

# 一种模糊决策专家系统的模型

郝博 蔡青 杨彭基

(西北工业大学 CAD/CAM 研究中心, 西安, 710072)

## A MODEL FOR FUZZY DECISION EXPERT SYSTEMS

Hao Bo, Cai Qing, Yang Peng-ji

(Research Center CAD/CAM, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710072)

**摘要** 目前决策型专家系统主要适合于解决精确的或不确定性决策问题, 还存在模糊决策问题, 如最佳方案选择问题。统一考虑决策问题中的不确定性和模糊性, 提出了一种能统一处理带有不确定性和模糊性决策问题的单目标决策型专家系统模型。针对构造决策专家系统所涉及的具体问题, 本文从知识表示、知识获取、模糊谓词计算、规则匹配、系统求解方式等几个方面介绍所提出的模型。

**关键词** 专家系统, 知识表示, 模糊决策

**Abstract** Based on the theory of fuzzy mathematics, a model of fuzzy decision expert system is presented. The model is suitable for establishing the expert systems that dispose the single-target decision problems with uncertainty and fuzziness. And based on the model, the expert systems can be built up easily. According to the model, a fuzzy decision expert system is established for planning the deep-drawing schemes of cone parts. It is proved that the model is simple, effective and practical. To solve the concrete problems in constructing fuzzy decision expert systems, the rule match, fuzzy predicate calculus, knowledge representation and problem solving mode of the model are mainly described in this paper.

**Key words** expert system, knowledge representation, fuzzy decision

## 1 知识表示及获取

模糊决策专家系统的知识可分为3种类型: 一是事实、概念知识; 二是过程、启发知识; 三是决策、控制知识。事实、概念知识, 主要是一些模糊量和一些基本概念, 这类知识以框架表示; 过程启发知识以规则型式表示; 决策、控制知识以元素单元来表示。

规则由前提、结论和可信度组成。其语法结构定义如下:

〈规则〉 ::= IF 〈前提〉 THEN 〈结论〉 CF [可信度]

〈前提〉 ::= 〈复合模糊谓词〉

1991年3月4日收到, 1991年9月24日收到修改稿  
国家自然科学基金资助课题

$\langle \text{复合模糊谓词} \rangle ::= \langle \text{原子模糊谓词} \rangle | \langle \text{复合模糊谓词} 1 \rangle \vee \langle \text{复合模糊谓词} 2 \rangle \vee \dots$   
 $\langle \text{复合模糊谓词} 1 \wedge \langle \text{复合模糊谓词} 2 \rangle \wedge \dots | \neg \langle \text{复合模糊谓词} \rangle$   
 $\langle \text{原子模糊谓词} \rangle ::= [ \text{谓词符号} ] ( \langle \text{变元} 1 \rangle, \dots, \langle \text{变元} i \rangle \dots )$   
 $\langle \text{变元} \rangle ::= [ \text{一般量} ] | [ \text{模糊量} ] | [ \text{区间量} ] | [ \text{随机量} ]$   
 $\langle \text{结论} \rangle ::= \{ [ \text{元素} 1 ], [ \text{元素} 2 ], \dots \}$

其中,元素是系统的决策目标。它的表示型式是元素单元。元素单元是动态知识库的基本组成单元。元素单元的结构由下面给出:

$\langle \text{元素单元} \rangle ::= \langle \text{元素类型} \rangle \langle \text{子元素集} \rangle [ \text{相关参数集} ] [ \text{相关规则集} ]$   
 $\langle \text{元素类型} \rangle ::= [ \text{根元素} ] | [ \text{中间元素} ] | [ \text{终结元素} ]$   
 $\langle \text{子元素集} \rangle ::= [ \text{子元素} 1 ] [ \text{子元素} 1 \text{匹配度} ] \dots [ \text{子元素} i ] [ \text{子元素} i \text{匹配度} ] \dots$

知识获取是很复杂的工作。这主要是由于模糊决策专家系统知识中很大部分是经验的知识,而经验知识往往又是不精确的知识(模糊知识,不确定知识)。针对模糊决策专家系统知识特点,提出如下知识获取步骤:

(1) 知识源的确定 与专家密切配合,确定与系统相关的知识源。知识源包括专家过去的问题求解实例、资料以及隐含在专家头脑中的问题求解经验等。

(2) 概念化阶段 通过各种知识源的获取和专家的密切配合,确定系统的决策目标,并以图的形式描绘出决策树。针对具体的决策目标,确定相关的决策规则。

(3) 形式化阶段 把决策目标、规则按照前面的知识表达方式表示出来。

(4) 实现阶段 与专家配合,从整体上检查形式化知识,消除知识整体上的重叠或不一致性;然后把形式化的知识映射到知识库中。

(5) 完善阶段 随着经验的积累,对原有知识库进行扩充或改进。

知识获取工作很大部分是系统开发者和维护者的工作。知识获取可通过系统开发者(维护者)与专家、知识获取模块联合来完成。

## 2 模糊谓词及规则匹配程度的计算

相关的原子模糊谓词主要有8种类型。以下给出8种原子谓词及其谓词值计算。

(1) 实量与实量的关系谓词 这种谓词的基本型式通常是, $u * v$ 。其中 $u$ 、 $v$ 是两个实数量,\*为=或>或<或 $\geq$ 或 $\leq$ 。当 $u * v$ 成立时,谓词值为1;否则谓词值为0。

(2) 实量与区间量的关系谓词 该种谓词的基本型式通常是,当 $u$ 在 $A$ 范围内。其中, $u$ 为实量, $A$ 为区间量。当 $u$ 在 $A$ 范围内时,谓词的值是1;否则值为0。

(3) 基础量与模糊量的关系谓词 这种谓词的基本型式是, $u$ 属于 $\tilde{A}$ 。谓词的值是 $\mu_{\tilde{A}}(u)$ 。

(4) 区间量与区间量的关系谓词 此种谓词的基本型式是, $A$ 在 $B$ 范围内。谓词的值定义为: $L_{p,AB}/L_A$ ,即 $A$ 包容在 $B$ 区间的长度除以 $A$ 区间的长度。

(5) 区间量与模糊量的关系谓词 这种谓词的基本型式往往是, $A$ 属于 $\tilde{B}$ 。其中

$A = [a, b], \tilde{B} = \sum_{i=1}^n \mu_i / u_i$ 。假定在 $A$ 区间内 $\tilde{B}$ 的元素是: $u_k, u_{k+1}, \dots, u_j$ ,则谓词的值:

$$\sum_{i=k}^L \mu_i / (L - k + 1)。$$

(6) 区间量与随机量的关系谓词 这种谓词的型式是,  $P$  是  $A$ 。其中,  $P = \sum_{i=1}^n P_i / u_i, A = [a, b]$ 。假定在  $A$  区间内  $P$  的元素是:  $u_k, u_{k+1}, \dots, u_L$ , 则谓词 的值为:  $\sum_{i=k}^L P_i$ 。

(7) 模糊量与模糊量的关系谓词 该种谓词的型式是,  $\tilde{A}$  是  $\tilde{B}$ 。假设  $\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}}(u_i) / u_i, \tilde{B} = \sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{B}}(u_i) / u_i$ , 则谓词 的值为:  $1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\mu_{\tilde{A}}(u_i) - \mu_{\tilde{B}}(u_i)|$ 。

(8) 模糊量与随机量的关系谓词 此种谓词的型式是:  $P$  属于  $\tilde{A}$ 。假定  $P = \sum_{i=1}^n P_i / u_i, \tilde{A} = \sum_{i=1}^n \mu_i / u_i$ , 则谓词 值为:  $\sum_{i=1}^n \mu_i P_i$ 。

多证据可信度的合成是求模糊谓词的可信值的前提。假定有  $n$  个证据  $E_1, \dots, E_n$ , 其可信度为  $\alpha_1 \dots \alpha_n, C(E_1, \dots, E_n)$  为  $E_1 \wedge E_2 \dots \wedge E_n$  的可信度。在以往的专家系统中  $C(E_1, \dots, E_n)$

通常取为  $\prod_{i=1}^n \alpha_i$  或取为  $\min_{i=1, n}(\alpha_i)$ , 这二种取法都是欠合理的。我们取  $C(E_1, \dots, E_n) =$

$$\min^{(L)}(\alpha_i), \text{ 其中 } \min^{(L)}(\alpha_i) = \prod_{i=1}^n \alpha_i + \min_{i=1, n}(\alpha_i) \left( \min_{i=1, n}(\alpha_i) - \prod_{i=1}^n \alpha_i \right)^{[1]}$$

谓词  $P(x_1, \dots, x_n)$  在某种情况下有  $k$  个变元, 这  $k$  个变元值的可信度为  $\alpha_1 \dots \alpha_k$ , 则  $P$  值的可信度  $C_P = \min_{i=1, k}^{(L)}(\alpha_i)$ ; 同样,  $P$  的可信谓词值  $CV_P$  取为  $\min^{(L)}(C_P, V)$ , 其中  $V$  为谓词  $P$  的值。

按照扎德的定义, 复合模糊词  $P_1 \wedge \dots \wedge P_n$  的值应取为  $\min_{i=1, n}(CV_{P_i})$ ; 而  $P_1 \vee \dots \vee P_n$  的值应取为  $\max_{i=1, n}(CV_{P_i})$  [2]。这种取法是较粗糙的。我们定义复合模糊谓词取值方式如下:

- (1) 谓词  $\square P: CV_{\square P} = 1 - CV_P$ 。
- (2) 谓词  $P_1 \wedge P_2 \wedge \dots \wedge P_n: CV_{P_1 \wedge \dots \wedge P_n} = \min_{i=1, n}^{(L)}(CV_{P_i})$ 。
- (3) 谓词  $P_1 \vee P_2 \vee \dots \vee P_n: CV_{P_1 \vee \dots \vee P_n} = \max_{i=1, n}^{(L)}(CV_{P_i})$ 。

其中,  $\max_{i=1, n}^{(L)}(CV_{P_i}) = 1 - \min_{i=1, n}^{(L)}(1 - CV_{P_i})$  [1]。

假定一规则的前提可信谓词值为  $CV_0$ , 规则可信度为  $CF$ , 则此规则的匹配度为:  $\min^{(L)}(CV_0, CF)$ , 从而获取结论各元素的匹配度。

### 3 求解方式

决策型专家系统主要采用目标分解式的求解策略处理决策问题。本文模型主要用来处

理单目标决策问题，即最终的决策结果只能是一个。模型系统的粗略求解过程是这样：给定一个问题，首先把根元素作为当前处理元素，求当前元素的相关参数值，并行激发所有相关规则，获得新的元素取代父元素。循环往复，直至元素为终结元素。

处理给定元素时，所有相关规则激发后，一个子元素可能有多个匹配度。元素匹配度的联合方式是

假定元素  $A$  有  $k$  个匹配度  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k$ ;

则取  $A$  的最终匹配度值为  $\tau_c = t(1 + (t-1)(1-2t)) + \sigma^2, t = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \tau_i, \sigma^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\tau_i - t)^2$ 。此种取法是比较合理的。

模型系统的具体决策方式可分为两种，一种是半模糊决策；另一种是完全模糊决策。半模糊决策是系统的决策分多步完成，每处理一个元素进行一次决策，最终的决策结果是通过多次决策获得的。如图 1 所示。当前元素即为当前决策结果；进一步决策时，不考虑当前元素匹配度，选择当前元素的子元素中具有最大匹配度的元素作为新的当前元素；当前元素为终结元素时，该元素即为最终决策结果。

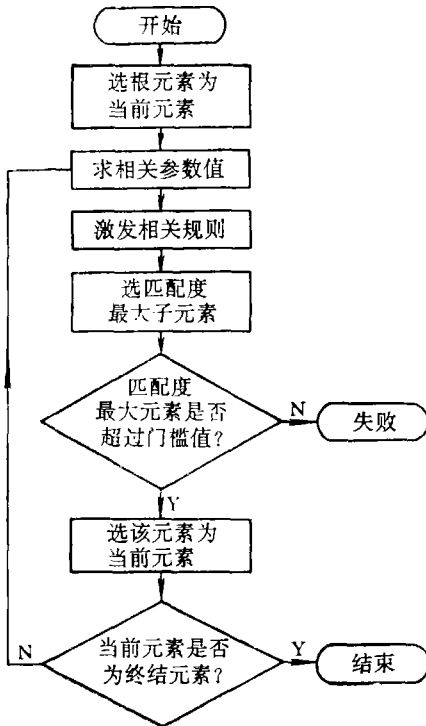


图 1 半模糊决策流程图

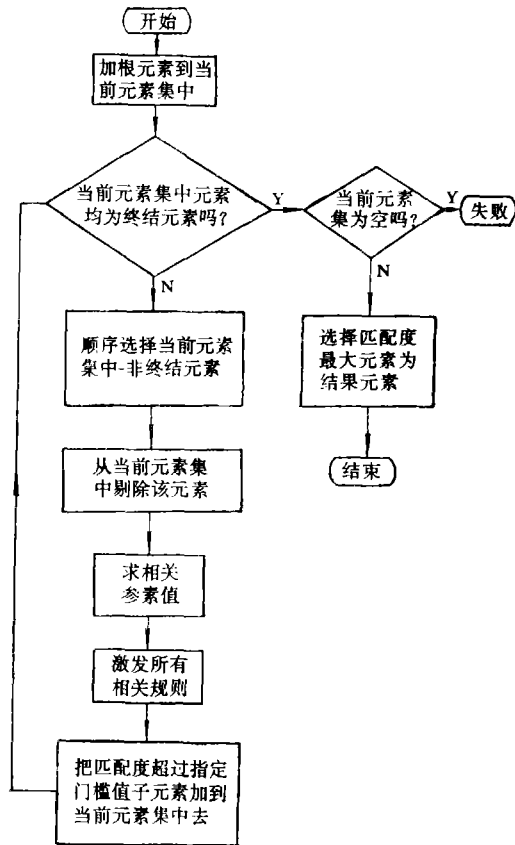


图 2 完全模糊决策流程图

完全模糊决策，是系统的决策在最后进行，由一步完成，前面的元素处理主要是确定

相关元素的匹配度，作决策准备。如图 2 所示。当前元素可有多个，元素的处理是依次循环往复处理当前元素。单个元素的处理过程是，从当前元素集中去掉该元素，把该元素作为各相关规则的一个证据，并行激发所有相关规则获得其各子元素的匹配度，剔除小于指定阈值值的子元素，把余下的子元素加到当前元素集中去；当前元素集中所有元素均为终结元素时，元素处理完成，此时当前元素集中具有最大匹配度的元素即为最终结果。

两种决策方式，各有优缺点，适用于不同的情况。半模糊决策方式，简单，适用于决策模糊性较弱的问题——同父子元素之间差别较明显。完全模糊决策方式，复杂，元素的匹配度计算易造成一定的误差累积。完全模糊决策方式适用于决策模糊性较强的问题——同父子元素之间差别不明显。建造具体的模糊决策专家系统时，应根据要处理问题的类型选择相应合适的决策方式。

### 4 示 例

以锥形压延零件成形方案确定模糊决策专家系统为例（限于篇幅，作一定的简化），展示一下模型系统的具体工作过程。为了简化和方便，我们将假定证据可信度、规则可信度值均为 1。锥形压延件成形方案确定属模糊性较弱的决策问题，所以我们采用半模糊决策作为系统的决策方式。锥形件成形方案确定的决策树如图 3 所示<sup>[3]</sup>。系统的动态库的元素共有 8 个，即 CONEP...RTCP。下面是有关元素的表示及有关规则的形式。

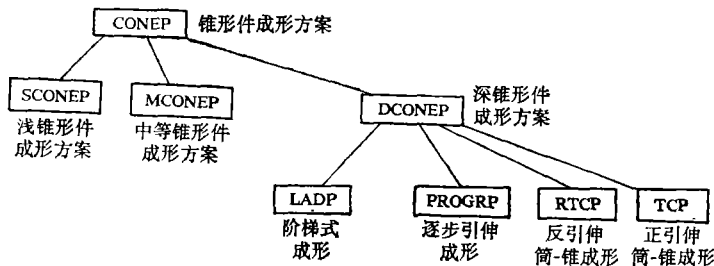


图 3 锥形压延零件成形方案决策树

$$\begin{aligned}
 \text{CONEP} &= \left( \frac{\text{ROOT}}{\text{type}}, \left\{ \frac{\tau_s}{\text{SCONEP}}, \frac{\tau_M}{\text{MCONEP}}, \frac{\tau_D}{\text{DCONEP}} \right\}, \right. \\
 &\quad \left. \{hd\}, \{R_{c_1}, R_{c_2}, R_{c_3}\} \right); \\
 \text{DCONEP} &= \left( \frac{\text{MIDDLE}}{\text{type}}, \left\{ \frac{\tau_L}{\text{LADP}}, \frac{\tau_P}{\text{PROGRP}}, \frac{\tau_T}{\text{TCP}}, \frac{\tau_R}{\text{RTCP}} \right\}, \right. \\
 &\quad \left. \{td, tye, a\}, \{R_{D_1}, R_{D_2}, R_{D_3}, R_{D_4}\} \right);
 \end{aligned}$$

- $R_{c_1}$ : IF  $hd \in CS$  THEN SCONEP CF 1;
- $R_{c_3}$ : IF  $hd \in \widetilde{CM}$  THEN MCONEP CF 1;
- $R_{c_3}$ : IF  $hd \in \widetilde{CD}$  THEN DCONEP CF 1;
- $R_{D_1}$ : IF  $(tye = \text{withoutflange}) \wedge (a \in \widetilde{DS}) \wedge (td \in \widetilde{TC})$  THEN TCP CF 1;

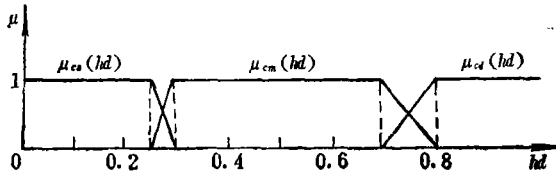


图 4  $\widetilde{CS}$ 、 $\widetilde{CM}$ 、 $\widetilde{CD}$  的隶属函数

表 1 锥形件成形方案决策过程

执行循环	当前元素	子元素	匹配度	决策结果
1	CONEP	SCONEP	0	DCONEP
		MCONEP	0.2	
		DCONEP	0.8	
2	DCONEP	LADP	0	RTCP
		PROGRP	0.3	
		TCP	0.237	
		RTCP	0.637	

$R_{D_2}$ : IF ( $t_{ye} = \text{withoutflange}$ )  $\wedge$  ( $a \in \widetilde{DS}$ )  $\wedge$  ( $td \in \widetilde{TN}$ ) THEN RTCP CF 1;

$R_{D_3}$ : IF  $a \in \widetilde{DG}$  THEN PROGRP CF 1;

$R_{D_4}$ : IF ( $t_{ye} = \text{withflange}$ )  $\wedge$  ( $a \in \widetilde{DS}$ ) THEN LADP CF 1。

其中,  $\tau_s \dots \tau_L \dots$  是子元素匹配度;  $R_{c_1} \dots R_{D_1} \dots$  为相关规则;  $hd$  是锥件相对深度参数;  $t_{ye}$  是锥件凸缘特性;  $td$  是材料相对厚度,  $a$  是锥件顶角;  $\widetilde{CS}$ 、 $\widetilde{CM}$ 、 $\widetilde{CD}$  是浅、中、深模糊集合, 其隶属函数如图 4 所示;  $\widetilde{DS}$ 、 $\widetilde{DG}$  是锥角较小、锥角较大集合, 其隶属函数如图 5 所示;  $\widetilde{TC}$ 、 $\widetilde{TN}$  是料厚、料薄集合, 其隶属函数如图 6 所示。假定给定一锥件其参数  $t_{ye} =$

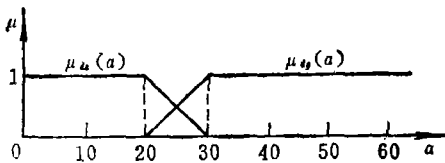


图 5  $\widetilde{DS}$ 、 $\widetilde{DG}$  的隶属函数

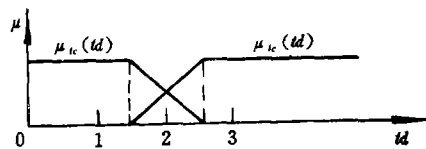


图 6  $\widetilde{TN}$ 、 $\widetilde{TC}$  的隶属函数

$\text{withoutflange}$ ,  $hd = 0.78$ ,  $td = 1.8$ ,  $a = 23^\circ$ ; 则系统选择该锥件的成形方案的过程如表 1 所示。

参 考 文 献

- Leonardo Lesmo. Evidence Combination in Expert Systems, Int J Man-Machine Studies, 1985; (22) 307~326
- 扎德 L A, 陈国权译. 模糊集合、语言变量及模糊逻辑. 北京, 科学出版社, 1982; 23~63
- 薛启翔. 复杂形状零件引伸. 北京, 机械工业出版社, 1989; 84~95