

文章编号: 1007-4619 (2000) 02-0151-06

基于知识的空间决策支持模型集成

苏理宏¹, 黄裕霞²

(1. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院 地理研究所, 北京 100101)

摘要: 提出通过黑板集成模型, 设计并实现了一个以模糊逻辑为基础的空间决策支持系统。该系统以产生式规则表达知识, 采用逆向推理, 使之成为兼具地理信息系统、专家系统, 应用模型的集成化空间决策支持系统。使用该系统建立了重庆市区投资环境评价信息系统。

关键词: 地理信息系统; 专家系统; 模型; 集成

中图分类号: TP79/TP392 **文献标识码:** A

1 引言

地理信息系统能定量分析和空间分析; 产生式专家系统能表达人类专家的领域知识, 可方便地表述专业问题的解决方法; 空间决策模型注重数学分析, 通常基于因子图。常用的3类建模技术是: (1) 基于函数的。函数可以是具有清晰物理意义的解析式, 也可以是经验公式或基于统计的回归函数。(2) 基于人工神经网络的。若已知某一现象为若干因子综合作用的结果, 可以用人工神经网络来建立评价模型。(3) 基于规则的。用词汇逻辑形式的规则来表达评价的过程, 基于规则的系统能很好处理因子间的相互依赖, 而不强求非线性组合方法所需求的显式数学关系, 还可以解释自己的行为。布尔逻辑GIS在描述现实世界中连续变化的现象和较不精确的信息时遇到一些困难^[1]。对于连续变化的现象, 核心区的隶属度为1, 边界过渡区域隶属度从1逐步变为0。对以等值线形式表示的变化趋势, 或用数值逼近方法复原变化趋势, 或把曲线上的隶属度定为1, 向外逐步变为0。对于较不精确的属性信息, 其隶属度的计算遵循模糊集理论的一般方法。

我们自行开发的智能空间决策支持系统 ISAT (Intelligent Spatial Analysis Tools) 就具有按照规则组合方式来构造空间决策模型的能力, 并且可以处理

模糊数据。

2 基于规则的模型集成

ISAT 更主要的是提供一种基于规则集成模型的手段。ISAT 的主要思路是以规则做粘合剂将数据库、地理信息系统和模型集成在一起。这是因为在解决复杂的空间决策问题时, 既需要基于规则的知识, 也需要过程知识(结构化分析技术和模型); 既需要从数据库中获得统计数据, 也需要从地理信息系统中获得空间数据。因此模糊逻辑、知识处理、综合集成成为工作的出发点。

空间数据的获取和存储是以 GIS 来完成, 空间决策用 ISAT 来完成或由 ISAT 引导外部模型来完成, 模型以函数的形式在规则的结论中使用。ISAT 直接读写 GIS 栅格文件, 并以产生式规则描述问题的解决途径。使用 ISAT 可以方便地构造出具有高水平智能的空间决策支持系统。下面以类似 BNF 范式的形式给出 ISAT 的规则描述:

```
<规则> ::= <RULE<规则名> IF<前提> THEN<结论> [REASON<理由> CERTAINTY<置信因子> <阈值> ]
<前提> ::= <命题> {AND|OR 命题}
<命题> ::= <算术表达式> <关系运算符> <算术表达式> | <隶属表达式>
```

收稿日期: 1998-10-30; 修订日期: 1999-08-16

基金项目: 原国家计划委员会“八五”攻关“长江产业带综合建设专题”资助。

作者简介: 苏理宏(1951-), 男, 博士生, 新疆乌鲁木齐人, 从事国土资源信息系统、人口和区域经济与商务工具软件的开发和本地化等工作。

〈隶属表达式〉 ::= 〈变量〉 〈隶属于|不属于〉 〈隶属区间下界〉 〈隶属区间上界〉

〈结论〉 ::= 〈变量〉 = 〈变量〉 | 字符串 | 数字 | 算术表达式 | 函数

〈函数〉 ::= = FUNCTION 〈函数名〉 INPUT { 〈变量〉 }, { 〈变量〉 [OUTPUT { 〈变量〉 }, } 〈变量〉]

ISAT 的推理机采用 Kleene 强三值逻辑^[2], 这里, 除真(T)与假(F)以外的第三个真值解释为“不能判定”(U)。它既不能判定是真, 也不能判定是假, 但这并不表明它既非真又非假, 而是无法判定。

为使对专家知识的描述更符合实际, 推理更科学, 问题的解答更真实可靠, 系统还引入了置信因子。ISAT 的不确定性推理采用如下近似方法:

(1) 算子运算, $C(A \oplus B) = \min(C(A), C(B)) \oplus = + | - | * | /$;

(2) 关系运算, $C(A \oplus B) = \min(C(A), C(B)) \oplus = < | > | = | \neq | ! =$;

(3) AND 逻辑, $C(A \text{ AND } B) = \min(C(A), C(B))$;

(4) OR 逻辑, $C(A \text{ OR } B) = \max(C(A), C(B))$;

(5) 规则结论的置信因子 = 规则条件的置信因子 * 该规则的置信因子, 只有当上述乘积大于该规则的阈值时, 该规则才可被采用。

ISAT 用产生式规则在知识文本中说明空间决策分析的具体过程和分析所使用的模型方法, 而用知识宏命令来建立此空间决策分析的工作环境。用户可以书写知识宏语言程序, 由 ISAT 解释执行。主要宏命令有:

APPLY: 读入知识文本;

FIND: 给推理机提出推理目标;

OPEN: 打开数据库文件、GIS 栅格文件、文本文件;

CLOSE: 关闭数据库文件、GIS 栅格文件、文本文件;

GET: 从数据库或文本文件中读数据;

PUT: 向数据库或文本文件中写数据;

GIN: 从 GIS 栅格文件中读数据;

GOUT: 向 GIS 栅格文件中写数据;

ISAT 还有 WHILEBEGIN 和 ENDWHILE 等控制命令。

空间决策支持中模型的管理, 在国土资源信息系统、区域资源开发模型系统中均做过有益的工作

作^[3,4], Sean B. Eom 等和 Daniel R. Dolk 都对模型的集成有综合的论述^[5,6]。ISAT 采用模型数据黑板集成模型, ISAT 模型数据黑板由一张变量表、一张模型表、一个真值维护系统和一个黑板监视器组成。

变量表包括变量的名称、类型、描述、状态和模型序列列表等。类型说明此变量为整数、实数、数组或字符串; 状态说明模型的运行是否改动了此变量; 模型序列列表说明与该变量有关的模型。模型表包括模型名称、输入变量、输出变量、父模型和状态等。输入变量说明模型的若干输入参数, 输出变量说明模型的若干输出参数, 父模型说明此模型的前一个模型; 状态说明模型处于的状况, 如模型需要的参数是否已全部具备, 模型是否已运行过等。当需要执行一个模型时, 如果它的某些输入变量是在无效状态, 那么它的父模型就必须先执行, 以便给模型的输入变量提供正确的参数。黑板监视器的作用就是监督父模型先执行。

在模型的管理中, 模型的输入变量和输出变量之间是有因果关系的, 既只有在输入变量的值没有改动的条件下, 模型对输出变量的赋值才是有效的。当几个模型需要按序列执行, 而其中某些模型的输出是别的模型的输入, 这时前面的模型运行后, 会改变一些变量的值, 受这些变量影响的模型必须接着运行, 才能保证变量间产系的有效。真值维护系统记录和更新变量和模型的状态, 并根据变量和模型的状态, 运行模型来维护各输入变量和输出变量间因果关系。

可见, 数据模型黑板是一种富有弹性的集成控制策略。因为对一个复要的问题很少能由一个包含问题所有方面的单一模型所解决, 它时常要求集成多个模型, 每个模型专注于问题的一个方面。模型彼此独立地存取数据模型黑板, 它们通过黑板来通信, 因此一个模型内部的变化不会影响其他模型, 这也使得可以逐步累进地构造模型。

3 智能空间决策支持系统的组成结构

马藹乃等对地理专家系统^[7], 姚逸秋对专家系统在资源研究中的应用^[8], Yee Leung 等在模糊逻辑专家系统与 GIS 的结合上都做了有启发性的工作^[9,10]。Yee Leung 为 GIS 设计实现了一个基于模糊逻辑的专家系统外壳。但他们的工作限于传统的专家系统范畴, 而未将专家系统、GIS 和数学模型组合为一体。我们扩展产生式专家系统“if...then...”

规则中“then”后面的结论部分，使之不再只是简单的赋值语句，而可以是对数学模型函数的调用，“if”后面的条件部分亦扩展为不仅判断地学数据，还可以判断反映空间决策支持过程状态的控制数据。智能空间决策支持系统 (Intelligent Spatial Analysis

Tools)是一个以模糊逻辑为基础，基于简单规则。集成模型的集成化系统开发环境。ISAT 由知识编译、推理机、知识库、知识宏命令、模型库、知识归纳、知识校验、地图显示等几部分组成(图 1)。

智能空间决策支持系统 ISAT 的基本特征如下：

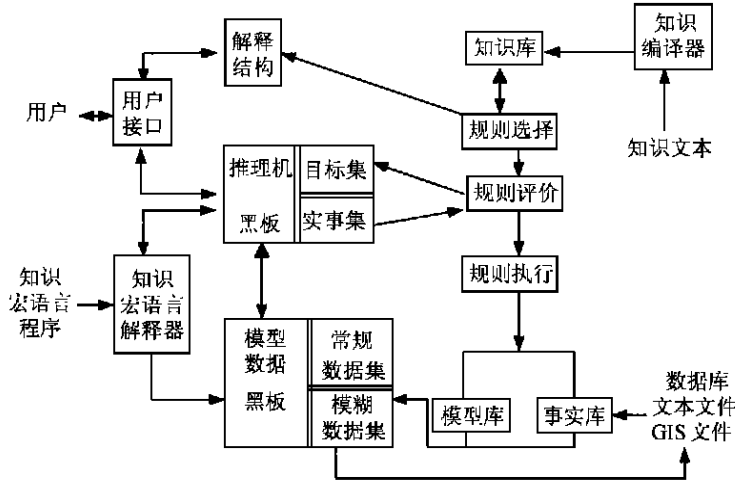


图 1 智能化空间决策支持系统组成结构

Fig. 1 Overall architecture of ISAT

(1) 知识表示。知识用简单规则表示，事实用“属性-值”形式表示。规则中允许有模糊项、非模糊项和不确定性因子，推理机以置信因子为基础做不确定性推理。

(2) 模型集成。决策分析模型以 ISAT 函数的形式集成进入系统。ISAT 除通常专家系统的推理机黑板外，另外建立了数据模型黑板，管理精确数据和模糊数据，并以此模型数据黑板作为集成 GIS 与决策模型的中枢。

(3) 运行机制。空间实体属性作为事实读入推理机黑板的事实集和模型数据黑板中，事实集中同时记住的还有已经匹配的规则和废弃的规则。模型数据黑板本身不直接参加推理，推理机黑板中的事实集维护模型数据黑板中数据的元数据，推理机根据这些元数据作出正确的判断。

(4) 推理方式。ISAT 采用逆向推理方法，即在知识库中搜录产生式 THEN 子句中属性与当前目标属性相同的规则，其中选中的规则称为当前规则。比较当前规则的条件部分同推理机黑板事实集中的事实，会有以下几种状态：

状态 1: 规则未知

当前规则中条件部分有一个或多个属性没有出现在推理机黑板事实集中，此规则的值是未知的，必须发现这些未知的信息。如果当前目标属性不在所

有规则的结论部分中，推理机会要求用户提供该目标的值。

状态 2: 规则错误

当前规则中条件部分与推理机黑板事实集中事实相抵触时，这个规则是错误的。此时该规则记录在废弃规则集中。

状态 3: 规则正确

当规则的条件部分，每一部分都与推理机黑板事实集中的一项相匹配时，这条规则是正确的，执行规则的结论部分。结论部分可以是一般的赋值语句，也可以是空间分析模型。执行将产生新的已知事实，对一般赋值语句，这些事实放入推理机黑板事实集；对模型运算、模糊处理等操作，执行的结果根据不同的情况，一些直接存在推理机黑板事实集中，一些存在数据模型黑板的常规数据集和模糊数据集中，在后者，推理机黑板事实集中存有模型数据黑板中数据的元数据。同时该规则记录在匹配规则集中。如果目标集中没有其他目标，就认为问题已解决。

4 空间决策支持中模型的使用

空间决策支持中模型分类秦耀辰、王劲峰已有论述^[11,17]，这里仅讨论一下模型的使用，模型的

使用依据模型数据的空间特征可以有以下 3 种方式:

(1)区域的。区域数据也是空间数据,此时空间概念是广义的,一般是大的地域单元,如行政区或自然区域。其特征是单个区域的空间范围较大,每个单元有较多因子,且认为这些因子是该区域的整体属性,不在区域内具体空间位置上定位。如某县的人口、国民总产值等。以这种方式使用的模型有人口预测模型、计算经济模型,农作物估产中单产回归预测模型等。这一方式基于统计数据在空间上的表示,模型针对区域单元而设置,工作中的最小统计单元通常为区域空间单元的下限。

(2)空间的。使用空间数据的模型多为通常 GIS 意义上的空间分析模型,实现方法主要有叠置分析、缓冲区分析等。一般以因子图的形式把要素的值分布到具体空间位置上,如坡度、高程,可以用栅格方式也可以用多边形方式给出,土地适宜性评价、不同高程水位的淹没面积等属于此方式。显然(1)中的区域变量是可以按区域边界分布到空间上的。

(3)综合的。这里的着眼点是整个区域,落脚点是区域内的空间位置。一般先使用区域数据经模型运算得到关于该区域的目标,再将此目标经空间操作落到区域内的具体位置上。例如,如何安排土地利用,使得某地区的经济收益最大。对于这类优化问题,通常使用线性规则、多目标规划等方法,但这些方法并不考虑决策变量的空间属性。通常使用 GIS 分析手段获得隐含空间分布的决策变量,例如,该地区具有灌溉条件的土地有多少,林地有多少,各类坡地有多少,离公路 5 km 以内的耕地、5km 以外的耕地有多少等等。由这些变量构建约束方程,进行最优化计算,得到最优解。例如棉花、小麦、蔬菜各应种多少,这些数字依旧没有空间分布,是针对整个区域的,需要结合各约束变量的取值和松弛度再次使用 GIS 分析方法,确定最优结构在空间上的分布。也可以将空间实体作为决策变量使用 0-1 规则实现最优结构的空间分布。

对具体的空间决策分析问题往往可以通过多种方式来实现。如投资环境评价、最优选址等。最优选址问题可以分解为一系列的叠置、缓冲区等空间操作来实现,也可以先用最优化方法得到实现目标最优的条件下,各约束变量的值或范围,再用 0-1 规划算到具体空间位置上。就 ISAT 而言,对(1)可以集成统计分析模型,如回归分析,对(2)使用专家

系统方法是一条快捷有效的手段,除专家系统的常规推理外,还提供了模糊综合评价模型,对(3)会提供线性规则、多目标规划。动态规则等多种模型。它们均采用由知识宏语言和推理机操作的模型数据黑板实现同专家系统和地理信息系统的集成。

5 应用实例

重庆为长江上游第一工商重镇,对中国西南社会经济发展有强大带动力,我们以 ISAT 建造了重庆市区投资环境评价系统,工作的范围是重庆市的 7 个城区,时间是 1995 年。系统的主要数据流程如图 2。

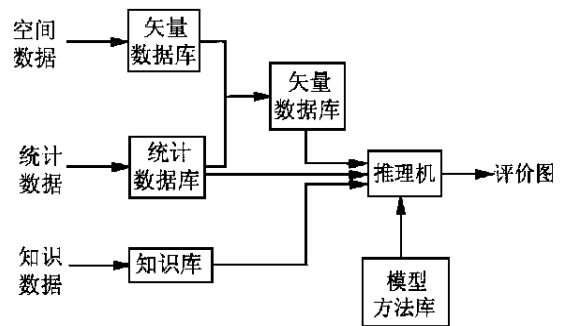


图 2 基于知识投资环境评价系统主要数据流程
Fig. 2 Main data stream of knowledge-based investment assessment information system

我们选择对投资项目有明显影响并且地域差别明显的 8 个要素 26 个因子。其中 4 个要素的 9 个因子是空间量,另外 4 个要素 17 个因子是按区统计的区域量。

主要步骤如下:

(1)按 1:5 万比例尺数字化重庆市地形、水系、交通等图件,形成坡度、高程、交通影响距离等 9 个空间量 250m×250m 网格的栅格图;

(2)依据重庆市的人口、经济、邮电、教育等统计资料,结合行政区划图、人口经济重心,运用模糊数学方法,得到反映人口素质、工农业发展水平等 17 个区域量重庆 7 个城区单因子位序,并以行政区划为基准形成 250m×250m 网格的栅格图;

(3)依据重庆投资环境评价指标体系,逐级构造评价知识库。其中重要的是给各因子确定等级值和权重,等级值是模糊分级的;各因子间的相互作用是通过规则来描述的。

(4)在重庆投资环境评价中,使用的模型是模糊综合评价模型。

知识库中下面 9 条规则用坡度和高程评价重庆

城区自然状况,数值是根据重庆市是山城这一特征而设定的。

Rule 1 If slope < 4, 5 Then slope-c = “excellent”;

Rule 2 If slope > 4, 5 and slope < 14, 15 Then slope-c = “fine”;

Rule 3 If slope > 14, 15 and slope < 28, 30 Then slope-c = “middling”;

Rule 4 If slope > 28, 30 Then slope-c = “poor”;

Rule 5 If elevation > 200 and elevation < 285, 315 Then elevation-c = “excellent”;

Rule 6 If elevation > 285, 315 and elevation < 385, 415 Then elevation-c = “fine”;

Rule 7 If elevation > 385, 415 and elevation < 485, 515 Then elevation-c = “middling”;

Rule 8 If elevation > 485, 515 Then elevation-c = “poor”;

Rule 9 If slope-c = known and elevation-c = known Then location = fuzzyAssess-by-weight slope-c 0. 8 elevation-c 0. 2;

根据不同的投资方向,在8个要素的基础上,我们做了综合投资环境、工业适宜性、高科技适宜性和服务业适宜性4个方面的评价。

有关重庆投资环境评价指标体系、操作过程和评价结果见参考文献[13]。

6 结 论

实践证明,采用模型数据黑板,基于规则集成空间模型结构简洁,方法可行。运用智能空间决策支持系统 ISAT 进行空间信息评价分析方便适用。进一步的工作应是优化程序并集成更多的模型方法使空间决策支持更便捷。

参考文献 (References)

[1] He Zhongxiong. Fuzzy set and its applications [M]. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 1983. [贺仲雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津:天津科学技术出版社,1983.]

- [2] He Xingui. Knowledge process and expert system [M]. Beijing: Defence Industry Press, 1990. [何新贵. 知识处理与专家系统[M]. 北京:国防工业出版社,1990.]
- [3] Sun Jiulin et al. Research and build of natural resource information system [M]. Beijing: Energy Press, 1986. [孙九林等. 国土资源信息系统的研究与建立[M]. 北京:能源出版社,1986.]
- [4] Ni Jianhua. Modal system for regional resources development [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1992. [倪建华. 区域资源开发模型系统[M]. 北京:中国科学技术出版社,1992.]
- [5] Sean B. Eom, Sang M. Lee, Jwa K. Kim. The Intellectual Structure of Decision Support System (1971-1989)[J]. *Decision Support System*, 1993, (10): 19-35.
- [6] Daniel R. Dolk. An introduction to model integration and integrated modeling environments [J]. *Decision Support System*, 1993, (10): 249-254.
- [7] Ma Ainai, Zhou Changfa. A Study of Geographical Expert System [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1992, 47(3) 252-259. [马蔼乃,周长发. 地理专家系统的试验研究[J]. 地理学报,1992,47(3): 252-259.]
- [8] Qin Yaochen. Regional system models and application [M]. Kaifeng: Henan University Press, 1994. [秦耀辰. 区域系统模型及其应用[M]. 开封:河南大学出版社,1994.]
- [9] Yee Leung, Kwong Sak Leung. An Intelligent Expert System Shell for Knowledge-based Geographical Information System: 1. The tools [J]. *INT. J. Geographical Information Systems*, 1993, 7(3): 189-199.
- [10] Yee Leung, Kwong Sak Leung. An Intelligent expert System Shell for Knowledge-based Geographical Information System: 1. Some applications [J]. *INT. J. Geographical Information Systems*, 1993, 7(3): 189-199.
- [11] Yao Yiqiu. Development and application of expert system in natural resources [J]. *Natural Resources*, 1990, (1): 52-59. [姚逸秋. 资源研究中专家系统的开发与应用[J]. 自然资源,1990,(1): 52-59.]
- [12] Wang Jinfeng. LREIS Academic Report Spatial Information. Analysis and Modeling [R]. State Key Laboratory of Resources and Environment Information System Documents of the First Plenary of the Third Academic Committe, 14-21 Beijing 1997 [王劲峰. 空间信息及其分析与建模. 资源与环境信息系统国家重点实验室[R]. 第三届学术委员会第一次会议文件汇编,北京,1997,14-21.]
- [13] Xiong Liya, Su Lihong. Studies on the application of investment environmental assessment system to urban district of Chongqing [J]. *Natural Resources*, 1997, (1): 53-60. [熊利亚,苏理宏. 重庆市区投资环境评价信息应用研究[J]. 自然资源,1997,(1): 53-60.]

Integrating Spatial Decision Support Models Based on Knowledge

SU Li-hong¹, HUANG Yu-xia²

(1. *Institute of Remote Sensing applications, CAS Beijing 100101, China;*

2. *Institute of Geography, CAS Beijing 100101, China*)

Abstract: In the Spatial Decision Support tool System (ISAT), rules of expert system are expanded so that the expert system can not only use data extracted from GIS and database, but also need decision support models. By using these broad sense rules, we can bring knowledge process in geographic analysis, and integrate GIS, database and spatial analysis model. Model Data Blackboard is the key of integration, which consists of a variable table, a model table a true value maintaining system and a blackboard monitor. By this approach we can incorporate mathe models one by one. The system is also based on fuzzy-logic. Model Data Blackboard can manage precision data and fuzzy data, and the mathe model functions exchange data between them through the model data blackboard. By prescribing the principle about computing certainty factors, certainty is processed approximately.

Through its knowledge macro language, the ISAT can setup a working environment for one spatial decision support course. The knowledge macro language program sets the objective of reasoning machine of the expert system, manages the input and output of the ISAT data. ISAT can interact with raster file of geographic information system, database and text file with its knowledge macro language program.

The method introduced in this paper is also a preliminary way to design the knowledge-based spatial analysis information system. We have done a case study with knowledge-based investment assessment information system for urban district of Chongqing City in Sichuan province of China.

Key words: geographic information system; expert system; model; integration