

水污染物扩散模型三维可视化的关键技术

李波, 郑巍, 赵华成

(西安交通大学电子与信息工程学院, 西安 710049)

摘要: 在分析污染物扩散模型的基础上, 针对模型的大规模数据难以可视化的缺点, 提出水污染物扩散模型三维可视化的关键技术, 其中包括三维地形组织与管理、河道数据预处理、污染物浓度等级划分、污染物时空分布等关键技术。实验测试结果证明, 该系统具有较低的时间、空间开销, 适合水污染物模型真三维的可视化。

关键词: 大规模; 三维可视化; 组织与管理; 时空分布

Key Technologies of 3D Visualization on Water Pollution Diffusing Model

LI Bo, ZHENG Wei, ZHAO Hua-cheng

(College of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Abstract Based on analyzing the pollution diffusing model, aiming at the large-scale data is difficult to visualize, this paper puts forward key technologies of the water pollution diffusing 3D visualization, including the organization and management of 3D terrain, the river data pre-processing, grading the concentration of pollutants, temporal and spatial distribution of pollutants. Experimental result indicates that the system has a lower time and spatial expense. It is suitable for the water pollution diffusing 3D visualization.

Key words large-scale; 3D visualization; organization and management; temporal and spatial distribution

1 概述

近年来, 全国水污染重大突发事件屡有发生, 引起国内外的广泛关注^[1]。而现有的监测条件在应急监测、协调管理、决策支持等方面远不能满足对突发水污染事件应急工作的要求。如何充分利用三维可视化技术, 对流域的污染物时空分布和污染物迁移扩散进行模拟, 提升对江河水污染事件的监测、预警和突发水污染事件的应急处理能力, 有着重要的理论和应用价值。

三维可视化是运用计算机图形学和图形处理技术, 将科学计算过程中的数据及结果转换成人的视觉可以直接感受的计算机图形图像, 从而进行数据的探索与分析。三维可视化技术的发展对构建 GIS 的水污染地表信息和污染物的三维可视化^[2-5]创建了有利条件。随着遥感技术、卫星技术的发展, 获得高分辨率的 DEM 以及纹理数据成为可能, 也使 DEM 数据和纹理数据非常庞大, 超出了一般的图形系统的实时绘制与内存管理的能力, 对地形的实时绘制也提出了要求。因此, 地形三维可视化技术研究的关键问题就是三维地形模型的管理、调度与快速绘制, 以达到实时绘制的要求。

2 水污染物扩散模型三维可视化系统组成框架

本系统分为 2 个功能子系统: 三维地形管理子系统和污染物扩散可视化子系统。每个子系统都采用 MVC 的设计模式。整个系统建立在污染物数据库之上, 对污染物扩散模型的计算结果进行数据显示和三维可视化。污染物扩散模型为可视化系统提供了黄河流域的水文数据、地理数据以及其他一些与可视化相关的数据。

系统的基本组成框架如图 1 所示。系统所使用的数据包括污染物数据库和空间数据库两部分。污染物数据库对原有

扩散模型的数据库进行了扩展, 建立了污染物扩散模型计算点与该点所在地形和河道的对应关系。空间数据库包含地形描述文件、地形高程文件、地形细节文件以及外部导入模型等。所有的文件都由地形描述文件使用 XML 格式进行组织, 并与污染物数据库中的表相关联, 用户可以通过访问数据库调用相应的地形文件。系统数据库结构关系如图 2 所示。

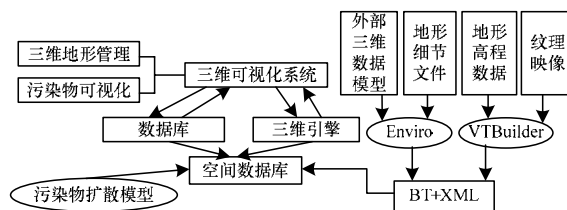


图 1 系统整体框架

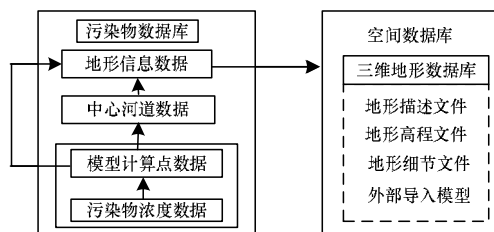


图 2 系统数据库结构关系

基金项目: 电子信息产业发展基金资助项目“基于 3S 技术的江河流域水污染自动化预防和应急处理研发与应用”(遥 0135012007)

作者简介: 李波(1968-), 男, 副教授, 主研方向: 形式化方法, 软件工程, GIS, 高性能科学计算可视化; 郑巍、赵华成, 硕士

收稿日期: 2009-11-27 **E-mail:** boblee@xjtu.edu.cn

3 关键技术及设计

3.1 三维地形组织及管理与多地形场景的切换技术

污染物的三维可视化需要结合外部的三维虚拟地形才能够直观地表达。随着卫星、遥感技术的发展,DEM数据的精度越来越高,规模也越来越大,处理的三角形数目可达数亿个,如果不对地形进行处理,很难一次性将所有地形数据读入内存,并且也会影响到显示的效果。因此,为了在PC机上面达到令人满意的实时显示效果,这里采用了多地形场景切换技术。

系统将黄河流域地形切分为31块,在界面上用二维分块地图表示其在空间上的位置关系,并且对污染物计算结果的数据库进行扩展,在数据库放入相关的地形信息,建立地形与二维分块地图之间的一种映射关系,通过控制二维分块地图来控制三维虚拟地形的显示;用户控制二维分块地图,系统会获取对应的地图编号,然后到污染物数据库查询相应地形并进行调用。

3.2 污染物扩散模型三维可视化

污染物分布的三维可视化主要是将污染物扩散模型计算的结果转换成图形图像,结合三维虚拟地形进行显示。其目标是实现在选定地形区域的河道上对污染物扩散的时空分布和污染物的动态演进进行模拟。在用户选定区域地形后,系统根据地形文件从污染物数据库中读取河道信息和污染物数据,采用等值面的方法进行可视化,在三维地形的河道上显示,同时给出该地形上计算点的污染物浓度等相关数据。并为用户提供交互操作,以控制污染物的时空分布的状态以及污染物演进的过程。

3.2.1 河道数据的预处理

污染物分布的三维可视化首先要建立模型计算点和河道中心点经纬度坐标的对应关系。黄河流域水污染扩散模型采用了一维对流扩散模型,该模型按照河流的长度进行计算,在从花园口到利津的河段上,每2 km为一个计算点,而空间数据库提供的中心河道数据是经纬度坐标。

在进行污染物三维可视化之前,采用Excel表格对河道数据进行预处理,计算中心河道点之间的距离,根据模型计算点的沿程长度,使用折半查找的方法找到与计算点最接近的中心河道经纬度坐标放入污染物数据库,建立经纬度坐标与河流计算点之间的对应关系。由于河道中心点的采样密度比模型计算点要高,因此使用折半查找所得到的计算点的经纬度坐标可以用来表达模型计算的实际地理位置,满足可视化的精度要求。

3.2.2 污染物浓度等级划分

污染物分布的三维可视化实际上是找到河道上的点所对应的污染物浓度值,将其按一定的方法转换成颜色,显示在三维地形上,因此污染物分布的三维可视化需要建立污染物浓度值与颜色值的映射关系,这里使用RGB值的红色系(红色R分量)对应不同的污染物浓度,污染物浓度增大,R分量增大,颜色逐渐变红、变深。

由于不同种类的污染物,其构成污染的浓度值有效范围不一样,因此无法给出通用的浓度等级划分方案,只能根据特定的污染物,建立其浓度值与颜色值的映射关系。一种简单的设计方法是从污染物的数据库中找到河道上所有监测点污染物浓度的最大值与最小值,将其差值均分为256份,得到颜色值步长所对应的浓度值步长(C),则某一监测点的颜色值等于该点浓度值与最小浓度值之差除以浓度值步长(C)

再取整。

其数学公式为

$$R_i = \left\lfloor (C_i - C_{\min}) \cdot \frac{256}{(C_{\max} - C_{\min})} \right\rfloor$$

其中, C_i 是在污染物数据库中读取的所要计算的河道某点的浓度; C_{\min} 和 C_{\max} 表示污染物数据库中污染物浓度的最小值与最大值; R_i 表示所要求的河道某点的RGB值的红色分量。

但是由于污染物浓度的分布不呈现线性分布,并且存在不同的数量级(不同的10的幂次),上述方法精度不够,特别是对于数据密集且变化较小的情况不能很好地表达。

这里根据数据的不同数量级给出一种分段的浓度等级划分方案,该方案取数量级在 $10^1 \sim 10^{-4}$ 的区间为污染物浓度的有效表达区间,将每一个数量级的区间均分为50份对应于颜色值,大于 10^1 数量级的浓度对应颜色值的红色分量为255,表示污染严重;低于 10^{-4} 数量级的浓度对应颜色值的红色分量为0(白色),表示污染程度可忽略。

表示其数学表达式如下:

$$R_i = \begin{cases} 255 (C_i > 10^1) \\ 200 + [C_i / 0.2] (10^1 > C_i > 10^0) \\ 150 + [C_i / 0.02] (10^0 > C_i > 10^{-1}) \\ 100 + [C_i / 0.002] (10^{-1} > C_i > 10^{-2}) \\ 50 + [C_i / 0.0002] (10^{-2} > C_i > 10^{-3}) \\ [C_i / 0.00002] (10^{-3} > C_i > 10^{-4}) \\ 0 (10^{-4} > C_i) \end{cases}$$

3.2.3 污染物浓度分布的可视化方法

由于污染物扩散模型使用的是一维对流扩散模型,因此计算结果是每一时刻每个计算点的浓度值,是一个标量。而且考虑计算点之间的距离(2 km),可以用一点的浓度值来近似表达一个计算点附近2 km范围内水体的污染物浓度,因此可采用等值面的方法来近似表达,即二维纹理映射的方法。

二维纹理映射生成的是矩形,在三维虚拟地形上,河道高程要低于地形表面高程,在映射时可控制纹理映射的高度值(Z值),即可使纹理表现在河道上但不会出现在地形上,即可完成对河道上污染物分布的模拟。

此外,由于河道中心点数据为经纬度坐标,在生成纹理时应转换为三维世界坐标,对应的颜色值由3.2.2节的浓度等级划分方法确定。

纹理模型如图3所示。

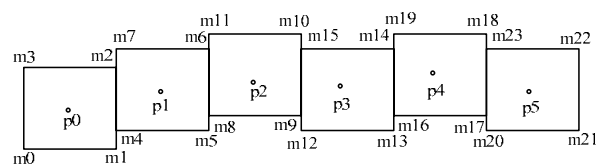


图3 纹理模型

$M[i].X, M[i].Y, M[i].Z$ 为三维虚拟场景的XYZ坐标,具体参照右手坐标系; $P[i].lon, P[i].lat$ 分别表示河道中心点的经、纬度坐标, $EarthOrigin.X, EarthOrigin.Y$ 分别表示地形起始边界的经、纬度坐标; $EarthEnd.X$ 表示地形结束边界的经度坐标; $River.Elevation$ 表示该河道的高程; $Scale.X, Scale.Y$ 分别表示地球经纬度步长,其中 $Scale.X=91\ 301.552\ 1\ m, Scale.Y=111\ 317.101\ 6\ m$ 。

3.2.4 污染物时空分布及演进的的控制

污染物扩散模型的三维可视化除了对污染物分布进行显示和绘制外,还需要为用户提供交互操作,以控制污染物时空分布的状态以及污染物的动态演进。由于污染物迁移扩散是时空四维变化过程,因此主要以时间和空间作为控制变量进行控制,即改变时间以改变污染物的分布状态,改变空间位置以观察污染物的浓度变化。

4 水污染物扩散模型三维可视化系统

黄河流域水污染扩散模型可视化系统利用黄河流域 1:10 000 矢量高程数据来建立空间地形数据库,并对原有的污染物数据库进行了扩展,添加了 31 块地形所对应的地形文件以及地理位置等信息;添加了 MainFlow 记录中心河道的地理坐标、Station 记录主要监测断面的地理坐标以及记录监测断面的水质警戒参数等几张表;对原有的 point 表扩展,使其与添加表字段以及空间地形数据库关联。在此基础上,将三维可视化技术与虚拟现实技术相结合,实现对黄河流域水污染物扩散模型的三维的可视化。

4.1 污染物三维可视化的实现

系统使用 VTP 的 vtDynGeom 类派生一个新的几何图形类 MyGeom,在该类内部用污染物浓度数据生成二维纹理。当用户选定区域地形后,系统会根据地形文件名从污染物数据库中读取河道信息和污染物数据,将数据传给 MyGeom 类生成纹理,然后将该类添加到地形场景组 vtGroup 中,VTP 会自动调用该类并将纹理映射到地形河道上。

4.2 数据显示

三维地形管理系统主要实现了对空间地形数据库的管理和对污染物计算结果的数据显示查询的功能,数据显示部分分为站点概貌和模拟结果 2 栏,污染站点概貌列出了黄河流域从花园口到利津这段河道上面主要监测断面常规水文数据;模拟结果部分列出了使用污染物扩散模型计算得到的一段时间内主要监测断面上的水文水质数据,并根据警戒参数表的数据,对超过警戒值的记录用彩色进行标注显示。该部分还可以向警戒参数表添加站点、污染物种类和相关警戒数据,以更改变相应监测断面的水文和水质数据的警戒值,从而达到对主要监测断面水文数据进行实时更新。

4.3 交互控制

水污染物扩散三维可视化系统向用户提供了 2 种污染物演进的控制方法,一种是控制污染随时间变化的全局演进方式,另一种是控制污染在空间上变化的污染物追踪方式。

全局演进完成一段时间内污染物在整个河道上随时间的空间变化情况。用户通过输入或点击按钮操作改变当前时间来查看相应河道上面点的污染物分布;也可以给出自动模拟的起始时间(默认为模型预测开始时间)、终止时间(默认为模型预测结束时间)和模拟时间(默认每步时间间隔不低于 0.5 s),启动自动演进,系统会模拟从起始时间到终止时间内污染物在河道上的分布变化。污染物分布随时间变化时,数据显示部分会同时刷新,显示该地形当前时间的水文数据。

污染物追踪完成一个时刻污染物沿河道的变化。用户通过键盘控制监测船在河道上前进,数据显示部分会同步刷新监测船(点)所在位置的相关水文数据。数据部分在显示监测船的信息时需要先查询,判断当前位置是否在监测点,如果是在监测点则刷新列表数据,否则不刷新列表数据。

4.4 实现结果

图 4 和图 5 显示了系统运行的地形管理和污染物的可视

化结果界面。

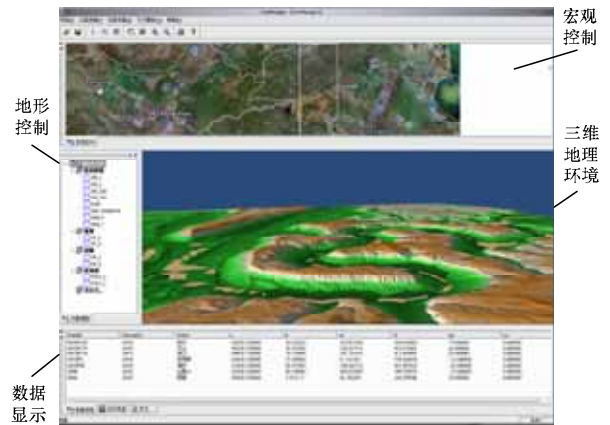


图 4 地形管理

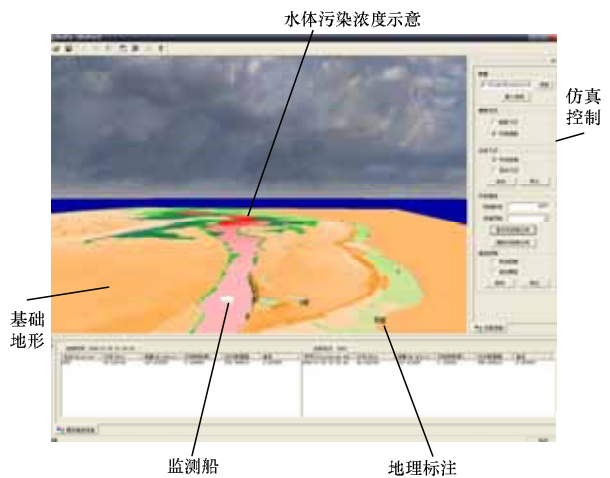


图 5 污染物扩散可视化

4.5 性能分析

在系统研发中,三维地形场景的读取和绘制性能一直是一个急需解决的问题。由于地形规模较大,本文采用了多地形场景切换的方案,即使这样,最大的地形调入仍需耗时 1 min 42 s,使得在地形切换和污染物跨地形演进时相应地形不能及时调入,严重地影响了系统功能的实现。现有系统的性能分析如表 1 所示。

表 1 系统性能

地形文件 大小/KB	网格规模	载入时间	CLOD 算法 耗时/s	CreateTextu-re 时间/s
4 105	1 025×1 025	3 s	0.359	1.797
65 569	4 097×4 097	46 s	5.469	32.953
262 209	8 193×8 193	1 min 42 s	55.157	37.922

在三维场景绘制方面,地形可视化的绘制已形成体系,绘制算法的研究已相对完善;在高性能计算机和图形工作站上已实现了大规模地形场景的快速实时绘制,Streaming 和 Out-of-Core 等方法被使用以提升海量外存数据的读取速度,但基于单 PC 的大规模地形场景的快速实时绘制技术目前尚未得到解决;随着硬件性能的提升,如何充分发挥 CPU、GPU、I/O 三者的性能,利用硬件级的并行实现单 PC 上大规模地形场景的快速实时绘制,提高海量数据的 3D 漫游速度以及 3D 模型可视化的真实感,形成一种通用的方法来连接 GIS 数据和可视化渲染的内容仍是需要解决的技术问题。

(下转第 257 页)