基于高性能集群的倾斜摄影三维建模技术

聂海滨
黄河勘测规划设计研究院有限公司，河南 郑州 450003
DOI:10.61369/ADA.2025010007

摘　　要： 海量倾斜影像的快速、高效处理是三维实景模型重建中迫切需要解决的问题，本文基于分布式并行处理思想配置集群环境，研究探讨了该集群环境下的倾斜摄影三维建模技术，并完成某测区约38.4 km2的三维实景重建，结果表明该模式配置下的集群建模能充分有效利用计算资源，快速完成测区重建，缩短生产周期且模型绝对精度满足测区建模需求。

关 键 词： 倾斜摄影；三维建模；集群处理；分布式计算

Research on real 3D Modeling Supported by High-Performance Clusters Technology

Nie Haibin
Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd. Zhengzhou, Henan 450003

Abstract: The fast and efficient processing of massive tilted images is an urgent problem in the reconstruction of 3D real-world models. This paper configures a cluster environment based on the idea of distributed parallel processing, and discusses the 3D modeling technology of tilt photography in this cluster environment. The 3D real-world reconstruction with an area of about 38.4 km2 shows that the cluster modeling in this mode configuration can make full use of computing resources, quickly complete the reconstruction of the survey area, shorten the production cycle, and the absolute accuracy of the model can meet the needs of the survey area modeling.

Keywords: tilt photogrammetry; 3D modeling; cluster technology; distributed computing

引言

随着无人机续航能力和相机分辨率的大幅提升，利用倾斜摄影平台快速获取多角度倾斜影像并处理生成具有真实空间位置信息和丰富纹理信息的三维模型，已成为当前三维城市建设、水利工程规划等领域获取空间数据的有效方式之一[1]。倾斜摄影测量三维建模技术已相对成熟，并且已经在测绘、城市规划、水利工程、地质灾害等方面得到了较好的应用。

然而，随着倾斜摄影建模技术应用越来越广泛，低空无人机倾斜摄影的数据量也越来越大，尤其是针对大范围的场景重建时，通常有几十万张海量倾斜影像进行处理，普通计算机是很难满足该类自动化建模需求的，即使选购高配置性能的工作站也会存在计算资源匮乏的问题[2]。而集群技术通过高性能网络将多台服务器集中在一起，每台服务器执行相同处理任务，能提高单位时间内的任务执行效率，具有负载均衡、高扩展性、高伸缩性、高可用性的特点，可有效缓解并发处理压力，为大范围测区任务的自动化建模处理提供强有力的技术支撑[3]。因此本文就对基于集群技术的大范围倾斜摄影三维实景建模技术进行研究。

一、基于集群的三维建模原理

（一）无人机倾斜摄影建模原理

无人机倾斜摄影测量技术是通过在同一飞行平台上搭载多台传感器，同时从多个角度获取地面影像，利用计算机视觉原理自动识别匹配同名点，生成三维密集点云，构建不规则三角网（TIN），最终完成采集对象的三维模型重建。其处理流程主要包含数据预处理，空中三角测量和三维模型重建三大步。其中空中三角测量是三维模型重建中最关键的一步，空三解算结果不好时，重建的三维模型容易存在拉花、分层、建筑物和地物变形等问题，需根据平差结果反复调整平差直至空三解算满足精度要求后方可进行后续三维重建，数据量比较大时该过程对CPU的开销比较大且耗时较长[4]。三维模型重建包含密集点云匹配生成、三角网（TIN）构建、纹理映射三大步，利用常规机器处理时运算慢且耗费时间较长，生产效率严重不足。而高性能的计算机集群通过将多台计算机通过局域网连接起来可以分布式并发的完成倾斜摄影测量各模块中毫无逻辑关系的子任务，并在任务计算结束后返回结果合并，从而极大的节约生产耗时量，提高生产效率[5]。

（二）ContextCapture集群模式下建模流程

Bentley公司的ContextCapture软件是目前生产中广泛使

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

用的可集群建模软件，它集合了先进的数字影像处理技术和计算机虚拟现实技术，具有高兼容性，能对各种对象各种数据源进行精确无缝重建。软件包含 Master、Engine、Setting等模块，其中 Master是用户使用主要模块，可以通过它建立任务，管理任务，提交任务，监控任务处理过程；Engine是任务处理工作模块，用来接收并处理指向 JOB中的任务，处理顺序取决于提交数据的先后顺序或定义的优先级，可在后台独立运行，不与用户交互；Setting主要用来帮助设置 Engine指向的任务路径 JOB[6]。ContextCapture遵循主从模式，由主节点 Master分配任务到 JOB队列，从节点 Engine端分别从 JOB队列接收分配任务并完成计算返回结果，当在多台计算机上运行多个 Engine端时，建模过程中的多个无逻辑关联任务就可以同时并行计算，从而大幅降低处理时间。

但在实际生产中，由于数据量的庞大和重建算法的限制，即使是高性能的集群配置仍然会存在计算机硬件资源的限制且当空中三角测量模块完成关键点提取和自动连接点匹配进行区域网约束平差时仅需要一个 Engine端工作，集群中的其它引擎端闲置，又会造成计算资源的浪费 [7]。综上考虑，本文基于分布式并行处理思想配置集群进行三维重建，首先将连接到局域网的所有节点主机中性能最好的主机作为数据存储和业务处理的服务器，并映射为共享磁盘，设置 JOB工作序列，接着将局域网内的所有节点主机都指向该任务队列，所有工程都建立在该共享磁盘上，从而使每个节点主机既可以作为主机端 (Master)使用又可以作为副机端 (Engine)使用且都可以通过万兆交换机实现海量数据的高速并行存储访问；然后将大测区范围的倾斜数据划分为多个区块 block（每个 block的数据量可按集群资源允许的最大计算量确定），并选择一台或多台主机作为 Master提交一个或多个 block处理任务，JOB队列会按先提交先处理的原则将任务自动分配、排队等待 [8]：当一个空三解算任务或瓦片（Tiles）任务空余出引擎端时，JOB队列会自动分配下一个空三解算任务或切片（Tiles）任务到多个闲置引擎端 [9]。该分布式模式配置下的集群三维重建，各个任务模块的计算结果互不影响，且计算资源也得到了充分利用，可大幅提升倾斜摄影三维重建的生产效率，具体实现过程如图1所示。

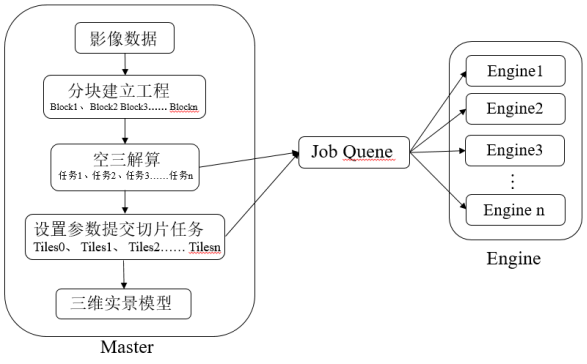

图1 ContextCapture集群模式下建模流程

二、 工程应用

（一）工程概况

工程案例使用某水库淹没影响区房屋拆迁测量数据，测区总面积约15km^2，整体范围呈不规则形，地形为丘陵地带，植被丰富，居民地散落分布。本工程使用飞马的 V100垂起固定翼无人机搭载四镜头倾斜相机采集影像数据，航向重叠85%，旁向重叠70%，拍摄倾斜角度45^0，相对航高400m，共飞行了16个架次，航飞面积约38.4km^2，地面分辨率约0.04m，获取像片90000余张。根据测区地形条件，外业均匀布设了59个像控点和15个检查点，并采用 RTK测量了平面和高程数据。

实验将CPU配置2颗英特尔至强4114，主频2.2GHz，内存64GB，硬盘存储100TB的戴尔 R540机型作为数据高速存储访问的服务器，5台处理器为 i9-7900X 10核3.3GHz，内存128G，显卡 NIVIDIA 2080Ti，显存11GB的图像工作站（戴尔 T5820）及25台处理器为 i7-8700K 6核3.7GHz，内存64GB，显卡 NIVIDIA 2080Ti，显存11GB的图像工作站（戴尔 T3630）通过华为万兆光交换机（S6720）连接组成局域网搭建了集群环境。将服务器的存储盘映射到网络驱动，测区的所有影像数据和建模工程都存储在该网络映射盘上。所有图像工作站均安装同一版本 ContextCapture软件，其中5台戴尔 T5820图像工作站作为主机端，可打开 Engine使用 Master模块建立工程、分配任务；25台戴尔 T3630图像工作站作为副机端，只使用 Engine模块执行任务；所有的工作站都指向关联到了同一 JOB工作队列。这样，在该计算机集群环境下同时提交多个工程任务时，就可以充分利用计算机计算资源有序、分布式的并行处理子任务，实现高效率三维实景重建。

（二）数据处理

根据测区范围大小和最大化利用计算机资源的原则，将16个飞行架次共90000余张影像分成了五个区块并利用4台高配置主机端分别创建工程，加入控制点，提交了空三计算，JOB队列自动按照先提交先处理原则动态分配子任务至多台闲置引擎端，完成后再将空三成果返回各主机端合并；然后设置三维建模的坐标原点和范围，设定切片大小、匹配模式和孔洞修复方式等参数并提交重建任务，多个引擎端并行完成点云密集匹配、TIN构建与优化，纹理自动关联等处理；最后再将各个区块的切片数据合并接边得到整个测区的实景三维模型 [10]。

（三）成果分析

项目最终生成的三维模型如图2所示，从中可以发现建筑物轮廓清晰，细节信息较好且各面纹理完整，地物颜色、形状、位置等与实际环境一致，中心区域的房屋、树木、电杆、路灯、车辆等都得到了较好还原。但是三维模型的绝对精度是否能满足生产需要，还需要进一步进行定量精度分析。本文将在三维模型上直接量测的检查点的三维坐标与外业实测三维坐标值进行对比来评价三维模型的绝对精度。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

图2 局部三维模型

根据中误差及点位中误差的计算公式可得

$$m_x = \sqrt{\frac{1}{15}\sum_{1}^{15}\Delta x_i^2} = 3.5cm$$
$$m_y = \sqrt{\frac{1}{15}\sum_{1}^{15}\Delta y_i^2} = 1.9cm \quad (1)$$
$$m_z = \sqrt{\frac{1}{15}\sum_{1}^{15}\Delta z_i^2} = 3.6cm$$

由式（1）计算可得，测区的15个检查点中X方向的中误差为3.5cm，Y方向的中误差为1.9cm，Z方向的中误差为3.6cm，可见该测区的三维模型精度是符合测区建模需求的。

另外在建模效率上，整个测区90000余张像素大小6000×4000的影像数据，覆盖面积约38.4km^{2}利用该集群计算资源从数据整理到三维模型处理完成共耗时6.5天，极大节约了生产时间，提高了生产效率。

三、 结语

本文基于分布式并行思想配置集群环境，并结合ContextCapture软件完成了某水库约38.4km^{2}大范围场景的集群三维重建，结果表明，该模式配置下的集群能充分有效利用计算资源，大幅提升倾斜摄影三维重建生产效率、缩短项目生产周期，且完成的三维模型绝对精度满足测区建模需求，可广泛应用于城市规划、大型水利工程等的建设中。

参考文献

[1]汪舜敏，杨博雄，李社蕾，等.高性能集群计算环境下实景三维高效建模[J].中国信息界，2024(2):225-227.

[2]刘政.基于云渲染的大规模二三维数据多尺度可视化研究[D].长安大学，2023.

[3]张永刚，张小宏.无人机倾斜摄影测量技术在村庄规划编制项目中的应用[J].测绘通报，2023(S1):21-23,31.

[4]颜丽玲，沙晋明.基于计算特征的分布式空三计算任务调度研究[J].科技创新与应用，2024，14(21):61-64,69.

[5]李保华.倾斜摄影测量在农村地籍测绘中的应用研究[J].农业开发与装备，2024(11):130-132.

[6]王倩，刘攀.基于三维激光扫描技术的无人机倾斜摄影测量三维建模研究[J].科技与创新，2024(1):69-72.

[7]韩婷婷，赵琳，范宪创，等.基于倾斜摄影的实景三维建模技术实践——以平寨水库为例[J].现代信息科技，2023，7(12):108-111.

[8]孟星.基于倾斜摄影建模多技术融合的1:1000地形图测绘[J].地矿测绘，2023，6(4):62-64.

[9]颜明捷.无人机倾斜摄影技术在城市实景三维建模中的应用[J].科技创新与应用，2023，13(10):173-176.

[10]许承权，黄小琴，施政等. 消费级无人机倾斜摄影测量1：500测图方法及精度研究[J]. 测绘地理信息，2020，45（1）:117 ~ 120.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.