

75-78 模糊控制与灰色模型混合推理机制及其应用*

郭建明 蒲春生 徐英卓

(西安石油学院钻井信息中心 西安 710061)

TP13 TP18

摘要 In this paper, a new nondeterministic propagation algorithm, as called GF algorithm, was developed by the use of grey and fuzzy theory. With this new algorithm the decision analysis problem of the intelligent system with a large number of unnumerical, nondeterministic, uncomplete, unexact, fuzzy and multivalued factors was well solved through the combination. The principle of the GF algorithm and its implement process were introduced.

关键词 Nondeterministicity, Fuzzy theory, Grey system theory, Propagation algorithm.

1. 引言

不精确推理是人工智能中的一个重要问题,其目的是要寻求一种形式化的方法,能表达各种不精确知识,能有效地利用这些知识进行推理,同时计算过程简单易于实现,现在已经提出了许多方法,质的区分可以划分为两大类,即外延的(Extensional)与内涵的(Intensional)两种。目前,还没有一种方法能使二者得到很好的结合。在油气勘探、开发领域中存在大量复杂的和不确定性的因素,所收集和获取的信息多数是非数值型的,不精确的,不完善的,模糊的,甚至是多义的。在处理这些复杂信息过程中,为了克服以往方法的不足,我们把模糊数学、概率论和灰色理论相结合,首先根据实际领域的特征,确立不确定和模糊性领域知识的表示模式,从模糊理论的角度表示内涵明确,外延不明确的决策对象,建立模糊控制传播算法,在计算传播过程中,当数据与信息不完全确知(既部分知道、部分不知道),再通过灰色理论处理内涵不明确,外延不明确的决策对象,并通过一个标准知识库将灰的内涵转化为白的内涵,建立灰色算法模型,并由此开发出了“保护储集层综合集成智能化系统—IEDPTFD”,文中介绍了GF算法的基本原理和实现步骤,并给出了应用实例。

2. 模糊知识的表示

在一个决策分析中,含有的不确定和模糊

成份包括三种情况,前提(证据)不确定与模糊,知识不确定与模糊和结论不确定和模糊。基于规则的知识用BNF描述如下:

规则 ::= (前提) → (后件) (静态强度 RC)

前提 ::= (前提) AND (证据) AND ... (证据) | (证据) OR (证据) OR ... OR (证据) | ((证据) AND ... AND (证据)) OR (证据) OR ... OR (证据) | (证据) AND ... AND ((证据) OR ... OR (证据))

→ ::= 表示推出

后件 ::= (结论) | (结论) & ... & (结论)

静态强度 ::= → 一个实数 $RC \in [0, 1]$

证据 ::= (断言, 可靠度, 重要度)

结论 ::= (断言, 可信度)

可靠度 ::= 一个实数 $\in [-1, 1]$

可信度 ::= 一个实数 $\in [-1, 1]$

重要度 ::= 一个实数 $\in [-1, 1]$

断言 ::= (因素, 判别符, 因素值)

因素 ::= 领域问题中的决策参数

判别符 ::= 包括 (=) | (<) | (>) | (<=) | (>=)

.....

因素值 ::= 决策参数的区间值

其中,静态强度或规则强度、重要度、可靠度和可信度具体表征了证据、知识和结论的不确定性和模糊性。

按照上述知识表示形式对领域知识进行分解结

*)国家 863 高科技项目研究课题, No. 863-306-04-10-1.

构和分类层次,将过程系统表达成一个极其复杂的树状结构,系统的决策推理过程实际上是分解/分类树的剪枝过程,为了能够充分表示不同层次的知识,我们把目标的证据分为:充分证据、必要证据、重要证据和辅助证据。

上述表示模式中的规则强度和证据的重要度是由领域专家提供的,而证据的可靠度由用户以模糊谓词的方式给出。我们把模糊谓词定义为“语言真值”命题函数,“语言真值”用 $[0,1]$ 上的模糊子集表示,它们在语义上表示一种真假的程度。语言真值与模糊子集的对应关系如下:

序号	语言真值(选择项)	模糊子集	含义
1	全真	1.0	肯定是
2	很真	0.9-1.0	是
3	相当真	0.8-0.9	很可能是
4	比较真	0.7-0.8	可能是
5	不太真	0.6-0.7	也许是
6	不真不假	0.5-0.6	说不定
7	不太假	0.4-0.5	也许不是
8	比较假	0.3-0.4	不大可能是
9	相当假	0.2-0.3	不可能是
10	很假	0.1-0.2	不是
11	全假	0.0-0.1	绝对不是

为了提高推理速度,在推理网络中的每一层都有一个阈值 AF,其推理网络组成如图 1 所示。

3. 模糊逻辑与模糊算法

不确定推理过程是由初始证据的重要度、可信度和静态强度更新结论可信度的过程。每一层的目标(或中间目标)相互制约,不断重复这个过程,直到得出最终结论为止,并得到相应的可信度值。

关于不确定性的传播算法有多种,不同的专家系统所使用的方法也各不相同。本系统采用的算法如下:

3.1 AND 结点的算法

CF(H)由下式给出:

$$CF(H) = \begin{cases} 0 & \text{若 } CF_k = 0, \quad k=1,2,\dots,n \\ RC \times \prod_{k=1}^n CF_k \times IM_k & \text{否则} \end{cases} \quad (1)$$

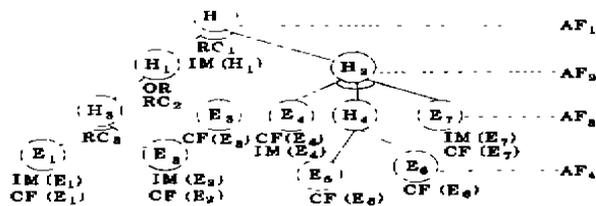


图 1 不精确推理网络示意图

3.2 OR 结点的算法

CF(H)由下式给出

$$CF(H) = RC(CF_1 + CF_2) - CF_1 CF_2 RC^2 \quad (2)$$

3.3 两条类规则的同—结论的算法

(1)两规则之间的关系为逻辑“与”,若有类规则 1,类规则 2 的结论都为 H,则有:

$$CF(H) = CF_1 + CF_2 - CF_1 \times CF_2 \dots \quad (3)$$

其中:CF₁——为类规则 1 对结论 H 的影响;CF₂——为类规则 2 对结论 H 的影响。它们由下式计算:

$$CF_1(H) = RC_1(CF_1 \times IM_1 + CF_2 \times IM_2) \quad (4)$$

$$CF_2(H) = RC_2(CF_3 + CF_4) - CF_3 \times CF_4 \times RC_2^2 \quad (5)$$

公式(4)和(5)显然满足结合律,若前提证据超过 2 个,可以任意选择两个进行计算,而后再与第三个结合计算,其余类推。

(2)两类规则之间的关系为逻辑“或”,若有类规则 1,类规则 2 的结论都为 H,则有:

$$CF(H) = \max(CF(H_1), CF(H_2)) \quad (6)$$

4. 灰色计算模型

在引起某条结论的证据中,有一部分证据为白数,而另外的证据则为灰数,因此,必须进行灰色传播计算。

基于灰色理论的遗传算法模型如下:

1)遗传灰系统的模式识别。为了获得某个结论,需要调用知识库中与之相应的规则和相应的证据,而根据领域知识,不同结论所要用的规则数和证据数不尽相同,因此,在进行灰色推理之前,采用模式识别的方法进行遗传灰系统的模式识别,为灰系统的遗传传播奠定基础。

2)基于灰色理论的遗传算法模型。把灰色系统理论应用于不完全确知性信息的决策处理,使得 GF

算法具有更广泛的应用。

灰色系统的特点是内部系统部分清楚、部分未知,信息之间没有确定的映射关系。而且灰色系统认为任何随机过程都在一定范围内变化,有其潜在的规律性。对于系统因素很多,各种因素关系不清、影响不明的情况,通过灰色系统理论的方法,使关系量化、序化,这就是因素关系的白化过程;另外,对于抽象的因素、现象,通过对应量(或称映射量),使其数据化、量化,这个叫做抽象到数量的白化,这在灰色系统理论中称为灰映射。

实际作灰色多元加权分析处理时,由于采用数据列量及其单位初值不同,一般采用矩阵作数据列伸缩处理后,再对系统包含的各种因素(非时间序列,单位量纲不同)做标准归一化处理,使之无量纲化、等权化。

指定标准化后的地层敏感性数据列 a_{ij} 、被考察数列 b_j 和权值数据列 $y(j)$ 表示为:

$$a_{ij} = \{a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, \dots, a_{in}\}$$

$$b_j = \{b_{1j}, b_{2j}, b_{3j}, \dots, b_{mj}\}$$

$$y(j) = \{y(1), y(2), y(3), \dots, y(n)\}$$

其中 $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n$

可列出矩阵 $R(1)$:

$$R(1) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nj} \end{pmatrix}$$

矩阵 $R(1)$ 中元素代表敏感性级别及待评价数列,列元素为敏感性影响参数。然后利用加权放大技术,得出关联系数:

$$P_{(ij)} = \frac{\min_i \min_j |a_{ij} - b_j| + \rho \max_i \max_j |a_{ij} - b_j|}{|a_{ij} - b_j| + \rho \max_i \max_j |a_{ij} - b_j|}$$

上式中: $|a_{ij} - b_j| = \Delta_{(ij)}$ 为 a_{ij} 与 b_j 在第 k 点的灰色加权关联系数; $\Delta_{(ik)}$ 为第 k 点 a_{ij} 与 b_j 的标准指标绝对差; $\min_i \min_j |x_{(ik)} - x_{(jk)}|$ 为标准指标两级最小差, $\max_i \max_j |x_{(ik)} - x_{(jk)}|$ 为标准指标两级最大差; $Y(k)$ 为第 i, j, k 点(评价参数号)的权值, ρ 为灰色分辨系数,它在 $[1/[2(e-1)], 1/2]$ 内取值,关联度具有最大信息量和最大信息分辨率,一般经验取 0.5

为好。

从而可以得出灰色多元相关序列:

$$P_{(ij)} = \{P_{(i1)}, P_{(i2)}, P_{(i3)}, \dots, P_{(in)}\}$$

由于系数较多,信息分散,不便于优选,可作均值化处理:

$$P_i = \sum_{j=1}^n P_{(ij)} / N \quad \text{其中} \quad \sum_{j=1}^n Y(j) = 1$$

于是可得灰色关联列矩阵:

$$R(p) = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_n)$$

最后,利用最大隶属原则 $P_{max} = \max(p_i)$, 与评价等级相映照便可得不确知数据信息。

在推理过程中,根据决策信息的类型和数量可分别选用两种不同的计算模型,模糊控制贯穿整个推理过程,当数据与信息不完全确知时,调用灰色计算模型,充分证据、必要证据、重要证据和辅助证据的不确定推理控制流程如图 2 所示。

5. 应用实例

近两年,我们和塔里木油田合作开发了“保护储集层综合集成智能化系统”,系统的知识处理部分为专家系统群,各子专家系统决策问题的类型不同,其推理机制也有所不同,但在处理不确定性、模糊性和不完整性信息时,均以不同方式采用了上述 GF 传播算法。

在此,举例说明灰色多元加权综合分析方法在评价储集层潜在敏感性过程中的应用。灰色多元加权综合分析方法评价地层敏感性,是把地层敏感性看做一个包含着已知因素(如敏感性评价参数,统计出的评价标准和参数权数)和未知因素(敏感性强弱程度)的灰过程,从而建立起多参数地层敏感性评价的灰色量自动分析数学模型,然后用 GF 传播算法模型进行评价和预测储层的水敏,速敏和酸敏。

(1)水敏性评价考虑了以下几个方面的因素:粘土矿物含量(%),水敏性矿物含量(%),产状、渗透率、埋藏深度,以此为依据建立了标准的水敏性评价矩阵。

(2)速敏性评价考虑了以下几个方面的因素:粘土矿物含量(%),速敏性矿物含量(%),产状、渗透率、碳酸盐含量(%),埋藏深度,以此为依据建立了标准的速敏性评价矩阵。

(3)酸敏性评价考虑了以下几个方面的因素:粘土矿物含量(%),酸敏性矿物含量(%),产状、渗透率、埋藏深度、碳酸盐含量(%),以此为依据建立了

标准的酸敏性评价矩阵。

符合现场实际。

通过塔中4井石炭系实际检验,评价结果完全

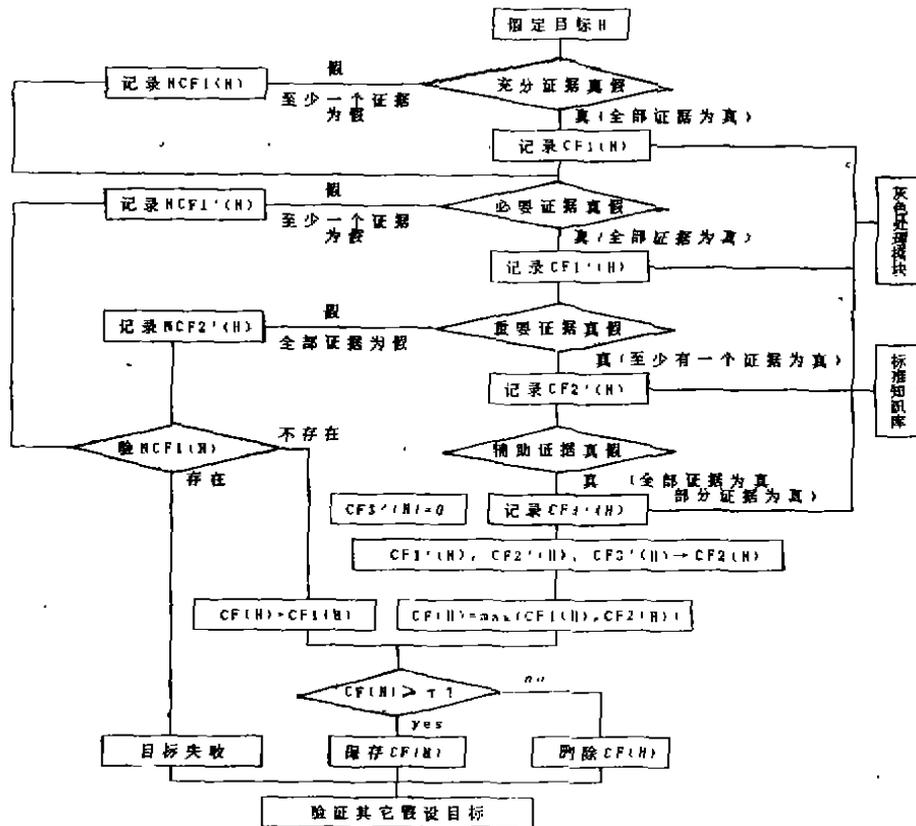


图2 GF不确定推理控制流程图

主要参考文献

[1] 史忠植等,《知识工程》,清华大学出版社,1988
 [2] 傅京孙,蔡自兴,徐光祐,《人工智能及其应用》,1987
 [3] 何新贵,《知识处理与专家系统》,国防工业出版社,1990
 [4] 赵瑞清,“类规则表示及其不准确推理算法”,《计算机科学》,1989.5
 [5] 张绍槐,罗平亚等,《保护储集层技术》上、下

册,西南石油学院钻井技术中心,1990
 [6] L. Alegne, Applicability of Expert Systems to Diagnose Formation Damage Problems: A Progress Report, SPE17460
 [7] Jiali Ge, Zhian Luan, Knowledge Acquisition and Reasoning in Formation Damage Analysis for Oil Reservoir Engineering, Conf. on Artificial intelligence in Petroleum Exploration and Production, 1989