



2009-2010

*Report on Advances in
Simulation Science and Technology*

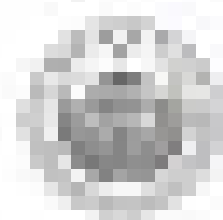
中国科学技术协会 主编
中国系统仿真学会 编著

仿真科学与技术
学科发展报告

中国科学技术出版社



学科发展报告



2009-2010

Report on the Progress of National Science Foundation of China

Volume 1: 1-100
Volume 2: 101-200

仿真实验与技术 学科发展报告

1



2009—2010

仿真科学与技术 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN SIMULATION SCIENCE AND TECHNOLOGY

中国科学技术协会 主编

中国系统仿真学会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2009—2010 仿真科学与技术学科发展报告/中国科学技术协会主编;
中国系统仿真学会编著. —北京:中国科学技术出版社,2010.4
(中国科协学科发展研究系列报告)
ISBN 978-7-5046-5009-2

I. ①2… II. ①中…②中… III. ①仿真—技术发展—研究报告—
中国—2009—2010 IV. ①N032-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 043191 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62173865 传真:010-62179148

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京凯鑫彩色印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:13.5 字数:324 千字

2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:41.00 元

ISBN 978-7-5046-5009-2/N·128

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

2009—2010
仿真科学与技术学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN SIMULATION SCIENCE AND TECHNOLOGY

首席科学家 李伯虎

专 家 组

组 长 陈宗基

副组长 肖田元 黄柯棣 王精业 刘藻珍 杨 明

成 员 (按姓氏拼音排序)

范文慧	费敏锐	龚光红	胡晓峰	黄先祥
金炜东	康凤举	李 革	李祥晨	刘 金
刘晓平	马 萍	彭晓源	沈旭昆	孙晋海
汤铭端	唐贻发	王行仁	王阳生	王正中
王子才	吴重光	熊新平	姚 郁	张 霖
周 泓				

学 术 秘 书 吴云洁 张 平 郭百巍 赵 罡 刘诗璇

序

当今世界科技正处在一次新的革命性变革的前夜。人类迫切需要创新发展模式和发展途径,创新生产方式和生活方式,开发新的资源。这样的需求和矛盾,强烈呼唤着新的科学技术革命。而全球金融危机所带来的世界经济、产业格局的大变化,很可能会加快新科技革命的到来。学科创立、成长和发展,是科学技术创新发展的基础,是科学知识体系化的象征,是创新型国家建设的重要方面。深入开展学科研究,总结学科发展规律,明晰学科发展方向,对促进学科的交叉融合并衍生新兴学科,继而提升原始创新能力、加速科技革命具有重要意义。

中国科协自 2006 年开始启动学科发展研究及发布活动,连续完成了每个年度的学科发展研究系列报告编辑出版及发布工作。2009 年,中国科协组织中国气象学会等 27 个全国学会分别对大气科学、古生物学、微生物学、生态学、岩石力学与岩石工程、系统科学与系统工程、青藏高原研究、晶体学、动力与电气工程、工程热物理、标准化科学技术、测绘科学与技术、烟草科学与技术、仿真科学与技术、颗粒学、惯性技术、风景园林、畜牧兽医科学、作物学、茶学、体育科学、公共卫生与预防医学、科学技术史、土地科学、智能科学与技术、密码学等 26 个学科的发展研究,最终完成学科发展研究系列报告和《学科发展报告综合卷(2009—2010)》。

学科发展研究系列报告(2009—2010)共 27 卷,约 800 万字,回顾总结了所涉及学科近年来所取得的科研成果和技术突破,反映了相关学科的产业发
展、学科建设和人才培养等,集中了相关学科领域专家学者的智慧,内容深入浅出,有较高的学术水准和前瞻性,有助于科技工作者、有关决策部门和社会公众了解、把握相关学科发展动态和趋势。

中华民族的伟大复兴需要科学技术的强力支撑。中国科协作为科技工作者的群众组织,是国家推动科学技术事业发展的重要力量,应广泛集成学术资源,促进学科前沿和新学科的融合,推动多学科协调发展,广泛凝聚科技工作者智慧,为建设创新型国家做出新贡献。我由衷地希望中国科协及其所属全国学会坚持不懈地开展学科发展研究、学术史研究以及相应的发布活动,充分发挥中国科协和全国学会在增强自主创新能力中的独特作用,推动学科又好又快发展。

A stylized, cursive handwritten signature in black ink, likely belonging to Chen Dong, positioned above the date.

2010 年 3 月

前 言

仿真科学与技术学科是以建模与仿真理论为基础,以计算机系统、物理效应设备及仿真器为工具,根据研究目标,建立并运行模型,对研究对象进行认识与改造的一门综合性、交叉性学科。

在工业化社会向信息化社会发展需求的牵引下,在有关学科(系统科学、控制科学、计算机科学、管理科学等学科)发展的支持下,仿真科学与技术学科已经发展形成了较完整的独立的专业技术体系。由于仿真科学与技术可以观察与研究已发生、尚未发生或设想的现象,可以观察与研究难以到达的微观、中观或宏观世界,并具有综合、协同、集成和互操作等特性,因此它为人类认识世界和改造世界提供了全新的方法和手段,并正迅速地发展为一项通用性、战略性技术学科。

在我国改革开放大好形势的推动下,通过广大中国仿真科学与技术工作者的积极努力,我国仿真科学与技术在仿真建模理论与方法、仿真系统与技术、仿真应用工程技术等方面取得了重大进展。仿真科学与技术已成功地应用于国民经济、国防建设、自然科学、社会科学等领域的系统论证、试验、分析、维护、运行、辅助决策及人员训练、教育等。

本报告由中国系统仿真学会组织本学会各专业委员会的一百余位国内仿真领域的专家、学者研究写成。报告由1份综合报告和17份专题报告组成,旨在从整个学科的高度上开展综合研究,提出本学科整体发展脉络和发展趋势,并充分体现我国仿真科学与技术学科近年最新研究进展、重大成果、发展动向及我国现有的学科学术建制、学科人才培养、学科研究平台等。

目前,我国仿真科学与技术正向“数字化、虚拟化、网络化、智能化、服务化、普适化”为特征的现代化方向发展。面向未来,我国仿真科技工作者将在建模/仿真理论和方法、网络化分布仿真、高效能计算机仿真、复杂系统仿真、智能系统仿真、建模/仿真支撑环境、仿真软件、建模/仿真规范与标准、仿真应用等方面作出新的成绩,为我国实施信息化与工业化融合的发展战略和建成创新型国家的宏伟目标作出新的重要贡献。

值此,对参与撰写、修改、审定本报告的各位专家、学者致以崇高的敬意和衷心的感谢。由于水平和时间有限,报告中疏漏和错误难免,诚望同仁们批评指正。

中国系统仿真学会

2010年1月

目 录

序	韩启德
前言	中国系统仿真学会

综合报告

仿真科学与技术学科发展现状与前景展望	(3)
一、引言	(3)
二、仿真科学与技术学科内涵分析	(4)
三、仿真科学与技术学科近年最新研究进展	(8)
四、学科的国内外研究进展比较	(28)
五、本学科发展趋势及展望	(35)
参考文献	(41)

专题报告

仿真科学与技术学科内涵分析	(45)
仿真科学与技术学科的人才培养	(54)
复杂系统/开放复杂巨系统建模与仿真技术	(62)
离散事件系统建模与仿真技术	(69)
智能系统的建模与仿真技术	(77)
多学科虚拟样机技术	(84)
复杂环境的建模与仿真技术	(91)
高性能仿真计算机与软件研究	(97)
网络化仿真平台研究	(104)
并行、分布式仿真算法与软件	(113)
面向仿真应用的虚拟现实技术	(121)
仿真器技术	(129)
仿真系统的校核、验证与确认研究	(136)
航空航天系统仿真技术	(143)
生命系统建模与仿真技术	(151)
数字娱乐仿真技术	(159)
体育仿真技术	(166)

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Advances in Simulation Science and Technology	(177)
---	-------

Reports on Special Topics

Subject Meaning Analysis of Simulation Science and Technology	(182)
Talents Training for Discipline of Simulation Science and Technology	(183)
Modeling & Simulation Technology of Complex System or Open Complex Giant System	(185)
Modeling and Simulation of Discrete-Event System	(186)
The Modeling & Simulation Technology of Intelligent System	(188)
Multidisciplinary Virtual Prototype Technology	(190)
Modeling and Simulation of Complex Environments	(191)
High-Performance Simulation Computer and Software	(192)
Networked Simulation Platform	(193)
Parallelization, Distributed Simulation Algorithms and Software	(195)
Visualization of Simulation and Virtual Reality	(196)
Simulator Technology	(197)
Verification, Validation and Accreditation of Simulation	(198)
Simulation Technology for Aeronautics and Astronautics System	(200)
Modeling and Simulation Technology for Life System	(202)
Technologies in Digital Entertainment Simulation	(202)
Sports System Simulation	(203)

综合报告

仿真科学与技术学科发展现状与前景展望

一、引言

仿真科学与技术(以下简称仿真学科)学科发展报告是由中国系统仿真学会组织本学科领域内相关专家共同撰写,旨在准确阐述仿真学科的发展脉络,充分展示我国仿真高新技术的最新成就,全面展望学科发展的新特点新动向。考虑到仿真学科是第一次发布学科发展蓝皮书,本报告对仿真学科的内涵作了必要的描述。

仿真学科是工业化社会向信息化社会前进中产生的信息类科学技术学科。经过近一个世纪的发展历程,学科知识体系日趋完善,并具有学科的相对独立性,学术共同体已经形成,在国家科学技术发展、产业发展和社会进步中的战略重要性日益突出。随着学科人才的社会需求量的迅速增长,在教育部学科专业目录中增设“仿真科学与技术”一级学科的必要性和迫切性已经显现。

仿真学科已形成独立的知识体系,由建模与仿真实论方法、仿真系统与支撑技术、仿真应用工程等学科分支组成了仿真学科的体系结构,其理论体系则由仿真建模理论、仿真系统理论和仿真应用理论等构成。自然科学的公共基础知识与相关学科、各应用领域及仿真的基础专业知识的综合构成了学科的知识基础,基于相似理论的仿真建模方法、基于系统论的仿真系统构建技术和全系统、全寿命、全方位的仿真应用思想的综合则形成了仿真的方法论。

仿真技术在我国国民经济、国防建设、自然科学、社会科学等领域正发挥着越来越大的作用,已成功地应用于航空航天、信息、生物、材料、能源、先进制造等高新技术领域和工业、农业、商业、教育、军事、交通、社会、经济、医学、生命、生活服务等众多领域的系统论证、试验、分析、维护、运行、辅助决策及人员训练、教育和娱乐等方面。

据国内统计,在北京、上海、陕西、四川等省市均有若干所大学和军事研究所形成了稳定从事仿真学科教育的教师队伍,并具备了良好的办学条件,已分别依托“控制科学与工程”、“兵器科学与技术”和“计算机科学与技术”等一级学科,不仅在构成本学科的学科领域内完成了三届以上博士研究生的培养,且培养质量良好,为高等院校、研究院所和军队等系统输送了数千名高层次仿真人才。随着信息化社会的到来,本学科应用范围正不断地扩大,社会已形成了对该学科的人才稳定和一定规模的需求。

仿真极大地扩展了人类认知世界的能力,人类可以不受时空的限制,观察和研究已发生或尚未发生的现象,以及在各种假想条件下这些现象发生和发展的过程。它可以帮助人们深入一般科学及人类生理活动难以到达的宏观或微观世界进行研究和探索,为人类认识世界和改造世界提供了全新的方法和手段。

随着科学研究和社会发展所面临问题的复杂性程度的加深,科学研究回归综合、协同、集成和共享已经成为一种趋势,仿真正因为具有这些属性而成为现代科学研究的组

带,它具有其他学科难以替代的求解高度复杂问题的能力。

我国人口众多、资源短缺,必须在科学发展观指导下,走“科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的新型工业化道路”,仿真是实施这种发展战略、实现我国可持续发展的必不可少的重要科学技术。

仿真已经成为一项通用性、战略性技术,并正向“数字化、虚拟化、网络化、智能化、协同化、服务化”为特征的现代化方向发展,其应用正向服务于系统的全寿命周期活动的方向发展。

可以预期,在 21 世纪我国广大仿真科技工作者将在建模/仿真理论和方法、网络化分布仿真、高效能计算机仿真、复杂系统仿真、智能系统仿真、建模/仿真支撑环境、仿真软件、建模/仿真规范与标准、仿真应用等方面作出创新性贡献,为推动我国的国民经济和国防现代化、科学与社会的发展作出新的努力。

本报告展示了仿真学科的发展亮点,突出进展重点,关注了发展热点,提出了本学科发展趋势的观点,具有仿真学科发展研究的导向性和权威性。

二、仿真科学与技术学科内涵分析

(一)学科定义、学科研究对象及主要研究内容

仿真科学与技术(以下简称仿真)是以建模与仿真理论为基础,以计算机系统、物理效应设备及仿真器为工具,根据研究目标,建立并运行模型,对研究对象进行认识与改造的一门综合性、交叉性学科。

学科的研究对象是已有的现实世界也可以是设想的虚拟世界。主要研究建立研究对象模型、构造与运行仿真系统、分析与评估仿真结果三类活动的共性知识。

学科的主要研究内容可分为:仿真建模理论与方法、仿真系统与技术和仿真应用工程。其中,仿真建模理论与方法包括相似理论、仿真的方法论和仿真建模理论等;仿真系统与技术和仿真应用工程包括仿真系统理论、仿真系统的支撑环境和仿真系统构建与运行技术等;仿真应用工程包括仿真应用理论、仿真应用的可信性理论、仿真共性应用技术和各专业领域的仿真应用等。

(二)学科发展历程

半个多世纪以来,仿真科学与技术在系统科学、控制科学、计算机科学、管理科学等学科中孕育、交叉、综合和发展,并在各学科、各行业的实际应用中成长,逐渐突破孕育本学科的原学科范畴,已具有相对独立的理论体系、知识基础和稳定的研究对象,从而形成信息门类的新学科,其发展经历了如下几个阶段。

1. 初级阶段

在第二次世界大战后期,火炮控制与飞行控制系统的研究孕育了仿真技术的发展。在 20 世纪 40~60 年代,相继研制成功了通用电子模拟计算机和混合模拟计算机,是以模拟机实现仿真的初级阶段。

2. 发展阶段

20 世纪 70 年代,随着数字仿真机的诞生,仿真技术不但在军事领域得到迅速发展,

而且扩展到许多工业领域,同时相继出现一些从事仿真设备和仿真系统生产的专业化公司,使仿真进入产业化阶段。

3. 成熟阶段

20 世纪 90 年代,在需求牵引和计算机科学与技术的推动下,为了更好地实现信息与仿真资源共享,促进仿真系统的互操作和重用,以美国为代表的发达国家开展基于网络的仿真,在聚合级仿真、分布式交互仿真、先进并行交互仿真的基础上,提出了分布仿真的高层体系结构并发展成为工业标准 IEEE1516。

4. 复杂系统仿真的新阶段

20 世纪末和 21 世纪初,对广泛领域的复杂性问题进行科学研究的需求进一步推动仿真技术的发展。仿真逐渐发展形成了具有广泛应用领域的新兴的交叉学科——仿真科学与技术学科。

(三) 学科重要性分析

仿真在国民经济和国家安全中发挥着不可或缺的作用。

1. 人类认识与改造客观世界的重要方法

仿真极大地扩展人类认知世界的能力,可以不受时空的限制,观察和研究已发生或尚未发生的现象,以及在各种假想条件下,现象发生和发展的过程;可以深入到一般科学及人类生理活动难以到达的宏观或微观世界去进行研究和探索,从而为人类认识世界和改造世界提供了全新的方法和手段。

2. 普适性和广泛重大的应用需求

仿真应用于当今社会的各行各业。在工业、农业、国防、商业、经济、社会服务和娱乐等众多领域,仿真在系统论证、试验、设计、分析、维护、人员训练等应用层次成为不可或缺的重要科学技术。

3. 对科技发展起到革命性的影响

随着仿真理论体系的完善、技术体系的深入、应用的推广,解决各行业领域问题的能力日益增强,其对科技发展的革命性影响日益显现。

4. 对实现我国创新型国家战略具有重要意义

当前,仿真发展迅速,我国与发达国家差距不算大,是一个很好的占领高科技制高点的突破口。因此设立仿真学科、培养高水平创新人才,对于提高我国的国际竞争力、实现我国创新型国家战略具有重要意义。

(四) 学科知识体系

学科的知识体系包括学科理论体系、知识基础和方法论,是指导仿真学科从业人员进行工作的结构化知识。

1. 学科的理论体系

本学科已形成相对独立的理论体系,包括以下几个部分。

(1)相似理论。相似理论是对各类事物之间相似规律的描述。仿真模型和研究对象的相似理论是为了仿真而寻找不同事物、系统、信息之间的相似性的理论,是为建立仿真系统而涉及的相似性研究的理论。根据相似理论的内涵,对其进行分类,包括相似的基本理论、实物模型的相似理论、数学模型的相似理论、一般系统的相似理论、复杂系统相似理论等。

(2)仿真建模理论。仿真建模理论主要研究对研究对象进行抽象并映射成仿真模型的理论和方法,主要研究建模的一般理论和模型构建的理论。

建模的一般理论主要研究应用对模型的需求,建立仿真模型所需要遵守的原理。建模的一般理论主要包括模型的基础理论、重用理论、分解与组合理论、互操作理论、多分辨率理论、可信性理论等。

在仿真的发展过程中,形成了相对独立的、比较全面的构建模型的理论和技術,主要包括一般动态系统、变结构、混合异构层次化、多范式、柔性仿真、综合性等的建模理论等。

(3)仿真系统理论。仿真系统理论主要研究仿真系统及其支撑系统的设计、构建、运行的理论与技术。包括仿真系统一般理论、仿真系统领域理论和构建仿真系统的支撑技术三个层次的内容。

仿真系统一般理论是指导仿真系统研制的共性理论,包括仿真系统的定义与分类、仿真系统体系结构理论、仿真系统设计理论和仿真系统全寿命管理理论。

仿真系统领域理论是指导特定领域仿真系统研制的理论,包括仿真系统的超现实性、时空一致性、实时性等理论。

构建仿真系统的支撑技术主要包括开发支撑技术、运行支撑技术、仿真系统标准与规范。

(4)仿真应用理论。主要研究仿真应用中指导仿真活动的理论,包括仿真应用的可信性理论、仿真试验设计原理与方法、仿真的可视化技术原理与方法、仿真结果的分析与评估方法。

仿真应用的可信性理论是表述应用领域仿真全寿命周期的可信性规律、可信性控制的基本理论。它包含三个方面的理论和方法,分别是仿真可信性的基本理论、仿真可信性影响因素的分析理论、仿真可信性的控制方法。

仿真试验设计的任务就是以优化理论为基础,结合专业知识和实践经验,经济、科学、合理地安排仿真试验,力求用较少的人力、物力、财力和时间,达到能明确回答研究所提出的问题的目的。

仿真的可视化技术是将仿真活动中的过程、现象、事物用人们视觉可以观察的方式表现出来,它的本质就是仿真活动的可视化,常称为虚拟现实,在所有的仿真活动中均有应用。

对仿真结果的分析与评估是研究系统问题的重要手段,其评估方法可分为单项评估层次下的单一方法评估方法、综合评估层次下的组合评估、综合评估层次下的整体评估方法。

2. 学科的知识基础

本学科是从其他学科演绎、派生出来并由多门学科交叉、融合产生的,学科的知识基础由自然科学的公共基础知识、相关学科的基础专业知识以及各应用领域的基础专业知

识构成。

(1)仿真的知识基础。仿真的知识基础是数学、物理、控制科学、系统科学、管理科学、计算机科学等自然科学的公共基础知识,在各个行业中的应用又需要各行业领域内的专业知识作为知识基础。

学科基础知识主要是指本学科的基础学科,如数学、物理等具有普遍性、通用性的自然科学学科。

学科相关基础知识是指与本学科密切相关的其他学科知识,如控制科学、系统科学、管理科学、计算机科学等。

仿真在各领域中的应用越来越广泛,在各具体应用中,应根据应用的实际需要,掌握应用领域的基础知识。仿真的应用领域基础知识主要包括社会、经济、军事、医学、艺术、教育、信息、电力、能源、交通、材料、化工、生物等领域的基础知识。

(2)仿真与知识基础的关系。数学为仿真提供了扎实的理论基础。物理学量化研究方法以及统计思想在仿真中都得到了广泛的应用,特别是经典物理中还还原论的思想以及隔离法的思想对系统模型的建立产生了重要的影响。另外,仿真中涉及的物理效应设备需要物理学的基础知识支持。

仿真与系统科学、控制科学、计算机科学、管理科学等其他学科相比较具有突出的综合、协同、集成和共享属性。

仿真的应用具有广泛性,若要在某个领域上应用仿真技术,必须先获取该领域相关的基础知识,只有对相关领域知识及研究动态有较深刻的了解,才能运用仿真为本领域服务。

3. 学科的方法论

仿真的方法论可以划分为两个层次。上层是一般科学方法论原则,包含唯物辩证法、还原论、整体论与系统论等。下层是仿真一般方法论,包含基于相似理论的抽象映射的建模方法论,基于模型试验的网络化、智能化、协同化、普适化服务化的仿真系统方法论,基于目标牵引的全系统、全寿期、全方位的仿真应用方法论等。

(1)仿真的一般科学方法论。认识论、系统论的基本方法论,为仿真的发展提供了强有力的指导。特别是系统论思想,使得仿真研究产生了质的飞跃。仿真中采用系统论的方法分析系统、建立系统模型,通过在仿真环境中的运行达到反映系统整体涌现性的目的,这是系统论思想最突出的应用。

(2)仿真的一般方法论。仿真的一般方法论是研究仿真一般方法的基础理论。仿真方法论包含建模方法论、仿真运行方法论和应用方法论三个方面的内容。

1)抽象映射的建模方法论。仿真建模的本质是抽象与映射,即抽象仿真对象并最终映射成为仿真模型。因此建模方法论主要研究抽象与映射的基本原理与过程。

2)仿真运行方法论。仿真系统的本质是模型试验,是在有序的模式组织体系下,设计、控制、管理仿真系统运行的过程。当前,“网络化、智能化、协同化、普适化、服务化”已经成为仿真运行方法论的主要特征。

3)目标牵引的应用方法论。任何仿真应用都是围绕预定的仿真目标展开的,目标牵引是仿真应用理论与方法的重要前提。利用仿真方法研究系统的目标是实现全系统、全