

# 灰云逻辑及其智能决策支持系统

王洪利

WANG Hong-li

中原工学院 经济管理学院, 郑州 450007

School of Economic and Management, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China

E-mail: graduated852@163.com

**WANG Hong-li. Logic of grey cloud and intelligent decision support system. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(13): 210-213.**

**Abstract:** On the requirement of flexible logic of intelligent decision support system to classic logic, the flexible logic based on grey cloud called as grey cloud logic is proposed based on the analysis of classic and un-classic logic. The development field of flexible logic of intelligent decision support system is ascertained. Firstly the requirement of flexible logic of intelligent decision support system is analyzed. Then the grey cloud logic is given. Intelligent decision support system based on grey cloud logic is given. The form of representation of grey cloud logic is given. The knowledge induction method based on grey cloud is proposed. Lastly the framework and principle of intelligent decision support system based on grey cloud logic is given. The character of research is that the development trend of flexible logic of intelligent decision support system is shown. The grey logic representing the incomplete and randomness and induction method based on it are proposed.

**Key words:** intelligent decision support system; flexible logic; grey cloud logic; knowledge induction

**摘要:** 针对经典的数理逻辑不能满足智能决策支持系统对逻辑柔性化的要求, 在分析各种经典和非经典逻辑的基础上, 指出了智能决策支持系统的逻辑柔性化的发展趋势, 并给出了一种基于灰云模型的具体的柔性逻辑——灰云逻辑。首先分析了智能决策支持系统对逻辑柔性化的需求, 然后给出了灰云逻辑及基于灰云逻辑的智能决策支持系统, 给出了灰云逻辑的具体表示形式, 并给出了基于灰云逻辑的具体的知识推理方法。最后, 给出了基于灰云逻辑的智能决策支持系统框架和原理。其研究特点在于明确了智能决策支持系统的逻辑柔性化的发展方向, 并给出了一种表示信息不完全性和随机性的具体的柔性逻辑推理方法。

**关键词:** 智能决策支持系统; 柔性逻辑; 灰云逻辑; 知识推理

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.13.065 **文章编号:** 1002-8331(2008)13-0210-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP18

## 1 前言

智能决策支持系统是以人工智能的相关理论为基础而发展起来的<sup>[1]</sup>, 逻辑是人工智能的基本问题, 智能决策支持系统处理问题的能力直接受到逻辑理论的影响。矛盾和不确定问题的处理是智能决策支持系统进一步发展的方向<sup>[2]</sup>, 其成功与否完全取决于逻辑理论的进一步发展, 即新的处理不确定性的逻辑的出现。为了提高智能决策支持系统处理问题的能力, 相关研究提出了模糊逻辑<sup>[3-5]</sup>、概率逻辑<sup>[6,7]</sup>、可拓逻辑<sup>[8-11]</sup>、灰色逻辑<sup>[12-14]</sup>等。这些逻辑的共同缺点是都只研究了不确定性或者矛盾问题的一个方面, 但现实中的事物或者概念往往多种不确定共存, 相关研究不能对此类问题进行描述和刻画。本文在分析智能决策支持系统对逻辑柔性化需求的基础上, 给出了一种综合表示信息不完全和随机性的灰云逻辑及其知识推理方法, 并给出了其在决策支持系统中的应用框架和原理。

## 2 相关研究评述

智能决策支持系统有两种基本类型, 一种是基于人工智能与智能决策支持系统相结合的, 旨在提高决策支持系统智能化、柔性化的系统。一种是以数据仓库数据挖掘为基础的智能决策支持系统<sup>[1]</sup>。这两种类型的智能决策支持系统都是以知识为基础的系统, 并使系统具有人的部分智能推理能力。要使系统具有智能性绝不能离开逻辑和基于逻辑的推理。

逻辑是智能思维和智能的 DNA<sup>[15]</sup>。对逻辑是否是智能的基本科学问题的回答经历了三个不同时期, 在早期的经典数理逻辑时期, 狭义的人工智能完全肯定逻辑是智能的基本科学问题。在中期由于计算智能和人工智能理论危机的出现, 对逻辑和智能的关系产生了怀疑<sup>[16]</sup>。现阶段, 人们重新认识到逻辑是智能的基本科学问题, 智能不但不能脱离逻辑而独立存在, 而且智能要求新的逻辑理论的出现以实现对人类语言、思维和推理的模拟。

**基金项目:** 河南省中原工学院青年骨干教师资助计划项目支持。

**作者简介:** 王洪利(1978-), 男, 讲师, 哈尔滨工业大学信息管理与信息系统方向博士毕业, 现从事决策支持系统、数据挖掘、商务智能等研究。

**收稿日期:** 2007-11-05 **修回日期:** 2008-01-04

## 2.1 经典与非经典逻辑概述

逻辑学是一门研究思维形式及思维规律的科学。逻辑规律就是客观事物在人的主观意识中的反映。而思维的形式结构包括了概念、判断和推理之间的结构和联系,其中概念是思维的基本单位,通过概念对事物是否具有某种属性进行肯定或否定的回答,这就是判断;由一个或几个判断推出另一个判断的思维形式就是、推理。早在公元前4世纪古希腊哲学家亚里士多德(Aristotle)就集前人之大成,将形式逻辑从哲学、认识论中分化出来,形成了一门以推理为中心,特别是以三段论为中心的独立的科学。

从18世纪德国数学家、哲学家莱布尼兹(G.Leibniz)倡导用通用符号语言和逻辑验算改革形式逻辑。到19世纪德国数学家G.Frege等人建立命题演算和一阶谓词验算系统,共同创立了数理逻辑学体系。

逻辑学分为形式逻辑和辩证逻辑两部分:形式逻辑研究具有内在同一性和外在确定性的概念、命题之间的必然联系。辩证逻辑研究具有内在矛盾性和外在不确定性的概念、命题之间的必然联系。

数理逻辑主要研究形式语言,使计算机能够在不识别人类自然语言的情况下,只认识符号并机械地执行程序。数理逻辑追求能够使计算机像人一样处理某些特定的自然语言。数理逻辑中命题的真值只有真和假两种情况<sup>[6]</sup>。

由于经典逻辑只能处理确定的命题,即命题为真或者为假是确定的,它满足不了现实的需要,因此基于经典逻辑,从不同角度对其进行扩充而形成了许许多多的非经典逻辑。这些非经典逻辑大体上可以分为两大类:一类是对经典逻辑做了扩充的逻辑,如模态逻辑、时态逻辑等;一类是与经典逻辑平行的逻辑,如多值逻辑、模糊逻辑和直觉主义逻辑等。

模态逻辑是用来刻画“必然”、“可能”等概念之逻辑推理规律的逻辑系统。20世纪初,刘易斯1918年给出了命题模态逻辑的第一个公理系统,即在标准逻辑的基础上增加以下初始符号:模态算子L(必然)、M(可能)、联结词~(严格蕴涵)。

多值逻辑的任务就是研究具有三个或三个以上值的命题之间的逻辑关系。如三值逻辑用1表示真,0表示假,第三值用*i*表示,它的语义不能简单地解释为没有足够的信息来确定真值,而应解释为一种既可真也可假的不定状态,即为“可能的”或“不定的”*i*状态,用以处理将来可能发生的命题的状态<sup>[7]</sup>。

概率逻辑应用概率论,把逻辑与概率结合起来进行不确定性推理,在知识工程和专家系统等不精确推理中得到广泛的应用。

模糊逻辑研究的是事物内在的不确定性、模糊性,1965年美国自动控制专家L.A.Zadeh首先发现并阐明。

## 2.2 智能决策支持系统的逻辑基础

为了提高智能决策支持系统处理问题的能力,相关研究提出了模糊逻辑智能决策支持系统、概率逻辑智能决策支持系统、可拓逻辑智能决策支持系统、灰色逻辑智能决策支持系统等。

蔡文教授在可拓研究的基础上,在《可拓逻辑初步》一书中给出了基于可拓的逻辑推理方法和体系<sup>[8]</sup>。对于处理矛盾和不相容问题提供了一整套实用的方法,但其在具体的计算机形式化推理方面还存在一段距离。

模糊逻辑研究的是事物内在的不确定性、模糊性,1965年美国自动控制专家L.A.Zadeh首先发现并阐明了模糊集合的

概念,并引入隶属函数来描述对立不充分的现实世界的各种中间过渡状态。据此它提出一种全新的数学和逻辑学,称为模糊数学和模糊逻辑。模糊逻辑把不确定的谓词引入目标语言,从而导致了某种形式的多值逻辑,把元语言谓词“真”和“假”本身看做是不确定的或模糊的<sup>[9]</sup>。模糊逻辑的优点在于考虑了事物的模糊性。但其缺点在于只考虑了事物的模糊性,而没有考虑随机性。

我国学者李德毅院士研究的基础上,一种新的逻辑—云逻辑被初步提出,基于云逻辑的智能决策支持系统得到初步研究<sup>[18,19]</sup>。云逻辑考虑和事物的亦此彼性和随机性,能够对事物集合实现软划分,云逻辑能够充分刻画事物的模糊性和随机性,但没有考虑事物的信息不完全性。

邓聚龙在灰色系统理论研究的基础上,给出了灰色逻辑推理的方法和体系,充分考虑和解决了信息不完全情况下的推理<sup>[12,13]</sup>。

概率逻辑应用概率论,把逻辑与概率结合起来进行不确定性推理,在知识工程和专家系统等不精确推理中得到广泛的应用<sup>[6,7]</sup>。

## 2.3 智能决策支持系统对逻辑的需求

综合以上分析,智能决策支持系统对逻辑的要求表现在:

第一,以数理逻辑为基础,数理逻辑是形式化的逻辑,是最便于计算机语言处理的逻辑。

第二,在数理逻辑的基础上,进行数理逻辑的柔性化变革。传统的数理逻辑被称为刚性逻辑。命题真值是确定的真假。规则推理只考虑必然联系。这大大限制了决策支持系统的推理能力。因此要求数理逻辑的柔性化,数理逻辑的柔性化主要表现在以下几个方面:

(1)在数理逻辑的真值的基础上引入命题的上的连续真值。能够对现实中不确定性和矛盾的事物进行描述。

(2)在推理规则中,引入推理规则的连续强度。

(3)其它方面的柔性,如修饰词、语气词的刻画等。

沿着上面这一思路,传统数理逻辑为处理更复杂的具有矛盾和不确定性问题,有以下几个方面的发展:

(1)与模糊逻辑与推理类似的不精确推理:模糊逻辑把不确定的谓词引入目标语言,从而导致了某种形式的多值逻辑,把元语言谓词“真”和“假”本身看做是不确定的或模糊的。模糊逻辑考虑的是不精确性推理问题。

(2)与灰色逻辑与推理类似的信息不完全情况下的推理:考虑不完全信息情况下的推理。

(3)与可拓知识表示与推理类似的矛盾情况下的推理。

(4)与贝叶斯推理相类似的概率逻辑与推理。

随着智能决策支持系统的进一步发展,处理的问题越来越复杂,主要表现在问题的不确定性和矛盾性。单一处理一个方面不确定性和矛盾性的逻辑和推理方法显得有些片面和不客观。因为现实世界中的事物的各种不确定性总是同时存在的。只考虑其一方面进行逻辑推理是不科学的。这就要求新的更加客观全面考虑多个不确定性方面的逻辑理论的出现。基于这种智能决策支持系统的逻辑需求,提出了一种综合考虑不确定性和随机性的灰云逻辑与推理方法。

## 3 灰云逻辑及其推理方法

### 3.1 灰云模型概述<sup>[20]</sup>

为了克服传统灰数白化函数的缺点,使白化函数能够综合

刻画决策信息的不完全性和随机性。遵循李德毅院士提出的用来表示模糊性与随机性的定性定量转化的云模型方法。笔者以往提出过一种表示信息不完全性和随机性的模型——灰云模型<sup>[20]</sup>。灰云模型如图 3 所示。在模型中  $U(x) \in [0, 1]$  表示灰数的白化权, 白化权模型被表示为有一定不均匀厚度的随机曲线。设  $U$  是一个论域  $U=\{x\}$ ,  $T$  是与  $U$  相联系的语言值,  $U$  中的元素  $x$  对于  $T$  所表达的灰概念的白化权是一个具有稳定倾向的随机数。白化权在论域上的分布称为白化权灰云, 简称灰云。

$U(x)=GL(x)$  在  $[0, 1]$  中取值, 灰云是从论域  $U$  到区间  $[0, 1]$  的映射, 即:

$$\begin{aligned} u(x) &= GL(x); U \rightarrow [0, 1] \\ \forall x \in U, x &\rightarrow GL(x) \end{aligned} \quad (1)$$

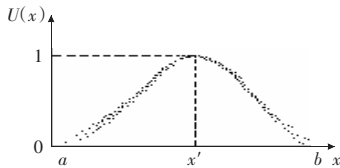


图 1 灰云模型示意图

灰云模型表达概念的灰性和随机性具有如下特点: 第一,  $x$  对于  $T$  的白化权是一个概率分布而非固定值, 从而产生了灰云模型, 而不是一条明晰的函数曲线。第二, 灰云由许许多多的云滴组成, 一个云滴是使一个灰数表达的定性概念在数量上的一次实现。灰云的整体反映了灰色概念的基本特征。第三, 灰云的曲线从灰色理论的角度讲是灰数的白化权曲线。第四, 灰云的厚度是不均匀的, 灰云的厚度反映了白化权系数的随机性大小, 掌握的信息相对较多的位置处隶属度的白化权随机性较小, 而掌握的信息相对较少的位置白化权的随机性大, 这与实际情况中, 人对灰色概念的主观判断信息相一致, 人们总是对掌握信息相对较多的概念或事物比较有把握, 并较容易做出判断, 而掌握信息较少概念或事物, 难做出判断和决策。

灰云的数字特征用峰值  $(Cx)$ , 左右界值  $(Lx, Rx)$ , 熵  $En$ , 超熵  $He$  等数值来表征。完整灰云的数字特征记为:  $GL(Cx; Lx, Rx; En; He)$ 。峰值是灰色概念中最能代表此定性概念的值, 也就是白化权等于 1 的值, 峰值可以是一个数, 成为点峰值, 也可以是一个区间, 称为区间峰值, 如果峰值是一个区间, 区间的左端点为左峰值  $LCx$ , 右端点为右峰值  $RCx$ 。左右边界值反映了在论域中灰色概念的数值范围。在点峰值模型中熵:

$$En = \frac{Rx - Lx}{6} \quad (2)$$

在区间峰值中:

$$En = \frac{(Rx - Lx) - (RCx - LCx)}{6} \quad (3)$$

超熵:

$$He = \frac{En}{\alpha} \quad (\alpha \text{ 为常数}) \quad (4)$$

灰云模型纵坐标是表示灰性的灰数的白化权。所以灰云模型既能表示信息的不完全性, 又能表示人的主观判断的随机性, 是一种综合表示灰性和随机性的定性与定量相互转化的模型。这一模型能够充分表达信息的灰性和人的主观判断随机性。

### 3.2 灰云逻辑及其推理方法

#### 3.2.1 基于灰云模型的语言变量

不确定知识中所使用的变量是语言变量, 所谓语言变量是

指用自然语言中的词或句子表示的变量。变量产品价格和普通集合中为数字变量  $u \in (0, \infty)$ , 而在灰云理论中可以使用语言变量, 该语言变量的取值可以是, 低、很低、不很低、高、很高、不很高等等。

#### 3.2.2 基于灰云模型的命题描述

(1) 灰云语言谓词

设  $x$  为在  $U$  中取值的变量,  $T$  为灰云语言谓词, 则命题表示为

$$(x \text{ is } T) \quad (5)$$

其中的灰云语言谓词可以是, 大、小、多、少、高、低等等。

(2) 灰云语言量词

基于灰云模型的规则描述中使用灰云语言量词, 如极少、很少、几个、少数、多数、大多数、几乎所有等等。这些灰云语言量词能使我们方便的描述下面的命题:

大多数情况下的生产安排与库存问题是可以采用线性规划模型求解。

(3) 灰云概率、灰云可能性和灰云真值

设  $A_\lambda(E_{x_\lambda}, En_\lambda, He_\lambda)$  表示灰云概率,  $A_\pi(E_{x_\pi}, En_\pi, He_\pi)$  表示灰云可能性,  $A_\tau(E_{x_\tau}, En_\tau, He_\tau)$  为灰云真值。则对命题还可以附加概率限定、可能性限定和真值限定。

$$(x \text{ is } T) \text{ is } A_\lambda(E_{x_\lambda}, En_\lambda, He_\lambda) \quad (6)$$

$$(x \text{ is } T) \text{ is } A_\pi(E_{x_\pi}, En_\pi, He_\pi) \quad (7)$$

$$(x \text{ is } T) \text{ is } A_\tau(E_{x_\tau}, En_\tau, He_\tau) \quad (8)$$

其中灰云模型  $A_\lambda(E_{x_\lambda}, En_\lambda, He_\lambda)$  代表的语言概念可以是“或许”、“必须”等, 灰云模型  $A_\pi(E_{x_\pi}, En_\pi, He_\pi)$  代表的语言概念可以是“非常可能”、“很不可能”等, 灰云模型  $A_\tau(E_{x_\tau}, En_\tau, He_\tau)$  代表的语言概念可以是“假”、“很真”等。

(4) 灰云修饰语

设  $m$  是灰云修饰语,  $x$  是变量,  $C$  为灰云语言谓词, 则命题可表示为:

$$(x \text{ is } mT) \quad (9)$$

常用的灰云修饰语可以为“非常”、“很”、“有些”、“大多数”等。灰云修饰语的表达可以通过下面的三种运算实现:

① 定性语言的非: 表示否定, 如“不”、“非”等, 其灰云模型的数字特征的运算为:

有两种情况: 一种情况是  $A_c$  位于论域的两端, 即  $A_c$  是一个半灰云, 那么  $A_c$  的非也是一个半灰云, 记为  $A_{\text{非}c}$ , 则

$$A_{\text{非}c} \Leftrightarrow Ex_{\text{非}c} \cong \min(U) \text{ 或 } \max(U) \quad (10)$$

$$En_{\text{非}c} \cong \frac{1}{3}(U - 3En_c) \quad (11)$$

$$He_{\text{非}c} \cong He_c \quad (12)$$

另一种情况  $A_c$  位于论域的中间, 即  $A_c$  是一个全灰云, 那么  $A_c$  的非就由两个半灰云组成。其中一个半灰云的数字特征为:

$$A_{\text{非}c} \Leftrightarrow Ex_{\text{非}c} \cong \min(U) \quad (13)$$

$$En_{\text{非}c} \cong En_c \quad (14)$$

$$He_{\text{非}c} \cong He_c \quad (15)$$

另一个半灰云的数字特征为:

$$A_{\text{非}c} \Leftrightarrow Ex_{\text{非}c} \cong \max(U) \quad (16)$$

$$En_{\text{非}c} \cong U - En_c \quad (17)$$

$$He_{\text{非}c} \cong He_c \quad (18)$$

② 语气加强: 表示“很”、“非常”, 用灰云运算中的加强语气运算:

灰云模型  $A(Ex, En, He)$  采用加强语气的运算生成  $A(Ex', En', He')$ , 方法如下:

$$En' = \alpha En \tag{19}$$

$$He' = \alpha He \tag{20}$$

$$Ex' = \begin{cases} Ex, \\ Ex + \sqrt{-2\ln(\alpha)} En' \\ Ex - \sqrt{-2\ln(\alpha)} En' \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{(分别为完整灰云、} \\ \text{半升灰云、半降灰云)} \end{matrix} \tag{21}$$

③语气减弱:表示“有些”、“稍微”等,用灰云运算中的减弱语气运算:

灰云模型  $A(Ex, En, He)$  采用减弱语气的运算生成  $A(Ex', En', He')$ , 方法如下:

$$En' = \frac{En}{\alpha} \tag{22}$$

$$He' = \frac{He}{\alpha} \tag{23}$$

$$Ex' = \begin{cases} Ex, \\ Ex + \sqrt{-2\ln(\alpha)} En' \\ Ex - \sqrt{-2\ln(\alpha)} En' \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{(分别为完整灰云、} \\ \text{半升灰云、半降灰云)} \end{matrix} \tag{24}$$

在②、③运算中  $\alpha$  为语气系数,根据领域专家权重给出,以简单的平均距离权重的语气运算为例,  $\alpha$  可以通过式(25)得到

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_{\min} & \text{最强(或最弱)语气系} \\ \alpha_{\min} + \frac{(n-1)(1-\alpha_{\min})}{m} & \text{第 } n \text{ 个语气系数} \\ 1 & \text{一般语气系数} \end{cases} \tag{25}$$

其中  $m$  为领域专家给出的权重表示的自然语言等级的总数,  $0 < \alpha_{\min} < 1$ ,  $\alpha_{\min}$  为常数(领域专家给定其值)。可以通过调节  $\alpha$  (改变  $\alpha_{\min}$  大小,非等距离权重等方法)表示不同的加强(或减弱)语气程度。

从上面的基于灰云模型的不确定性描述比传统的二值逻辑更为全面客观,比模糊逻辑增加了随机性描述,更加接近于自然语言的描述。

### 3.3 基于灰云的不确定知识推理

#### 3.3.1 基于相对贴近的匹配度方法

定性概念的匹配是对两个定性概念相似程度的比较与判断,两个定性概念的相似程度称为匹配度。贴近度指两个概念的接近程度,可以直接用作匹配度。

定义两个灰云模型表达的定性概念的贴近度如下:

**定义 1** 设在论域  $U$  中有两朵相邻的灰云  $A_1(Ex_1, En_1, He_1)$  和  $A_2(Ex_2, En_2, He_2)$ , 那么  $D_{1,2} = |Ex_1 - Ex_2|$  表示  $A_1(Ex_1, En_1, He_1)$  所代表的语言值与  $A_2(Ex_2, En_2, He_2)$  所代表的语言值的相对贴近度。

**定义 2** 设在论域  $U$  中有两朵相邻的灰云  $A_1(Ex_1, En_1, He_1)$  和  $A_2(Ex_2, En_2, He_2)$ , 定义  $FD_{1,2} = |En_1 - En_2|$  表示  $A_1(Ex_1, En_1, He_1)$  所代表的语言值与  $A_2(Ex_2, En_2, He_2)$  所代表的语言值的信息不完全的相对贴近度。

**定义 3** 设在论域  $U$  中有两朵相邻的灰云  $A_1(Ex_1, En_1, He_1)$  和  $A_2(Ex_2, En_2, He_2)$ , 定义  $RD_{1,2} = |He_1 - He_2|$  表示  $A_1(Ex_1, En_1, He_1)$  所代表的语言值与  $A_2(Ex_2, En_2, He_2)$  所代表的语言值的随机性相对贴近度。

对于多命题组合的前件规则,建立多概念的平均贴近度:

$$D = \frac{\sum D_{ij}}{n} \tag{26}$$

$$FD = \frac{\sum FD_{ij}}{n} \tag{27}$$

$$RD = \frac{\sum RD_{ij}}{n} \tag{28}$$

其中  $D$ 、 $FD$ 、 $RD$  分别表示综合相对贴近度,综合模糊相对贴近度,综合随机相对贴近度。

对于前件的规则,需要确定对已知的事实应该匹配哪一条规则,使用(综合)匹配度最大优先准则,确定事实灰云模型与规则前件的语言变量的灰云模型之间的匹配度,使用根据匹配度最大优先原则,确定输出规则的推理方法。

#### 3.3.2 基于条件灰云发生器的最大隶属度方法

对于一个属性语言变量给定灰云模型  $A_1(Ex_1, En_1, He_1)$ ,  $A_2(Ex_2, En_2, He_2)$ ,  $\dots$ ,  $A_n(Ex_n, En_n, He_n)$  作为其定性概念描述的语言项,将决策实际情况中得到的任一属性值  $x$  输入灰云发生器  $CG_1, CG_2, \dots, CG_n$ 。得到输出  $u_1, u_2, \dots, u_n$ , 即属性值  $x$  与灰云模型  $A_1(Ex_1, En_1, He_1)$ ,  $A_2(Ex_2, En_2, He_2)$ ,  $\dots$ ,  $A_n(Ex_n, En_n, He_n)$  的隶属度,检索最大的隶属度  $u_i$ , 则  $x$  分配给  $A_i(Ex_i, En_i, He_i)$ 。同时查找与  $A_i(Ex_i, En_i, He_i)$  表达的定性概念相对应的规则前件,并输出规则。

对于多命题组合的前件规则,建立多概念的平均隶属度  $u$ :

$$u = \frac{\sum_{j=1}^n u_j}{n} \tag{29}$$

并按照平均隶属度最大优先的原则输出规则。

### 3.4 基于灰云逻辑的智能决策支持系统

基于灰云逻辑的智能决策支持系统的体系结构如图 2 所示。

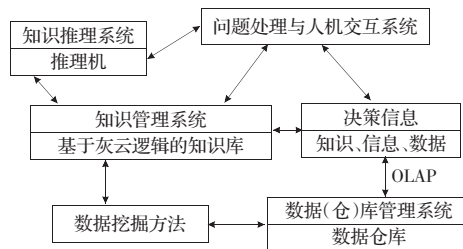


图 2 基于灰云逻辑的智能决策支持系统的体系结构

该结构的特点是以大量不确定性的决策数据为基础,系统由数据仓库对低层的业务数据进行集成、转换和综合,重新组织成面向主题的全局数据视图。OLAP 是在全局数据视图上进行多维数据分析。数据挖掘是从数据库或数据仓库中进行挖掘,获得辅助决策信息。由于数据仓库、OLAP、数据挖掘都是数据驱动的,故它们的共同点是寻找大量数据中的知识,从不同角度为决策者提供辅助决策信息,这是决策支持系统新的发展方向。其中数据仓库、知识库是基于灰云逻辑建立的,并充分表达了知识的不确定性。此体系结构增加智能决策支持系统处理复杂决策不确定性问题的能力。

### 4 结束语

本文分析了智能决策支持系统中传统数理逻辑所面临的

(下转 231 页)