

基于模糊知识的混合推理技术研究与应用

张红艳^{1,2}, 李 森¹

ZHANG Hong-yan^{1,2}, LI Miao¹

1.中国科学院 合肥智能机械研究所,合肥 230031

2.中国科学技术大学 信息科学技术学院,合肥 230027

1.Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China

2.School of Information Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China

E-mail: muyuzio@mail.ustc.edu.cn

ZHANG Hong-yan, LI Miao. Research and application of mixed inference technology based on fuzzy knowledge. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(15): 193-195.

Abstract: In view of fuzzy knowledge itself intrinsic relation, one kind of mixed inference technology is proposed which unifies fuzzy inference and reversion inference. This paper introduces the design thought of this technology, realizes the algorithm with fuzzy knowledge, gives emphasis to elaborate the inference process which the fuzzy inference and the reversion inference unifies, realizes one more ideal and not definite inference, which effectively enhances the efficiency of inference machine.

Key words: fuzzy inference; reversion inference; fuzzy rules

摘 要: 针对模糊知识的内在联系, 提出了一种模糊推理与逆向推理相结合的混合推理技术, 介绍了该技术的设计思想, 结合模糊知识实现了算法, 重点论述了模糊推理与逆向推理相结合的推理过程, 实现了一种较为理想的不确定性推理方法, 有效地提高了推理机的执行效率。

关键词: 模糊推理; 逆向推理; 模糊规则

文章编号: 1002-8331(2007)15-0193-03 文献标识码: A 中图分类号: TP18

1 引言

专家系统处理现实世界的许多问题不像经典数学那样具有严密性和精确性, 不可避免地涉及到模糊知识, 随之产生了模糊推理。专家系统的执行效率直接受到推理策略的影响, 人们在加快推理速度上进行了大量的研究, 但主要集中在对推理算法本身的研究, 例如提出了启发式推理策略、Rete 快速匹配算法、索引法等, 而没有从知识本身的关系出发, 逆向推理只接触与知识相关的事实, 从知识本身特有的关系出发, 采用逆向推理可大大减少搜索时间。本文介绍了一种基于模糊知识的混合推理技术, 该技术在模糊推理中结合逆向推理, 具有处理模糊知识, 实现知识组织自身优化, 避免推理机盲目搜索, 提高推理速度的特性。

2 原理

2.1 设计思想

专家系统中的知识可分为三个层次: 数据级、知识库级和控制级, 分别位于系统的数据库部件、知识库部件和推理机部件。其中控制级知识用于控制系统的运行和推理过程。基于模糊知识的混合推理技术的设计思想是: 推理机的运作受控制级知识的引导, 而控制级知识来源于知识本身, 只有在推理的时候才能体现出来。如果能将控制级知识象链表那样固化起来,

推理时便可以直接利用该信息, 从而避免了推理机对知识库的盲目搜索。

2.2 逆向推理

为了讨论简单, 本文采用产生式知识表示模式, 基本形式如下:

$$A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_{N-1} \wedge A_N \rightarrow C$$

每条规则只有一个结论元素, 各前件元素之间是逻辑与关系。

逆向推理对知识库进行优化处理的关键在于对知识库中隐含的用于推理的控制级知识的提取与处理。针对以上问题设计了三种数据结构:

(1) 为了表示产生式中的元素(包括前件元素和结论), 设计了 Node 数据结构, 该数据结构包括 3 个域, 第一个域 fact 表示该节点所代表事实的文字描述, 第二个域 value 表示该节点所代表事实的值, 第三个域 backLink 用于记录能推导出该元素的规则信息;

(2) 每条产生式可以有若干前件元素, 所以设计了条件链表 ConditionLink 数据结构, 用于链接所有相关前件元素, 该数据结构包括两个域, 其中的一个域指向一个前件元素, 另外一个域指向规则的下一前件元素, 如果没有下一前件, 则该域为空;

(3) 对于产生式中的结论, 有时可以由若干条规则推导出该结论, 所以设计了 Rule 数据结构, 一个域 PreCondition 记录

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2003AA118040)。

作者简介: 张红艳(1982-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 模式识别与智能系统; 李森(1955-), 女, 研究员, 研究方向: 人工智能、农业知识工程。

规则的前件链表, 另外一个域 next 用于链接下一个可以推导出同一个结论的规则。

这样, 整个知识库可以由 Node 数据结构形成的逆向节点链表表示, 即从结论到前件。

2.3 模糊知识的表示

模糊规则是模糊知识的常用表示形式, 下面是本文采用的规则表达形式:

$$P_1.Term(P_1, N_1) \wedge P_2.Term(P_2, N_2) \wedge \dots \wedge P_m.Term(P_m, N_m) \xrightarrow{cf, \tau} R_1.Term(R_1, M_1) \wedge R_2.Term(R_2, M_2) \dots R_n.Term(R_n, M_n)$$

其中, $P_i (i=1, 2, \dots, m)$ 表示具有“与”关系的模糊规则前件, $Term(P_i, N_i)$ 表示模糊前件 P_i 的第 N_i 项语义值, $P_i.Term(P_i, N_i)$ 表示 P_i 取第 N_i 项语义值, cf 表示规则的可信度因子, τ 表示规则的激活阈值。

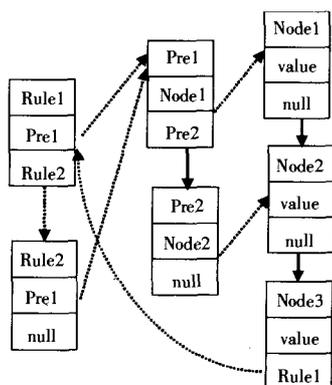
2.4 实现模糊规则

下面将举例说明如何结合逆向推理实现模糊规则, 两条模糊规则如下:

IF A, B cf_1, τ_1 THEN C;

IF A, B cf_2, τ_2 THEN C;

整理后的链表结构如图 1 所示(图中的虚线箭头链接规则的逆向推理, 实心箭头链接 Node 节点)。



Node1 相当于 A Node2 相当于 B Node3 相当于 C

图 1 知识链结构图

从图中看出, 假设需要判断 C 是否为真, 先查找事实节点链表, 通过匹配事实节点的 fact 域找到 Node3, 因为其 backLink 域不为空, 所以根据其指向的规则链表找到能够推出此结果的规则, 发现有两条。链表中记录了规则 Rule1 和 Rule2 能够推出 C, 通过 Rule1 的 PreCondition 域指向规则的前件链表。前件链表的第一个节点是 Pre1, 指向节点 Node1, 因此 Node1 是该条规则成立的一个前件, 它的 backLink 域为空, 说明它是叶子节点, 如果其 value 域为 -1 (表示不知道), 则需要向用户询问, 根据用户的回答来设置精确值。如果它的 value 域为真, 将继续看 Pre1 的下一节点 Pre2 对应前件 Node2 的 value 域的值。同理 Node2 的 backLink 域为空, 说明它是叶子节点, 如果其 value 域为 -1, 则需要向用户询问, 根据用户的回答来设置精确值, 同样处理 Rule2。最后两条规则依据模糊推理, 计算出 C 的值, 从而完成整个模糊规则的推理过程^[1-3]。

3 模糊推理与逆向推理的结合

本课题组研制的农业专家系统开发平台 DET 采用了混合

推理算法的思想, 实现如下:

平台包括模糊知识编译器和推理机两部分^[4], 其中编译器负责知识的预处理, 该过程提取知识之间的相互关系, 即推理机所需的控制级知识, 生成包含有控制信息的虚拟指令码, 指令之间建立了推理顺序。

下面是一个模糊知识库例子, 通过此例说明模糊推理、逆向推理的有机结合。

```

FUZZY_RULEBASE m //模糊知识库
DIS_VAR 病害(等级) MATCH_METHOD 0
DOMAIN (1.00,2.00,3.00,4.00,5.00)
TOKEN_SET
轻=(0.90,0.80,0.20,0.10,0.00),
中度=(0.10,0.70,0.90,0.10,0.00),
严重=(0.00,0.10,0.20,0.90,1.00),
END;
SEQ_VAR 产量(公斤/亩) MATCH_METHOD 0
DOMAIN (200.0,300.0,400.0,500.0,600.0,700.0)
TOKEN_SET
低="Z(x,200.0000,600.0000)",
一般="PAI(x,350.0000,50.0000)",
高="S(x,400.00,700.0000)",
END;
SEQ_VAR 降水(毫米/年) MATCH_METHOD 1
DOMAIN (100.0,300.0,500.0,700.0,900.0,1100.0)
TOKEN_SET
少="Z(x,100.0000,300.0000)",
中等="PAI(x,300.0000,90.0000)",
多="S(x,500.0000,1100.0000)",
END;
MODE 收成:产量(公斤/亩); //功能
RULE Rule1 S 0.30 FN 0.90 //规则
IF 病害(等级).轻,降水(毫米/年).多 THEN 产量(公斤/亩).高
TRIG {}
RULE Rule2 S 0.20 FN 0.86
IF 病害(等级).中度,降水(毫米/年).少 THEN 产量(公斤/亩).
一般

```

一般

```

TRIG {}
END;
MAIN { //主函数
RUN RULE m2.收成;
}
下面是相应的标识值:
FUZZY_RULEBASE:模糊规则库;
SEQ_VAR:连续模糊变量;
DIS_VAR:离散模糊变量;
MATCH_METHOD:匹配方式;
DOMAIN:模糊变量涉及的论域;
TOKEN_SET:模糊变量词汇集合;
S:模糊规则的阈值;
FN:模糊规则的可信度。

```

为了更准确地描述和模拟专家知识, 把从模糊知识中提取出来的模糊变量分为离散型变量和连续型变量两类, 其中离散型变量采用模糊子集表示, 连续型变量采用隶属函数表示。因

为模运算是模糊逻辑中非常重要的概念,所以系统将模运算参数化,把每个模糊概念的模运算以属性的形式定义,方便专家根据实际问题灵活指定。

有了上面的标识值,系统内部就可以直接存储这些属性相应的整数值,以表示模糊知识。在此基础上,增设了两条虚拟机器码,作模糊推理用:

F_MATCH:模糊知识匹配指令;

F_REASON:模糊知识推理指令。

在编译时,系统碰到关键字 FUZZY_RULEBASE 标志着进入模糊规则库,在对规则库中所有变量登录时,变量表层次项 Level 设为 2,这样,规则组中变量与外层变量完全隔离,即使规则中的变量与外层变量有相同的名字,编译器也能正确区分它们。编译器把规则库知识直接翻译成代码序列,代码序列本身包含所有的静态知识及知识间的联系,即一种状态转到另一种状态的动作。接着遇到 DIS_VAR 和 SEQ_VAR 标志,直接把它们相应的数据存入代码序列,以备推理计算用。在登录功能“收成”后,遇到功能目标“产量(公斤/亩)”,此时功能目标的地址域设为空。处理完功能后,接下来处理规则项。规则项中的规则是求解功能目标的依据,因为功能目标就是规则的结论。每一条规则项由阈值、可信度、规则与触发子函数组成。处理完规则前件“IF”后,写入“F_MATCH”指令,在推理时表示进行前件匹配;处理完规则后件“THEN”后,写入“F_REASON”指令,在推理时表示进行后件计算。规则一旦被激活,就触发相应的 TRIG 子函数。处理 Rule1 规则时发现其结论中包含“产量(公斤/亩)”,而“产量(公斤/亩)”又是功能“收成”的目标,所以将 Rule1 的地址填写功能的地址,同理处理 Rule2。当编译进行到 MAIN 时,标志着进入程序主函数,即推理的起始位置。

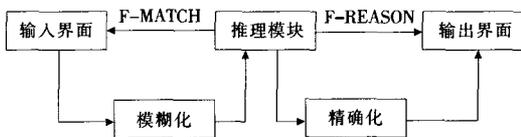


图2 模糊推理过程

整个模糊推理过程如图2所示,首先进入 MAIN 框架内,总体以正向推理执行,然后进入“RUN RULE m2.收成”中,开始规则的逆向推理策略,系统查找执行功能“收成”要推到的目标“产量(公斤/亩)”,目标“产量(公斤/亩)”的地址域查找到 Rule1 和 Rule2,遇到 F_MATCH 指令激活规则,输入前件“病害(等级)”、“降水(毫米/年)”的精确值,然后精确值经过模糊化后存储在系统内部,再遇到 F_REASON 指令,结论“产量(公斤/亩)”成立,最后将推理结果解模糊化,输出给用户,否则规则不成立,查找下一条相应的规则,直到查找完毕退出。

模糊化是将精确值映射为模糊单点集。例如,对于论域: {1,2,3,4},如果输入是精确值3,则模糊化后得到的模糊集合为:{0,0,1,0},如果输入为2.5,则模糊化得到的模糊集合为:{0,0.5,0.5,0}。

精确化采用重心法,计算公式为 $\sum (Vi*Fi) / \sum Fi$,其中,

Vi 表示论域值, Fi 表示该论域值的隶属度。例如,对于论域 {1,2,3,4}上的模糊集{0.2,0.4,0.6,0.8},其重心值为:

$$\frac{1*0.2+2*0.4+3*0.6+4*0.8}{0.2+0.4+0.6+0.8} = 2.6$$

模糊推理采用最小最大法,求规则的前件匹配值时取小,然后求结论的隶属度时取大。

下面是前面模糊知识库的运行结果:

输入降水 1 000 mm,病害等级 2.0,计算预测产量为 614.1 公斤/亩,图3是结果预测产量的分析图。

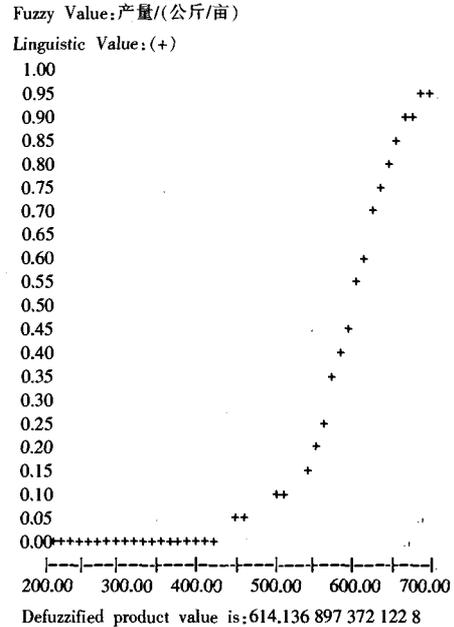


图3 预测产量的分析

4 结束语

由于农业知识的复杂性,实际生产中存在着大量的模糊知识,所以完成模糊推理结合逆向推理是必要的,这样的专家系统才具有可靠性和实用性。本文讨论的混合推理技术,已在本课题组开发的农业专家系统开发平台 DET⁹上实现,并已在云南、江西电脑农业等示范基地投入使用,在实际的产量预测、病虫害预测等方面取得良好的效果。

(收稿日期:2006年12月)

参考文献:

- [1] Kosko B. Neural networks and fuzzy systems: a dynamical systems approach to machine intelligence[M]. New York: Prentice Hall, 1992.
- [2] Hall L O. Chaining in fuzzy rule-based systems[C]//The Ninth IEEE International Conference, 2000, 2: 906-910.
- [3] Hall L O. Rule chaining in fuzzy expert systems[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2001, 9(6): 822-828.
- [4] 李森. 863 课题“开放式农业专家系统与信息处理平台”技术报告[R]. 合肥: 中国科学院合肥智能机械研究所, 2003.