

## 二、项目简介

### 项目简介（限1000字）

本项目研究成果Virtuoso3D全自动倾斜摄影测量三维建模集群系统是由航天远景耗时数年，陆续攻克倾斜影像高精度空三解算、建模与模型精化、智能作业分区、自动化作业流程实现等一系列难题，潜心研发出的一款高精度、高质量的自动化城市级实景三维建模集群软件。该系统以数字摄影测量、倾斜摄影测量、计算几何、计算机图形学等技术为核心，具备海量倾斜数据处理能力，可单次流畅完成10万张以上倾斜影像的高精度空三及精细建模任务，且模型成果精度达到1:500地籍图测绘需求，不仅形成了自动化、智能化、集群化的海量倾斜影像数据处理流程，实现了实景三维模型生产的全面优化，更具备促进三维建模类软件国产化的重要意义。

本项目主要技术内容包括：

(1) 通过仿射不变特征提取技术实现不同视角影像间的稳健匹配，将影像检索的思路引入三维重建，利用图像内容特征聚类构建词汇树检索影像，完成大规模无序影像连接关系的自动建立，充分提高影像匹配准确率和速度，大幅减少倾斜影像空三处理时长；

(2) 通过多视几何原理和带自检校的光束法平差来计算参数初值并实现参数精化，完成高精度成像参数解算；

(3) 研发大规模倾斜影像智能分区与合并技术，依据影像间耦合度将海量无序影像合理划分成多个子任务，保证每个子任务内部影像连接紧凑，任务之间有适当的重叠影像，充分提高合区处理的精度和成功率；

(4) 研发精细自动化的倾斜影像三维建模技术，系统利用空三成果自动构建基于优质不规则三角网的三维模型，同时通过置信度传播实时密集匹配、抗噪MESH抽取、基于超分辨率纹理一致性的变分法模型精化、基于变分原理的多视影像匹配等技术获取高质量纹理并精准映射到三维模型上，实现精细三维模型自动重建与精化；

(5) 全面应用并行化集群运算技术，对作业流程进行深度的并行拆分，并通过异构计算方式整合网络环境中所有节点的CPU/GPU/FPGA等不同计算资源，进一步提高作业效率。

并且，作为首批国内自主研发的三维建模软件，Virtuoso3D自发布后短时间内便参与并完成数项倾斜三维相关项目的建模工作，并以其自动化、智能化、精细化的优势令城市级实景三维模型生产向低人力、低成本、高质量、高效率的方向转变，取得了良好的项目效果，也令三维成果广泛应用于测绘、规划、自然资源、军事、交通、考古等众多领域，社会和经济效益显著。

## 三、科技创新

科技创新（限5000字）

### 1 立项背景

近年来，伴随着各地城市化进程的逐步深入，我国政府持续大力推进智慧城市规划建设，目前全国100%的副省级以上城市、90%的地级以上城市，总计660多个城市均已经提出或在建智慧城市，同时，自然资源部也计划近期启动实景三维中国建设，全面促进空间地理信息应用从二维向三维转变。作为智慧城市网络与实景中国建设的重要空间基准和主要内容，实景三维模型这种便捷、真实、高效的地理信息表现形式已得到全国范围的广泛应用。

然而截至目前，国内倾斜影像三维建模技术的发展始终不如人意，国内虽有相关软件面世，但技术始终不如国外成熟，也没有开展大规模应用，三维模型生产仍然主要依赖国外进口软件产品，行业内亟需一批自主研发的高效、自动化、精细的实景三维建模系统。

在此背景下，本项目团队聚焦社会实景三维建模需求与行业痛点，通过数年潜心研发，陆续攻克倾斜影像空三、建模、模型精化、纹理色彩调整、智能作业分区等一系列难题，才着力构建出Virtuoso3D这样一款自动化、高精度、精细的城市级三维建模集群处理系统。

本项目的成功不仅有望成功扭转目前国内倾斜影像三维建模软件主要依赖国外进口的被动局面，打破实景三维建模技术被国外垄断的现状。同时，伴随着互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合，数字中国、智慧社会建设进一步深入推进，本项目也将为国家带来难以估量的经济社会效益。

### 2 科技含量

#### 2.1 总体思路

本项目采用平台化的设计方式，全流程自动化的生产模式，以数字摄影测量、倾斜摄影测量、计算几何、计算机图形学等技术为核心，研发仿射不变特征提取、基于内容的影像检索、ADMM网络分布式平差等技术，实现影像邻接关系快速确立与可靠的倾斜影像高精度空三解算；利用基于置信度传播的实时密集匹配、抗噪MESH抽取、基于超分辨率纹理一致性的变分法模型精化等技术，实现精细的实景三维模型构建；再配合大规模倾斜影像智能分区与合并技术、全流程集群运算支持，充分提高倾斜影像合区处理成功率和建模效率，令系统单次即可完成海量倾斜影像的高质量空三处理与模型构建，有效克服常见建模软件空三精度不足、模型效果一般、效率低等一系列缺陷，优化现有倾斜影像处理水平。

#### 2.2 技术方案与创新成果

##### (1) 技术方案

本项目软件的整体架构设计，包括基础的自动化数据组织与工程创建模块、自由网空三与控制点平差模块、三维模型构建模块、智能分区模块、集群运算模块、漫游

显示模块等6项功能模块。各模块详细功能设计如下：

①数据组织与工程创建模块：全面支持各种新型传感器数据、加载待处理的影像数据并显示源数据信息、一键自动化完成工程创建；

②自由网空三与控制点平差模块：完成不同视角影像之间的稳健匹配、无序影像邻接关系的快速确立、控制点预测、控制点平差、高精度成像参数解算；

③三维模型构建模块：构建基于优质不规则三角网的三维模型、模型表面优化、筛选纹理、纹理映射、纹理优化；

④智能分区模块：大规模倾斜影像智能分区与合区处理；

⑤集群运算模块：数据任务分发与并行处理、任务进度及作业状态监控、回收任务成果至主机；

⑥漫游显示模块：海量Tile重组织、三维漫游与显示。

## (2) 关键技术

①仿射不变特征提取技术：项目在倾斜影像空三特征点匹配阶段，使用AFFE仿射不变特征匹配算法来实现不同视角的大角度影像之间的稳健匹配，配合区域和归一化模型、具备鲁棒性的抗投影变形特征描述算子，令影像误匹配率低于0.031%。

②基于内容的影像检索技术：项目将影像检索的思路引入三维重建，基于图像内容特征聚类构建词汇树进行影像检索，使得无需进行真正的影像匹配，就能实现大规模无序影像连接关系的自动建立，影像匹配便可只在有邻接关系的影像之间进行，充分提高空三影像匹配效率。

③大规模空三数据的智能分区与合并技术：项目能够依据影像间位置关系、耦合度以及集群各节点硬件资源状态灵活调整确定任务划分方案，自动完成大规模倾斜数据智能分区，将众多无序影像合理划分为多个子任务来并行处理，充分降低影像空三计算量，同时保证区块间的影像关联与重叠，提高合区处理的精度和成功率。

④控制点预测技术：实现带POS的无像点预测，基于POS数据预测影像所有控制点位置；也可实现精度更高的单像点预测，只需人工刺入单个控制点，即可自动匹配预测出同名影像上的相应控制点位置，并自动完成控制点刺点工作，高度简化控制点刺点流程，可降低90%以上人工刺点工作量。

⑤ADMM网络分布式平差技术：项目使用带权粗差探测，以可靠性矩阵为基础，对ADMM平差过程中的粗差进行探测与剔除，在4个均方差可信度下达到98.7%可靠性。

⑥倾斜影像高精度成像参数解算技术：项目通过多视几何原理和带自检校的光束法平差来计算参数初值和实现参数的精化。

⑦基于置信度传播的实时密集匹配技术：运行速度极快，2到3秒即可完成单个相对匹配，并获得高质量的匹配点云。

⑧抗噪MESH抽取技术：项目采用Delaunay四面体对空间进行分解，利用可视信息对Voronoi图加权和用图割法求解物体表面，依据匹配代价值最小原理利用原始影像和投影几何关系优化重建的MESH，令模型对噪音不敏感、模型锐利且便于后续优化的进行。

⑨基于超分辨率纹理一致性的变分法模型精化技术：在模型精化过程中，使用超分辨率技术对模型纹理进行增强，最大限度提升模型细节，输出纹理清晰、色彩自然、形状完整的三维模型成果，模型成果可达到厘米级精度。

⑩基于变分原理的多视影像匹配技术：通过匹配沿着法向量方向调整每个节点的三维位置，对初始匹配获取的物体表面进行优化，获取高精度的精细物体表面。

⑪全GPU化建模技术：从密集匹配、表面重建到模型Refine均实现GPU化，相比基于CPU的建模实现了10到15倍的速度提升。

⑫并行化集群运算技术：项目采用Google gRPC工业级并行框架设计，配合集群硬件支持对作业流程进行深度的并行拆分，同时基于异构计算技术整合网络环境中的所有节点的CPU/GPU/FPGA等不同计算资源，实现高效分布式集群运算。

⑬海量Tile重组织技术：使用三维切片组织场景数据，一次性即可打开超大倾斜三维场景，对达到常规3至4倍高密度的三维模型进行流畅浏览展示。

### (3) 创新成果

①提出了自动化、智能化、集群化的海量倾斜影像数据处理流程，可单次完成10万张以上倾斜影像处理任务，有效实现实景三维模型生产的全面优化。

②全面攻克了倾斜影像数据处理难点，研发了仿射不变特征提取、基于内容的影像检索、ADMM网络分布式平差等技术，实现影像邻接关系快速确立与可靠的倾斜影像高精度空三解算，利用基于置信度传播的实时密集匹配、抗噪MESH抽取、基于超分辨率纹理一致性的变分法模型精化等技术，实现了达到1:500地籍图测绘需求的精细实景三维模型构建。

③开发了倾斜影像自由网空三与控制点平差、精细三维模型构建、影像智能分区、集群运算等模块，形成了具有自主知识产权的Virtuoso3D全自动倾斜摄影测量三维建模集群系统。

### 2.3 实施效果

作为首批国产自动化倾斜影像三维建模软件，Virtuoso3D自发布后便取得了良好的市场反响，其行业领先的精密空三、精细建模效果、高度自动化的高效作业流程令其从业内脱颖而出，广泛应用于数项倾斜三维相关项目的空三及建模工作中，并取得了优秀的项目效果，对提高实景三维模型的生产效率并降低生产成本，以及促进倾斜技术的发展和具有重大作用。

同时，本项目的成功研发还打破了目前行业内三维建模主要依赖国外软件的窘境，为行业用户提供了国产化、更优质的实景三维建模核心技术，助力国家实景三维中国建设，建设数字中国、智慧社会，有效促进地理信息空间应用从二维向三维转变，并进一步带动行业转型升级，令三维成果广泛应用于基础测绘、城市规划、自然资源调查分类、军事、安防、交通、水利、电力、考古等众多领域，社会和经济效益显著。

### 3 创新点

#### (1) 城市级倾斜数据处理能力

项目具备城市级海量倾斜数据处理能力，可单次完成10万张以上倾斜影像的空三和建模任务。

#### (2) 高度自动化的作业流程

从倾斜影像组织与工程创建、自由网空三与控制点平差、精细三维模型构建、影像智能分区到集群运算全程高度自动化作业，仅在控制点刺点阶段需极少人工干预，但也成功降低90%以上人工刺点工作量，充分减少作业过程人力成本投入。

#### (3) 稳定可靠的空三作业模式

项目广泛采用机器视觉普适性算法，配合仿射不变特征提取、基于内容的影像检索、ADMM网络分布式平差等基于摄影测量的严密解算方式以及深度并行的空三集群处理模式，实现可靠的倾斜影像高精度空三解算并大幅提高空三效率，所获空三成果精度完全优于1:500空三精度要求。

#### (4) 高精度实景三维模型自动重建

项目利用高精度空中三角测量成果，构建基于优质不规则三角网的三维模型，并自动筛选高质量纹理精准映射到模型上，同时通过抗噪MESH抽取、表面变分优化等技术优化模型表面，最大限度提升模型细节，配合全GPU化建模流程，实现达到1:500地籍图测绘需求的实景三维模型高效精细重建。

#### (5) 深度并行的智能化集群运算架构

项目支持智能化任务分区，可按照模型各区块间影像的关联性对大规模倾斜数据进行智能化任务划分，配合Google gRPC工业级并行框架设计与集群硬件支持，实现从特征点提取、特征匹配、自由网平差、精密转点到模型构建的全程并行化处理与分布式高效集群运算，大幅提升项目作业效率。

### 4 保密方面

本项目整体自动化工艺流程、高精度空三解算技术、控制点预测技术、精细实景三维模型构建与模型精化算法、大规模倾斜数据的智能分区与合并技术等需要保密。

### 5 国际比较

#### (1) 与国外软件对比

作为更早开展倾斜摄影与计算机视觉研究并拥有众多倾斜与建模相关开源软件的区域，国外的三维建模软件相较国内更为成熟，在自动化程度与建模效果方面均表现优秀，其中代表性的软件产品包括美国Bentley的Context Capture、瑞士Pix4D公司的Pix4D Mapper、美国Skyline的PhotoMesh以及俄罗斯的Agisoft公司的PhotoScan等，由于这几款软件开发和进入国内时间较早，在国内倾斜影像三维建模领域有着广泛的知名度。

其中，Context Capture是全球最知名、应用最广泛的一款三维建模软件，代表了目前光学影像三维重建领域的最前沿技术水平，能够胜任大规模场景的影像三维重

建，具备优秀的建模效果；Pix4D Mapper虽然建模效果良好，但一次性可处理的照片数量比较有限，更适用于小型三维场景构建；而PhotoMesh和PhotoScan的建模精细度并不特别出色，且PhotoScan还存在着后处理工作量大的问题。此外，这些国外软件还往往具备空三精度不足的缺陷，易导致模型出现断裂、分层等现象。

## (2) 与国内软件对比

目前国内市场三维建模软件较少，应用较广泛的包括深圳珠科创新的Altizure在线三维建模平台以及北京五维智能的Wit3D全自动实景三维建模一体机等，这些软件相比国外软件在模型精细度上略有逊色，但普遍具备更优秀的空三解算精度与空三效果。

而航天远景的Virtuoso3D自动化倾斜摄影测量三维建模集群系统则对标行业内最知名的Context Capture研发，不仅采用了与Context Capture一致的自动化集群作业流程，更实现了优于Context Capture的国际领先的高精度倾斜影像空三、更智能的控制点预测方式以及更便捷的数据处理与建模流程。相比国外软件，Virtuoso3D不仅空三更精确，自动化程度与建模效果也不遑多让，相比国内软件Virtuoso3D作业更智能、建模效果更优秀，经过实际项目应用，目前已在实景三维建模领域取得了良好的用户口碑。

## 四、推广应用情况

### 1、推广、应用情况及社会评价（限 2000字）

#### 1 项目推广应用情况

由于本项目产品Virtuoso3D全自动倾斜摄影测量三维建模集群系统正式产品化为时尚短，且正逢新冠肺炎疫情，目前航天远景仅通过客户推荐、项目参与等方式进行了小规模的有效产品推广，但Virtuoso3D单次即可完成10万张以上倾斜影像的精确空三和精细建模工作的项目应用效果，作业自动化、智能化、空三精确化、建模精细化的产品优势已经令其从市面上众多倾斜三维建模软件中脱颖而出，同时也引来国内外行业相关企业、高等院校的大量感兴趣的客户洽谈对接并申请试用。并且，现阶段大部分意向客户在试用后也有意购入Virtuoso3D全自动倾斜摄影测量三维建模集群系统作为倾斜影像空三处理及建模工具，可见该产品具备较高的客户转化率，后期将带来可观的产品销售营收。

截至目前，Virtuoso3D已通过公司自主承接项目、为客户提供数据服务以及意向客户短期试用方式被广泛应用于基础模型构建、大比例尺测绘、国土资源调查与分类、城市规划、智慧城市与智慧社区建设等大量实景三维相关项目中，并取得了优秀的倾斜影像空三及建模成果，在原始影像分辨率足够的情况下，模型成果完全符合1:500地籍图测绘需求；同时Virtuoso3D也在地信类高等院校进行了倾斜影像处理与实景三维建模教学尝试，高校师生也均给出了满意反馈与一致好评。

此外，在本次武汉市面临严峻的疫情挑战期间，Virtuoso3D全自动倾斜摄影测量三维建模集群系统还助力高效精准完成了武汉市部分疫区的基础实景三维模型构建工作，为抗疫工作贡献出一份力量。可以说，目前Virtuoso3D的初步推广应用已获得了较高的行业认可度与用户的一致好评，同时也可预见后期良好的经济社会效益。

#### 2 项目预期应用前景

由于国内三维建模技术较国外起步较晚且迟迟未能达到一流的建模水准，目前市面上主流的倾斜三维建模软件普遍属于国外，在此背景下，作为国内首批自主研发的国际先进的高质量倾斜三维建模软件，Virtuoso3D全自动倾斜摄影测量三维建模集群系统的成功研发具备打破国外垄断，促进三维建模类软件国产化的重要意义，非常适合国家保密性项目使用。同时Virtuoso3D相比国外同类软件产品更均衡的价格、更完善的技术支持以及更良好的易用性，适应中文使用习惯的操作方式也是其另一优势所在。

并且经过实际项目检验，在正常作业环境中Virtuoso3D单次即可完成10万张以上倾斜影像的精确空三和高质量三维模型精细构建工作，不仅空三效果达到国际领先水平，其生成的三维模型成果精细还原，精度也能够达到1:500地籍图测绘标准，自动化程度及建模效率也均属一流水平，能够有效促进实景三维模型生产向低人力投入、低成本、高质量、高效率的方向转变，对提高实景三维模型的生产效率并降低生产成本，以及促进实景三维应用领域的拓展具备重大作用，能够广泛地应用于基础测绘、城市规划、国土资源、军事测量、考古、公路、铁路、水利、电力、能源、环保、农

业、林业等众多领域。

此外，随着自然资源部部长明确提出空间信息应用要从二维向三维转变，以及“十四五”基础测绘规划编制工作的启动，实景三维中国建设也将得以推动，该工程蕴含着高达万亿级的市场机会。同时我国政府也在持续大力推进智慧城市规划建设，并在党的十九大报告中提出要推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合，建设数字中国、智慧社会，这一切使得整个社会对三维建模和三维成果应用具备前所未有的强烈需求，也为Virtuoso3D这一国产城市级倾斜三维建模集群系统的推广应用带来了极佳机遇。由此可见，Virtuoso3D全自动倾斜摄影测量三维建模集群系统未来的行业市场占比及经济效益营收将十分可观。

地理信息科技进步奖