

面向Web服务的 GIS应用模型复用

经管
交大

面向Web服务的 GIS应用模型复用研究

于海龙 著

应用模型复用 面向Web服务的 研究



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

面向 Web 服务的 GIS 应用模型复用研究

于海龙 著

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书基于 OpenGIS 的开放分布式处理模型 RM-ODP、Web Service 技术、面向服务的架构体系 SOA 等,提出了面向 Web 服务的 GIS 应用模型复用与集成方法,并以小流域地貌演化模型为例,进行了应用实例研究,验证了本书提出的复用与集成方法的正确性与可行性。

本书可供测绘与地理信息系统研究人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

面向 Web 服务的 GIS 应用模型复用研究/于海龙
著. —上海:上海交通大学出版社,2012

ISBN 978-7-313-08678-5

I. 面... II. 于... III. 地理信息系统—应用
软件—研究 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 191888 号

面向 Web 服务的 GIS 应用模型复用研究

于海龙 著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟市梅李印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:10 字数:169 千字

2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-313-08678-5/P 定价:30.00 元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0512-52661481

序

进入 21 世纪,信息技术突飞猛进发展。以云计算、物联网、无线网络应用为代表的新技术、新理念的提出与应用,成为目前研究与应用的热点。空间地理信息科学领域在本领域研究的基础上,必须充分吸纳 IT 领域的新技术与新方法,实现与空间信息处理、存储、应用技术的集成。

云计算是一种新型的计算模式和基础架构管理的方法论,它把 IT 资源、数据、业务流以服务的形式通过互联网提供给用户应用。云计算的核心是“服务”。因此,Web Service 技术与理论,面向服务体系架构 SOA 是云计算的基础。地理信息系统 GIS 的发展也正向服务化的方向发展与应用。目前 ArcGIS Server 推出 10.1 版本,支持空间信息 Web 服务的发布与集成,使得空间信息应用 Web 服务化成为了可能。而空间信息技术领域的 Web 服务化是云计算深入应用的重要技术支撑之一。

空间信息技术的应用,从另外的一个角度来看,必须与行业领域进行结合,才能发挥空间信息技术的优势。而行业应用模型成为空间信息技术与行业应用集成的核心,我们把这类模型称为 GIS 应用模型。目前,GIS 与行业应用模型集成方法存在功能冗余灵活性差、模型复用困难、集成实现困难等问题。应用模型复用与集成方法研究是空间信息领域重要研究问题之一。

本书在 MS/OR 与 DSS 领域模型管理相关研究成果基础上,参考开放的分布式处理参考模型 RM-ODP、OpenGIS 系列规范、ISO/TC211 系列标准、Web Services 技术、面向服务的架构体系 SOA 等理论与规范,提出了面向 Web 服务的 GIS 应用模型复用与集成方法。并以小流域地貌演化模型管理为例,完成了基于 Web 服务模式的小流域地貌演化问题计算。该方法可实现跨平台、领域间、异构环境下应用模型复用与集成。

随着空间信息与空间信息技术的 Web 服务化的发展,应用模型的 Web 服务化、业务应用的服务集成化将成为主流趋势;应用模型的服务化也将大大扩展

空间信息技术的应用领域,并将成为智慧城市建设、云计算理念与技术应用的基础之一。

邬 伦

2012年8月7日于北大燕园

前 言

为了拓宽 GIS(Geographical Information System,地理信息系统)的应用领域,提高 GIS 的空间分析功能,解决复杂地理问题,GIS 与应用模型或模型管理系统 MMS(Model Management System)集成是必然趋势。目前,GIS 与应用模型或 MMS 集成包括松散集成、紧密集成和无缝集成三种模式,在具体集成策略上,分为 GIS 环境内部集成与 GIS 环境外部集成两种方案。这些集成方法存在如下问题:①系统集成产生明显功能冗余,且用户很难对模型进行修改,灵活性差;②由于模型表示方法不同、模型元数据等无统一标准、模型与数据的链接规则复杂、模型抽取集成方法不同,应用模型复用困难;③GIS 与应用模型集成,解决复杂地理问题,用户操作界面复杂,集成实现困难。

为了有效实现 GIS 与应用模型集成,应用模型复用与集成方法研究是重要研究问题之一。本书在 MS/OR(Management Science/Operation Research)与 DSS(Decision Support Systems)领域面向对象结构建模与建模语言、分布式模型管理、组件式模型软件复用、模型属性信息管理、HLA 系列标准等研究成果基础上,结合地理信息科学领域 GIS 与应用模型集成理论与方法、开放的分布式处理参考模型 RM-ODP[ISO/IEC10746]、OpenGIS 系列规范、ISO/TC211 系列标准、Web Services 等技术,面向服务的架构体系 SOA,分析了应用模型表示、应用模型服务生成、应用模型服务集成等相关问题,提出了基于服务模式的 GIS 应用模型复用与集成方法。本书研究解决了目前系统集成功能冗余的弊端,可实现了领域间异构环境下应用模型复用,简化了集成实现的过程。

本书主要研究工作包括:①给出了 GIS 应用模型的概念以及七元组的表示方法,建立了应用模型分类体系,探讨了应用模型复杂性,建立了 GIS 应用模型复用体系;②以 RM-ODP 为基础,建立了 GIS 应用模型表示体系,扩展了 OpenGIS 空间信息服务体系的内容,建立了应用模型服务体系;探讨了应用模型服务集成模式、服务链表示方法、服务集成实现过程等问题;③初步建立了应

用模型元数据标准,分别定义了应用模型陈述元数据与服务元数据核心内容;④定义了 GBMDL 的 BNF 范式,建立了基于 XML Schema 的应用模型实体模式、数据模式、约束模式、元数据模式、组件字典模式,从而定义了 GIS 应用模型描述语言 GBMDL,支持应用模型组件、应用模型服务抽取与集成;⑤以小流域地貌演化模型(MCGEM)管理为例,利用 GIS 应用模型的七元组,GBMDL 分别定义了 MCGEM,开发了小流域地貌演化模型服务 MCGEMS,实现了 MCGEMS 与 OpenGIS 的 WCS 服务集成,完成了基于服务模式的小流域地貌演化问题计算。本书创新点如下:

(1) 提出了基于服务模式的应用模型复用与集成方法,支持跨平台、异构环境下、领域间应用模型复用与集成,解决了系统集成功能冗余、模型复用困难、集成界面复杂等问题;

(2) 定义了应用模型陈述元数据与服务元数据核心内容,初步建立了应用模型元数据标准;

(3) 定义了应用模型描述语言 GBMDL,完整地描述了应用模型定义、应用模型元数据、应用模型组件信息以及应用模型服务信息。

随着 GIS 应用领域的进一步扩展,GIS 将成为各领域解决复杂问题的必要工具。本书基于服务模式的应用模型复用与集成研究,实现了跨平台、领域间、异构环境下应用模型复用与集成。该研究为最终实现应用模型互操作以及面向问题的分布式复杂问题计算奠定了基础,具有一定的理论与现实意义。

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 问题的提出	(1)
1.1.1 GIS 与应用模型集成的必要性	(1)
1.1.2 GIS 与应用模型集成研究现状及存在的问题	(5)
1.2 模型复用研究现状及分析	(8)
1.2.1 模型概念与分类	(8)
1.2.2 模型生命周期	(8)
1.2.3 模型复用概念	(9)
1.2.4 模型复用研究现状	(9)
1.2.5 模型复用研究现状分析	(17)
1.3 本书研究目的与主要研究内容	(18)
1.3.1 研究目的	(18)
1.3.2 主要研究内容	(19)
1.4 本书研究路线与组织结构	(19)
第 2 章 GIS 应用模型及其复用体系	(22)
2.1 GIS 应用模型概念与特点	(22)
2.1.1 GIS 应用模型概念	(22)
2.1.2 GIS 应用模型特点	(24)
2.2 GIS 应用模型分类	(25)
2.2.1 基于领域特性分类	(25)
2.2.2 基于应用模型定性/定量特点分类	(25)
2.2.3 基于输入集信息空间/非空间特性分类	(26)
2.2.4 基于模型技术条件分类	(27)
2.2.5 GIS 应用模型分类体系	(29)

2.3	GIS 应用模型复杂性	(30)
2.4	GIS 应用模型复用体系	(31)
2.4.1	开放的集成建模环境 OIME	(34)
2.4.2	开放的集成应用环境 OIAE	(35)
2.4.3	基础技术与规范	(36)
2.5	本章小结	(38)
第 3 章	GIS 应用模型表示与服务生成	(39)
3.1	应用模型表示	(39)
3.1.1	应用模型建模框架	(41)
3.1.2	应用模型实体	(42)
3.1.3	应用模型数据	(45)
3.1.4	应用模型元数据	(47)
3.1.5	应用模型时间要素	(49)
3.1.6	应用模型实体与应用模型数据约束链接	(50)
3.2	应用模型服务生成	(52)
3.2.1	应用模型组件抽取与集成	(52)
3.2.2	应用模型演化与维护	(55)
3.2.3	应用模型有效性验证	(56)
3.2.4	应用模型解释	(57)
3.2.5	应用模型复杂性评价	(58)
3.2.6	应用模型服务定制	(61)
3.3	应用模型库	(62)
3.3.1	应用模型库概述	(62)
3.3.2	应用模型库配置模式	(62)
3.4	应用模型服务体系	(63)
3.4.1	应用模型服务体系与 OpenGIS 服务体系的关系	(64)
3.4.2	应用模型服务体系	(65)
3.5	本章小结	(67)
第 4 章	GIS 应用模型服务集成	(68)
4.1	基于服务链的应用模型服务集成模式	(68)
4.2	基于 Petri 网的服务链表示	(72)

4.3	应用模型服务集成实现过程	(75)
4.4	应用模型服务集成应用	(79)
4.5	本章小结	(80)
第5章	GIS 应用模型描述语言 GBMDL	(81)
5.1	GBMDL 的 BNF 描述	(81)
5.2	GBMDL 的依据和规则	(85)
5.2.1	应用模型描述文档化	(85)
5.2.2	基础和规则	(86)
5.3	GBMDL 的定义和内容	(86)
5.3.1	语法及语言结构	(86)
5.3.2	应用模型定义 GBMDL 模式	(87)
5.3.3	应用模型元数据 GBMDL 模式	(94)
5.3.4	应用模型组件字典的 GBMDL 模式	(95)
5.4	本章小结	(96)
第6章	面向 WEB 服务的 GIS 应用模型复用实例研究	(97)
6.1	基于应用模型七元组的小流域地貌演化模型表示	(98)
6.2	基于 GBMDL 的小流域地貌演化模型描述	(100)
6.3	小流域地貌演化模型服务 MCGEMS 设计	(103)
6.3.1	MCGEMS 组件划分与集成	(104)
6.3.2	MCGEMS 接口定义	(106)
6.4	栅格数据获取服务 WCS 设计	(108)
6.5	MCGEMS 与 WCS 集成设计	(109)
6.5.1	MCGEMS 与 WCS 集成服务链设计	(109)
6.5.2	MCGEMS 与 WCS 集成过程设计	(110)
6.6	MCGEMS 与 WCS 开发与服务集成实现	(112)
6.6.1	Web Services 平台与技术	(112)
6.6.2	MCGEMS 与 WCS 开发与服务集成平台选择与 主要技术	(115)
6.6.3	基于 .NET 平台的 MCGEMS 与 WCS 集成调用过程	(116)
6.6.4	MCGEMS 与 WCS 开发与服务集成实现	(118)
6.7	本章小结	(121)

第7章 结束语	(122)
7.1 结论	(122)
7.2 讨论	(123)
附录A GIS应用模型组件字典	(125)
A.1 应用模型组件标识信息	(125)
A.2 应用模型组件实现信息	(126)
A.3 应用模型组件运行环境信息	(126)
A.4 应用模型组件版本关系信息	(127)
A.5 应用模型组件分发信息	(127)
附录B GIS应用模型元数据字典	(128)
B.1 应用模型陈述元数据字典	(128)
B.1.1 实体集信息	(128)
B.1.2 标识信息	(130)
B.1.3 内容信息	(131)
B.1.4 质量信息	(132)
B.1.5 运行结果表达方式信息	(132)
B.1.6 分发信息	(133)
B.1.7 设计与开发信息	(134)
B.1.8 限制信息	(134)
B.1.9 维护信息	(135)
B.1.10 联系类信息	(136)
B.2 应用模型服务元数据字典	(137)
B.2.1 服务标识信息	(137)
B.2.2 服务操作信息	(138)
B.2.3 服务参数信息	(138)
参考文献	(139)
后记	(148)

绪 论

1.1 问题的提出

1.1.1 GIS 与应用模型集成的必要性

地理信息系统(Geographical Information System, GIS)是从 20 世纪 60 年代开始迅速发展起来的一门多学科交叉的信息处理技术。一方面地理信息系统是一门学科,是一门描述、存储、分析与输出空间信息的理论和方法的新兴交叉学科;另一方面地理信息系统是一个技术系统,是以地理数据库(Geospatial Database)为基础,采用地理模型分析方法,适时提供多种空间与动态地理信息、为地理研究和地理决策服务的计算机技术系统。其理论研究和技术开发自产生以来取得了巨大的发展,现在已经广泛应用于地理、地质、城市、环境、灾害、经济、国防等众多领域,并发挥了重要作用(邬伦,2001)。

在所有的 GIS 应用和决策支持工作中,空间分析操作是最基本的组成要素。空间分析是指基于地理对象位置和形态特征的空间数据分析技术,其目的在于提取和传输空间信息(郭仁忠,2001)。空间分析应用的目的是解决地理空间相关问题,通常涉及多种空间分析操作的组合,良好的空间分析过程设计是完成地理空间信息挖掘与提取的关键。

空间分析更深层的应用是关于空间决策支持方面的问题,区域规划、土地利用规划、设施位置选择、环境污染评价与决策等都是有关空间信息的决策问题,这些问题的解决方案是由决策者和相关领域专家在大量空间与非空间信息分析的基础上获取的,空间决策支持服务是空间分析本身与领域决策评价模型的深层结合应用。下面以环境污染评价为例说明 GIS 与应用模型集成应用以及解决复杂问题的处理过程。需要说明的一点是,该过程并不一定完善,只是用作实例进行说明。

环境污染评价通过对污染源(点源、线源、面源)成因、扩散特点分析,研究污染源在时间、空间上的分布特点与扩散规律,对污染现状、环境质量进行评价,进而进行辅助决策的过程。环境污染涉及的问题主要包括大气污染问题、河流污染问题、海洋污染问题等。环境污染评价过程如下:①数据获取与管理,包括基础空间数据、污染源数据等;②模型生成与管理,具体包括大气污染评价模型、河流污染评价模型、海洋污染评价模型等,必须对这些模型进行有效管理,支持模型抽取、集成、演化、维护等功能;③污染评价,是GIS空间分析与环境污染模型的集成应用,其中GIS空间分析功能包括包含分析、叠加分析、缓冲区分析等;④评价结果可视化输出,利用GIS地图可视化功能,以专题图的方式显示污染源在时间、空间上的分布,直观显示污染扩散范围与扩散量;⑤过程模拟并与监测数据进行对比分析,进而对各环境污染评价模型进行评估,进一步研究污染源的扩散特性,优化模型;⑥辅助决策,在环境污染评价与过程模拟的基础上,结合辅助决策模型进行决策支持。整个环境污染评价过程如图1.1所示。

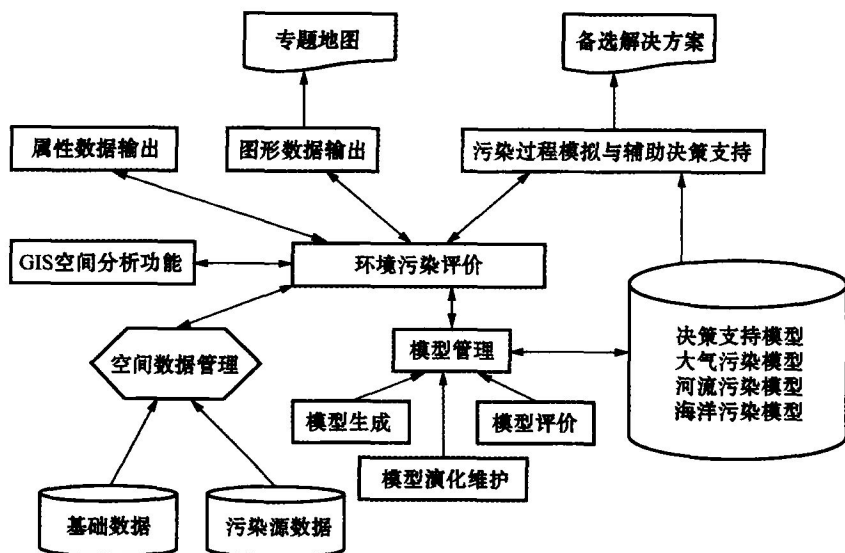


图 1.1 环境污染评价过程

环境科学领域对环境污染问题进行了大量的研究,建立了大量的模型。这些模型的适用范围、模型假设、模型参数、模型质量、模型复杂性互不相同,分别解决不同问题,适用于特定情况,具体污染评价计算是多模型的集成。有效的模型管理功能成为解决环境污染评价问题的关键,是实现环境污染评价

的基础。模型管理功能包括模型库组织、模型抽取集成、模型演化维护、模型调度执行等;支持模型参数的自适应选择与生成,对于因客观条件不能获得的模型参数,模型管理应提供根据历史统计资料或参考已经发生的可供参考的同类事故而选择或生成缺失的参数,进行计算,并对参数的置信区域进行评估;在获得某一模型计算的结果之后,应将其与历史数据库中保存的计算结果或者是与实际监测数据进行对比,从而进行模型评价。在有效模型管理的基础上,污染评价模型必须与 GIS 空间分析功能集成,实现环境污染评价,具体过程包括功能融合、数据交互、处理逻辑设计等问题。环境污染评价模型运算过程如图 1.2 所示。

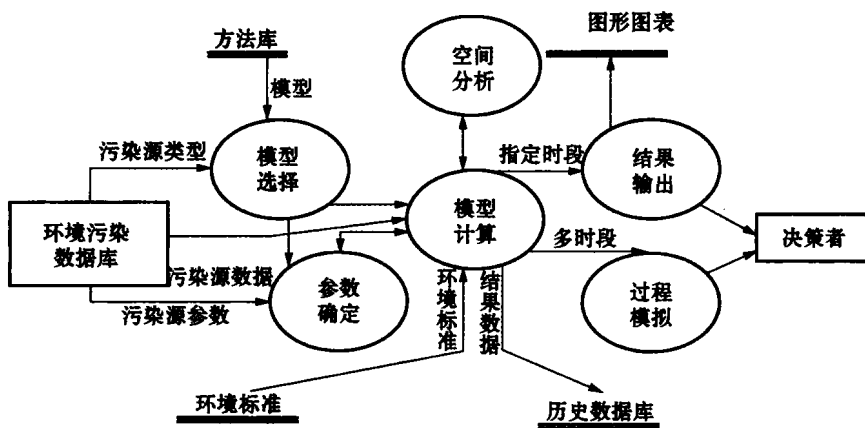


图 1.2 环境污染评价模型运算过程

从如上分析可知,在环境污染评价过程中,模型管理以及空间分析功能与应用模型集成是最突出的问题。

GIS 本身提供了空间信息处理过程所需的基本空间操作功能和空间分析模型,但所提供的空间分析模型是原子级别的基本的空间分析模型,对于如上复杂问题的处理仍然需要集成领域应用模型,支持复杂地理空间问题的解决。从 GIS 本身来说,其并没有提供有效的手段,用于对复杂地理问题建模、模型管理、模型调度与执行、模型复用集成等,以及管理复杂的空间信息处理过程。具体来说,GIS 在这些领域所表现出来的问题和不足主要包括如下几个方面(高勇, 2003):

(1) 应用复杂:GIS 同其他管理信息系统相比,是一专业信息系统。GIS 提供了一系列空间分析功能和专业模型,需要将这些功能进行有效组织,才能更好

地应用于实际工作中。但 GIS 本身并没有为这些应用提供必要的规范模式,因此对于普通用户而言,难以掌握。

(2) 缺乏空间过程建模的能力:GIS 具有强大的空间分析功能,但是本身缺乏空间分析应用过程建模能力,目前一般是针对某一具体问题通过 GIS 的二次开发来实现应用建模,这种方式开发的系统复用性很差且成本较高。20 世纪 90 年代以来,GIS 与建模软件集成的研究越来越多,GIS 应用模型不再是简单的空间分析操作,而是数据、多模型集成的复杂过程,这种应用模式超出了传统 GIS 制图和决策支持的范围。

(3) 缺乏对 GIS 应用模型管理功能:GIS 平台不能管理用户自定义的 GIS 应用模型,更谈不上对这些 GIS 应用模型的复用和自动执行的支持。在实际应用中,对一个复杂的空间分析问题进行建模是耗时与耗力的工作,如果不对模型进行有效管理,在数据和应用环境发生变化后,用户必须重复建模过程与所有操作程序,从成本与效率本身来说,是非常不合算的。

(4) 应用模型复用能力差:在过去的几十年里,大量专业地理信息系统相继出现,各系统有不同的数据存储格式、数据访问方法、模型的组织方法等,这些封闭独立的系统由于缺乏统一的互操作规范,给空间数据的共享、应用模型的复用带来了巨大的困难,无法有效利用已有资源。

(5) 网络协同工作能力差:计算机网络的快速发展和应用普及也对 GIS 提出了更高的要求。大型 GIS 的应用往往涉及海量数据管理和处理,空间操作非常耗时,通常是在一个网络环境内协作完成的。GIS 如何充分利用网络资源、合理分配处理任务、使网络内的各节点协同工作是 GIS 面临的新问题。

(6) 对工作人员的参与缺乏有效的控制:在 GIS 应用中,存在大量的人工活动需要工作人员的干预或操作,这时 GIS 成为操作人员手中的工具,根本不可能控制并规范操作人员的工作,这就给工程应用管理带来了巨大的不确定和不可控制的因素。

(7) 与办公系统结合困难:把 GIS 与 OA 集成主要困难存在两点:一是对于普通用户来讲,其应用过于复杂;二是 GIS 缺乏对其自身业务流程的有效表达和管理,与办公自动化的要求相距较远。

为了拓宽 GIS 的应用领域,更好地发挥 GIS 的作用,提高 GIS 的空间分析功能,以及操作的易用性等,GIS 必须与建模系统、专家系统、应用模型管理系统、 workflow 系统等进行集成,并采用分布式计算技术如 Web Service 技术、面向服务的架构体系 SOA(SOA-RM Editors Subcommittee, 2006)等,解决复杂问题

计算。这也是新一代 GIS 中面向问题、实现分布式计算等进一步发展的需要(方裕,2001;陈斌,方裕,2001;于海龙,等,2006a;于海龙,等,2007)。

1.1.2 GIS 与应用模型集成研究现状及存在的问题

随着 GIS 应用领域的拓展,空间信息处理过程越来越复杂,为了适应发展的需求,一些学者对 GIS 与建模系统集成进行了大量的研究。

(1) GIS 与应用模型集成可以在两种粒度上进行,即单模型与 GIS 集成、模型管理系统 MMS(Model Management System)与 GIS 集成。采用单模型形式,应用模型一般内嵌到 GIS 环境中,解决领域应用问题;采用模型管理系统 MMS 与 GIS 进行集成,利用模型库管理模型、数据库管理数据、知识库管理地理知识,实现空间决策与支持,拓展 GIS 的应用范围,解决领域问题(Goodchild,1993;Lilburne,1996;Bennet,1997;Park,1997;Ungerer and Goodchild,2002)。

(2) GIS 与应用模型集成可以分为三个层次:松散集成、紧密集成和无缝集成(Park,1997;Ungerer and Goodchild,2002;Mitasova,2002)。应用模型与 GIS 集成的三种模式比较如表 1.1 所示,GIS 与应用模型集成模式如图 1.3 所示。

表 1.1 应用模型与 GIS 集成的三种模式比较(Ungerer,2002;Mitasova,2002)

集成方式	特 点	优 点	缺 点
松散集成	模型与 GIS 各成系统,通过文件进行数据交换	实现简单,兼容性强,GIS 与应用模型可维护性强	费时耗力、空间数据冗余,运行效率低,模型复用能力较强
紧密集成	模型与 GIS 共享空间数据库,具有统一的运行界面,模型有自己的数据结构	模型分析在 GIS 环境中进行,模型可以直接使用 GIS 的数据	开发成本较高,集成动态模型处理复杂,模型复用能力一般
无缝集成	模型与 GIS 共享数据与功能,融为一体	没有文件交换,系统运行效率高,开发成本低	应用模型过分依赖 GIS 环境,更新与维护困难,模型复用能力差

(3) 按照集成环境不同,GIS 与应用模型集成可以分为两类:GIS 环境内部集成与 GIS 环境外部集成(Zang,2000)。GIS 环境内部集成指应用模型在 GIS 环境内实现集成,模型可以采用松散、紧密、无缝的集成方式;GIS 环境外部集成指利用 GIS 提供的功能,在应用系统中嵌入 GIS 的功能,如空间分析、数据管理、地图可视化功能等,并利用应用系统的应用模型计算功能,实现具体解决问题,集成可以是松散、紧密或无缝的方式。

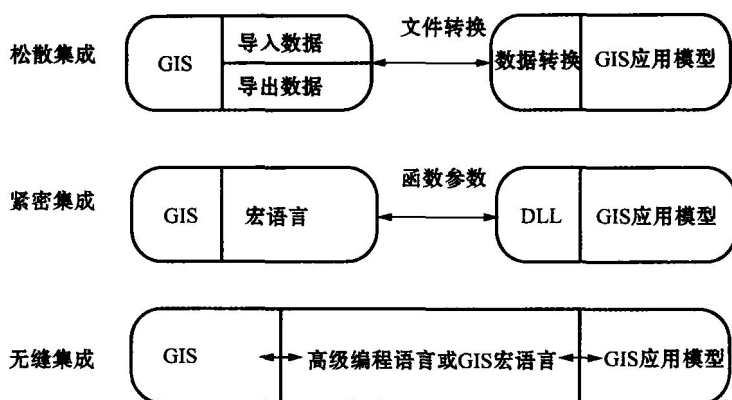


图 1.3 GIS 与地理空间过程模型集成模式

目前, GIS 环境内部实现 GIS 与应用模型的集成研究较多 (Goodchild, 1993; Lilburne, 1996; Park, 1997; Bennett, 1997)。Bennett 提出了 GIS、计算机模拟、模型库管理以及空间决策支持之间的集成框架, 并采用面向对象的方法, 开发了原型系统。在这种集成方式中模型库与数据库分别管理模型与数据, 通过 GIS 集成平台处理复杂地理问题, 完成对复杂地理问题的计算与模拟。陈崇成等 (2000) 设计了模型库与 GIS 紧密集成方案, 开发了运行系统, 并应用于厦门市大气污染物扩散模拟总量控制中。龚敏霞等 (2002) 设计了知识驱动的空间决策支持模型库体系, 它将数据库、模型库和知识库技术三库合一融入到 GIS 中, 实现 GIS 与应用模型的无缝集成, 以进一步提高 GIS 对复杂空间决策问题的决策能力。

GIS 环境外部实现 GIS 与应用模型集成的研究较少, 但目前已经引起关注, 尤其是 Web Service 技术的提出与应用。Zhang 与 Griffith (2000) 分析了空间统计分析 with GIS 集成的特点, 采用外部集成的方式, 通过 Microsoft Access 数据库管理系统, 嵌入 GIS 组件, 实现了空间统计分析与 GIS 的集成。Ungerer and Goodchild (2002) 利用 GIS 组件与 Excel 组件, 通过 VBA 宏语言实现了组件之间的连接, 处理空间统计问题, 提出 GIS 应该作为一种查询与分析的工具提供给用户。Yeh (1999) 提出了一种外部集成模式, 设计了 GIS 组件与模型库、知识库、数据库集成框架, 实现了模型抽取与应用。于海龙等基于 Web Service 技术实现了 GIS 与应用模型的外部集成 (2006a, 2005a)。依据 Zang et al. (2000) 与 Yeh et al. (1999) 的研究, 总结两种集成策略的优缺点如表 1.2 所示。