



陈宗海 主编

**System
Simulation
Technology & Application**
(Vol. 15)

**系统仿真技术
及其应用**

· 第15卷 ·

中国科学技术大学出版社

系统仿真技术及其应用

• 第 15 卷 •

System Simulation Technology & Application

(Vol.15)

陈宗海 主编

中国科学技术大学出版社

2014 • 合肥

内 容 简 介

本书为中国自动化学会系统仿真专业委员会和中国系统仿真学会仿真技术应用专业委员会的学术会议的论文选编。

本书收录了会议论文 81 篇,是近年来系统仿真科学与技术在自然科学和社会科学各领域以及航空、航天、石油、化工、能源、国防、轻工等行业中应用的最新成果,以及建模与仿真学、复杂系统新领域等的最新进展。

本书可供科研、设计部门和厂矿企业中系统仿真科学和技术的研究和应用人员以及高等学校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

系统仿真技术及其应用.第 15 卷/陈宗海主编.—合肥:中国科学技术大学出版社,2014.9
ISBN 978-7-312-03598-2

I. 系… II. 陈… III. 系统仿真—文集 IV. TP391.9-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 219676 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 安徽江淮印务有限责任公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 880mm×1230mm 1/16
印张 26.25
字数 849 千
版次 2014 年 9 月第 1 版
印次 2014 年 9 月第 1 次印刷
定价 186.00 元

《系统仿真技术及其应用》编委会

顾 问：李伯虎

主 编：陈宗海

副主编：王正中 肖田元

编 委：蔡远利 陈春林 陈建华 陈宗海 丛 爽

范文慧 胡 斌 黄元亮 贾连兴 廖 瑛

毛 征 王正中 肖田元 薛 青 张陈斌

写在卷首

“建模与仿真技术同高性能计算一起，正成为继理论研究和实验研究之后第三种认识改造客观世界的重要手段。”（李伯虎院士）随着计算机、通信、控制等高科技的不断发展，大数据、云计算、物联网、车联网等新技术的不断涌现，第三次产业革命的大幕正逐渐拉开，“仿真”这个古老而又年轻的学科更加朝气蓬勃地播撒着无限的青春活力。

信息社会化的进程，使得仿真科学与技术面对丰富多彩的客观世界。信息化和信息社会化，使人类处理的系统规模与复杂性日益增长，人类对系统的认识和研究逐步深化，可利用的信息资源的影响已具有全球的性质，同时对知识性工作自动化的需求也逐渐迫切起来。这个信息社会化和知识自动化迅猛发展的背景，推动了系统仿真方法学的革新、发展与进步。

近年来，建模与仿真方法学致力于更自然地抽取事物的特征、属性和实现其更直观的映射描述，寻求使模型研究者更自然地参与仿真活动的方法。现阶段依托包括网络、多媒体等在内的计算机技术、通信技术等科技手段，通过友好的人机界面构造完整的计算机仿真系统，提供强有力的、具有丰富功能的软硬件营造的仿真环境，使开放复杂巨系统的模型研究，从单纯处理数学符号映射的计算机辅助仿真（CAS），强化包括研究主体（人）在内的具有多维信息空间的映射与处理能力，逐步创建人、信息、计算机融合的智能化、集成化、协调化高度一体的仿真环境，构建信息和物理深度融合的系统（CPS）。可见，信息时代的到来正在孕育着系统仿真科学与技术某些新的突破。正待开发的系统仿真方法和仿真技术广阔无垠，需要我们从事系统仿真的科技工作者付出艰辛的劳动，使仿真这门迄今为止最有效、最经济的综合方法和推动技术进步的战略技术在现代化进程中发挥更大的促进作用。

人类社会已进入 21 世纪的第二个十年，随着云计算、大数据、高速无线通信等信息技术的兴起，信息革命正以“数据化”这一崭新而富有冲击性的形式席卷人类生活的方方面面。随着数据获取成本的降低，数据采集精度、数据存储设备的性能和容量的提高，人类社会正在经历一个全面“数据化”的过程，现实的物理世界在数字化的“赛博空间”（Cyberspace）中的投影越来越清晰、越来越丰富，数据正在创造一个新的世界。继物理世界、人的精神世界之后，由计算机、通信、控制等数字化技术构建的“赛博空间”正在成为人类生活中不可或缺的一部分。数据不仅是企业的重要宝藏，也是赛博空间的氧气，离开了数据，人们在未来世界中将无法生存。在赛博空间中，人们不仅可以进行各种社交活动、游戏，更应该进行教育、科研、实验等各种具有创造性的社会活动，赛博空间不应该只有消耗，没有产出。但这个世界和物理世界不是割裂的，它是现实世界的部分投影以及人类心灵世界的部分投影。同时，赛博空间也是物理空间与人类精神世界之间的桥梁。仿真科学与技术应该在这一股数据洪流席卷世界的大潮中扮演什么样的角色，是值得所有从事仿真科学工作的研究者共同思考和探讨的问题。

由中国自动化学会系统仿真专业委员会联合中国系统仿真学会仿真技术应用专业委员会、离散系统仿真专业委员会主办的“第 15 届中国系统仿真技术及其应用学术会议(15th CCSSTA2014)”，共收

到论文 121 篇，录用 81 篇。其中，大会特邀报告 5 篇；建模与仿真技术 14 篇；系统仿真 8 篇；航天与装备仿真 18 篇；控制与决策及其他 27 篇。另有两个专题：灰色定性仿真 2 篇；大数据与云计算 7 篇。收录的论文涉及广泛的领域，内容丰富多样，反映了当前学科发展的方向和技术应用的水平。这次学术交流，无疑将对我国系统仿真科学与技术的发展起到积极的推进作用。

编委会

2014 年 8 月于中国科学技术大学

目 录

第一部分 大会报告

- 1 大数据科学仿真实论、方法、平台及其技术.....李 军 李 文 彭 耀 等 (002)
- 2 基于角度量测的空间编队目标定位方法研究.....蔡远利 罗 阳 杨战飞 叶 欣 (007)
- 3 近程防空、反导与 C-RAM 武器系统现状与发展.....毛 征 孟 灿 杨俊强 孟凡刚 (016)
- 4 量子系统控制做什么?丛 爽 (026)
- 5 分数阶系统的仿真方法.....薛定宇 白 鹭 (036)

第二部分 建模与仿真方法

- 6 基于社会比较的人群行为建模与仿真研究徐文超 薛 青 张传海 等 (042)
- 7 基于 IMM 交互式平滑算法的机动目标跟踪建模和仿真.....孟凡刚 毛 征 周沛然 等 (046)
- 8 故障集辨识算法研究.....廖宫燕 黄元亮 (051)
- 9 基于数学手段的复杂系统仿真方法研究概述.....林 敏 张传海 (056)
- 10 基于虚拟样机技术的位标器建模与误差分配.....杨 军 袁 博 周 立 刘朝阳 (059)
- 11 车联网中恶意软件传播过程建模与仿真研究.....谢文军 于振华 韩 林 (063)
- 12 基于 DI-Guy AI 的战争复杂系统建模与仿真.....钟剑辉 傅调平 邓 超 (067)
- 13 分布式战场三维态势交互控制研究.....朱英浩 (073)
- 14 基于小波神经网络的锂离子电池系统建模.....张 旭 董广忠 张陈斌 陈宗海 (078)
- 15 电动汽车用动力电池数学模型研究综述.....魏婧雯 董广忠 张陈斌 陈宗海 (082)
- 16 一种基于自适应模型融合算法的动力锂电池建模方法.....武 骥 张陈斌 陈宗海 (090)
- 17 基于费用的物流配送优化研究.....赵 宏 张艳敏 蒋雨晨 (095)
- 18 碳交易过程中碳排放估算方法综述.....董广忠 阮 焘 陈宗海 (099)
- 19 Internal Resistance Effects to Thermal Field of A Cylindrical Lithium-ion Battery
..... Wang Yu-jie Wu Ji Zhang Chen-bin Chen Zong-hai (104)

第三部分 系 统 仿 真

- 20 血管内介入手术模拟系统研究.....智 鑫 张子明 高宇辉 张之祥 (110)
- 21 复杂系统仿真中时间管理技术研究综述.....王学慧 张 磊 方 粮 (115)
- 22 基于 AHP 的坦克分队驾驶模拟训练考评指标体系研究.....薛 青 闫守柱 张 强 (119)
- 23 模型验证辅助工具的模块化设计.....周玉臣 方 可 马 萍 (124)
- 24 计算机兵棋系统及其在军事领域的应用.....文家焱 张 蓉 陈建华 (129)
- 25 作战指挥一体化仿真训练模拟器抗干扰研究.....王志刚 薛 青 张传海 (134)
- 26 基于 KD-DRT 的 Simulink/RTW 模型和 C/C++模型的集成仿真.....姚新宇 李 颂 吴文波 刘宝宏 (138)
- 27 螺旋巡游轨道设计与仿真.....徐艳丽 张雅声 (143)

第四部分 航天与装备仿真

- 28 基于 KD-JMASE 的雷达电子战仿真研究.....王 鹏 李 革 (148)
- 29 基于 RTX 的自行高炮仿真系统研究.....远 菲 毛 征 王 哲 (156)
- 30 装甲装备战损评估仿真系统设计与实现.....黄俊卿 马亚龙 范 锐 邵 伟 (161)
- 31 导弹装备电子故障原理与维修教学系统设计.....谢建华 王 磊 郭希维 (165)
- 32 某型导弹装备综合训练系统整体设计.....谢建华 王竹林 何 鹏 (168)
- 33 舵机负载模拟器设计与建模仿真分析.....韦宏强 赫 赤 吴红权 等 (171)
- 34 防空反导武器系统目标航路建模仿真试验新方法.....赫 赤 韦宏强 卜云萍 等 (176)
- 35 火灾风险预警机器人设计.....武海澄 李 伟 范明豪 汪书 苹 (181)
- 36 基于 Multi-Agent 的某型雷达建模仿真.....李 舰 李 宸 魏小明 (184)
- 37 一种基于 CISE 平台的武器装备体系仿真集成框架.....刘 陈 万自明 陈晓波 等 (189)
- 38 一种用于长时间飞行的空间交会规划优化方法.....陈晓波 万自明 刘 陈 蔡润南 (194)
- 39 小卫星微振动仿真分析系统的设计与实现.....公惟强 廖 瑛 张 志 (197)
- 40 两栖作战编队航渡阶段反潜护航仿真模型体系研究.....邓 超 陈建华 李刚强 (202)
- 41 基于无人机平台的搜索救援系统模型研究.....高金璐 李兴玮 (206)
- 42 固体火箭封闭式级间分离试验中“推力波动”建模仿真分析
.....叶振信 顾 胜 杨 锐 等 (211)
- 43 某型坦克训练模拟器自动跟踪系统仿真.....郑长伟 林 敏 (214)
- 44 成像卫星效能评估方法.....白方舟 (219)
- 45 航天员任务规划与验证仿真应用探讨.....王宝智 (222)

第五部分 控制与决策

- 46 基于非线性干扰观测器的无静差跟踪预测 控制方法及仿真研究.....高海燕 蔡远利 陈智勇 (228)
- 47 基于极球面投影的极区格网导航方法研究.....张萍萍 孙永侃 (233)
- 48 基于局部熵值图的目标检测分割及质心计算
.....Bakhdavlatov Saidsho 毛羽忻 龚 萍等 (237)
- 49 基于 ACPSO 的最小二乘支持向量机分类方法研究.....闫守柱 罗 佳 吉雯龙 等 (242)
- 50 挖掘机机液工作系统模糊控制.....黄德银 严世榕 (247)
- 51 被动测向无源定位系统空间优化配准及仿真研究.....蔡远利 郭 志 董春云 (251)
- 52 陆军信息化作战体系要素流转过程研究.....马亚龙 冯军星 王论丛 王 超 (257)
- 53 基于差动制动与主动悬架的客车防侧翻控制研究.....严钟辉 严世榕 (261)
- 54 基于速度扰动观测器的陀螺稳定平台的抗扰控制.....刘 祺 丛 爽 (266)
- 55 适用于智能仓储多机器人任务分配的一种 平衡启发式拍卖方法
.....石媛媛 周罗伟 王江柳 等 (271)
- 56 基于自适应神经模糊推理系统的空中目标意图预测.....崔洋培 吴庆宪 陈 谋 (277)
- 57 基于不变嵌入法的车用锂离子电池 SOC 估计.....董广忠 张陈斌 陈宗海 (282)
- 58 一种飞控计算机软件的主动容错方案.....王越之 张 平 (288)
- 59 A New Method for State-of-charge Estimation for Li-ion Batteries Based on
Improved Interpretative Structural Modeling Method..... Wang Yu-jie Zhang Chen-bin Chen Zong-hai (293)
- 60 运动与颜色特征相融合的目标跟踪算法.....林名强 张陈斌 陈宗海 (297)
- 61 建模与仿真在靶场试验鉴定过程中的应用.....石 峰 王 霜 高兴华 (303)
- 62 电动汽车用动力锂离子电池组均衡技术研究综述.....解 竞 汪玉洁 张陈斌 陈宗海 (308)

63	基于综合赋权法的军事通信卫星威胁分析	杨 庆 徐艳丽 吉雯龙	(314)
64	基于 SoftPOSIT 算法的非合作目标相对位姿估计	张 鑫 张雅声 姚 红	(318)
65	带有异构网络诱导延时的网络化系统量化控制研究	杜大军 漆 波 白浩亮	(322)
66	磁轴承转子系统的自适应反演滑模控制	荣海军 李 苑 蔡远利	(327)
67	Parasitic Motion Based Optimal Design of Parallel Manipulators	Zhang Song-Zhen Lou Yun-Jiang Liao Bin	(340)
68	电动汽车用动力锂电池 SOC 估计算法研究综述	樊 珂 田烨豪 张陈斌 陈宗海	(340)
69	基于关联分布函数的相互依赖网络脆弱性分析	金伟新 宋 凭 刘国柱 肖田元	(347)
70	基于层次分析法的设备运行健康指数模型	张 强 李睿琪 王传启 等	(354)
71	基于 BP 神经网络的制丝线投入产出模型	徐子伟 曹 璨 王传启 等	(358)
72	基于 RBF 神经网络的松散回潮工序建模与分析	曹 璨 王传启 张陈斌 陈宗海	(362)

第六部分 灰色定性仿真

73	Research on Employee Turnover Based on Catastrophe Modeling and Qualitative Simulation	Xu Zhao Bin Hu	(366)
74	一种基于信任度的冲突证据合成方法	侯 攀 贾连兴 何 灵	(373)

第七部分 大数据与云计算

75	三峡大坝地下综合管网 GIS 空间数据库的设计与实现	冯德鸿 邓小炼 刘 勇	(378)
76	大规模地形数据组织与调度技术研究	张 江 贾连兴 郑 苗	(383)
77	空间信息格式数据的大批量生成研究	朱英浩	(387)
78	广域多元设备数据流协同管控系统在民航空管领域的应用研究	李 斌 马 鸣 杜宗林	(391)
79	基于 Spark 可视化大数据挖掘平台	李 文 程华良 彭 耀 等	(395)
80	自然语言处理云平台	李 文 程华良 彭 耀 等	(399)
81	大数据技术概述	徐子伟 张陈斌 陈宗海	(403)

第一部分

大会报告

大数据科学仿真理论、方法、平台及其技术

李 军^{1,2} 李 文^{1,2} 彭 耀^{1,2} 温明杰^{1,2} 张陈斌^{1,3} 陈宗海^{1,3}

(1. 中国科大-象形大数据商业智能联合实验室, 安徽合肥, 中国, 230031; 2. 安徽象形信息科技有限公司, 安徽合肥, 中国, 230031)

(3. 中国科学技术大学自动化系, 安徽合肥, 中国, 230027)

摘 要: 大数据时代, 仿真实论、仿真方法、仿真平台及其技术发生了彻底的改变, 对仿真科学来说, 这既是机遇也是挑战。传统仿真与大数据仿真相比, 仿真实论重心从模型转向数据, 仿真方法从抽样和发现因果关系转到全局的和发现相关关系。仿真平台从单机转向分布式计算、存储平台。本文最后介绍了大数据仿真平台基础架构 Hadoop、Spark 及国内大数据仿真建模平台 ETHINK。

关键词: 大数据科学; 仿真; 数据挖掘; Hadoop; Spark

中图分类号: TP 391

Big Data Science Simulation Theory, Methods, Platforms And Technology

Li Jun^{1,2} Li Wen^{1,2} Peng Yao^{1,2} Wen Ming-jie^{1,2} Zhang Chen-bing^{1,3} Chen Zong-hai^{1,3}

(1. USTC-ETHINK Big Data Business Intelligence Joint Laboratory, Anhui, Hefei, 230031)

(2. Anhui ETHINK information technology Co, LTD, Anhui, Hefei, 230031)

(3. Department of Automation, University of Science and Technology of China, Anhui, Hefei, 230027)

Abstract: The era of big data is coming; the simulation theory, simulation method, simulation platform and technology are changed dramatically. It is not only opportunity but also challenge for the Simulation Science. Compared with the traditional simulation and big data simulation, the simulation theory focus is changing from the model to the data, the simulation method, is changing from sampling and discovering relationship to global e and finding correlation; simulation platform from is changing from single to distributed computing, storage platform. Finally we describe the big data simulation platform Hadoop, Spark and domestic big data modelling and simulation platform ETHINK.

Key words: Big Data; Simulation; Data Mining; Hadoop; Spark

1 引言

大数据摩尔定律表明, 全球数据总量每 18 个月就可以翻一番。截止到 2011 年, 全球被创建或被复制的数据总量约有 1.8 ZB, 相当于 18 亿个 1 TB 的移动硬盘, 预计到 2020 年, 全球数据总量将达到惊人的 35ZB。大数据具有 Volume(规模性)、Variety(多样性)、Velocity(高速性)和 Value(价值性)特征 (4V), 它对国家、社会、经济、科学的发展和人民生活将产生巨大的价值, 并将积极推进人类从“后工业时代”向“智慧经济”时代的发展。大数

据时代, 仿真科学所面对的问题, 已经不仅仅是科学模型建立的问题, 仿真实论、仿真方法、仿真平台及其技术都发生了较大变化。

大数据时代, 仿真实论发生革命性改变。传统仿真理论以模型为驱动, 强调模型, 包括物理模型、数学模型、物理-数学模型等, 根据模型再现系统的状态、动态行为及性能特征, 用于分析系统配置是否合理、性能是否满足要求, 预测系统可能存在的缺陷, 为系统设计提供决策支持和科学依据。而大数据仿真以数据为驱动, 更多地关注数据本身, 挖掘数据之间的关联性、相似性。

大数据时代, 仿真方法在思维方式上发生巨变。传统仿真用抽样方法进行数据挖掘或统计结果分析, 重点强调“过去发生过什么事件”、“过去为什么会发生”、“现

作者简介: 李军(1989-), 男, 安徽人, 本科, 大数据挖掘; 李文(1986-), 男, 湖北人, 硕士, 研究方向为大数据挖掘; 彭耀(1979-), 男, 安徽人, 本科, 研究方向为大数据挖掘; 陈宗海(1963-), 男, 安徽人, 教授、博士生导师, 研究方向为复杂系统的建模与仿真与控制, 机器人与智能系统, 量子系统控制与量子态操控。

在发生了什么事情”、“现在为什么会发生”。大数据仿真用全量数据进行真实模拟、数据挖掘预测，重点强调“类似地发生过什么事件”、“我应该怎么做”、“我怎么影响未来”、“会有什么后果”等问题。大数据仿真，不仅可以建立认识问题的“数据模型”，而且可以解决因模型复杂度高，导致计算量大，使模型精度降低的问题。大数据仿真，接受数据的多样性、不确定性、非精确性，更加注重强调相关性及对问题进行更深入的分析。

大数据时代，数据存储、计算性能将面临空前挑战，仿真平台的技术架构也将随之发生巨大改变。传统仿真平台，如 Swarm^[1]、RePast^[2]、Mason^[3]、NetLogo^[4]和 AnyLogic^[5]等，处理数据以抽样的、简单的、脱机的方式为主，技术架构主要是采用单机服务器，或者采用昂贵的小型机。大数据时代，数据存储、计算性能要求高，单纯的机器硬件升级已经无法满足需要，主流的解决方案是结合分布式计算系统，如 Hadoop^[6,7]、Spark^[8,9]，在系统架构层面解决数据存储计算问题。

2 大数据科学仿真实理论

2.1 传统仿真

传统仿真是通过对系统模型的试验，研究已存在的或设计中的系统性能的方法及其技术。简单地讲，仿真就是一种基于已知模型的活动，可以再现系统的状态、动态行为及性能特征。传统仿真的主要目的是分析系统配置是否合理、性能是否满足要求以及预测系统可能存在的缺陷，为系统设计提供决策支持和科学依据。例如，研制新型飞机时，一般先要对按比例缩小的飞机模型进行风洞试验，以验证飞机的空气动力学性能；开发新型轮船时，一般先要在水池中对缩小的轮船模型进行试验，以了解轮船的各种性能。

随着计算数学的成熟和计算机技术的发展，人们越来越多地通过数学模型并通过计算机仿真来分析和优化系统，形成了计算机仿真技术。例如，通过计算机仿真，模拟地区人口增长模型；通过计算机仿真，模拟经济增长预测模型。但是随着数据量不断增大，计算机计算出现性能瓶颈，传统计算机仿真技术越来越力不从心。

2.2 大数据仿真

大数据科学是一门研究大数据的新兴科学，探索网络空间数据界中数据奥秘的理论、方法和技术。与自然科学和社会科学的学科不同，大数据科学的研究对象主要是网络空间的大数据，该大数据科学有两个内涵：一个是研究数据本身的各种类型、状态、属性、变化形式及其随时间-空间的发展演化规律；二是为自然科学、社

会科学和人文各个领域的研究提供所需要的大数据和基于大数据的一种新的科学研究方法。其目的在于揭示自然界和人类行为现象内在的发展规律，并为人类社会的可持续发展服务。传统仿真主要是从模型到数据的过程，首先通过分析数据建立分析模型，然后通过数据评估仿真模型正确与否。与之相反，大数据仿真主要是从数据到模型的过程，这是由大数据“4V”特征决定的。

大数据之“大”，不仅在于容量，更在于社会对其价值的洞悉。利用来自互联网社会活动的大数据，大数据仿真应用将为人们实际场景提供决策信息。无需规定数据规模，无需建立仿真模型，不受传统理论约束，只受限于数据本身，通过机器学习或数据挖掘，发现数据节点间关联，从而获得整体的知识。例如，Google“流感趋势”项目、地球引擎项目。

3 大数据科学仿真方法

3.1 传统仿真与大数据仿真对比

传统仿真以实际系统为对象进行试验，通过对已有问题描述、需求分析、建模目标，构造系统模型，进而对系统模型的试验来了解和验证系统的性能指标。

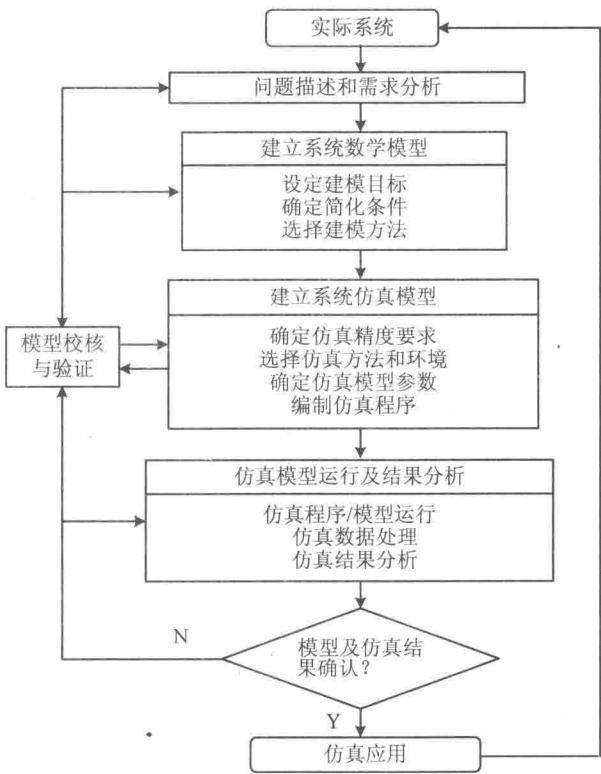


图1 传统仿真方法流程
Figure 1 traditional simulation process

与传统仿真相比，大数据仿真从思维方式发生了根

本性改变；从对过去“数据的模拟”研究转变为以数据为研究对象，挖掘未知知识。

表1 传统仿真与大数据仿真对比

Table 1 Traditional simulation comparison of big data simulation

名称	商业问题	解决方案
传统 仿真	过去发生过什么事件？	数据挖掘与样本取证
	过去为什么会发生？	实时分析查询
	现在发生了什么事件？	报表与仪表板展现
	现在为什么会发生？	Ad-hoc 图匹配查询
大数据 仿真	类似地发生过什么事件？	统计与线性回归分析
	我应该怎么做？	数据挖掘预测
	我怎么影响未来？	真实模拟
	会有什么后果？	

3.2 大数据仿真方法

大数据给仿真领域带来了全新的研究方法，从数据中挖掘知识。例如，美国一个大学生课外作业研究本·拉登到底藏在哪儿，做了一个模型出来并在网上到处搜集数据，最后抓到本·拉登的地方和这位学生建立模型的距离只相差100多公里。该案例模型是利用现实数据搜索来完成的，是通过数据对现实生活的仿真，大数据使实验结果越来越趋近于真实情况。

3.2.1 大数据仿真从随机样本到全体数据的转变

大数据仿真是直接面向全体数据的分析，它终结了还原论，转向整体论，从本质上发生改变。与传统仿真相比，大数据无论在数据库规模上，还是分析方法、分析工具、分析对象上都有很大不同。第一，大数据仿真关注全体数据。与随机样本数据不同，全体数据很难发现明确的信息。比如说，传统仿真的数据处理就像在池塘里抓鱼，池塘面积小，对于池塘里能收获多少鱼是心中有数的，而大数据仿真的数据处理就像在大海里捞鱼，能捞到什么鱼都是心中不明的。第二，大数据仿真数据来源是实时同步的。传统仿真数据获取以后，数据本身不会改变，而大数据仿真数据与网络关系密切，数据处理的同时还可能发生变化。

3.2.2 大数据仿真从精确性到混杂性的转变

传统仿真执迷于数据的精确性。大数据时代，只有5%的数据是结构化的，能被精确利用。如果不能容忍凌乱的数据，偏爱有条理且纯净的数据，剩下95%的非结构化数据都无法被利用。大数据仿真接受数据的不精确性，虽然这样会导致模型训练、参数训练不确定，但是它能体现演化模式的涌现、群体行为的涌现甚至网络智

慧的涌现。

3.2.3 大数据仿真从因果关系到相关关系的转变

传统仿真依靠分析少量的数据样本，探求难以捉摸的因果关系。大数据仿真从思想上发生变革，放弃对事情因果关系的追究，转而关注事物的相关关系。知道“是什么”就够了，没必要知道“为什么”。大数据时代，完全颠覆了牛顿、爱因斯坦体系下还原论思想，更加强调“知其然而不知其所以然”，可以直接从大数据中获取答案。许多事物的因果关系难以明确，或者根本不存在，大数据方法认为，通过海量数据的相关关系，可以发现更接近实际情况的新规律。例如，大脑扫描计划通过大数据生物资料库，尝试绘制人类大脑错综复杂的神经回路图。

3.2.4 大数据仿真从简单分析到深度分析的转变

传统仿真是对已有数据的分析，是一种简单数据分析。大数据仿真面对海量复杂的数据，更多的是进行深度分析、直接分析、外推分析等等，可提供更多更好的数据分析功能。例如，苹果公司的智能语音助手SIRI，可基于联网数据实现数据学习功能，用户可以通过自然语言输入，调用系统自带的天气预报、日程安排、搜索资料等功能。

4 大数据科学仿真平台及其技术

4.1 传统仿真平台及其技术

传统仿真平台经过几十年的打磨，功能相当强大。Swarm适用于社会经济系统的仿真，通过相对简单的微观个体活动可以突现出宏观层面的复杂行为。NetLogo适用于模拟自然和社会现象，特别是模拟随时间发展的复杂系统，可以在建模中控制成千上万的个体，能很好地模拟微观个体的行为和宏观模式的涌现及其两者之间的联系。AnyLogic适用于离散、连续、混合系统的建模和仿真，应用广泛的，包括控制系统、交通、动态系统、制造业等。

传统仿真平台种类繁多，各有优势，但是它们都难以处理大数据。无论是大数据的采集、存储、传输、处理，还是大数据的应用，传统仿真平台都不足以支持。

4.2 Hadoop 大数据分析平台

Hadoop是一个能够对大量数据进行分布式处理的大数据框架，以一种可靠、高效、可伸缩的方式进行处理的。

大数据仿真首先将数据存储于HDFS分布式文件系统里，然后通过MapReduce^[10]分布式计算框架处理数据，通过Mahout^[11]数据挖掘工具建立仿真分析模型，最终以

Pig^[12]或 Hive^[13]提供相应查询结果。

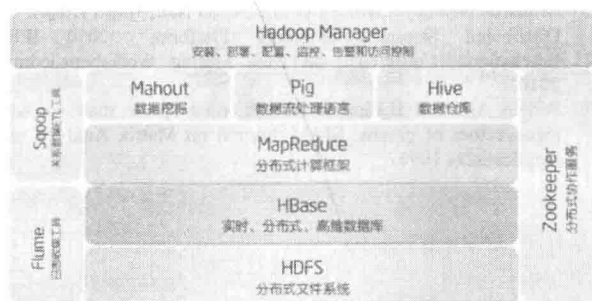


图 2 Hadoop 应用架构

Figure 2 application Architecture of Hadoop

4.3 Spark 大数据内存计算平台

Hadoop 基本能够解决大数据仿真数据存储、处理等问题，但是基于其读写文件的特点，整个仿真过程中 IO 耗时太长，大大影响了性能。为了解决这一问题，引进 Spark 开源计算框架。Spark 基于内存计算，可以让数据处理更加快速，它是对 Hadoop 的补充，可以与 Hadoop 文件系统并行运行。

大数据仿真，用户最为迫切的需求有两点：一是从现有海量的非结构化数据^[14]中归纳、过滤信息，二是依据这些信息进行快速、准确的决策。针对这两点需求，Spark 都能很好地解决。面对海量数据处理，Spark 不仅提供了最基本的操作 MapReduce，还包含更多基于内存的计算方法。面对快速、准确的决策，Spark 提供了流计算^[15]、图计算框架^[16]，还提供了用户自助的 SQL 查询框架。

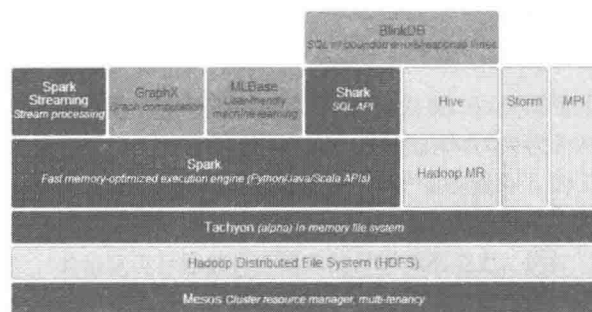


Figure 3 图 3 Spark 应用架构
application Architecture of spark

Spark Streaming 是大规模流式数据处理的实时计算框架，将流式计算分解成一系列短小的批处理作业。Spark Graphx 是一些图的常用算法在 Spark 上的并行化实现，同时提供了丰富的 API 接口。Spark SQL 可以通过 SQL 语句与 Spark 进行结构化数据的存储和操作等交互，并提供了方便的调用接口。这些框架能很好地解决复杂数据的智能仿真分析，包括海量图数据的匹配分析

和海量社交数据分析等。

4.4 ETHINK 大数据挖掘仿真建模平台

ETHINK 是国内大数据商业智能数据挖掘仿真平台，为最终用户提供了一个自助分析的平台，涵盖自助查询、即席分析、多维查询、仪表板、智能搜索、数据分析、数据挖掘等模块。ETHINK 以分布式内存计算平台 Spark 为基础架构，平台支持逻辑回归、聚类、决策树等多种挖掘算法，用户可以通过界面拖拽的方式，建立符合需求的仿真模型。

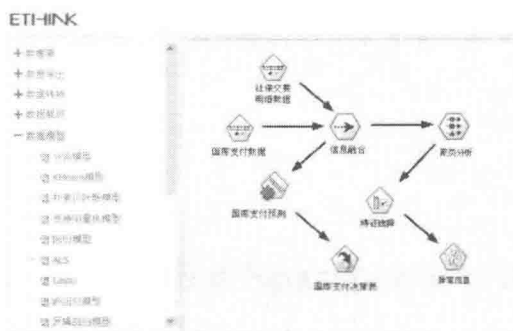


Figure 4 Modeling and simulation platform for big data mining

5 结论

大数据的出现, 提供了更为高效的研究模式和手段, 革新了现有仿真的思维方式。将大数据方法与仿真建模方法融合, 为仿真技术与应用发展带来崭新的挑战和机遇。

参考文献

- [1] CHEN Xue-bin, LI Han, ZHU Ye. The SWARM Simulation Analysis on the Improvement of the Incentive-Discipline Mechanism of Chinese Commercial Banks. 2003.
- [2] Nick Collier. Repast: An Extensible Framework for Agent Simulation. <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/RepastTutorial/Collier.pdf>. 2001.
- [3] Herbertsson P, Josefsson PO, Hasserius Retal. Uncomplicated mason type II and III fractures of the radial head and neck in adults: a long term follow up study. Journal of Bone and Joint Surgery American Volume. 2004.
- [4] Joe Whittaker, Chris Whitehead, Mark Somers. The neglog transformation and quantile regression for the analysis of a large credit scoring data base. Applied Statistics. 2005.
- [5] E. Jack Chen, Young M. Lee, Paul L. Selikson. A simulation study of logistics activities in a chemical plant. Simulation Modelling Practice and Theory. 2002.
- [6] White T. Hadoop: The definitive guide. Journal of Women's Health. 2012.
- [7] Ghemawat S, Gobioff H, S. Leung. The Google file system. Proceedings of the nineteenth ACM symposium on Operating systems principles. 2003.
- [8] Viktor Meyer schon berg, Zhou Tao. Big data era [J]. Real estate Tribune. 2013(04):21.
- [9] Zaharia M, Chowdhury M, Franklin M J, Shenker S, Stoica I. Spark: cluster computing with working sets. Proceedings of the 2nd USENIX conference on Hot topics in cloud computing, HotCloud:10. 2010.

- [10] Zhang CJ, Ma Q, Wang XL, Zhou AY. Distributed SLCA-based XML keyword search by Map-Reduce. Proc. of the DASFAA. 2010.
- [11] Christopher Olston, Benjamin Reed, Utkarsh Srivastava. Pig latin: a not-so-foreign language for data processing. Proceedings of the 2008 ACM SIGMOD international conference on Management of data. 2008.
- [12] Owen S, Anil R, Dunning T, Friedman E. Mahout in action. 2011.
- [13] Thusoo A, Sarma J S, Jain N. Hive: a warehousing solution over a map-reduce framework. Proceedings of the VLDB Endowment. 2009.
- [14] Doan A, Naughton J F, Baid A, et al. The case for a structured approach to managing unstructured data. CIDR 2009.
- [15] Leonardo Neumeyer, Bruce Robbins, Anish Nair, Anand Kesari. "S4: Distributed Stream Computing Platform,". 2010 IEEE International Conference on Data Mining Workshops, icdmw. 2010.
- [16] Pothan A, Simon H, Liou K P. Partitioning sparse matrices with eigenvectors of graphs. SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications. 1990.

基于角度量测的空间编队目标定位方法研究

蔡远利 罗 阳 杨战飞 叶 欣

(西安交通大学电子与信息工程学院, 陕西西安, 中国, 710049)

摘 要: 本文以空间飞行编队为对象, 基于多源纯角度量测, 研究了高速目标飞行器的跟踪定位方法。首先, 在地心(固连)坐标系中建立了编队飞行器及目标飞行器的运动学和动力学方程, 在当地量测坐标系中给出了角度量测模型。基于仿真实验, 分析了测向交叉融合定位算法、最小二乘融合定位算法、基于EKF和UKF非线性滤波的定位算法, 得出了若干有意义的结论。

关键词: 编队飞行; 角度测量; 目标定位; 非线性滤波

中图分类号: TP391

Flying Target Localization Based upon Formation Spacecrafts with Bearings Only Measurements

Cai Yuan-li Luo Yang Yang Zhan-fei Ye Xin

(School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Shaanxi, Xi'an, 710049)

Abstract: The high-speed target tracking and localization are investigated based formation spacecrafts with bearings only measurements in this paper. The kinematical and dynamic equations of the flight vehicles are firstly set up in the Earth-Centred Earth-Fixed Frame (ECEF), and the measurement models are also presented in the local reference frame. Two geometrical localization schemes and nonlinear filtering based algorithms are analyzed through a variety of simulation experiments. Some interesting and significant results are obtained.

Key words: Formation Spacecrafts; Bearings Only Measurements; Target Localization; Nonlinear Filtering

1 引言

随着电子技术及推进技术的高速发展, 以美国战区导弹防御系统(TMD)和国家导弹防御系统(NMD)为代表的导弹防御系统将对传统飞行器突防带来严重的威胁^[1]。为了提高进攻武器的威慑力和有效性, 编队飞行是一种有效的手段。若编队飞行器都具有简单的目标探测能力, 例如目标角度信息测量能力, 那么软硬件成本不会增加许多, 但有可能对目标飞行器(敌方拦截飞行器)进行有效的探测和定位, 从而为实现编队飞行任务提供非常宝贵的决策信息。

对于装备有角度观测器的编队飞行器, 要实现对目标飞行器的定位跟踪, 属于无源定位问题^[2]。无源定位根据量测量的不同^[3], 可分为测向、测频、测时差、测方位角变化率等。其中, 测向定位, 即基于纯角度信息的目

标定位与跟踪, 具有计算快、设备简单、作用距离远、方便与其他设备联合应用等优点。特别是在复杂电磁环境中, 目标的方位相对于距离信息更容易获得, 且抗干扰能力强。

按照观测器平台数量的不同, 无源定位可分为单平台无源定位和多平台无源定位^[5]。单平台无源定位是利用单个平台上的角度观测器在不同时刻对信号进行顺序测量和处理, 确定多个定位曲面, 经过相关处理后得到目标的运动参数。它的优点是不需要考虑同步数据传输和数据融合处理, 具有很好的隐蔽性和高度独立性。缺点是要求观测平台在一段时间内有较大的角度机动, 以获得好的定位效果。因此, 单平台定位需要较长的定位时间, 不适用于高速运动目标。

多平台无源定位是由空间上多个分离配置的角度观测器同时对辐射源信号进行接收处理, 确定多个定位曲面, 从而得到目标的位置。它主要利用不同平台定位曲面之间差异较大这一特点来实现定位和提高定位精度,

作者简介: 蔡远利(1963 -), 男, 贵州瓮, 教授、博士生导师, 工学博士, 研究方向包括飞行器制导与控制、复杂系统建模与仿真、随机系统理论及应用等。

可以即时实现对目标的定位。因此,多平台无源定位具有速度快、精度高、抗干扰能力强、生存能力强等优点。但是,多平台定位要靠多平台之间协同工作,需要进行大量的数据传输,系统相对较复杂。当系统平台需要机动时,系统的复杂性更高。

传统纯角度目标定位与跟踪算法的研究比较集中于批处理方法,计算量大。若采用伪线性估计器,所得到的估计结果是有偏的。如果直接应用这些算法,很难实现对高速目标的精确定位与跟踪,并且实时性要求也很难满足。因此,研究和发发展实用、快速、估计精度高的纯角度目标定位跟踪算法,具有重要的理论和实际意义。

由于仅能获得目标的方位信息,系统的量测噪声对定位误差影响很大,同时因为目标信息的不完整,会导致系统在某些特殊情况下出现不可观测现象。因此主要的研究方向有系统的可观测性条件、定位精度的影响因素和量测误差(包含随机噪声和系统误差)消除等。

系统的可观测条件对单站无源定位系统较为重要,相关的研究也较为深入。其中邓新蒲从几何、代数方程、线性系统方法三方面论述了测向、测频单站无源定位系统的可观测性问题^[6];谢细全等对单站无源定位系统可观测性问题进行了研究,并重点讨论了基于辐射源 DOA 和 TOA 测量信息的目标定位系统^[7]。而多站无源定位系统由于可以提供冗余的目标方位信息,因此系统可观测性比单站系统好。其中,刘忠等将多站纯方位目标定位系统等效为一个特殊的单站运动定位问题,利用拟线性估计方程,推导出了系统不完全可观测条件^[8]。

无源定位系统的精度受较多因素影响,影响较大的有观测站的空间构形、站间距、角度量测精度、相对距离和观测站数目等。李桦基等于多点交叉定位的数学模型,以测向交叉定位法为例对无源定位精度进行了分析及仿真,实验结果表明定位精度除了与量测精度有关,还与各观测站的相对位置及目标与观测站的距离、方位等有关^[5];韦毅等分析了红外探测器的三维定位算法,推导了定位误差公式,就目标位置、测向误差和探测器位置误差等因素对定位精度的影响进行了比较,并对三观测站布局进行了研究,指出通过多站组网方式可以提高定位精度^[9];廖海军针对多站无源定位技术,主要研究了不同定位算法的误差空间分布以及在多站组网测量条件下的空间配准等内容^[12];姚颖等基于双站测向交叉定位模型,分别对空间和平面模型的定位误差进行了分析,重点讨论并给出了由测量误差和布站误差造成的定位误差 GDOP 分布图^[13]。

为了消除量测噪声和系统误差,无源定位技术中最关键的研究内容是定位和滤波算法,它们决定着系统的

定位精度和实时性。多站测向交叉定位算法按照获得目标位置解的形式,可分为解析法和迭代法两种,其中对最小二乘法、最大似然算法及扩展卡尔曼滤波算法等经典的定位算法研究较多^[14]。Stansfield 等将加权系数引入最小二乘法,提出了一种加权最小二乘法(WLS)^[15],为无源定位算法的研究奠定了基础。Daniels 等在测量误差的概率密度函数已知的条件下提出了最大似然算法(ML)^[16],但是该算法不能获得目标位置的解析解,需要通过迭代算法获得数值解,对迭代初值较敏感,容易发散,也不能保证获得全局最优解^[17]。通过对 ML 和 WLS 两种算法的精度进行分析,Gavish 和 Weiss 指出 ML 算法可以看作 WLS 算法在量测误差较小情况下的近似,相对于 WLS 算法是一种有偏估计,ML 算法具有渐进无偏的性质^[18]。已经证明,当量测误差服从零均值的高斯分布时,ML 算法与 WLS 算法等价^[19]。

将局部线性化技术应用到卡尔曼滤波算法(KF)中,即可得到扩展卡尔曼滤波算法(EKF)。一般而言,LS 算法的定位精度不会高于 EKF 算法^[20],但滤波状态向量初值和初始协方差的选择会严重影响滤波算法的性能,且 EKF 算法通过一阶线性化方法将非线性系统近似线性化经常会导致系统特性恶化而出现滤波发散的情况^[21],而高阶 EKF 算法计算量较大,不适合对高速目标进行实时跟踪。

在笛卡尔坐标系内,无源定位问题的量测方程是非线性的,而 EKF 算法将非线性系统近似线性化后进行滤波,只能得到系统状态估计的次优解^[22]。Julier 等人将 Unscented 变换应用于卡尔曼滤波器,通过对估计状态向量的概率密度函数进行有限点采样,确定经非线性系统函数传播后状态的均值和协方差^[23],克服了因一阶线性化展开造成函数的整体特性被局部特性取代所带来的滤波发散问题,UKF 对状态向量的估计精度与二阶 EKF 算法相同,优于一阶 EKF 算法^[38]。粒子滤波(PF)^[24]算法因其适用于非线性、非高斯系统而成为近年来广受关注的非线性滤波算法,PF 算法通过对大量样本点进行重采样的方式可以较好地近似系统的后验概率密度,但计算量大,算法的实时性无法保证。

在无源定位滤波算法研究中,孙洪胜等基于单站纯方位角无源定位系统模型,分别对 EKF 和 UKF 算法进行了仿真分析,针对 EKF 算法易发散的缺陷,给出了若干解决办法,且提出了一种简化方法克服 UKF 算法计算复杂的缺点^[10];郑岩针对纯方位角系统定位精度不高、滤波易发散的缺点,在观测量中增加方位角变化率分量,仿真结果表明可以提高系统定位精度和收敛速度^[25];姚颖等则基于双站测向交叉定位数学模型,研究了 EKF、UKF 以及 PF 算法的定位与跟踪性能,以匀速(CV)模