

基于三角形网格算法的水污染应急系统研究

庞治邦,刘波,周振

中国人民解放军后勤工程学院, 重庆 401331

摘要: 随着现代工业的发展,化学品的用量和运输量与日俱增,从而增加了有毒物质泄露的概率,导致水污染突发事件的发生。但目前水污染突发事件应急处理系统的功能还不完善,无法满足各水域应急事件的处理需求。为此,本文设计了一套水污染突发事件应急处理系统。该系统以Web GIS为基础架构,以EFDC为水污染扩散模型,采用浏览器/服务器形式进行数据的输入、处理和结果展示;服务器通过对水质水文数据的分组和插值将污染物浓度划分为8个区间,用8种颜色来完成污染物的精确展示;采用三角形网格算法对相同浓度的污染物进行等值面绘制,给出了三角形网格的绘制算法、等值点的确定、等值线的追踪及等值线的光滑算法,这些都使用户能够更加直观的观察水污染的具体情况,对水污染的应急决策具有重要意义。

关键词: 水污染; 应急系统; 三角形网格算法

中图分类号: X131.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2016)02-0274-04

Study on the Emergency System of Water Pollution Based on Triangle Mesh Algorithm

PANG Zhi-bang, LIU Bo, ZHOU Zhen

Logistic Engineering University of PLA, Chongqing 401311, China

Abstract: The amount of chemicals and carriages is increasing with the development of modern industry so as to increase the probability of leakage to lead to pollution incidents. But the current emergency treatment system for water pollution emergency function is not perfect and can not meet the demand of the water emergency treatment. Therefore, this paper designed the emergency treatment system for a water pollution, which was based on Web GIS architecture, using EFDC as a water pollution diffusion model to use the browser / server form of water pollution data input to process and display the results; the server through the grouping and interpolation on water quality and hydro-logical data of pollutant concentration would be divided for the 8 interval to display accurately 8 colors to complete the pollutants; then the pollutant triangle mesh algorithm on the same concentration of surface rendering was given triangle mesh rendering algorithm to contour point determination, contour tracing and contour smoothing algorithm. Which enabled users to specific situation of water pollution to observe more intuitive. It is of great significance for water pollution emergency decision.

Keywords: Water pollution; emergency system; triangle mesh algorithm

为了应对近年来发生的水污染突发事件,沿河国家进行了大量的水污染突发事件应急处理系统和水源地安全的研究^[1,2],并将多媒体技术、数学模拟和互联网技术应用在应急处理系统中,如欧洲开发的“环境监测预警系统”,就能够完成水污染突发后的多元决策。而国内的发展较晚,已有的水污染应急系统各自独立,无法形成一个有机体系;在水污染突发事件的应急决策上,都是手动录入,自动化程度低而且不能从其它水污染事件处理中汲取经验,无法满足我国各水域的需求^[3,4]。针对上述问题,就需要一个性能更加完善,自动化程度更高的水污染应急系统。

1 水污染应急系统的总体设计

1.1 水污染应急系统的体系结构

系统整体结构采用浏览器/服务器形式,用户登录后,输入水污染突发事件的时间、地点和污染物总量信息,将其提交至 Web 服务器。Web 服务器对用户的请求进行处理,将 GIS 应用服务器所需的信息进行提取计算,然后将计算结果返回至 Web 服务器,由其发布处理结果。如此用户就能够在各自的浏览器端查看处理结果,一个用户访问至最终结果发布的过程如图 1 所示:

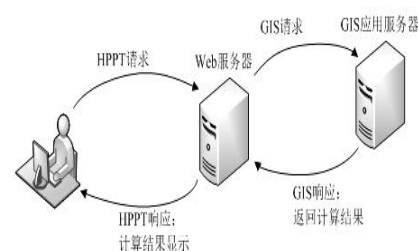


图 1 用户获取 GIS 服务流程

Fig.1 Service process of users' access to GIS

收稿日期: 2015-03-13

修回日期: 2015-05-22

作者简介: 庞治邦(1990-),男,汉族,硕士研究生,主要研究方向为水处理技术. E-mail: pangzb0406@163.com

从图 1 可以看出,系统由 Web 服务器和 GIS 应用服务器组成,而 GIS 应用服务器又包括数据库服务器和地图服务器。其中 Web 服务器向用户提供具体服务,是用户直接面对的系统;数据库服务器中存储全部的水质水文数据和动态监测数据,用来支撑地图服务器;地图服务器以数据库服务器为支撑,提供地图的查询、分析等功能。

1.2 应急处理模块设计

应急处理模块完成系统的主要功能,实现对输入数据的处理和展示,由模型输入及预处理、模型正式处理和模型展示三个模块组成。

1.2.1 模型输入及预处理模块设计 模型输入由用户在浏览器界面完成,预处理由 Web 服务器完成,然后将预处理数据发送至 GIS 应用服务器进行计算。模块主要完成流域信息管理、参数设置和图层管理功能。

1.2.2 模型正式处理 系统以 EFDC 为水污染扩散计算模型,其为独立的扩展模块,所以需要将输入数据按照 EFDC 模型的输入文件格式进行编制,本系统中创建输入文件与主控文件的为 Cmodelinputdata.cs 类,模型计算的为 EFDC_DS_LIB.dll 类,生成输出文件的为 Cmodeloutputdata.cs 类。

1.2.3 模型展示 调用 EFDC 模型对水污染的扩散进行计算后,就能够在地图上展示,系统能够完成速度矢量场展示、峰值运移轨迹、等浓度面的绘制和区间污染物浓度统计等,本文主要对基于三角形网格算法的污染物等浓度面绘制进行研究。

2 数据分组与插值

2.1 数据分组

在污染物等浓度面的绘制过程中,为了尽可能的使显示结果清楚,需要先对数据进行分组,然后再展示给用户。此处采用等距分组将污染物浓度划分为八个区间,分别用紫色、橘黄色、红褐色、浅黄色、红色、黄色、淡绿色和淡蓝色 8 种颜色在地图上表示,其污染物浓度由高到底,这样就能够通过颜色来直观的对水污染物浓度进行查看。

2.2 数据插值

由于掌握的污染物浓度的数据都是离散的,且在某些位置还缺少相关数据,但绘制空间连续的污染物浓度曲线需要连续数据,所以在曲线绘制前要对数据进行插值。此处采用层次 B 样条插值算法,在 100×100 的矩形网格区域内,20 个监测点的数据如图 2 所示,通过监测点数据进行插值的结果如图 3 所示,从图中能够看出,插值后的曲面光滑过度,能够满足显示要求。

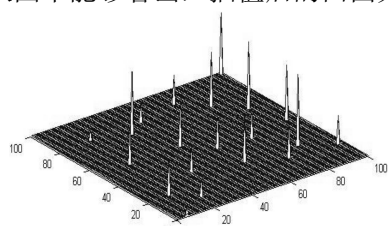


图 2 监测点数据
Fig.2 Data from monitoring points

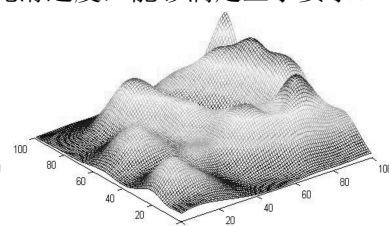


图 3 插值结果
Fig.3 Results of interpolations

3 水污染等值面绘制

系统需要直观地给用户展示水污染的扩散情况,就要用等值面在地图上绘制出污染物分布情况,而等值面是基于等值线绘制的,所以绘制等值线是最重要的一步,本文采用网格数量少、精度高的三角形网格^[5,6]建立插值网格,整个等值面的绘制包括插值网格的绘制、等值点的确定、等值线的追踪和等值线的光滑四步。

3.1 插值网格绘制

本文采用逐点插入法生成插值网格,其基本思想为在存在的三角网当中,每次仅插入一个点,然后重新定义三角形,其具体步骤如下:

- ①定义一个包含全部数据点的初始多边形;
- ②在步骤1的的初始多边形中, 创建初始三角网格;
- ③插入一个数据点D, 在三角网中找到包含D的三角形T, 将三角形T和数据点D的三个顶点连接, 进而产生三个新的三角形;
- ④使用LOP算法对三角形网格进行优化;
- ⑤重复步骤3和步骤4, 直至处理完全部数据点。

3.2 等值点的确定

三角形网格 $\triangle P_i P_j P_k$ 上的任意一条边 $P_i P_j$, 其存在的值为Value的等值点条件如式1所示:

$$(Z(P_i) - Value) * (Z(P_j) - Value) < 0 \tag{1}$$

如果 $\triangle P_i P_j P_k$ 满足式1, 就要使 $Z(P_i)$ 的值稍作变化, 使等值线通过三角形; 如果 $\triangle P_i P_j P_k$ 不满足式1, 则分为如下三种情况:

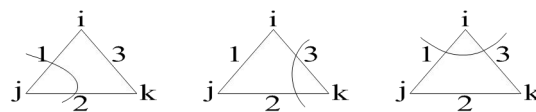


图 4 等值线的三种走向
Fig.4 Three trends of contour lines

此时对 P_i, P_k 和 P_j, P_k 按式 1 进行判断, 就能够确定等值线所经过的三角形边。对全部三角形网格执行同样的操作, 就能获得全部值为 Value 的点, 这样便确定了等值点。

3.3 等值线的追踪

在完成等值线的确定后, 接下来要进行等值线的追踪。根据等值线类别, 等值边的搜索分为非闭合等值线等值边搜索和闭合等值线等值边搜索。

非闭合等值线等值边搜索步骤如下:

①在已经确定的等值线集合中, 选择一条等值线数值为依据。在边界边上找出一条等值边数值与等值线物理量值相等的边为起始边, 如果未找到, 说明其为闭合等值线, 按照闭合等值线等值边搜索办法进行搜索, 否则将该边添加至相应的等值边集合中并将其移出待搜索边集合;

②在起始边相邻的三角形网格中, 继续寻找第二条等值边, 找到后将该边添加至相应的等值边集合中, 并将其移出待搜索边集合;

③从待搜索的边集合中, 移出已完成等值线搜索的三角形。然后再寻找下一条等值边, 其仅有一个相关的三角形, 在该三角形内继续搜索下一条等值边, 找到后把该边添加至相应的等值边集合中并将其移出待搜索边集合;

④重复执行步骤3, 直至下次找到的三角形边界边为等值边为止;

⑤完成了一条非闭合等值线的等值边搜索。

闭合等值线等值边搜索步骤如下:

①在已经确定的等值线集合中, 选择一条等值线数值为参照。从等值边集合中找出任意一条边作为等值线度量值的起始边, 如果未找到, 说明集合中无该等值线, 那么就完成了该条等值线的搜索, 继续进行下一条等值线的搜索。

②在起始边相邻的三角形网格中, 寻找第二条符合条件的边, 找到后将该边添加至相应的等值边集合中, 然后将其移出待搜索边集合;

③从待搜索的边集合中, 移出已完成等值线搜索的三角形。然后再寻找下一条等值边, 其仅有一个相关的三角形, 在该三角形内继续搜索下一条等值边, 找到后把该边添加至相应的等值边集合中并将其移出待搜索边集合;

④重复执行步骤3, 直至下次搜索的等值边为起始边结束;

⑤完成了一条闭合等值线的等值边搜索。

3.4 等值线的光滑

在完成等值线的追踪后, 最终结果都是直线段, 为此采用B样条曲线法^[7,8]对等值线进行光滑处理。设给定的n+1个点为 P_0, P_1, \dots, P_n , 采用三次B样条曲线对四点光滑处理。假设待光滑处理的四个点为 $P_{i-1}, P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$, 每两点划分为n段进行三次B样条拟合光滑处理, 设 $t = i/n (i = 1, 2, 3, \dots, n)$, 则三次B样条拟合的矩阵如式2所示:

$$p(t) = \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} \frac{1}{6} \begin{pmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{i-1} \\ P_i \\ P_{i+1} \\ P_{i+2} \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中, $1 \leq i \leq n-2, 0 \leq t \leq 1$, 对于非闭合等值线, 有 $P_n \neq P_0, P_i = 2P_0 - P_1, P_{n+1} = 2P_n - P_{n-1}$; 对于闭合的等值线, 有 $P_n = P_0, P_i = P_{i-1}, P_{n+1} = P_1$ 。其中 $P_{i-1}, P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$ 为四个点向量, 其在二维x, y轴上的分量如式3, 是4所示:

$$x(t) = \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} \frac{1}{6} \begin{pmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{i-1} \\ x_i \\ x_{i+1} \\ x_{i+2} \end{pmatrix} \quad (3) \quad y(t) = \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} \frac{1}{6} \begin{pmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{i-1} \\ y_i \\ y_{i+1} \\ y_{i+2} \end{pmatrix} \quad (4)$$

将式3和式4展开, 得到关于x和y的方程如式5所示:

$$\begin{cases} x(t) = (-\frac{1}{6}t^3 + \frac{1}{2}t^2 + \frac{1}{2}t + \frac{1}{6})x_{i-1} + (\frac{1}{2}t^3 - t^2 + \frac{2}{3})x_i + (-\frac{1}{2}t^3 + \frac{1}{2}t^2 + \frac{1}{2}t + \frac{1}{6})x_{i+1} + \frac{1}{6}t^3x_{i+2} \\ y(t) = (-\frac{1}{6}t^3 + \frac{1}{2}t^2 + \frac{1}{2}t + \frac{1}{6})y_{i-1} + (\frac{1}{2}t^3 - t^2 + \frac{2}{3})y_i + (-\frac{1}{2}t^3 + \frac{1}{2}t^2 + \frac{1}{2}t + \frac{1}{6})y_{i+1} + \frac{1}{6}t^3y_{i+2} \end{cases} \quad (5)$$

拟合曲线在 P_{i-1} 到 P_{i+2} 间随参数t顺序变化, t在0到1范围内变化。通过式3, 4, 能够计算出所拟合曲线的位置点。当完成所有计算后, 按顺序连接各位置点完成曲线的拟合, 这样就完成了等值线的光滑处理。在生成光滑的等值线后, 在各等值线间填充对应的颜色, 就完成了等值面的绘制。使用该方法绘制的等值面如图5所示, 其表示污染物浓度的分布, 其中不同颜色代表不同的污染物浓度。



图 5 污染物浓度等值面
Fig.5 Contour surfaces of pollutant concentrations

4 讨论

本文在水污染突发事件的应急处理系统的设计过程中, 运用数据分组和插值算法进行数据修正, 同时采用三角形网格算法对等值线进行追踪, 取得了较好的等值面展示效果。但同时也存在一些问题: 一是人机交互受限于目前的Web GIS技术, 功能还不够完善, 人机界面也不够美观; 二是绘制出的等值面与实际污染情况略有差异, 而且算法的等值面绘制时间也不是非常令人满意。这些还需在后续的开发中予以更大的重视。

5 结论

针对目前国内水污染突发事件的应急处理系统功能不完善问题, 研究了基于三角形网格算法的水污染应急系统。系统以浏览器/服务器形式进行数据的传递和展示, 通过三角形网格算法能够将水污染情况清晰直观的展示给用户, 对今后水污染突发事件的应急决策具有重要意义。

参考文献

[1] 李 兰,武 见.梯级水库三维环境流体动力学数值预测和水温分层与累积影响规律研究[J].水动力学研究与进展,2014,3(2):155-164
 [2] Forsey DR, Bartels RH. Surface Fitting with Hierarchical Splines[J]. ACM Transactions on Graphics, 2015,14(2):134-138
 [3] 陈蓓青,谭德宝,程学军,等.三峡水库突发性水污染事件应急系统的开发[J].人民长江,2014,3(5):89-91
 [4] 孙 军,高莉莉,姜 岷.博市水环境实时监测系统初探[J].山东农业大学学报:自然科学版, 2015,38(2):299-303
 [5] 王 炜,胡望水.渐次插入三角网格化方法[J].电脑编程技巧与维护,2015,2(3):61-63
 [6] Theophilopoulos NA, Efstathiadis SC. Environmental Monitoring Warning and Emergency Management System[J]. Spill Science and Technology Bulletin, 2014,3(2):19-24
 [7] 毛伟兵,庞清江,李冬梅.东平湖水污染关键因子的控制研究[J].山东农业大学学报:自然科学版,2014,34(1):29-32
 [8] 王永卫,陈从新,宋鑫颖,等.自然三次样条法处理边坡变形数据的应用研究[J].水文地质工程地质,2015,3(4):88-91