海洋环境三维建模和可视化研究

米唯实

西安交通大学自动化系 710049 西安

摘要：针对目前二维电子海图不够直观等问题，本文从数据来源、软件分析、数字高程模型概述、模型可视化四方面调研和论述了对海洋环境进行三维建模的可行性和优越性，并以美国阿拉斯加某海域为例，展示了一套标准化的开发三维电子海图系统的流程，为下一代三维电子海图的开发提供了重要参考。

关键词：海洋环境，电子海图，中国人民解放军海军海道测量局，数字高程模型

中图分类号：P229.1

环境建模是指将真实环境用符号化、抽象化的方式表示于纸质、电子等不同媒介中的技术。区别于传统纸质的表示方式，随着环境数据采集、传输、储存的信息化发展，数字化逐渐成为21世纪的主流环境建模方向。数字环境建模以卫星遥感、声呐探测等方式获取环境数据，以计算机软件等工具处理数据并实现真实环境的可视化，最终在计算机中呈现虚拟的真实环境。

航海图（又称海图）是海员用以定位导航、系泊、制定航行计划和舰船航线设计，进而保证航行安全的常用工具。纸质海图作为海图的传统表现形式，有着多种缺点：更新困难；受印刷版面等物理尺寸影响大；不便于标记，图上作业难以修改；携带不便，不易保存等。除此之外，纸质海图还需要较专业的海图阅读能力，有着较高的专业门槛。因此，针对以上缺点，电子海图正逐渐成为海图的新兴表现形式。电子海图，又称数字海图，是以数字信息表示的，以描写海域地理要素和航海要素为主的海图。主要分为光栅海图与矢量地图两种，较好地解决了纸质海图的多种缺点。然而，目前所有的纸质海图和电子海图产品，均选择以二维平面的形式表示海图要素，均没有解决二维海图较为抽象。难以阅读的缺点。随着三维可视化技术的发展，更为具象的立体化三维海图成为新一代海图的发展方向之一。研究海洋环境的三维化建模方法，可以帮助海员更好地把握海洋地形，也可降低非专业人员认识海洋，了解海洋，应用海洋的门槛。

# 1海洋数据来源

海图或航海出版物系指有政府、经授权的海道测量部门或其他有关的政府机构正式发行或授权发行的用于满足海上航行需要的专用图或书，或能生成此类图或书的经特殊编制的数据库。海图由国际海道测量组织授权的专门机构完成，或使用专用的数字化软件，将纸海图转换成矢量数字海图要素信息数据库[1]。数字海图的格式主要有三种：1) S-57标准——一种由国际海道测量组织制定的主要数字海图交换标准。该标准主要用于世界各国之间海道测量数据/电子海图数据的交换以及原始设备制造厂商 、终端用户电子海图的分发等。2) S-63标准——国际海道测量组织颁布的数据保护方案。该标准规范了ENCs数据的安全保护方法，确保了多数据源用户ENCs分发和服务的一致性。S-63本质是一种加密的S-57格式数据。3) S-100标准——一种由国际海图测量组织新推出的海道地理数据标准，以支持各种多样化的海图服务、产品和海图使用厂家为目的。其本质不基于S-57标准，而是一种新式的标准集。与S-57标准相比，S-100标准更加灵活，数据类型更加丰富，可以满足更多类型服务的需求。例如，光栅数据、三维数据、时变数据等新型数据类型为海图服务创造了新用途、新应用。

官方电子海图数据的来源是海道测量机构或其他相关政府机构[5]，包括中国人民解放军海军海道测量局（CNHO）、日本水路协会（JHA）、韩国海洋调查协会（KOHA）、美国国家海洋与大气管理局（NOAA）、英国海道测量局（UKHO）等。本文所采用的海图数据，如水深、航标等，均采用CNHO和NOAA两者的公开数据集。其中CNHO数据集数据格式为S-63，NOAA数据格式为S-57。对于加密的S-63数据，本文暂时使用示例数据——官网公开密匙以说明数据用法的加密数据作为代表。

# 2海图显示软件分析

电子海图显示与信息系统，指电子海图的标准应用系统，其可以承担海图查看、制作、数据提取等功能[4]。本文只使用其软件部分，即电子海图软件。其按具体功能又可划分为完全可编辑软件和仅查看软件，按开源与否可分为商用软件和开源软件，按查看方式看可分为离线软件和在线软件。

## 2.1 完全可编辑软件

### 2.1.1 QGIS——开源软件

QGIS是目前唯一一款具有完全可编辑功能的开源软件，也即提供了全部的显示数据、编辑数据和分析数据的能力。QGIS使用C++语言编写，并在显示上使用了Qt库，支持C++和Python插件，并可以在Windows、Linux、Mac OS等多种操作系统中运行，为软件的再开发和接口编写提供极大便利。相比于商用软件，QGIS的文件占空间更小，需要的内存更少，并且对机器的要求也更低。因此，QGIS的适用平台更加广泛。

支持数据格式：1)矢量资料——PostgreSQL、OGR函式库，包括ESRI Shapefiles等。2)栅格资料——GDAL函式库，如GeoTiff、ArcInfo ASCII Grid。3)GRASS栅格与矢量数据。4)OGC数据等。

### 2.1.2 ArcMap——商用软件

ArcMap是1978年美国环境系统研究所（简称ESRI）开发的ArcGIS系统的重要组成部分。ArcGIS由三个桌面组件组成，ArcMap是其中提供地图制作，数据分析与建库功能的部分。本质上来说，ArcMap是面向对象编辑器和数据分析器的联合，足以提供面向地图的包括制图、编辑、分析等所有功能。以ArcMap为代表的ArcGIS产品线，包含了多种可编程组件、从小尺度的几何对象到大尺度的地图图层的编辑工具，是一款极为全面的地图编辑工具。

ArcMap可以为两种类型地图提供视图服务：数据视图和布局视图。其中数据视图为开发者提供符号化显示、数据分析和编辑的功能，布局视图为开发者提供处理地图页面的功能。

### 2.1.3 德系SevenCs公司产品——商用软件

德国SevenCs公司独立开发了一整套电子海图软件。其中包括1) 电子海图开发引擎——EC2007 ECDIS Kernel、Chartserver等，用以开发ECDIS系统。2) 电子海图数据生产工具——如海军导航系统、通用导航系统、引航系统。3) 电子海图数据生产工具——ENC Designer、ENC Analyzer、ENC Optimizer等。其中ENC Designer是SevenCs生产套件的核心应用程序，专为制作S-57电子海图而开发。ENC Designer支持以ASCII方式导入离散深度数据，并可以使用不同颜色来表示。

### 2.1.4 TELEDYNE CARIS公司产品——商用软件

Teledyne CARIS公司提供了整个的GIS开发系统，包括图表制作软件、空间数据分析软件、水文调查软件、海洋AI平台、自主处理数据包，结合整套的安装服务和培训课程，为海图开发者，尤其是海员提供了便捷的服务。

CARIS HPD产品编辑器是用于制作S-57格式电子航海图(ENC)、内陆电子航海图(IENC)、附加军事层(AML)和地理标记语言产品(GML)的下一代数据库应用程序，为使用者提供从数据库到可视化显示的服务。同时，其基础编辑器也提供以三维方式显示光栅数据、点云数据和矢量特征数据的功能，并且准备数据后，还允许生成平滑轮廓、选定深度区域和选定测深深度等功能。它以其便捷性成为上海海图中心选用的海图处理软件。

## 2.2 仅查看软件

### 2.2.1 OpenCPN——开源软件

OpenCPN是一款由一个活跃的海员团队开发的免费开源海图绘图仪和海洋GPS导航软件，其可以作为航行过程中的参考和计划工具使用。支持Windows、Linux、Vista等系统平台。

其功能有1) 提供IHO S-52和S-57矢量海图的兼容显示；2) 支持BSBv3光栅海图和S-57 ENC海图；3) 进行海图的单独显示和拼接显示；4) 三种显示模式——”Couse-up”、”North-up”、”Chart-up”；5) 自动警报；6) 显示潮汐，并且以此支持进行航行计划。

### 2.2.2 EASY VIEW——开源软件

EASY VIEW是由Teledyne CARIS公司开发的2D/3D空间数据查看器。Easy View提供了交互不同类型数据的功能，包括DTM、光栅图像、CSV图表、点云、可变分辨率表面数据和矢量数据源。例如，shapefile矢量数据和S-57和S-100格式电子海图。

软件为打开的不同图层提供了修改绘制顺序、显示参数和自动对齐的功能，并且可以在2D/3D中进行选择和查询图层来进行额外分析。其拥有3D可视化引擎，使得用户可以使用各种可视化、表面平滑和数据过滤技术从各个角度有效地检查数据。

### 2.2.3 SeeMyENC——开源软件

SeeMyENC软件是由SevenCs公司开发的，专门用于海图查看的轻量级软件，其总体大小只有50MB，但是其只提供了海图的基本查看功能，只支持Windows系列操作系统。

### 2.2.4 ChartServer——在线软件

Chartserver是SevenCs公司开发的在线海图数据阅读工具，可以在线以网站形式提供风场、水深、海浪、洋流等海洋数据，然而其不具备标准的海图格式，因此不能用来做海洋深度处理工作。

# 3 数字高程模型概述

## 3.1 等高线模型

等高线模型是数字高程模型的一种常用表现方式，等高线模型示意高程，高程的集合是储存在已知数据库的。每一个等高线表示一个对应的高度值，一系列的等高线集合和其所代表的高程值一起组成了一种对高程的数字表示[3]。

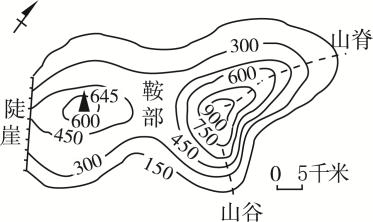


图 1 等高线模型示意

等高线一般被存成一个成序列的坐标点序列，认为其是一条带有高程属性的简单多边形或多边形弧段。由于等高线模型只表达了区域的部分高程值，往往需要一种插值方法来计算落在等高线外的其他点的高程，又因为这些点是落在两条等高线包围的区域内，所以，通常只使用外包的两条等高线的高程进行插值。

## 3.2 规则格网模型

规则网格，通常是正方形，也可以是矩形、三角形等规则网格。规则网格将区域空间切分为规则的格网单元，每个格网单元对应一个数值。数学上可以表示为一个矩阵，在计算机实现中则是一个二维数组。每个格网单元或数组的一个元素，对应一个高程值[6]。

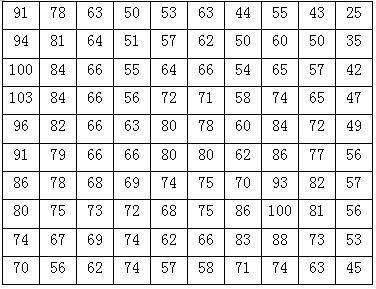


表 1 规则格网模型示意

规则格网的高程矩阵，可以很容易地用计算机进行处理，特别是栅格数据结构的地理信息系统。它还可以很容易地计算等高线、坡度坡向、山坡阴影和自动提取流域地形，使得它成为DEM 最广泛使用的格式，目前许多国家提供的 DEM数据都是以规则格网的数据矩阵形式提供的。格网 DEM 的缺点是不能准确表示地形的结构和细部，为避免这些问题，可采用附加地形特征数据，如地形特征点、山脊线、谷底线、断裂线，以描述地形结构。

## 3.3 不规则三角网模型——TIN

不规则三角网(Triangulated Irregular Network, TIN)是另外一种表示数字高程模型的方法[2]，它既减少规则格网方法带来的数据冗余，同时在计算（如坡度）效率方面又优于纯粹基于等高线的方法。

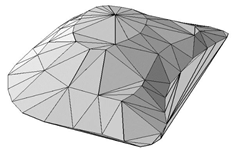


图 3 不规则三角网模型

不规则三角网数字高程由连续的三角面组成，三角面的形状和大小取决于不规则分布的测点，或节点的位置和密度。不规则三角网与高程矩阵方法不同之处是随地形起伏变化的复杂性而改变采样点的密度和决定采样点的位置，因而它能够避免地形平坦时的数据冗余，又能按地形特征点如山脊、山谷线、地形变化线等表示数字高程特征。

## 3.4 层次模型——LOD

层次地形模型(Layer of Details，LOD)是一种表达多种不同精度水平的数字高程模型。大多数层次模型是基于不规则三角网模型的，通常不规则三角网的数据点越多精度越高，数据点越少精度越低，但数据点多则要求更多的计算资源。所以如果在精度满足要求的情况下，最好使用尽可能少的数据点。层次地形模型允许根据不同的任务要求选择不同精度的地形模型[7]。

# 4模型可视化

机器人模拟软件是每个机器人开发者工具箱中必不可少的工具。精心设计的模拟器可以使用真实场景快速测试算法、设计机器人、执行回归测试和训练 AI 系统。GAZEBO是一款流行的机器人模拟软件，其能够在复杂的室内和室外环境中准确有效地模拟机器人群体。与此同时，GAZEBO拥有一个充满活力的社区。

为了模拟出真实的地形，在救援或农业应用中使用更加真实的环境进行模拟，GAZEBO在最新版本中用安装GDAL库的方式支持了DEM文件，并且在官网中给出了从获取数据，到处理数据，再到导入GAZEBO软件的全部流程。并在软件中提供了修改DEM图比例，拼接多个DEM模型等多项功能。

# 5结论

针对目前二维电子海图不够直观等问题，本文从数据来源、软件分析、数字高程模型概述、模型可视化四方面调研和论述了对海洋环境进行三维建模的可行性和优越性。其中海图数据具有标准的、全世界公认的数据格式和稳定可靠的供应商；海图软件丰富多样，从商用到开源，足以满足不同人群对数据处理之要求；数字高程模型是一种成熟的地图表征方式，并且其在多种仿真软件中均有支持，为其可视化提供了充足条件。本文以此推断三维海图将会成为电子海图的下一代发展方向。

参考文献：

[1]沙宏杰, 陆龙妹, 邵宇. 三维电子海图系统的实现与应用[J]. 航海(6):5.

[2]叶志荣. 琼州海峡三维电子海图系统设计与实现[J]. 海洋测绘

[3]徐唐进, 张安民. 动态水深环境下的无人艇路径规划[J]. 测绘科学

[4] 刘志军, 金继业, 刘振民,等. 海洋底质三维可视化模拟初步研究[J]. 测绘科学, 2008, No.153(003):113-115.

[5]张锦明, 游雄, 万刚. DEM插值参数优选的试验研究[J]. 测绘学报, 2014,000(002):178-185,192.

[6]任建武,孙亚梅. 海底地形及其变化可视模型的研究[J]. 测绘学报(4期):257-261.

[7]王伟, 鲁民颉. 基于复杂地貌点云数据构建DEM的参数优选[J]. 测绘技术装备, 2017, 19(002):60-62.