

基于元数据调解器的 GIS 语义互操作

黄裕霞¹⁾ 柯正谊²⁾ 何建邦³⁾ 田国良¹⁾

¹⁾(中国科学院遥感所遥感信息科学开放实验室, 北京 100101)

²⁾(浙江大学东南土地管理学院, 杭州 310029)

³⁾(中国科学院地理研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘要 地理信息共享不仅要实现数据的共享, 更上一层, 还应实现语义共享. GIS 语义互操作, 即应用层互操作是实现地理信息语义共享的有效途径. 为此提出了一种新的 GIS 语义互操作方法——元数据调解器, 它具有智能化地进行语义不一致的识别、处理, 并能实现语义信息的挖掘等功能. 同时给出了基于元数据调解器的 GIS 语义互操作体系结构, 阐述了其主要思想和核心组成部分. 基于这一思想, 设计实现了元数据调解器的原型系统.

关键词 地理信息 语义共享 语义互操作 元数据调解器

中图分类号: TP391 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2002)08-0851-07

GIS Semantic Interoperability Based on Metadata Mediator

HUANG Yu-xia¹⁾, KE Zheng-Yi²⁾, HE Jian-bang³⁾, Tian Gui-liang¹⁾

¹⁾(Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

²⁾(Zhejiang University, Hangzhou 310029)

³⁾(National Key Lab of Resources and Environment Information System, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract In order to realize Geo-information sharing, the first step is to share data, moreover, semantic sharing is its second and higher object. Semantic interoperability in geographic information system, which is the same as application level interoperability, is one of the available approaches to realize Geo-information semantic sharing. In this paper, status quo of interoperability and semantic interoperability in geographic information system are firstly probed into, and some existing methods to realize semantic interoperability are reviewed. Then, the new road—metadata mediator has been presented. The metadata mediator consists of semantic knowledge and rule bases, a semantic conflict finder and a coordinator. The mediator is implemented in the three-tier client/server architecture. Here, formalizing the metadata of geographic data and semantic expression of geographic information based on the formalizing method are two key tasks. By this mediator, semantic conflict can be recognized and processed, and semantic information mining also can be implemented. Furthermore, A prototype of metadata semantic interoperability, which is built according to the metadata mediator theory, is discussed, so far the prototype has shown its power in the National Resources, Environment & District Economy Information System (NREDIS).

Keywords GIS, Semantic sharing, Semantic interoperability, Metadata mediator

0 引言

随着计算机技术、网络技术以及通讯技术的迅速发展, 通过网络实现空间信息共享势在必行. 大量

的空间信息源和高速万维网相连, 为空间信息的获取提供了机遇, 同时也带来了更大的挑战. 由于参与共享的这些数据来自不同的部门, 不同的组织, 而这些部门和企业不仅按不同的方式将这些地理信息存储在不同的计算机系统中, 按不同的方式操纵空间

基金项目: 测绘遥感信息工程国家重点实验室开放研究基金(WKL(00)0303)

收稿日期: 2000-12-14; 改回日期: 2001-05-14

数据,而且还是按不同的方式思考、谈论和可视化这些空间数据,因此尽管在各领域中,使用相同的软件,或通过一定的方式能进行数据转换,但由于人们对现实世界的理解不同,信息的交流要受到限制,人们很难正确查询对方的信息;很难解释返回的数据结果;很难说明数据的质量问题;很难将得到的结果和自己的信息进行合并。为此,信息共享不仅要实现数据共享,还要实现语义共享,即解决表示上有差异和语义不匹配的数据之间的相互作用问题,但其关键问题不是要如何处理已知相关的数据,而是确定哪些数据是相关的,它们存放的位置,以及如何在保证语义一致性的前提下获取它们等这一系列的问题^[1,2]。

1 GIS 语义互操作研究现状

1.1 GIS 语义互操作概念

解决语义不一致问题必须要解决以下两个基本问题^[1]:一是判断两个对象是否相关,以及它们是如何相关的;二是对语义不一致问题进行处理,即支持语义调解,它包括识别语义矛盾和解决语义不一致的过程和技术。GIS 语义互操作是解决语义不一致问题,实现空间信息语义共享的有效途径之一;它是比 GIS 软件互操作更高层次的互操作,是面向应用层的互操作,即应用互操作^[3,4];它是在解决地理信息数据共享之上,着重解决地理信息的语义冲突,即解决由于现实世界中分类定义的差异性而导致的分类的差异性、几何描述的差异性以及模式的差异性,从而保证使用过程中空间信息的准确性,以及在转换过程中语义的完整性和不损失性,达到最大限度内彼此之间获取有用的数据。由于参与共享的不同部门对现实世界有不同理解,所以,在转换中,不仅要根据数据的格式,还要考虑数据的语义。为此,空间信息的理解、抽象,语义的表达,语义推理,动态语义都是相当重要的。

1.2 GIS 语义互操作的方法

在数据交换中,为了维持数据本身之间的含义以及数据之间的关系,通常采用两种解决方法:第1种,为用户提供信息提供者的详细信息;第2种,提供一种机制,它能在两者之间自动转换。对于第1种方法,首先,用户必须理解和解释提供者的内容;其次,用户需要将检索到的信息转换为自己所需的格式;对于第二种方法,用户首先要将提供者的信息形

式化,然后,必须发展一种机制,使其能从提供者内容中捕捉信息,并在计算机中表示出来。具体说,有3种实现方法:

(1) 各自理解对方的数据含义、数据库模式;

(2) 在一个公共的模式基础上,提供一种机制,使得用户能在统一的形式下表达他们的查询要求,并获取数据,即:双方使用统一的语义模型来表达语义;

(3) 用户能用他们自己的语言来形式化他们的查询要求,并使用一个中间机制(如调解机制)来处理信息源。

1.3 研究现状

在解决异构数据库互操作性方面,联邦数据库^[5]的方法占统治地位。这种方法分紧密耦合联邦和松散耦合联邦两类方法,主要思想是引入联邦模式或多数据库语言。本地数据库的用户将其模式转变为这个联邦模式或多数据库语言,从而获取多数据库中的数据。但采用这种方法,在获取各种数据库中的数据之前,联邦数据管理员或用户首先必须识别语义和表示上的不匹配,然后才能构造联邦模式来解决这些不匹配的现象。这个过程实质上是模式集成^[6]的过程,要实现自动化的语义互操作,对大量的数据,特别是大量的历史数据来说这是很难实现的。

另外,许多研究者试图在联邦数据库中引进一个功能强大的能相互理解的语言^[7],从而能直接表示所有异构数据。但由于语言中丰富的语义和表示,使得很难在这个引入的语言中解决语义和表示上的不匹配。

文献[8]从信息语义,而不是从数据结构的信息交流出发,采用全局概念模式来解决 GIS 语义互操作问题。其主要思想是采用一种公共的框架来表示空间信息及相关的內容,并支持数据的相对性,从而从不同的角度来观察同一数据集,使之适合于不同的用户和系统。

更多的研究者通过语义转换器(也称语义中介器、语义调解器)来实现语义互操作。语义转换器首次由 Wiederhold 提出^[9],随后计算机界对此做了许多研究^[10~14],而在 GIS 领域研究却非常少^[3,15,16]。语义转换器的思想和数据转换器思想类似,它是通过一个翻译器在不同应用之间建立映射关系,从而将不同领域的应用联系在一块。其核心是制定一个公共的标准,实现不同层次上的映射。具体的方法有

上下文调解器^[10]、查询调解器^[11]等。另外,还有通过元数据、语义值来解决语义不一致的。文献[12]中提出用元数据方法来解决语义冲突,其主要思想是采用基于规则的方法来描述语义,从而在信息源和接收者之间达语义一致性,并通过采用这种描述机制的查询处理技术,以及利用转换路径和查询修改来保证正确的数据语义。文献[13]中提出了语义值的概念,并通过将语义值作为交换单元来促进异构信息系统之间的互操作。

2 智能化的元数据调解器

2.1 体系结构

数据的广义语义是指数据本身连同这个数据所有元数据的集合,该数据的定义为数据的狭义语义。本文从元数据出发,采用语义调解器的思想,在人工智能、专家系统支持下,提出一种智能化的语义冲突识别和处理的解决方法——元数据调解器。其关键在于:对语义不一致的类型进行划分以及形式化地定义;形式化地描述元数据,其中,元数据不仅包括各成员数据库的局部模式、系统的全局集成信息、异构模式间的转换规则,更主要是,它还包括信息在现实世界中的含义;结合语义值的概念,在传输交换地理信息时,不仅传输/交换信息的单值,而且还传输/交换信息的语义值;元数据调解器分语义冲突识别器和语义冲突处理器两部分,在知识库、规则库等支持下,进行地理信息语义冲突的智能化识别和处理;采用客户、服务器的思想,该方法是一种 3 层客户/服务器体系结构,信息的请求端作为客户端,信息提供端作为服务端,而元数据调解器属于中间层。体系结构如图 1 所示。其具体流程如下:

- (1) 用户 A 发送请求 S_a ;
- (2) 分析发送的请求,通过语义冲突识别器判断是否有冲突及判断冲突类型;
- (3) 若有冲突,通过语义冲突处理器,根据各种冲突类型的处理情况进行处理,得到正确的请求 S_a' ;
- (4) 在网络环境下,通过语义互操作执行器,从信息提供者中获取正确的信息,并将结果 R 返回给用户。

2.2 语义不一致类型

目前已有许多种语义不一致类型的划分方法,如将语义冲突分为语义相等、语义关联、语义相关、

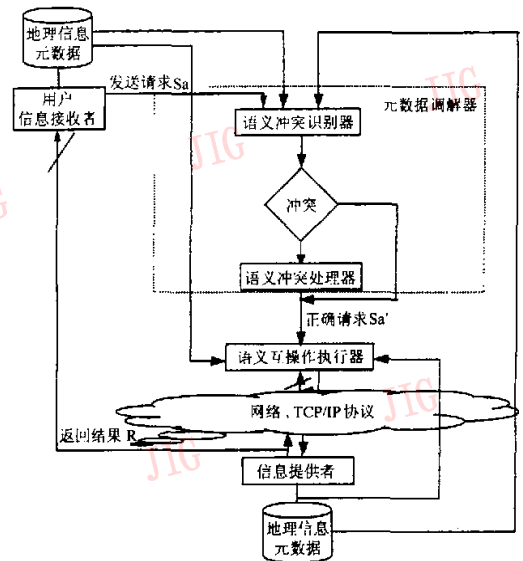


图 1 基于元数据调解器的语义互操作体系结构

语义相似、语义不兼容^[2];从类、属性和层次三方面进行语义冲突的划分^[3];从结构上和表示上来划分语义不一致的类型^[12];王国仁将语义冲突分为类级冲突、属性级冲突、对象实例级冲突、行为方法级冲突等^[18]。

为了使智能化的语义不一致识别和处理更具可操作性,这里将语义不一致划分为语义相等、语义相交、语义包含、语义包含于、语义矛盾和语义模糊等 6 种类型,其中语义相等是指对象 O_1 域中的每个值在对象 O_2 域中有对应的值,反之亦然;语义相交是指对象 O_1 域中的部分值和对象 O_2 域中的部分值一一对应;语义包含是指对象 O_2 域中的每个值在对象 O_1 域中有对应的值,但反之不成立,它相当于聚集关系;语义包含于是指对象 O_1 域中的每个值在对象 O_2 域中有对应的值,但反之不成立,它相当于概括关系;语义矛盾是指对象 O_1 域中的值和对象 O_2 域中有的值不存在对应关系;语义模糊是指根据已有的知识无法判断两对象之间的对应关系。

2.3 元数据形式化

元数据标准为语义共享提供了可能,但为了使计算机能自动理解信息、识别语义冲突,还应元数据(只考虑狭义元数据)进行形式化描述,即采用形式化的方法对元数据进行表达。

形式化的方法多种多样,如一阶逻辑和等式组成的规范语言、Z 语言、面向对象的 Z⁺ 语言等.这里采用类似一阶谓词逻辑的方法对元数据进行形式化描述.具体方法如下:

首先引入一些符号.

(1) 个体常量符 如:a,b,c.表示词典中已定义的基本词汇,包括内涵名词、外延名词、形容词、量词等.

(2) 个体变量词 如:x,y,z

(3) 谓词符 如:P,G,R,谓词的取值是谓词库中事先已定义好的谓词.

(4) 真值联结符 $\neg, \wedge, \vee, \rightarrow$

(5) 括号 (,)

其次为了能更有效地处理,对狭义语义形式化制定一些规则:

(1) 将狭义语义分解成若干个简单断言(即仅包含一个谓词及变量);

(2) 表示时,狭义语义的内涵在前、外延在后;

(3) 用谓词 Inten 表示狭义语义的内涵;

(4) 用谓词 Exten 表示狭义语义的外延;

(5) ()表示特性,即 a(x)表示 a 的特征是 x;

(6) 空间数据的狭义语义包括位置、范围、形状以及空间关系等(如:拓扑关系、距离、方向).

狭义语义 D 形式化如下:D 是由谓词组成的合式公式,即 $D(P_1, P_2, \dots, P_n)$,其中, P_i 是从已定义好的谓词库中选出的谓词,因此,必须首先定义谓词库.谓词库来自各部门和信息共享有关的谓词库,它不仅涉及到属性数据,还涉及到空间数据.

2.4 地理信息的语义表达

地理信息的语义表达包括空间信息的语义表达、非空间信息的语义表达、时间信息的语义表达.

(1) 空间信息的语义表达

采用一阶谓词逻辑的方法表示空间信息的语义.其基本符号与元数据形式化中的定义基本类似,这里将不再累述.下面给出空间信息语义表达的两个核心点:第一,确定基本的谓词.基本谓词必须具有精确含义,能全部表达各种空间信息,且没有冗余.如 in(在...里面),outside(在...外面),path(相连);第二,根据基本谓词和空间信息的关系,用基本谓词来描述地理信息,例如:表示 a 经过 c 到达 b,则表示为: $path(a,c) \cap path(c,b)$.

(2) 非空间信息的语义表达

采用语义网络图来表示非空间信息的语义.语

义网络表示法^[19]的基本思想是用有向图表示知识,图中的结点代表概念,弧代表概念之间的关系.语义网络中共有 4 种结点:表示实体过程和位置的结点(用椭圆表示),表示类的结点(用菱形表示),表示关系的结点(用带圆角的矩形表示)和表示概念的结点(用方框表示).语义网络中的弧用来指明各个关系的参量.一般来说,一个关系的各参量之间的次序是有意义的,关系的第 1 个参量通常是该关系所描述的对象,关系的其他参量通常是该对象的属性值.

简单断言指仅包含一个关系及其参量名的断言.每一个陈述都可以分解为若干个简单断言,如图 2 所示.

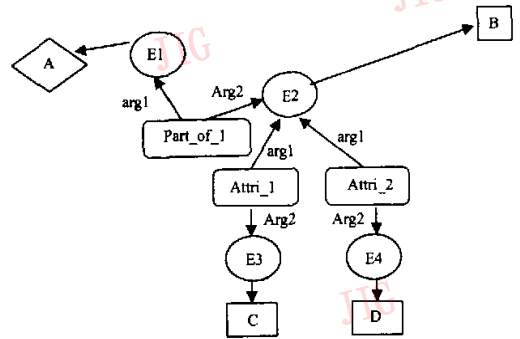


图 2 语义网络图的一个例子

图 2 表示:E2 是 E1 的组成部分;E2 的特征是 E3、E4;E1 是 A;E2 是 B;E3 是 C;E4 是 D;

(3) 时间的语义表达

采用一阶谓词逻辑的方法表示时间信息的语义.谓词可为 Start(开始时间),End(中止时间),Period(时间片段),Willbe(将要)等.

(4) 地理信息的语义表达

地理信息的语义表达是在前三者之上,通过空间、非空间和时间信息相结合,对地理信息的整体信息表达.它主要包括两方面的表达,一方面是考虑单个地理信息的含义,主要是同时考虑空间信息和非空间信息,可采用一阶谓词逻辑的方法来表示,如 $R_1(x_1, y_1), R_2(x_2, y_2)$ 表示两条相连的道路,并且它们的标识码相同,则这两条道路为同一条道路,用谓词表示为 $(R_1 = R_2) \equiv path(x_1, y_1) \cap path(x_2, y_2) \cap Key(R_1) = Key(R_2)$ (其中: $Key(R_i)$ 表示 R_i 的标识码);另一方面是考虑地理信息之间的关系,这主要是从继承、概括/特化、聚集等抽象机制来表达,可参考 ER 图^[20]、语义数据模型^[21]、IFO 模型^[22]等表

示方法。

2.5 语义不一致类型的智能化识别——语义冲突识别器

语义冲突识别器的流程图如图 3 所示。

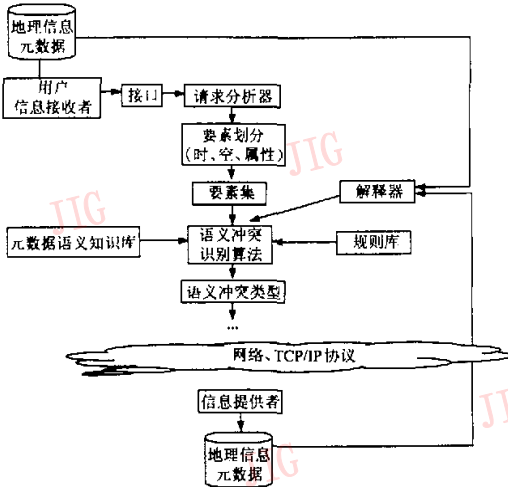


图 3 语义冲突识别器流程图

其处理过程为:

- (1) 通过请求分析器,对用户提出的请求 S_a 进行分析,并对 S_a 划分出时间、空间和属性要素 (S_{at}, S_{as}, S_{aa});
- (2) 将与 (S_{at}, S_{as}, S_{aa}) 有关的用户方的元数据和信息提供者的元数据调入语义冲突识别器;
- (3) 通过解释器对相关的已形式化的元数据进行解释;
- (4) 结合元数据、知识库、规则库、语义库等,通过语义冲突识别算法判断是否有语义冲突,以及冲突的类型。

语义冲突识别器的核心部分是语义冲突识别算法。下面以地理信息的狭义语义为例来说明其主要思想。狭义语义冲突识别算法如下:

假设 S_1, S_2 是 2 个有待识别的陈述,首先将它们各自分解成 M 个和 N 个互不相交的简单断言,即: $S_1 = \{I_{1i}, E_{1i}\}_{i=1}^M, S_2 = \{I_{2j}, E_{2j}\}_{j=1}^N$, 其中 I_{ki} 表示 $S_k (k=1, 2)$ 的第 i 个内涵断言, E_{kj} 表示 $S_k (k=1, 2)$ 的第 j 个外延断言。

(1) 判断是否已经过处理 比较输入信息和结论库的已有结论,判断是否经过处理,若结论库中已存放该信息,则从中读取相应结论,转第 12 步。

(2) 初始化 算法开始时,对 S_1 和 S_2 中所有简

单断言作“未标识”标记。

(3) 从 $\{I_{1i}\}$ 中取未处理的内涵断言 从 S_1 内涵断言集中取“未标识”断言 I_{1i} ,若无,转第 8 步。

(4) 取断言 I_{1i} 的详细信息 根据 I_{1i} ,得到其外部参数 E_{1i} 和关系 R_{1i} ,并将 I_{1i} 记为“已标识”。

(5) 从 $\{I_{2j}\}$ 中取和 R_{1i} 相关的内涵断言 从 S_2 的内涵断言集中选择一个“未标识”,且与 R_{1i} 相关的内涵断言 I_{2j} ,并得出其外部参数 E_{2j} ,将其标记为“已标识”;若无,则转第 7 步。

- (6) 比较 E_{1i} 和 E_{2j} ,并转第 8 步
- 若 E_{1i} 和 E_{2j} 相等,则 I_{1i} 和 I_{2j} 标记为“e”;
- 若 E_{1i} 包含于 E_{2j} ,则 I_{1i} 标记为“c”;
- 若 E_{1i} 和 E_{2j} 相交,则 I_{1i} 和 I_{2j} 标记为“i”,并给出其相交的集合;
- 若 E_{1i} 和 E_{2j} 矛盾,则 I_{1i} 和 I_{2j} 标记为“n”;
- 两者无法比较时,则 I_{1i} 和 I_{2j} 标记“u”;

(7) $\{I_{2j}\}$ 中没有和 I_{1i} 相关的断言 给 I_{1i} 标记“r”,表示 $\{I_{2j}\}$ 中没有和 I_{1i} 相关的断言。

(8) 从 S_1 中取下一个内涵断言,并进行处理,依次重复第 2 步至第 7 步,直到没有未标记的 S_1 内涵断言为止。

(9) 根据处理信息,得出 S_1 和 S_2 内涵比较结果 根据相应的规则,判定 S_1 和 S_2 内涵比较结果,其中包括对剩余内涵断言的处理。

(10) 依次类推,比较 S_1 和 S_2 的外延断言。

(11) 根据内涵和外延的比较结果,得出 S_1 和 S_2 的语义关系。

(12) 算法结束。

2.6 语义不一致类型的智能化处理——语义冲突处理器

语义冲突处理器是根据语义冲突处理规则,对各种类型的语义关系进行相应的处理。例如:对同名异义的语义矛盾关系,通过各自增加其后缀的命名修改方法来解决;对同义异名的语义相等关系,需给它们增加一个相同的别名;对需要通过代数函数等方法使对象之间能达到语义相等的情况(如坐标系的转换、货币单位的换算),需给出其转换函数,实现它们之间的互相转换,从而保证其在交换中语义的一致性。

2.7 信息发现——语义信息挖掘器

信息共享的关键问题不是如何处理已知相关的数据,而是确定哪些数据是相关的。语义信息挖掘器就是在语义调解器之上,给定一个对象,通过语义比

较,在所有数据集中找出和它相关的信息,其中最核心的是找出同名异义、同义异名、聚集、概括等关系。例如:若 $O_1 \supset O_2, O_1 \supset O_3, O_1 \supset O_4$, 且 $O_1 = O_2 \cup O_3 \cup O_4$, 则 O_1 和 (O_2, O_3, O_4) 为聚集关系;若 $O_1 \subset O_2, O_1 \subset O_3, O_1 \subset O_4$, 则 O_1 和 (O_2, O_3, O_4) 为概括关系。

2.8 信息的组织方式——语料库

语料库是大量的能代表某一领域语言现象的真实语言材料的集合^[23]。在语义冲突识别、处理、信息挖掘,实现语义共享时,涉及到许多用于处理的知识库、规则库、词典等,因此本文借鉴语料库的思想来组织和管理语义互操作中的有关各类信息。语料库是词典、谓词库、语义库、规则库、知识库和结论库的总称。

(1) 词典

为了实现信息共享,所有参与共享的系统必须使用统一的公共词汇来描述数据语义,而不属于基本词汇的术语必须通过知识、规则等转换到公共词汇集中,否则数据语义的比较是不可能的。另外,在元数据的管理和使用中,也需要实现词汇的统一。在语义互操作中,通过词典对某一专业领域,或两个或多个不同专业领域中相交的最基本词汇(关键词)进行统一管理和组织。

(2) 谓词库

前面已论述,元数据形式化和空间信息的语义表达均采用谓词逻辑来描述,其中谓词是谓词逻辑方法中的主要成分。语义互操作中的谓词通过谓词库来管理,包括元数据形式化的谓词、表达空间属性等谓词。

(3) 语义库

语义是解决语义不一致问题的关键成分之一。尽管前面已表达了语义共享中所需的各种语义,但如何组织和管理这些语义信息也是非常重要的。对采用谓词逻辑方法表达的语义信息,可采用谓词库来组织和管理语义信息,但对采用语义网络图来表示的非空间信息的狭义语义,为了更方便地进行处理,本文采用框架的形式来组织这些信息。

(4) 知识库

用于存放对地理信息理解时必要的知识,包括对词典以外术语的理解。本文采用产生式规则 if...then 来表示知识。

(5) 规则库

用于存放处理各种语义冲突类型的识别和处理所需的各种规则。本文采用 if-then 的形式来表示规则。

(6) 结论库

用于存储已得出的对象之间的语义冲突类型和处理结果,以及通过信息挖掘器得出的结论。

3 元数据语义调解器原型

根据上述思想,运用 VC 自行开发了元数据调解器的原型系统,其能实现语义冲突智能化识别、语义冲突智能化处理和信息发现以及语料库的管理等。该系统的总体结构见图 4。

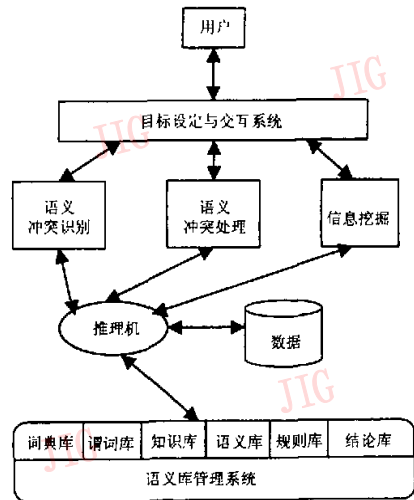


图 4 元数据调解器原型系统结构图

4 结论

为了使不同部门以及同一部门内部更好地实现地理信息共享,除解决不同 GIS 软件互操作之外^[24,25],还必须保证他们交换的数据在语义上的一致性,确保交换的信息质量,从而实现真正的信息共享。GIS 语义互操作作为这一目标的实现提供了解决方法和实现途径。本文对 GIS 语义互操作的理论和方法上进行了探讨,希望语义共享这一话题能引起同行们的重视,促进地理信息共享的进一步发展。

参考文献

- 1 Sheth A P, Bellcore. Semantic issues in multidatabase systems preface by the special issue editor[J]. Sigmod Record, 1991, 20(4):5~9.
- 2 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], Victoria Australia, 1992, Ds-5, 283~312.
- 3 Bishr Y. Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability [J]. *Int. J. Geographical Information Science*, 1998, 12(4): 299~314.
 - 4 黄裕霞. GIS 互操作[J]. *地理信息世界*, 1998, (4): 10~12.
 - 5 Sheth A P, Larson J A. Federated databases systems for managing distributed heterogeneous, and Autonomous Databases [J]. *ACM Computing Surveys*, 1990, 22(3): 183~236.
 - 6 Batini C, Lenzerini M. A methodology for data schema intergration in the entity relationship model [J]. *IEEE Transactions on software engineering*, 1984, 10(6): 650~664.
 - 7 Litwin W, Abdellatif A. Multidatabase interoperability [J]. *Computer*, 1986, (10): 10~18.
 - 8 Yuan M. Development of a global conceptual schema modelling for geographical application[EB/OL]. <http://www.ncgia.edu>, 1998.
 - 9 Wiederhold. Mediators in the architecture of future information system[J]. *IEEE computer*, 1992, 25(3): 38~49.
 - 10 Siegel M, Madnick S. Context Interchange: Sharing the meaning of data[J]. *SIGMOD RECORD*, 1991, 20(4): 77~78.
 - 11 Qian Xiaolei. Semantic interoperability via intelligent mediation [A]. *Proceedings of the 1993 International Workshop on Research Issues in Data Engineering [C]*, Vienna, Austria, 1993: 228~231.
 - 12 Siegel K, Madnick S. A metadata approach to resolving semantic conflicts[A]. *Proceedings of the 17th VLDB Conference [C]*, Barcelona, Catalonia, Spain, 1991: 133~145.
 - 13 Sciore E, Siegel E. Using semantic values to facilitate interoperability among heterogeneous information system [J]. *Transactions on Database Systems*, 1994, 19(2): 254~290.
 - 14 Ventrone V, Heiler S. Semantic heterogeneity a result of domain evolution[J]. *SIGMOD RECORD*, 1991, 20(4): 16~20.
 - 15 Buehler K, Mckee L. Introduction to interoperable geoprocessing and the OpenGIS specification[EB/OL]. <http://www.opengis.org>
 - 16 Worboys M F, Deen S M. Semantic heterogeneity in distributed geographic database[J]. *SIGMOD RECORD*, 1991, 20(4): 30~34.
 - 17 Kim W, Seo J. Classifying schematic and data heterogeneity multidatabase systems[J]. *IEEE Computer*, 1991, 24(12): 12~18.
 - 18 张斌, 王国仁, 郑怀远. 面向对象的多数据库系统中冲突的分类及解决策略[J]. *计算机研究与发展*, 1997, 34(Suppl.): 300~304.
 - 19 蔡自兴. 人工智能及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
 - 20 Gogolla W, Hohenstein U. Towards a semantic view of an extended entity-relationship model [J]. *ACM Transactions on Database Systems*, 1991, 16(3): 369~416.
 - 21 Codd E. Extending the database relation model to capture more meaning[J]. *ACM Transactions on Database Systems*, 1979, 4(4): 397~434.
 - 22 Abiteboul S, Hull R. IFO: A formal semantic database model [J]. *ACM Transactions on Database Systems*, 1987, 12(4): 525~565.
 - 23 王挺, 陈火旺, 史晓东. 语料库和机器翻译[J]. *计算机科学*, 1996, 23(2): 52~55.
 - 24 Hoffmann F, Hoffmann K, Huang Yuxia. Interoperability and reality@Geobit'98, Availability, Interoperability and Flexibility [A]. In: *The proceedings of GIS Brno'98 conference [C]*, Brno, Czech, 1998.
 - 25 黄裕霞, Hoffmann F, 陈常松等. GIS 互操作的实现途径评述 [J]. *地理研究*, 1999, 18(1): 106~112.



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。



柯正道 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。

田国良 1939 年生, 中国科学院遥感应用研究所研究员, 吉林大学物理系毕业。主要研究方向为遥感物理及其应用。发表论文 90 余篇。