

可互操作的 GIS 研究

黄裕霞^{1,2)} Cliff Kottman³⁾ 柯正谊⁴⁾ 何建邦⁵⁾

¹⁾(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101) ²⁾(Central Michigan University, MI, USA)

³⁾(Open GIS Consortium Inc. USA) ⁴⁾(浙江大学东南土地学院, 杭州 330029)

⁵⁾(中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘要 随着“计算机就是网络”的愿望成为现实,人们希望独立于数据结构和语义等具体条件,跨平台地获取大量信息.GIS 互操作是广大用户跨平台获取地理信息的有效途径,因而它成为目前 GIS 界的研究热点.按照侧重点的不同,将 GIS 互操作分为技术互操作、服务互操作和语义互操作三类,并分别说明三者的实现方法、关键技术、研究现状和不足之处.最后对 GIS 互操作的发展方向进行了展望.

关键词 GIS 互操作 信息共享 空间信息

中图法分类号: P208 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2001)09-0925-07

Interoperating GIS: Overview

HUANG Yu-xia^{1,2)}, Cliff Kottman³⁾, KE Zheng-yi⁴⁾, HE Jian-bang⁵⁾

¹⁾(Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101) ²⁾(Central Michigan University, MI, USA)

³⁾(Open GIS Consortium Inc. USA) ⁴⁾(Zhejiang University, Hangzhou 330029)

⁵⁾(State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, CAS, Beijing 100101)

Abstract With the reality of computer is the network, through the platform, accessing the information, particular geoinformation independent of data structure, semantic and so on is the dream for the users. Interoperating GIS is the hot topic due to the useful way to realize it. In this paper, we focus on the overview of inter-operating GIS. Technology interoperation is to access and share geodata, service interoperation is to access useful geoprocess and operation, and semantic interoperation works on how to get the true geodata and geoprocess what the user want. Technology, methodology, state and drawback have been present in these four aspects. Finally, the future of inter-operating GIS is expected.

Keywords GIS, Interoperability, Information sharing, Spatial information

0 引言

过去几十年中,互操作已成为 IT 主流中许多领域的话题^[1].计算机到处在使用互操作技术,如通过 Internet 和分布式计算等基础设施,共享各类非空间信息资源^[2].同时,随着地理信息系统(GIS)广泛地用于环境、资源等各个领域,人们越来越意识到空间信息将成为全球信息集的主要部分,它应该纳入 IT 的主流.由于空间信息的多样性和复杂性,至

今多数 GIS 仍处于独立封闭状态,想从不同 GIS 平台或通过 Internet 自由、有效地获取空间信息(及其相应的服务),已显得障碍重重,为此人们迫切需要可互操作的 GIS.

对 GIS 的互操作性有不同的理解:Open GIS Consortium 认为它是系统或系统组件提供内部应用和协作过程控制的能力^[3];ESRI 认为它是在开放式计算环境中定位和获取地理数据和服务的能力^[4];Various 项目则认为它是软件企业的开放性,

但对用户则是指系统直接自由交换数据的能力^[5]。总的来说,它是指地理信息交换、理解,并在不同GIS之间直接交互的能力。用户通过GIS互操作,不必再做其他工作就能相互获取各自所需的信息。GIS互操作的目的是使基于不同数据模型的GIS能在一起运行^[6]。

实现互操作有不同的方法,其核心是系统(用户)能直接从另一系统(服务器)中实时获取数据^[4]。通常有两种模式:第一,坚持采用已发布的统一接口标准;第二,通过中介,自主地将一个产品的接口转换成另一个产品的接口。

计算机领域对互操作已有广泛深入的研究^[7~9]。在GIS领域,有关的软件公司、国际组织、学校和研究机构,也陆续对GIS互操作开展了研究。例如OGC自1994年8月成立以来便致力于研究可互操作的GIS,开发了OpenGIS Abstract Specification (ASA), OpenGIS Simple Feature Specification for CORBA等规程和实施标准^[10],并进行了Web Mapping Testbed 1(WMT1), Web Mapping Testbed 2(WMT2)等GIS互操作的示范。作为OGC积极成员之一的ESRI也参与了WMT以及简单要素规程在SQL, CORBA和COM的设计等工作。ESRI在基于广泛的、可接受的信息技术三层客户/服务器的思想上,实现了地理工具软件的高效传输。此外,有许多与GIS互操作相关的课题正在进行或已经完成。例如,由美国国际第一信息和分析中心(NCGIA)主持、国家自然科学基金会资助建立的、旨在解决地理信息科学领域中关键技术问题的Varenus项目^[5],其中就包括了GIS互操作的子项目。欧洲联盟资助的GIPSIE^[11],其宗旨是推动OpenGIS的制定和国际GIS标准化工作,以增进欧洲GIS软件产品在国际市场的竞争力和扩大欧洲GIS市场。

1 可互操作的GIS

Aimt Sheth对GIS互操作做了如下的概括^[12]:第一代GIS互操作以联邦数据库概念为基础;第二代主要是运用internet技术的能力;第三代的特点是考虑交换地理信息语义。这是对GIS互操作发展阶段的划分。本文则从侧重点角度,将GIS互操作分为技术互操作、服务互操作和语义互操作3类。

1.1 技术互操作

GIS技术互操作即GIS数据互操作,是指用户

从网络或其他GIS系统中获取地理数据的能力。它是GIS互操作最基本的目标。

1.1.1 定义

GIS技术互操作是将异构GIS开发到可“移动”的程度,从而能自由地交换GIS数据。这种方式是以数据为中心的互操作方法,其关键是GIS数据的转换功能、GIS数据描述和获取GIS数据的规则。

1.1.2 方法

GIS技术互操作的目标是简单、透明、开放、统一地交换GIS数据^[13],这意味着:用户不需要理解GIS数据的结构和定义,也不需要掌握如何使用这些数据;所有与GIS数据交换相关的复杂内容都能够隐藏起来;GIS数据交换必须独立于所使用的技术,而且,GIS数据转换必须是可靠的,能从所有地理空间数据库中获得数据。

实现上述目标的设想之一是采用一个单一的体系结构,并对地理空间数据提供一个标准集。事实上不可能指望所有用户都采用一种体系结构和统一的标准集,这说明该想法不可能解决GIS技术互操作的问题。

由于地理信息本身及其获取、表示和操作的复杂性,使得GIS互操作比其他信息领域的互操作更具挑战性,这主要体现在互操作中的“不兼容性”方面。概括起来,GIS技术互操作的发展经过了以下几个阶段。

早期的GIS技术互操作主要采用数据格式转换方法,即使用数据转换器或中介格式进行转换。由于地理信息的复杂性,在转换过程中可能会丢失数据^[6]。第二阶段是采用空间数据转换标准,如Spatial Data Transfer Standard (SDTS), Spatial Archive and Interchange Format (SAIF)。这种转换方法非常繁琐,而且完全集中在数据上,没有提供转换过程,不能保证信息接收者和信息拥有者之间的沟通,有可能使他们从同一数据得到不同信息。第三阶段是定义能捕捉地理信息所有方面的统一数据模型和采用公共API的方法,即制定地理技术互操作规程。例如OGC制定了Open Geodata Interoperability Specification (OGIS),其目标是使所有GIS开发商都采用这个规程,从而实现地理信息共享。

1.1.3 研究现状

GIS技术互操作是目前GIS互操作研究中最主要的方面,也是最成熟的方面。已经提出了不少方

法,如分布式对象技术、查询语言、结构规程等。特别是OGC从1999年开始WMT1和WMT2互操作项目以来,在GIS技术互操作方面取得了显著成就,完善了OpenGIS规程及其实施规程等。WMT1从1999年4月到1999年8月完成了开放接口,使得用户能够根据不同的在线资源对GIS开发商编写的软件进行组合,并按专题地图进行操作,而不需考虑GIS软件商是否正在服务于这些数据。2000年5月到11月间,产生了与图例符号、Web authoring、vector packaging、GML、coverage data (image and raster) access 相关的新规程。此外,Geospatial Fusion Testbed(GFS)也在2000年6月到2001年1月间,提出了将分散的各类数据融于一个空间框架的标准方法,它能容易地将文本、视频、声音、照片与其他空间数据集集成在一起。

1.1.4 关键技术

实现GIS技术互操作必须具备两方面的技术:一是针对一般非空间信息的互操作技术,二是与空间数据相关的互操作技术。

分布式计算环境、面向对象技术、OLE/COM、Common Object Request Broker Architecture (CORBA)、JAVA和Simple Object Access Protocol(SOAP)等,是解决一般非空间信息的互操作技术。其中,CORBA和COM都是信息代理,它们允许通过中立的接口定义语言定义接口。信息代理的透明性允许不同层在不同语言和/或不同处理/机器之间进行通讯。JAVA是面向对象编程语言,支持网络环境下客户/服务器应用,具有简单、面向对象、分布式、独立于平台等特性。将CORBA和JAVA结合,则CORBA提供了网络透明性,JAVA提供了实施透明性^[14]。JAVA使得CORBA普遍存在于Internet中,允许CORBA客户端采用Java Applets来实现,这就能使用户通过常用的Web浏览器获取CORBA对象。SOAP是一种新的Internet协议,提供了在各种分布式计算中新一代的互操作方法^[15]。SOAP提出在数据系列层上的互操作,它允许分布式程序系统在不受平台影响的情况下进行交互。

图1为GIS技术互操作的基本组成。可见,无论采用哪种方法,统一的地理数据模型及其操作规程都是非常重要的^[16]。必须定义一个标准的地理数据模型,构造地理数据的简单和复杂特征(如地图、影象等)以及实施的基本数据结构,从而使用户能远程获取地理数据,而不需要考虑其数据结构。

1.1.5 不足

制定规程是实现GIS技术互操作的重要因素,但规程很难被所有开发商所遵守,而且目前实现GIS技术互操作的方法较复杂,不容易被用户和厂商使用。

随着GIS数据的广泛分布和分散维护,跟踪数据以及相关的转换将更加困难,这导致了将研究重点放在数据仓库、元数据存储以及提供信息模型工具的使用上。

1.2 服务互操作

GIS互操作不仅需要获取空间数据,还应能自主地获取空间数据的处理,即实现GIS服务互操作。

1.2.1 定义

服务是指对有效请求做出的反应。服务模型包括基本的函数集,即对数据的操作,如怎样获取地理数据的几何特征、属性和目录服务等。GIS服务互操作是指在网络环境或平台中自主获取对地理信息操作的服务,从而使应用之间能进行交互、管理、传递和处理地理数据。

1.2.2 方法

和GIS技术互操作类似,应制定统一的基本服务类型考核数据操作的接口规程,从而实现GIS服务互操作。这包括如何提供服务,如何请求服务,如何确定请求是针对数据还是针对数据的操作,等等。下面以OGC为例实现GIS服务互操作的思想。

在WMT2中,OGC定义了获取服务的3种主要的地理参考信息模型:Web Map Server(WMS);Web Coverage Server(WCS);Web Feature Server(WFS)。5种模型/信息管理服务:Web Map Service;Web Coverage Service;Web Feature Service;Web Registry Service;Gazetteer Service。此外,还定义了基本服务的元数据和特定服务的元数据规范。

每个服务都包含一些所需的操作,以完成特定功能。所有服务中共同的操作是GeoCapabilities,它允许客户请求XML文档,获取由服务提供者提供的用来描述服务的详细元数据。

WMS根据各种不同数据结构的GIS数据来产生图形,并保证能在Web浏览器或其他图形浏览器中进行图形浏览,它提供GetCapabilities、GetMap和GetFeatureInfo等操作。WFS能获得数据的地理特征(点、线、面),WFS客户能获得所需的用GML编码的地理特征,并根据地理特征的属性(只读、读写

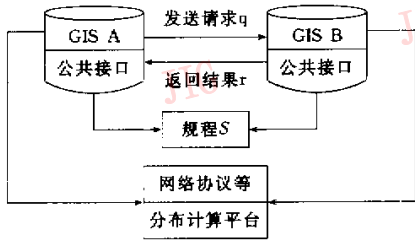


图1 GIS互操作的基本组成

他移动服务以及基于定位的服务,这些都是新一代地理信息服务的关键.为此,Mobile Agent 和 Wireless Application Protocol (WAP)/Wireless Market Language(WML)将会起决定作用.

Mobile Agent 能减少用户的工作和信息的超载^[17,18],帮助用户在异构 GIS 平台上获取分布式数据对象和 GIS 组件.在分布式 GIS 服务环境中,用户可以与在不同计算机平台上的异构数据模型和不同类型的程序交互.通过互操作、过滤和自动转换信息等.

WAP 是全球开放式无线网络中的应用标准.它是网络和具有 WAP 设备的数据交流协议,为移动用户提供了强壮的无线通讯,能较容易地立即获取无线通讯服务,以及信息和服务之间的交流. WML 是 WAP 采用的基于 XML 的标识语言. WAP/WML 已成功地将天气预报、股票和新闻等信息传送到移动用户.对空间信息来说,通过 WAP/WML 技术,移动用户仅能获取任何位置、任何时间的网络服务;再进一步,用户的位置将被跟踪,因而和位置相关的信息将会提供给用户,并通过与用户其他信息的结合,为用户提供特定的服务,此即所谓基于定位的服务.此外,能实时地提供移动信息所需的 GIS 服务.

1.2.5 不足

GIS 服务互操作正逐渐受到重视,它在技术方法和实现等方面还没有成熟. OGC 近期的目标都针对服务方面.在 OGC 等的努力下, GIS 服务互操作将得到快速发展,并将和地理信息一样,进入主流信息中.

1.3 语义互操作

通常语义互操作是实现互操作中的一个难题^[19].地理信息共享是一个交流过程.在交流中,不仅涉及到数据值本身,还涉及到数据的语义或含义^[20].同样,成功的 GIS 互操作不仅要求技术上获取分布式地理信息和服务,还需理解这些信息和服务的文档.由于地理信息语义的复杂性,使语义互操作成为 GIS 互操作中的一个难题^[21].

1.3.1 定义

GIS 语义互操作是面向应用层的 GIS 互操作^[21].在某些特定的 GIS 应用中,可能会用不同术语来描述相同概念,或用相同术语来描述不同概念,因而导致语义不一致. GIS 语义互操作强调的是处理语义不一致的能力,它着重处理 3 类问题:因不同

等)进行更新、删除、上锁等处理;它提供 GetCapabilities/ DescribeFeature/ GetFeature, LockFeature/ Transaction 等操作. WCS 提供了对影像数据的处理, WCS 客户能请求获取这些处理的值,用于进一步的处理,其提供的操作为 GetCapabilities/GetCoverage 等. Web Registry Service 是静态的 Web 服务目录服务,支持注册、元数据获取、存储等功能,其提供的操作为 GetCapabilities/GetDescription/RegisterService 等. 服务元数据包括基本服务元数据和特定服务元数据等. 基本服务元数据适合所有服务信息的描述,特定服务的元数据描述和一个特定服务相关的操作和属性等. 图 2 给出了 OGC Web Services 体系结构.

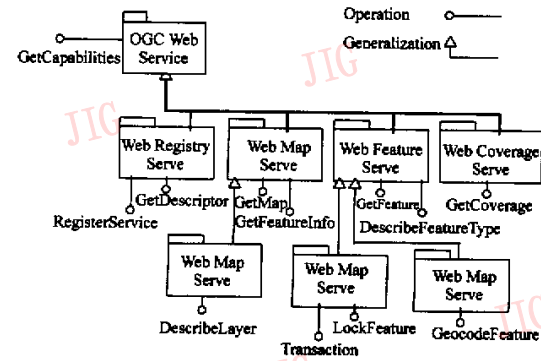


图 2 OGC Web 服务体系结构

图 2 OGC Web 服务体系结构

1.2.3 研究现状

OGC 已开始探讨 GIS 服务互操作.在 2000 年进行的 WMT2(Geospatial Fusion Service)中,定义了 3 种主要的地理参考信息获取服务: Web Map Server (WMS); Web Coverage Server(WCS); Web Feature Server(WFS). 2001 年开始了“OGC Web 服务”项目,着重实现基于 Web 的空间服务技术,并研究相关技术和体系结构等.

1.2.4 关键技术

获取精确的定位技术、广泛采用移动电话和其

应用分类定义导致的属性含义差异性;因不同几何描述导致的空间定位差异性;因不同管理要求导致的信息质量和共享限制的差异性。通过语义互操作,能使GIS语义在转换和使用过程中保持一定程度的准确性、完整性和一致性,以达到最为有效的GIS语义共享。

1.3.2 方法

本质上说,实现GIS语义互操作的方法有3种:

(1)各自理解对方的数据库模式和数据语义(图3(a))^[10];

(2)在建立公共模式的基础上提供一种机制,使用户能按统一形式(如:双方使用统一的语义模型来表达语义)表达查询要求并获取数据^[22],如全局概念模式^[23]、Summary Schemas Model (SSM)^[24]等(图3(b))

(3)借助中间机制(如语义转换机制)处理信息,使用户能用自身语言来形式化查询要求,而且无需考虑对方因素即可获得正确处理,如上下文语义转换器^[25]、查询转换器^[26]等(见图3(c))。

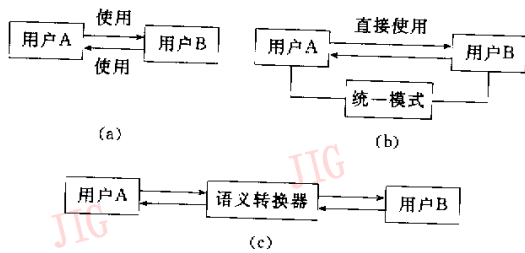


图3 语义共享的解决途径

1.3.3 研究现状

对一般信息,有关语义互操作已有比较多的研究^[27~31]。对地理信息,OGC在GIS技术互操作和GIS服务互操作方面已有较大进展,但在GIS语义互操作方面仍有不少困难^[32]。目前众多研究者都在探讨GIS语义互操作问题,并提出了不少解决方法。例如:(1)语义交换补充模型^[33],强调不同GIS数据模型之间的微妙差异;(2)基于ontology的方法^[34],它将地理信息系统看作是互操作对象的容器,并通过容器与用户进行交流,从中抽取满足用户需求的信息,同时提出通过多元ontologies进行对象之间的映射;(3)上下文调解器方法^[35~37]它进行信息源和接收者之间的转换;(4)知识表示方法^[37],它通过精确表示异构数据库中数据模型语义的方法来处理GIS语义不一致问题;(5)借助元数据和语义值来解决语义不一致问题的方法^[38,39];(6)采用

统一语义形式化数据结构(SFDS)和资源发现模型来促进地理信息的语义理解和表示的方法^[1];(7)采用全局概念模式来解决GIS语义互操作的方法^[23],它从信息语义而不是数据结构来实现信息交流;(8)元数据调解器方法^[40],它从描述地理信息的元数据出发来理解语义,并结合人工智能技术的元数据调解器来自动识别和处理GIS语义冲突。

1.3.4 关键技术

GIS技术互操作提供了基本的GIS数据共享。为达到GIS语义共享的水平,在实现GIS数据共享的基础上,必须理解和处理GIS中的语义差异^[34],为此需研究与GIS语义共享相关的理论问题,并在方法上进行探讨和实践。

理论方面,如何理解地理信息及其语义表示是实现GIS语义共享的前提,涉及认知科学、地理信息理解、元数据以及地理信息语义的形式化表达等等,这就需要GIS专家与计算机科学、认知科学等领域的专家共同努力。

方法方面可以概括为:统一的公共框架和结合人工智能技术的调解器。统一的公共框架包括公共的ontology^[36]、信息模型和全局概念模式等,其关键是寻找理解、表示地理信息语义的最小集标准和采用统一的空间信息语义表示。调解器即语义转换器,关键是制定一个公共标准,并能通过翻译器在不同应用间建立映射关系。调解器还需有语义知识库和用于检测和解决语义不一致的规则的支持;结合人工智能技术将有助于调解器的建设和运行。

1.3.5 不足

尽管GIS语义互操作几乎和GIS技术互操作同时开始研究,但它至今仍是GIS互操作中的难点,还停留在方法探讨和原型实现阶段,没有进入实际应用;而且,它仍局限于对地理信息进行语义标识和处理的研究,未涉及与地理信息服务相应的语义研究。

2 GIS互操作的未来

GIS互操作的目的是允许收集者和设计者自主地使用空间数据和地理信息服务,它的集成对未来GIS开发者和参与者仍将是一种挑战。此外,随着分布式信息在Internet和WWW上使用的日益增长,必须开辟新的途径,才可能做到在不同平台上,按各种格式,透明、简单地获取用户真正需要的空间数据和服务。无线市场对如何提供智能的、基于定位的信

息服务以及真正满足“独立接口设备”的 GIS 互操作带来了新的挑战。此外,采用综合的地理数据表示方法,允许建立高层次的功能和操作集,也将是 GIS 互操作未来的发展方向^[41],这样做能很容易地共享地理数据。

基于互操作的概念,下一代的 GIS 将不再是整体集成的软件包,而是可互操作的组件。未来的 GIS 将成为平台,嵌入到我们常用的应用如字处理工具中,也就是说,GIS 将成为操作系统的一个部分。应用互操作性,GIS 将进入信息技术基础设施的主流。

3 结 语

由于地理信息在数据格式、软件产品、空间概念、精度分析等方面都呈现出多样性和复杂性,使得 GIS 互操作对用户仍是一个梦想,而对开发者则是一个噩梦。尽管 OGC 等组织和研究者正致力于此项研究,也获得了不少成果,但仍存在大量的问题。总的来说,GIS 技术互操作相对成功,GIS 的服务互操作和语义互操作则仍处于幼年期,需要 GIS、计算机科学和认知科学等领域的众多专家协作攻关。

参 考 文 献

- Miller P. Interoperability-what is it and why should I want it? [J]. Ariadne Issue, 2000,24.
- Vckovski A. Special issue: Interoperability in GIS [J]. International Journal of Geographic Information System, 1998, 12(4).
- OGC[EB/OL]. www.opengis.org.
- ESRI. ESIR's Approach to Interoperability[R]. White Paper Series, Aug. 1995.
- Goodchild M F, Egenhofer M J, Regears R. Interoperating GISs, Report of a special meeting held under the auspices of the carenius project panel on computational implementations of geographic concepts[R], Santa Barbara, 1997;5~6.
- Egenhofer M J, Goodchild M F. Interoperating geographic information systems request for approval in detail [EB/OL]. <http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/interop97/i20prop/i20prop.html>,1996.
- Litwin W, Abdellatif A. Multidatabase interoperability [J]. Computer IEEE,1986,10~18.
- Paepcke A, Chang C. Interoperability for digital libraries worldwide[J]. Communications of the ACM,1998,41(4):33~43.
- Sheth A, Larson J A. Federated database systems for managing distributed heterogeneous and autonomous database[J]. ACM Computing Surveys 1990,22(3):183~236.
- Buehler K, McKee L. The OpenGIS guide [M]. OGIS TC Document 96-01, Open GIS Consortium, 1996.
- GIPSIE[EB/OL]. <http://gipsie.uni-muenster.de>.
- Sheth Amit. Changing focus on interoperability in information systems: From system, syntac, structure to semantics, interoperating geographic information systems [M]. edited by Michael Goodchild et ac. Kluwer Academic Publishers 1999.
- Levinsohn A. Geospatial interoperability: The holy grail of GIS [J]. GeoWorld, Oct. 2000.
- Cooksey R, Halsey B. The BioORB project: An analysis of CORBA and java for the integration of biological databases[EB/OL]. <http://cesl.cs.colorado.edu/halseyb/bioorb/report.html>, 1997.
- Brown K. SOAP for platform-neutral interoperability[EB/OL]. www.xmlmag.com/upload/free/features/xml/2000/04fal00/kb0004/kb0004.asp, 2000
- Vckovski A. Interoperable and distributed processing in GIS [M]. London:Taylor & Francies, 1998
- Carl S. Mobile geographic information services: Turning GIS inside out[A]. In:First International Conference on Geographic Information Science[C], Georgia, USA, Oct, 2000,28~31.
- Vckovski A. Interoperable and distributed processing in GIS [M]. London:Taylor & Francies, 1998.
- Sheth A, Kashyap V. So far (Schematically) yet so near (Semantically) [A]. In: Proceedings of the IFIP Tx2/WG2.6 Conference on Semantics of Interoperability Database System [C], Ds-5, Nov. 1992.
- Kuhn W. Defining semantics for spatial data transfers[A]. The Sixth International Symposium on Spatial Data Handling (SDH'94)[C],Edinburgh, Scotland, UK, 1994.
- Bishr Y. Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability [J]. International Journal of Geographic Information System, 1998,12(4):299~314.
- Booch G, Rumbaugh J. Unified modeling language semantics and notation guide 1. 0[M]. Rational Software Corporation, San Jose, California (<http://www.rational.com>),1997.
- Yuan M. Development of a global conceptual schema for interoperable geographic information[A]. In:First International Conference, INTEROP'97[C], 1997.
- Bright M, Hurson A, Pakzard S. Automated resolution of semantic heterogeneity in multidatabases[J]. ACM Transactions on Database Systems. 1994,19(2):212~253.
- Siegel S. Context interchange:Sharing the meaning of data[J]. SIGMOD RECORD, 1991,20(4):77~78.
- Qian X. Semantic interoperability via intelligent mediation[A]. The Proceedings of the 1993 International Workshop on Research Issues in Data Engineering[C], 1993;228~231.
- Gangopadhyay D, Barslou T. On the semantic equivalence of heterogeneous representations in multimodel multidatabase systems[J]. In Special Issue: Semantic Issues in Multidatabase Systemss. SIGMOD Record, 1991,20(4).
- Hull R, King R. Semantic database modeling: survey,

- applications and research issues[J]. *ACM Computing Surveys*, 1987,24:201~206.
- 29 Kashyap V, Sheth A. Semantic and schema similarities between database object: A context-based approach [J]. *The VLDB Journal* 1996,5(4):276~304.
- 30 Meersman R. An essay on the role and evolution of data(base) semantics, dataBase application semantics [M]. London: Chapman Hall, 1997.
- 31 Wiederhold G. Mediators in the architecture of future information systems[J]. *Computer*, March 1992,(3):38~49.
- 32 Bishr Y. Semantic aspects of interoperable GIS [M]. ITC Publicatin Series, 1997.
- 33 Gahegan M, Brodaric B, Takasuka M. Designing a framework to support the semantic interoperability of geospatial information [A]. In: First International Conference on Geographic Information Science[C], Georgia, USA, Oct. 2000,28~31.
- 34 Harvey F, Werner K. Semantic interoperability: A central issue for sharing geographic informaiton[J]. *Ann Reg Sci*, 1999,33: 213~232.
- 35 Cheng H, Stuart G, Madnick E *et al.* Context interchange: Overcoming the challenges of large-scale interoperable database systems in a dynamic environment[A]. In: Proceedings of the Third International Conference on Information and Knowledge Management(CIKM-94)[C], Gaithersburg, Maryland, Nov 29-Dec 2,1994.
- 36 Frederico T F, Max J E. Ontology-driven geographic information systems[A]. In: 7th ACM Symposium on Advances in Geographic Information System[C], MO:Kansas City,1999.
- 37 Collet C, Huhns M N, W-M. Resource integration using a large knowledge base in Carnot[J]. *IEEE Computer*, 1991,24(12): 55~63.
- 38 Sciore E, Siegel M. Using semantic values to facilitate interoperability among heterogeneous information system [J]. *ACM Transactions on Database Systems*, June 1994,(6):254~290.
- 39 Siegel S, Madnick S. A metadata approach to resolving semantic conflicts[A]. In: Proceedings of the 17th VLDB Conference[C]. Sep. 1991,133~145.
- 40 黄裕霞. 地理信息语义共享方法及其应用实验[博士学位论文]. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所,2000.
- 41 Goodchild M F. Direction in GIS[EB/OL], www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/goodchild_michael/good.html
- 黄裕霞 中国科学院遥感应用研究所 & Central Michigan University 博士后, 1999 年获中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室博士学位. 主要研究方向为 GIS 互操作、基于 Web 地理信息服务和分布式地理信息共享等.
- Cliff Kottman Pen GIS Consortium Inc 副主席和首席科学家, 主要贡献是支持自动化制图和 GIS 的各种标准, 负责 OGC 在技术领域的发展方向.
- 柯正谊 浙江大学东南土地学院教授, 享受国务院特殊津贴, 主要从事地理信息系统研究.
- 何建邦 中国科学院地理资源与环境研究所研究员, 欧亚科学院院士. 主要从事地理信息标准和地理信息共享政策、法规、标准和技术研究.