可靠的基础。

参考文献:

- [1] 童莹萍,全英汇,冯伟,等.基于空谱信息协同与 Gram-Schmidt 变换的多源遥感图像融合方法[J].系统工程与电子技术,2022,44(7):2074-2083.
- [2] 薛庆,杨树文,闫恒,等.基于 SIFT 与互信息筛选优化的遥感影像配准[J].遥感技术与应用,2022,37(5):1209-1216.
- [3] 赵智祎,孙婷,李峰,等.基于嵌入式 FPGA 加速 ORB 算法的遥感影像配准方法[J].中国空间科学技术,2021,41(5):125-135.
- [4] QARALLAH B, AL-AJLOUNI M, AL-AWASI A, et al. Evaluating post-fire recovery of latroon dry forest using Landsat ETM+, unmanned aerial vehicle and field survey data[J]. Journal of Arid Environments, 2021, 193(8): 1-10.
- [5] LED S, EWERTOWSKI M W, PIEKARCZYK J. Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) surveys and structure from motion photogrammetry in glacial and periglacial geomorphology

- [J]. Geomorphology, 2021, 378(1): 1-14.
- [6] 秦登达,万里,何佩恩,等.结合数据融合与特征选择的遥感影像尺度多样目标检测[J].遥感学报,2022,26(8):1662-1673.
- [7] 戴卫华,刘盛春,赵慎,等.采用局域像素匹配的随机抽样一致改进算法[J].国防科技大学学报,2021,43(4):38-43.
- [8] 唐忠智,闫兵,黄燕,等.一种基于双预筛选改进的 SIFT 图像立体匹配算法[J].激光与光电子学进展,2021,58(22):190-199.
- [9] 谢庆,杨天驰,裴少通,等.基于多尺度协作模型的电气设备红外图像超分辨率故障辨识方法[J].电工技术学报,2021,36(21):4608-4616.
- [10] 林晓,周云翔,李大志,等.利用多尺度特征联合注意力模型的图像修复[J].计算机辅助设计与图形学学报,2022,34(8):1260-1271.
- [11] 廖如超,张英,廖建东,等.基于语义信息分块的高像素导线缺陷目标识别[J].电力科学与技术学报,2022,37(3):206-212.
- [12] 李伟华,李范鸣,苗壮,等.基于分层细分超像素和信息完整性先验的红外图像去雾(英文)[J].红外与毫米波学报,2022,41(5):930-940.
- [13] 金羽锋,肖裔新,符采灵.应用于 VA-LCD Mura 补偿的图像预处理算法[J].液晶与显示,2021,36(7):999-1005.
- [14] 庄咸乐,王朝立,孙占全.一种基于注意力机制的 CT 图像预处理方法[J].小型微型计算机系统,2022,43(3):626-631.
- [15] 王丽娜,梁怀丹,王中石,等.面向可见光和 SAR 影像配准的特征点检测[J].光学精密工程,2022,30(14):1738-1748.
- [16] 丁国绅,乔延利,易维宁,等.基于光谱图像空间的改进 SIFT 特征提取与匹配[J].北京理工大学学报,2022,42(2):192-199.
- [17] 夏皓天,钱芸生,王逸伦,等.基于 FPGA 的低照度条件下 EBAPS 图像混合噪声去除算法[J].应用光学,2022,43(6):1075-1087.
- [18] 王蓝星,王群明,童小华.融合多光谱影像的高光谱影像厚云去除方法[J].测绘学报,2022,51(4):612-621.
- [19] 王立国,石瑶,张震.联合改进 LBP 和超像素级决策的高光谱图像分类[J].信号处理,2023,39(1):61-72.
- [20] 周建昆,曹源文,温永杰,等.不同高度下摊铺路面的数字图像差异性研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2021,40(2):89-94.
- [21] 江泽涛,覃露露,秦嘉奇,等.一种基于 MDARNet 的低照度图像增强方法[J].软件学报,2021,32(12):3977-3991.
- [22] 黄淑英,胡威,杨勇,等.基于渐进式双网络模型的低曝光图像增强方法[J].计算机学报,2021,44(2):384-394.
- [23] 姜迈,郑岩.基于 SURF-HOG 与显著性特征的红外可见光图像配准融合[J].激光与红外,2023,53(2):261-270.
- [24] 陈世伟,夏海,杨小冈,等.基于风格迁移不变特征的 SAR 与光学图像配准算法[J].系统工程与电子技术,2022,44(5):1536-1542.