

12-16-2020

An Online Evaluation Framework of Complex Simulation System Based on Acceptability Criteria

Zhenglin Sun

Computer Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

Weiqliang Yuan

Computer Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

Weiqing Li

Computer Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, 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.

An Online Evaluation Framework of Complex Simulation System Based on Acceptability Criteria

Abstract

Abstract: *An online simulation evaluation method based on Acceptability Criteria (AC) for the lag of current complex simulation systems is proposed. A qualitative and quantitative AC to index mapping model is used to establish an evaluation index system. Based on index sets and evaluation functions, a seven-tuple model of a simulation process finite automaton is proposed, and a mapping of the simulation process to automata and a data-driven state transfer mechanism are given. Based on the above results, an online evaluation tool is designed and the effectiveness is verified through a case. The result that the method can effectively solve lag in the evaluation of the simulation system.*

Keywords

acceptability criteria, online evaluation, finite automaton, evaluation tool

Recommended Citation

Sun Zhenglin, Yuan Weiqiang, Li Weiqing. An Online Evaluation Framework of Complex Simulation System Based on Acceptability Criteria[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(12): 2324-2331.

基于可接受性标准的复杂产品仿真系统在线评估框架

孙正霖, 袁伟强, 李蔚清*

(南京理工大学计算机科学与工程学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 针对当前复杂仿真系统评估的滞后性问题, 提出了基于可接受性标准(Acceptability Criteria, AC)的仿真在线评估方法。通过定性和定量 AC 到指标的映射模型来建立评估指标体系; 引入指标集和评估函数, 提出了仿真评估流程有限自动机七元组模型, 给出仿真流程到评估自动机的映射关系和基于数据驱动的状态转移机制, 实现评估过程自动化执行过程; 基于上述成果设计了在线评估工具, 通过案例验证了在线评估方法的有效性, 表明该方法能够有效解决仿真系统评估滞后性问题。

关键词: 可接受性标准; 在线评估; 有限自动机; 评估工具

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2020) 12-2324-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-FZ0429

An Online Evaluation Framework of Complex Simulation System Based on Acceptability Criteria

Sun Zhenglin, Yuan Weiqiang, Li Weiqing*

(Computer Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: An online simulation evaluation method based on Acceptability Criteria (AC) for the lag of current complex simulation systems is proposed. A qualitative and quantitative AC to index mapping model is used to establish an evaluation index system. Based on index sets and evaluation functions, a seven-tuple model of a simulation process finite automaton is proposed, and a mapping of the simulation process to automata and a data-driven state transfer mechanism are given. Based on the above results, an online evaluation tool is designed and the effectiveness is verified through a case. The result that the method can effectively solve lag in the evaluation of the simulation system.

Keywords: acceptability criteria; online evaluation; finite automaton; evaluation tool

引言

随着仿真系统愈发复杂, 以及用户对仿真应用的要求日益提高, 仿真系统可信度评估正面临越来越多的挑战。

目前实际工作中对于可信度评估的方式多集中在面向结果的评估验证与可信性综合评估方面。面向结果的评估验证, 即当仿真系统或者仿真模型开发完成后, 再对其可信度进行评估^[1], 该方式无法实现边仿真、边评估。当仿真结果出现问题时, 无法快速追溯到对应的出现问题的仿真环节, 这就可能致使事后评估的复杂仿真系统可信度大大降低并且难以提高, 因此针对复杂仿真系统开展正确的评估, 实现仿真系统边仿真、边评估, 提高仿真系统的可信度, 成为当前的研究热点与难点。



收稿日期: 2020-03-28 修回日期: 2020-06-30;
基金项目: 装备发展部十三五预研基金(61400010205, 61400010109, 315100104);
作者简介: 孙正霖(1995-), 男, 江苏南京, 硕士生, 研究方向为系统仿真等; 袁伟强(1995-), 男, 安徽, 硕士生, 研究方向为系统仿真等; 李蔚清(通讯作者 1974-), 男, 河南洛阳, 博士, 副教授, 硕导, 研究方向为系统仿真等。

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

• 2324 •

焦鹏等^[2]指出,开展仿真评估,应当首先建立评估的可接受性标准,要对仿真的可信度进行评估,首先应当明确仿真系统完全可信时应达到的指标体系要求。本论文在指标体系方面,将仿真需求通过可接受性标准建立起评估指标体系,并与仿真流程中的各个具体阶段进行关联,在每一个仿真步骤中,增加评估环节,从而在理论上实现边仿真、边评估的在线评估的功能。

在可信度评估工具的研究方面,已经开发了许多相关的仿真模型与系统评估辅助工具,并且有相当一部分工具已经进入商业化领域^[3]。1993年, Faruk Polat 等^[4]开发了一个基于知识的校核工具。2002年, Orca 公司研发了 M&S 的可信度综合评估软件^[5]。2006年,王子才等^[6]所在的控制与仿真中心开发了复杂仿真系统 VV&A 与可信度评估支撑工具。2010年,杨明等^[7]设计开发的复杂仿真系统可信度评估工具 HITCET。然而这些工具也多集中在面向结果的评估验证。本文以仿真在线评估方法研究为基础,实现了复杂仿真系统可信度在线评估工具。该工具以基于 AC 的指标体系为基础,将指标关联到各个评估环节,并以形式化改造的自动机模型为引擎,实现评估环节反馈转移直到仿真结束的自动化过程。

1 可接受性标准

可接受性标准规定了一个仿真系统充分服务于预期用途所需要的功能和该功能的质量。它们在确认或判断一个仿真对于预期用途是否是可接受的起着至关重要的作用^[8]。它们也可以指导仿真开发者构建或修改仿真系统以适应特定的预期用途。

从可接受性标准制定的角度应具备以下特性:

1) 可接受性标准直接与仿真需求相关,并提供阈值用于评估需求是否得到满足; 2) 可接受性标准在确认计划的制定过程中同步确定; 3) 好的可接受性标准具有清晰性、一致性和全面性,描述了确认权威进行确认决策所需的所有证据项。

可接受性标准与仿真系统需求之间的关系较

为密切。在美国国防部 (DoD) 特殊专题《Requirements》^[9]中明确提出了需求是可接受性标准的来源。可接受性标准提供了一系列标准,用于评估需求中描述的各类代表性能力。在 DoD 特殊专题《Acceptability Criteria》^[8]中也同样提出了仿真需求与可接受性标准之间的关系,即基于预期应用定义的仿真需求,以及满足需求应达到的 AC, 应提供定量或者定性的指标,以考察需求和相应标准是否得到满足。

DoD 特殊专题《Measures》^[10]中描述了从需求构造指标体系和可接受性标准集的过程。文中提出,可接受性标准和指标均由仿真需求推导出来,并且标准和指标进行对应,最终落实在 VV&A 的验证上。

2 基于 AC 的仿真可信度评估指标体系构建

2.1 AC 和评估指标对应关系

从仿真需求文本中提取出仿真应当满足的可接受性标准,可接受性标准通过通用指标库和领域专有指标库进行分解,以达到能覆盖 AC 的指标集。可接受性标准和评估指标两者之间形成如图 1 所示的关系。

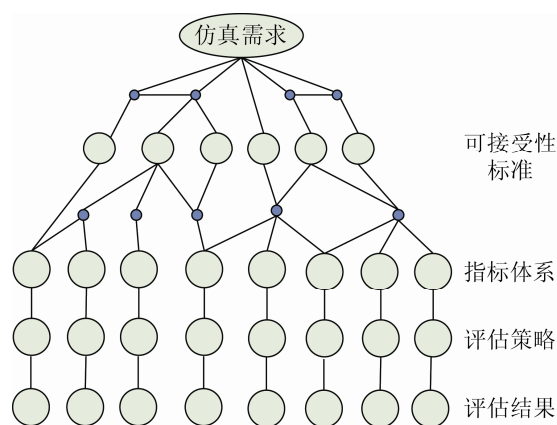


图 1 可接受性标准的关联关系图

Fig. 1 Correlation diagram of acceptability criteria

(1) 仿真需求集合是指仿真需求或预期用途构成的集合,是用于指导仿真系统开发、可信度评

估以及确认的关键证据来源。

(2) 可接受性标准集合是用来指导仿真系统可信度评估的直接评判标准, 这些标准与仿真需求集合存在多对多映射关系。

(3) 仿真可信度评估指标体系是仿真评估过程的直接关注点。可接受性标准与指标之间同样存在多对多的关系。

(4) 评估策略集合指的是评估指标所关联的数据信息、满足标准应达到的阈值、所使用的评估方法描述和具体的试验计划等。

(5) 评估结果集合指的是在具体的仿真在线评估过程中指标的评估结果信息, 这些信息构成了指标评估的证据项。

定性和定量相结合的方式是可接受性标准的整体形式。因此需要考虑定性 AC 到评估指标的映射过程与定量 AC 到评估指标的映射过程, 使得评估指标体系的构建更具完备性。

2.2 定性 AC 到评估指标的映射

对于定性 AC 而言, 表示的是部件实体、模型实体及指标项实体及其它它们之间的关系, 并没有描述应当达到何种质量程度或者量化的数值表示。因此在针对定性 AC 映射到评估指标的问题上, 需要使用通用指标库和领域专有指标库对 AC 进行分解, 以达到能覆盖 AC 的指标集合, 其中存在“一对一”和“一对多”的对应关系。同时可以依据仿真用途与应用目的、场景条件给出满足标准时指标应达到的阈值, 如“实时性”指标, 可以给出“1.0 s”, 表示该功能须在该时间内完成, 否则认为该项指标未满足所关联的标准。

2.3 定量 AC 到评估指标的映射

定量 AC 由部件实体、性能指标及其属性值组成, 其属性值即为其指标满足标准要求的阈值, 该标准与评估指标之间存在“一对一”的映射关系。

以制导仿真系统可信度评估领域为背景, 基于 AC 构建的可信度评估指标体系如图 2 所示。



图 2 基于 AC 构建的可信度评估指标体系
Fig. 2 AC-based credibility evaluation index system

3 仿真流程中在线评估方法设计

本文设计了仿真在线评估七元组模型, 在每一个仿真步骤中, 增加评估环节, 实现变仿真、边评估的在线评估功能。

3.1 仿真在线评估七元组模型描述

仿真在线评估七元组模型, 其定义如公式(1)所示:

$$M = (Q, T, \Sigma, \delta, p, Q_0, F) \quad (1)$$

式中: Q 为仿真在线评估框架的评估环节集合, 对于任意的 $q \in Q$, q 为仿真在线评估框架的任意一个评估环节; T 为基于可接受性标准映射的仿真可信度评估指标集合, 对于任意的 $t \in T$, t 是评估环节所关联的指标集合, 是指与评估环节关联的仿真步骤应具有的评价项; 对于任意 $t_i \in t$, 每一个指标 t_i 中都具有一些属性信息; p 为仿真在线评估框架的评估环节节点评估函数。 $p(q, t) = f(w, x) = c$, 其中 $q \in Q$, $t \in T$, w 为 t 中的指标权重矩阵; x 为 t 中的指标可信度矩阵; Σ 为仿真在线评估框架的实时

反馈转移状态的字符集合, 对于任意的 $\alpha \in \Sigma$, α 是其中一个评估环节流转 to 下一个评估环节的状态条件符号。在评估环节中, $\alpha = f_{\text{review}}(x, c, y_{\text{cov}})$, 其中 $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ 为与评估环节所关联指标的可信度值矩阵, 可以从评估环节所关联指标集合 t 的属性中获得; c 为评估环节的整体可信度; y_{cov} 为环节内的指标覆盖率; f_{review} 为审核函数, 输出为仿真在线评估框架的状态条件符号 α ; δ 为仿真在线评估框架的转移函数, $\delta(q_i, \alpha) = q_j$, 在环节 q_i 的情况下, 如果所有该评估环节完成评估任务后进行流程跳转的 α 皆已获得, 则指向下一评估环节 q_j ; Q_0 为初始节点, 为 Q 的子集; F 为仿真在线评估框架的最终状态, 为 Q 的子集, 在仿真在线评估框架中表示为仿真系统的可信度。

3.2 仿真步骤与评估环节之间的结构

在开展仿真时同步开展评估过程, 实现评估过程可配置, 必须对仿真步骤与评估环节之间的关系进行研究, 方能构建符合仿真过程的评估过程, 以仿真驱动评估过程的执行, 实现自动化的可信度评估。

(1) “一对一”结构: 仿真步骤与评估环节之间形成一对一关系。仿真步骤完成后并产生相应的数据信息, 即可开展该仿真步骤的评估工作, 如图 3(a)所示。

(2) “一对多”并行结构: 一个具体的仿真步骤, 由多个仿真子步骤组成, 而这些仿真子步骤之间不存在因果关系, 可以将这些仿真子步骤分别关联评估环节。这些评估环节在仿真子步骤执行之后并行执行, 如图 3(b)所示。

(3) “一对多”串行结构: 与“一对多”并行结构类似, 但是仿真子步骤之间存在关联关系, 必须顺序执行评估环节, 如图 3(c)所示。

(4) “多对一”结构: 可以将多个仿真步骤关联到一个评估环节, 即为“多对一”结构, 只有当这些仿真步骤全部执行完成之后, 才能获取到这些仿真步骤的可信度, 如图 3(d)所示。

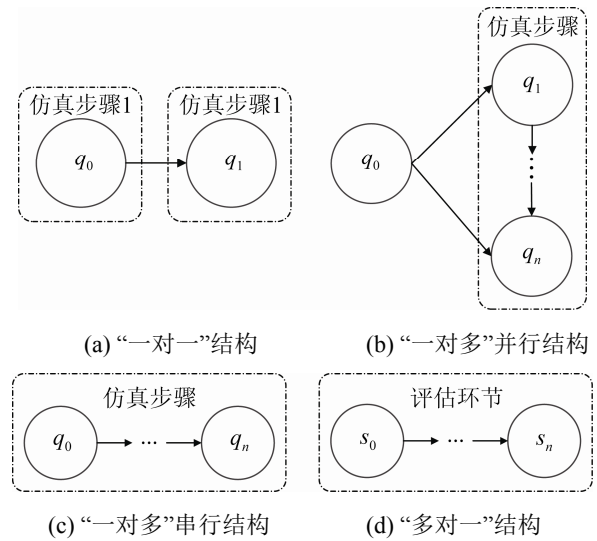


图 3 仿真步骤与评估环节结构图

Fig. 3 Structure diagram of simulation steps and evaluation link

3.3 仿真在线评估环节中的实时反馈转移结构

利用仿真步骤与评估环节之间的四种关系模型, 可以根据仿真要求设计与配置评估过程, 并将仿真步骤中待评估的指标项与评估环节进行关联。当执行完成仿真步骤时, 该仿真步骤关联的评估环节获得数据, 由评估人员对该评估环节中的指标可信度、评估环节综合可信度与指标评估的覆盖率进行计算, 并提交相应文档与评估报告, 环节进入待审核状态, 由审核的输入字符信息决定转移到下一状态。

(1) 向下推移

管理人员依据评估环节中的相关评估信息与文档进行审核。若审核结果表明该仿真步骤的评估结果符合仿真需求的要求, 即可继续进行下一仿真步骤, 对应模型如图 4(a)所示。

其中, $Q = \{q_0, q_1\}, T = \{t_0, t_1\}, q_0 \leftrightarrow t_0, q_1 \leftrightarrow t_1, \Sigma = \{a\}, p(q_0, t_0) = c_0, f_{\text{review}}(x_0, c_0, y_{0\text{cov}}) = a, \delta(q_0, a) = q_1, Q_0 = \{q_0\}, F = \{q_1\}$ 。

(2) 环节迭代

仿真步骤评估结果的审核情况表明该仿真步骤未满足仿真需求要求, 可能是仿真步骤执行过程

存在的问题，需要重新执行该仿真步骤，如图 4(b) 所示。

其中， $Q = \{q_0\}, T = \{t_0\}, q_0 \leftrightarrow t_0, \Sigma = \{b\}, p(q_0, t_0) = c_0, f_{review}(x_0, c_0, y_{0cov}) = b, \delta(q_0, b) = q_0, Q_0 = \{q_0\}$ 。

(3) 回退

仿真步骤评估结果的审核情况表明该仿真步骤不符合仿真要求的原因是由于之前的某个仿真步骤导致的，可以回退到导致该仿真步骤评估结果低的前置仿真步骤，并重新执行，如图 4(c) 所示。

其中， $Q = \{q_0, q_1\}, T = \{t_0, t_1\}, q_0 \leftrightarrow t_0, q_1 \leftrightarrow t_1, \Sigma = \{a\}, p(q_0, t_0) = c_0, p(q_1, t_1) = c_1, f_{review}(x_0, c_0, y_{0cov}) = a, f_{review}(x_1, c_1, y_{1cov}) = c, \delta(q_0, a) = q_1, \delta(q_1, c) = q_0, Q_0 = \{q_0\}$ 。

(4) 版本迭代

仿真步骤评估结果的审核情况表明仿真在线评估过程无法满足继续执行的要求，可以直接退出仿真评估过程，并依据仿真在线评估流程中未满足仿真要求的指标追溯到仿真需求，以此优化仿真系统并重新在新的版本上重新执行，如图 4(d) 所示。

其中： $Q = \{q_0, q_1, q_2, end\}, T = \{t_0, t_1, t_2\}, q_0 \leftrightarrow t_0, q_1 \leftrightarrow t_1, q_2 \leftrightarrow t_2, \Sigma = \{a, d\}, p(q_0, t_0) = c_0, p(q_1, t_1) = c_1, f_{review}(x_0, c_0, y_{0cov}) = a, f_{review}(x_1, c_1, y_{1cov}) = d, \delta(q_0, a) = q_1, \delta(q_1, d) = end, \delta(q_1, a) = q_2, Q_0 = \{q_0\}, F = \{q_2, end\}$ 。

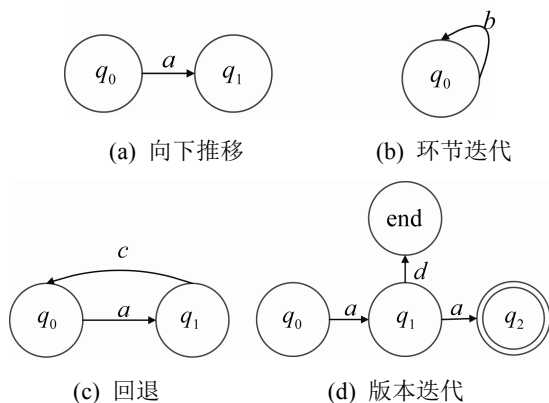


图 4 仿真在线评估实时反馈转移结构图

Fig. 4 Simulation online evaluation real-time feedback transfer structure diagram

该七元组流程模型的伪代码执行流程为：

step 1: 评估环节 q_0 从资源库获取到仿真数据与真实数据；

step 2: 调用评估方法对 t_0 中的指标进行评估，获取指标可信度；

step 3: 由 $p(q_0, t_0) = c_0$ 计算 q_0 环节的综合可信度；

step 4: 通过指标覆盖率公式计算该评估环节的指标覆盖率 y_{0cov} ；

step 5: IF $f_{review}(x_0, c_0, y_{0cov}) = a$ THEN 下推到评估环节 q_1 ，将评估环节对象换成 q_1 重复 step 1~5；

IF $f_{review}(x_0, c_0, y_{0cov}) = b$ THEN 环节迭代，解决存在评估中出现的问题，重新执行 step 1~5；

END。

由评估环节 q_0 下推到评估环节 q_1 的转换关系如图 5 所示。

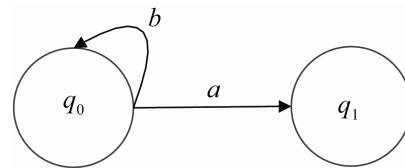


图 5 实时反馈转换关系应用示例图

Fig. 5 Real-time feedback conversion relationship application example diagram

其中， $Q = \{q_0, q_1\}, T = \{t_0, t_1\}, q_0 \leftrightarrow t_0, q_1 \leftrightarrow t_1, \Sigma = \{a, b\}, Q_0 = \{q_0\}, F = \{q_1\}$ 。

4 仿真系统可信度在线评估工具的实现和案例分析

在上述仿真在线评估方法研究工作的基础上，用 B/S 框架对仿真系统可信度评估工具进行了实现，以此仿真验证在线评估方法的有效性。

4.1 在线评估工具功能介绍

该可信度评估工具分为系统模块、基础资源管理模块、评估过程管理模块和方法管理模块。复杂仿真系统可信度评估工具的关键模块组成如图 6 所示。

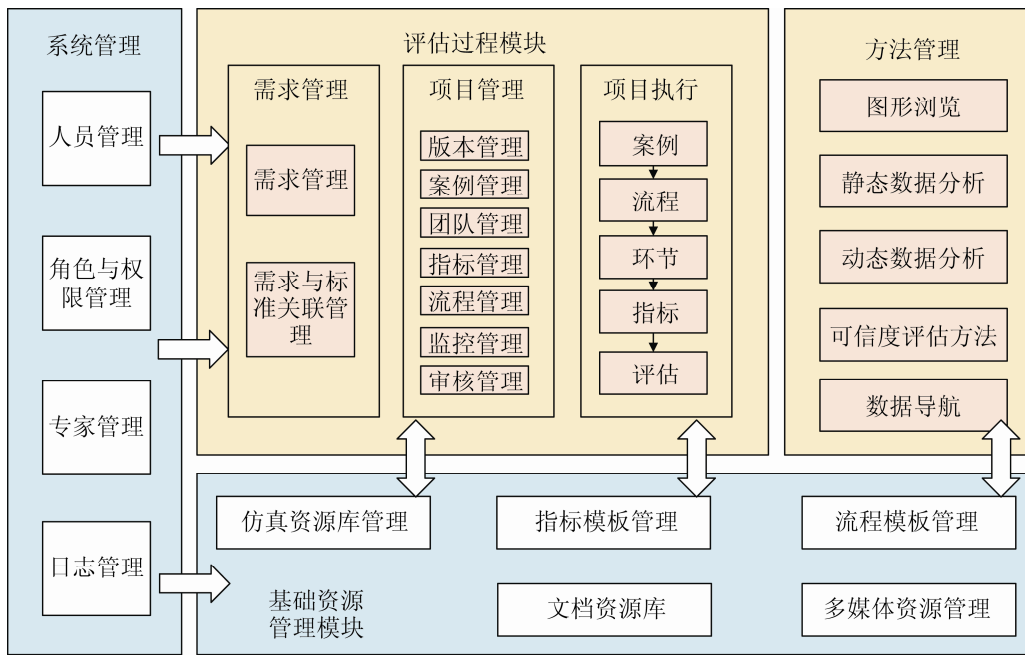


图 6 复杂仿真系统可信度评估工具的模块组

Fig. 6 Module composition diagram of credibility evaluation tool for complex simulation systems

评估过程管理模块是整个可信度在线评估工具的核心模块。该模块主要由需求管理子模块、项目管理子模块和项目执行子模块组成。

需求管理子模块需要对仿真需求进行管理,为每个需求语句分配需求编号,并将仿真需求关联指标,且能直观的在工具中体现两者之间的关系,如图 7 所示。

需求项录入			
编号	类型	需求项描述	
S1	【代表性标准】	五轴转台主要完成模拟弹目	
S2	【代表性标准】	三轴转台来复现导弹的俯仰	
S3	【代表性标准】	导弹的俯仰、偏航和滚转这	
S4	【代表性标准】	三轴转台从 VMI C 网络读	

图 7 仿真需求与可接受性标准的关联

Fig. 7 Correlation between simulation requirements and acceptability criteria

项目管理模块包括指标管理、流程管理、监控管理和审核管理等。在流程管理中,根据仿真步骤创建评估环节,并将指标关联到环节中。

项目执行模块负责操作具体的评估案例,执行

仿真在线评估流程,并得到最终的评估结果。该模块功能将在 4.2 章节中介绍。

4.2 案例分析

在流程管理里面创建制导仿真系统可信度评估项目,并构建仿真评估环节与指标体系,如图 8 所示,图 8 的左侧为构建的仿真的各个评估环节,右侧为由可接受性标准构建的可信度评估指标体系。将右侧指标勾选,即为左侧蓝色选中评估环节与评估指标进行关联,形成评估环节-评估指标关联关系。

项目创建完成后,评估人员开始执行。评估人员进入评估环节,可以看到总体执行情况等各种信息,包括环节信息、执行人员、执行任务说明等基础信息,同时包括了数据信息、文档信息、评估报告与结论等环节资源信息,还可以进入评估算法调用界面对该环节关联的指标进行评估。

在该环节内选择调用评估方法按钮进入环节内指标的评估界面,如图 9 所示,评估人员以仿真步骤产生的数据信息为基础,调用相应的评估方法完成指标的评估。



图 8 仿真流程评估环节与评估指标构建

Fig. 8 Simulation process evaluation link and evaluation index construction

子指标名	可信度值	相对重要程度	权重值
可信度评估(层次分析法)	0.8979		
弹体动态性能	0.8807	2	0.5606
最大转角范围	0.85	2	0.5606
机械精度	0.92	1	0.4394
弹体静态性能	0.92	1	0.4394
最大转角	0.88	5	0.2722
通道数	1	3	0.167
中心直径	0.86	4	0.2134
加载精度	0.95	6	0.3474

图 10 指标评估结果显示界面

Fig. 10 Indicator evaluation result display interface

编号	指标名	结果	可接受性标准
1	通道数	4	4
2	中心直径(mm)	179	70-330
3	加载精度(Nm)	0.198	0.2
4	最大转角(°)	+=32	+=30

图 9 评估节的关联指标评估界面

Fig. 9 Associated Index Evaluation Interface of Evaluation Section

当评估人员完成所有指标评估后,可以进入该环节的评估结果界面,计算该环节的整体可信度,图 10 所示为运动姿态评估环节中所有指标的评估情况。根据层次分析方法的可信度评估方法流程,设置每个子指标的可信度,设置所有指标的相对重要程度,由此计算得到运动姿态环节的总可信度 Q 为 0.8979。

评估人员完成评估环节制定的评估任务后,提交该环节的评估报告及评估结论,由管理人员审核。其中审核包括 4 种结论:(1) 通过,向下推移;(2) 不符合要求,需要进行环节迭代;(3) 由管理人员选择回退到该流程的任一前置环节重新执行与该环节关联的仿真步骤;(4) 无法继续执行,退出流程。

在该案例所在的技术性能指标评估环节中,自动机的各个属性如下:

$Q = \{\text{技术性能指标评估, 系统指标评估, 目标模拟器, \dots, 整体可信度计算}\}$ 。

$T = \{\text{最大转角范围, 机械精度, 中心直径, 加载梯度, \dots}\}$, 如图 2 所示。

$\Sigma = \{a: \text{审核通过}, b: \text{重新执行}, c: \text{回退}, d: \text{退出}\}$ 。

$p = \{\text{层次分析法}\}$

$Q_0 = \{\text{技术性能指标评估}\}$

$F = \{\text{整体可信度计算, end}\}$ 。

自动机推移过程为:

$\delta(\text{技术性能指标评估}, a) = \text{系统指标评估}$

$\delta(\text{技术性能指标评估}, b) = \text{技术性能指标评估}$

$\delta(\text{技术性能指标评估}, c) = \text{技术性能指标评估}$

$\delta(\text{技术性能指标评估}, d) = \text{end}$

若审核界面审核通过,即状态转字符为 a ,根据自动机下推可得下一阶段为:进入系统指标评估环节。以下各个环节执行如同本案例,直至最终状态。

5 结论

本文针对当前不确定性复杂仿真系统可信度评估过程的滞后性问题,首先将仿真需求通过 AC

建立起评估指标体系,紧接着设计了基于有限自动机的仿真在线评估方法,对仿真步骤与评估环节之间的关系进行了研究,设计了仿真在线评估流程中的转移关系模型,实现了基于仿真数据驱动的仿真评估流程自动化执行过程,从而在理论上实现边仿真、边评估的在线评估的功能。然后对仿真系统可信度评估工具进行了实现。最后通过具体的评估实例验证了仿真系统可信度在线评估方法的有效性。

针对仿真系统可信度评估中的相关问题,本文提出了在线评估方法并进行工具实现。但是本文的工作还存在一定的缺陷:仿真步骤到评估环节之间的结构映射可以“一对一”、“一对多”、“多对一”等,需要人为判断两者映射关系,没有具体标准。如果仿真步骤到评估环节映射多了,导致评估环节过多,执行起来繁琐;如果仿真步骤到评估环节映射少了,环节内容增多,如果评估不通过,追溯问题就变得困难。所以如何建立一个仿真步骤和评估环节之间合适结构映射,还需要以后的进一步研究。

参考文献

- [1] 李伟, 林圣琳, 周玉臣, 等. 复杂仿真系统可信度评估研究进展[J]. 中国科学: 信息科学, 2018, 48(7): 767-782.
Li Wei, Lin Shenglin, Zhou Yuchen, et al. Research Progress on Credibility Assessment of a Complex Simulation System[J]. SCIENCE CHINA: Information Sciences, 2018, 48(7): 767-782.
- [2] 焦鹏, 张琪, 魏翔宇, 等. 仿真可信性评估中的若干问题及对策研究[J]. 系统仿真学报, 2019, 31(7): 1257-1262.
Jiao Peng, Zhang Qi, Wei Xiangyu, et al. Some Problems and Countermeasures in Simulation Credibility Evaluation[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(7): 1257-1262.
- [3] 杨丽娜, 吴晓燕. 建模与仿真 VV&A 工具设计与实现[J]. 现代防御技术, 2008(4): 148-152.
Yang Lina, Wu Xiaoyan. Design and Actualization of VV&A Tools Used for Modeling and Simulation[J]. Modern Defense Technology, 2008(4): 148-152.
- [4] Polat F, Guvenir H A. UVT: A Unification-based Tool for Knowledge Base Verification[J]. IEEE Exper (S0885-9000), 1993, 8(3): 69-75.
- [5] Balci O, Adams R J, Myers D S, et al. A Collaborative Evaluation Environment for Credibility Assessment of Modeling and Simulation Applications[C]// Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference. San Diego, CA, USA: IEEE, 2002.
- [6] 王达. 多武器平台仿真系统数据 VV&C 技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
Wang Da. The Research of Multiple Armament Platform Simulation Data VV&C[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006.
- [7] 杨明, 方可. 仿真可信度评估辅助工具研究[J]. 计算机仿真, 2010, 27(6): 118-121, 154.
Yang Ming, Fang Ke. Research on the Simulation Credibility Evaluation Assistant Tool Based on Hierarchical Evaluation[J]. Computer Simulation, 2010, 27(6): 118-121, 154.
- [8] DoD M&SCO. M&S VV&A RPG Special Topic: Acceptability Criteria[EB/OL]. [2019-05-05]. <http://www.msco.mil>.
- [9] DoD M&SCO. M&S VV&A RPG Special Topic: Requirements[EB/OL]. [2019-05-05]. <http://www.msco.mil>.
- [10] DoD M&SCO. M&S VV&A RPG Special Topic: Measures[EB/OL]. [2019-05-05]. <http://www.msco.mil>.