

文章编号: 1001-0920(2011)11-1680-05

## 基于灰色关联分析和MYCIN不确定因子的 直觉模糊决策方法

李 鹏, 刘思峰, 方志耕

(南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016)

**摘 要:** 针对方案的指标值为直觉模糊数的决策问题, 提出一种基于灰色关联分析和MYCIN不确定因子的决策方法. 根据直觉模糊数的记分函数得到各指标下不同方案的MYCIN不确定因子, 运用灰色关联方法确定各指标的信任度; 推导出多证据下不确定因子的融合方法, 证明其满足交换律和结合律, 并通过该融合方法确定最优方案. 数值算例表明, 所提出的方法能有效解决D-S证据推理与决策问题相结合中存在的计算复杂、合成不稳定等问题.

**关键词:** 直觉模糊数; MYCIN不确定因子; 数据融合; 决策; 灰色关联分析

中图分类号: N941.5

文献标识码: A

### Intuitionistic fuzzy numbers decision-making method based on grey incidence analysis and MYCIN certainty factor

LI Peng, LIU Si-feng, FANG Zhi-geng

(College of Economics & Management, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China.  
Correspondent: LI Peng, E-mail: jellyok@126.com)

**Abstract:** A method based on grey incidence analysis and MYCIN uncertainty factor is proposed for decision-making problems with the attribute values of corresponding alternatives in the form of intuitionistic fuzzy numbers. According to the score function of intuitionistic fuzzy numbers, the MYCIN certainty factors of different alternatives in different indices are obtained. And the trust degrees of different indices are determined by using the grey incidence analysis. Then, the certainty factor fusion method in different indices is deduced to get the optimal alternative. It is proved that the fusion method satisfies the commutative law and the associative law. And the best alternative is obtained by using the proposed method. The problem of computational complexity and synthetic instability is solved while combining D-S theory and decision-making.

**Key words:** intuitionistic fuzzy numbers; MYCIN certainty factor; data fusion; decision-making; grey incidence analysis

## 1 引 言

Zadeh<sup>[1]</sup>提出的模糊集理论可描述外延不明确的亦此亦彼的模糊概念. 保加利亚学者Atanassov<sup>[2]</sup>于1986年提出了直觉模糊集的概念, 它是对传统的模糊集的一种扩充和发展. 直觉模糊集增加了新的属性参数: 非隶属度函数, 它比传统的模糊集在处理模糊性和不确定性方面更具灵活性和实用性. 因此, 这样给出的信息更“准确”, 更能反映客观情况, 更易于理解, 因而更合理. 正由于其深刻的理论意义和广泛的实际背景, 直觉模糊多属性决策问题的研究日益

受到人们的重视. Chen等人<sup>[3]</sup>利用得分函数处理基于Vague集(Bustince等人<sup>[4]</sup>指出Vague集实质上是直觉模糊集)的模糊多属性决策问题. Li<sup>[5]</sup>为属性权重和属性值均为直觉模糊数的多属性决策问题提供了一种基于线性规划模型的决策途径. Xu等人<sup>[6]</sup>则探讨了直觉模糊信息的集成方式并应用于多属性决策领域.

传统的决策方法大都是对各方案的属性(指标)值加权求和得到各方案的综合属性值, 然后根据其大小进行排序. 事实上, 现实中人们在决策时, 除了用方

收稿日期: 2010-06-17; 修回日期: 2010-09-10.

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划培育项目(90924022); 国家自然科学基金面上项目(70971064); 国家社科重点项目(08AJY024).

作者简介: 李鹏(1980—), 男, 博士生, 从事决策分析、灰色系统理论的研究; 刘思峰(1956—), 男, 教授, 博士生导师, 从事数量经济学、灰色系统理论等研究.

案的属性值加权求和进行决策外,很多情况下是利用个体的经验和所能收集到的相关事实和数据作为判断与推理的证据进行证据推理,找出最优方案.这里称其为“证据推理决策”.目前,已有学者将D-S证据理论融合到决策方法中进行证据推理决策方法和模型的探讨. Shafer<sup>[7]</sup>针对单个证据不能全面反映事物运行规律的特点,研究了如何促进不同证据之间的有机融合,运用证据融合的结果表征复杂现象的本质.王育红等人<sup>[8]</sup>将区间数与D-S理论相结合,得到了区间数的决策方法.刘付显等人<sup>[9]</sup>提出了基于不确定融合证据的决策方法.这些理论的提出和应用,促进了D-S证据理论和决策理论的进一步发展.然而,运用D-S证据推理融合方法进行决策时,存在以下2个方面的缺陷:

1) 推理链较长时,合成公式的使用很不方便,随着推理过程的增加,识别框架变得非常复杂,计算量大大增加;

2) 证据合成中会出现不稳定性,将严重影响D-S推理方法的应用.

针对传统决策方法以及D-S证据理论与决策融合方法存在的上述问题,本文将MYCIN不确定因子和灰色关联方法引入到决策理论中,提出一种基于灰色关联分析和MYCIN不确定因子的直觉模糊决策方法,解决了以下3个方面的决策问题:

1) 提供一种新的基于证据推理的快速有效的决策方法与模式,便于人们方便地利用其已有的经验和动态决策过程中不断补充新的信息作为证据进行推理决策;

2) 克服了D-S证据推理决策模型计算工作量随推理链的增加而迅速大量增加和证据合成中出现的稳定性问题的缺陷;

3) 将MYCIN不确定因子与灰色关联方法相结合,建立推理决策模型,拓宽了灰色系统理论的应用领域.

## 2 决策模型构建与算法设计

**定义 1**<sup>[2]</sup>(直觉模糊集) 设  $X$  是一个给定论域,  $X$  上的一个直觉模糊集为

$$A = \{ \langle x, u_A(x), v_A(x) \rangle | x \in X \}.$$

其中:  $u_A(x)$  和  $v_A(x)$  分别为  $X$  中元素  $x$  属于  $X$  的隶属度和非隶属度,  $u_A : X \rightarrow [0, 1], v_A : X \rightarrow [0, 1]$ , 且满足条件  $0 \leq u_A(x) + v_A(x) \leq 1, x \in X$ . 则称  $\pi_A(x) = 1 - u_A(x) - v_A(x)$  表示  $X$  中元素  $x$  属于  $A$  的犹豫度.

一个直觉模糊集  $A$ , 其隶属度  $u_A(x)$ , 非隶属度  $v_A(x)$  及其犹豫度  $\pi_A(x)$  分别表示对象  $x$  属于直觉模糊集  $A$  的支持、反对、中立这3种证据的程度. 例如,

假设直觉模糊集  $A = \{ \langle x, 0.5, 0.3 \rangle | x \in X \}$ , 即其隶属度  $u_A(x) = 0.5$ , 非隶属度  $v_A(x) = 0.3$ , 犹豫度  $\pi_A(x) = 0.2$ , 则表示对象  $x$  属于直觉模糊集  $A$  的程度为 0.5, 不属于直觉模糊集  $A$  的程度为 0.3, 既不支持也不反对的中立程度为 0.2. 也可用投票模型解释: 赞成票为 50%, 反对票为 30%, 弃权票为 20%.

$X$  中的元素  $x$  属于  $A$  的隶属度与非隶属度所组成的有序对  $\langle u_A(x), v_A(x) \rangle$  称为直觉模糊数. 可以将  $X$  上的直觉模糊集  $A$  看作全体直觉模糊数的集合, 记为  $IFS(X)$ .

假设多属性(指标)决策问题, 有  $m$  个可行方案  $X_1, X_2, \dots, X_m, n$  个评价指标  $I_1, I_2, \dots, I_n$ , 可行方案  $X_i$  在评价指标  $I_j$  下的属性值为直觉模糊数  $d_{ij}$ , 得到直觉模糊决策矩阵  $D = (d_{ij})_{m \times n}$ .

**定义 2**<sup>[3]</sup> 对于直觉模糊数  $\alpha = \langle u_A(x), v_A(x) \rangle$ , 定义  $S(\alpha) = u_A(x) - v_A(x)$  为  $\alpha$  的记分函数, 其中  $S(\alpha) \in [-1, 1]$ .

Chen 等人<sup>[3]</sup>于 1994 年首先引进了记分函数, 其意义是支持程度与反对程度的差值. 该值表示净支持程度, 越大越好, 这与人们的直觉非常相近. 特别地, 当  $S(\alpha) = -1$  时, 表示完全反对该方案; 当  $S(\alpha) = 1$  时, 表示完全赞成该方案; 当  $S(\alpha) = 0$  时, 表示支持程度与反对程度相同.

通过记分函数可以将直觉模糊决策矩阵  $D = (d_{ij})_{m \times n}$  转化为记分函数矩阵  $S = (s_{ij})_{m \times n}$ .

**定义 3**<sup>[10]</sup> 设  $h$  为假设随机变量,  $e$  为证据随机变量, 则  $CF(h/e) = MB(h/e) - MD(h/e)$  为 MYCIN 不确定因子, 其中

$$MB(h/e) = \begin{cases} \frac{P(h/e) \vee P(h) - P(h)}{1 - P(h)}, & P(h) \neq 1; \\ 1, & P(h) = 1. \end{cases}$$

$$MD(h/e) = \begin{cases} \frac{P(h) - P(h/e) \wedge P(h)}{P(h)}, & P(h) \neq 0; \\ 1, & P(h) = 0. \end{cases}$$

$CF(h/e)$  表示当证据  $e$  肯定为真时, 它对假设  $h$  为真的信任度, 取值范围为  $[-1, 1]$ .

特别地, 当  $CF(h/e) = 1$  时, 表示假设  $h$  在证据  $e$  下为真; 当  $CF(h/e) = -1$  时, 表示假设  $h$  在证据  $e$  下为假; 当  $CF(h/e) = 0$  时, 表示假设  $h$  在证据  $e$  下完全不能确定.

本文将决策系统的指标体系与方案体系分别视为一组证据信息和不同假设.

通过比较记分函数和 MYCIN 不确定因子, 可以发现二者在意义上非常相似, 故取  $CF(h_i/e_j) = d_{ij}$ , 其中  $CF(h_i/e_j)$  表示在指标  $I_j$  下方案  $X_i$  为最优方案的信任度. 然而, 当证据  $e$  不确定为真时, 即当证据  $e$  为

不确定型时,令  $CF(e)$  表示证据  $e$  的信任度,取值范围是  $[-1, 1]$ .  $CF(e)$  的值越大表示证据  $e$  的可信程度越高.特别地,  $CF(e) = 1$  表示证据  $e$  为真,  $CF(e) = -1$  表示证据  $e$  为假.

**定义 4** 令  $CF_T(h/e) = CF(h/e) \cdot CF(e)$  为实质不确定因子.

实质不确定因子表征在出现证据  $e$ , 而证据  $e$  的信任度为  $CF(e)$  的条件下,对假设  $h$  为真的信任度.

若要得到实质不确定因子,必须先求得每个证据(指标)  $I_j$  的可信度  $CF(e_j)$ . 为了求出每个证据(指标)  $I_j$  的可信度  $CF(e_j)$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , 可采用灰色系统中的灰色关联分析方法,首先求得指标不确定度.

指标不确定度的提取方法应根据实际情况予以选择,理论上,如果某个指标信息相对于其他指标而言越匹配于指标体系的平均信息,说明该指标包含的信息越利于决策,该指标信息的不确定度低;反之亦成立.

设记分矩阵  $S = (s_{ij})_{m \times n}$ , 令

$$\bar{s}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_{ij}, i = 1, 2, \dots, m.$$

**定义 5**<sup>[11]</sup> 指标  $I_j$  的  $q$  阶不确定度为

$$DOI(I_j) = \frac{1}{m} \left[ \sum_{i=1}^m (r_{ij})^q \right]^{1/q}.$$

其中

$$r_{ij} = \frac{\min_i |s_{ij} - \bar{s}_i| + \zeta \max_i |s_{ij} - \bar{s}_i|}{|s_{ij} - \bar{s}_i| + \zeta \max_i |s_{ij} - \bar{s}_i|},$$

$$i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$$

为灰色均值关联度,一般令  $\zeta = 0.5$ .

通过定义 5(为提高分辨效果,这里采用欧氏距离而不采用 Hamming 距离,取  $q = 2$ ) 可以得到指标  $I_j$  的可信度  $CF(e_j) = 1 - DOI(I_j)$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ . 这样便可以得到方案  $X_i$  在各指标  $I_j$  下的实质不确定因子

$$CF_T(h_i/e_j) = CF(h_i/e_j) \cdot CF(e_j) = s_{ij} \cdot (1 - DOI(I_j)). \quad (1)$$

要想作出决策,就需要对各方案在不同指标(证据)下实质不确定因子进行证据融合.下面给出融合方法.

**定义 6**<sup>[10]</sup> 设函数  $F : [0, \infty) \rightarrow [-1, 1]$ , 满足: 1)  $F(0) = -1, F(\infty) = 1, F(x)$  是单调增的; 2)  $F(1/x) = -F(x)$ . 则称  $F$  为生成函数.

**定义 7**<sup>[10]</sup> 若生成函数  $F(x)$  存在二元函数  $f$  满足  $F(x \cdot y) = f(F(x), F(y))$ , 则称  $F$  为可合成的生成函数.

**定理 1** 若  $e_1$  和  $e_2$  关于  $h$  和  $\bar{h}$  是条件独立的,  $F$

是可以合成的生成函数, 则

$$CF_T(h/e_1, e_2) = F\left(\frac{P(e_1, e_2/h)}{P(e_1, e_2/\bar{h})}\right)$$

是不确定因子的合成函数,即存在函数  $f : [-1, 1]^2 \rightarrow [-1, 1]$ , 使  $CF_T(h/e_1, e_2) = f(CF_T(h/e_1), CF_T(h/e_2))$ .

**证明** 由条件独立性和  $F$  的性质有

$$CF_T(h/e_1, e_2) =$$

$$F\left(\frac{P(e_1/h)}{P(e_1/\bar{h})} \cdot \frac{P(e_2/h)}{P(e_2/\bar{h})}\right) =$$

$$f\left(F\left(\frac{P(e_1/h)}{P(e_1/\bar{h})}\right), F\left(\frac{P(e_2/h)}{P(e_2/\bar{h})}\right)\right) =$$

$$f(CF_T(h/e_1), CF_T(h/e_2)). \quad \square$$

因为  $F_1(x \cdot y) = \frac{F_1(x) + F_1(y)}{1 + F_1(x)F_1(y)}$  是一种可合成的生成函数, 因此有证据合成公式

$$CF_T(h/e_1, e_2) = \frac{CF_T(h/e_1) + CF_T(h/e_2)}{1 + CF_T(h/e_1) \cdot CF_T(h/e_2)}.$$

**定理 2** 由  $F_1$  得到的证据合成公式具有以下性质:

1)  $CF_T(h/e_1, e_2) = CF_T(h/e_2, e_1)$ , 即交换律;

2)  $CF_T(h/(e_1, e_2), e_3) = CF_T(h/e_1, (e_2, e_3))$ , 即结合律.

**证明** 1) 交换律

$$CF_T(h/e_1, e_2) =$$

$$\frac{CF_T(h/e_1) + CF_T(h/e_2)}{1 + CF_T(h/e_1) \cdot CF_T(h/e_2)} =$$

$$\frac{CF_T(h/e_2) + CF_T(h/e_1)}{1 + CF_T(h/e_2) \cdot CF_T(h/e_1)} =$$

$$CF_T(h/e_2, e_1).$$

2) 结合律

$$CF_T(h/(e_1, e_2), e_3) =$$

$$\frac{CF_T(h/e_1, e_2) + CF_T(h/e_3)}{1 + CF_T(h/e_1, e_2) \cdot CF_T(h/e_3)} =$$

$$\frac{\frac{CF_T(h/e_1) + CF_T(h/e_2)}{1 + CF_T(h/e_1) \cdot CF_T(h/e_2)} + CF_T(h/e_3)}{1 + \frac{CF_T(h/e_1) + CF_T(h/e_2)}{1 + CF_T(h/e_1) \cdot CF_T(h/e_2)} \cdot CF_T(h/e_3)} =$$

$$\frac{CF_T(h/e_1) + CF_T(h/e_2) + CF_T(h/e_3) + \rightarrow}{1 + CF_T(h/e_1) \cdot CF_T(h/e_2) + CF_T(h/e_2) \cdot}$$

$$\leftarrow \frac{CF_T(h/e_1) \cdot CF_T(h/e_2) \cdot CF_T(h/e_3)}{CF_T(h/e_3) + CF_T(h/e_1) \cdot CF_T(h/e_3)},$$

$$CF_T(h/e_1, (e_2, e_3)) =$$

$$\frac{CF_T(h/e_1) + CF_T(h/e_2, e_3)}{1 + CF_T(h/e_1) \cdot CF_T(h/e_2, e_3)} =$$

$$\frac{CF_T(h/e_1) + \frac{CF_T(h/e_2) + CF_T(h/e_3)}{1 + CF_T(h/e_2) \cdot CF_T(h/e_3)}}{1 + CF_T(h/e_1) \cdot \frac{CF_T(h/e_2) + CF_T(h/e_3)}{1 + CF_T(h/e_2) \cdot CF_T(h/e_3)}}$$

$$\frac{CF_T(h/e_1) + CF_T(h/e_2) + CF_T(h/e_3) + \dots}{1 + CF_T(h/e_1) \cdot CF_T(h/e_2) + CF_T(h/e_2) \cdot CF_T(h/e_3) + \dots} \rightarrow$$

$$\leftarrow \frac{CF_T(h/e_1) \cdot CF_T(h/e_2) \cdot CF_T(h/e_3) \cdot \dots}{CF_T(h/e_3) + CF_T(h/e_1) \cdot CF_T(h/e_3) + \dots}$$

所以  $CF_T(h/(e_1, e_2), e_3) = CF_T(h/e_1, (e_2, e_3))$ .  $\square$

**推论 1** 若  $e_1, e_2, \dots, e_m$  为关于  $h$  和  $\bar{h}$  是条件独立的, 则  $CF_T(h/e_1, e_2, \dots, e_m) = f(CF_T(h/e_1, e_2, \dots, e_{m-1}), CF_T(h/e_m))$ , 即

$$CF_T(h/e_1, e_2, \dots, e_m) = \frac{CF_T(h/e_1, e_2, \dots, e_{m-1}) + CF_T(h/e_m)}{1 + CF_T(h/e_1, e_2, \dots, e_{m-1}) \cdot CF_T(h/e_m)}. \quad (2)$$

推论 1 提供了多条证据下实质不确定因子的融合方法. 可以看到, 实质不确定因子在多个证据下进行融合是相当简便的, 对  $m$  个证据进行融合最多只需  $m$  次运算.

综上所述, 可得到基于灰色关联分析和 MYCIN 不确定因子的直觉模糊决策方法步骤如下:

**Step 1:** 根据直觉模糊决策矩阵  $D$  和记分函数公式得到记分函数矩阵  $S$ ;

**Step 2:** 根据记分函数矩阵  $S$  得到 MYCIN 不确

	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$
$X_1$	$\langle 0.3, 0.5 \rangle$	$\langle 0.6, 0.3 \rangle$	$\langle 0.6, 0.4 \rangle$	$\langle 0.8, 0.2 \rangle$	$\langle 0.4, 0.5 \rangle$	$\langle 0.5, 0.3 \rangle$
$X_2$	$\langle 0.7, 0.3 \rangle$	$\langle 0.5, 0.3 \rangle$	$\langle 0.7, 0.2 \rangle$	$\langle 0.7, 0.1 \rangle$	$\langle 0.5, 0.4 \rangle$	$\langle 0.4, 0.1 \rangle$
$X_3$	$\langle 0.4, 0.3 \rangle$	$\langle 0.7, 0.2 \rangle$	$\langle 0.5, 0.4 \rangle$	$\langle 0.6, 0.3 \rangle$	$\langle 0.4, 0.3 \rangle$	$\langle 0.3, 0.2 \rangle$
$X_4$	$\langle 0.6, 0.2 \rangle$	$\langle 0.5, 0.4 \rangle$	$\langle 0.7, 0.2 \rangle$	$\langle 0.3, 0.2 \rangle$	$\langle 0.5, 0.4 \rangle$	$\langle 0.7, 0.3 \rangle$
$X_5$	$\langle 0.5, 0.3 \rangle$	$\langle 0.3, 0.5 \rangle$	$\langle 0.6, 0.3 \rangle$	$\langle 0.6, 0.2 \rangle$	$\langle 0.6, 0.2 \rangle$	$\langle 0.5, 0.2 \rangle$

根据直觉模糊决策矩阵和记分函数公式, 得到记分函数矩阵

$$S = \begin{bmatrix} -0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.6 & -0.1 & 0.2 \\ 0.4 & 0.2 & 0.5 & 0.6 & 0.1 & 0.3 \\ 0.1 & 0.5 & 0.1 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.1 & 0.5 & 0.1 & 0.1 & 0.4 \\ 0.2 & -0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.4 & 0.3 \end{bmatrix}.$$

根据记分函数矩阵  $S$ , 得到 MYCIN 不确定因子矩阵

$$CF = \begin{bmatrix} -0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.6 & -0.1 & 0.2 \\ 0.4 & 0.2 & 0.5 & 0.6 & 0.1 & 0.3 \\ 0.1 & 0.5 & 0.1 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.1 & 0.5 & 0.1 & 0.1 & 0.4 \\ 0.2 & -0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.4 & 0.3 \end{bmatrix}.$$

根据记分函数矩阵  $S$  和定义 5, 得到指标 (证据)  $I_j$  的不确信用度

$$DOI(I_1) = 0.350, DOI(I_2) = 0.374,$$

$$DOI(I_3) = 0.325, DOI(I_4) = 0.350,$$

$$DOI(I_5) = 0.342, DOI(I_6) = 0.341.$$

进而, 各指标的信任度为

定因子矩阵  $CF = (CF(h_i/e_j))_{m \times n}$ ;

**Step 3:** 根据记分函数矩阵  $S$  和定义 5 得到指标  $I_j$  的不确信用度  $DOI(I_j)$ , 进而得到指标  $I_j$  的信任度  $CF(e_j) = 1 - DOI(I_j), j = 1, 2, \dots, n$ ;

**Step 4:** 根据式 (1) 得到实质不确定因子矩阵

$$CF_T = (CF_T(h_i/e_j))_{m \times n};$$

**Step 5:** 根据式 (2) 进行证据信息融合;

**Step 6:** 根据实质不确定因子最大化原则选择最优方案.

### 3 算例分析

为了便于比较, 本文采用文献 [12] 的算例. 一个家庭欲购买一台冰箱, 现有 5 种品牌冰箱  $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$  可供选择, 主要的评价指标 (属性) 有 6 项, 即:  $I_1$  (安全性),  $I_2$  (制冷性能),  $I_3$  (结构性),  $I_4$  (可靠性),  $I_5$  (经济性),  $I_6$  (美观性). 利用统计方法, 得到方案  $X_i$  对指标 (属性) 的支持程度  $u_{ij}$  和反对程度  $v_{ij}$ , 记为直觉模糊数  $\alpha_{ij} = \langle u_{ij}, v_{ij} \rangle, i = 1, 2, \dots, 5, j = 1, 2, \dots, 6$ . 具体表示如下:

$$CF(e_1) = 0.650, CF(e_2) = 0.626,$$

$$CF(e_3) = 0.675, CF(e_4) = 0.650,$$

$$CF(e_5) = 0.658, CF(e_6) = 0.659.$$

根据式 (1), 得到实质不确定因子矩阵

$$CF_T = \begin{bmatrix} -0.130 & 0.188 & 0.135 & 0.390 & -0.066 & 0.132 \\ 0.260 & 0.125 & 0.337 & 0.390 & 0.066 & 0.198 \\ 0.065 & 0.313 & 0.067 & 0.195 & 0.066 & 0.066 \\ 0.260 & 0.063 & 0.337 & 0.065 & 0.066 & 0.264 \\ 0.130 & -0.125 & 0.202 & 0.260 & 0.263 & 0.198 \end{bmatrix}.$$

根据式 (2) 进行证据信息融合, 有

$$CF_T(h_1/e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6) = 0.587,$$

$$CF_T(h_2/e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6) = 0.890,$$

$$CF_T(h_3/e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6) = 0.656,$$

$$CF_T(h_4/e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6) = 0.793,$$

$$CF_T(h_5/e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6) = 0.738.$$

根据实质不确定因子最大化原则, 方案  $X_2$  为最优方案, 方案的优劣顺序为  $X_2 \succ X_4 \succ X_5 \succ X_3 \succ X_1$ ,

这与文献[12]的结果完全一致。

#### 4 结 论

本文将MYCIN不确定因子方法用于多属性(指标)决策,提出了一种新的基于证据推理的快速有效的决策方法与模式.该决策方法首先利用记分函数得到MYCIN不确定因子,运用灰色关联方法确定各指标的信任度,从而得到方案在各指标下的实质不确定因子;然后推导出实质不确定因子在不同证据下的融合方法,并证明其满足交换律和结合律,通过融合方法得到各方案的综合实质不确定因子,确定最优方案;最后通过算例表明了所提出的方法使用简便、有效。

#### 参考文献(References)

- [1] Zadeh L A. Fuzzy sets[J]. Information and Control, 1965, 8: 338-353.
- [2] Atanassov K T. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96.
- [3] Chen S M, Tan J M. Handling multi-criteria fuzzy decision-making problems based on vague set theory[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 67(2): 163-172.
- [4] Bustince H, Burillo P. Vague sets are intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 79(3): 403-405.
- [5] Li D F. Multi-attribute decision making models and methods using intuitionistic fuzzy sets[J]. J of Computer and System Sciences, 2005, 70(1): 73-85.
- [6] Xu Z S, Yager R R. Some geometric aggregation operators based on intuitionistic fuzzy sets[J]. Int J of General Systems, 2006, 35(4): 417-433.
- [7] Shafer G. A mathematical theory of evidence[M]. NH: Princeton University Press, 1976: 19-63.
- [8] 王育红,党耀国.基于灰色关联系数和D-S证据理论的区间数投资决策方法[J].系统工程理论与实践, 2009, 29(11): 128-134.  
(Wang Y H, Dang Y G. Approach to interval numbers investment decision-making based on grey incidence co-efficients and D-S theory of evidence[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2009, 29(11): 128-134.)
- [9] 刘付显,邢清华.基于D-S融合证据的决策新方法[J].系统工程理论与实践, 2009, 29(7): 125-131.  
(Liu F X, Xing Q H. New decision making method based on D-S fusion evidence[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2009, 29(7): 125-131.)
- [10] 张文修,梁怡,徐萍.基于包含度的不确定推理[M].北京:清华大学出版社, 2007: 121-126.  
(Zhang W X, Liang Y, Xu P. Uncertainty reasoning based on inclusion degree[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007: 121-126.)
- [11] 眭凌,罗本成,邵东国.基于D-S证据推理的项目投资综合决策模型与应用[J].系统工程, 2002, 20(1): 71-76.  
(Sui L, Luo B C, Shao D G. D-S based investment decision model and its application[J]. Systems Engineering, 2002, 20(1): 71-76.)
- [12] 徐泽水.直觉模糊偏好信息下的多属性决策途径[J].系统工程理论与实践, 2007, 27(11): 62-71.  
(Xu Z S. Approaches to multiple attribute decision making with intuitionistic fuzzy preference information[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2007, 27(11): 62-71.)

(上接第1679页)

- [7] Jing Shing Yao, Kweimei Wu Ranking. Fuzzy numbers based on decomposition principle and singed distance[J]. Fuzzy Set and System, 2000, 116(2): 275-288.
- [8] Liem Tran, Lucien Duckstein. Comparison of fuzzy numbers using a fuzzy distance measure[J]. Fuzzy Set and System, 2002, 130(3): 331-341.
- [9] 卢冰原,陈华平,谷峰,等.模糊作业车间调度中的提前拖期问题的研究[J].系统工程学报, 2006, 21(6): 655-658.  
(Lu B Y, Chen H P, Gu F, et al. Reaearch of earliness/tardiness problem in fuzzy job-shop scheduling[J]. J of System Engineering, 2006, 21(6): 655-658.)
- [10] Kacem I, Hammadi S, Borne P. Pareto-optimality approach for flexible job-shop scheduling problems: Hybridization for evolutionary algorithm and fuzzy logic[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2002, 60(3/4/5): 245-276.
- [11] Sun Yanfen, Multi-objective optimization algorithm based on GA and TS hybrid strategy[J]. J of Industrial Engineering/Engineering Management, 2000, 14(4): 4-7.
- [12] May R. Simple mathematical models with very complicated dynamics[J]. Nature, 1976, 261(10): 459-467.
- [13] 程八一,陈华平,王栓狮.单机不同尺寸作业批调度问题的优化算法[J].系统管理学报, 2008, 17(3): 318-322.  
(Cheng B Y, Chen H P, Wang S S. An algorithm for scheduling single batch-processing machine with non-identical job sizes[J]. J of System Management, 2008, 17(3): 318-322.)