

# 基于 PDA 的农业专家系统的知识表示与推理策略<sup>\*</sup>

The Knowledge Representation and Inference of PDA-Oriented Expert System in Agriculture

欧阳建权<sup>1</sup> 钱跃良<sup>2</sup> 李锦涛<sup>2</sup> 刘任任<sup>1</sup>

(湘潭大学信息工程学院 湘潭 411105)<sup>1</sup>(中国科学院计算技术研究所 北京 100080)<sup>2</sup>

**Abstract** For the first time, this paper presents a new knowledge representation method by introducing the fuzzy mathematics that syncrized the mix of precise and fuzzy representation of frame, production and formula for PDA-oriented Expert System in Agriculture; and illustrates the mix inference strategy of frame and precise and fuzzy production according to this knowledge representation.

**Keywords** PDA(Personal Digital Assistant), Knowledge representation, Inference, Expert system, Fuzzy logic

专家系统在农业领域的应用<sup>[1,2]</sup>是当前关于专家系统研究和应用的热点课题之一。智能化信息技术特别是人工智能(专家系统技术)在世界农业领域中的应用始于 70 年代末,经过 20 余年发展,应用已经遍及作物栽培管理、设施园艺管理、畜禽饲养、水产养殖、资源保护与耕作以及农场管理与决策等各方面。

目前,农业专家系统基本上都是在 PC 平台上开发的,不便于带到田间地头直接指导农业生产;另一方面,我国大部分农村还不富裕,PC 台式机和笔记本电脑的价格还难以承受,因而不能用 PC 平台上的农业专家系统在农村进行广泛的推广。另外我国和发达国家国情有很大不同,例如美国、日本、以色列及欧洲一些国家的农庄面积大,机械化程度高,基本上是工厂化管理方式,农场主科技文化素质高,因此这些国家的农场主对如何提高资源利用率、农业经济效益、保护环境实现持续发展等方面等技术与应用比较重视,农业信息化程度较高,劳动生产率也较高;而我国由于广大农村严重缺乏高层次农业领域专家和科技人员,通讯手段落后,农民文化程度较低,而且我国农户农田面积小,各个地块基础条件不同,各地农业耕作技术差别较大,因此我国农业新技术、新成果的推广较慢,对农业生产的贡献也有限。就我国目前的状况,农村迫切需要便携式(包括 PDA 和 HPC)、系列化(包括低成本)的农业专家系统。

本文在基于 PDA 的农业专家系统的理论研究方面做了有益的尝试,以下着重讨论基于 PDA 的农业专

家系统的知识表示与推理策略。

## 1 综合知识表示

通过对农业专家的经验 and 知识进行总结和分析后,我们发现农业专家知识基本上有以下几种类型:

(1)逻辑判断型:这些知识很多是在实践中总结和摸索出来的,规则的前提和结论有一定的模糊性。

(2)计算型,包括数学模型、公式等:这些知识大多经过提炼和加工,精确性较高。

(3)建议说明型:这些往往是针对某些实际问题,提出相关的建议或处理办法,模糊性较大。

上述类型的知识往往相互交叉,故适合采用综合知识表示法。

熊范纶<sup>[3]</sup>提出了农业知识表示方法,即“知识体+对象块”模式能较好地以上三类知识融为一体,但是该模式主要面向 PC 平台,表示结构较为复杂,因此不方便在 PDA 上实现。

在基于 PDA 的农业专家系统中,要求知识表示方法的数据结构不能过于复杂,以适应 PDA 的存储和推理程序的设计,提高系统实现的效率,但是过于简单的数据结构不便于表达现实问题,故我们针对 PDA 容量和速度的现实性,为了压缩知识存储,加快推理速度,提出了一种精确与模糊相结合的框架+产生式+公式的综合知识表示形式,以下简称综合知识表示方法。

其中框架表示是综合知识表示方法的主干部分,由三部分组成:框架名、状态槽和处理槽,其结构形式

<sup>\*</sup> 本文来源于“九五”国家科技攻关计划项目“便携式农业专家系统”,项目编号为 863-306-96-B08,并得到 863-306 资助。欧阳建权 硕士,研究方向为人工智能、多值逻辑的完备性理论。钱跃良 国家 863 计划智能计算机主题专家组成员。李锦涛 研究员,博士生导师,研究方向为数字化技术。刘任任 教授,研究方向为多值逻辑的完备性理论。

为:

框架名,对框架起说明作用。

状态槽,在框架中起主控作用,由状态集合和状态侧面组成,状态集合可以有多个状态名,这些状态名即控制变量名,状态侧面由相应的规则组成,状态侧面是根据状态集合中某状态的值(一般由用户提供)激活有关状态,去有关状态槽进行相应处理。

处理槽,由处理槽名和处理侧面组成,处理侧面可以是一些建议类的说明性文字。

状态槽中的状态侧面用模糊产生式规则来表示,也可以用公式来表示。

我们将模糊逻辑引入农业专家系统的知识表示,是为了处理农业专家知识的不确定性。其中模糊产生式规则<sup>[4]</sup>的一般形式为: $P \rightarrow Q, CF, \tau$ ,其右边一般表示一组前提或条件,左边表示若干结论或动作,前提  $P$  和结论  $Q$  都可以是模糊的。 $CF$  是规则的可信度( $0 < CF \leq 1$ ), $\tau$  是规则被满足的阈值( $0 < \tau \leq 1$ )。全部或部分具有以上特征的产生式规则我们称之为模糊(产生式)规则。显然传统的产生式规则为模糊产生式规则的一个子集。

模糊规则的一般形式为

if  $p_1$  and  $p_2 \cdots$  and  $p_n$  then  $Q, CF, \tau$

由于在农业实际问题中,推理规则的各子前提的“重要性”或所包含的信息量都不可能完全相同,因此在农业专家系统中,为了表达现实知识,对每个前提采用加权模糊逻辑公式是比较符合农业实际的。

这里的推理规则具有  $w_1 * p_1, w_2 * p_2, \cdots, w_n * p_n \rightarrow Q, CF, \tau$  形式,其中  $P_i (i=1, 2, \cdots, n)$  与  $Q$  为模糊逻辑谓词,取真值于  $[0, 1]$  之间,  $w_i \geq 0 (i=1, 2, \cdots, n)$  ( $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ) 为  $P_i$  子前提的权系数,  $CF (0 < CF \leq 1)$  为规则的可信度,  $\tau (0 < \tau \leq 1)$  为该规则的可应用阈值。

上述规则的含义是前提的可信度  $t = \sum_{i=1}^n w_i * T(p_i)$ , 当  $t$  大于或等于  $\tau$  时,该规则就可用。 $T(p_i)$  表示事实  $P$  的可信度,  $j=1, 2, \cdots, n$ 。应用的结果是推出结论  $Q$ , 其可信度为  $T(Q) = \min(t, CF)$ , 其中  $\min$  为“取最小运算”。因此,总有结论的可信度  $\leq$  前提的可信度。

本文中的公式表示主要是指在经过农业领域专家总结和提炼的一些实用的计算公式,一般与产生式表示混合使用。

这里给出一个例子:葡萄有机肥和化肥施用量决策。

输入:

产量目标  $X_1$  (公斤/公顷)  
有机肥种类  $X_2$  (饼肥、鸡鸭鹅粪、人畜粪)  
种植密度  $X_3$  (株/公顷)

输出:

有机肥施用量  $Y_1$  (公斤/株)

当  $X_1 > 0$ ,

$X_2 =$  饼肥时,  $Y_1 = 0.5 * X_1 / X_3$  (作基肥施入)

$X_2 =$  鸡鸭鹅粪时,  $Y_1 = 1.8 * X_1 / X_3$  (作基肥施入)

$X_2 =$  人畜粪时,  $Y_1 = 2.4 * X_1 / X_3$  (作基肥施入)

化肥施用量  $Y_2$  (公斤/株)

当  $X_1 > 0$ ,

$X_2 =$  饼肥时

$N \leq 0.2 * X_1 / (100 * X_3) - 0.4 * X_1 / (100 * X_3)$

$P_2 O_5 \leq 0.5 * 0.2 * X_1 / (100 * X_3) - 0.4 * X_1 / (100 * X_3)$

$K_2 O \leq 0.2 * X_1 / (100 * X_3) - 0.4 * X_1 / (100 * X_3)$

$X_2 =$  鸡鸭鹅粪时

$N \leq 0.5 * X_1 / (100 * X_3) - 1 * X_1 / (100 * X_3)$

$P_2 O_5 \leq 0.5 * 0.5 * X_1 / (100 * X_3) - 1 * X_1 / (100 * X_3)$

$K_2 O \leq 0.5 * X_1 / (100 * X_3) - 1 * X_1 / (100 * X_3)$

$X_2 =$  人畜粪时

$N \leq 1.1 * X_1 / (100 * X_3) - 1.5 * X_1 / (100 * X_3)$

$P_2 O_5 \leq 1.1 * 0.5 * X_1 / (100 * X_3) - 1.5 * X_1 / (100 * X_3)$

$K_2 O \leq 1.1 * X_1 / (100 * X_3) - 1.5 * X_1 / (100 * X_3)$

综上所述,本文的综合知识表示方法用范式

(BNF)表示如下:

〈综合表示〉::= $\langle$ 框架名〉〈状态槽〉〈处理槽集〉

〈框架名〉::= $\langle$ 汉字符号名

〈状态槽〉::= $\langle$ 状态集〉〈状态侧面〉

〈状态集〉::= $\langle$ 状态〉|〈状态〉〈状态集〉

〈状态〉::= $\langle$ 汉字符号名

〈状态侧面〉::= $\langle$ 规则〉|〈规则〉〈状态侧面〉

〈规则〉::= $\langle$ “if”〈加权模糊逻辑公式〉“then”〈结论集〉,〈可信度  $CF$ 〉,〈阈值  $\tau$ 〉|“if”〈规则集〉“then”〈计算公式集〉

〈计算公式集〉::= $\langle$ 计算公式〉|〈计算公式〉〈计算公式集〉

〈计算公式〉::= $\langle$ 代数表达式

〈规则集〉::= $\langle$ 条件表达式〉|〈条件表达式〉〈规则集〉

〈加权模糊逻辑公式〉::= $\langle$ 权因子  $w$ 〉 $\wedge$ 〈条件表达式〉|〈权因子  $w$ 〉 $\wedge$ 〈条件表达式〉 $\wedge$ 〈权因子  $w$ 〉 $\wedge$ 〈条件表达式〉

〈条件表达式〉::= $\langle$ 状态〉〈关系符号〉〈值〉|〈状态〉

〈状态〉::= $\langle$ 汉字符号名

〈关系符号〉::= $\langle$ “ $\leq$ ”|“ $\geq$ ”|“ $=$ ”|“ $\neq$ ”|“ $\in$ ”

〈值〉::= $\langle$ 数字串|汉字符串|代数表达式

〈权因子  $w$ 〉::= $\langle$ “ $[0, 1]$ ”区间的一个实数

〈可信度  $CF$ 〉::= $\langle$ “ $[0, 1]$ ”区间的一个实数

〈阈值  $\tau$ 〉::= $\langle$ “ $[0, 1]$ ”区间的一个实数

〈条件集〉::= $\langle$ 条件表达式〉|〈条件表达式〉〈条件集〉

〈结论集〉::= $\langle$ 结论〉|〈结论〉〈结论集〉

〈结论〉::= $\langle$ 处理槽名

〈处理槽集〉::= $\langle$ 处理槽〉|〈处理槽〉〈处理槽集〉

〈处理槽名〉::= $\langle$ 框架名〉|汉字符号名|文件名

〈处理槽〉::= $\langle$ 处理槽名〉|〈处理槽名〉〈处理侧面〉

〈处理侧面〉::= $\langle$ 处理方法

〈处理方法〉::= $\langle$ 汉字符号名

## 2 综合推理策略

何新贵<sup>[4]</sup>提出了精确和模糊相结合的综合推理策略,能较好地处理知识的模糊性,但是实现比较复杂,不方便在 PDA 上实现,为了与精确和模糊相融合的综合知识表示方式相结合,本文提出了基于 PDA 的精确与模糊相结合的综合推理策略。以下论证该综合推理策略的必要性和可行性。

**可行性:**专家系统的知识常常来源于领域专家的知识 and 经验,往往具有不确定性和不精确性,因而专家系统的推理需要考虑对这种不确定性的解释、不精确的传播计算等模糊推理问题。由于模糊逻辑较二值逻辑能表示更多的知识内涵,更符合人类对复杂事物的逻辑判断,因此我们期望通过模糊推理能解决更多的实际农业问题。但是模糊推理的理论基础是模糊集合论,而无穷多值逻辑即模糊逻辑的完备性问题至今尚未解决,因此一般模糊推理的算法都是不完备的,而且由于模糊集合论尚未成熟,比如模糊集合论中元素隶属度的确定和两模糊集合之间的映射关系规律的确定都还没有统一的方法可循,通常只能凭经验和大量试验来确定;而以二值逻辑为基础的传统精确推理具有完备性和较高的运行效率,但是适用范围窄,难以处理现实世界中的实际问题。

因此,为了兼顾效率、完备性和通用性,本文采用精确与模糊相结合的综合推理策略。

**必要性:**因为农业知识中的计算型知识本身为经过提炼的精确知识,不需要进行模糊处理,而对于逻辑判断型和建议说明型知识,模糊性主要反映在前提集合及结论集合为真的可能性上。若将所有类型的知识全部模糊化,存储空间较大,同时推理比较复杂,由于 PDA 速度和容量的限制,不符合实际应用。

因此,针对 PDA 和农业专家系统实际,本文采用精确与模糊相结合的综合推理策略。

本文的综合推理策略可以用图的搜索和匹配过程来阐述。以下先论证逻辑推理过程和图的搜索过程是等价的过程。

**命题** 逻辑推理过程和图的搜索过程是等价的过程。

**证明.**一个逻辑演算体系是一个由基本符号集、基本运算集与公理集和基本公式集组成的一个形式语言系统,并根据这些约定,可以生成新的复合公式。逻辑推理就是通过推理规则进行逻辑论证,实现一个从前提公式到目标公式的变换;而我们可以将公式看成结点,基本运算集和公理集看成是操作,每用规则推理一步可以看作在推理网络图中的一次根据操作来搜索的求解路径,即从父结点到子结点的一步搜索,故整个推

理过程就是一个推理网络图的搜索过程。

反之,我们可以定义一一映射,将推理网络图中的结点映射为相应的逻辑公式,父结点到子结点的一步搜索映射为逻辑公式根据基本运算集和公理集进行相应的变换操作。这样我们就将搜索过程转化为逻辑推理过程。

故我们可以说逻辑推理过程和图的搜索过程是等价的。证毕。

通常情况下,在农业的种植业领域中,逻辑判断型、建议说明型、计算型知识都是混合在一起的,因此本文采用以下的综合推理策略:

本文的综合推理策略为以框架之间的推理为主体,框架与框架之间进行正向推理,根据处理槽中的目标名去激活相应的模糊产生式规则或计算公式(处理逻辑判断型或计算型知识),根据处理侧面中的目标名去激活相应的处理方法,即建议说明型知识,这样就很好地与前面提出的综合知识表示方式衔接起来。

本文的搜索(或推理)算法过程如下:

框架是本文的综合推理策略的主控部分,它控制整个专家系统的运行流程,框架本身不能计算,只用来推导产生出建议说明型知识,但是它可以处理槽中的目标名,即推理树的根结点,对该推理树的各个子结点逐个进行搜索,若某一子结点匹配成功,则搜索以该结点为根的子树;否则转而搜索该结点的兄弟结点。重复以上过程,直至无任何子结点和兄弟结点匹配,最后将搜索的最后结果及框架本身推理出的建议说明型知识一起处理后再显示给用户。

为了便于 PDA 处理,加快推理速度,我们将知识库分解为推理森林,即一些相互独立的推理树的集合,并能够用相应的规则对各推理树进行处理,而且对实际应用程序的推理层次做了限制,推理树的层次一般不超过 3 层。

## 3 实验结果

(1)实验情况 为了实现本文提出的综合知识表示方法和综合推理策略,我们开发了葡萄掌上电脑专家系统的品种选择决策和有机肥及化肥使用量决策等模块。

实验所用硬件设备为一台 PC 和一台 PDA;软件开发环境为基于 PDA 的开发环境。

实验的输入为数据和文本框,简明易用,输出为经验规则与相应的建议说明型知识相结合。规则前提和结论的可信度及规则的条件阈值的选取,首先是农业领域专家给出一个大概的范围,然后再反复做实验调整其参数,最后才确定下来。实验还证明,当推理树的层次超过 3 层时,知识库的容量大大增加,接近 PDA

的剩余空间(1M左右),同时推理速度也较慢,经观测,PDA处理需超过1秒才显示最终结果,故PDA上的推理树的层次一般应为2至3层。

(2) 结果分析 通过上述实验,说明在容量和速度都有限的PDA上,通过本文提出的综合知识表示方法和综合推理策略来实现农业专家系统,是切实可行的。

但是囿于PDA的局限性,我们也发现:由于PDA的存储和显示的局限性,在PDA上不能处理多媒体知识;另外PDA上的农业专家系统只能提供基本的信息和推理决策,而不能处理复杂的推理决策。

因此我们在农业应用中应该利用PDA和PC的优势互补和资源共享,综合运用基于PDA和PC的农业专家系统,更好地为农业生产实践服务。

小结 本文结合PDA和农业应用实际,首次提出了基于PDA的农业专家系统的综合知识表示方法,该综合知识表示方法有以下优点:

1. 该综合知识表示方法表示能力强,能将逻辑判断型、建议说明型、计算型知识集成于一体,较好地表示了农业专家知识和经验。
2. 该综合知识表示方法是嵌套层次结构,可扩充性较强。
3. 较好地将知识的模糊与精确相结合,能较好地表达知识的模糊性。
4. 表示简明,易于在PDA上处理。

(上接第52页)

得结果与 $X_1$ 进行加操作,再进行吸收操作,以此类推可求出E的不变化最小割集矩阵。

同理可求出V/E的不变化最小割集矩阵。

根据(2)式可计算出 $P(V_i|E)$ 。

结论 在信度网基础上发展起来的因果图模型,能有效地模拟客观世界,具有重要的工业应用价值。本文介绍了因果图模型的概念及其推理过程,针对因果图推理中存在逻辑运算量大、计算复杂的困难,根据早期不变化的思想,对因果图进行了正规化、标准化变换,定义了割集矩阵及其操作,利用割集矩阵导出了因果图早期不变化推理新算法。该方法能有效地消除标准因果树中重复事件的影响,而利用割集矩阵的数值运算能提高逻辑吸收运算的速度,从总体上降低了因果图推理的NP难问题,提高了推理计算速度。这对因果图模型在故障诊断等实际领域中的应用具有重要意义。因为在实际领域中,如核电站故障诊断<sup>[6]</sup>,因果图的规模不是很大,但存在逻辑门和环路,导致标准因果

由上可以看出,该综合知识表示方法同样也适用于处理功能更强的便携式HPC。

本文同时针对该综合知识表示方法,提出了相应基于PDA的综合推理策略,阐述了该综合推理策略不仅在理论上是必要的,而且在实践中也是可行和需要的。本文的综合推理策略具有一定的灵活性和通用性,易于在PDA上实现,同样该综合推理策略也适用于便携式HPC。

由于我们对基于PDA的农业专家系统的理论研究仍处于开拓阶段,还需要更广泛的农业实际应用的验证,因此我们还需要进行更深入的研究。

本文的综合知识表示方法和综合推理策略的研究均得到北京农林科学院农业信息技术中心赵春江等人的帮助,在此表示致谢!

## 参考文献

- 1 Song Jian, Wang Maohua, eds. Intelligent Agriculture Information Technology Application and Demonstration Project in Beijing. In: Proc. of Intl. Conf. on Engineering and Technological Sciences 2000 Session 6. Beijing: New World Press, Oct. 2000
- 2 Zhao Chunjiang ed. Proceeding of Agriculture Information Technology. Beijing: International Academia Publisher Dec, 2000
- 3 熊范轮. 农业专家系统及开发工具. 清华大学出版社, 1999
- 4 何新贵. 知识处理与专家系统. 北京: 国防工业出版社, 1998

树中存在大量的重复事件,严重影响了因果图的推理计算速度。

## 参考文献

- 1 Zhang Qin. Probabilistic Reasoning based on Dynamic Causality Tree/Diagrams. Reliability Engineering and System Safety, 1994, 46: 209~220
- 2 Judea P. Probabilistic Reasoning in intelligent systems, network of plausible inference. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Mateo, CA 1988
- 3 Zhang Qin. A Continuous Possibility Propagation Diagram Approach for Reasoning under Uncertainty. 内部资料, 1995
- 4 Zhang Qin. A Frequency Based Fault Influence Propagation Diagram for Fault Diagnosis of Process Systems under Uncertainty and Continuous Variables. 内部资料, 1995
- 5 Duda R O. Development of the PROSPECTOR consultation system for mineral exploration, final report. SRI international, 1978
- 6 Zhang Qin, et al. Application of FBOLES-a prototype expert system for fault diagnosis in nuclear power plants. Reliability Engineering and System Safety, 1991, 34: 225~235