

基于 DFL 的动态模糊专家系统设计

Designing of Dynamic Fuzzy Expert System DFL-Based

张亚红¹ 李凡长²

(淮阴工学院计算机系 淮阴223002)¹ (苏州大学计算机系 苏州215006)²

Abstract Based on the DFL, the concept of dynamic fuzzy expert system is proposed and its structure and method of designing are also discussed.

Keywords Dynamic fuzzy logic, Dynamic fuzzy expert system

1. 引言

由于专家知识在很大程度上带有不确定性,人们开发出了许多基于这种不确定性的专家系统,其中模糊专家系统的研究很引人注目,并取得了一些成果。但我们注意到专家系统中普遍存在着“动态模糊性”的数据,对这些数据采用传统方式进行处理,效果不是很好。本文利用动态模糊逻辑(DFL)的理论,提出了基于 DFL 动态模糊专家系统并给出了 DF 专家系统的结构及设计方法。首先,对 DFL 作简要介绍,然后给出了 DF 专家系统的结构及设计方法。

2. 动态模糊逻辑(DFL)简介

动态模糊逻辑是建立在动态模糊集的基础上的,有关动态模糊集的理论见文[2]。

2.1 DFL 命题逻辑

定义1 一个具有动态模糊性的陈述句称为 DF 命题,用大写字母 A、B、C……表示。

例 “张三很快就会变老了”。就是一个 DF 命题。

定义2 用来度量一个 DF 命题真假用 DF 数 $(\tilde{a}, \tilde{a}) \in [0, 1]$ 来表示,称为该命题的真假度,常用小写字母 $(\tilde{a}, \tilde{a})$ 表示,其中 $(\tilde{a}, \tilde{a}) = \tilde{a}$ 或 $\tilde{a}$, $\max(\tilde{a}, \tilde{a}) = \tilde{a}$, $\min(\tilde{a}, \tilde{a}) = \tilde{a}$ 。

定义3 一个 DF 命题可以看成区间 $[0, 1]$ 上取值的变量,称为 DF 命题变量。

对于 DF 变量 $(\tilde{x}, \tilde{x}), (\tilde{y}, \tilde{y}) \in [0, 1]$ 规定如下运算:

①否定“—”:

$(\tilde{x}, \tilde{x})$ 的否定记为 $(\tilde{x}, \tilde{x})$, 且 $(\tilde{x}, \tilde{x}) \triangleq ((1-\tilde{x}), (1-\tilde{x}))$

②析取“V”:

$(\tilde{x}, \tilde{x}) \vee (\tilde{y}, \tilde{y}) \triangleq \max((\tilde{x}, \tilde{x}), (\tilde{y}, \tilde{y}))$

③合取“^”:

$(\tilde{x}, \tilde{x}), (\tilde{y}, \tilde{y}) \triangleq \min((\tilde{x}, \tilde{x}), (\tilde{y}, \tilde{y}))$

④条件“→”:

$(\tilde{x}, \tilde{x}) \rightarrow (\tilde{y}, \tilde{y}) \triangleq (\tilde{x}, \tilde{x}) \vee (\tilde{y}, \tilde{y}) \triangleq \max((\tilde{x}, \tilde{x}), (\tilde{y}, \tilde{y}))$

⑤双条件“↔”:

$(\tilde{x}, \tilde{x}) \leftrightarrow (\tilde{y}, \tilde{y}) \triangleq \min(\max((\tilde{x}, \tilde{x}), (\tilde{y}, \tilde{y})), \max((\tilde{x}, \tilde{x}), (\tilde{y}, \tilde{y})))$

定义4 DF 命题运算公式可定义为:

①单个 DF 命题变元本身是一个合式公式;

②如果 $(\tilde{x}, \tilde{x})P$ 是一合式公式,那么 $(\tilde{x}, \tilde{x})P$ 也是合式公式;

③如果 $(\tilde{x}, \tilde{x})P$ 和 $(\tilde{x}, \tilde{x})Q$ 是合式公式,那么 $(\tilde{x}, \tilde{x})P \vee (\tilde{y}, \tilde{y})Q, (\tilde{x}, \tilde{x})P \wedge (\tilde{y}, \tilde{y})Q, (\tilde{x}, \tilde{x})P \rightarrow (\tilde{y}, \tilde{y})Q, (\tilde{x}, \tilde{x})P \leftrightarrow (\tilde{y}, \tilde{y})Q$ 都是合式公式。

④当且仅当有限次地应用①、②、③所得到的命题变元联结词和括号的符号串是合式公式。

DFL 的主要公式有:

幂等律: $(\tilde{x}, \tilde{x})A \vee (\tilde{x}, \tilde{x})A = (\tilde{x}, \tilde{x})A$

$(\tilde{x}, \tilde{x})A \wedge (\tilde{x}, \tilde{x})A = (\tilde{x}, \tilde{x})A$

交换律: $(\tilde{x}, \tilde{x})A \vee (\tilde{y}, \tilde{y})B = (\tilde{y}, \tilde{y})B \vee (\tilde{x}, \tilde{x})A$

$(\tilde{x}, \tilde{x})A \wedge (\tilde{y}, \tilde{y})B = (\tilde{y}, \tilde{y})B \wedge (\tilde{x}, \tilde{x})A$

结合律: $(\tilde{x}, \tilde{x})A \vee (\tilde{y}, \tilde{y})B \vee (\tilde{z}, \tilde{z})C = ((\tilde{x}, \tilde{x})A \vee (\tilde{y}, \tilde{y})B) \vee (\tilde{z}, \tilde{z})C$

$(\tilde{x}, \tilde{x})A \wedge (\tilde{y}, \tilde{y})B \wedge (\tilde{z}, \tilde{z})C = ((\tilde{x}, \tilde{x})A \wedge (\tilde{y}, \tilde{y})B) \wedge (\tilde{z}, \tilde{z})C$

吸收律: $(\tilde{x}, \tilde{x})A \vee ((\tilde{x}, \tilde{x})B \wedge (\tilde{x}, \tilde{x})A) = (\tilde{x}, \tilde{x})A$

$(\tilde{x}, \tilde{x})A \wedge ((\tilde{x}, \tilde{x})B \vee (\tilde{x}, \tilde{x})A) = (\tilde{x}, \tilde{x})A$

德·摩根定律: $(\tilde{x}, \tilde{x})A \wedge (\tilde{y}, \tilde{y})B =$

$(\tilde{x}, \tilde{x})A \vee (\tilde{y}, \tilde{y})B$

$(\tilde{x}, \tilde{x})A \vee (\tilde{y}, \tilde{y})B = (\tilde{x}, \tilde{x})A \wedge (\tilde{y}, \tilde{y})B$

常用运算律: $A \vee (\tilde{x}, \tilde{x})A = A$

$$\bar{A} \vee (\bar{x}, \bar{x}) A = (\bar{x}, \bar{x}) A$$

$$\bar{A} \wedge (\bar{x}, \bar{x}) A = \bar{A}$$

$$A \wedge (\bar{x}, \bar{x}) A = (\bar{x}, \bar{x}) A$$

2.2 DFL 的谓词演算

定义5 DFL 谓词公式递归定义:

①原子(一阶谓词符号)是公式。

②若 G, H 是公式, T 是 DF 的真值指派值, $(\bar{x}, \bar{x})$ 是 DFL 中的自由变量, 则 $\bar{G}, G \vee H, G \wedge H, G \rightarrow H, G \leftrightarrow H, (\bar{x}, \bar{x}) G, (\forall (\bar{x}, \bar{x}) G), (\exists (\bar{x}, \bar{x}) G)$ 是公式。

③DFL 中所有公式为有限次使用①、②后产生的符号串。

定义6 DFL 中公式 G 的一个解释 I 由非空域 U 和如下规则组成:

①对于 G 中每个变量符号指定 U 中一个 DF 元素;

②对 G 中每个 n 元函数符号指定映射 $U \xrightarrow{T} D$;

③对 G 中每个 n 谓词符号指定映射 $D \xrightarrow{T} B$ 。其中 B 是 DF 原子量, 根据这些定义, 下面列出一些能反应 DFL 谓词系统的性质。

性质1 $(\bar{T}, \bar{T}) \forall (\bar{x}, \bar{x}) G = (\bar{1} - \bar{T}, \bar{1} - \bar{T}) \forall (\bar{x}, \bar{x}) G = (\bar{T}, \bar{T}) \exists (\bar{x}, \bar{x}) G$

性质2 $(\bar{T}, \bar{T}) G = (\bar{1} - \bar{T}, \bar{1} - \bar{T}) G$

性质3 $(\bar{T}, \bar{T}) \forall (\bar{x}, \bar{x}) G = (\bar{T}, \bar{T}) (\forall (\bar{x}, \bar{x}) G)$

$(\bar{T}, \bar{T}) \exists (\bar{x}, \bar{x}) G = (\bar{T}, \bar{T}) (\exists (\bar{x}, \bar{x}) G)$

性质4 设 H 中不含自由变量, 则:

① $\forall (\bar{x}, \bar{x}) G(\bar{x}, \bar{x}) \vee H = \forall (\bar{x}, \bar{x}) (G(\bar{x}, \bar{x}) \vee H)$

② $\exists (\bar{x}, \bar{x}) G(\bar{x}, \bar{x}) \vee H = \exists (\bar{x}, \bar{x}) (G(\bar{x}, \bar{x}) \vee H)$

③ $\forall (\bar{x}, \bar{x}) G(\bar{x}, \bar{x}) \wedge H = \forall (\bar{x}, \bar{x}) (G(\bar{x}, \bar{x}) \wedge H)$

④ $\exists (\bar{x}, \bar{x}) G(\bar{x}, \bar{x}) \wedge H = \exists (\bar{x}, \bar{x}) (G(\bar{x}, \bar{x}) \wedge H)$

性质5

① $\forall (\bar{x}, \bar{x}) G(\bar{x}, \bar{x}) \wedge \forall (\bar{x}, \bar{x}) H(\bar{x}, \bar{x}) = \forall (\bar{x}, \bar{x}) (G(\bar{x}, \bar{x}) \wedge H(\bar{x}, \bar{x}))$

② $\exists (\bar{x}, \bar{x}) G(\bar{x}, \bar{x}) \vee \exists (\bar{x}, \bar{x}) H(\bar{x}, \bar{x}) = \exists (\bar{x}, \bar{x}) (G(\bar{x}, \bar{x}) \vee H(\bar{x}, \bar{x}))$

③ $\exists (\bar{x}, \bar{x}) G(\bar{x}, \bar{x}) \vee \forall (\bar{y}, \bar{y}) H(\bar{y}, \bar{y}) = \exists (\bar{x}, \bar{x}) \forall (\bar{y}, \bar{y}) (G(\bar{x}, \bar{x}) \vee H(\bar{y}, \bar{y}))$

④ $\exists (\bar{x}, \bar{x}) G(\bar{x}, \bar{x}) \wedge \exists (\bar{y}, \bar{y}) H(\bar{y}, \bar{y}) = \exists (\bar{x}, \bar{x}) \exists (\bar{y}, \bar{y}) (G(\bar{x}, \bar{x}) \wedge H(\bar{y}, \bar{y}))$

3. 动态模糊专家系统结构

一个基于规则的 DF 专家系统可由六个部分组成: 人机接口、学习模块、动态模糊知识库、动态模糊数据库、动态模糊推理机、解释模块等, 如图1所示。

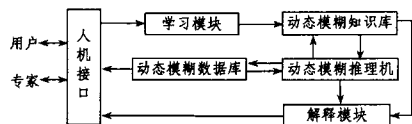


图1

·人机接口 这是 DF 专家系统与领域专家或知识工程师或一般用户间的界面, 用于完成输入输出工作, 输入的系统初始信息可以是随机的、模糊的亦或是动态模糊的等不确定信息。

·学习模块 在 DF 专家系统中, 学习模块的主要功能是接受领域专家的自然语言形式描述的领域知识, 将之转换成标准的规则或事实表达形式, 存入 DF 知识库。

·动态模糊知识库 DF 知识库中存放由领域专家总结出来的与特定问题求解领域相关的事实与规则。与一般专家系统知识库有所不同的是这些事实与规则可以是动态模糊的或不完全可靠的, 这通常要求为各事实附上一个动态可信程度标志, 并为各规则附上一个强度标志。DF 知识库为 DF 推理机提供求解问题所需的知识。

·动态模糊推理机 DF 推理机是 DF 专家系统的核心。它根据 DF 数据库的当前内容, 利用 DF 知识库中的不确定性知识, 按一定 DF 推理方法和控制策略进行推理, 较好地处理要解决的问题, 并给出恰当的结论。

·动态模糊数据库 它用于存放用户提供的初始信息、系统推理过程中得到的中间信息、最终结论信息, 这些信息可以是不确定的、动态模糊的。

·解释模块 能够对系统的行为作出解释, 回答用户提出的问题等。它是通过跟踪和记录推理过程实现的, 最终把解答用约定的形式通过人机接口输出给用户。

4. 动态模糊专家系统设计

下面就 DF 专家系统的主要部分给出其设计方法或思想。

4.1 动态模糊专家系统中知识表示方法

4.1.1 动态模糊产生式系统

由于传统产生式系统不便于处理动态模糊问题, 这里我们采用动态模糊产生式系统, 它由动态模糊(全局)数据库、动态模糊规则库和动态模糊规则

解释器组成。

动态模糊规则是将传统规则 DF 化, 可以从以下方面进行:

①前提条件 DF 化: 在规则前提条件中引入 DF 谓词和 DF 状态量词来表达 DF 关系和 DF 状态, 并定义一种 DF 匹配原则。

②动作或结论 DF 化: 使规则的动作或结论具有一种 DF 度 ($\tilde{a}, \tilde{a}$) 或结论本身就是一个 DF 谓词或一种 DF 状态或动作本身就是一种带有 DF 性的动作以操作 DF 数据库中 DF 数据。

③设置规则激活阈值 ($\tilde{\tau}, \tilde{\tau}$)。当前提条件的匹配度大于或等于 ($\tilde{\tau}, \tilde{\tau}$) 时, 规则才被激活。

④设置规则的可信度 ($\tilde{CF}, \tilde{CF}$), 以确定的可信度来反映 DF 规则的可信程度, 它将在推理中以某种方式影响结论或动作的可信度。

4.1.2 DF 规则和 DF 数据的表示方法

首先, 给出几种 DF 命题的表示方法

① $P = [P' = (A(x) \text{ is } D), (\tilde{t}, \tilde{t})]$

其中, P 是一个 DF 命题, x 是对象名, A 是 x 的属性命名, D 是确定性状态表达, $P' = (A(x) \text{ is } D)$ 是 P 的相应的确定性命题, $(\tilde{t}, \tilde{t})$ 是用 P' 来表达 P 的 DF 度。

② $P = [A(\tilde{x}, \tilde{x}) \text{ is } \pi(\tilde{t}, \tilde{t})]$

其中, $\pi(\tilde{x}, \tilde{x})$ 为 $A(\tilde{x}, \tilde{x})$ 的隶属度函数。

③ $P = [P' = (A(\tilde{x}, \tilde{x}) \text{ is } \pi(\tilde{x}, \tilde{x})), (\tilde{t}, \tilde{t})]$

其中, $(\tilde{t}, \tilde{t})$ 表示用 P' 来表达 P 的 DF 度。

依据 DF 命题的表示方法, 一个动态模糊产生式规则 $IF(P_1, P_2, \dots, P_m)$

$THEN(Q_1, Q_2, \dots) WITH(\tilde{CF}, \tilde{CF})$ 可表示为

$IF[(P'_1, f_1, (\tilde{t}_1, \tilde{t}_1)) AND (P'_2, f_2, (\tilde{t}_2, \tilde{t}_2))$

$AND \dots AND (P'_m, f_m, (\tilde{t}_m, \tilde{t}_m))] THEN$

$[(Q'_1, g_1, (\tilde{S}_1, \tilde{S}_1)), (Q'_2, g_2, (\tilde{S}_2, \tilde{S}_2)), \dots] WITH$

$(\tilde{CF}, \tilde{CF})$

其中, $P_1, P_2, \dots, P_m$ 表示规则中的各动态模糊前提条件, $Q_1, Q_2, \dots$ 表示规则中的动态模糊结论及动作, $(\tilde{CF}, \tilde{CF})$ 表示规则强度, $P'_1, P'_2, \dots, P'_m$ 是 $P_1, P_2, \dots, P_m$ 相应的确定性表达, $Q'_1, Q'_2, \dots$ 是 $Q_1, Q_2, \dots$ 相应的确定性表达, $f_1, f_2, \dots, f_m$ 是用 $P_1, P_2, \dots, P'_m$ 表达 $P_1, P_2, \dots, P_m$ 时的状态可能性分布, $(\tilde{t}_1, \tilde{t}_1), (\tilde{t}_2, \tilde{t}_2), \dots, (\tilde{t}_m, \tilde{t}_m)$ 是用 $(P'_1, f_1), (P'_2, f_2), \dots, (P'_m, f_m)$ 表达 $P_1, P_2, \dots, P_m$ 时的 DF 度。

4.2 动态模糊推理

这里只给出一些动态模糊推理规则:

①连接规则 (Connection law)

其模式为:

X	is	A
Y	is	B
(X, Y)		$A \cap B$

②笛卡尔集乘积规则 (Cartesian Sets rule)

其模式为:

X	is	A
Y	is	B
(X, Y)		$A * B$

③投影规则 (Rule of projection)

其模式为:

(X, Y)	is	R
X	is	$Proj * R$

其中的变量 X, Y 各自的域为 $U, V, Proj_X * R$ 表示 DF 关系 R 在 U 上的投影。定义: $\mu_{Proj_X R}(\mu) = \bigvee_{u \in U, v \in V} \mu_R(u, v)$ 式中的 $\mu_R(u, v)$ 为 DF 关系 R 的隶属函数。

④合成规则 (Law of Composition)

其模式为:

X	is	A
(X, Y)	is	B
Y	is	$A \circ B$

⑤继承规则 (Law of Succession)

其模式为:

X	is	A
$AC \subset B$		
X	is	B

⑥等价规则 (Law of equivalence)

其模式为:

X	is	A
$AC \subset B$		
X	is	B

⑦假言推理规则 (Law of modus ponens)

其模式为:

	X	is	A			
if	X	is	B	then	Y	is C
Y		is	$A \cdot (\neg B \oplus C)$			

$\neg B$ 表示 B 的补运算, $\oplus$ 定义为:

$\mu_{\neg B \oplus C}(u, v) = 1 \wedge (1 - \mu_B(u) + \mu_C(v))$

⑧扩展推理 (Expanding Law)

其模式为:

X	is	A
$f(X)$	is	$f(A)$

⑨拓扑推理 (Topological Law)

设 $X \Rightarrow Y, VCB X \supset Y$

(下转第141页)

AddToReflectLib(Reflect)
End.

上述算法描述中, training 是训练, 可以是环境或人工训练. NewReflect 函数返回 Agent 通过训练形成新的反射, AddToReflectLib 是把新形成的反射添加到反射库中。

2.2.2 条件反射的消退

对已形成的条件反射, 如反复只给予条件刺激而不给予非条件刺激强化时, 反射活动的量将逐渐减少, 最后可不出反应, 这一现象称条件反射的消退. 条件反射的消退的算法描述如下:

```
procedure Fadeaway(Reflect)
begin
  if (premium(Reflect) < PREMIUM_VALUE) then
    /* PREMIUM_VALUE 为设定的奖赏值 */
    reduce coefficient /* reflect 的系数, 描述 Reflect 的效用 */
    if (coefficient = 0) then
      RemoveFromReflectLib(Reflect)
    Endif
  Endif
End.
```

上述算法描述中, premium 返回 Reflect 的奖赏值, 如果返回的奖赏值小于应有的奖赏值, 则减小 Reflect 的系数. 如果系数为 0, 则把 Reflect 从反射库中删除。

2.2.3 条件反射的分化和泛化

在条件反射形成的初期, 除条件刺激本身外那

些与该条件刺激相近似的刺激也在一定程度上具有刺激作用。

如果 $C \rightarrow A$, 通过训练使对于任意 $x, x \in [a, b]$ ($C \in [a, b]$) $\rightarrow (x \rightarrow A)$ 成立, 这就称为条件反射的泛化。

如果对于任意 $x, x \in [a, b] \rightarrow (x \rightarrow A)$ 成立, 通过训练使 $x = C$ ($C \in [a, b]$) $\rightarrow (x \rightarrow A)$ 成立, $x \neq C$ ($C \in [a, b]$) $\rightarrow (x \rightarrow A)$ 不成立, 这就称为条件反射的分化。

反射经过泛化或分化后将更新到反射库中去. 这样 Agent 可以更好地适应环境。

小结 本文借用生理学的基本知识, 提出了 Agent 的生理模型, 进一步丰富 Agent 的基本内容。

参考文献

- 1 Brooks R. Intelligence without reason. IJCAI-91, Sydney, Australia, 1991. 569~595
- 2 Sloman A. What sort of architecture is required for a human-like agent?
- 3 颜跃进, 等. 多 Agent 系统体系结构. 计算机科学, 2001, 28(5): 78~80
- 4 史忠植. 智能主体及其应用. 科学出版社, 2000
- 5 李鸿勋, 贾秉钧, 余安清, 等. 生理学. 河南医科大学出版社

(上接第165页)

$$D(\bar{X}/\bar{Y}) = I(\bar{Y})/I(\bar{X})$$

⑩归纳推理(Comparison reasoning)

其模式为:

$$\text{若 } X \Rightarrow Y_1 \cap Y_2, \text{ 即 } X \supset Y_1 \cup Y_2$$

$$D(X/Y_1 \cap Y_2) = D((X/Y_1) + \frac{Y_2/Y_1}{I(X)})$$

⑪对比推理(Comparison reasoning)

$$\text{设 } X \Rightarrow Y_1, X \Rightarrow Y_2$$

$$\text{则 } X \supset Y_1 \cup Y_2$$

$$I(X - \bar{Y}_1) \leq \varepsilon$$

$$D(\bar{Y}_1/\bar{Y}_2) \geq 1 - \frac{\varepsilon}{I(\bar{Y}_2)}$$

⑫逆反推理(Backward reasoning)

如果 Y_1, Y_2 是似然逆反的, 即 $I(Y_1 \cap Y_2) \leq \varepsilon$

$$\text{则 } P(\bar{Y}_2/\bar{Y}_1) \leq \frac{\varepsilon}{I(\bar{Y}_1)}, D(\bar{Y}_2/\bar{Y}_1) \leq \frac{\varepsilon}{I(\bar{Y}_1)}$$

⑬似然推理(Likelihood inference)

若 $D(X/\bar{Y}) \leq 1 - \varepsilon$, 称 Y 可以似然推出 X , 记作

$$Y \stackrel{L}{\Rightarrow} X$$

$$\text{若 } Y_1 \stackrel{L}{\Rightarrow} Y_2, Y_1 \stackrel{L}{\Rightarrow} X, X \stackrel{L}{\Rightarrow} Y_2 \text{ 则 } Y_1 \stackrel{L}{\Rightarrow} X$$

(14)拟合推理(Fitting reasoning)

前提 P_1 : if X is A then Y is B

前提 P_2 : if f is A then I is B

要推出 if f is X then I is y

对前提 P_2 进行改进即构造:

$$\varphi_1(\omega) \rightarrow A$$

$$\varphi_2(\omega) \rightarrow B$$

设法拟合出:

$$\varphi_1(x) = \varphi_1(f) \in A$$

$$\varphi_2(y) = \varphi_2(z) \in B$$

于是前提 P_2 更换为:

$$\text{if } \varphi_1(f) = \varphi_1(x) \text{ is } A \text{ then } \varphi_2(z) = \varphi_2(y) \text{ is } B$$

所以推出:

$$\text{if } f \text{ is } X \text{ then } I \text{ is } y$$

这些推理规则要用于动态模糊推理, 需要进行 DF 化, 这里不再赘述。

结论 本文首先介绍了动态模糊逻辑, 在此基础上提出了动态模糊专家系统, 并给出了动态模糊专家系统的结构及设计方法. 由于动态模糊专家系统仍处于研究的初级阶段, 很多问题需要人们进一步的研究。

参考文献

- 1 李凡长, 朱维华. 动态模糊逻辑及其应用. 云南科技出版社, 1997
- 2 李凡长. 动态模糊集及其应用. 云南科技出版社, 1997
- 3 陈世福, 陈兆乾. 人工智能与知识工程. 南京大学出版社, 1997
- 4 刘增良, 刘有才. 模糊专家系统原理与设计. 北京航空航天大学出版社, 1996
- 5 杨炳儒. 知识工程与知识发现. 冶金工业出版社, 2000