

太湖水污染扩散插件式模拟系统

韩宇, 郭飞, 葛成, 张凤

(南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210046)

摘要: 插件式太湖水污染扩散模拟系统, 基于三维水体污染扩散模型, 结合 GIS 技术和三维可视化技术, 再现了水体污染物运移扩散的时空分布特征与动态演进过程。为了保证系统的可扩展性, 需要一种松散的耦合机制。插件技术可以有效地降低系统功能模块间的耦合, 把插件技术引入 GIS 的二次开发可以赋予系统动态可扩展性。本文首先, 介绍插件式系统的一般结构, 然后, 依据水污染扩散模拟的实现流程, 设计系统的宿主程序和各功能插件, 并在此基础上, 实现了插件式太湖水污染扩散模拟系统, 对插件技术在 GIS 的二次开发中的应用做出了有益的尝试。通过插件这种松散的耦合机制, 插件式太湖水污染扩散模拟系统, 具有良好的动态可扩展性, 可在不影响已部署系统的前提下, 快速地纳入新的功能插件, 扩展系统功能。

关键词: 插件技术; 太湖; 水污染扩散模拟; 模型模拟系统

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2011.00245

1 引言

水污染会直接危及到人类的生命和健康。近些年来, 我国水污染事件频繁发生。比较典型的案例有松花江污染事件、太湖蓝藻事件、江苏省沭阳县水污染事件等。为了掌握水污染的真实情况, 学者们已经对水污染扩散模拟进行了大量研究。当前, 基于三维水体污染扩散模型^[1], 应用 GIS 技术和三维可视化技术^[2-6], 再现水污染扩散的时空分布状况和水污染扩散的动态演进过程, 为水污染的治理提供辅助决策支持, 是水污染扩散模拟研究的热点之一。这类系统大多采用组件技术开发, 但是, 由于系统集成工作比较复杂, 各功能组件往往耦合在一起, 以致系统的可维护性较差。特别是这类系统很难实现已有功能的动态扩展, 每增加或修改一个功能, 都要对整个系统进行重新编译, 重新发布并重新部署。这个过程不仅浪费了大量的人力物力, 更可能给系统带来不可预知的错误。

插件是比组件更高层次的模块封装技术, 能够

较好地解决这个问题。基于插件技术开发的系统具有安全的动态可扩展性, 通常把整个系统分为宿主程序和插件程序两部分。宿主程序是插件的依附对象, 插件是系统功能的承载者, 两者基于一种公共的通信契约进行通信。对于插件式系统, 增加或修改系统功能只需要单独开发新插件或单独修改相应的插件, 并对插件进行单独编译、单独发布和单独部署, 整个过程无需对系统主体进行任何修改^[7-11]。

本文把插件技术引入水污染模拟系统的开发, 阐述了插件式 GIS 系统开发的全过程, 并基于三维水体污染扩散模型, 应用 GIS 技术和三维可视化技术, 实现插件式水污染扩散模拟系统的开发。

2 插件技术与系统结构

插件是一种遵循统一的预定义接口规范编写出来的程序, 应用程序在运行时通过接口对插件进行调用, 以扩展应用程序的功能。采用插件技术进行软件开发, 通常把整个系统分成宿主程序和插件

收稿日期: 2010-08-14; **修回日期:** 2010-12-01.

基金项目: 国家科技支撑计划重点项目“基于环境一号等国产卫星的大型水体环境遥感监测应用技术与软件开发”(2008BAC34B05); 国家科技重大专项“国家水环境遥感技术体系研究与示范”(2009ZX07527-006)。

作者简介: 韩宇(1988-), 男, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事地理信息系统应用技术研究。

E-mail: hy.gis@163.com

两个部分。宿主程序是插件的依附对象,可以独立于插件存在,在不改变宿主程序的情况下,可以通过增减插件或修改插件的方式增加或调整系统功能,它包括 3 个部分:主控程序、插件引擎和通信契约。插件是系统功能的承载者,是可独立开发的程序模块,封装了程序的某些功能,可以被宿主程序动态加载并使用^[7-11]。插件技术与 PC 的硬件类似,宿主程序相当于 PC 的主板,通信契约就是主板上的各种接口,插件对应于 PC 的各功能扩展卡(如声卡、显卡等,每个扩展卡实现一定的功能)。此外插件技术的扩展机制类似于 PC 硬件的“即插即用”机制。扩展 PC 的功能只需要添加相应的扩展卡,同样的,扩展插件式系统的功能也只需要添加相应的插件。插件式系统的结构如图 1 所示:

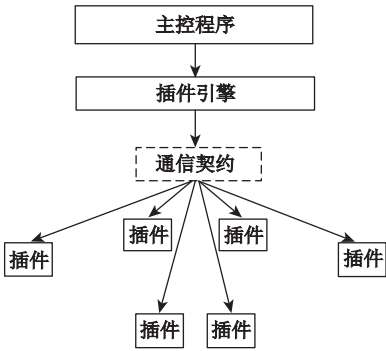


图 1 插件式系统的结构

Fig. 1 Structure of the plug-in system

3 系统的设计

3.1 水体污染扩散模拟流程设计

水污染扩散模拟一般由模型、数据预处理及模拟结果可视化 3 个部分组成^[3-4]。太湖水污染扩散模拟以太湖周边监测站监测数据和遥感反演数据为依托,基于水体污染扩散模型,结合标量场和矢量场可视化技术,形象直观地再现太湖水污染扩散过程。

水体污染扩散模型基于不同水动力条件下,太湖水体典型污染物扩散机制,能够模拟主要河流入湖口污染物的定量排放,能够反映生物降解作用于风场作用下的污染物运移规律;通过该模型的验证反馈机制,能够实现大型水体水流动力场与污染物运移的动态模拟。

模型计算之前需要进行数据预处理,对模型计

算过程中所需数据进行整理和组织。水体污染扩散模型需要水底地形、污染物状况、水流状况和物理参数等数据,其中,水底地形由 DEM 文件获得。污染物状况通过对太湖内岛监测站点的实测数据或遥感反演数据进行内插计算获得。水流状况主要考虑风应力、入河河口流量和污染物通量。物理参数包括糙率、科氏力、生物降解系数、水平紊动扩散系数^[1-6]。

可视化是将模型计算的结果转换成图形图像,实现太湖水体标量场与矢量场的 2 维/3 维表达,再现水污染扩散的时空分布状况和水污染扩散的动态演进过程。太湖水污染扩散模拟实现流程如图 2 所示:

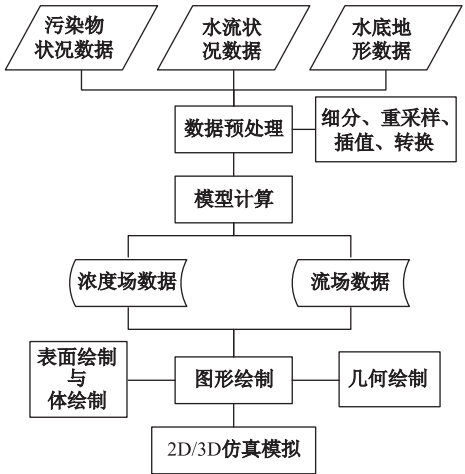


图 2 太湖水污染扩散模拟实现流程

Fig. 2 The process of Taihu Lake water pollution diffusion simulation

3.2 宿主程序的设计

插件式太湖水污染扩散模拟系统基于三维水体污染扩散模型,结合 GIS 技术和三维可视化技术,实现太湖水污染扩散的时空分布状况和水污染扩散的动态演进过程仿真模拟。针对本系统的特点,宿主程序设计如下:

参考插件式系统的一般结构^[7-11],本系统宿主程序包括 3 个部分:主控程序、插件引擎和通信契约。

主控程序负责关联插件 UI 对象和插件对象事件,并为用户提供交互界面。它的工作包括两部分:一是解析插件对象,生成各种按钮、工具、工具条和菜单等 UI 对象,并将 UI 对象与插件对象事件

进行关联;二是提供一个包含基本 GIS 控件和数据可视化控件的交互界面,如图层控件,地图显示控件等。

插件引擎负责解析插件程序集,提取其中包含的插件类型信息生成相应的插件对象,并将这些插件对象存放在插件集合中转交给主控程序处理。插件引擎包含两部分:一是插件容器。在宿主程序运行时所有插件对象被插件引擎动态生成不同的插件对象,并放置在一个内存容器中随时等待被调用;二是插件的动态加载。宿主程序在编译时不知道将来要处理哪些插件,只有在运行时才能获得插件的相关信息。这需要使用某些方法在运行时动态加载程序集获得程序集中的类型信息,并动态创建类实例。

通信契约是宿主程序与插件互相认可的一种标准,一般以接口的形式存在。宿主程序和插件之间有两种关系:第一种在 UI 级别上,插件必须表现为命令、工具、工具条、菜单或浮动窗体中的一种;第二种是在功能级别上,插件分属于命令型或工具型。插件在 UI 层次上分为 5 种类型,这些对象从代码生成 UI 对象的流程是固定不变的;变化部分在于生成 UI 对象后的操作。鉴于这种关系,我们需要为每一种不同的插件对象类型设计一个接口。这些接口定义不同插件对象为生成各自的 UI 对象所需要的属性及其 UI 对象的可执行方法。

3.3 功能插件的设计

由太湖水污染扩散模拟实现流程可知,太湖水污染扩散模拟系统对太湖水底地形、污染物状况和水流状况等数据进行数据预处理,调用水体污染扩散模型进行模型计算,结合标量场和矢量场可视化技术,实现太湖水污染扩散的时空分布状况和水污染扩散的动态演进过程仿真模拟。此外,本系统还需要集成一些 GIS 常用功能(包括添加数据,地图的放大、缩小、平移和刷新,信息查询等功能),在数据预处理过程中,为用户提供可视化的交互操作。插件是系统功能的承载者,因此,太湖水污染扩散模拟系统包含项目管理插件、GIS 基本功能插件、数据预处理插件、模型运算控制插件和数据可视化插件。为了提高插件的可复用性,数据预处理插件细分为:时间参数插件、空间离散插件、污染物状况插件、水流状况插件和物理

参数插件。太湖水污染扩散模拟系统插件结构如图 3 所示:

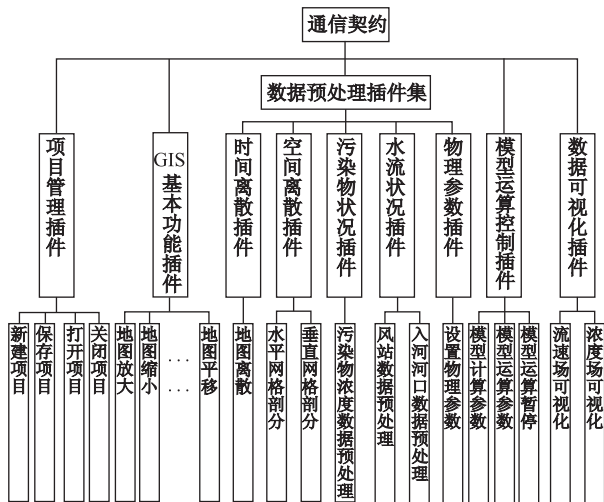


图 3 插件式的太湖水污染扩散模拟系统插件结构

Fig. 3 Structure of the plug-in system for Taihu Lake water pollution diffusion simulation

4 系统的实现

插件式太湖水污染扩散模拟系统基于微软 .NET 平台,以 c# 作为开发语言^[12-13],采用 ArcGIS Engine 9.3 组件库^[14-15]、Janus WinForm Controls 组件库和 VTK(Visualization Toolkit)组件库^[16]进行开发。下面分别给出宿主程序和功能插件的实现方案。

4.1 宿主程序的实现

根据系统宿主程序的设计,需要针对主控程序、插件引擎和通信契约分别给出实现方案^[7]。

主控程序提供两个层面的功能:一是负责关联插件 UI 对象和插件对象事件,本系统采用 .NET 的委托机制实现 UI 对象与插件对象事件的关联;二是为用户提供交互界面,主控程序的静态界面包括 5 部分:菜单栏、工具栏、状态栏、包含 TOCControl 的图层控制面板、由 MapControl 和 PageLayoutControl 组成的地图显示窗口。它们协同工作为用户提供数据处理交互操作。

插件引擎包含两部分:一是插件容器,本系统采用 .NET 的泛型技术产生集合类来装载插件对象。二是插件的动态加载。本系统采用 .NET 的反射机制,实现插件的动态加载。首先,使用 As-

semble 类获取某个程序集中的模块、程序集中的类型(Type)和程序集中的资源清单文件等;然后,使用 Type 类识别一个合法的插件类型;最后,使用 Activator 类动态的创建插件对象。

通信契约是宿主程序与插件互相认可的一种标准。本系统模仿 ESRI. ArcGIS. SystemUI 中定义各个扩展插件接口,定义 6 个插件接口,分别是:插件接口(IPlugin)、命令接口(ICommand)、工具接口(ITool)、命令条接口(IToolBarDef)、菜单接口(IMenuDef)和浮动窗体接口(IDockableWindowDef)。这 6 个接口共同组成宿主程序和插件之间的通信契约。

此外,为了实现插件间的数据通信与共享,本系统采用 ADO .NET 技术,使用 DataSet 类,在宿主程序中提供公共存储数据集。各插件访问宿主程序,读写公共存储数据集,进行数据通信与共享。

4.2 功能插件的实现

根据系统功能插件的设计,本系统包括 5 类,共 9 个功能插件。

(1) 项目管理插件

项目是指用户通过数据预处理插件进行模型参数配置,运行模型,实现三维可视化的整个过程。项目管理插件实现新建项目,保存项目,打开项目和关闭项目四项基本功能。本插件是一个通用插件,每一个水污染扩散模拟系统都可以加载此插件实现项目管理功能。

(2) GIS 基本功能插件

通过调用 ArcGIS Engine 的内置组件,GIS 基本功能插件实现添加数据、放大、缩小、平移、刷新、全屏和信息查询等功能。本插件是一个通用插件,每一个水污染扩散模拟系统都可以加载此插件实现 GIS 基本功能。

(3) 时间参数插件

时间参数包括模型模拟的开始时间、结束时间和时间步长等,是模型运行的必备参数,通过时间参数插件可以为污染物扩散模拟指定时间范围和步长。本插件是一个通用插件,每一个水污染扩散模拟系统都可以加载此插件实现时间参数配置功能。

(4) 空间离散插件

空间离散插件实现对水体的水平网格剖分和

垂直网格剖分。通过水平网格剖分和垂直网格剖分实现水体横向和纵向的空间离散。空间离散是模型进行插值运算的基础。针对水体内部特征约束较多且边界复杂的特点,水平网格剖分采用推进波前法(AFT)实现顾及剖分区域外部边界与内部点、线、岛等特征约束的二维有限元三角网格剖分。垂直网格剖分把太湖水体剖分为若干层,根据平均水位进行插值运算,生成各层离散点的水位信息。本插件是一个通用插件,每一个水污染扩散模拟系统都可以加载此插件实现空间离散功能。

(5) 污染物状况插件

污染物状况数据是模型处理的核心数据。太湖污染主要是指水体富营养化。叶绿素浓度 α 是水体富营养化的重要指标,它的产生与 TP、TN 浓度密切相关。因此,太湖水体污染扩散模型模拟的污染物以 TP、TN 为主。本插件通过获取的各监测站点的实测数据或遥感反演数据,应用反距离加权、邻近点插值等内插算法生成污染物初始浓度场,参与模型计算。本插件虽然是针对太湖水污染数据设计的,但只需要稍作修改,便可在新的水污染扩散模拟系统中直接使用。

(6) 水流状况插件

水流是污染物扩散的主要影响力,因此,水流状况数据也是模型处理的核心数据。在太湖水污染扩散模拟中主要研究风应力作用下的水流状况。本插件包括风站数据预处理和入河河口数据预处理。系统通过交互式用户界面,引导用户设置各时间段的风站风速风向数据和各时间段入河河口流量数据。这些数据经模型计算生成流场数据。本插件虽然是针对太湖水流状况设计的,但只需要稍作修改,便可在新的水污染扩散模拟系统中直接使用。

(7) 物理参数插件

物理参数插件与模型有一定的依附关系,不同的模型考虑的物理参数可能稍有区别。水体扩散模型的物理参数主要包括糙率、科氏力、生物降解系数和水平紊动扩散系数。本插件用于采集各物理参数的值,虽然各模型的物理参数不尽相同,但对于插件来说它们是相同的,都是数值或字符串。在本插件的基础上增加或删除相应的物理参数项,便可开发出适合于新模型的物理参数插件。

(8) 模型运行控制插件

模型运行控制插件包括模型计算参数控制和

模型计算线程控制。模型计算参数控制允许用户对模型的可选功能进行修改和编辑,模拟出不同条件下的结果值,实现交互式水污染扩散模拟。模型计算线程控制功能采用 .NET 的线程技术,实现模型计算线程的启动、暂停、恢复和结束功能。

(9)可视化插件

可视化功能是水污染扩散模拟必不可少的组成部分,是模型模拟结果的展示窗口。本插件可以形象直观地再现水污染扩散的动态模拟过程。它采用点图标法,通过调用 VTK 的 `vtkPoints`, `vtkPolyVertex` 方法读入流场数据,构建流场矢量点的大小和方向的拓扑关系,通过调用 `vtkArrowSource` 方法绘制流场箭头,实现太湖流场三维可视化;同时它在对太湖平面进行三角网划分的基础上,利用上下对应的网格构建三棱柱模型,实现太湖污染物浓度场的表面绘制,然后采用 VTK 中的光线投影算法实现太湖污染物浓度场的三维绘制和显示^[16]。

5 系统的模拟案例分析

该系统基于三维水体污染扩散模型,能够同时模拟 TP、TN 等污染物在风场与水动力作用下的运移规律。本次建模实验,模拟时段为 5 小时,模拟时间步长为 30s,针对太湖水体水动力条件及其内外边界条件将太湖水体在水平方向上离散为 17 164 个节点、33 140 个三角形单元,在垂直方向上剖分为 7 层,入河河口流量数据与风速风向数据采用 2009 年 3 月 14 日的监测数据,初始浓度场由 2009 年 3 月 14 日上午 11 时的遥感反演数据内插生成。

通过数据预处理插件集合中各插件处理后,可以得到太湖离散网格相关数据,主要包括太湖初始流场、初始浓度场、模拟时段风场和入河河口污染物通量等信息。太湖离散网格如图 4 所示。通过数据可视化插件,可以实现污染物动态运移过程中水流流场和浓度场的三维可视化。水流流场采用点图标法进行可视化表达,其三维可视化效果如图 5 所示。由图 5 可以看出,尽管太湖水体很浅,但其顶层和底层水流流场方向并不一致。

在可视化插件中,污染物浓度场采用表面绘制和体绘制两种方法进行可视化表达。以总磷(TP)为例,污染物浓度场可视化效果如图 6 所示。由图 6 可以看出,在风场的作用下,污染物进入太湖后,不断向湖中心扩散,同时由于存在生物的降解作用

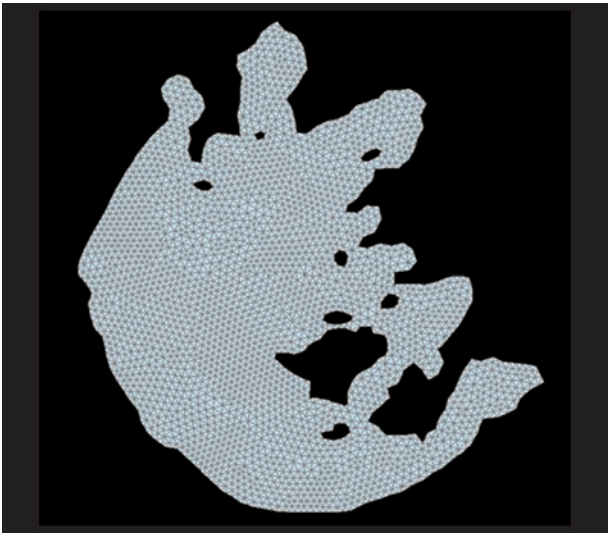
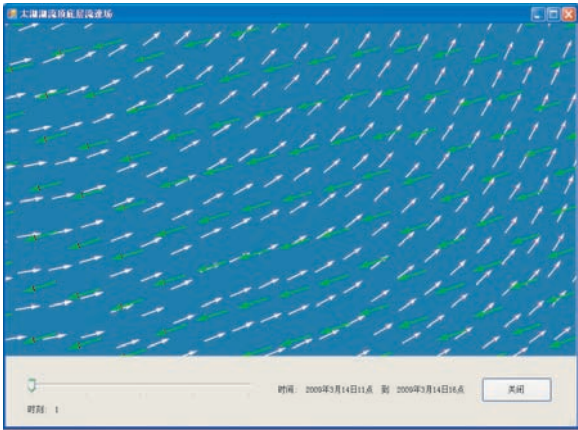
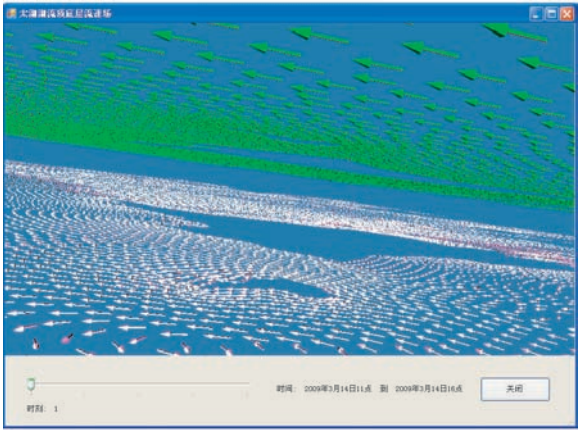


图 4 太湖离散网格
Fig. 4 Discrete grid of Taihu Lake



俯视图



侧视图

图 5 2009 年 3 月 14 日 16 点太湖顶层水流流场
三维可视化效果图

Fig. 5 3D views of the flow of Taihu Lake
(March 14, 2009, 11:00 am)

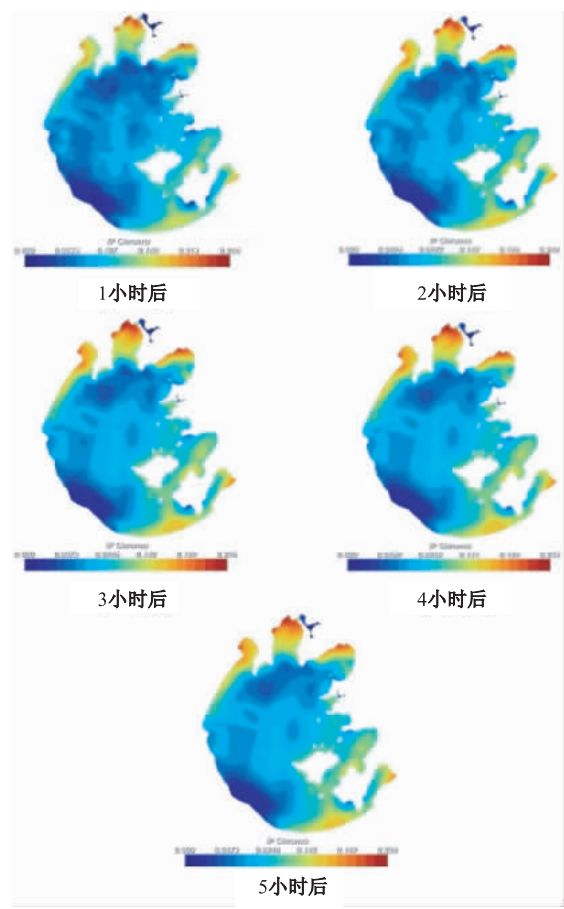


图 6 2009 年 3 月 14 日 11 点到 16 点太湖污染物浓度场可视化效果图(以总磷为例)

Fig. 6 Views of TP concentration in Taihu Lake (March 14, 2009, from 11:00 to 16:00)

而逐渐消减。太湖北部是整个太湖水体污染最严重的区域。这是由于梅梁湾北部临近无锡居民区, 主要与生活污水排放有关, 同时竺山湖的背面则有大量的农田, 磷肥和氮肥的使用是一个重要因素。

6 结论

插件式太湖水污染扩散模拟系统, 基于三维水体污染扩散模型, 应用 GIS 技术和三维可视化技术, 再现了水体污染物运移扩散的时空分布特征与动态演进过程, 可有效地为太湖水污染的治理提供

辅助决策支持。本文应用插件技术, 构建了太湖水污染扩散模拟系统, 对插件技术在 GIS 二次开发中的应用做出了有益的尝试。采用该技术可以显著增强 GIS 系统的动态可扩展性。

参考文献:

[1] Yang Honglin. Improvement of Taihu Basin Hydrodynamic Model[J]. Journal of Hydrodynamics, 1999, 14 (3):312 - 316.

[2] Liu Xue, Wang Xinglong, Wang Guangqian. GIS Based 3-D Visualization of Debris Process Simulation[J]. Advances in Water Science, 1999, 10(4):388 - 392.

[3] 叶松, 谭德宝, 陈蓓青, 等. 水污染扩散模拟三维可视化研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(16):4451 - 4457.

[4] 李波, 郑巍, 赵华成. 水污染物扩散模型三维可视化的关键技术[J]. 计算机工程, 2010, 36(8):251 - 257.

[5] 李志勤. 紫坪铺水库三维水质预警系统[N]. 西南科技大学学报, 2006, 21(2):69 - 74.

[6] 孙卫红, 逢勇, 姚琪. 三维水动力学方程模拟太湖风生流[J]. 水资源保护, 2003(3):27 - 30.

[7] 周小希. 基于 GIS 二次开发的水资源决策支持系统的研究[D]. 天津大学硕士学位论文.

[8] 蒋波涛. 插件式 GIS 应用框架的设计与实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.

[9] 李何, 刘杰. NET 平台下基于反射技术的插件式框架的研究[J]. 软件导刊, 2009, 8(11):25 - 26.

[10] 惠广裕, 邓跃进, 蔡京晶. GIS 由 COM 框架向 .NET 框架迁移的研究[J]. 地理空间信息, 2008, 6(6):56 - 58.

[11] 董涌江. 全插件 GIS 应用框架的设计与实现[J]. 北京测绘, 2009(1):18 - 20.

[12] 夏普, 周靖. Visual C# 2008 从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

[13] 内格尔, 李铭. C# 高级编程(第 6 版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.

[14] 朱政. ArcGIS Engine 的开发与部署[M]. ESRI 中国(北京)有限公司, 2004.

[15] 杨宏鹏, 王阿川, 王妍玮. GIS 二次开发方法与实现[J]. 信息技术, 2008(8):65 - 67.

[16] 欧耿鑫, 陈喜, 余超, 等. 基于 VTK 的地下水数值模拟三维可视化开发应用[J]. 水文, 2009, 29(1):13 - 20.

A Plug-in System for Taihu Lake Water Pollution Diffusion Simulation

HAN Yu, GUO Fei, GE Cheng, ZHANG Feng

(Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University,
Nanjing 210046, China)

Abstract: In recent years, water pollution incidents occurred frequently in China, which has caused widespread concern in society. A number of water pollution diffusion simulation systems are developed in order to grasp the actual situation of water pollution, and then execute a more scientific management for the water environment. However, this kind of systems developed with the component technology is so complex that most of them have poor software scalability and is difficult to maintain after delivery. In order to ensure system scalability, it needs a kind of loose coupling mechanism to combine water pollution diffusion model, GIS and visualization modules in one system. Plug-in technology can reduce the coupling between system modules. Software developed with plug-in technology can extend its functionalities without modifying its main program. In this paper, the general structure of plug-in software is described in the first place, and then the designs of the host program and plug-ins are showed, which are used to drive the development of the plug-in Taihu Lake water pollution diffusion simulation system. This is a valuable attempt to develop customizable GIS with plug-in technology. At last, the plug-in Taihu Lake water pollution diffusion simulation system is verified to achieve three-dimensional visualization of pollutant concentration and flow of Taihu Lake by examples. The plug-in Taihu Lake water pollution diffusion simulation system developed with plug-in technology (a kind of loose coupling mechanism) that integrates water pollution diffusion model, GIS and visualization modules not only simulates intuitively spatial distribution of water pollution and dynamic evolution process of water pollution diffusion in order to provide effectively decision support for water pollution control in Taihu Lake, but also has excellent dynamic scalability that extends system functionality by adding new plug-in without affecting the system that has been deployed.

Key words: plug-in technology; Taihu Lake; water pollution diffusion simulation; model simulation system