

1-2-2019

## Evaluation of Simulation Credibility Based on Rough Set and Gray Correlation Analysis

Huibo Liu

*School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China;*

Yongjie Qian

*School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, 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.

---

# Evaluation of Simulation Credibility Based on Rough Set and Gray Correlation Analysis

## Abstract

**Abstract:** The evaluation of simulation model credibility has always been a hot issue in the simulation field. How to evaluate the credibility of the simulation is the key to the development of the simulation technology. It is of great significance for our country to carry out the credibility evaluation research. *In view of the issue, the grey correlation analysis theory and the related principles in rough set theory are analyzed and the simulation credibility evaluation model based on rough set and grey correlation analysis is proposed. The indiscernibility principle in rough set is used to assign the weight distribution of each factor objectively. The comprehensive evaluation of simulation credibility is carried out by combining the grey correlation analysis method with the indiscernibility principle in rough set.* The feasibility of this method is verified through an example of the flight simulation system.

## Keywords

rough set, grey relational analysis, simulation, evaluation of credibility

## Recommended Citation

Liu Huibo, Qian Yongjie. Evaluation of Simulation Credibility Based on Rough Set and Gray Correlation Analysis[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(2): 459-464.

# 基于粗糙集和灰色关联分析的仿真可信度评估

刘慧博, 钱永杰

(内蒙古科技大学信息工程学院, 内蒙古 包头 014010)

**摘要:** 仿真模型的可信度评估一直是仿真领域内一个热点问题。如何对仿真进行可信度评估, 是仿真技术发展过程中不可忽略的关键, 开展可信度评估研究对我国仿真技术的发展具有重要的意义。针对如何对仿真系统进行客观的可信度评估, 分析了灰色关联分析理论及粗糙集理论中相关的原理, 提出了基于粗糙集理论和灰色关联分析的仿真可信性的评估模型, 利用粗糙集理论中的不可分辨原理客观地进行各因素的权重分配, 结合灰色关联分析法来进行仿真可信性的综合评估。最后以某飞行仿真系统为例, 验证了该方法的可行性。

**关键词:** 粗糙集; 灰色关联分析; 仿真; 可信度评估

中图分类号: TP391.9      文献标识码: A      文章编号: 1004-731X (2018) 02-0459-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201802012

## Evaluation of Simulation Credibility Based on Rough Set and Gray Correlation Analysis

Liu Huibo, Qian Yongjie

(School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

**Abstract:** The evaluation of simulation model credibility has always been a hot issue in the simulation field. How to evaluate the credibility of the simulation is the key to the development of the simulation technology. It is of great significance for our country to carry out the credibility evaluation research. *In view of the issue, the grey correlation analysis theory and the related principles in rough set theory are analyzed and the simulation credibility evaluation model based on rough set and grey correlation analysis is proposed. The indiscernibility principle in rough set is used to assign the weight distribution of each factor objectively. The comprehensive evaluation of simulation credibility is carried out by combining the grey correlation analysis method with the indiscernibility principle in rough set. The feasibility of this method is verified through an example of the flight simulation system.*

**Keywords:** rough set; grey relational analysis; simulation; evaluation of credibility

## 引言

仿真技术是通过一些特定模型来模拟真实的场景, 是研究客观世界的又一重要手段, 但是仿真不能等价于对真实系统的研究, 仿真实验和结果能

否代表真实系统的情况、仿真结果是否可信, 存在仿真性能评估指标的问题。常见的评估指标有仿真的可靠性、可信度、逼真度、精度、一致性等, 其中可信度是诸多仿真评估指标中的核心内容<sup>[1]</sup>。

目前, 对于不同的仿真系统, 诸多专家学者提出了新的仿真可信度的评估方法, 使仿真可信度的量化研究往前迈进了一大步。文献[2]提出了模糊评判在仿真系统可信度评估中的应用; 文献[3]提出了基于层次分析法在某仿真系统可信度评估中



收稿日期: 2016-03-29      修回日期: 2016-05-02;  
基金项目: 内蒙古自然科学基金(2014MS0611);  
作者简介: 刘慧博(1972-), 女, 辽宁鞍山, 博士, 副教授, 研究方向为导航、制导与控制; 钱永杰(1992-), 男, 河北沧州, 硕士, 研究方向为导航、制导与控制。

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

的应用,其确定训练模拟器仿真可信度评估指标体系中各可信度评估因素的权重,以此来得到可信度结果;文献[4]将层次分析法和模糊理论相融合达到最终对仿真系统可信度的评估。文献[5]是基于灰色关联度分析来对仿真数据的可信度进行的评估;但是无论是层析分析法,还是模糊评判法,还有就是灰色关联度分析法都存在一个共同的问题,即层次分析法中判断矩阵的构造、模糊评判法中权重的确定、灰色关联度中权重的确定,都是主观判断得到的,不具有一定的客观性。

灰色关联度分析法在处理信息过程中不存在对系统信息的丢失,但不能更好的基于客观信息来对系统各因素进行权重的分配<sup>[6]</sup>,而粗糙集理论对于分配各因素权重的问题上,可以直接从给定问题的描述集合出发,确定各个因素的内在客观权重,但是粗糙集理论分析法中在确定条件因素的决策表时,需要对连续条件因素离散化,从而造成了信息的丢失<sup>[7]</sup>。因此,本文将灰色关联度分析法和粗糙集理论分析法结合起来,利用粗糙集理论分析法确定各条件因素的权重,进而得到客观加权后的灰色关联度值,最终得到仿真系统可信度的评估。

## 1 灰色关联分析以及粗糙集理论

### 1.1 灰色关联分析法

灰色关联分析是发展态势的量化比较分析,是几何曲线间几何形状的比较,即几何形状越接近,则发展变化态势越接近,关联度越大<sup>[8-9]</sup>。

1) 灰色关联差异信息空间  $\Delta_{GR}$

差异信息:  $\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$ ,  $i \in I, k \in \{1, 2, \dots, n\}$ , 即分析值与参考值的差值的绝对值;

距离空间:  $\Delta = \{\Delta_{0i}(k)\}$ , 即各分析值与参考值的差值的绝对值所组成的集合;

环境参数:  $\Delta_{0i}(\max) = \max_i \max_k(k)$ ,  
 $\Delta_{0i}(\min) = \min_i \min_k(k)$ ;

式中:  $\max_i \max_k(k)$  为距离空间中的两极上的环境参数,  $\min_i \min_k(k)$  为距离空间中的两极下的环境参数。

分辨系数: 为了夸大关联系数的差异显著性,提高关联度的分辨效果,则引出分辨系数  $\xi$ , 取值于  $[0, 1]$ , 经证明: 一般情况下,  $\xi$  应大于 0.4, 通常应在 0.5~1 之间取值。实际应用时人为给定, 通常取  $\xi = 0.5$ 。

综上可以得到灰色差异信息空间:

$$\Delta_{GR} = (\Delta, \xi, \Delta_{0i}(\max), \Delta_{0i}(\min))。$$

2) 灰色关联系数

对于参考数列  $x_0(k)$ , 比较数列  $x_1(k), x_2(k), \dots, x_i(k)$ , 有

$$r(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k \Delta_{0i}(k) + \xi \max_i \max_k \Delta_{0i}(k)}{\Delta_{0i}(k) + \xi \max_i \max_k \Delta_{0i}(k)} \quad (1)$$

3) 灰色关联度

关联系数很多,信息分布较广,它的每一个数值都表明着某一个指标的两个数列的关联程度。为了突出表现总体上两个数列的关联程度,可以对每个关联系数求加权平均值。

$$r(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_k r(x_0(k), x_i(k)) \quad (2)$$

式中:  $r(x_0, x_i)$  为对  $x_0$  的关联度,称为绝对值关联度,最终便可对不同仿真模型进行排序优选。

### 1.2 粗糙集理论

粗糙集理论是一种可以从新的方面对模糊和不确定性知识进行处理的数学工具。其主要思想即是在保持分类能力稳定不变的条件下,通过知识约简,导出问题的决策或分类规则<sup>[10-12]</sup>。

**定义 1** 若  $P \subseteq R$ , 且  $P \neq \emptyset$ , 则称  $\cap P$  ( $P$  中全部等价关系的交集)也是一个等价关系,称为  $P$  上的不可区分关系,记为  $\text{ind}(P)$ , 且有

$$[x]_{\text{ind}(P)} = \bigcap_{P \subseteq R} [x]_P$$

这样  $U / \text{ind}(P)$  (即等价关系  $\text{ind}(P)$  的所有分类)表示与等价关系族  $P$  相关的知识,称为关于  $U$  的  $P$  基本知识( $P$  基本集)。 $\text{ind}(P)$  的等价类称为知识  $P$  的基本概念或基本范畴。

**定义 2** 信息系统  $S = \langle U, A, V, f \rangle$ , 其中,  $U$  是对象的非空有限集合,称为论域;  $A$  为因素的非

空有限集合,  $A = C \cup D$ ,  $C$  和  $D$  分别称为条件因素集和决策因素集;  $V = \bigcup_{a \in A} V_a$ ,  $V_a$  是因素  $a$  的值域;

$f: U \times A \rightarrow V$  是一个信息函数, 它为每一个对象的每个因素赋予一个信息值, 即  $\forall a \in A, x \in U, f(x, a) \in V_a$ 。

**定义 3**  $R$  是一组等价关系,  $r \in R$  如果  $\text{ind}(R) = \text{ind}(R - \{r\})$

则称  $r$  为  $R$  中不必要的; 否则成  $r$  为  $R$  中必要的。如果每一个  $r \in R$  都为  $R$  中必要的, 则称  $R$  为独立的; 否则成  $R$  为依赖的。

## 2 仿真可信度评估模型

从灰色关联分析法理论中可以得知, 此分析法在处理给定信息数据时不存在关于任何信息的丢失, 但是此分析法往往忽略掉各个因素对评估结果的影响程度, 即灰色关联分析法不能得出基于客观信息的系统中每个因素的权重分配下分析出的评估结果。粗糙集理论分析法不强调预先给定某些特征或者属性的数量描述, 直接从给定问题的描述集合出发, 通过不可分辨关系和不可分辨类确定给定问题的近似域, 进而找到该问题中的潜在规律, 从而可以得到各个因素的内在客观权重, 弥补了灰色关联度分析法中权重的确定比较主观的缺陷, 但该理论在处理仿真数据时, 需要对数据进行离散化处理, 这样就会使忽略大量的数据<sup>[13]</sup>。由此看来, 将这两种分析法的结合进行综合评估是十分有必要的。

综合评估步骤如下:

**Step1** 确定原始评估样本和评估指标体系, 对原始评估样本进行标准化处理。并确定相应参考数据列。

在评估样本中, 各个评估指标往往量纲是不统一的, 因此为了确保各个指标间的可对比性, 可以对原始样本应用以下两式之一来进行无量纲标准化处理。

$$X_{ij} = \left[ y_{ij} - \min_{1 \leq j \leq m} y_{ij} \right] / \left[ \max_{1 \leq j \leq m} y_{ij} - \min_{1 \leq j \leq m} y_{ij} \right] \quad (3)$$

$$X_{ij} = \left[ \max_{1 \leq j \leq m} y_{ij} - y_{ij} \right] / \left[ \max_{1 \leq j \leq m} y_{ij} - \min_{1 \leq j \leq m} y_{ij} \right] \quad (4)$$

式中:  $j$  为方案号;  $i$  是性能指标。式(3)适用值越大效用越好的因素属性; 式(4)适用值越小效用越好的因素属性。各个因素进行无量纲化处理得到评估矩阵  $X$ 。

**Step2** 灰色关联系数的求解。

利用公式(1)得到各个方案中的所有因素的灰色关联系数。

**Step3** 属性依赖度的求解。

知识库  $K = (U, R)$ , 且  $B, D \in R$ 。设

$$k = \gamma_B(D) = \frac{\text{card}(\text{POS}_B(D))}{\text{card}(U)} \quad (5)$$

式中:  $\text{POS}_B(D) = \underline{B}(D)$ , 即  $D$  的正域。则称知识  $D$  是  $k(0 \leq k \leq 1)$  度依赖于知识  $B$  的。

根据得到的性能指标的离散化决策表计算各个定量指标因素的不可分辨关系, 进而通过式(5)便可得到各个定量指标因素的属性依赖度的大小。

**Step4** 权重分配。

根据给定的信息系统  $S = \langle U, A, V, f \rangle$ , 其中  $C \subseteq A, \forall c \in C$ , 通过

$$\text{sig}(c, C, A) = \gamma_C(A) - \gamma_{C - \{c\}}(A) \quad (6)$$

即可求出因素  $c$  对因素集  $C$  的重要性。

根据求出的决策因素的属性依赖度, 通过式(6)得到决策因素综合重要度大小, 根据定义 3 和式(6)可得决策因素的重要度, 进而综合重要性的大小确定各个因素的权重分配, 即

$$\omega_i = \text{sig}(c_i, C, A) / \sum_{j=1}^m \text{sig}(c_j, C, A) \quad (7)$$

式中:  $w_i$  为各个因素的权重大小。

**Step5** 根据得到的各个因素的权重, 改进公式(2)得到各个方案的灰色关联度。即

$$r(x_0, x_i) = \sum_i^n r(x_0(k), x_i(k)) \omega_i \quad (8)$$

由式(8)求出各个方案的灰色关联度, 最终便可得到通过对不同的评估指标体系的分析下的各个方案的可信度的大小, 根据需求来进行排序优选。

### 3 模型实例及分析

以某飞行仿真系统为例<sup>[14]</sup>, 进行综合分析影响仿真系统可信度的各方面因素, 最终得到哪种实验可信度更高。

#### 1) 评估样本的确定。

评估指标包括可靠性( $c_1$ )、网络延时( $c_2$ )、输入输出延时( $c_3$ )、算法精度( $c_4$ )、逼真度( $c_5$ )五个指标, 其中逼真度作为粗糙集理论分析中的结果属性, 可靠性、网络延时、输入输出延时、算法精度作为粗糙集理论分析中的条件属性。使仿真系统反复运行多次, 获取多组数据, 即得到原始的评估样本。其中逼真度、可靠性、算法精度根据式(3), 网络延时、输入输出延时根据式(4)作标准化处理, 得到标准化处理后的评估样本, 然后运用  $\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$  进行绝对差值的计算, 处理以后的评估样本见表1。

表1 处理以后的评估样本  
Tab.1 Processed evaluation samples

编号	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$
1	1.00	1.36	0.25	1.00	0.32
2	4.00	2.79	1.50	3.50	3.95
3	6.00	4.21	3.50	6.00	5.77
4	1.00	0.07	1.00	1.50	1.50
5	3.50	3.36	2.25	3.50	3.95
6	4.75	5.64	6.00	4.75	4.86

#### 2) 计算环境参数:

$$\Delta_{0i}(\min) = \min_i \min_k(k) = 0.07$$

$$\Delta_{0i}(\max) = \max_i \max_k(k) = 6.00$$

#### 3) 求解灰色关联系数。

根据式(1)求解各灰色关联系数, 得

$$r(x_0(1), x_1(1)) = \frac{0.07 + 0.5 \times 6.00}{1.00 + 0.5 \times 6.00} = 0.768$$

同理得

$$r(x_0(2), x_1(2)) = 0.705, \quad r(x_0(3), x_1(3)) = 0.945,$$

$$r(x_0(4), x_1(4)) = 0.768, \quad r(x_0(5), x_1(5)) = 0.925.$$

同理得出其他各值, 见表2。

#### 4) 计算不可分辨关系。

由表2可得性能指标的离散化决策表如表3。

表2 计算结果

Tab.2 Calculation results

编号	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$
1	0.768	0.705	0.945	0.768	0.925
2	0.439	0.531	0.682	0.472	0.441
3	0.341	0.426	0.472	0.341	0.350
4	0.768	1.000	0.768	0.682	0.682
5	0.472	0.483	0.585	0.472	0.441
6	0.396	0.455	0.341	0.396	0.390

表3 性能指标的离散化决策

Tab.3 Discretization decision of performance index

编号	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$
1	3	3	3	3	3
2	2	2	2	2	1
3	1	2	2	1	1
4	3	3	3	2	2
5	2	2	2	1	1
6	1	2	1	1	1

根据实际仿真要求, 其中“1”为[0,0.4], 表示“性能差”, “2”为(0.4,0.7], 表示“性能良好”, “3”为(0.7,1], 表示“性能优”。

令  $U = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ , 条件属性集为  $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4\}$ , 决策属性为  $D = \{c_5\}$ 。

$$U/\text{ind}(C) = \{\{1\}, \{2\}, \{3\}, \{4\}, \{5\}, \{6\}\}$$

$$U/\text{ind}(D) = \{\{1\}, \{2, 3, 5, 6\}, \{4\}\}$$

$$POS_C(D) = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

同理得

$$POS_{C-c_1}(D) = \{1, 2, 4, 6\}$$

$$POS_{C-c_2}(D) = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

$$POS_{C-c_3}(D) = \{1, 2, 4, 5\}$$

$$POS_{C-c_4}(D) = \{3, 6\}$$

#### 5) 属性依赖度以及重要度计算。

由式(5)可得各因素的依赖度为:

$$k_5 = \gamma_C(D) = \frac{\text{card}(POS_C(D))}{\text{card}(U)} = \frac{6}{6} = 1$$

同理得

$$k_1 = \gamma_{C-\{c_1\}}(D) = 4/6 = 0.67$$

$$k_2 = \gamma_{C-\{c_2\}}(D) = 6/6 = 1$$

$$k_3 = \gamma_{C-\{c_3\}}(D) = 4/6 = 0.67$$

$$k_4 = \gamma_{C-\{c_4\}}(D) = 3/6 = 0.33$$

由式(6)得各个因素的重要度。

因为  $c_5$  为决策属性, 故重要度记为

$$sig(c_5, C, D) = 1$$

$$sig(c_1, C, D) = \gamma_C(D) - \gamma_{C-\{c_1\}}(D) = 1 - 0.67 = 0.33$$

同理得

$$\begin{aligned} sig(c_2, C, D) = 0, \quad sig(c_3, C, D) = 0.33 \\ sig(c_4, C, D) = 0.67 \end{aligned}$$

6) 指标权重计算。

将属性重要度归一化处理后, 得到每个属性客观权重为  $\omega_1 = 0.142, \omega_2 = 0, \omega_3 = 0.142, \omega_4 = 0.287, \omega_5 = 0.429$ 。

7) 各指标的关联系数的加权值(可信度)。

根据式 8)得

$$\begin{aligned} r(x_0, x_1) = \sum_k^n r(x_0(k), x_1(k))\omega_k = \\ 0.142 \times 0.768 + 0 \times 0.705 + 0.142 \times 0.945 + \\ 0.287 \times 0.768 + 0.429 \times 0.925 = 0.860 \end{aligned}$$

同理得  $r(x_0, x_2) = 0.484, r(x_0, x_3) = 0.364, r(x_0, x_4) = 0.706, r(x_0, x_5) = 0.475, r(x_0, x_6) = 0.386$ 。

根据  $r(x_0, x_i)$  绘制关联系数示意图, 如图 1 所示。

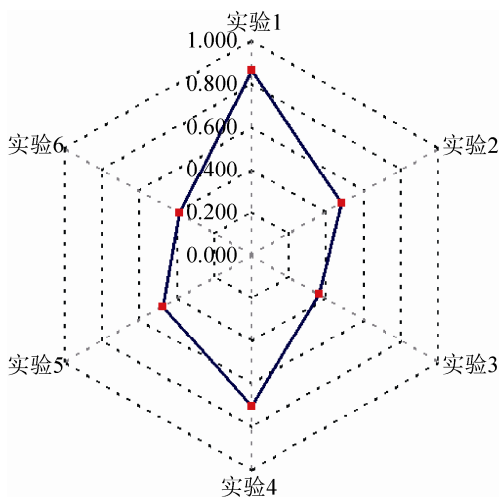


图 1 综合指标关联系数雷达示意图  
Fig.1 Radar schematic diagram of comprehensive index correlation coefficient

由图易知, 仿真可信度结果为:

$$\begin{aligned} r(x_0, x_1) > r(x_0, x_4) > r(x_0, x_2) > \\ r(x_0, x_5) > r(x_0, x_6) > r(x_0, x_3) \end{aligned}$$

分析评估样本, 第 1 次运行的各个指标优于第 3 次, 这与采用文献[14]中可信度评估方法所得的评估结论基本相符。因此, 本文所提出的评估方法是合理可行的。

## 4 结论

本文客观有效的解决了仿真可信性评估问题, 减少了人为的主观判断对最后仿真结果的影响, 提出了粗糙集和基于灰色关联度的仿真可信度的评估方法。该评估方法运用粗糙集理论中对影响因素进行客观的权重分配, 借此解决了灰色关联度中各个指标中影响因素过分依赖于专家经验的不足。本文提出的方法可以从很少的数据信息中, 客观的得到各指标的可信度评估结果, 此方法同样也适用于重要参数指标筛选等问题的解决。

## 参考文献:

- [1] 刘慧博, 吴云洁. 系统仿真评估鲁棒一致性研究[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(增 1): 152-155.  
Liu Huibo, Wu Yunjie. Research on Robust Consistency of Complex System Simulation Evaluation[J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(S1): 152-155.
- [2] 张伟, 王行仁. 仿真可信度模糊评判[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(4): 473-475.  
Zhang Wei, Wang Xingren. Fuzzy Judgement to Simulation Credibility[J]. Journal of System Simulation. 2001, 13(4): 473-475.
- [3] 卢志忠, 李锋, 袁赣南, 等. 基于层次分析法的航行模拟仿真可信度研究[J]. 计算机仿真, 2008, 25(3): 90-94.  
Lu Zhizhong, Li Feng, Yuan Gannan, et al. Study of Simulation Credibility of Voyage Training Simulator Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Computer Simulation, 2008, 25(3): 90-94.
- [4] 杨惠珍, 康凤举, 李俊, 等. 基于模糊 AHP 的系统仿真可信度评估方法[J]. 计算机仿真, 2003, 20(8): 43-45, 122.  
Yang Huizhen, Kang Fengju, Li Jun, et al. A Fuzzy AHP Method for Credibility Evaluation of System Simulation[J]. Computer Simulation, 2003, 20(8): 43-45, 122.

- 122.
- [5] 刘博元, 姜嘉慧. 基于灰色关联分析的仿真数据可信度评估[J]. 系统仿真技术, 2014, 10(1): 32-35.  
Liu Boyuan, Jiang Jiahui. Credibility Evaluation of Simulation Data Based on Grey Correlation Analysis[J]. System Simulation Technology, 2014, 10(1): 32-35.
- [6] 贾琚, 战晓苏, 程文俊, 等. 基于灰色关联分析的网络战综合能力评估[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(6): 1185-1188.  
Jia Jun, Zhan Xiaosu, Cheng Wenjun, et al. Evaluation of Cyberwar's Synthetical Ability Based on Gray Association Analysis[J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(6): 1185-1188.
- [7] 王立国, 薛青, 孟宪权, 等. 用粗糙集理论探讨仿真的可信度[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(6): 1690-1692, 1697.  
Wang Ligu, Xue Qing, Meng Xianquan, et al. Credibility of simulation obtained by using rough sets theory[J]. Application Research of Computers, 2008, 25(6): 1690-1692, 1697.
- [8] 马亚龙 邵秋峰. 评估理论和方法及其军事应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.  
Ma Yalong, Shao Qiufeng. Evaluation theory and method and its military application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2013.
- [9] 戚宗锋 李林. 电子信息系统仿真可信度评估理论方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.  
Qi Zongfeng, Li Lin. Theoretical method for evaluating reliability of electronic information system simulation[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2013.
- [10] Pawlak Z. Rough sets[J]. International Journal of Information and Computer Science, 1982: 314-356.
- [11] Peters J F, Skowron A, Jarosaw S. Nearness of objects: Extension of approximation space model[A]. Amsterdam, Netherlands, IOS Press, 2007.
- [12] Skowron A. Approximate Reasoning in MAS: Rough Set Approach[A]. Washington, DC: USA, 2006.
- [13] 吴静, 吴晓燕. 基于模糊聚类和粗糙集的仿真可信性模糊综合评估[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(4): 770-773.  
Wu Jing, Wu Xiaoyan. Fuzzy comprehensive evaluation of simulation credibility based on fuzzy clustering analysis and rough sets theory[J]. Systems Engineering and Electronics, 2010, 32(4): 770-773.
- [14] Wu Jing, Wu Xiaoyan, Zhou Yanyan, et al. Research on design and realization of steering flight visual simulation system[A]. Beijing, 2008. 1567-1570.

(上接第 458 页)

- [9] 李京伟. 多分辨率建模在航母战斗群作战仿真中的应用研究[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(8): 1924-1929.  
LI Jingwei. Research on Application of Multi-resolution Modeling in Carrier Combat Group Operation Simulation[J]. Journal of System Simulation, 2013, 25(8): 1924-1929.
- [10] 杨慧杰. 基于战斗队形的坦克连多分辨率建模方法研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2013, 8(2): 134-137.  
YANG Huijie. Research on the Multi-Resolution Modeling Method of the Tank-Company Based on Combat Formation[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2013, 8(2): 134-137.
- [11] 黄亚锋, 张航峰, 王志坚. 基于 Delaunay 三角网模型的点军标聚合显示方法[J]. 中国电子科学研究院学报, 2013, 8(4): 418-422.  
HUANG Yafeng, ZHANG Hangfeng, WANG Zhijian. Aggregation Display of Tactical Symbols Cluster Based on Delaunay Triangulation[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2013, 8(4): 418-422.
- [12] 黄亚锋, 张航峰. 态势图的变比例尺可视化[J]. 中国电子科学研究院学报, 2014, 9(3): 291-295.  
HUANG Yafeng, ZHANG Hangfeng. Variable Scale Visualization in Situation Map[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2014, 9(3): 291-295.
- [13] 杨瑞, 胡晓峰. 低分辨率约束下的态势显示问题研究[J]. 计算机仿真, 2012, 29(7): 29-33.  
YANG Rui, HU Xiaofeng. Research on Situation Display Constrained by Low Resolution[J]. Computer Simulation, 2012, 29(7): 29-33.
- [14] David Baar, Garth Shoemaker. Pliable Display Technology for the Common Operational Picture[R]. Toronto: RTO Information Systems Technology Panel, 2004.