引文格式：曹文,吴志军. 基于Cesium for Unreal的自然资源远程协同调查方法[J]. 地理空间信息, 2024, 22(11): 91-94. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.11.018

基于Cesium for Unreal的自然资源远程协同调查方法

曹　文[1]，吴志军[2*]
（1. 广东省国土资源测绘院，广东 广州 510663；2. 广东省测绘技术有限公司，广东 广州 510663）

摘　要：针对传统自然资源地籍调查依赖大量现场工作和后期数据处理导致的调查周期长、成本高等问题，提出了一种基于Cesium for Unreal的自然资源远程协同调查方法。该方法以倾斜摄影获取的实景三维模型为基础，叠加权属、土地利用等业务数据构建调查场景，并通过优化实景三维模型的渲染效果和性能，使自然资源信息以更加直观、真实的方式呈现。在此基础上，自然资源所在地相关政府部门可直接在系统中查看界址、权属等信息，并与实景进行对比核实，然后在线反馈和记录问题；调查单位根据反馈在系统中直接修改数据，完成后即可与政府部门进行线上确认和签字。肇庆某湿地公园的试点应用结果表明，该方法能显著提高自然资源地籍调查效率，压缩工期，具有较好的应用前景。

关键词：自然资源调查；Cesium for Unreal；协同调查；实景三维模型
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）11-0091-04

Remote Collaborative Survey Method for Natural Resources Based on Cesium for Unreal

CAO Wen[1], WU Zhijun[2]
(1. Surveying and Mapping Institute Lands and Resources Department of Guangdong Province, Guangzhou 510663, China;
2. Guangdong Surveying and Mapping Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: Traditional natural resource cadastral survey methods rely on a lot of field work and post-data processing, resulting in long survey cycles and high costs. To address these issues, we proposed a remote collaborative survey method for natural resources based on Cesium for Unreal. Taking real scene 3D model acquired by oblique photography as the basis, the method constructs a survey scene by overlaying business data such as ownership and land-use. By optimizing the rendering effect and performance of real scene 3D model, natural resource information is presented in a more intuitive and realistic way. On the basis of this, relevant government departments can directly view boundary and ownership information in the system, compare and verify with the real scene, and then provide online feedback and record problems. Survey units can directly modify the data in the system according to the feedback, and then confirm and sign online with government departments upon completion. Through a pilot application in a wetland park of Zhaoqing, it is found that the proposed method can greatly improve the efficiency of natural resource cadastral survey, compress the project duration, and have good application prospect.

Key words: natural resource survey, Cesium for Unreal, collaborative survey, real scene 3D model

传统自然资源地籍调查需要调查单位先收集已有多源资料，生成所需的工作底图和地籍调查初表；再联系自然资源所在地相关政府部门进行现场指界，核实该自然资源的登记单元界线、权属状况、自然资源类型和公共管制信息是否有误，若有误需在图纸上进行记录，后续录入系统进行更新；最后重新输出图件并联系自然资源所在地相关政府部门进行签字确认。整个调查核实过程繁杂，涉及多次现场沟通工作，实施效率较低，加上二维地籍不能全面准确反映空间上的自然资源分布状况，易造成空间产权管理困难和相关纠纷等问题[1]。

随着摄影测量技术的发展，自然资源地籍调查核实场景逐渐能被更精确、更真实地还原，因此越来越多的学者开始研究基于实景三维模型的自然资源远程在线协同调查方法，如依托Cesium开发三维自然资源管理平台[2-4]，虽能加载实景三维模型和矢量数据实现在线调查，但Cesium作为传统三维地理空间引擎，其实时渲染和交互性效果比游戏引擎差，且不支持实时全局光照、屏幕空间反射等技术，场景缺乏层次感和光影变化，场景真实感较低；同时采用的WebGL技术

收稿日期：2024-05-08。
项目来源：广东省科技计划资助项目（2021B1212100003）。
第一作者简介：曹文（1989—），本科，高级工程师，从事自然资源确权登记、不动产登记、地籍调查以及地理国情监测等工作，E-mail：461028314@qq.com。
通信作者：吴志军（1976—），硕士研究生，高级工程师，从事地理信息工程、国土调查、工程测量等工作，E-mail：591694566@qq.com。

严重受制于浏览器，无法充分发挥硬件性能。郭美卉[5]、高建岗[6]等基于Unity3D、Unreal Engine等游戏引擎开发了三维自然资源管理平台，虽然有较好的渲染效果和性能表现，但对大规模自然资源地理数据的精确表达和渲染能力较弱，且缺乏地理空间分析能力。刘刚[7]等将地籍调查“云指界”采用视频会议的形式进行线上指界，虽然实现了申请人线上操作功能，但作业人员还是要去现场进行操作，同时视频会议无法呈现准确的地理信息，指界问题记录和修改都需要线下进行数据更新，准确性和效率有待提升。相比之下，Cesium for Unreal结合了Unreal Engine和Cesium的优点，具有高级渲染技术，提供了比传统地理空间引擎更逼真、更动态的视觉效果；同时具有强大的地理空间数据处理能力，能有效渲染和分析多源、海量地理空间数据。总的来说，Cesium for Unreal在结合真实世界地理信息与高质量三维渲染能力中具有明显优势，特别适合需要高度真实感和大规模地理空间数据处理的应用场景。

1 基于Cesium for Unreal的自然资源调查方法

针对上述问题，本文提出了一种基于Cesium for Unreal的自然资源远程协同调查方法，以实景三维场景融合业务数据呈现待调查自然资源的真实自然环境和待确认各项信息，以倾斜摄影获取实景三维模型为基础[8]，叠加权属数据、土地利用等业务数据构成待调查区域的自然资源实景三维场景，作为远程协助调查的基础。自然资源所在地相关政府部门能在真实场景中直接查看该自然资源登记单元的界址线、界址点位置以及自然资源类型信息、自然资源图斑的权属信息和地类信息等业务数据，并在漫游过程中直观地与实景三维场景进行对比，核实各项问题，然后在线上进行问题反馈和记录。调查单位在系统中修改数据后，即可与自然资源所在地相关政府部门进行线上确认和签字，全程在线上完成调查工作，大幅提升了作业效率。

1.1 构建自然资源调查实景三维场景

调查单位整合现有多源资料，构建实景三维自然资源调查场景。通过优化渲染效果和性能，更加精细地展示地形、植被、水体等自然资源元素，使自然资源所在地相关政府部门能够身临其境般直观感受实地环境，顺利开展线上调查工作。

1.1.1 基础数据处理

1）基础地形构建。利用Unreal Engine的Landscape工具将导入的DEM数据生成三维地形；再通过级联地形系统将地形分成多个分辨率级别[9]；最后根据不同视角和位置加载适当级别的细节，实现地形的高效加载。

2）矢量切片发布。利用GeoServer将自然资源登记单元界址线、界址点、自然资源图斑等矢量数据发布为矢量切片，以便高效加载和渲染。

3）倾斜摄影模型处理。将倾斜摄影模型从osgb格式转换为3D Tiles格式[10]，并进行单体化处理；再将土地利用类型、权属等属性信息关联到倾斜摄影模型，确保每个三维模型实体都能展示其对应的属性信息[11]。

1.1.2 场景优化

为提升渲染效率，首先需对场景模型进行优化，主要包括网格优化和纹理优化。网格优化的常用算法包括MeshQuan、MeshOpt、Draco等，其中Draco算法可能会改变网格中顶点的顺序和数量，使模型失真；而MeshQuan是一种有损压缩算法，虽然压缩率高但也会影响模型质量。相比之下，MeshOpt算法在兼顾模型质量的同时具有较高的压缩率，具有较好的综合效果。本文主要采用纹理合并和纹理流技术对纹理进行优化。纹理合并技术通过将多个纹理合并成一个大的纹理图集来减少纹理数量，提高渲染性能和内存利用率。纹理合并时需注意边界处的接边处理，确保合并后的纹理无缝连接。纹理流技术采用基于相机距离和优先级的策略来动态调整纹理的加载和卸载行为，以降低内存占用并加快纹理的加载速度。

1.1.3 渲染优化

实景三维模型能较好地呈现地形、地貌情况，但对水面仅以三角网和贴图的形式呈现，失去了水体自带的透明、流动、反射和折射等特征[6]。同时，由于Unreal Engine中的大气渲染效果消耗性能较多，需通过优化方案减小性能消耗，增强系统适用性。

1）水体渲染优化。通常水体的透明度与深度相关，深度越大透明度越低；且菲涅尔系数的增加也会降低透明度。因此，本文首先以水体深度加上菲涅尔系数后乘以DepthFade的结果作为水体校正后的不透明度，从而实现随深度和折射效果变化的动态透明水体；然后通过法线贴图来模拟水面波纹效果，为法线贴图加上UV动画即可让波纹动起来，由于真实波浪是多个波浪叠加的产物，可对水波法线做多次不同的缩放和不同方向的偏移，再将多次采样结果混合，模拟不同频率、不同方向波浪的叠加效果，从而实现逼

真的水面波纹[12]；再通过反射探针实现反射效果，在水平面以下渲染一张材质，并用水波法线或噪声纹理扰动其UV，重采样这张渲染材质使之呈现折射效果；最后为水体增加菲涅尔材质以反射和折射在透明材质中的融合伴生效果。

2）大气渲染优化。体积光近似模拟首先在区域中布置一个较大的面片，再根据光源方向的阴影图将面片分割并向外推出，从而得到所需形状的体积光效果（图1）[13]。其主要缺陷在于面片需足够精细以保证效果，不适用于精细的室内场景，但自然资源调查场景相对宏观，呈现效果不会受到明显影响。Unreal Engine中采用Ray Marching方法实现体积云效果（图2）。为提升性能，可通过Raymarch Height Map与平行光方向计算得到对应的阴影，再对阴影进行视差贴图从而快速得到有立体感的云朵贴图。其缺陷在于该方案得到的是二维贴图，视角变化较大时则会失去三维效果。由于用户视角的局限性（不会飞到天空从不同角度观察云、雾），因此该缺陷并不会影响实际渲染效果。

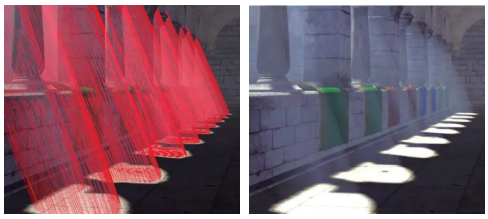


图1　体积光近似模拟示意与效果图



图2　体积云近似模拟效果图

1.2　远程协同调查

1）在线数据展示。在远程协同调查平台上，将实景三维场景与业务数据进行融合展示，在实景三维场景中对自然资源登记单元的界址点、界址线进行落界，直观确认登记单元的具体位置和走向，使自然资源所在地相关政府部门和调查单位能直观查看自然资源登记单元的界址线、界址点位置和权属等信息。

2）场景共享。对构建完成的实景三维场景相关数据进行脱密，再通过政务网共享给自然资源所在地相关政府部门，便可访问这些场景，实现远程协同调查。

3）交互式核实与反馈。自然资源所在地相关政府部门在三维场景中漫游，直观地与实景三维场景进行对比，核实界线、权属等信息。若发现问题，可直接在系统中进行标注和反馈，也可通过实时视频会商进行沟通协调，极大地提高了工作效率和协作能力。

4）调查核实权属界线。调查核实权属界线主要是以国有建设用地使用权和集体土地所有权确权登记成果为基础，内业以高分辨率影像为参考、以同名地物点为依据，分析、判绘权属界线，对无疑问的权属界线给予确认[14]；对存在疑问、不合理、缺失的界线进行标识，外业重点核实和补充。

1.3　数据更新与线上确认

1）问题处理与数据更新。调查单位根据自然资源所在地相关政府部门的反馈，在系统中修改数据，解决发现的问题。修改后的数据和场景及时更新，无需等待纸质图件的修改和重新输出。

2）线上确认与签字。自然资源所在地相关政府部门对修改后的数据和场景进行最终确认。确认无误后，通过系统进行线上电子签名，完成整个调查过程。

远程协同调查大幅提升了自然资源调查的效率和准确性，也提高了自然资源所在地相关政府部门的参与度和满意度。整个过程减少了繁琐的现场勘查和纸质材料处理工作，实现了调查工作的高效和数字化。

2　应用案例分析

本文以肇庆某湿地公园登记单元为试点，利用倾斜摄影测量模型、自然资源登记单元、权属分区、自然资源状况分区、公共管制分区等数据构建了自然资源地籍调查三维场景，并依托系统进行了线上调查工作。调查人员利用自己的笔记本电脑完成了整个线上调查过程，对实景三维场景自然资源调查过程的操作比较流畅，平均FPS为28帧。从前期准备到完成签字盖章整个调查核实过程耗时约15 d，约比传统线下模式缩短了10 d，尤其是核实指界阶段，用时约缩短了6 d，大幅提升了自然资源调查效率。

2.1　多源数据融合的三维可视化调查

系统充分利用Cesium for Unreal强大的可视化渲染能力，对倾斜摄影模型、地形高程、矢量、影像等多源异构数据进行三维可视化融合展示，构建了高精度、高真实感的实景三维模型。在此基础上，系统将自然资源业务数据叠加到实景三维模型中，实现了业务数据与三维模型的无缝融合[15]。调查人员可在逼真

的实景三维场景中直观查看调查区域的地物、地貌、坡度、权属界线走向等具体情况，极大地提高了调查数据的可读性和可理解性。基于三维场景的漫游、飞行、量算等功能，调查人员可在室内实现野外实地勘查工作，有效减少了外业工作量。

2.2 基于政务网的在线审核与远程签字

传统调查模式中调查成果需打印成图纸，再提交自然资源所在地相关政府部门进行调查核实，通过核实后还需现场签字盖章确认，流程非常繁琐。系统依托政务网技术，实现了调查成果的线上核实与远程签字确认。调查单位完成数据处理后，通过系统提交自然资源所在地相关政府部门进行线上核实，核实人员登录系统后，利用三维可视化功能直观查看调查成果，对于发现的问题或疑问可直接在系统中进行批注和反馈。待调查成果修改完善后，核实人员通过系统进行电子签名确认，替代了传统纸质签字流程，极大地提高了工作效率。

2.3 三维调查成果的一键式导出

系统支持将三维调查成果一键式导出为符合国家、省级的二维成果，包括自然资源登记单元界址线、界址点、权属分区、自然资源状况分区、公共管制分区等。在导出过程中，系统自动对三维坐标进行投影变换，成果符合传统二维测绘的坐标系要求。同时，系统可根据设置的制图规则与参数，自动完成图件整饰，所有注记、图例、比例尺等符号可自动生成并排布，替代了传统人工制图。

2.4 三维实景模型贯穿的调查全流程

系统不仅支持调查核实环节，还覆盖了自然资源内业调查、数据建库等全流程。自然资源地籍调查采用多源数据处理技术，将已有的自然资源相关数据叠加到三维模型中[16]，调查人员利用三维协同调查技术开展内业调查、外业核实、数据建库等工作，然后在系统中完成数据更新，最后通过一键式成果导出功能直接输出自然资源地籍调查成果。整个过程依托三维实景模型，实现了数据准备、调查、核实、建库的全流程数字化、自动化，极大地提升了工作效率，压缩了工期，为自然资源确权登记节省了大量的人力物力。部分应用场景效果见图3~5。



图3 地籍调查数据叠加显示



图4 倾斜模型叠加显示



图5 核实问题记录

3 结 语

本文提出了一种基于Cesium for Unreal的自然资源远程协同调查方法，通过构建高精度、高真实感的实景三维场景，将自然资源业务数据与三维模型进行无缝融合，为自然资源所在地相关政府部门和调查单位提供了一个直观、准确的数字化协同调查平台。相较于依托Cesium的三维自然资源管理平台和基于Unity3D、Unreal Engine等游戏引擎的三维自然资源管理平台，该系统具有超高质量的实时渲染效果和强大的地理空间数据处理能力，不仅支持自然资源调查核实环节，还覆盖了内业调查、数据建库等全流程，通过三维可视化交互、在线审核与远程签字、一键式成果导出等特有功能，实现了自然资源地籍调查工作的数字化与自动化。经过试点应用，该系统能显著提升自然资源地籍调查的工作效率，压缩工期，节省人力物力。调查人员利用系统提供的三维漫游、量算、批注等功能可在室内完成大部分外业勘查工作；通过政务网进行在线核实与远程签字，取代了传统的纸质流程；一键式成果出图功能替代了人工制图，使得最终成果的输出更加方便快捷。综合来看，系统在提高自然资源地籍调查效率、提升成果质量等方面具有广阔的应用前景。

未来将进一步探索采用除倾斜摄影外的其他实景三维建模方法开展调查，如基于深度学习的图像重建方法能从大量普通图像中智能提取和构建三维信息，具有高效且成本较低的优势，可为自然资源地籍调查工作提供更多具有创新性和实用性的解决方案，有利于进一步推广到更多的应用场景当中。同时，将进一步完善系统功能，如加入移动端支持、优化三维场景数据组织与调度机制、扩展更多数据处理与分析工具等，使其能适应更加复杂多样的应用场景需求。将积极推广该系统服务于更多的自然资源管理部门，让先进的数字化技术惠及更广泛的自然资源调查工作，为自然资源确权登记工作提供有力支撑，促进自然资源

（下转第99页）