

文章编号: 1007-4619(2006)02-0160-09

# 面向服务的分布式地学模型集成框架研究

温永宁, 闫国年, 杨 慧, 曹 丹, 陈 

(南京师范大学 地理信息科学江苏省重点实验室, 江苏 南京 210097)

**摘 要:** 通过对模型库、GIS与应用分析模型集成方式的探讨,结合未来以分布式资源共享为特征的系统构建模式,提出了面向服务的分布式地学模型集成框架。该框架通过将 XML文档对象模型引入到模型定义中,统一了模型数据和功能的定义,基于 COM技术实现了模型集成运行服务器和模型服务访问组件。模型服务器扩展了传统模型库的功能,为异构模型提供了集成和运行环境;服务访问组件实现了面向对象的服务访问接口,为应用系统开发提供了一致的集成模式。

**关键词:** 地学模型; 模型集成; 分布式系统; 服务框架; 地理信息系统

**中图分类号:** P208

**文献标识码:** A

## A Service-Oriented Framework of Distributed Geographic Model Integration

WEN Yong-ning LU Guo-nian YANG Hui CAO Dan CHEN Min

(Jiangsu Province Key Laboratory of Geographical Information Science Nanjing Normal University, Jiangsu Nanjing 210097, China)

**Abstract:** System integration has been proposed as one of the characteristics which distinguish GIS from other information systems but there are no appropriate methods to integrate with GIS and geography model to perform flexible retrieval, development and reuse mechanism. This paper makes an analysis on the modelbase system and the methodology of integration with GIS and geographic models and proposes a service-oriented framework of distributed geography model integration. The goal of our research is to design a software framework which can support distributed model construction, management and integration with a concept of service and share. At first we describe the model definition framework which defines model functions and data interfaces on the basis of the ideology of the document object model(DOM), with more details of the flexible data definition mechanisms which can support dynamic data interchange and definition with XML. The framework can assist modeler to construct models for particular application domains and make the model features understood by GIS-developers more easily. Next we describe the software structure with two components: the model server and the client which are both based on the COM/DCOM technology: the model server supporting RPC access expands the function of traditional model base, provides the run-time supports and the integration environment into all kind of model programs will facilitate the incorporation of legacy simulation models into the environment; the client component composed of a set of COM components with DOM, provides the uniform pattern for integrating models and GIS application with the object-oriented application programming interface. Thus this framework provides a basis for distributed model construction and sharing not only on the combination of GIS and model program, but also on other SDSS projects.

**Key words:** geography model; model integration; distributed system; service framework; GIS

收稿日期: 2004-12-24; 修订日期: 2005-04-26

基金项目: 国家 863 项目 (2003AA131060 和 2001AA1351307), 国家自然科学基金课题 (40171065)

作者简介: 温永宁 (1977—), 男, 2000 年毕业于河北师范大学资源与环境科学学院; 2003 年获南京师范大学地图学与地理信息系统专

业硕士学位, 现为该专业博士研究生, 主要研究方向为地理信息系统应用开发和虚拟地理环境。E-mail: wenyn\_box@sohu.com.

# 1 引 言

资源共享和分布式计算是网格计算的基本特征,空间信息网络的提出为地理信息系统的发展提供了新的方向<sup>[1,2]</sup>,很多专家提出了新的系统构想,比如虚拟地理学<sup>[3]</sup>、虚拟地理环境<sup>[4]</sup>、没有围墙的GIS实验室<sup>[5]</sup>等。这些构想,都强调了对地学过程的模拟与再现以及分布式环境下进行协同分析与研究,而实现这些构想的基础之一就是各种地学模型与应用系统进行集成。

地理信息系统与专业模型集成方法的研究一直是系统集成与开发中的难点问题。20世纪80年代以来,随着决策支持系统(DSS)、空间决策支持系统(SDSS)的引入,基于模型库的集成方法受到了广泛的关注,经过20多年的发展,地学模型库的研究取得了很多有用的成果。但传统的模型库侧重于模型分类、检索、代码与元数据管理,在建库方式、功能共享及集成方法上存在明显不足,尤其是对分布式的计算模式支持不够,不适应新的系统开发模式的需求。本文在模型库的基础上,研究分布式环境下模型集成的新方法,突出服务与共享,提出了面向服务的分布式地学模型集成框架,将“模型库”扩展为分布式环境下的模型计算和集成的平台。

## 2 地学应用分析模型与模型库研究的进展

### 2.1 地学应用分析模型的特点

地学应用分析模型主要有空间分析模型和应用数学模型两大类,前者主要依赖专家知识和经验;后者则常用于解决结构化的问题,可用精确的数学模型来刻画,具有数学模型的一般特征,又因它们与地学问题的紧密关联,所以同时具有空间性、动态性、多元性、复杂性及综合性等特征。从系统开发与集成角度来看,地学模型存在如下问题:

(1)没有统一的数据模型,输入输出难以标准化。空间问题的复杂性和多元性,决定了地学模型需要面对各种专业领域和数学方法,因此在数据模型上难以统一。

(2)没有一致的集成模式。模型的实现和集成方式一直都在变化中,地学模型与软件开发技术紧密关联,老的模型程序不能及时地适应新的系统开发方法,已有模型组件的利用受到了很大的限制。

集成方法的规范化、模型接口的标准化一直是亟待处理的难题。

### 2.2 地学模型库与系统集成领域研究的进展

国内外对于模型库和模型集成的研究主要集中在模型库的理论体系、模型库构建、模型与地理信息系统集成以及专业领域建模框架构建等几个方面。

在模型库的研究上,Banning提出了模型库的概念,并用模型库查询语言(MQL)来管理模型<sup>[6]</sup>;Dolk等提出了基于框架和知识表达的模型抽象技术<sup>[7,8]</sup>;Goeffrion设计了一套结构化模型构造语言,首次将结构化程序设计思路植入模型生成问题<sup>[9]</sup>;Muhanna等又将系统论的概念用于模型管理系统<sup>[10]</sup>;Vanhee建立了基于概念模型的模型运行环境系统<sup>[11]</sup>;Wesseling设计了动态模型语言来支持空间数据结构<sup>[12]</sup>。

在地理信息系统与模型和模型库集成应用方面,Bennett对基于模型库的地理信息系统集成进行了系统研究<sup>[13]</sup>。在模型的分布式访问方面Sengupta等提出了一种基于智能代理技术的空间决策支持模型建模框架,以突破当前模型分布式访问能力的限制<sup>[14]</sup>。国内的张犁对地理信息系统与模型的集成方式进行了深入的研究<sup>[15]</sup>,岳天祥进行了资源与环境模型标准文档库及其与GIS集成的研究<sup>[16]</sup>;王桥等对模型标准化问题进行了较深入的研究<sup>[17]</sup>;龚敏霞等对智能化的模型集成方法进行了探讨<sup>[18]</sup>;万庆等在地学建模过程中引入了概念地图方法,建立了小清河分洪区的背景信息概念地图模型和永定河洪水模拟模型<sup>[19]</sup>;肖劲锋,张健挺,任建武等对地理模型库构建方法也作了深入的研究<sup>[20-22]</sup>。

国外的研究者在专业领域建模框架方面也进行了一些研究,主要集中在生态和气象领域。在生态环境模拟领域,比较著名的如Balci等的可视化建模环境(Visual Simulation Environment VSE)<sup>[23]</sup>,Lee和Fishwick等的面向对象的实时物理仿真物理建模器(Object-Oriented Physical Modeler for Real-Time Simulation OOPM/RT)<sup>[24]</sup>,Maxwell等的空间建模环境(Spatial Modeling Environment SME)<sup>[25,26]</sup>,以及Wainer和Giambiasi的CD++等<sup>[27]</sup>。Soetaert实现了一个针对环境问题的弹性的数学建模环境(Flexible Environment for Mathematically Modelling the Environment FEMME),提供了一个基于组件的数学模型建模框架,以解决生态过程模拟中的数据分析问题<sup>[28]</sup>。美国的

NASA、洛斯阿拉莫斯国家实验室、哥达德空间飞行中心、国家大气与海洋局 (NOAA) 等单位, 在气候模型集成框架方面做了大量的工作, 开发了地球系统建模框架 (Earth System Modeling Framework, ESMF)、弹性建模系统 (Flexible Modeling System, FMS) 等面向大尺度的气候模拟的模型组件和并行计算框架<sup>[29, 30]</sup>。

### 2.3 传统模型库与模型集成方法存在的问题

模型库支持下的模型集成一直被认为是较为理想的集成方式, 基于模型库的集成模式在一定范围取得了成功, 但是随着应用模式的发展, 发现传统模型库模型集成方法存在着很大的局限性:

(1) 传统模型库的功能侧重于模型的管理, 更像一个高级的代码库和函数库; 模型库系统不支持远程访问和分布式的系统发展方向不适应; 缺乏实用的模型集成标准, 没有统一集成和访问接口的模型库不过是个孤立系统。

(2) 模型集成方式缺乏弹性, 不能充分利用已有模型资源。虽然从控制台程序、DLL 到 COM 都有比较成熟的模型集成方法, 但为了统一管理和装配模型, 模型库仍采用传统的源代码和库文件的方式构建, 这样已有的模型组件就必须经过改写, 不利于对已有资源的重用。

(3) 模型运行过程中缺乏流程控制和用户干预机制, 缺乏异步执行的内置支持, 难以实现真实意义上的交互与协同。

(4) 专业领域的模型库和模型框架, 往往和特定的工具进行紧密地集成, 缺乏开放性, 很难实现异构系统的集成和功能共享。

这些问题不是孤立的, 需要重新构建模型的集成体系, 以适应以分布式资源共享为特征的新一代应用系统的要求。扩展模型库的功能, 实现分布式的模型集成服务是解决上述问题的途径。以模型库为基础, 参考分布式系统的基本结构实现模型服务器、模型客户端等组件。服务器提供模型运行的 run-time 支持, 屏蔽模型实现的细节, 实现对各种模型组件的重用; 而模型客户端为应用系统提供一致的编程接口。

## 3 面向对象模型的定义体系

### 3.1 地学模型服务总体结构

本文将传统的模型库的实现扩展成了如图 1 所

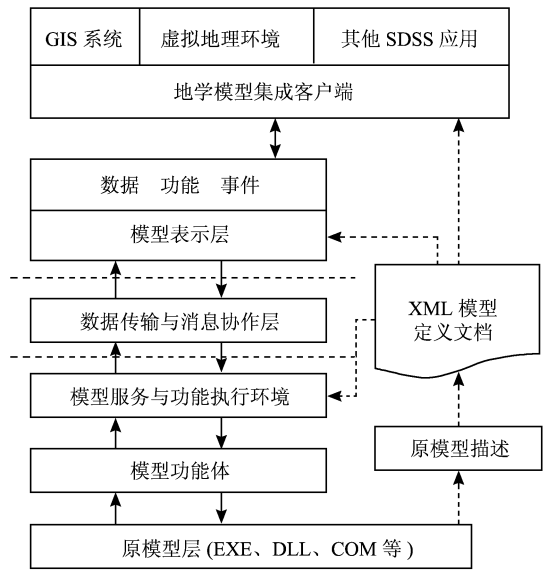


图 1 地学模型集成服务结构

Fig 1 Structure of geography model service

示的多层结构, 由下到上包含 5 个层次, 即原模型层、模型功能体、模型服务与功能执行环境、数据传输与消息协作层及模型表示层。核心是一个弹性的基于 XML 的模型定义体系, 支持地学模型的复杂性描述, 实现地学模型定义模式的统一。

#### 原模型层和原模型定义

原模型层对应传统的模型库管理功能, 是对传统模型库构建方式的扩充, 该层注重对已有模型代码的支持。原模型描述的是模型程序的元数据信息, 参照传统模型库, 主要包括模型的输入和输出参数描述, 模型的作者、使用范围等信息, 以支持编写模型的调用代理代码和模型定义文档的生成。

#### 模型功能体和模型服务与功能执行环境

模型功能体是对原模型按照模型的应用目标进行重新拆分、组合之后形成的完成一定计算任务的计算实体, 是模型运行和求解的基础。模型服务与功能执行环境是实现框架的核心层次, 是模型功能体的执行宿主, 为所有模型提供统一的运行环境。模型功能体运行时, 通过执行环境中的数据访问接口获取和更新模型表示层的数据, 通过事件消息接口将执行状态通知到客户端。

#### 数据传输和消息协作层

在传统的模型集成和模型库系统中, 模型仅作为一个计算模块存在, 模型的执行一般被分为若干个相对独立的计算过程, 模型程序的应用和用户之间的交互不够。该层提供模型参数和结果的传输,

封装传递消息机制,支持模型异步执行。

### 模型表示层

模型表示层是提供给客户端的面向对象的编程接口。模型表示层是经过包装、组合后的模型功能体、模型的输入、输出数据以及模型通知事件在客户端的表示。

## 3.2 模型定义文档对象模型

文档对象模型(Document Object Model DOM)是 W<sup>3</sup>C 在 HTML 规范中引入的概念,XML 继承此概念。DOM 采用一种层级结构定义对象系统的数据与功能,并且可以基于一种面向对象的开发语言或方法加以实现,能够支持概念模型与运行时对象系统的统一。文档对象模型提供了功能灵活性与结构稳定性,其中的对象类型是有限的,对象间的关系是确定的,但可通过定义文档的具体内容获得足够的灵活性,正如 XML 文档和 XML 解析器的关系,XML 文档经过解析,就成了一组可编程对象,对该对象的操作,可以直接反映到文档上。如图 2 所示,本文以“模型定义文档对象模型”为基础描述地学模型的输入输出与行为,把文档对象模型概念引入到模型定义中,实现了基于 XML 的模型定义和生成。该对象模型包含顶层对象和三个集合对象:数据集合、功能集合和事件集合,每个集合中包含若干相同类型的子对象。

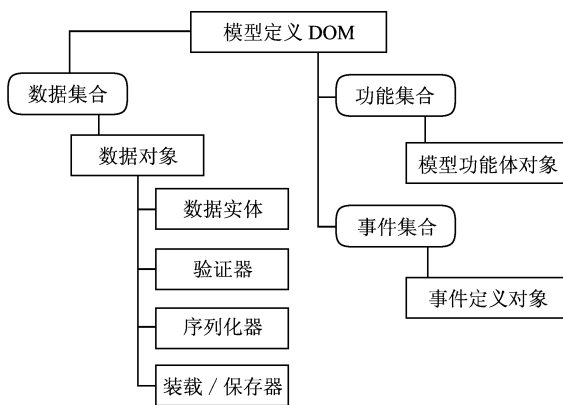


图 2 模型定义文档对象模型

Fig 2 Model program definition DOM

### 数据集合与数据对象

数据对象是实现模型集成的桥梁,它包括数据实体和辅助组件。数据对象采用组合模式定义功能和数据模型,以数据实体为核心,包含验证器、序列化器和装载保存器三个辅助对象。

数据实体承载数据的内容,数据实体需要弹性

的结构来支持复杂的模型数据定义,同时为数据实体提供序列化的能力,以便实现分布式的数据传输。下面一节将详细说明数据实体的对象结构。

验证器是数据对象的辅助对象,通过执行验证器的代码可判断数据实体是否是合法数据。

序列化器也是数据对象的辅助对象,该对象支持数据实体的自定义序列化,自定义的序列化器可以覆盖数据实体默认序列化的实现。

保存装载器则提供了数据从磁盘文件和数据库加载数据的功能。

### 功能集合与功能体对象

功能体是模型计算的核心,可对原始的模式组件(EXE、COM、DLL等)进行组合、装配,使模型组件可以按照一致的模式提供功能。

### 事件集合和事件对象

事件集合和事件对象是模型计算中通知客户程序的基础,事件对象是模型定义中的概念,集成模型的应用程序需要编写处理事件的代码。

## 3.3 构建基于 XML 的弹性数据实体

地学模型本身的复杂性决定了数据模型的标准化难以实现,本文注意到:任何复杂的数据格式和数据模型都可以由简单对象的组合、迭代表达;而数据的具体含义依赖于数据使用者,与数据排列方式没有根本联系;XML 在数据定义、表达及交换上具有很好的扩展性,通过 XML 对数据进行描述、定义、传输和重构数据对象是可行的。基于此,本文提出了通过组合与迭代基本数据元素实现描述复杂模型数据实体的方法。

图 3 是数据实体的 UML 示意图:数据实体分为简单实体和复合实体两大类,所有数据实体类型都从实体的基类派生,支持 XML 和数据对象的序列化。

简单实体包括单值、数组、数据库表、枚举等。其中单值、数组按照基本的数据类型再进行划分,实现对整数、浮点数、字符串等数据类型的支持;数据库表为基于关系数据库的数据提供了专门优化的表示方法;枚举类型表示了具有有限可选项的列表。

复合实体类似编程语言中的结构体,它是一个容器对象,可以包含任意数目和类型的数据实体。在复合实体中,子实体有唯一的名称,可通过名称索引到子实体。由图 3 可知,复合实体的子实体也可以是复合实体,所以通过复合实体的嵌套组合可表现任意复杂的数据模型,并且形成一个树型结构,这与 XML 的树状组织结构相对应。

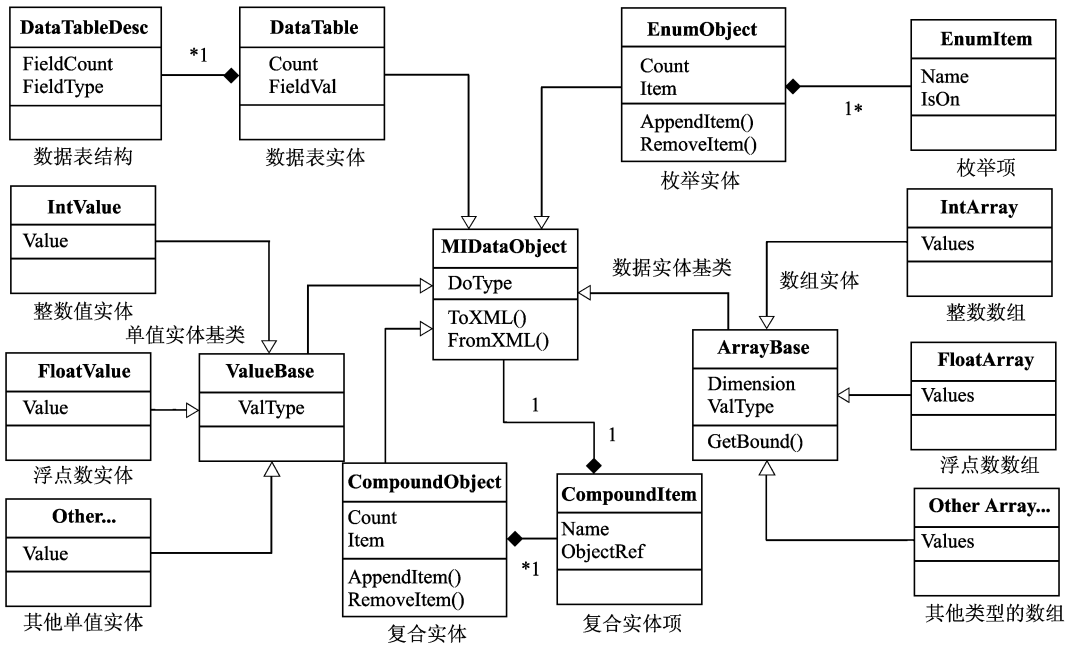


图 3 数据实体 UML示意图

Fig 3 UML of data object

下面的 XML 定义了一个 TIN 结构, XML 中的 doType (data object type) 表示数据对象的类型, valueType (value type) 表示支持的数据类型。

```

<M IDataObject doType = "m RRecord" >
  <Item name = "points_array" >
    <M IDataObject doType = "m IValueArray"
    valueType = "m IDouble" dimesion = "2" cols = "3" rows
    = "100" >..... </M IDataObject>
  </Item >
  <Item name = "triangles_array" >
    <M IDataObject doType = "m IValueArray"
    valueType = "m iInt" dimesion = "2" cols = "3" rows =
    "200" >..... </M IDataObject>
  </Item >
</M IDataObject>

```

### 3.4 模型定义文档与模型生成

基于 XML 的模型定义文档是对模型 DOM 的文档化。模型运行服务器根据文档构建模型服务对象, 提供模型计算功能; 服务访问组件根据模型定义文档, 构建客户端的对象结构; 应用系统根据文档对象模型编写代码, 实现数据对象赋值、结果显示和事件处理。

在原模型无数据的支持下, 可以通过图形化的方式自动或半自动的实现模型文档的生成; 模型服

务器支持在客户端创建和修改模型定义文档, 使得用户不但可以使用模型库中已有的模型, 还可以根据需求, 定制编写模型定义文档, 实现客户端模型的生成, 通过模型定义文档驱动模型服务器实现模型耦合集成。

该框架中, 服务器端的模型功能体、模型数据对象的验证器、自定义序列化器的实现都可以通过 XML 配置。以功能体为例, 框架为模型功能体提供了三种实现模式: 脚本、DLL 和 COM, 这三种实现模式有对应的 XML 定义格式。其中脚本模式是最灵活的模型构建方式。

#### (1) 基于 COM 的功能体

```

格式: <FUNCTION name = "demo_com" type
= "COM" clsid = "CLASS_ID" />

```

说明: demo\_com 功能体由指定的 clsid 属性的 COM 对象实现。

#### (2) 基于脚本的功能体

```

格式: <FUNCTION name = "demo_script" type
= "SCRIPT" >

```

```

<SCRIPT language = "language_name"
function = "function_name" >

```

```

function function_name (context) {... }

```

```

</SCRIPT >

```

```

</FUNCTION >

```

说明: 该 XML 定义了一个脚本实现的功能体,

实现语言由 language 属性指定,实现函数由 function 属性指定,具体实现在 <SCRIPT>标签中。

(3)基于 DLL的功能体

```

<FUNCTION name="demo_dll" type="DLL"
dll="file_name"
function="dll_export_function" />

```

说明:该功能体的实现由指定的 dll文件中的导出函数 dll\_export\_function 实现,函数的原形如下: WINAPI void DLL\_FUNCTION ( IExecuteContext\* context);

客户端的功能对象,比如数据的验证、序列化等虽然也可以通过 COM 和 DLL实现,但是这样会不

可避免地遇到组件分发的问题,所以建议这些功能对象的扩展都使用脚本进行实现,而模型功能体对象则可以采用任意一种方式实现。

### 4 基于 DCOM 的模型集成框架实现

本文基于 COM /DCOM 技术实现了分布式模型集成框架(图 4),模型服务器按照图 1 的分层结构,把模型定义对象模型的功能分解到了服务器端和客户端。实现包括地学模型服务和模型服务访问对象两个部分,功能由统一的模型定义 XML 文档配置,系统间的互操作由基于 DCOM 的回调接口实现。

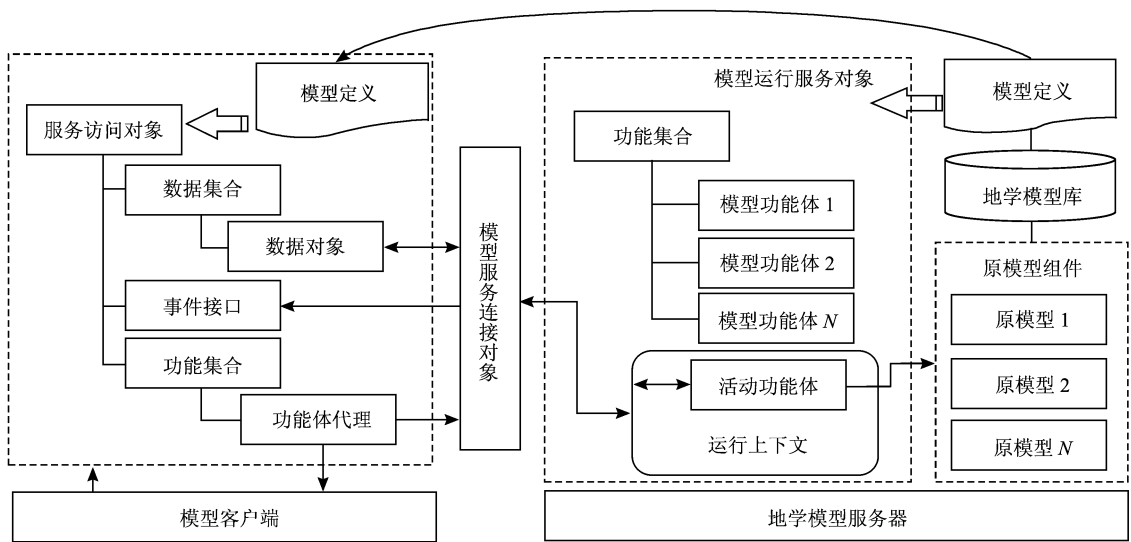


图 4 基于 DCOM 的地学模型集成服务框架

Fig 4 The framework of geography model integration service with DCOM

#### 4.1 地学模型服务器

地学模型服务器是模型运行和管理程序,采用支持 DCOM 访问的 Windows 服务程序实现。如前所述,地学模型服务器首先实现了模型库的模型管理功能,提供了管理模块,从而管理统一的模型组件集合,这些组件就是完成一定计算功能的原模型。通过 DCOM,可以访问模型库的管理功能,添加、删除、查询、修改模型库中的模型。模型库还管理一系列的模型定义文档,该文档定义了模型的运行功能和数据接口。

模型运行服务对象提供模型运算支持,服务器为每个连接的客户端单独创建独立的运行服务对象,并启动一个服务线程,对象在该线程中承载。每个对象通过一个模型定义文档配置,包含了模型中所

有可以执行的功能体的集合和一个运行上下文对象,运行上下文对象中至多可有一个活动的功能体。

模型功能体是对原模型按照应用目标重新组合、配置之后形成的软件实体,屏蔽原模型的实现方式,为上层应用展现一致的调用接口,是原模型执行的包装与代理。模型功能体在框架中是一个抽象接口,包含一个以运行上下文对象为参数的函数,功能体的代码可通过上下文对象与外部环境进行通讯。

模型运行上下文对象是模型功能体的执行宿主,运行上下文对象为功能的执行提供了最基本的支持,运行上下文对象通过 DCOM /RPC 系统与模型服务访问组件进行互操作。其基本功能如下:

- (1) 获取数据实体,这是一个拉数据的过程,从客户端将模型运行的数据通过远程系统传递到服务器端,并以对象的方式提供给功能体。

(2)设置数据实体,这是一个推数据的过程,将模型计算的结果打包成 XML 然后回填到客户端的实体中。

(3)验证数据有效性,通过执行客户端的数据对象验证器,验证数据对象是否符合模型计算的需求。

(4)事件通知,引发服务访问组件的事件,可以用于执行过程中的数据同步。

(5)请求用户输入,将在客户端显示请求用户输入的界面,等待用户的干预。

(6)调试输出,将模型执行过程中的信息实时发送到客户端,便于监视模型的执行。

## 4.2 模型服务访问对象

模型服务访问对象是模型程序的表示层,严格按照模型定义 DOM 的对象结构进行编写,为客户端展现基于模型 DOM 的可编程对象模型,另一方面是屏蔽了与服务器端的互操作,负责调用服务器端的功能体,通过创建模型服务连接对象为模型运行上下文对象提供客户端实现的基础。

模型服务访问对象具有层次的树状结构,包含三个集合:数据对象集合、功能体代理集合和事件监听器集合。模型服务访问对象向服务器端提供数据,缓存计算结果,转发服务器端的事件。

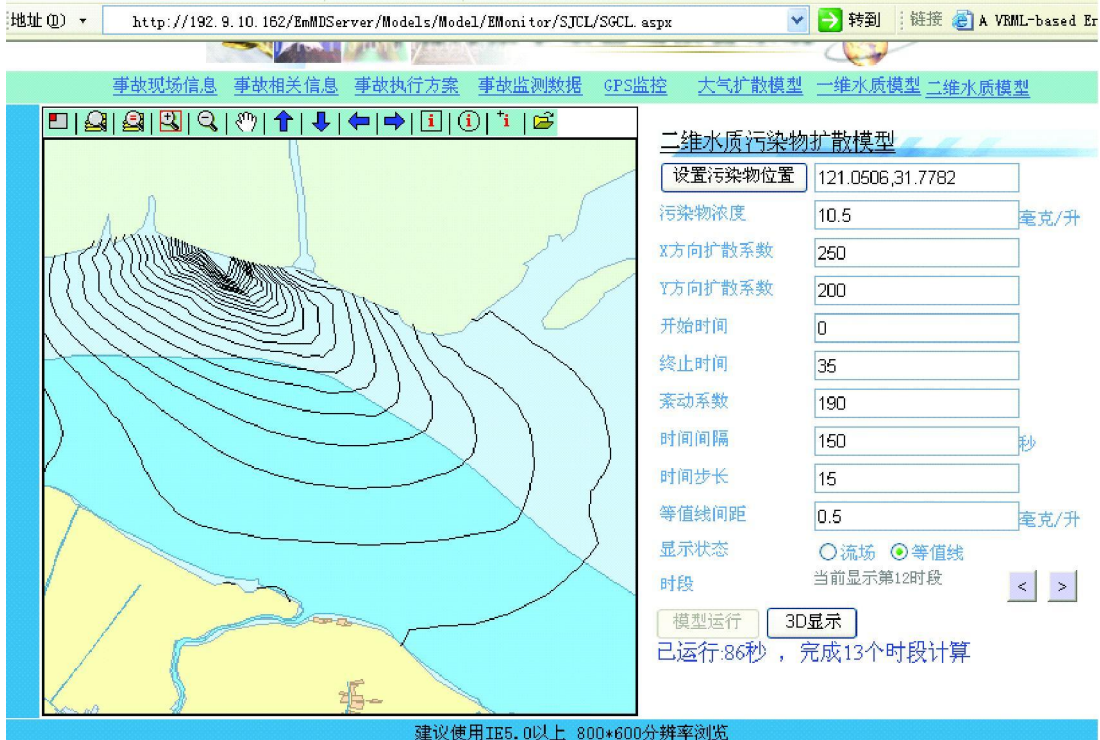
## 4.3 模型服务连接对象

服务访问对象与模型服务通过 DCOM /RPC 系统进行交互,在连接模型服务时,服务访问对象将创建一个回调接口(模型服务连接对象)指针,将指针传递到服务器端,模型服务对象可以通过远程对象系统得到这个接口指针的代理引用。通过这个引用,模型运行上下文对象与客户端进行交互,可以实现数据传输、事件通知等功能。

## 5 应用实例分析

在国家 863 项目“网络化环境空间信息系统平台及其应用”开发过程中,采用面向服务的地学模型集成框架支持系统中的模型集成,实现了不同组件的完全融合,为应用系统提供了统一的模型调用界面。在该系统中,集成不同实现方式的模型组件,编写了一维水质模型,二维水质模型和三维大气高斯模拟三个模型定义文档。通过在浏览器端承载模型服务访问组件和浏览器脚本支持,实现了 WebGIS 与地学应用分析模型的集成。

图 5 是二维水质模型的集成界面。通过编写模型集成文档将污染物扩散模拟程序(EXE,



FORTRAN 编写)和等值线生成组件(COM 组件),集成为统一的二维水质模型计算对象。在模型计算时,用户使用有限元数据、污染源参数、水流参数、计算时段参数等初始化服务访问对象的数据实体,然后激活服务器端的扩散计算功能体,对污染物扩散进行模拟。由于计算包含多个时段,所以每计算一个时段,都会将计算结果更新到服务访问对象中,引发事件通知客户端更新显示。

应用研究表明,面向服务的地学集成框架具有高度的灵活性和适用性,可以将异构的地理模型进行耦合和集成,实现各类应用模型的统一访问,支持模型的异步执行和事件通知等。但是由于 GIS 应用模型具有空间性、动态性、多元性、复杂性和综合性等特点,尤其是在当前网络环境下,防火墙、大数据量和频繁的数据传输对系统集成的效果产生了一定的影响:

(1)Web 环境下的执行效率。地理模型运算涉及大量的数据,由于采用了客户端管理模型数据的策略,子模型连接的数据需要客户端缓存,加之采用了 XML 作为数据的交换格式,明显加重网络负担。在本机模拟执行和 Web 环境下的执行,数据传输占用的时间甚至超过了运算时间,而且随着数据量的增大,影响也随之加大。

(2)网络防火墙与安全性。由于使用了 DCOM 的回调接口机制实现异步执行的事件通知,Web 浏览器默认的安全限制不允许执行回调操作,这需要更改浏览器的安全设置。另一方面,在实际部署中,由于网络防火墙会阻止 DCOM 连接,对系统的部署产生了很大的影响。

在今后的研究中,拟在以下几个方面进行改进:支持服务器端的数据缓存,实现服务器端的模型耦合,减少不必要的数据传输;XML 文本格式可以达到很高的压缩比例,在数据传输中进行压缩,减轻网络压力;实现多种 ObjectRPC 协议的支持,支持协议的透明置换,在 Web 环境采用 Java RMI 减少网络安全对部署的影响。

## 6 结 论

本文基于 DOM 概念解决了长久以来困扰模型集成的标准化问题,并且完成了定义与实现的统一,通过抽象数据、功能和事件实现了面向对象的模型定义,事件机制为用户参与模型运行过程提供了基础。基于 COM /DCOM 实现的模型集成框架,突出

了集成和服务的概念,将传统的模型库扩展为模型集成和运行的核心组件,并且充分利用了已有的模型组件资源,体现了未来以网格计算为特征的应用系统发展的方向,突出了对地学模型空间性、动态性和复杂性的处理,在分布式环境下解决了模型集成的数据互操作、模型组件化和异步执行等问题。

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] He X Z, Li Q, Cheng J C. Study on Grid-based Spatial Information Models and Services [ J]. *Geography and Geo-Information Science* 2003, **19**(4): 60-63 [何小朝,李琦,承继成. 基于网格的空间信息模型与服务技术研究 [ J]. *地理与地理信息科学*, 2003, **19**(4): 60-63 ]
- [ 2 ] Chen A J, Li Q, Xu G. Geospatial Information Sharing Methods [ J]. *Journal of Tsinghua University (Sci & Tech)*, 2002, **42**(10): 1405-1409 [陈爱军,李琦,徐光. 地理空间信息共享理论基础及其解决方案 [ J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2002, **42**(10): 1405-1409 ]
- [ 3 ] Batty M. Virtual Geography [ J]. *Future* 1997, **29**(4/5): 337-352
- [ 4 ] Lin H, Gong J H. On Virtual Geographic Environments [ J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2002, **31**(1): 1-7. [林珺,龚建华. 论虚拟地理环境 [ J]. *测绘学报*, 2002, **31**(1): 1-7 ]
- [ 5 ] Xia Q Q, Zhang H, Lu G N. GIS Laboratory without Walls [ J]. *Geo-Information Science* 2002, (2): 17-22 [夏秋勤,张宏,闫国年. 没有围墙的 GIS 实验室 [ J]. *地球信息科学*, 2002, (2): 17-22 ]
- [ 6 ] Blanning R W. Issues in the Design of Relational Model Management Systems [ A ]. *Proceedings of the National Computer Conference [ C ]*. 1983
- [ 7 ] Dolk D R. An Introduction to Model Integration and Integrated Modelling Environments [ J]. *Decision Support Systems* 1993, **10**(3): 249-254
- [ 8 ] Dolk D R. Model Management and Structured Modelling: the Role of an Information Resource Dictionary System [ J]. *Communications of the ACM*, 1988, **31**(6): 704-718
- [ 9 ] Geoffrion A M. The Formal Aspects of Structured Modelling [ J]. *Operations Research* 1989, **37**(1): 30-51
- [ 10 ] Muhanna W A. Issues in Distributed Model Management Systems [ A ]. *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Information Systems [ C ]*. 1990
- [ 11 ] Vanhee K M. *Dynamic Modelling of Information Systems [ M ]*. Amsterdam, Elsevier 1991
- [ 12 ] Wesseling C G, Karszenberg D, Van Deursen WPA, et al. Integrating Dynamic Environmental Models in GIS: the Development of a Dynamic Modelling Language [ J]. *Transactions in GIS* 1996, **1**: 40-48
- [ 13 ] Bennett D A. A Framework for the Integration of Geographical Information Systems and Modelbase Management [ J]. *International Journal of Geographical Information Science* 1997,

- 11(4): 337–357.
- [14] Sengupta R R, Bennett D A. Agent-based Modelling Environment for Spatial Decision Support [J]. *International Journal of Geographical Information Science* 2003, **17**(2): 157–180.
- [15] Zhang L. Theoretical and Practical Views of GIS System Integration[J]. *Acta Geographica Sinica*. 1996, **51**(4): 306–313 [张犁. GIS系统集成的理论与实践[J]. *地理学报*, 1996, **51**(4): 306–313.]
- [16] Yue T X. Standardized Documentation of Models for Resources and Environment and Their Integration with GIS [J]. *Acta Geographica Sinica*. 1999, **56**(1): 107–112 [岳天祥. 资源与环境模型标准文档库及其与GIS集成[J]. *地理学报*, 1999, **56**(1): 107–112.]
- [17] Wang Q, Wu J T. Research on the Problem of Model Standardization in Spatial Decision making Supporting System [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*. 1999, **28**(2): 172–176 [王桥, 吴纪桃. 空间决策支持系统中的模型标准化问题研究[J]. *测绘学报*, 1999, **28**(2): 172–176.]
- [18] Gong M X, Lu G N. Study on Intelligent Spatial Decision Support Model Base System and Model Integration in GIS [J]. *Geo-Information Science* 2002, (3): 91–97 [龚敏霞, 闫国年. 智能化空间决策支持模型库及其支持下GIS与应用分析模型的集成[J]. *地球信息科学*, 2002, (3): 91–97.]
- [19] Wan Q, Wan H T, Ding G X. The Visual GeoModel Construction Environment Based on ConceptMap [J]. *Journal of Remote Sensing*. 2003, **7**(5): 412–419 [万庆, 万洪涛, 丁国祥. 基于图形的可视化地学建模环境[J]. *遥感学报*, 2003, **7**(5): 412–419.]
- [20] Xiao J F, Yang J J, Gong H L, et al. Research on Model Base System General Platform [J]. *Journal of Remote Sensing*. 2001, **5**(2): 146–152 [肖劲锋, 杨巨杰, 宫辉力等. 模型库系统平台的研究[J]. *遥感学报*, 2001, **5**(2): 146–152.]
- [21] Zhang J T, Wan Q. Study on GIS Integration Platform Framework Architecture [J]. *Journal of Remote Sensing*. 1999, **3**(1): 77–83 [张健挺, 万庆. 地理信息系统集成平台框架结构研究[J]. *遥感学报*, 1999, **3**(1): 77–83.]
- [22] Ren J W, Lu G N, Wang Q. Research on the Integration of Geography Information System and Model in Multiple Tier System [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*. 2003, **32**(2): 178–182 [任建武, 闫国年, 王桥. 多层体系GIS与模型集成研究[J]. *测绘学报*, 2003, **32**(2): 178–182.]
- [23] Balei O I, Anders C, Bertelind M. Visual Simulation Environment [A]. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference* [C]. 1998.
- [24] Lee K, Fishwick P. OOPM/RT: A MultiModelling Methodology for Real-time Simulation [J]. *ACM Transactions on Modelling and Computer Simulation*. 1999, **9**(2): 141–170.
- [25] Maxwell T, Costanza R. Distributed Modular Spatial Ecosystem Modelling [J]. *International Journal of Computer Simulation: Special Issue on Advanced Simulation Methodologies* 1995, **5**(3): 247–262.
- [26] Costanza R, Maxwell T. Spatial Ecosystem Modelling Using Parallel Processors [J]. *Ecological Modelling*. 1991, **58**: 159–183.
- [27] Wainer G, Giambiasi N. Application of the Cell-DEVS Paradigm for Cell Spaces Modeling and Simulation [J]. *Simulation*. 2001, **76**(1): 22–39.
- [28] Soetaert K V, DeClijpele P, Herman FEMME. A Flexible Environment for Mathematically Modelling the Environment [J]. *Ecological Modelling*. 2002, **151**: 177–193.
- [29] Robert Ferraro, Tetsuya Sato, Cecelia Deluca, et al. Modeling the Earth System [R]. [http://www.esmf.ucar.edu/esmf\\_pubs/](http://www.esmf.ucar.edu/esmf_pubs/)
- [30] Schaffer D S, Suarez M J. Design and Performance Analysis of a Massively Parallel Atmospheric General Circulation Model [J]. *Scientific Programming*. 2000, **8**(1): 49–57.