

1-2-2019

## Preliminary Study of Modeling and Simulation Technology Oriented to Neo-type Artificial Intelligent Systems

LiBo Hu

*1.State Key Laboratory of Intelligent Manufacturing System Technology, Beijing Institute of Electronic System Engineering, Beijing 100854, China; ;2.Beihang University, Engineering Research Center of Complex Product Advanced Manufacturing Systems, Ministry of Education, Beijing 100191, China; ;*

Xudong Chai

*3.CASICloud Co.Ltd.Beijing 100039, China; ;*

Zhang Lin

*2.Beihang University, Engineering Research Center of Complex Product Advanced Manufacturing Systems, Ministry of Education, Beijing 100191, China; ;*

Li Tan

*3.CASICloud Co.Ltd.Beijing 100039, China; ;*

*See next page for additional authors*

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.

---

## Preliminary Study of Modeling and Simulation Technology Oriented to Neo-type Artificial Intelligent Systems

### Abstract

**Abstract:** A brief interpretation of the rapidly developing “New Internet+ Big Data+ Artificial Intelligence+” era is given in the paper and the essence and the architecture of neo-type artificial intelligence systems are explained. The meaning of neo-type artificial intelligence system oriented modelling and simulation technology is proposed and the new challenges they are facing are discussed. The research contents and preliminary results on neo-type artificial intelligence system oriented modelling and simulation technology are given, which include neo-type artificial intelligence system oriented modelling/secondary modelling, intelligent simulation computer, smart cloud simulation and intelligent simulation hardware/software supporting system technology, and intelligent simulation system application engineering technology. Several artificial intelligence application examples, such as intelligent manufacturing, intelligent medical treatment, smart city and intelligent agriculture etc., are introduced. Suggestions on the development of neo-type artificial intelligence system oriented modelling and simulation technology are proposed.

### Keywords

modelling and simulation, artificial intelligence, smart cloud simulation, intelligent simulation computer

### Authors

LiBo Hu, Xudong Chai, Zhang Lin, Li Tan, Duzheng Qing, Tingyu Lin, and Liu Yang

### Recommended Citation

LiBo Hu, ChaiXudong, ZhangLin, LiTan, QingDuzheng, LinTingyu, LiuYang. Preliminary Study of Modeling and Simulation Technology Oriented to Neo-type Artificial Intelligent Systems[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(2): 349-362.



## 李伯虎

中国工程院院士，北京航空航天大学自动化与电气工程学院博士生导师和荣誉院长。中国航天科工集团有限公司科技委顾问；北京航空航天大学学术委员会委员；中国仿真学会理事长；亚洲仿真学会联盟执行委员；国际杂志“IJMSSC”联合主编。

长期从事系统仿真及制造业信息化方面的研究与应用，曾任北京计算机应用和仿真技术研究所所长；北京仿真中心主任；北京航空航天大学自动化学院院长；亚洲仿真学会联盟首任理事长；国家863计划自动化领域专家委员及现代集成制造系统(CIMS)主题专家组组长等。发表论文300余篇，著作14部、译著4部；获国家科技进步一等奖1项、二等奖3项；部级科技进步奖16项；2012年获国际建模与仿真学会(SCS)授予的“终身成就奖”并入选名人堂。

## 面向新型人工智能系统的建模与仿真技术初步研究

李伯虎<sup>1,2</sup>，柴旭东<sup>3</sup>，张霖<sup>2</sup>，李潭<sup>3</sup>，卿杜政<sup>4</sup>，林廷宇<sup>1,5</sup>，刘阳<sup>3</sup>

- (1.北京电子工程总体研究所复杂产品智能制造技术国家重点实验室，北京 100854；
- 2.北京航空航天大学复杂产品先进制造系统教育部工程研究中心，北京 100191；
3. 航天云网科技发展有限公司，北京 100039；
4. 北京仿真中心航天系统仿真重点实验室，北京 100854；
5. 北京仿真中心北京市复杂产品先进制造系统工程技术研究中心，北京 100854)

**摘要：**简要解读了正在飞速发展中的“新互联网+大数据+人工智能+”时代，阐释了新型人工智能系统的内涵和体系架构。提出面向新型人工智能系统的建模与仿真技术的含义，探讨了新型人工智能系统仿真对建模与仿真技术的新挑战。提出面向新型人工智能系统的建模与仿真技术的研究内容与给出作者团队的初步研究成果，包括面向新型人工智能系统的建模理论与方法；智能仿真计算机、智慧云仿真及智能仿真硬/软件等智能仿真支撑系统技术，及智能仿真系统应用工程技术，简要介绍了基于智能仿真的几类人工智能应用系统范例(如智能制造、智能医疗、智慧城市、智能农业等)。提出发展面向新型人工智能系统的建模与仿真技术的建议。

**关键词：**建模仿真；人工智能系统；智慧云仿真；智能仿真计算机

中图分类号：TP391.9      文献标识码：B      文章编号：1004-731X(2018)02-0349-14

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201802001

## Preliminary Study of Modeling and Simulation Technology Oriented to Neo-type Artificial Intelligent Systems

LiBo Hu<sup>1,2</sup>, ChaiXudong<sup>3</sup>, ZhangLin<sup>2</sup>, LiTan<sup>3</sup>, QingDuzheng<sup>4</sup>, LinTingyu<sup>1,5</sup>, LiuYang<sup>3</sup>

- (1. State Key Laboratory of Intelligent Manufacturing System Technology, Beijing Institute of Electronic System Engineering, Beijing 100854, China;
2. Beihang University, Engineering Research Center of Complex Product Advanced Manufacturing Systems, Ministry of Education, Beijing 100191, China;
3. CASICloud Co. Ltd. Beijing 100039, China;
4. Science and Technology on Space System Simulation Laboratory, Beijing Simulation Center, Beijing 100854, China;
5. Beijing Complex Product Advanced Manufacturing Engineering Research Center, Beijing Simulation Center, Beijing 100854, China)

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

• 349 •

**Abstract:** A brief interpretation of the rapidly developing “New Internet+ Big Data+ Artificial Intelligence+” era is given in the paper and the essence and the architecture of neo-type artificial intelligence systems are explained. The meaning of neo-type artificial intelligence system oriented modelling and simulation technology is proposed and the new challenges they are facing are discussed. The research contents and preliminary results on neo-type artificial intelligence system oriented modelling and simulation technology are given, which include neo-type artificial intelligence system oriented modelling/secondary modelling, intelligent simulation computer, smart cloud simulation and intelligent simulation hardware/software supporting system technology, and intelligent simulation system application engineering technology. Several artificial intelligence application examples, such as intelligent manufacturing, intelligent medical treatment, smart city and intelligent agriculture etc., are introduced. Suggestions on the development of neo-type artificial intelligence system oriented modelling and simulation technology are proposed.

**Keywords:** modelling and simulation; artificial intelligence; smart cloud simulation; intelligent simulation computer

## 引言

一场新技术革命和新产业变革正在全球进行，一个“新互联网+大数据+人工智能+”时代正在到来。其主要表现是：面对全球“创新、绿色、开放、共享、个性”的发展需求，以及新互联网技术、新信息技术、新人工智能技术、新能源技术、新材料技术、新生物技术等技术的飞速发展，特别是，新互联网技术（物联网、车联网、移动互联网、卫星网、天地一体化网、未来互联网等）、新信息技术（云计算、大数据、5G、高性能计算、建模/仿真、量子计算、区块链技术等），以及新一代人工智能技术<sup>[1]</sup>（基于大数据智能、群体智能、人机混合智能、跨媒体推理、自主智能等）的快速发展，正引发国民经济、国计民生和国家安全等领域新模式、新手段和新生态系统的重大变革。与此同时，正在发生重大变革的信息新环境、技术和人类社会发展的新目标正催生人工智能技术与应用进入一个新的进化阶段：随着移动终端、新互联网、传感网络、车联网、可穿戴设备、感知设备等迅速发展，网络已经开始史无前例连接着世界上的人、机、物，并快速反映其需求、知识和能力；大数据成为人类社会不可忽视的战略资源；高性能计算能力的大幅提升，提供了人工智能实施的保障；以深度学习为代表的人工智能模型与算法的突破及数据和知识在社会、物理空间和信息空间之间的交叉融合与相互作用等，促进了新计算范式的形成；这些都极大地推进了信息新环境和新技术的重大变革。另一方面，基于“创新、绿色、开放、共享、个性”的新时代需求，使智能城市、智能制造、智能医疗、智能交通、智能物流、智能机器人、无人驾驶、智能手机、智能玩具、智能社会、智能经济等领域也正在迅速发展，它们对模式、手段与业态的变革都迫切需要新一代人工智能技术与应用的新发展。

本文在对上述“新互联网+大数据+人工智能+”时代简要解读的基础上，阐释了新型人工智能系统的内涵和体系架构。然后提出面向新型人工智能系统的建模与仿真技术的含义，并探讨了新型人工智能系统对建模与仿真技术的新挑战，接着提出了面向新型人工智能系统的建模与仿真技术的研究内容与给出了作者团队的初步研究成果，包括面向新型人工智能系统的建模理论与方法；智能仿真计算机、智慧云仿真及智能仿真硬/软件等智能仿真支撑系统技术，以及基于智能仿真的新型人工智能应用工程技术，并简介了基于智能仿真的几类人工智能应用系统范例。最后提出发展面向新型人工智能系统的建模与仿真技术的建议。

# 1 新型人工智能系统

## 1.1 新型人工智能系统的内涵

新型人工智能系统是以新型互联网及其组合为基础, 借助新兴的信息通信科学技术、新智能科学技术及应用领域(国民经济、国计民生、国家安全等领域)专业新技术等三类新技术深度融合的数字化、网络化、智能化技术为新手段, 将信息(赛博)空间与物理空间中的人/机/物/环境/信息智能地连接在一起的、提供智能资源与智能能力随时随地按需服务的一类新型智能服务互联系统。其系统特征是对全系统及全生命周期活动中人、机、物、环境、信息自主智能地感知、互联、协同、学习、分析、认知、决策、控制与执行; 其实施内容是促使全系统及全生命周期活动中的人、技术/设备、管理、数据、材料、资金(六要素)及人流、技术流、管理流、数据流、物流、资金流(六流)集成优化, 进而形成数字化、网络化、智能化的产品、设备/系统和全生命周期活动; 其目标是实现“创新、绿色、开放、共享、个性”的人类社会。

## 1.2 新型人工智能系统的体系架构

新型人工智能系统的体系架构如图 1 所示。

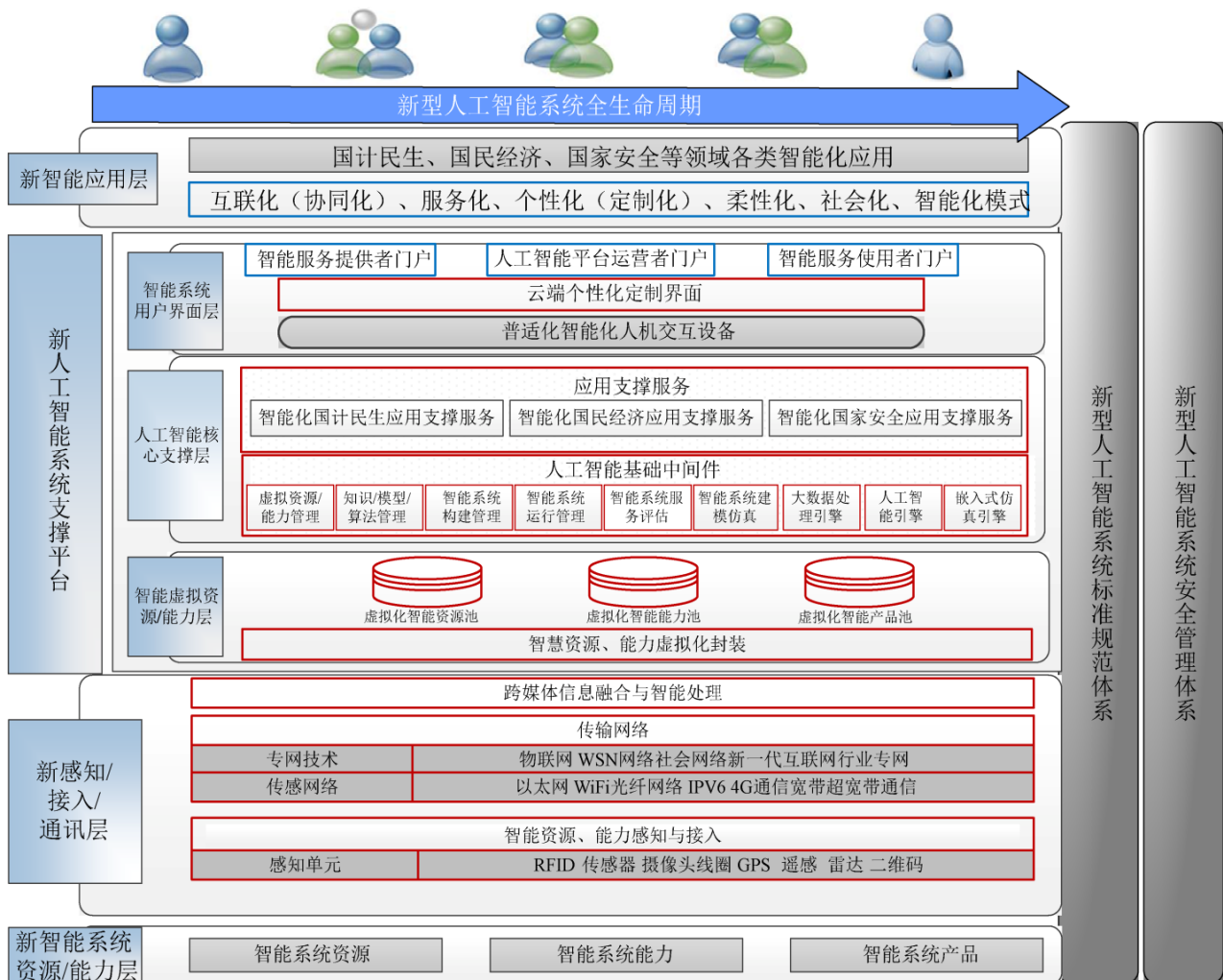


图 1 新型人工智能系统的体系架构

Fig.1 Architecture of a neo-type artificial intelligence system

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

新型人工智能系统的体系架构主要包括以下五个层次：

(1) 新智能系统资源/能力/产品层，该层包括要接入整个系统的各种软资源，硬资源，专业能力以及产品。

(2) 新智能系统感知/接入/通信层，该层通过感知技术、物联技术、终端技术等，将各类物理硬软资源/能力接入到网络中，实现资源/能力/产品的全面感知、互联，为新型人工智能系统虚拟资源、能力、产品的虚拟化封装和服务调用提供支持。与此同时，为即时处理，可在本地对感知的数据进行处理，即谓边缘计算与处理。

(3) 新人工智能系统支撑平台层，该层主要面向三类用户（智能服务提供者门户、系统平台运营者门户、智能服务使用者门户），提供人工智能系统基础中间件，包括虚拟资源/能力管理、知识/模型/算法管理、智能服务系统构建管理、智能服务系统运行与服务评估、大数据处理引擎、人工智能引擎、嵌入式仿真引擎等，以及提供国计民生、国民经济、国家安全等领域的各类应用支撑服务。

(4) 新智能应用层。该层主要是面向国计民生、国民经济、国家安全等领域，提供互联化（协同化）、服务化、个性化（定制化）、柔性化、社会化、智能化等各类应用模式。

(5) 人/组织层。主要指新型人工智能系统及全生命周期活动中的人、组织。

(6) 各层有其标准及安全管理。

## 2 面向新型人工智能系统的建模与仿真技术

### 2.1 面向新型人工智能系统的建模与仿真技术的内涵

面向新型人工智能系统的建模与仿真技术是指现代建模与仿真技术与新一代人工智能科学技术、新一代信息通信技术、以及各类应用领域专业技术进行深度融合，以各类大数据资源、高性能计算能力、智能模型/算法为基础，以提升新型人工智能系统建模、优化运行及结果分析/处理等整体智能化水平为目标的一类建模仿真技术。

### 2.2 新型人工智能系统对建模与仿真技术的新挑战

为实现新型人工智能系统，对现有建模理论与方法、仿真支撑技术和仿真应用技术都提出了新的挑战。

(1) 对建模理论与方法的挑战。主要分两个方面，一是对对象建模（即一次建模）的挑战，针对新型人工智能系统中人、机、物、环境存在连续、离散、定性/决策、优化等复杂机理、复杂组成、复杂交互关系和复杂行为，提出新系统建模方法，特别是基于大数据、深度学习等方法进行系统认知和预测等建模技术的挑战；另一方面是仿真器上的建模/算法（即二次建模）的挑战，即针对对象建模形成的各类模型，为了实现多级并行高效能仿真（如人工智能系统模型的高效仿真运行），需要充分结合新型人工智能系统及仿真系统的体系架构、软硬件特点，提出新的仿真算法/方法。

(2) 对仿真支撑技术的挑战。主要包括对以下五类支撑技术的挑战：一是人工智能仿真云，由于新型人工智能系统的人、机、物、环境具有分布、异构特性，需要将各类资源和能力进行虚拟化、服务化，解决用户能按需获取各类资源和能力服务，进而开展数学、人在回路、硬件在回路/嵌入式仿真等各类仿真活动；二是智能化虚拟样机工程，包括支持各类新型人工智能系统中复杂对象多学科虚拟样机异构集成、并行仿真优化，解决全系统、全生命周期中/组织、经营管理和技术，信息流、知识流、控制流、服务流集成优化；三是面向问题的人工智能仿真语言，针对新型人工智能系统建模仿真问题，以与被研

究系统原始形式十分相近的描述语言进行输入, 经编译处理后自动调用领域相关的算法库、函数库及模型库进行高性能仿真求解; 四是构建面向边缘计算技术的智能高性能建模仿真系统, 因为有些新型人工智能系统中仿真/计算需要前置在设备端执行, 以保障实时性, 此外, 可能还要解决高性能计算中心与海量前置设备智能计算能力并存的协同求解分析的问题; 五是研究基于跨媒体智能的可视化技术, 主要是面向各类新型人工智能系统中虚拟场景计算和虚实融合应用, 解决基于人工智能技术提供智能化、高性能、用户友好的可视化应用的技术问题。

(3) 对仿真应用工程技术的挑战。主要包括以下三类技术: 一是智能仿真模型校核、验证与验收 (VV&A) 方法, 包括对一次模型认可、仿真系统算法执行准确性认可、仿真执行结果的用户认可; 二是智能仿真实验结果管理、分析与评估, 大量的智能仿真应用需求来自于对整体系统可能的行为模式与性能表现进行快速仿真与预测, 需要高效开展并发仿真并对仿真结果进行高效获取、管理和分析处理; 三是大数据智能分析与评估技术, 新型人工智能系统应用需要考虑到实际人、机、物、环境的复杂性, 以及各类正在运行设备的限制条件, 需要考虑大数据接入与存储管理、大数据云化、大数据分析决策及大数据可视化与结果评估等应用模式与技术的研究。

### 3 面向新型人工智能系统的建模与仿真技术的研究内容

随着建模与仿真技术在新型人工智能系统中应用的不断深入, 作者团队提出了面向新型人工智能系统的建模与仿真技术的技术体系、研究内容, 并列出作者团队的初步研究成果, 主要包括面向新型人工智能系统的建模理论与方法、面向新型人工智能系统的仿真系统支撑技术及面向新型人工智能系统的智能仿真系统应用工程技术。

#### 3.1 面向新型人工智能系统的建模理论与方法

面向新型人工智能系统的建模理论与方法主要包括面向新型人工智能系统的一次建模理论与方法和二次建模理论与方法, 如图2所示。

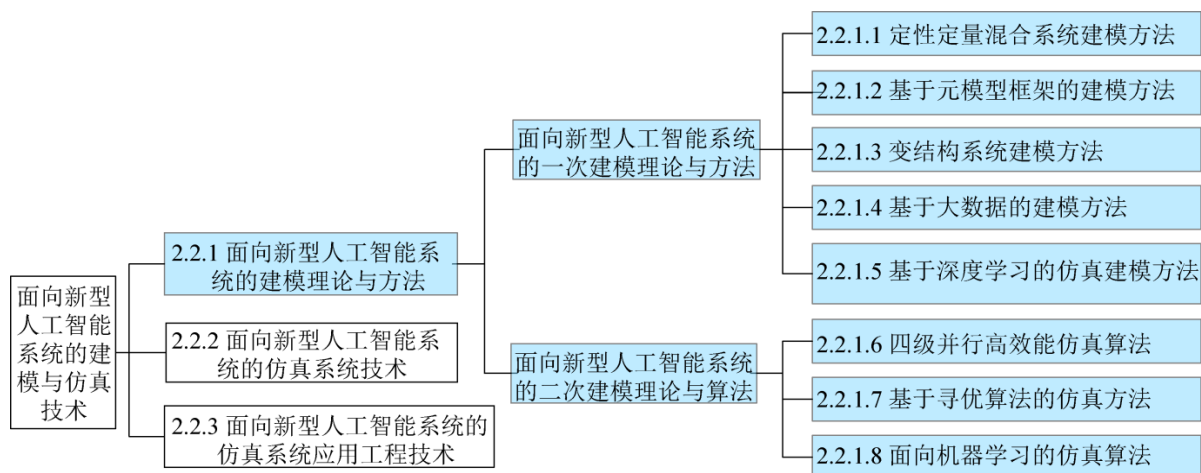


图2 面向新型人工智能系统的建模理论与方法

Fig.2 Modeling theory and method for neo-type artificial intelligence system

面向新型人工智能系统的一次建模理论与方法主要包括:

(1) 定性定量混合系统建模方法。包括定性定量统一建模方法, 即研究包括系统顶层描述和面向子

领域描述的建模理论和方法；定量定性交互接口建模，即研究将定量定性交互数据转化为定性模型与定量模型所要求的结构和格式；定量定性时间推进机制，即研究定量定性模型的时间协调推进机制。如作者团队的初步研究成果：基于 Quan-Rule（定量-规则）和 Quan-Agent（定量-Agent）的定性定量统一建模方法<sup>[2]</sup>，基于隶属云模型的定性定量综合集成接口建模规范与联合求解方法<sup>[3]</sup>，以及 QR（定量-规则）-QA（定量-Agent）混合时间推进方法<sup>[4]</sup>。

（2）基于元模型框架的建模方法。即研究通过元模型的顶层抽象，将多学科、异构、涌现的复杂系统进行一体化仿真建模的方法。主要包括基于元建模的多学科统一建模方法，即研究复杂系统中连续、离散、定性、定量等多学科模型的统一建模方法；基于元建模的复杂自适应系统建模方法，即研究复杂自适应系统中各种类型系统组分间感知、决策、交互的一体化仿真建模方法。如作者团队的初步研究成果：基于元建模的多学科统一建模方法——复杂系统顶层元建模框架 M2F<sup>[5]</sup>，以及基于元建模的复杂自适应系统建模方法——受限组件模型(CGP-EM, CGP-CM)<sup>[6]</sup>。

（3）变结构系统建模方法。研究变结构仿真系统模型内容组成、端口及连接可动态改变，支持系统结构动态变化的全面建模。如作者团队的初步研究成果：基于 DEVS 的拓展复杂变结构系统的描述规范-CVSDEVS<sup>[7]</sup>。

（4）基于大数据智能的建模方法。新型人工智能系统由于其机理的高度复杂性，往往难以通过机理（解析方式）建立其系统原理模型，而需通过大量实验和应用数据对其内部机理进行模拟与仿真。基于大数据智能的建模方法是利用海量观测与应用数据实现对不明确机理的智能系统进行有效仿真建模的一类方法。主要研究方向包括基于数据的逆向设计、基于数据的神经网络训练与建模和基于数据聚类分析的建模等。如作者团队的初步研究成果：一种改进的 K 最近邻数据分类算法<sup>[8]</sup>。

（5）基于深度学习的仿真建模方法。新型人工智能系统环境下，可采集利用的数据呈爆炸式增长，同时基于深度学习、模拟人脑进行学习进化的神经网络为面向新型人工智能系统的建模仿真的发展与应用提供强有力的支撑。如作者团队的初步研究成果：一种改进的混合神经网络模型<sup>[8]</sup>。

面向新型人工智能系统的二次建模理论与方法主要包括：

（1）四级并行高效能仿真算法。为充分利用超级并行计算环境来加速新型人工智能系统问题仿真求解，需要研究四级并行高效能仿真算法，包括大规模仿真问题的作业级并行方法、仿真系统内成员间的任务级并行方法、联邦成员内部的模型级并行方法和基于复杂模型解算的线程级并行方法。如作者团队的初步研究成果：1) 大规模仿真问题的作业级并行方法研究成果包括：QMAEA 量子多智能进化算法<sup>[9]</sup>、自调节双链量子二级并行遗传算法<sup>[10]</sup>、文化遗传算法以及融合杜鹃搜索的多种群并行差分进化算法（CSDE）<sup>[11]</sup>；2) 仿真系统内成员间的任务级并行方法研究成果包括：基于 RTI 的任务级并行方法<sup>[12]</sup>、基于事件表的任务级“混合仿真”并行方法；3) 基于复杂模型解算的线程级并行方法研究成果包括：基于方程组右函数均匀负载的连续系统常微分方程并行算法<sup>[13]</sup>、基于乐观机制的离散系统并行算法<sup>[14]</sup>、基于定性线性代数方程组和优化算法的定性系统并行算法。

（2）基于寻优算法的仿真方法。基于寻优算法，进行多样本迭代仿真计算。如作者团队的初步研究成果：一种基于神经网络的寻优仿真算法<sup>[15]</sup>。

（3）面向机器学习的仿真算法。机器学习方法已形成庞大的谱系，如何有效对新型人工智能系统中的机器学习方法进行仿真建模并综合运用，将是一个重要的新研究方向。



### 3.2 面向新型人工智能系统的仿真系统支撑技术

面向新型人工智能系统的仿真系统支撑技术如图 3 所示。

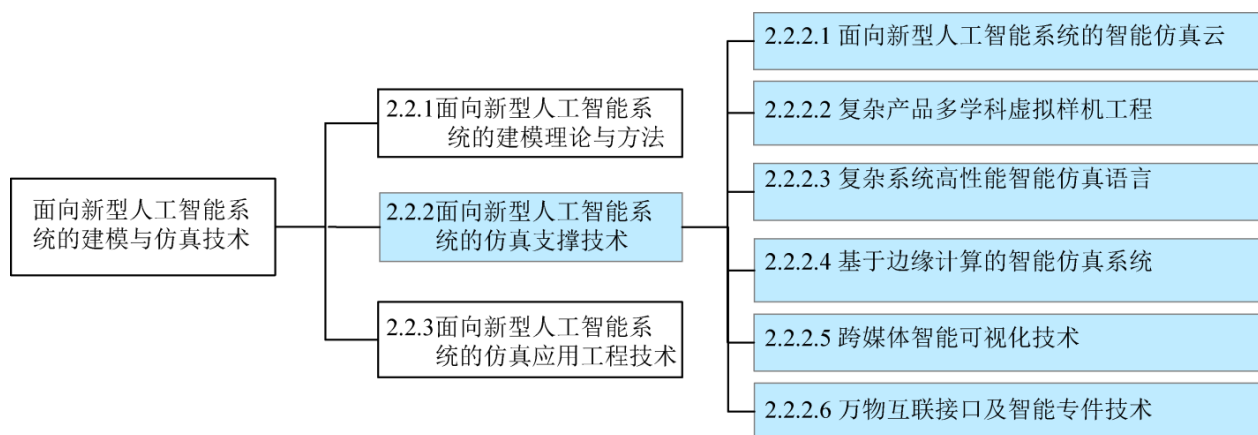


图 3 面向新型人工智能系统的仿真系统支撑技术

Fig.3 Support technology of simulation system for neo-type artificial intelligence system

主要包括:

(1) 面向新型人工智能系统的智能仿真云<sup>[16]</sup>。它是一种基于泛在网络(包括互联网、物联网、窄带物联网、车联网、移动互联网、卫星网、天地一体化网、未来互联网等)、服务化、网络化的高性能智能仿真新模式。它以应用领域的需求为背景,基于云计算理念,融合发展了现有网络化建模与仿真技术,云计算、物联网、面向服务、智能科学、高效能计算、大数据等新兴信息技术和应用领域专业技术三类技术,将各类仿真资源和能力虚拟化、服务化,构成智能仿真资源和能力的服务云池,并进行协调优化的管理和经营,使用户通过网络、终端及云仿真平台就能随时按需获取(高性能仿真)资源与能力服务,以完成其智能仿真全生命周期的各类活动。如作者团队的初步研究成果:支持基于智慧云仿真/边缘仿真模式的仿真资源/能力接入技术<sup>[17-18]</sup>,基于容器的仿真资源虚拟化技术<sup>[19]</sup>,智能化资源调度与迁移方法<sup>[20]</sup>,高性能 RTI 技术<sup>[21]</sup>以及云仿真平台安全技术。

(2) 复杂产品多学科虚拟样机工程。它是一类以虚拟样机为核心,以建模仿真为手段,基于集成化的支撑环境,优化组织复杂产品研制全系统、全生命周期中人、组织、经营管理、技术、数据等五要素,以及信息流、知识流、控制流、服务流等四流的系统工程。其主要研究内容涉及虚拟样机工程多阶段统一建模方法,综合决策和仿真评估技术,综合管理和预测方法及多学科虚拟样机工程平台等,如作者团队的初步研究成果:复杂产品多学科虚拟样机工程支撑平台 COSIM<sup>[22-23]</sup>。

(3) 面向问题的复杂系统智能仿真语言。它是一种面向复杂系统建模仿真问题的高性能仿真软件系统。主要特点包括 1)模型描述部分:由仿真语言的符号、语句、语法规则组成的模型描述形式与被研究系统模型的原始形式十分近似;2)实验描述部分:由类似宏指令的实验操作语句和一些有序控制语句组成;3)具有丰富的参数化、组件化的仿真运行算法库、函数库及模型库。它能使系统研究人员专注于复杂系统仿真问题本身,大大减少了建模仿真和高性能计算技术相关的软件编制和调试工作。基于该仿真语言能进一步开发面向各类专用领域(如军事体系对抗、多学科虚拟样机仿真等领域)的高级仿真语言。其主要研究内容涉及智能仿真语言体系结构,仿真语言中模型与实验的描述语言规范,建立基于高效能仿真计算机的仿真语言智能编译、执行框架等。如作者团队的初步研究成果:复杂系统智能仿真语言<sup>[24-25]</sup>。

(4) 面向边缘计算的智能仿真计算机系统。指融合新兴计算机科学技术(如云计算、物联网、大数据、服务计算、边缘计算等)、现代建模与仿真技术、超级计算机系统技术等三类技术,以优化“系统建模、仿真运行及结果分析/处理”等整体性能为目标的,面向二类仿真用户(复杂系统高端建模仿真及按需提供高性能仿真云服务),三类仿真(数学、人在回路、硬件在回路/嵌入式仿真)的一体化的智能仿真系统。其主要研究内容涉及计算机系统体系结构,自主可控的基础硬件/软件等。如作者团队的初步研究成果:高性能智能仿真计算机系统 I 型<sup>[26]</sup>,及正在研制的高性能智能仿真计算机系统 II 型:1)在总体技术方面,架构可扩展,单机柜峰值速度不小于 20 万亿次/秒,采用自主可控的众核或多核芯片,可扩展至 100 万亿次/秒;2)在基础硬软件支撑环境方面,具有与实装、仿真设备、智能制造系统的多类互联接口,可支持基于仿真的信息物理系统(CPS);基于大数据处理技术的仿真加速部件;基于人工智能算法技术的仿真加速部件;基于自主可控的 X86 多核处理器的仿真样机;3)仿真应用验证方面,可支持面向高端仿真用户和海量用户群以及三类仿真应用(虚拟/构造/实装);可支持智能系统仿真/基于大数据仿真应用。

(5) 跨媒体智能可视化技术。主要包括基于 GPU 群组的并行可视化系统技术和虚实融合技术。前者又涉及大规模虚拟场景的数据组织、调度技术,基于多机、多核技术的两级并行绘制技术,复杂环境中的不定形物高效可视化技术和实时动态全局光照技术等。如作者团队的初步研究成果:基于 GPU 群组的并行可视化系统<sup>[27]</sup>。

(6) 万物互联接口与智能专件技术。主要包括万物互联(CPS)接口技术的研究和基于大数据与人工智能算法的高效能仿真专用加速部件的研发。如作者团队的初步研究成果:工业互联网关 SMART-IOT<sup>[28]</sup>。

### 3.3 面向新型人工智能系统的智能仿真系统应用工程技术

面向新型人工智能系统的智能仿真系统应用工程技术如图 4 所示。主要包括:

(1) 模型校核、验证与验收(VV&A)技术。主要包括全生命周期 VV&A、全系统 VV&A、层次化 VV&A、全员 VV&A 和管理全方位 VV&A 等技术。如作者团队的初步研究成果:仿真 VV&A 支撑环境 HIT-VES<sup>[29]</sup>。

(2) 智能系统仿真实验结果管理、分析与评估技术。主要包括仿真实验数据采集技术、仿真实验数据分析处理技术、仿真实验数据可视化技术、智能化仿真评估技术和 Benchmark 技术(含两类用户、三类仿真)等。如作者团队的初步研究成果:复杂系统智能化仿真评估器<sup>[30]</sup>。

(3) 大数据分析与管理技术。主要包括大数据集成与清洗技术、大数据存储与管理技术、大数据分析挖掘技术、大数据可视化技术、大数据标准与质量体系及大数据安全技术等。如作者团队的初步研究成果:航天云网 INDICS 平台中的 DaaS 层<sup>[31-32]</sup>。

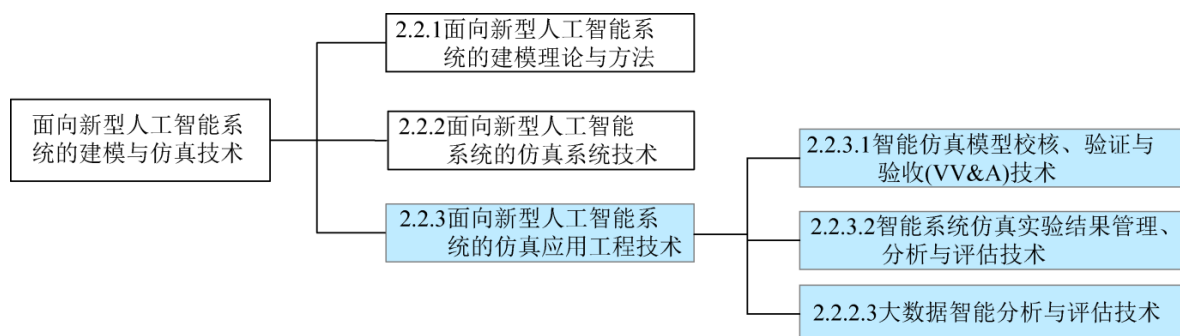


图 4 面向新型人工智能系统的智能仿真系统应用工程技术

Fig.4 Application engineering technology of intelligent simulation system for neo-type artificial intelligence system

### 4 面向新型人工智能系统的建模与仿真技术应用范例

面向新型人工智能系统的建模与仿真技术在智能制造、智能城市、智能医疗及智能农业等领域已得到一些初步的典型新成果, 例如:

#### (1) 智能制造领域——智能飞行器虚拟样机协同设计仿真

某智能飞行器虚拟样机协同设计仿真应用系统主要由控制系统模型、多体动力学模型、液压模型等多学科异构模型组成。同时由于飞行器具备对自身飞行参数及状态指标监测、自动预判故障并调整飞行状态的能力。故其自动预判故障及飞行状态的能力由基于定性规则来实现, 难以用传统定量模型来描述。为此, 基于面向新型人工智能系统的建模与仿真技术搭建了如图 5 所示的智能飞行器虚拟样机协同设计仿真应用系统。

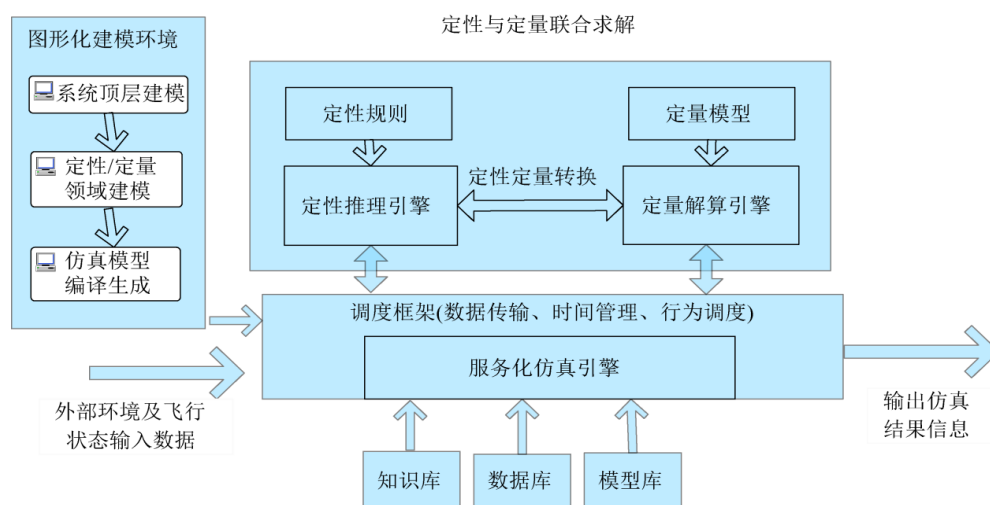


图 5 智能飞行器虚拟样机协同设计仿真应用系统

Fig.5 Simulation application system for collaborative design of virtual prototyping of smart aircraft

在系统构建阶段, 用户基于仿真语言对应的图形化建模环境, 对复杂系统的内部静态结构及动态行为逻辑进行了系统顶层建模, 从而消除了系统中各类多学科异构模型间的差异性而实现了统一建模。如图 6 所示。

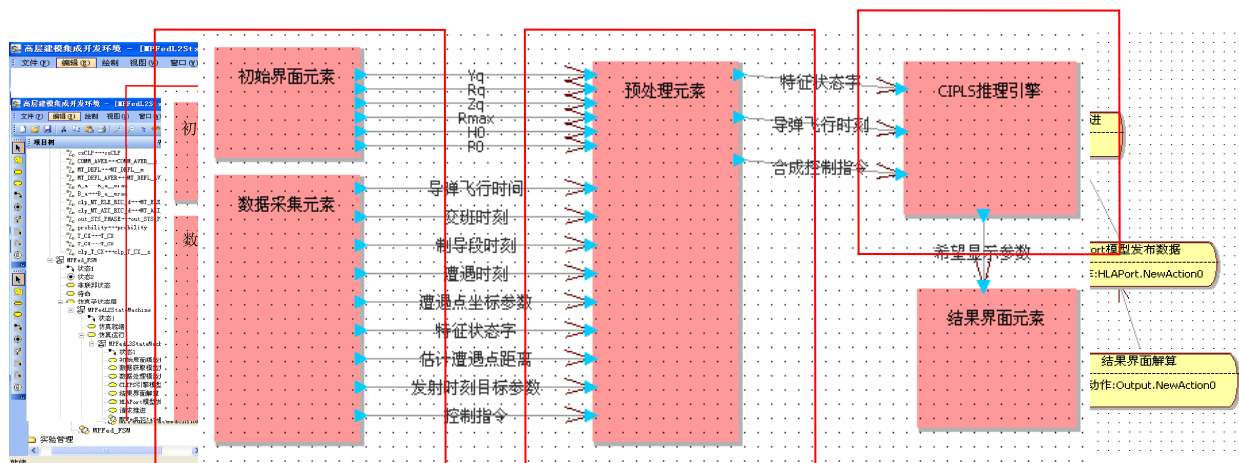


图 6 智能飞行器虚拟样机协同设计仿真应用系统顶层建模

Fig.6 Top layer modeling of simulation application system for collaborative design of virtual prototyping of smart aircraft

在完成系统顶层建模后，对于其自动预判故障及飞行状态的部分，采用图形化语言建模环境中的定性建模工具，基于模糊因果导向图对其自动预判故障及飞行状态的部分进行图形化建模描述，并针对性地对其中的模糊概念进行定义与建模。同时采用隶属云模型逆向发生器训练算法对隶属云模型进行训练。如图 7 所示。

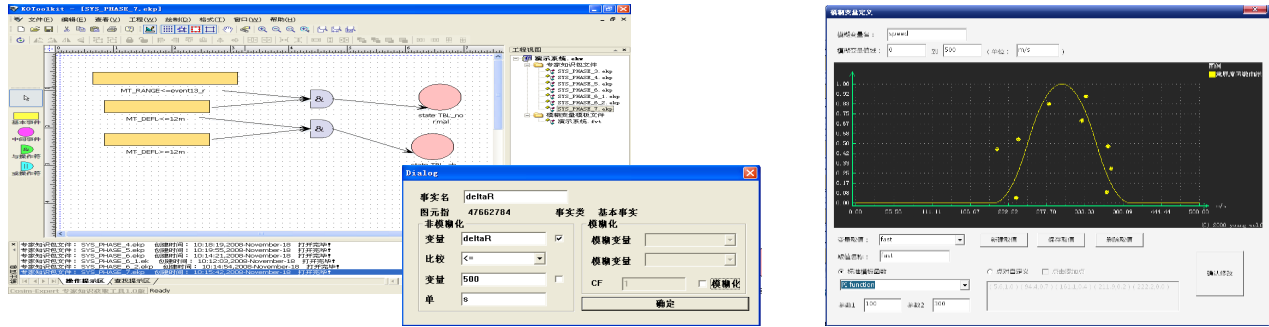


图 7 智能飞行器虚拟样机协同设计仿真应用系统定性建模与隶属云模型训练

Fig.7 Qualitative modeling and membership cloud model training for virtual prototyping collaborative design simulation application system of smart aircraft

最后，在系统运行过程中，服务化仿真引擎驱动系统集成的定量解算引擎和定性推理引擎进行复杂系统仿真组件模型的定性定量联合求解。如图 8 所示。

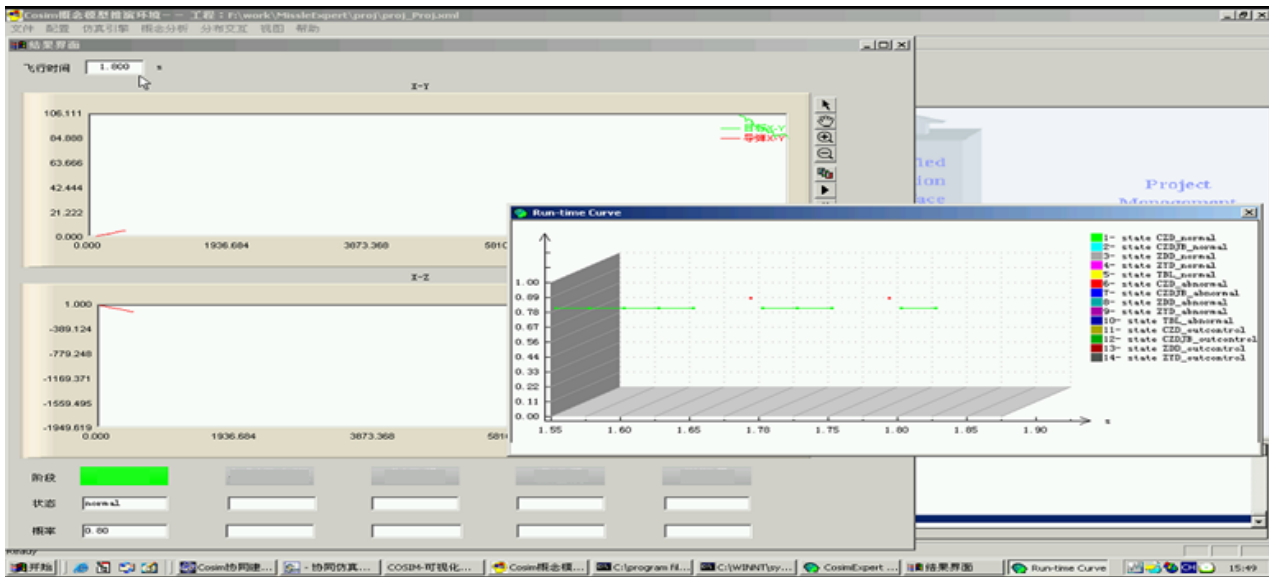


图 8 智能飞行器虚拟样机协同设计仿真应用系统仿真运行

Fig.8 Simulation operation of simulation application system of virtual prototype collaborative design of smart aircraft

## (2) 智能城市领域——城市绿波带交通控制智能化仿真<sup>[33]</sup>

“绿波带”，即是“信号灯多点控制技术”，即在一个区域或一条道路上实行统一的信号灯控制，将纳入控制范围的信号灯全部连接起来，通过计算机加以协调控制，使车流在干道上行驶的过程中，连续得到一个接一个的绿灯信号，畅通无阻地通过沿途所有交叉路口。

“绿波带”使用的是智能信号灯系统，该系统通过地下的线圈来感应车流量，电脑自动调整红绿灯间隔时间，合理分配信号周期，优先安排车流量大的路口车辆通行。通过对卫星导航、监控摄像头、卡口、

传感线圈等多类跨媒体数据进行智能化仿真分析, 以优先在特定道路布局下绿波带系统中各类设备的部  
装与配置。如图 9 所示。



图 9 城市绿波带交通控制智能化仿真应用系统  
Fig.9 Intelligent simulation application system of city green wave traffic control

(3) 智能医疗领域——传染病智能疾控与预测性仿真<sup>[34-35]</sup>

通过大数据智能和跨媒体推理, 能够建立传染病的传播与发展模型, 并进而创建流行疾病的智能预  
警、预测与干预系统。目前国家平台中有各类相关传染病信息 7000 万条, 基于千万级的乙肝、结核病和  
艾滋病等重大传染病筛查及队列大数据, 建立“三病”传播、演变及干预的多因素分析模型及智能可视化  
仿真分析平台。如图 10 所示。

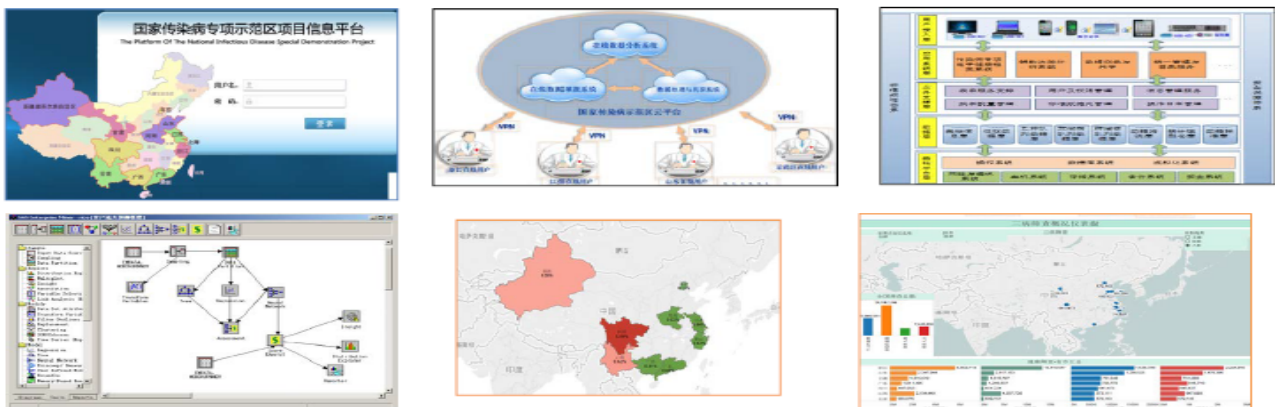


图 10 传染病智能疾控与预测性仿真应用系统  
Fig.10 Intelligent disease control and predictive simulation application system for infectious diseases

(4) 智能农业领域——虚拟植物自主生长智能化仿真<sup>[36]</sup>

基于自主智能技术与虚拟现实技术实现虚拟植物自主生长智能化仿真。如图 11 所示。

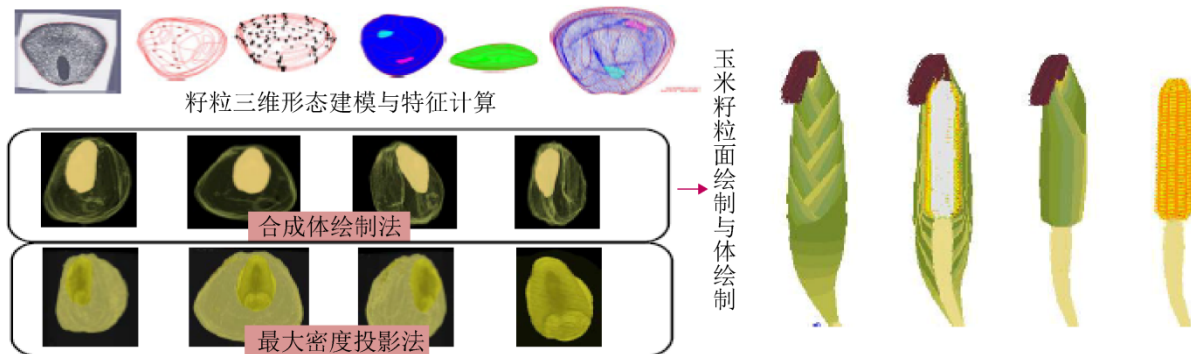


图 11 虚拟植物自主生长智能化仿真应用系统

Fig.11 Intelligent simulation application system for autonomous growth of virtual plants

其中虚拟对象智能行为建模技术主要实现物体对象的几何仿真、物理仿真和行为仿真，提升虚拟对象行为的智能性、社会性、多样性和交互逼真；虚拟环境下人与环境融合技术主要实现高分辨率立体显示、方位跟踪、手势跟踪、数据手套、触觉反馈、声音定位等，实现虚拟现实、增强显示等技术与人工智能的有机结合和高效互动。

## 5 发展面向新型人工智能系统的建模与仿真技术的建议

通过面向新型人工智能系统的建模与仿真技术的研究和初步实践，提出以下三点建议：

(1) 面向新型人工智能系统的建模仿真技术是“新互联网+大数据+人工智能+”时代的一种建模与仿真新模式、新手段和新业态，随着时代需求和技术的发展，要持续地研究建模与仿真的模式、手段和业态的新发展；

(2) 面向新型人工智能系统的建模仿真技术正在发展中，其发展需要“技术、应用、产业”的协调发展。其发展路线应是持续坚持和发展“创新驱动”及“建模仿真技术、信息通信技术、新一代人工智能技术与应用领域技术的深度融合”；

(3) 面向新型人工智能系统的建模仿真技术的发展与实施还需要全国、全球的合作与交流，同时又要充分重视各国、各领域及各系统的特色和特点。

### 致谢

感谢技术研究与应用团队的厉军、赵沁平、杨明、姚益平、王维靖、戴荣、郝爱民、宋晓、陶飞、张晗、李妮、范帅、张雅彬、张智慧、杨晨、邢驰、肖莹莹、苑海涛、谢晓丹、贾政轩等卓有成效的研究与应用工作为本论文编写提供的支持与帮助！

### 参考文献：

- [1] 潘云鹤. "中国新一代人工智能"[C]//天津: 首届世界智能大会, 2017.
- [2] 范帅, 李伯虎, 柴旭东, 等. 复杂系统中定性定量集成建模技术研究[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(10): 2227-2233.  
FAN Shuai, LI Bo-hu, CHAI Xu-dong, et al. Studies on Complex System Qualitative and Quantitative Synthetically Modeling Technologies[J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(10): 2227-2233.

- [3] 李潭, 李伯虎, 柴旭东, 等. 面向复杂定性系统的知识建模及联合仿真方法研究[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(6): 1256-1260.  
LI Tan, LI Bo-hu, CHAI Xu-dong, et al. Research on Knowledge Modeling and Joint Simulation Method of Complex Qualitative System[J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(6): 1256-1260.
- [4] 范帅, 李伯虎, 柴旭东, 等. 定性定量集成模型的求解技术研究[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(9): 1980-1984.  
FAN Shuai, LI Bo-hu, CHAI Xu-dong, et al. Studies on Qualitative and Quantitative Integration Model Computing Technology[J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(9): 1980-1984.
- [5] 李潭, 李伯虎, 柴旭东, 等. 复杂产品多学科虚拟样机元建模框架[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(6): 1178-1186.
- [6] 李潭. 复杂系统建模仿真语言关键技术研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2011: 143-148.
- [7] 杨晨. 复杂变结构系统的仿真建模规范及多核并行仿真关键技术研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2014: 37-40.
- [8] F Tao, L Zhang, Y Laili. Configurable Intelligent Optimization Algorithm: Design and Practice in Manufacturing[M]. Configurable Intelligent Optimization Algorithm. Springer International Publishing, 2015: 587.
- [9] K Qiao, F Tao, L Zhang, et al. Partner selection in virtual manufacturing based on a genetic algorithm maintained by binary heap and transitive reduction[C]//2010 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Integrated Systems (ICISS 2010), 2010.
- [10] F Tao, L Zhang, Z H Zhang, et al. A quantum multi-agent evolutionary algorithm for selection of partners in a virtual enterprise[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2010.
- [11] F Tao, L Zhang, Y Laili. Configurable Intelligent Optimization Algorithm: Design and Practice in Manufacturing[M]. Configurable Intelligent Optimization Algorithm. Springer International Publishing, 2015: 587.
- [12] 张智慧, 李伯虎, 柴旭东, 等. 一种面向共享内存环境的高性能 HLA/RTI 原型系统[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(2): 315-322.  
ZHANG Zhi-hui, LI Bo-hu, CHAI Xu-dong, et al. HP-HLA/RTI Prototype Oriented on Shared Memory Environment [J]. Journal of System Simulation, 2014, 26(2): 315-322.
- [13] 刘小峰, 李伯虎. 并行任务自动划分及调度算法 SMPS[J]. 系统仿真学报, 1996 (1): 1-5.
- [14] Yajun X, Degui L, Bohu Li. Some Techniques for Solving Ordinary Differential Equations with Discontinuities in Real-time Simulation [J]. System Engineering and Electronics, 1996, 7(3): 69-80.
- [15] F Tao, L Zhang, Y Laili. Configurable Intelligent Optimization Algorithm: Design and Practice in Manufacturing[M]. Configurable Intelligent Optimization Algorithm. Springer International Publishing, 2015: 587.
- [16] 李伯虎. 面向智慧制造云的仿真与超算技术研究与思考[C]//第九届中国云计算大会, 北京. 2017..
- [17] T Li, B H Li, X D Chai. Layered simulation service description framework oriented to cloud simulation[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012, 18(9): 2091-2098.
- [18] 肖莹莹, 李伯虎, 柴旭东, 等. 云制造中的制造能力服务形式化描述方法[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(9): 2096-2107.  
Xiao Yingying, Li Bohu, Chai Xudong, et al. Research on the Formalization Description method of Manufacturing Capability Service in Cloud Manufacturing[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(9): 2096-2107.
- [19] 张雅彬, 李伯虎, 柴旭东, 等. 基于虚拟化技术的云仿真资源迁移技术研究[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(6): 1268-1272.  
ZHANG Ya-bin, LI Bo-hu, CHAI Xu-dong, et al. Research on the Virtualization-based Cloud Simulation Resource Migration Technology[J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(6): 1268-1272.
- [20] X Chai, B Li, et al. Research on independent and dynamic fault-tolerant and migration technology for cloud simulation resources[C]// Grand Challenges on Modeling and Simulation Conference. Society for Modeling & Simulation International, 2011: 290-296.
- [21] 邢驰, 李伯虎. Infiniband 网络架构下 RTI 通信机制研究[J]. 电子学报, 2016, 44(2): 327-333.

- [22] 邸彦强, 李伯虎, 柴旭东, 等. 多学科虚拟样机协同建模与仿真平台及其关键技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(7): 901-908.
- [23] BoHu Li, Xudong Chai, Xuefeng Yan, et al. Muti-Discipline Virtual Prototype Modeling and Simulation Theory and Application[M]. Nova Science Publishers, Inc., 2012.
- [24] 李潭. 复杂系统建模仿真语言关键技术研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2011: 143-148.
- [25] BoHu Li, Xiao Song, Lin Zhang, et al. CoSMSOL: Complex system modeling, simulation and optimization language[J]. International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, 1741002, 2017.
- [26] BoHu Li, Xudong Chai, et al. Research on High-Performance Modeling and Simulation for Complex Systems[M]// Concepts and Methodologies for Modeling and Simulation. Springer International Publishing, 2015.
- [27] 赵沁平, 郝爱民, 王莉莉, 等. 实时三维图形平台 BH\_GRAPH[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(9): 1491-1497.
- [28] 航天云网. Smart IOT 工业物联网网关[EB/OL]. (2018) <http://www.casicloud.com/article/zhigaifangan1/>.
- [29] Ming Yang, Bing Zhang, Ping Ma, et al. Five Key Issues of the Development of Simulation Systems VV&A [J]. Journal of System Simulation, 2003, 15(11): 1506-1508.
- [30] 刘博元, 张凌宇, 范文慧, 等. 基于 DS 证据理论的复杂产品仿真可信度评估方法[J]. 计算机系统应用, 2014, 23(5): 202-205.
- [31] 航天云网. INDICS[EB/OL]. (2018) <http://is.casicloud.com/>.
- [32] 李伯虎, 柴旭东, 张霖, 等. 智慧制造云——一种基于工业大数据与人工智能技术的智能制造系统[C]//北京: 未来工业智能峰会, 2017.
- [33] 胡霆, 王景成, 赵广磊, 等. 城市交通干线绿波带全局优化方法[J]. 计算机与应用化学, 2012, 29(10): 1211.
- [34] S YANG, C YU, P CHEN, et al. Protective immune barrier against hepatitis B is needed in individuals born before infant HBV vaccination program in China[J]. Scientific Reports, 2015, 5: 18334.
- [35] S GYANG, BWANG, PCHEN, et al. Effectiveness of HBV Vaccination in Infants and Prediction of HBV Prevalence Trend under New Vaccination Plan: Findings of a Large-Scale Investigation[J]. Plos One, 2012, 7(10): e47808.
- [36] 吴升, 郭新宇, 苗腾, 等. 基于 Multi-Agent 的智能植物系统的构建与应用研究[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(5): 9.