

海洋标量数据的三维动态可视化系统研究

王想红^{1,2}, 刘纪平¹, 王 亮¹, 王 勇¹, 徐胜华¹

(1. 中国测绘科学研究院, 北京 100830; 2. 辽宁工程技术大学 测绘与地理科学学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 为了实现海量、多源、异构、多维、多格式、动态等特性海洋标量数据的三维集成可视化, 设计了基于服务思想、面向通用标量数据格式的三维虚拟可视化体系架构, 构建了海洋三维可视化原型系统, 并对其体系架构和功能设计进行了详细阐述; 采用基于几何对象的可视化方法, 结合 LOD 动态调度、表面纹理及快速查询等关键技术, 实现了海洋标量场数据的高效、快速三维动态可视化、要素值查询及时序分析等功能。该研究可为其他海洋环境要素数据的可视化与分析提供思路与技术借鉴。

关键词: 虚拟场景; 海洋标量场; 三维可视化; 几何对象方法

中图分类号: P208; P731.11 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2013)07-0090-05

随着人们对海洋环境的长期调查与研究, 以及海洋环境探测技术的发展与应用, 产生了海量的复杂海洋环境数据。海洋标量数据是一类只有海洋要素测量值大小, 没有方向信息的海洋环境数据, 具有多源、海量、异构、多维及动态等特点, 研发直观的三维动态可视化系统是分析探究其内在规律及发展变化的有效办法。

目前, 基于海洋 GIS 环境进行海洋领域数据的统一管理与可视化, 特别是三维可视化表达是海洋信息化建设的热点问题之一。国内外学者已开展了一些相关研究, 如苏奋振等^[1]研制了海洋地理信息系统软件 MaXplorer, 针对海洋数据的特性, 实现了对海洋数据的统一管理、三维分析及动态可视化。许多研究主要是针对某种海洋数据进行多维动态可视化系统的设计与实现^[2-5], 系统功能单一, 普适性较差。肖如林等^[6]分析了三维虚拟地球在海洋应用方面的优势, 研发了基于网格架构的三维虚拟海洋信息操作平台原型系统, 实现了基于网格的网络环境下多源海洋环境信息的集成; 张峰等^[7]研究实现了基于 Skyline 平台的数字海洋可视化系统; 李新放等^[8]研究了基于 OSG 的海洋信息三维可视化系统, 实现了海洋环境数据产品的三维集成展示; Dunne 等^[9]按照 OGC 数据传输标准, 将多波束声纳数据集成到 World Wind, 实现了网络三维表达; 同时, 各大公司及相关业务部门也开展了相关研究, 2002 年底, ESRI 公司提出了面向海洋三维数据的海洋数据模型草案, 其桌面产品也一定程度上支持多维数据的可视化表达; Google 于 2009 年初推出了 Google Ocean, 基于

三维地球球体实现了大范围的海底地形三维可视化, 但缺乏对海洋要素的可视化表达; 2009 年 6 月, 国家海洋信息中心正式发布了 iOcean 中国数字海洋公众版, 实现了中国海域海底、水体、海面、海岛等多种海洋自然要素、海洋现象及其变化过程的数字化重现和立体展示, 但其侧重于可视化展示, 对海洋环境要素的分析功能较少^[10]。

综上所述, 国内外学者已开展的研究主要局限于小范围、局部区域海洋环境的可视化, 普遍采用二维平面或局部三维方式进行表达, 由于海洋环境的复杂性, 基于三维虚拟场景进行海洋环境数据可视化的宏观研究比较少, 已有的研究成果主要是完成了针对某种海洋环境数据的表达分析, 多维、动态表达及分析方面的研究相对缺乏。

本文通过综合分析已有研究成果及应用现状, 针对海洋标量场的特点, 研究了基于几何对象的标量场可视化方法, 设计并实现了海洋标量数据三维动态可视化原型系统, 对海洋环境信息的三维动态可视化表达与分析研究具有重大的现实意义和指导价值。

1 系统设计

1.1 系统体系结构

海洋标量数据三维动态可视化系统以自主研发

收稿日期: 2012-04-12; 修回日期: 2013-05-22

基金项目: 远海岛礁地理信息监测关键技术研究及示范

(2012BAB16B01); 国家自然科学基金项目(40901195); 中国测绘科学研究院科技专项(777101606)

作者简介: 王想红(1983-), 男, 甘肃秦安人, 博士研究生, 主要研究方向为三维 GIS, 电话: 010-63880568, E-mail: wxh0828@sohu.com

的三维虚拟地球可视化平台为依托,采用 Java™ 开发语言和 OpenGL 图形渲染引擎进行开发,实现了海洋数据的多维动态可视化和分析功能。系统主要由数据层、服务层、渲染实现层及应用展示层四部分组成,总体框架如图 1 所示。

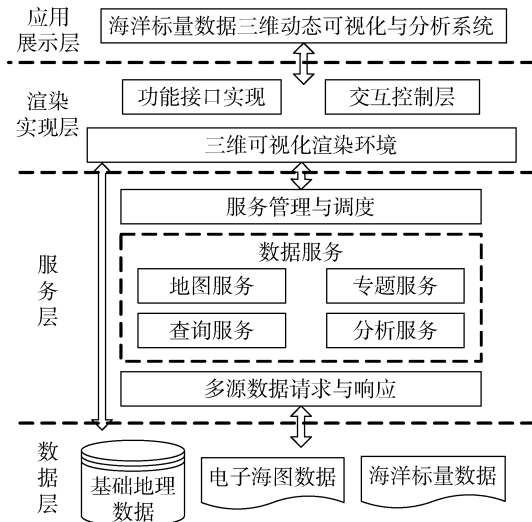


图 1 系统体系结构

Fig.1 System Architecture

数据层主要是指系统可加载的各类数据,除三维场景加载的陆地影像、DEM、地名及矢量数据外,还包括海底 DEM、电子海图数据及海温、盐度等海洋环境数据,该数据可被直接调用绘制,也可通过数据服务进行加载;服务层用于管理和发布各类数据服务、查询分析服务等,实现多源数据的请求与响应;渲染实现层提供数据可视化及交互环境,主要包括功能接口实现层及交互控制层,其中前者是根据系统功能需求,设计系统所要执行操作的接口,确定接口参数,按照接口参数数据类型,将不同数据文件的读取信息进行转换,并传入接口,实现具体图形的绘制;而后者则响应用户操作,结合三维可视化模块实现自由交互;应用展示层可通过嵌入式网页或独立应用程序方式展现海洋环境信息,为用户提供友好交互平台。

1.2 主要功能设计

针对海洋标量数据特点及其表达的业务需求,设计了数据预处理、多维可视化、动态表达及分析等主要功能模块。

数据预处理模块主要完成对实测数据的处理,通过投影转换、格式转换、裁剪、插值及抽取等操作,将其存储为系统可解析的格式,实现多源数据

的有效三维集成。系统支持 NetCDF、文本等海洋数据存储格式的加载。

可视化模块实现海洋标量数据的多维表达及分析结果的展示。支持对海洋要素的点、面可视化,分析结果主要是以统计图表、HTML 等形式展示。动态表达模块则用于描述海洋要素过程随时间的变化情况,回溯其演变过程。

分析功能模块提供对海洋环境要素的物理值查询、时间序列分析、垂向剖面分析等功能,为探究其变化规律、预测发展趋势等提供直观、全面的信息参考。

2 系统实现

根据自主研发三维虚拟地球平台的对象渲染机制,设计了时间关联的标量数据场动态渲染模型,实现海洋环境标量场数据的三维动态展示与分析,绘制流程如图 2 所示。在整个系统的研发过程中,系统硬件环境为 Dell OptiPlex 755 PC 机, Windows XP 操作系统, Intel 酷睿 2 双核 32 位处理器, 2G RAM; 软件环境采用 Eclipse 3.4, 基于 OpenGL 与 NetCDF-Java 相关库进行开发。

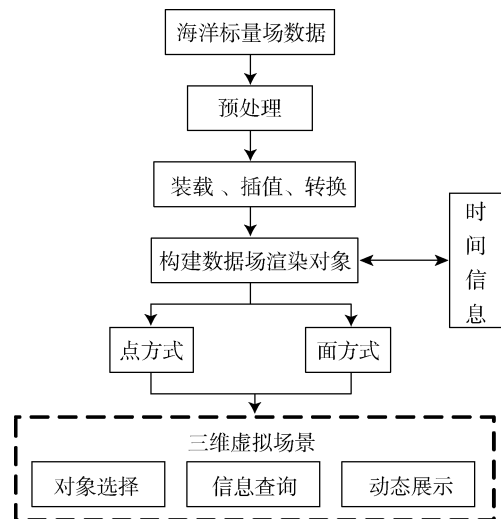


图 2 海洋标量数据可视化表达与分析流程

Fig.2 The flow chart of visualization and analysis for marine scalar data

2.1 海洋标量数据三维动态表达

海洋标量场的时空过程分为点过程、线过程、面过程及体过程,本文主要对海洋标量场点、面过程的三维动态可视化进行探讨。点过程即任意固定点位上要素值的时间变化,面过程则为一定区域内要

素场的时空变化^[11]。

系统主要采用基于几何图形对象的可视化方法, 实现了以点、面图形方式进行海洋标量场面过程数据的三维表达。点方式可视化是指在三维场景中直接以点状对象进行要素可视化表达, 以不同的颜色或大小表示要素值。如图 3a 所示, 展示了以点方式表达的海洋盐度场(0m)可视化效果, 以不同的颜色可视化展示不同的盐度值, 同时采用 LOD 动态调度技术, 实现了大数据量标量场数据的动态调度, 有效提高了可视化效率。面方式可视化则根据三维虚拟地球场景的对象渲染机制, 构建时间关联的数据

场渲染对象, 采用基于表面纹理的可视化技术, 实现海洋要素的多维可视化。全球最优插值周平均海表温度数据^[12]的面方式可视化效果如图 3b 所示, 该数据集包含陆地区域, 三维展示时需进行裁剪, 其空间分辨率为经纬度 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, 时间分辨率为 7 d, 时间跨度为 1989 年 12 月 31 日~2012 年 3 月 18 日, 通过控制按钮可查看不同时间的海温情况, 并可连续播放, 展示海洋温度随时间的动态变化情况, 从而直观、形象地动态表达海温场的演变过程; 经海岸线裁剪的全球地表温度数据三维可视化效果如图 3c 所示; 图 3d 为不同深度海洋温度场数据的三维可视化效果。

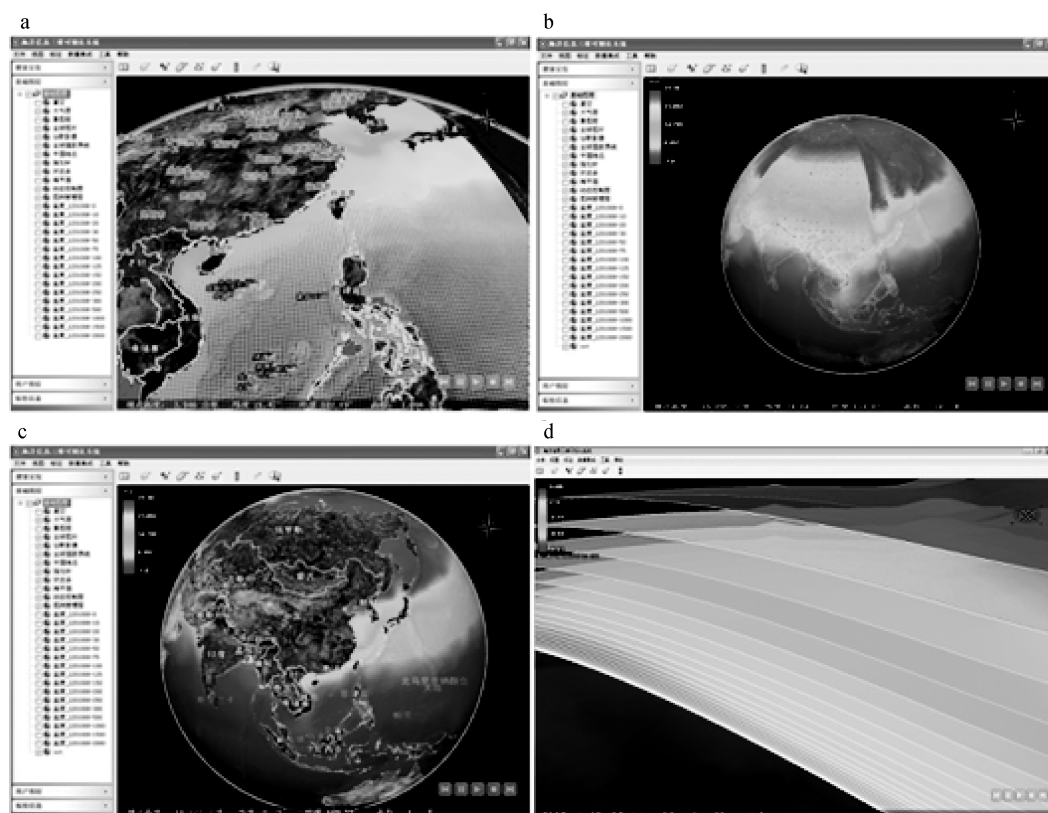


图 3 海洋标量场数据的三维可视化

Fig.3 Three-dimensional Visualization of marine scalar field data

a. 盐场; b. 全球海表温度数据; c. 海岸线裁剪的全球海表温度数据; d. 不同深度海温场数据

a. salinity field data; b. the global sea surface temperature data; c. sea surface temperature data clipped by coastline; d. sea temperature field data of different depth

2.2 海洋标量要素的查询分析

海洋环境要素的综合时空查询分析可对海洋环境保护、预测预报等提供直观、全面的信息参考。本研究设计开发了海洋要素属性查询、时序分析及垂向剖面分析等时空分析功能。要素属性查询首先根据地理空间位置查找其所处数据格网位置, 然后

获取相邻要素值进行插值运算即可得指定位置的准确要素值, 实现了鼠标点击处已加载海洋标量数据的要素值查询, 如图 4 所示为鼠标点击处某时刻的海表温度查询结果。时序分析和剖面分析揭示任意点位上的要素值随时间或空间的动态变化过程, 在三维场景中以过程曲线和剖面曲线等形式表示, 实现了海洋标量场点过程的可视化展示。其中剖面曲

线图是海洋要素随深度的变化图,其主要作用是能直观表达海洋要素随深度的变化规律;过程曲线是指在一个点位上,某种海洋要素(如温度、盐度等)随时间变化的曲线,是展示海洋要素随时间变化的主要形式之一,图 5 展示了鼠标点击处海温随时间变化的过程曲线。

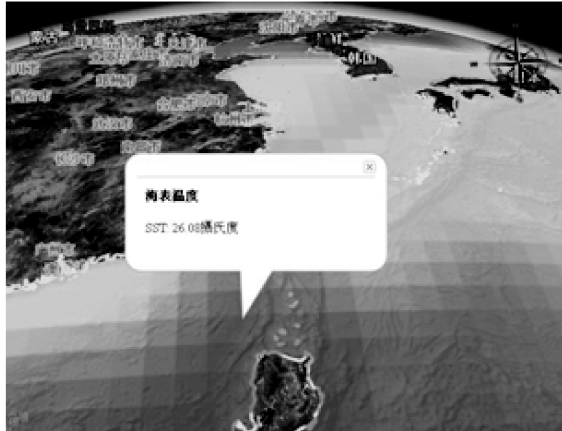


图 4 指定位置属性查询
Fig.4 Attribute query

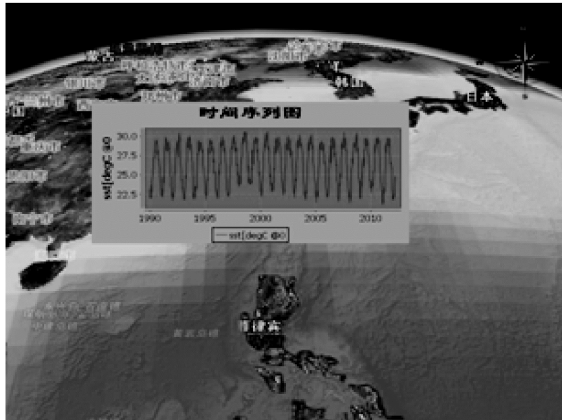


图 5 海表温度数据的时序变化分析
Fig.5 Time series analysis of sea surface temperature data

3 结语

本文详细阐述了海洋标量场数据的三维动态可视化系统的体系架构、功能设计及其实现,针对海洋要素标量场的时空特征,结合虚拟地球场景,对海洋标量要素的三维动态可视化表达方法进行了探索和技术实现。构建了可靠、直观、逼真的海洋标量数据三维动态可视化系统,实现了海表温度场、盐场数据的三维动态可视化,任意点位的要素值查

询和时序分析等功能,同时也为其他海洋环境要素场数据的可视化与分析提供了思路和技术借鉴。面对海洋领域日益增强、不断深入的应用需求,本系统在进一步深化和完善的同时,将逐步开展矢量场的可视化表达与分析研究。

参考文献:

- [1] 苏奋振,周成虎,杨晓梅,等. 海洋地理信息系统——原理、技术与应用[M]. 北京: 海洋出版社, 2005:1-333.
- [2] 徐敏,方朝阳,朱庆,等. 海洋大气环境的多维动态可视化系统的设计与实现[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2009, 34(1): 57-59.
- [3] 涂超. 海洋温度场的三维可视化[J]. 武汉大学学报(工学版), 2007, 40(6): 126-128.
- [4] 孔倩倩,韩勇,李文庆,等. 海洋标量数据多维多模式动态可视化系统设计实现[J]. 微计算机信息, 2011, 27(5): 177-179.
- [5] He Yawen, Su Fenzhen, Du Yunyan, et al. Web-based spatiotemporal visualization of marine environment data [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28(5): 1086-1094.
- [6] 肖如林,苏奋振,杜云艳,等. 三维虚拟地球的海洋信息适用性分析及原型研究[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(4): 555-561.
- [7] 张峰,刘金,李四海,等. 数字海洋可视化系统研究与实现[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(35): 177-179.
- [8] 李新放,刘海行,周林,等. 基于 OpenSceneGraph 的海洋环境三维可视化系统研究[J]. 海洋科学, 2012, 36(1): 54-58.
- [9] Dunne D, Sutton G. 3D Web Mapping Integrating Marine Data into NASA World Wind [J]. Hydro International, 2007, 10(9): 7-9.
- [10] 国家海洋信息中心. iOcean 中国数字海洋公众版 [EB/OL]. [2011-12-18]. <http://www.iocean.net.cn/>.
- [11] 刘文亮,苏奋振,杜云艳. 海洋标量场时空过程远程动态可视化服务研究[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(4): 513-519.
- [12] Earth System Research Laboratory. NOAA Optimum Interpolation (OI) Sea Surface Temperature (SST) V2 [EB/OL]. [2012-03-20]. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/>.

Research on three-dimensional and dynamic visualization system for marine scalar field data

WANG Xiang-hong^{1,2}, LIU Ji-ping¹, WANG Liang¹, WANG Yong¹, XU Sheng-hua¹

(1. Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China; 2. School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Received: Apr., 12, 2012

Key words: virtual scene; marine scalar field data; 3D visualization; geometry-graphic

Abstract: In order to achieve the three-dimensional integrated visualization of marine scalar data which has features including massive volume, multiple-sources, heterogeneous, multi-dimensional, multi-format, dynamic in structure and time. A service-based three-dimensional virtual visualization architecture was designed for generic scalar data format. The marine 3D visualization prototype system was constructed, and the system function design and implementation were elaborated. The geometry-graphic method, together with LOD dynamic scheduling, surface texture and fast query and other key technologies were used to achieve a series of functions including three-dimensional dynamic visualization of marine scalar field data, marine element values queries, time series analysis and so on. The study can provide a good solution for the visualization and analysis to the other marine environmental data.

(本文编辑: 刘珊珊)