

# 仿真科学与技术的学科发展现状与学科理论体系

王精业, 杨学会, 徐豪华

装甲兵工程学院, 北京 100072

**[摘要]** 世界从工业化向信息化发展的过程中, 仿真科学与技术作为一门新兴的学科具备了成为一级学科的条件; 该学科已有稳定的研究对象, 初步形成了相对独立的理论体系, 所培养的人才明确的应用领域及迫切的社会需求。本文对仿真科学与技术的学科理论体系进行了总结归纳, 将其分为基础理论、专业理论和应用理论 3 个层次, 涵盖相似理论、仿真方法论、建模理论、仿真系统理论、仿真可信性理论及仿真综合应用的理论 6 大部分, 并对这 6 部分理论的内容及其在仿真理论体系中的地位 and 作用进行了阐述, 为促进该学科的成长和学科理论体系的完善抛砖引玉。

**[关键词]** 仿真科学与技术; 学科; 发展现状; 理论体系

**[中图分类号]** TP391.9

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1000-7857(2007)12-0005-07

## Advances of the Simulation Science and Technology

WANG Jingye, YANG Xuehui, XU Haohua

Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China

**Abstract:** During the course of information technology being integrated into industrialization in the world, the simulation science and technology, as an emerging field of research, has established itself as an independent research discipline, that is, with stable research objects, a relatively independent theoretical system and a contingent of scientists and engineers for specific applications and the divers demands of the society. The theoretical system of simulation science and technology is summarized in this paper, which can be divided into fundamental theory, specialized theory and application theory, including similarity theory, simulation methodology, modeling theory, simulation system theory, simulation credibility theory and simulation application theory. Their present status and functions are discussed.

**Key Words:** simulation science and technology; discipline; development; theory system

**CLC Number:** TP391.9

**Document:** A

**Article ID:** 1000-7857(2007)12-0005-07

### 0 引言

仿真科学与技术经历了 20 世纪后 50 年的高速发展, 已成功应用于航空航天、信息、生物、材料、能源、先进制造等高新技术领域以及工业、农业、商业、教育、军事、交通、经济、社会、医学、生命、娱乐、生活服务等众多领域。建模与仿真技术和高性能计算技术相结合, 正在成为继理论研究和实验研究之后的第 3 种认识和改造客观世界的重要方法<sup>[1]</sup>。

### 1 仿真科学与技术在学科建设中的现状

目前, 世界各国的教育内容设置在学科建设中分为 2 大类: 一类是国家有严格的学科设置规定, 施教部

门要遵照执行; 一类是国家不进行统一的学科设置, 由施教单位制定学科内容。我国采用的是第 1 种学科建设方式, 设置了科学、规范的学科目录, 为人才培养工作提供了必须遵照执行的指导文件。在我国学科设置中, 一级学科相对独立, 应具有稳定的研究对象和相对自成体系的理论基础, 其学科人才要有明确的应用领域, 并能够适应和满足应用领域的需要<sup>[2]</sup>。从我国仿真科学与技术的发展现状来看, 它作为一门新兴学科已逐步完善和成熟。

#### 1.1 学科人才有迫切的社会需求和明确的应用领域

从国内外情况看, 仿真科学与技术已经广泛地应用到社会各个领域, 在危险、耗费巨大财力和人力的重大

收稿日期: 2007-05-24

作者简介: 王精业, 北京市丰台区杜家坎 21 号院装甲兵工程学院, 教授, 主要从事系统仿真研究等; E-mail: wangjingye@yahoo.com.cn

工程中,以及在不可能进行实物实验或理论上没有彻底解决的前沿研究领域,仿真科学与技术常常走在研究的最前面:各种重大政治、经济、军事决策之前要进行仿真,实施预测和评估;危机、威胁的预测、预报;系统工程、机电工程、控制工程、信息工程等多个领域中日益增多的体系需要仿真全过程的支撑;工业生产进入“虚拟样机”的时代;军事装备的全寿命周期中采用“基于仿真的采办”的方法。在研究和应用中,已经形成了一支专门从事仿真科学与技术的、规模可观的仿真人才队伍,他们采用共同的仿真实论和技术来解决各自专业领域内的仿真问题,其中高层次人才供不应求。目前,为满足社会对仿真人才日益增长的需求,在我国大学、学院、研究所中成立了以仿真学科为主要研究内容的各种教育实体,在不同的学科专业中大力培养仿真应用所需的硕士、博士。其中军队院校步伐更快,已开设了“军用仿真工程专业”,有近10年培养仿真工程本科生的经历。

## 1.2 仿真科学与技术已有稳定的研究对象

经过近几十年的发展,仿真科学与技术逐渐突破了孕育本学科的原学科范畴,拥有了稳定的研究对象,分清了与相关学科的界面。成为以相似理论、建模理论、仿真系统理论、仿真方法论、仿真的可信性理论和仿真综合应用理论为基本理论,以计算机、相关物理效应设备及仿真器为工具,利用模型运行对已有或假想系统进行研究、分析、设计、生产、试验、评估、运行和维护活动的一门学科,是一门具有综合性、实验性的新学科。其研究对象可以分以下2大类。

### 1.2.1 仿真学科自身的研究对象

这部分是仿真科学与技术所独有的,是各行业仿真中的共性问题,涉及到仿真科学与技术的理论、方法、技术及应用。这些研究对象是仿真科学与技术的主要研究对象,它们有相似理论、建模理论、仿真系统理论、仿真方法论、仿真的可信性理论和仿真的综合应用理论等。这些研究对象构成仿真科学与技术的理论和技术体系,是仿真科学与技术多年来发展的成果,是在与多学科交叉研究中综合发展的结晶。

### 1.2.2 仿真学科与其他科学的仿真应用形成了一批交叉学科的研究对象

现代学科尤其是信息化社会萌生的新科学技术中,有一类具有广泛的、深层次的学科知识交叉现象,这种交叉不仅存在于理论部分,还广泛存在于方法、技术及各种应用科学之中。在仿真科学与技术的自身研究对象日趋稳定的同时,由于仿真应用的深入,由仿真学科和应用仿真的各学科共同形成的研究对象日益增多,如复杂性仿真、智能仿真、人工生命、虚拟现实、网络仿真、高性能计算与仿真等。同时在仿真的应用领域中还有相应的仿真研究对象,如作战仿真、经济仿真、

虚拟制造、石油化工流程仿真、培训仿真、能源仿真、医学仿真等。

## 1.3 仿真科学与技术已初步形成相对独立的理论体系

仿真科学曾在系统科学、控制科学、计算机科学等学科中孕育发展,并在各学科、各行各业的实际应用中成长,在仿真科学与技术发展的各个阶段都形成了自己相对独立的理论和技术体系。在仿真需求的推动下,这些理论逐渐向前发展,使仿真科学与技术逐渐发展成一门成熟的科学。不仅国内有大批的专家、学者致力于仿真学科的理论体系研究,而且在仿真技术相对发达的美国也有一批从事仿真领域的同行在研究仿真学科的理论体系<sup>[3]</sup>。

综上所述,仿真科学与技术已形成了稳定的研究对象,初步建立了相对独立的学科理论体系,学科培养的人才有着迫切的社会需求,在各行各业发挥着日益重要的作用。

## 2 仿真科学与技术学科的理论体系

仿真科学与技术作为一门独立的一级学科,必须有自己的相对独立的理论体系,其主要结构是仿真科学与技术公共的理论,与密切相关的其他学科是可以相互分离而且是必须分离的。在国内多次学术会议中,经过专家、学者研讨,初步提出了仿真科学与技术的理论体系,它包括相似理论、仿真方法论、建模理论、仿真系统理论、仿真可信性理论及仿真综合应用的理论6大部分,这6部分理论又可进一步分为专业基础理论、专业理论和应用理论,理论体系结构见图1。

### 2.1 基础理论

仿真科学与技术的基础理论主要包括相似理论和仿真的方法论。

#### 2.1.1 相似理论

相似理论是对各类事物之间相似规律和表现的描述,所以相似理论是研究事物之间相似规律及应用的科学。它指出事物之间存在差异,也存在共性,共性表现之一为相似性。事物能分类,科学也能分成不同的学科,都因为它们具有共性,不同学科的共性也是一种相似性。相似性不仅存在于不同的事物之间,也存在于事物的整体和部分之间,即自相似性。仿真科学与技术的相似理论是限于以仿真为目的而寻找不同事物、系统、信息之间的相似性的理论,不是泛指的相似性,它是使仿真成为现实的基本理论。它由以下几部分组成。

##### 1) 实物模型的相似理论

实物模型的相似理论是以物理相似、几何模型相似为基础的事物相似理论,主要包括以下几方面。

① 几何相似理论及实验:研究对象的几何特征的影响,如城市建筑规划模型、地图、分子模型、星系模型、人体模型等模型的相似原理。

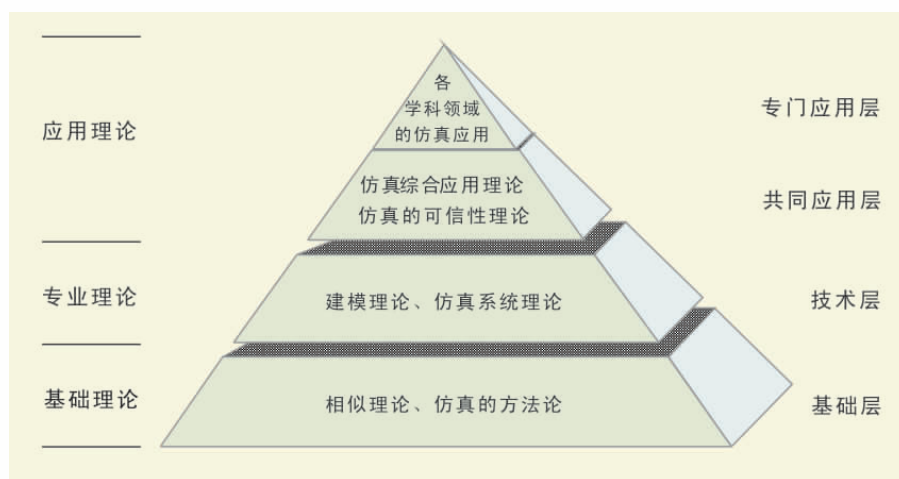


图 1 仿真科学与技术的理论体系结构

Fig. 1 Theory system framework of simulation science and technology

② 运动学相似理论及实验：研究不同对象运动学相似性的理论及实验。

③ 动力学相似理论及实验：19 世纪空气动力学、流体力学、地面力学的实验推动了相关领域科学的发展，其中采用几何模型，一般是缩小的模型，进行动力学实验，深入细致地研究模型的力学特征，并通过模型和实物的相似关系研究真实对象的动力学特征。

在以上研究及应用的基础上，诞生了伯金汉 (E. Buckingham) 的相似三定律，即相似现象的相似准则相等，相似准则相等的现象是相似现象； $m$  个物理量中  $n$  个为基本量，只能有  $m-n$  个独立相似准则；也产生了方程式两边物理量纲必须相等的量纲原理等相似理论。如舰船模型在水槽中的力学实验、机翼在风洞中的升力实验以及轮胎、履带在土壤中的阻力试验等都依靠上述相似理论才能进行深入的研究<sup>[4]</sup>。

## 2) 数学模型的相似理论

数学模型的相似理论是以不同类事物的数学表达式作为相似基础的理论，它通过对真实对象数学模型的研究，揭示具有同一数学模型的不同真实事物之间的规律，仿真则是主要研究不同实体的数学模型之间的相似规律。主要有以下几方面。

① 连续系统动力学的数学特征相似：状态方程、传递函数等是对控制系统各因素之间关系的数学描述，如果不同系统的状态方程、传递函数等数学模型一致，则系统之间具有相似性，从而建立了以数学表达式为主要相似条件的控制系统的相似。

② 场的相似：场是一种特殊的物质存在形式，如电磁场、能量场、温度场、流体力学场、引力场等，对场中的规律进行分析，建立场的偏微分方程数学模型，从而建立以场的数学表达式为基础的场的相似。

③ 不确定性的相似：以事物的不确定特征为研究

对象的相似，其中概率型不确定、模糊型不确定、粗糙型不确定已有很好的数学模型，可以实现数学模型的相似，例如在随机事件的仿真上，引入大量的统计分析及其规律的数学工具，形成随机事件基于概率统计数学模型的相似。

④ 图的相似：图是数学中对事物的一种抽象，建立各类事物的图模型，可以建立图的相似，如在交通流、物流、网络信息流等事物中可建立相应的数学模型，形成相似关系。

除上述之外，凡应用数学工具手段建立的事物模型，只要数学模型一致，通过量纲分析、归一化等方法，都可建立以数学模型为基准的相似关系，从而可以支持仿真的各种实际应用。

## 3) 系统的相似理论

系统的相似理论以系统的结构、功能、性能、存在与演化为相似基础，主要包括以下几方面。

① 系统的结构相似：大多数仿真系统和原型系统是两类完全不同的系统，但其结构存在相似性，即真实系统和仿真系统的各子系统有着一定的对应关系，形成相似系统，如制导武器仿真系统有环境仿真、目标仿真、导引系统仿真、控制系统仿真等，这种武器的仿真系统和真实的武器系统在结构性上有着对应的相似关系。

② 系统功能、性能的相似：建立的仿真系统可以再现研究系统的某些功能，能实现被仿系统主要性能的仿真，并能够表现原系统的主要功能。如热电厂仿真系统，实现从燃料燃烧到发电、输送电的功能；又如飞行模拟器，实现某一型号飞机的动力学仿真，表现出真实的某一型号飞机的起降等性能的仿真。

③ 系统的人机界面的相似：大多数人在环的仿真系统都强调人的操作环境和实际系统一致，因为操作

空间环境以及操作件的体感、视觉、听觉等的仿真都要与真实系统一致。

④ 系统的存在和演化的相似: 仿真系统与原系统有着静态和动态过程的相似性。即真实系统和仿真系统的初始状态应是相似、一致的, 真实系统和仿真系统均有各自的演化过程, 而过程中的主要特点、主要参数也应具有相似关系, 从而使仿真系统有实际的研究及应用价值。如作战仿真, 它的初始条件描述了作战仿真起始时刻的状态, 一次仿真过程即是作战过程中的一个演化过程, 这一演化过程可以揭示作战中的某些规律。

#### 4) 复杂性的相似理论

复杂性相似理论, 指描述非线性、自治性、突变性、涌现性等复杂性质上的相似理论。它是对于同类的复杂系统或非同类的复杂系统, 在其复杂性表现、系统内在要素的相互作用、整体与部分、演化的不同阶段等方面存在的相似现象的描述。其中存在于系统的部分与整体之间的自相似是一种特殊的相似。

#### 2.1.2 仿真的方法论

从应用领域的不同需求出发, 本文该部分理论主要论述仿真基本思想和方法论, 并进一步展开为仿真中的各种基本方法, 有定量仿真、定性仿真的理论和方法, 人在环、实物在环仿真的理论和方法, 集中式仿真和分布交互式仿真方法, 复杂系统仿真方法以及智能仿真方法等。

##### 1) 仿真方法论的基本概述

仿真方法论是揭示仿真方法的理论, 是各种仿真方法的进一步抽象, 带有明显的哲学思想, 它是运用各种仿真方法的指导性理论。

仿真方法论是以还原论、整体论及其辩证统一的系统论等几种方法论为主要理论。还原论是基于对问题的分解, 待下层问题有解后, 再还原于系统求解; 整体论是从系统整体特性求解; 而系统论是还原论和整体论的辩证统一, 它是仿真科学与技术的基本方法论。

##### 2) 定量仿真与定性仿真的方法和理论

定量仿真需要建立定量的数学模型, 并构造仿真系统进行仿真, 而定性仿真只构造定性的模型系统, 不用精确求解的计算技术, 是对人的思维和推理进行仿真的方法。

##### 3) 人在环、实物在环仿真方法和理论

回避构建人的模型, 在仿真环节中涉及到人的环节由真实的人担任, 并将真实系统的部分的软件也安装在仿真系统之中, 这种仿真方法称为人在环或人在回路、实物在环或实物在回路的仿真方法。

##### 4) 集中式仿真和分布交互式仿真方法和理论

集中式仿真方法是仿真中常用的方法, 是运用高性能计算机、计算机集群、工作站集中在一个地方运行仿真系统的方法。分布交互式仿真是在网络出现之后,

经过网络将多个仿真系统联接成一个大系统或将一个仿真任务用多个异地仿真系统完成, 其方法和理论包括仿真部件和仿真系统高层次上的互操作性与可重用性、系统体系结构理论、仿真协议及集成技术等。

##### 5) 纯数学仿真方法和理论

以纯数学计算的方法进行计算机实验的方法, 包括数学仿真模型建模理论与方法、仿真结果的处理方法与技术、仿真参数控制方法与技术等。随着高性能计算技术和仿真的结合, 纯数学仿真需要研究在高性能计算中的算法、部组件技术等问题。

##### 6) 复杂系统仿真方法和理论

复杂系统是指系统元素量极大、品种极多、关系复杂的不能用还原论或不宜用还原论进行分析的系统。复杂系统的研究面临着很多困难, 它的仿真研究更是非常困难的问题, 但仿真是复杂系统演化研究的少数方法中颇为重要的一种, 它的理论和技术将指导构造复杂系统的仿真系统, 研究混沌状态下系统运行的规律。如人工生命仿真方法可用来生成表现自然生命系统行为特点的仿真系统。

##### 7) 智能仿真方法

人工智能本质上是对人类认知的仿真, 将人工智能技术引入仿真系统构成智能仿真系统, 形成智能仿真的方法和理论。智能仿真系统具有感知思维、形象思维、抽象思维的功能, 能够运用知识进行概括、思维、推理来解决各种仿真中的问题。

智能仿真的理论与方法包括知识模型及其表示标准化理论、面向 Agent 的仿真方法、面向本体的仿真方法、面向分布式推理的网络仿真方法、模型演化理论、模型的容错方法、智能建模、智能算法和智能接口的设计方法等。

#### 2.2 专业理论

专业理论是仿真科学与技术共有的, 具有学科特色的专门理论。

##### 2.2.1 仿真建模理论

仿真建模理论是指建立仿真模型的理论及技术, 很多学科都有建模的理论, 这里的建模只指基于仿真的建模。仿真建模理论是以仿真的基础理论为指导, 以各应用领域内的科学理论为基础, 建立符合仿真应用要求、通用或各领域专用的各种模型的理论和方法。建模理论包括模型分类及其体系结构, 模型的互操作, 模型的聚合、分解, 模型的校验, 模型的重用及管理, 模型库等理论; 建模的支撑工具环境及关键技术支持包括复杂仿真工程在内的仿真全生命周期各类活动、面向问题的建模、面向仿真实验和面向仿真评估的各类算法、程序、语言、软件及工具集。

##### 1) 建模方法的分类

① 理论建模: 理论建模是指根据仿真需求, 在仿真

的基础理论指导下,依据各应用领域的专业理论和基础理论,通过逻辑推导和演绎推理,从理论上建立符合仿真应用要求的仿真模型,形式可以是理论描述语言、表达式等。

② 实验建模:实验建模是指根据实际的各种实验结果,建立与实验结果相符合的模型,这是一个回归过程,也是一个从特殊到一般的过程。实验建模要从理论上解决模型的科学性与实验条件的关系,给出模型的适用范围加条件。

③ 混合建模:混合建模是指综合多学科的知识,对仿真对象的建模采用多种建模方法实现仿真建模,如理论建模和实验建模并用,充分利用现有信息资源,使模型能科学地表达仿真对象中我们要进行仿真的相关部分的性质。

#### 2) 模型的分类及结构

这部分理论可用来区分模型的分类原则,通过区分模型,揭示众多模型的本质上的异同。常见分类有连续系统模型、离散系统模型和混合异构模型;还有定量模型、定性模型、确定性模型和不确定性模型等。

#### 3) 模型的层次

用于仿真的模型,从理论层次上可以为概念模型、数学模型和计算机模型,近期为了仿真的应用,又提出了评估模型。

① 概念模型:以自然语言或形式化语言表述的被仿真对象的知识模型。例如基于物理理论的力学模型等数学物理模型、基于军事理论的军事概念模型等。

② 数学模型:以数学语言表达的被仿真对象的知识模型。例如各种数学公式表达的模型、各种算法模型等。

③ 计算机模型:以计算机程序语言表达的被仿真对象的知识模型,是计算机可执行的模型。如各种仿真应用中的计算机仿真软件中的模型函数、类等。

④ 评估模型:用于评估仿真过程及结果的模型,是对仿真产生的大量数据进行知识提取的模型。例如训练仿真系统的考评模型,它包括考评的原则、方法以及从仿真结果中检查、筛选、提取有关知识并给出训练的评价。

#### 4) 模型的互操作

模型的互操作是指同一仿真系统内的模型通过交换数据进而协调工作的过程。模型的互操作理论和方法包括接口定义方法、模型的互操作协议、互操作管理与服务方法、模型驱动的体系结构、互操作性元模型构架方法等。

#### 5) 模型的校核、验证和确认

模型校核、验证和确认是伴随仿真全生命周期的一个循环往复的过程,其目的是:通过校核证实模型从一种形式转换为另一种形式的过程是否具有足够的正

确性,通过验证考察模型是否准确地描述了真实对象,通过确认说明模型是否满足特定研究目的,如精确度要求等。模型校核的理论和方法主要包括静态检测方法、动态调试方法、标准实例测试方法、软件的可靠性理论等;模型验证的理论和方法主要包括可信性验证、一致性验证法、定性分析方法以及定量分析方法等;模型确认的理论和方法主要包括模型评估的方法和模型定级、分类、认定的方法。

#### 6) 模型聚合和解聚的理论

模型聚合就是将一个高分辨率模型转变为低分辨率模型,或将复杂子模型转变为简单子模型,模型分解与模型聚合正好相反。模型分解与聚合的理论和方法主要包括同质模型的聚合分解理论、异质模型的聚合分解理论、混合模型的聚合分解理论、开放性模型的聚合分解理论、动态模型的聚合分解理论、面向对象模型的聚合分解理论、面向构件模型的聚合分解理论、模型聚合与分解的一致性理论等。

此外,多粒度、多分辨率模型的理论是聚合解聚的基础。多粒度、多分辨率模型是指模型具有可选择的信息量和复杂程度,在仿真的过程中可以选择不同粒度和不同分辨率的模型进行仿真,便可以获取不同的信息和仿真结果。多粒度、多分辨率模型的理论主要包括可视化特征量的提取技术、多维数据场的动态建模与数据表示技术、虚拟自然环境的用户界面和人机交互技术、模型接口技术、多粒度和多分辨率模型管理技术等。

#### 7) 模型重用的理论

模型重用的理论方法是指可以直接使用或稍加修改现有的模型即可使用的理论方法。模型重用可以在构建新的仿真系统时继承以往的成果而节省成本、提高效率。模型重用的理论主要包括面向对象的建模方法、面向构件的建模方法、基于本体的建模理论等。

#### 8) 建模的工具、环境及技术

主要研究建立模型的工具、环境以及各种支撑技术,如模型总体技术、规范化模型体系结构、一体化建模环境、模型标准、规范与协议等。

### 2.2.2 仿真系统理论

研究和论述构建符合应用需求的仿真系统的理论和技术,包含有仿真系统的基本体系和结构的理论,仿真系统的设计、构建及其关键技术,仿真系统的研制和运用技术,仿真系统的规范、标准等。

#### 1) 仿真系统的结构理论

主要研究各类仿真系统的基本体系结构和分类原理,对仿真系统的信息交换标准、接口处理机制和仿真管理技术等。

#### 2) 仿真系统的构建理论

仿真系统的构建理论是构建仿真系统的一般规律

的理论,包括仿真系统的设计原理、设计步骤、设计内容和设计要求,仿真系统及子系统的结构设计,如仿真系统硬件设计、仿真系统软件设计、仿真系统人机界面设计等。

### 3) 仿真系统的支撑技术及工具

构建仿真系统的支撑技术包括:系统设计的支撑技术,如各类软件设计方法和工具;系统集成技术、集成方法、集成框架和平台技术,如基于 HLA(High Level Architecture)的协同仿真平台技术、综合仿真环境技术、仿真网格平台;中间件及网格中间件技术,包括 CORBA(Common Object Request Broker Architecture)、COM(Component Object Model)、DCOM(Distributed Component Object Model)、RTI(Run Time Infrastructure)、XML(Extensible Markup Language)技术和下一代网格中间件技术等;建模、仿真实验、仿真评估工具引擎技术,包括支持仿真工程全生命周期各类活动、面向问题的建模、面向仿真实验和评估的各类算法、程序、语言、软件及工具集;仿真计算机技术,包括并行机和基于 Internet、Web、网格技术的网络计算系统等;仿真资源管理技术,如公共资源库技术、数据库、模型库以及知识库内容管理技术等。

### 4) 仿真系统全寿命管理技术

仿真系统从研制到验收、维护、更新、管理和运用所涉及的技术,包括仿真项目管理技术、仿真系统维护技术、系统更新升级技术等<sup>[5]</sup>。

### 5) 仿真系统的规范

涉及到理论概念、体系结构、方法、质量等以及各种规范、标准和中间协议。

## 2.3 应用理论

应用理论是指在各领域仿真应用中共有的理论,而不是在各领域相应专业的理论。

### 2.3.1 仿真的可信性理论

这部分理论是表述仿真过程及结果的可信性评价、质量控制概念和方法的基本理论。仿真的可信性是仿真价值的基础,是仿真的科学性表现,它包含了可信性的一般理论:研究仿真环境和真实环境的相似性、一致性;仿真质量的各种因素和关系;建立评估仿真过程和结果可信性的理论和方法,研究各种提高仿真可信性的各种理论、方法、技术和规范。主要研究内容如下。

#### 1) 仿真可信性一般理论

主要研究仿真过程及结果的可信性的定义、分类,研究仿真系统过程和真实系统过程的相似规律、仿真过程和仿真结果可信性分析方法和技术,包括确定性仿真系统的校正方法及精确度、不确定性系统仿真的可信性分析、复杂系统仿真的可信性分析等<sup>[6]</sup>。

#### 2) 仿真质量影响因素的分析理论

主要研究仿真全过程质量的检查和确认方法,仿

真设计的可信性理论和方法,仿真所用的模型及基础数据对仿真的影响理论,仿真实验数据的检验原理以及仿真结果提取的理论、方法,仿真结果的可信性理论,对仿真系统、仿真过程、仿真结果的质量评价原理及方法。

### 2.3.2 仿真科学与技术的综合应用理论

仿真科学与技术的应用理论是指仿真科学与技术的应用过程中所共有的理论与技术。这部分理论是研究仿真应用中共同的规律,即在不同领域的仿真应用中具有共性的部分形成仿真的综合应用理论和技术。主要内容如下。

#### 1) 仿真试验设计的原理、方法

研究仿真试验设计的原理和方法,包括多角度、多因素、多目标的试验设计,统计试验设计,复杂系统的试验设计,试验的优化设计。

#### 2) 仿真的可视化技术与方法

包括仿真初始条件的可视化,环境仿真的三维实时的可视化,仿真过程可视化,仿真结果的可视化,仿真中人机交互的可视化技术。

#### 3) 仿真及其结果综合分析和评估的理论

研究仿真结果的综合分析理论和评估理论及其技术,主要包括对仿真过程数据和结果数据进行综合分析的理论和技巧,包含各种评估理论和方法在仿真结果处理中的应用。

#### 4) 仿真与任务需求的一致性关系分析理论与方法

仿真系统和需求的一致性仿真系统研制成功与否的主要标志,一致性关系分析方法主要包括结构化分析方法、软件系统方法、面向对象分析方法、面向问题域的分析等。

以上是对仿真学科理论体系中 3 个部分的描述,它们之间的关系可以用图 2 来描述。

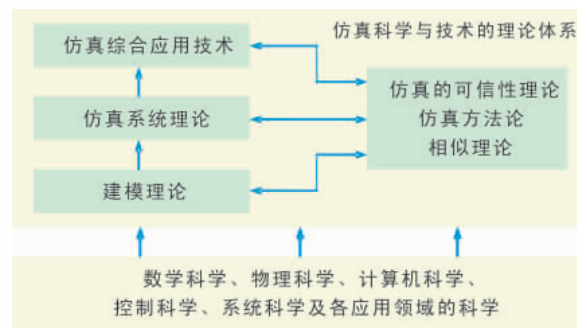


图 2 仿真科学与技术的理论体系与各学科的关系图

Fig. 2 Relation-map between the theoretical system of simulation science and technology and other research fields

仿真科学需要由数学、物理等自然科学的公共基础理论来支持。仿真应用要靠仿真系统来支撑,而仿真系统的关键是建立仿真模型。在仿真从建模到应用的

过程中,都需要相似理论、仿真方法论、仿真可信性理论的支持,同时这部分理论又在仿真的全过程中发展、充实、完善。

仿真科学与技术是一门在多个学科领域发展的新兴学科,由于我们受到自身专业领域的限制,不能够很全面地提取出该学科的理论体系,不足之处,请相关领域的专家指正、补充乃至重构,以利于新学科的成长。

### 3 结论

一个学科的核心是自己的理论体系,而在信息化社会发展中产生的“仿真科学与技术”是当今许多重大成果获取的关键性支撑理论和技术,是一门综合性、基础性、实验性的学科,它来自很多相关学科,而又因仿真科学与技术的理论体系完善而相异于孕育它的学科,这也是事物的规律之一。我们相信:“仿真科学与技术”自身的繁荣,一定会促进在科学研究和应用中有仿真需求的各领域学科的更加繁荣。

### 参考文献 (References)

- [1] 李伯虎, 柴旭东, 朱文海, 等. 现代建模与仿真技术发展中的几个焦点[C]//全球化制造高级论坛暨 21 世纪仿真技术研讨会. 北京: 世界图书出版公司, 2004.  
LI Bohu, CHAI Xudong, ZHU Wenhui, *et al.* Some focusing points in development of modern modeling and simulation technology [C]//Proceedings of the Symposium on Global Manufacturing & Simulation Technology of the 21st Century. Beijing: Beijing World Publishing Corporation, 2004.
- [2] 赵沁平. 谈我国研究型大学的学科建设 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

出版社, 2006.

- ZHAO Qinqing. The proach of building researching university of our country[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [3] SARJOUGHIAN H S, ZEIGLER B P. Towards making modeling & simulation into a discipline [C]//WMC 2001: International Conference on Simulation and Multimedia in Engineering Education. Orlando[s. n. ], Florida, 2001.
- [4] 文传源. 系统仿真实论及探索[C]//全球化制造高级论坛暨 21 世纪仿真技术研讨会. 北京: 世界图书出版公司, 2004.  
WEN Chuanyuan. Exploration on similarity theory for system simulation [C]//Proceedings of the Symposium on Global Manufacturing & Simulation Technology of the 21st century. Beijing: Beijing World Publishing Corporation, 2004.
- [5] 熊光楞, 王克明. 二十一世纪仿真技术的发展及其对制造业的影响[C]//全球化制造高级论坛暨 21 世纪仿真技术研讨会, 北京: 世界图书出版公司, 2004.  
XIONG Guangleng, WANG Keming. The development of simulation technology in the 21st century and its impact on manufacturing [C]//Proceedings of the Symposium on Global Manufacturing & Simulation Technology of the 21st century, Beijing: Beijing World Publishing Corporation, 2004.
- [6] 王子才. 仿真科学的发展及形成 [C]//全球化制造高级论坛暨 21 世纪仿真技术研讨会. 北京: 世界图书出版公司, 2004.  
WANG Zicai. Development and Formation of Simulation Science [C]//Proceedings of the Symposium on Global Manufacturing & Simulation Technology of the 21st Century. Beijing: Beijing World Publishing Corporation, 2004.

(责任编辑 赵佳)

## · 图片新闻 ·

### 世界最大的古罗马数字模拟图

美国当地时间 6 月 11 日, 来自多国的学者专家在意大利首都罗马向公众展示了他们通过数字虚拟技术“复原”的 1600 多年前的古罗马盛景(见图 1, 图片转载自新浪网)。据称这是迄今对一座历史古城规模最大、最完整的数字重建。

意大利首都罗马是有着辉煌历史的欧洲文明古城, 位于亚平宁半岛西部的台伯河畔, 因其建在 7 座山丘之上并拥有悠久的历史而得到了“七丘城”和“永恒之城”的美称。但是, 岁月的流逝和近代的污染已经给罗马城和它的建筑遗址带来种种破坏, 为了重现古罗马城昔日的辉煌, 1997 年, 弗吉尼亚大学的伯纳德·弗里希和包括来自美国弗吉尼亚大学和加州大学洛杉矶分校的考古学家、建筑学家、电脑专家, 以及来自意大利、德国和英国的研究人员运用电脑技术开始了这项虚拟罗马的计划。专家们前后付出了长达 10 年的努力, 最终通过电脑三维成像技术将古罗马城复原, 整个项目总耗资大约 200 万美元。

2007 年 6 月 11 日, 伯纳德·弗里希终于向人们揭开了“罗马复活”的神秘面纱。在公开的数字模拟图上, 人们看到了公元 320 年古罗马皇帝康斯坦丁统治下处于鼎盛时期的罗马城的全貌。专家们的高科技模拟图不但全景展示了古罗马城, 还再现了城内 30 座建筑的内部景象, 包括参议院、圆形竞技场和长方形大会堂。专家们还根据考古学家的意见, 恢复了一些后来遭到破坏和污损的雕像和纪念碑原貌, 还“高度精确”地恢复

了那些几乎已完全毁坏的建筑, 比如维纳斯罗马神庙、斗兽场附近的梅塔·苏丹斯喷泉等。



电脑模拟的古罗马城全貌

值得一提的是, 在先进的电脑技术帮助下, 当今的游客甚至能比古罗马人更能感受到这个城市的魅力。游客们不仅能慢慢“走进”角斗场的内部, 了解当年位于地下的野兽牢笼是怎样通过升降梯运到角斗场上的, 还可以“飞起来”仔细观看古罗马凯旋门顶端的浅浮雕和碑铭, 身临其境地感受到古罗马帝国的辉煌。

(本刊记者 冯峰)