引文格式：王立平. 三维航道多模态渲染关键技术研究与实现[J]. 地理空间信息, 2024, 22(7): 101-103. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.07.023

三维航道多模态渲染关键技术研究与实现

王立平[1]
（1. 交通运输部南海航海保障中心 广州海事测绘中心，广东 广州 510320）

摘　要：传统航道渲染方法因缺乏周边地理要素和实时数据，导致其难以全面应用。为解决该问题，研究了一种大规模三维航道处理和渲染方法，整合了航道周边的静态和动态信息，实现了三维航道多模态渲染。在珠江口等区域进行验证，结果表明与插件或本地化方法相比，该方法显著提升了航道数据的利用效率，有助于提升航道管理水平。

关键词：三维航道；动态水面；AIS；三维航标；SuperMap
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）07-0101-03

Research and Implementation of Multi-modal Rendering Key Technologies of 3D Navigation Channel

WANG Liping[1]
(1. Guangzhou Hydrographic Surveys Center, Navigation Guarantee Center (South), Ministry of Transport, P. R. China, Guangzhou 510320, China)

Abstract: Traditional methods of navigation channel rendering lack the integration of surrounding geographical elements and real-time data, resulting in limited applications. To solve this problem, we researched a large-scale 3D navigation channel processing and rendering method, which could integrate static and dynamic information surrounding navigation channel and achieve the multi-modal rendering of 3D navigation channel. Verification in areas such as the Pearl River Estuary show that this method has significantly improved the utilization efficiency of navigation channel data compared to plugin or localization methods, contributing to the improvement of navigation channel management.

Key words: 3D navigation channel, dynamic water surface, AIS, 3D navigation sign, SuperMap

随着海洋强国战略的深入实施，我国海洋经济呈高质量发展态势，海洋测绘技术也得到了前所未有的发展。本文以二三维海陆一体空间信息管理系统为例，探讨了三维航道多模态渲染的关键技术。首先通过无人机航测、三维激光扫描、时空大数据融合、物联网数据感知等技术收集了影像、点云、三维场景、高程、水文和二维矢量等数据，再进行清洗、抽取、格式转换、模型构建、场景融合等步骤，最终形成一个统一时空基准、坐标精确的二三维模型数据库[1]。航道水深数据作为基础数据，具有数据量大、密度级高、可视性差等特点，且受限于网络传输、浏览器性能、兼容性等因素，在Web端对航道进行多模态渲染，距离实际应用仍有很大差距。航道多模态渲染是将航道中的各要素融合在一起，呈现一个全景航道景象，为用户提供更丰富、逼真的航道场景和交互体验。在三维航道渲染方面，已有不少学者进行了研究，如马丹[2]等采用HSL颜色模型和OpenGL三维图形库建立了真实感海底地形场景，但只能在本地使用，数据共享受到限制；陈殿称[3]等提出了分级渲染与可视化方法，通过4组渐变颜色划分水深区间，再将其RGB值与光照模拟得到的灰度值进行叠加，最终得到地形晕眩图，但大场景三维航道的渲染效率存在不足。

WebGL技术的引入为Web端的三维可视化带来了全新的解决方案。该技术通过WebGL实现了大规模三维数据的高效渲染，并在渲染帧率、动画效果和交互体验等方面取得了显著突破。Cesium是基于WebGL的一款三维地球引擎，目前已开始引领新一代Web地图应用的发展。Cesium还对加载的数据进行了优化，提出了3DTiles开放式规范，使海量三维数据可以更快地加载和展示[4]。SuperMap的GIS平台在Cesium的基础上提供了一套完整的工具，涵盖数据处理、服务发布和三维GIS应用的各个环节。二三维海陆一体空间信息管理系统运用SuperMap GIS平台和QGIS等对三维航道、三维船舶、三维航标和动态水面等要素进

收稿日期：2023-08-17。
作者简介：王立平（1983—），本科，高级工程师，主要从事海洋测绘及信息化系统工作，E-mail：181362456@qq.com。

行叠加，各要素相互交织、相互影响，共同构建一个三维航道多模态场景。

1 技术路线

从实现三维航道多模态渲染的目标出发，航道多模态数据包括航道水深、航标、水面、AIS等4种类型。针对不同类型的数据源采用不同的方法，数据处理框架见图1，具体内容为：①航道原始数据为带有坐标的水深点数据，先构建数字地形模型，再利用QGIS等对其进行着色渲染，分别生成地形和渲染切片；②对于航标数据，利用SuperMap GIS平台进行数据处理，将其转为三维模型数据并通过IServer服务器进行发布，并在Web平台中调用；③对于水面数据，为营造水面的动态效果，采用WebGL的渲染管线，利用GLSL来编程实现水面的波纹、反射、色彩等动态效果；④对于船舶AIS数据，则利用实例化技术实现动态数据的大规模渲染。

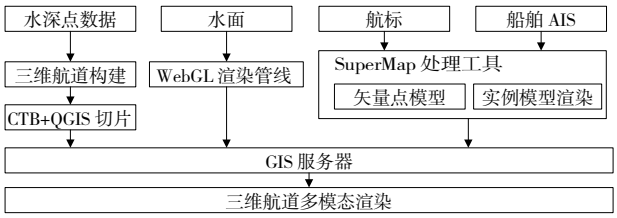


图1 各类数据处理技术路线

2 航道模型构建方法

2.1 航道数据预处理

由于航道的几何形态曲折、宽窄不一、水深分布复杂，基于规则格网和基于等高线的方法无法准确表达航道特征，因此不适用于三维航道模型的构建[5]。TIN格网因其数据结构和准确性等特点，成为目前三维航道地形常用的构建方法。首先，对原始水深点数据进行清洗和筛选，剔除异常值和噪声，并采用克里金插值方法填补数据空缺。克里金插值是一种常用的空间插值方法，可根据已有数据的空间相关性来预测缺失位置的数值。Delaunay三角化算法可根据点集的空间分布，自动形成不重叠的三角形，其中每个三角形的外接圆内不包含其他点。然后，基于插值后的水深点数据，利用Delaunay三角化算法生成TIN。由于构建的三角网存在一些非必要狭长三角形和少量非最近相邻点构成的三角形，导致无法准确显示航道地形[6]，因此再利用Alphs-shapes算法对其进行优化；同时为消除TIN格网中过于尖锐的角和减少网格变形，采用Laplacian算法对网格进行平滑处理。最后，根据TIN网格的高程信息进行栅格化，其中每个像素点代表一个水深数据，且能反映水域的形状、深度、宽度等特征。

2.2 航道数据切片

为了实现对三维航道的快速加载和渲染，需对航道进行切片处理。切片处理主要包括航道地形和航道着色渲染两个部分，航道地形借助CTB工具进行处理，CTB工具被广泛应用于切片处理，能高效地对地形数据进行切块；航道着色渲染利用开源工具QGIS为航道着色，并在切片处理时生成具有真实感的渲染效果。该过程在三维航道渲染中具有重要意义，有助于提高航道数据的可读性和实用性。

1）航道地形切片。首先，利用CTB工具对三维航道栅格数据进行切片。切片前需设置输出文件夹、起始层级、结束层级、重采样方法、压缩比等参数；切片后生成不同层级的.terrain文件。然后，利用SQLite驱动程序将CTB生成的.terrain文件保存为MBTiles格式，以便在Cesium中高效加载和渲染。MBTiles是一种适用于SQLite数据库的瓦片地图数据存储规范，将大规模瓦片数据存储在基于SQLite的MBTiles格式文件中，既满足了查询和读取速度快的要求，又具有可移植性好、操作简便的特点[7]。最后，为保证数据的安全性，需在数据转换过程中对切片进行偏移。由于MBTiles数据存在一定安全风险，易被恶意篡改或盗用，因此采用偏移算法对切片数据进行处理。偏移算法的原理为对切片的空间索引 z、x、y 进行增减，并在渲染时再加上偏移量还原原始值。这样，即使MBTiles数据被泄露或拷贝，也无法直接获取真实的地形切片索引，从而增强数据的安全性。偏移算法不会影响地图显示效果，因偏移量较小不会造成明显误差。

2）航道渲染切片。三维着色是一种优化三维数据可视化效果的方法，根据三维数据的不同属性或分类为三维数据分配颜色并进行渲染。首先，利用QGIS对三维数据的栅格数据进行分级设色，生成彩色三维图像。分级设色是通过色相的不同或色调的变化来表示现象数量分布的方法[8]。根据水深值进行分级设色，选取从浅绿到深蓝的渐变色系，以体现水深的变化，分级效果见图2。为了突出航道形态，本文对水深数据进行极差处理，使航道在三维图像中更加直观立体，地形极差前后对比效果见图3。然后，将QGIS生成的彩色三维图像保存为XYZ格式的切片数据，以便在Web端加载和显示。保存时需利用QGIS提供的栅格工具生成XYZ瓦片（目录）功能，并设置输出范

围、输出目录、分辨率等参数。XYZ格式是一种存储和传输瓦片地图数据的规范，按照不同缩放层级和坐标将地图划分为多个正方形瓦片，并按照特定命名规则进行编号。

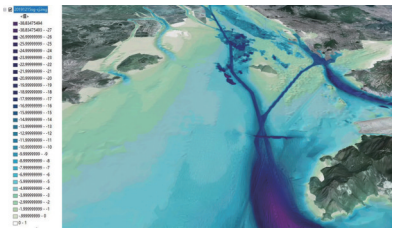


图2　水深分级与分级效果

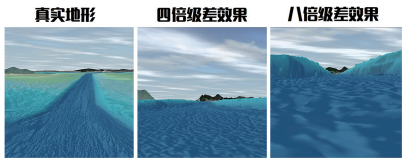


图3　地形极差前后效果对比

2.3　航道数据发布

Tornado是一种基于Python的异步网络框架，可提供高性能的Web服务。利用Tornado组件创建一个简单的Web服务器，用于读取MBTiles文件中的.terrain文件，并将其以二进制流的形式返回给客户端。读取MBTiles文件的过程中，需采用SQLite3模块链接数据库，并根据请求的瓦片坐标和层级查询相应的数据表。

2.4　航道三维可视化

为在Web端展示三维航道，利用基于Cesium的SuperMap iClient 3D三维地球可视化平台，并调用航道地形和渲染切片服务，加载和渲染三维航道的地形和影像数据。首先在Web中调用地形服务和XYZ切片服务，创建一个Viewer对象，并通过Terrain Provider的实现类请求高程瓦片数据，计算高程点信息[9]；再通过Imagery Provider请求XYZ切片服务；然后设置边界矩形框，以限制视图范围，并将相机视角飞到指定区域；最后在三维地球上就可以看到三维航道的地形和影像效果（图4）。

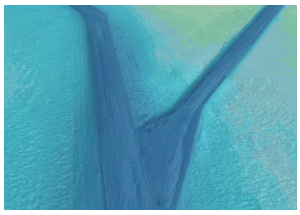


图4　三维航道渲染效果图

3　航道多模态渲染的实现

在对航道地形进行渲染的基础上，叠加航标、实时船舶、动态水面等数据，可为用户展示逼真的航道场景。首先根据航标位置固定的特点，采用三维切片技术解决性能问题，并通过分级优化满足多层次显示效果；然后针对船舶数据的实时渲染，采用动态加载方案和实例化技术只绘制一个对象，降低了电脑硬件压力，提高了渲染性能[10]；再利用WebGL的可编程管线模拟动态水面，提升航道的视觉质量；最后叠加动态船舶、静态航标、动态水面以及航道地形渲染后的航道渲染，呈现一个生动、真实的多模态航道景象（图5），为用户提供全面的、具有交互性的观测体验。

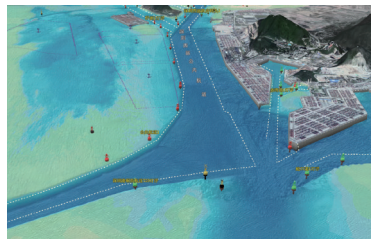


图5　航道多模态渲染效果图

在珠江口伶仃航道附近水域，客户端环境为Google Chrome110.0，CPU为i7–9750H，内存为32 GB，显卡为Quadro P600，在加载三维航道、航标、动态水面等要素后，经测试当加载的船舶数量为1 000艘时，显示帧率约为40 fps，基本能流畅使用，具体船舶数量与帧率情况见表1。

表1　船舶数量与帧率

船舶数量/艘	帧率/fps	船舶数量/艘	帧率/fps
4 500	12	1 000	40
3 000	17	500	42
2 000	24	200	56

4　结　语

二三维海陆一体空间信息管理系统对三维航道多模态渲染关键技术进行了研究。该技术方法基于CTB工具和SuperMap GIS平台，制作了三维航道模型相关数据；利用WebGL实现了三维航道的大规模渲染，有效解决了三维航道数据大规模共享和利用问题；利用WebGL中的实例化技术加载三维动态船舶数据，提高了大规模三维模型加载效率；利用WebGL可编程管线和GLSL语言，实现了动态水面绘制，极大地增加了整个航道场景的真实感和细节，进一步提升了航道的视觉质量。该技术方法在珠江口、北部湾等水域的成功应用，验证了其可行性和正确性，满足了航道数据的三维展示与利用需求。未来，计划融入气象、锚地、港口、桥梁等更多业务数据，并进一步扩大应用范围，为智能船舶、智慧航运和智慧监管提供更多支撑。

（下转第113页）