

面向新能源场站的无人机航测图像智能校正与空间融合方法

刘 峥¹ 张旭泽² 温佳璇¹ 刘玉楠¹

LIU Zheng ZHANG Xuze WEN Jiaxuan LIU Yunan

摘 要

新能源场站无人机执行航测过程中受外部因素的影响,所建立的映射点出现重叠,导致校正前后图像的接近程度低。为此,文章提出对面向新能源场站无人机航测图像智能校正与空间融合方法的设计与分析。通过 Gauss 核函数提取重叠图像中的特征值,计算出图像细节区域的阈值,并利用该阈值进行定点分割。对分割后的图像进行畸变处理,通过平衡仿射变换确定校正后的坐标点位,克服外部因素的干扰,避免点位重叠,完成智能校正处理。按照图像的校正情况设置空间融合等级,在等级之内以低秩处理提取统一的融合特征,展开二次配准,完成空间数据的融合。实验结果表明:所提方法得出的偏差逆系数相对较小,被控制在 2.5 以内,融合后的图像与源图像的接近程度提升,性能更为优越。

关键词

新能源场站;无人机;航测覆盖;图像校正;空间融合;校正定点

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.12.043

0 引言

新能源场站相较于传统的电力场站,其安全性与针对性更为稳定,具有可持续发展的特征。这一类场占地面积大、设备布局复杂,且多处于复杂的地形地貌与气候环境中,虽然可以完成预期的任务目标,但也给日常的运维管理、故障排查

以及性能评估等工作带来了巨大挑战。为解决上述问题,部分专业人员设计了应对性的方案。

王殿伟等^[1]设计的颜色一致性的无人机航拍低光照图像增强算法。通过构建亮度增强网络,设计颜色学习模块和金字塔颜色嵌入模块。将图像的颜色特征与内容特征进行融合处理,降低噪声对图像的影响,确保最终输出校正结果的稳定。但是颜色失真处理仅针对部分点位执行,致使校正处理不均匀,处理后的图像与真实图像难以保持一致。刘扬等^[2]融合滤光片转轮,设计的多光谱相机的辐射校正方法。采用

1. 北京中电飞华通信有限公司 北京 100070
2. 国网信息通信产业集团有限公司信息通信共享服务分公司 北京 102209

- [8]LEWIS P, PEREZ E, PIKTUS A, et al. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks[EB/OL]. (2021-04-12)[2025-10-25].<https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.11401>.
- [9]RYU H G, LEE H S, PARK M. Construction planning method using case-based reasoning[J]. Journal of computing in civil engineering, 2007,21(6):410-421.
- [10]ZHANG J S, EL-GOHARY N M. Integrating semantic NLP and logic reasoning into a unified system for fully-automated code checking[J]. Automation in construction, 2017, 73: 45-57.
- [11]FERNANDES D, GARG S, NIKKEL M, et al. A GPT-Powered assistant for real-time interaction with building information models[J]. Buildings, 2024,14(8):2499.
- [12]REN C Z, KAN W L,ZHOU T H,et al.Intelligent generation and analysis of the municipal road construction scheme based on the KNN algorithm[J/OL].Mathematical

problems in engineering,2022[2025-05-25]. <https://doi.org/10.1155/2022/8752870>.

- [13]AHMADI E, WANG C. Transforming construction practices with large language models[C]//Proceedings of 60th Annual Associated Schools of Construction International Conference. UK:EasyChair,2024: 414-422.
- [14]NYQVIST R, PELTOKORPI A, SEPPÄNEN O. Can ChatGPT exceed humans in construction project risk management?[J].Engineering construction and architectural management, 2024,31(13):223-243.

【作者简介】

熊杰(1986—),男,湖北仙桃人,本科,中级工程师,研究方向:研究方向为企业数字化转型、信息系统建设。

(收稿日期:2025-06-19 修回日期:2025-12-01)

多级亮度定标法和经验线性法建立校正模型，标定计算入瞳处的波谱辐射亮度，基于不同积分时间进行同波段最优点位的捕捉，校正目标同步关联。然而波谱辐射亮度受外部环境及特定因素的影响，反演定位存在偏差，导致校正图像和真实图像无法统一，接近程度大幅度下降。赵德馨等^[3]设计的多角度多光谱相机的相对辐射校正方法。采用全局色差标定法，在 DMC 影像中建立映射，在 CCD 片间区域对映射点进行一致移动，划定出可校正目标的边缘，逐步确定基本校正轮廓，与初始设定的校正位置比对调整，输出最终的校正结果。但是校正轮廓的边缘位置无法重合，导致校正点位难以建立有效映射，校正前后图像的接近程度不一致。黄丹丹等^[4]设计的 Retinex-Net 网络模型渐晕图像校正方法。在原模型基础上添加空洞卷积，保持校正图像的高分辨率并扩大感受野。将图像去噪处理，提取渐晕图像的每一层特征，保留图像的细节同时抑制噪声。构建渐晕图像数据集，以迭代训练的形式进行校正性能验证。但是扩大后的感受野无法同步校正前后点位及边缘目标，导致图像的一致性较低。

融合上述方法的特征及优势，设计新能源场站的无人机航测图像智能校正与空间融合方法。通过多维特征校正及空间融合机制，对采集的航测图像梯度整合，为新能源场站的运维管理、性能评估以及决策支持提供更为科学、高效的技术手段，推动新能源场站走向更为智能化、精细化的管理阶层^[5]。

1 设计新能源场站无人机航测图像校正与空间融合方法

1.1 多维特征图像自适应 MeanShift 分割测算

新能源场站的覆盖范围较大，接入设备多，日常环境整体较为复杂，以无人机航测的方式展开巡检，需要先对目标图像校正处理^[6]。航测过程中，无人机可以调整分辨率及拍摄范围，但是无法自动调节细节区域和平滑区域，导致部分图像出现重叠，利用 MeanShift 算法，通过 Gauss 核函数提取重叠图像中的 MeanShift 特征向量^[7]。用公式表示为：

$$T_n = \left(\varepsilon \times \frac{\alpha_n + \alpha'_n}{c} \right) \exp \left(-\frac{\alpha_n \cdot \|v\|}{c\eta} \right) \quad (1)$$

$$N = \varepsilon \|v\| \times \alpha'_n I - \frac{[(\alpha_n + \alpha'_n) - J]}{\alpha_n v} \quad (2)$$

式中： T_n 代表核函数； ε 代表遥感航测点； α_n 和 α'_n 分别代表遥感区域和扩展区域； c 代表航测频率； η 代表近邻值； v 代表分割点； N 代表 MeanShift 特征向量； I 代表维度向量； J 代表重合区域。

MeanShift 特征向量在自适应调度下仅反映单个目标的图像特征值，在细节区域中随机标定多个测点，匹配与 MeanShift 特征向量相同的点位^[8]。假定区域内的特征向量量为模

态点，聚类模态点，按照低频、高频划定特征聚集区，从多角度提取图像细节区域的特征值^[9]。具体为：

$$B = K(\alpha_n \times \beta) - \frac{K_{PAN}}{O\eta + (\eta + 1)} \quad (3)$$

式中： B 代表特征值； K 代表高频向量； β 代表细节点位； K_{PAN} 代表融合准则； O 代表低频分量。

测算出高频、低频特征值后，采用近邻聚类的方式，根据光谱距离及像素值，在细节区域中进行范围划定，计算出各个区域的阈值，并按照特征引导，对阈值约束下的区域定分点分割处理^[10]。用公式分别表示为：

$$M = \left[(\sigma^2 + \|v\|) \times (\sigma I - \eta K_{PAN}) \right] \times \frac{N}{B} \quad (4)$$

$$J' = \frac{\|v\| \cdot K_{PAN}}{R} \quad (5)$$

式中： M 代表阈值； σ 代表分割区域； σ 代表分割关联点； J' 代表分割重合区域； R 代表花航测合并区域。

阈值约束下，以特征为目标的图像定点分割较为灵活，可以根据无人机的航测高度及覆盖范围进行实时调整，确保分割目标的精准，为后续校正处理提供条件^[11]。

1.2 场站分割图像智能化配准完成几何校正

由于场站航测图像分割之后边缘存在畸变的情况，为确保几何校正结果的精准，需要在畸变区域内建立转换关系，并设计校正平衡值^[12]。用公式分别表示为：

$$A = (1 + J' K_{PAN}) \times \rho \quad (6)$$

$$T = \frac{(\eta\omega - \omega')}{J'} \times \delta \quad (7)$$

式中： A 代表转换处理目标； ρ 代表畸变因子； T 代表校正平衡值； ω 代表畸变分割区域； δ 代表平衡均值。

航测分割图像的转换处理中，以校正平衡值为标准，展开智能化配准处理。图像中预设一个配准点，在航测覆盖区域与配准点之间建立映射关系。标定出图像中场站需要校正的点位，通过几何仿射变换进一步明确校正目标，用公式表示为：

$$\begin{cases} X = a_0 + a_1 \Im + a_2 \Re \\ Y = b_0 + b_1 \Im + b_2 \Re \end{cases} \quad (8)$$

式中： X 和 Y 分别代表仿射坐标点； a 和 b 分别代表原始坐标点； $\Im$ 和 $\Re$ 分别代表校正坐标点。

仿射变换之后，可以基本确定图像中需要校正区域的点位，根据映射特征对相似点位进行自适应配准处理，通过测算各点位的高程误差验证校正效果，用公式表示为：

$$H_T = \sqrt{\frac{1}{D-1} \Delta S_I \times \frac{\|v\| - \|e\|}{J' K_{PAN}}} - \frac{\|v\| - \|e\|}{\omega K_{PAN}} \quad (9)$$

$$\partial = (\theta \times \sqrt{D - \|e\| K_{PAN}}) \times \frac{1}{q} \quad (10)$$

式中： H_T 代表自适应配准目标； D 代表同点位； Δs_i 代表配准均值； e 代表可控校正偏差； ρ 代表高程校正结果； θ 代表核检点； q 代表畸变点数量。

配准后针对图像中各个点位的校正精准，高程值误差也控制在合理的范围之内，表明校正后的结果符合新能源场站的应用需求。

1.3 校正图像低秩处理实现空间融合

将校正后的多源异构航测图像转换为数据，统一到相同的坐标系之中，通过低秩处理的方式实现空间数据融合。设定低秩处理结构，从顶层开始执行空间数据融合过程，利用低秩分解实现低秩融合恢复，恢复后的图像数据进行空间增强，用公式表示为：

$$u = \left[\frac{\theta}{\partial} \times \frac{(v-e)q}{H_T} \right] \times (A\partial - \rho) \quad (11)$$

$$B = H_T \times \rho (\sqrt{\omega K_{\text{PAN}}} \times \frac{1}{u}) \quad (12)$$

式中： u 代表低秩融合恢复目标； B 代表图像空间增强。图像数据经过空间增强之后，具有统一的特征，按照特征再次配准处理，将处理后的低秩分解单元汇总，实现图像的空间融合，用公式表示为：

$$r = \frac{\|p-e\|}{B} \times \chi \quad (13)$$

式中： r 代表空间融合结果； p 代表低秩边缘融合； χ 代表向量范数。

2 实验

2.1 部署数据集与实验环境

以电网配网为实验测试的支撑环境，针对选定的新能源场站建立数据集，并部署实验条件。以 Matrice 300 RTK 为主航测无人机，该机型支持传感器挂载，并具备实时动态防护的能力，与 Marice4T 建立应用联系，搭载广角、中长焦的相机覆盖式拍摄，用于复杂能源场站环境图像资源的获取。在划定的场站航测区域范围之内，明确航测控制指标及参数，如表 1 所示。

表 1 无人机航测控制指标参数

航测控制指标	参数标准	应用
地面分辨率 cm/pixel	0.5~5.5	地面目标细节识别
定位覆盖 /cm	水平 ± 2 高程 ± 3	缺陷定位、目标识别
续航时间 /min	40~60	场站巡检
旁向重叠 /%	30~55	场站复杂、多设备区域
飞行高度 /m	30~100	根据地形不同波动变化
飞行速度 /(m·s ⁻¹)	5~15	重点区域重叠调整
焦距 /mm	60~120	细节拍摄、点位拍摄

通过上述 Matrice 300 RTK 无人机进行航测巡检，在 6 个周期之内，针对新能源场站的各个位置细节拍摄，留存图像资源库之中，作为校正、融合的数据集，以下为航测矢量图、正射影像及高程处理模型图。并通过 IGARSS 对正射影像进行高程模拟转换处理，明确具体的图像边缘和模糊点位，作为后续校正的基础。处理后的图像按照新能源场站的功能位置汇总。

2.2 性能结果分析

以分割后的图像作为依据，针对新能源场站航测位置的设定，标定出图像的边缘区域。区域内标定点位，每一个点位作为实时校正的目标。图像校正后，随机选定 4 个点验对比，分析校正处理结果，如图 1 所示。

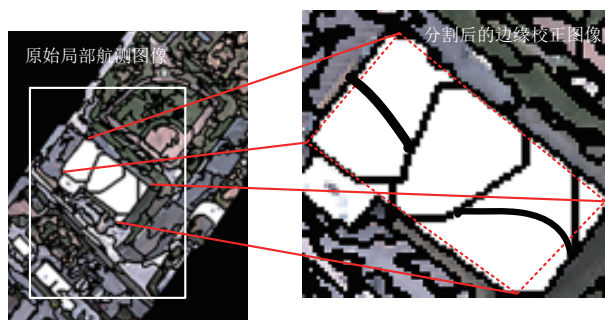
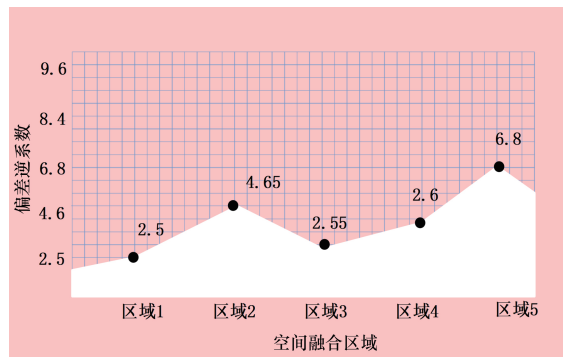


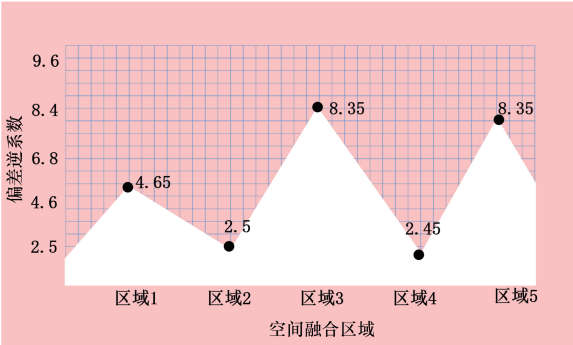
图 1 航测图像边缘智能校正结果

图 1 结果分析可知，航测图像在经过校正处理时，实际的边缘位置和校正后的位置基本保持一致，且以四角为对比的边缘点也基本重合。该结果反映了在图像配准及映射处理时，通过消除图像中的畸变及重复，将高程值误差控制在合理的范围之内，符合智能化校正的要求，校正针对性和稳定性得到提升，具有实际的应用价值。

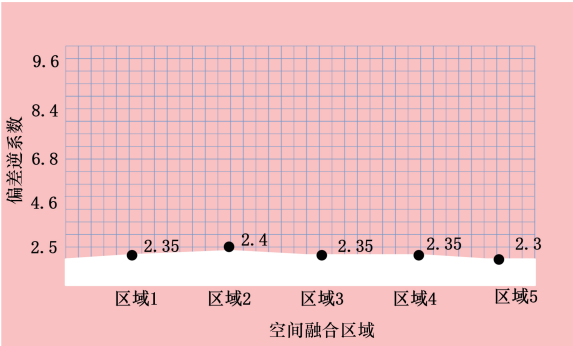
校正后的图像边缘及定点位置整体较为一致，但是处理过程中考虑到非均匀校正的情况，遵循空间融合的要求，对图像二次处理。预设 5 个测试区域，提取空间融合特征，标定出具体的特征点，以特征点为引导展开融合实践，采用选择的三种方法对偏差逆系数结果分析，如图 2 所示。



(a) 颜色一致性无人机航拍低光照图像增强算法



(b) 滤光片转轮式多光谱相机辐射校正方法



(c) 新能源场站航测图像智能校正与空间融合方法

图2 校正图像空间融合偏差逆系数结果

根据图2结果分析：所提方法得出的偏差逆系数相对较小，被控制在2.5以下，文献中的两种方法测定得出的偏差逆系数则较高，分别为2.5~6.8、2.45~8.35。在多维特征及低秩处理下，多源异构航测图像被转换为数据，统一坐标后，空间数据在再次配准处理，完成空间增强的同时，实现动态化融合，融合后的图像与源图像的接近程度提升，性能更为优越。

3 结语

在新能源背景下，设计场站无人机航测图像智能校正与空间融合方法。利用 Gauss 核函数提取重叠图像特征，以特征为引导计算细节区域阈值，利用阈值定点分割。消除分割图像中的畸变点，以几何校正中的平衡仿射确定校正坐标，降低校正处理后的重叠情况。按照图像的校正状态设置空间融合等级，等级内采用低秩处理的方式来提取融合特征，进行二次配准，完成空间数据的融合，为场站后期的巡检及测定奠定基础。

参考文献：

[1] 王殿伟,刘旺,房杰,等.颜色一致性的无人机航拍低光照图像增强算法[J].北京航空航天大学学报,2025,51(4):1096-1106.

[2] 刘扬,方俊永,刘学,等.基于滤光片转轮式多光谱相机的辐射校正[J].中国科学院大学学报(中英文),2024,41(5):636-643.

[3] 赵德馨,李对对,陈继辉,等.基于多角度多光谱相机的相对辐射校正方法分析[J].航天返回与遥感,2024,45(4):81-90.

[4] 黄丹丹,王菲,刘智,等.基于Retinex-Net网络模型的渐晕图像校正[J].液晶与显示,2024,39(7):929-938.

[5] 朱榕,郑万波,王耀,等.基于HE-CSR的红外与可见光图像改进融合方法[J].光谱学与光谱分析,2025,45(2):558-568.

[6] 安成锦,李振,陈军,等.使用等效偏移角稀疏测量的面阵相机序贯图像几何校正[J].国防科技大学学报,2023,45(5):164-172.

[7] 戴荣凡,韩静雨,王密,等.HY-1C/D海岸带成像仪全视场整体相对辐射校正方法研究[J].遥感学报,2023,27(5):1121-1132.

[8] 王田野,王皓,胡华龙,等.GEO气象卫星长线阵载荷扫描成像几何校正方法[J].航天器工程,2025,34(2):59-65.

[9] 王卫东,权文婷,王钊,等.基于TensorFlow实现FY-3DMERSI数据GPU并行快速几何校正[J].遥感技术与应用,2023,38(3):671-679.

[10] 付启银.基于视觉传达技术的可见光与红外图像融合方法[J].激光杂志,2025,46(4):128-133.

[11] 潘树焱,刘立群.MSFAFuse:基于多尺度特征信息与注意力机制的SAR和可见光图像融合模型[J].图学学报,2025,46(2):300-311.

[12] 徐正丽,肖素芳,杨明浩.基于无需校准激光雷达曲线与RGB-D图像的数据融合方法[J].广西科学,2024,31(5):1038-1048.

【作者简介】

刘峥(1981—),男,河南郑州人,本科,中级工程师,研究方向:电力物联网、人工智能与大数据融合技术。

(收稿日期:2025-06-24 修回日期:2025-12-03)