

7-2-2020

Framework and Methodology for Logistics Simulation Based on Fidelity Theory

Yukun Liu

1. School of Automation, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;;

Fu Yu

2. Department of Industrial and Systems Engineering, Texas A&M University, TX 77843-3131, USA;

Mengrui Shan

1. School of Automation, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, 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.

Framework and Methodology for Logistics Simulation Based on Fidelity Theory

Abstract

Abstract: The quality issue of simulation was studied from the perspective of fidelity. The basic concepts and dimension structures of simulation fidelity and simulation utility were defined according to the features of discrete event logistics system (DELS) simulation after a relationship analysis between fidelity and problems in DELS simulation. *A fidelity-based four-stage lifecycle framework with prescriptive contents for each stage was constructed to improve the quality of simulation implementation. A simulation fidelity management process model (FMPPM) was built to ensure three processes: pre-control of fidelity design, in-process fidelity management, and afterward fidelity evaluation. Operable methods and tools such as Fidelity Template (FT), Fidelity Scale (FS) and other methods were provided as supporting methods.* An application example in emergency refined grain industry was studied and discussed.

Keywords

simulation fidelity, discrete event logistic system, framework, operable method, utility

Recommended Citation

Liu Yukun, Fu Yu, Shan Mengrui. Framework and Methodology for Logistics Simulation Based on Fidelity Theory[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(3): 499-507.

基于逼真度理论的物流仿真实施框架与方法

刘玉坤¹, 付玉², 单梦蕊¹

(1.北京邮电大学自动化学院, 北京 100876; 2.德州农工大学工业与系统工程系, 美国 德克萨斯 77843-3131)

摘要: 从逼真度视角探讨解决物流仿真实施质量问题。剖析归纳物流仿真实践与理论层面的问题及其与逼真度的关系, 就实践层面的参与方式和 workflows 提出改进方案。针对离散事件物流系统 (DELS) 界定了仿真逼真度和仿真效用的概念与内涵, 分别构建了维度结构, 消除逼真度概念的模糊性。构建基于逼真度理论的仿真实施四阶段规范性内容的仿真实施框架, 从逼真度入手对仿真实施过程的控制。构建逼真度管理过程模型, 提供逼真度模板、参考模型、逼真度需求确定和逼真度量表等可操作的支撑方法体系, 实现事前逼真度设计、事中逼真度管理和事后逼真度评价。以应急成品粮物流作业规划设计仿真为例对该框架与方法进行应用研究和讨论。

关键词: 仿真逼真度; 离散事件物流系统; 框架; 可操作方法; 效用

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2016) 03-0499-09

Framework and Methodology for Logistics Simulation Based on Fidelity Theory

Liu Yukun¹, Fu Yu², Shan Mengrui¹

(1. School of Automation, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

2. Department of Industrial and Systems Engineering, Texas A&M University, TX 77843-3131, USA)

Abstract: The quality issue of simulation was studied from the perspective of fidelity. The basic concepts and dimension structures of simulation fidelity and simulation utility were defined according to the features of discrete event logistics system (DELS) simulation after a relationship analysis between fidelity and problems in DELS simulation. A fidelity-based four-stage lifecycle framework with prescriptive contents for each stage was constructed to improve the quality of simulation implementation. A simulation fidelity management process model (FMPM) was built to ensure three processes: pre-control of fidelity design, in-process fidelity management, and afterward fidelity evaluation. Operable methods and tools such as Fidelity Template (FT), Fidelity Scale (FS) and other methods were provided as supporting methods. An application example in emergency refined grain industry was studied and discussed.

Keywords: simulation fidelity; discrete event logistic system; framework; operable method; utility

引言

系统仿真在我国物流领域的应用已十分普遍, 但实践中的一系列问题使物流仿真实施质量无法

得到有效控制。影响仿真质量的因素有很多, 在理论因素中, 逼真度(fidelity)是核心因素。本研究从逼真度入手, 研究有效控制物流仿真实施质量的理论依据与可操作方法支撑。

逼真度通常是指仿真系统对真实对象系统的代表程度^[1]。关于逼真度的早期文献主要来自美国军事领域一些军队科研项目 and 航空航天领域的研究。最初使用“细节”(detail)、“细节级别”(level of



收稿日期: 2014-11-05 修回日期: 2015-03-26;
基金项目: 国家自然科学基金项目(61104055); 国家粮食行业公益科研专项(201313009-06);
作者简介: 刘玉坤(1975-), 女, 河北, 博士, 副教授, 研究方向为物流系统建模与仿真; 付玉(1985-), 女, 湖北, 博士, 研究方向为系统优化与仿真。

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

detail)和分辨率(resolution)、粒度(granularity)等概念^[2]来讨论逼真度相关问题。六十年代的文献中已经出现逼真度这一术语并沿用至今。七十年代的大量文献中对逼真度概念的使用相当混乱,各研究者赋予不同的内涵解释。Pace 对这一状况进行了的梳理,逐步形成了军事航空航天领域较为统一的逼真度概念。20 世纪九十年代到 21 世纪初,以逼真度实施研究小组(Fidelity Implementation Study Group, FISG)为代表的欧洲、美国和其它地区的发达国家掀起了逼真度研究热潮,每年举行研习班,冬季仿真会议也持续进行专题研讨。这一研究高潮标志着国防军事、航空航天以及后来扩展到的医疗领域的分布交互式仿真和高层结构仿真领域逼真度理论的逐步成熟。此后,研究热度明显下降,但仍然集中在上述领域,向其它应用领域的扩散研究相对分散,普遍关注度不高。极少数在离散事件系统领域内的逼真度研究是关于虚拟离散制造过程仿真的研究^[3-4]。我国关于仿真逼真度的研究也集中在军事与航空航天领域,虽起步较晚,但也取得了丰富的研究成果,而近年来的研究依然限于上述领域^[5-7],这与我国仿真技术在民用行业的应用较晚较慢有直接关系。

当下,在仿真应用领域普遍存在着一个认识误区,即相对航空航天和军事领域,物流领域的对象系统规模较小,结构与逻辑简单,仿真回路通常不包括硬件和人,无需深入到逼真度理论层面进行关注。我国物流仿真领域尚未使用逼真度概念,国内物流领域的许多仿真工程师对逼真度理论缺乏基本的理解和关注。

但事实上,物流对象系统规模日渐庞大、内部组成和逻辑更加复杂、随机性与不确定性突出、对系统的管理与控制精度要求提高、时间紧迫性压力增大,对仿真效用和仿真成本的控制需要升高,这要求物流仿真走出粗放模式进入精细化时代。仿真有效性(Validity)已不能遮蔽和抵挡真正的逼真度问题。但已有的逼真度理论方法并不适用于物流领域建模与仿真且可操作性较差。这就对适合物流仿

真的逼真度理论体系和可操作方法提出了需求。

1 物流仿真理论与实践问题分析

物流仿真领域存在着一系列理论与实践层面的问题,不同问题之间因果关系纵横交织,许多问题与逼真度有关,分析结果归纳为图 1。限于篇幅,不对所有问题逐一展开列举和原因分析。正是因为缺乏离散事件物流系统(Discrete Event Logistics System, DELS)的逼真度基本理论和可操作方法,才使得物流仿真实践在实施之初就缺乏必要的理论指导,逼真度设计环节缺失,导致在整个仿真实施过程中缺乏对逼真度的有效管理和控制,最终衍生出有关仿真可信性、仿真效用与仿真成本的问题。

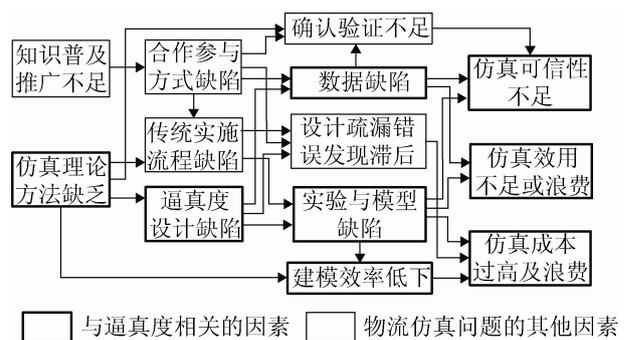
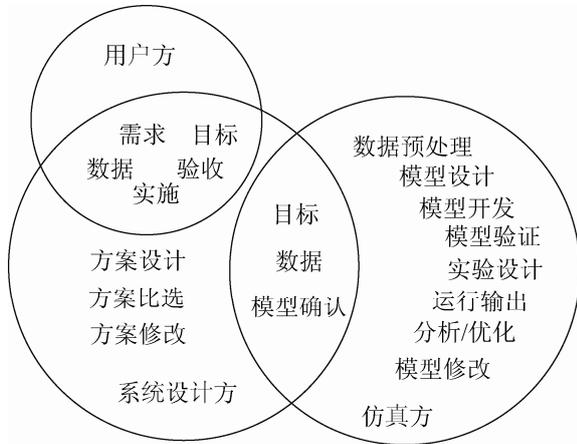


图 1 物流仿真实践中的问题与逼真度的关系

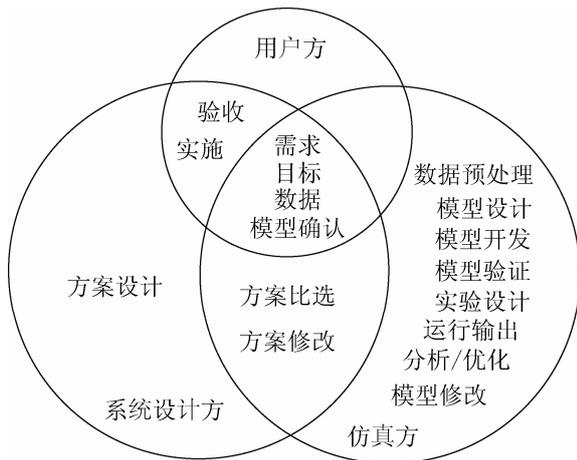
因此,要全面控制仿真实施质量,就要在改进仿真实施过程中各方参与模式及仿真工作流程的基础上,从逼真度理论出发,采用适当的逼真度设计与管理方法来规范整个实施过程。

一个典型的仿真应用至少涉及 3 个参与方: 方案使用方(用户)、系统方案设计方(设计方)和仿真服务提供商(仿真方),三者构成一条简单的技术服务供应链。在商业运作中,三方之间的关系不尽相同。许多物流仿真实践中,各方在仿真实施过程中的合作活动可用图 2(a)图来表示。这是导致某些数据缺陷和仿真确认不足的重要原因之一,还往往导致设计错误发现滞后。为此,根据仿真方法的客观需求,提出如图 2(b)所示的参与合作方式。值得指出,看似简单的合作参与活动规范,却是成功实施

仿真的重要因素, 许多仿真项目不能高水平完成, 恰恰是由于各合作方没有达成有效的合作, 从而导致了仿真质量问题。



(a) 实践中常见的合作参与



(b) 客观需要的合作参与

图 2 实践中的合作方式与客观需要之间的差别

从实施流程看, 传统的仿真参与设计过程较晚, 有时甚至在详细方案完成后才启动, 时间压力大, 且无法及时发现设计中间步骤中的错误与疏漏。而系统规划设计软件是静态、平面的, 不能动态展示系统中事件的复杂逻辑关系与发生顺序, 即便是最有经验的设计工程师也难免有疏漏与错误。为此, 提出仿真全程参与规划设计的思想, 改进提出一个交织(Interleaving)、全程、并行的物流系统设计-仿真工作流程, 见图 3。

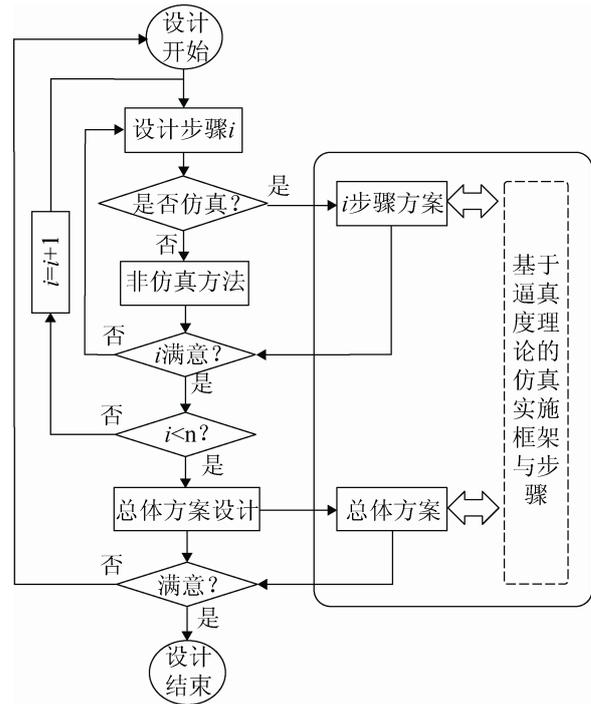


图 3 交织、全程的物流系统设计-仿真工作流程

该流程以设计步骤为单元, 系统设计与仿真交替推进, 工作重点在设计仿真分析之间往复转移, 互相实时反馈, 形成交织并行的流程模式。从整体上看, 仿真以交织并行的模式贯穿于系统规划设计全过程。在此流程下, 系统设计结果及时转化为三维动态仿真模型, 为系统设计提供更好的启发环境, 并及时验证各步骤的设计方案。虽然目前并没有一体化的规划设计与仿真软件平台, 基于仿真的系统规划设计还是一个愿景, 但业界也在尝试通过接口模块开发, 从规划设计软件中提取部分数据用于部分仿真建模, 从系统设计开始到最终方案的选定, 仿真进行全程参与。

本部分提出的各方参与合作方式及交织全程并行的仿真流程的目的是从实践上保证仿真实施过程的合理性, 解决实践相关问题, 并作为基于逼真度的仿真实施框架的基础。

2 DELS 逼真度概念体系的构建

逼真度实施研究小组曾对逼真度的定义和内涵进行梳理和界定, 其主要参与成员之一 Roza 从

培训仿真领域的研究出发给出了一套十分理论化的逼真度通用框架与方法^[8]。但是,分布交互式仿真、培训仿真和高层结构仿真体系下的逼真度的维度构造、逼真度量度体系和逼真度管理与设计方法都无法适应物流仿真的需要。基于上述问题我们提出与前人不同的逼真度概念与内涵界定、维度构建及度量体系,同时还构建了仿真效用的概念与维度,为后续物流仿真实施框架和可操作方法提供概念与理论基础。

前已述及,逼真度是指仿真系统代表真实系统的程度。有人主张用仿真世界(M_S)与基于真实世界抽象出的参考模型(M_R)之间的比 M_S/M_R 来表示和衡量, Roza 则提出一个高度概念化无可操作性的理论定义为“现实与所仿真的现实之间差别的逆”,即 Δ_{RS}^{-1} 。但从概念上看,且不论逼真度内涵哪些维度,这两个表达首先无法将逼真度与相似性本身区分开来。

物流仿真逼真度与细节级别、分辨率和粒度更为接近,仿真更侧重于逻辑维度上的详细程度。这里将逼真度定义为仿真系统在描述和代表对象系统上所具有的多维相似性的层次化特征。这个概念明确区分了逼真度与相似性,同时也暗示着逼真度与准确性、精确度的不同。更进一步,将逼真度与有效性十分明确地区分开来。

对于逼真度包含哪些内涵与纬度,不同的研究者对此有不同的观点和主张,例如,模型结构、模型行为和仿真执行结果,这 3 个互相相关的方面,被不同研究者部分或全部纳入到逼真度的内涵与维度中^[9-10]。军事领域的逼真度维度划分例如划分为视觉系统逼真度、人造环境逼真度、物理硬件、交互作用和力学 5 个维度。又如划分为实体存在、属性和行为 3 个维度。这显然不适合物流系统仿真的逼真度分析需求。

本文对逼真度的维度划分如图 4 所示。仿真逼真度(SF)由实验逼真度(EF)与模型逼真度(MF)共同决定即

$$SF = \min(EF, MF) \quad (1)$$

而模型逼真度是仿真逼真度的根本。高逼真度的模型可以支持低实验逼真度的仿真实施,但低逼真度的模型无法支撑高实验逼真度的仿真实施。这与 Kim 的观点^[3]相似,但本文对实验逼真度和模型逼真度的维度划分与构造同其它文献有着显著的不同。

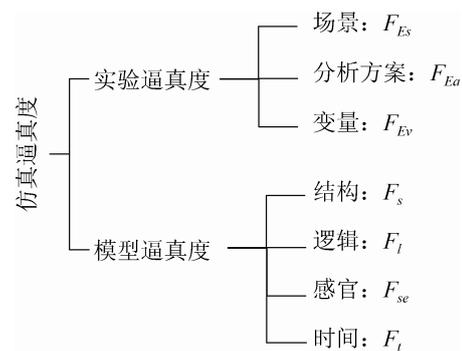


图 4 DELS 仿真逼真度维度划分

最复杂的 2 个维度是模型逼真度的结构维与逻辑维。结构维主要描述模型在系统组成,如系统、子系统、模块、实体层次上的结构特征,和表达空间位置、形状、尺寸的结构变量。逻辑维是 DELS 仿真中最核心、最重要的维度,主要包括策略性逻辑、事件性逻辑和算法性逻辑,这 3 个子维度囊括了 DELS 中所有复杂的逻辑关系。其中事件逻辑多种多样,包括自生性事件逻辑、时间驱动事件逻辑、交互性事件逻辑等。而交互性逻辑又可能有流程顺序性、条件触发性和相互限制性等交互逻辑关系。这些维度是在物流仿真应用中需要充分展开进行建模与仿真分析的维度。

感官维度包括视觉、听觉、触觉等维度。物流系统仿真通常不包含硬件和人在回路中。培训仿真系统除外,例如港口岸吊高空作业仿真培训系统,和军事与航空领域的培训系统类似。自动化物流系统半实物仿真(Emulation)回路中一般也只涉及 PLC。因此,DELS 仿真中感官维度常常退化为视觉维度,即视觉效果。

时间维度的逼真度是指仿真模型中对于时间的描述刻画所达到的真实程度。针对不同物流系

统,有些仿真需要严格按照真实时间处理,有些系统只要保证事件时序关系即可达到准确性要求,如一些特定研究目的下的库存系统的仿真,也有些系统需要这种混合的机制,或部分模型需要准确时刻与时序的混合逼真度建模。因此,需要清楚界定时间维度上的逼真度要求。

特别指出,与前人主张不同,本文将模型行为和仿真执行结果排除在仿真逼真内涵与度维度之外,将其界定为仿真效用的维度。因为仿真系统在物理空间、逻辑、时间等维度上的特征决定了仿真系统的行为,故前者存在逼真度的问题,而后者则是所期望的仿真效用的一个维度。为此,界定仿真效用的维度如图 5 所示。

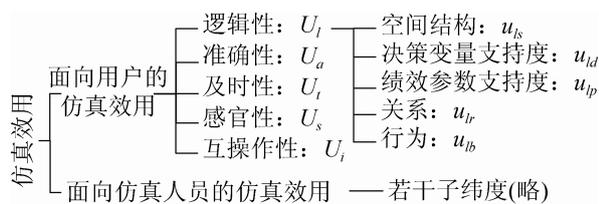


图 5 仿真效用的维度划分

模型逼真度与面向用户的仿真效用有类似的结构。可以说逼真度在一定维度上的水平决定了该维度上达到的仿真效用;但仿真效用有独立的维度,两者并非一一对应的关系。如及时性效用并不对应着逼真度的时间维度,这是 2 个独立的概念。及时性效用是指仿真实施满足用户对项目完成时间的需求的效用,即对决策支持的及时性。如果模型在各个维度的逼真度设计都非常高,导致整个时间成本极高,从而无法在用户决策前给出仿真结果与决策建议,就表示及时性效用很低。又如,如果模型逼真度在结构、逻辑和时间子维度上较低,就可能导致模型行为与实际行为差别较大,即行为效用较低。

逼真度的度量以逼真度维度划分为基础,逼真度维度结构即逼真度度的基本框架。但是,逼真度度的实现还需要可操作的方法。第 4 部分简要介绍了前期研究提出的一种逼真度量表方法 (Fidelity Scale, FS) 用于逼真度量。

3 基于逼真度的仿真实施框架设计

第 1 部分已指出仿真实施的各参与方在仿真实施的各项活动中进行有效的合作,并将逼真度相关理论方法融合贯穿于合理的仿真实施流程中才能规范仿真实施过程,给出了参与合作活动的设计和仿真实施工作流程的改进。在此基础上将逼真度理论方法融合于仿真实施过程,构建基于逼真度理论的仿真实施框架,如图 6。仿真实施周期分为仿真准备、设计、开发与确认验证和运行管理 4 个阶段,每个阶段有规定的 M&S 活动。

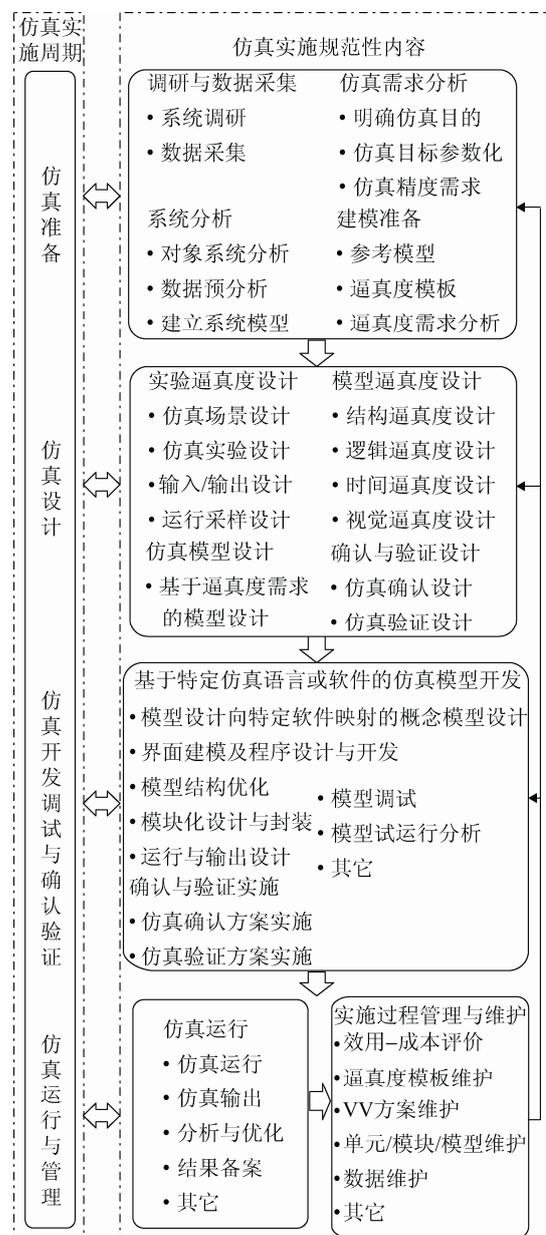


图 6 基于逼真度理论的仿真实施框架

逼真度相关理论与方法从仿真准备阶段开始就参与到仿真实施过程中,在仿真设计、仿真阶段都起到重要作用。在仿真准备阶段主要涉及参考模型和逼真度模板的设计或取得,重要工作是进行仿真逼真度需求的确定。在仿真设计阶段,则是基于逼真度需求分析结果的模型逼真度设计。在开发阶段则是通过有效的逼真度管理将基于逼真度需求完成的逼真度设计实现在仿真模型中。后续还有一些逼真度模板维护管理的工作,如果需要还要进行逼真度的度量评价,或者仿真效用的评价与成本分析。

4 逼真度设计与管理方法

上述仿真框架的实施依赖于一系列的可操作方法,这里提出一个步骤性的过程模型来进行逼真度管理,如图 7 所示。其目的和意义重点在于事前和事中对仿真逼真度的设计与管理,而事后的评价则根据相关客户需求而定。

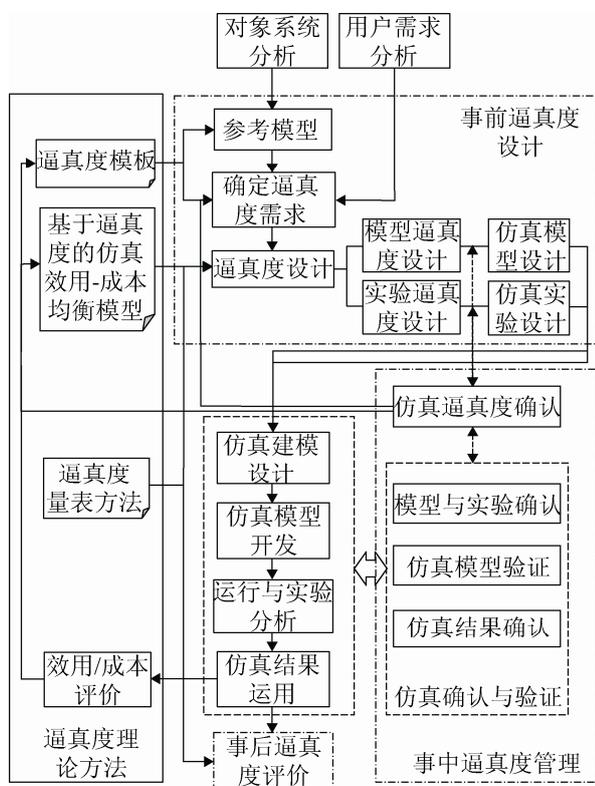


图 7 逼真度管理过程模型

该过程模型包括如下几个步骤: 1) 准备逼真度模板(Fidelity Template, FT); 2) 建立参考模型(Reference Model, RM); 3) 确定本次仿真的逼真度需求(Fidelity Requirement, FR); 4) 进行仿真设计,并实施仿真模型开发、运行、结果分析,直至仿真结果被运用; 5) 伴随第 4 步,进行逼真度设计确认及有效性确认和模型正确性验证; 6) 如果需要,用户可对本次仿真实施的逼真度进行事后的评价,仿真人员可对本次仿真实施的效用和成本进行评价,同时,对逼真度模板、仿真效用-成本均衡模型进行维护修正等。

该过程模型需要一系列可操作方法来实现。逼真度模板(FT)是一个按照目标系统构成和逼真度维度分解的层次化结构框架,可在 Excel 中实现。FT 包括仿真实验逼真度(Experiment Fidelity, EF)与仿真模型逼真度(Model Fidelity, MF)。EF 模板包括 4 个子模板: 1) 仿真目标参数化模板:列举由仿真目标映射得到的参数指标; 2) 仿真输入/输出模板:列举层次化的输入/输出参数及量纲规范; 3) 仿真实验与分析模板:列举场景设计、基于特定实验设计与分析方法的实验方案、仿真运行控制、数据清单与采样方案等; 4) 运行采样模板:规定所有仿真运行的控制模式与采样方法。

MF 模板是适用于某类对象系统的一个层次化结构框架。在 Excel 中表现为可灵活为每个层次结构框架添加具体行或列或单元格内容的结构化的表格。该结构框架是根据对象体系统本身和逼真度维度结构对一类对象系统进行分解后得到的结构框架中共同特征的提取物。也就是说,同一类对象系统可以形成领域认可的分解结构框架,即该类对象系统的逼真度模板。

建立参考模型(RM)是进行逼真度设计或逼真度评价的基础。RM,或称参照物,本质上是现有领域知识限制内对于研究对象系统认知所能达到的最高逼真度的描述。RM 在领域知识范畴内替代了真实系统,成为仿真建模所依据的可操作的原型。FT 是一个框架结构,而 RM 是在此框架结构

上具体化了一个具有完备内容的对象系统描述。RM 是基于 FT 开发的, 也可在 Excel 中实现。举例来说, 一个中等规模的机场行李处理系统, 其 RM 的 Excel 文档为数个 sheet 页, 每页有百量级的行和十量级的列构成的层次化单元格项, 限于篇幅, 这里没有给出实例。

确定逼真度需求(FR)的具体方法是基于参考模型通过走查(walkthrough)来逐一确定 RM 的每个部分应选取在哪个层次水平上实现。所依据的是领域专家的经验 and 统计学专家与仿真工程师的经验。只要在 RM 的 Excel 文档中进行标记, 即可得到 FR。即逼真度设计方案就是一个逼真度说明(Fidelity Requirement Specification, FRS)文件, 它以标记的形式展示在 RM 文件上。对于一类对象系统, 通常也可以得到公共认可的 FRS 文件, 作为行业内的仿真应用标准或参考。也就是说, 一次具体的仿真应用, 可以依据它是否达到了公认逼真度需求来判断其仿真质量。

通常, FR 是由仿真目的和用户需求决定的。但最终实现的仿真逼真度不完全取决于用户需求对应的 FR。有时, 用户提出的需求可能无法在有限的资源约束内实现, 如经费不足、时间不足等。这时, 仿真方需要通过效用-成本均衡分析来为一次具体的仿真实施确定适当的逼真度和预期的仿真效用, 并与用户协商, 调整部分仿真目标和用户对仿真质量的要求, 从而改变原定的 FR。

仿真逼真度的确认是在逼真度设计步骤之后仿真设计开始之前, 以及直至最后仿真确认与验证的全过程中, 结合确认与验证过程进行的。在这个过程中, 可以根据实践结果, 修订原来的 FT 和 FR 文件。最后, 如果用户有要求, 可进行事后的逼真度评价, 而仿真方还需对 FT, RM、效用-成本均衡模型等进行维护与管理。有关效用-成本均衡模型参见前期研究《Utility-Cost Model for Discrete Event Logistics Systems Simulation》。

仿真开发、调试、运行、分析过程中的管理, 主要包括逼真度设计与实施确认和经典的仿真确

认与验证过程。由于逼真度与仿真有效性和模型正确性之间存在着必然的内在联系, 逼真度与有效性和正确性、准确性、精度等一系列概念之间关系也一直是众多研究者探讨和争论的焦点之一。限于篇幅, 不详细论述。但需指出, 逼真度设计方案, 即事前得到的 FR 是否得到了贯彻执行, 需要进行复查和确认, 这个过程与经典的仿真确认与验证过程有较多的重叠和结合。

图 6 中还有一个重要的方法是逼真度量表法。FS 是一张层次化结构的比值量表, 它按照 FT 的结构反映了所设计或已实施的模型的逼真度。得到一个仿真模型的 FS 有几个步骤: 1) 获取或创建该类对象系统的 FT, 据此创建量表; 2) 获取或创建该对象系统的 RM, 并按照量表统计方法进行数据分析; 3) 如果是事前设计, 则采用 FR, 如果是事后评价, 则依据已建成模型在 RM 上逐项分析标记, 然后, 按照量表统计方法进行数据分析; 4) 将第 3 步与第 2 步的数据以比值的形式填入量表, 分母是从 RM 中得到的统计值, 分子是从 FR 中或对已有模型分析得到的值, 由于实际的建模需要的逼真度总是小于等于真实系统自身, 故所有比值都 ≤ 1 。此外, 如需要, 可为量表的各项赋权值, 进行层次分析综合评价。具体操作方法和实例参见前期研究发表的论文^[11]。

5 应用实例与讨论

该框架与方法已在多个物流行业中进行了应用和实践, 下面以应急成品粮储备库的物流系统规划设计仿真应用为例做简要说明。第 1 次仿真实施是在没有明确的仿真逼真度设计和逼真度管理措施情况下实施的, 第 2 次是遵照仿真实施规范框架并采用相关可操作方法进行实施的。参与 2 次仿真实施研究的人员既有不同, 也有重叠, 有熟练人员, 也有仿真的新手。

第 1 次实施按照传统的方式, 以交流会的形式交流仿真目的与目标, 并讨论仿真建模与实验分析任务, 对实验分析方案也只细化到应急出库、轮换

入库与轮换出库 3 个基本场景和叉车厥间内外、电梯、提升机作业策略等一系列关键作业流程环节的可选方案进行了交流和确认，然后依据现有的 CAD 设计图纸和交流的信息来实施仿真建模与仿真分析。而第 2 次仿真实实施则在仿真准备阶段就给出了如表 1 和表 2 所示的实验逼真度和模型逼真度设计文档，文档清楚地规定了应达到的逼真度水平。由于实例的逼真度设计文档篇幅巨大，表 1 只给出了针对垂直通道出库效率这一仿真目标的实验逼真度设计，表 2 仅以实验厥间穿梭式货架为例，给出其模型逼真度设计。

表 1 垂直通道出库效率实验逼真度设计

| 仿真目标 1 | 垂直通道的出库效率 | | |
|--------|--------------------------------|------------------|---------------|
| | 参数化水平_1 | 参数化水平_2 | 参数化水平_3 |
| 叉车数量 | —— | —— | —— |
| 叉车调度 | 厥间之间的调度 | 滑道、电梯、提升机间调度 | 专用混调 专用混调 |
| 提升机数量 | —— | —— | —— |
| 提升机调度 | 只出实验厥间粮食 | 实验厥间粮食出空后出其他厥间 | 提升机优先 电梯优先 |
| 滑道数量 | —— | —— | —— |
| 滑道调度 | —— | —— | —— |
| 人工拆托盘 | —— | —— | —— |
| 时间 | —— | —— | —— |
| 电梯数量 | —— | —— | —— |
| 电梯调度 | 只去指定的楼层取货 | 哪层有货去哪层取货 | —— |
| 输出参数化 | 参数化水平_1 | 参数化水平_2 | |
| 绩效指标 | 提升机 | 平均小时输送量 极限输送量 | |
| | 滑道 | 平均小时输送量 极限输送量 | |
| | 电梯 | 平均小时输送量 极限输送量 | |
| 场景设计 | 全人力整仓出库 设备+人力整仓出库 日常轮换作业 | | |
| 采样设计 | 从整仓运行到全部出空 运行 8 h, 重复 50 次 | | |

表 2 穿梭式货架实验逼真度设计

| 实体_水平 1 | 实体_水平 2 | 结构参数 | 感官参数 | 时间参数 |
|---------|---------|------------------|-------------|---------|
| 托盘粮 | 托盘 | 外形、尺寸、数量 | 3D 效果、材质、光泽 | |
| | 粮食 | 外形、尺寸、布局、数量 | 3D 效果、材质、光泽 | |
| 货架 | 货格 | 外形、尺寸、布局、数量 | 3D 效果、材质、光泽 | |
| 穿梭车 | 运动装置 | 外形、尺寸、数量、装置间相对位置 | 3D 效果、材质、光泽 | 速度及加速度 |
| | 顶升装置 | | 3D 效果、材质、光泽 | 顶升及下降时间 |

第 1 次仿真实实施没有明确的逼真度设计文档作为比照，由参与仿真的人员按照自己的理解、能力和偏好来进行建模，在建模过程中也会通过讨论会的方式与规划设计人员交流，在必要的时候，进行返工或修改，来控制仿真建模的质量。第 2 次仿真实实施则按照逼真度设计文件并遵照逼真度管理过程模型的每个步骤依次实施。对该仿真项目，得到一个通用 FT，在此模板基础上，针对每个配套方案，衍生出数个具体 RM，得到数个 FR 设计方案，用一个包含数个 sheet 页的 Excel 文档来记录。

两次实施的结果形成了鲜明的对比。第 1 次实施的结果，在各楼层小时出库量极限值、螺旋滑道小时运送量极限值等方面都未达到决策支持的需要，漏掉了应急出库时多层联合出库情况的实验分析，只分析了逐层出库情况。主要是因为建模人员在缺乏明确实验逼真度和模型逼真度要求的情况下，也包含对穿梭式货架的物流作业模式的建模与仿真的认识不足，选择不同的仿真模型设计和不同逼真度的实验方案。无论是仿真熟练人员，还是新手都存在这种情况。第 2 次实施的结果，无论是熟练人员，还是新手，都按照逼真度设计文件完成了建模与仿真任务，不同人员的模型差别较小，都处于既定的逼真度水平上，新手只是相对熟练人员用了更多时间。

该框架和方法不仅在应急成品粮领域进行了

应用研究,还在机场行李处理系统、机械零部件配送中心等其它行业领域中进行了应用研究。应用研究的结果说明了如下几个问题:

(1) 该框架和方法能很好地帮助建模者实现事先对逼真度的把握,从而很好地控制仿真实施的效用与成本。上述实例中,两次仿真实施的结果差别很好地说明了本框架与方法的有效性。

(2) FT 和 RM 的设计在最开始遭遇到较大困难。由于分解和列举一个物流对象系统到离散事件水平需要大量的工作,而且在没有领域专家协助的情况下,仿真专业人员在构造 FT 和 RM 时也会遇到分析困难。仿真建模者可能会认为这是一个负担,或认为没有必要。但经验表明,如果存在现成的 FT 和 RM,仿真建模者在进行仿真模型设计时就不会再随意更改或确定逼真度。

(3) 一旦一类对象系统的 FT 和 RM 开发完成,此后同类的仿真实践就可直接获得使用,使仿真设计的细节十分清楚。同时,共享使用这些 FT 和 RM 的仿真人员会逐步完善它们。可以预见,如该方法能加以推广使其在企业或行业范围内形成公认版本,将大大推动整个业界的实践水平的提高。

6 结论

从逼真度视角来规范仿真实施过程从而解决仿真质量问题是正确的,事前逼真度设计和事中的逼真度管理对于控制仿真实施质量至关重要,事后逼真度评价可以作为第三方对仿真实施质量的评估方法。所提出的逼真度设计与管理过程模型能够在仿真实施前实现对预期仿真效用与成本的有效把握,并能通过过程管理消除实践中逼真度实施所存在的随意性缺陷,保证仿真实施的仿真效用与花费的成本达到的预期合理均衡。本文的逼真度维度划分和逼真度量表方法,以及逼真度模板、参考模型、逼真度需求确定等系列方法与模板工具适用于物流类系统仿真的应用,Excel 格式简单易行。在使用时,首次创建模板、参考模型、量表的工作量较大;不过一旦创建,同类仿真应用即可方便使用,

有利于形成行业认可的模板、量表及参考模型(或子模型、模块),从而形成行业技术规范,提高物流仿真业界实践水平。

参考文献:

- [1] Pace D K. Description and estimation/ measurement of simulation fidelity [C]// Proceedings of the Caltech V&V of Computational Mechanics Codes Symposium. Pasadena, CA, USA: Army Research Office, 1998.
- [2] R J Brooks, A M Tobias. Choosing the Best Model: Level of Detail, Complexity, and Model Performance [J]. Mathematical and Computer Modelling (Oxford) (S0895-7177), 1996, 24(4):1-14.
- [3] Kim H, McGinnis L F, Chen Z. On fidelity and model selection for discrete event simulation [J]. Simulation: Transactions of the Society of Modeling and Simulation International (S0037-5497), 2012, 88(1): 97-109.
- [4] Kim H. Reference Model Based High Fidelity Simulation Modeling for Manufacturing System [D]. Georgia, USA: Georgia Institute of Technology, 2004.
- [5] 黄安祥, 潘志, 陈宗基, 等. 现代军机仿真逼真度的研究 [J]. 系统仿真学报, 2005, 17(12): 2858-2862. (Huang Anxiang, Pan Zhi, Chen Zhongji. Study on Modern Avion Simulation Fidelity [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2005, 17(12): 2858-2862.)
- [6] 王国良, 崔建岭, 申绪洵, 等. 面向逼真度评估的指标标准化方法研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2014, 9(2): 155-160.
- [7] 刘付显, 阳林, 赵麟锋, 等. 复杂系统仿真中模型粒度的确定方法研究 [C]// 第三十二届中国控制会议. 第三十二届中国控制会议论文集(F 卷). 中国西安: 中国自动化学会控制理论专业委员会, 2013: 8703-8707.
- [8] Roza Z C. Simulation Fidelity Theory and Practice [D]. Delft, Holland: Delft University, 2005.
- [9] Pace D K. Dimensions and Attributes of Simulation Fidelity [C]// Proceedings of 1998 Fall Simulation Interoperability Workshop. Orlando, FL, USA: FSIW, 1998.
- [10] Fu Y, Liu Y K, Su Z Y, et al. Fidelity management and evaluation in logistics system [C]// Automation and Logistics, 2009, ICAL'09, IEEE International Conference on, Shenyang, China. USA: IEEE, 2009: 1662-1666.
- [11] Liu Y K, Chen J. Fidelity Evaluation for DELS Simulation Models [C]// Proceedings of 13th International Conference on Systems Simulation AsiaSim 2013, Singapore. Germany: Springer, 2013: 391-396.