

长江口北槽三维地形虚拟表达及其变化分析

董月娥 周云轩 姜晓轶

(华东师范大学河口海岸学国家重点实验室,上海 200062)

E-mail:zhouyx@sklec.ecnu.edu.cn

摘要 以长江口北槽为研究区域,利用1965年到2003年间12幅长江口数字化海图以及专业地形建模软件Multigen Creator,建立长江口北槽三维地形模型,实现基于虚拟现实建模语言VRML及浏览器插件Cortona的地形虚拟表达。在此基础上,对多年的长江口北槽深泓线进行对比分析,讨论北槽两岸沙岛的变迁过程。

关键词 长江口北槽 三维地形 虚拟现实建模语言 虚拟表达

文章编号 1002-8331-(2006)17-0218-03 文献标识码 A 中图分类号 TP391

Virtual Representation of 3D Terrain and Its Change Analysis of the North Passage of the Yangtze Estuary

Dong Yue'e Zhou Yunxuan Jiang Xiaoyi

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062)

Abstract: Taking the north passage of the Yangtze estuary as a study area, a 3D terrain model of the area is established with data digitized from 12 sea charts from 1965 to 2003 and aided by Multigen Creator, a professional tool for terrain modeling. A virtual representation of the 3D terrain model is achieved with VRML and browser package Cortona. Based on the modeling, spatial variations of the north passage thalweg from 1965 to 2003 are analyzed. And the evolving process of islands in both sides of the passage is discussed thoroughly.

Keywords: north passage, 3D terrain, VRML, virtual representation

1 引言

长江口深水航道治理工程选在南港北槽^[1],打通北槽拦门沙并最终在北槽形成水深12.5米的深水航道。浅滩、暗礁等地形环境是航海安全的隐患之一,严重威胁着航运安全及海洋生态环境。传统的方法如纸质海图、电子海图都不能直观地表达海洋地形环境。因此长江口北槽地形的虚拟表达不仅可以保证航运安全,使长江充分发挥“黄金水道”的作用,而且有助于长江口生态环境和沙岛变迁的监测。

虚拟现实技术及地理信息系统的发展,为河口海岸地形的真实再现提供了良好的技术支持。传统的2D图形图像表达不能充分表现地形数据的真实特征,而利用3D地形生成技术和虚拟表达研究方法,可以使表达结果更加真实、生动、形象,有利于对地形做进一步分析。学者们从海洋动力学角度对长江口北槽地形的冲淤做了大量的研究工作^[2-4],但对3D地形生成及虚拟表达方面尚未做过详细研究。

本文利用数字化海图的高程数据和Multigen Creator虚拟建模软件,构建了长江口北槽三维地形模型。为了增加真实度,将遥感影像作为纹理映射到地形上,得到了较真实的地貌景观,并利用VRML及其浏览器插件实现了地形地貌的虚拟表达。在此基础上,对多年长江口北槽深泓线进行对比分析,并论述了北槽两岸沙岛变迁的过程。文中探讨了长江口北槽地形地貌在虚拟环境下的可视化实现问题,为数字河口海岸研究提供了一种新的思路。

2 长江口北槽3D地形建模

Multigen Creator 2.6是美国Multigen-Paradigm公司推出的实时3D建模工具软件,在海洋、大地、战场等大规模视景仿真数据库方面具有很大的优越性^[5]。该软件提供了专门工具,用于快速创建大范围地形、地貌数据库,并且能够映射高度逼真的3D纹理数据及特征数据^[6],图1是利用该软件进行地形建模的一个流程。

地形建模流程包含数据处理、地形数据库生成、地形文件输出3部分。数据处理主要实现高程数据、特征数据、纹理数据的处理;地形数据库生成实现利用高程数据生成地形文件,可以分成区块或以独立区域整体建模,虚线框内部分是可选的操作过程;地形文件输出是将建模的结果输出成Creator支持的OpenFlight文件,选择建模方式不同可以得到一个或多个不同的地形文件。

长江口北槽数字化海图的数据包含了高程数据如水深点、等深线,以及特征数据如航道标志、深水航道工程、岛屿等。用于表现自然景观和人文景观的特征数据,必须转换为Creator能识别的数字特征数据DFD(Digital Feature Data)格式。高程数据是以SHP文件格式存储的,而Creator识别的是标准的DED(Digital Elevation Data)即数字高程数据,因此必须对高程数据进行文件格式转换,其转换流程为:

①将具有地理坐标和水深值的水深点图层和等深线图层转换为TIN(Triangulated Irregular Networks)即不规则三角网

基金项目:上海市科委科技攻关项目(编号:04DZ12049)

作者简介:董月娥(1980-),女,硕士研究生,主要研究方向为遥感与虚拟地理信息系统,海岸带管理。周云轩(1962-),博士,教授,博士生导师,主要研究方向为遥感与地理信息系统在资源、环境等领域的应用。

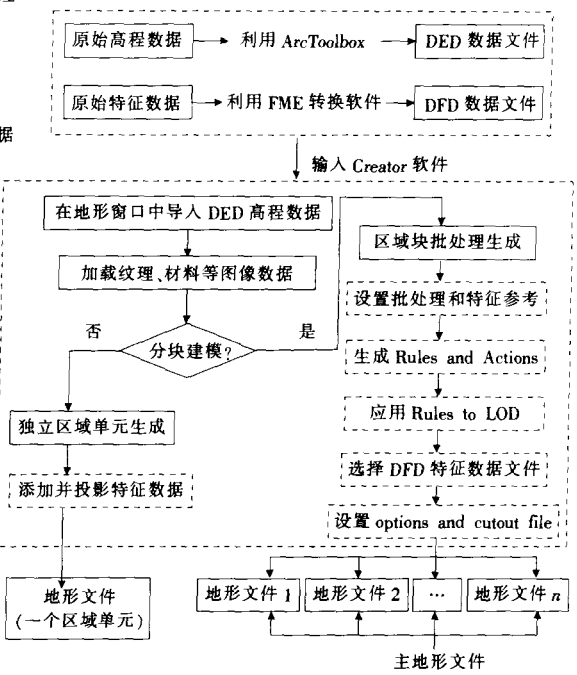


图 1 地形建模流程

格式的数据。用等深线来规范水深点,是为了避免插值运算时将具有正高程值的水上岛屿点插值为具有负高程值的水下点,以便得到更加精确的地形模型。②将 TIN 格式数据转换为栅格数据,该过程的关键是需要合理设置输出栅格单元大小,以使精度达到最优。③把栅格数据转换为标准的 ASCII 文件,并利用 Creator 中的 Terrain 模块,将其导入,然后设置相应的参数:未定义的数据需设为空值;最小高程值必须为空值;最大高程值则需根据实际情况适当增加,以达到高度细节明显、变化趋势精细的效果,从而使地形起伏程度更加接近实际。

地形数据库生成中的关键技术之一是三角算法的选择。Creator 提供了四种三角算法,即 Delaunay、Polymesh、TCT、CAT。选择时要综合考虑地形数据库运行时所用的硬件类型以及各种算法的优缺点。表 1 对比了每种算法的优缺点以及它们使用的边界匹配类型。

表 1 地形建模三角算法描述

算法/边界匹配	优点	缺点
Poly mesh/No walls	①不限制生成层次细节模型的数量;②生成三角条带效果好;③生成地形速度快;④具有板级支持包(BSP)兼容性	①在层次细节模型边界之间会产生间隙;②对平坦区域可能造成镶嵌;③没有误差测试
Poly mesh/Irregular Mesh No walls	①不限制生成层次细节模型的数量;②生成三角条带效果好;③有误差测试;④处理时没有顶点限制;⑤预测比较准确	①处理速度慢;②不具有 BSP 兼容性
Delaunay/No Matching	①能以最少的多边形数量生成最好的地形;②层次细节模型之间边界匹配效果好;③生成速度较快;④有误差测试	①层次细节模型边界匹配会导致大多边形和长条;②生成简略三角条带
Terrain Culture Triangulation	①能以最少的多边形数量生成最好的地形;②有误差测试;③可以预投影特征数据	①只能有一个层次细节模型;②不可预知的多边形数量;③有多边形限制;④生成简略三角条带

本文选用 Delaunay 算法生成地形数据库,它能够控制多边形的数量和地形精度,并通过在地形起伏变化大的区域生成较多的多边形来提高地形表达精度,而在较平坦的区域生成较少的多边形来减少运算数据量和节省运算时间。在算法参数设置过程中,由于相同的 DED 文件能够生成很多不同的地形数据库,因此需要进行多次试验,才能得到地形表达逼真并且运行速度较快的满意结果。在试验过程中需要了解以下三个方面的内容,以减少试验次数:①了解运行虚拟地形数据库的硬件平台以及它们能够支持的地形多边形的数量、纹理、光源等。②了解运行虚拟地形数据库的软件系统,它必须至少能够以 60Hz 的频率模拟非平滑的粘贴了纹理的地形多边形,否则就需要简化地形。③了解场景需求,例如高空模拟和地面模拟中,地形和特征数据的精度要求就不同。

3 纹理与特征数据映射

3.1 纹理映射

纹理能够增加地形数据虚拟显示的真实程度,大范围的地形数据库中,通常采用遥感图像作为纹理。利用遥感图像作为纹理时,需要进行图像处理,如遥感图像配准,图像的精确切割、裁剪等。此外由于某些硬件不能精确地显示不规则尺寸的纹理,Creator 对纹理数据的大小和格式有一定的要求,如纹理尺寸必须是 2 的整数次幂。

在 Creator 中进行纹理映射一般有三种方法。①在地形窗口的纹理面板中指定纹理文件,纹理在地形生成时被映射。②使用地形菜单中的 Batch Geo-Put 工具,将一个或多个纹理映射到一系列特定的地形数据库文件中,并且纹理将会被映射到所有的层次细节模型 LOD(Level of Details)中,该方法无需打开地形数据库文件,也不用将纹理文件添加到纹理面板中。③使用 Geo-Put Texture 工具,可以将纹理映射到一个已经打开并具有相同地理坐标的地形数据库中,可以映射到某一个或所有的 LOD 中。如果将纹理映射到所有的 LOD 中,必须在层次结构工具中选择所有的层次细节模型。

本文采用第三种方法,由于纹理中包含了图像的经纬度信息,Creator 提供的地形处理工具(Creator Terrain Studio, CTS)可以自动将纹理和地形数据库坐标关联起来^[7],使纹理正确投影到地形上。

图 2 是文中处理的纹理图像,采用的是 2004 年 4 月 26 日 Landsat TM 影像,其经度范围是 121°50'W~122°10'W,纬度范围是 31°10'N~31°20'N,大小是 1 024×256。图 3 是处理后形成的长江口北槽地形 DED 文件。



图 2 长江口北槽纹理

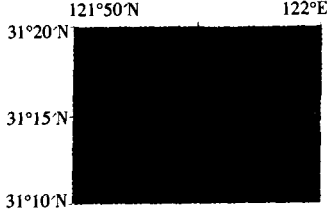


图 3 长江口北槽 3D 地形

在纹理图像与地形文件上选取三个相互对应的点,使纹理地形匹配,达到精确映射的目的。另外,系统使用真实世界尺寸来衡量纹理的大小,因此要保证纹理的真实世界尺寸不为零,否则不能成功进行纹理映射。

3.2 特征数据映射

特征数据的映射是增强地形真实绘制的有效手段之一,它可以分为点状如树木、建筑物,线状如河流、道路和面状如湖泊、森林等。首先确定特征数据的类型,然后检查是否有错误或重叠,如果特征数据太密集可以根据实际需要进行削减处理。而且特征数据的地理位置必须和地形数据库的地理位置对应,然后利用 Creator 将特征数据投影到地形数据库上。

特征数据投影的方法有 Manual Post-Projection、Automatic Post-Projection 和 Automatic Pre-Projection。Manual Post-Projection 可以手动减少导入的特征数据的数量,通过执行属性搜索操作或仅导入需要的特征数据来投影。Automatic Post-Projection 是在地形生成之后投影特征数据,即后投影。它适用于给大批量的地形数据进行特征数据投影,利用规则控制面板可以提取定义的特征数据并投影到相应的地形上。Automatic Pre-Projection 是在地形生成之前投影特征数据,即先投影。这种方法支持少量的地形多边形。图 4 为长江口北槽 2001 年的特征数据投影到地形上的结果。

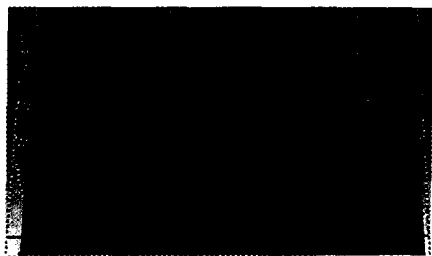


图 4 长江口北槽 2001 年的特征数据投影

4 长江口北槽地形的 VRML 表达

本文利用虚拟现实建模语言 VRML 及浏览器研究长江口北槽地形虚拟表达。VRML 是一种用来描述 3D 对象和环境的建模语言,它的基本目标是建立网络交互式三维虚拟世界,具有成本低、跨平台、可交互、兼容性强^[8,9]等特点。VRML 浏览器可以读入 VRML 代码文件并解释为图形映像^[10,11],从而生成三维模型空间,并完成交互式操作。目前,VRML 浏览器软件种类很多,如 Cosmo Player、Cortona、Viscape 等。

将地形数据库文件导出成 VRML 文件,并在 Cortona 浏览器中显示。外部索引文件与各个子文件之间是引用参考的关系,在节点上体现为内联节点。在外部索引文件中必须明确指出引用子文件的位置。子文件中用到的 VRML 节点主要为 Coordinate、LOD、IndexedFaceSet、ImageTexture 节点用于引用外部文件作为造型的表面贴图,它可引用的外部文件格式为 JPEG、GIF 和 PNG。当浏览该文件时,浏览器从相应的位置目录中读取文件,并映射到空间造型表面。

外部索引文件的 VRML 主要代码为:

```
Group(#/N31_11_47.3015E121_52_34.0924.flr //一个 OpenFlight 格式的地形子文件
```

```
children [DEF_INST1 Group { # extern //外部索引文件引用该子文件
```

```
children [Inline {url "D:/vrml/texture.jpg"}] //通过使用内联节点调出纹理
```

```
} ] }
```

```
Group{ children[Inline{url"D:/vrml/ N31_11_47.3015E121_52_34.0924.wrl"
```

```
//通过使用内联节点调用其 VRML 格式的地形子文件
```

```
} ] }
```

5 长江口北槽地形演变分析

历年长江口北槽深泓线和沙岛边界线均可作为特征数据投影到相应的地形数据库中(如图 4),为了便于对比分析,采用具有代表性的 5 个年份的数据,将其投影到一个平面上。

5.1 纵剖面

长江口深水航道治理工程分三期实施,一期整治工程于 1998 年 1 月开工,到 2000 年 3 月完成,航道水深由 7 米增至 8.5 米;二期工程于 2004 年正式开工,到 2005 年 3 月建成了 10 米水深的深水航道;三期工程设计通航水深将达 12.5 米。沿长江口北槽的深泓线切纵剖面进行多年叠加比较,见图 5。从图 5 中可以看出,曲线 1、2、3 是一期工程前的深泓线,波动起伏变化较大,水深平均约 7 米,曲线 4 代表一期工程后的深泓线,起伏变化不大,水深维持在 8.5 米左右,而二期工程后的深泓线 5 则非常平缓,呈现出相对稳定的态势,水深均保持在 10 米左右,达到了工程建设的预期目标,使航道通航能力得到很大提高。

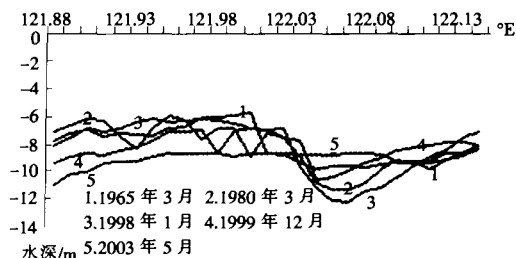


图 5 长江口北槽深泓纵剖面比较图

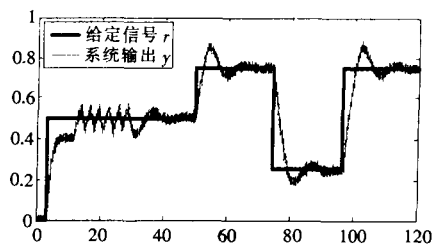
5.2 沙岛变迁

将多年长江口北槽附近岛屿线叠加进行比较(图 6),直观再现了横沙浅滩和九段沙的变迁过程。从图 6 可以看出,横沙东滩窄沟是在 1980 年后才逐渐形成的,横沙东滩是横沙的延伸部分,指西部的白条子沙和东部横沙东滩窄沟之间的浅滩及水域;横沙东滩窄沟以东的浅滩部分在 20 世纪 80 年代前称为铜沙浅滩,80 年代后期正式改名为横沙浅滩^[2]。通过对比分析图 6 可看出,1998 年之前,横沙浅滩和九段沙都明显向外淤涨,1998 年 1 月至 1999 年底,横沙东滩出现缓慢的微淤,而横沙浅滩则处于比较明显的冲刷状态,主要原因是长江口深水航道工程的实施直接引起水沙条件的变化,以及近年来长江下泄泥沙量的显著减少延缓了沙洲的生长发育^[2]。

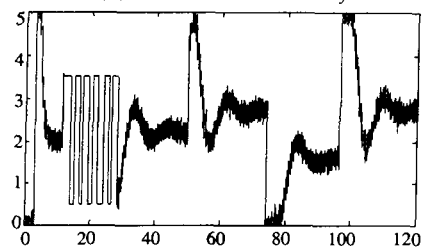


图 6 沙岛变迁图

(下转 232 页)



(a)给定信号 r 与系统输出 y



(b)控制信号 u

图7 继电器法的液位控制结果

图7给出了这种继电器测试法对表1中方案3的控制效果。可以看到的是液位控制有比较好的效果,但是也可以看出Ziegler & Nichols 整定方法的一些不足,如超调相对较大,因此非常方便各种算法的比较。

5 结论

本系统利用 Internet 技术实现了三箱耦合液位系统的远程

实验,既有效地利用有限的实验设备资源,又为资金短缺的院校提供了方便。用户能从远程登陆实验系统,在实际的液位装置上进行实验,并能通过曲线显示和模拟显示看到实际的控制效果,还可以通过视频来观察多箱液位的不同水位情况。控制端内置的 PID 算法,不仅为用户观察 PID 参数变化对系统的影响提供了极大的方便,而且方便用户比较不同的 PID 自整定方法,还为用户提供了二次开发接口,方便用户对自己的算法进行验证。(收稿日期:2005 年 8 月)

参考文献

- 1.汪诗林,吴泉源.开展虚拟实验系统的研究和应用[J].计算机工程与科学,2000;22(2):33~39
- 2.李仁发,周祖德,李方敏等.虚拟实验室网络体系结构研究[J].系统仿真学报,2002;14(3):359~393
- 3.Roring C, A Jochheim. The Virtua Lab for Controlling Real Experiments via Internet[C]. In: Proceeding of the 1999 IEEE International Symposium on Computer Aided Control System Design, Kohala Coast—Island of Hawaii, Hawaii, USA, 1999
- 4.Grega W, A Maciejczyk. Digital Control of a tank system[J]. IEEE Transactions on Education, 1994; 37(3): 271~276
- 5.A O'Dwyer. Handbook of PI and PID controller tuning rules. New Jersey: World Scientific, 2003
- 6.K J Åström, T Hägglund. PID controllers: theory, design and tuning[M]. Second Edition, Instrument Society of America, Research Triangle Park, 1995
- 7.拦门沙的影响[J].海洋工程,2003;21(2):58~64
- 8.吴华林,沈焕庭,胡辉等. GIS 支持下的长江口拦门沙泥沙冲淤定量计算[J].海洋学报,2002;24(2):84~93
- 9.刘杰,陈吉余,乐嘉海等.长江口深水航道治理一期工程实施后北槽冲淤分析[J].泥沙研究,2004;(5):15~22
- 10.季岚,王谷谦,周海.1998 年洪季长江口北槽下段航道淤浅原因分析[J].水运工程,1999;(10):48~51
- 11.熊芝兰,郝燕玲,申冬慧.基于数字海洋环境的视景仿真系统研究[J].系统仿真学报,2005;17(7):1631~1633
- 12.舒娱琴,唐丽玉,彭国均.采用 Creator 生成三维地形[J].测绘信息与工程,2003;28(5):9~11
- 13.Creator Online Help Summary. Version 2.6, MultiGen-Paradigm, Inc., 2003
- 14.吴波,周之平,张飒兵等.基于 VRML-JAVA 的虚拟现实及其协同环境的开发[J].计算机工程与应用,2004;39(7):136~138
- 15.王汝传,姚旭敏,王海艳等.基于 Java 和 VRML 虚拟场景通信方式的研究[J].系统仿真学报,2003;15(7):986~990
- 16.万剑华,潘正风,李清泉.基于 VRML 的虚拟城市的建立[J].测绘通报,2002;(5):17~19
- 17.王汝传,孙知信,辛晨昀等.基于 VRML 的虚拟环境生成工具的研究[J].系统仿真学报,2001;13(6):808~811
- 18.桑永尧,虞志英,金寥.长江河口横沙东滩自然演变及工程影响[J].东海海洋,2003;21(3):14~23

(上接220页)

6 结论

以数字化长江口海图为数据,利用专业地形建模软件 Multigen Creator、虚拟现实建模语言 VRML 及浏览器插件 Cortona 建立的长江口北槽三维地形模型,用户只需使用标准的万维网浏览器和虚拟浏览器插件就可以浏览该虚拟地形环境,而无需安装复杂的专业软件系统,就可以达到共享该虚拟环境的目的。在次基础上,在 1965 年~2003 年间选取具有代表性的 5 个年份长江口北槽数据,将深泓线和沙岛边界线作为特征数据进行投影对比分析,再现长江口北槽航道深泓线和两岸沙岛随深水航道治理工程前后的变化过程,有效地辅助工程效果监测和评价。

详细地可视化大面积地理信息,面临数据量庞大的问题,目前在实时显示上还无法达到令人满意的效果,在常用桌面计算机上较真实地虚拟表达长江口还需做进一步的研究工作,尤其是虚拟景观的实时显示算法,以提高显示速度,最终实现对大规模虚拟景观的实时漫游。(收稿日期:2006 年 3 月)

参考文献

- 1.刘杰,乐嘉海,胡志峰等.长江口深水航道治理一期工程实施对北槽