

# 规划辅助决策专家系统设计与应用

付 炜<sup>1,2</sup>

(1 燕山大学信息学院通信与电子工程系, 秦皇岛 066004; 2 新疆大学电子科学与信息工程学院, 乌鲁木齐 830046)

**摘要:** 本文介绍了土地合理利用规划辅助决策专家系统(DADES)的构建原理与实现方法, 讨论了 DADES 中专家知识的表示方法与推理控制策略。系统将领域专家知识划分成不同的层次和类型, 采用框架网络数据结构和产生式规则表示地理学领域专家的专门性知识与经验性知识, 使知识的表示简洁易于理解。在知识的推理策略中引入不精确推理机制, 保证了推理机制的实现。以乌鲁木齐河流域为试验区, 阐述了流域土地合理利用规划决策专家知识的表示方法, 以及专家知识表示的基本规则和系统专家知识的组织方式。此外, 还讨论了系统推理机推理规则的设计原理与组织方法及推理算法。

**关键词:** 地理专家系统; 知识表示; 辅助决策专家系统

**中图分类号:** TP391; O235

## 1 引言

地理专家系统 (Geographic Expert System, GES) 是利用地理专家知识进行推理解决某些只有领域专家才能解决的不确定性地理决策问题的计算机信息处理系统。GES 在推理策略的控制下模拟地理专家的经验性知识进行地理决策, 从而解决地理决策过程中不确定的、非结构化问题, 如土地资源合理开发利用、保持生态平衡等地理决策中的非结构化问题。知识的辅助决策数据模式是 GES 设计的核心问题, 而知识化的数据模式为数据密集型的 GES 的开发和应用提供了一个专家知识表示的形式化概念框架<sup>[1]</sup>。本文以乌鲁木齐河流域土地合理利用规划辅助决策专家系统 (Design and Assistant Decision Expert System of Land Rational Use, DADES) 的构建为例, 介绍 DADES 的结构设计原理与专家知识的框架网络结构表示方法和系统知识库的组织结构, 以及专家系统推理机的推理规则设计原理。

## 2 DADES 辅助决策系统的结构设计

### 2.1 综合数据库<sup>[2]</sup>的设计

图像数据库 (Image Data Base, IDB): 图形/图像数据的矢量/栅格编码格式的相互转换; 以压缩编码方式存储图形/图像数据; 图形/图像数据的数学变换和统计分析; 产生数字地形模型等 (图 1)。

属性数据库 (Attribute Data Base, ADB): ADB 用于存储图形/图像数据的属性数据, 如多边形的类型、面积; 点、线、弧段的几何属性, 空间属性及自然与社会属性。

模型库 (Model Base, MB): 包括系统坐标变换, 曲线与曲面插值运算, 图像覆盖与分离处理, 地形要素提取, 空间数据搜索, 主成分分析和系统层次分析等。应用模型包括灰色控制系统分析, 模糊聚类分析, 模糊模式识别分析, 区域经济线性规划模型等。

知识库 (Knowledge Base, KB): 含事实库、规则库和映射库。

事实库 (Fact Base, FB): FB 用于存储、推理所需要的判断性知识和土地合理利用规划决策所需

收稿日期: 2004-08-11; 修回日期: 2005-01-10。

资助项目: 国家自然科学基金项目“乌鲁木齐河流域土地资源动态监测信息系统研究”(批准号: 69662001)。

作者简介: 付炜 (1949-), 男, 山东青岛人。教授, 博导, 新疆大学电子科学与信息工程学院兼职教授。毕业于北京大学资源环境遥感与地理信息系统应用研究所, 获理学博士学位。主要从事遥感、资源环境信息系统与计算机信息处理的科研与教学工作, 发表科研论文 80 余篇, 科研专著一部。E-mail: xyweifu@sina.com

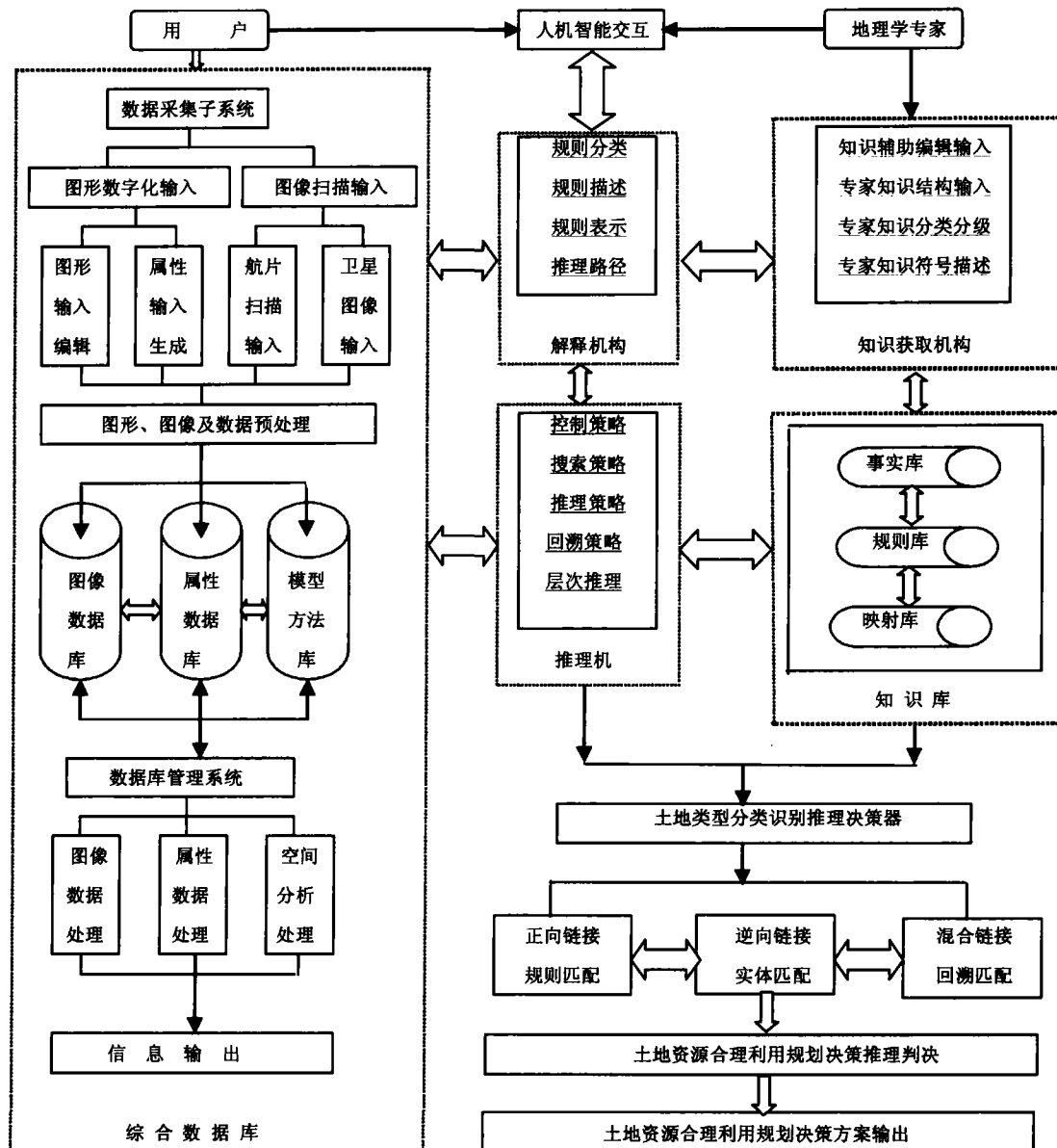


图 1 DADES 辅助决策专家系统的结构组成

Fig.1 Structure composition of assistant decision expert system of DADES

各因子的描述性知识以及构成信息实体的事实。如土地类型、农作物产量、植被和土壤类型等。FB 由分层次的框架和说明语句构成,既可表示抽象的地理概念,又可体现以实体为中心的知识表示方式<sup>[1]</sup>。

规则库 (Rule Base, RB): RB 用于存储推理所用的专家知识和引导推理的元知识。在 DADES 中,土地合理利用规划决策的专家知识用产生式规则表示。产生式规则将知识的表示分为前件(条件)和后件(结论)两部分。专家知识产生式规则表示的一般形式是

IF < condition > THEN < conclusion >

例 (Rule evaluation ; 土地评价

IF (Land.slope > 30) THEN (Land.suit := grass))

其含义是,如果地块的坡度 > 30°,则该地块应种草。这里 Land 是 class(类)名,推理机将对 Land 类的所有子框架进行匹配操作<sup>[4]</sup>。

映射库 (Mapping Base, MB): 在知识的内部表示中,使用 MB 中的映射集来反映规则对事实的引用和操作。映射集 P(rule, fact) 定义为:

$PF(R) = \{X \mid X \in R \ \& \ g(X, F) = TRUE\}$ , 这里  $g(X, F) = TRUE$  表示规则  $X$  对事实  $F$  的引用关系。事实对规则的映射:

$PF(F) = \{Y \mid Y \in F \ \& \ g'(Y, R) = TRUE\}$ , 这里  $g'(Y, R) = TRUE$  表示事实  $Y$  对规则  $R$  的引用关系。系统在输入每一条规则时都要搜索所有框架和变量, 检查这条规则引用了什么事实在, 推导、修正了什么事实在。输入每一个框架和变量时也要检查这个事实被什么规则引用或推导。以上信息构成了知识库的映射库<sup>[9]</sup>。

## 2.2 推理机(Inference Engine, IE)的推理规则设计

(1) 推理策略: 为保证推理的可信性, IE 设有一动态缓冲区, 用以记录每一步推理所涉及的基本因子名和规则号, 以及推理的中间结果。推理结束后, 动态缓冲区便将各条规则的规则号和中间结果记录下来, 形成一条由基本因子条件到最终结论的推理路径。IE 的一次完整的推理过程包括下述 3 个层次的推理<sup>[9]</sup>:

① 底层推理。利用一级知识的基本因子分级条件去匹配给定的基本因子值, 以得出给定数据的因子级别。

② 中层推理。根据底层推理得出的因子分级与相应的分类规则相匹配, 最终得出分类结果。该层推理采用正向链接, 沿规则网络搜索证据(从数据库中获取或向用户询问), 并与相应的规则匹配。

③ 顶层推理。根据底、中层推理结果和三级知识(专家经验)推断出决策方案。该层推理采用正向和逆向链接相结合的方式进行推理。当证据充分时, 采用正向链接, 沿规则链逐步搜索证据, 最终推演出结论。当证据不充分时, 采用逆向链接, 先在专家给定的方案中选择目标, 再逐步求证, 以证明方案的可用性。上述三层推理所形成的推理网络见图 2。

(2) 推理控制(Inference Control, IC): 系统采用如下两种解决冲突的控制策略<sup>[9]</sup>: 一是给规则确定优先级, 二是确定性限制。如果满足一级规则前提的事实也包含在满足可执行的二级规则前提的事实集中, 则此一级规则在本次过程中不执行。这种匹配—冲突—执行过程的算法如下(以下“/”表示换行):

```
proc Inference
{ RS ← 规则集, FS ← 事实, CS ← 空; / While
```

```
问题未解决 / { While RS 非空 / { 匹配 R ∈ RS 和 FS;
/ if R 的证据满足 / { if R 的证据只含简单变量(非
结构型变量) / then 在 CS 中记录 R 的名字和证据
变量; / else 执行 R 并在 CS 中记录 R 及其变量, 标
记为 fired; }}
```

```
Select-Rule(CS); }}
```

其中, CS 为冲突集, 它的每个元素的形式为 { Rule-NAME, List of 简单变量, 标记 { 执行过, 未执行过 } }

```
proc Select-Rule(CS)
{ for 在 CS 中标记不等于 Fired 的每条规则 / {
Svl ← 此规则的简单变量名表; / if Svl 不包含在
CS 中的任一标记为 fired 的简单变量名表中, 则执
行此规则; / else 在 CS 中去掉此规则; }}
```

因为控制规则使用简单变量, 所以上述控制策略支持上下文限制的解决冲突方法<sup>[7]</sup>。

(3) 不精确推理: 专家知识往往是经验性的、不确定的, 因此 IE 在推理过程中很难找到与之完全匹配的规则。此外, 由于规则的严格匹配往往难以达到, 推理链有可能在某处中断。为解决该问题, 可采用不精确推理策略<sup>[9]</sup>。规则的不精确推理模式可表示为:

$$IF C_1(P_1) \wedge C_2(P_2) \wedge \cdots \wedge C_n(P_n) a, D \text{ with } CF$$

这里  $P_i (i=1, 2, \cdots, n)$  表示证据  $C_i$  在推理中的重要程度, 也表示该推理的强度;  $a$  为强度系数;  $CF$  为得出结论  $D$  的可信度。根据概率论原理, 可以推出  $CF$  的近似表示式为:

$$CF = a \sum_{i=1}^n C_f P_i$$

其中,  $C_f (i=1, 2, \cdots, n)$  为证据  $C_i$  的可信度,  $CF \in [0, 1]$ , 其值可由专家给出, 或由训练数据经过学习、调试而得。这样, 在推理过程中找不到与之完全匹配的规则或规则的严格匹配不成立时, 用上述模式挑选匹配程度最高的一条或数条规则继续推理最终得出结论。最后可设一阈值  $T$ , 当可信度  $CF > T$  时, 则将结论  $D$  提交给用户, 否则另选规则或宣告推理失败<sup>[9]</sup>。

## 3 系统的应用

(1) 土地合理利用规划基本因子的确定与知识的获取

根据乌鲁木齐河流域土地利用发展规划纲要

及试验区土地资源环境的特点,由地理学专家确定出见表 1 所示的土地合理利用规划基本因子及其等级划分标准(一级知识)。

二级知识是土地合理利用类型及其等级划分规则。三级知识是土地合理利用规划决策的专家知识,详见前述知识获取机构。

### (2)土地合理利用规划准则

先由用户指定查询地块,知识库访问属性数据库和图像数据库,得出该地块的属性值(面积、高程、坡度、坡向、土层厚度、地面粗糙度、土壤类型、土壤有机质含量和土地利用类型)后产生 Land 的子框架  $Land_1, Land_2, \dots, Land_n$ , 每个  $Land_i$  都有 Land 的属性值。然后启动推理机,利用规则库的推理规则和模型库的评价模型进行推理,即可得出该地块的适宜性评价结果。

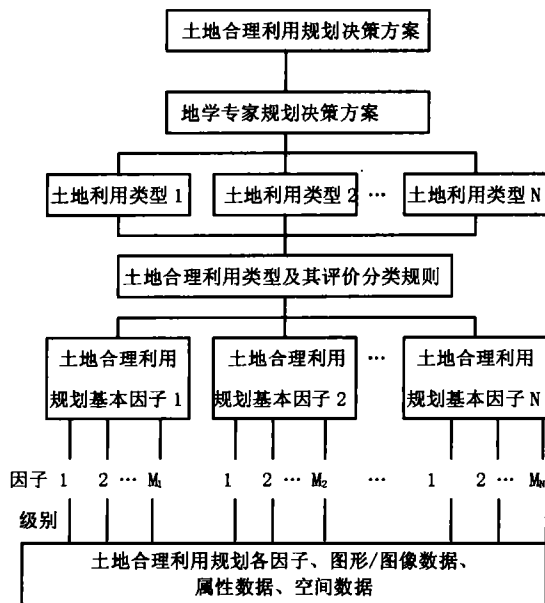


图 2 DADES 的推理规则网络

Fig.2 The inference rule network of DADES

在进行土地合理利用规划时,经济因素可在事实库中直接赋值也可在推理机的推理过程中动态询问。各类地块相应的粮草产量约束及土地利用准则可由专家确定,其框架如下:

(Object class1

(grain-output 200);粮食产量约束,200kg/mu

(grass-output 250);草场产草量约束,250kg/mu

⋮

(Suggestion “位于河川底部的川台地为宜农—

等地,应进行土地平整和土壤配肥”))

土地合理利用规划决策模块由层次型子模式构成。利用知识库中的土地合理利用规划专家知识和模型库中的规划决策模型,即可得出土地合理利用规划决策方案,其系统流程图如图 3 所示。

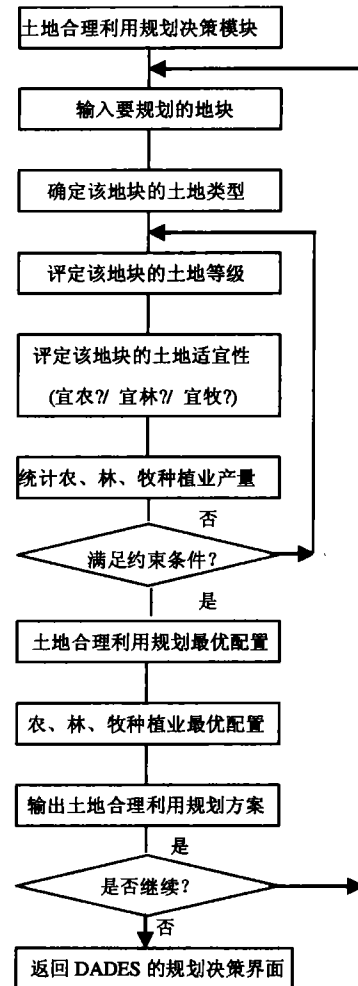


图 3 DADES 的规划决策流程图

Fig.3 The planning and decision flow chart of DADES

DADES 规则主要分为以下几个语境<sup>[10]</sup> (context):

(1)开始(start):询问用户是进行土地评价还是规划。如果进行规划,则调用综合数据库的数据装填事实库框架,否则转入评价语境。如

IF context = START & answer = PLANNING

THEN Query(cond.Land);查询 Land 子框架

Rule start ;IF context = START

THEN context = EVL;评价语境

(2)评价(EVL):该语境用于确定土壤类型、评

价土地适宜性及其等级、统计粮食产量和草场产草量等。如(Rule eval1

```
IF(context = EVAL)& ((Land.type = 丘陵地)
or (Land.type = 河滩地)or(Lan.type = 河流阶地))
&(Land.slope < 25 )
```

```
THEN (Land.class := 4)(Land.suit := f-g-w))
(Rule eval2
```

```
IF(context = EVAL)&(Land.type = 沟坝地)
THEN (Land.class := 1)(Land.suit := farm)
(grain := grain + Land.area * class1.grain-product)
(grass := grass + Land.area * class1.grain-product)
上述语句中, Land.suit := f-g-w 表示土地即可耕种
也可植树种草。最后 2 个语句表示粮、草产量。
```

(3)约束(CONSTRICT):若不满足约束条件,则进入调整语境(ADJUST),否则进入作物配置或最优配置语境。如

```
IF (grain ≥ goal .total-grain)
THEN (cons-grain := success)
IF (all constraint = success)THEN (go to plant
context)
IF (context = CONSTRAINT) THEN (context :=
ADJUST)
```

(4)调整(ADJUST):若不满足约束条件,则对适宜性不确定的地块重新评价。如对四等地可从下向

上选择耕地,从上向下选择草地,再回到约束过程。若已无可选择地块,则停止运行。如

```
IF(cons-grain <> success)
THEN (Lowest := min(Land .height(Land.suit :
= f-g-w)))
((first lowest) .suit := farm));低地种粮
```

(5)最优配置(OPTIMIZE):系统可建立最优化线性方程组,进行土地合理利用的最优配置,其目标函数是各种作物的总收益最大。如设  $X_i, Y_i, Z_i$  分别为粮、草、林在第  $i$  级地块上的面积,则可列方程

$$\sum a_{ij}X_j < relop > c_j \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$$

其中,  $a_{ij}$  为各级地块的产量、消耗等;  $c_j$  为总体约束条件;  $< relop >$  为操作数;  $<, \leq, =, >, \geq$ 。使  $\sum b_j X_j = \max$  ( $b_j$  为各级地块的效益),  $X_i, Y_i$  的方程组同  $X_i$ 。调用系统提供的线性规划模型,即可得出各级地块在农、林、牧业的最优配置面积。

(6)作物配置(PLANT):不同作物的土地配置方案。如

```
IF(Land.suit = Wood)&(Land.aspect = 阴坡)&
(Land.Soil = 栗钙土)
THEN (Land.plant := (落叶松, 云杉))
```

(7)输出(OUTPUT):输出各级各类地块面积和在一定约束条件下的粮、草产量,以及规划配置图。

表 1 乌鲁木齐河流域土地合理利用规划基本因子分级表

Tab.1 Grading table of basic factors for land rational use design in Urumqi river basin

级 别	坡 度 (度)	坡 向 (度)	相对高差 (m)	土层厚度 (cm)	地面 粗糙度	土壤有机质 含量 (%)	水源保证 率 (%)
I	<3	0	<50	>120	1.0~1.5	>2.5	>80
II	3~6	0~±45	50~100	100~120	1.5~2.0	2.0~2.5	60~80
III	6~15	±45~±90	100~150	80~100	2.0~2.5	1.5~2.0	40~60
IV	15~30	±90~±135	150~200	60~80	2.5~3.0	1.0~1.5	20~40
V	30~60	±135~±180	200~300	40~60	3.0~5.0	0.5~1.0	10~20
VI	>60	±180	>300	<40	>5.0	<0.5	<10

## 4 结语

DADES 以实体为中心的多层次的知识框架表示可以与 GIS 的数据模式相对应,也可以表示从简单事实到抽象概念的多层次知识。此外,框架的

继承属性和附属过程为信息的动态获取提供了方便。DADES 知识的规则表示也为决策知识的表达提供了灵活的手段。基于上述知识表示方法的推理控制策略也适用于大数据量的推理算法。

## 参考文献

- [1] 张伟明, 吴健康. IDL—智能地理信息系统中支持区域规划辅助决策的知识表示语言. 黄土高原信息系统研究. 北京: 测绘出版社, 1993, 310~324.
- [2] 付 炜. 黄土地区水土保持专家系统试验研究. 地理科学, 1995, 15(1): 71~79.
- [3] Zaden L A. Commonsense knowledge representation based on fuzzy logic. Computer, 1983, 16(10): 61~66.
- [4] 付 炜. 地理专家系统的知识表示与知识库组织. 应用科学学报, 1997, 15(4): 482~489.
- [5] Frost R. Introduction to Knowledge Base System. Collins, London, 1986, 28, 240~254.
- [6] 付 炜. 地理信息系统的推理机设计. 陕西师范大学学报, 1998, 26(2): 86~89.
- [7] 黄可鸣. 专家系统导论. 南京: 东南大学出版社, 1998, 139~149.
- [8] 史忠植. 知识工程. 北京: 清华大学出版社, 1998, 40~43.
- [9] 付 炜. 灾害地貌专家系统试验研究. 自然灾害学报, 1999, 8(4): 25~33.
- [10] 付 炜. 土地合理利用规划决策专家系统试验研究. 应用科学学报, 2001, 19(1): 14~19.

## A Test Research on Assistant Decision Expert System of DADES

FU Wei<sup>1,2</sup>

(1 Department of Communication &amp; Electronic Engineering of Information Institute, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China;

2 Department of Electronic &amp; Information Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** This paper presents building principle and accomplishing approach of Design and Assistant Decision Expert System of Land Rational Use (DADES) and discusses the means of expert knowledge expression and inference control strategies in the DADES. The field expert knowledge is divided into several grading levels and classifications in the system. And the frame-net data structures and productive rules are used to express special knowledge and empirical knowledge of geographic field expert so that the expression of knowledge is more concise and easy to understand. Meanwhile the indistinct inference mechanism is introduced in the inference tactics of knowledge so that the reasoning mechanism is assuredly realized. Furthermore, taking Urumqi river basin as a test region, the author expounds expression approach of expert knowledge for land rational use design and decision in the watershed, and probes into the basic rules of expert knowledge expression as well as the organization model of expert knowledge in the system. Moreover, the author also discusses the design principle and organization approach of inference rules for inference engine of the system as well as inference algorithms of inference engine.

**Key words:** GES; knowledge expression; assistant decision expert system