

doi:10.3799/dqkx.2010.036

跨 GIS 平台应用集成开发环境技术

徐世武¹, 刘秀珍²

1. 中国地质大学信息工程学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学艺术与传媒学院, 湖北武汉 430074

摘要: 为了突破面向业务系统及面向问题的建模技术, 提高地理信息系统(geographic information system, GIS)应用系统适应需求不断变化及复用的能力, 采用 workflow 技术结合形式语言实现应用模型精确定量数学化的有效转换, 利用重载方式对空间算子的抽象与扩展来简化异构大型分析建模与应用系统构建中逻辑模型过于繁琐复杂的技术, 实现空间分析建模的可视化、精确化和简单化. 在此基础上, 结合可视化界面搭建、功能仓库和空间资源管理, 实现支持跨 GIS 平台的应用系统快速构建集成环境, 为多领域应用系统的集成及功能复用提供手段, 降低 GIS 应用系统的开发难度, 为 GIS 应用不断深入和全面推广提供技术支撑.

关键词: 功能仓库; 空间分析; 空间分析建模; 工作流; 空间算子; 可视化; 地理信息系统.

中图分类号: TP311; TP315

文章编号: 1000-2383(2010)03-0338-07

收稿日期: 2010-01-15

Application Integrated Development Environment Technology for Cross GIS Platform

XU Shi-wu¹, LIU Xiu-zhen²

1. Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Faculty of Arts Communication, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: In order to break through business-oriented systems, and issue-oriented modeling technology to improve the geographic information system (GIS) application systems to adapt to ever-changing needs and the ability to reuse, workflow technology combined with application of formal language is used to achieve precise quantitative mathematical model of the effective conversion and heavy methods on the abstract operator space and expansion is used to simplify the large-scale analysis of heterogeneous modeling and applications to and the complex logic modeling. As a result, the new spatial analysis modeling is featured by visualization, precision, simplicity. On this basis, combined with visual interface building, functional warehouse and space resource management, support cross-platform GIS applications is built quickly, which in turn builds integrated environment for multi-domain application systems integration and functionality, provides the means to reuse, reduces GIS application difficulty of system development for GIS applications, provides in-depth and comprehensive technical support for GIS application.

Key words: functional warehouse; spatial analysis; spatial analysis modeling; workflow; spatial operator; visualization; geographic information system (GIS).

随着地理信息系统(geographic information system, GIS)在数量、规模、复杂性和应用深度方面的提高, 面向问题描述的处理模式已逐步取代直接操纵或调用专业软件按照特定的步骤分步处理中间结果最后得到相关问题解的工作方式. 从空间信息业务本身的特点出发, 从业务处理的角度对空间实体、空间现象和空间处理探索新的形式化描述机制,

使其能够在任务处理级别上达到一体化的综合描述与处理; 采用可视化技术, 通过严格的形式化描述, 探索以面向问题而非过程分析的形式, 快速准确地分析建模与应用系统构建集成环境技术, 为国防、国土资源管理、城市规划、交通运输以及环境监测和保护等与国民经济乃至国家命脉相关的重要领域的空间决策支持提供快速响应服务, 为 GIS 应用不断深

入和全面推广提供技术支撑。

面向业务应用系统的快速搭建环境应满足 3 个方面功能需求:建立可视化的建模环境、提供面向业务管理的功能仓库和实现对异构资源的管理。首先进行规则实例化,抽象业务规则,建立业务模型的逻辑视图,绑定业务规则;然后完成功能实例化,绑定功能仓库中相应功能,优化模型逻辑,设计人机界面;最终实现模型实例化,设定模型需要的异构数据资源,部署、调试和运行。

1 国内外发展现状

1.1 国外研究进展

基于 GIS 的软件系统概括起来是由数据功能资源和相应处理模型构成的,相应集成构建环境包括两个部分:资源调度构建模块和模型构建模块。

国外学者的研究目前主要集中在模型构建方面,通过对过程的描述解决 GIS 空间分析应用的问题,同时开发了相应的原型系统,其中比较典型的如 Alonso and Abbadi(1994)提出的 GOOSE;Alonso and Hagen(1995)提出的 Geo-Opera;Seffino *et al.* (1997)提出的 WOODSS 等。国外研究成果侧重模型构建逻辑方面,而从集成环境角度对数据资源以及功能资源的调度调用构建方面的研究是匮乏的,且通过 workflow 技术实现跨平台 GIS 建模方面的研究国外也没有相关文献,而这两个方面是大型复杂 GIS 分析建模构建过程中经常遇到且严重影响系统建设进度和质量的问题。

1.2 国内研究进展

在将空间算子应用于空间信息处理过程方面,国内的一些专家学者也开展了相应的研究。郭仁忠(2001)指出找出空间分析的基本算子和对象,以某种运算逻辑积木式组合为复杂分析模型,将是最具有刺激性和挑战性的研究课题;赖格英(2003)指出基于面向目标的图形语言建模法具有较大的灵活性,更能适应实际需要;高勇等(2004)认为空间原子活动是构成复杂空间操作和分析模型最基本的要素;马修军等(2004)认为 GIS 支持空间动态模型的关键是空间动态过程的计算和表达。并对空间动态模型进行了形式化分析,给出了空间时间离散状态表达、空间交互过程和时间反馈控制方法的理论描述。

在集成开发环境方面,吴亮等(2006)提出基于插件技术的 GIS 应用框架的对象模型、消息机制和

层次结构,构建插件式 GIS 应用框架平台,提供一个具有良好的复用性和灵活的可扩展性平台,从而解决传统 GIS 软件的行业化、专业化和开发成本较高的问题,使 GIS 软件面向大众化、低成本化发展。

产品化方面,国内厂商已经有了很好的应用案例,例如,吴信才(2009)引领的科研团队已在建模过程中采用了比国外先进的形式化语言来描述控制逻辑,使模型描述更加精准量化,并将其应用在新一代大型 GIS 上成功推出了 MapGIS 7 系列软件;此外,国内对构建环境中的资源(功能和数据)构建工具也有深入的研究,提出了异构空间数据和异构功能同构化的概念,在此基础上实现了异构数据资源目录和异构功能资源目录,作为集成构建环境的一部分,配合自主知识产权的空间建模工具,可以很好地解决跨 GIS 平台的空间系统构建应用的问题。

2 研究内容

开展支撑分布式异构环境的可视化建模、可视化界面搭建、功能仓库、空间资源管理等关键技术研究,在此基础上开发支持跨平台的空间分析模型与应用系统快速构建集成环境原型,具体内容如下:

(1)采用 workflow 技术结合形式语言实现应用模型精确定量数学化的有效转换,研究通过重载方式对空间算子的抽象与扩展来简化分布式异构大型分析建模与应用系统构建中逻辑模型过于繁琐复杂的技术。

(2)研究采用可视化模式定义形式语言的技术,抽象模型精准定量的建立过程中的业务规则并建立规则库;研究在工作流有向图形编辑工具基础上,复杂对象间的逻辑规则与空间算子的自动检测、匹配以及一致性的技术。

(3)研究通过 workflow 实现异构功能融合的技术,通过中间件管理实现异构功能聚合的技术,在此基础上探索异构功能同构化集成形成异构功能仓库的技术。

(4)研究目录服务与数据驱动技术实现异构空间资源的调度管理层面同构化,在异构权限资源与数据资源目录相结合的基础上,研究权限功能资源绑定技术、权限功能冲突检测技术和权限资源调度技术。

通过支撑分布式异构环境的可视化建模、可视化界面搭建、功能仓库、空间资源管理等关键技术研

究,在此基础上开发支持跨平台的空间分析模型与应用系统快速构建集成环境原型.具体而言,将在以下几个方面开展研究(图 1).

2.1 跨平台的分析建模技术

空间信息处理过程可以分为概念模型、逻辑模型和物理模型 3 个阶段,期间涉及复杂空间对象之间的各种空间运算与逻辑判别过程.拟采用工作流、形式语言、空间算子重载等相结合的技术,快速实现应用业务模型的可视化、精确化和简单化.

具体包括对快速可视化构建模型逻辑图技术、空间算子拓展技术以及可视化规则定义管理应用技术的研究.

2.2 GIS 系统界面可视化搭建与跨平台解析技术

大型空间分析建模框架与应用系统建设经常涉及分布式复杂异构的操作环境,研究支持 GIS 的跨平台界面解析引擎技术,实现 GIS 异构、操作系统异构环境下的客户端操作透明化.界面搭建方面,在 MapGIS 搭建平台基础上,研究统一界面描述脚本语言,支持异构 GIS,以及自主及第三方的界面框架布局及元素(菜单、工具条、表单)可视化多元设计工具的技术;界面解析方面,研究基于 JAVA 的跨操作系统平台支持 GIS 的界面可视化解析引擎技术,通过 JAVA 虚拟机实现操作系统级别的异构无关性;采用面向服务的体系结构(service-oriented

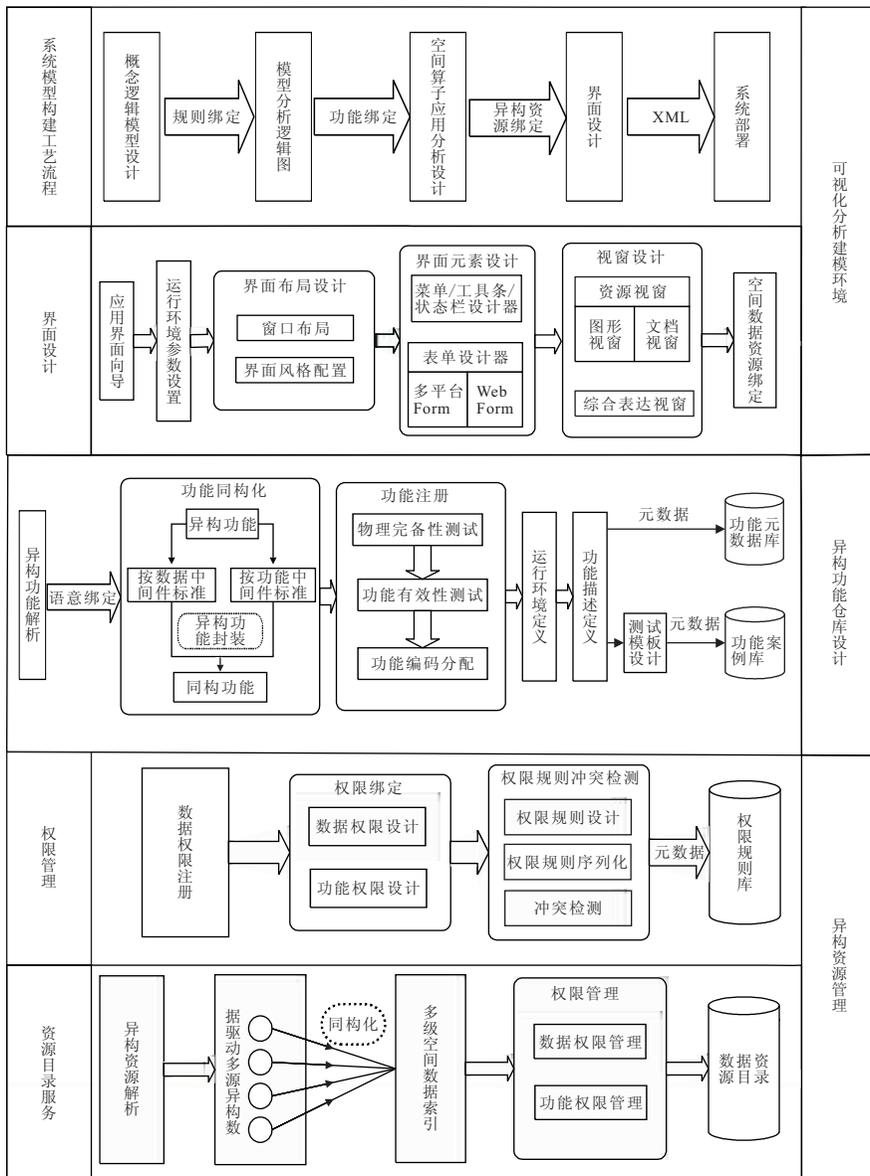


图 1 研究内容总体结构

Fig. 1 Research content overall structure diagram

architecture, SOA) 服务模式, 研究界面元素与异构空间资源(地理标识语言)方式描述或中间件方式能访问)绑定的技术; 研究在对统一资源定位符(Uniform resource locator, URL)解析的基础上, 探索多源异构中间件管理调度技术, 同时支持地理标识语言(geography markup language, GML)方式(JAVA)和第三方插件方式(GIS 厂商)对异构空间资源的可视化表达, 以及实现 GIS 模型或系统的跨平台分析与展现。

2.3 异构资源集成管理与服务技术

2.3.1 异构资源集成技术

由于应用领域的不同, 在部门级以上的应用通常存在异构资源协同工作的问题。研究通过目录服务的方式集成异构资源, 采用多源异构数据驱动以及多级空间索引技术实现在分布式环境下建立异构空间数据的同化模型, 构建 GIS 用户所需要的透明数据集; 以支持对各空间数据源的全局应用及各异构数据之间灵活的信息交换与共享, 增强 GIS 软件对异构数据的集成能力。分布式异构资源通过目录的形式与目录上的资源节点绑定, 目录上的资源节点通过驱动的方式驱动不同的异构数据, 从而使地理上分布、管理上自治、模式上异构的数据源有机地融合在一起, 使 GIS 用户能够透明地获取任何空间数据, 以及处理空间数据的功能和方法, 实现对异构数据的同构化。

2.3.2 异构资源权限管理技术

异构资源权限需要从不同数据层面上保持数据的安全性、完整性以及有效性, 并且还需要跨不同软硬件及多种网络环境下通信, 使得权限管理机制在异构环境下变得更加复杂, 在同一个权限调度平台上综合管理跨平台的异构资源的权限有很大的集成难度。

在权限规则冲突检测技术上研究基于对异构空间数据资源权限规则, 并使用“基于规则”的方式来实现对用户空间数据操作权限的控制, 不但可以控制用户、角色、工作组和部门, 对一个对象、一类对象或数据仓库的操作权限, 而且对功能与数据之间的操作控制粒度得以控制, 并可与 workflow 相结合控制功能使用的生命周期。并结合数学中的有向图理论研究权限冲突检测的算法, 将异构空间数据资源权限规则化、清晰化。并研究空间功能权限规则冲突的类型, 利用计算机建模方式将其权限规则动态次序化, 并按权重次序动态调整冲突检测方式, 有效解决权限规则泛化及交互冲突问题。

2.4 异构功能仓库技术

2.4.1 异构功能解析模型

在传统的 GIS 应用系

统中由于基础数据缺少统一规则标准, 存在数据多语义性、多时空性以及表达的多尺度性, 导致了多源异构空间数据在功能上存在较大的差异。异构功能解析大部分都是基于语义定义对照解析, 但只能是解决简单的空间分析类别及简单的空间数据操作, 对于复杂空间分析操作无法解析。

采用异构功能解析模型技术, 通过对异构功能的识别机制及检测方法的研究, 利用 COM 组件技术解决异构功能在同一平台下统一管理、调度使用的问题。

COM 组件遵循开放地理信息系统协会(OpenGIS consortium, OGC)标准, 能够嵌入各类遵循 OGC 标准的 GIS 客户软件, GIS 客户软件通过其统一接口直接访问和操作异构数据源, 在一个 GIS 系统应用平台中实现对其他软件数据格式的直接访问、存取和空间分析。并能够通过其操作系统层面注册后, 成功获取必要的信息(刘丹等, 2002)。

2.4.2 异构功能整合技术

采用 workflow 技术及可视化建模技术将不同 GIS 平台的空间分析及操作功能有机地融合在一起, 并利用 GIS 中间件技术将异构空间数据操作分析功能进行无缝聚合, 实现异构功能的同构化。客户 GIS 软件不必关心具体空间数据格式就可以无缝集成多源异构数据操作功能, 从而使一个系统同时支持不同的空间数据格式成为可能。

2.5 快速构建环境原型的实现

基于对支撑分布式异构环境的可视化分析建模技术、可视化界面搭建技术、空间算子重载技术、功能仓库技术、空间资源管理技术的研究, 提炼出分析建模的快速构建模型; 规则实例化、功能实例化、模型实例化。快速可视化模型构建集成环境的原型, 主要包含 3 个部分: 分析建模与系统可视化的建模模块、面向业务管理的异构功能仓库模块和异构空间资源管理模块。

2.5.1 分析建模与系统可视化的建模模块开发

利用 workflow 技术实现模型搭建和可视化表达功能, 通过形式语言定义的规则库完成对模型逻辑图的精准描述, 量化模型的逻辑规则; 开发界面框架布局及菜单、工具条、表单等元素的可视化多元设计工具, 提供可视化的界面搭建框架及基于 JAVA 支持 GIS 的跨平台解析引擎; 通过采用可视化搭建方式实现空间算子重载来优化模型, 提供模型调优简化的方式; 以目录服务的形式在可视化搭建环境里满足模型对异构空间资源的需求, 提供对资源的检索

和资源特征的元数据描述,并能完成对资源的绑定;以便捷的方式提供对功能点的分类查询,方便模型设计者明确快速的绑定功能,提供模拟运行调试状态的工作环境。

2.5.2 面向业务管理的异构功能仓库模块开发
面向异构 GIS 功能管理主题域,以各个 GIS 平台功能库为基础,建设统一的功能仓库管理的规范与平台的概念模型,提供功能入库管理的清洗机制和方法,以及功能的查询、合并、挖掘(功能的提取与重构),完善功能管理机制,实现功能仓库管理模块,为应用模型与业务系统构建提供保证。

2.5.3 异构空间资源管理模块开发
资源管理包括异构数据资源管理与异构权限资源管理两部分。异构数据资源以目录服务与数据驱动的形式完成异构空间资源的调度管理层面的同构化,实现异构资源在不同投影不同比例尺不同来源的统一调度,能以 SOA 的形式支持跨平台的服务,为外围的应用系统提供支撑;权限资源通过中间件和工作流对异构权限实现融合,然后提炼整合形成管理层面统一的权限管理模块,实现权限功能资源绑定、权限功能冲突检测、以及权限资源调度。

3 关键技术及创新

3.1 空间算子拓展应用

异构系统之间空间算子语义存在差异,在充分继承各自基本空间算子接口的基础上,拓展算子对复杂空间对象和异构空间对象的支持问题是大型业务系统的复杂模型能否简化的关键。

3.2 跨运行平台的异构空间资源图形表达

异构空间资源在跨操作系统平台环境下实现对不同空间对象的统一同时表达的问题;随着技术体系的发展,GML 标准也在不断扩充更新版本,全面解读 GML 并支持其正确解析的问题。

3.3 跨 GIS 平台的功能融合

异构 GIS 平台之间数据模型不同、对象体系不同、参数体系不同,求同存异将它们按照业务模型及相关算子的要求进行功能有效整合是应用业务模型能否正常运行的保证。

3.4 异构资源的权限管理

异构资源权限需要从不同数据层面上保持数据的机密性、完整性及可用性,并且还存在着跨不同硬件和软件平台通信及多种网络环境下通信问题,使

得权限管理机制在异构环境下变得更加复杂;异构环境的空间数据应用系统还需要解决可扩展性,分布异构资源绑定,结点服务器能自主实行集中式安全管理和访问控制的问题。

3.5 跨 GIS 平台分析模型和应用系统快速构建集成环境

快速构建集成环境由 3 个部分有机结合形成,包括:可视化的建模环境部分、面向业务管理的异构功能仓库部分和异构空间资源管理部分。3 个部分之间存在着密切的具体联系。从在集成环境中建模的过程描述:规则实例化过程完成建立模型逻辑图绑定业务规则;功能实例化过程完成模型逻辑图优化并绑定功能;模型实例化完成绑定异构空间资源并部署调试运行。

3.6 空间算子拓展

引入软件工程领域“函数重载”的思想,提出算子重载的概念,对空间算子在保留原有接口特征的基础上进行充分拓展,支持异构复杂对象之间的空间分析,支持空间算子种类在原有逻辑体系下的继续扩充;具体实现方法上,提出可视化搭建重载复合算子的技术方案。

3.7 异构功能仓库

借鉴数据仓库的思想,提出面向异构 GIS 功能管理主题域,以各个 GIS 平台功能库为基础,建设统一的功能仓库管理的规范与平台的概念模型,提供功能入库管理的清洗机制和方法,以及功能的查询、合并和挖掘(功能的提取与重构),实现功能仓库管理层面的同构化,在此基础上构建应用模型与业务系统。

3.8 功能异构融合

面向复杂异构环境下的业务问题,提出采用工作流可视化搭建调度多个异构 GIS 功能共同处理异构空间对象实现异构功能融合的技术;提出利用中间件封装,实现异构 GIS 功能按模型要求聚合重组的技术。在此基础上探索异构功能同构化集成支撑异构功能仓库的技术。

4 采取的技术路线

采取的技术路线(图 2)和实施方案是在分析国内外 GIS 技术发展趋势和 GIS 市场需求特点的基础上,对相关的研究内容进行分解,具体包含以下几个部分。

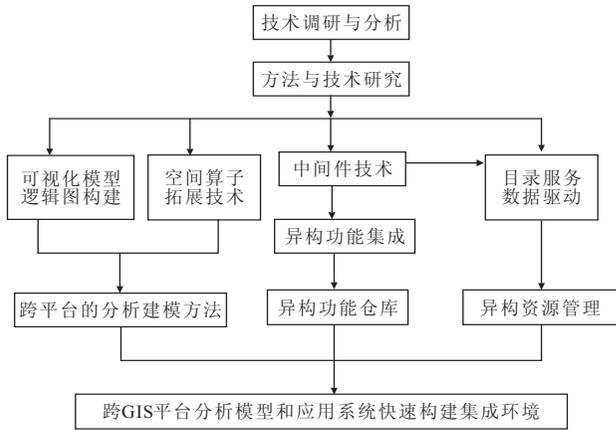


图 2 技术路线

Fig. 2 Technical route assembly diagram

4.1 快速可视化构建模型逻辑图技术

GIS 空间数据模型运行所涉及到的数据都具有明显的空间特征,模型必须具有空间分析的功能。其次,任何一个可搭建的应用系统模型运行所涉及到的数据类型复杂,包括多专题数据、遥感影像数据和统计分析数据,其中前两者代表的空间矢量和栅格数据目前还没有统一的规范,导致大量的数据多源异构性。而且 GIS 模型在运行过程中以及运行结果一般都要实现可视化。所以用概念模型及逻辑模型研究的特点,在已有的 GIS 基础上,进一步研究异构空间数据的特性,增强软件及数据的复用性,制定可抽象的空间模型对象,使其适应于不同系统平台的运行环境,同时具有简便的可视的建模环境和较好的异构空间数据建模功能。

4.2 空间算子拓展技术

通常传统的空间数据操作往往都是由不同 GIS 平台提供相关的操作接口来实现空间数据的基本操作,然而这些空间操作功能往往不能实现有效的复用。采用空间算子代数理论结合 GIS 系统异构数据模型的结构特点,构建异构空间数据操作应用模型,并通过数学方法归纳抽取空间分析的基本算子和对象,将原有非结构化或半结构化的空间操作应用模式结构化。利用空间算子应用设计技术以某种运算逻辑组合为复杂分析模型完成对空间数据操作的重载、抽象处理。通过对传统的空间代数算子的扩展,可以有效地简化空间分析模型,并分析空间对象的状态与行为,按空间对象的数目对空间算子进行归类,运用空间算子重载、聚合技术,实现异构 GIS 平台空间数据的编辑、查询、统计、分析等原子级操作功能的空间算子重载模式定义,达到最大化的异构

空间操作功能的复用。

4.3 可视化规则定义管理应用技术

通过形式语言脚本描述形式,研究模型规则的实例化技术,实现对模型的微观精准定义;通过规则脚本的可视化生成和规则库的管理,研究规则脚本复用技术,实现模型规则的快速重定义和复用,缩短开发时间、降低人力维护成本;采用可视化流程与形式语言相结合的方式,研究规则冲突检测技术,自动发现并解决规则与流程、规则与算子、规则与规则之间的冲突;采用规则可视化图形表达模式,研究规则完备性实时监测技术,实现规则从定义、测试到运行全过程的受控监测。

4.4 GIS 系统界面可视化搭建与跨平台解析技术

在已有的 MapGIS 7 搭建平台技术基础上,利用 JAVA 技术,构建框架表单解析容器,并内置解析引擎,运用智能可视化框架搭建思想抽象空间数据操作功能界面元素,建立 GIS 空间数据应用系统界面布局模型,实现框架表单元素跨平台运行。利用 SOA 技术及异构资源绑定技术,通过框架表单映射对照机制,以基于 GML 的脚本方式,实现图形视窗在异构运行平台环境下的可视化表达。最终,实现 GIS 应用系统框架、表单、功能可视化智能搭建,并能够在多平台异构环境下的运行。

4.5 多源异构资源管理技术

针对空间数据的异构性特点,采用插件技术研究多源异构数据驱动接口,实现异构 GIS 数据源的互操作。采用驱动化的设计思想,将多源异构数据驱动设计为两层模式:异构数据驱动管理器和异构数据驱动。异构数据驱动管理器与具体应用软件通信并分派异构数据驱动。当应用软件请求某种类型数据源时,异构数据驱动管理器加载相应的异构数据驱动,并把数据访问结果返回给客户软件。它为所有的客户软件提供统一的数据操作接口,不同的空间数据类型对客户软件来说是透明的。每种异构数据驱动负责对其相应空间数据访问,完成对空间数据的实际读写,并把结果返回给异构数据驱动管理器。

4.6 异构功能仓库技术

采用 workflow 技术及可视化建模技术将不同 GIS 平台的空间分析及操作功能有机地融合在一起,并利用 GIS 中间件技术将异构空间数据操作分析功能进行无缝聚合,实现异构功能的同构化。利用 GIS 中间件集成多种数据源驱动,以注册的方式嵌入到客户软件中,当客户软件请求某种数据源时,GIS 中间件动态加载所请求的数据源驱动。GIS 中间件遵

循 OGC 标准向客户软件提供统一的接口,具体数据源对客户软件来说是透明的。原来客户软件编写被访问的宿主软件数据格式的读写驱动变为由宿主软件编写针对自己数据格式的读写驱动,所有实现的驱动由中间件集成统一管理,以便不同的 GIS 软件都能利用它实现对多源空间数据访问。当某种数据源的结构改变时,只须改变其数据源驱动。这样既不需要频繁进行数据格式转换又避免了很多重复性劳动。客户 GIS 软件不必关心具体空间数据格式就可以无缝集成多源异构数据操作功能,从而使一个系统同时支持不同的空间数据格式成为可能。

5 前景展望

随着 GIS 技术从项目部门到企业社会的不断渗透,越来越多的部门、单位和个人开始使用专门的或通用的 GIS 系统来进行规划、管理、监测、决策,以提高工作效率和水平。地理信息应用系统产品在区域、国家、全球的经济增长,环境质量与稳定,社会发展中起到了很大的作用。可以预见未来 5 年我国 GIS 应用规模和水平将有一个大的飞跃。本项目预期成果提供的跨 GIS 平台的空间分析建模与应用系统快速构建技术,将加速传统行业的信息化改造,在扩大技术服务的同时加速自身产业的发展。另外 GIS 技术的普适化和网络化趋势,使得 GIS 将走进千家万户,成为人们日常生活的一部分。

References

- Alonso, G., Abbadi, A., 1994. Cooperative modeling in applied geographic research. *International Journal of Intelligent and Cooperative Information Systems*, 3(1): 83—102.
- Alonso, G., Hagen, G., 1995. Geo-opera; workflow concepts for spatial processes. In: The proceedings of advances in spatial databases. Heidelberg Berlin, Springer Verlag, 238—257.
- Gao, Y., Wu, L., Liu, Y., 2004. Spatial process modeling. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 40(6): 914—921 (in Chinese with English abstract).
- Guo, R. Z., 2001. Spatial analysis. Higher Education Press, Beijing (in Chinese).
- Lai, G. Y., 2003. Analysis and comparison of approaches of realization of spatial analysis models of GIS. *Journal of Jiangxi Normal University (Natural Sciences Edition)*, 27(2): 164—166 (in Chinese with English abstract).
- Liu, D., Zheng, K., Peng, L. H., 2002. Research and application of components technology in geographic information system. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(3): 263—266 (in Chinese with English abstract).
- Ma, X. J., Wu, L., Xie, K. Q., 2004. The method for modeling on spatial dynamic process. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 40(2): 279—286 (in Chinese with English abstract).
- Seffino, L. A., Medeiros, C. B., Rocha, J. V., et al., 1997. WOODSS—a spatial decision support system based on workflows. *Decision Support Systems*, (27): 105—123.
- Wu, L., Yang, L. Y., Yin, Y. B., 2006. Plugin-based GIS application frame work; research and implementation. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(5): 609—614 (in Chinese with English abstract).
- Wu, X. C., 2009. Datacenter integration development technology; the next generation GIS architecture and development model. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 34(3): 540—546 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 高勇, 郭伦, 刘瑜, 2004. 空间信息处理过程建模研究. 北京大学学报(自然科学版), 40(6): 914—921.
- 郭仁忠, 2001. 空间分析. 北京: 高等教育出版社.
- 赖格英, 2003. 地理信息系统空间分析模型与实现方法的分析和比较. 江西师范大学学报(自然科学版), 27(2): 164—166, 184.
- 刘丹, 郑坤, 彭黎辉, 2002. 组件技术在 GIS 系统中的研究与应用. 地球科学——中国地质大学学报, 27(3): 263—266.
- 马修军, 郭伦, 谢昆青, 2004. 空间动态模型建模方法. 北京大学学报(自然科学版), 40(2): 279—286.
- 吴亮, 杨凌云, 尹艳斌, 2006. 基于插件技术的 GIS 应用框架的研究与实现. 地球科学——中国地质大学学报, 31(5): 609—614.
- 吴信才, 2009. 数据中心集成开发技术; 新一代 GIS 架构技术与开发模式. 地球科学——中国地质大学学报, 34(3): 540—546.