

# 智能决策支持系统 NUIDSS 的设计与实现\*

陈世福 潘金贵 徐殿祥

(南京大学计算机科学系, 南京 210008)

**摘要** 本文介绍将 AI 技术和 DSS 相结合而研制的一个智能支持决策系统 NUIDSS 及其在能源决策管理中的应用。目前, AI 与 DSS 结合的系统正在以很快的速度开发和实现。然而如何将 DSS 与 AI, 特别是 ES 进行集成仍存在许多问题, 该系统对此作了一些探讨。本文将阐述系统的设计与实现并着重介绍模型描述语言, 知识库以及推理, 最后给出了江苏省能源决策的应用实例。

**关键词** 人工智能, 智能决策支持系统, 专家系统, 模型描述语言。

1980年, Sprague<sup>[1]</sup>提出的基于数据库和模型库的决策支持系统(DSS)结构虽然产生了很大影响, 但是由于它对于不确定性问题及难于得到精确数字解的问题处理不够, 因而其能力和实用程度受到很大限制。八十年代蓬勃发展的人工智能(AI)技术为 DSS 注入了新的血液, 按照 Bonczek, Holsapple 和 Whinston 关于 DSS 组成的观点<sup>[5]</sup>, DSS 和 AI 的结合可以提高 DSS 的质量和效率。1985年, R. K. Belw<sup>[2]</sup>在 Sprague 框架基础上提出了文本库(TB)、数据库(DB)、模型库(MB)和规则库(RB)等四库结构的可演进的(Evolutionary) DSS, 它可支持用户的学习过程和问题的识别过程。从事 DSS 研究和开发的著名专家 Blanning, Henderson, Elam, Keen, Scott—Morton 及 Sprague 都支持将 DSS 智能化的思想。目前将 AI 与 DSS 结合而成的新型系统称为智能决策支持系统(IDSS 或 XDSS, ES/DSS, DSS/ES, KB-DSS)。

专家系统(ES)作为 AI 学科最成熟、最具代表性的系统, 其应用领域不断拓广。DSS 和 ES 在管理领域内互相渗透和结合将把计算机用于决策的技术推向一个新的高度。但是如何将 DSS 和 ES 结合起来存在着技术、行为、设计<sup>[4]</sup>等多方面的问题。我们在研制智能决策支持系统 NUIDSS 及其在能源管理中的应用时, 对 ES 和 DSS 的集成问题进行了一些研究。本文将介绍它的设计和实现技术。

## 1 NUIDSS 的系统结构与功能特点

NUIDSS 的系统结构如图 1 所示。它主要由用户接口、模型描述语言、推理解释模块、知

\* 本文 1991-11-16 收到, 1992-03-04 定稿

作者陈世福, 56岁, 教授, 主要研究领域为人工智能, 知识工程, 智能决策支持系统。潘金贵, 42岁, 副教授, 主要研究领域为人工智能和知识工程。徐殿祥, 27岁, 助教, 主要研究领域为人工智能, 智能决策支持系统, 软件工程。

本文通讯联系人: 陈世福, 南京 210008, 南京大学计算机科学系

识获取等组成. 该系统的功能特点是:

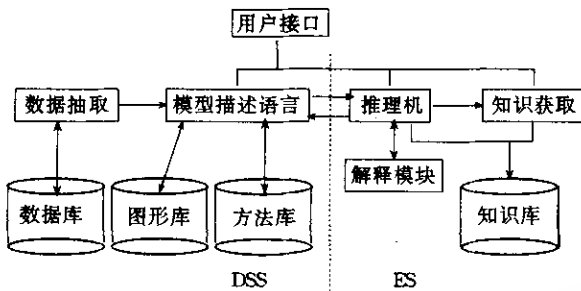


图1 NUIDSS系统的结构

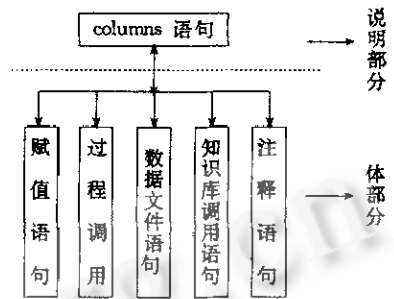


图2 模型描述语言MDL的结构

(1)提供了灵活的描述性建模语言 MDL,支持建模者的思维过程. 用户可用受限的自然语言描述模型的功能,可读性好、方便模型的编制与修改. 它支持由底向上、自顶向下的程序设计方法.

(2)推理机与模型双向连接,将定性与定量、符号和数字处理有机结合起来. 模型中的数据可引用作用于知识库上的推理结果,而模型的运算结果亦可作为推理的输入数据.

(3)提供了与数据文件以及 FOXBASE 系统数据库文件的接口,使得能共享数据及支持多种决策方案.

(4)为模型的建立提供了多种预测、分析方法,并提供了图形描述功能及与其它图形应用软件的接口(如可显示通过数字化仪输入和加工的图形).

(5)提供了 What-If、Goal-Seek 等辅助决策手段.

(6)具有知识获取及知识库一致性维护功能.

## 2 模型描述语言 MDL

现有的 DSS 中,模型的定义和管理多数采用过程式的表示方法,程序的可读性、编写和修改的方便性受到了限制. 较流行的决策支持软件产品 IFPS<sup>[6,9]</sup>、EXPRESS 和 GPLAN<sup>[9]</sup> 均没有提供模型与知识库的连接功能,从而符号处理能力不够,此外缺乏图形描述功能. 为克服上述不足,我们设计了模型描述语言 MDL.

MDL 是表格式的模型定义、操作语言. 模型开发者无须对计算机有很深的了解便可用它来建立能源以及国民经济中半结构化或非结构化决策问题的各类数学模型.

用 MDL 编制的模型程序可分为说明和体部分,如图 2 所示.

### 2.1 columns 语句

它用来定义表格栏目列数及栏目名,其格式是:

COLUMNS<起始栏>…<终止栏>或

COLUMNS<栏目 1>,<栏目 2>,…,<栏目 n>

### 2.2 赋值语句

<变量>=<表达式>[FOR<数字>]{;<表达式> [FOR<数字>]}

赋值语句定义了表格的某数据行,它是传统赋值语句的扩充. 它对应于一个或多个表达

式,其中表达式后缀 FOR<数字>定义了某表达式计算的次数.须指出的是:(1)该表达式每次求值结果未必相同,它依赖于变量所对应的表格栏的值.(2)表达式可以是普通程序设计语言中条件表达式的变形即 IF A THEN B ELSE C,其中 A 是逻辑表达式,B、C 是算术表达式.(3)表达式可引用在其后赋值的变量即允许变量先引用后赋值(定义).(4)表达式中的变量形式很灵活,它允许带有特定的前后缀.(5)推理机制可看成是一个函数从而作为表达式的特殊算子.(6)表达式中函数的参数个数是可变的.

### 2.3 过程调用

<过程名>(<参数表>)

过程调用有两种:一种是只有实参数的过程,如将若干个变量同时反映在一张直方图上.这些过程主要是图形方面的,它们不影响表格的数值.另一种是有变参的过程调用,它在功能上相当于若干个赋值语句,每个变参定义了表格的一行,其算法是特定的模型分析方法,如线性回归等.MDL 中过程调用的过程参数的个数是可变的.

### 2.4 数据文件语句

@<数据文件路径>[<说明>]

定义数据文件的目的是为了实现在模型之间数据的共享以及为同一模型使用不同的数据提供方便,同时也是为了利用已有的数据库.数据文件有三种格式:(1)模型文件;(2)数据正文文件;(3)FOXBASE 数据库文件,此时必须说明记录、字段等信息.

### 2.5 知识库调用语句

<变量>=KB<文件路径>

此语句可调用知识库及相应的推理机制,推理机制以变量为目标.推理结果是数值.它提供了一种模型与知识库的连接方法.

## 3 知识库

### 3.1 知识表示

NUIDSS 系统采用产生式规则 IF—THEN 的知识表示方法来表达应用领域的一般法规、政策和管理专家的决策经验.由于决策规则中的定量概念较多,因而在 IF—THEN 结构中我们将符号和数字的表达能有机地结合起来,使之不仅能处理符号而且具有处理高级程序设计语言中条件表达式的能力.规则的形式是:

IF <逻辑表达式>

THEN <结论> CF <可信度>

其中逻辑表达式中的原子命题有两种形式:含有模型变量和不含有模型变量.若含有一个或多个模型变量则称该规则为变量规则.例如,江苏省能源智能决策系统中的规则:

R009:IF “人口增殖系数”[1981]<“人口增殖系数”[1982]

THEN 1982 年人口增长速度比 1981 年快 CF 1.00

该变量规则中“人口增殖系数”是指定模型程序中的变量.

在变量规则中,变量的类型应保持一致,即都有后缀或都没有后缀.若变量没有后缀,该规则可扩展成多条规则,其数量等于模型程序定义的列数.

### 3.2 知识库一致性和冗余的检查

知识库一致性和冗余问题直接影响系统推理求解的正确性和效率. 因而有必要在知识获取、知识库维护过程中对知识库进行一致性检查. NUIDSS 系统能处理下列几种影响知识库一致性和存在冗余的规则组:

- (1) 等价规则  $P \wedge Q \rightarrow R, Q \wedge P \rightarrow R$
- (2) 循环规则链  $A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow A$
- (3) 传递规则  $A \rightarrow B, B \rightarrow C, A \rightarrow C$
- (4) 矛盾规则链  $A \rightarrow B, B \rightarrow C, A \rightarrow \sim C$
- (5) 从属规则  $A \wedge B \rightarrow C, A \rightarrow C$
- (6) 多余规则  $P \wedge Q \rightarrow R, P \wedge \sim Q \rightarrow R$

#### 4 推理和控制机制

模型和知识库是通过推理和控制机制紧密联系的. 这种连接是双向的.

模型引用的推理机制和引用模型的推理机制都是目标驱动的反向推理. 前者更明显, 因为调用时指出了目标. 它们的主要差别是:

(1) 前者本质上实现了将 ES 的输出定向到 DSS 的输入, 后者恰好相反.

(2) 前者是解释模型程序时调用推理机, 后者需调用模型描述语言解释器生成模型数据进行推理.

(3) 前者的推理结果是数值, 后者是评价、建议等非数值型的.

(4) 前者有两种调用方式: 知识库及其上的推理操作作为表达式的特殊函数算子或运用知识库调用语句.

(5) 前者不要求知识库中指出变量所在的模型, 它隐含当前运行的模型, 而后者则需要.

在推理过程中, 由于变量规则的表达是与模型直接相关的, 因而这样的一条变量规则可能产生多个结果. 例如:

```
IF a>b AND P
THEN Q CF 1.00
```

其中 a、b 为模型变量. 假设其相应模型定义的列数为 3, 则此规则等价于:

```
IF a[1]>b[1] AND P THEN Q[1] CF 1.00
IF a[2]>b[2] AND P THEN Q[2] CF 1.00
IF a[3]>b[3] AND P THEN Q[3] CF 1.00
```

其中  $Q[i]$  ( $i=1, 2, 3$ ) 分别表示相应的结论 Q 是否成立. 但对于规则链中的另一条规则:

```
IF Q AND R
THEN S CF 1.00
```

由于 Q 是没有后缀的变量规则 IF a>b AND P THEN Q CF 1.00 的结论, 它有多多个值, 那么 S 也有多个逻辑值  $S[1], S[2], S[3]$ . 因此推理机有必要扩展这种规则.

根据上述思想, NUIDSS 的推理机从推理树目标开始搜索规则, 对规则的条件进行如下匹配:

(1) 若是某规则的结论(非叶结点), 该条件作为子目标, 继续推理, 返回时若其结果是多

值的,则扩展该规则.

(2)是变量规则.若变量有后缀,则根据相应的数据求出其单个逻辑值;若无后缀,根据模型定义的列数扩展规则求出多个逻辑值并扩展结论.

(3)询问用户.

NUIDSS 中可信度的计算方法采用 MYCIN 系统的非精确推理方法<sup>[7,11]</sup>.

### 5 应用实例

利用 NUIDSS,我们建立了江苏省能源智能决策支持系统.它主要用于江苏省能源的经济预测、分配调度、运输、节能改造和分析、投资评估等多种管理决策,为江苏省能源决策提供了有效的手段,提高了能源系统的管理水平和决策的质量.它的一个实例“人—能源”决策

的流程如图 3 所示.它可预测能源需求总量、能源经济代价并作出一些决策评价、建议.首先系统根据“人—能源”知识库进行推理,推理机(推理机→模型)调用用 MDL 描述的模型数据.部分 MDL 程序见图 4 所示.其中能耗比根据产业结构政策及宏观调控方面的专家知识推理得到(模型→推理).“人—能源”决策模型清楚地表现了人口、国民经济结构、能源分布、能源结构、技术管理水平、国民经济发展等因素对能源决策的定量、定性化影响.在所确定的不同边界条件下可用于解决不同层次的决策问题.NUIDSS 为该模型的建立和运行提供了有力的工具.运行时系统有三种手段辅助决策:

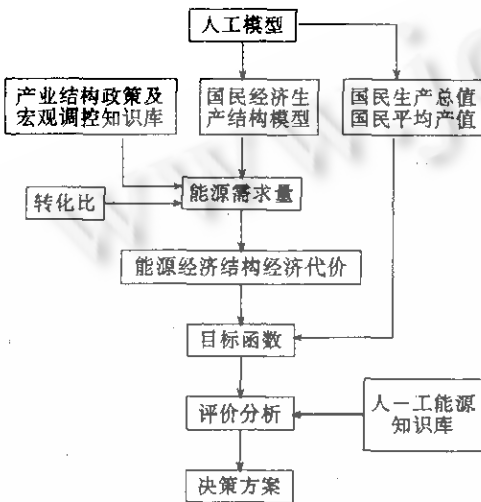


图3 “人—能源”决策流程

#### (1)WHAT-IF

当某一变量的取值发生变化时对结果的影响.即重新计算与该变量有关的模型数据.

#### (2)GOAL-SEEK

为达到某一目标,某变量应满足什么条件.该问题可转化成方程  $y=f(x)$  的求解.实现的主要步骤有:

step1. 判断  $f(x)-y$  的单调性;

step2. 选用适当的步长确定  $x$  的范围  $[a, b]$ , 即满足  $(f(a)-y)(f(b)-y) < 0$ ;

step3. 用逼近法求得  $x$  的值, 即  $f(x)-y=0$ ;

#### (3)ANALYSIS

某变量取值受哪些变量的影响,它亦有助于程序(模型)的调试.模型中变量引用关系是有向图,ANALYSIS 求出的是该有向图中从该变量出发的路径上的所有结点变量.

COLUMNS 1978...2000

/\* COLUMNS, FOR, EXP, COLUMN, BAR3D, PREVIOUS, KB 是关键字 \*/

“人口增长系数”=8.61/1000 FOR 3; 6.65/1000 FOR 10; 5.92/1000

```

“人口”=9.625 * EXP[“人口增长系数” * COLUMN]
BAR3D(“人口增长系数”,“人口”)
.....
“人均产值”=350; PREVIOUS * 1.1
/* G 是经济结构加权因子,D 是能耗加权因子 */
G=0.05
D=4
/* 能耗比根据产业结构政策及宏观调控方面的专家知识推理得到 */
能耗比=KB(“NHB.KB”)
“转化比”=0.3; PREVIOUS * (1+0.1)
“能源需求总量”=“能耗比” * (1+D * G) * (“人口” * “人均产值”)/“转化比”/10000

```

图4 “人—能源”模型部分程序

## 6 结束语

NUIDSS 系统把数值计算、数据处理、知识库推理和人机交互融为一体。与现有的 DSS 或 KB-DSS 相比,它有 2 个显著特点:(1)模型描述语言功能较强;(2)为模型和知识库提供了双向连接。该系统已在微机上用 Turbo C 2.0 开发成功。许多实例的运行结果表明它具有较好的性能。

## 参考文献

- 1 Sprague, Ralph H. A framework for the development of DSS. *MIS Quarterly*, 1980,4(4):1—25.
- 2 Belew R K. Evolutionary decision support systems; an architecture based on information structure. In Methlie B L, Sprague R H ed., *Knowledge Representation for Decision Support Systems*, North-Holland, 1985.
- 3 Sprague, Ralph H. DSS in Context. In MClean E, Sol H G ed., *Decision Support Systems: A decade in perspective*, North-Holland, 1986.
- 4 Efrain Turban. *Decision support system and expert system; managerial perspective*. Macmillan Publishing Company and Collier Macmillan Publishers, 1989.
- 5 Bonczek R H, Holsapple C, Whinston A B. *Foundations of decision support systems*. New York: Academic Press, 1981.
- 6 Paul Gray. *Guide to IFPS personal*. McGraw-Hill Book Company, 1987.
- 7 Shortliffe E H. *Computer-based medical consultation; MYCIN*. American Elsevier, New York, 1976.
- 8 史忠植. *知识工程*. 北京:清华大学出版社,1988.
- 9 王亚芬等编. *决策支持系统*. 西安:陕西科学技术出版社,1988.
- 10 何新贵. *决策支持系统*. 国防系统分析与软件,1990.
- 11 陈世福等. 勘探地下水专家系统 NCGW 的设计与实现. *计算机学报*, 1989,12(6).
- 12 朱稼兴. *专家系统与现代表理*. 北京:北京航空航天大学出版社,1990.

## NUIDSS: AN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM

Chen Shifu, Pan Jingui and Xu Dianxiang

(Department of Computer Science, Nanjing University, Nanjing 210008)

**Abstract** Intelligent Decision Support Systems are developed at an increasing rate. But there exist many problems of integration of AI and DSS, on which we have done some research while developing the intelligent DSS system, NUIDSS. This paper describes its design and implementation, focusing on model description language, knowledge base and inference. A practical decision instance of emerge is also given in the end.

**Key words** Artificial intelligence, intelligent decision support system, expert system, model description language.