

基于粗集方法的智能专家系统

曾黄麟

(四川轻化工学院 电信系, 四川 自贡 643033)

[摘要] 文章主要介绍基于粗集方法的智能专家系统的基本构成、知识表达方式及学习推理方法。提出了利用不可分辨性或根据算法相容性进行知识简化, 导出决策规则的方法, 通过研究导师的知识与学习者的知识之间的依赖程度, 找出每一概念的有用特征, 进行知识简化和系统简化, 导出决策规则的学习推理方法。

[关键词] 粗集方法; 智能专家系统; 不可分辨性; 知识简化; 决策规则

1 引言

专家系统是一个能以人类专家水平完成专门任务的智能计算机系统, 它模仿人类专家如何应用其知识与经验来解决所要解决的问题。因此, 专家系统的建造是一个知识工程的建造^[1~3]。专家系统应具有四个基本特征:

1) 启发性 人类专家在科学实验和生产实验中积累起来的知识, 很多是经验性知识, 往往是某一现象或某一结果多次出现使其成为一条值得注意的经验, 这就是启发性知识。人类专家知识为主要组成部分的专家系统, 不仅能使用严格的逻辑性知识, 而且也要能使用启发性知识。

2) 透明性 专家系统必须能释化其推理过程, 并且对有关知识的询问作出回答, 即回答用户为什么和怎样做, 以此增加用户的信任程度, 有助于知识检查和更新。

3) 灵活性 人类的知识在不断更新, 特别是经验知识。一个专家系统在运行中如果发现问题, 应该很容易地修改和加入新的知识对象。因此, 专家系统必须具有灵活性。

4) 智能性 专家系统是人工智能的一个分支, 它必须具有智能性。就是要有相对独立的解决问题的能力, 成为独立的对象。

专家系统第一个重要组成部分是知识库, 要存储从专家那里得到的关于某个领域的专门知识和解决某个问题的专门数据。为了建造知识库, 需要解决如何储存知识和获取知识的问题。专家系统的第二个重要组成部分是推理机能, 专家系统的很多能力来自平时所储存的大量专家知识和恰当地应用有效的推理技术, 它除了具有依据一定策略进行推理的能力, 即能够根据提供的知识归纳、学习和推理规则, 而不是简单地搜索现成的答案外, 还包括和使用者进行对话的能力及解释的能力。

近年来, 波兰华沙理工大学 Z. Pawlak 教授等一批科学家提出了用粗集理论研究不完整数据、不精确知识的表达、学习、归纳等方法^[4~6]。这套方法以对观察和测量所得数据进行分类的能力为基础, 从中发现、推理知识和分辨系统的某些特点、过程、对象等。粗集理论不仅为信息科学和认知科学提供了新的科学逻辑和研究方法, 而且为智能信息处理提供了有效的知识表达和处理技术。因此, 基于粗集理论的数据知识表达和推理方法, 为智能专家系统奠定了重要的基础, 建立一个基于粗集理论的智能专家系统已成为智能信息处理中的重要研究任务。

[收稿日期] 2000-09-02; **修回日期** 2000-11-10

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目 (69875012)

[作者简介] 曾黄麟 (1955-), 男, 四川富顺县人, 四川轻化工学院教授, 博士生导师

2 基于粗集方法的智能专家系统结构

基于粗集理论的智能专家系统见图1。其中包括：知识获取子系统，知识数据库，推理、学习子系统，信息处理子系统，解释、输出结果子系统。知识获取子系统，知识数据库，推理、学习子系统，构成智能专家系统的学习系统；知识获取子系统，知识数据库，信息处理子系统，解释、输出结果子系统构成智能专家系统的应用系统。

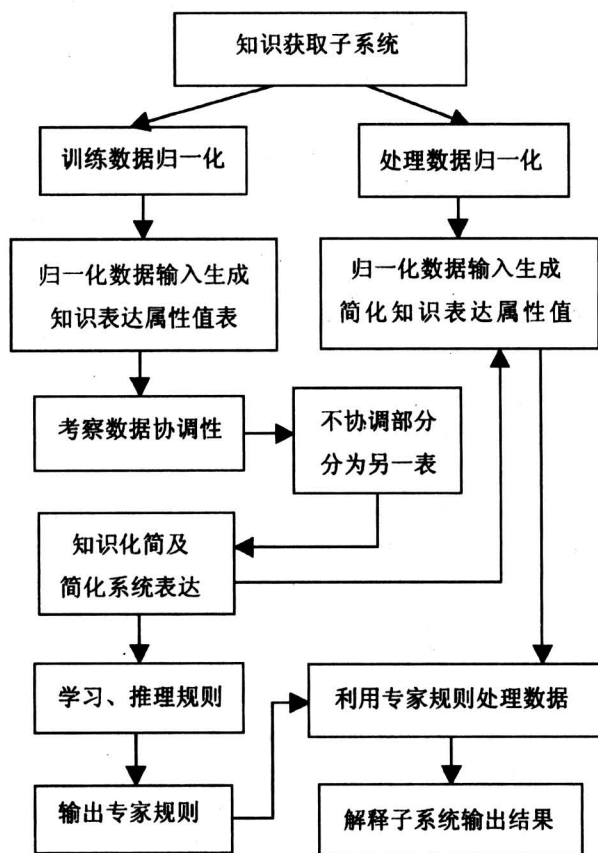


图1 一个基于粗集方法的智能专家系统

Fig.1 An intelligent expert system on rough sets

知识获取子系统和知识数据库是智能专家系统信息处理的公用系统，它和其他智能数据处理系统一样。该系统的功能主要是获取系统处理需要的知识数据、领域专家与知识工程师的经验知识，采集系统数据，并对定性和定量数据进行归一化处理，然后根据要处理的问题建立知识数据库，该子系统还要负责管理和修改、删改和添加知识库中的知识，维持知识库的一般性、完整性。知识数据库存储数据包括采集的原始数据、归一化处理数据、系

统简化知识表达数据（即系统特征表达数据）、专家经验知识及系统处理规则。

基于粗集理论的智能专家系统的新颖之处主要在于，以对观察和测量所得数据进行分类的能力为基础，通过对不完整数据、不精确知识进行一种简化表达，并从数据中学习、归纳系统的某些特点，从中发现知识、推理系统的规则。下面主要介绍基于粗集理论的智能专家系统的知识表达方式及学习推理方法。

3 基于粗集理论的知识表达方式及学习推理方法

基于粗集理论的观点，可以将要进行处理的系统数据表达为一个知识系统，知识表达系统的基本成分是研究对象的集合。关于这些对象的知识通常是通过指定对象的属性和它们的属性值来描述的。

假设给定知识库 $K = (U, R)$ 表达存储一组数据，其中 U 代表研究的论域， R 代表研究的论域中存在一个等价关系， R 在知识库中可以是属性集，也可以是系统规则集。若论域中存在子集 $X \subseteq U$ ，根据关系 R 定义的基本集合 $(Y_i, i = 1, \dots, n)$ 的描述来划分集合 X ，为了准确地说明某些 Y_i 在 X 中对象的隶属度情况，这里考虑两个子集：

$$R_- X = \cup \{Y_i \subseteq U \mid R: Y_i \subseteq X\} \quad (3.1)$$

$$R^- X = \cup \{Y_i \subseteq U \mid R: Y_i \cap X \neq \emptyset\} \quad (3.2)$$

分别称为 X 的 R 下近似和 R 上近似。

可见， $R_- X$ 是根据知识 R ， U 中所有一定能归入 X 的 Y_i 的元素的集合， $R^- X$ 是根据知识 R ， U 中可能归入 X 的 Y_i 的元素的集合。

下面，利用上述粗集概念，根据某些学生高考数、理、化成绩与升学的情况调查，分析高考数、理、化成绩与升学的关系。

下面是某些学生高考数、理、化成绩与升学的情况调查：

研究对象	高考数理化成绩	升学情况
张	中	未上大学
王	良	上大学
李	优	上大学
赵	差	未上大学
刘	优	上大学
黄	中	上大学

令研究对象 $U = \{\text{张, 王, 李, 赵, 刘, 黄}\}$ ，定义高考数、理、化成绩情况 $R = \{\text{中, 良, 优, 差}\} = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4\}$ ，则 $Y_1 = \{\text{张, 王, 李, 刘, 黄}\}$ ，

黄}, $Y_2 = \{王\}$, $Y_3 = \{李, 刘\}$, $Y_4 = \{赵\}$ 。

定义升学的情况 $X = \{上大学, 未上大学\} = \{X_1, X_2\}$, 则 $X_1 = \{王, 李, 刘, 黄\}$, $X_2 = \{张, 赵\}$ 。

故 $R \cdot X_1 = Y_2 \cup Y_3 = \{王, 李, 刘\}$; $R \cdot X_1 = Y_2 \cup Y_3 \cup Y_1 = \{王, 李, 刘, 黄, 张\}$,
 $R \cdot X_2 = Y_4 = \{赵\}$; $R \cdot X_2 = Y_4 \cup Y_1 = \{黄, 张, 赵\}$ 。

根据上述分析和粗集定义的下近似、上近似概念, 得到高考数、理、化成绩与升学的关系如下:

根据 $R \cdot X_1$: If 高考数、理、化成绩 (优良), then 一定 (能上大学)。

根据 $R^- \cdot X_1$: If 高考数、理、化成绩 (优良) or (中等), then 可能 (上大学)。

根据 $R \cdot X_2$: If 高考数、理、化成绩 (差), then 一定 (未能上大学)。

根据 $R^- \cdot X_2$: If 高考数、理、化成绩 (差) or (中等), then 可能 (未能上大学)。

利用粗集方法定义的关系 R 的集合描述 X 中对象的隶属度情况还可表达为

$$\alpha_R(X) = (|U| - |R^-(X) - R_-(X)|) / |U| \quad (3.3)$$

这里 $||$ 代表集合中元素的数目, 即集合的基数 $\text{card}(\quad)$, $\alpha_R(X)$ 可以作为机器学习的学习质量判别指标。

建造专家系统的常用推理策略, 有数据驱动的从开始状态出发的正面推理、目标驱动的从目标状态出发的逆向推理和混合式的双面推理。要使推理能有效地进行下去, 一定的推理策略是必不可少的。

根据粗集理论中知识与分类的联系观点, 基于粗集理论方法的智能专家系统采用有导师学习推理策略。在机器学习中, 静态的有导师学习是一种从例子中学习。导师、专家具有某一论域 U 的知识, 能够对论域的元素进行分类。导师所划分的类别是学习者、智能网络学习的概念, 学习者的任务是学习导师的知识。静态有导师学习就是从决策表导出决策算法, 在决策表中条件属性就是学习者的属性, 决策属性就是导师的属性。动态推理学习就是进行知识推广。

假定论域 U 是闭合的, 导师对于该论域的知识是完备的, 即导师能对论域中的每一对象进行分类, 且学习者能区分论域中各分类对象的某些属性。

给定一个知识表达系统 U 和一个对象的子集 $Y \cup X$ 。通过研究导师的知识 (决策属性 C) 与学习者的知识 (条件属性 R) 之间的依赖程度, 不仅可以了解条件属性在分类中的重要性, 而且还可以得出机器学习的学习质量。因此, 学习过程如下: 可以通过计算判别指标 $\alpha_R(X)$, 利用判别指标作为选择属性的准则, 可以选择 C 中适当的属性子集去构成对于某一类 Y 的决策规则。对于知识表达系统中包含的每一概念, 导师一步一步向学习者提供论域中每一对象及概念代表的信息, 学习者根据概念的全部例子, 找出每一概念的有用特征, 这是一个知识简化和系统简化的过程, 可以反复应用相同的过程去导出决策规则。这是基于粗集理论方法的智能专家系统的一种推理方法。

基于粗集理论方法的智能专家系统的另一种推理方法是, 在保持知识库中初等范畴的情况下, 根据不可分辨性, 利用简化和核的概念, 并根据算法相容性, 先进行条件属性简化, 再消除冗余基本范畴, 最后导出决策规则。

所谓知识的不可分辨性, 就是指研究的对象在某种定义下的不可分辨关系。

令 R 为一等价关系族, 当用 R 描述 U 中对象之间的等价关系时, 可用 U/R 表示。对于子集 $X, Y \subseteq U$, 若根据关系 R , X 和 Y 由属性 R 不可分辨时, 用 $[X]_R$ 表示。不可分辨关系是物种由属性集 P 表达时, 在论域 U 中的等价关系。

若存在某一子集 $P \subseteq R$, 且 $P \neq \emptyset$, 则称为 P 上的不可分辨关系, 记为 $\text{ind}(P)$ 。例如, 属性集 $P \subseteq R$, 对象 $X, Y \subseteq U$, 对于每个 $a \in P$, 当且仅当 $f(X, a) = f(Y, a)$ 时, X 和 Y 是不可分辨的, 即: $\text{ind}(P) = \{(X, Y) \subseteq U: \text{所有的 } a \in P, f(X, a) = f(Y, a)\}$ 。

对于某一子集 $P \subseteq R$, 且 $P \neq \emptyset$, 则 P 中全部等价关系的交集也是一种等价关系:

$$[X]_{\text{ind}(P)} = \bigcap_{P \subseteq R} [X]_R \quad (3.4)$$

要进行知识的简化, 首先是条件属性的简化。需要从原始数据中, 根据不可分辨性, 去掉某一些属性, 来考察没有该属性和分类会怎样变化。也就是说, 如果去掉某些基本属性不影响分类, 则这些基本属性就是不重要的属性, 可以去掉它; 如果去掉某些基本属性将严重影响分类, 则这些基本属性就是系统的有用属性。

对于属性集 R , 若某一属性 $r \in R$, 当存在不可分辨关系 $\text{ind}(R) = \text{ind}(R - \{r\})$ 时, 则属性 r 为属性集 R 中可省略的, 否则 r 为 R 中不可省略的。 R 中所有不可省略关系的集合是 R 的所有简化族 $\text{red}(R)$ 。 R 的所有简化族的交称为 R 的核, 记作 $\text{core}(R)$ 。即

$$\text{core}(R) = \bigcap \text{red}(R) \quad (3.5)$$

这里 $\text{red}(R)$ 是 R 的所有简化族。

根据数据的协调关系^[7], 在保持知识库中中等范畴的情况下, 根据算法相容性, 考察数据块, 再消去冗余数据块和某些基本范畴。

通过条件属性的简化和消去冗余基本范畴后, 由这些有用属性和基本范畴表达的系统就是一种简化的知识表达系统, 化简后的知识表达系统具有与化简前的知识表达系统相同的功能, 化简后的知识表达系统所描述的条件属性和决策属性之间的关系就是决策规则。因此, 这种智能专家系统的推理方法的步骤如下:

1) 首先把智能数据进行归一化处理, 然后将数据用知识表达属性表的表格来实现^[3]。

2) 去掉重复信息, 即消去知识表达属性表的重复的行。

3) 利用不可分辨性, 计算每一规则的核, 进行条件属性的简化, 即从知识表达属性值表中消去某些列。

4) 对于消去冗余的属性值后, 得到的全部有用属性或特征, 再针对每一决策规则, 同样利用数据协调性消去冗余基本范畴, 得到系统的简化属性核值表。

5) 根据简化后的属性核值表, 选择不同的组合规则方式, 得到对应的最小决策算法及简化规则。

上述两种基于粗集理论的智能专家系统的一种推理方法虽然不同, 一个是通过研究导师的知识(决策属性 C) 与学习者的知识(条件属性 R) 之间的依赖程度, 研究其属性的重要性, 去掉不重要的属性, 保留重要的属性, 进行知识简化和规则推理。另一个是根据不可分辨性和数据协调性关系^[7], 去掉某些冗余知识, 保留系统的有用属性, 进行知识简化和规则推理。但两种方法的简化、推理的本质思想是一样的。其推理的决策规则可能是确定性的, 也可能是非确定性的。

若 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 和 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 分别表示 U 上的对象集合的学习者分类和导师分类, 对于每一导师分类 y_i 的决策规则的集合 $\{r_{ij}\}$ 可表示为:

$$\{r_{ij} : \text{Des}(x_i)\} \rightarrow \text{Des}(y_j)$$

$$\{x_i \cap y_j \neq \emptyset, x_i \in X, y_j \in Y\} \quad (3.6)$$

这里 $\text{Des}(x_i)$ 和 $\text{Des}(y_j)$ 分别代表学习者分类 x_i 和导师分类 y_j 的唯一描述。

当 $x_i \cap y_j = x_i$ 时, 决策规则 r_{ij} 是确定性的; 当 $x_i \cap y_j \neq x_i$ 时, 决策规则 r_{ij} 是非确定性的。

4 结束语

开发一个成功的专家系统要经历准备、研究问题、建立模型系统、改进和扩充系统, 测试与评价、商品化等几个阶段。但其中最重要的两个组成部分是知识表达和推理学习。基于粗集理论方法的智能专家系统具有全新的知识表达方式, 并充分利用了粗集理论处理不完整数据、不精确知识的表达、学习、归纳等方法的特点, 这不仅更符合现实生活情况, 而且更有利于信息的机器处理。基于粗集理论方法的智能专家系统具有全新的规则推理方法, 以从数据中推理出的科学逻辑为依据, 对问题进行科学的处理和解释, 这两点为智能专家系统处理智能信息开拓了一条新路。

参考文献

- [1] 钟义信, 潘新安, 扬义先. 智能理论与技术——人工智能与神经网络 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1992
- [2] 管纪文, 刘大为. 知识工程原理 [M]. 长春: 吉林大学出版社, 1988
- [3] 曾黄麟. 一种基于粗集理论的新的机器学习方法 [J]. 控制与决策, 1997, (5): 708~711
- [4] Pawlak Z. Rough sets theoretical aspects of reasoning about data [M]. Nowowiejska 15/19, Warsaw, Poland, 1990
- [5] 曾黄麟. 粗集理论及其应用 [M]. 修订版. 重庆: 重庆大学出版社, 1998
- [6] 曾黄麟. 基于不确定性问题研究方法评价系统参数的重要性 [J]. 系统工程理论与实践, 2000, (11): 94~98
- [7] 曾黄麟. 一种新的模式识别特征评选与简化方法 [J]. 四川轻化工学院学报, 1999, (4): 1~5

An Intelligent Expert System on Rough Sets

Zeng Huanglin

*Electric and Information Department, Sichuan Institute of Light Industry
and Chemical Technology, Zigong, Sichuan 643033, China)*

[Abstract] The basic topology, knowledge representation and inductive learning of an intelligent expert system on rough sets are introduced in this paper. Based on the indiscernibility relation of system knowledge expression, a compatible algorithm is proposed to simplify the knowledge expressions and to induce the system decision rules. In order to extract the significant attributes from elementary knowledge and to reduce the dimensions of the system representation, inductive learning is also introduced by means of reasoning the dependency of knowledge between the teacher and the learner.

[Key words] rough sets; intelligent expert system; indiscernibility relation; knowledge expression simplification; decision rules

(上接第 46 页)

- [16] 孙培德. 煤层气越流的固气耦合理论及其计算机模拟研究 [J]. 重庆大学学报, 1998
- [17] 鲜学福, 许江, 李贺. 煤和瓦斯突出危险区划分的力学机制 [M]. 见: 矿山岩体工程地质力学研究. 北京: 中国科技文献出版社, 1993. 195~200
- [18] 许江, 鲜学福. 鱼田堡煤矿矿区地应力场的非线性有限元数值分析 [M]. 见: 矿山岩体工程地质力

学研究. 北京: 中国科技文献出版社, 1993. 271~281

- [19] Xu Jinag, Xian Xuefu. Division of potential danger zone of coal and gas outburst. West - China Exploration Engineering, 1994, 6 (5): 81~88
- [20] 金立平, 鲜学福. 煤层区域稳定性的研究 [J]. 煤炭工程师, 1994, (3): 14~16

Predication of Potential Danger Region (Zone) of Coal and Gas Outburst

Xian Xuefu, Xu Jiang, Wang Hongtu

(Mining Engineering Dept. of Chongqing University, Chongqing 400044, China)

[Abstract] The production and practice of coal mines have proved that the dynamical phenomenon in mines have divisional and zoned characteristics. In this paper the division which treats coal, rock and gas as an integrate system by mechanical method is studied. Under study By the analysis of the mechanical property of the coal-rock composite samples and coal simples containing gas under complex stress state, the failure criterion, on the basis of the modification and consummation of the Dracker - Prager's theory, is set up, and the formulas computing the coefficient of stability and the density of latent elastic strain energy are given. Finally, the fundamental method for deviding the potential danger region (zone) of coal and gas outburst based on the formulas is put forward.

[Key words] dynamical phenomenon in mine; coal and gas outburst; potential danger zone; failure criterion; coefficient of stability; density of elastic energy