

12-16-2020

## A Simulation Credibility Assessment Method Based on Improved Fuzzy Comprehensive Evaluation

Peizhi Ran

*1. Control and Simulation Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; ;*

Li Wei

*1. Control and Simulation Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; ;*

Bao Ran

*2. Shanghai Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai 201109, China;*

Ma Ping

*1. Control and Simulation Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; ;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# A Simulation Credibility Assessment Method Based on Improved Fuzzy Comprehensive Evaluation

## Abstract

**Abstract:** Aiming at the problems of inaccurate evaluation results caused by experts in the process of simulation credibility evaluation based on traditional fuzzy comprehensive evaluation according to personal preferences or expectations, and unreasonable selection of fuzzy synthetic calculations, a simulation credibility evaluation method based on improved fuzzy comprehensive evaluation is proposed. *For the tree-like assessment index system, the fuzzy comprehensive evaluation matrix is used to determine the weight of each index in the assessment index system based on the minimum membership weighted average deviation; in the fuzzy synthesis operation, the membership evaluation weighted average deviation is used to obtain the comprehensive evaluation vector, and then the simulation credibility evaluation result is obtained; it is applied to the credibility assessment of a hardware-in-the-loop simulation system, and the calculation results verify the rationality and feasibility of the method.*

## Keywords

credibility assessment, fuzzy comprehensive evaluation, weighted average deviation of minimum membership degree, tree-like assessment index system

## Recommended Citation

Ran Peizhi, Li Wei, Bao Ran, Ma Ping. A Simulation Credibility Assessment Method Based on Improved Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(12): 2469-2474.

# 基于改进模糊综合评判的仿真可信度评估方法

冉培志<sup>1</sup>, 李伟<sup>1</sup>, 鲍然<sup>2</sup>, 马萍<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工业大学控制与仿真中心, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 上海机电工程研究所, 上海 201109)

**摘要:** 针对基于传统模糊综合评判的仿真可信度评估过程中专家根据个人偏好或期望确定权重、模糊合成运算选择不合理等引起的评估结果不准确等问题, 提出了一种基于改进模糊综合评判的仿真可信度评估方法。针对树型评估指标体系, 利用模糊综合评判矩阵, 基于最小隶属度加权平均偏差确定评估指标体系中各层指标的权重; 在模糊合成运算环节, 利用隶属度加权平均偏差, 获取综合评价向量, 进而得到仿真可信度评估结果; 应用于某半实物仿真系统可信度评估中, 计算结果验证了该方法的合理性和可行性。

**关键词:** 可信度评估; 模糊综合评判; 最小隶属度加权平均偏差; 树型评估指标体系

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2020) 12-2469-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-FZ0470

## A Simulation Credibility Assessment Method Based on Improved Fuzzy Comprehensive Evaluation

Ran Peizhi<sup>1</sup>, Li Wei<sup>1</sup>, Bao Ran<sup>2</sup>, Ma Ping<sup>1</sup>

(1. Control and Simulation Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. Shanghai Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai 201109, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of inaccurate evaluation results caused by experts in the process of simulation credibility evaluation based on traditional fuzzy comprehensive evaluation according to personal preferences or expectations, and unreasonable selection of fuzzy synthetic calculations, a simulation credibility evaluation method based on improved fuzzy comprehensive evaluation is proposed. For the tree-like assessment index system, the fuzzy comprehensive evaluation matrix is used to determine the weight of each index in the assessment index system based on the minimum membership weighted average deviation; in the fuzzy synthesis operation, the membership evaluation weighted average deviation is used to obtain the comprehensive evaluation vector; and then the simulation credibility evaluation result is obtained; it is applied to the credibility assessment of a hardware-in-the-loop simulation system, and the calculation results verify the rationality and feasibility of the method.

**Keywords:** credibility assessment; fuzzy comprehensive evaluation; weighted average deviation of minimum membership degree; tree-like assessment index system

## 引言

随着仿真技术的不断发展和人们对仿真技术



收稿日期: 2020-04-30 修回日期: 2020-06-30;  
基金项目: 国家重点研发计划(2018YFB1701600);  
作者简介: 冉培志(1998-), 男, 土家族, 四川成都, 硕士生, 研究方向为复杂仿真系统可信度评估; 李伟(1980-), 男, 黑龙江望奎, 博士, 教授, 研究方向为复杂系统建模与评估。

应用价值认识的逐渐深入, 其应用领域越来越广泛<sup>[1-2]</sup>, 对仿真正确性和可信度的要求也越来越高。仿真系统是否可信将直接影响到基于仿真结果所进行的一系列应用或决策过程<sup>[3]</sup>。与此同时, 仿真系统日趋复杂化, 导致其可信度评估也愈来愈困难。

一般而言, 仿真系统可信度评估可以转化为多

<http://www.china-simulation.com>

• 2469 •

指标、多因素的综合评估问题。在评估过程中需要建立评估指标体系，并确定各个指标的权重。指标的权重反映了各个指标之间的相对重要性，也反映了各个指标在系统可信度中所占的地位和所起的作用，指标权重的确定关系到评估结果的可靠性与有效性<sup>[4]</sup>。

模糊综合评判是一种常用的仿真系统可信度评估方法。它通过专家确定从指标集到评价集的模糊综合评判矩阵，然后采用专家确定法或层次分析法给出各指标的权重信息，再利用模糊合成运算，获得最终的综合评判结果<sup>[5-6]</sup>。但是指标的权重分配会受到专家的个人偏好和期望的影响，并且模糊合成运算的选择也没有相对明确的准则，故容易导致模糊综合评判的结果失效或者不准确<sup>[7]</sup>。

因此，针对传统模糊综合评判方法在可信度评估中的局限性，提出了一种基于改进模糊综合评判的仿真可信度评估方法。针对可信度评估中常用的树型评估指标体系，利用模糊综合评判矩阵，基于最小隶属度加权平均偏差确定指标体系中各层指标的权重，减少传统方法确定权重的主观性；在模糊合成环节，利用隶属度加权平均偏差，获取综合评价向量，避免模糊合成运算选择不当造成评估结果的不准确性；通过可信度评估实例，验证所提出方法的合理性和可行性。

## 1 基于最小隶属度加权平均偏差的权重确定方法

### 1.1 底层指标权重的确定

设某底层指标集由  $m$  个指标所构成，可以表示为集合  $U_i$ ，即  $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{im}\}$ ，如图 1 所示。评价集描述了各指标的优劣程度，表示为集合  $V$ ，即  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。

通过专家对指标集进行评估，建立从底层指标集到评价集的模糊评价矩阵  $R$ ，表示为

$$R = (r_{jk})_{m \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中： $0 \leq r_{jk} \leq 1$ ，且  $\sum_{k=1}^n r_{jk} = 1$ 。

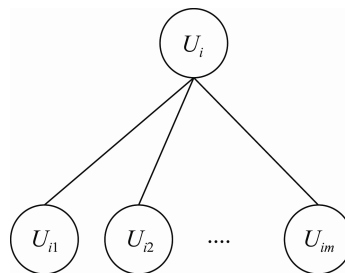


图 1 某底层指标集构成

Fig. 1 Composition of an underlying indicator set

根据模糊综合评判的相对性，可以定义从单个指标到评价集的最大隶属度集合<sup>[7]</sup>为

$$G = (g_1, g_2, \dots, g_m)^T \quad (2)$$

式中： $g_j = r_{j1} \vee r_{j2} \vee \dots \vee r_{jn}$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ ， $\vee$  为 MAX-模糊算子。

进而可定义各评价等级的加权平均隶属度为

$$\bar{r}_k = \sum_{j=1}^m w_j r_{jk}, k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中： $w = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$  为权重集， $w_j (0 \leq j \leq m)$  满足  $0 \leq w_j \leq 1$  且  $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ 。

显然， $\bar{r}_k$  越大，说明评估结果越接近评估等级  $v_k$ 。同时，指标  $U_{ij}$  到评价集的隶属度  $r_{jk}$  越接近  $g_j$ ，则指标  $U_{ij}$  的评估结果越接近  $g_j$  所对应的评估等级，故可以用  $r_{jk}$  偏离  $g_j$  的程度来描述指标集的综合评价结果与评估等级的接近程度。

选取下面的偏差指标来度量指标集综合评价结果与评估等级  $v_k$  的接近程度：

$$e_k(w) = \sum_{j=1}^m w_j (g_j - r_{jk}), k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

当指标体系中各指标的权重  $w_j$  给定时， $e_k(w)$  越小，则指标集的评估结果就越接近评估等级  $v_k$ ，故建立如式(5)所示的多属性决策模型来确定权重

集  $w$ :

$$\min \left\{ e(w) = [e_1(w), e_2(w), \dots, e_n(w)] \mid \sum_{j=1}^m w_j = 1 \right\} \quad (5)$$

由于  $e_k(w)$  均非负, 则可将上述多属性决策问题归结为如式(6)所示的等价的非线性规划问题<sup>[7]</sup>

$$\min \left\{ \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n e_k(w) \mid \sum_{j=1}^m w_j = 1 \right\} \quad (6)$$

求解并做规范化处理后, 可得到各指标权重, 表示为<sup>[7]</sup>

$$w_j = \frac{\sum_{k=1}^n (g_j - r_{jk})}{\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^n (g_j - r_{jl})}, j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

### 1.2 上层指标权重的确定

设某上层指标集为  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_l\}$ ;  $U_i$  还可以继续划分为多个子指标, 记为  $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ik_i}\}$ , 其中  $k_i$  表示  $U_i$  所包含的子指标的个数, 如图 2 所示。

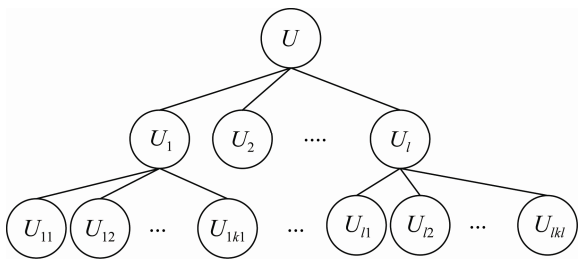


图 2 某上层指标集构成  
Fig. 2 Composition of an upper indicator set

设该层指标集到评价集的模糊评价矩阵为  $R'$ , 表示为

$$R' = (r'_{ij})_{l \times n} = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \dots & r'_{1n} \\ r'_{21} & r'_{22} & \dots & r'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r'_{l1} & r'_{l2} & \dots & r'_{ln} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中:  $R'$  由它的下一层的综合评价向量或专家确定, 与式(1)不同, 此处  $r'_{ij}$  越小, 越接近评价等级  $v_j$ 。

故可以定义从单个指标到评价集的最小隶属

度集合为

$$S = (s_1, s_2, \dots, s_l)^T \quad (9)$$

式中:  $s_i = r'_{i1} \wedge r'_{i2} \wedge \dots \wedge r'_{im}$ ,  $i = 1, 2, \dots, l$ ,  $\wedge$  为 MIN-模糊算子。

同理, 定义各评价等级的加权平均隶属度为

$$\bar{r}'_j = \sum_{i=1}^l w'_i r'_{ij}, j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

式中:  $w' = \{w'_1, w'_2, \dots, w'_l\}$  为权重集,  $w'_i (1 \leq i \leq l)$

满足  $0 \leq w'_i \leq 1$ , 且  $\sum_{i=1}^l w'_i = 1$ 。

显然,  $\bar{r}'_j$  越小, 说明评估结果越接近该评估等级  $v_j$ 。同时, 指标  $U_i$  到评价集的隶属度  $r'_{ij}$  越接近  $s_i$ , 则指标  $U_i$  的评估结果越接近  $s_i$  所对应的评估等级, 故可以用  $r'_{ij}$  偏离  $s_i$  的程度来描述该指标集的综合评价结果与评估等级的接近程度。

故选取下列偏差指标来度量指标集综合评价结果与评估等级  $v_j$  的接近程度, 表示为

$$e_j(w') = \sum_{i=1}^l w'_i (r'_{ij} - s_i), j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

同理, 可建立等价的非线性规划问题<sup>[7]</sup>

$$\min \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j(w') \mid \sum_{i=1}^l w'_i = 1 \right\} \quad (12)$$

求解并做规范化处理后, 可得到各指标权重, 表示为<sup>[7]</sup>

$$w'_i = \frac{\sum_{j=1}^n (r'_{ij} - s_i)}{\sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^n (r'_{ik} - s_i)}, i = 1, 2, \dots, l \quad (13)$$

## 2 基于最小隶属度加权平均偏差的模糊综合评判法

在利用模糊综合评判进行可信度评估时, 模糊综合评判矩阵的建立及各指标权重的确定均附有专家的个人期望和偏好, 这会导致最终的评估结果主观性较强, 可信度降低<sup>[8]</sup>; 同时在合成运算的选择上, 一般采用主因素决定型、主因素突出型和加权平均型<sup>[9]</sup>。主因素决定型合成运算下得到的综

合评判向量部分元素容易出现相同的情况,从而引起结果失效。在各指标的权重分布不平衡时,加权平均型和主因素突出型合成算子得到的评估结果是不可信的<sup>[10]</sup>。

利用最小隶属度加权平均偏差可以很好地解决上述问题,主要思路是根据获取到的模糊综合评判矩阵,采用最小隶属度加权平均偏差确定指标体系中各层指标的权重,在模糊合成运算环节,引入隶属度加权平均相对偏差代替传统的模糊合成运算,完成可信度评估。

首先邀请专家来给出指标体系中底层指标的模糊综合评判矩阵,然后利用最小隶属度加权平均偏差获取底层指标权重,进而完成对指标体系中各指标的权重分配。设仿真系统指标体系一共有  $n$  层,其主要步骤可以概括如下:

#### (1) 模糊综合评判矩阵的确定

1) 对于第  $n$  层指标,邀请专家确定该层指标的模糊综合评判矩阵;

2) 对于第  $i(1 < i < n)$  层指标,利用  $(i+1)$  层的综合评价向量合成模糊综合评判矩阵。若对于某个指标,其包含的子指标数目为 0,将通过专家按照其到各评价集的隶属度越小,越接近评价等级的原则,确定该指标到评价集的隶属度集合,再与其他指标的综合评价向量进行合成。

#### (2) 确定各层指标的权重

根据 1.1 节和 1.2 节的方法,分别确定底层指标和上层指标的权重。

最后,利用所求权重并结合对模糊合成运算的改进,完成对仿真系统可信度的综合评估。

以图 2 所示的评估指标体系为例说明。

设仿真系统评估的指标集为  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_l\}$ ,  $l$  表示仿真系统评估的指标个数;  $U_i$  还可以继续划分为多个子指标,记为  $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ik_i}\}$ ,其中  $k_i$  表示  $U_i$  所包含的子指标的个数<sup>[8]</sup>。

对第 2 层各指标集  $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ik_i}\}$  进行综合评估。邀请专家完成从指标  $U_{ip}(0 \leq p \leq k_i)$  到评价集  $v_k$  的评估,可得单因素评估为  $R_p = (r_{p1}, r_{p2}, \dots, r_{pn})$ ,同理,考虑  $k_i$  个指标,可以得到  $k_i$  个指标到评价集的模糊综合评判矩阵:

$$R_i = (r_{jk})_{k_i \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{k_i 1} & r_{k_i 2} & \cdots & r_{k_i n} \end{bmatrix},$$

式中:  $r_{jk}$  为指标  $U_{ij}$  对评价集  $v_k$  的隶属度。

根据 1.1 节求得权重  $W_i$ , 记作  $W_i = \{w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ik_i}\}$ , 可以得到  $k_i$  个指标的综合评价向量

$$B_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}) \quad (14)$$

式中:  $b_{ik} = \sum_{j=1}^{k_i} w_{ij}(g_j - r_{jk}), k = 1, 2, \dots, n$ 。

故第 2 层指标的综合评价向量  $B_i$ , 也就是第 1 层指标  $U_i$  的单因素评估,将其作为模糊综合评判矩阵的行向量,可得到评估的模糊综合评判矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_l \end{bmatrix} \quad (15)$$

根据 1.2 节可求得权重  $W$ , 记作  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_l\}$ , 可得到仿真系统的综合评价向量:

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (16)$$

式中:  $b_j = \sum_{i=1}^l w_i(r'_{ij} - s_j), j = 1, 2, \dots, n$ ,  $r'_{ij}$  为指标  $U_i$  对评价集  $v_j$  的隶属度。

通过比较综合评价向量的元素,其中最小的元素所对应的评价等级即为该仿真系统的可信度等级。

3 层指标体系的可信度综合评估流程如图 3 所示。

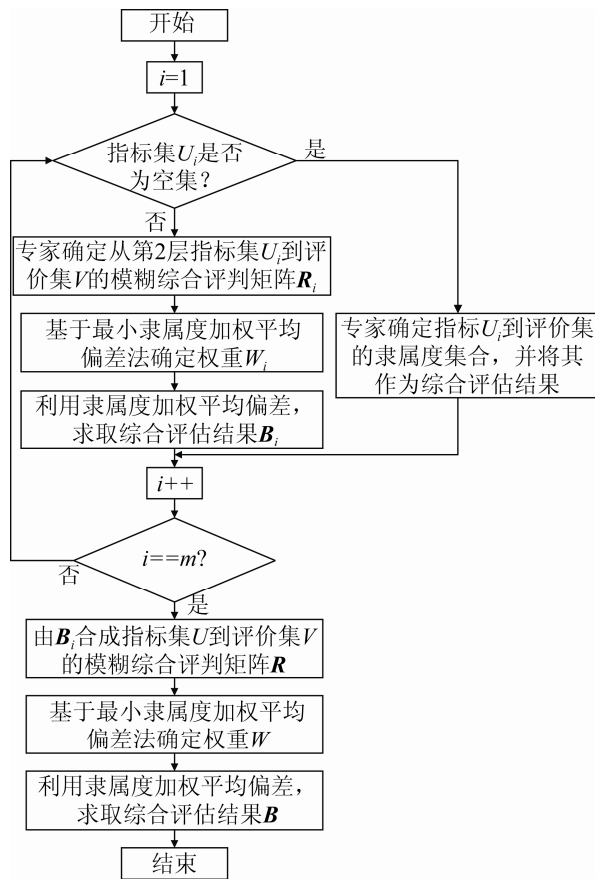


图 3 3 层指标体系可信度综合评估流程图

Fig. 3 Flow chart for comprehensive assessment of credibility of three-tier indicator system

### 3 实例分析

本文以某半实物仿真系统为背景, 利用改进的模糊综合评判法对其进行可信度评估。

(1) 建立该半实物仿真系统的可信度评估指标体系如图 4 所示。

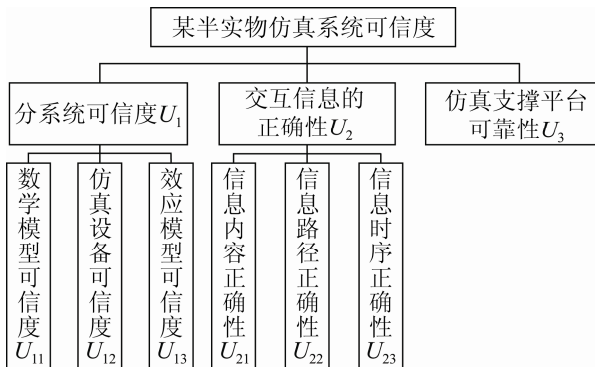


图 4 某半实物仿真系统评估指标体系

Fig. 4 Assessment index system of a hardware-in-the-loop simulation system

(2) 构建评价集为  $V=\{v_1, v_2, \dots, v_7\}$ , 其描述如表 1 所示。

表 1 评价集的划分和描述  
Tab. 1 Division and description of evaluation set

等级	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$v_7$
描述	极差	很差	差	一般	较好	很好	极好

(3) 根据图 4 所示的指标体系, 利用上述方法对该半实物仿真系统进行可信度评估。

首先对指标集  $U_1$  进行评价, 通过专家评估, 可以确定从  $U_1$  到评价集  $V$  的模糊综合评判矩阵为

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.1 & 0.5 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix}$$

通过求解权值得, 指标集  $U_1$  的权重集可以表示为

$$W_1 = \{0.3676, 0.2648, 0.3676\}$$

利用  $W_1$  可以得到该层的综合评估结果为

$$B_1 = (0.4735, 0.4735, 0.4735, 0.3368, 0.1735, 0.0735, 0.3103)$$

然后, 对指标集  $U_2$  进行评价, 通过专家评估, 可以确定从  $U_2$  到评价集  $V$  的模糊综合评判矩阵为

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0.2 & 0.4 & 0.1 \end{bmatrix}$$

通过求解权值得, 指标集  $U_2$  的权重集可以表示为

$$W_2 = \{0.2951, 0.4098, 0.2951\}$$

利用  $W_2$ , 可以得到  $U_2$  的综合评估结果为

$$B_2 = (0.4410, 0.4410, 0.3820, 0.1295, 0.0590, 0.2230, 0.4115)$$

由于指标  $U_3$  没有子指标, 故直接根据专家评估结果, 利用隶属度越小越接近评价等级的原则, 确定从  $U_3$  到评价集  $V$  的综合评估结果为

$$B_3 = (0.4735, 0.4735, 0.4206, 0.1838, 0.0529, 0.3000, 0.4103)$$

然后考虑第 1 层指标, 其到评价集  $V$  的模糊评判矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix}$$

通过求解权值可得指标  $U$  的权重集为

$$W = \{0.3322, 0.3090, 0.3588\}$$

然后利用  $W$ , 得到最终的综合评估结果为

$$B = (0.4018, 0.4018, 0.3646, 0.1562, 0.0330, 0.1393, 0.3158)$$

由最终的综合评价向量可得,  $v_5$  所对应的评估结果最小, 故该仿真系统的综合可信度为“较好”。

## 4 结论

本文针对基于传统模糊综合评判的仿真可信度评估过程中专家根据个人偏好或期望确定权重、模糊合成运算选(择不合理等引起的评估结果不准确等问题, 提出了一种基于改进模糊综合评判的仿真可信度评估方法。在权重确定环节, 基于最小隶属度加权平均偏差来确定指标体系中各层指标的权重, 降低了权重确定的主观性; 在模糊合成运算环节, 利用隶属度加权平均偏差代替传统模糊算子, 获取综合评价向量, 得到仿真可信度评估结果, 避免了模糊合成运算选择的不确定性, 增强了评估结果的准确性。通过将该改进方法应用于某半实物仿真系统可信度评估中, 验证了其可行性和有效性。下一步, 可尝试将本改进方法和思路应用于模糊层次分析、模糊聚类分析等方法中。

## 参考文献:

- [1] 张伟, 王行仁. 仿真可信度[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(3): 312-314.  
Zhang Wei, Wang Xingren. Simulation Credibility[J]. Journal of System Simulation, 2001, 13(3): 312-314.
- [2] 洪晔. 仿真系统模型可信度的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2005.  
Hong Ye. Research on Model Credibility for the

Simulation System[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2005.

- [3] 刘君, 吴晓燕, 陈永兴, 等. 基于熵权的仿真可信度模糊综合评估方法研究[J]. 现代防御技术, 2012, 40(5): 162-166.  
Liu Jun, Wu Xiaoyan, Chen Yongxing, et al. Research on Fuzzy Comprehensive Evaluation of Simulation Credibility Based on Entropy Weight[J]. Modern Defence Technology, 2012, 40(5): 162-166.
- [4] Mou W P, Gao X. A Reliable Process Planning Approach Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method Incorporating Historical Machining Data[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers (S0954-4062), 2020, 234(5): 900-909.
- [5] Wei D Y, Du C F, Lin Y F, et al. Thermal Environment Assessment of Deep Mine Based on Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. Case Studies in Thermal Engineering (S2214-157X), 2020, 19.
- [6] Wu X L, Hu F. Analysis of Ecological Carrying Capacity Using A Fuzzy Comprehensive Evaluation method[J]. Ecological Indicators (S1470-160X), 2020, 113.
- [7] 李登峰. 具有一般信息结构的模糊多属性决策方法[J]. 管理科学学报, 1998(3): 43-46.  
Li Dengfeng. Fuzzy Multi-attribute Decision-Making Method with General Information Structure[J]. Journal of Management Science in China, 1998(3): 43-46.
- [8] 秦立格. 复杂仿真系统可信度评估及其工具研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.  
Qin Lige. Research on the Credibility Evaluation and Its Tool of Complex Simulation System[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2009.
- [9] 李阳旭, 邓辉文. 模糊综合评判的一种改进方法[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2005(5): 33-36.  
Li Yangxu, Deng Huiwen. An Improved Method for Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. Journal of Chongqing University of technology and Technology (Natural Science Edition), 2005(5): 33-36.
- [10] 谢丽娟, 陈俏. 模糊综合评判中合成算子的选取[J]. 科协论坛(下半月), 2012(9): 103-104.  
Xie Lijuan, Chen Qiao. The Selection of Composition Operator in Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. Science & Technology Association Forum, 2012(9): 103-104.