

引用格式:李首庆.基于云模型模糊综合评判法的飞行规避安全性评估[J].电光与控制,2018,25(12):84-89. LI S Q. Safety evaluation in flight evasion based on cloud-model fuzzy comprehensive assessment[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(12):84-89.

基于云模型模糊综合评判法的飞行规避安全性评估

李首庆

(中国民用航空飞行学院,四川广汉 618307)

摘要:针对传统模糊综合评判法中隶属度函数的选择过于主观而导致的评估结果无法唯一确定的问题,引入定性与定量概念转换模型——云模型,提出了一种基于云模型的模糊综合评判法。首先,通过引入云模型替代了原始模糊综合评判法中单一的隶属度函数,使定性结果的随机性与模糊性得以表征。其次,在评价过程中,通过改进评价范围的划分,避免了分界太绝对的问题;同时,基于该叉量化区间确定新的量化区间,并依此得到评价云模型,避免了逆向云的运算。最后,通过评估飞行规避安全性实例分析了云模型综合评判法、原始模糊综合评判法及所提算法的评估性能,验证其有效性。

关键词:模糊综合评判;隶属度;云模型;隶属度函数

中图分类号:V271.4; TP274

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2018.12.018

Safety Evaluation in Flight Evasion Based on Cloud-Model Fuzzy Comprehensive Assessment

LI Shou-qing

(Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China)

Abstract: The traditional method of fuzzy comprehensive assessment has the problem that the evaluation result is not well-determined because the choosing of the membership function is too subjective. A qualitative and quantitative conceptual conversion model, named the cloud model, is introduced, and a fuzzy comprehensive assessment method based on the cloud model is proposed. First, by introducing the cloud model to replace the single membership function in the original fuzzy comprehensive assessment method, the randomness and ambiguity of the qualitative results are characterized. Secondly, in the evaluation process, the problem of absolute boundary is avoided by improving the division of the evaluation scope. At the same time, a new quantification interval is determined based on the cross quantification interval, and the cloud model is obtained accordingly to avoid the computing of the reverse cloud. Finally, the evaluation performance of the three methods of the cloud-model comprehensive evaluation method, the original fuzzy comprehensive evaluation method and the proposed algorithm is analyzed by evaluating the example of flight avoidance safety, and the validity of the proposed method is verified.

Key words: fuzzy comprehensive assessment; subjective degree; cloud model; membership function

0 引言

模糊综合评判是在模糊理论的基础上,应用模糊关系合成原理,从多个因素对被评判对象隶属等级进行综

合评判的一种方法,此方法简单实用,已经推广到国民经济和工农业生产的方方面面^[1]。如文献[2]将模糊综合评判与电子对抗理论结合,成功应用于反导对抗系统的工程实践;文献[3]则将其应用于养殖区环境的评估;文献[4]则研究了基于模糊综合评判的机场道面使用性能评价方法。上述这些研究是模糊综合评判在一些领域的直接应用。此外,近年来一些学者结合“潜在失效模式及后果分析(FMEA)”、灰色关联等理论,提出了与模糊综合评判相结合的综合评价方法^[5-6],取得了不错的效果,扩展了模糊综合评判的应用范围。

收稿日期:2017-12-15

修回日期:2018-01-17

基金项目:中国民用航空飞行学院面上项目(J2016-68);国家自然科学基金民航联合基金项目(U1733203);民航安全能力建设专业项目(DFS2018404)

作者简介:李首庆(1986—),男,四川广汉人,学士,讲师,研究方向为电子设计、计算机仿真、导航。

模糊综合评判虽然应用广泛,但也存在着明显的不足。1) 隶属度函数确定的主观性。模糊综合评判中,定性与定量之间的转换用一条精确的隶属度曲线来完成。显然,如果隶属度函数不同,则得到的评判结果也将发生变化,而隶属度函数的确定伴随着专家的主观性,也就增加了评判结果的模糊性与随机性。2) 不同定性评语量化区间分界太绝对。对定性概念量化时,往往给出一个大致区间,而模糊综合评判法将不同评语的量化区间进行严格的分界,忽略了量化时的模糊性。

上述问题可以归结为定性与定量之间的转换问题,为解决此类问题,文献[7]借助隶属函数思想,提出了云模型的崭新概念,在这之后,不断有学者将云模型应用于相关领域^[8-10],并取得了良好的效果;之后有关云模型的计算方法也相继被提出^[11-13],这些都体现了云模型的应用价值。其中,文献[14]提出了基于云模型的模糊综合评判法,将隶属度矩阵及权重集体化为云模型,但提高了计算的复杂度。为此,本文利用云模型结合原始的模糊综合评判法,针对飞行规避问题中的安全性评估提出一种新的云模型模糊综合评判法。该算法可解决模糊综合评判法中隶属度函数的确定过于主观的问题,并可避免在评价过程中不同评语量化区间相交而使分界太绝对的问题。该算法只将隶属度函数转化为云模型,从而减小了计算复杂度。最后给出仿真算例,通过对比两种不同算法的评判结果验证新算法的可行性。

1 问题分析与改进

1.1 隶属度问题

模糊综合评判的关键可以归纳为各个因素对各评语隶属度的确定问题,即因素对评语的模糊映射,而原始的模糊综合评判法用一条固定的隶属度函数曲线表征这种映射,忽略了隶属度函数确定的模糊性与随机性。例如,设 X 是反映飞机寿命的一个普通集合 $X = \{x \in [0, 130]\}$, \tilde{A} 为论域 X 上的模糊子集,表示“中年”这个定性概念。假设:甲主观定义 \tilde{A} 的隶属度函数为 $\mu_{\tilde{A}}^1(x) = \exp[-(x-50)^2/(2 \times 2.1)^2]$;相对于甲,乙主观定义的隶属度函数为 $\mu_{\tilde{A}}^2(x) = \exp[-(x-50)^2/(2 \times 1.8)^2]$;而丙主观定义的隶属度函数为 $\mu_{\tilde{A}}^3(x) = \exp[-(x-50)^2/(2 \times 2.5)^2]$ 。

显然,甲乙丙 3 人对定性概念“中年”定义了 3 个不同的隶属度函数,其隶属度函数曲线如图 1 所示。由图 1 可知,在对“中年”这个定性概念的处理过程中,具体年龄对“中年”的隶属度并不是恒定不变的,而是始终存在着细微的变化,显然一条简单的隶属度函数曲线是不足以表达这种模糊映射的。

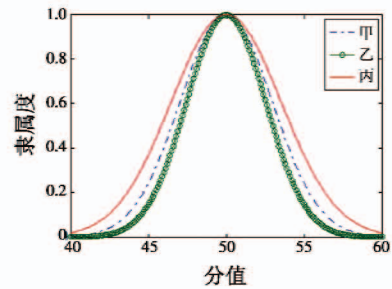


图 1 “中年”隶属度函数

Fig.1 Middle age membership function

为此,可以用评价云模型来表征这种模糊映射,同样对于“中年”这个定性概念可以用正态云模型^[15]来定义,即 $C(Ex, En, He) = C(50, 2.1, 0.4)$, 其中, Ex 表示期望, En 表示熵, He 表示超熵。经云发生器云化后如图 2 所示。

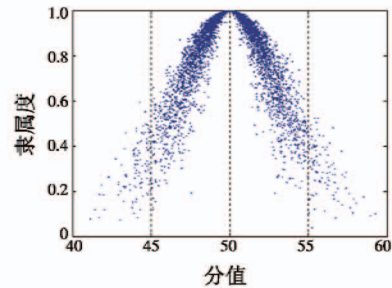


图 2 “中年”云模型

Fig.2 Middle age cloud model

从图中可以看出,具体年龄 x 对应一系列的云滴,每个云滴的确定度 μ_i 即为该年龄对“中年”隶属度的一次随机实现。由云模型的数字特征可知,这些云滴呈概率分布在直线 $x = x_i$ 上,因此,可以取这些云滴的期望值作为最终的隶属度值,以此来表征模糊综合评判中因素对评语的模糊映射。

因素对评语的模糊映射是模糊综合评判中的关键,而文献[14]中,虽然将隶属度矩阵 R 用云模型来表示,但并没有体现各个因素对不同评语的隶属度,且由

$$B = A \circ R = \begin{pmatrix} Ex_{a1} & En_{a1} & He_{a1} \\ Ex_{a2} & En_{a2} & He_{a2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Ex_{an} & En_{an} & He_{an} \end{pmatrix}^T \circ \begin{pmatrix} Ex_1 & En_1 & He_1 \\ Ex_2 & En_2 & He_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Ex_n & En_n & He_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

可以看出,权重集 A 亦化为云模型矩阵,计算过程将涉及到云模型的运算规则,增加了运算的复杂度。式(1)运算的具体方法可参考文献[1]。

为此,只将原有模糊综合评判中的隶属度函数用云模型来表示,一方面利用了云模型在模糊性与随机性上的优势,另一方面也降低了算法的计算复杂度。

1.2 评语量化区间分界问题

在原始模糊综合评判法及文献[14]的基于云模

型的模糊综合评判(CFCE)法中,隶属度函数的确定通常事先由专家根据经验建立模糊评价集中各评语 v_i 与量化区间 $[B_{\min}, B_{\max}]$ 的对应,而后求得隶属度函数。然而,不同评语的量化区间被严格地分割开来从而失去交集,这显然忽略了定性评语量化过程中的模糊性。人们在表达某个事物时,往往是抽象的和不够精确的,需要一种模糊集合来表示,这种集合与相邻集合没有严格的边界,从“属于一个集合”到“属于另一个集合”是逐渐过渡的,体现了语言表达的灵活性与多样性。

为表现模糊性,使不同评语的量化区间彼此相交,在实际操作过程中,可由专家根据经验确定相交区域的大小,在确定新的量化区间 $[B_{\min}, B_{\max}]$ 后,求得相应的评价云模型,即

$$\begin{cases} Ex = (B_{\min} + B_{\max})/2 \\ En = (B_{\max} - B_{\min})/6 \\ He = k \end{cases} \quad (2)$$

式中, k 为常数,可由专家根据实际情况确定。

由于专家评判法会因个人对项目熟悉程度及关注角度的不同,存在个别评判过高或过低的情况,进而影响最终结果。为此,采用文献[16]中的打分权重的迭代算法来解决该问题。

1.3 计算量问题

由隶属度函数及量化区间的改进可知,在改进算法的过程中,引入云模型来表示隶属度函数并未涉及逆向云算法,并且隶属度矩阵 R 与权重集 A 均不是云模型矩阵,避免了云模型间的运算,使得运算量大为减少。

1.4 评价指标权重的确定

根据下层指标对上层指标的相对重要程度,将下层指标在1~9之间进行重要程度赋值,其具体意义可见表1。

表1 1~9重要程度标尺

Table 1 Importance scale from 1 to 9

重要程度	两两重要性比较
1	两者同等重要
3	前者稍微重要
5	前者明显重要
7	前者重要得多
9	前者极端重要
2,4,6,8	处于相邻等级之间
1/2~1/9	表示前者比后者不重要程度

之后由权重确定方法,求解下层指标对上层指标的相对权重,最后得出底层指标对目标的最终权重。在求解过程中,引入应用较为广泛的方根法^[17]计算权重,并引入层次单排序的一致性检验方法以判断是否需要调整判断矩阵,如需要调整则可采用文献[18]的

调整方法。

各个指标权重的确定步骤及检验方法如下所述。

1) 确定判断矩阵 H 。判断矩阵以上层指标为参考,对下层指标两两进行比较,用1~9的标尺确定其重要程度,建立判断矩阵 H 为

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1n} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ h_{n1} & h_{n2} & \cdots & h_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, h_{ij} 表示第 i 个指标相对第 j 个指标的重要程度($i, j=1, 2, \dots, n$),且满足以下性质:① $h_{ij} \neq 0$; ② $h_{ij} = 1/h_{ji}$ ($i \neq j$); ③ $h_{ii} = 1$ ($i=j$)。

2) 计算判断矩阵每行元素的几何平均值 \bar{a}_i ($i=1, 2, \dots, n$),得到向量 $\bar{A} = (\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_n)^T$,其中

$$\bar{a}_i = \left(\prod_{j=1}^n h_{ij} \right)^{1/n} \quad (4)$$

3) 将 \bar{A} 归一化,得到各指标的相对权重 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 向量,其中

$$a_i = \bar{a}_i / \sum_{j=1}^n \bar{a}_j \quad (5)$$

4) 计算判断矩阵的最大特征值为

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(HA)_i}{na_i} \quad (6)$$

5) 计算一致性指标为

$$C_I = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (7)$$

式中, n 为判断矩阵的阶数。

6) 一致性检验。由表2及计算得出的一致性指标 C_I ,计算一致性比例 C_R 。当 $C_R < 0.1$ 时,接受判断矩阵 H ,否则,采用文献[18]的方法调整 H ,重新计算。

$$C_R = C_I / R_I \quad (8)$$

式中, R_I 为平均随机一致性指标。

表2 不同阶数下的平均随机一致性指标 R_I

Table 2 Consistency index R_I of different orders

阶数 n	R_I	阶数 n	R_I	阶数 n	R_I
1	0	5	1.12	9	1.46
2	0	6	1.26	10	1.49
3	0.52	7	1.36	11	1.52
4	0.89	8	1.41	12	1.54

2 云模型模糊综合评判法

综上所述,云模型模糊综合评判法的运算步骤如下所述。

1) 由 n 种元素构成因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$,并确定相应的分值 x_i 。

2) 因为各因素对事物的影响不一样,所以因素有不同的权重,记为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$,其中, a_i 表示第

i 个因素的权重,且满足归一化条件。

3) 由 m 种判断构成评价集,记为 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$,一般为优、中、差等类似的语言集,每个语言集对应相应的评价云模型,云模型的确定由专家给出相应评语对应的分数区间 $[B_{\min}, B_{\max}]$,为体现评语之间的模糊性,各分数区间应有一定的交集,利用式(2)计算得到云模型参数。

4) 将每个因素的定量分值 x_i 代入云模型中,得到一系列的云滴,每个云滴的确定度 μ_i 即为该因素对相应评语隶属度的一次随机实现,这反映了实际中隶属度函数不唯一的现实。可以取这些云滴的期望值作为最终的隶属度值,并得到隶属关系矩阵 R 为

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}_{n \times m} \quad (9)$$

式中, r_{ij} 表示第 i 个因素对第 j 个评价的隶属关系,其值区间为 $[0, 1]$ 。

5) 将 A 与 R 合成, $B = A \times R = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$,由最大隶属度原则得出最终的判断结果,评价集对应相应的期望分数 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$,因此可将最终评语量化为评价分数 $Z = \bar{B} \cdot C^T$ 。其中, \bar{B} 为 B 的归一化。

3 仿真实验

认知域指标体系结构如图 3 所示。

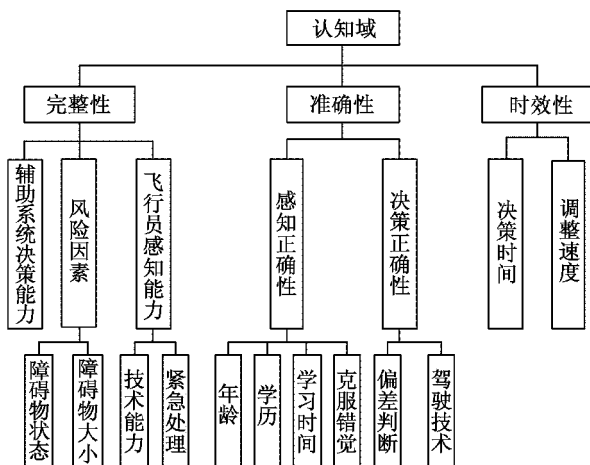


图 3 认知域指标体系结构图

Fig. 3 Structure of the cognitive domain index

因认知域指标的评价是对飞行员面对障碍物时规避能力的评价,这势必存在很强的模糊性与随机性。传统的模糊评判法不能反映此种特性,因此可以利用云模糊综合评判法进行评估。分别用云模型模糊综合评判法、模糊综合评判法及 CFCE 法,结合飞行规避评

估中认知域的指标体系,对其安全性进行综合评估,以说明本文方法的可行性,其中本文算法的具体步骤如下所述。

1) 组织专家对认知域中末端指标进行评分,为方便计算,将分数标准化为 $[0, 1]$ 之间,各指标分别表示为 $u_w, u_{w1}, u_{w2}, u_{w3}, u_{w21}, u_{w22}, u_{w31}, u_{w32}, u_z, u_{z1}, u_{z2}, u_{z11}, u_{z12}, u_{z13}, u_{z14}, u_{z21}, u_{z22}, u_s, u_{s1}, u_{s2}$,其中, $u_{w21}, u_{w22}, u_{w31}, u_{w32}, u_{z11}, u_{z12}, u_{z13}, u_{z14}, u_{z21}, u_{z22}, u_{s1}, u_{s2}$ 为底层指标,并且评估前其分数已给出。

2) 组织专家分析各级指标的相对重要程度,用 1.4 节的权重确定方法,分别确定各级指标的权重集,表示为 $A, A_w, A_{w1}, A_{w2}, A_z, A_{z1}, A_{z2}, A_s$ 。

3) 在标准化评分的基础上建立统一的评价云模型,一般将评价等级分为 3, 5, 7 等单数类,取 5 类评价等级,分别为“优”、“良”、“中”、“差”、“很差”。

4) 将各指标分值代入评价云模型中,得到下级指标相对上级指标的隶属度矩阵,分别表示为 $R_{w1}, R_{w2}, R_{z1}, R_{z2}, R_s$ 。

5) 将 4) 的隶属度矩阵与相应的权重 $A_{z1}, A_{z2}, A_{w1}, A_{w2}, A_s$ 合成并精确化为最终结果,即为上一级的指标 $u_{w2}, u_{w3}, u_{z1}, u_{z2}, u_s$ 的评价分值,将各指标分值代入评价云模型中,进一步得到 R_w, R_z, R 与 A_w, A_z, A ,将隶属度矩阵与权重合成得到最终的评价值。

最后可通过飞行规避认知域的实际数据对基于云模糊综合评判的效能评估算法进行验证。

3.1 确定底层指标的分值及各指标的权重

根据认知域中的指标体系,按照 1.4 节介绍的步骤,先根据 10 位专家的评分结果给出各指标的分值,并针对当前认知域的指标体系,给出判断矩阵 H ,现以 1 位专家的评估结果为例,其分值归一化后如表 3 ~ 表

4 所示,相应的判断矩阵分别表示为 $H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$,

$H_w = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1 \\ 3 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, H_z = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix}, H_s = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1/5 & 1 \end{bmatrix}, H_{w1} =$

$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 1/3 & 1/3 \\ 1 & 3 & 1 & 1/7 \\ 3 & 3 & 7 & 1 \end{bmatrix}, H_{w2} = \begin{bmatrix} 1 & 9 \\ 1/9 & 1 \end{bmatrix}, H_{z1} =$

$\begin{bmatrix} 1 & 1/5 \\ 5 & 1 \end{bmatrix}$ 。

而后按式(3) ~ 式(5)分别计算各指标的权重,其最终的指标分值及相应权重如表 3 ~ 表 5 所示。

表 3 底层指标分值及权重

Table 3 Index scores and weights on the bottom

指标	分值	权重	指标	分值	权重
障碍物状态	0.88	0.52	年龄	0.61	0.31
障碍物大小	0.90	0.48	学历	0.56	0.32
技术能力	0.75	0.39	学习时间	0.44	0.19
紧急处理	0.66	0.61	克服错觉	0.78	0.18
偏差判断	0.85	0.45	驾驶技术	0.78	0.55

表 4 第 3 层各指标分值及权重

Table 4 Index scores and weights of the third layer

指标	分值	权重	指标	分值	权重
辅助决策	0.80	0.31	决策正确性	-	0.54
指挥员决策	-	0.42	决策时间	0.76	0.44
飞行员感知能力	-	0.37	调整速度	0.82	0.56
感知正确性	-	0.46	-	-	-

表 5 第 2 层指标权重

Table 5 Index scores and weights of the second layer

评价集	完整性	准确性	时效性
分数区间	0.33	0.33	0.34

3.2 确定评价云模型

为仿真的简便,对所有指标的评价统一设定 5 个评价等级及其相对应的分数区间,如表 6 所示。

表 6 评语分数区间

Table 6 Evaluation score interval

评价集	优	良	中	差	很差
分数区间	[1,0.7]	(0.9,0.5)	(0.7,0.3)	(0.5,0.1)	(0.3,0]

利用式(2)求得云模型的参数 $k=0.02, C_1(0.85, 0.05, 0.02), C_2(0.7, 0.066, 0.02), C_3(0.5, 0.066, 0.02), C_4(0.3, 0.066, 0.02), C_5(0.15, 0.05, 0.02)$ 。对应的云模型如图 4 所示,对于“优”与“很差”,当分数大于或小于 E_x 时,其隶属度值为 1。

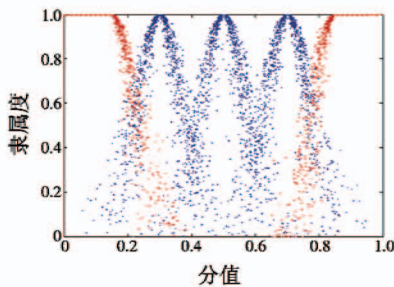


图 4 评价云模型

Fig.4 Evaluation of the cloud model

3.3 结果综合

将表 3 ~ 表 5 中的数据代入评价云模型中,得出隶属度矩阵: $R_{w1} = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.0245 & 0.0006 & 0.0000 & 0.0000 \\ 1.0000 & 0.0101 & 0.0009 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$, $A_{w1} = [0.52, 0.48]$;

$$R_{w2} = \begin{bmatrix} 0.1353 & 0.7505 & 0.0008 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0006 & 0.8322 & 0.0529 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix},$$

$$A_{w2} = [0.39, 0.61];$$

$$R_{z1} = \begin{bmatrix} 0.0000 & 0.4013 & 0.2556 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.1098 & 0.6664 & 0.0005 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0005 & 0.6664 & 0.1098 & 0.0000 \\ 0.3754 & 0.4861 & 0.0001 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix},$$

$$A_{z1} = [0.31, 0.35, 0.19, 0.18];$$

$$R_{z2} = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.0756 & 0.0002 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.3753 & 0.4797 & 0.0001 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix},$$

$$A_{z2} = [0.45, 0.55];$$

$$R_s = \begin{bmatrix} 0.1979 & 0.6615 & 0.0004 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.8353 & 0.1915 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix},$$

$$A_s = [0.44, 0.56]。$$

将上述隶属度矩阵 $R_{w1}, R_{w2}, R_{z1}, R_{z2}, R_s$ 及对应的权重集 $A_{z1}, A_{z2}, A_{w1}, A_{w2}, A_s$ 合成并归一化,乘以相应的期望分数,得到 $u_{w2}, u_{w3}, u_{z1}, u_{z2}, u_s$ 的分值分别为 $u_{w2} = 0.8473, u_{w3} = 0.7050, u_{z1} = 0.5950, u_{z2} = 0.8063, u_s = 0.7821$ 。

将上述指标值代入评价云模型中,得出如下的隶属

$$度矩阵: R_w = \begin{bmatrix} 0.6065 & 0.3173 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.9985 & 0.0829 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0149 & 0.9971 & 0.0080 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix},$$

$A_w = [0.31, 0.45, 0.37]$ 。将二者合成并归一化,乘以相应的期望分数,得 $u_w = 0.7860$;

$$R_z = \begin{bmatrix} 0.0000 & 0.2821 & 0.3549 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.6825 & 0.2733 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix},$$

$A_z = [0.46, 0.54]$,同理,得 $u_z = 0.7197$;结合 $u_s = 0.7821$,再得

$$R = \begin{bmatrix} 0.4408 & 0.4279 & 0.0001 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0335 & 0.9564 & 0.0039 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.3977 & 0.4613 & 0.0001 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix},$$

$A_w = [0.33, 0.33, 0.34]$,得 $B = [0.2922 \quad 0.6133 \quad 0.0014 \quad 0.00 \quad 0.00]$,由最大隶属度原则得评价结果为“良”,精确化后得评价分数为 0.748。

3.4 对比分析

下面分别采用现有的模糊综合评判法及基于云模型的模糊综合评判法进行综合评价,以体现本文改进算法的有效性。其中,评价过程均采用表 3 ~ 表 5 中的数据及表 6 中的评价等级为标准,对比 3 种方法的评价结果及所用时间。

1) 采用模糊综合评判法评价时,分别采用图 5 中 2 种评价隶属度函数,计算所得的最终飞行规避安全性的评价结果分别为 0.7456, 0.7434。由分析可知,当采用不同的隶属度函数时,其计算结果不同,结果存在细微的变化,其变化如图 5 所示,而导致变化的原因正是隶属度函数确定的主观性使得产生的结果不唯一。2) 采用 CFCE 法进行综合评价时,将所有的权重集矩阵 A 及隶属度矩阵 R 均化为云模型矩阵,得到最终的评价结果

为 $B = A \cdot R = (0.725\ 2, 0.110\ 7, 0.052\ 9)$ 。3) 采用本文算法时, 采用相量化区间, 依据方根法计算各指标的权值, 并采用单层排序法进行一致性检验, 最终所得评价分数为 0.748 0。

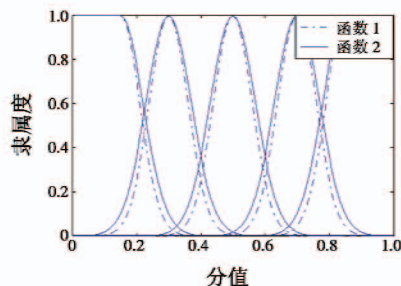


图5 模糊综合评判法隶属度函数
Fig. 5 Membership function for the fuzzy comprehensive evaluation method

通过对比3种算法的最终评价结果可以看出, 原始模糊综合评判法由于隶属度函数的主观性会不可避免地造成评价结果的主观性, 使得评价结果随着隶属度函数的变化而变化, 而云模糊综合评判法利用云滴的随机性反映了隶属度函数的主观变化, 并用这些云滴的期望值作为隶属度值, 稳定了评价结果, 从而减少了模糊综合评判法的主观性, 取得了与CFCE法一致的效果。

3种算法的耗时分别为: 本文算法 0.001 2 s, CFCE 算法 0.245 8 s, 模糊综合评判法 0.001 1 s。对比3种算法的运算时间, 原始模糊评判法由于利用云模型中的逆向云发生器, 将常规模糊综合评判法中的综合评判矩阵转化为云模型数字特征表示的矩阵, 期间会花费较长时间, 故CFCE法耗时最长; 本文方法虽然同样引入了云模型来表示隶属度函数, 但其中并未涉及逆向云算法, 且隶属度矩阵 R 与权重集 A 均不是云模型矩阵, 避免了云模型间的运算, 因此在耗时上会明显优于CFCE法。但由于求解评价云模型时同样需要耗费一定时间, 故在算法运行的时效性上稍差于模糊综合评判法, 但两者已经十分接近。因此, 通过分析上述的飞行规避安全性评估实验, 说明了本文方法可以在运算时间及评判结果上取得很好的平衡, 具有较高的效费比。

4 结束语

本文利用定性概念与定量表示之间的不确定转换模型——云模型, 结合原始模糊综合评判法及CFCE法, 提出了一种基于云模型的模糊综合评判法。通过对比原始的模糊综合评判方法, 新方法能够给出一个稳定的结果, 解决了评价结果随隶属度函数变化而变化的问题; 对比CFCE法, 解决了计算耗时过长的问题。对比3种算法在评估飞行规避安全性方面的结果, 证实了本文所提云模型模糊综合评判法的有效性。针对飞行规避的

安全性问题提出了云模型模糊综合评判方法, 并给出评估飞行规避安全性的案例, 证明了本文算法的有效性。

参考文献

- [1] 王新洲, 史文中, 王树良. 模糊空间信息处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
- [2] 张鸿雁, 李言俊, 张科. 模糊综合评判在反导对抗决策中的应用[J]. 宇航学报, 2008, 29(5): 1673-1676.
- [3] XU Y H, SUN Y. Evaluation on environment state of breeding area in Shuidong Bay by using fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 17(2): 64-68.
- [4] 田甜, 白二雷, 高志刚. 基于模糊数学的机场道面使用性能评价方法[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2011, 12(6): 18-21.
- [5] 崔文彬, 吴桂涛, 孙培廷, 等. 基于FMEA和模糊综合评判的船舶安全评估[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007, 28(3): 263-268.
- [6] ZHOU Y X, ZHOU Y Z, XIE S Y, et al. A grey fuzzy comprehensive model for evaluation of geological structure complexity[J]. Journal of China University of Geosciences, 2008, 19(4): 436-440.
- [7] LI D Y, LIU C Y, GAN W Y. A new cognitive model: cloud model[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2009, 24(3): 357-375.
- [8] 杨峰, 王碧篁, 赵慧波, 等. 基于云模型的战略预警信息系统效能评估[J]. 系统工程与电子技术, 2014, 3(7): 1334-1338.
- [9] 胡石元, 李德仁, 刘耀林, 等. 基于云模型和关联度分析的土地评价因素权重挖掘[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(5): 423-427.
- [10] 宋岚, 文堂柳, 黎海生, 等. 基于云模型、图论和互信息的遥感影像分割方法[J]. 电子学报, 2015, 43(8): 1518-1525.
- [11] 刘禹, 李德毅. 正态云模型雾化性质统计分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36(11): 1320-1324.
- [12] 李海林, 国崇慧, 邱望仁. 正态云模型相似度计算方法[J]. 电子学报, 2011, 39(11): 2561-2567.
- [13] 陈昊, 李兵, 刘常显. 一种无确定度的逆向云算法[J]. 小型微型计算机系统, 2015, 36(3): 544-549.
- [14] 徐征捷, 张友鹏, 苏宏升. 基于云模型的模糊综合评判法在风险评估中的应用[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(2): 69-72.
- [15] 李德毅, 刘常显. 论正态云模型的普适性[J]. 中国工程科学, 2004, 6(8): 28-34.
- [16] 邬平, 马继涛, 李鑫, 等. 一种基于专家打分权重的迭代算法构建与应用[J]. 昆明理工大学学报: 自然科学版, 2013, 38(2): 107-110, 116.
- [17] 周永林. 基于模糊综合评判的可信度评估模型及方法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- [18] 叶跃祥. 区间数多属性决策的一些问题研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007.