

文章编号: 1007-4619 (2004)02-0165-07

基于面向对象知识表达的空间推理决策及应用

沙宗尧, 边馥苓

(武汉大学 空间信息与数字工程研究中心, 湖北 武汉 430079)

摘 要: 提出了一种基于面向对象知识表达的空间推理决策方法, 该方法扩展了常规的 GIS 空间分析功能, 使其建立在 GIS 空间分析与领域知识基础上。认为 GIS 空间分析与领域知识利用的结合需要建立统一的知识表达概念模型, 通过将常规决策知识设计为决策知识类, 将决策事实作为事实知识类处理, 并由知识类的消息机制进行内部通讯, 实现空间推理决策的智能化。在进行领域知识分析与知识分类的基础上, 给出了领域知识类的层次结构组织图和知识类定义以及决策知识及事实知识的面向对象表达, 最后给出了空间知识类的形成及空间推理决策过程。方法的实用性在实践中得到验证。

关键词: GIS; 知识表达; 面向对象; 空间推理; 智能空间决策支持

中图分类号: P208

文献标识码: A

1 引 言

空间决策支持系统(Spatial Decision Support System, SDSS)是地理信息系统(Geographical Information System, GIS)的一个重要研究方向, 目前大多数 GIS 应用系统只能处理一些结构化的信息, 对于非结构的决策问题, 还停留在数据级的支持上, 不能提供有效的、具有实际可操作的决策方案, 其原因在于 GIS (包括大多数的 SDSS)通用求解功能(如空间分析)无法为实际问题提供足够的约束, 而要获取这些约束只有集成领域知识。例如空间分类是空间分析的一个任务, 但是仅仅由空间分析却无法给出正确的分类结果, 因为空间实体除了空间几何特性外, 还有特定的约束条件: 面积、质地以及空间实体间的关系等, 需要专门的知识为分类作指导; 再如遥感影像分类如果在知识的指导下, 可以提高分类效率和正确性^[1]。但是目前领域知识还没有很好地实现与 GIS 功能集成, 多数情况下都要求用户根据自己的掌握的知识进行条件输入、操作引导, 即需要在人工的交互下而不是自动地完成决策任务, 这不仅对用户提出了较高的要求, 而且还时常由于用户的疏忽或知识的缺乏造成错误决策, 相反如果在系统中集成领域专家知识, 则可以较大程度地解放用户, 并能获得

可靠的决策结果。人们对知识获取特别是自动知识获取进行了大量的研究(一般可以通过领域工程师从领域专家处获取, 或通过机器自动获取), 但是任何知识要为机器所利用前, 都必须经过存储、检索、利用等过程^[2], 此过程要求知识表达能够有效支持知识获取和问题求解。所以在一个具有广泛适应性的空间决策支持系统中, 需要建立一个有效的知识表达的概念模型及其实现^[3]。笔者认为知识的表达方法必须能够适应知识获取部件获取的各类知识的表达, 并能按照一定的规则进行知识分类, 用一种统一的、简单而直观的逻辑来组织知识, 并便于机器对知识的检索和利用。

产生式规则建立在一阶谓词逻辑的基础上, 具有“If...Then...”的结构, 可以较好地模仿人类求解问题的行为, 其表现形式简单明了, 易于实现知识的形式化与计算。但是产生式规则由于采用相互独立的规则表达知识, 缺乏高级的结构化概念, 使开发大型基于规则的系统很困难, 甚至会出现冗余的、不一致的规则, 导致推理效率低下或结果不理想^[4]。此外, 人们还提出了语义网络、框架等知识表达方法等^[5]。空间推理决策本质上是基于知识的推理, 当前空间推理的实现所依赖的知识大部分都是一类普遍的公认的知识, 基于此类知识进行的空间推理可

收稿日期: 2002-11-26; 修订日期: 2003-04-18

基金项目: 国家测绘局测绘科技发展基金项目(编号: 20007); 湖北省自然科学基金资助项目(991171)。

作者简介: 沙宗尧(1974—), 男, 博士。武汉大学摄影测量与遥感专业博士毕业。现从事 GIS 应用、SDSS 空间知识管理研究, 已发

表论文 10 余篇。

以将知识预定在程序中,没有且一般也不必要提供知识的修改、编辑等功能,例如空间推理中的空间关系推理即为此类知识推理,所以实现此类问题时,知识表达与推理是固化的。由于领域知识具有知识面广、内容不固定的特点,且无法预先定义,因此基于知识空间推理决策要求具备空间知识管理的灵活性。人们已经意识到空间知识表达与空间推理在实现 GIS 空间决策中的作用与意义,提出嵌入式知识表达(tesseral representation)以支持空间推理,这种方式的^[6]最大特点是可以将多维空间线性化^[6],也研究了基于知识空间分析应用系统^[7]。然而 GIS 与知识系统仍处于松散的集成状态,即 GIS 与知识管理系统通过数据交换接口间接地建立联系来完成空间推理与决策任务。有必要采用一种更加有效的概念模型来统一知识表达结构、提高 GIS 空间推理与决策能力。

本文假设知识获取部件已经具有知识获取能力,研究空间推理决策中的知识分类、面向对象的空间知识表达、知识类形成及基于此知识表达的空间推理过程。提出的基于面向对象知识表达的空间推理决策将面向对象的空间决策知识表达与面向对象的空间实体(事实知识)表达相结合,为 GIS 与知识系统的集成及 GIS 实现空间决策智能化提供了一条有效途径。

2 空间知识表达

2.1 知识的时空特征

知识是一个抽象概念,空间决策支持系统中的知识具有空间与时间特征,具体体现在空间决策问题一般与空间相关联,且具有一定的时间限制因素。作为能够反映空间特性的知识因素,空间特征和时间特征是空间知识库与其他专家知识库的根本区别。尽管目前在大多数智能决策支持系统中,对知识的研究一般没有考虑时空因素,而是假定知识的全局适宜性,一个完善的知识处理系统应该能够区分知识的时空特征^[8]。

2.1.1 知识的时间特征

知识的时间特征体现在知识应具备时间修饰成分,例如“春天武汉不下雪”即为一个具有时间修饰因子的知识,去除时间因子的知识“武汉不下雪”是不完整或不正确的。

2.1.2 知识的空间特征

同样知识的空间特征也体现在知识应具有空间

修饰成分,上例中“春天武汉不下雪”实际上也具有空间修饰因子,如果去除空间因子得到仅仅是“春天不下雪”,此类知识也是不完整或不正确的。再如“夏季南方很湿润”也是一种具有时空修饰因子的知识,因此空间知识可以被认为是具有时空特征的知识,当知识的时空因子扩展到整个时间域和空间域时,空间知识也就表现为常规知识。

2.2 面向对象空间知识表达

知识表达的本质是知识从自然语言向计算机语言转化,即需要对知识进行编码组织和符号化,以便机器能够理解。面向对象的方法使用类、对象、方法和属性等面向对象的概念及消息机制来描述和解决问题,把各种不同类型的知识用统一的对象形式加以表达,利用对象的数据封装、继承、多态等机制,较好地实现了知识的独立性、隐藏性以及重用性^[9,10],适宜于表达各种复杂的具有动态或静态特性的知识对象及空间的关系,具有很强的语义表达与对象交互能力。

2.2.1 空间知识分类

空间决策的过程是通过已有事实和决策知识对特定问题的判断、分析获得结论的过程,可以将已有事实和决策知识分别称为空间推理决策的事实知识和决策知识,因此事实知识和决策知识是空间推理决策的基本条件,而决策知识又细分为领域知识和元知识。领域知识说明如何处理相关的事实知识以获得问题的解,元知识为领域知识的知识,决定领域知识类中的规则、方法的优先级以及领域知识间的交互,是一种策略性知识,元知识将传统的固化在推理机中的知识设计成控制性元知识类。这样空间决策任务的知识支持将建立在面向对象表达的方法体系中,简化了空间推理决策的知识维护与检索。

2.2.2 决策知识的面向对象表达

为了有效地对空间决策中的知识类进行组织,需要对决策知识结构进行分层组织。按照空间知识的分类,决策知识由领域知识和控制性元知识组成,我们将领域知识定义为决策知识层中底层的知识类,而其上为元知识类。各级划分的含义如下:

决策领域类 特定领域的决策论题,属于元知识类;

领域分类 支持决策领域的知识类别,属于元知识类;

子类 特定分类知识下的组成元素,属于元知识类;

次子类 对子类元素的细划,属于元知识类;

知识单元 决策知识的底层知识类,包含规则知识和推理方法。知识单元直接与事实知识进行消息传递并可进行空间推理控制,实现事实知识状态的变迁,是决策知识中内容最丰富部分,属于领域知识类。

以上分类以决策领域类为树根、以知识单元类为树叶,形成了以控制性元知识为各级树干、以领域知识为树叶的空间决策知识类层状结构(图 1),其中上级结构包含所属下级的结构信息,例如决策领域类包含了所有决策领域分类的结构信息以及每一个分领域的深度,决策领域分类包含了所有子类的结构信息和每一个子类的深度,同样子类也包含了所有次子类的结构信息和各次子类的深度,知识单元作为决策知识层次的汇点,封装了决策支持系统中重要的规则知识和推理方法。将决策领域类到知识单元间的层数称为决策知识类的深度,在知识类中没有限制具体的层数(深度),该深度仅受具体决策任务的复杂度影响。

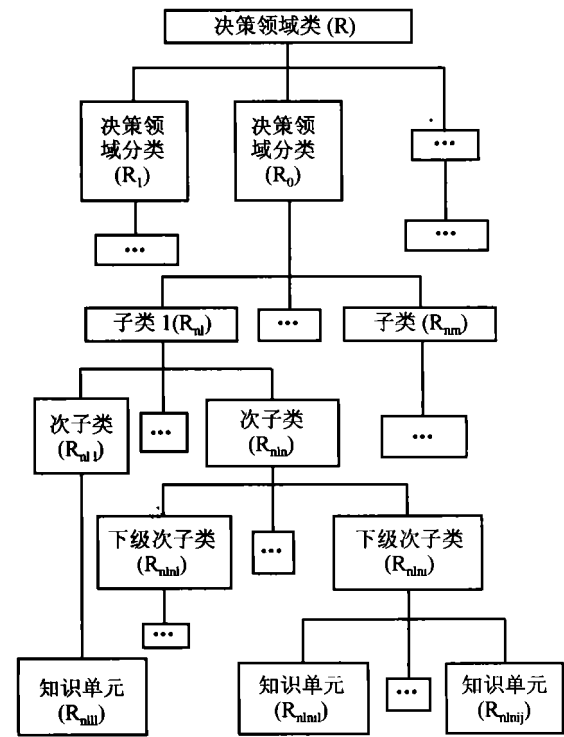


图 1 知识类的层次结构

Fig.1 Layer Structure of Knowledge Class

为了能表达知识的时空特点,在决策知识的层次结构树的每一级知识类的属性集中,定义时空适用条件(Spatial and Time, ST),判别知识类在何时对哪些空间实体适用。对于时间条件,定义一个具有

两个端点的阶段时间表示,表明该知识类可以适用的起始时间,用抽象数据类型 (Abstract Data Type, ADT) 定义知识的时间适用类 ST T 为:

```
ADT ST T {
    Methods: ...
    Attribute:
        Time t1;
        Time t2;
}ST T st t;
```

st t 即为知识类的时间条件。对于空间条件,用空间点集来表示,为此先定义一个知识类的空间适用性函数 S:

$$S(x,y,z)=V$$

其中 x,y,z 为空间坐标点, V 为一个常量,满足该条件的空间点的集合适用该知识类。这样决策知识的适用条件就与特定的空间实体联系在一起。

首先定义一个空间适用点的类结构:

```
ADT Point {
    Methods: ...
    Attribute:
        float x;
        float y;
        float z;
}
```

在空间适用点对象基础上定义知识类的空间适用类结构及空间适用性对象 st s:

```
ADT ST S {
    Methods:
        ...
    Attribute:
        Point[] &pt;
}ST S st s;
```

构造决策知识类的元知识类及知识单元模型如下:

元知识类 $R = \{ \&_{sub_Unit_1}, \dots, \&_{sub_Unit_m}, rule, attributes, methods, ST \}$

知识单元 $KnowledgeUnit = \{ rule, attributes, methods, ST \mid rule \in Rules \cup attributes \in Attributes \cup methods \in Methods \}$

其中, sub_Unit_m 为该元知识类指向其下级第 m 位知识类的指针,以获取该知识类基本信息;知识类的时空适用条件 ST 本是属性集的内容,但为突出特征,将其从属性集中分离出来; $Rules = \{ rule_1, rule_2, \dots, rule_n \}$, $Attributes = \{ attribute_1, attribute_2, \dots, attribute_n \}$, $Methods = \{ method_1, method_2, \dots, method_n \}$

tribute_n}, Methods = {RuleAdd(id), RuleDelete(id), RuleModify(id), RuleInput(id), ACT_on_RULE(id), other methods} 分别为决策知识类的知识规则、属性及方法集。

对一个决策知识类的形式化描述为: 类:: = <OID, A, R, M, Mas>, 其中 OID 用于记录对象的标识符, A 为对象的内部状态或静态属性, R 为对象拥有的规则, M 是对象的方法集, 包括对象所具有的内部处理方法及受理消息的操作, Mas 是对象的消息接口, 用于对所接收的外部信息与有关内部方法间建立关联。一个决策知识类的 BNF 范式定义如下:

知识类:: = Class<类名><父类名><属性><类规则><方法><消息接口>END;

类名:: = <字符串>;

父类名:: = SuperClass<字符串>;

属性:: = Attribute<类型><值类型><属性名><值>END;

类型:: = <Public | Private>;

值类型:: = <整型 | 浮点型 | 字符型 | 时间型 | 布尔型>;

属性名:: = <字符串>;

值:: = <整型 | 浮点型 | 字符型 | 时间型 | 布尔型>;

类规则:: = RULE<规则编号><规则前提><规则结论>END;

规则编号:: = <整型>;

规则前提:: = <字符串>;

规则结论:: = <字符串>;

方法:: = Method<类型><方法名><方法体>END;

类型:: = <Public | Private>;

方法名:: = <字符串>;

方法体:: = <字符串>;

消息接口:: = Mas<消息名><消息类型><回应方法>END;

消息名:: = <字符串>;

消息类型:: = <字符串>;

回应方法名:: = <字符串>;

一个决策知识类的实例定义为:

对象:: = Object<对象名>Class<类名>;

对象名:: = <字符串>;

类名:: = <字符串>;

2.2.3 事实知识的面向对象表达

对应传统的空间决策支持系统的多库结构中的数据库, 空间决策中的事实知识定义为一组具有智

能行为的决策对象的集合, 即一组具有几何位置、属性、关系特征的空间实体, 将空间实体的特征属性和空间实体具有的行为抽象并封装形成空间对象集, 可以利用面向对象的消息传递与控制机制实现与决策知识的集成。对于每一个空间实体, 其存在状态可以定义如下:

几何状态: SHAPE(A) = {Points pts};

属性状态: VALUE(A) = {Attributes attr};

方位关系: DIRECTION(A, O) = {direct(i)};

拓扑关系: TOPO(A, O) = {topology(i)};

距离关系: LONG(A, O) = {value | value ≥ 0};

其中 A, O 为研究空间上的空间实体对象, i 为状态信息的索引值。上述 5 类信息中, 前 2 类为一元关系, 后 3 类为二元关系, 理论上, 在二维空间中, 以上 5 类状态信息可以惟一地确定空间实体的状态, 但是由于每类空间关系的空间概念、空间关系的公理完备性在不同的表示方法下其值域存在差异, 所以具体形式也不相同, 例如对于拓扑关系, 可以采用 9-交模型、16-交模型、基于 Voronoi-多边形的拓扑表示。以上状态信息组成了一个空间决策实体的事实知识对象, 所有事实知识对象组成事实库。目前不少 GIS 软件已经实现了统一存储空间与属性信息的功能, 所以几何状态与属性状态可以显式地存储在数据库中, 通过标准的或扩展的 SQL 语言实现几何与属性数据的检索获取, 方位关系、拓扑关系、距离关系通过 GIS 软件提供的功能实时计算获取。在事实知识的面向对象表达中, 事实知识的对象构造器负责几何、属性信息的检索, 方位关系、拓扑关系、距离关系的实时计算方法封装在事实知识类中, 以便可以在需要的时候获取此类信息。由于事实知识类无法预知其状态信息, 需要定义一个链表, 以便能动态地改变状态信息的数目。

在面向对象的整体数据模型中, 地理世界以实体为单位进行组织, 客观世界作为一个整体, 每个空间实体具有位置属性与空间联系, 并且也具有与其他实体逻辑上的语义联系^[11], 在这种数据模型的支持下, 将能更好地实现空间事实知识的面向对象表达。

3 空间知识类的形成及空间推理过程

3.1 空间决策知识类形成

本文设计的基于面向对象的空间知识表达将空间决策知识与空间决策的事实知识统一由关系数据

库系统管理(图 2),知识对象集合由知识类构造器从数据库系统中按标准或扩展的 SQL 语句生成(实例化各知识类)。

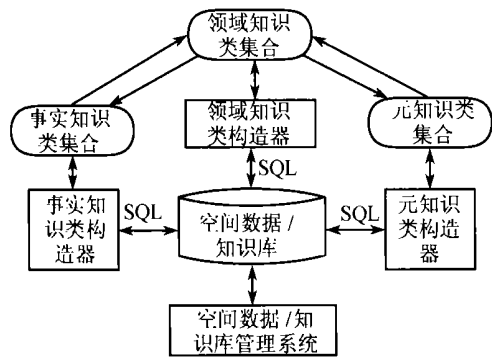


图 2 空间决策知识类形成及控制

Fig.2 Generation and control of spatial knowledge class

在知识处理系统中,设计了事实知识类、领域知识类、元知识类 3 种知识类构造器,分别完成空间数据库向事实知识类、领域知识库向领域知识类、元知识库向元知识类的映射,知识类构造器与关系数据库间采用标准的 SQL(对于空间数据需要扩展 SQL)连接。可以将领域知识库、元知识库用关系数据库来存储,目前 GIS 技术已经可以实现空间对象的几何与属性信息的一体化组织管理,可以实现空间决策的“单库”管理,空间数据/知识库的维护能够建立在空间数据/知识库管理系统上。

3.2 空间推理过程

事实知识类是一类具有一定行为的知识类,它提供的公用方法可以为外部用户使用,当外部用户输入决策目标并发出空间决策命令时,事实知识类满足一定条件时,将主动向领域知识类(知识单元)发出消息请求,领域知识类在无法处理的情况下向其上级(控制性元知识类)发出消息请求,最终由控制性元知识返回消息并将控制消息再次传输给领域知识类,领域知识类调用事实知识类的公有方法或通过消息触发事实知识类的内部方法,改变事实知识的状态信息。当事实知识类的状态信息趋于稳定时或问题求解已经实现时,决策过程完成,并向外部输出决策结论,该结论在知识(或事实)不足的情况下将给出无法决策的结论,否则将给出用户请求的正确结果。

4 应用实例

本节基于面向对象空间知识表达,具体研究一

个智能农业空间决策问题。农业生产具有显著的空
间特点,与农业生产的相关因子(如气候、地形、土壤
等)都具有明显的空间性,决策目标是灾害发生的原因
(因子)与灾害防治的对策建议,由于用数学模型
直接表示灾害因子与灾害结果间的定量关系是不可
能的,只有建立决策知识环境辅助用户实现定性分
析。知识分析是目标实现的第一步。

4.1 决策知识分析

决策领域 分析决策问题的主题,明确决策目
标,设计决策领域类。本例是典型的基于知识的多
因子空间决策,决策的目标是为了找到农业生产中
的灾害发生的原因与防治对策,例如某时期荔枝发
生病害的原因及采用何种措施(生物的、工程的)可
以制止事态的蔓延等。

决策领域分类 决策领域分析提供了一个问题
的主题、目标和提纲。农业灾害的范畴太广,不利于
问题的深入分析,故将决策领域划分为气候灾害、病
虫害两个主要的领域分类子项及一个农作物分类特
性辅助子项。

子类 按照领域分类,需要对每一子项的领域
知识的组织进行逐项分析,续分的结果是获取领域
分类子项的子类。

次子类 当子类对决策领域分类的子项的解释
与描述是不完整的或仍是粗糙的,需要对子类的子
项进行进一步细分。

知识单元 知识单元是领域专业知识,接受事
实知识的触发并控制事实知识的状态进行。对于农
业自然灾害决策,需要的领域知识类信息包括典型
症状、发生原因、防治措施等,例如海拔与干旱间
的关系知识,这些信息一般依靠农业专业的实践经验
获取。

4.2 事实知识分析

事实知识类似于传统专家系统中的事实库,在
此将原始的空间对象构造为事实知识类,空间对象
的最小单位为农田地块,事实知识类的状态由事实
知识的面向对象表达的 5 类状态完全表示,作物类
型、作物生长阶段及农田受灾症状是主要的属性状
态信息,几何、空间拓扑、距离、方位状态信息在空
间决策中也可以指导推理过程。农业生产的相关因
子的状态信息也都归类为事实知识,将为决策知识
类提供事实基础。

通过决策知识及事实知识分析,然后建立空间

决策的知识环境。决策实现过程为：

当特定生长期的特定农作物其症状非正常时，触发农作物分类特征下的知识单元类，基本过程为：①事实知识类将其特征症状广播到农作物分类特性下的知识单元对象中；②当症状特征满足某个知识单元对象的描述性知识前提时（包括知识单元的时空适用条件 ST），知识单元对象完成其状态属性更改并发送消息至其上级元知识对象；③元知识对象（多级控制）依据知识单元及事实知识对象的状态属性决定下一个处理知识单元；④知识单元对象调用规则或方法实现进一步推理；⑤知识单元获取事实知识对象的状态属性；⑥部分状态需要人工干预输入；⑦直到决策目标实现或事实知识类的状态信息趋于稳定。

以荔枝生产为决策内容，研究种植荔枝的农田可能出现的“花而不实”地理分布，随机采集了研究区域内的农田地块（图 3）。假设影响因子仅包括气候（矢量化为等降雨量线）、地形（等高线）、土壤（类型）3 种，分别将因子分级、分类并建立与“花而不实”程度的对应关系，形成决策知识类的基本规则，各农田地块及其影响因子的状态组成了事实知识类的状态属性。可以任选一个目标对象进行决策，也可以对各农田地块进行遍历，完成空间推理决策过程。图 3 是一个遍历运行实例，结果显示如果在各农田种植荔枝将可能出现的不适合程度，表明采用面向对象的知识表达进行空间推理决策是有效可行的。

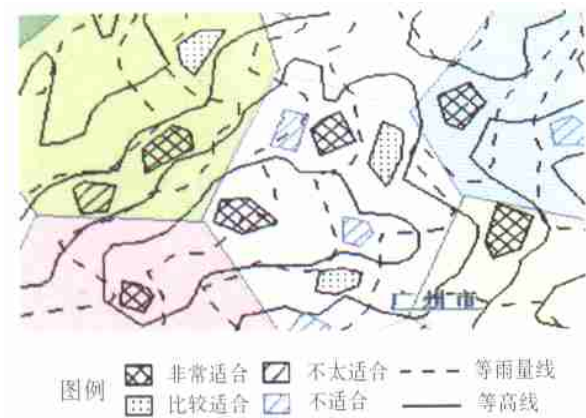


图 3 基于知识的空间推理决策结果

Fig.3 Spatial reasoning result based on spatial knowledge

5 结 论

让现有的 GIS 在管理空间数据基本功能的基础上实现对空间数据的分析与智能空间决策，是 GIS

理论研究和应用的重要方向，空间信息科学结合人工智能技术，是解决该问题的较好途径。要实现两者的结合，就必须给出如何表达与空间位置相关的事实与决策知识，并能够对其进行有效利用。本文提出了一种面向对象的空间知识表达策略，它建立在知识分析与分类的基础上，将空间决策的知识支持建立在面向对象方法体系中，为 GIS 软件功能的决策智能化（即 GIS 与知识处理系统的集成）提供了一条途径。

值得注意的是，尽管可以实现 GIS 基本功能、基于知识的空间推理功能及外部知识处理专用工具的集成来完成复杂的空间推理决策任务，从而减小基于知识的空间推理系统开发的复杂性，但是这种方法是一种松散的结构，一方面会增加系统运行环境的复杂性，降低系统效率，同时也无法保证各部分接口定义的一致性。笔者认为最经济的方法是在现有 GIS 功能基础上扩展空间知识处理能力，集成空间知识表达与推理功能，以满足下一代 GIS 软件由管理型向分析决策型转变的目标^[12]。本文提出的面向对象的知识表示即将事实知识与决策知识按面向对象的表达方式组织，将有利于 GIS 通用求解功能引入空间知识处理能力，扩展 GIS 应用领域，解决非结构化空间问题求解。

参 考 文 献 (References)

[1] Liu Weiguo, Gong Jianhua, Fang Hongliang. Knowledge Extraction from GIS Database and its Application in Vegetation Classification [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1998, 3(2): 234—240. [刘卫国, 龚建华, 方红亮. 地理信息系统支持下的知识获取及其在遥感影像植被分类中的应用研究. *遥感学报*, 1998, 3(2): 234—240.]

[2] Steven Walczak. Knowledge Acquisition and Knowledge Representation with Class; the Object-oriented Paradigm [J]. *Expert Systems with Applications*, 1998, 15(2): 235—244.

[3] Knight B, Taylor S, Petridis M, et al. A Knowledge-based System to Represent Spatial Reasoning for Fire Modeling [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 1999, 12(2): 213—219.

[4] Bian Fuling, Sha Zongyao, Chen Jiangping. Generation of Minimum Rules from Rough Rule Sets Based on Object Spatial Information Table [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2001, 26(5): 399—403. [边馥苓, 沙宗尧, 陈江平. 基于粗规则对象空间信息表的最小规则集生成. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2001, 26(5): 399—403.]

[5] Binwal J C, Lallmachhuana. Knowledge Representation: Concept, Techniques and the Analytic Synthetic Paradigm [J]. *Knowledge Organization*, 2001, 28 (1): 5—16.

[6] Coenen F P, Beattie B, Shave MJR, et al. Spatial Reasoning Using

- the Quad Tesseral Representation [J]. *Artificial Intelligence Review*, 1998, **12**(4): 321—343.
- [7] Xuan Zhu, Richard J. Aspinall, Richard G. Healey. ILUDSS: A knowledge-based Spatial Decision Support System for Strategic Land-use Planning [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1996, **15**(4): 279—301.
- [8] Lorentzos N A, Yialouris C P, Sideridis A B. Time-evolving Rule-based knowledge Bases [J]. *Data & Knowledge Eng.*, 1999, **29**(3): 313—335.
- [9] Wan Xiaoyun. The Design of Knowledge Object Model in OOKBMS [J]. *Journal of Shanghai Maritime University*, 2000, **21**(1): 53—59. [万小云. 面向对象知识库管理系统中知识对象模型的设计. [J]. 上海海运学院学报, 2000, **21**(1): 53—59.]
- [10] Hoffman, Forrest M, Tripathi, Vijav S. Geochemical Expert system prototype using object-oriented knowledge Representation and a Production Rule System [J]. *Computers & Geosciences*, 1993, **19**(1): 53—60.
- [11] Xiao Lebin, Zhong Ershun, Liu Jiyuan. *et al.* Spatial Conceptual Data Model of GIS [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2001, **26**(5): 387—393. [肖乐斌, 钟耳顺, 刘纪远等. GIS 概念数据模型的研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2001, **26**(5): 387—393.]
- [12] Fang Yu, Tian Guoliang, Shi Zhongzhi, *et al.* Modern IT and 4th GIS Software [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2001, **6**(A)(9): 824—829. [方裕, 田国良, 史忠植等. 现代 IT 与第四代 GIS 软件. 中国图象图形学报, 2001, **6**(A)(9): 824—829.]

Object-Oriented Spatial Knowledge Representation and Its Application

SHA Zong-yao, BIAN Fu-ling

(Research Center of Spatial Information and Digital Engineering, Wuhan University, Wuhan 430070, China)

Abstract: GIS (or Geographical Information System) works well on spatial data manage but has shortage in spatial analysis. Many spatial decision-making problems are dependent on spatial analysis so it is essential to extend the function of GIS analysis. Spatial decision support system has become an important research area in GIS and the traditional methods rely on analysis models while focus little on the importance of knowledge. Model-based decision support system presumes that the real world is structured and can be well simulated. But the fact is that most of the decision problems are ill-structured and cannot do without domain knowledge. How to acquire sufficient decision-related knowledge and well organize it imposes a great challenge both to spatial information science and AI (artificial intelligence). In this paper, an object-oriented spatial knowledge representation is proposed. The foundation of this method is based on knowledge analysis and knowledge classification. The fact that domain knowledge has layer structure should be considered when knowledge base is designed. The layer structure and organization of domain knowledge class and classification model know are given in this article. The whole knowledge used can be classified into decision area class, decision area sub-class, knowledge class of decision area sub-class, sub-knowledge class and knowledge unit according to the layer structure of knowledge from the top to bottom. Each knowledge class encapsulates attributes, methods and some rules. The detail of spatial reasoning controlled by knowledge unit is illustrated. Based on our method proposed, an application in intelligent spatial decision support system in agriculture is introduced. The function of GIS offers basic spatial data and facts that are the input of spatial decision-making module. In this way GIS and knowledge-based reasoning can be integrated.

Key words: GIS; knowledge representation; objectoriented; spatial reasoning; intelligent spatial decision support