

耙吸挖泥船疏浚中三维地层剖面的设计与实现

顾文晓, 李 峰, 潘雨青

(江苏大学计算机科学与通信工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘 要: 提出一种三维地层剖面的实时显示方法。该方法利用给定的数字高程模型数据及三次样条函数拟合曲线构造剖面轮廓线, 以有效解决三维地层模型内部的可视化问题。为便于施工, 在疏浚过程中采用声纳数据动态调整模型。实验结果表明, 该方法计算速度快、精度高, 可以达到实时显示的效果, 并能提高耙吸挖泥船疏浚的质量, 减少对环境的影响。

关键词: 剖面; 地层; 数字高程模型; 三次样条; 声纳

Design and Implementation of 3D Strata Profile in Trailing Suction Dredger's Dredging

GU Wen-xiao, LI Feng, PAN Yu-qing

(College of Computer Science and Telecommunication Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

【Abstract】 This paper presents a real-time display method of three-dimensional strata profile, this method uses the given Digital Elevation Model(DEM) data, it adopts cubic spline function curve to structure its outline line, it effectively solves the internal visualization of three-dimensional strata model. During the dredging, it uses sonar data to adjust the model dynamically for construction. Experimental results show that this method has fast calculation speed, high precision, the effect of real-time display can be achieved, and effectively improves the quality of dredging in trailing suction hopper dredger, reduces environmental impact.

【Key words】 profile; strata; Digital Elevation Model(DEM); cubic spline; sonar

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.24.092

1 概述

随着工业的发展, 工业对环境的污染已受到世界各国的重视, 为治理受污染的水环境, 环保疏浚是今后必然的发展方向, 而环保疏浚又离不开精确疏浚技术。为提高疏浚质量, 减少疏浚对环境的影响, 精确疏浚技术是疏浚软件发展方向。未来的疏浚向着大挖深、深水取沙、环保疏浚、精确疏浚、自动挖泥, 减少劳动生产力、降低油耗、采用最小的成本获取最大的效益等方向发展。

在耙吸挖泥船疏浚作业过程中, 如何根据施工要求, 准确有效地对耙头挖掘深度进行自动化控制, 是疏浚过程中的一个重要问题。本文针对以上问题, 提出一种三维地层剖面的实时显示方法, 可以提高耙吸挖泥船疏浚的质量, 减少对环境的影响。

2 地层剖面设计

在众多三维可视化显示的方法中, 剖面数据可以很直观地、准确地表现出地质体内部的形态, 而且剖面本身既包含了真实的已知地质信息又可以加入地质专家的经验, 因此剖面数据在地质领域被广泛地应用。通过在耙吸船上显示水下耙头运动方向的剖面, 观察耙头所在位置的地质信息并及时控制其深度, 可以大大提高疏浚质量, 降低疏浚成本。

2.1 生成剖面

2.1.1 三次样条

在生成剖面过程中, 已知平面上的一组节点的坐标 (x_j, y_j) $j=1, 2, \dots, n$, 通过这些点作一条光滑的曲线。完成这项工作有多种方法, 如拉格朗日、分段三次埃尔米特和三次样条等插值方法。由于拉格朗日和埃尔米特插值函数对于节点较多

的情况, 只能保证曲线的连续性, 不能保证曲线的光滑性。

要保证曲线连续且曲率也连续, 这就要求插值函数具有连续的二阶导数。对于基点较多而且分布不规则的情况, 做一个高次插值多项式是不理想的, 因为它计算量相当复杂。这样, 很自然地想到三次样条插值^[1-2]。

2.1.2 地层数据模型

采用多层数字高程建立模型的方法, 又称多层数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)建模法, 从而降低了三维地质模型建立的难度^[3-6]。多层 DEM 建模是通过获取的地层信息, 确定各地层间的空间关系, 并进行地层交叉判断和拼接划分, 然后对各个地层面分别建立独立的数字高程模型 DEM, 所有这些 DEM 均有完全一致的参照系且能够互相准确匹配, 层面之间存在着很好的对应关系, 这样就在空间中形成了多层 DEM 网格。

项目中运用了多层 DEM 方法建立了地层数据模型, 通过处理一系列排列规则的钻孔点(相邻 2 个钻孔点之间等间距, 形成钻孔点点阵, 每个钻孔点按照深度逐步记录各个地层的位置)生成多层规则的地层数据模型。如图 1 所示, 生成的地层数据模型每层在水平方向都是等间距的点阵, 层与层之间只是高程 z 值不同。每个钻孔点除了拥有坐标 x , 坐标 y 2 个属性外, 还有高程 z 。一个钻孔点的数据格式可以表示为:

x, y
 z_1 , 地层编号, z_2 , 地层编号, z_3 , 地层编号, z_4, \dots

作者简介: 顾文晓(1986—), 男, 硕士, 主研方向: 三维可视化技术; 李 峰, 博士; 潘雨青, 副教授

收稿日期: 2011-05-18 E-mail: gw07@yahoo.com.cn

一个地层编号对应2个高程,分别为上表面和下表面。表1为该项目中的地层种类划分。

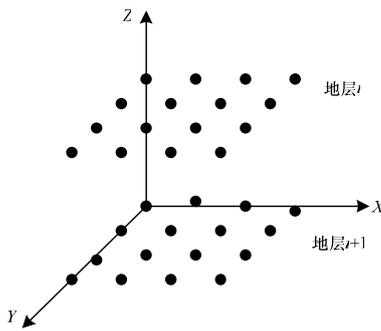


图1 地层数据模型

表1 地层划分

地层编号	地层名称
2~4	淤泥质土
3~2	粉质粘土
5~1	粉砂
5~3	中砂
6~1	圆砾
6~2	卵石
7~1	软质岩石
7~2	硬质岩石

2.1.3 地层剖面算法

要准确有效地对靶头挖掘深度进行自动化控制就需要获取靶头处的正剖面(即沿靶头水平运动方向正切地层的面)。经靶头的位置和水平运动的方向,由点斜式即可求出剖切每一地层的切线方程,求得各地层的切线,连接形成剖面。求剖面的具体步骤如下:

(1)设某地层在 XOY 面上的投影如图 2(a)所示。

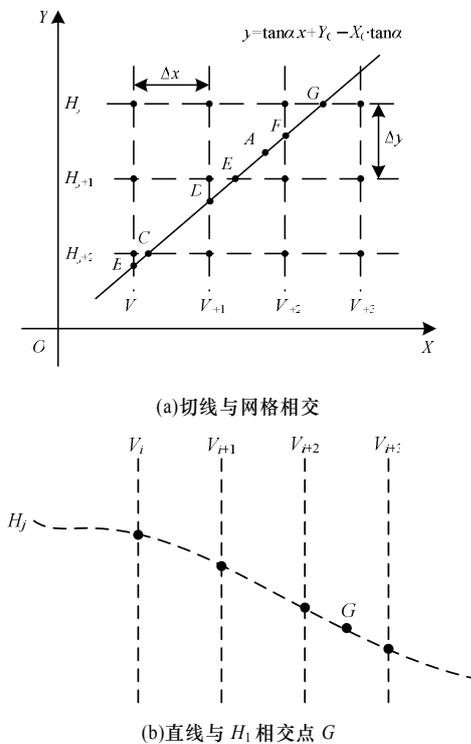


图2 切取剖面过程

由三次样条函数可以求得 Y 轴方向上的 $V_i, V_{i+1}, V_{i+2}, V_{i+3}$ 曲线与 X 轴方向上的 H_j, H_{j+1}, H_{j+2} 曲线。欲得到与网格相交的交点,首先要确定切线方程。设靶头的 XOY 面坐标为 $A(X_0,$

$Y_0)$,以及靶头的 XOY 面上的运动方向与 Y 轴的夹角为 α ,那么最终的切线方程为:

$$y = \tan \alpha \cdot x + Y_0 - X_0 \cdot \tan \alpha$$

当获取切线方程后,就可以在 XOY 投影面上搜索此切线所经过的网格,可求得 BCDEFG 的(x,y)坐标。

(2)假设切线与 H_j 曲线相交于 G 点,如图 2(b)所示。G 点的 z 值可由三次样条曲线 H_j 求得,同理可以求得其他点 BCDEF 的 z 坐标。

(3)现在已知...BCDEFG...的三维坐标值,由三次样条函数可以求得该地层的曲线 S。由于采用的是多层数据模型,具有相同的 XOY 面坐标,因此与该层相邻层的高程分别为... $B_0C_0D_0E_0F_0G_0$...,... $B_1C_1D_1E_1F_1G_1$...,求得的曲线为 S_0 与 S_1 。

(4)构造剖面几何区域,将曲线 S 与 S_0, S 与 S_1 的首末节点相连形成几何区域,并填充生成地层剖面。

2.2 特殊地层划分方法

由于地下泥岩层在空间分布可能是不均匀、不连续的,不同地层间可能出现交叉、缺失或者断层,处理这些特殊情况是建立模型的关键。

(1)交叉情况(如图 3(a)),两地层在相邻点之间处次序发生改变,此时可认为两地层在此两点之间发生交叉一次。考虑到两点之间距离有限,出现交叉三次而导致地层之间次序发生改变的情况极其罕见,因此认为是不可能发生的。处理交叉现象比较简单,只需改变地层间绘制的图形即可。

(2)缺失情况(如图 3(b)),相邻两点之间,其中一个点没有揭露某个地层,则认为未揭露层在两点之间缺失。缺失现象在地层之间比较常见。处理缺失地层的方法是用三次样条函数计算两地层的交点 3。

(3)断层情况(如图 3(c)),当相邻两点之间的地层 1 的高程相差很大,且这个高程差与此两点之间地层 2 的高程差相近,则认为两点之间出现断层。处理断层的方法是在这 2 点中间增加一个点 3,点 3 是一个不连续的点,它是地层 1 和地层 2 曲线分段函数的起止点。

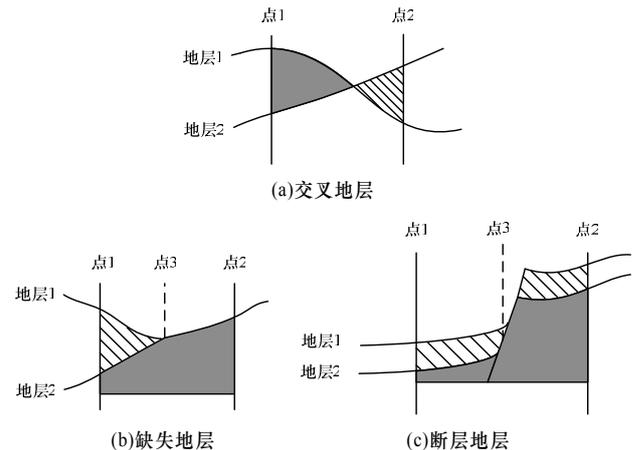


图3 各种特殊地层

2.3 模型数据的动态调整

在自然情况下,地层不大可能发生变动。但是在本项目中,上层地质被挖去后,旧的地层信息就过期了。为了能够及时地获取新地层信息指导施工,本文提出了动态调整模型数据的方法。

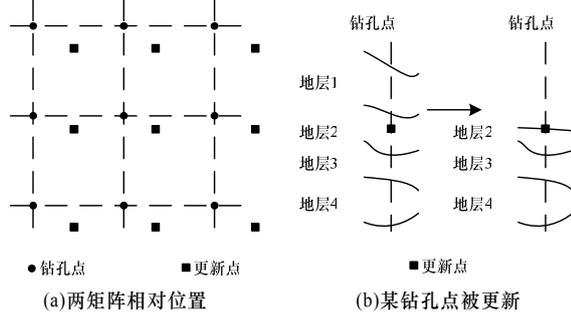
动态调整模型数据是在该工程中利用声纳技术^[7](靶吸挖泥船上装有声纳,可对船体附近区域扫描,获取水下地质

深度)对地层进行扫描,将扫描获得的数据与原地层模型数据进行整合,得到更改后的地层数据模型。具体步骤如下:

(1)利用声纳技术获取船下附近区域的深度,项目中后台声纳模块已经处理好,最终以 200×210 个等间距点阵给出,称更新点矩阵。

(2)如图 4(a)所示,由于更新点矩阵与原钻孔点矩阵的 XOY 面坐标可能没有重合,因此需要通过插值函数计算出钻孔点位置处的 z 值,这边同样采用了三次样条函数插值。图 4(b)表示某钻孔点被更新后的地层情况:钻孔点数据信息被修改,去除了地层 1 的信息,将地层 2 的起始 z 值改为更新点的 z 值,其余地层信息保持不变。

(3)最后将调整好的钻孔点信息按照前面介绍的剖面生成方法生成剖面。图 4(c)画出动态调整模型数据的具体情况。



(a)两矩阵相对位置 (b)某钻孔点被更新 (c)动态调整后的模型样图

图 4 模型数据的动态调整

3 系统实现

基于本文提出的方法,笔者在 Windows 环境下,利用 VC++和 OpenGL 开发了一个耙吸挖泥船挖深自动控制系统的显示模块。它根据耙吸挖泥船的挖泥耙头的位置和运动方向以及事先载入的该区域的 DEM 数据,在耙吸挖泥船上实时显示船下耙头方向的剖面图。用户根据剖面图显示的结果对船和耙头操作,起到了实时交互的作用。该模块对 DEM 规则网格点进行处理,提供的样本数据为 200 个×210 个钻孔点,图 5 为这些 DEM 数据生成的三维模型。

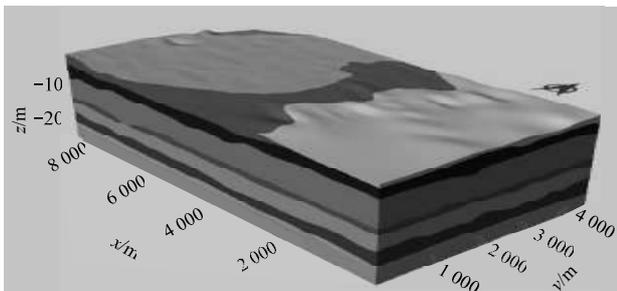


图 5 三维模型

利用前面的地层实时剖面算法对该区域进行处理,只需要处理几百个顶点,就可以生成剖面。此方法相比建模后再生成剖面处理超过 42 000 个顶点,减少了 2 个数量级的开销,大大地提高了运行的效率,达到了实时运行的效果。该程序在一台配置了一个 Intel 2.1 GHz CPU, 1 GB 内存机器上运行,可以达到帧率在 55 f/s~65 f/s 之间,剖面的运行效果如图 6 所示。采用声纳技术动态调整模型数据后生成的剖面效果如图 7 所示。

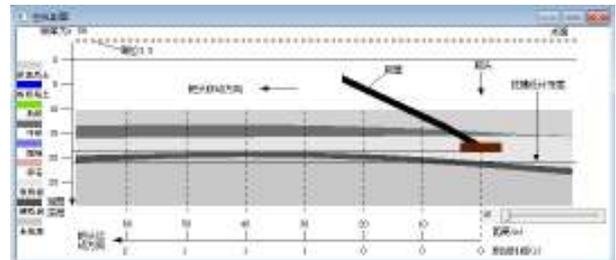


图 6 实时剖面

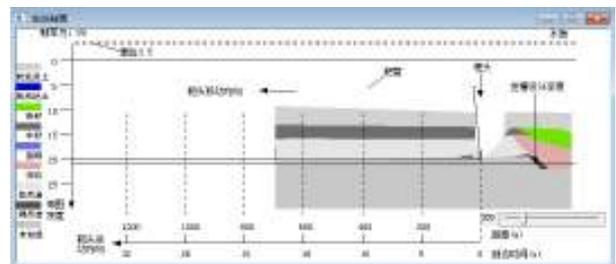


图 7 动态调整模型数据后的剖面

4 结束语

本文利用 DEM 数据,通过基于三次样条的剖面生成方法,达到了实时性。该算法精度高、计算速度快、效率高,可广泛应用。本文方法应用三次样条插值算法,该算法在保证精度的同时提高了计算效率;特殊的地层情况有缺失、交叉和断层,每种不同的情况有相应的解决方法;采用的 DEM 数据与声纳数据相结合的方式,便于工程施工,且符合实时性,本文方法在该领域具有较好的应用前景。

参考文献

- [1] Wolberg G. Monotonic Cubic Spline Interpolation[C]//Proc. of Computer Graphics International Conference. Canmore, Canada: [s. n.], 1999.
- [2] 曾绍标, 韩秀芹. 工程数学基础[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [3] Houlding S W. 3D Geoscience Modeling Computer Techniques for Geological Characterization[M]. New York, USA: Springer-Verlag, 1994.
- [4] 凌咏红, 黄小微. 油田三维地质建模技术及其软件实现[J]. 计算机工程, 2009, 35(1): 237-239.
- [5] 王纯祥, 白世伟, 贺怀建. 三维地层可视化中地质建模研究[J]. 岩土力学与工程学报, 2003, 22(10): 1722-1726.
- [6] 李志林, 朱 庆. 数字高程模型[M]. 2 版. 武汉: 武汉大学出版社, 2005.
- [7] 朱发华, 贺怀建. 基于地质雷达和钻孔数据的三维地层建模[J]. 岩土力学, 2009, 30(增刊): 267-270.