**山东省科技进步奖公示材料**

1. **项目名称**

遥感时空大数据融合的实景三维智能重建关键技术及应用

1. **提名者及提名意见**

提名者：山东省教育厅

提名意见：本项目依托国家自然科学基金、山东省重大科技创新工程等多项省部级以上科技计划，面向新一代空间数据基础设施建设的重大需求，聚焦三维重建技术体系不完备、关键算法与技术不足等核心难题，开展遥感时空大数据融合的关键技术攻关，突破实景三维智能重建的关键技术壁垒。

本研究创新性地融合航空/航天/无人机多视角影像及地面近景影像等多源遥感时空大数据，突破了多模态遥感影像智能匹配与配准、多源多尺度遥感影像自动空中三角测量和联合精密定位、多视影像密集点云生成、三维模型与通用纹理的全方位和自动化映射等关键系列技术。基于研究成果，研发了一套覆盖大范围区域的高精度三维实景地图生产系统，形成了一套完备的实景三维智能重建解决方案，实现了空天地多源遥感时空大数据的高效集群化处理，显著提高了数据处理效率和实景三维产品的精细度。软件系统具备自动化、智能化、高精度等核心优势，填补了国内相关领域的技术空白，为我国实景三维建设提供了自主可控的核心技术支撑，推动了“美丽山东”的数字化呈现进程。

项目取得了丰硕的研究成果，发表国内外高水平论文63篇，出版专著2部，授权国家发明专利20项，获软件著作权登记10项，其中一区TOP论文18篇、国家级学报15篇。项目成果通过两院院士领衔的专家组鉴定，一致认为“成果总体居于国际先进水平，有力推动了山东省测绘地理信息事业转型升级，在服务自然资源管理、城市动态监管、社会精细治理和应急保障等方面发挥了重要作用，并在多个省份复制推广，社会经济效益显著，具有广阔的推广应用价值”。

我单位认真审阅了该项目提名书及其附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目符合填写要求。按照要求，项目完成人所在单位进行了公示，公示期间无异议。

1. **提名等级**

山东省科技进步二等奖

1. **项目简介**

遥感时空数据融合是通过匹配算法在两幅或多幅影像数据之间自动提取同名特征点，然后通过同名特征完成多源数据的叠加和信息融合，它是导航与定位、目标变化检测、实景三维重建等应用中的基础和关键工作；“实景三维”是对人类生产、生活和生态空间进行真实、立体、时序化反映和表达的数字虚拟空间，将为数字中国建设提供统一的底版与数字基底，是国家新型基础设施建设的重要组成部分。近年来，国务院批复同意的规划纲要提出“加快推进新型基础测绘体系建设，不断提升基础测绘保障服务能力和水平”；自然资源部要求利用实景三维技术服务数字中国、数字经济和数字社会，提出大力推进实景三维中国建设。

实景三维重建过程中，遥感数据来源多样，卫星、大飞机/无人机及地面移动/固定平台搭载的主被动遥感传感器成为对地观测数据的重要来源，对于多源、多平台、多光谱、多角度和复杂关联的遥感数据，需要开展新型智能匹配算法与处理模式的研究，目前已经研发了多种解决方案和软件产品，但考虑到数据处理的精细度、普适性和效率，仍需要在以下方面开展攻关：（1）加强融合计算机视觉、模式识别，人工智能领域的算法，解决多视多角度影像的匹配和姿态恢复问题，切实保障三维几何信息解算的精度和稳健性；（2）基于光学卫星、倾斜摄影、近景、视频、合成孔径雷达等多源多模态遥感影像数据，实现影像匹配、平差等相关算法的并行化、一体化改造，提高数据处理的规模、可靠性和效率；（3）创新性引入AI遥感大模型等相关技术，最大限度地实现实体要素和语义信息的智能化提取与分析。项目创新点如下：

1.多源遥感信息高精度融合。针对多源多模态遥感数据难融合问题，提出基于准单应几何变换和自适应相关窗口的边缘特征匹配、基于多通道像素对比度增强的多模态遥感影像自动匹配方法、基于深度学习和端到端卷积神经网络的宽基线影像密集匹配算法，实现光学卫星影像、倾斜摄影影像、近景影像、视频数据、合成孔径雷达等多源多模态数据的高精度融合，为不同类型、不同场景、不同时相的大规模影像数据的精细三维重建奠定多源信息基础。

2.精细三维模型自动化构建。针对构建的三维实景模型存在空洞、扭曲、碎片等模型质量问题，提出基于特征增强和权重优化的深度学习网络FEWO-MVSNet，该方法基于3D卷积神经网络，预测多视影像的精细深度图，并随后重建得到完整的三维模型。提出基于光线可视性约束的自适应图割Mesh构网方法，该方法根据光线的可视信息对有向图自适应设置不同的累积加权，提高了Mesh模型的精度，改善了弱纹理或重复纹理区域表面建模困难的难题，尤其适合于大场景和复杂环境的表面重建。在此基础上，提出基于法向量方向约束的Mesh优化方法，该方法充分利用原始影像信息和投影几何关系，依据匹配代价值最小原理进行Mesh模型优化，通过在能量函数中引入法向量平滑项，保留了建筑物的边缘棱角特征，提高了建筑模型的精细度。提出了大区域实景三维模型自动拼接融合方法，提高了数据处理效率和实景三维产品的质量，实现了大范围地形三维模型表面的精细和完整重建。

3.实景三维模型智能化生产。创新性引入点云优化选择、角点和边缘实时精确捕捉等AI算法，提出结合目标轮廓和深度信息的城市三维单体化构建方法，该方法引入Transformer结构对建筑物进行初始提取，并设计自适应优化与正则化模块用于剔除误检区域及优化建筑物轮廓，再依据建筑物轮廓自动获取建筑物屋顶高程和基底高程，实现建筑物全要素结构模型的自动重建。基于大批存量Mesh模型数据源，创建通用纹理的多尺度材质库，提出全要素纹理映射方法，突破了对建筑物单体模型的全方位通用纹理自动化快速映射技术，研发了自主可控的自动建模及单体化处理系统，为城市三维模型快速构建提供了实用化的解决方案。提出了一种基于多源点云优化的城市三维模型快速构建技术，在充分利用现有数据基础上有效提升了数据处理效率，大幅减少了生产成本，并在实景三维山东建设过程中得到了有效验证。

因此，在国家、省部级相关项目等支持下，山东建筑大学、山东省国土测绘院、中国测绘科学研究院、浙江泰乐地理信息技术股份有限公司、山东圣辅工程设计有限公司组成10名中青年科技骨干，形成涵盖高校、科研院所、高新企业的“产学研用”全链条的团队，开展关键技术研究、软件研发及科技成果转化。面向实景三维中国和新一代空间数据基础设施建设的重大需求，针对影像匹配与三维重建的技术难点及局限性，研究多源多模态遥感数据自动配准、联合几何定位、密集匹配、语义分割与识别、建筑物精细化/结构化建模等摄影测量与计算机视觉基础核心算法，构建空天地一体化多模态多尺度遥感数据智能匹配及建模技术体系，研发三维实景智能重建与空间分析应用软件，深度服务于自然资源调查、城市规划、防灾救灾等国家重大战略和众多国计民生领域。

项目核心技术获得发明专利20项，计算机软件著作权10项；出版专著2部，在国内外发表三大检索论文63篇（其中一区TOP论文18篇、国家一级学报15篇），研制出具有自主知识产权的三维重建与空间智能分析应用软件系统，并实现科技成果转化应用，研究成果被两院院士专家委员会评价为“总体居于国际先进水平，在多模态遥感影像精准匹配、点云智能化语义三维重建方面达到国际领先水平”。

1. **主要知识产权和标准规范等目录**
2. 专著：宽基线倾斜影像匹配关键算法与应用，测绘出版社，203千字，2021.11.1项目团队撰写.
3. 论文：Robust Harris corner matching based on the quasi-homography transform and self-adaptive window for wide-baseline stereo images, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2018, 56(1), 559-574．项目团队撰写.
4. 论文：PSOSVRPos: WiFi indoor positioning using SVR optimized by PSO. Expert Systems with Applications, 2023, 222, 119778.项目团队撰写.
5. 论文：Registrating Oblique SAR Images Based on Complementary Integrated Filtering and Multilevel Matching, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing, 2019, 12(9): 3445-3457. 项目团队撰写.
6. 论文：抗视差的宽基线弱纹理影像自动拼接算法[J].测绘学报, 2023, 52(09): 1515-1527.项目团队撰写.
7. 授权发明专利：基于深度学习的大倾角立体像对准密集特征匹配方法，授权号：CN117078982B，授权日期：2024.01.26. 项目负责人研发.
8. 授权发明专利：全局与局部融合约束的航空宽基线立体像对线段匹配方法，授权号：CN112163622B，授权日期：2022.07.05. 项目负责人研发.
9. 授权发明专利：一种步态探测算法、装置以及系统，授权号：CN111358472B，授权日期：2022.08.23. 项目团队研发.
10. 授权发明专利：多模态遥感影像深度学习匹配的三维重建方法，授权号：CN116091706B，授权日期：2023.06.20.项目负责人研发.
11. 授权发明专利：基于多源异构数据的地理实体生成方法及系统，授权号：CN116719898B，授权日期：2024.05.31. 项目团队研发.
12. ，授权日期：2024.02.02.项目团队研发.
13. **主要完成人**
14. 姚国标 山东建筑大学 **2.** 毕京学 山东建筑大学 **3.** 魏国忠 山东省国土测绘院
15. 路 毅 浙江泰乐地理信息技术股份有限公司 **5.** 张力 中国测绘科学研究院 **6.** 朱丰琪 山东省国土测绘院 **7.** 孙钰珊 中国测绘科学研究院 **8.** 马东岭 山东建筑大学 **9.** 张 波 山东圣辅工程设计有限公司 **10.** 李 兵 山东建筑大学
16. **主要完成单位情况**
17. 山东建筑大学 排名1

作为本项目的第一完成单位，山东建筑大学负责协调组织整个项目建设，承担项目主要的核心技术研发工作。在多源异构影像数据的智能匹配与配准、联合几何定位、密集匹配、三维场景精细化建模、多级三维实景及地理信息产品生产技术体系构建等核心技术方面作出了贡献，并协调合作单位进行推广应用。

1. 山东省国土测绘院 排名2

作为本项目的第二完成单位，山东省国土测绘院参与三维场景精细化建模技术研发，参与“一库多能、按需组装”的实景三维数据产品输出工艺研发，协助项目软件系统的推广应用。为项目提供相关数据、对山东建筑大学研发的核心技术进行了大量的测试与完善工作，负责项目核心技术的推广应用。

1. 中国测绘科学研究院 排名3

作为本项目的第三完成单位，中国测绘科学研究院参与多元异构海量实景三维数据高效管理与服务技术研发，为项目提供相关数据、对山东建筑大学研发的核心技术进行了大量的测试与完善工作，协助项目核心技术的推广应用。

1. 浙江泰乐地理信息技术股份有限公司 排名4

作为本项目的第四完成单位，浙江泰乐地理信息技术股份有限公司参与多源异构传感器数据源的协同处理软件系统研发，为项目提供相关数据，协助项目软件系统的推广应用。

1. 山东圣辅工程设计有限公司 排名5

作为本项目的第六完成单位，山东圣辅工程设计有限公司参与对山东建筑大学研发的核心技术进行测试与完善工作，协助项目核心技术的推广应用。