Journal of System Simulation

Volume 29 | Issue 12 Article 12

6-6-2020

Credibility Evaluation of Hardware-in-the-loop Simulation Test for Guided Weapons

Jianbin Dou
China HuaYin Ordnance Test Center Key Lab of Guided Weapons Test and Evaluation Simulation Technology, Huayin 714200, China;

Xiaobing Wang
China HuaYin Ordnance Test Center Key Lab of Guided Weapons Test and Evaluation Simulation Technology, Huayin 714200, China;

Bin Shan
China HuaYin Ordnance Test Center Key Lab of Guided Weapons Test and Evaluation Simulation Technology, Huayin 714200, China;

Zhang Yan
China HuaYin Ordnance Test Center Key Lab of Guided Weapons Test and Evaluation Simulation Technology, Huayin 714200, 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.

Credibility Evaluation of Hardware-in-the-loop Simulation Test for Guided Weapons

Abstract

Abstract: The thesis *explained the concept of credibility evaluation of hardware-in-the-loop simulation*. The models and the processes were introduced in three parts: *credibility evaluation of simulation system, monitoring of simulation test process, and credibility evaluation of simulation results. The credibility evaluation model of hardware-in-the-loop simulation system was built* based on TOPSIS and *the credibility evaluation model of simulation results* was built based on simulation and firing practace. This way could answer the credibility of hardware-in-the-loop simulation, and provide strong support for hardware-in-the-loop simulation in guided weapons test and evaluation.

Keywords

guided weapon, hardware-in-the-loop simulation, credibility evaluation, confidence interval

Recommended Citation

Dou Jianbin, Wang Xiaobing, Shan Bin, Zhang Yan. Credibility Evaluation of Hardware-in-the-loop Simulation Test for Guided Weapons[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(12): 3023-3029.

This paper is available in Journal of System Simulation: https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal/vol29/iss12/12

第 29 卷第 12 期 系统仿真学报© Vol. 29 No. 12
2017 年 12 月 Journal of System Simulation Dec., 2017

制导武器半实物仿真试验可信度评估研究

豆建斌，王小兵，单斌，张燕
(中国华阴兵器试验中心 制导武器试验鉴定仿真技术重点实验室，陕西 华阴 714200)

摘要：面向制导武器半实物仿真试验任务全周期，*明确了制导武器半实物仿真试验可信度评估的概念*，并从*仿真系统可信度评估*、*仿真试验过程监测*、*仿真试验结果可信度*评估三个层次对仿真试验可信度评估模型及流程进行了说明。构建了基于 TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)法的制导武器半实物*仿真系统可信度评估方法*及仿真与实弹飞行数据相结合的*仿真试验结果可信度评估方法*，并进行了应用验证。能够很好的分析仿真试验可信度，有效提高可信度评估的实际应用意义，为半实物仿真试验应用于制导武器鉴定试验提供有力支撑。

关键词：制导武器；半实物仿真；可信度评估；置信区间
中图分类号：TP391.9 文献标识码：A 文章编号：1004-731X (2017) 12-3023-07
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201712012

Credibility Evaluation of Hardware-in-the-loop Simulation Test for Guided Weapons

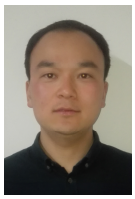
Dou Jianbin, *Wang Xiaobing*, *Shan Bin*, *Zhang Yan*
(China HuaYin Ordnance Test Center Key Lab of Guided Weapons Test and Evaluation Simulation Technology, HuaYin 714200, China)

Abstract: The thesis *explained the concept of credibility evaluation of hardware-in-the-loop simulation*. The models and the processes were introduced in three parts: *credibility evaluation of simulation system, monitoring of simulation test process, and credibility evaluation of simulation results. The credibility evaluation model of hardware-in-the-loop simulation system was built* based on TOPSIS and *the credibility evaluation model of simulation results* was built based on simulation and firing practace. This way could answer the credibility of hardware-in-the-loop simulation, and provide strong support for hardware-in-the-loop simulation in guided weapons test and evaluation.

Keywords: guided weapon; hardware-in-the-loop simulation; credibility evaluation; confidence interval

引言

半实物仿真在制导武器装备研制、试验鉴定、使用训练、作战研究等军事领域应用已经越来越多，对仿真的正确性和可信度要求也越来越高，能够在多大程度上信赖制导仿真系统和仿真结果，逐步成为业内最关心的问题之一[1]。目前，国内围绕 VV&A[2](Verification，Validation and Accreditation)方法开展了大量的可信度评估研究，但多是以仿真系统为对象，对系统运行应用后仿真试验结果的可信性不能准确确定，致使半实物仿真试验结果在靶场鉴定应用方面遇到了一定问题。针对这一问题，本文面向仿真试验任务全周期，研究了制导武器半实物仿真试验可信度评估的方法，在仿真系统可信度评估的基础上，将仿真试验过程状态和试验结果可信度纳入仿真



收稿日期：2015-11-13 修回日期：2016-01-24;
作者简介：豆建斌(1986-)，男，陕西兴平，硕士，工程师，研究方向为制导武器仿真鉴定；王小兵(1970-)，男，陕西宝鸡，本科，高工，研究方向为制导武器仿真鉴定。

Published by Journal of System Simulation, 2017

试验可信度评估，可以很好的评价某仿真试验任务的可信度，增加可信度评估的实用性。

1 制导武器半实物仿真试验可信度评估

本文提出的制导武器半实物仿真试验可信度评估是指以制导武器半实物仿真试验任务为对象，围绕半实物仿真系统、试验准备实施过程及仿真结果，从全周期对某次制导武器半实物仿真试验的可信度进行评价。具体内容如下：

1.1 仿真系统可信度评估

仿真系统可信度评估主要是围绕半实物仿真系统开展 VV&A 工作，其伴随着制导武器半实物仿真系统设计与开发全过程，其主要内容包括：

(1) 仿真系统校核、验证与确认。主要是围绕仿真系统，紧贴试验任务特点，开展试验任务下达、试验需求与系统需求校核验证、概念模型验证、数学模型校核、仿真程序及设备的校核与验证、系统验证与确认等。

(2) 建立仿真系统可信度评估指标体系。主要是根据仿真试验过程、系统组成及应用需求，建立仿真系统可信度评估指标体系。

(3) 仿真系统可信度综合评估。选择合适的综合评估方法，运用可信度评估指标体系及系统校核验证过程中的数据，对仿真系统可信度进行定性或定量的综合评估，也就是常说的仿真系统可信度。本文将运用 TOPSIS 法构建基于 TOPSIS 法的仿真系统可信度评估方法。

1.2 仿真试验过程监测

制导武器半实物仿真系统的误差源分为静态误差和动态误差，在进行系统可信度评估时，两类误差都被考虑到，并应用于系统可信度综合评估中。但动态误差及其他随机误差，对仿真结果的影响具有不确定性。在进行仿真试验时，系统设备可能会产生较大随机误差，从而对仿真结果产生较大影响，此时，难以分析影响原因是仿真设备误差造成还是被试品造成。因此，为了便于分析，很有必要对仿真系统重点设备的重要状态参数进行监测，并在试后进行分析确认，以判断仿真试验过程中仿真设备运行状态是否正常。如仿真转台运动曲线、目标模拟器目标状态参数、导弹运动轨迹等。在试后只需对这些数据进行分析比较，分析有无较大波动、与给定运动曲线一致性如何等。对于仿真试验过程监测数据，只需在试验过程中和试验后，对重点监测的数据进行检查，确认数据满足试验要求，无较大异常波动即可。

1.3 仿真结果可信度评估

仿真系统可信度评估的最本质任务是对仿真系统的构建过程进行管理控制，发现改进系统构建过程中存在的问题，提高系统整体可信度，系统可信度综合评估结果仅能根据经验在一定程度上，指导开展仿真试验。

要使仿真结果实际应用于仿真鉴定试验，还必须对仿真试验结果的可信度进行评估，这样从试前的仿真系统可信度评估到试中的仿真试验过程监测，再到试后的仿真结果可信度评估，综合分析评估整个仿真试验的可信度，既可以很好的起到发现问题提高系统可信度的效果，又可以在系统可信度评估的基础上很好的评估仿真试验结果的可信度，有效提高可信度评估的实际应用意义。

根据制导武器半实物仿真试验实施过程特点，按照仿真系统可信度评估、仿真试验过程监测、仿真结果可信度评估和仿真试验可信度综合分析三个过程，构建了制导武器半实物仿真试验可信度评估工作流程，如图 1 所示。

仿真系统可信度、试验过程监测和仿真结果可信度三者是相互关联、相互影响的关系，在对仿真试验可信度进行综合分析与总结时，仅需对三者分别进行分析研究，当三者均满足仿真试验要求时，即认为此次仿真试验可信度满足要求，无需对三者进行定量综合计算。

https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal/vol29/iss12/12
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201712012

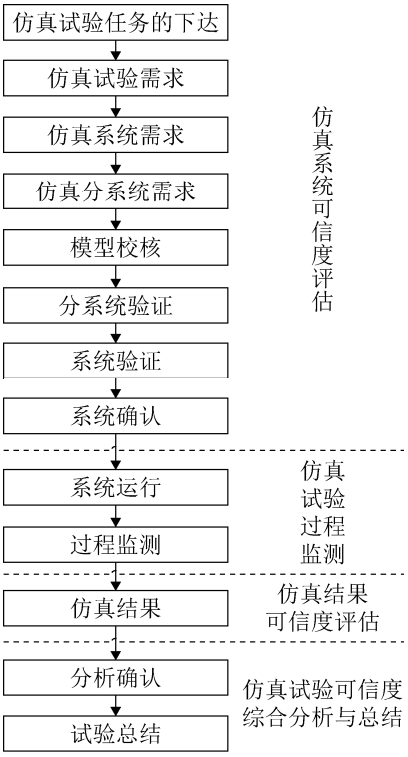


图 1 可信度评估流程
Fig.1 Credibility evaluation process

2 制导武器半实物仿真试验可信度评估方法

进行半实物仿真试验可信度评估时，对仿真试验过程监测只需对各分系统重要数据进行记录，试后进行对比分析确认即可，因此，本文将重点介绍仿真系统可信度及仿真结果的可信度评估方法。

2.1 基于 TOPSIS 法的半实物仿真系统可信度评估方法

运用指标标准化方法对定性指标进行定量标准化，并利用 TOPSIS 法构建基于 TOPSIS 法的仿真系统可信度评估方法。该方法一是可以将部分定性结果直接应用到评估算法中进行综合计算；二是可以定量给出系统可信度综合评估结果；最后，该方法通过计算可信度评估中各指标实际结果与其理想点的贴近度，来衡量仿真系统的可信度大小，能够更为形象准确的说明仿真系统满足仿真试验任务需求的可信性程度。具体计算步骤如下[3-5]：

(1) 构造初始数据矩阵。仿真系统 VV&A 过程中既有实际测量和统计的定量结果，也有专家打分获得的定性结果，因此，其可信度评估初始数据矩阵应采用测量统计与专家打分相结合的方法获得，记为：

$$X=[x_1,x_2,x_3,x_4\cdots x_n] \tag{1}$$

式中：n 为评价指标数量； x_n 为第 n 个指标评价结果。

(2) 指标标准化。为统一标准，并将定性结果转化为定量结果，必须对所有评价指标进行标准化处理，以消除量纲影响，将其转化为无量纲、无数量级差异、方向一致的标准指标值，然后再进行指标合成。本文将采用阀值法和习惯划分法分别对定量和定性指标进行标准化，具体方法如下：

①定量指标标准化

阀值法是将指标实际值 x_i 与该种指标的某个阀值相对比以得到指标标准化值 x_{bi} 的无量纲化方法，其计算方法分为两种情况：

a. 当指标为正向指标，即评估值随指标增大而增大时：

$$x_{bi}=\frac{x_i}{\max x_i} \tag{2}$$

b. 当指标为逆向指标，即评估值随指标增大而增小时：

$$x_{bi}=\frac{\max x_i+\min x_i-x_i}{\max x_i} \tag{3}$$

式中：x_{bi} 表示第 i 个指标 x_i 标准化后的标准化值。

②定性指标标准化

对于定性指标，本文将选用习惯划分法对其进行标准化处理，该方法是一种依据评估实践中人们对考评对象区分的心理习惯而划定标度的一种方法。本文选用 8 级标度进行划分，即“最好、非常好、好、较好、一般、差、非常差、最差”8 个等级，量化值见表 1 所示。

最后，经过定性和定量标准化后的标准化决策矩阵记为：

$$X_b=[x_{b1},\ x_{b2},\ x_{b3},\ x_{b4}\ldots x_{bn}] \tag{4}$$

表 1 定性指标量化对照表
Tab. 1 Qualitative index quantitative comparison table

定性评价值	最好	非常好	较好	好	一般	差	很差	非常差
量化值	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.4-0.5	0.2-0.3	0-0.2

(3) 确定各个指标的权重系数。按照层次分析法等方法计算各指标的权重向量：

$$\omega=[\omega_1,\omega_2,\omega_3\ldots\omega_n] \tag{5}$$

(4) 确定参考的理想点和负理想点。根据试验任务要求及指标特点，取各指标的极限最大值构成理想点，即：

$$X^+=\{x_i^+\}=\{x_1^+,x_2^+,x_3^+,x_4^+,\cdots x_n^+\},\ (i=1,2,3\cdots n) \tag{6}$$

x^+ 也可以为$(1,1\cdots 1)$。

取各指标的极限最小值构成负理想点，即：

$$X^-=\{x_i^-\}=\{x_1^-,x_2^-,x_3^-,x_4^-,\cdots x_n^-\},\ (i=1,2,3\cdots n) \tag{7}$$

x^- 也可以为$(0,0\cdots 0)$。

式中：x_i^+ 和 x_i^- 分别为第 i 个指标的正、负理想点。

在进行仿真系统可信度评估中，正负理想点不再取各指标的最大和最小值，而是取其极限最大(小)值，这样算出的欧式距离不再是相对距离，可使各仿真分系统和整个仿真系统可信度评估值与理想点的贴近度标准统一，使得评估结果的通用性更强。

(5) 计算欧式距离。令被评价对象到理想点的距离为 L，到负理想点的距离为 D，则其离正负理想点的欧式距离计算公式如下：

与理想点的距离为

$$L=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i^+-x_{bi})^2\omega_i^2},i=1,2,\cdots n \tag{8}$$

与负理想点的距离为

$$D=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i^--x_{bi})^2\omega_i^2},i=1,2,\cdots n \tag{9}$$

(6) 计算各对象与理想点的贴近度。最终仿真系统可信度评估值以评估方案与理想方案的贴近程度来表示，即将 Q 定义仿真系统可信度评估指数值，其计算方法为：

$$Q=\frac{D}{D+L},0<Q<1 \tag{10}$$

(7) 评估结果分析。当 Q 接近 0 时，D 就越接近 0，被评对象就越接近负理想点，该系统的可信度就越低；当 Q 越接近 1 时，L 越接近 0，被评对象就越接近理想点，该系统的可信度就越高；即 Q 值越大，表明与理想状态越接近。

在运用该方法进行可信度评估时，既可以利用整个仿真系统可信度评估指标体系中最底层 VV&A 结果直接计算其可信度；也可运用该方法先分别计算系统中各子系统或各设备的可信度，再逐层依次进行综合评估，最终得到整个系统的可信度，这样便于了解仿真系统中各分系统或设备的仿真可信度大小，有利于发现系统存在的问题，以提高整个系统可信度。

2.2 基于置信区间估计的仿真试验结果可信度评估方法

对于制导武器半实物仿真试验结果可信度的评估，本文选择置信区间估计的方法构建了基于置信区间估计的半实物仿真试验结果可信度评估方法。该方法是在制导导弹数学模型中，同时引入所有分系统误差源后，进行仿真试验，通过对仿真结果的统计分析，最终给出仿真结果的置信估计，应用该置信估计结果，就可对半实物仿真试验结果进行区间估计，最后，再对半实物仿真结果的可信度进行计算。具体计算步骤如下[6]：

(1) 制导弹仿真试验设计。进行蒙特卡洛试验，将仿真设备的动态误差直接加入导弹模型，而气动模型误差则看作随机误差，建立其概率模型，并在仿真试验中进行随机抽样。

通常情况下，可以假设气动模型误差 E 服从正态分布 $N(0,\delta^2)$。以阻力为例，设阻力模型的计算结果为 qx，取其最大误差范围为±15%，根据正态分布的性质可知$\delta\approx 0.05qx$。因此，考虑误差后实际输出的阻力值应为

$$qx'=qx+e \tag{11}$$

式中：e 为服从正态分布 $N(0,\delta^2)$的随机数，这里近

https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal/vol29/iss12/12
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201712012

似取δ=0.05qx。

参照公式(11)引入所有气动模型误差后，重复进行 n 次数学仿真试验，则脱靶量样本 $X=(x_1,x_2,\cdots,x_n)$。

(2) 脱靶偏移量的统计处理。基于样本 $X=(x_1,x_2,\cdots,x_n)$ 和引入误差前的脱靶量 x，易得脱靶偏移量样本 $X'=(x_1',x_2',\cdots,x_n')$。

记 $X'\in N(\mu,\sigma^2)$，由正态分布的最大似然估计可知：

$$\mu=\bar{X}'=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i'$$

$$\sigma^2=S^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i'-\mu)^2 \tag{12}$$

在给定的置信概率 1–α下，基于(12)式可对μ和σ^2进行置信区间估计：

$$\left[\bar{X}'-t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)S/\sqrt{n},\bar{X}'+t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)S/\sqrt{n}\right] \tag{13}$$

$$\left[\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\alpha/2}(n-1)},\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)}\right] \tag{14}$$

(3) 仿真结果的置信估计。

令：

$$\mu^-=\bar{X}'-t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)S/\sqrt{n}$$

$$\mu^+=\bar{X}'+t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)S/\sqrt{n}$$

$$\sigma^-=\frac{nS^2}{\chi^2_{\alpha/2}(n-1)}$$

$$\sigma^+=\frac{nS^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)}$$

基于 3σ 规则可知，取置信水平为α时，脱靶偏移量数据的最大分布区间Ω应该为：

$$\Omega=[\mu^--3\sigma^+,\mu^++3\sigma^+] \tag{15}$$

设某次仿真试验中在误差影响下得到的脱靶量结果为 y，而实际真实的脱靶量应该为 y'，于是 $y=y'+\varepsilon$，而ε是由误差导致的脱靶偏移量。由公式(12)可知 $\varepsilon\in\Omega$，因此，真实脱靶量 y'所处的区间应该为：

$$Y=[y-\mu^+-3\sigma^+,y-\mu^-+3\sigma^+] \tag{16}$$

由上述分析可知，如果将公式(16)中的 y 看作是半实物仿真试验中的脱靶量结果，则 Y 可视为半实物仿真试验中真实脱靶量 y'的区间估计。因此，在基于飞行试验结果(或其它标准数据)得到脱靶量的可接受区间 $Yf=[yf_{\min},yf_{\max}]$后，结合公式(16)，可以对半实物仿真试验中脱靶量结果的可信度进行估计。方便起见，将公式(16)重新描述为 $y'\in Y=[y_{\min},y_{\max}]$，则脱靶量结果的可信度可按照如下方法进行估计：

●如果 $yf_{\min}\leqslant y_{\min}$ 且 $y_{\max}\leqslant yf_{\max}$，则 $y\in Y\subseteq Yf$ 始终成立，因此脱靶量结果的可信度为 1；

●如果$yf_{\min}>y_{\max}$或者$y_{\min}>yf_{\max}$，则 $Y\cap Yf=\varnothing$ 始终成立，即 y'不可能落入 Yf 区间内，因此脱靶量结果的可信度为 0；

●如果 $Y\cap Yf=[y_1,y_2]\neq\varnothing$，则只有当 y'落入区间[y_1,y_2]时才被认为可接受，因此，此时可以用 y'落入区间[y_1,y_2]的概率 p 来衡量脱靶量结果的可信度。

综上所述，半实物仿真试验中脱靶量结果的可信度 c 可通过下式计算：

$$c=\begin{cases}1 & y'\in Y\subseteq Yf\\ 0 & Y\cap Yf=\varnothing\\ p & Y\cap Yf=[y_1,y_2]\neq\varnothing\end{cases} \tag{17}$$

公式(17)中，$p=P\{y_1\leqslant y'\leqslant y_2\}$。

3 应用验证

为了验证本文所描述的方法的可行性，本文将以某激光半主动制导导弹半实物仿真试验为背景，对本文构建的半实物仿真系统可信度评估方法及仿真结果可信度评估方法进行验证。

3.1 半实物仿真系统可信度评估方法应用验证

对于半实物仿真系统而言，其可信度评估指标体系为多层、多节点的树状结构，可信度综合评估过程其实只是各层次指标可信度评估过程的层层迭代。由于整个系统计算庞大，因此，仅以半实物仿真系统中三轴转台分系统的可信度评估过程为

例进行分析说明。

(1) 评估指标体系构建。以仿真三轴转台的可信度为评估目标，转台的专家评审结果、实时性、频谱分析结果、角位置和角速度精度等为其子指标，构建的仿真三轴转台的可信度评估指标体系如图 2 所示。

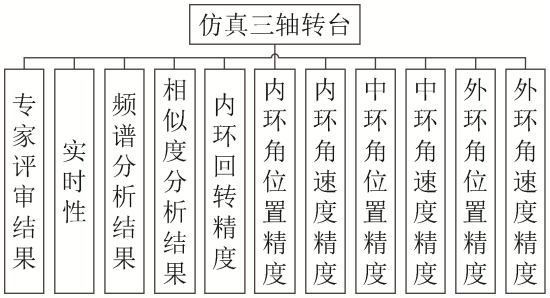


图 2 三轴转台的可信度评估指标体系
Fig.2 Credibility evaluation index for three axis turntable

(2) 评估数据采集与标准化。成立评估组，按照评估指标体系对实验室仿真三轴转台各指标分别进行了测试，得到各指标的评价结果后，并按照本文所描述的方法对各指标值进行标准化，最终得到指标评价值如表 2 所示。

表 2 仿真转台指标评价表
Tab. 2 Index evaluation table of simulation turntable

指标名称	测试结果(X)	标准化后评价结果(X_b)	正理想点 X^+	负理想点 X^-
专家评审结果	较好	0.8	1.00	0
实时性	1.5 ms	0.83	1.00	0
频谱分析结果	0.9	0.9	1.00	0
相似度分析结果	0.87	0.87	1.00	0
内环回转精度	1.25″	0.90	1.00	0
内环角速度精度	3.6″/s	0.82	1.00	0
内环角位置精度	8.4″	0.91	1.00	0
中环角速度精度	8.5″/s	0.87	1.00	0
中环角位置精度	14.2″	0.79	1.00	0
外环角速度精度	3.6″/s	0.88	1.00	0
外环角位置精度	5.7″	0.93	1.00	0

(3) 确定参考的理想点和负理想点。评价指标的理想点和负理想点由评估专家组根据仿真系统特点和实际试验任务需求，并结合现实最大可能情况来制定，本文确定的理想点和负理想点指标值分别为：

$$X^+=\{1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0\}$$

$$X^-=\{0,\ 0,\ 0,\ 0,\ 0,0,\ 0,\ 0,\ 0,\ 0,0\}$$

(4) 计算仿真转台与正、负理想点的距离。通过 Matlab 编程计算可得：

L=0.043 5

D=0.267 2

(5) 计算仿真转台可信度评估指数值 Q(与理想点的贴近度)。利用公式(10)，通过计算得到仿真转台的可信度评估值为：

Q=0.860

得到三轴转台等分系统可信度评估结果后，可运用该方法通过层层迭代，最终得到整个系统的可信度。

3.2 仿真结果可信度评估方法应用验证

按照 2.2 的方法先将仿真系统各设备误差引入某制导导弹模型，重复进行 100 次数学仿真试验，计试验次数 n=100，脱靶量样本如表 3：

在给定置信概率 1-α=0.95 时，通过 MATLAB 仿真计算可得，μ 的置信区间为：[–0.04,0.22]，σ 的置信区间为[0.01,0.02]。

则脱靶偏移量数据的最大分布区间Ω应该为：

$$\Omega=[\mu^- -3\sigma^+,\mu^+ +3\sigma^+]=[-0.07,0.28]$$

设某次仿真试验中在误差影响下得到的脱靶量结果为 y=0.80，则真实脱靶量 y'所处的区间应该为 $Y=[y-\mu^+ -3\sigma^+,y-\mu^- +3\sigma^+]=[0.56,0.86]$。

已知基于该弹标准飞行试验数据得到脱靶量的可接受区间为 $Yf=[yf_{\min},yf_{\max}]=[0.6,1.0]$，则脱靶量结果的可信度：

$$p=P\{y_1\leqslant y'\leqslant y_2\}=(0.86-0.6)/(1-0.6)=0.65$$

在得到仿真系统及仿真结果的可信度后，就可通过仿真系统及仿真结果的可信度，以及试验过程中监测数据，对整个半实物仿真试验可信度进行综合分析与评价。

https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal/vol29/iss12/12
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201712012

表 3 仿真试验脱靶量统计表
Tab. 3 Miss distance statistics table of simulation test

序号	脱靶量(m)									
1-10	1.36	1.32	1.39	0.45	0.2	1.12	1.06	0.94	0.31	0.22
11-20	0.56	0.23	1.15	0.83	0.62	0.98	0.35	0.39	0.78	0.65
21-30	0.34	0.89	0.28	0.27	0.21	0.38	0.61	0.26	0.46	0.75
31-40	1.44	0.32	0.33	1.17	0.80	0.57	1.4	0.75	0.54	0.33
41-50	0.12	0.98	0.23	0.92	1.0	0.57	0.21	0.57	0.89	0.56
51-60	0.39	0.37	0.27	0.68	1.08	3.88	0.54	0.66	0.2	0.23
61-70	0.25	0.18	0.14	0.8	0.33	1.65	1.03	1.4	0.29	0.79
71-80	1.62	0.57	0.48	1.35	0.92	0.32	1.03	0.65	0.64	1.1
81-90	0.65	0.44	1.04	3.65	2.09	3.85	0.48	0.27	0.55	0.5
91-100	0.27	0.87	0.92	0.68	0.89	0.76	1.03	0.32	0.92	0.56

4 结论

本文明确了制导武器半实物仿真试验可信度评估的概念，面向半实物仿真试验全周期，从仿真试验前期准备、试验过程和仿真结果三个方面，对整个试验任务的可信度进行分析，能够客观回答仿真试验的可信性情况，有效提高可信度评估的实际应用意义，为半实物仿真试验应用于制导武器鉴定试验提供了有力支撑。

参考文献:

[1] 焦鹏. 导弹制导仿真系统 VV&A 理论和方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010.
Jiao Peng. Research on the VV&A Theory and Method of Missile Guidance Simulation System[D]. Changsha, China: National University of Defense Technology, 2010.

[2] Batini C, Dall'Acqua E. Design of Experiments: A Valuable Technique for Reducing VV&A Costs[C]. Proceedings of the 2005 Fall Simulation Interoperability Workshop. 2005.

[3] 杨建文, 吴连华, 潘晓军. 基于熵权 TOPSIS 法的地面防空兵混编集群战斗部署方案优选[J]. 火力与指挥控制, 2012 37(12): 184-187.
Yang Jianwen, Wu Lianhua, Pan Xiaojun.Based on Entropy Weight Method to the Mix-Cluster of Anti-AircraftGround Army TOPSIS Combat Deployment Scheme Optimization[J]. Fire Control &Command Control. 2012 37(12): 184-187.

[4] 裴家宏. 部队通用装备保障训练绩效评估研究[D]. 石家庄：军械工程学院, 2009.
Pei Jiahong. Research on Performance Evaluation of Equipment Support Training[D]. Shijiazhuang, China: Ordnance Engineering College, 2009.

[5] 岳韶华, 周国安. 基于改进 TOPSIS 模型的防空多目标威胁评估[J]. 指挥控制与仿真, 2009 31(1): 30-32.
Yue Shaohua, Zhou Guoan.Evaluation for the Air Defense Multi-Target Threat Based on Modified TOPSIS Model[J]. Command Control & Simulation, 2009 31(1):30-32.

[6] 汪荣. 数理统计[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2006.
Wang Rong. Mathematical Statistics[M]. Xi’an, China: Xi'an Jiao Tong University press, 2006.